

2025 届山东各地市高三二模化学试题分类汇编（解析版）

第一部分 化学基础知识 2

一、化学与 STSE 2

二、化学用语 6

三、物质的性质和用途 12

四、化学基本概念 17

第二部分 化学实验 23

一、化学实验基础 23

二、实验装置题 26

三、实验表格题 34

四、化学实验综合题 42

五、化学实验综合题（非选择题） 56

第三部分 化学工艺流程 81

一、化学工艺流程题 81

二、化学工艺流程题（非选择题） 86

第四部分 化学反应原理 109

一、电化学 109

二、反应热、化学反应机理 120

三、化学反应的方向、限度与速率 126

四、电解质溶液中的离子平衡 136

五、化学反应原理综合题（非选择题） 150

第五部分 物质结构与性质 175

一、物质结构与性质 175

二、元素推断题 185

三、物质结构与性质综合题（非选择题） 189

第六部分 有机化学基础 207

一、有机物的结构与性质 207

二、有机反应 213

三、有机推断题（非选择题） 217

1. 题目来源于 2025 届山东省各地级市一模试题，共 11 套，具体如下：

	济南	青岛	淄博	枣庄	东营	烟台	潍坊	济宁
一模	√	√	√	√	√ ^①	√ ^①	√	√
二模	√	√				√ ^②	√	√
三模		√	√			√	√	√

	泰安	威海	日照	临沂	德州	聊城	滨州	菏泽
一模	√		√		√ ^①	√		√
二模	√		√	√	√ ^②	√	√	√
三模		√	√		√	√		

①烟台、德州、东营一模共用一套卷；②烟台、德州二模共用一套卷。

2. 所有题目全部保留，手动归类，按由易到难顺序排列。
3. 每道题均注明来源和原卷题号，不定项选择题单独标注。
4. 使用 macOS 26 系统 WPS Office 编辑，题号使用自动编号，原版格式参照 PDF 文件。

第一部分 化学基础知识

一、化学与 STSE

1. (2025 滨州二模, 1) 化学品在食品工业中有重要应用, 下列使用方法错误的是

- A. 食盐中添加碘酸钾
- B. 水发毛肚中添加甲醛
- C. 葡萄酒中添加二氧化硫
- D. 酱油中添加苯甲酸钠

【答案】B

【解析】

【详解】A. 食盐中添加碘酸钾, 可用于预防碘缺乏病, A 不符合题意;

B. 甲醛有毒, 对人体有害(致癌、刺激黏膜等), 不能作为食品添加剂, B 符合题意;

C. 二氧化硫具有还原性, 葡萄酒中添加二氧化硫可作食品抗氧化剂, 且能杀菌, C 不符合题意;

D. 苯甲酸钠具有抑制微生物生长的作用, 苯甲酸钠可用作食品防腐剂, D 不符合题意;

故选 B。

2. (2025 菏泽二模, 1) 传统工艺中蕴含丰富的化学知识。下列说法错误的是

- A. 东阿阿胶制作前先将驴皮在弱碱性井水浸泡, 驴皮的主要成分是油脂
- B. 潍坊风筝常用竹材作骨架, 其主要成分纤维素属于天然高分子化合物
- C. 菏泽麻糖制作时使用含淀粉酶的麦芽作用于淀粉, 涉及淀粉的水解反应
- D. 章丘铁锅的制作工序中, “煅烧锅身”的目的之一是形成致密的氧化物薄膜保护层

【答案】A

【解析】

【详解】A. 驴皮的主要成分是胶原蛋白(属于蛋白质类), 而非油脂。阿胶的制作工艺中, 驴皮经过处理提取胶原蛋白, A 错误;

B. 竹材的主要成分是纤维素, 纤维素是天然高分子化合物(多糖类), 属于天然高分子, B 正确;

C. 麦芽中的淀粉酶可催化淀粉水解为麦芽糖, 属于水解反应, C 正确;

D. 铁锅煅烧时, 铁在高温下与氧气反应生成致密的氧化物薄膜, 可防止进一步氧化, D 正确;

故选 A。

3. (2025 济宁二模, 1) 中华优秀传统文化博大精深, 蕴含着丰富的化学知识。下列说法错误的是

- A. 《易经》记载的“泽中有火”“上火下泽”涉及烃类的燃烧
- B. 成语“刀耕火耨”是指伐去树木烧掉野草, 余灰可降低土壤碱性
- C. 北宋汝窑瓷器是以黏土为主要原料, 经高温烧结而成
- D. “榆荚只能随柳絮, 等闲撩乱走空园”, 其中的柳絮富含糖类

【答案】B

【解析】

【详解】A. “泽中有火”“上火下泽”指湖泊池沼水面起火, 沼气主要成分为甲烷, 属于烃, “泽中有火”“上火下泽”,

烃类的燃烧，A 正确；

B. 余灰即草木灰，主要成分为碳酸钾，因碳酸根的水解水溶液呈碱性，不能降低土壤碱性，B 错误；

C. 瓷器主要成分是硅酸盐，以黏土为主要原料，经高温烧结而成，C 正确；

D. 柳絮主要成分为纤维素，属于多糖，柳絮富含糖类，D 正确；

故答案为：B。

4. (2025 泰安二模，1) 泰山女儿茶是一种口感清新、香气独到的绿茶，其制作工艺包括晾晒、杀青、揉捻、烘干、筛分等，以下操作最不可能引起化学变化的是

A. 杀青

B. 揉捻

C. 烘干

D. 筛分

【答案】D

【解析】

【详解】A. “杀青”是通过高温破坏氧化酶活性，属于化学变化，A 不符合；

B. “揉捻”是借助外力使茶菁成条，有化学变化，B 不符合；

C. “烘干”是使茶脱水的过程，涉及化学变化，C 不符合；

D. “筛分”是根据茶叶的大小和粗细进行筛选，不涉及化学变化，D 符合；

答案选 D。

5. (2025 潍坊二模，1) 化学与生活息息相关。下列叙述正确的是

A. 烹煮食物时宜早期加入含碘食盐

B. 聚乳酸材质的骨钉便于人体吸收代谢

C. 利用活性炭分解室内甲醛

D. 糯米中的淀粉水解得到酒精

【答案】B

【解析】

【详解】A. 因为含碘食盐中的碘酸钾在高温下易分解，应在食物快熟时加入以减少碘的流失，故 A 错误；

B. 聚乳酸具有生物相容性和可降解性，分解产物乳酸可被人体代谢吸收，适合作为骨钉材料，故 B 正确；

C. 活性炭通过吸附作用去除甲醛而非分解，该过程不改变甲醛的化学性质，故 C 错误；

D. 淀粉水解的最终产物是葡萄糖，生成酒精需要发酵（酵母菌无氧呼吸）而非单纯水解，故 D 错误；

故答案为 B。

6. (2025 青岛二模，1) 中国高端制造享誉世界。下列说法正确的是

A. 中国本土芯片制造业飞速发展，芯片的主要成分是 SiO_2

B. 中国的船舶制造量占世界一半以上，牺牲阳极保护法可用于船舶的防腐蚀

C. 中国在稀土上游产业中具有明显优势，稀土元素主要是指周期表中的镧系元素

D. 中国新能源汽车电池技术领先世界，电池充电时化学能转化为电能

【答案】B

【解析】

【详解】A. 芯片的主要成分是硅单质，A 错误；

B. 牺牲阳极保护法是利用原电池原理，将船舶外壳镶嵌活泼金属，活泼金属被腐蚀，船体外壳被保护，B 正确；

C. 稀土元素主要是指周期表中镧系元素和钪、钇，共 17 种元素，C 错误；

D. 电池充电时把电能转化为化学能，D 错误；

故选 B。

7. （2025 临沂二模，1）化学与生产、生活密切相关。下列说法正确的是

A. 酿米酒需晾凉米饭后再加酒曲，体现了乙醇受热易挥发

B. 制作豆腐时添加石膏，体现了 CaSO_4 的难溶性

C. 聚四氟乙烯由四氟乙烯加聚合成，受热易分解

D. 氟氯烃破坏臭氧层，氟氯烃产生的氯自由基改变 O_3 分解的历程

【答案】D

【解析】

【详解】A. 酿米酒需晾凉米饭后再加酒曲，是因为酒曲中的微生物在高温下会失活，而不是乙醇受热易挥发，A 错误；

B. 制作豆腐时常添加石膏，石膏能与蛋白质胶体发生聚沉，B 错误；

C. 四氟乙烯可由四氯乙烯通过加聚合成，因其受热不易分解且无毒，可以用作不粘锅的内胆，C 错误；

D. 氟氯烃产生的氯自由基作为催化剂能够改变反应历程，加快 O_3 的分解速率，从而破坏臭氧层，D 正确；

故答案为：D。

8. （2025 聊城二模，1）山东出土文物种类众多，为研究古代文明提供了宝贵的实物资料。下列叙述错误的是

A. 青州——亚丑青铜钺主要成分是合金

B. 曲阜——鲁国大玉璧主要成分是 SiO_2

C. 东平——汉墓壁画绘制所用红色颜料为 Fe_2O_3

D. 临沂——《孙子兵法》竹简主要成分是多糖

【答案】B

【解析】

【详解】A. 青铜钺主要成分是铜合金，A 项正确；

B. 大玉璧主要成分是硅酸盐，B 项错误；

C. Fe_2O_3 为红棕色粉末，可以作红色颜料，C 项正确；

D. 竹简主要成分是纤维素，属于多糖，D 项正确；

答案选 B。

9. （2025 济南二模，1）人们的衣食住行蕴含着丰富的化学知识。下列说法错误的是

- A. 丝路瑰宝——织锦的主要成分属于天然高分子化合物
- B. 全麦馒头中的多糖均可在人体内水解成葡萄糖，满足人体组织的营养需求
- C. 建筑材料沙子的主要成分二氧化硅属于酸性氧化物
- D. 国产大飞机 C919 使用的铝锂合金材料，利用了该材料密度小、硬度高的优点

【答案】B

【解析】

- 【详解】A. 织锦由蚕丝制成，蚕丝主要成分是蛋白质，属于天然高分子化合物，A 正确；
- B. 全麦馒头中的多糖包括淀粉和纤维素。淀粉可被人体水解为葡萄糖，但人体缺乏分解纤维素的酶，因此纤维素无法水解为葡萄糖，B 错误；
- C. 沙子主要成分是二氧化硅，属于酸性氧化物（能与强碱反应生成盐和水），C 正确；
- D. 铝锂合金密度小、硬度高，符合实际应用特性，D 正确；
- 故选 B。

10. （2025 烟台德州二模，1）《天工开物》中记载一种从动植物原料中提取油脂的工艺，“将蓖麻、苏麻子碾碎，入釜中注水滚煎，其上浮沫即油，以杓掠取”。工艺中涉及的操作是

- A. 过滤 B. 分液 C. 蒸馏 D. 结晶

【答案】B

【解析】

- 【详解】根据“注水滚煎，其上浮沫即油”可知，将蓖麻、苏麻子碾碎注水滚煎后，混合液会分层，浮在上面的是油，将上层的油和下层水分离开用分液法，B 符合题意；
- 故选 B。

11. （2025 日照二模，1）活字印刷是中国四大发明之一，其制作和使用过程中涉及氧化还原反应的是

- A. 熔铅铸字 B. 雕刻活字 C. 油墨转移 D. 纸张老化

【答案】D

【解析】

- 【详解】A. 熔铅铸字时发生物理变化，没有新物质生成，不涉及氧化还原反应，A 错误；
- B. 雕刻活字时发生物理变化，没有新物质生成，不涉及氧化还原反应，B 错误；
- C. 油墨转移时发生物理变化，没有新物质生成，不涉及氧化还原反应，C 错误；
- D. 纸张老化导致发黄变脆，是空气中氧气等的作用，导致其被氧化、失去了原有的品质，涉及氧化还原反应，D 正确；
- 故选 D。

12. （2025 聊城二模，2）化学与生活、生产联系密切，下列叙述不涉及氧化还原反应的是

- A. 利用铝热剂焊接钢轨 B. 水果罐头中添加维生素 C 防变质
- C. 利用油脂皂化生产肥皂 D. 地下钢铁输水管用导线连接镁块防腐蚀

【答案】C

【解析】

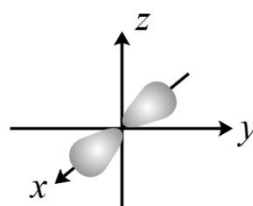
- 【详解】A. 利用铝热剂焊接钢轨, Al 与 Fe_2O_3 在高温下反应生成 Fe 和 Al_2O_3 , 属于氧化还原反应, A 错误;
- B. 维生素 C 具有还原性, 可以防止食品被氧化, 涉及了氧化还原反应, B 错误;
- C. 利用油脂皂化生产肥皂, 属于皂化反应, 没有元素化合价改变, 不是氧化还原反应, C 正确;
- D. 地下钢铁输水管用导线连接镁块防腐蚀, 构成了原电池, 发生了氧化还原反应, D 错误;
- 故答案选 C。

二、化学用语

1. (2025 泰安二模, 2) 下列化学用语表述错误的是

A. 基态 Fe^{3+} 的价电子轨道表示式: $3d^5$

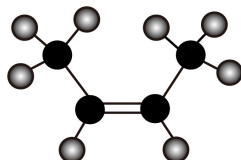
B. 基态 Al 原子中电子占据最高能级的原子轨道示意图:



C. 苯分子中的大 π 键:

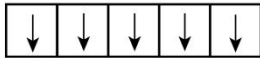


D. 顺-2-丁烯的球棍模型:



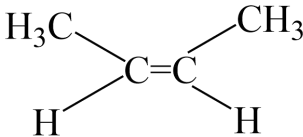
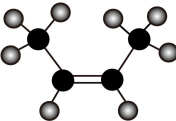
【答案】A

【解析】

【详解】A. Fe^{3+} 的价电子排布式为 $3d^5$, 因此价电子轨道表示式为 , A 错误;

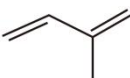
B. 基态 Al 原子的电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$, 电子占据最高能级的原子轨道为 $3p$, p 轨道的电子云轮廓图为哑铃形, B 正确;

C. 苯分子中碳原子是 sp^2 杂化, 形成三个 σ 键, 每个碳原子剩余一个 p 电子, 6 个碳原子的 p 电子肩并肩重叠形成大 π 键, 电子云是两块组成, 镜面对称, C 正确;

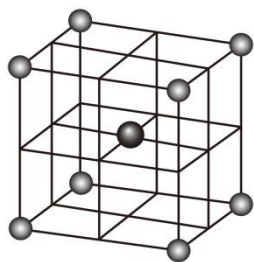
D. 顺-2-丁烯的结构简式为: , 因此球棍模型为 , D 正确;

故选 A。

2. (2025 潍坊二模, 2) 下列化学用语或图示表示错误的是

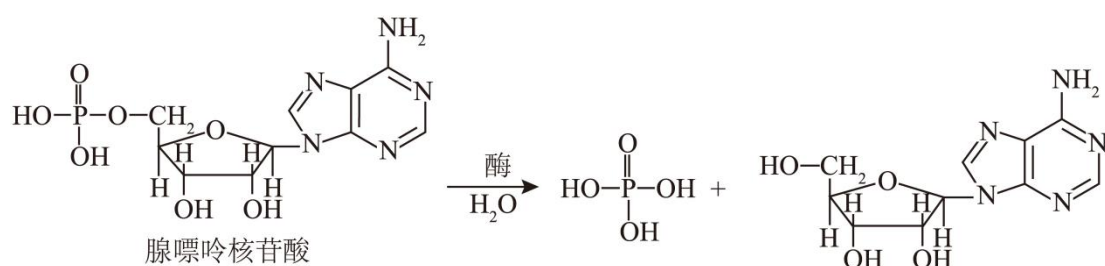
A. 异戊二烯的键线式：

B. NaCl 晶胞：



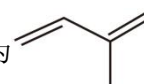
C. 甲醛的毒性原理：
$$\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} \xrightarrow{\text{H}-\text{NHY}} \left[\text{H}-\overset{\text{H}}{\underset{\text{OH}}{\text{C}}}-\text{NHY} \right] \xrightarrow{-\text{H}_2\text{O}} \text{H}-\overset{\text{H}}{\text{C}}=\text{NY}$$

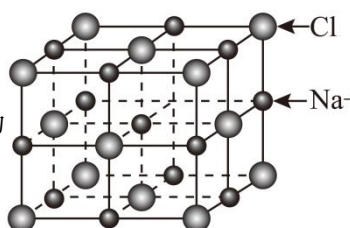
D. 腺嘌呤核苷酸的水解：



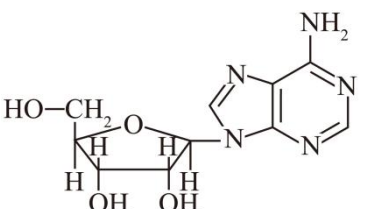
【答案】B

【解析】

【详解】A. 异戊二烯的结构简式为 $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$ ，键线式为 ，A 正确；

B. 氯化钠的晶胞为 ，B 错误；

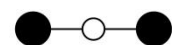
C. 甲醛的毒性原理主要源于它与人体蛋白质中的氨基发生加成和脱水反应，形成稳定的氮次甲基化合物 ($\text{Y}-\text{N}=\text{CH}_2$)，导致蛋白质变性失活，C 正确；

D. 腺嘌呤核苷酸水解得到磷酸和 ，D 正确；

故答案选 B。

3. (2025 滨州二模，2) 下列化学用语或图示表达正确的是

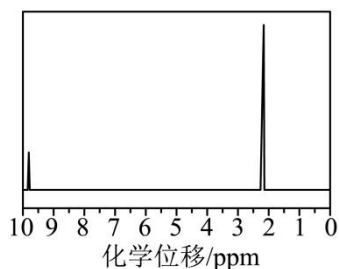
A. PH_3 的电子式：
$$\begin{array}{c} \text{H} : \text{P} : \text{H} \\ \vdots \\ \text{H} \end{array}$$

B. CO_2 的球棍模型：

C. 用电子云轮廓图示意 $p-p\pi$ 键的形成:



D. 乙醇的核磁共振氢谱:



【答案】C

【解析】

【详解】A. PH_3 中 P 原子最外层有 5 个电子, 与 3 个 H 原子形成 3 对共用电子对, 还剩下 1 对孤电子对, A 选

项中漏写了 P 原子的孤电子对, 正确的书写形式为: $\begin{array}{c} \text{H} : \ddot{\text{P}} : \text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$, A 错误;

B. CO_2 是直线形分子, C 原子的半径大于 O 原子半径, 球棍模型中应该是中间的 C 原子的球较大, 且原子之间以双键相连, B 选项中的球棍模型不符合 CO_2 的结构特点, B 错误;

C. $P-P\pi$ 键是由两个 P 原子的 p 轨道“肩并肩”重叠形成的, 电子云轮廓图示意正确, C 正确;

D. 乙醇的结构简式为 CH_3CH_2OH , 分子中有 3 种不同化学环境的 H 原子, 其核磁共振氢谱应该有 3 组峰, 且峰面积之比为 3:2:1, D 选项中的核磁共振氢谱不符合乙醇的特征, D 错误;

综上, 答案是 C。

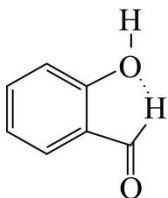
4. (2025 菏泽二模, 3) 下列化学用语或图示正确的是

A. 质子数为 83, 中子数为 126 的铋原子: $^{126}_{83}\text{Bi}$

B. LiH 的电子式: $\text{Li}^+[\text{H}:]^-$

C. 聚丙烯的结构简式: $[\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$

D. 邻羟基苯甲醛的分子内氢键示意图:



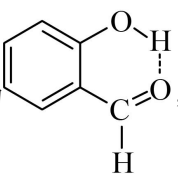
【答案】B

【解析】

【详解】A. 质子数为 83, 中子数为 126 的铋(Bi)原子的质量数为 $83+126=209$, 应写为 $^{209}_{83}\text{Bi}$, 故 A 错误;

B. 氢化锂(LiH)是离子化合物, 其电子式: $\text{Li}^+[\text{H}:]^-$, 故 B 正确;

C. 聚丙烯的结构简式: $\text{---}\text{C}(\text{H}_2)\text{---}\text{C}(\text{CH}_3)(\text{H})\text{---}$, 故 C 错误;

D. 邻羟基苯甲醛分子内氢键示意图为 , 故 D 错误;

故选 B。

5. (2025 济宁二模, 3) 下列化学用语或图示正确的是

A. CH_3COOH 中的 C—C 键为: $\text{sp}^3\text{-sp}^2\sigma$ 键

B. $\begin{matrix} \text{COOCH}_2\text{CH}_3 \\ | \\ \text{COOCH}_2\text{CH}_3 \end{matrix}$ 的名称: 二乙酸乙二酯

C. 一元酸次磷酸(H_3PO_2)的结构简式为: $\begin{matrix} \text{H} \\ | \\ \text{HO---P---OH} \end{matrix}$

D. H_2O 的 VSEPR 模型为: 

【答案】A

【解析】

【详解】A. CH_3COOH 分子甲基中的 C 采用 sp^3 杂化、羧基中的 C 采用 sp^2 杂化, 所以 C—C 键为 $\text{sp}^3\text{-sp}^2\sigma$ 键, 故 A 正确;

B. $\begin{matrix} \text{COOCH}_2\text{CH}_3 \\ | \\ \text{COOCH}_2\text{CH}_3 \end{matrix}$ 是 1 个乙二酸分子和 2 个乙醇分子形成的酯类化合物, 名称为乙二酸二乙酯, 故 B 错误;

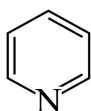
C. 一元酸次磷酸(H_3PO_2)分子中只含 1 个羟基氢结构简式为 $\begin{matrix} \text{O} \\ || \\ \text{H---P---OH} \\ | \\ \text{H} \end{matrix}$, 故 C 错误;

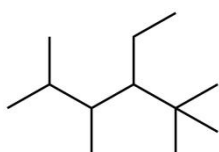
D. H_2O 中 O 原子价电子对数为 4, VSEPR 模型为四面体, 故 D 错误;

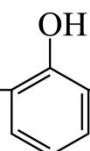
选 A。

6. (2025 青岛二模, 3) 下列化学用语表达正确的是

A. N_2H_4 的电子式: $\begin{matrix} \text{H} & \text{H} \\ | & | \\ \text{H}:\text{N} & :\text{N}:\text{H} \end{matrix}$

B.  中的大 π 键可表示为 π_6^6

C.  的名称为 2, 3, 5, 5-四甲基-4-乙基己烷

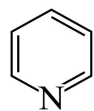
D. 酚醛树脂($\text{H}[\text{---}\text{C}_6\text{H}_4\text{---}\text{CH}_2]_n\text{OH}$)经加成聚合反应制备 

【答案】B

【解析】

【详解】A. N_2H_4 中的两个 N 原子间共用一对电子对，每个 N 原子与 2 个 H 原子共用了 2 对电子对，N 原子还各有一对孤电子对，所以 N_2H_4 的电子式： $\text{H}:\ddot{\text{N}}:\ddot{\text{N}}:\text{H}$ ，故 A 错误；

B. 分子中的大 π 键可用符号 π_m^n 表示，其中 m 表示参与形成大 π 键的原子数，n 表示参与形成大 π 键的电子数；



中 N 原子有一个孤电子和一对孤电子对，一个孤电子参与形成大 π 键，则 6 个原子（5 个 C 原子和 1 个 N 原子）和 6 个电子形成大 π 键，表示为 π_6^6 ，故 B 正确；

C. 按照系统命名法，选择含有碳原子最多的碳链作为主链，从靠近最简单支链的一端给主链编号，故该有机物的名称为 2, 2, 4, 5-四甲基-3-乙基己烷，故 C 错误；

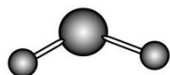
C. 酚醛树脂是一种人工合成的高分子材料，由苯酚和甲醛缩聚而成，故 D 错误；

故答案选 B。

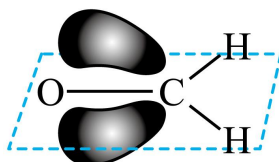
7. （2025 日照二模，3）下列化学用语或图示正确的是

A. 的系统命名：苯甲酸甲酯

B. SO_2 分子的 VSEPR 模型



C. 甲醛中 π 键的电子云轮廓图示意图：



D. 基态 N 原子的轨道表示式：

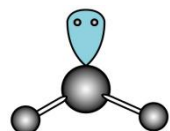
$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	
1s	2s	2p		

【答案】C

【解析】

【详解】A. 根据 的结构可知，该物质的官能团为酯基，故该物质的名称为：乙酸苯酯，A 错误；

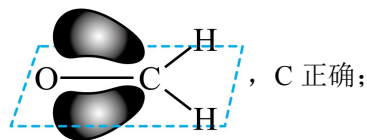
B. SO_2 分子的中心 S 原子上孤电子对数为 $\frac{1}{2} \times (6 - 2 \times 2) = 1$ ，价层电子对数为 3，VSEPR 模型为平面三角形；



，B 错误；

C. 在甲醛分子 (HCHO) 中，碳原子采用 sp^2 杂化方式，与氧原子形成一个 $sp^2 - p\sigma$ 键，和两个氢原子形成两个

$sp^2-s\sigma$ 键，同时碳原子一个未参与杂化的 p 轨道与氧原子的一个 p 轨道形成 π 键，由于氧元素电负性更强，氧原子周围电子云密度更大，其 π 键的电子云轮廓图示意图为：



D. 基态 N 原子的轨道表示式为： $\begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \hline 1s & 2s & 2p & & \\ \hline \end{array}$ ，D 错误；

故答案为：C。

8. (2025 临沂二模，3) 下列化学用语或图示正确的是

A. BF_3 的 VSEPR 模型：

B. 3, 3-二甲基戊烷的键线式：

C. 一元酸 H_3PO_2 的结构简式： $\begin{array}{c} H \\ | \\ HO-P-OH \end{array}$

D. 基态锂原子最外层原子轨道示意图：

【答案】B

【解析】

【详解】A. 三氟化硼中心原子硼的孤电子对数为 $\frac{3-3 \times 1}{2} = 0$ ，价层电子对数为 3，则其 VSEPR 模型为平面正

三角形：，A 不符合题意；

B. 3, 3-二甲基戊烷主链有 5 个碳，主链 3 号碳原子连接二个甲基，则其键线式正确，B 符合题意；

C. 一元酸 H_3PO_2 分子内只含有 1 个羟基，结构简式为 $\begin{array}{c} O \\ || \\ H-P-OH \\ | \\ H \end{array}$ ，C 不符合题意；

D. 基态锂原子最外层电子排布式为 $2s^1$ ，其原子轨道为球形，D 不符合题意；

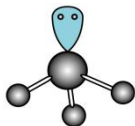
故选 B。

9. (2025 聊城二模，3) 下列化学用语或图示正确的是

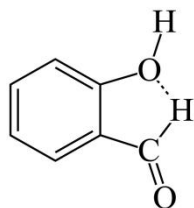
A. NaCl 溶液中水合 Cl^- 的示意图：

B. 基态 Mn^{2+} 价电子的轨道表示式： $\begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline \uparrow & \uparrow & \uparrow & & \\ \hline 3d & & & & \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \uparrow\downarrow \\ \hline 4s \\ \hline \end{array}$

C. SO_3 的 VSEPR 模型:



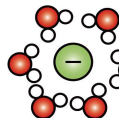
D. 邻羟基苯甲醛的分子内氢键:



【答案】A

【解析】

【详解】A. NaCl 溶液中水合 Cl^- 的示意图:



B. Mn 是 25 号元素, 基态 Mn 原子的价电子排布式为 $3d^5 4s^2$, Mn 原子失去最外层 2 个电子得到 Mn^{2+} , 基态 Mn^{2+}

价电子的轨道表示式为

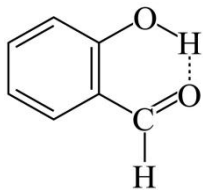
↑	↑	↑	↑	↑
---	---	---	---	---

, 故 B 错误;

3d

C. SO_3 中 S 原子价电子对数为 3, VSEPR 模型平面三角形, 故 C 错误;

D. 邻羟基苯甲醛的分子内氢键为



选 A。

三、物质的性质和用途

1. (2025 菏泽二模, 2) 物质性质决定用途。下列两者对应关系错误的是

- A. ClO_2 具有强氧化性, 可用于自来水的杀菌消毒
- B. 乙二醇的水溶液凝固点很低, 可用作汽车发动机的防冻液
- C. 二氧化硅中存在光的全反射且有硬度和柔韧度, 可作光导纤维
- D. KMnO_4 分解生成 O_2 , 浸泡过 KMnO_4 溶液的硅藻土可用于水果保鲜

【答案】D

【解析】

【详解】A. ClO_2 具有强氧化性, 能有效杀灭微生物, 用于自来水消毒, A 正确;

B. 乙二醇与水混合后显著降低凝固点, 用作防冻液, B 正确;

C. 二氧化硅中存在光的全反射且有硬度和柔韧度, 对光具有良好的传导性, 可用于光导纤维的制造, C 正确;

D. KMnO_4 用于水果保鲜是因强氧化性吸收乙烯, 而非分解生成 O_2 , D 错误;

故选 D。

2. (2025 济宁二模, 2) 物质性质决定用途, 下列对应关系正确的是

- A. 氮气具有稳定性，可用于冷冻麻醉
- B. CaSO_4 溶解度小，可用于制作豆腐
- C. 聚乳酸易降解，可用作手术缝合线
- D. 硅酸钠耐热性好，其水溶液可用作黏合剂

【答案】C

【解析】

【详解】A. 液氮气化时会吸收周围环境中的热量，可用于局部冷冻麻醉，与具有稳定性无关，故 A 错误；

B. CaSO_4 为电解质，能使胶体聚沉而以沉淀析出，可用于制作豆腐，故 B 错误

C. 聚乳酸具有生物相容性，酯基易水解，易降解，可用作手术缝合线，故 C 正确；

D. 硅酸钠溶液具有良好的粘结性，常用作黏合剂，与耐热性好无关，故 D 错误；

故选 C。

3. （2025 日照二模，2）精细化学品在生产生活中有广泛应用，下列有关说法错误的是

- A. 乙酸乙酯可用作水果香精
- B. 氢氧化铝可用作助燃剂
- C. 石炭酸可用于消毒
- D. 氧化铁可用作颜料

【答案】B

【解析】

【详解】A. 乙酸乙酯属于酯，具有香味，可用作水果香精，A 项正确；

B. 氢氧化铝不具有可燃性，不可用作助燃剂，B 项错误；

C. 苯酚俗称石炭酸，有毒，可使蛋白质变性，可用于消毒，C 项正确；

D. 氧化铁为红棕色，可用作颜料，D 项正确；

故选 B。

4. （2025 烟台德州二模，2）下列过程没有发生酯化反应的是

- A. 由乳酸制取聚乳酸
- B. 由纤维素制取醋酸纤维
- C. 由核苷酸合成多聚核苷酸
- D. 由植物油制取人造奶油

【答案】D

【解析】

【详解】A. 乳酸分子中的羧酸与羟基缩合脱水形成酯基（酯化反应），属于缩聚反应，故不选 A；

B. 纤维素中的羟基与醋酸酐反应生成酯基（酯化反应），故不选 B；

C. 磷酸与核苷酸的羟基缩合形成磷酸二酯键（属于磷酸的酯化反应），故不选 C；

D. 植物油中的不饱和脂肪酸通过加氢（氢化反应）使双键饱和，未涉及酯的生成或转化，属于加成反应而非酯化反应，故选 D；

选 D。

5. (2025 潍坊二模, 3) 下列物质对应关系错误的是

选项	物质	性质	用途
A	柠檬酸	酸性	食品加工
B	氯化钙	溶解放热	制作自加热罐头
C	15-冠-5 冠醚	分子中有孔穴	识别所有碱金属离子
D	甲酸	还原性	作工业还原剂

【答案】C

【解析】

【详解】A. 柠檬酸常用作食品加工中的复合膨松剂中的酸性物质, 由于其可与复合膨松剂中的碳酸氢钠等反应产生大量气体, 故 A 正确;

B. 氯化钙溶解时会放出大量的热, 因此可用于制作自加热罐头, 故 B 正确;

C. 冠醚分子中具有孔穴结构, 能识别直径与空穴直径近似的碱金属离子, 其中 15-冠-5 只能识别钠离子, 故 C 错误;

D. 甲酸中含有醛基, 具有还原性, 可用作工业还原剂, 故 D 正确;

故答案为 C。

6. (2025 滨州二模, 4) 下列物质的性质、用途及对应关系错误的是

A. 柠檬酸酸性强于碳酸, 可用柠檬酸去除水垢

B. BaSO_4 难溶于酸且吸收 X 射线能力强, 可用作内服造影剂

C. 聚四氟乙烯耐酸碱腐蚀, 可用于制作滴定管的活塞

D. 碳单质氧化性强于硅, 可用焦炭与 SiO_2 反应制粗硅

【答案】D

【解析】

【详解】A. 柠檬酸酸性强于碳酸, 水垢的主要成分是碳酸钙等碳酸盐, 根据强酸制弱酸的原理, 柠檬酸能与碳酸钙等反应, 从而去除水垢, A 正确;

B. BaSO_4 难溶于酸且吸收 X 射线能力强, 在医疗上, 这种性质使得它可用作内服造影剂, 用于胃肠道等部位的 X 射线检查, B 正确;

C. 聚四氟乙烯耐酸碱腐蚀, 滴定管在进行酸碱滴定操作时, 活塞需要接触各种酸碱溶液, 聚四氟乙烯的这种耐腐蚀性使其适合用于制作滴定管的活塞, C 正确;

D. 用焦炭与 SiO_2 反应制粗硅的反应方程式为 $2\text{C} + \text{SiO}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si} + 2\text{CO} \uparrow$, 在这个反应中, 碳元素的化合价升高,

碳是还原剂，硅元素的化合价降低， SiO_2 氧化剂，该反应能发生是因为生成了气态的 CO ，使平衡正向移动，而不是因为碳单质氧化性强于硅，实际上碳的氧化性弱于硅，D 错误；

综上，答案是 D。

7. (2025 潍坊二模，5) 在给定条件下，下列物质转化关系正确的是

- A. 海带提碘：碘的四氯化碳溶液 $\xrightarrow[\text{分液}]{\text{浓NaOH溶液}}$ 含 I^- 、 IO_3^- 溶液 $\xrightarrow{45\%\text{H}_2\text{SO}_4\text{溶液}}$ 含 I_2 的悬浊液 $\xrightarrow{\text{过滤}}$ I_2
- B. 航天器中利用萨巴蒂尔反应再生氧气： $\text{CO}_2 \xrightarrow{\text{富集}}$ 一定浓度 $\text{CO}_2 \xrightarrow[\text{一定条件}]{\text{H}_2} \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}}$ O_2
- C. 工业制硫酸：黄铁矿 $\xrightarrow[\text{空气}]{\text{燃烧}}$ $\text{S} \xrightarrow[400-500^\circ\text{C}]{\text{催化剂}}$ $\text{SO}_3 \xrightarrow{98.3\%\text{的浓硫酸吸收}}$ H_2SO_4
- D. 海水提镁：海水 $\xrightarrow{\text{Ca(OH)}_2}$ $\text{Mg(OH)}_2 \xrightarrow{\text{盐酸}}$ MgCl_2 溶液 $\xrightarrow{\text{电解}}$ Mg

【答案】B

【解析】

- 【详解】A. 碘的四氯化碳溶液与浓 NaOH 溶液反应生成碘化钠、碘酸钠和水，得到 I^- 、 IO_3^- ，A 错误；
- B. 二氧化碳富集，再与氢气在一定条件下反应生成水，电解水得到氧气，B 正确；
- C. 工业制硫酸，黄铁矿主要成分为 FeS_2 ，在空气中燃烧生成二氧化硫和氧化铁，C 错误；
- D. 海水加入氢氧化钙生成氢氧化镁，氢氧化镁与盐酸反应生成氯化镁，电解氯化镁溶液不能得到镁，D 错误；
- 故答案为：B。

8. (2025 青岛二模，5) 物质性质决定用途。下列对应关系正确的是

- A. 高锰酸钾用于皮肤的抗菌消毒，利用了 KMnO_4 的强氧化性
- B. 碳酸氢钠用于糕点烘焙的膨松剂，利用了 NaHCO_3 的碱性
- C. 氯化铁溶液用于伤口止血，利用了 Fe(OH)_3 胶体聚沉的性质
- D. 二氧化硫用于食品的防腐，利用了 SO_2 的漂白性

【答案】A

【解析】

- 【详解】A. KMnO_4 有强氧化性，具有良好的杀菌消毒、抑菌的作用，A 正确；
- B. NaHCO_3 受热分解产生无毒无害 CO_2 气体，从而使食品膨胀，故可以用作食品膨松剂，B 错误；
- C. 氯化铁溶液用于伤口止血，是因为血液属于胶体，血液胶体遇到电解质氯化铁发生胶体聚沉，C 错误；
- D. SO_2 有毒，可以抑制霉菌和细菌的滋生，从而防止食品腐败，故 SO_2 用作食品防腐剂与氧化性无关，D 错误；
- 故选 A。

9. (2025 济南二模，6) 下列物质的用途描述错误的是

- A. 氮气用作焊接镁铝合金的保护气

- B. 加入 18-冠-6 加快甲苯和高锰酸钾溶液反应速率
- C. 服用碳酸氢钠药片解除阿司匹林导致的水杨酸(邻羟基苯甲酸)中毒
- D. 施加适量石膏降低盐碱地(含较多的 NaCl 、 Na_2CO_3)的土壤碱性

【答案】A

【解析】

【详解】A. 氮气在高温下可与镁反应生成氮化镁，无法作为镁铝合金焊接的保护气。正确应使用氩气等惰性气体，A 错误；

B. 18-冠-6 作为冠醚，可络合 K^+ ，使高锰酸根更易进入有机相，加快甲苯的氧化反应，描述正确，B 正确；

C. 碳酸氢钠为弱碱性，可中和水杨酸的酸性，缓解中毒，描述正确，C 正确；

D. 石膏(CaSO_4)与 Na_2CO_3 反应生成 CaCO_3 沉淀和中性 Na_2SO_4 ，降低土壤碱性，D 正确；

故选 A。

10. （2025 济南二模，7）常用的除甲醛试剂有以下几类：①活性炭②尿素、氨基脒等③过硼酸钠、二氧化氯、高锰酸钾等④光催化剂等。下列说法错误的是

- A. 甲醛被试剂①吸附属于物理变化
- B. ②中试剂发挥作用时，氨基中的 N 与甲醛中的 C 相结合
- C. ③中试剂混合使用时比单一使用效果更好
- D. ④中光催化剂使用时，特定波长光照射有利于提高甲醛去除效率

【答案】C

【解析】

【详解】A. 活性炭具有吸附性，活性炭吸附甲醛属于物理变化，故 A 正确；

B. 因为电负性： $\text{O} > \text{N} > \text{C}$ ， RNH_2 中 N 带负电， HCHO 中 C 带正电，所以带部分负电荷的 N 与甲醛中带部分正电荷的 C 相结合，故 B 正确；

C. 过硼酸钠水解生成过氧化氢，高锰酸钾与过氧化氢可能反应生成氧气，降低氧化效率，混合可能导致试剂失效或产生副反应，实际效果可能弱于单一使用，故 C 错误；

D. 光催化剂（如 TiO_2 ）需特定波长光（如紫外光）激发产生自由基以降解甲醛，故 D 正确；

故选：C。

11. （2025 济南二模，11）（不定项）物质之间通过一步反应能实现如图所示转化，且与表中的转化关系能匹配的是

	选项	X	Y	Z	箭头上为反应条件
	A	NO	NO_2	HNO_3	②加 H_2O

	B	Al	$\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$	AlCl_3	③电解
	C	Fe	FeCl_2	FeCl_3	①通入少量 Cl_2
	D	NaOH	NaHCO_3	NaCl	④依次通入 NH_3 、 CO_2

【答案】AD

【解析】

【详解】A. NO 与 O_2 反应生成 NO_2 ， NO_2 与 H_2O 反应生成 HNO_3 ，稀 HNO_3 与 Cu 反应生成 NO，浓 HNO_3 与 Cu 反应生成 NO_2 ，能实现相互之间的转化，A 正确；

B. AlCl_3 是共价化合物，所以不能通过电解 AlCl_3 来生成 Al，不能实现相互之间的转化，B 错误；

C. Fe 与少量的 Cl_2 反应也只生成 FeCl_3 ，不会生成 FeCl_2 ，不能实现相互之间的转化，C 错误；

D. NaOH 溶液通过量 CO_2 生成 NaHCO_3 ， NaHCO_3 和盐酸反应生成 NaCl，电解饱和 NaCl 溶液重新生成 NaOH，用饱和 NaCl 溶液、 CO_2 、 NH_3 反应来制取 NaHCO_3 时，要先通入 NH_3 ，再通入 CO_2 ，能实现相互之间的转化，D 正确；

故答案为：AD。

四、化学基本概念

1. (2025 泰安二模，5) N_A 为阿伏伽德罗常数的值，下列说法正确的是

A. 1mol HClO 中所含 H—Cl 键的数目为 N_A

B. 8.8g 乙酸乙酯中所含碳原子数为 $0.4N_A$

C. 1.2gC 与 0.1molCO_2 在高温下充分反应生成的 CO 分子数为 $0.1N_A$

D. 标准状况下， $1\text{L} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{HCl}$ 溶液中滴加氨水至 $\text{pH}=7$ ，溶液中 NH_4^+ 的数目为 $0.1N_A$

【答案】B

【解析】

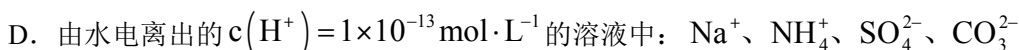
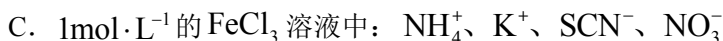
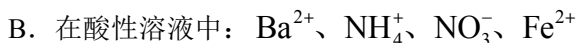
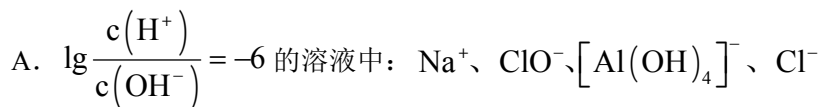
【分析】HClO 中连键方式：H—O—Cl，乙酸乙酯的分子式： $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ， 8.8g 为 0.1mol ， $\text{C}+\text{CO}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{CO}$ ， 1.2gC 为 0.1mol ， 0.1molCO_2 生成 0.2molCO ，常温时， $\text{pH}=7$ 为中性，标准状况下 $\text{pH}=7$ 为酸性，即 $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$ ，根据溶液呈电中性，则 $c(\text{Cl}^-) > c(\text{NH}_4^+)$ ， $n(\text{Cl}^-) = 0.1\text{mol}$ ， NH_4^+ 的数目小于 $0.1N_A$ 。

【详解】A. HClO 中连键方式：H—O—Cl，不存在 H—Cl，A 错误；B. 乙酸乙酯的分子式： $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ， 8.8g 为 0.1mol ，一个分子中含 4 个碳原子，碳原子数为 $0.4N_A$ ，B 正确；C. $\text{C}+\text{CO}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{CO}$ ， 1.2gC 为 0.1mol ， 0.1molCO_2 生成 0.2molCO ，

即 $0.2N_A$, C 错误; D. 常温时, $\text{pH}=7$ 为中性, 标准状况下 $\text{pH}=7$ 为酸性, 即 $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$, 根据溶液呈电中性, 则 $c(\text{Cl}^-) > c(\text{NH}_4^+)$, $n(\text{Cl}^-) = 0.1\text{mol}$, NH_4^+ 的数目小于 $0.1N_A$, D 错误。答案为 B。

【点睛】 HClO 中连键方式: $\text{H}-\text{O}-\text{Cl}$, 不存在 $\text{H}-\text{Cl}$, 容易理解错误。

2. (2025 泰安二模, 3) 常温下, 下列各组离子能大量共存的是



【答案】A

【解析】

【详解】A. 溶液中 $\lg \frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{OH}^-)} = -6$, $\frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{OH}^-)} = 1 \times 10^{-6}$, 说明溶液 $\text{pH} = 10$, 碱性环境下各离子间不反应, 可

大量共存, A 符合题意;

B. 酸性溶液中 NO_3^- 具有强氧化性, 可与具有还原性的 Fe^{2+} 发生氧化还原反应, 不能大量共存, B 不符合题意;

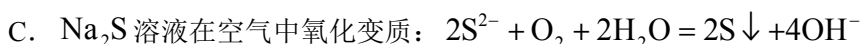
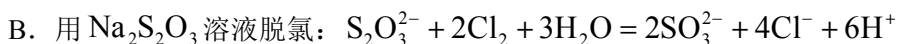
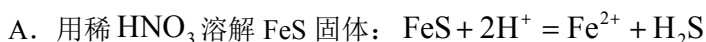
C. Fe^{3+} 与 SCN^- 间发生络合反应, 不能大量共存, C 不符合题意;

D. 水电离出的 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-13} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 说明水的电离受到抑制, 溶液可能呈酸性也可能呈碱性, NH_4^+ 不能在

碱性环境下大量共存, CO_3^{2-} 不能在酸性环境下大量共存, D 不符合题意;

答案选 A。

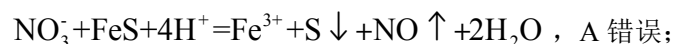
3. (2025 烟台德州二模, 5) 下列过程对应的离子方程式正确的是



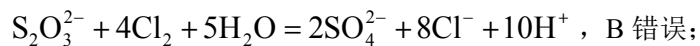
【答案】C

【解析】

【详解】A. HNO_3 具有氧化性, 用稀 HNO_3 溶解 FeS 固体会生成 Fe^{3+} 、 S 和 NO , 离子方程式为:



B. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 还原性较强，在溶液中易被 Cl_2 氧化成 Na_2SO_4 ，离子方程式为：



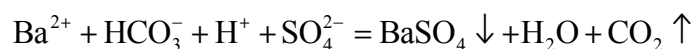
C. Na_2S 溶液在空气中氧化变质生成 S 和 NaOH ，离子方程式为： $2\text{S}^{2-} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{S} \downarrow + 4\text{OH}^-$ ，C 正确；

D. 氯气与水反应生成 HClO 和 HCl ， HClO 的酸性弱于 H_2CO_3 ，不和 HCO_3^- 反应， HCl 可以与 HCO_3^- 反应，生成 CO_2 、 Cl^- ，离子方程式为： $\text{HCO}_3^- + \text{Cl}_2 = \text{CO}_2 + \text{Cl}^- + \text{HClO}$ ，D 错误；

故选 C。

4. (2025 泰安二模，10) 下列化学反应对应的离子方程式书写错误的是

A. 向 $\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液中滴入 NaHSO_4 溶液至恰好沉淀完全：



B. 2.24LCO_2 (标准状况) 通入 $250\text{mL}0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 溶液中： $4\text{CO}_2 + 5\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + 3\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

C. 将 ICl 滴入 NaOH 溶液中： $\text{ICl} + 2\text{OH}^- = \text{IO}^- + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$

D. 将 0.2molCl_2 通入 $2\text{L}0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{FeI}_2$ 溶液中： $2\text{Fe}^{2+} + 2\text{I}^- + 2\text{Cl}_2 = 2\text{Fe}^{3+} + \text{I}_2 + 4\text{Cl}^-$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 沉淀完全时， Ba^{2+} 与 SO_4^{2-} 的物质的量之比为1:1，即 $\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2$ 与 NaHSO_4 的物质的量比为1:1，

离子方程式为 $\text{Ba}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ ，A 正确；

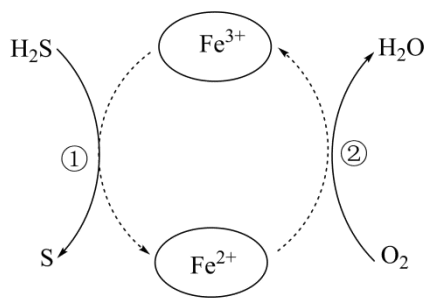
B. 标准状况下， 2.24LCO_2 的物质的量为 0.1mol ， $250\text{mL}0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 溶液中溶质 NaOH 的物质的量为 0.125mol ，参加反应的 $n(\text{CO}_2): n(\text{NaOH})=4:5$ ，反应的离子方程式为 $4\text{CO}_2 + 5\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + 3\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ ，B 正确；

C. ICl 中I为+1价，Cl为-1价， ICl 与 NaOH 的反应为非氧化还原反应，离子方程式为 $\text{ICl} + 2\text{OH}^- = \text{IO}^- + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ ，C 正确；

D. 还原性： $\text{I}^- > \text{Fe}^{2+}$ ，氯气先氧化碘离子，后氧化亚铁离子， 0.2molCl_2 和 0.2molFeI_2 反应时，氯气与碘离子恰好完全反应，离子方程式为 $2\text{I}^- + \text{Cl}_2 = \text{I}_2 + 2\text{Cl}^-$ ，D 错误；

答案选 D。

5. (2025 济宁二模，8) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液脱除空气中 H_2S 并再生的原理如图所示，下列说法错误的是



- A. 氧化性: $\text{O}_2 > \text{Fe}^{3+} > \text{S}$
- B. 理论上脱硫过程 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 不需要额外补充
- C. 标准状况下消耗 5.6L 氧气时, 可生成 0.5molS
- D. 脱硫过程中溶液的 pH 逐渐减小

【答案】D

【解析】

【分析】由图可知: 一共发生的反应有 $\text{H}_2\text{S} + 2\text{Fe}^{3+} = 2\text{H}^+ + 2\text{Fe}^{2+} + \text{S}$ 、 $4\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ + \text{O}_2 = 4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$, 由此可以推出总反应 $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{S} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$, 再结合氧化还原反应中的基本概念来解决问题。

【详解】A. 由分析可知, 反应历程中发生了: $\text{H}_2\text{S} + 2\text{Fe}^{3+} = 2\text{H}^+ + 2\text{Fe}^{2+} + \text{S}$ 、 $4\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ + \text{O}_2 = 4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$, 根据同一氧化还原反应中氧化剂的氧化性强于氧化产物可知, 氧化性: $\text{O}_2 > \text{Fe}^{3+} > \text{S}$, A 正确;

B. 由分析可知, 总反应为: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{S} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 是催化剂, 故理论上脱硫过程 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 不需要额外补充, B 正确;

C. 由分析可知, 总反应为: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{S} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$, 根据化学方程式计算可得, 标准状况下消耗 5.6L 即 $\frac{5.6\text{L}}{22.4\text{L/mol}} = 0.25\text{mol}$ 氧气时, 可生成 0.5molS, C 正确;

D. 由分析可知, 脱硫过程发生的离子方程式为: $\text{H}_2\text{S} + 2\text{Fe}^{3+} = 2\text{H}^+ + 2\text{Fe}^{2+} + \text{S}$, $4\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ + \text{O}_2 = 4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$, 总反应方程式为: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{S} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$, 可见脱硫过程中由于反应产生水, 使 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液的浓度逐渐降低, 因此溶液的 pH 逐渐增大, D 错误;

故答案为: D。

6. (2025 菏泽二模, 8) 高纯度 LiMn_2O_4 (氧元素的化合价为 -2 价) 是锂电池重要的电极材料。工业利用一定比例的超细二氧化锰与氢氧化锂共热生成高纯 LiMn_2O_4 、 H_2O 和一种气体。下列说法正确的是

- A. LiMn_2O_4 中 Mn 的价态为 +4 价
- B. 锂电池放电时, 高纯度 LiMn_2O_4 发生氧化反应
- C. 制备反应中, 理论上氧化产物与还原产物的物质的量比为 1:4
- D. 若用碳酸锂代替氢氧化锂, 则会产生三种气体

【答案】C

【解析】

【详解】A. 在 LiMn_2O_4 中, Li 为+1 价, O 为-2 价, 设 Mn 的化合价为 x, 根据化合物中各元素化合价代数和为 0, 可得 $(+1) + 2x + 4 \times (-2) = 0$, 解得 $x = +3.5$ 价, A 错误;

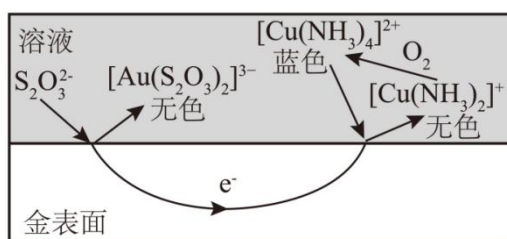
B. 锂电池放电时, 锂元素化合价升高, LiMn_2O_4 中 Mn 元素化合价降低, 得到电子, 发生还原反应, B 错误;

C. 工业上利用一定比例的超细二氧化锰与氢氧化锂共热生成高 LiMn_2O_4 、 H_2O 和一种气体, 反应的化学方程式为 $8\text{MnO}_2 + 4\text{LiOH} \xrightarrow{\Delta} 4\text{LiMn}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$, 在该反应中, O_2 是氧化产物, LiMn_2O_4 是还原产物, 理论上氧化产物与还原产物的物质的量比为 1:4, C 正确;

D. 若用碳酸锂代替氢氧化锂, 反应为 $8\text{MnO}_2 + 2\text{Li}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{\Delta} 4\text{LiMn}_2\text{O}_4 + 2\text{CO}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$, 会产生两种气体, D 错误;

故选 C。

7. (2025 济南二模, 12) (不定项) 工业上常用 CuSO_4 溶液、氨水和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液为原料配制浸金液, 浸取金原理如图所示。下列说法错误的是



A. $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 中与 Au^+ 配位的 S 原子为 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 中端基 S

B. $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 增强了 Au 的还原性

C. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ 可用作除氧剂

D. 浸取金的总反应为 $\text{Au} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} = [\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} + [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{NH}_3$

【答案】D

【解析】

【分析】如图, Au 失去电子形成 Au^+ , Au^+ 与 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 结合得到 $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$, 蓝色的 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 得到电子转化为无色的 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ 与氧气、氨气又重新生成 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, 据此回答。

【详解】A. $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 中端基 S 能提供孤电子对, Au^+ 提供空轨道, 从而形成配位键, A 正确;

B. 由图可知, $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 与 Au 作用, 使 Au 更易失去电子, 增强了 Au 的还原性, B 正确;

C. 由分析知, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ 能被氧气氧化为 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, 所以 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ 可用作除氧剂, C 正确;

D. 由图知, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 应该作催化剂, Au 失去电子形成 Au^+ , Au^+ 与 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 结合得到 $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$, 氧气得到电子与水生成氢氧根, 则浸取金的总反应为 $4\text{Au} + 8\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} + 4\text{OH}^-$, D 错误;

故选 D。

第二部分 化学实验

一、化学实验基础

1. (2025 临沂二模, 2) 实验室中下列做法正确的是

- A. 金属钠燃烧起火, 可用小苏打干粉灭火
- B. 蒸馏时忘记加沸石, 应立即打开瓶塞补加
- C. 被水蒸气轻微烫伤, 先用冷水处理再涂上烫伤药膏
- D. 用稀硫酸洗涤并灼烧铂丝后, 再进行焰色试验

【答案】C

【解析】

【详解】A. 小苏打为碳酸氢钠, 碳酸氢钠受热分解产生水和二氧化碳, 金属钠性质活泼, 与水或二氧化碳反应剧烈, 可能加剧火势或引起爆炸, 钠起火应使用干燥沙子灭火, 故 A 错误;

B. 沸石用于防止暴沸, 若蒸馏中忘记添加, 立即打开瓶塞可能因体系过热导致液体突然沸腾、喷溅或烫伤, 正确做法是先停止加热, 待冷却至室温后再补加沸石, 故 B 错误;

C. 轻微烫伤后, 立即用流动冷水冲洗或冷敷 10-15 分钟, 可降低皮肤温度、减轻组织损伤, 随后涂烫伤药膏, 故 C 正确;

D. 焰色试验要求铂丝清洁无残留, 稀硫酸洗涤后, 灼烧可能残留硫酸盐, 干扰焰色, 正确方法是用稀盐酸洗涤并灼烧, 因盐酸易挥发, 不残留杂质, 故 D 错误;

故答案为 C。

2. (2025 青岛二模, 2) 下列实验操作或处理方法错误的是

- A. 蒸馏操作过程中, 发现忘加沸石, 立即停止加热, 待冷却后再加入
- B. 海带提碘实验的萃取操作中, 振荡过程中放气
- C. 配银氨溶液时向 AgNO_3 溶液中加入氨水至沉淀消失, 继续加过量氨水
- D. 未用完的钠、钾、白磷等药品放回原试剂瓶

【答案】C

【解析】

【详解】A. 蒸馏操作过程中, 发现忘加沸石, 立即停止加热, 待冷却后再加入, 以确保安全, A 正确;

B. 海带提碘实验的萃取操作中, 振荡过程中放气, 防止分液漏斗内气压过大导致液体喷出或分液漏斗炸裂, B 正确;

C. 配制银氨溶液的正确操作是向 AgNO_3 溶液中逐滴加入稀氨水, 直至最初产生的沉淀恰好溶解为止。此时银氨溶液已配制完成, 无需继续加入过量氨水, C 错误;

D. 钠易与空气中的氧气和水蒸气反应、白磷在空气中能自燃, 为防止发生意外事故, 未用完的钠、钾、白磷等药品放回原试剂瓶以确保安全, 但一般剩余的药品不能放回原试剂瓶, D 正确;

故选 C。

3. (2025 济南二模, 2) 下列实验室事故处理方法错误的是

- A. 金属钠着火, 迅速用灭火毯覆盖灭火
- B. 苯酚沾到皮肤上, 可用碳酸氢钠溶液清洗
- C. 倾洒的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 试剂可用 Na_2S 处理, 沉淀物集中收集后再处理
- D. 划伤后应先用药棉清理干净伤口, 然后用双氧水或碘伏擦洗, 创可贴外敷

【答案】B

【解析】

【详解】A. 金属钠着火时, 用灭火毯覆盖可隔绝氧气, 有效灭火。钠能与水和二氧化碳反应, 故不可用水或二氧化碳灭火器, A 正确;

B. 苯酚具有腐蚀性, 沾到皮肤后应先立即用大量清水冲洗, 或先用酒精溶解苯酚再冲洗。碳酸氢钠与苯酚不反应, 直接使用碳酸氢钠溶液清洗未先冲洗或溶解苯酚, 无法彻底去除腐蚀物, B 错误;

C. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 为重金属盐, 有毒。 Na_2S 可将其转化为难溶的 PbS 沉淀, 减少污染, 沉淀后集中处理, C 正确;

D. 划伤后清理伤口、消毒(双氧水或碘伏)、包扎的步骤符合实验室急救规范, D 正确;

故选 B。

4. (2025 滨州二模, 3) 下列有关实验安全及操作规范的说法正确的是

- A. 滴定实验时, 滴定管的尖嘴可以接触锥形瓶内壁
- B. 若不慎将浓硫酸溅到皮肤上, 可立即用 3~5% 的 NaHCO_3 溶液冲洗
- C. 开启盛装易挥发液体的试剂瓶前, 需充分振荡
- D. 用水处理废弃药品中含有的少量金属钠

【答案】A

【解析】

【详解】A. 滴定实验时, 滴定管的尖嘴可以接触锥形瓶内壁, 这样可以使液体顺利流入锥形瓶, 同时也避免液体溅出, A 正确;

B. 应先用干布擦拭, 再用大量的水冲洗, 最后用 3~5% 的 NaHCO_3 溶液冲洗, B 错误;

C. 开启盛装易挥发液体的试剂瓶前, 充分振荡, 会导致试剂瓶内压强增大, 开启时容易造成液体喷出, C 错误;

D. 钠与水会剧烈反应产生氢气, 同时放出大量的热, 可能引发爆炸, D 错误;

故答案选 A。

5. (2025 聊城二模, 4) 下列关于实验室安全和试剂保存的叙述错误的是

- A. 做钾与水反应的实验时, 应佩戴护目镜
- B. 苯酚沾到皮肤上, 依次用乙醇、水冲洗
- C. 液溴保存时, 常加少量水进行液封
- D. 蒸馏液体时出现暴沸, 停止加热并立即补加沸石

【答案】D

【解析】

【详解】A. 钾与水反应剧烈，做钾与水反应的实验时，应佩戴护目镜，故 A 正确；

B. 苯酚易溶于酒精，常温下在水中的溶解度小，苯酚沾到皮肤上，依次用乙醇、水冲洗，故 B 正确；

C. 溴易挥发，溴在水中溶解度不大，液溴保存时，常加少量水进行液封，故 C 正确；

D. 蒸馏液体时出现暴沸，停止加热，冷却后补加沸石，故 D 错误；

选 D。

6. (2025 烟台德州二模，4) 实验室中为完成以下实验，除蒸馏水外，选用的试剂和依次加入顺序均正确的是

A. 制备乙酸乙酯：浓硫酸、乙醇、乙酸

B. 侯氏制碱法制备纯碱：饱和食盐水、 NH_3 、 CO_2

C. 验证溴乙烷中存在溴元素： NaOH 溶液、 AgNO_3 溶液

D. 粗盐提纯： Na_2CO_3 溶液、 BaCl_2 溶液、 NaOH 溶液、盐酸

【答案】B

【解析】

【详解】A. 浓硫酸的浓度大于乙醇的密度，混合时，相当于稀释浓硫酸，出于安全角度，先加乙醇，再加浓硫酸，最后加冰醋酸，A 不符合题意；

B. 氨气极易溶于水，侯氏制碱法制备纯碱时，饱和食盐水中先通入氨气到饱和使溶液呈碱性，再通入过量的二氧化碳，可析出碳酸氢钠晶体，B 符合题意；

C. 利用卤代烃在氢氧化钠水溶液中水解产生卤素离子，加稀硝酸中和到酸性后再滴入硝酸银溶液，根据沉淀的颜色检验卤素离子，验证溴乙烷中存在溴元素： NaOH 溶液、硝酸、 AgNO_3 溶液，C 不符合题意；

D. 用化学沉淀法去除粗盐中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、和硫酸根，所选试剂分别是碳酸钠溶液，氢氧化钠溶液和氯化钡溶液。 Na_2CO_3 溶液在 BaCl_2 溶液之后加入，其作用除了除去 Ca^{2+} 外，还要除去过量的 Ba^{2+} ，过滤后滤液中含有多余的氢氧化钠和碳酸钠，故滤液中需加入盐酸，调节溶液的 pH 等于 7，D 不符合题意；

故选 B。

7. (2025 济宁二模，5) 下列实验操作或处理方法错误的是

A. 通过 CuSO_4 溶液可除去 C_2H_2 中的 H_2S 杂质

B. 用浓氨水溶解试管内壁上的氯化银固体

C. 实验室取用少量白磷时，可在水中用小刀进行切割

D. 用过滤法分离苯和三溴苯酚的混合物

【答案】D

【解析】

【详解】A. CuSO_4 溶液可与 H_2S 反应生成 CuS 沉淀, $\text{H}_2\text{S} + \text{CuSO}_4 = \text{CuS}\downarrow + \text{H}_2\text{SO}_4$, 而乙炔 (C_2H_2) 不与 CuSO_4 溶液反应, 可用此方法除去 H_2S 杂质, A 正确;

B. 浓氨水能与 AgCl 反应生成可溶的 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 配离子, $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 = [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^-$, 即可以用浓氨水溶解试管内壁上的氯化银固体, B 正确;

C. 白磷在空气中易自燃, 在水中能隔绝氧气, 因此在水中切割可防止白磷燃烧, C 正确;

D. 苯是有机溶剂, 三溴苯酚易溶于苯中, 无法通过过滤分离, D 错误;

故选 D。

二、实验装置题

1. (2025 济南二模, 4) 下列仪器和操作不能达到实验目的的是

冷水 铁粉和 I_2 的混合物	$0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液 沿烧杯壁向上层清液继续滴加 1-2 滴
A. 分离铁粉和 I_2	B. 检验 Ag^+ 是否沉淀完全
标准液 洗瓶 蒸馏水 样品溶液	5 滴稀硫酸 5 mL 20% 蔗糖溶液 10% NaOH 溶液 调到碱性 银氨溶液 热水
C. 滴定终点前用洗瓶冲洗锥形瓶内壁减小误差	D. 检验蔗糖水解产物是否有还原性

【答案】A

【解析】

【详解】A. 加热铁粉和 I_2 的混合物时, 二者会发生反应生成 FeI_2 , 不能达到实验目的, A 符合题意;

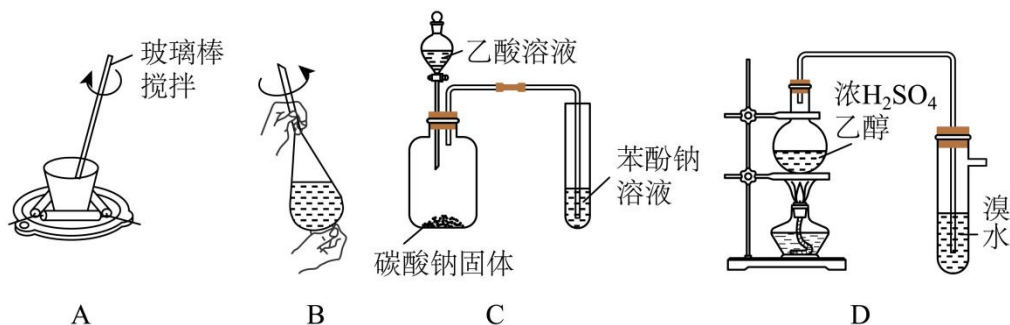
B. 在 AgCl 饱和溶液中, 沿烧杯壁向上层清液继续滴加 1~2 滴 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液, 若有浑浊出现, 则表明 Ag^+ 没有沉淀完全, 否则沉淀完全, B 不符合题意;

C. 中和滴定达终点前, 将滴定管的尖端接触锥形瓶内壁, 此时有半滴标准液流入锥形瓶, 用洗瓶冲洗锥形瓶内壁, 使标准液流入锥形瓶内与待测液反应, 从而减小误差, C 不符合题意;

D. 将 5 滴稀硫酸加入 5 mL 20% 蔗糖溶液, 催化蔗糖水解, 加入 10% NaOH 溶液调至碱性, 以排除硫酸对实验的干扰, 再加入银氨溶液加热, 观察是否有银镜生成, 从而检验蔗糖水解产物(葡萄糖)是否有还原性, D 不符合题意;

故选 A。

2. (2025 潍坊二模, 4) 下列操作或装置能达到实验目的的是



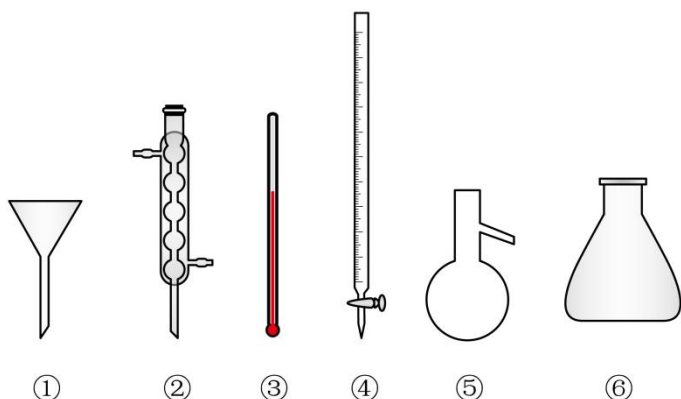
- A. 测定硫酸铜晶体中结晶水含量, 灼烧、冷却
B. 萃取分液时, 振荡和放气
C. 验证酸性: 乙酸>碳酸>苯酚
D. 实验室制备并检验乙烯

【答案】B

【解析】

- 【详解】A. 测定硫酸铜晶体中结晶水含量, 在坩埚中灼烧后放入干燥器中冷却, 故 A 错误;
B. 萃取操作时, 振荡过程中通过打开分液漏斗下方的旋塞从下口放气, 故 B 正确;
C. 乙酸具有挥发性, 生成的二氧化碳中含有乙酸, 乙酸也能和苯酚钠溶液反应生成苯酚, 而影响碳酸和苯酚钠的反应, 故 C 错误;
D. 乙醇在浓硫酸作催化剂并且加热到 170°C 时反应消去反应, 期间出现碳化现象、碳和浓硫酸反应产生的杂质气体二氧化硫通入溴水也会褪色, 故 D 错误;
故答案为 B。

3. (2025 日照二模, 4) 下列玻璃仪器在相应实验中选用的合理的是



- A. 乙醇制备乙烯: ③⑤
B. 反萃取法提取碘单质: ②④⑤⑥
C. 提纯混有泥沙的苯甲酸: ①②③
D. 分离二氯甲烷和四氯化碳: ②③⑤⑥

【答案】A

【解析】

【详解】A. 浓硫酸作用下乙醇在 170°C 条件下发生消去反应生成乙烯和水, 则乙醇制备乙烯时需要用到蒸馏烧瓶

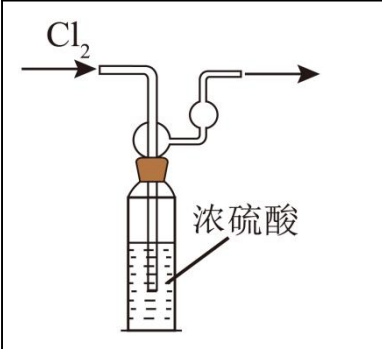
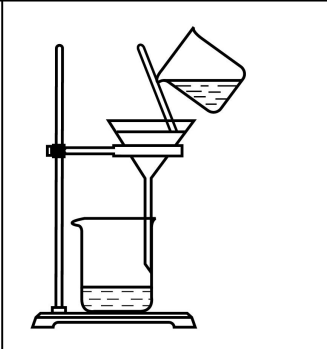
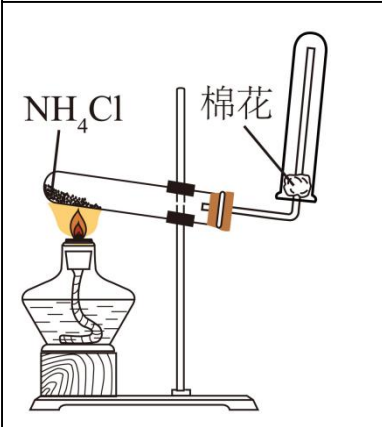
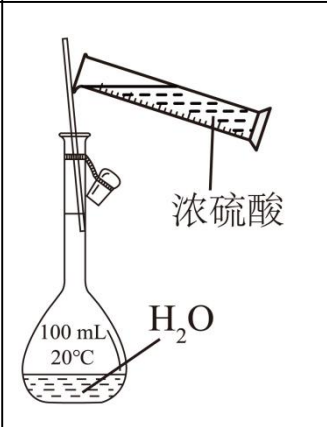
组装气体发生装置、温度计控制反应温度，故 A 合理；

B. 反萃取法提取碘单质时，不需要用到球形冷凝管②、酸式滴定管④、蒸馏烧瓶⑤，故 B 不合理；

C. 提纯混有泥沙的苯甲酸时，不需要用到球形冷凝管②、温度计③，故 C 不合理；

D. 分离二氯甲烷和四氯化碳的方法为蒸馏，蒸馏需要用到直形冷凝管，不需要用到球形冷凝管②，故 D 不合理；
故选 A。

4. （2025 临沂二模，5）下列实验所选择的装置或仪器正确的是

	
A. 干燥氯气	B. 除去乙醇中的苯酚
	
C. 实验室制备氨气	D. 配制稀硫酸

【答案】A

【解析】

【详解】A. 浓硫酸具有吸水性，浓硫酸可以干燥氯气，故 A 正确；

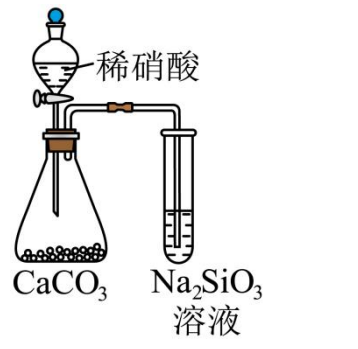
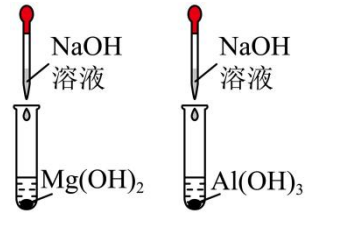
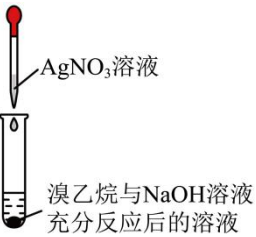
B. 苯酚易溶于乙醇，不能用过滤法除乙醇中的苯酚，故 B 错误；

C. 实验室用加热氯化铵和氢氧化钙的混合物制备氨气，故 C 错误；

D. 配制稀硫酸，硫酸应该在烧杯中稀释并冷却后再转移到容量瓶中，故 D 错误；

选 A。

5. （2025 菏泽二模，5）下列实验中，利用图中装置能达到实验目的的是

 稀硝酸 CaCO₃ Na₂SiO₃ 溶液	 NH₄Cl 固体 棉花
A. 非金属性: N > C > Si	B. 实验室制取氨气
 NaOH 溶液 Mg(OH)₂ NaOH 溶液 Al(OH)₃	 AgNO₃ 溶液 溴乙烷与NaOH溶液充分反应后的溶液
C. 金属性: Mg > Al	D. 检验溴乙烷中的溴元素

【答案】C

【解析】

【详解】A. 比较元素非金属性强弱, 可通过比较最高价氧化物对应水化物的酸性强弱来判断。装置中用硝酸与碳酸钙反应制取二氧化碳, 由于硝酸具有挥发性, 生成的二氧化碳中会混有硝酸, 硝酸会干扰二氧化碳与硅酸钠溶液的反应, 无法得出碳酸酸性强于硅酸, 也就不能得出非金属性 $N > C > Si$ 的结论, A 装置不能达到实验目的, A 错误;

B. 氯化铵受热分解生成氨气和氯化氢, 在试管口二者又会重新化合生成氯化铵, 不能用加热氯化铵的方法制取氨气, 实验室常用氯化铵和氢氧化钙固体混合加热制取氨气, B 装置不能达到实验目的, B 错误;

C. 氢氧化铝和氢氧化钠反应而溶解, 氢氧化镁不反应不能溶解, 两种氢氧化物均能与酸溶液反应, 说明氢氧化铝具有两性, 氢氧化镁碱性强于氢氧化铝, 可推断出金属性 $Mg > Al$, C 装置能达到实验目的, C 正确;

D. 溴乙烷在氢氧化钠水溶液中发生水解反应生成乙醇和溴化钠, 要检验溴离子, 需要先加入稀硝酸中和过量的氢氧化钠, 然后再加入硝酸银溶液, 若直接加入硝酸银溶液, 氢氧化钠会与硝酸银反应生成氢氧化银, 氢氧化银不稳定会分解为氧化银, 干扰溴离子的检验, D 装置不能达到实验目的, D 错误;

故答案选 C。

6. (2025 青岛二模, 6) 下列实验操作规范且能达到目的的是



- A. 甲：除去 CO_2 中的氯化氢
- B. 乙：配制溶液时的定容操作
- C. 丙：滴定前排出 KMnO_4 标准液的气泡
- D. 丁：验证石蜡分解产生了不饱和烃

【答案】D

【解析】

【详解】A. 二氧化碳通入饱和碳酸钠溶液生成碳酸氢钠，故 A 错误；

B. 定容操作应接近刻度线 1 到 2 厘米时再改用胶头滴管滴加，故 B 错误；

C. 高锰酸钾具有强氧化性，应使用酸式滴定管，故 C 错误；

D. 不饱和烃可被酸性高锰酸钾氧化，该装置可验证石蜡分解产生了不饱和烃，故 D 正确；

故答案为 D。

7. （2025 泰安二模，6）下列实验对应的装置或操作正确的是

A. 测定 NaHSO_3 溶液的 pH	B. 证明 Na_2O_2 与水反应放热
C. 证明氧化性： $\text{Cl}_2 > \text{Br}_2 > \text{I}_2$	D. 验证乙烯具有还原性

【答案】B

【解析】

【详解】A. 测定溶液 pH 值，不能将 pH 试纸伸入到溶液内测量，应用玻璃棒蘸取溶液滴在 pH 试纸上，题给装置

无法达到实验目的，A 错误；

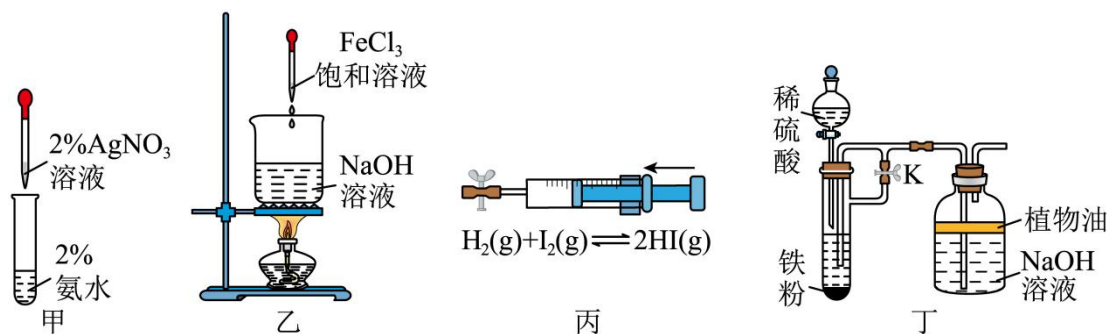
B. 向包有足量过氧化钠的脱脂棉中滴入 2 滴蒸馏水，脱脂棉可以燃烧，说明过氧化钠与水反应放热，题给装置能达到实验目的，B 正确；

C. 氯气与溴化钠溶液反应置换出溴，证明氧化性： $\text{Cl}_2 > \text{Br}_2$ ， Cl_2 优先使淀粉—KI 溶液变蓝，干扰溴和碘非金属性强弱的比较，则题给装置无法达到比较氯气、溴、碘非金属性强弱的实验目的，C 错误；

D. 浓硫酸具有脱水性，能使乙醇脱水成碳，碳和浓硫酸加热反应生成具有还原性的 SO_2 ，也能使溴水褪色，会干扰实验，且溴水与乙烯发生加成反应，也无法检验乙烯的还原性，D 错误；

故选 B。

8. (2025 烟台德州二模，6) 下列实验原理及装置均正确的是



A. 甲：配制银氨溶液

B. 乙：制备 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体

C. 丙：探究压强对平衡的影响

D. 丁：制备 $\text{Fe}(\text{OH})_2$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 配制银氨溶液时，应向硝酸银溶液中逐滴加入氨水，至最初产生的沉淀恰好溶解为止，A 错误；

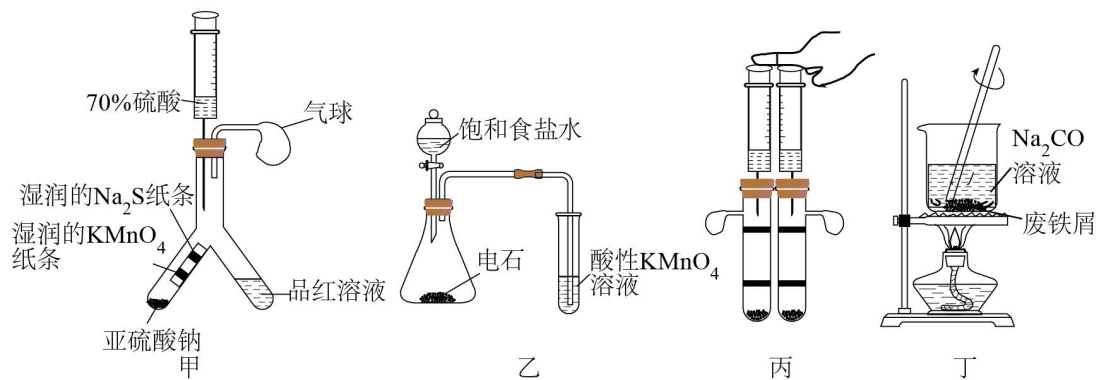
B. 制备 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体时，应将饱和氯化铁溶液滴入沸水中，继续煮沸至溶液呈红褐色，而不是滴入氢氧化钠溶液中，滴入氢氧化钠溶液会生成氢氧化铁沉淀，B 错误；

C. 氢气与碘蒸气反应前后气体分子数不变，压强对平衡无影响，故不能探究压强对平衡移动的影响，C 错误；

D. 制备 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 时，先打开止水夹 K，利用铁与稀硫酸反应生成的氢气排尽装置内的空气，然后关闭止水夹 K，装置内压强增大，将硫酸亚铁溶液压入氢氧化钠溶液中，从而制得氢氧化亚铁，且植物油能隔绝空气，防止氢氧化亚铁被氧化，D 正确；

故选 D。

9. (2025 日照二模，6) 下列实验装置不能达到实验目的的是



- A. 图甲制备二氧化硫气体并验证其性质
- B. 图乙制备并检验乙炔的生成
- C. 图丙比较 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 与稀盐酸反应快慢
- D. 图丁除去废铁屑表面的油污

【答案】B

【解析】

【详解】A. 由实验装置图可知，装置甲中 70%硫酸与亚硫酸钠反应能生成二氧化硫，润湿的高锰酸钾纸条、润湿的硫化钠纸条、品红溶液可以验证二氧化硫的还原性、氧化性、漂白性，则图甲装置能达到制备二氧化硫气体并验证其性质的实验目的，故 A 不符合题意；

B. 电石中混有的硫化钙等杂质能与水反应生成能使酸性高锰酸钾溶液褪色的硫化氢气体，则图乙装置不能达到检验乙炔生成的实验目的，故 B 符合题意；

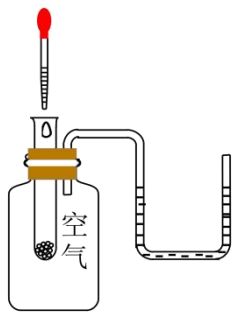
C. 碳酸钠与盐酸反应生成氯化钠、二氧化碳和水，碳酸氢钠也能与盐酸反应生成氯化钠、二氧化碳和水，依据装置中气球的大小变化快慢可以比较两者与稀盐酸反应快慢，则图丙装置能达到比较碳酸钠、碳酸氢钠与稀盐酸反应快慢的实验目的，故 C 不符合题意；

D. 碳酸钠是强碱弱酸盐，在溶液中发生水解反应使溶液呈碱性，该反应是吸热反应，升高温度，溶液中氢氧根离子浓度增大，去除油污的能力增强，则图丁装置能达到除去废铁屑表面的油污的实验目的，故 D 不符合题意；

故选 B。

10. (2025 济宁二模, 6) 下列实验装置和操作不能达到实验目的的是

A. 验证淀粉是否完全水解	B. 制备少量干燥的 HCl 气体

	6滴0.1mol/L 醋酸 ↓ 2mL0.1mol/L NaHCO₃溶液
C. 实验开始后, U 形管液面左高右低, 证明该过程吸热	D. 比较相同温度下醋酸与碳酸的 K_a 大小

【答案】A

【解析】

【详解】A. 验证淀粉是否完全水解时, 向淀粉溶液中加入氢氧化钠溶液发生水解, 加入的氢氧化钠溶液过量, 直接加入碘水, NaOH 能与 I_2 反应, 不能验证是否还有剩余的淀粉, A 错误;

B. 浓硫酸具有吸水性, 可以与浓盐酸制备少量干燥的 HCl 气体, B 正确;

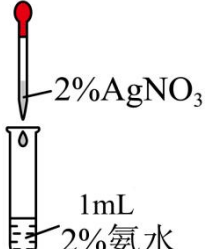
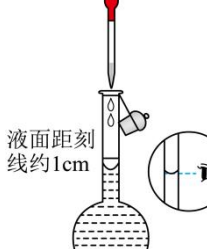
C. 若试管内发生吸热反应, 吸收的热量使集气瓶内空气的压强减小, 从而使 U 形管的液面左高右低, 该实验现象能充分说明相应的化学反应是吸热反应, C 正确;

D. 向 2mL 0.1mol/L 的 NaHCO₃ 溶液中滴加 6 滴等浓度的醋酸溶液, 若有气体产生, 说明生成了 CO₂, 根据强酸制弱酸的原理, 可以判断酸性: $CH_3COOH > H_2CO_3$, 相同温度下醋酸与碳酸的 K_a 大小: $K_a(CH_3COOH) > K_a(H_2CO_3)$,

D 正确;

故选 A。

11. (2025 聊城二模, 7) 下列图示实验中, 操作规范的是

	
A. 熔化纯碱	B. 萃取振荡时放气
	
C. 制备银氨溶液	D. 配制溶液

【答案】D

【解析】

【详解】A. 熔化纯碱不能用瓷坩埚（碳酸钠高温下与二氧化硅反应），一般用铁坩埚熔化纯碱，故 A 错误；

B. 萃取振荡时，从分液漏斗下端管口放气，如图所示



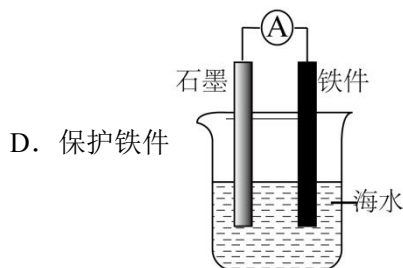
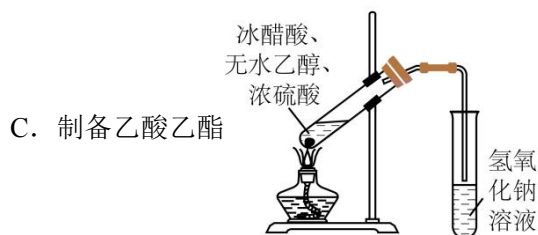
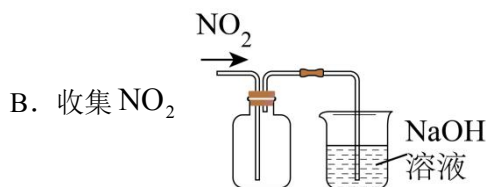
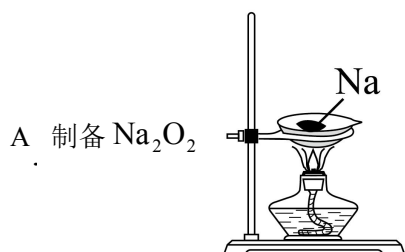
，故 B 错误；

C. 制备银氨溶液时，向硝酸银溶液中滴加氨水至沉淀恰好完全溶解，故 C 错误；

D. 配制溶液时的定容操作，当液面离刻度线 1~2cm 时改用胶头滴管逐滴加水至凹液面最低处与刻度线相切（平视），故 D 正确；

选 D。

12. （2025 滨州二模，7）下列装置能达到实验目的的是



【答案】B

【解析】

【详解】A. 固体 Na 燃烧制备 Na_2O_2 ，应该在坩埚中进行，故不选 A；

B. 二氧化氮密度比空气大，能与水反应，用向上排空气法收集 NO_2 ，用氢氧化钠溶液吸收尾气，防止污染，故选 B；

C. 制备乙酸乙酯时，收集乙酸乙酯应该用饱和碳酸钠溶液，故不选 C；

D. 用牺牲阳极的阴极保护法保护铁件，铁件应该与活泼性大于铁的金属相连，铁作正极，故不选 D；

选 B。

三、实验表格题

1. （2025 泰安二模，9）下列事实对应的解释、性质或用途错误的是

选项	事实	解释、性质或用途

A	向苯和甲苯中分别滴加少量酸性 KMnO_4 溶液，振荡后，前者紫红色不变，后者紫红色褪去	甲基使苯环活化
B	室温下，将 50mL CH_3COOH 与 50mL 苯混合，混合溶液体积为 101mL	混合过程中削弱了 CH_3COOH 分子间的氢键，且苯与 CH_3COOH 分子间作用力弱于氢键
C	冠醚可适配不同大小的碱金属离子	冠醚可以做相转移催化剂
D	元素 X 气态基态原子的逐级电离能 ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) 分别为 738、1451、7733、10540、13630、17995、21703	当它与氯气反应时可能生成的阳离子是 X^{2+}

【答案】A

【解析】

【详解】A. 甲苯使酸性高锰酸钾溶液褪色，甲苯被氧化为苯甲酸，说明苯环使甲基活化，A 符合题意；

B. 苯与 CH_3COOH 分子间作用力弱于氢键，两者混合后分子间距离增大，B 不符合题意；

C. 冠醚有不同大小的空穴，可适配不同的碱金属离子，因此冠醚可以做相转移催化剂，C 不符合题意；

D. 由数据可知， I_2 到 I_3 发生“突变”，则其最外层有 2 个电子，当它与氯气反应时可能生成的阳离子是 X^{2+} ，D 不符合题意；

故选 A。

2. （2025 菏泽二模，10）根据下列实验操作及现象，相应实验结论正确的是

选项	实验操作及现象	实验结论
A	取少量待测溶液，滴加 NaOH 溶液，将湿润的红色石蕊试纸置于试管口，试纸未变蓝	待测液中不含有 NH_4^+
B	向淀粉溶液中滴加少量稀硫酸，微热一段时间后冷却，滴加碘水后溶液变蓝	淀粉未发生水解
C	室温下，用 pH 计分别测定 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液的 pH，其 pH 均为 7	两溶液中水的电离程度相同
D	向盛有少量蒸馏水的试管里滴加两滴 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液，然后再滴加两滴的硫氰化钾溶液，振荡，无明显现象	与 Fe^{3+} 的配位能力：

		$\text{CN}^- > \text{SCN}^-$
--	--	------------------------------

【答案】D

【解析】

【详解】A. 若待测液中含有 NH_4^+ ，滴加 NaOH 溶液，若不加热，生成的 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 不一定分解产生 NH_3 ，湿润的红色石蕊试纸不会变蓝，所以不能得出待测液中不含有 NH_4^+ 的结论，A 错误；

B. 向淀粉溶液中滴加少量稀硫酸，微热一段时间后冷却，滴加碘水后溶液变蓝，只能说明溶液中还有淀粉剩余，但不能说明淀粉未发生水解，也可能是部分水解，B 错误；

C. $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液中 CH_3COO^- 和 NH_4^+ 都能水解，且水解程度相同，溶液呈中性。但 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液中离子浓度不同，对水的电离促进程度不同，水的电离程度不一样，C 错误；

D. 向盛有少量蒸馏水的试管里滴加两滴 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液，然后再滴加两滴的硫氰化钾溶液，振荡，无明显现象，说明 Fe^{3+} 更倾向于与 CN^- 配位，即与 Fe^{3+} 的配位能力： $\text{CN}^- > \text{SCN}^-$ ，D 正确；

故选 D。

3. （2025 潍坊二模，11）（不定项）下列实验操作、现象及结论均正确的是

选项	操作	现象	结论
A	向沸水中逐滴加入 5~6 滴 FeCl_3 饱和溶液，搅拌煮沸	液体呈透明红褐色	所得液体为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体
B	向脱脂棉中加入几滴 90% 硫酸，小火加热，使脱脂棉完全水解，再加入 NaOH 溶液调节至碱性，加入新制氢氧化铜悬浊液，加热煮沸	出现砖红色沉淀	纤维素水解生成葡萄糖
C	向碘的 CCl_4 溶液中加入等体积浓 KI 溶液，振荡、静置	溶液分层，下层由紫红色变为浅粉红色，上层呈棕黄色	碘在浓 KI 溶液中的溶解能力大于在 CCl_4 中的溶解能力
D	用 pH 计测量等浓度的 2-氯丙酸和 2-氟丙酸的 pH 分别为 pH_1 和 pH_2	$\text{pH}_1 > \text{pH}_2$	2-氯丙酸中 O—H 键的极性大于 2-氟丙酸中 O—H 键的极性

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 向沸水中逐滴加入 5~6 滴 FeCl_3 饱和溶液，加热至溶液呈红褐色，停止加热，不能搅拌，A 错误；

B. 向脱脂棉中加入几滴 90%硫酸，小火加热，再加入 NaOH 溶液调节至碱性，加入新制氢氧化铜悬浊液，加热煮沸，出现砖红色沉淀，说明含有醛基，则说明纤维素水解生成葡萄糖，B 正确；

C. 往碘的 CCl_4 溶液中加入相同体积的浓 KI 溶液，振荡，静置，溶液分层，下层由紫红色变为浅粉红色，上层呈棕黄色，说明碘的四氯化碳溶液中的部分碘转移到水层，碘单质与浓碘化钾溶液中的碘离子反应生成 I_3^- 使上层溶液呈棕黄色，说明碘在浓 KI 溶液中的溶解能力大于在 CCl_4 中的溶解能力，C 正确；

D. 用 pH 计分别测定等浓度的 2-氯丙酸和 2-氟丙酸的 pH 分别为 pH_1 和 pH_2 ，且 $\text{pH}_1 > \text{pH}_2$ ，说明酸性：2-氟丙酸 > 2-氯丙酸，因电负性：F > Cl，使 F-C 的极性大于 Cl-C 的极性，导致 2-氟丙酸中 O-H 键的极性大于 2-氯丙酸中 O-H 键的极性，更容易电离出氢离子，D 错误；

故选 BC。

4. （2025 日照二模，11）（不定项）下列实验操作、现象均正确，且能得到相应实验结论的是

	实验操作	实验现象	实验结论
A	室温下用 pH 计测定 HCOONH_4 溶液的 pH	溶液 $\text{pH} < 7$	$K_a(\text{HCOOH}) > K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$
B	向某钠盐粉末上滴加浓盐酸，将产生的气体通入品红溶液	溶液褪色	该钠盐为 Na_2SO_3 或 NaHSO_3
C	将 2-溴丙烷与氢氧化钠的乙醇溶液共热，再向其中加入少量溴水	溴水褪色	2-溴丙烷发生消去反应
D	向盛有 4 mL $0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 酸性高锰酸钾溶液的两支试管中分别加入 2 mL $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 2 mL $0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 草酸溶液	加入 $0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 草酸溶液的试管中溶液紫色消失更快	其他条件相同，提高反应物浓度，可以加快反应速率

【答案】AD

【解析】

【详解】A. HCOO^- 水解为碱性， NH_4^+ 水解为酸性，若室温下测 HCOONH_4 的 $\text{pH} < 7$ ，则 NH_4^+ 水解程度大于 HCOO^- 水解程度， $K_a(\text{HCOOH}) > K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$ ，故 A 正确；

B. 向某钠盐化合物粉末上滴加浓盐酸，将产生的气体通入品红溶液，品红溶液褪色，放出的气体可能是氯气，所以该钠盐也可能是次氯酸钠、氯酸钠等盐，故 B 错误；

C. 将 2-溴丙烷与氢氧化钠的乙醇溶液共热，再向其中加入少量溴水，过量 NaOH 能与溴水反应，使溴水褪色，不能说明 2-溴丙烷发生消去反应，故 C 错误；

D. 向酸性高锰酸钾溶液中加入过量草酸，其他条件不变，增加草酸浓度，反应速率增加，加入 $0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 草酸溶

液的试管中溶液紫色消失更快，故 D 正确；

故答案为 AD。

5. （2025 临沂二模，11）（不定项）下列根据实验操作和现象得出的结论正确的是

选项	实验操作和现象	结论
A	淀粉-KI 试纸遇 $\text{FeCl}_3 - \text{NH}_4\text{HF}_2$ 的混合液不变色	$[\text{FeF}_6]^{3-}$ 配离子氧化能力较弱
B	将 CH_3OH 和酸性高锰酸钾溶液混合，溶液褪色	CH_3OH 被酸性高锰酸钾溶液氧化为 HCOOH
C	向 K_2CrO_4 溶液中缓慢滴加硫酸，溶液由黄色变为橙红色	增大 H^+ 浓度，平衡向生成 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的方向移动
D	向 Na_2HPO_4 溶液中滴加 AgNO_3 溶液，出现黄色沉淀 Ag_3PO_4	Na_2HPO_4 发生了水解反应

【答案】AC

【解析】

【详解】A. $\text{FeCl}_3 - \text{NH}_4\text{HF}_2$ 混合会生成 $[\text{FeF}_6]^{3-}$ ，淀粉-KI 试纸遇 $\text{FeCl}_3 - \text{NH}_4\text{HF}_2$ 的混合液不变色，说明 KI 不能被 $[\text{FeF}_6]^{3-}$ 氧化为 I_2 ，则 $[\text{FeF}_6]^{3-}$ 配离子氧化能力弱，故 A 正确；

B. 将 CH_3OH 和酸性高锰酸钾溶液混合，溶液褪色，说明甲醇被氧化，但是不一定被氧化为甲酸，因为甲酸含醛基能进一步被酸性高锰酸钾氧化，理论上氧化产物为，故 B 错误；

C. K_2CrO_4 中存在平衡 $2\text{CrO}_4^{2-}(\text{黄色}) + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{橙红色}) + \text{H}_2\text{O}$ ，缓慢滴加硫酸， H^+ 浓度增大，平衡正向移动，故溶液黄色变成橙红色，故 C 正确；

D. 向磷酸氢钠溶液中滴加硝酸银溶液，出现黄色沉淀(Ag_3PO_4)，说明 Na_2HPO_4 发生了电离而不是水解，故 D 错误；故选 AC。

6. （2025 济宁二模，11）（不定项）由下列实验事实或现象不能得出相应结论的是

	事实或现象	结论
A	将 $1\text{mL} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$ 溶液与 $2\text{mL} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KI}$ 溶液混合，充分反应后，滴加 KSCN 溶液，混合	FeCl_3 与 KI 的反应为可逆反应

	溶液变红	
B	将 $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 和 NH_4Cl 固体混合并用玻璃棒快速搅拌，有刺激性气味的气体产生，并伴随降温	该反应能发生的主要原因是熵增
C	分别测浓度均为 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 和 NaHCO_3 溶液的 pH，后者大于前者	$K_h(\text{CH}_3\text{COO}^-) < K_h(\text{HCO}_3^-)$
D	取 4mL 乙醇，加入 12mL 浓硫酸、少量沸石，迅速升温至 170°C ，将产生的气体通入 2mL 溴水中，溴水褪色	实验中有乙烯生成

【答案】CD

【解析】

【详解】A. 将 $1\text{mL} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$ 溶液与 $2\text{mL} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KI}$ 溶液混合，发生反应 $2\text{FeCl}_3 + 2\text{KI} = 2\text{FeCl}_2 + 2\text{KCl} + \text{I}_2$ ，KI 过量，充分反应后，滴加几滴 KSCN 溶液，溶液变红，说明还存在 Fe^{3+} ，故 Fe^{3+} 与 I⁻ 的反应为可逆反应，A 正确；

B. 烧杯壁变凉，说明该反应常温下能自发，且为吸热反应，当 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 时反应自发，该反应 $\Delta H > 0$ ，若满足此条件，则 $\Delta S > 0$ ，B 正确；

C. $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 中醋酸根离子和铵根离子都水解， NaHCO_3 只有碳酸氢根离子水解，不能通过 pH 值比较阴离子的水解程度，C 错误；

D. 取 4mL 乙醇，加入 12mL 浓硫酸及少量沸石，迅速升温至 170°C ，产生的乙烯气体中可能含有二氧化硫，乙烯、二氧化硫都能使溴水褪色，将产生的气体通入 2mL 溴水中，溴水褪色，不能说明乙醇消去反应的产物为乙烯，D 错误；

故选 CD。

7. (2025 烟台德州二模，11) (不定项) 下列对实验现象给出的解释或结论正确的是

	实验操作及现象	解释或结论
A	将 SO_2 通入 FeCl_3 溶液中，溶液先变为红棕色，一段时间后又变成浅绿色 $\{[\text{Fe}(\text{SO}_2)_6]^{3+}$ 为红棕色}	体系中的配位反应比氧化还原反应的活化能小，但氧化还原反应的平衡常数更大
B	将 BaSO_4 固体放在饱和 Na_2CO_3 溶液中浸泡，过	$K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4) > K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)$

	滤、洗涤、干燥后称重，所得固体质量减小	
C	用 pH 试纸分别测定相同浓度的 NaHCO_3 溶液和 NaHSO_3 溶液的 pH，试纸颜色前者比后者深	非金属性： $\text{S} > \text{C}$
D	将 NaOH 、无水乙醇、1-溴丁烷和碎瓷片混合加热，并将产生的气体直接通入溴水中，溴水褪色	1-溴丁烷发生了消去反应

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 将 SO_2 通入 FeCl_3 溶液中，溶液先变为红棕色，是因为发生了配位反应 $\text{Fe}^{3+} + 6\text{SO}_2 = [\text{Fe}(\text{SO}_2)_6]^{3+}$ ，此配位反应能较快发生，说明其活化能小，一段时间后又变成浅绿色，是因为发生了氧化还原反应 $2\text{Fe}^{3+} + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ ，最终溶液以氧化还原反应的产物为主，说明氧化还原反应的平衡常数更大，A 正确；

B. 将 BaSO_4 固体放在饱和 Na_2CO_3 溶液中浸泡，会发生沉淀转化 $\text{BaSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{BaCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ，虽然 $K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4) < K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)$ ，但只要 CO_3^{2-} 足够大，就可使上述沉淀转化反应正向进行，使部分 $\text{BaSO}_4(\text{s})$ 转化为 $\text{BaCO}_3(\text{s})$ ，称重后固体质量应增大而不是减小，且不能根据此实验比较 $K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)$ 与 $K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)$ 大小，B 错误；

C. 用 pH 试纸分别测定相同浓度的 NaHCO_3 溶液和 NaHSO_3 溶液的 pH，试纸颜色前者比后者深，说明 NaHCO_3 溶液碱性更强，即 HCO_3^- 的水解程度大于 HSO_3^- ，但比较元素非金属性强弱，应比较其最高价氧化物对应水化物的酸性强弱， H_2SO_3 不是 S 的最高价含氧酸，不能据此得出非金属性 $\text{S} > \text{C}$ ，C 错误；

D. 将 NaOH 、无水乙醇、1-溴丁烷和碎瓷片混合加热，发生反应

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br} + \text{NaOH} \xrightarrow[\Delta]{\text{无水乙醇}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2 \uparrow + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{O}$ ，这是 1-溴丁烷的消去反应，产生的 1-丁烯能使溴水褪色（发生加成反应），所以溴水褪色能证明 1-溴丁烷发生了消去反应，D 正确；

故选 AD。

8. （2025 聊城二模，12）（不定项）下列实验操作对应的现象及结论均正确的是

选项	实验操作	现象	结论
A	向丙烯醛中滴加溴水	溴水褪色	丙烯醛中含碳碳双键
B	取少量 NaHCO_3 固体于试管中，加几滴水，振	温度计示数升高	NaHCO_3 固体溶解放热

	荡，将温度计插入试剂中		
C	向 CuSO_4 浓溶液中滴加浓 HCl 至过量	溶液由蓝色变为黄绿色	$[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ 转化为 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$
D	向盛有碘的 CCl_4 溶液的试管中加入等体积的浓 KI 溶液，振荡、静置分层	下层紫红色变浅，上层呈棕黄色	碘在浓 KI 溶液中的溶解度大于在 CCl_4 中的溶解度

【答案】CD

【解析】

【详解】A. 丙烯醛分子中，碳碳双键能与溴水发生加成反应，醛基能被溴水氧化，故根据实验现象无法得出结论，A 错误；

B. NaHCO_3 固体溶于水为吸热过程，B 错误；

C. CuSO_4 浓溶液呈蓝色是因为存在蓝色的 $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ ，加入浓盐酸后溶液颜色变为黄绿色，是因为生成了黄色的 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ ，两种颜色叠加呈现出黄绿色，C 正确；

D. 向 I_2 的 CCl_4 溶液中加入等体积浓 KI 溶液，振荡，静置，溶液分层，下层由紫红色变浅，上层呈棕黄色，说明 CCl_4 溶液中的 I_2 与 KI 溶液中 I^- 反应生成 I_3^- ，使上层溶液呈棕黄色，证明 I_2 在浓 KI 溶液中的溶解能力大于在 CCl_4 中的溶解能力，D 正确；

故答案选 CD。

9. (2025 泰安二模，14) (不定项) 依据下列实验操作和现象，得出的结论错误的是

选项	实验操作	现象	结论
A	向 $2\text{mL } 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{S}$ 溶液中滴加 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ZnSO}_4$ 溶液至不再有沉淀产生，再滴加几滴 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CuSO}_4$ 溶液	先产生白色沉淀，又出现黑色沉淀	$K_{\text{sp}}(\text{ZnS}) > K_{\text{sp}}(\text{CuS})$
B	向洁净的铁片上滴加几滴含有酚酞的氯化钠溶液	一段时间后，氯化钠溶液水滴的边缘显浅红	铁发生了吸氧腐蚀
C	灼烧铜丝使其表面变黑，伸入盛有某有机物的试管中	铜丝恢复亮红色	该有机物中有醇羟基
D	向等物质的量浓度的 KF 、 KSCN 混合溶液中滴加几滴 FeCl_3 溶液，振荡	溶液颜色无明显变化	证明结合 Fe^{3+} 的能力： $\text{F}^- > \text{SCN}^-$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 先有白色沉淀生成后变为黑色沉淀，说明 CuS 更难溶，其溶度积较小，即 $K_{\text{sp}}(\text{ZnS}) > K_{\text{sp}}(\text{CuS})$ ，A 正确；

B. 食盐水为中性，负极上 Fe 失去电子，正极上氧气得到电子生成氢氧根离子，一段时间后溶液边缘变红，可知 Fe 发生吸氧腐蚀，B 正确；

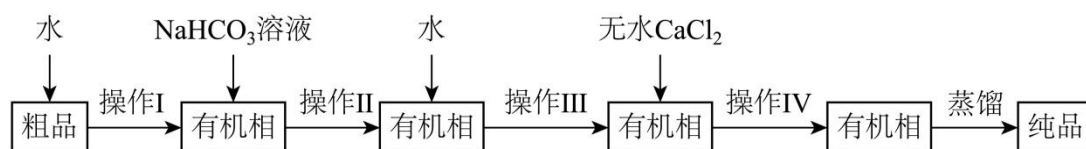
C. 灼烧铜丝使其表面变黑，伸入盛有某有机物的试管中铜丝恢复亮红色，该有机物中可能有醇羟基、与 CuO 发生反应恢复亮红色，也可能有羧基与氧化铜反应、余下红色的铜，C 错误；

D. Fe^{3+} 与 SCN^- 反应形成红色络合物，向等物质的量浓度的 KF 、 KSCN 混合溶液中滴加几滴 FeCl_3 溶液，振荡溶液颜色无明显变化，说明 Fe^{3+} 与 SCN^- 结合的能力更弱，故结合 Fe^{3+} 的能力： $\text{F}^- > \text{SCN}^-$ ，D 正确；

故答案为：C。

四、化学实验综合题

1. (2025 临沂二模，7) 利用 $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ 和浓盐酸反应制备 $(\text{CH}_3)_3\text{CCl}$ ，为提纯 $(\text{CH}_3)_3\text{CCl}$ 粗品，设计如图路线。



已知： CaCl_2 能与醇形成结晶状化合物。

下列说法正确的是

- A. 操作 I、II、III、IV 均相同
- B. 可用 NaOH 溶液代替 NaHCO_3 溶液
- C. 无水 CaCl_2 的作用只是干燥除水
- D. 可用红外光谱仪区分 $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ 和 $(\text{CH}_3)_3\text{CCl}$

【答案】D

【解析】

【分析】合成反应为 $(\text{CH}_3)_3\text{COH} + \text{HCl} \rightarrow (\text{CH}_3)_3\text{CCl} + \text{H}_2\text{O}$ ，粗品中为 $(\text{CH}_3)_3\text{CCl}$ 、 $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ 和 HCl 。操作 I 加水通过分液方法分离水相（含 HCl ）和有机相；操作 II 加入碳酸氢钠除去有机相中残留的 HCl ，然后通过分液去除水相；操作 III 加水进一步除去残留的碳酸氢钠，再分液；操作 IV 加无水 CaCl_2 除去有机相中的水以及 $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ ，然后通过过滤得到有机相；最后通过蒸馏分离 $(\text{CH}_3)_3\text{CCl}$ 和 $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ 得到纯品。

【详解】A. 操作 I、II、III 为分液，操作 IV 为过滤，故 A 错误；

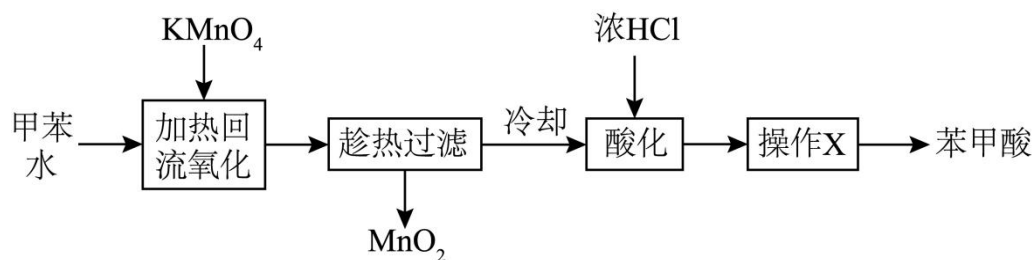
B. NaOH 可使 $(CH_3)_3CCl$ 水解, 不能用 NaOH 溶液代替 $NaHCO_3$ 溶液, 故 B 错误;

C. 根据已知信息, 无水 $CaCl_2$ 的作用干燥除水, 及除去残留的 $(CH_3)_3COH$, 故 C 错误;

D. $(CH_3)_3COH$ 和 $(CH_3)_3CCl$ 含有官能团不同, 可用红外光谱分辨, 故 D 正确;

故答案为 D。

2. (2025 日照二模, 8) 甲苯经高锰酸钾氧化生成苯甲酸钾, 再经酸化可得苯甲酸(微溶于冷水, 易溶于热水, $100^\circ C$ 左右升华), 实验制备流程如下:



下列说法错误的是

A. 在甲苯中加入合适的冠醚, 可以加快高锰酸钾氧化甲苯的速率

B. “加热回流氧化”过程中发生反应的化学方程式为: $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{KMnO}_4 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{COOK} + \text{MnO}_2 \downarrow$

C. 若“趁热过滤”所得滤液仍呈紫色, 可加少量 $NaHSO_3$ 溶液使紫色褪去, 重新过滤

D. “操作 X”包括过滤、洗涤、低温烘干、重结晶

【答案】B

【解析】

【分析】向甲苯和水中加入高锰酸钾加热回流氧化生成苯甲酸钾和二氧化锰, 趁热过滤分离两者, 再向冷却后的滤液中加浓盐酸酸化得到微溶于冷水的苯甲酸, 再经过滤、洗涤、低温烘干、重结晶得到苯甲酸。

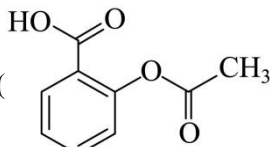
【详解】A. 在甲苯中加入合适的冠醚可与 K^+ 结合, 将 MnO_4^- 携带进入甲苯中, 使游离或裸露的 MnO_4^- 反应活性很高, 加快高锰酸钾氧化甲苯的速率, 故 A 正确;

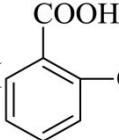
B. 化学方程式原子不守恒, 故 B 错误;

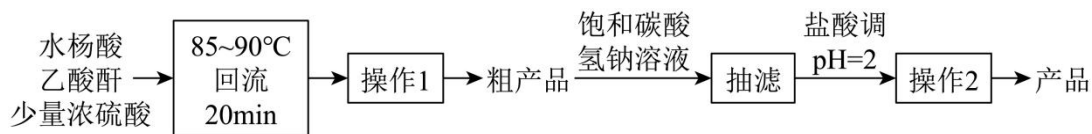
C. $KMnO_4$ 与 $NaHSO_3$ 反应生成二氧化锰、硫酸钠、硫酸钾和水, 通过过滤分离 MnO_2 和苯甲酸钾, 故 C 正确;

D. 由于苯甲酸微溶于冷水, 易溶于热水, $100^\circ C$ 左右升华, 故酸化后的苯甲酸固体经过过滤、洗涤、低温烘干、重结晶得到苯甲酸产品, 故 D 正确;

故答案为 B。

3. (2025 潍坊二模, 9) 乙酰水杨酸() 是白色晶体, 易溶于有机溶剂, 微溶于水, 在水中

溶解度随温度升高而增大；受热易分解。通过水杨酸()、乙酸酐 $[(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}]$ 合成及提纯过程如下：

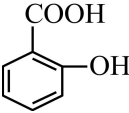
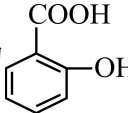
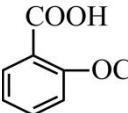


下列说法正确的是

- A. 浓硫酸的作用为催化剂、吸水剂
- B. 操作 1 和操作 2 均包含冷却结晶、过滤
- C. 饱和碳酸氢钠溶液可以用氢氧化钠溶液代替
- D. 盐酸的主要作用是除去碳酸氢钠

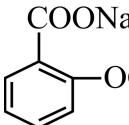
【答案】B

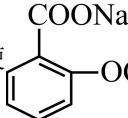
【解析】

【分析】 (水杨酸)和 $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$ (醋酸酐)发生取代反应生成乙酰水杨酸，方程式为 (水杨酸)+ $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$ (醋酸酐) $\xrightleftharpoons[\Delta]{\text{浓硫酸}}$  (乙酰水杨酸)+ CH_3COOH ，将产品倒入到冷水中，有利于乙酰水杨酸析出，过滤后将粗品加到饱和碳酸氢钠溶液中溶解，抽滤，向滤液中加入盐酸调 pH=2，反应生成乙酰水杨酸，冷却析出晶体，过滤得到乙酰水杨酸固体。

【详解】A. 根据分析可知，方程式中无水生成，只做催化剂，A 错误；

B. 根据分析可知，操作 1 和操作 2 均包含冷却结晶、过滤，B 正确；

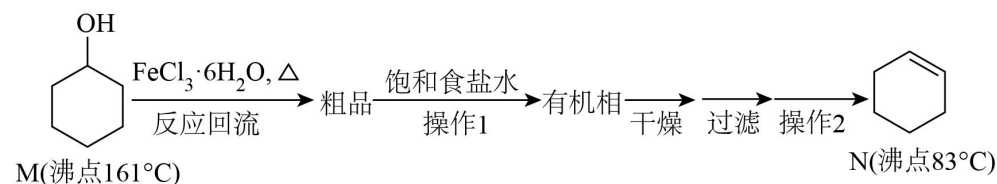
C. 饱和碳酸氢钠溶液的作用是生成可溶的乙酰水杨酸钠 ()，不可以用氢氧化钠溶液代替，会

使水解，C 错误；

D. 根据分析可知，盐酸的主要作用是生成乙酰水杨酸，D 错误；

故选 B。

4. (2025 青岛二模，9) 实验室制备并提纯环己烯的流程如图。下列说法正确的是



A. “操作 1”为萃取分液，有机相由分液漏斗的下口放出

- B. “操作 2”需用到球形冷凝管
- C. 根据能否使酸性高锰酸钾溶液褪色可鉴别 M 和 N
- D. 环己醇与浓硫酸也可通过消去反应制得环己烯

【答案】D

【解析】

【详解】A. 有机相密度小于水在上层而水在下层，下层从下口放出后再倒出上层有机相，A 错误；

B. “操作 2”为蒸馏，需用到直形冷凝管，而球形冷凝管通常用于回流反应，不适合蒸馏操作，B 错误；

C. 环己醇（M）和环己烯（N）均能被酸性高锰酸钾溶液氧化。环己醇中的羟基可以被氧化，环己烯中的碳碳双键也可以被氧化，因此两者都能使酸性高锰酸钾溶液褪色，故无法鉴别 M 和 N，C 错误；

D. 环己醇在浓硫酸的催化作用下，通过消去反应脱去一分子水，生成环己烯。这是常见的醇类消去反应，反应条件为浓硫酸和加热。因此，环己醇与浓硫酸确实可以通过消去反应制得环己烯，D 正确；

故选 D。

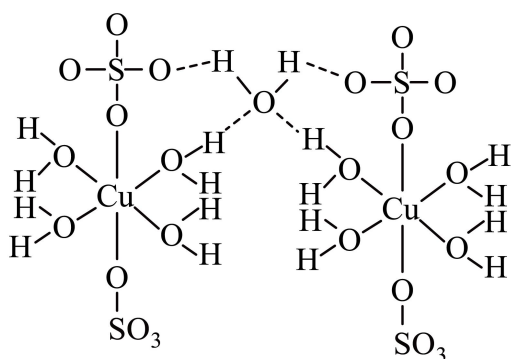
5. （2025 青岛二模，12）（不定项）实验 1：将胆矾(部分结构如图)配成 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 溶液，取 4mL 溶液逐滴加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水至过量，加入 8mL95%乙醇，并用玻璃棒摩擦试管内壁。

实验 2：将大小形状相同的铁丝分别浸入相同体积浓度均为 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 CuSO_4 溶液和 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 溶液，表面明显析出红色固体的时间分别为 3min 和 24h。

实验 3：取 $0.2\text{g Cu}(\text{OH})_2$ 固体，逐滴加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氨水，固体不溶解，再加入少量 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，固体大部分溶解。

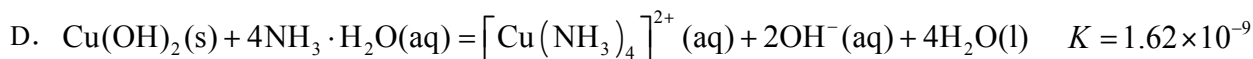
已知：① $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}(\text{aq}) + 2\text{NH}_4^+(\text{aq}) = [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $K = 5 \times 10^2$

② $K_b(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}) = 1.8 \times 10^{-5}$



下列说法正确的是

- A. 实验 2 可验证 Cu^{2+} 与 NH_3 形成了配离子
- B. 实验 3 对比实验 1，说明引入 SO_4^{2-} 可明显促进 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 的生成
- C. 实验 3 中 NH_4^+ 明显促进了 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 的生成



【答案】AC

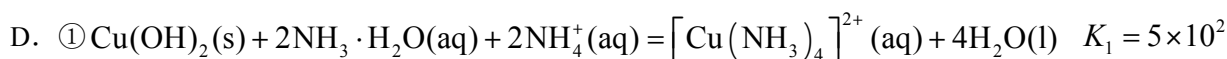
【解析】

【分析】实验 1：向盛有 $4\text{mL} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 蓝色 CuSO_4 溶液的试管中，滴加几滴 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氨水，有 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 蓝色沉淀生成，继续滴加氨水并振荡试管，沉淀溶解，得到深蓝色溶液，生成 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ，向试管中加入 $8\text{mL} 95\%$ 乙醇，降低了溶剂的极性，并用玻璃棒摩擦试管壁，有深蓝色晶体析出。

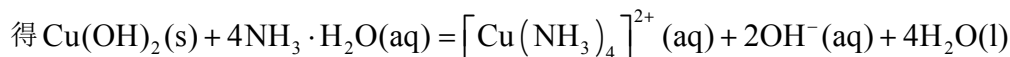
【详解】A. 实验 2 的两种溶液中铜元素等量，但只有铜离子浓度不同，根据析出铜的时间可知，硫酸铜溶液中铜离子浓度远大于 $[\text{Cu}(\text{NH}_4)_3]\text{SO}_4$ 中，故可验证 Cu^{2+} 与 NH_3 形成了配离子，A 正确；

B. 硫酸根未参与 $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{aq}) + 2\text{NH}_4^+(\text{aq}) = [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，实验 3 对比实验 1，说明引入 SO_4^{2-} 不能明显促进 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 的生成，B 错误；

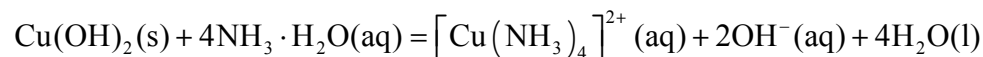
C. 实验 3 中向氨水中加入一定量 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 固体，可增加铵离子的浓度，会抑制 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离平衡，增大溶液中 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 浓度，有利于 Cu^{2+} 转化为 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ，则实验 3 中 NH_4^+ 明显促进了 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 的生成，C 正确；



②一水合氨的电离平衡可表示为 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \quad K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.8 \times 10^{-5}$ ，按盖斯定律，①+2×②



$$K = K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})^2 \times K_1 = (1.8 \times 10^{-5})^2 \times 5 \times 10^2 = 1.62 \times 10^{-7}, \text{ 或者: 反应}$$

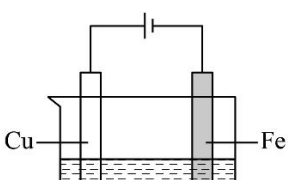


$$K = \frac{c\{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}\}c^2(\text{OH}^-)}{c^4(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})} = \frac{c\{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}\}}{c^2(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})c^2(\text{NH}_4^+)} \times \frac{c^2(\text{OH}^-)c^2(\text{NH}_4^+)}{c^2(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})} =$$

$$K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})^2 \times K_1 = (1.8 \times 10^{-5})^2 \times 5 \times 10^2 = 1.62 \times 10^{-7}, \text{ D 错误;}$$

选 AC。

6. (2025 滨州二模, 13) (不定项) 利用下图装置进行铁上电镀铜的实验探究。

装置示意图	序号	电解质溶液	实验现象
	①	$0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{CuSO}_4 +$ 少量 H_2SO_4	阴极表面有无色气体，一段时间后阴极表面有红色固体，气体减少。经检验，电解质溶液

			中有 Fe^{2+}
	②	$0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{CuSO}_4 +$ 过量氨水	阴极表面未观察到气体，一段时间后阴极表面有致密红色固体。经检验，电解质溶液中无铁元素

下列说法正确的是

- A. ①中气体减少仅是由于溶液中 $c(\text{H}^+)$ 减小
- B. 向阴极附近溶液滴加 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液来检验①中的 Fe^{2+}
- C. ②中随阴极析出 Cu ，推测溶液 $c(\text{Cu}^{2+})$ 减小， $\text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 平衡逆向移动
- D. 对比①②可知，适当降低 $c(\text{Cu}^{2+})$ ，电镀效果更好

【答案】D

【解析】

【详解】A. 随着反应的进行，一段时间后溶液中的 $c(\text{H}^+)$ 减小，同时阴极发生电极反应： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$ ，生成的 Cu 覆盖在阴极铁制镀件表面，阻碍了 H^+ 与铁的接触，故气体减少，A 错误；

B. 检验 Fe^{2+} 用 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液，B 错误；

C. 当阴极有 Cu 析出时，阴极电极反应： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$ ，阳极电极反应： $\text{Cu} - 2\text{e}^- = \text{Cu}^{2+}$ ，又因为②中电解液中无 Fe 元素，根据得失电子守恒，溶液中 $c(\text{Cu}^{2+})$ 不变，C 错误；

D. ①中的 $c(\text{Cu}^{2+})$ 相对较大， H^+ 和 Cu^{2+} 都在阴极放电，产生氢气且镀层不够致密，②中 Cu^{2+} 与氨水形成配合物，适当降低了 $c(\text{Cu}^{2+})$ ，使得 Cu 缓慢析出，形成更致密的镀层，故适当降低 $c(\text{Cu}^{2+})$ ，电镀效果更好，D 正确；故答案选 D。

7. (2025 日照二模，13) (不定项) 二甘氨酸合铜 $[(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COO})_2\text{Cu}]$ 中 Cu 元素含量可按下列步骤测定：



滴定时，加入淀粉溶液作指示剂，用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 滴定至溶液呈浅蓝色，再加入 KSCN 溶液，摇匀，慢慢滴定至滴定终点。

已知：① $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{I}^- = 2\text{CuI}\downarrow + \text{I}_2$ ；② $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$

③ CuI 易吸附 I_2 ； $K_{\text{sp}}(\text{CuI}) = 1.1 \times 10^{-12}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{CuSCN}) = 4.8 \times 10^{-15}$ 。

下列说法错误的是

- A. 加入过量 H_2SO_4 的目的是尽可能使 $[(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COO})_2\text{Cu}]$ 转化为 Cu^{2+}
- B. 加入过量 KI 有利于 Cu^{2+} 的充分还原
- C. 滴定时为防止 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 与 H_2SO_4 反应, 应先将溶液调至强碱性
- D. 滴定终点前未加入 KSCN 溶液, 则测得 Cu 元素含量偏高

【答案】CD

【解析】

【分析】测定二甘氨酸合铜 $[(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COO})_2\text{Cu}]$ 中 Cu 元素的含量原理为: 将二甘氨酸合铜在过量稀硫酸中煮解转化为 Cu^{2+} 的煮解液, 加入过量的 KI 还原 Cu^{2+} : $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{I}^- = 2\text{CuI} \downarrow + \text{I}_2$, 得到含 I_2 的悬浊液, 用淀粉溶液作指示剂, 再用标准的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液还原 I_2 : $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$, 滴定至溶液呈浅蓝色, 再加入 KSCN 溶液, 再慢慢滴定至终点, 最后根据消耗的标准 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的量计算二甘氨酸合铜 $[(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COO})_2\text{Cu}]$ 中 Cu 元素的含量, 据此分析解答。

【详解】A. 根据分析, 要使计算结果准确, 第一步转化的 Cu^{2+} 越完全, 后续反应越完全, 测定结果越准确, 所以第一步加入过量 H_2SO_4 的目的是尽可能使 $[(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COO})_2\text{Cu}]$ 转化为 Cu^{2+} , A 正确;

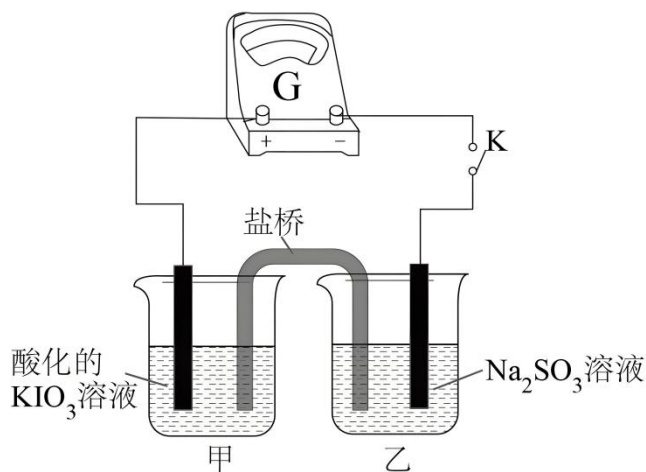
B. 要使 Cu^{2+} 反应完全, 则加入的 KI 需要过量, 使 Cu^{2+} 充分还原, B 正确;

C. 如果在滴定时溶液中存在硫酸, 则滴加 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液会发生反应: $2\text{H}^+ + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} = \text{SO}_2 \uparrow + \text{S} \downarrow + \text{H}_2\text{O}$, 引起滴定误差, 但不能将溶液调至强碱性, 因为强碱性条件下 I_2 与碱反应, 引起实验误差, C 错误;

D. 滴定终点前未加入 KSCN 溶液, 会因 CuI 吸附的 I_2 未被还原, 导致消耗的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液体积减小, 最后会导致测得 Cu 元素含量偏低, D 错误;

故答案为: CD。

8. (2025 泰安二模, 13) (不定项) 某小组为探究 Na_2SO_3 溶液和酸性 KIO_3 溶液的反应情况, 设计装置如图所示:



I：K 闭合后， $0 \sim t_1$ 秒电流表的指针立即发生偏转，此时从甲池中取溶液于试管中，滴加淀粉溶液，溶液变蓝；直接向甲池滴加淀粉溶液，溶液未变蓝。

II： $t_1 \sim t_2$ 秒，指针回到“0”处，又发生偏转，如此周期性往复多次，一段时间后指针最终归零。

已知： IO_3^- 在酸性溶液能氧化 I^- ，反应为 $\text{IO}_3^- + 5\text{I}^- + 6\text{H}^+ = 3\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ 。

下列说法错误的是

- A. $0 \sim t_1$ 秒，直接向甲池滴加淀粉溶液未变蓝，说明 Na_2SO_3 溶液和酸性 KIO_3 溶液不能直接生成 I_2
- B. $t_1 \sim t_2$ 秒，指针回到“0”处，可能原因是 $\text{IO}_3^- + 5\text{I}^- + 6\text{H}^+ = 3\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ ， IO_3^- 不再参与电极反应
- C. $t_1 \sim t_2$ 秒，又发生偏转可能是 I_2 参与电极反应氧化 SO_3^{2-}
- D. 若采用 Na_2SO_3 溶液和碱性 KIO_3 溶液进行上述实验，现象相同

【答案】D

【解析】

【分析】由题意知 K 闭合后， $0 \sim t_1$ 秒电流表的指针立即发生偏转，此时从甲池中取溶液于试管中，滴加淀粉溶液，溶液变蓝，直接向甲池滴加淀粉溶液，溶液未变蓝，说明碘酸根离子化合价降低生成碘离子、左侧为正极，右侧电极为负极，亚硫酸根离子在负极失去电子生成硫酸根离子，原电池放电使得电流表的指针立即发生偏转，电池总反应为溶液中碘酸根离子与亚硫酸根离子反应生成碘离子和硫酸根离子， $t_1 \sim t_2$ 秒时，放电生成的碘离子与溶液中的碘酸根离子在酸性条件下反应生成碘和水，碘酸根离子不再参与电极反应使得电流表的指针回到“0”处，又发生偏转可能是溶液中的碘在正极放电，亚硫酸根离子在负极放电又形成原电池。

【详解】A. 由分析可知， $0 \sim t_1$ 秒时，直接向甲池加淀粉溶液未变蓝是因为电池总反应为碘酸根离子与亚硫酸根离子反应生成碘离子和硫酸根离子，反应没有直接生成单质碘，A 正确；

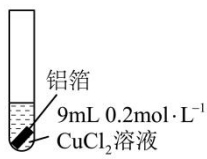
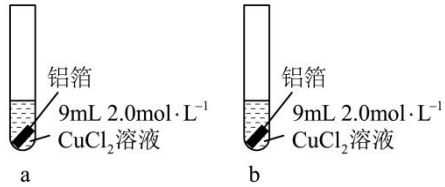
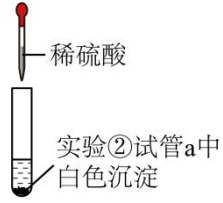
B. 分析可知， $t_1 \sim t_2$ 时，放电生成的碘离子与溶液中的碘酸根离子在酸性溶液中反应生成碘和水，碘酸根离子不再参与电极反应使得电流表的指针回到“0”处，B 正确；

C. $t_1 \sim t_2$ 时, 指针回到“0”处, 又发生偏转可能是溶液中生成的碘在正极放电, 亚硫酸根离子在负极放电所致, C 正确;

D. IO_3^- 在酸性溶液能氧化 I^- 生成碘单质, 碱性条件下不反应, 故 $t_1 \sim t_2$ 秒指针回到“0”处后不再偏转, 现象不同, D 错误;

故答案选 D。

9. (2025 济宁二模, 14) (不定项) 某实验小组用打磨过且相同的铝箔, 探究铝与 CuCl_2 溶液在不同条件下的反应

编号	实验	现象
①		有红色沉淀附于铝表面, 溶液无色, 有气泡生成
②		试管 a 室温: 有红色沉淀和大量白色沉淀生成, 并伴有气泡生成 试管 b 冰水浴: 反应时间足够长, 有红色沉淀生成, 白色沉淀比试管 a 明显少, 并伴有气泡生成
③		生成红色沉淀, 溶液呈蓝色
④		形成无色溶液, 置于空气中溶液呈蓝色

下列说法错误的是

- A. 无色气体为 H_2 , 红色沉淀为 Cu
- B. 生成白色沉淀的方程式 $\text{Cu(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons 2\text{CuCl(s)} \quad \Delta H < 0$
- C. 实验③证明 Cu(I) 在酸性溶液中可发生歧化反应
- D. 取实验④中的蓝色溶液, 加乙醇, 可析出蓝色晶体

【答案】B

【解析】

【详解】A. CuCl_2 溶液呈酸性, 铝与 CuCl_2 溶液时, Al 和 H^+ 反应生成 H_2 , 然后发生反应: $2\text{Al} + 3\text{Cu}^{2+} = 2\text{Al}^{3+} + 3\text{Cu}$,

红色沉淀为 Cu，A 正确；

B. 实验②中有红色沉淀和大量白色沉淀生成，说明生成 Cu 和 Cu^+ 、 Cl^- 与 Cu^+ 反应生成 CuCl 白色沉淀，根据得失电子守恒和电荷守恒配平离子方程式为： $\text{Cu(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons 2\text{CuCl(s)}$ ，试管 b 冰水浴，白色沉淀比试管 a 明显少，说明该反应逆向移动，该反应为吸热反应， $\Delta H > 0$ ，B 错误；

C. 实验③中 CuCl 和稀硫酸反应生成红色沉淀为 Cu，溶液呈蓝色说明有 Cu^{2+} 生成，Cu 元素化合价既由 +1 价下降到 0 价，又由 +1 价上升到 +2 价，可发生歧化反应，C 正确；

D. 实验④中加入足量浓氨水，形成无色溶液，置于空气中溶液呈蓝色，说明生成了 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ，加乙醇，降低 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ 的溶解度，可析出 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ 蓝色晶体，D 正确；

故选 B。

10. (2025 济南二模，14) (不定项) 某实验小组探究 AgNO_3 溶液与 FeSO_4 溶液的反应。

实验 1. 将 $2\text{mL } 0.04\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$ 溶液与 $2\text{mL } 0.04\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeSO}_4$ 溶液(调 $\text{pH} = 3$)混合后密封。观察到产生灰黑色沉淀，溶液变为黄色。

实验 2. 将 $2\text{mL } 0.04\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaNO}_3$ 溶液与 $2\text{mL } 0.04\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeSO}_4$ 溶液(调 $\text{pH} = 3$)混合后密封。逐滴加 KSCN 溶液无明显现象。

实验 3. 取少量实验 1 反应后的上层清液，滴加 1 滴 KSCN 溶液。观察到溶液先变红，稍振荡后红色消失，同时产生白色沉淀。再次滴入 KSCN 溶液，上述现象再次出现。

已知： AgSCN 、 Ag_2SO_4 均为白色沉淀， $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = 1.4 \times 10^{-5}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{AgSCN}) = 1.0 \times 10^{-12}$ 。

下列说法错误的是

A. 实验 1 中灰黑色沉淀含 Ag 和 Ag_2SO_4

B. 实验 2 说明 NO_3^- 在较低的酸度下不能氧化 Fe^{2+}

C. 实验 3 说明该实验条件下 Fe^{3+} 与 SCN^- 反应比 Ag^+ 与 SCN^- 的反应速率快

D. 综合上述实验可知 Fe^{3+} 不能氧化 Ag

【答案】AD

【解析】

【分析】实验 1 中产生灰黑色沉淀，说明有 Ag 生成，溶液变为黄色，说明有 Fe^{3+} 生成，由实验 2 与 1 对比可知， NO_3^- 在较低的酸度下不能氧化 Fe^{2+} ，实验 1 中在较低酸度下 Ag^+ 氧化 Fe^{2+} ；实验③中，滴入 KSCN 后溶液先变红的原因是 Fe^{2+} 被氧化为 Fe^{3+} ， Fe^{3+} 与 SCN^- 的反应速率较 Ag^+ 与 SCN^- 的快， Fe^{3+} 与 SCN^- 反应生成 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ ，稍微振荡后红色消失并产生白色沉淀，反应的离子方程式为： $\text{Ag}^+ + \text{SCN}^- = \text{AgSCN} \downarrow$ ，该实验条件下 Fe^{3+} 与 SCN^- 反应比 Ag^+

与 SCN^- 的反应速率快。

【详解】A. 根据分析, 实验 1 中灰黑色沉淀含 Ag, A 错误;

B. 根据分析, 实验 2 说明 NO_3^- 在较低的酸度下不能氧化 Fe^{2+} , B 正确;

C. 根据分析, 实验 3 说明该实验条件下 Fe^{3+} 与 SCN^- 反应比 Ag^+ 与 SCN^- 的反应速率快, C 正确;

D. 根据以上实验, 无法得出 Fe^{3+} 不能氧化 Ag 的结论, D 错误;

故选 AD。

11. (2025 日照二模, 14) (不定项) 为探究形成配离子对物质还原性的影响, 某化学实验小组进行如下实验(配制溶液所用溶剂水均加热煮沸除氧, 实验所用试剂浓度均为 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, I_2 与 KSCN 不反应)。

实验	实验操作及现象
①	向 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液中滴入几滴 KSCN 溶液, 溶液不变红色
②	分别取 2 份 FeSO_4 溶液, 一份加入几滴 H_2O_2 , 振荡后再加入几滴 KSCN, 溶液变红, 继续滴加 H_2O_2 至过量, 溶液红色褪去; 另一份加入几滴碘水, 振荡后再加入几滴 KSCN, 溶液不变红色
③	向 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液加入几滴 FeSO_4 , 振荡无蓝色沉淀生成, 再加入几滴碘水振荡, 蓝色沉淀生成

已知: Fe^{2+} 与 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 、 Fe^{3+} 与 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ 均生成蓝色沉淀。

下列说法错误的是

A. 由实验①可知 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}+3\text{SCN}^- \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{SCN})_3]+6\text{CN}^-$ 难以发生

B. 由实验②可知 H_2O_2 可氧化 KSCN

C. 实验③中 I_2 将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , 生成的 Fe^{3+} 与 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ 产生蓝色沉淀

D. 由上述实验可知: $2\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]+\text{H}_2\text{O}_2=2\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]+2\text{KOH}$ 可以发生

【答案】C

【解析】

【详解】A. 实验①中, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液滴加 KSCN 后无红色出现, 说明 Fe^{3+} 未与 SCN^- 反应, 反应难以发生, A 正确;

B. 实验②中 FeSO_4 溶液加入几滴 H_2O_2 , 振荡后再加入几滴 KSCN, 溶液变红, 说明 H_2O_2 将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , 继续滴加 H_2O_2 至过量, 溶液红色褪去, 说明 H_2O_2 可氧化 KSCN, B 正确;

C. 实验②中 FeSO_4 溶液加入几滴碘水, 振荡后再加入几滴 KSCN, 溶液不变红色, 说明 I_2 不能将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , 实验③中, FeSO_4 与 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 混合无沉淀, 但加入 I_2 后生成蓝色沉淀, 表明 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 被 I_2 还原为 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$,

Fe^{2+} 与 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 生成蓝色沉淀，C 错误；

D. H_2O_2 可氧化 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 中的 Fe^{2+} 为 Fe^{3+} ，生成 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ，同时 H_2O_2 被还原为 H_2O 和 OH^- ，D 正确；
故选 C。

12. （2025 临沂二模，14）（不定项）为制备纯净的 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ，取甲、乙两支试管分别加入 2mL 饱和 CuSO_4 溶液，进行如下实验。

	实验操作及现象
试管甲	逐滴加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水至过量，先生成蓝色沉淀，后溶解，溶液变成深蓝色；继续滴加 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 溶液，溶液颜色变浅，有蓝色沉淀生成；倾掉溶液，加入足量浓氨水，沉淀不溶解
试管乙	滴加过量 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 溶液，生成蓝色沉淀；继续滴加 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水至过量，蓝色沉淀开始时没有发生变化，振荡，沉淀减少，溶液变深蓝色

已知：沉淀速率过快时， $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 絮状沉淀易裹挟杂质。

下列说法正确的是

- A. 试管甲实验中存在 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 向 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 的转化
- B. 试管甲实验表明 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 溶于氨水与 NH_4^+ 有关
- C. 试管乙实验表明振荡试管可以促进 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 与氨水的反应
- D. 上述实验表明，可利用 CuSO_4 溶液与 NaOH 溶液反应制备纯净 $\text{Cu}(\text{OH})_2$

【答案】AB

【解析】

【详解】A. 由题分析可知，试管甲中，逐滴加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水至过量生成的蓝色沉淀为 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ，溶解溶液变成深蓝色，这是生成了 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ，继续滴加 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 溶液，溶液颜色变浅，有蓝色沉淀 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 生成，A 正确；

B. 由题分析可知，试管甲中，逐滴加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水至过量先生成蓝色沉淀 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ，此时溶液中还存在 NH_4^+ ，后沉淀溶解，而倾掉溶液则表明没有 NH_4^+ ，再加入足量浓氨水，沉淀不溶解，对比前后实验现象可说明试管甲实验表明 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 溶于氨水与 NH_4^+ 有关，B 正确；

C. 根据试管乙中的实验操作和现象可知振荡后沉淀才开始减少，但振荡这个操作会使试管内的物质相互接触，过量的氢氧化钠、滴加的氨水均可能与 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 等反应，试管乙并未排除这些因素对实验的影响，因此不能说明振荡

试管可以促进 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 与氨水的反应，C 错误；

D. 根据已知信息可知沉淀速率过快时， $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 絮状沉淀易裹挟杂质，直接用 CuSO_4 溶液与 NaOH 溶液反应生成沉淀的速率很快，故制备的 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 会裹挟杂质，D 错误；

故答案选 AB。

13. （2025 潍坊二模，14）（不定项）某同学探究 EDTA^{4-} 和 NH_3 与 Cu^{2+} 的配合能力强弱，已知

$2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{Cu}^{2+}} 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$ ，鲁米诺在碱性环境中，可被 H_2O_2 分解产生的活性氧氧化并释放蓝色荧光，其反应快慢决定发光强度与持续时间。进行如下实验：

序号	0.75% H_2O_2 / mL	鲁米诺溶液(含 Cu^{2+} 和氨水)/mL	Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NH_4HCO_3 溶液/mL	EDTA^{4-} 溶液/mL	蒸馏水 /mL	发光时间/s	荧光强度
1	50	50	50	0	0.5	25	强
2	50	50	50	0.5	0	120	弱
3	0	50	50	0.5	x	无	无

下列说法错误的是

- A. Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NH_4HCO_3 作为缓冲溶液，维持溶液碱性环境
- B. $x = 50$
- C. 实验 1 和实验 2 中，发光时间越长，说明溶液中发挥催化作用的 Cu^{2+} 浓度越高
- D. 与 Cu^{2+} 配位能力： $\text{EDTA}^{4-} > \text{NH}_3$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 因鲁米诺在碱性环境中，可被 H_2O_2 分解产生的活性氧氧化并释放蓝色荧光，故实验需要维持溶液碱性环境，A 正确；

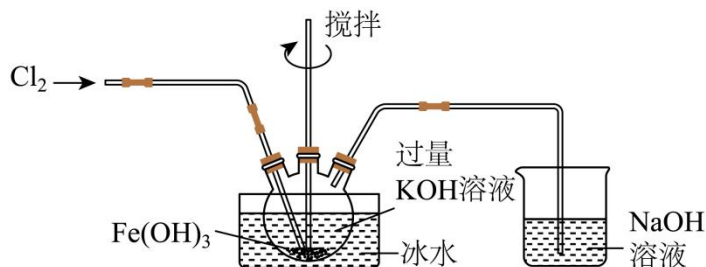
B. 探究速率时，需要控制唯一变量，实验 1、2 的总体积为 150.5mL，故 $x=50$ ，B 正确；

C. 实验 1 和实验 2 中，发光时间越长，说明溶液中 H_2O_2 分解速率慢，溶液中发挥催化作用的 Cu^{2+} 浓度越低，C 错误；

D. 实验 2 中滴加 EDTA^{4-} ，则发光时间长，荧光强度弱，说明 Cu^{2+} 浓度越低， Cu^{2+} 与 EDTA^{4-} 配位，故与 Cu^{2+} 配位能力： $\text{EDTA}^{4-} > \text{NH}_3$ ，D 正确；

故选 C。

14. (2025 菏泽二模, 15) (不定项) 已知 K_2FeO_4 为紫色固体, 微溶于 KOH 溶液; 具有强氧化性, 在酸性或中性溶液中快速反应产生 O_2 , 在碱性溶液中较稳定。现利用如下装置(夹持装置略)制备 K_2FeO_4 , 发生反应 $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{Cl}_2 + 10\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 6\text{KCl} + 8\text{H}_2\text{O}$, 并设计以下方案探究 K_2FeO_4 能否氧化 Cl^- 产生 Cl_2 。下列说法错误的是



方案 I	取三颈烧瓶中紫色溶液, 加入稀硫酸, 产生黄绿色气体, 得溶液 a, 经检验气体中含有 Cl_2 。
方案 II	取少量溶液 a, 滴加 KSCN 溶液至过量, 溶液呈红色。
方案 III	用 KOH 溶液充分洗涤三颈烧瓶中所得固体, 再用 KOH 溶液将 K_2FeO_4 溶出, 得到紫色溶液 b, 取少量 b, 滴加盐酸, 有 Cl_2 产生。

- A. 方案 I 不能证明 K_2FeO_4 氧化 Cl^- 产生 Cl_2
- B. 由方案 II 知 a 中含 Fe^{3+} 离子, 方案 I 与方案 II 结合能证明 K_2FeO_4 氧化 Cl^- 产生 Cl_2
- C. 方案 III 中能证明 K_2FeO_4 氧化 Cl^- 产生 Cl_2 , 但若未充分洗涤, 则不能证明
- D. 该实验表明 Cl_2 和 K_2FeO_4 的氧化性强弱受溶液酸碱性影响

【答案】B

【解析】

【详解】A. 方案 I 中, 取三颈烧瓶中紫色溶液加入稀硫酸产生黄绿色气体 Cl_2 。但因为 K_2FeO_4 在酸性溶液中不稳定会分解, 有可能是其分解产生的氧化性物质将 Cl^- 氧化为 Cl_2 , 并非一定是 K_2FeO_4 直接氧化 Cl^- , 所以不能证明 K_2FeO_4 氧化 Cl^- 产生 Cl_2 , A 正确;

B. 方案 II 中溶液 a 滴加 KSCN 溶液呈红色, 只能说明溶液 a 中有 Fe^{3+} 。然而这不能结合方案 I 证明 K_2FeO_4 氧化 Cl^- 产生 Cl_2 , 因为 Fe^{3+} 的产生可能是 K_2FeO_4 在酸性条件下分解转化而来, 无法确定 Cl_2 是 K_2FeO_4 氧化 Cl^- 得到

的，B 错误；

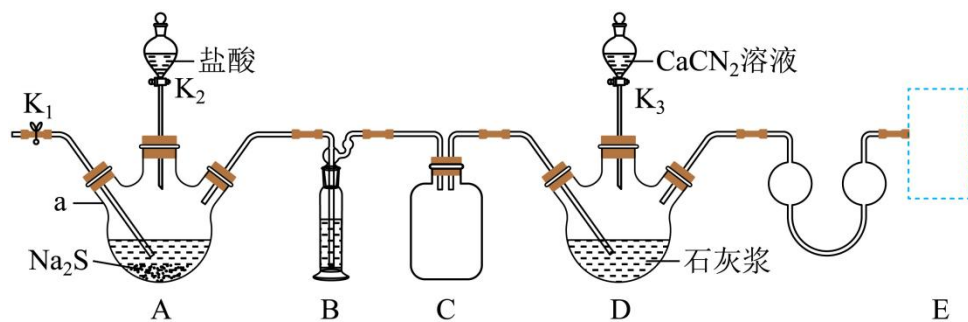
C. 方案 III 中，用 KOH 溶液充分洗涤三颈烧瓶中固体，再溶出 K_2FeO_4 得到溶液 b，滴加盐酸有 Cl_2 产生。若未充分洗涤，固体表面可能残留含氯氧化性物质（如未反应完的 Cl_2 与 KOH 反应生成的 ClO^- 等），这些物质在酸性条件下也能氧化 Cl^- 产生 Cl_2 ，所以若未充分洗涤就不能证明是 K_2FeO_4 氧化 Cl^- 产生 Cl_2 ，C 正确；

D. 制备 K_2FeO_4 的反应在碱性条件下 Cl_2 能将 $Fe(OH)_3$ 氧化为 K_2FeO_4 ，而探究 K_2FeO_4 氧化 Cl^- 在酸性条件下进行，不同酸碱性条件下反应情况不同，表明 Cl_2 和 K_2FeO_4 氧化性强弱受溶液酸碱性影响，D 正确；

综上，答案是 B。

五、化学实验综合题（非选择题）

1. (2025 泰安二模, 17) 硫脲 $[CS(NH_2)_2]$ 是一种易溶于水，易被氧化的白色晶体，实验室通过 $Ca(HS)_2$ 与 $CaCN_2$ 反应制备，实验装置如图所示（夹持及加热装置略）。



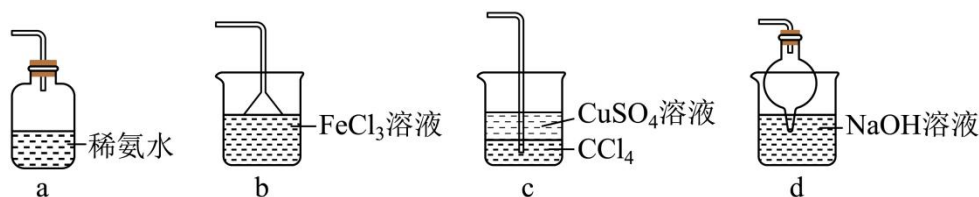
回答下列问题：

(1) 检查装置气密性后加入药品，打开 K_1 ，通入一段时间 N_2 ，然后关闭 K_1 ，打开 K_2 ，待 A 中反应结束后关闭 K_2 ，打开 K_3 ，同时对装置 D 进行水浴加热，在 $80^\circ C$ 条件下合成硫脲，还生成一种碱，则装置 D 中为了保证最大转化率， $Ca(OH)_2$ 与 $CaCN_2$ 的物质的量之比为_____，整个过程中，装置 D 中的实验现象是_____。

(2) 关于该实验，下列说法错误的是_____。

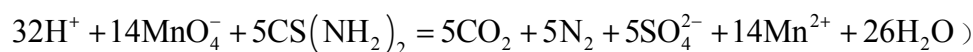
- A. 反应开始前从 K_1 处通入氮气的主要目的是排除装置中的空气
- B. 洗气瓶 B 的作用是除去气体中的 HCl
- C. C 装置是安全瓶，可以防止倒吸
- D. B 中可以用饱和硫化钠溶液除去 HCl

(3) 为了除掉尾气，E 处可以选择的装置为_____。



(4) $CaCN_2$ 中 CN_2^{2-} 的电子式为_____。

(5) 从装置 D 的滤液中分离出的产品中含有少量杂质_____ (写化学式)。称取 mg 产品, 加水溶解配成 250mL 溶液, 用移液管量取 25mL 于锥形瓶中, 滴加一定量的稀硫酸使溶液显酸性, 用 $\text{cmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4$ 标准溶液滴定, 滴定至终点时消耗 KMnO_4 标准溶液 VmL。(已知



①样品中硫脲的质量分数为_____ (用含“m、c、V”的式子表示)。

②下列操作使硫脲的质量分数偏高的是_____。

- A. 酸性 KMnO_4 溶液放置过程中部分变质
- B. 量取硫脲溶液的滴定管用蒸馏水洗涤后未用进行润洗
- C. 滴定前盛有 KMnO_4 溶液滴定管的尖嘴无气泡, 滴定后滴定管的尖嘴有气泡
- D. 锥形瓶中溶液由无色到粉红色, 立即读数

【答案】(1) ①. 1: 2 ②. 悬浊液变澄清, 之后又变混浊 (2) D

(3) bcd (4) $[\text{:}\ddot{\text{N}}::\text{C}::\ddot{\text{N}}:]^{2-}$

(5) ①. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ②. $\frac{190cV}{7m}\%$ ③. A

【解析】

【分析】装置 A 用盐酸与 Na_2S 反应制备 H_2S , 装置 B 盛装的饱和硫化钠溶液除去 H_2S 中混有 HCl , 装置 C 作安全瓶, 防倒吸, 装置 D 中先通入 H_2S 与石灰乳反应制备 $\text{Ca}(\text{HS})_2$, $\text{Ca}(\text{HS})_2$ 再与 CaCN_2 溶液反应合成 $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$, 最后装置 E 用 CuSO_4 溶液吸收多余的 H_2S , 防止污染空气, 据此解答;

【小问 1 详解】

D 处先通入 H_2S 与石灰乳中制备 $\text{Ca}(\text{HS})_2$, 化学方程式为: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{S} = \text{Ca}(\text{HS})_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, 再与 CaCN_2

溶液反应合成 $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$, 合成硫脲的化学方程式为: $\text{Ca}(\text{HS})_2 + 2\text{CaCN}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{80^\circ\text{C}} 2\text{CS}(\text{NH}_2)_2 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$,

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与 CaCN_2 的物质的量之比为 1:2; 装置 D 中含 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 固体的石灰浆吸收 H_2S 制得 $\text{Ca}(\text{HS})_2$, 已知 $\text{Ca}(\text{HS})_2$

易溶于水, 则装置 D 中石灰悬浊液已经完全转化为 $\text{Ca}(\text{HS})_2$ 的现象是石灰悬浊液变澄清, 之后与 CaCN_2 反应, 澄清溶液又变混浊, 故现象是悬浊液变澄清, 之后又变混浊;

【小问 2 详解】

- A. 通入一段时间 N_2 , 目的是排出装置内的空气, 防止空气干扰实验, A 正确;
- B. 装置 B 中饱和 NaHS 溶液的作用是除去 H_2S 中混有的 HCl , B 正确;
- C. 装置 C 的作用为安全瓶, 防止倒吸, C 正确;
- D. 硫化钠与硫化氢发生反应, 不能用饱和硫化钠溶液除去 HCl , D 错误;

故选 D;

【小问 3 详解】

A. 随 H_2S 量增多压强增大, 不能用来吸收尾气, A 错误;

B. FeCl_3 溶液均能与 H_2S 反应, 离子方程式为 $2\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{S} = 2\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+ + \text{S} \downarrow$, 且倒置漏斗可防倒吸, 可用于尾气吸收, B 正确;

C. H_2S 不易溶于 CCl_4 , 通入到 CCl_4 中防倒吸, 再与硫酸铜反应 $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{S} = 2\text{H}^+ + \text{CuS} \downarrow$, 可用于尾气吸收, C 正确;

D. H_2S 是酸性气体, 可与氢氧化钠反应, 离子方程式为 $2\text{OH}^- + \text{H}_2\text{S} = 2\text{H}_2\text{O} + \text{S}^{2-}$, 可用于尾气吸收, D 正确;

故选 bcd;

【小问 4 详解】

CaCN_2 中 CN_2^{2-} 的电子式为 $[\text{:}\ddot{\text{N}}::\text{C}::\ddot{\text{N}}:]^{2-}$;

【小问 5 详解】

反应过程中生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 从装置 D 的滤液中分离出的产品中含有少量杂质为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$; ①用 $\text{cmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4$ 标准溶液滴定, 滴定至终点时消耗 KMnO_4 标准溶液 $V \text{ mL}$, 消耗 KMnO_4 的物质的量为 $cV \times 10^{-3} \text{ mol}$, 根据反应:

$32\text{H}^+ + 14\text{MnO}_4^- + 5\text{CS}(\text{NH}_2)_2 = 5\text{CO}_2 + 5\text{N}_2 + 5\text{SO}_4^{2-} + 14\text{Mn}^{2+} + 26\text{H}_2\text{O}$ 可知, mg 产品中 $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ 的物质的量为 $cV \times 10^{-3} \text{ mol} \times \frac{5}{14} \times 10 = \frac{25cV}{7} \times 10^{-3} \text{ mol}$, 则样品中硫脲的质量分数为

$$\frac{25cV}{7} \times 10^{-3} \text{ mol} \times \frac{5}{14} \times 10 = \frac{25cV}{7} \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\frac{\frac{25cV}{7} \times 10^{-3} \text{ mol} \times 76 \text{ g/mol}}{\text{mg}} \times 100\% = \frac{190cV}{7m} \%$$

②A. 酸性 KMnO_4 溶液放置过程中部分变质, 则需要的 KMnO_4 的量偏多, 质量分数偏高, A 正确;

B. 量取硫脲溶液的滴定管用蒸馏水洗涤后未用进行润洗, 使浓度偏低, B 错误;

C. 滴定前盛有 KMnO_4 溶液滴定管的尖嘴无气泡, 滴定后滴定管的尖嘴有气泡, KMnO_4 的量偏小, 质量分数偏低, C 错误;

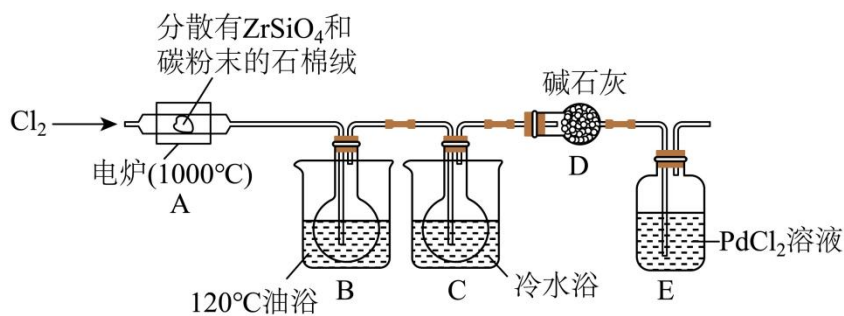
D. 锥形瓶中溶液由无色到粉红色, 立即读数, 则 KMnO_4 的量偏小, 质量分数偏低, D 错误;

故选 A。

2. (2025 潍坊二模, 17) 锆英砂(主要成分为 ZrSiO_4)是目前生产金属锆和锆化合物的主要原料, 通过直接氯化法

生产 ZrCl_4 , 联产 SiCl_4 , 提高了资源利用效率。副反应为 $\text{C} + 2\text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CCl}_4$ 。实验室模拟直接氯化法进行实验,

并测定 ZrCl_4 产品纯度。实验装置如下(夹持装置略):



已知：相关物质性质如下表

物质	熔点 /°C	沸点 /°C	性质
ZrCl_4	437	/	白色固体，遇水剧烈水解，331°C 以上升华
SiCl_4	-70	57.6	无色或淡黄色发烟液体，易水解
CCl_4	-23	76.8	难溶于水

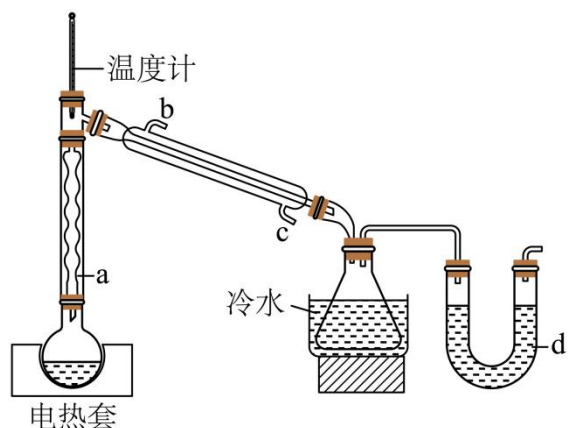
回答下列问题：

I. 制备 ZrCl_4

组装好仪器后，部分实验步骤如下：

①检查装置气密性②装入药品③……④关闭电炉，充分冷却

- (1) 装置 E 的作用为_____。
- (2) 装置 A 中发生反应的化学方程式为_____。
- (3) 步骤③为_____。
- (4) 反应过程中，需要不断加热 A、B 之间的玻璃管，其目的是_____。
- (5) 使用如图装置进一步提纯 C 中产品，获取 SiCl_4 ，下列说法错误的是_____。



- A. 仪器 a 的作用是多次冷凝回流，增强分离效果
 B. 先从 c 通入冷凝水，再打开电热套
 C. 应控制仪器 a 顶端支管口处蒸气温度为 76.8℃ 左右
 D. 仪器 d 中盛装的试剂可以选用五氧化二磷

II. 测定 ZrCl_4 的纯度

i. 取 $m\text{g}$ 产品于烧瓶中，通过安全漏斗加入足量蒸馏水，充分反应后过滤、洗涤沉淀，合并滤液、洗涤液及安全漏斗中的液体，转移到容量瓶中配成 100mL 溶液。

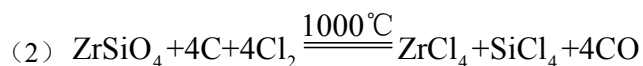


- ii. 取 20.00mL 溶液于锥形瓶中，加入足量 NaOH 溶液；
 iii. 向锥形瓶中加入足量稀硝酸，再加入 $0.1000\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 AgNO_3 溶液 50.00mL，使 Cl^- 完全沉淀；
 iv. 向其中加入 2mL 硝基苯，用力摇动，使沉淀表面被有机物覆盖；
 v. 加入指示剂，用 $c\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NH_4SCN 溶液滴定过量 Ag^+ 至终点，记下所用体积为 $V\text{mL}$ 。[已知：

$$K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}, K_{\text{sp}}(\text{AgSCN}) = 1.03 \times 10^{-12}]$$

(6) 安全漏斗的作用为_____。 ZrCl_4 的质量分数=_____(列出算式)。若取消步骤 iv，则 ZrCl_4 的质量分数_____(填“偏大”或“偏小”或“无影响”)。

【答案】(1) 吸收 CO，防止污染空气



(3) 当看到 C 中充满黄绿色气体时，打开电炉

(4) 防止 ZrCl_4 堵塞玻璃导管 (5) C

$$(6) \quad ①. \text{形成液封，充分吸收反应生成的 HCl} \quad ②. \frac{(0.1 \times 50 \times 10^{-3} - cV \times 10^{-3}) \times 233 \times 5}{4m} \times 100\% \quad ③.$$

偏小

【解析】

【分析】A 中氯气与 ZrSiO_4 、碳高温反应得到产物 ZrCl_4 、 SiCl_4 和副产物 CCl_4 ，结合表数据，B 中收集 ZrCl_4 ，

C 中收集 SiCl_4 ，D 可吸收未反应完全的氯气，同时防止 E 中水蒸气进入 C 使 SiCl_4 水解，E 吸收产生的毒气 CO；

【小问 1 详解】

由分析，装置 E 的作用为吸收 CO，防止污染空气；

【小问 2 详解】

装置 A 中氯气与 ZrSiO_4 、碳高温反应得到产物 ZrCl_4 、 SiCl_4 ，结合质量守恒，还会生成 CO，发生反应的化学方

程式为 $\text{ZrSiO}_4 + 4\text{C} + 4\text{Cl}_2 \xrightarrow{1000^\circ\text{C}} \text{ZrCl}_4 + \text{SiCl}_4 + 4\text{CO}$ ；

【小问 3 详解】

为防止空气中氧气、水干扰实验，应该首先使用氯气排净装置中空气，故步骤③为当看到 C 中充满黄绿色气体时，打开电炉；

【小问 4 详解】

ZrCl_4 容易冷凝成为固体，堵塞导管，故需要不断加热 A、B 之间的玻璃管，其目的是防止 ZrCl_4 堵塞玻璃导管；

【小问 5 详解】

A. 仪器 a 为球形冷凝管，作用是多次冷凝回流，增强分离效果，正确；

B. 为了好的冷凝效果，冷凝水下进上出，应该先从 c 通入冷凝水，再打开电热套，正确；

C. SiCl_4 、 CCl_4 沸点分别为 57.6°C 、 76.8°C ，则应控制仪器 a 顶端支管口处蒸气温度为高于 57.6°C 且低于 76.8°C ，错误；

D. 仪器 d 中盛装的试剂为隔绝空气中水，可以选用五氧化二磷干燥剂，正确；

故选 C；

【小问 6 详解】

ZrCl_4 白色固体，遇水剧烈水解，结合质量守恒，会水解生成 HCl，安全漏斗中存在液封设计，其作用为形成液封，充分吸收反应生成的 HCl，防止 HCl 逸出造成实验误差；

由题干，和 NH_4SCN 反应的银离子为 $\text{cmol} \cdot \text{L}^{-1} \times V \times 10^{-3} \text{L}$ ，结合氯元素守恒： $\text{ZrCl}_4 \sim 4\text{AgCl} \sim 4\text{AgNO}_3$ ，则

ZrCl_4 的质量分数

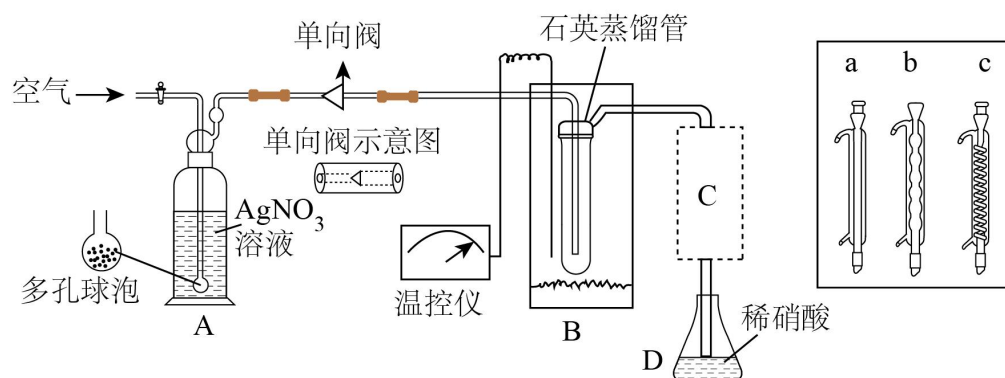
$$\frac{(0.1000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 50.00 \times 10^{-3} \text{L} - \text{cmol} \cdot \text{L}^{-1} \times V \times 10^{-3} \text{L}) \times \frac{1}{4} \times \frac{100}{20} \times 233\text{g} / \text{mol}}{\text{mg}} \times 100\% =$$

$$\frac{(0.1 \times 50 \times 10^{-3} - \text{c}V \times 10^{-3}) \times 233 \times 5}{4\text{m}} \times 100\%。$$

若取消步骤 iv，导致部分氯化银沉淀和 NH_4SCN 反应，使得

NH_4SCN 用量增大，则 ZrCl_4 的质量分数偏小。

3. (2025 日照二模, 19) 利用“磷酸蒸馏—汞盐滴定法”测定水泥中少量氯离子含量装置如图所示。



滴定原理: $\text{Hg}^{2+} + 2\text{Cl}^- = \text{HgCl}_2 \downarrow$; Hg^{2+} 可与二苯偶氮碳酰肼生成桃红色物质。

实验步骤:

①加样: 准确称 $m \text{ g}$ 试样, 置于石英蒸馏管中, 向其中加入适量 H_2O_2 溶液和磷酸, 放入 $250 \sim 260^\circ\text{C}$ 蒸馏装置炉膛内。

②蒸馏: 鼓入空气, 蒸馏 $10 \sim 15 \text{ min}$ 。

③滴定: 用乙醇冲洗冷凝管及其下端合并于吸收液中, 调 pH 至 3.5, 加入二苯偶氮碳酰肼指示剂, 用 $0.001 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 滴定至终点, 记录消耗 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 的体积 $V_1 \text{ mL}$ 。

④按上述步骤进行空白试验, 记录所用 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 的体积 $V_0 \text{ mL}$ 。

回答下列问题:

(1) 配制硝酸汞溶液: 准确称取 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 固体, 溶于_____ (填化学式) 中, 再加水稀释到相应浓度。

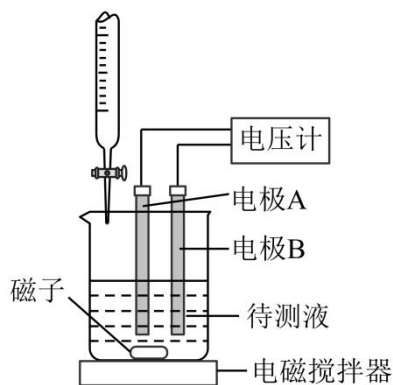
(2) 为达到最佳的冷凝效果装置图 C 虚框中未画出的仪器最好选择_____ (填标号)。

(3) 装置 A 中多孔球泡的作用为_____, 图中单向阀的作用为_____。

(4) 水泥试样中氯离子的质量分数为_____ (用含 m 、 V_1 、 V_0 的代数式表示)。

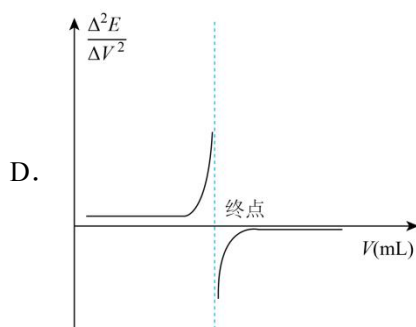
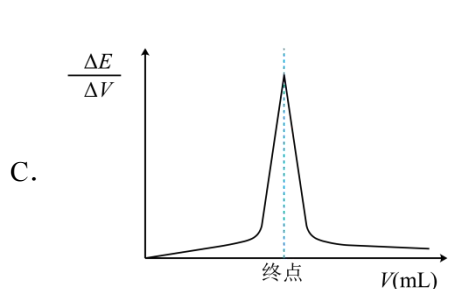
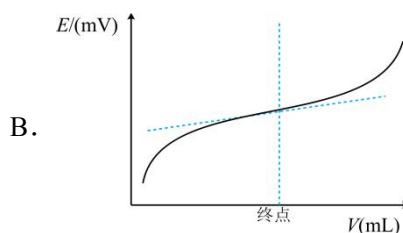
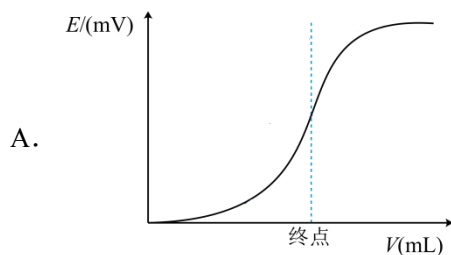
(5) 若水泥样品中含有 Na_2S , 其它操作不变, 测定结果会_____ (填“偏大”、“偏小”或“不变”), 原因是_____。

(6) 电位滴定法: 水泥预处理得到含 Cl^- 的待测液, 用 AgNO_3 标准液滴定, 电位滴定装置测量即时电位 E , 并记录 AgNO_3 消耗的体积 V 。



电位滴定仪

下列确认滴定终点图像错误的是_____ (填标号)。



【答案】 (1) HNO_3

(2) b (3) ①. 增大气体与溶液的接触面积, 使气体被充分吸收 ②. 防止倒吸

(4) $\frac{0.0071 \times (V_1 - V_0)}{m} \%$

(5) ①. 不变 ②. 在酸性条件下, 硫离子被硝酸氧化成单质或硫酸根离子了, 不影响 Hg 的消耗 (6)

B

【解析】

【分析】空气通过多孔球泡进入装有硝酸银溶液的 A 装置, 多孔球泡能增大空气与溶液的接触面积, 起到净化空气、除去空气中可能含有的氯离子等杂质的作用。净化后的空气经单向阀进入石英蒸馏管 B 中, 使水泥样品中的氯离子在磷酸存在下转化为氯化氢气体被蒸馏出来。蒸馏出的氯化氢气体进入装置 C, 被装置 C 下方 D 中的稀硝酸吸收, 形成含氯离子的溶液。向吸收了氯化氢的稀硝酸溶液中加入含汞离子的溶液, 汞离子与氯离子发生反应, 当氯离子完全反应后, 继续滴加汞离子溶液, 过量的汞离子可与二苯偶氮碳酰肼生成桃红色物质, 以此作为滴定终点的判断依据, 通过消耗汞盐溶液的量来计算水泥中氯离子的含量; 据此分析解答。

【小问 1 详解】

硝酸汞 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 是强酸弱碱盐, Hg^{2+} 会发生水解, 为抑制其水解, 在配制溶液时, 应将 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 固体溶于 HNO_3 中, 再加水稀释到相应浓度;

【小问 2 详解】

球形冷凝管的冷凝效果较好, 能使蒸汽充分冷凝回流, 所以为达到最佳的冷凝效果, 装置图 C 虚框中未画出的仪器最好选择球形冷凝管, 即 b;

【小问 3 详解】

装置 A 中多孔球泡可以增大气体与溶液的接触面积, 使气体被充分吸收; 单向阀的作用是防止倒吸, 防止蒸馏瓶中液体倒吸入 A 瓶;

【小问 4 详解】

根据滴定原理 $\text{Hg}^{2+} + 2\text{Cl}^- = \text{HgCl}_2 \downarrow$, $n(\text{Cl}^-) = 2n(\text{Hg}^{2+}) = 2n(\text{Hg}^{2+}) = 0.001 \text{ mol/L} \times (V_1 - V_0) \times 10^{-3} \text{ L} = (V_1 - V_0) \times 10^{-6} \text{ mol/L}$,

则 $n(\text{Cl}^-) = 2 \times (V_1 - V_0) \times 10^{-6} \text{ mol}$, $m(\text{Cl}^-) = 2 \times (V_1 - V_0) \times 10^{-6} \text{ mol} \times 35.5 \text{ g/mol} = 71 \times (V_1 - V_0) \times 10^{-6} \text{ g}$, 水泥试

样中氯离子的质量分数 $w(\text{Cl}^-) = \frac{71 \times (V_1 - V_0) \times 10^{-6} \text{ g}}{mg} \times 100\% = \frac{0.0071 \times (V_1 - V_0)}{m} \%$ 。

【小问 5 详解】

若水泥样品中含有 Na_2S , 在酸性条件下, 硫离子被硝酸氧化成单质或硫酸根离子了, 不影响 Hg 的消耗, 根据 (4) 中计算式, 测定结果会不变。

【小问 6 详解】

在用 AgNO_3 标准液滴定含 Cl^- 的待测液时, 发生反应 $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl} \downarrow$ 。在滴定过程中, 随着 AgNO_3 的加入, 溶液中离子浓度等情况发生变化, 从而导致电位 E 改变, 接近滴定终点时, Ag^+ 浓度会发生突变, 使得电位 E 也会有明显的变化, 据此分析解答。

A. 到滴定终点时, 由于 Ag^+ 浓度突变, 电位 E 会发生突跃, 该图像符合电位滴定过程中电位随 AgNO_3 消耗体积的变化情况, A 正确;

B. 图像也呈现出在滴定过程中电位逐渐变化, 但滴定需要有突变, 该图像没有, 不符合电位滴定的规律, B 错误;

C. $\frac{\Delta E}{\Delta V}$ -V 图像中, $\frac{\Delta E}{\Delta V}$ 表示电位的变化率, 在滴定终点时, 电位变化最快, 即电位变化率 $\frac{\Delta E}{\Delta V}$ 达到最大, 会出现一个峰值, 该图像符合这种变化, C 正确;

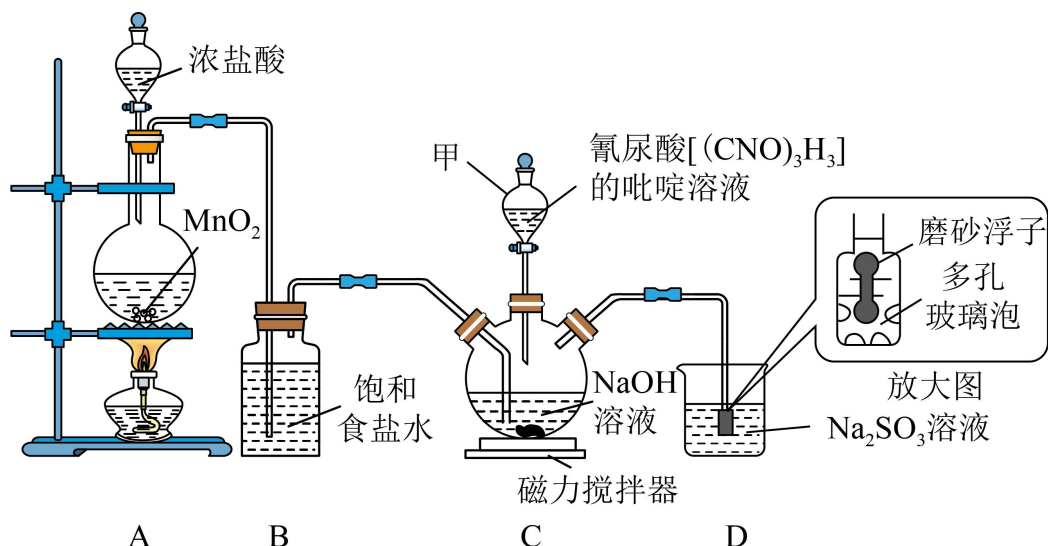
D. $\frac{\Delta^2 E}{\Delta V^2}$ -V 图像中, $\frac{\Delta^2 E}{\Delta V^2}$ 表示电位的变化率的变化率, 即 C 选项中图像中各点的斜率随体积的变化, 此图像符合,

D 正确; 故答案选 B。

(6) B (5) 硫离子被硝酸氧化成单质或硫酸根离子了, 不影响 Hg 的消耗; (6)。

4. (2025 青岛二模, 19) $(\text{CNO})_3 \text{Cl}_2 \text{Na}$ 俗称优氯特, 广泛用于饮用水、公共场所的杀菌消毒。

I. 制备优氯特



已知：pH 在 10~12、温度在 15~25℃时，氰尿酸 $[(\text{CNO})_3\text{H}_3]$ 与次氯酸钠溶液混合，可制得优氯特。

回答下列问题：

(1) 甲的名称为_____。该实验中，下列试剂可以代替饱和食盐水的是_____ (填标号)。

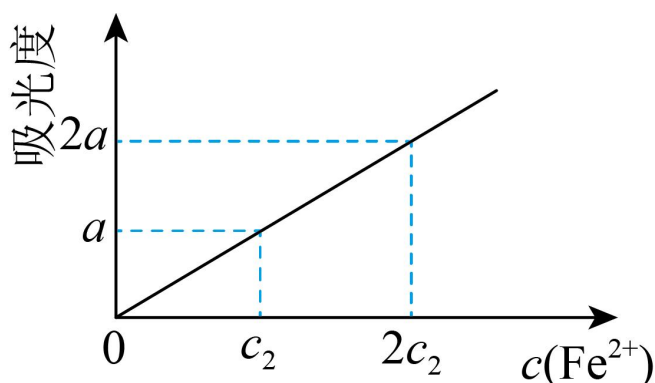
A. 浓 H_2SO_4 B. NaOH 溶液 C. 饱和 NaHCO_3 溶液 D. 30% H_2SO_4

(2) 实验开始向 C 中通入足量氯气将 NaOH 转化为 NaClO ，滴加 $(\text{CNO})_3\text{H}_3$ 的吡啶溶液并搅拌，生成优氯特，化学方程式为_____。反应过程中需持续补充氯气，目的为_____。

(3) D 中多孔玻璃泡内置一密度小于水的磨砂浮子(见放大图)，目的是_____。

II. 测定优氯特的纯度

处理得优氯特粗品，分光光度法测定纯度的过程：取 mg 样品溶于水、加酸使氯原子全部转化为 HClO ，加入 $V_1\text{mL } c_1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{FeSO}_4$ 溶液(过量)，充分反应后，加入适量邻二氮菲使 Fe^{2+} 显色，定容至 100.00mL。测得吸光度为 1.2a。该条件下， Fe^{2+} 浓度与吸光度的关系如图。



(4) 该粗产品的纯度为_____。

(5) 下列因素会导致纯度测定值偏低的是_____ (填标号)。

A. 样品溶于水时加入酸过少，仅部分氯原子转化为 HClO

B. $c_1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeSO}_4$ 溶液使用前部分被氧化

C. 定容时仰视刻度线

【答案】 (1) ①. 分液漏斗 ②. D

(2) ①. $2\text{NaClO} + (\text{CNO})_3\text{H}_3 = \text{NaOH} + (\text{CNO})_3\text{Cl}_2\text{Na} + \text{H}_2\text{O}$ ②. 控制 pH 值, 使反应生成的氢氧化钠

再次生成次氯酸钠并参与反应, 提高原料的利用率;

(3) 防止倒吸 (4) $\frac{55(V_1c_1 \times 10^{-3} - 0.12c_2)}{m} \times 100\%$

(5) A

【解析】

【分析】由实验装置图可知, 装置 A 中二氧化锰固体与浓盐酸反应制备氯气, 浓盐酸具有挥发性, 制得的氯气中混有氯化氢和水蒸气, 装置 B 中盛有的饱和食盐水用于除去氯化氢气体, 装置 C 中氯气与氢氧化钠溶液反应制备次氯酸钠, 次氯酸钠溶液与氰尿酸的吡啶溶液反应制备二氯异氰尿酸钠, 装置 D 中盛有的亚硫酸钠溶液用于吸收未反应的氯气, 防止污染空气。

【小问 1 详解】

仪器甲的名称为分液漏斗。氯气和氯化氢均可以和氢氧化钠溶液、饱和碳酸氢钠溶液反应, 浓硫酸只能干燥氯气, 不能除杂, HCl 极易溶于水, 在 30% H_2SO_4 中溶解度依然很大, 而 Cl_2 在酸溶液中会抑制 Cl_2 的歧化反应, 故溶解度会下降, 所以 30% H_2SO_4 可以代替饱和食盐水, 故选 D;

【小问 2 详解】

NaClO 和 $(\text{CNO})_3\text{H}_3$ 的吡啶溶液搅拌, 生成优氯特, 化学方程式为

$2\text{NaClO} + (\text{CNO})_3\text{H}_3 = \text{NaOH} + (\text{CNO})_3\text{Cl}_2\text{Na} + \text{H}_2\text{O}$; 制备过程中要不断通入氯气, 控制 pH 值, 使反应生成的氢氧化钠再次生成次氯酸钠并参与反应, 提高原料的利用率;

【小问 3 详解】

D 中多孔玻璃泡内置一密度小于水的磨砂浮子, 目的是防止倒吸;

【小问 4 详解】

取 mg 样品溶于水、加酸使氯原子全部转化为 HClO 。结合反应 $\text{HClO} + 2\text{Fe}^{2+} + \text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$, 找出关系式

为: $(\text{CNO})_3\text{Cl}_2\text{Na} \sim 2\text{HClO} \sim 4\text{Fe}^{2+}$, 加入适量邻二氮菲使 Fe^{2+} 显色, 定容至 100.00mL。测得吸光度为 1.2a, 由

图可知, 吸光度测得的亚铁离子的物质的量 $n_{\text{吸}}(\text{Fe}^{2+}) = 1.2c_2 \times 0.1\text{L} = 0.12c_2\text{mol}$, 因此与次氯酸反应的亚铁离子的

物质的量为 $n_{\text{反}}(\text{Fe}^{2+}) = n_{\text{总}}(\text{Fe}^{2+}) - n_{\text{吸}}(\text{Fe}^{2+}) = V_1c_1 \times 10^{-3} - 0.12c_2 \times 0.1\text{L} = (V_1c_1 \times 10^{-3} - 0.12c_2)\text{mol}$,

根据关系可得, $n[(\text{CNO})_3\text{Cl}_2\text{Na}] = \frac{1}{2}n(\text{HClO}) = \frac{1}{4}n_{\text{反}}(\text{Fe}^{2+}) = \frac{1}{4} \times (V_1c_1 \times 10^{-3} - 0.12c_2)\text{mol}$, 所以粗产品纯度

$$\text{为: } \frac{\frac{1}{4} \times (V_1 c_1 \times 10^{-3} - 0.12 c_2) \text{ mol} \times 220 \text{ g/mol}}{\text{mg}} \times 100\% = \frac{55 (V_1 c_1 \times 10^{-3} - 0.12 c_2)}{m} \times 100\% ;$$

【小问 5 详解】

A. 加入稀硫酸的量过少，将使反应不完全，即生成的 HClO 偏少，故将导致样品有效氯测定值偏低，A 正确；

B. 因邻二氮菲使 Fe^{2+} 显色，由测得的吸光度求得剩余的 Fe^{2+} 浓度，因 $n_{\text{反}}(\text{Fe}^{2+}) = n_{\text{总}}(\text{Fe}^{2+}) - n_{\text{吸}}(\text{Fe}^{2+})$ ，

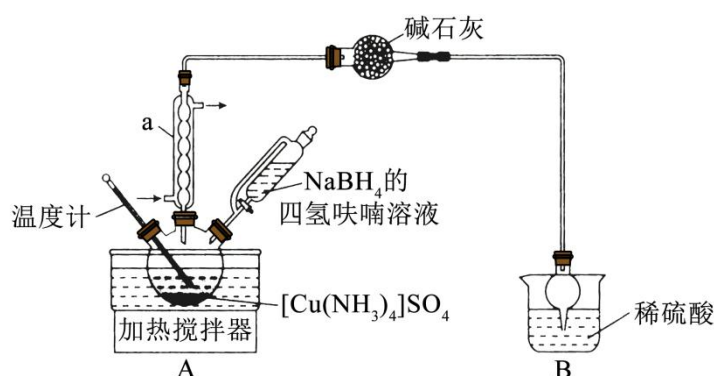
$c_1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeSO}_4$ 溶液使用前部分被氧化，所以 $n_{\text{总}}(\text{Fe}^{2+})$ 偏大， $n_{\text{反}}(\text{Fe}^{2+})$ 偏大，故 $(\text{CNO})_3 \text{Cl}_2 \text{Na}$ 纯度测定值偏大，B 错误；

C. 定容时仰视刻度线，即水加多超过刻度线，则 $C_{\text{吸}}(\text{Fe}^{2+})$ 偏小，导致 $n_{\text{吸}}(\text{Fe}^{2+})$ 偏小，

$n_{\text{反}}(\text{Fe}^{2+}) = n_{\text{总}}(\text{Fe}^{2+}) - n_{\text{吸}}(\text{Fe}^{2+})$ 偏大，故将导致 $(\text{CNO})_3 \text{Cl}_2 \text{Na}$ 纯度测定值偏大，C 错误；

故选 A。

5. (2025 临沂二模, 19) 氨硼烷 (NH_3BH_3) 是一种固体储氢材料。实验室利用 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 和 NaBH_4 制备氨硼烷，其装置如图所示(夹持装置略)。



实验过程如下：

在三颈烧瓶中加入 $4.56 \text{ g } [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 固体，将 150 mL 含 0.04 mol NaBH_4 的四氢呋喃溶液缓慢滴入三颈烧瓶中，保持温度 25°C ，充分反应后，经一系列操作获得氨硼烷粗产品。

已知电负性： $\text{N} > \text{H} > \text{B}$ 。

回答下列问题：

(1) 仪器 a 的名称为_____；根据上述实验药品的用量，三颈烧瓶的最适宜规格为_____ (填标号)；装置 B 的作用是_____。

a. 100 mL b. 250 mL c. 500 mL d. 1000 mL

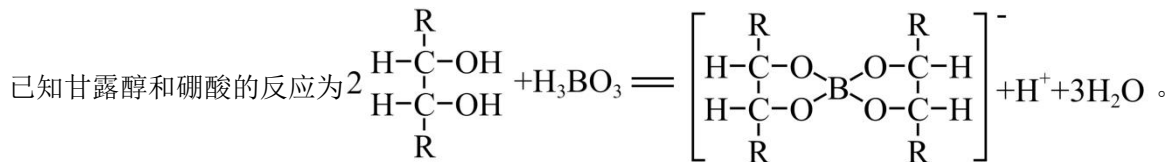
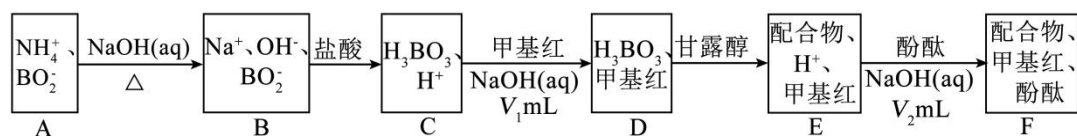
(2) 实验中 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 与 NaBH_4 恰好完全反应，同时有两种单质生成，该反应的化学方程式为_____。

(3) 该装置存在的缺陷是_____。

(4) 产品纯度测定(杂质不反应)：

I. 称量 $m\text{g}$ 产品，加入水和催化剂，充分反应后配成 250mL 溶液。

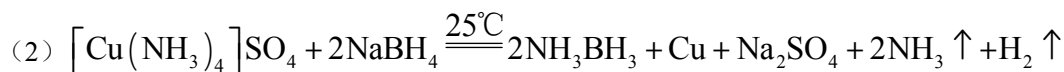
II. 取 25.00mL 溶液置于锥形瓶中，按下列流程进行实验。



① $\text{C} \rightarrow \text{D}$ 的实验过程中，需要准确滴定 H^{+} 的原因是_____。

② 已知 NaOH 标准溶液的浓度为 $c\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则产品的纯度为_____。

【答案】 (1) ①. 球形冷凝管 ②. b ③. 防倒吸；吸收挥发出的氨气；形成液封



(3) 缺少氢气处理装置

(4) ①. 碱中和过量，氨硼烷的测定结果偏低；碱中和不足，氨硼烷的测定结果偏高 ②. $\frac{31cV_2}{m} \%$

【解析】

【分析】根据电负性 $\text{N} > \text{H} > \text{B}$ ， NaBH_4 中 H 显 -1 价， $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 与 NaBH_4 反应时， NaBH_4 中部分 H 元素化合价升高生成氢气，根据氧化还原反应规律，Cu 元素化合价降低生成 Cu 单质。

【小问 1 详解】

根据装置图，仪器 a 的名称为球形冷凝管；烧瓶中液体的体积为烧瓶容积的 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ ，溶液的体积约为 150mL，三颈烧瓶的最适宜规格为 250mL，选 b；A 中有氨气放出，所以装置 B 的作用是吸收挥发出来的氨气，B 中球形干燥管的作用是防倒吸，同时 B 形成液封。

【小问 2 详解】

实验中 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 与 NaBH_4 恰好完全反应，根据氧化还原反应规律，同时生成氢气和铜两种单质，该反应的化学方程式为 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 + 2\text{NaBH}_4 \xrightarrow{25^\circ\text{C}} 2\text{NH}_3\text{BH}_3 + \text{Cu} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow$ 。

【小问 3 详解】

反应生成的氢气直接排到空气中，没有进行收集，该装置存在的缺陷是缺少氢气处理装置；

【小问 4 详解】

① 通过滴定硼酸和甘露醇反应生成的 H^{+} 计算硼酸的物质的量，进而计算氨硼烷的物质的量， $\text{C} \rightarrow \text{D}$ 的实验过程中，若碱中和过量， V_2 偏小，氨硼烷的测定结果偏低；若碱中和不足， V_2 偏大，氨硼烷的测定结果偏高，所以 $\text{C} \rightarrow \text{D}$

需要准确滴定 H^+ 。

②根据滴定原理建立反应关系式, $\text{NH}_3\text{BH}_3 \sim \text{H}_3\text{BO}_3 \sim \text{H}^+ \sim \text{NaOH}$, 25mL 溶液中

$n(\text{NH}_3\text{BH}_3) = n(\text{NaOH}) = c \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times V_2 \times 10^{-3} \text{ L} = c V_2 \times 10^{-3} \text{ mol}$, 则产品的纯度为

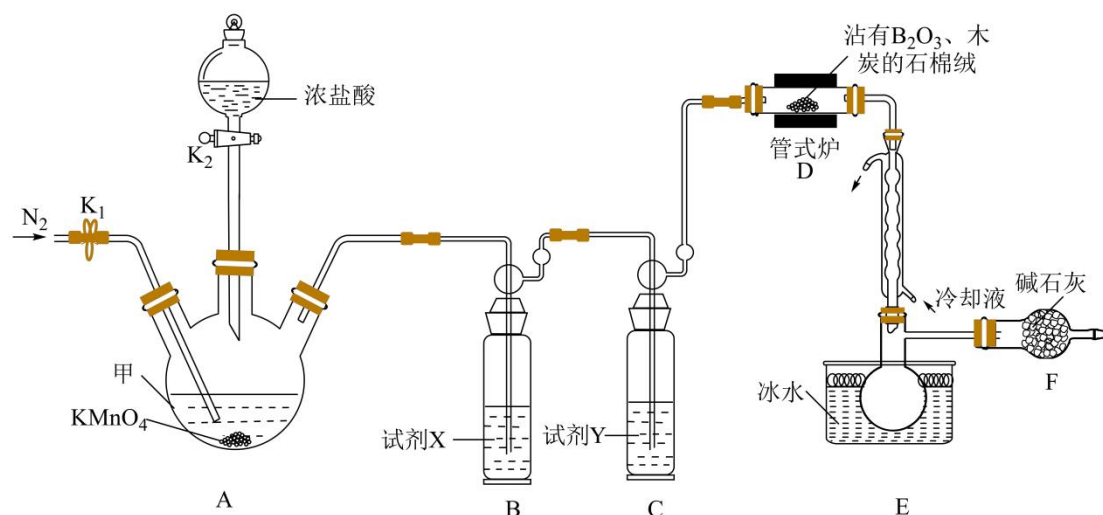
$$\frac{c V_2 \times 10^{-3} \text{ mol} \times \frac{250}{25} \times 31 \text{ g/mol}}{\text{mg}} \times 100\% = \frac{31 c V_2}{m} \%。$$

6. (2025 聊城二模, 19) 三氯化硼(BCl_3)可用于金属冶炼、合成催化剂等, 其制备原理为



已知: ①三氯化硼(BCl_3)的熔点为 -107°C , 沸点为 12.5°C , 极易水解; ② $K_{\text{sp}}(\text{AgSCN}) < K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$ 。

I. 利用如图装置制取少量 BCl_3 (夹持装置略):



①连接仪器, 检验装置的气密性, 装入药品; 打开 K_1 , 通一段时间 N_2 ;

②关闭 K_1 , 加入适量浓盐酸, 接通冷凝装置, 加热管式炉;

③待反应结束, 停止加热, 打开 K_1 , 再通一段时间 N_2 。

回答下列问题:

(1) 试剂 Y 为 _____, F 处碱石灰的作用是 _____。

(2) 判断装置 D 中反应结束的实验现象是 _____。

(3) 图示装置存在的缺陷是 _____。

II. 测定 BCl_3 产品的纯度。

①准确称取 $w \text{ g}$ 产品, 加入蒸馏水, 完全水解, 并配成 250mL 溶液;

②准确量取 25.00mL 溶液于锥形瓶中;

③向其中加入 $V_1 \text{ mL } c_1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$ 溶液, 加入 3mL 硝基苯(密度为 $1.205 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)用力振荡, 使沉淀表面完全覆盖硝基苯;

④滴入 3 滴指示剂溶液, 用 $c_2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KSCN}$ 标准溶液滴定过量的 AgNO_3 溶液, 至滴定终点消耗标准溶液 $V_2 \text{ mL}$ 。

(4) 步骤④中可以选用_____，溶液作指示剂，判断滴定终点的现象是_____。

A. FeCl_3 B. $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ C. $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$

(5) 该产品中 BCl_3 的质量分数为_____ %。下列操作会导致 BCl_3 质量分数的测定值偏大的是_____。

A. 加入硝基苯的量少导致未完全覆盖沉淀表面

B. 盛标准液的滴定管未用 KSCN 标准溶液润洗

C. 滴定管在滴定前无气泡，滴定完成后滴定管尖嘴处有气泡

【答案】 (1) ①. 浓硫酸 ②. 吸收氯气，防止空气中的水蒸气进入

(2) 冷凝管中不再有液体滴下

(3) 缺少 CO 尾气处理装置

(4) ①. B ②. 当滴入最后半滴标准溶液，溶液由无色变为红色，且半分钟不褪色

(5) ①. $\frac{117.5(c_1V_1 - c_2V_2)}{3w}$ ②. C

【解析】

【分析】A 装置制备 Cl_2 ；B 装置盛有饱和食盐水用于除 HCl ；C 装置盛有浓硫酸用于干燥氯气；管式炉中得到 BCl_3 蒸汽，经冷凝后在 E 中收集液态 BCl_3 ；F 中的碱石灰用于吸收尾气中的氯气，同时防止空气中的水蒸气进入装置中。

【小问 1 详解】

由上述分析可知 Y 为浓硫酸；F 中的碱石灰用于吸收尾气中的氯气，同时防止空气中的水蒸气进入装置中；

【小问 2 详解】

反应结束，E 中不再收集到液体，即可观察到冷凝管中不再有液体滴下；

【小问 3 详解】

尾气中还含有污染气体 CO ，图中缺少 CO 尾气处理装置；

【小问 4 详解】

Fe^{3+} 与 SCN^- 产生红色络合物，故可选择 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液做指示剂（ FeCl_3 不可以， Cl^- 会对实验产生干扰）；当滴入最后半滴标准溶液，溶液由无色变为红色，且半分钟不褪色，滴定达到终点；

【小问 5 详解】

由反应可知存在计量关系： $\text{Cl}^- \sim \text{Ag}^+$ ， $\text{Ag}^+ \sim \text{SCN}^-$ ，根据原子守恒可知存在计量关系： $3\text{Cl}^- \sim \text{BCl}_3$ ，则 $w\text{g}$ 样品中 BCl_3

的质量分数为 $\frac{1}{3} \times (c_1V_1 - c_2V_2) \times 10^{-3} \text{ mol} \times 117.5 \text{ g/mol} \times \frac{250 \text{ mL}}{25.00 \text{ mL}} \times 100\% = \frac{117.5(c_1V_1 - c_2V_2)}{3w} \% ;$

A. 由 $K_{\text{sp}}(\text{AgSCN}) < K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$ 知，当加入硝基苯的量少导致未完全覆盖沉淀表面，会有部分 AgCl 转化为 AgSCN ， V_2 偏大，最终 BCl_3 的测定值偏小，A 错误；

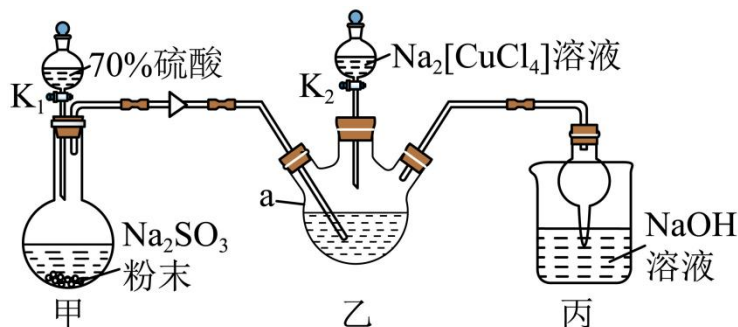
B. 盛标准液的滴定管未用 KSCN 标准溶液润洗，会使得 V_2 偏大，最终 BCl_3 的测定值偏小，B 错误；

C. 滴定管在滴定前无气泡，滴定完成后滴定管尖嘴处有气泡，会导致 V_2 数值偏小，最终 BCl_3 的测定值偏大，C

正确；

故答案选 C。

7. (2025 济宁二模, 18) 氯化亚铜为白色晶体, 在空气中易被氧化, 微溶于水, 不溶于醇。实验室制备氯化亚铜的部分实验装置如图所示(夹持装置略)。



已知: CuCl_4^{2-} 绿色, CuCl_3^{2-} 茶褐色

(1) 仪器 a 的名称_____, 装置丙的作用为_____。

(2) 反应开始时, 先打开_____再打开_____ (填 “K₁”、“K₂”); 反应一段时间后, 乙中溶液由绿色变为茶褐色, 发生反应的离子方程式为_____。反应完毕, 将溶液加入至盛有 800mL 蒸馏水的烧杯中, 静置 5 分钟, 析出白色晶体, 过滤、洗涤、干燥, 洗涤晶体时所用试剂的顺序为_____ (填序号)。

①SO₂ 饱和水溶液 ②无水乙醇

(3) 称取 ag 氯化亚铜试样, 置于盛有过量氯化铁溶液的 250mL 碘量瓶(一种具塞锥形瓶)中, 盖上瓶塞, 不断摇动, 待试样溶解后, 打开瓶塞, 依次加入 50mL 水、20mL 硫酸溶液和 2 滴二苯胺磺酸钠指示剂, 立即用 $\text{cmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 标准溶液滴定, 达到终点时颜色由绿色变为浅紫色, 消耗 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液 VmL, 样品的质量分数_____ (用含 a、V、c 的式子表示); 若使用普通锥形瓶配制溶液, 测得的质量分数_____ (填 “偏大”、“不变”、“偏小”)。

【答案】(1) ①. 三颈烧瓶 ②. 吸收 SO₂, 防止空气中的氧气进入装置乙

(2) ①. K₁ ②. K₂ ③. $2\text{CuCl}_4^{2-} + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4^{2-} + 2\text{CuCl}_3^{2-} + 2\text{Cl}^- + 4\text{H}^+$ ④. ①②

(3) ①. $\frac{5.97cV \times 10^{-1}}{a} \times 100\%$ ②. 偏小

【解析】

【分析】由实验装置图可知, 装置甲中亚硫酸钠固体与 70% 浓硫酸反应制备二氧化硫, 装置乙中二氧化硫与氢氧化铜、氯化钠溶液反应制备氯化亚铜, 装置丙中盛有氢氧化钠溶液用于吸收未反应的二氧化硫, 防止污染空气, 据此分析;

【小问 1 详解】

仪器 a 的名称三颈烧瓶, 装置丙的作用为吸收 SO₂, 防止空气中的氧气进入装置乙 (氯化亚铜在空气中易被氧化);

【小问 2 详解】

反应开始时, 先打开 K₁, 使装置内充满二氧化硫, 再打开 K₂; 反应一段时间后, 乙中溶液由绿色变为茶褐色, 发

生反应的离子方程式为 $2\text{CuCl}_4^{2-} + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4^{2-} + 2\text{CuCl}_3^{2-} + 2\text{Cl}^- + 4\text{H}^+$ ；反应完毕，将溶液加入至盛有 800mL 蒸馏水的烧杯中，静置 5 分钟，析出白色晶体，过滤、洗涤、干燥，由于 CuCl 为不溶于酒精，在空气中能被迅速氧化，洗涤晶体时所用试剂为① SO_2 饱和水溶液使铜元素尽可能以 CuCl_3^{2-} 形式存在，②无水乙醇，代替蒸馏水洗涤的目的是减少 CuCl 溶解损耗，并防止氧化；

【小问 3 详解】

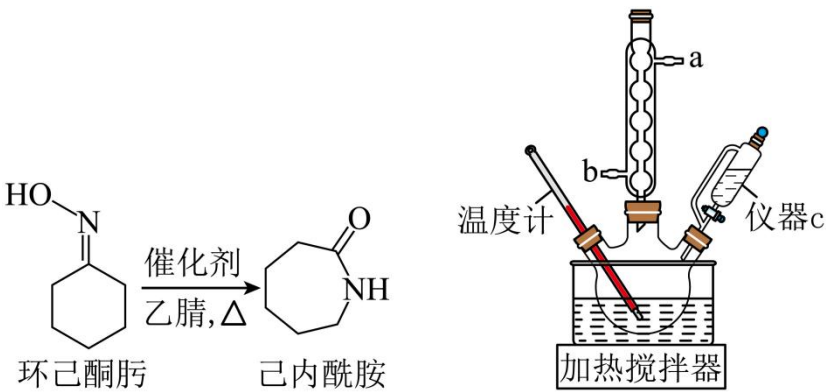
根据 $\text{CuCl} + \text{Fe}^{3+} = \text{Cu}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Cl}^-$ 、 $6\text{Fe}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ = 6\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ ，可得关系式

$6\text{CuCl} \sim 6\text{Fe}^{2+} \sim \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ，则 $n(\text{CuCl}) = 6n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 6\text{cmol} \cdot \text{L}^{-1} \times V \times 10^{-3}\text{L} = 6cV \times 10^{-3}\text{mol}$ ，

$m(\text{CuCl}) = 6cV \times 10^{-3}\text{mol} \times 99.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.597cV\text{g}$ ， $\omega(\text{CuCl}) = \frac{0.597cV\text{g}}{ag} \times 100\% = \frac{5.97cV \times 10^{-1}}{a} \times 100\%$ ；碘

量瓶防止溶液与空气的接触，氧化亚铁离子，使 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 用量减少，若使用普通锥形瓶配制溶液，测得的质量分数偏小。

8. （2025 济南二模，18）己内酰胺是生产锦纶和尼龙工程塑料的原料单体，用如下原理及装置制备(夹持装置略)。



已知实验所需物质性质如表格所示：

试剂名称	色态	熔点	溶解性
对甲苯磺酰氯	白色片状结晶	71℃	溶于乙腈和苯
环己酮肟	白色晶体	89℃	溶于水 and 一般有机溶剂
己内酰胺	白色片状固体	70℃	溶于水 and 一般有机溶剂，有腐蚀性

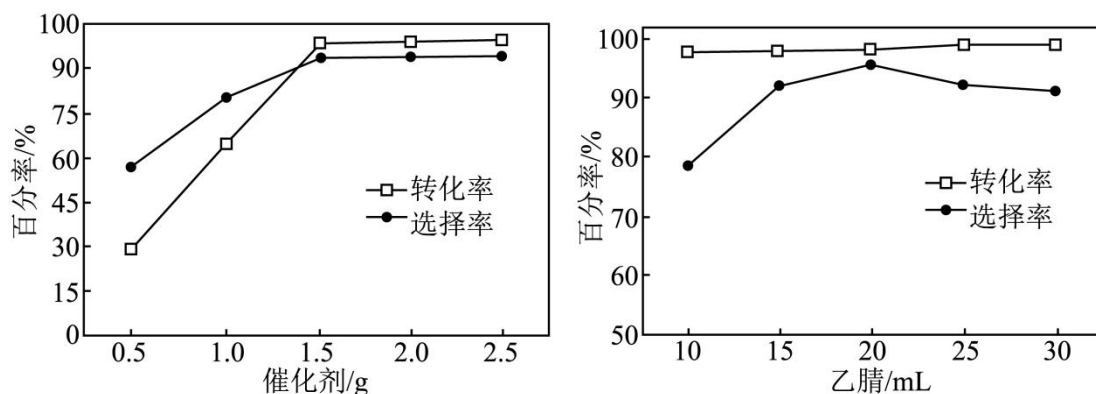
制备操作：向装有温度计的三口烧瓶中加入 $m\text{ g H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_2\text{Cl}$ (对甲苯磺酰氯简写为 TsCl)，磁力搅拌下

滴加 $V\text{ mL}$ 溶有 2.0 g 环己酮肟的乙腈溶液，控温 60°C 反应 2.5 小时。减压蒸馏除去乙腈，加入 20 mL 水将黏稠物溶

解,再缓慢加入饱和 NaHCO_3 溶液,充分振摇,氯仿萃取,萃取液加入干燥剂振摇后放置澄清,常压蒸出氯仿,减压蒸馏得己内酰胺 1.84g。

回答下列问题

(1) 仪器 c 的名称为_____；对照实验显示催化剂和溶剂用量均能影响原料转化率和选择性如图所示,本实验中需要的对甲苯磺酰氯质量 $m =$ _____g, 乙腈体积 $V =$ _____mL。



(2) 环己酮肟、溶剂乙腈使用前都需要干燥除水,否则会导致催化剂 TsCl 失活,发生的反应方程式_____。
氯仿萃取合并液可以选用_____作干燥剂(选填“硫酸镁”“碱石灰”或“五氧化二磷”)。

(3) 关于该实验,下列说法错误的是_____ (填标号)。

- A. 氯仿萃取振荡时,分液漏斗下口应倾斜向下
- B. 实施减压蒸馏时,应该先加热后减压
- C. 可通过测定产品熔点定性判断其纯度高低
- D. 需要在通风橱内进行,并且佩戴防护手套

(4) 将硫酸“固定”在分子树脂上可得磺酸树脂类催化剂。该类催化剂的优点是_____。

(5) 上述条件下测得环己酮肟转化率为 98.4%, 环己酮肟转化为己内酰胺选择性为_____%(保留三位有效数字)。

【答案】 (1) ①. 恒压滴液漏斗(恒压分液漏斗) ②. 1.5 ③. 20

(2) ①. $\text{TsCl} + \text{H}_2\text{O} = \text{TsOH} + \text{HCl}$ ②. 硫酸镁 (3) AB

(4) 分离操作方便、催化剂便于回收重复利用、增大催化剂与反应物间的接触面积

(5) 93.5

【解析】

【分析】本实验利用环己酮肟的乙腈溶液在催化剂(TsCl)作用下反应生成己内酰胺,反应完成后减压蒸馏除去乙醇,再经过除杂、萃取、蒸馏得到产品;

【小问 1 详解】

仪器 c 的名称为恒压滴液漏斗(恒压分液漏斗);根据图示可知,催化剂选择 1.5g 转化率和选择性均达到较高水平,继续提高催化剂用量,转化率和选择性提升不大,故催化剂对甲苯磺酰氯选择 $m=1.5\text{g}$,同理乙腈选择 20mL 即可;

【小问 2 详解】

催化剂甲苯磺酰氯(TsCl)中含有氯原子，易水解，若不除水，催化剂 TsCl 与水发生的反应方程式为

$\text{TsCl} + \text{H}_2\text{O} = \text{TsOH} + \text{HCl}$ ；己内酰胺中含有酰胺基，在酸性、碱性环境下均能水解，故选择中性干燥剂硫酸镁；

【小问 3 详解】

A. 氯仿萃取振荡时，分液漏斗下口应倾斜向上进行放气，A 错误；

B. 实施减压蒸馏时，应该先减压降低沸点后加热，B 错误；

C. 由表可知，产品的熔点和原料的熔点不同，可通过测定产品熔点定性判断其纯度高低，C 正确；

D. 该实验所用有机试剂大多有毒，需要在通风橱内进行，且己内酰胺有腐蚀性，需要带防护手套，D 正确；

故选 AB；

【小问 4 详解】

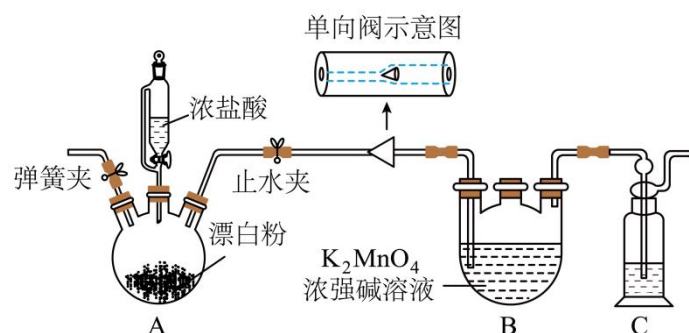
将硫酸“固定”在 高分子树脂上可得磺酸树脂类催化剂，其易于分离和回收，减少了催化剂的损失和环境污染，其具有良好的重复使用性，降低了生产成本；其次，催化剂稳定性高，能够在较宽的温度和 pH 范围内保持活性；此外，磺酸树脂催化剂具有较大的比表面积，能增大催化剂与反应物间的接触面积，加快反应速率。这些特性使其在有机合成和工业催化中具有广泛的应用前景。

【小问 5 详解】

环己酮肟与己内酰胺的摩尔质量均为 113g/mol，则 2.0g 环己酮肟理论上得到 2.0g 己内酰胺，转化率为 98.4%，若选择性为 100%，则理论上得到 $2.0\text{g} \times 98.4\% = 1.968\text{g}$ 己内酰胺，实际得到己内酰胺 1.84g，则选择性为

$$\frac{1.84\text{g}}{1.968\text{g}} \times 100\% = 93.5\% \text{ (保留三位有效数字)}。$$

9. (2025 菏泽二模，18) 实验室利用 Cl_2 氧化锰酸钾 (K_2MnO_4) 浓强碱溶液制备 KMnO_4 的装置如图所示(夹持装置略)。



已知：① K_2MnO_4 为墨绿色晶体，其水溶液呈深绿色。其在浓的强碱溶液中可稳定存在，碱性减弱时易发生歧化反应；②一些物质在不同温度下的溶解度见下表。

溶解度(g/100g) / 温度/°C	0	20	40	60	70	80
物质						

KCl	27.6	34.0	40.0	45.5	47.2	51.3
KMnO ₄	2.83	6.4	12.7	22.2	—	—

回答下列问题：

(1) 制备 KMnO₄ 反应的离子方程式为_____。单向阀的作用是_____。当仪器 B 中_____即停止通氯气，反应结束的后续操作为：关闭 A 中恒压滴液漏斗的活塞，_____，拆除装置。

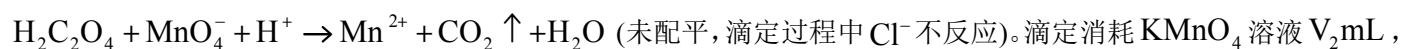
(2) 为了获得杂质较少的 KMnO₄ 晶体，从下列选项中选出合理的操作并排序：将装置 B 中的溶液转移至蒸发皿中→_____→干燥→KMnO₄ 晶体(填标号)。

- a. 用少量冰水洗涤 b. 先用冰水洗涤，再用乙醇洗涤
c. 小火蒸发至溶液表面出现晶膜，停止加热 d. 小火蒸发至析出大量晶体，停止加热
e. 趁热过滤 f. 减压过滤 g. 缓慢降温结晶

(3) 利用氧化还原滴定法测定高锰酸钾的纯度。

称取 KMnO₄ 样品 m₁g，配成 V₁mL 溶液。称取高纯度 Na₂C₂O₄ (摩尔质量为 134g·mol⁻¹) 固体 m₂g 于锥形瓶中，

加入蒸馏水溶解，再加入少量硫酸酸化，水浴加热至 75~85℃。趁热用 KMnO₄ 溶液滴定，发生反应：



样品中 KMnO₄ (摩尔质量为 158g·mol⁻¹) 的质量分数为_____ (用代数式表示)。若加热温度大于 90℃，部分草酸发生分解，会导致测得产品纯度_____ (填“偏高”“偏低”或“无影响”)。

【答案】 (1) ①. $\text{Cl}_2 + 2\text{MnO}_4^{2-} = 2\text{MnO}_4^- + 2\text{Cl}^-$ ②. 防止倒吸 ③. 溶液由绿色完全转变为紫红色
④. 打开弹簧夹，通入空气(或 N₂)

(2) c → g → f → a

(3) ①. $\frac{158m_2V_1}{335m_1V_2} \times 100\%$ ②. 偏高

【解析】

【分析】A 中次氯酸钙和浓盐酸反应生成氯气，氯气通入 B 中把锰酸钾氧化为高锰酸钾，B 中溶液由绿色完全转变为紫红色，反应结束，停止通入氯气，尾气用 C 中碱溶液吸收，防止污染。

【小问 1 详解】

Cl₂ 氧化锰酸钾 (K₂MnO₄) 浓强碱溶液制备 KMnO₄，锰元素化合价由+6 升高为+7，Cl 元素化合价由 0 降低为-1，

根据得失电子守恒、电荷守恒配平离子方程式为 $\text{Cl}_2 + 2\text{MnO}_4^{2-} = 2\text{MnO}_4^- + 2\text{Cl}^-$ ；单向阀确保氯气仅沿单一方向流动，阻止逆向流动，该装置中单向阀的作用是防倒吸。锰酸钾溶液呈深绿色，高锰酸钾溶液呈紫红色，当仪器 B

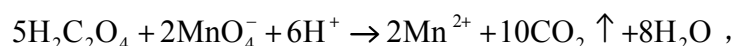
中溶液由绿色完全转变为紫红色，说明锰酸钾完全转化为高锰酸钾，即停止通氯气，反应结束的后续操作为：关闭 A 中恒压滴液漏斗的活塞，打开弹簧夹，通入空气，把装置内氯气完全排入 C 中吸收，拆除装置。

【小问 2 详解】

高锰酸钾受热易分解，溶解度随温度升高而增大，为得到杂质较少的 KMnO_4 粗产品，将装置 B 中的溶液转移至蒸发皿中→小火加热蒸发至溶液出现晶膜，停止加热→缓慢降温结晶→减压过滤→少量冰水洗涤→干燥→ KMnO_4 晶体；排序为 $c \rightarrow g \rightarrow f \rightarrow a$ ；

【小问 3 详解】

草酸和高锰酸钾发生反应： $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{MnO}_4^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ ，C 元素化合价由+3 升高为+4，Mn 元素化合价由+7 降低为+2，根据得失电子守恒，配平方程式为



$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{2}{5} n(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{2}{5} \times \frac{m_2 \text{g}}{134 \text{g/mol}} = \frac{2}{5} \times \frac{m_2}{134} \text{mol}, c(\text{KMnO}_4) = \frac{\frac{2}{5} \times \frac{m_2}{134} \text{mol}}{V_2 \times 10^{-3} \text{L}} = \frac{m_2 \times 10^3}{5 \times 67 \times V_2} \text{mol/L}。样$$

品中 KMnO_4 (摩尔质量为 $158 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) 的质量分数为

$$\frac{\frac{m_2 \times 10^3}{5 \times 67 \times V_2} \text{mol/L} \times V_1 \times 10^{-3} \text{L} \times 158 \text{g/mol}}{m_1 \text{g}} \times 100\% = \frac{158 m_2 V_1}{335 m_1 V_2} \times 100\%。若加热温度大于 90°C ，部分草酸发生分$$

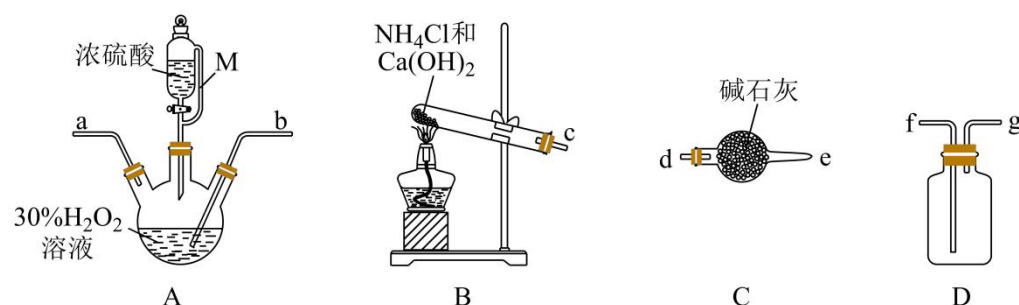
解，消耗高锰酸钾的体积偏小(V_2)， $\frac{158 m_2 V_1}{335 m_1 V_2} \times 100\%$ 值偏大，会导致测得产品纯度偏高。

10. (2025 滨州二模, 19) 过硫酸铵 $[\text{H}_4\text{NO}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\parallel}}\text{S}-\text{O}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\parallel}}\text{S}-\text{ONH}_4]$ 在工业上有广泛用途，某兴趣小组根据反应

$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) + 2\text{NH}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + 2\text{H}_2\text{O}$ 制备 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 粗品。回答下列问题：

(1) $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 中硫元素的化合价为_____。

(2) 制备 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 时，从下列装置中根据需要选择组装。仪器的连接顺序为 $c \rightarrow$ _____ $\rightarrow$ 尾气处理，D 装置的作用为_____，仪器 M 的名称为_____。



(3) 充分反应后, 将 A 中的混合液经一系列操作得到晶体。烘干晶体时, 采用减压、低温的原因是_____。

(4) 采用碘量法测定 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 粗品的纯度。

称取 1.500 g 制得的粗品, 配成 100.00 mL 溶液。移取 25.00 mL 溶液于锥形瓶中, 加入过量 KI 溶液, 用标准浓度的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液滴定(发生反应: $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$), 当溶液颜色变浅时加入几滴淀粉溶液, 滴定至终点。

重复上述滴定操作三次, 平均消耗 $0.2000\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液 12.50 mL。

①滴定终点的现象为_____。

② $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 粗品的纯度为_____ %。若开始滴定前加入淀粉溶液, 则所测 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 的纯度_____ (填“偏高”、“偏低”或“无影响”)。

【答案】 (1) +6 (2) ①. $\text{g}\rightarrow\text{f}\rightarrow\text{b}\rightarrow\text{a}$ ②. 防止装置 A 中液体倒吸入装置 B 中 ③. 恒压滴液漏斗

(3) 降低烘干温度, 防止 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 分解

(4) ①. 当滴入最后半滴标准液时, 溶液由蓝色变为无色, 且半分钟不恢复原色 ②. 76 ③. 偏低

【解析】

【分析】 装置 B 用于制取氨气, 制取氨气的原料为氢氧化钙固体和氯化铵固体, A 装置为过二硫酸铵的生成装置, 考虑氨气极易溶于水, 需要在 A、B 之间放置安全瓶 D 以防止倒吸, 最后用盛放碱石灰的干燥管 C 进行尾气处理, 以此解答。

【小问 1 详解】

过硫酸铵的结构简式为 $\text{H}_4\text{NO}-\overset{\overset{\text{O}}{\parallel}}{\underset{\underset{\text{O}}{\parallel}}{\text{S}}}-\text{O}-\text{O}-\overset{\overset{\text{O}}{\parallel}}{\underset{\underset{\text{O}}{\parallel}}{\text{S}}}-\text{ONH}_4$, 其中过氧键 ($-\text{O}-\text{O}-$) 中 O 原子化合价为-1 价, 其它 O

原子化合价为-2 价, 铵根离子中 N 为-3 价, H 为+1 价, 根据化合价代数和为零可知硫元素的化合价为+6;

【小问 2 详解】

由分析可知, 制备氨气后无需干燥, 但需要防止倒吸, 所以仪器的连接顺序为 $\text{c}\rightarrow\text{g}\rightarrow\text{f}\rightarrow\text{b}\rightarrow\text{a}\rightarrow$ 尾气处理; 氨气极易溶于水, A、B 之间放置安全瓶 D 以防止倒吸, 则 D 装置的作用为防止装置 A 中液体倒吸入装置 B 中; 由仪器构造可知, 仪器 M 的名称为恒压滴液漏斗;

【小问 3 详解】

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 受热会分解, 则烘干产品时, 采用减压、低温的原因是: 降低烘干温度, 防止 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 受热分解;

【小问 4 详解】

①移取 25.00 mL $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液于锥形瓶中, 加入过量 KI 溶液, 两者反应生成 I_2 , 再用标准浓度的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液滴定生成的 I_2 , 当溶液颜色变浅时加入几滴淀粉溶液, 此时溶液呈蓝色, 用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液滴定时发生反应:

$\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$, 溶液的蓝色逐渐变浅, 最终褪色, 则滴定终点的现象为: 当滴入最后半滴标准液时,

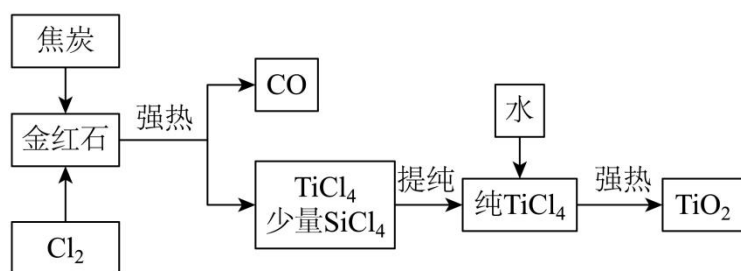
溶液由蓝色变为无色，且半分钟不恢复原色；

②移取 25.00 mL $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液于锥形瓶中，加入过量 KI 溶液，两者反应生成 I_2 ，再用标准浓度的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液滴定生成的 I_2 ，根据得失电子守恒可得关系式： $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} \sim \text{I}_2 \sim 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ，平均消耗 $0.2000\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液 12.50

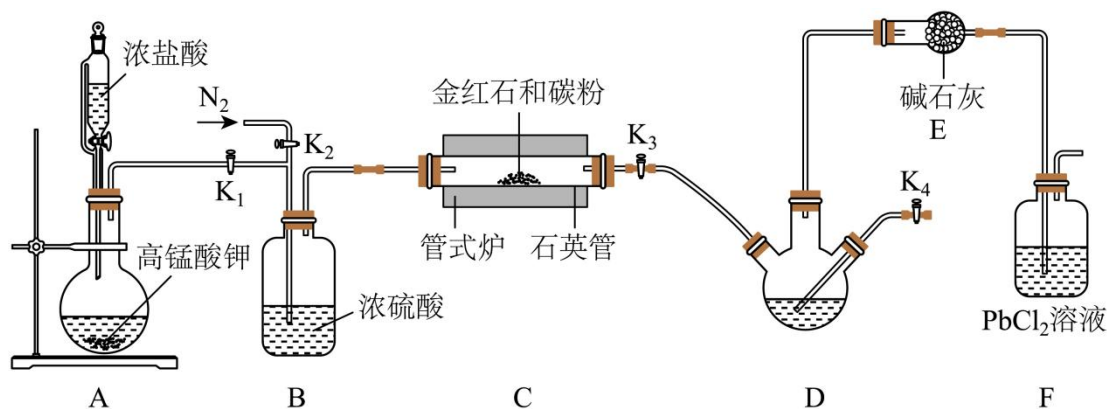
mL，则 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 粗品的纯度为 $\frac{0.0125\text{L} \times 0.2000\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \times \frac{1}{2} \times \frac{100\text{mL}}{25\text{mL}} \times 228\text{g/mol}}{1.5\text{g}} \times 100\% = 76\%$ 。若开始滴

定前加入淀粉溶液，会导致淀粉与 I_2 结合生成性质稳定的蓝色络合物，这种络合物不易与 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 反应，导致消耗标准 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的体积偏小，则所测 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 的纯度偏低。

11. (2025 烟台德州二模, 18) 从金红石(主要成分 TiO_2 ，杂质 SiO_2)中提纯 TiO_2 的工艺流程如下：



根据上述流程某实验小组设计模拟实验装置如下。



已知： SiCl_4 易水解，熔点 -70°C 、沸点 5.6°C ； TiCl_4 易水解，熔点 -25°C 、沸点 136.5°C 。

回答下列问题：

(1) 检查装置气密性后，加入药品，然后关闭_____，打开 K_2 、 K_3 通入 N_2 ，一段时间后，关闭 K_2 ，打开_____，再通入 Cl_2 ，并对管式炉加热。

(2) 管式炉中制备 TiCl_4 的化学方程式为_____。

(3) 制备粗品 TiCl_4 时对装置 D 采用冰水浴，其目的是_____。

(4) 提纯 TiCl_4 的操作名称是_____，提纯后，向 D 装置中加入一定量的水，加热，制备 TiO_2 。

(5) 精确称取 0.1800g TiO_2 样品置于锥形瓶中，加入热的 H_2SO_4 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的混合溶液溶解，冷却，稀释，

得到含 TiO^{2+} 的溶液。加入金属铝，将 TiO^{2+} 全部转化为 Ti^{3+} ，加入几滴 KSCN 溶液，用

$0.1000\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 溶液滴定至终点。重复操作 3 次，消耗 $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 溶液的平均值为 20.00mL (已

知： $\text{Ti}^{3+} + \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} = \text{TiO}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+$)。

①加入金属铝发生主要反应的离子方程式为_____。

②该滴定实验达到终点的现象为_____，产品中 TiO_2 纯度为_____。

③下列操作可能导致测定纯度的结果偏小的是_____ (填标号)。

A. 溶解 TiO_2 样品时未完全冷却即进行稀释

B. 滴定时加入过多的 KSCN 溶液

C. 滴定前滴定管尖端有气泡，滴定后气泡消失

【答案】 (1) ①. K_1 、 K_4 ②. K_1

(2) $\text{TiO}_2 + 2\text{Cl}_2 + 2\text{C} \xrightarrow{\text{高温}} \text{TiCl}_4 + 2\text{CO}$

(3) 冷凝 TiCl_4 (或使 TiCl_4 液化，便于收集)

(4) 蒸馏 (5) ①. $6\text{H}^+ + 3\text{TiO}^{2+} + \text{Al} = 3\text{Ti}^{3+} + \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ ②. 滴入最后半滴 $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 溶液，溶液由无色变为红色，且半分钟内不褪色 ③. 88.9% ④. B

【解析】

【分析】本实验中装置 A 为制备氯气的发生装置，反应原理为： $2\text{KMnO}_4 + 16\text{HCl}(\text{浓}) = 2\text{KCl} + 2\text{MnCl}_2 + 5\text{Cl}_2\uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ ，产物 TiCl_4 容易水解，所以 Cl_2 需要干燥，装置 B 盛装浓硫酸为干燥 Cl_2 ，由于 TiCl_4 与 HCl 不反应，故不需要除去杂质 HCl ，装置 C 为制备 TiCl_4 的反应装置，根据题干信息可知，反应原理为： $\text{TiO}_2 + 2\text{C} + 2\text{Cl}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{TiCl}_4 + 2\text{CO}$ ，装置 D 为收集 TiCl_4 ，其中的长导管是冷凝回流 TiCl_4 ，装置 E 中装有碱石灰，是为了吸收过量的 Cl_2 ，因 TiCl_4 易水解，同时防止 F 中的水蒸气进入 E 中，尾气中有 CO ， PdCl_2 溶液用于吸收 CO ，F 装置用来进行尾气处理，据此分析解题；

【小问 1 详解】

检查装置气密性后，加入药品，然后关闭 K_1 、 K_4 ，打开 K_2 、 K_3 通入 N_2 ，赶走空气，一段时间后，关闭 K_2 ，打开 K_1 ，再通入 Cl_2 ，并对管式炉加热；

【小问 2 详解】

金红石主要成分 TiO_2 ，与氯气反应生成 TiCl_4 ，管式炉中制备 TiCl_4 的化学方程式为



【小问 3 详解】

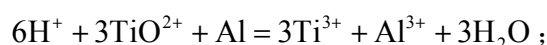
制备粗品 TiCl_4 时对装置 D 采用冰水浴, TiCl_4 易水解, 熔点 -25°C 、沸点 136.5°C , 降低温度, 其目的是冷凝 TiCl_4 获得液态 TiCl_4 (或使 TiCl_4 液化, 便于收集);

【小问 4 详解】

因 SiCl_4 和 TiCl_4 易水解沸点不同, 提纯 TiCl_4 的操作名称是蒸馏;

【小问 5 详解】

①加入金属铝将 TiO^{2+} 全部转化为 Ti^{3+} , 发生主要反应的离子方程式为



② $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 与 Ti^{3+} 反应, $\text{Ti}^{3+} + \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} = \text{TiO}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+$, 当 Ti^{3+} 反应完全, Fe^{3+} 与 KSCN 反应, 该滴定实验达到终点的现象为滴入最后半滴 $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 溶液, 溶液由无色变为红色, 且半分钟内不褪色, 根据

关系式 $\text{TiO}_2 \sim \text{TiO}^{2+} \sim \text{Ti}^{3+} \sim \text{Fe}^{3+}$, TiO_2 纯度为 $\frac{0.1000\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 20 \times 10^{-3} \times 80\text{g/mol}}{0.18\text{g}} \times 100\% \approx 88.9\%$;

③A. 溶解 TiO_2 样品时未完全冷却即进行稀释, 使浓度偏高, A 错误;

B. 滴定时加入过多的 KSCN 溶液, KSCN 具有还原性, 会消耗一部分 Ti^{3+} , 使结果偏低, B 正确;

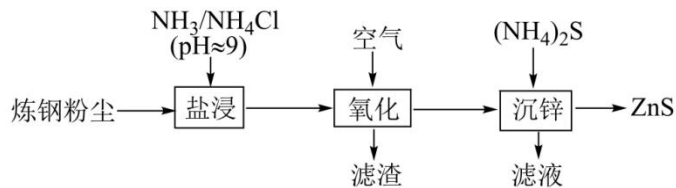
C. 滴定前滴定管尖端有气泡, 滴定后气泡消失, 使 $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 体积偏大, 浓度偏高, C 错误;

故选 B。

第三部分 化学工艺流程

一、化学工艺流程题

1. (2025 济南二模, 8) 从炼钢粉尘(主要含 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 和 ZnO)中提取 Zn 的流程如下:



已知: “盐浸”时 ZnO 转化为 $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, 仅少量铁元素浸出; $K_{\text{sp}}(\text{ZnS}) = 1.0 \times 10^{-23}$ 。

下列说法正确的是

- A. “盐浸”主要离子反应: $\text{ZnO} + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$
- B. “滤渣”的主要成分为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- C. “沉锌”的离子反应: $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{S}^{2-} = \text{ZnS} \downarrow + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- D. “滤液”可直接循环利用

【答案】C

【解析】

【分析】“盐浸”过程 ZnO 转化为 $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 发生反应 $\text{ZnO} + 2\text{NH}_3 + 2\text{NH}_4^+ = [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + \text{H}_2\text{O}$, 根据题中信息可知, Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 只有少量溶解, 通入空气氧化后 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, “沉锌”过程发生反应为: $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{S}^{2-} = \text{ZnS} \downarrow + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 经洗涤干燥后得到产物 ZnS 及滤液。

【详解】A. “盐浸”过程 ZnO 和 NH_3 、 NH_4Cl 溶液反应转化为 $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, 主要离子反应:

$\text{ZnO} + 2\text{NH}_3 + 2\text{NH}_4^+ = [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + \text{H}_2\text{O}$, A 错误;

B. 根据分析可知, Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 只有少量溶解, 所以滤渣中除 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, 还有 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 , B 错误;

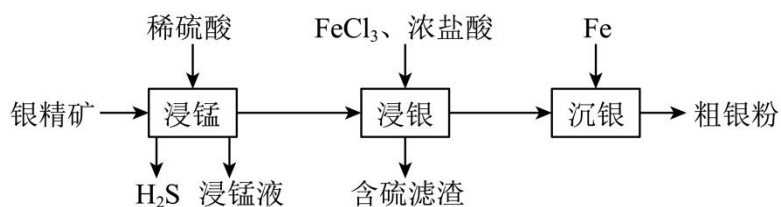
C. “沉锌”过程中 $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 和 S^{2-} 反应生成 ZnS 和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 离子方程式为:

$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{S}^{2-} = \text{ZnS} \downarrow + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, C 正确;

D. “沉锌”后得到的滤液主要成分为 NH_4Cl , 可以返回到“盐浸”循环使用, 因此需要控制 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 的用量, 让“沉锌”后的滤液中只含 NH_4Cl , D 错误;

故选 C。

2. (2025 临沂二模, 9) 以银精矿(主要含 Ag_2S 、 MnS 等)为主要原料提取金属 Ag 的工艺流程如下:



已知：“浸银”时 Ag_2S 转化为 $[\text{AgCl}_2]^-$ ； $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的溶解度随温度升高而降低。

下列说法错误的是

- A. 由流程可判断 $K_{\text{sp}}(\text{MnS}) > K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{S})$
- B. “浸银”时浓盐酸抑制 Fe^{3+} 水解，同时将 Ag_2S 转化为 $[\text{AgCl}_2]^-$
- C. “沉银”时主要反应的离子方程式为 $2[\text{AgCl}_2]^- + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag} + 4\text{Cl}^-$
- D. 从浸锰液中得到 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的操作是浓缩结晶、冷却过滤、洗涤和干燥

【答案】D

【解析】

【分析】从银精矿(主要含 Ag_2S 、 MnS 等)中提取金属 Ag 的工艺流程为：将银精矿加入稀硫酸酸浸，将 MnS 转化为可溶物过滤得到浸锰液和 H_2S 气体，过滤后的固体中加入 FeCl_3 和浓盐酸进行浸银再过滤得到含硫滤渣，滤液中主要含 $[\text{AgCl}_2]^-$ ，加入 Fe 沉银得到金属银、过滤得到粗银粉，据此分析解答。

【详解】A. 根据分析和工艺流程可知，在银精矿中加入稀硫酸酸浸时，只有 MnS 溶解转化

$\text{MnS} + 2\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \uparrow$ ，而 Ag_2S 未溶解，说明 Ag_2S 更难溶于硫酸中，即 $K_{\text{sp}}(\text{MnS}) > K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{S})$ ，A 正确；

B. “浸银”时，加入的 Fe^{3+} 具有氧化性，能和 Ag_2S 反应将硫氧化为硫单质而铁离子被还原为亚铁离子，释放出 Ag^+ 和 Cl^- 形成 $[\text{AgCl}_2]^-$ ，同时加入浓盐酸增大 Cl^- 的浓度，可以提高 Ag_2S 的浸出率，还可以用加入的 H^+ 来抑制 Fe^{3+} 水解，B 正确；

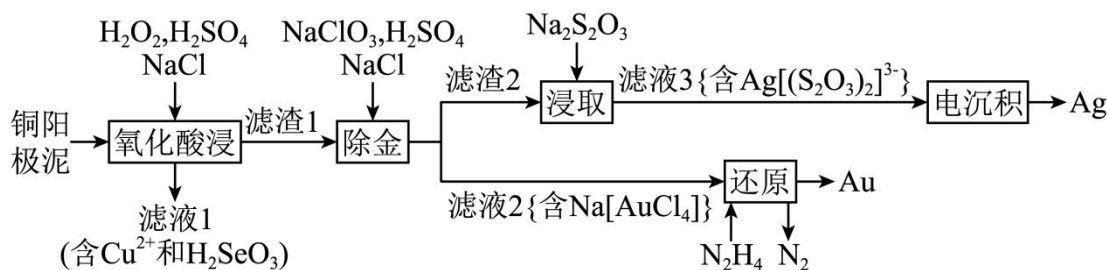
C. 铁具有还原性，铁粉能把 $[\text{AgCl}_2]^-$ 还原为金属银同时生成亚铁离子，反应的离子方程式为

$2[\text{AgCl}_2]^- + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag} + 4\text{Cl}^-$ ，C 正确；

D. 根据已知信息， $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的溶解度随温度升高而降低，为得到纯度较高的 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶体，具体操作为：控制在较高温度蒸发结晶、并趁热过滤、用热水洗涤 2~3 次、干燥，D 错误；

故答案为：D。

3. (2025 烟台德州二模，10) 一种从铜阳极泥(含有 Au、 Ag_2Se 、 Cu_2Se 等)中分离回收 Au 和 Ag 的工艺流程如下：



已知：①当某离子的浓度低于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，可忽略该离子的存在；



下列说法错误的是

- A. “氧化酸浸”时加入适量 NaCl 的目的是使银元素转化为 AgCl 沉淀
- B. “除金”时溶液中 Cl^{-} 浓度不小于 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- C. “电沉积”完成后阴极区溶液中可循环利用的物质为 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
- D. “还原”中生成的 N_2 、Au 物质的量之比为 3:4

【答案】B

【解析】

【分析】铜阳极泥含有 Au、 Ag_2Se 、 Cu_2Se 等，加入 H_2O_2 、 H_2SO_4 、NaCl 氧化酸浸，由题中信息可知，滤液 1 中含有 Cu^{2+} 和 H_2SeO_3 ，滤渣 1 中含有 Au、AgCl；滤渣 1 中加入 NaClO_3 、 H_2SO_4 、NaCl 将 Au 转化为 $\text{Na}[\text{AuCl}_4]$ ，滤液 2 中含有 $\text{Na}[\text{AuCl}_4]$ ，滤渣 2 中含有 AgCl；在滤渣 2 中加入 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 将 AgCl 转化为 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ ； $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ “电沉积”生成 Ag；用 N_2H_4 还原 $\text{Na}[\text{AuCl}_4]$ 生成 Au 和 N_2 。

【详解】A. 铜阳极泥含有 Au、 Ag_2Se 、 Cu_2Se 等，加入 H_2O_2 、 H_2SO_4 、NaCl 氧化酸浸，由题中信息可知，滤液 1 中含有 Cu^{2+} 和 H_2SeO_3 ，滤渣 1 中含有 Au、AgCl，可知“氧化酸浸”时加入适量 NaCl 的目的是使银元素转化为 AgCl 沉淀，故 A 正确；

B. 在“除金”工序溶液中， Cl^{-} 浓度过大，AgCl 会转化为 $[\text{AgCl}_2]^{-}$ ，当某离子的浓度低于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，可忽略该离子的存在，为不让 AgCl 发生转化，令 $[\text{AgCl}_2]^{-} = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，根据

$$\text{AgCl}(\text{s}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{AgCl}_2]^{-}(\text{aq}) \quad K = 2.0 \times 10^{-5}, \quad \frac{c([\text{AgCl}_2]^{-})}{c(\text{Cl}^{-})} = \frac{1 \times 10^{-5}}{c(\text{Cl}^{-})} = 2 \times 10^{-5}, \quad c(\text{Cl}^{-}) = 0.5 \text{ mol/L},$$

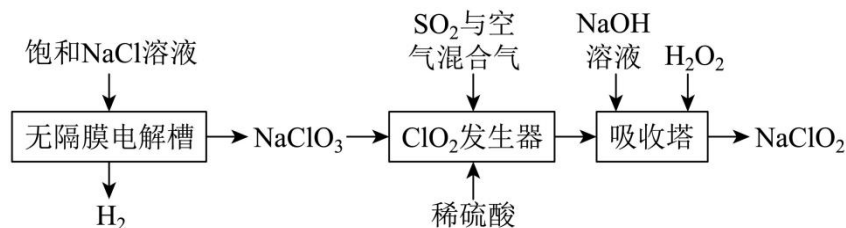
所以“除金”时溶液中 Cl^{-} 浓度不能大于 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，故 B 错误；

C. “电沉积”阴极 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 得电子生成 Ag 和 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ，完成后阴极区溶液中可循环利用的物质为 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ，故 C 正确；

D. “还原”中 N_2H_4 还原 $\text{Na}[\text{AuCl}_4]$ 生成 Au 和 N_2 ，Au 由 +3 价降低为 0、N 元素由 -2 价升高为 0，根据得失电子守恒，生成的 N_2 、Au 物质的量之比为 3:4，故 D 正确；

选 B。

4. (2025 滨州二模, 11) (不定项) 二氧化氯(ClO_2)和亚氯酸钠(NaClO_2)均为重要的含氯消毒剂, 其制备流程如图。



已知: 纯 ClO_2 易分解爆炸, 一般用稀有气体或空气稀释到 10% 以下以保证安全。

下列说法正确的是

- A. ClO_2 存在大 π 键(π_3^5), 键角: $\text{ClO}_2 < \text{ClO}_2^-$
- B. 无隔膜电解槽中, NaClO_3 在阳极产生
- C. ClO_2 发生器中, 鼓入空气的作用是将 NaClO_3 转化成 ClO_2
- D. 理论上, 生成 NaClO_2 与 H_2 的物质的量之比为 1:3

【答案】BD

【解析】

【分析】电解法生产亚氯酸钠的工艺流程: 无隔膜电解槽电解饱和氯化钠溶液: $\text{NaCl} + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} \text{NaClO}_3 + 3\text{H}_2\uparrow$, 得到氯酸钠溶液, 氯酸钠(NaClO_3)在酸性条件下被二氧化硫还原成二氧化氯, 发生反应 $2\text{NaClO}_3 + \text{SO}_2 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{ClO}_2$, ClO_2 在二氧化硫和空气混合气体中不易分解爆炸, 通入空气的目的是稀释 ClO_2 , 防止 ClO_2 爆炸, 吸收塔中加入氢氧化钠、过氧化氢发生反应生成 NaClO_2 , 经过滤、结晶得到 $\text{NaClO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 以此分析解答;

【详解】A. ClO_2 分子中既存在 σ 键, 又存在大 π 键(π_3^5), Cl 的杂化方式为 sp^2 , ClO_2^- 的价层电子对数为 $2 + \frac{7+1-2 \times 2}{2} = 4$, Cl 的杂化方式为 sp^3 , 键角: $\text{ClO}_2 > \text{ClO}_2^-$, A 错误;

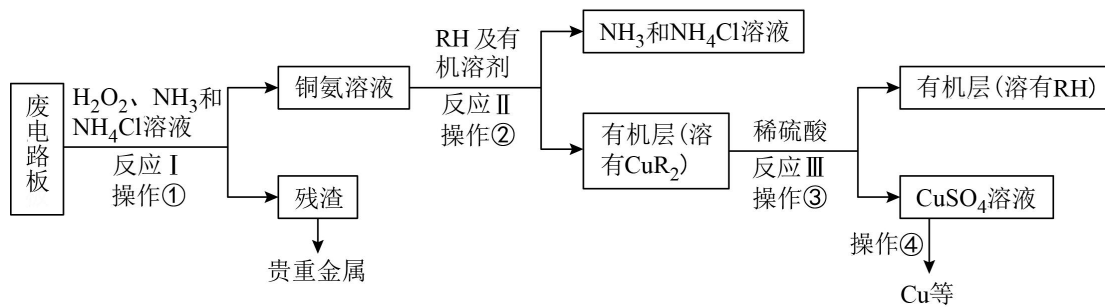
B. 无隔膜电解槽中, NaCl 失电子, 化合价升高生成 NaClO_3 , 在阳极产生, B 正确;

C. 纯二氧化氯易分解爆炸, 一般用稀有气体或空气稀释到 10% 以下安全, 则发生器中鼓入空气的作用应是稀释二氧化氯以防止爆炸, C 错误;

D. 根据电解反应: $\text{NaCl} + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} \text{NaClO}_3 + 3\text{H}_2\uparrow$, 和氯原子守恒, 可知理论制备的 $\text{NaClO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 与获取的 H_2 物质的量之比为 1:3, D 正确;

故选 BD。

5. (2025 泰安二模, 12) (不定项) 某小组设计如下工艺流程回收废旧印刷电路板中的铜, 下列说法正确的是



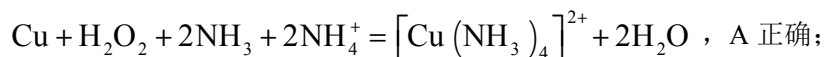
- A. 反应 I 的离子方程式为: $\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{NH}_3 + 2\text{NH}_4^+ = [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$
- B. 操作③使用的玻璃仪器为烧杯、漏斗、玻璃棒
- C. 操作④以石墨为电极材料, 溶液 pH 增大
- D. 上述化工流程中可以循环使用的物质有 NH_3 、 NH_4Cl 、RH

【答案】A

【解析】

【分析】废电路板中加入双氧水、氨气、氯化铵溶液, 得到铜氨溶液和残渣, 分离难溶性固体和溶液采用过滤方法, 所以操作①是过滤, 反应 I 是将 Cu 转化为 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, Cu 元素化合价由 0 价变为 +2 价, 所以 Cu 是还原剂, 则双氧水是氧化剂, 将 Cu 氧化; 反应 II 是 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 与有机物 RH 反应, 生成 CuR_2 , 同时生成 NH_3 、 NH_4Cl ; 互不相溶的液体采用分液方法分离, 所以操作②是分液; 向有机层中加入稀硫酸, 根据流程图知, 生成 CuSO_4 和 HR, 然后采用分液方法分离得到 HR, 以石墨为电极电解硫酸铜溶液时, 阳极上氢氧根离子放电、阴极上铜离子放电; 电解硫酸铜溶液时能得到硫酸, 硫酸能循环利用。

【详解】A. 反应 I 得到铜氨溶液, 根据得失电子守恒、离子守恒、原子守恒, 离子方程式为:



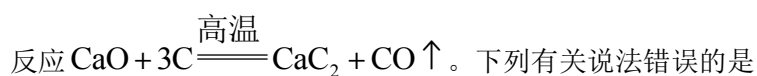
B. 操作③是分液, 使用的玻璃仪器为烧杯、分液漏斗, B 错误;

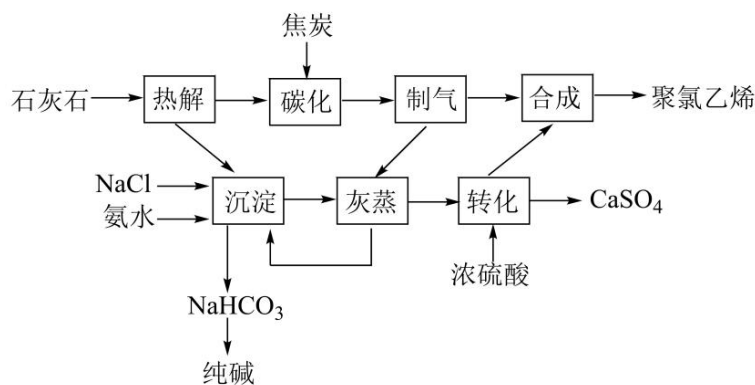
C. 操作④以石墨为电极材料, 电解总反应: $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{Cu} + \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{SO}_4$, 则溶液 pH 减小, C 错误;

D. 根据分析知, 上述化工流程中可以循环使用的物质有 NH_3 、 NH_4Cl 、RH、 H_2SO_4 , D 错误;

故选 A。

6. (2025 菏泽二模, 13) (不定项) 一种纯碱和聚氯乙烯联合生产工艺的流程如图所示, 已知“碳化”过程中发生





- A. 聚氯乙烯能发生加成反应
- B. “沉淀”反应的离子方程式为 $\text{CO}_2 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+ = \text{NaHCO}_3 \downarrow + \text{NH}_4^+$
- C. “转化”得到的“合成”原料气为 Cl_2
- D. “制气”产生的废渣经调制后用于“灰蒸”以回收氨气

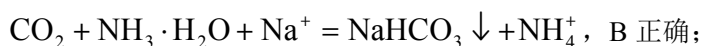
【答案】AC

【解析】

【分析】石灰石热解生成氧化钙和二氧化碳，生成的二氧化碳用于侯氏制碱法制取碳酸氢钠，灼烧碳酸氢钠得到纯碱；碳化过程中发生反应 $\text{CaO} + 3\text{C} \xrightarrow{\text{高温}} \text{CO} \uparrow + \text{CaC}_2$ ，由 CaC_2 制取 $\text{CH} \equiv \text{CH}$ ，废渣为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，灰蒸工序中发生反应 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl} = \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ，生成的氨气可以在沉淀池中循环利用，转化工序中加入浓硫酸发生高沸点酸制低沸点酸的反应，生成的 HCl 气体在合成工序中发生反应 $\text{CH} \equiv \text{CH} + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_2 = \text{CHCl}$ ，后续合成聚氯乙烯，据此解答。

【详解】A. 聚氯乙烯的结构简式为 $\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$ ，不含碳碳双键，不能发生加成反应，A 错误；

B. “沉淀”反应时， CO_2 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 和 NaCl 反应生成碳酸氢钠沉淀和氯化铵，离子方程式为：



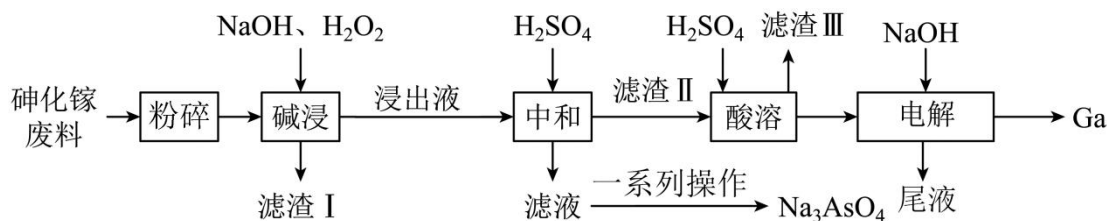
C. 由分析可知，“转化”过程中用高沸点的硫酸酸制低沸点的 HCl ，即反应得到的“合成”原料气为 HCl ，C 错误；

D. “制气”产生的废渣为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，在灰蒸过程中与氯化铵反应生成氨气，以回收氨气，D 正确；

故选 AC。

二、化学工艺流程题（非选择题）

1. （2025 泰安二模，18）从砷化镓废料（主要成分为 GaAs ，含 Fe_2O_3 、 SiO_2 和 CaCO_3 等杂质）中回收镓和砷的工艺流程如下：

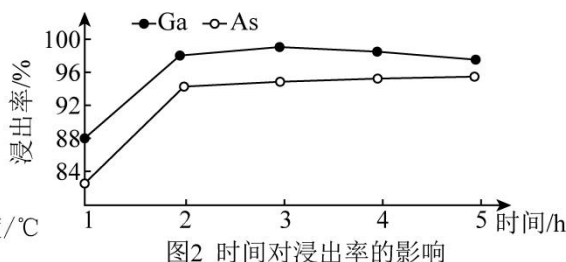
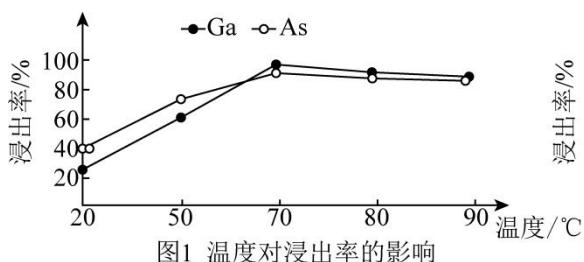


已知： $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 是两性氢氧化物。25℃时 $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 的酸式电离常数 $K_a = 1 \times 10^{-12.5}$ ； $K_{sp}[\text{Ga}(\text{OH})_3] = 1 \times 10^{-35}$

回答下列问题：

(1) 粉碎的目的是_____。

(2) 图 1、图 2 分别为碱浸时温度和浸泡时间对浸出率的影响，根据图中信息确定最佳反应条件为_____；超过 70℃ 浸出率下降的原因可能是_____。



(3) 砷化镓 (GaAs) 在“碱浸”时转化为 $\text{Na}[\text{Ga}(\text{OH})_4]$ 和 Na_3AsO_4 进入溶液，该反应的离子方程式为_____。

(4) 为提高镓的回收率，中和加硫酸调 pH 的范围是_____ (溶液中含镓元素的微粒的浓度小于 $1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，认为沉淀完全)。

(5) 滤渣 II 的主要成分是_____。

(6) 酸溶后的滤液中加过量的 NaOH ，然后电解，阴极的电极方程式为_____。

【答案】 (1) 增大固体表面积，提高反应速率

(2) ①. 70℃、2 小时 ②. 温度过高， H_2O_2 发生了分解

(3) $\text{GaAs} + 4\text{H}_2\text{O}_2 + 4\text{OH}^- = [\text{Ga}(\text{OH})_4]^- + \text{AsO}_4^{3-} + 4\text{H}_2\text{O}$

(4) $4 < \text{pH} < 7.5$

(5) $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 和 H_2SiO_3

(6) $[\text{Ga}(\text{OH})_4]^- + 3\text{e}^- = \text{Ga} + 4\text{OH}^-$

【解析】

【分析】由砷化镓废料（主要成分为 GaAs ，含 Fe_2O_3 、 SiO_2 和 CaCO_3 等杂质）中回收镓和砷的工艺流程为：将砷化镓废料粉碎后加入 NaOH 和 H_2O_2 进行碱浸，难溶于 NaOH 的 Fe_2O_3 和 CaCO_3 通过过滤形成滤渣 I 除去，其他元素转化为可溶性微粒存在于浸出液中；往浸出液加 H_2SO_4 进行中和，将 $\text{Na}[\text{Ga}(\text{OH})_4]$ 和 Na_2SiO_3 分别转化为

$Ga(OH)_3$ 沉淀和 H_2SiO_3 沉淀，通过过滤与 Na_3AsO_4 分离，将滤液再经过一系列操作最后得到 Na_3AsO_4 晶体；中和过滤后得到的滤渣Ⅱ主要含 H_2SiO_3 和 $Ga(OH)_3$ ，再次加入硫酸酸溶，将 $Ga(OH)_3$ 转化为可溶的 $Ga_2(SO_4)_3$ ， H_2SiO_3 难溶于硫酸通过过滤得到滤渣Ⅲ除去，最后得到的 $Ga_2(SO_4)_3$ 溶液加入过量 NaOH 溶液将 Ga 元素再次转化为 $Na[Ga(OH)_4]$ 进行电解最终得到产品金属 Ga，据此分析解答。

【小问 1 详解】

粉碎的目的是：增大固体表面积，提高反应速率。

【小问 2 详解】

根据碱浸时温度对浸出率的关系图可知，在温度为 70°C 时，Ga 和 As 的浸出率最高，后随温度升高而逐渐降低；再根据碱浸时时间对浸出率的关系图可知，在时间为 2 小时的时候，Ga 和 As 的浸出率都非常高，后续再增加时间浸出率变化很小，为节约能源和产率，所以最佳反应条件为： 70°C 、2 小时；当温度超过 70°C 后浸出率下降的原因可能是：温度过高， H_2O_2 发生了分解影响了 Ga 和 As 的浸出。

【小问 3 详解】

砷化镓 (GaAs) 在“碱浸”时与 NaOH 溶液和 H_2O_2 发生反应转化生成成为 $Na[Ga(OH)_4]$ 和 Na_3AsO_4 ，则反应的离子方程式为： $GaAs + 4H_2O_2 + 4OH^- = [Ga(OH)_4]^- + AsO_4^{3-} + 4H_2O$ 。

【小问 4 详解】

加硫酸中和时发生 $[Ga(OH)_4]^- + H^+ = Ga(OH)_3 \downarrow + H_2O$ ，根据 $Ga(OH)_3$ 的电离平衡常数 K_a 数据，由 $K_a = c(H^+) \cdot c[Ga(OH)_4]^- = 1 \times 10^{-12.5}$ 可知，当镓元素的微粒沉淀完全时 $c[Ga(OH)_4]^- < 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，解得 $c(H^+) > \frac{1 \times 10^{-12.5}}{1 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^{-7.5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则得到 $pH < 7.5$ ， $K_{sp}[Ga(OH)_3] = c(Ga^{3+})c^3(OH^-) = 1 \times 10^{-35}$ ，当镓元素的微粒沉淀完全时， $c(Ga^{3+}) < 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $c(OH^-) > \sqrt[3]{\frac{1 \times 10^{-35}}{1 \times 10^{-5}}} = 1 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $c(H^+) < 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，中和加硫酸调 pH 的范围是 $4 < pH < 7.5$ 。

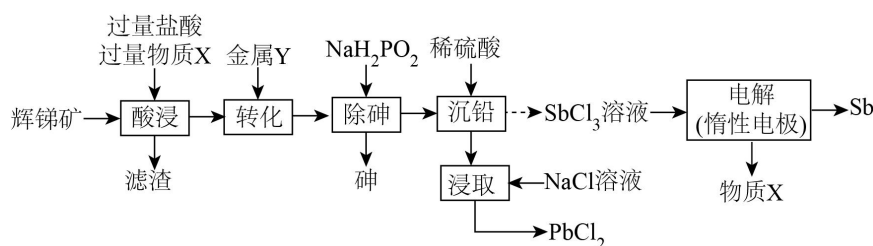
【小问 5 详解】

根据分析，加硫酸中和的目的是将 $Na[Ga(OH)_4]$ 和 Na_2SiO_3 分别转化为 $Ga(OH)_3$ 沉淀和 H_2SiO_3 沉淀，所以过滤后得到的滤渣Ⅱ主要成分为： $Ga(OH)_3$ 和 H_2SiO_3 。

【小问 6 详解】

酸溶后的滤液中加过量的 NaOH 后， $Ga_2(SO_4)_3$ 最终又转化为 $Na[Ga(OH)_4]$ ，最后进行电解时在阴极得到电子生成单质 Ga，则阴极的电极方程式为： $[Ga(OH)_4]^- + 3e^- = Ga + 4OH^-$ 。

2. (2025 潍坊二模, 19) 以辉锑矿(主要成分为 Sb_2S_3 , 还含有 PbS 、 As_2S_5 和 SiO_2 等)为原料制备金属 Sb 和 PbCl_2 的一种工艺流程如下:

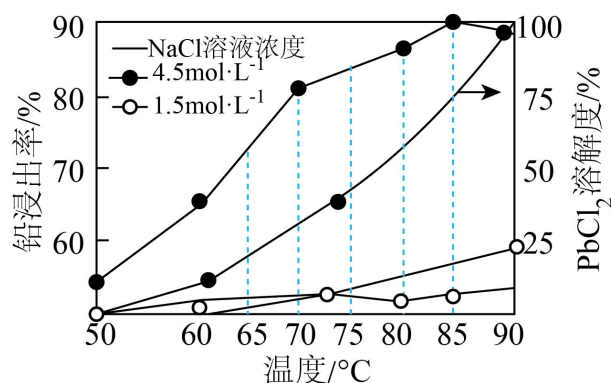


已知: ①“酸浸”浸出液中含有 SbCl_3 、 PbCl_4^{2-} 、 AsCl_3 等; 物质 X、 SbCl_3 、 AsCl_3 均易水解; “酸浸”和“电解”过程无气体放出;

②25℃时, $K_{\text{sp}}(\text{PbSO}_4)=2.55\times 10^{-8}$, $K_{\text{sp}}(\text{PbCl}_2)=1.7\times 10^{-5}$ 。

回答下列问题:

- “滤渣”的成分是_____(填化学式), “酸浸”时需加过量盐酸的目的: ①与辉锑矿充分反应; ②_____。
- 物质 X 是_____(填化学式), 金属 Y 的作用是_____。
- “除砷”时氧化剂与还原剂物质的量之比为 2:3, 反应的化学方程式为_____。
- “浸取”时温度与 NaCl 溶液的浓度对铅浸出率和 PbCl_2 溶解度的影响如图所示:



- 浸取铅的最合适的条件是_____。
- 循环浸取“沉铅”滤渣, 向浸取后的溶液中加入适量 BaCl_2 溶液处理后, 加水使 NaCl 浓度稀释至 $1.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的目的是_____。
- 25℃时, $\text{PbCl}_2(\text{s})+2\text{Cl}^-(\text{aq})\rightleftharpoons\text{PbCl}_4^{2-}(\text{aq})$ 的平衡常数为 K_1 , 浸取中反应 $\text{PbSO}_4(\text{s})+4\text{Cl}^-(\text{aq})\rightleftharpoons\text{PbCl}_4^{2-}(\text{aq})+\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 的平衡常数 $K=$ _____(用含 K_1 的代数式表示)。

【答案】(1) ①. S 和 SiO_2 ②. 抑制 SbCl_3 、 AsCl_3 、 SbCl_5 水解

(2) ①. SbCl_5 ②. 将 SbCl_5 还原为 SbCl_3

(3) $2\text{AsCl}_3+3\text{NaH}_2\text{PO}_2+3\text{H}_2\text{O}=2\text{As}+3\text{H}_3\text{PO}_3+3\text{NaCl}+3\text{HCl}$

(4) ①. $4.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液, 85℃ ②. 降低 PbCl_2 的溶解度, 使 PbCl_2 充分析出, 提高 Pb 回收率 ③. $1.5\times 10^{-3}K_1$

【解析】

【分析】辉锑矿(主要成分为 Sb_2S_3 ，还含有 PbS 、 As_2S_5 和 SiO_2 等)中加入过量盐酸和物质 X 进行“酸浸”，矿石中的硫化物转化为可溶的氯化物和硫，二氧化硅不参与反应，过滤得到含有硫、二氧化硅的滤渣和含有物质 X、 SbCl_3 、 PbCl_4^{2-} 、 AsCl_3 等的滤液；向滤液中加入金属 Y，该过程应发生氧化还原反应；“除砷”步骤中加入 NaH_2PO_2 ，将溶液中的三氯化砷还原为砷，过滤得到砷和滤液；向滤液中加入稀硫酸，将 PbCl_4^{2-} 转化为 PbSO_4 沉淀，过滤后得到 SbCl_3 溶液和主要含 PbSO_4 的滤渣；向滤渣中加入 NaCl 溶液浸取得到 PbCl_2 ；电解 SbCl_3 溶液， Sb^{3+} 在阴极得到电子发生还原反应生成 Sb ，在阳极失去电子生成 SbCl_5 ，由此可知物质 X 为 SbCl_5 ，电解得到的 SbCl_5 可以返回“酸浸”步骤循环使用；金属 Y 为 Sb ，将“酸浸”浸出液中的 SbCl_5 还原为 SbCl_3 ，据此解答。

【小问 1 详解】

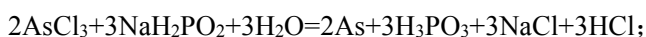
根据分析可知，滤渣的成分是 S 和 SiO_2 ，根据已知条件①中“物质 X、 SbCl_3 、 AsCl_3 均易水解”可知，“酸浸”时需加过量盐酸的目的：①与辉锑矿充分反应；②抑制 SbCl_3 、 AsCl_3 、 SbCl_5 水解；

【小问 2 详解】

由流程图可知，物质 X 在电解步骤中生成，且“电解过程无气体放出”，则电解过程中 SbCl_3 发生氧化还原反应生成 Sb 和 SbCl_5 ，所以物质 X 是 SbCl_5 ，“酸浸”步骤的浸出液中含有剩余的 SbCl_5 ，“转化”步骤中目的是将 SbCl_5 转化为 SbCl_3 ，金属 Y 为 Sb ，则金属 Y 的作用是：将 SbCl_5 还原为 SbCl_3 ；

【小问 3 详解】

“除砷”过程中发生氧化还原反应， As^{3+} 被还原为 As ，则 AsCl_3 作氧化剂， NaH_2PO_2 作还原剂，根据氧化剂与还原剂的物质的量之比为 2:3，结合氧化还原规律可得反应的化学方程式为：



【小问 4 详解】

①由图可知，铅的浸取率在 85°C 、 $4.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液中最大，则浸取铅最合适的条件是 $4.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液、 85°C ；

②由图可知， NaCl 溶液浓度为 $1.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时， PbCl_2 溶解度 $\leq 25\text{g}$ ，因此加水使 NaCl 浓度稀释至 $1.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，可降低 PbCl_2 的溶解度，使更多的 PbCl_2 析出，从而提高 Pb 的回收率，则加水使 NaCl 浓度稀释至 $1.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的目的是：降低 PbCl_2 的溶解度，使 PbCl_2 充分析出，提高 Pb 回收率；

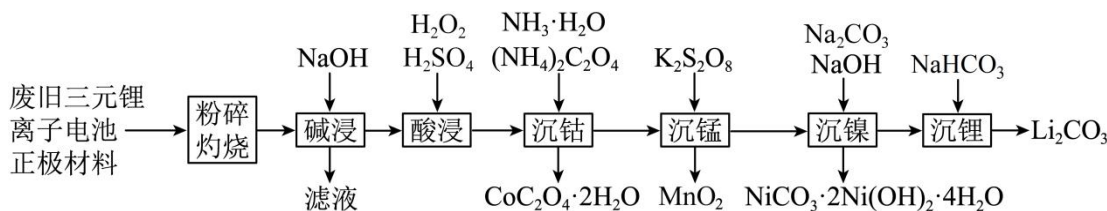
③ $\text{PbSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 的 $K_{\text{sp}} = c(\text{Pb}^{2+}) \times c(\text{SO}_4^{2-}) = 2.55 \times 10^{-8}$ ， $\text{PbCl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq})$ 的

$$K_{\text{sp}} = c(\text{Pb}^{2+}) \times c^2(\text{Cl}^{-}) = 1.7 \times 10^{-5}, \text{PbCl}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{PbCl}_4^{2-}(\text{aq}) \text{ 的平衡常数 } K_1 = \frac{c(\text{PbCl}_4^{2-})}{c^2(\text{Cl}^{-})},$$

$\text{PbSO}_4(\text{s}) + 4\text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{PbCl}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 的平衡常数

$$K = \frac{c(\text{PbCl}_4^{2-}) \times c(\text{SO}_4^{2-})}{c^4(\text{Cl}^{-})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{PbSO}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{PbCl}_2)} \times K_1 = \frac{2.55 \times 10^{-8}}{1.7 \times 10^{-5}} \times K_1 = 1.5 \times 10^{-3} K_1。$$

3. (2025 日照二模, 18) 利用废旧三元锂离子电池正极材料(主要成分为 $\text{LiNi}_{1-x-y}\text{Co}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ 、还有铝箔、炭黑、有机粘合剂等)综合回收钴、锰、镍、锂的工艺流程如下图所示：



已知：① Li_2CO_3 溶解度随温度升高而减小。② Ni^{2+} 、 Mn^{2+} 易与 NH_3 转化为稳定配离子；③ $K_{\text{sp}}(\text{CoC}_2\text{O}_4) = 10^{-18}$ ，

$K_{\text{sp}}(\text{NiC}_2\text{O}_4) = 10^{-10}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{MnC}_2\text{O}_4) = 10^{-13}$ 。

回答下列问题：

(1) 三元锂废料 $\text{LiNi}_{1-x-y}\text{Co}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ 中 Ni、Mn 的化合价分别为 +2、+4 价，若 $x = y = \frac{1}{3}$ ，则 Co 元素的化合价为_____。

(2) “碱浸”后的滤液中存在的阴离子有_____ (填化学式)。

(3) “酸浸”后溶液中 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 、 Mn^{2+} 的浓度均为 $0.2\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，欲使 Co^{2+} 沉淀完全 (离子浓度小于 $10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)，而不沉淀 Ni^{2+} 、 Mn^{2+} 理论上需调节溶液 $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ 范围为_____ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。实际“沉钴”时，在加入 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 之前需要先加入一定量氨水，其目的是_____。

(4) “沉锰”时需要调 $\text{pH}=5$ ，此时锰以 Mn^{2+} 形式存在，加入 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液后，溶液先变成紫红色，后紫红色又褪去。则溶液变紫红色发生反应的离子方程式为_____。

(5) “沉锂”时发生反应 $2\text{Li}^+ + 2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{Li}_2\text{CO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{CO}_3$ $K = \underline{\hspace{2cm}}$ (已知 $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{CO}_3) = a$ 、 $K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{CO}_3) = b$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{Li}_2\text{CO}_3) = c$ ，用含 a 、 b 、 c 的代数式表示)。

(6) “沉锂”操作中需升温到 90°C ，原因是①加快反应速率；②_____。

【答案】 (1) +3 (2) $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 和 OH^-

(3) ①. $10^{-13}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} < c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) < 5 \times 10^{-13}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ②. Ni^{2+} 、 Mn^{2+} 易与 NH_3 转化为稳定配离子，沉钴时不发生共沉淀

(4) $2\text{Mn}^{2+} + 5\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 8\text{H}_2\text{O} = 2\text{MnO}_4^- + 10\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$

(5) $\frac{b}{ac}$

(6) Li_2CO_3 的溶解度随温度升高而减小，有利于沉锂；随温度升高到 90°C ，碳酸分解，平衡 $2\text{Li}^+ + 2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{Li}_2\text{CO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{CO}_3$ 正向移动，提高产率

【解析】

【分析】 三元锂离子电池正极材料粉碎灼烧除去炭黑、有机粘合剂，铝箔转化为氧化铝，碱浸后氧化铝转化为四羟基合铝酸钠，酸浸时加入硫酸和过氧化氢将金属转化成离子，通过加一水合氨、草酸铵“沉钴”除去钴元素，产生的是 $\text{CoC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，说明此时钴元素的价态为 +2 价，说明加入的过氧化氢作为还原剂还原钴元素为 +2 价，加入

$K_2S_2O_8$ 溶液通过氧化还原将锰元素转化为二氧化锰，加入碳酸钠和氢氧化钠除镍，最后将锂离子转化成碳酸锂。

【小问 1 详解】

根据已知，三元锂废料化学式为 $LiNi_{\frac{1}{3}}Co_{\frac{1}{3}}Mn_{\frac{1}{3}}O_2$ ，Li、Ni、Mn、O 的化合价分别为+1、+2、+4、-2 价，则 Co

的化合价为 $\frac{2 \times 2 - 1 - \frac{1}{3} \times 2 - \frac{1}{3} \times 4}{\frac{1}{3}} = 12 - 3 - 2 - 4 = 3$ ，故答案为+3。

【小问 2 详解】

“碱浸”时碱将氧化铝转化成四羟基合铝酸钠，所以滤液中大量存在的阴离子 $[Al(OH)_4]^-$ 和剩余的 OH^- ，故答案为： $[Al(OH)_4]^-$ 和 OH^- 。

【小问 3 详解】

当 Co^{2+} 完全沉淀(离子浓度小于 $10^{-5} mol \cdot L^{-1}$)时： $c(Co^{2+}) = 10^{-5} mol \cdot L^{-1}$ ，

$c(C_2O_4^{2-}) = \frac{K_{sp}(Co_2C_2O_4)}{c(Co^{2+})} = 10^{-13} mol \cdot L^{-1}$ ， $K_{sp}(NiC_2O_4) = 10^{-10} > K_{sp}(MnC_2O_4) = 10^{-13}$ ，所以只要锰离子

不沉淀，镍离子就一定不沉淀，当锰离子恰好不沉淀时， Mn^{2+} 浓度均为 $0.2 mol \cdot L^{-1}$ ，

$c(C_2O_4^{2-}) = \frac{K_{sp}(MnC_2O_4)}{c(Mn^{2+})} = 5 \times 10^{-13} mol \cdot L^{-1}$ ，需调节的范围为 $10^{-13} mol \cdot L^{-1} < c(C_2O_4^{2-}) < 0.5 \times 10^{-12} mol \cdot L^{-1}$ ，

加入 $(NH_4)_2C_2O_4$ 之前须先加入一定量氨水，推测所加氨水的作用为将 Ni^{2+} 、 Mn^{2+} 转化为稳定配离子，避免沉钴
与 Co^{2+} 共沉淀。答案： $10^{-13} mol \cdot L^{-1} < c(C_2O_4^{2-}) < 0.5 \times 10^{-12} mol \cdot L^{-1}$ ； Ni^{2+} 、 Mn^{2+} 易与 NH_3 转化为稳定配离子，沉钴时不发生共沉淀。

【小问 4 详解】

Mn^{2+} 首先被 $K_2S_2O_8$ 氧化为 MnO_4^- ，离子方程式为 $2Mn^{2+} + 5S_2O_8^{2-} + 8H_2O = 2MnO_4^- + 10SO_4^{2-} + 16H^+$ 。

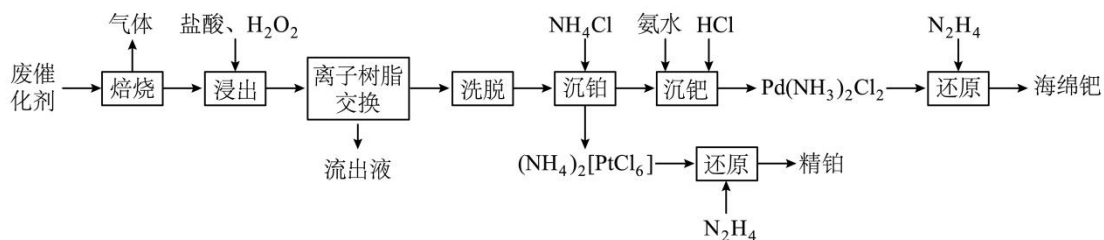
【小问 5 详解】

$$K = \frac{c(H_2CO_3)}{c^2(Li^+)c^2(HCO_3^-)} = \frac{\frac{c(HCO_3^-) \cdot c(H^+)}{K_{a1}(H_2CO_3)}}{\frac{K_{sp}(Li_2CO_3)}{c(CO_3^{2-})} \cdot c^2(HCO_3^-)} = \frac{c(H^+) \cdot c(CO_3^{2-})}{K_{a1}(H_2CO_3) \cdot K_{sp}(Li_2CO_3) \cdot c(HCO_3^-)} = \frac{K_{a2}(H_2CO_3)}{K_{a1}(H_2CO_3) \cdot K_{sp}(Li_2CO_3)} = \frac{b}{ac}。$$

【小问 6 详解】

沉锂操作过程中需将温度升高到 $90^\circ C$ 的原因有：加快反应速率； Li_2CO_3 的溶解度随温度升高而减小，温度升高到 $90^\circ C$ ，有利于沉锂；温度升高到 $90^\circ C$ ，碳酸分解，平衡 $2Li^+ + 2HCO_3^- \rightleftharpoons Li_2CO_3 \downarrow + H_2CO_3$ 正向移动，提高产率。

4. (2025 青岛二模，17) Al_2O_3 载铂钨碳某类汽车废催化剂可成为铂族金属的重要来源，可采用离子交换树脂技术回收利用贵金属。工艺流程如图。



已知：①“浸出”时 Pt、Pd 转化为 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 、 $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ 存在于溶液中；“离子树脂交换”只吸附阴离子；②该流程条件下 $K_{\text{sp}}[(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6] = 5.76 \times 10^{-6}$ 。

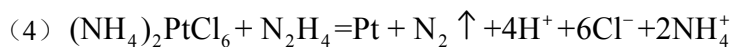
回答下列问题：

- “焙烧”的主要目的是_____。
- “浸出”时 Pt 发生反应的化学方程式为_____。
- “沉铂”时，若 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 的浓度为 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，向溶液中加入等体积 $5.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4Cl 溶液，充分反应后，溶液中 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 浓度为_____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。
- “还原”制备“精铂”时将 $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$ 分散于水中，“还原”的离子方程式为_____。
- “沉钯”过程为： $\text{H}_2[\text{PdCl}_4] \xrightarrow[\text{氨水}]{\text{过程1}} (\text{NH}_4)_2[\text{PdCl}_4] \xrightarrow[\text{氨水}]{\text{过程2}} [\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 \xrightarrow[\text{盐酸}]{\text{过程3}} \text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ 。用平衡移动原理解释“过程3”生成 $\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ 的原因_____。
- 流程中可循环利用的物质为_____ (写化学式)。
- 除去铝元素的操作单元是_____。

【答案】（1）除去废催化剂中的碳元素



（3） 1.0×10^{-6}



（5）溶液中存在平衡： $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 \rightleftharpoons [\text{Pd}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2 + 2\text{NH}_3$ ，加入盐酸后，与 NH_3 反应，平衡右移，从而生成 $\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ 沉淀

（6） HCl 、 NH_4Cl

（7）离子树脂交换

【解析】

【分析】汽车废催化剂中含碳元素，焙烧时转化为气体除去，从而为后续贵金属回收提供相对纯净的原料。再加盐酸和 H_2O_2 ，使 Pt、Pd 分别转化为 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 、 $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ 进入溶液。以 Pt 为例，反应为

$\text{Pt} + 2\text{H}_2\text{O}_2 + 6\text{HCl} = \text{H}_2[\text{PtCl}_6] + 4\text{H}_2\text{O}$ 。利用离子交换树脂只吸附阴离子的特性，将 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 、 $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ 吸附

在树脂上，实现贵金属离子与其他杂质离子的分离。将吸附在离子交换树脂上的 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 、 $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ 洗脱下来，得到含贵金属离子的溶液，以便后续进一步处理。向含 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 的溶液中加入 NH_4Cl ，转化为 $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$ ，在 N_2H_4 作用下被还原为精铂，反应为 $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6] + \text{N}_2\text{H}_4 = \text{Pt} + \text{N}_2 \uparrow + 4\text{HCl} + 2\text{NH}_4\text{Cl}$ 。“沉钯”过程为：

$\text{H}_2[\text{PdCl}_4] \xrightarrow[\text{过程1}]{\text{氨水}} (\text{NH}_4)_2[\text{PdCl}_4] \xrightarrow[\text{过程2}]{\text{氨水}} [\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 \xrightarrow[\text{过程3}]{\text{盐酸}} \text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ ， $\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ 在 N_2H_4 作用下被还原为海绵钯。

【小问 1 详解】

汽车废催化剂中含碳元素，焙烧时转化为气体除去，即“焙烧”的主要目的是除去废催化剂中的碳元素；

【小问 2 详解】

“浸出”时 Pt 转化为 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ ， Pt 元素化合价由0价升高到+4价， H_2O_2 中氧元素化合价由-1价降低到-2价，生成水，根据得失电子守恒和原子守恒配平得化学方程式 $\text{Pt} + 2\text{H}_2\text{O}_2 + 6\text{HCl} = \text{H}_2[\text{PtCl}_6] + 4\text{H}_2\text{O}$ 。

【小问 3 详解】

设 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 溶液的体积为 $v\text{L}$ ，加入等体积 NH_4Cl 溶液后，溶液体积变为原来的 $2v\text{L}$ 。等体积混合充分反应后，消耗 NH_4Cl 的物质的量为 $2 \times 0.10\text{mol/L} \times v\text{L} = 2v \times 10^{-1}\text{mol}$ ，根据

$K_{\text{sp}}[(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6] = c^2(\text{NH}_4^+) \times c([\text{PtCl}_6]^{2-})$ ，则

$$c\{[\text{PtCl}_6]^{2-}\} = \frac{K_{\text{sp}}[(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6]}{c^2(\text{NH}_4^+)} = \frac{5.76 \times 10^{-6}}{\left(\frac{5v - 2 \times 10^{-1}v}{2v}\right)^2} \text{mol/L} = 1.0 \times 10^{-6} \text{mol/L}。$$

【小问 4 详解】

$(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$ 中 Pt 为+4价，被 N_2H_4 还原为 Pt 单质， N_2H_4 被氧化为 N_2 ，根据得失电子守恒（ Pt 得电子， N 失电子）和原子守恒配平，得反应为 $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6] + \text{N}_2\text{H}_4 = \text{Pt} + \text{N}_2 \uparrow + 4\text{HCl} + 2\text{NH}_4\text{Cl}$ ，离子方程式为 $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6 + \text{N}_2\text{H}_4 = \text{Pt} + \text{N}_2 \uparrow + 4\text{H}^+ + 6\text{Cl}^- + 2\text{NH}_4^+$ 。

【小问 5 详解】

在 $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ 溶液中存在平衡： $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 \rightleftharpoons [\text{Pd}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2 + 2\text{NH}_3$ ，加入盐酸后， H^+ 会和 NH_3 反应，根据勒夏特列原理，平衡会朝着减弱这种改变的方向移动，即平衡正向移动，从而生成 $\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ 沉淀。

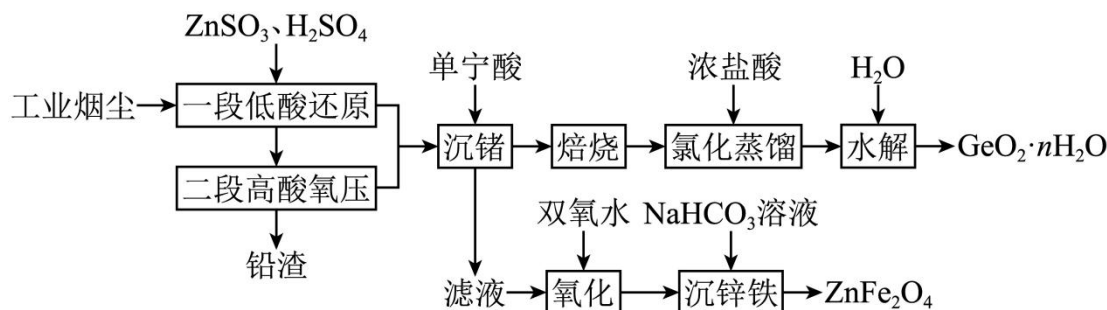
【小问 6 详解】

从流程看，“浸出”步骤消耗 HCl ，“沉铂”时消耗 NH_4Cl ，“沉钯”消耗 HCl ，“还原”制备“精铂”时： $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6] + \text{N}_2\text{H}_4 = \text{Pt} + \text{N}_2 \uparrow + 4\text{HCl} + 2\text{NH}_4\text{Cl}$ ，生成 HCl 和 NH_4Cl ，所以 HCl 和 NH_4Cl 可循环利用。

【小问 7 详解】

“离子树脂交换”只吸附阴离子，而铝元素在溶液中一般以阳离子形式存在，会留在流出液中，从而与吸附了贵金属阴离子的树脂分离，达到除去铝元素的目的。

5. (2025 临沂二模, 16) 利用工业烟尘(主要成分为 ZnO 、 ZnS 、 PbO 、 GeO_2 、 Fe_2O_3 等)制备 $\text{GeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 和 ZnFe_2O_4 的流程如下。



已知：该工艺条件下， $K_{\text{sp}}(\text{ZnS}) = 2.0 \times 10^{-24}$ ， $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2] = 1.0 \times 10^{-17}$ ， $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{S}) = 1.0 \times 10^{-7}$ ，

$K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{S}) = 1.0 \times 10^{-13}$ ； Fe^{3+} 易形成胶体吸附含锗微粒。

回答下列问题：

(1) “一段低酸还原”中生成 GeO^{2+} 的离子方程式为_____； ZnSO_3 的作用是_____；酸浓度不宜过大的原因是_____。

(2) “二段高酸氧压”过程中，存在反应 $\text{ZnS}(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(\text{aq}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ ，该反应的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ ，同时通入氧气的目的是_____。

(3) “沉锗”时，若溶液中 $c(\text{Fe}^{2+}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，为提高锗的纯度，则常温下溶液 pH 的理论最大值为_____；“水解”的另一种产物用水吸收后可循环使用，利用该吸收液的操作单元为_____。

(4) “沉锌铁”过程中，生成 ZnFe_2O_4 的离子方程式为_____。

【答案】(1) ①. $\text{GeO}_2 + 2\text{H}^+ = \text{GeO}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ ②. 将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ，防止 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体对锗的吸附

③. 防止产生 SO_2 或 H_2S ，污染空气

(2) ①. 2.0×10^{-4} ②. O_2 氧化 H_2S , $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ 的浓度减小，平衡

$\text{ZnS}(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(\text{aq}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ 不断正向移动，提高 Zn^{2+} 的浸出率

(3) ①. 6.5 ②. 氯化蒸馏

(4) $\text{Zn}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 8\text{HCO}_3^- = \text{ZnFe}_2\text{O}_4 \downarrow + 8\text{CO}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$

【解析】

【分析】工业烟尘(主要成分为 ZnO 、 ZnS 、 PbO 、 GeO_2 、 Fe_2O_3 等)中加 ZnSO_3 、 H_2SO_4 进行“一段低酸还原”、“二段高酸还原”后得铅渣，将“一段低酸还原”和“二段高酸还原”所得物质混合后加单宁酸沉锗，过滤得滤液

和滤渣，滤液中加双氧水氧化、加碳酸氢钠溶液沉锌铁得 ZnFeO_4 ，滤渣焙烧后加浓盐酸氯化蒸馏，然后加水水解得 $\text{GeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。

【小问 1 详解】

在“一段低酸还原”中， GeO_2 与 H^+ 反应生成 GeO^{2+} 和 H_2O ，离子方程式为 $\text{GeO}_2 + 2\text{H}^+ = \text{GeO}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ ； ZnSO_3 中 S 元素化合价为 +4 价，具有还原性，其作用是将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ，防止 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体对锗的吸附；若酸的浓度过大，即 $c(\text{H}^+)$ 过大，则会产生 SO_2 或 H_2S ，两者有毒、会污染空气，所以酸浓度不宜过大的原因是：防止产生 SO_2 或 H_2S ，污染空气。

【小问 2 详解】

反应 $\text{ZnS}(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(\text{aq}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ 的平衡常数 $K = \frac{c(\text{H}_2\text{S}) \cdot c(\text{Zn}^{2+})}{c^2(\text{H}^+)}$ ，根据 $K_{\text{sp}}(\text{ZnS}) = c(\text{Zn}^{2+}) \cdot c(\text{S}^{2-})$ ，

$$K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{S}) \cdot K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{S}) = \frac{c^2(\text{H}^+) \cdot c(\text{S}^{2-})}{c(\text{H}_2\text{S})}，则 K = \frac{K_{\text{sp}}(\text{ZnS})}{K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{S}) \cdot K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{S})} = \frac{2.0 \times 10^{-24}}{1.0 \times 10^{-7} \times 1.0 \times 10^{-13}} = 2.0 \times 10^{-4}；通入的 \text{O}_2$$

能氧化 H_2S ，使 $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ 的浓度减小，平衡 $\text{ZnS}(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(\text{aq}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ 不断正向移动，从而提高 Zn^{2+} 的浸出率。

【小问 3 详解】

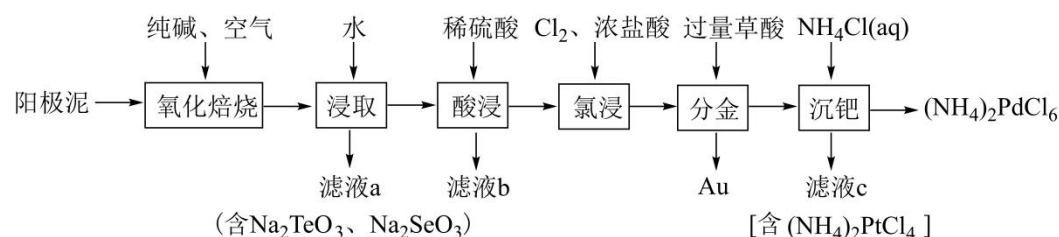
为提高锗的纯度，要防止 Fe^{2+} 沉淀，当 Fe^{2+} 开始沉淀时， $c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2]}{c(\text{Fe}^{2+})}} = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-17}}{0.01}} = 1.0 \times 10^{-7.5} \text{ mol/L}$ ，

$\text{pOH} = 7.5$ ，则 $\text{pH} = 6.5$ ，所以常温下溶液 pH 的理论最大值为 6.5；“氯化蒸馏”中 Ge 以 GeCl_4 形式存在，“水解”时 $\text{GeCl}_4 + (n+2)\text{H}_2\text{O} = \text{GeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 4\text{HCl}$ ，另一种产物 HCl 用水吸收后得到盐酸，可用于“氯化蒸馏”单元。

【小问 4 详解】

“沉锌铁”过程中，反应物有 Zn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 H_2O_2 、 HCO_3^- ，产物有 ZnFe_2O_4 ，根据得失电子守恒、原子守恒和电荷守恒，离子方程式为 $\text{Zn}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 8\text{HCO}_3^- = \text{ZnFe}_2\text{O}_4 \downarrow + 8\text{CO}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ 。

6.（2025 聊城二模，18）电解铜的阳极泥中含 PtTe、PdSe、Pt、Pd、Au、Cu 等物质，以该阳极泥为原料，分离和回收 Au、Pt、Pd 等金属或其化合物的工艺流程如图所示：



已知：① $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_4$ 易溶于水；② $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{PdCl}_6$ 难溶于水； $K_{\text{sp}}[(\text{NH}_4)_2\text{PdCl}_6] = 9.9 \times 10^{-8}$ 。

回答下列问题：

(1) Se 在元素周期表中的位置是_____，“氧化焙烧”时，阳极泥中的化合态 Pt、Pd 均转化为单质，则 PdSe 发生反应的化学方程式为_____。

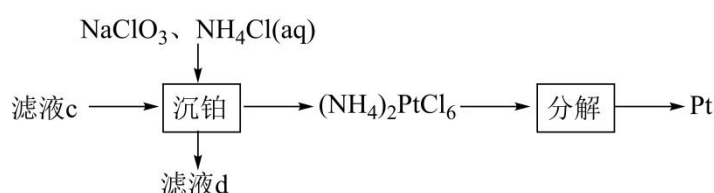
(2) “酸浸”的目的是_____。

(3) “氯浸”工艺中，金属 Pt、Pd、Au 被氧化为配离子： $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 、 $[\text{PdCl}_6]^{2-}$ 、 $[\text{AuCl}_4]^-$ ，其中 $\text{Pd} \rightarrow [\text{PdCl}_6]^{2-}$ 的反应中氧化剂与还原剂的物质的量之比为_____。

(4) “分金”加入过量草酸的目的：①析出金属 Au，②_____。

(5) “沉钯”之前，测得溶液中 $c_0\{[\text{PdCl}_6]^{2-}\} = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，加入等体积的 NH_4Cl 溶液充分反应，测得反应后混合液中 $c\{[\text{PdCl}_6]^{2-}\} = 1.1 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则初始加入 NH_4Cl 溶液的浓度约为_____ (忽略溶液混合时的体积变化)。

(6) 利用“滤液 c”可制备 Pt，工艺流程如图所示。“沉铂”总反应的离子方程式为_____。



【答案】 (1) ①. 第四周期第ⅥA族 ②. $\text{PdSe} + \text{O}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{Na}_2\text{SeO}_3 + \text{Pd} + \text{CO}_2$

(2) 使 CuO 转化为 CuSO_4 ，使 CuO 与其他物质分离

(3) 2: 1 (4) 将 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 还原为 $[\text{PtCl}_4]^{2-}$

(5) 1.0 (6) $3[\text{PtCl}_6]^{2-} + \text{ClO}_3^- + 5\text{Cl}^- + 6\text{NH}_4^+ + 6\text{H}^+ = 3(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6 \downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$

【解析】

【分析】阳极泥加入纯碱(碳酸钠)、空气焙烧，然后加入水，浸取过滤得到含 Na_2TeO_3 、 Na_2SeO_3 滤液 a，分离出滤渣，滤渣加入稀硫酸酸浸溶解氧化铜得到含硫酸铜的滤液 b，分离出含 Au、Pt、Pd 的滤渣，加入浓盐酸和氯气氯浸，金属 Pt、Pd、Au 被氧化为配离子： $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 、 $[\text{PdCl}_6]^{2-}$ 、 $[\text{AuCl}_4]^-$ ，加入草酸将 $[\text{AuCl}_4]^-$ 还原为金单质、 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 还原为 $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ ，过滤分离出金单质，滤液加入氯化铵得到含 $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ 滤液 c 和 $(\text{NH}_4)_2\text{PdCl}_6$ 沉淀。

【小问 1 详解】

Se 与 O 位于同一个主族，其在元素周期表中的位置是第四周期第ⅥA族；PdSe 中 Pd 为+2 价，且“氧化焙烧”时，阳极泥中的化合态 Pd 转化为单质，反应中 Pd 化合价由+2 变为 0，空气中氧气参与反应，氧化化合价由 0 变为-2，Se 化合价由-2 变为+4 得到 Na_2SeO_3 ，结合电子守恒、质量守恒，PdSe 发生反应的化学方程式为



【小问 2 详解】

稀硫酸能和金属氧化物氧化铜反应，而不和 Pt、Pd、Au 反应，故目的为：使 CuO 转化为 CuSO₄，使 CuO 与其他物质分离；

【小问 3 详解】

$\text{Pd} \rightarrow [\text{PdCl}_6]^{2-}$ ，Pd 化合价由 0 变为 +4，为还原剂，氯气中氯化合价由 0 变为 -1，为氧化剂，结合电子守恒存在

$\text{Pd} \sim 4\text{e}^- \sim 2\text{Cl}_2$ ，氧化剂与还原剂的物质的量之比为 2:1；

【小问 4 详解】

草酸具有还原性，由分析结合流程，“分金”加入过量草酸的作用，除析出金属 Au 外，还有将 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 还原为

$[\text{PtCl}_4]^{2-}$ ，便于后续使含 Pt 物种与含 Pd 物种分离；

【小问 5 详解】

反应后混合液中 $c\{[\text{PdCl}_6]^{2-}\} = 1.1 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则此时

$$c(\text{NH}_4^+) = \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}[(\text{NH}_4)_2\text{PdCl}_6]}{c\{[\text{PdCl}_6]^{2-}\}}} = \sqrt{\frac{9.9 \times 10^{-8}}{1.1 \times 10^{-6}}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$
，结合反应

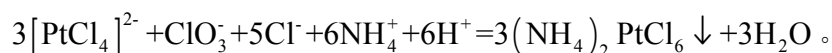
$2\text{NH}_4^+ + c\{[\text{PdCl}_6]^{2-}\} = (\text{NH}_4)_2\text{PdCl}_6 \downarrow$ ，设初始加入 NH_4Cl 溶液体积为 V，则溶液总体积为 2V，则初始加入 NH_4Cl

溶液的浓度约为 $\frac{2V \times 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} + V \times 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 2}{V} = 1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ；

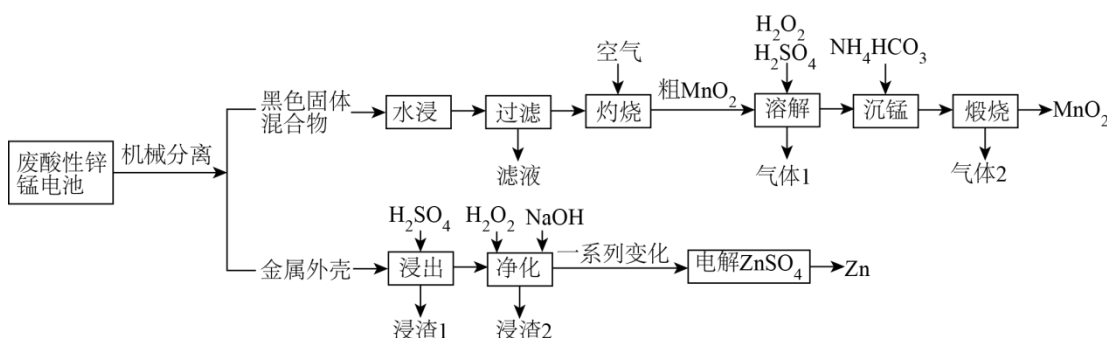
【小问 6 详解】

“沉铂”总反应为 $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ 和氯酸根离子发生氧化还原反应生成 $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ ，反应中 Pt 化合价由 +2 变为 +4、

氯酸根离子中氯化合价由 +5 变为 -1，结合电子守恒、质量守恒，反应为



7. (2025 济宁二模，19) 旧电池的回收利用成为当前世界各国研究的重要课题，从废旧酸性锌锰电池(主要成份为碳棒、Zn、Fe、Cu、ZnCl₂、NH₄Cl 以及 MnO₂)中回收 Zn 和 MnO₂ 的工艺如图所示：



已知： $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{OH}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}(\text{aq})$ 的平衡常数称为稳定平衡常数， $K_{\text{稳}} = 4.5 \times 10^{16}$ ；当离子浓

度小于 $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 可认为该离子完全除去。

回答以下问题:

- (1) “浸出”时为了加快浸出速率, 可采取的措施有_____ (写出一点)。
- (2) “溶解”时加入 H_2O_2 的作用是_____, H_2O_2 的实际消耗量比理论值高的原因_____。
- (3) “沉锰”时, 发生反应的离子方程式为_____, “煅烧”时参加反应的气体与生成气体的物质的量之比为_____。
- (4) 已知“浸出”液中 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 的浓度均为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, “净化”时, 需调节溶液 pH 的合理范围是_____。

化合物	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
K_{sp} 近似值	10^{-17}	10^{-17}	10^{-38}

$\text{Zn}(\text{OH})_2$ 为两性氢氧化物, 可与 NaOH 溶液发生反应 $\text{Zn}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}(\text{aq})$, 其平衡常数 $K = \text{_____}$ 。

【答案】(1) 适当升高温度、适当增大酸的浓度

(2) ①. 还原剂 ②. MnO_2 催化过氧化氢分解

(3) ①. $2\text{HCO}_3^- + \text{Mn}^{2+} = \text{MnCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ ②. 1: 2

(4) ①. 3~6 ②. 0.45

【解析】

【分析】黑色固体混合物中主要含有 MnO_2 、碳等, 机械分离后将黑色固体水浸, 过滤后进行灼烧, 得到粗二氧化锰, 然后加入双氧水和硫酸, 对其进行还原, 方程式为: $\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$, 然后加入碳酸氢铵, 发生复分解反应, 离子方程式为: $2\text{HCO}_3^- + \text{Mn}^{2+} = \text{MnCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$, 最后煅烧获得 MnO_2 , 金属外壳含有 Zn 、 Fe 、 Cu , 加入稀硫酸以后, 形成相应的金属离子, 加入双氧水, 把 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , 加入氢氧化钠, 将 Fe^{3+} 转化为氢氧化物沉淀除去, 最后电解硫酸锌得到锌。

【小问 1 详解】

“浸出”时为了加快浸出速率, 可采取的措施有适当升高温度、适当增大酸的浓度、搅拌等。

【小问 2 详解】

溶解的时候, 加入双氧水是作还原剂, 将 MnO_2 还原为 Mn^{2+} , 由于混合物中含有二氧化锰, 可以作为双氧水分解的催化剂, 导致双氧水损失, 所以 H_2O_2 的实际消耗量比理论值高。

【小问 3 详解】

“沉锰”时加入碳酸氢铵, 发生复分解反应, 离子方程式为: $2\text{HCO}_3^- + \text{Mn}^{2+} = \text{MnCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$, “煅烧”

(4) “除杂 2”中理论上氧化剂和还原剂的物质的量之比为_____。

(5) “氧化 2”缺失会导致 $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 产量降低, 原因是_____ (用离子方程式表示)。

(6) “沉铁”后过滤、洗涤得到 $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 证明晶体洗涤干净的方法是_____。

【答案】 (1) ①. 提高原料的浸出率, 抑制金属离子水解 ②. 将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+}

(2) ①. Mg^{2+} ②. 2.5×10^{-3}

(3) 防止后续“除杂 2”中, 盐酸与酸性高锰酸钾反应产生有毒气体氯气, 同时高锰酸钾用量增加, 浪费试剂

(4) 2:3 (5) $2\text{Fe}^{3+} + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ 或 $2\text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{SO}_2$

(6) 取最后一次洗涤液, 加入盐酸酸化后, 再加氯化钡, 无白色沉淀, 证明洗涤干净

【解析】

【分析】该工艺流程的原料为钛白粉副产品[主要成分为 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 含有少量 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 TiOSO_4 、 MgSO_4 、 MnSO_4 等]和农药氟虫腈生产中的废盐(主要成分为 Na_3PO_4 、 Na_2SO_3 等), 产品为电池级磷酸铁, 钛白粉副产品在硫酸中“溶解 1”后, 加入铁粉“除钛”过程发生反应有: $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\uparrow$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe} = 3\text{FeSO}_4$, 体系的 pH 增大, 使 TiO^{2+} 水解以 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 沉淀形式除去, 滤渣 1 为 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 气体为 H_2 , 溶液中主要含有 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 SO_4^{2-} , 加入 NH_4F “除杂 1”中除去 Mg^{2+} , 滤渣 2 为 MgF_2 ; “氧化 1”中主要反应是 Fe^{2+} 被氧化为 Fe^{3+} , “除杂 2”中加入的 KMnO_4 与 Mn^{2+} 发生氧化还原反应生成 MnO_2 而除去 Mn^{2+} , 滤渣 3 为 MnO_2 ; 农药盐渣加水“溶解 2”后, “氧化 2”是用氧气将 Na_2SO_3 氧化为 Na_2SO_4 , 沉铁时溶液中 Fe^{3+} 与农药盐渣中的 PO_4^{3-} 结合生成 $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 据此分析解题。

【小问 1 详解】

Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 、 TiO^{2+} 等阳离子均能发生水解, 故“溶解 1”用 H_2SO_4 溶解比直接加水溶解的优点是提高原料的浸出率, 抑制金属离子水解; 铁粉除了可调节体系的 pH, 使得 TiO^{2+} 水解以 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 沉淀形式除去外, 另一个目的是将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} , 故答案为: 提高原料的浸出率, 抑制金属离子水解; 将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ;

【小问 2 详解】

由分析可知, “除杂 1”中除去的离子是 Mg^{2+} , $K_{\text{sp}}[\text{MgF}_2] = c(\text{Mg}^{2+})c^2(\text{F}^-)$, 此时剩余 F^- 浓度不低于

$$\sqrt{\frac{K_{\text{sp}}[\text{MgF}_2]}{c(\text{Mg}^{2+})}} = \sqrt{\frac{6.25 \times 10^{-11}}{1.0 \times 10^{-5}}} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}, \text{ 故答案为: } \text{Mg}^{2+}; 2.5 \times 10^{-3};$$

【小问 3 详解】

“氧化 1”中不能使用稀盐酸代替 H_2SO_4 溶液, 原因是: 若用盐酸会被 KMnO_4 生成氯气, 故答案为: 防止后续“除杂 2”中, 盐酸与酸性高锰酸钾反应产生有毒气体氯气, 同时高锰酸钾用量增加, 浪费试剂;

【小问 4 详解】

由分析可知, “除杂 2”中加入的 KMnO_4 与 Mn^{2+} 发生氧化还原反应生成 MnO_2 而除去 Mn^{2+} , 反应离子方程式为:

$3\text{Mn}^{2+} + 2\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} = 5\text{MnO}_2\downarrow + 4\text{H}^+$, 则“除杂 2”中理论上氧化剂 (MnO_4^-) 和还原剂 (Mn^{2+}) 的物质的量之比为 2:3, 故答案为: 2:3;

【小问 5 详解】

“氧化 2”是用氧气将 Na_2SO_3 氧化为 Na_2SO_4 ， Fe^{3+} 也能氧化 Na_2SO_3 ，自身被还原为 Fe^{2+} ，该离子方程式为：

$2\text{Fe}^{3+} + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ ，或者发生双水解反应生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀，反应离子方程式为：

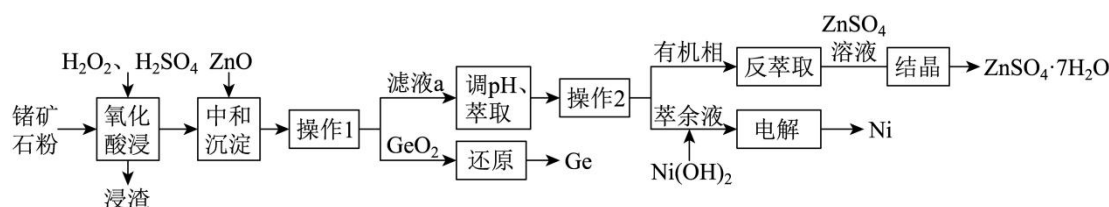
$2\text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{SO}_2$ ，故“氧化 2”缺失会导致 $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 产量降低，故答案为：

$2\text{Fe}^{3+} + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ 或 $2\text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{SO}_2$ ；

【小问 6 详解】

由分析可知，“沉铁”后过滤、洗涤得到 $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，证明晶体洗涤干净只有证明最后的洗涤液中不含硫酸根离子，方法是取最后一次洗涤液，加入盐酸酸化后，再加氯化钡，无白色沉淀，证明洗涤干净，故答案为：取最后一次洗涤液，加入盐酸酸化后，再加氯化钡，无白色沉淀，证明洗涤干净。

9. (2025 菏泽二模, 17) 以锗矿石(NiS 、 ZnS 、 GeS_2 ，含 SiO_2 等杂质)为主要原料制备 Ge 、 Ni 和 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的工艺流程如下：



已知：①锗在硫酸中的存在形式： $\text{pH} < 2$ 时主要为 Ge^{4+} ， $2 < \text{pH} < 7$ 时主要为 GeO_2 沉淀；

② Zn^{2+} 和 Ni^{2+} (以 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 计) 开始沉淀的 pH 分别为 6.2 和 6.9，完全沉淀时的 pH 分别为 8.2 和 8.9。

回答下列问题：

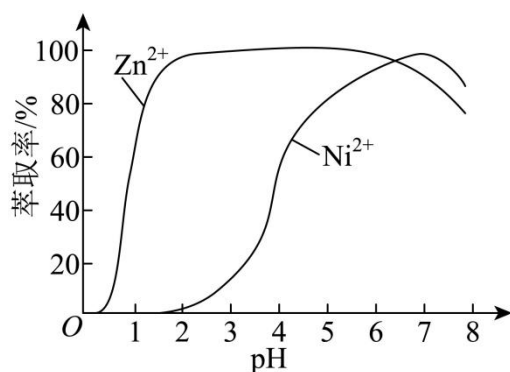
(1) “氧化酸浸”时，控制溶液 $\text{pH} \approx 1.5$ ，浸渣的主要成分为 SiO_2 和 S ，则 GeS_2 反应的离子方程式为_____。

(2) “操作 2”的名称为_____。有人依据已知②认为可以直接调 pH 分离 Zn^{2+} 和 Ni^{2+} ，以省去有机物使用时可能造成的污染，分析该方法是否正确_____。

(3) “调 pH 、萃取”时，萃取原理为 $\text{M}^{2+}(\text{水相}) + 2\text{HR}(\text{有机相}) \rightleftharpoons \text{MR}_2(\text{有机相}) + 2\text{H}^+(\text{水相})$ 。在硫酸盐溶液中，该萃取剂对某些金属离子的萃取率[萃取率 = $\frac{n_{\text{有机相}}(\text{MR}_2)}{n_{\text{总}}(\text{M})} \times 100\%$]与 pH 的变化关系如图所示。在一定范

围内，萃取率升高的原因是_____。已知在 $\text{pH} = 1.8$ 时，达到萃取平衡时， $\frac{c_{\text{有机相}}(\text{ZnR}_2)}{c_{\text{水相}}(\text{Zn}^{2+})} = 48$ 。若在滤液

中加入等体积萃取剂进行充分萃取，则 Zn^{2+} 的萃取率为_____%(保留两位有效数字)。



(4) “电解”制备 Ni 时，电解池的阴极电极材料为_____ (填化学式)。电解后的溶液可在工艺中循环使用，利用该电解液的操作单元为_____ (填标号)。

A. 氧化酸浸 B. 中和沉淀 C. 调节 pH、萃取 D. 反萃取

【答案】(1) $\text{GeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O}_2 + 4\text{H}^+ = \text{Ge}^{4+} + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{S} \downarrow$

(2) ①. 分液 ②. 若要完全沉淀 Zn^{2+} ，溶液的 pH 至少需调至 8.2，此时 Ni^{2+} 也接近沉淀完全，所以此方法不正确

(3) ①. 随着 pH 的升高 H^+ 被消耗，促进萃取金属离子的反应正向移动 ②. 98

(4) ①. Ni ②. AC

【解析】

【分析】向锗矿石(NiS 、 ZnS 、 GeS_2 ，含 SiO_2 等杂质)中加入 H_2SO_4 和 H_2O_2 进行氧化酸浸，氧化酸浸时，发生 $\text{GeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O}_2 + 4\text{H}^+ = \text{Ge}^{4+} + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{S} \downarrow$ 、 $\text{ZnS} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{S} \downarrow$ 、 $\text{NiS} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Ni}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{S} \downarrow$ 反应，将 S 元素氧化为 S 单质， SiO_2 不反应，过滤得到滤渣为 S、 SiO_2 ，过程中得到硫酸锌、硫酸镍，需注意：锗在硫酸中的存在形式：pH < 2 时主要为 Ge^{4+} ，2 < pH < 7 时主要为 GeO_2 沉淀，加入氧化锌调节 pH，操作 1 为过滤，滤渣为氧化锗，经还原得到锗；滤液含有硫酸锌、硫酸镍，加入稀硫酸调 pH 后萃取，分液，萃余液为硫酸镍，加入 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 后电解得到 Ni；有机相中经反萃取得到硫酸锌溶液，结晶得到 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，据此回答。

【小问 1 详解】

由信息可知“氧化酸浸”时，控制溶液 pH ≈ 1.5 ，锗在硫酸中的存在形式主要为 Ge^{4+} ，故 GeS_2 反应的离子方程式为 $\text{GeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O}_2 + 4\text{H}^+ = \text{Ge}^{4+} + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{S} \downarrow$ ；

【小问 2 详解】

由流程可知，“操作 2”是分液；由 Zn^{2+} 和 Ni^{2+} (以 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 计)开始沉淀的 pH 分别为 6.2 和 6.9，完全沉淀时的 pH 分别为 8.2 和 8.9 可知，若要完全沉淀 Zn^{2+} ，溶液的 pH 至少需调至 8.2，此时 Ni^{2+} 也接近沉淀完全，所以此方法不正确；

【小问 3 详解】

①由萃取原理 $M^{2+}(\text{水相}) + 2HR(\text{有机相}) \rightleftharpoons MR_2(\text{有机相}) + 2H^+(\text{水相})$ 可知, 随着 pH 的升高 H^+ 被消耗, 促进萃取金属离子的反应正向移动;

②设滤液中 Zn^{2+} 初始物质的量为 n_0 , 加入等体积萃取剂后, 设水相体积和有机相体积均为 V , 已知

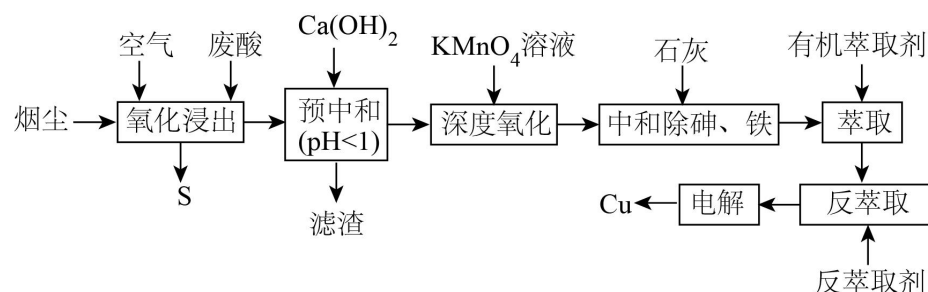
$$\frac{c_{\text{有机相}}(ZnR_2)}{c_{\text{水相}}(Zn^{2+})} = 48, \text{ 设萃取后水相中 } n(Zn^{2+}) = x, \text{ 则有机相中 } ZnR_2 = n_0 - x, \text{ 根据 } \frac{c_{\text{有机相}}(ZnR_2)}{c_{\text{水相}}(Zn^{2+})} = \frac{\frac{n_0 - x}{V}}{\frac{x}{V}} = 48,$$

$$\text{即 } \frac{n_0 - x}{x} = 48, \text{ 解得 } x = \frac{n_0}{49}, \text{ 萃取率} = \frac{n_0 - x}{n_0} \times 100\% = \frac{n_0 - \frac{n_0}{49}}{n_0} \times 100\% = \frac{48}{49} \times 100\% \approx 98\% ;$$

【小问 4 详解】

电解制备 Ni 时, 阴极发生还原反应, Ni^{2+} 得到电子生成 Ni, 阴极电极材料一般为待制备金属, 所以阴极电极材料为 Ni; 由分析知, 加入稀硫酸调 pH 后萃取, 分液, 萃余液为硫酸镍和稀硫酸, 加入 $Ni(OH)_2$ 后生成硫酸镍, 电解硫酸镍溶液, 发生 $2NiSO_4 + 2H_2O \xrightarrow{\text{电解}} 2Ni + 2H_2SO_4 + O_2 \uparrow$ 反应, 得到 Ni 和硫酸, 可以返回到氧化酸浸和调节 pH、萃取中循环使用, 故选 AC。

10. (2025 滨州二模, 18) 工业上利用废酸(主要含 H_2SO_4)浸出冶炼铜产生的烟尘(含 $CuSO_4$ 、 CuO 、 CuS 、 $Fe_2(SO_4)_3$ 、 FeS 、 Fe_2O_3 、 As_2O_3 等), 实现了砷的去除(以 $FeAsO_4$ 形式)及铜的回收, 达到了以废治废的目的。工艺流程如下:



回答下列问题:

- (1) 氧化浸出时, 鼓入空气的主要目的是_____, CuS 参与反应的离子方程式为_____。
- (2) 滤渣的主要成分是_____ (填化学式)。
- (3) 深度氧化中 H_3AsO_3 全部被氧化为 H_3AsO_4 , 该转化的化学反应方程式为_____。
- (4) 在某条件下, 中和除砷、铁时, 不同的中和终点 pH 条件下, 溶液中的砷、铁质量浓度(ρ)及铜、砷、铁的入渣率如下表所示。

中和 终点 pH	$\rho / (g \cdot L^{-1})$		入渣率/%		
	As	Fe	Cu	As	Fe

1.6	4.28	5.37	1.83	51.59	46.12
2.0	0.33	0.26	2.66	94.63	97.05
2.4	0.25	0.15	3.23	95.78	97.35
3.5	0.20	0.16	8.35	97.02	97.84
4.0	0.19	0.14	33.25	97.93	98.25

结合以上数据判断,中和除砷、铁最佳 pH 范围为_____(填标号),请分析原因_____。

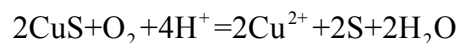
- A. 1.6—1.8 B. 2.0—2.2 C. 3.3—3.5 D. 3.8—4.0

(5) 有机萃取剂用 HR 表示,发生萃取的反应可表示为 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{HR} \rightleftharpoons \text{CuR}_2 + 2\text{H}^+$ 。若中和除砷、铁后溶液 $\text{pH} = 2.0$, $c(\text{Cu}^{2+}) = 0.055 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 多次萃取后水相中 $c(\text{H}^+)$ 为 $0.11 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则铜的萃取率为_____%(保留两位小数,忽略溶液体积变化)。

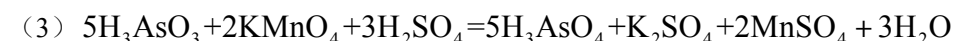
(6) 反萃取中,下列说法正确的是_____。

- A. 反萃取剂可选择浓硫酸以提高反萃取率
B. 分液漏斗使用前有两处需检查是否漏液
C. 经几次振荡并放气后,手持分液漏斗静置分层
D. 反萃取后, Cu^{2+} 被转移至水相

【答案】(1) ①. 空气中氧气可做氧化剂,将金属硫化物中的 S 氧化为硫单质,促进硫化物的浸出 ②.



(2) CaSO_4



(4) ①. B ②. pH 过小, AsO_4^{3-} 浓度低,不利于 FeAsO_4 沉淀的形成, pH 过大, Cu^{2+} 形成沉淀,入渣率较高 (5) 90.91 (6) BD

【解析】

【分析】烟尘(含 CuSO_4 、 CuO 、 CuS 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 FeS 、 Fe_2O_3 、 As_2O_3 等)通入空气,用废酸(主要含 H_2SO_4) 浸取,过滤得滤渣 S,滤液主要为, Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 H_3AsO_3 、 H^+ 、 SO_4^{2-} , 通入 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 得到滤渣 CaSO_4 , 加入 KMnO_4 深度氧化, H_3AsO_3 全部被氧化为 H_3AsO_4 , 加入石灰中和除砷、铁(以 FeAsO_4 形式), 加入有机萃取 Cu^{2+} ($\text{Cu}^{2+} + 2\text{HR} \rightleftharpoons \text{CuR}_2 + 2\text{H}^+$), 反萃取得到硫酸铜, 电解得到铜单质, 据此分析;

【小问 1 详解】

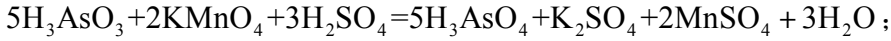
氧化浸出时，鼓入空气的主要目的是空气中氧气可做氧化剂，将二价铁氧化成三价铁，氧化 CuS 生成 CuSO₄、S 单质，促进硫化物的浸出；CuS 参与反应的离子方程式为 $2\text{CuS} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ = 2\text{Cu}^{2+} + 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ ；

【小问 2 详解】

根据分析可知，滤渣的主要成分是 CaSO₄；

【小问 3 详解】

深度氧化中 H₃AsO₃ 全部被氧化为 H₃AsO₄，KMnO₄ 做氧化剂，Mn 化合价由+5 降至+2，As 化合价由+3 升至+5，根据化合价升高总和相等，该转化的化学反应方程式为



【小问 4 详解】

在 pH=2.0 时，溶液中的砷、铁质量浓度(ρ)很小，同时砷、铁的入渣率较高、铜的入渣率较低，故选 B；原因是：pH 过小，AsO₄³⁻ 浓度低，不利于 FeAsO₄ 沉淀的形成，pH 过大，Cu²⁺ 形成沉淀，入渣率较高；

【小问 5 详解】

根据已知列三段式：

	Cu^{2+}	+	2HR	$\rightleftharpoons$	CuR_2		2H^+	
起始mol / L	0.055						0.01	
改变mol / L	0.05						0.1	
多次萃取后mol / L	0.005						0.11	

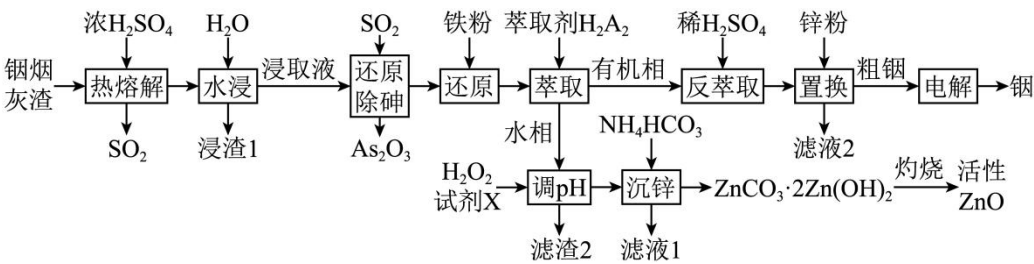
，铜的萃取率为 $\frac{0.05\text{mol/L}}{0.055\text{mol/L}} \times 100\% \approx 90.91\%$ ；

【小问 6 详解】

- A. 反萃取剂可选择稀硫酸以提高反萃取率，浓硫酸氢离子浓度低，不利于萃取平衡逆移，A 错误；
- B. 分液漏斗使用前，上口塞子和活塞有两处需检查是否漏液，B 正确；
- C. 经几次振荡并放气后，分液漏斗放置在铁架台上静置分层，C 错误；
- D. 萃取是 Cu²⁺ 被转移至有机相，反萃取后，Cu²⁺ 被转移至水相，D 正确；

故选 BD。

11. （2025 烟台德州二模，17）铜烟灰渣[含 In₂S₃、ZnO、PbO、FeAsO₄、SiO₂ 等]为主要原料制备 In 和活性 ZnO 的工艺流程如下：



已知：①常温下，一些金属离子开始沉淀与完全沉淀时的 pH：

	Zn^{2+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	In^{3+}
开始沉淀	6.5	6.3	1.5	3.5
完全沉淀	8.5	8.3	2.8	4.8

②在酸性溶液中 H_2A_2 可萃取三价金属离子： $\text{M}^{3+} + 3\text{H}_2\text{A}_2 \rightleftharpoons \text{M}(\text{HA}_2)_3 + 3\text{H}^+$ 。

回答下列问题：

- (1) “热溶解”时生成 In^{3+} 与 SO_2 物质的量之比为_____；“浸渣 1”的主要成分是_____ (填化学式)。
- (2) 加入铁粉“还原”的目的是_____；“滤液 2”最好进入_____ (填操作单元)再利用；“电解”时粗钢接直流电源的_____ (填“正极”或“负极”)。
- (3) “调 pH”中可选用的试剂 X 为_____ (填标号)；
- A. Zn B. ZnO C. ZnCO_3 D. Fe

H_2O_2 的使用量远大于理论计算量，可能的原因是_____；pH 应控制的范围是_____。

- (4) “沉锌”反应的离子方程式为_____。

【答案】 (1) ①. 1:6 ②. PbSO_4 、 SiO_2

- (2) ①. 将 Fe^{3+} 转化为 Fe^{2+} ，防止 Fe^{3+} 进入有机相 ②. 沉锌 ③. 正极

- (3) ①. BC ②. 产生的 Fe^{3+} 催化 H_2O_2 分解 ③. $2.8 \leq \text{pH} < 6.5$

- (4) $3\text{Zn}^{2+} + 6\text{HCO}_3^- = \text{ZnCO}_3 \cdot 2\text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + 5\text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

【解析】

【分析】热溶解时得到 In^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Fe^{3+} 、 H_3AsO_4 、 SiO_2 、 PbSO_4 、 SO_2 等，水浸得到浸渣 1 为 PbSO_4 、 SiO_2 ，还原除砷时， H_3AsO_4 与 SO_2 生成 As_2O_3 ，加入铁粉还原 Fe^{3+} ，在酸性溶液中 H_2A_2 可萃取三价金属离子： $\text{In}^{3+} + 3\text{H}_2\text{A}_2 \rightleftharpoons \text{In}(\text{HA}_2)_3 + 3\text{H}^+$ ，再加入稀硫酸反萃取，得到 In^{3+} ，加入锌粉置换得到粗 In，电解精炼得到纯 In；萃取后的水相中含有 Zn^{2+} 、 Fe^{2+} 等，加入 H_2O_2 氧化 Fe^{2+} ，加入 ZnO 或者 ZnCO_3 调 pH 得到氢氧化铁沉淀，加入碳酸氢铵溶液沉锌，得到 $\text{ZnCO}_3 \cdot 2\text{Zn}(\text{OH})_2$ ，灼烧得到活性氧化锌。

【小问 1 详解】

“热溶解”时发生： $\text{In}_2\text{S}_3 + 12\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) = 12\text{SO}_2 \uparrow + \text{In}_2(\text{SO}_4)_3 + 12\text{H}_2\text{O}$ ，则生成 In^{3+} 与 SO_2 物质的量之比为 1:6；根据分析知，“浸渣 1”的主要成分是 PbSO_4 、 SiO_2 ；

【小问 2 详解】

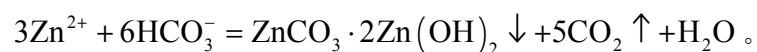
根据分析知，加入铁粉“还原”的目的是将 Fe^{3+} 转化为 Fe^{2+} ，防止 Fe^{3+} 进入有机相；“滤液 2”主要成分是硫酸锌，最好进入沉锌再利用；“电解”时粗钢为阳极，纯钢为阴极，则粗钢接直流电源的正极；

【小问 3 详解】

锌与铁可以还原 Fe^{3+} ，为了不引入新杂质，加入 ZnO 或者 ZnCO_3 调 pH 得到氢氧化铁沉淀； H_2O_2 的使用量远大于理论计算量，可能的原因是产生的 Fe^{3+} 催化 H_2O_2 分解；控制 pH 使 Fe^{3+} 沉淀，而 Zn^{2+} 不沉淀，则 pH 应控制的范围是 $2.8 \leq \text{pH} < 6.5$ ；

【小问 4 详解】

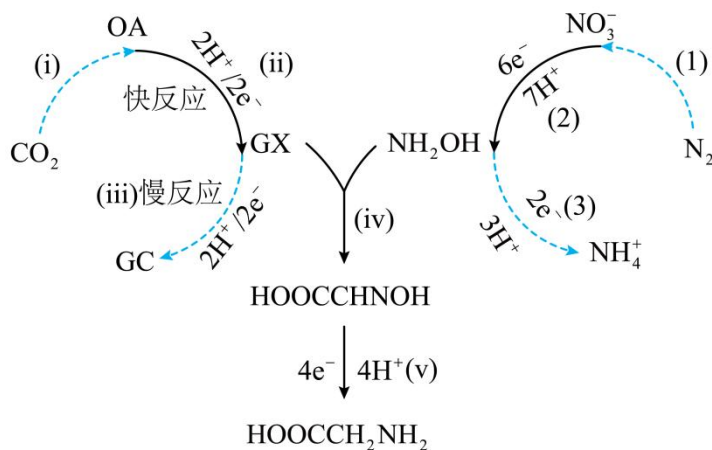
根据原子守恒与电荷守恒，“沉锌”反应的离子方程式为：



第四部分 化学反应原理

一、电化学

1. (2025 滨州二模, 9) 中国科学院化学研究所韩布兴课题组, 以草酸和硝酸盐为原料(N_2 和 CO_2 分别为氮源和碳源), 实现了电催化 C-N 偶联制备甘氨酸。原理如图(OA 为 $\text{HOOC}-\text{COOH}$, GX 为 $\text{HOOC}-\text{CHO}$, GC 为 $\text{HOOC}-\text{CH}_2\text{OH}$)。下列说法正确的是



- A. 反应 iii 是偶联制备甘氨酸的决速步
B. 反应 iv 的原子利用率为 100%
C. $\text{OA} \rightarrow \text{GX}$ 的电极反应式为 $\text{HOOC}-\text{COOH} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{HOOC}-\text{CHO} + \text{H}_2\text{O}$
D. 甘氨酸在阳极和阴极的中间区域生成

【答案】C

【解析】

【分析】(1) 碳源相关反应机理。反应 (i) 中 CO_2 快速转化为 OA, 在合适的电极电势和催化剂作用下, CO_2 分子得到电子并发生重排等过程生成 $\text{HOOC}-\text{COOH}$ 。反应 (ii) 中 OA ($\text{HOOC}-\text{COOH}$) 得到 2 个电子和 2 个 H^+ 转化为 GX ($\text{HOOC}-\text{CHO}$), 此为还原反应。从结构上看, 是羧基被还原为醛基, 在电催化体系中, 电极提供电子, 酸性环境提供质子, 降低了反应活化能, 促使反应进行。反应 (iii) 中 GX 进一步得 2 个电子和 2 个 H^+ 转化为 GC ($\text{HOOC}-\text{CH}_2\text{OH}$), 同样是还原反应, 醛基被进一步还原为羟基, 持续在电催化作用下, 借助电极和电解质溶液环境实现电子和质子转移。

(2) 氮源相关反应机理。反应 (1) 中 N_2 转化为 NO_3^- , 这是一个氧化过程。在电催化条件下, 可能是在阳极区域, N_2 分子在电极表面被氧化, 结合溶液中的氧原子等逐步形成 NO_3^- 。 NO_3^- 得到电子和质子, 先发生反应 (2) 转化为 NH_2OH , 再经反应 (3) 得到 NH_4^+ , 这是连续的还原过程, 每一步都在特定的电极电势和催化剂作用下, 通过控制电子和质子的供给实现氮元素化合价的逐步降低。

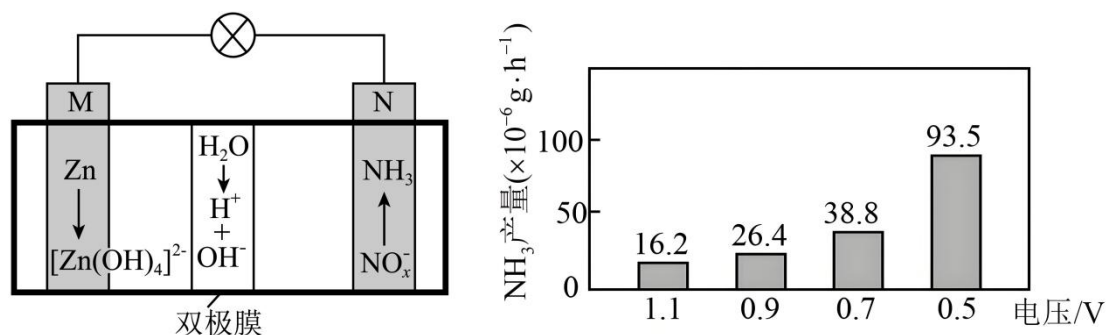
(3) C-N 偶联反应机理。反应 (iv) 中 GX ($\text{HOOC}-\text{CHO}$) 与 NH_2OH 发生反应, 醛基与 NH_2OH 发生亲核加

成反应，在电催化体系提供的微环境下，促进反应中间体的形成和转化，最终生成 HOOCCHNOH ，实现了 C-N 键的初步构建。反应 (v) 中 HOOCCHNOH 得到 4 个电子和 4 个 H^+ ，发生还原反应，最终生成甘氨酸 ($\text{HOOCCH}_2\text{NH}_2$)，完成 C-N 偶联制备甘氨酸的全过程。整个过程中电催化作用通过调控电极反应，为反应提供合适的电子和质子转移路径，促进各步反应的进行。

- 【详解】A. 由图可知反应 iii 是副反应，不是偶联制备甘氨酸的决速步，A 错误；
- B. 观察反应 iv 的过程，除了生成目标产物外，可能还有其他副产物生成（从图中反应关系看，原子并非全部转化到甘氨酸中），所以原子利用率不是 100%，B 错误；
- C. 从图中可知 OA ($\text{HOOC}-\text{COOH}$) 转化为 GX ($\text{HOOC}-\text{CHO}$) 的过程中，碳元素化合价降低，发生还原反应，结合电极反应式书写规则，其电极反应式为 $\text{HOOC}-\text{COOH} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{HOOC}-\text{CHO} + \text{H}_2\text{O}$ ，C 正确；
- D. 从图中反应历程来看，甘氨酸 ($\text{HOOCCH}_2\text{NH}_2$) 是在一系列反应后生成的，其生成过程涉及到阴极产生的物质（如 NH_2OH 等），不是在阳极和阴极的中间区域生成，D 错误；

综上，答案是 C。

2. (2025 日照二模，9) 一种 $\text{Zn}-\text{NO}_x^-$ 电池装置及在不同电压下 NH_3 的单位产量如图所示。



已知：法拉第效率 $\eta(\text{B}) = \frac{n(\text{生成B所需电子})}{n(\text{通过电路的电子})} \times 100\%$ 。下列说法错误的是

- A. N 极为正极
- B. 电池工作一段时间，M 电极区 pH 变小
- C. $x=3$ 时，N 极电极反应 $\text{NO}_3^- + 8\text{e}^- + 9\text{H}^+ = \text{NH}_3 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$
- D. $x=2$ 时，0.5V 电压放电 10 小时，外电路中通过 $5.5 \times 10^{-4} \text{ mole}^-$ ，法拉第效率为 60%

【答案】C

【解析】

【分析】负极失去电子发生氧化反应，Zn 发生氧化反应生成 $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ ，电极反应式为： $\text{Zn} - 2\text{e}^- + 4\text{OH}^- = [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ ，电极 M 为负极；正极得电子发生还原反应， NO_x^- 生成 NH_3 ，则电极 N 为正极，据此分析；

- 【详解】A. 根据分析，N 极 NO_x^- 得电子生成 NH_3 ，则电极 N 为正极，A 正确；
- B. 根据分析，M 极的电极反应式为： $\text{Zn} - 2\text{e}^- + 4\text{OH}^- = [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ ，M 电极区每消耗 4mol 氢氧根离子，通过双极膜

移入 2mol 氢氧根离子，工作一段时间后，M 电极区 pH 变小，B 正确；

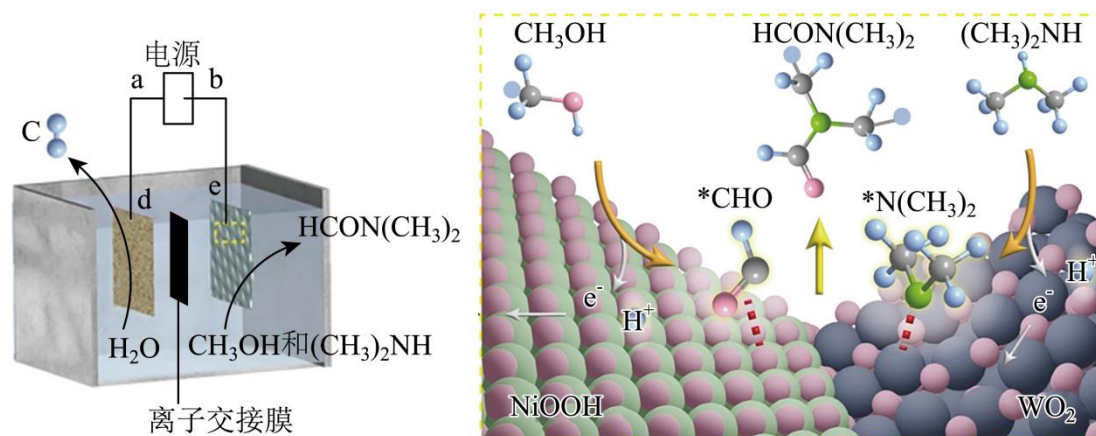
C. $x=3$ 时，硝酸根离子生成氨气（电解质溶液不能为酸性），N 元素由 +5 降到 -3 价，N 极为正极，电极反应式为： $\text{NO}_3^- + 8\text{e}^- + 6\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3 \uparrow + 9\text{OH}^-$ ，C 错误；

D. $x=2$ 时，由图可知当电压为 0.5V 时，氨气产量为 $93.5 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ ，则 10h 产生氨气为 $9.35 \times 10^{-4} \text{g}$ ，根据电极反应： $\text{NO}_2^- + 6\text{e}^- + 5\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3 \uparrow + 7\text{OH}^-$ ，外电路中通过 $5.5 \times 10^{-4} \text{mole}^-$ ，理论上氨气的质量：

$$\left(5.5 \times 10^{-4} \times \frac{1}{6} \times 17\right) \text{g}, \text{ 法拉第效率: } \frac{9.35 \times 10^{-4} \text{g}}{\left(5.5 \times 10^{-4} \times \frac{1}{6} \times 17\right) \text{g}} \times 100\% = 60\%, \text{ D 正确;}$$

故选 C。

3. （2025 济南二模，9）我国科学家利用 WO_2 和 NiOOH 的协同作用实现了 CH_3OH 和 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 电催化合成 $\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$ ，反应装置及催化机理如图所示。下列说法错误的是



A. b 为电源正极

B. 工作一段时间后 e 极附近 pH 减小

C. CH_3OH 和 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 均发生氧化反应

D. 理论上每生成 1mol 的 C 气体，e 上有 2mol 的 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 被氧化

【答案】D

【解析】

【分析】由图可知，在该电催化合成装置中， CH_3OH 和 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 在 e 电极发生反应生成 $\text{HCON}(\text{CN}_3)_2$ ，发生氧化反应，所以 e 为阳极，d 极为阴极；

【详解】A. 由分析知，e 为阳极，与阳极相连的 b 为电源正极，A 正确；

B. e 极发生的反应为 $\text{CH}_3\text{OH} + (\text{CH}_3)_2\text{NH} - 4\text{e}^- = \text{HCON}(\text{CH}_3)_2 + 4\text{H}^+$ ，工作一段时间后，e 极附近氢离子浓度增大，pH 减小，B 正确；

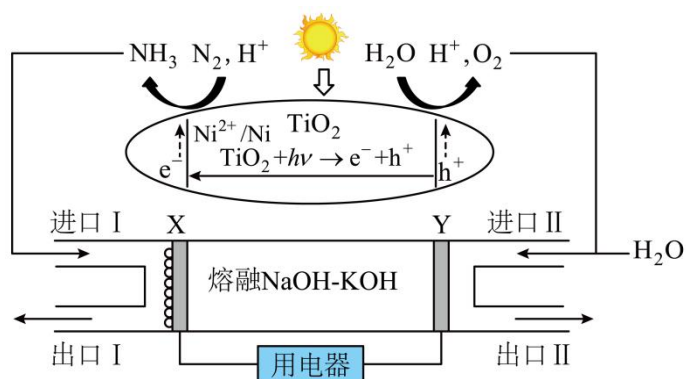
C. 从催化机理图可知， CH_3OH 转化为 $\cdot\text{CHO}$ ，C 元素化合价升高， $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 转化为 $\cdot\text{N}(\text{CH}_3)_2$ ，N 元素化合价升高，

因此 CH_3OH 和 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 均发生氧化反应，C 正确；

D. 由 A 分析可知，d 极为阴极，e 极为阳极，阴极反应为： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \uparrow$ ， H_2 即为题中的 C 气体，阳极反应为： $\text{CH}_3\text{OH} + (\text{CH}_3)_2\text{NH} - 4\text{e}^- = \text{HCON}(\text{CH}_3)_2 + 4\text{H}^+$ ，根据得失电子守恒，理论上生成 1 mol H_2 ，转移 2 mol 电子，阳极上有 0.5 mol 的 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 被氧化，D 错误；

故答案选 D。

4. (2025 潍坊二模, 10) 氨燃料电池是当前推动绿氢能源化应用的重要研究方向和热点。一种通过光 $h\nu - \text{Ni} : \text{TiO}_2$ 催化合成绿氢联合氨燃料电池的装置如图，在光照作用下光催化剂被激发产生电子 (e^-) 和空穴 (h^+)。下列说法错误的是



- A. X 极电势低于 Y 极电势
- B. 光催化剂表面发生反应： $2\text{H}_2\text{O} + 4\text{h}^+ = 4\text{H}^+ + \text{O}_2$
- C. X 极的电极反应式是 $2\text{NH}_3 + 6\text{OH}^- - 6\text{e}^- = \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
- D. 每产生 5.6 L (标准状况) NH_3 ，光催化装置生成 1.5mol h^+

【答案】D

【解析】

【分析】 N_2 在光催化剂表面转化为 NH_3 ，碱性介质条件下， NH_3 转化为 N_2 ，化合价升高，发生氧化反应，则电极 X 为负极，电极反应式为： $2\text{NH}_3 + 6\text{OH}^- - 6\text{e}^- = \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ ； H_2O 转化为 O_2 ，化合价降低，发生还原反应，则电极 Y 为正极，电极反应式为： $2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = \text{H}_2 + 4\text{OH}^-$ ，据此分析回答。

【详解】A. 由分析可知，电极 X 为负极，电极 Y 为正极，则 X 极电势低于 Y 极电势，A 正确；

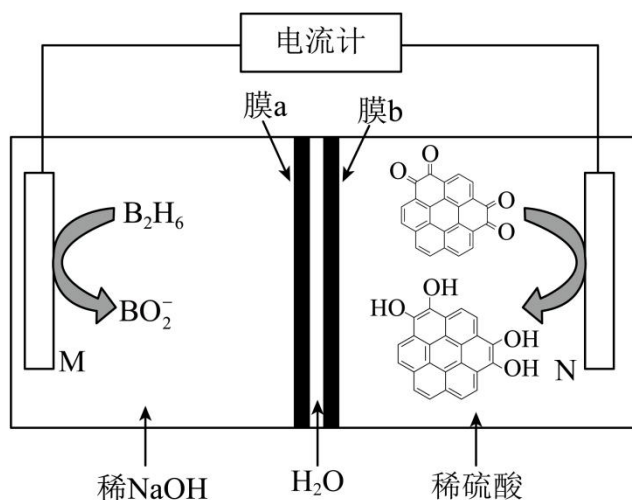
B. 光催化剂表面 H_2O 转化为 O_2 ，发生反应为： $2\text{H}_2\text{O} + 4\text{h}^+ = 4\text{H}^+ + \text{O}_2$ ，B 正确；

C. 电极 X 为负极，电极反应式为： $2\text{NH}_3 + 6\text{OH}^- - 6\text{e}^- = \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ ，C 正确；

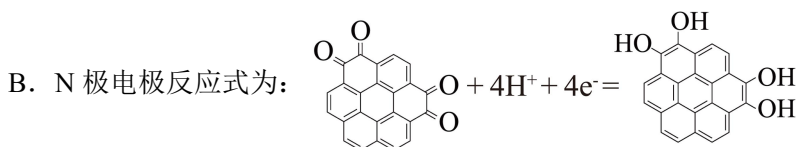
D. N_2 在光催化剂表面转化为 NH_3 ，生成 2mol NH_3 ，转移 6mol e^- ，则每产生 5.6 L (标准状况) NH_3 ，转移电子 0.75mol h^+ ，D 错误；

故答案为：D。

5. (2025 菏泽二模, 11) (不定项) 我国科学家发现, 利用如图所示的电池装置可将邻苯二醌类物质转化为邻苯二酚类物质, 已知双极膜(膜 a、膜 b)中间层中的 H_2O 可解离为 H^+ 和 OH^- 。下列说法正确的是



A. 电池工作时, 电流方向为电极 $\text{M} \rightarrow$ 电流计 $\rightarrow$ 电极 $\text{N} \rightarrow$ 膜 $\text{b} \rightarrow$ 膜 $\text{a} \rightarrow$ 电极 M



C. 若消耗 $0.1\text{mol B}_2\text{H}_6$, 理论上 0.6mol H^+ 透过膜 b

D. 工作一段时间后, 装置中需要补充 H_2SO_4 和 NaOH

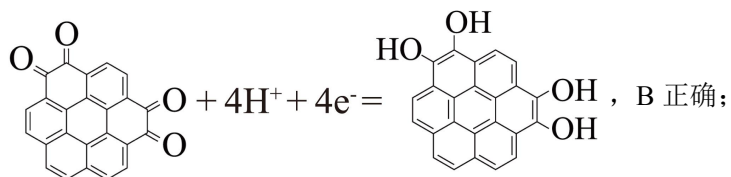
【答案】B

【解析】

【分析】根据 N 极变化特点是邻苯二醌类物质转化为邻苯二酚类物质, 增加了氢原子, 发生还原反应, N 电极作正极; M 极是 B_2H_6 失去电子, 作负极, 生成 BO_2^- , 电极反应为: $\text{B}_2\text{H}_6 + 14\text{OH}^- - 12\text{e}^- = 2\text{BO}_2^- + 10\text{H}_2\text{O}$ 。双极膜中间层中的水解离为 H^+ 和 OH^- , 氢离子通过膜 b 移向正极 N, 膜 b 为阳离子交换膜; 氢氧根离子通过膜 a 移向负极 M, 膜 a 为阴离子交换膜。

【详解】A. N 电极作正极, 电流方向为 $\text{N} \rightarrow$ 电流计 $\rightarrow$ 电极 $\text{M} \rightarrow$ 膜 $\text{a} \rightarrow$ 膜 $\text{b} \rightarrow$ 电极 N, A 错误;

B. N 极邻苯二醌类物质转化为邻苯二酚类物质, 增加了氢原子, 发生还原反应, 电极反应式为:



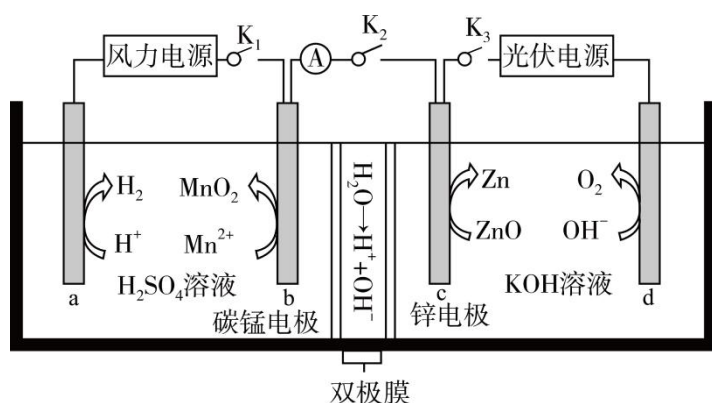
C. 负极反应为: $\text{B}_2\text{H}_6 + 14\text{OH}^- - 12\text{e}^- = 2\text{BO}_2^- + 10\text{H}_2\text{O}$, 消耗 $0.1\text{mol B}_2\text{H}_6$, 失去 1.2mol e^- , 则有 1.2mol OH^- 通过膜 a 移向负极 M, 结合电荷守恒, 同时有 1.2mol 氢离子通过膜 b 移向正极 N, C 错误;

D. 根据 M 极的电极反应式可知, 每消耗 14mol OH^- 会转移 12mol 电子, 为传递电荷, 同时会有 12mol OH^- 通过膜 a

移向 M 极，故 M 极区中 NaOH 的物质的量会减少；根据 N 极的电极反应式可知，每消耗 4mol H^+ 会转移 4mol 电子，为传递电荷，同时会有 4mol H^+ 通过膜 b 移向 N 极，故 N 极区中 H_2SO_4 的物质的量不变；因此装置中需要定期补充 NaOH，不需要补充硫酸，D 错误；

故选 B。

6. (2025 泰安二模, 11) (不定项) 一种适应可再生能源波动性的电化学装置原理如图所示。当闭合 K_1 和 K_3 、打开 K_2 时，装置处于充电状态；当打开 K_1 和 K_3 、闭合 K_2 时，装置处于放电状态。放电状态时，双极膜中间层中的 H_2O 解离为 H^+ 和 OH^- 并分别向两侧迁移。下列说法错误的是



- A. 充电时碳锰电极 b 为阳极
- B. 充电时 d 电极发生的反应为 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$
- C. 放电时每消耗 1mol MnO_2 ，理论上有 2mol OH^- 由双极膜向 b 电极迁移
- D. 该电化学装置运行过程中需要补充 H_2SO_4 和 KOH 溶液

【答案】CD

【解析】

【分析】当闭合 K_1 和 K_3 、打开 K_2 ，装置处于充电状态，即为电解池， H^+ 得电子生成 H_2 ，H 元素化合价降低，则为阴极， Mn^{2+} 失电子生成 MnO_2 ，碳锰电极为阳极； ZnO 得电子生成 Zn ，则锌电极为阴极；d 电极上 OH^- 失电子生成 O_2 ，d 电极为阳极；当打开 K_1 和 K_3 、闭合 K_2 时，装置处于放电状态，即原电池，锌电极为负极，碳锰电极为正极。

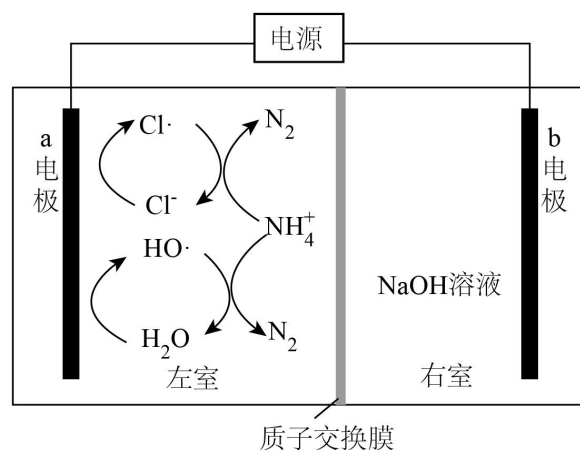
【详解】A. 由分析可知，充电时， Mn^{2+} 失电子生成 MnO_2 ，碳锰电极为阳极，A 正确；
 B. 充电时，d 电极上 OH^- 失电子生成 O_2 ，电极反应式为 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$ ，B 正确；
 C. 放电时，碳锰电极为正极，电极反应式为 $\text{MnO}_2 + 2\text{e}^- + 4\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ ，每消耗 1mol MnO_2 ，转移 2mol 电子，因此理论上有 2mol OH^- 由双极膜向 c 电极迁移，C 错误；

D. 该电化学装置运行过程中, c 电极反应式为 $ZnO + H_2O + 2e^- = Zn + 2OH^-$, 故右侧总反应为

$2ZnO = 2Zn + O_2 \uparrow$, 不需要补充 KOH 溶液, D 错误;

故选 CD。

7. (2025 临沂二模, 13) (不定项) 一种电化学处理氨氮污染废水的装置如图所示。已知: $Cl\cdot$ 与 $HO\cdot$ 为自由基, 自由基之间结合生成的分子也可将 NH_4^+ 氧化为 N_2 。下列说法正确的是



A. 电极电势: a 电极 < b 电极

B. 自由基 $HO\cdot$ 氧化 NH_4^+ 的离子方程式为 $6HO\cdot + 2NH_4^+ = N_2 + 2H^+ + 6H_2O$

C. 相同数目的自由基结合生成的分子不同, 标准状况下产生 N_2 的体积不同

D. 左室溶液 pH 下降, 说明参加反应的 Cl^- 数目大于 H_2O 数目

【答案】B

【解析】

【详解】A. 由图可知 a 电极上 Cl^- 转化为 $Cl\cdot$ 、 H_2O 转化为 $HO\cdot$, 均发生失电子的氧化反应, 所以 a 为阳极, b 为阴极。电极电势阳极高于阴极, 即电极电势: a 电极 > b 电极, A 错误;

B. $HO\cdot$ 氧化 NH_4^+ 生成 N_2 , 根据得失电子守恒、原子守恒和电荷守恒, 离子方程式为

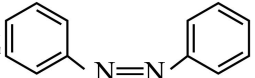
$6HO\cdot + 2NH_4^+ = N_2 + 2H^+ + 6H_2O$, B 正确;

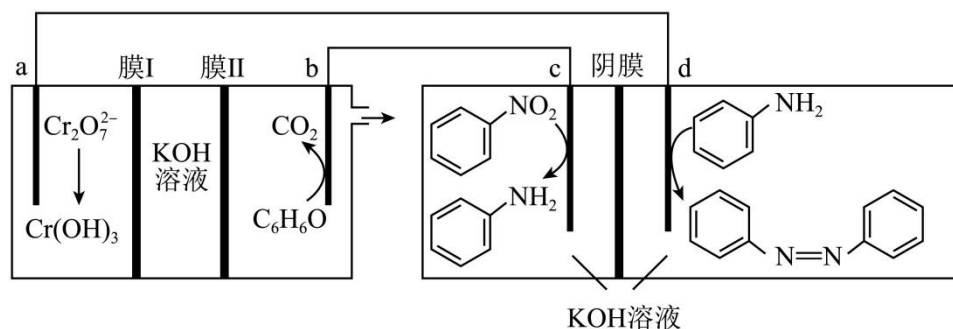
C. 1 个 $Cl\cdot$ 或 1 个 $HO\cdot$ 参与反应均转移 1 个电子, 自由基结合生成的分子可以是 Cl_2 、 H_2O_2 、 $HClO$, 这些分子氧化 NH_4^+ 时仍转化为 Cl^- 或 H_2O , 故不影响放电时转移的电子总数, 因此相同数目的自由基形成的分子不同, 标准状况下产生 N_2 的体积相同, C 错误;

D. 左室中 Cl^- 与 $Cl\cdot$ 循环转化, H_2O 与 $HO\cdot$ 循环转化, 则无论 NH_4^+ 是与 $Cl\cdot$ 还是 $HO\cdot$ 反应, 左室中的总反应方程式均为 $2NH_4^+ - 6e^- = N_2 \uparrow + 8H^+$, 则无论参加反应的 Cl^- 数目与 H_2O 数目的大小关系如何, 电路中每转移 6 mol 电子, 左室中会生成 8 mol H^+ , 同时有 6 mol H^+ 通过质子交换膜进入右室, 则左室溶液 pH 下降, D 错误;

故答案选 B。

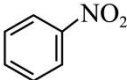
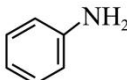
8. (2025 烟台德州二模, 13) (不定项) 我国科学家设计了一套电化学装置, 能够同时实现苯酚的无害化处理和

电催化合成 ，其工作原理如图。下列说法错误的是



A. 膜 I 为阳离子交换膜

B. 电子由 d 经外电路移动到 a

C. c 极的电极反应为  + 4e⁻ + 2H₂O = 4OH⁻ + 

D.

b 极区每消耗 1mol 苯酚, 可合成 7mol 

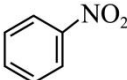
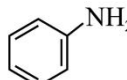
【答案】C

【解析】

【分析】左侧 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 具有氧化性, 苯酚具有还原性, 有自发的氧化还原反应, 所以左侧装置是原电池, 右侧装置是电解池, a 极发生反应电极上发生反应: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{e}^- + 7\text{H}_2\text{O} = 2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 8\text{OH}^-$, 得电子, 发生还原反应, 所以 a 为正极, b 极苯酚被氧化为 CO_2 , 发生氧化反应, b 是负极, c 是阴极, d 是阳极。

【详解】A. a 极发生反应电极上发生反应: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{e}^- + 7\text{H}_2\text{O} = 2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 8\text{OH}^-$, 得电子, 发生还原反应, a 为正极, 为维持溶液电中性, 阳离子要透过膜 I 向阴极区移动, 所以膜 I 为阳离子交换膜, A 正确;

B. a 是正极, b 是负极; d 是阳极, c 是阴极; 电子在外电路中从阳极流向正极, 即由阳极 d 经外电路移动到正极 a, B 正确;

C. c 极的电极反应为  + 6e⁻ + 4H₂O = 6OH⁻ + , C 错误;

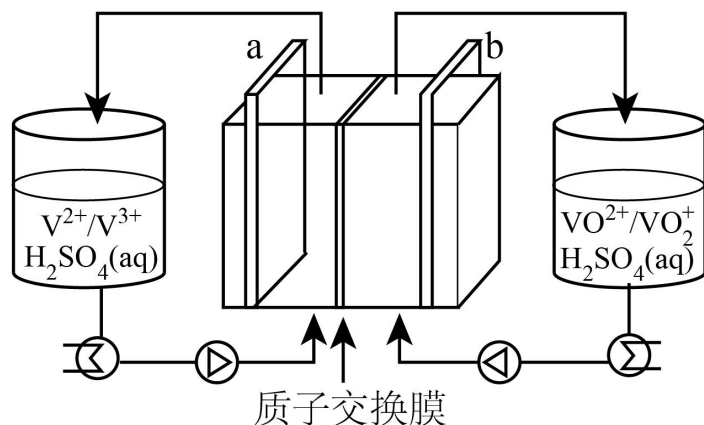
D. b 极区每消耗 1mol 苯酚, 根据化学方程式 $\text{C}_6\text{H}_5\text{O} - 28\text{e}^- + 28\text{OH}^- = 6\text{CO}_2 + 17\text{H}_2\text{O}$ 转移 28mol 电子, d 极的电

极反应为 $2 \text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2 - 4\text{e}^- + 4\text{OH}^- = 4\text{H}_2\text{O} + \text{C}_6\text{H}_4\text{N}=\text{N}\text{C}_6\text{H}_4$, 转移 28mol 电子时, 可合成

7mol ，D 正确；

故选 C。

9. (2025 济宁二模, 13) (不定项) 金属 Bi 对全钒液流电池负极有催化作用, 放电时负极反应分两步进行, 其中一步为 $xV^{2+} + xH^+ + Bi = BiH_x + xV^{3+}$, 电池工作原理如图所示, 下列有关说法正确的是



A. 放电时另一步负极电极反应式: $BiH_x - xe^- = xH^+ + Bi$

B. 充电时 a 极的电极电势大于 b 极

C. 放电过程中转移 $1\text{mol} e^-$, 正极区 H^+ 减少 1mol

D. 充电时, b 极区 H_2O 的物质的量增大

【答案】AC

【解析】

【分析】金属 Bi 对全钒液流电池负极有催化作用, 负极反应第一步反应 $xV^{2+} + xH^+ + Bi = BiH_x + xV^{3+}$, 消耗 Bi, 生成 BiH_x , 第二步反应, 消耗 BiH_x 失电子, 生成 Bi, 故第二步反应 $BiH_x - xe^- = xH^+ + Bi$, 负极电极反应式为 $V^{2+} - e^- = V^{3+}$, 故 a 极为负极, b 极为正极, 发生反应 $VO_2^+ + 2H^+ + e^- = VO^{2+} + H_2O$ 。充电时 a 极为阴极, 发生还原反应 $V^{3+} + e^- = V^{2+}$; b 极为阳极, 发生氧化反应 $VO^{2+} + H_2O - e^- = VO_2^+ + 2H^+$ 。

【详解】A. 金属 Bi 对全钒液流电池负极有催化作用, 负极反应第一步反应 $xV^{2+} + xH^+ + Bi = BiH_x + xV^{3+}$, 消耗 Bi, 生成 BiH_x , 第二步反应, 消耗 BiH_x 失电子, 生成 Bi, 故第二步反应 $BiH_x - xe^- = xH^+ + Bi$, A 正确;

B. 放电时 a 极为负极, b 极为正极; 充电时 a 极为阴极, b 极为阳极; 电势: 阳极 > 阴极, 即 b 极的电极电势大于 a 极, B 错误;

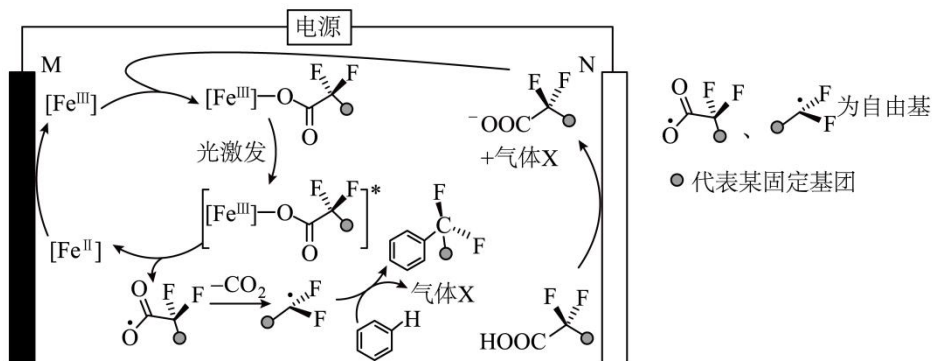
C. 放电过程中外电路转移 $1\text{mol} e^-$, 有 $1\text{mol} H^+$ 从负极区经质子交换膜进入正极区, 同时正极发生反应

$VO_2^+ + 2H^+ + e^- = VO^{2+} + H_2O$, 消耗 $2\text{mol} H^+$, 正极区 H^+ 共减少 $2\text{mol} - 1\text{mol} = 1\text{mol}$, C 正确;

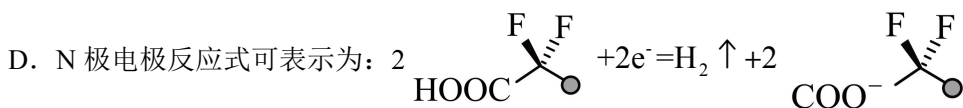
D. 充电时, b 极阳极, 发生氧化反应 $\text{VO}^{2+} + \text{H}_2\text{O} - \text{e}^- = \text{VO}_2^+ + 2\text{H}^+$, 消耗水, 阳极区 H_2O 的物质的量减少, D 错误;

故答案为：AC。

10. (2025 青岛二模, 13) (不定项) 以下装置可实现氟烷基化反应, 原理如图。下列说法错误的是



- A. M 连接电源的正极
- B. 体系中 $[\text{Fe}^{\text{II}}]$ 和 $[\text{Fe}^{\text{III}}]$ 的相互转化起催化作用
- C. 理论上, 电路中通过 1mol e^- 产生 2mol 气体 X



【答案】 C

【解析】

【分析】由图可知，该装置为电解池，在 M 电极上 $[\text{Fe}^{\text{II}}]$ 失去电子转化为 $[\text{Fe}^{\text{III}}]$ ，为阳极，发生氧化反应，N 级



据此分析解答。

【详解】A. 由分析可知，M 电极为阳极，连接电源的正极，A 正确；

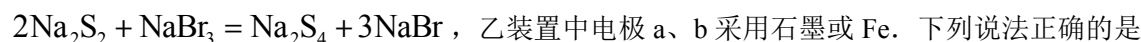
B. 读图可知, 体系中 $[\text{Fe}^{\text{II}}]$ 和 $[\text{Fe}^{\text{III}}]$ 的生成量和消耗量相等, 故 $[\text{Fe}^{\text{II}}]$ 和 $[\text{Fe}^{\text{III}}]$ 的相互转化起催化作用, B 正确;

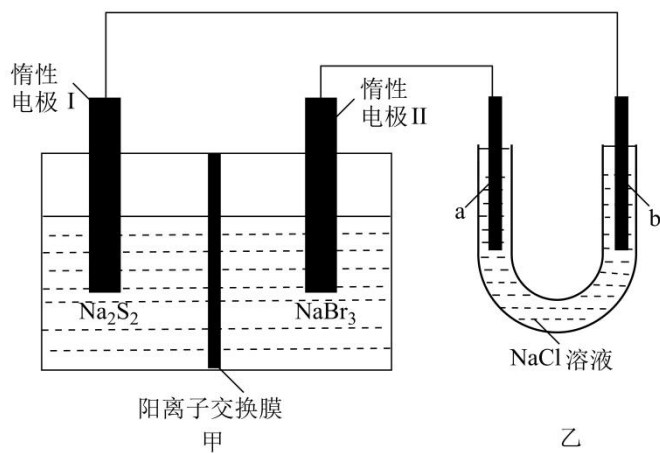
C. 由分析可知, 理论上, 电路中通过 2mole^- 产生 1mol 气体 X, C 错误;



故选 C。

11. (2025 聊城二模, 14) (不定项) 利用下图装置制备 $\text{Fe}(\text{OH})_2$, 甲装置的工作原理为





- A. 电极 a 为石墨，电极 b 为铁
- B. 电极 I 的电极反应式为 $2S_2^{2-} - 2e^- = S_4^{2-}$
- C. NaCl 溶液可用 $CuCl_2$ 溶液代替
- D. 每生成 9.0g $Fe(OH)_2$ ，理论上有 0.2mol Na^+ 透过阳离子交换膜

【答案】BD

【解析】

【分析】如要使用图中装置制取 $Fe(OH)_2$ ，结合题目信息可知甲装置为原电池，工作原理为

$2Na_2S_2 + NaBr_3 = Na_2S_4 + 3NaBr$ ， Na_2S_2 转变为 Na_2S_4 时 S 元素化合价升高，失去电子，在负极反应，说明惰性电极 I 为负极，电极反应式为： $2S_2^{2-} - 2e^- = S_4^{2-}$ ；惰性电极 II 为正极，电极反应式为： $Br_3^- + 2e^- = 3Br^-$ ；则与惰性电极 I 连接的 b 电极为阴极，应使用石墨电极，电极反应式为： $2H_2O + 2e^- = 2OH^- + H_2 \uparrow$ ；而 a 电极为阳极，因要制备 $Fe(OH)_2$ ，则 a 电极需要使用 Fe 电极，电极反应式为： $Fe - 2e^- = Fe^{2+}$ ，最后阳极生成的 Fe^{2+} 与阴极产生的 OH^- 接触生成 $Fe(OH)_2$ ，据此分析解答。

【详解】A. 根据分析，电极 a 为铁，电极 b 为石墨，A 错误；

B. 电极 I 为负极，发生 Na_2S_2 转变为 Na_2S_4 的反应，S 元素化合价升高，失去电子，电极反应式为： $2S_2^{2-} - 2e^- = S_4^{2-}$ ，B 正确；

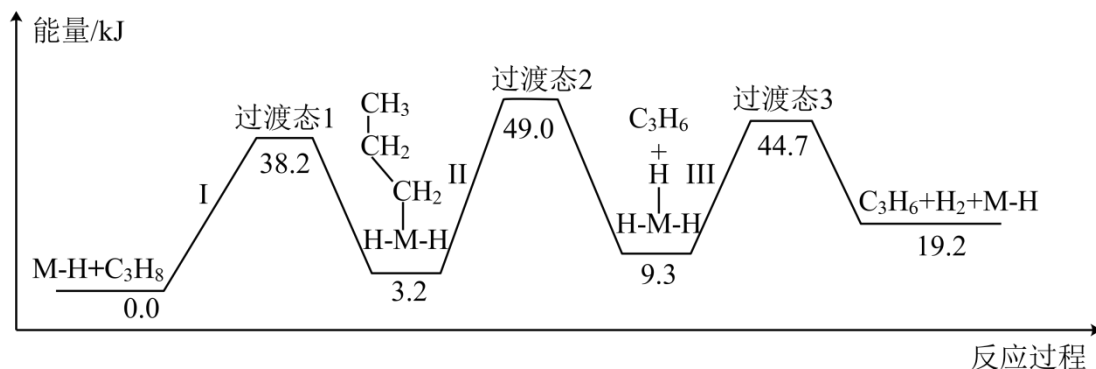
C. 若用 $CuCl_2$ 溶液代替 NaCl 溶液，则 Cu^{2+} 在阴极得电子生成 Cu，无法生成 OH^- ，最后就无法生成 $Fe(OH)_2$ ，C 错误；

D. 生成 9.0g $Fe(OH)_2$ ，物质的量为 0.1mol，根据 $Fe - 2e^- = Fe^{2+}$ 、 $Fe^{2+} + 2OH^- = Fe(OH)_2 \downarrow$ 可知，每当生成 0.1mol $Fe(OH)_2$ 时电路中转移 0.2mol 电子，甲装置中阳离子向正极（惰性电极 II）移动，根据电荷守恒，则有 0.2mol Na^+ 透过阳离子交换膜，D 正确；

故答案为：BD。

二、反应热、化学反应机理

1. (2025 泰安二模, 8) 利用丙烷制备丙烯的机理如图所示, 下列说法正确的是



- A. M-H 改变了丙烷制备丙烯的反应历程
 B. 升高温度不利于提高丙烷转化率
 C. 反应过程中碳的成键总数不变
 D. 反应决速步涉及的变化过程为 $M-H + C_3H_8 \rightarrow CH_3CH_2CH_2MH_2$

【答案】A

【解析】

【详解】A. 由图可知 M-H 参与反应, 且反应前后本身没有变化, 是该反应的催化剂, 催化剂改变了丙烷制备丙烯的反应历程, A 正确;

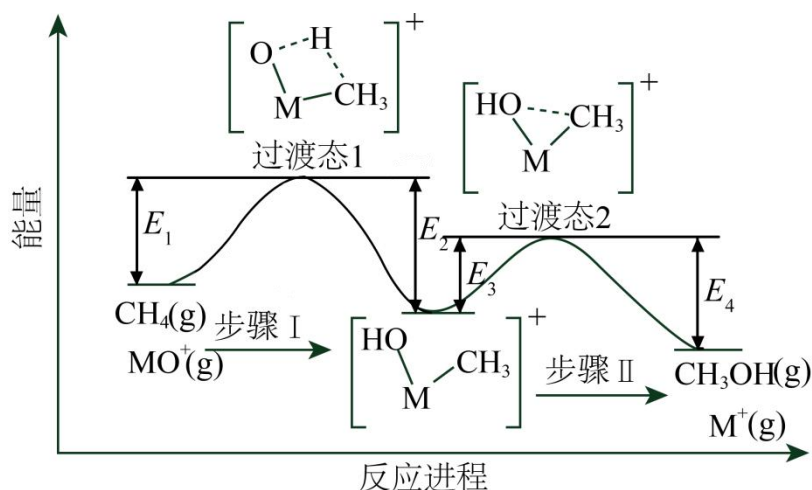
B. 根据图示, 由丙烷制备丙烯的反应为吸热反应, 升高温度平衡正向移动, 有利于提高丙烷转化率, B 错误;

C. 丙烷中单键为 10 个, 丙烯中单键为 7 个, 双键 1 个, 由丙烷制备丙烯过程中碳的成键总数减少, C 错误;

D. 活化能大, 反应速率慢的是决速步骤, 反应决速步涉及的变化过程为 $CH_3CH_2CH_2MH_2 \rightarrow C_3H_6 + MH_3$, D 错误;

答案选 A。

2. (2025 烟台德州二模, 9) 某过渡金属氧化物离子(以 MO^+ 表示)在烃类的选择性氧化等方面应用广泛。 MO^+ 与 CH_4 反应的过程如下图所示。



下列说法正确的是

- A. 反应过程中有极性键和氢键的断裂和生成
- B. $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 相对于 $\text{CH}_4(\text{g})$ 能量更低, 更稳定
- C. $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{MO}^+(\text{s}) = \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{M}^+(\text{s}) \quad \Delta H = -(E_1 - E_2 + E_3 - E_4)$
- D. 若 MO^+ 与 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{D}$ 反应, 生成的含氧乙醇有 3 种

【答案】D

【解析】

【详解】A. 同种元素原子间形成的共价键为非极性键, 不同种元素原子间形成的共价键为极性键。根据转化关系可知反应过程中涉及了极性键的断裂和形成, 而没有氢键的断裂与形成, A 错误;

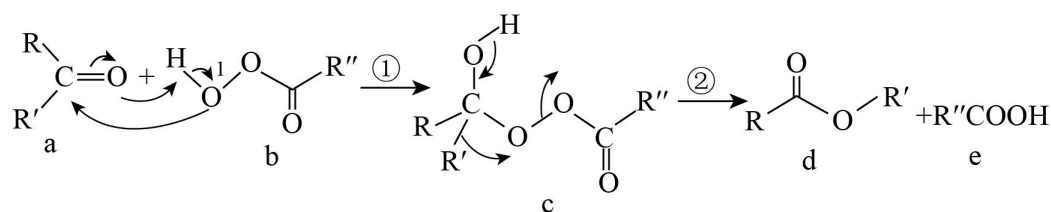
B. $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{M}^+(\text{g})$ 相对于 $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{MO}^+(\text{g})$ 能量更低, 无法比较 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 和 $\text{CH}_4(\text{g})$ 的稳定性, B 错误;

C. 一个反应的 $\Delta H = \text{正反应的活化能} - \text{逆反应的活化能}$; 根据反应历程, 则反应 $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{MO}^+(\text{g}) = \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{M}^+(\text{g})$ 的焓变 $\Delta H = E_1 - E_2 + E_3 - E_4$, C 错误;

D. 根据反应原理, 若 MO^+ 与 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{D}$ 反应, 生成的含氧乙醇, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OD}$ 、 CH_3CHDOH 、 $\text{CH}_2\text{DCH}_2\text{OH}$ 有 3 种, D 正确;

故选 D。

3. (2025 济宁二模, 9) 拜尔-维立格反应机理如下图所示:



其中 R、R'、R'' 为烃基, 下列说法正确的是

- A. ①是加成反应, ②是消去反应
- B. 若生成 1mol d, 转移 1mol e⁻
- C. R、R' 的结构不同, 产物 d 也可能为 R'COOR
- D. 若反应物中仅 1 号氧原子为 ¹⁸O, 有产物 R''CO¹⁸OH 生成

【答案】C

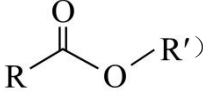
【解析】

【分析】分析拜尔-维立格反应机理图可得, 反应①中 a 断裂碳氧双键中的 π 键, b 断裂羟基中的氧氢键, a 中的 O 原子连接 H 原子, C 原子连接 b 断裂后的其余结构生成 c, 反应①为加成反应; 反应②c 生成 d 和 e 的过程中, c 断裂了羟基中的 O-H 键, 同时断裂了 R'-C 键、O-O 键, 发生重排反应生成了 d 和 e。

【详解】A. 根据分析，c 发生重排反应生成了 d 和 e，故反应②不属于消去反应，A 错误；

B. c 生成了 d 的过程中，过氧键发生断裂，过氧键中氧元素的化合价由-1 价转变为-2 价，若生成 1mol d，转移 2mol e⁻，B 错误；

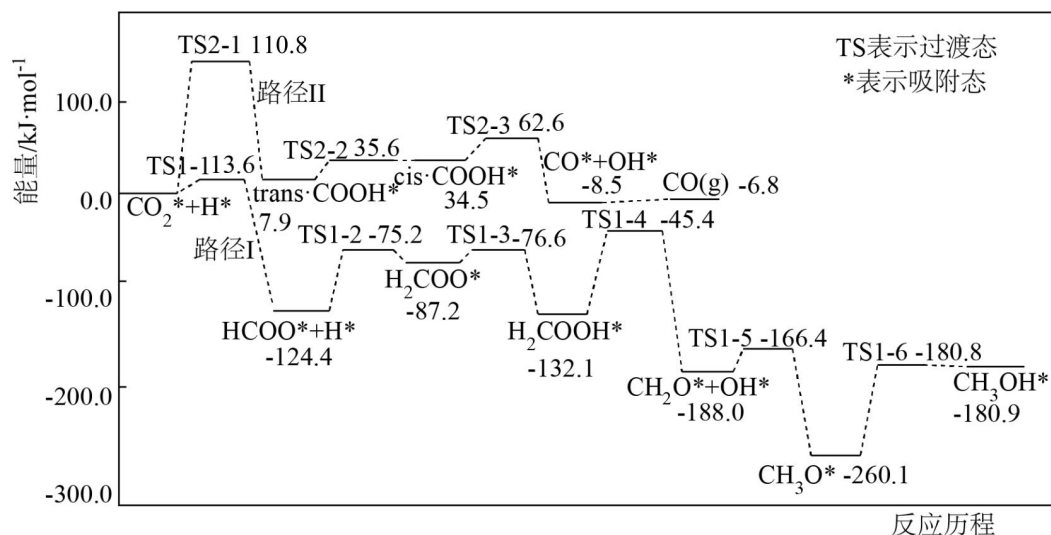
C. 根据分析，若 R、R' 的结构不同，反应②c 生成 d 和 e 的过程中，c 断裂了 O-H 键、O-O 键的同时，也可以断裂了 R-C 键，按照拜尔-维立格反应机理，生成 R'COOR 和 e，C 正确；

D. 按照拜尔-维立格反应机理，若反应物中仅 1 号氧原子为 ¹⁸O，反应后的 ¹⁸O 应存在于 d () 中，

连接 R' 的氧原子为 ¹⁸O，不会有产物 R'CO¹⁸OH 生成，D 错误；

故选 C。

4. (2025 青岛二模，10) 金属氧化物可催化 CO₂ 加氢制备 CO 或甲醇，部分反应历程如图。下列说法正确的是



A. “路径 I” 中碳原子的杂化方式未发生变化

B. “路径 I” 反应 $\text{H}_2\text{COOH}^* \rightarrow \text{CH}_2\text{O}^* + \text{OH}^*$ 的 $E_a = 86.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

C. CO₂ 和 H₂ 生成 CO 和 CH₃OH 的反应均为放热反应

D. 催化剂可同时改变反应历程与焓变

【答案】B

【解析】

【详解】A. “路径 I” 中 CO₂ 的碳原子的杂化方式为 sp，CH₃OH 的碳原子的杂化方式为 sp³，A 错误；

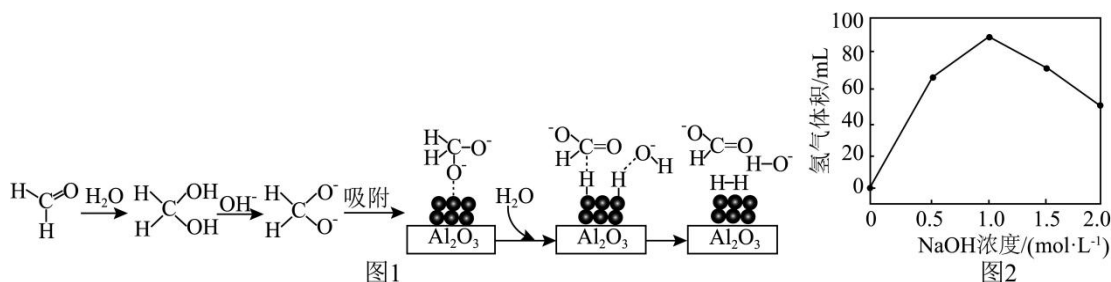
B. 读图可知，“路径 I” 反应 $\text{H}_2\text{COOH}^* \rightarrow \text{CH}_2\text{O}^* + \text{OH}^*$ 的 $E_a = -45.4 - (-132.1) = 86.7 \text{ kJ/mol}$ ，B 正确；

C. 根据图示，图中初始为 CO₂* 和 OH*，只有部分反应历程，并没有给出 CO₂ 和 H₂ 的相对能量，无法判断反应是放热反应还是吸热反应，C 错误；

D. 催化剂只改变反应历程，不改变反应始态和终态，即不改变反应的焓变，D 错误；

故选 B。

5. (2025 日照二模, 12) (不定项) 在 45°C 、碱性条件下, Ag 作催化剂可将甲醛转化为 H_2 , 反应的机理如图 1 所示, 纳米 Ag 颗粒负载在 Al_2O_3 表面可防止纳米 Ag 团聚; 其他条件不变, 反应相同时间, NaOH 浓度对产生氢气体积的影响如图 2 所示。



下列说法错误的是

A. 若用 DCDO 代替 HCHO , 则得到的产物为 HCOO^-

B. 过程中的总反应为 $\text{HCHO} + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCOO}^- + \text{H}_2 \uparrow$

C. $c(\text{NaOH}) < 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 随 NaOH 浓度增大产生 H_2 的体积增大的原因是催化剂表面吸附更多的 HCOO^- , 甲醛转化 H_2 反应速率加快

D. $c(\text{NaOH}) > 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 随 NaOH 浓度增大产生 H_2 的体积较小的原因可能是催化剂的催化效率降低

【答案】A

【解析】

【详解】A. 根据反应机理图, 得到的 HCOO^- 中的氢来源于 HCHO , 则用 DCDO 代替 HCHO 后, 得到的产物应该为 DCOO^- , A 错误;

B. 根据反应机理图, 整个转化过程是在催化剂作用下, 甲醛和 OH^- 作用最终得到 HCOO^- 和 H_2 , 故总反应为:

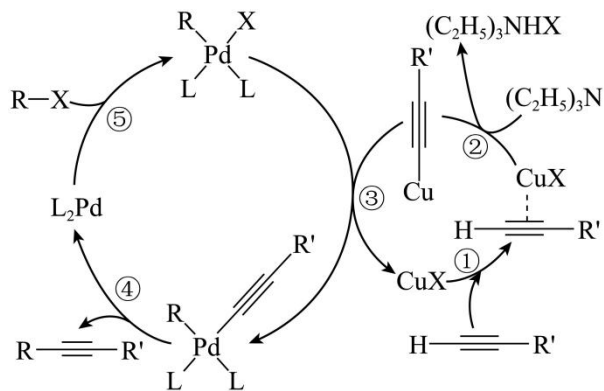
$\text{HCHO} + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCOO}^- + \text{H}_2 \uparrow$, B 正确;

C. 当 $c(\text{NaOH}) < 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 催化剂表面空隙较多, 能吸附更多的 HCOO^- , 使甲醛转化为 H_2 反应速率加快, 随 NaOH 浓度增大产生 H_2 的体积增大, C 正确;

D. 当 $c(\text{NaOH}) > 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 过高浓度的 NaOH 会与催化剂的载体 Al_2O_3 反应使纳米 Ag 颗粒发生团聚, 催化活性下降, 导致随 NaOH 浓度的增大产生氢气的速率减缓, D 正确;

故答案为: A。

6. (2025 临沂二模, 12) (不定项) 某偶联反应的机理如下图所示(X 代表卤素原子)。下列说法正确的是



- A. 反应过程中 Pd 元素化合价未发生变化
- B. 该偶联反应的催化剂为 L_2Pd 和 CuX
- C. 反应过程涉及非极性键的断裂和形成
- D. CH_3Br 与 $HC \equiv CH$ 发生该偶联反应可得到 $CH_3C \equiv CCH_3$

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 由图可知，反应过程中配体个数发生了变化，则 Pd 元素化合价发生了变化，故 A 错误；

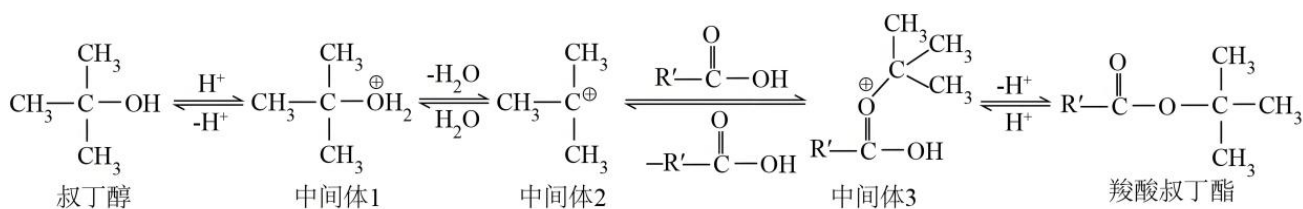
B. 由图可知， L_2Pd 和 CuX 参与了反应过程，且在反应后其化学组成和结构未变，则两者是催化剂，故 B 正确；

C. 分析反应过程，涉及 $R-X$ 键(极性键)断裂等，形成 $R-C \equiv C-R'$ 中的 $C-C$ 键等。反应中没有非极性键的断裂，有非极性键($C-C$)的形成，故 C 错误；

D. 根据偶联反应机理 $' \diamond \equiv C-H \rightarrow R-C \equiv ' \diamond$ ，则 CH_3Br 与 $HC \equiv CH$ 发生该偶联反应可得到 $CH_3C \equiv CCH_3$ ，故 D 正确；

故选 BD。

7. (2025 菏泽二模，12) (不定项) 叔丁醇与羧酸发生酯化反应的机理如下，下列说法错误的是



- A. 中间体 2 容易与水作用，会导致该酯化反应的产率较低
- B. 中间体 3 中氢氧键极性比乙酸中氢氧键极性强，更易电离出 H^+
- C. 增大 $c(H^+)$ ，会提高羧酸叔丁酯的平衡产率
- D. 若用 $CH_3CO^{18}OH$ 与叔丁醇发生酯化反应，则 ^{18}O 会出现在水分子中

【答案】CD

【解析】

【详解】A. 中间体 2 中 $C^{\oplus}$ 带正电荷，容易与带负电的 OH^- 结合，即容易与水作用，使反应逆向进行，导致该酯化反应的产率较低，A 正确；

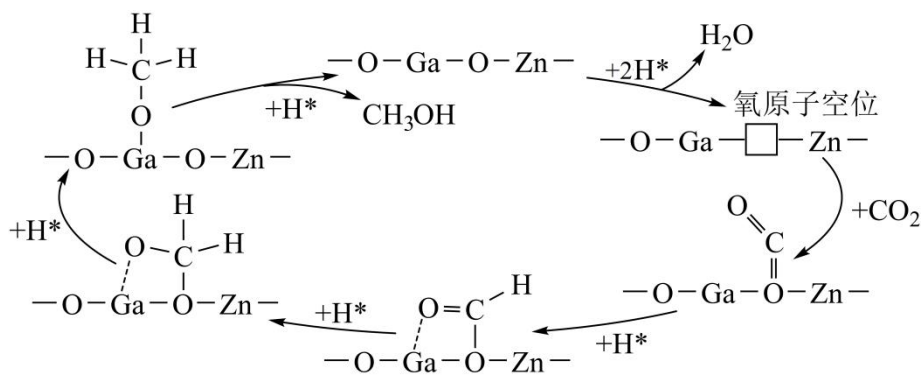
B. 中间体 3 中，与羟基相连的碳原子连接多个烷基，烷基是推电子基团，使羟基中氧原子上电子云密度增大，氢氧键极性增强，更易电离出 H^+ ，比乙酸中氢氧键极性强，B 正确；

C. 该酯化反应中 H^+ 是催化剂，增大 $c(H^+)$ ，反应速率加快，但不影响平衡移动，不会提高羧酸叔丁酯的平衡产率，C 错误；

D. 根据反应机理，叔丁醇转化为中间体 $(CH_3)_3C^{\oplus}$ ， $(CH_3)_3C^{\oplus}$ 再与羧酸反应生成酯，所以若用 $CH_3CO^{18}OH$ 与叔丁醇发生酯化反应， ^{18}O 不会出现在水分子中，D 错误；

故选 CD。

8. (2025 聊城二模, 13) (不定项) 利用 CO_2 加氢制 CH_3OH 的反应机理如图所示。 H_2 首先在 $ZnGaO_3$ 催化剂表面解离成 2 个 H^* ，随后参与到 CO_2 的还原过程。下列说法错误的是



已知：□表示氧原子空位，*表示吸附在催化剂上的微粒， N_A 表示阿伏加德罗常数。

- A. 反应过程存在 C-H、O-H 的断裂和形成
- B. 催化剂氧空位用于捕获 CO_2 ，氧空位越多反应速率越快
- C. 若反应温度过高使甲醇炭化，生成的碳颗粒易使催化剂反应活性下降
- D. 理论上，每生成 1mol CH_3OH ，该历程中消耗的 H^* 的数目为 $6N_A$

【答案】A

【解析】

【详解】A. 反应过程存在 O-H 生成，但无 O-H 键的断裂，故 A 错误；

B. H_2 首先在 $ZnGaO_3$ 催化剂表面解离成 2 个 H^* ，2 个 H^* 与催化剂反应形成氧空位，催化剂氧空位再与 CO_2 结合，所以催化剂氧空位用于捕获 CO_2 ，氧空位越多反应速率越快，故 B 正确；

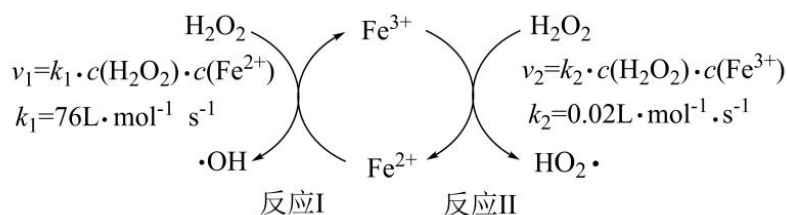
C. 反应温度过高使甲醇炭化，碳覆盖在催化剂的表面，使催化剂反应活性下降，故 C 正确；

D. H_2 首先在面解离成 2 个 H^* ，随后参与到 CO_2 的还原过程，根据图中信息可知， $CH_3OH \sim 6H^*$ ，所以理论上，每生成 1mol CH_3OH ，该历程中消耗的 H^* 的数目为 $6N_A$ ，故 D 正确；

故答案选 A。

三、化学反应的方向、限度与速率

1. (2025 滨州二模, 8) 均相芬顿反应是高级氧化技术的经典工艺, 通过产生自由基引发系列链反应实现物质的深度氧化。H₂O₂ 在酸性条件下产生自由基的过程如图。下列说法正确的是



- A. 反应 I 中, 氧元素的化合价没有发生变化
- B. 相同条件下, 反应 I 比反应 II 的活化能低
- C. 产生自由基的过程中, 整个体系的 pH 不变
- D. 其它条件不变时, 改变 $c(\text{H}_2\text{O}_2)$ 对反应 II 的速率影响程度大于 I

【答案】B

【解析】

【详解】A. 由过程图可知反应 I 为 $\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$, 故反应 I 中氧元素的化合价发生了变化,

A 错误;

B. 由题干信息可知, $k_1 > k_2$, 说明相同条件下, 反应 I 比 II 的反应速率更快, 活化能越低反应速率越快, 即反应 I 比 II 的活化能低, B 正确;

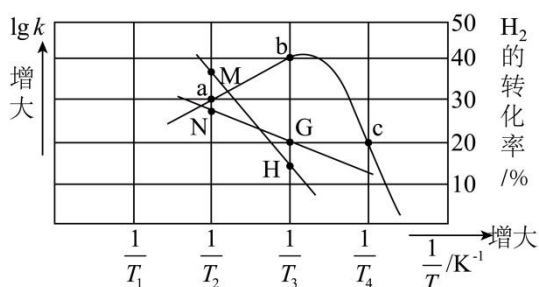
C. 反应 I 为 $\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$, 基元反应 II 的化学方程式为 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{3+} = \text{HO}_2\cdot + \text{Fe}^{2+} + \text{H}^+$, 而反应 I 比 II 的反应速率更快, 总反应不是简单的反应 I 加上反应 II, 则芬顿反应进行的过程中, 整个体系的 pH 会发生变化, C 错误;

D. 反应 I 的速率 $v_1 = k_1 \cdot c(\text{H}_2\text{O}_2) \cdot c(\text{Fe}^{2+})$, 反应 II 的速率 $v_2 = k_2 \cdot c(\text{H}_2\text{O}_2) \cdot c(\text{Fe}^{3+})$, 其中 k_1 远大于 k_2 , 故改变 $c(\text{H}_2\text{O}_2)$ 对反应 I 的速率影响程度更大, D 错误;

故答案选 B。

2. (2025 聊城二模, 10) 在体积相等的多个恒温恒容密闭容器中, 分别充入 1mol CO₂ 和 1mol H₂, 发生反应

$\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。在不同温度下反应相同时间, 测得 $\lg k_{\text{正}}$ 、 $\lg k_{\text{逆}}$ 、H₂ 转化率与温度关系如图所示。



已知: $v_{\text{正}} = k_{\text{正}} c(\text{CO}_2) c^4(\text{H}_2)$ $v_{\text{逆}} = k_{\text{逆}} c(\text{CH}_4) c^2(\text{H}_2\text{O})$, $k_{\text{正}}$ 、 $k_{\text{逆}}$ 为速率常数。下列说法正确的是

A. 该反应的 $\Delta H > 0$

B. 代表 $\lg k_{\text{正}}$ 曲线的是 MH

C. 当 $2v_{\text{正}}(\text{H}_2) = v_{\text{逆}}(\text{H}_2\text{O})$ 时反应达到平衡状态

D. a、b、c 三点中达到平衡状态的是 a、b

【答案】D

【解析】

【分析】图中信息可知，温度越高， $\frac{1}{T}$ 则越小，曲线 MH 和曲线 NG 是 $\lg k$ 与温度关系，曲线 abc 是 H_2 转化率与温度关系，从右往左看，温度升高，曲线 abc 中从最高点到 a 点，氢气转化率降低，说明升高温度，平衡逆向移动，逆反应方向是吸热反应，正反应方向是放热反应。则升高温度时，逆反应速率增大程度大于正反应速率增大程度，即 $\lg k_{\text{逆}}$ 大于 $\lg k_{\text{正}}$ ，则 $\lg k_{\text{正}}$ 代表曲线的是 NG， $\lg k_{\text{逆}}$ 代表曲线的是 MH。

【详解】A. 根据分析，逆反应方向是吸热反应，正反应方向是放热反应，A 错误；

B. $\lg k_{\text{正}}$ 代表曲线的是 NG， $\lg k_{\text{逆}}$ 代表曲线的是 MH，B 错误；

C. 达到化学平衡时，各物质的反应速率之比等于化学计量数之比，所以 $\frac{v_{\text{正}}(\text{H}_2)}{v_{\text{逆}}(\text{H}_2\text{O})} = \frac{2}{1}$ ，即 $v_{\text{正}}(\text{H}_2) = 2v_{\text{逆}}(\text{H}_2\text{O})$ ，

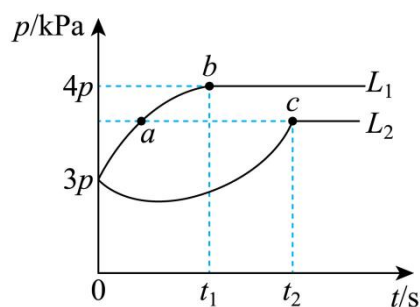
C 错误；

D. 观察图像可知，随着温度 T 增大， $\frac{1}{T}$ 则越小，氢气转化率先增大后减小，由于反应是放热反应，说明转化率达到最大时，反应才达到平衡，所以 a、b 达到化学平衡，c 还没达到化学平衡，D 正确；

故答案选 D。

3. (2025 临沂二模，10) 向体积均为 1L 的两恒容容器中分别充入 1molCH_4 和 $2\text{molH}_2\text{S}$ 发生反应：

$\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CS}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g})$ ，其中一个为绝热过程，另一个为恒温过程，两反应体系的压强随时间的变化曲线如图所示。下列说法错误的是



A. L_1 为恒容恒温过程

B. 气体的总物质的量： $n_a = n_c$

C. 逆反应速率： $v(b) > v(c)$

D. c 点平衡常数： $K < 16$

【答案】B

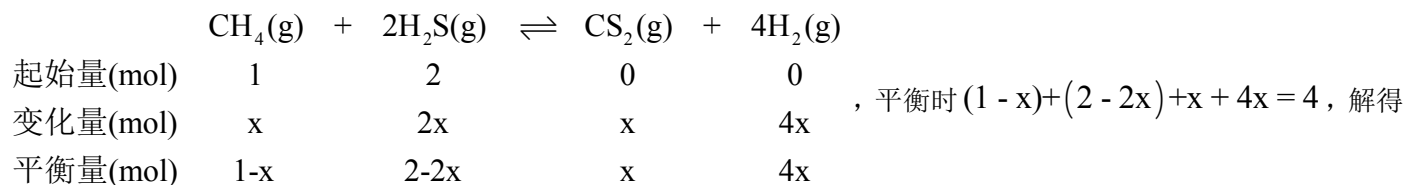
【解析】

【详解】A. 该反应正向气体分子数增多，是吸热反应，绝热过程中体系温度降低，反应正向进行程度小，压强小，恒温过程压强变化符合正常反应进程， L_1 压强大，所以 L_1 为恒容恒温过程， L_2 为恒容绝热过程，A 正确；

B. a 点和 c 点压强相等，温度 $T_a > T_c$ (L_2 绝热温度降低)，根据 $pV = nRT$ (V 相同)， T 越大， n 越小，所以气体总物质的量 $n_a < n_c$ ，B 错误；

C. b 点温度高于 c 点 (L_1 恒温， L_2 绝热降温)，温度越高反应速率越快，所以逆反应速率 $v(b) > v(c)$ ，C 正确；

D. 假设是恒温恒容，b 点平衡时压强为起始的 $\frac{4}{3}$ 倍，根据阿伏伽德罗定律 $\frac{p_1}{n_1} = \frac{p_2}{n_2}$ ，可得平衡时气体总物质的量为 $(1+2) \times \frac{4}{3} \text{ mol} = 4 \text{ mol}$ ，通过三段式计算



$$x = 0.5, \text{ 平衡常数 } K = \frac{c(\text{CS}_2) \times c^4(\text{H}_2)}{c(\text{CH}_4) \times c^2(\text{H}_2\text{S})} = \frac{0.5 \times 2^4}{0.5 \times 1^2} = 16, \text{ c 点温度低, 反应正向进行程度小, 所以平衡常数 } K < 16,$$

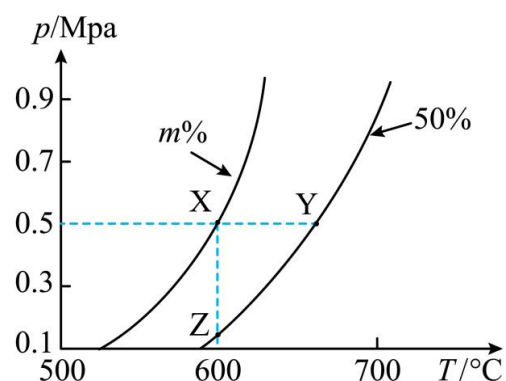
D 正确；

故答案选 B。

4. (2025 烟台德州二模, 14) (不定项) 由 C_2H_6 直接脱氢制 C_2H_4 的反应为 $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 。

在密闭容器中发生该反应，测得 C_2H_6 的平衡转化率与温度和压强的关系如图所示。已知该反应的速率方程为

$v = kp(\text{C}_2\text{H}_6)$ 。下列说法错误的是



A. $m > 50$

B. X、Y、Z 三点的平衡常数: $K_X = K_Z < K_Y$

C. X、Y 两点的反应速率的比值: $\frac{v_X}{v_Y} > \frac{k_X}{k_Y}$

D. 恒容条件下，降温可使平衡由 Y 点变化至 Z 点

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 该反应是气体体积增大的反应，增大压强，平衡逆向移动， C_2H_6 的平衡转化率减小，则 $m < 50$ ，A 错误；

B. 由图可知，升高温度， C_2H_6 的平衡转化率增大，说明平衡正向移动，该反应是吸热反应，平衡常数只受温度影响，温度越高，平衡常数越大，则 X、Y、Z 三点的平衡常数： $K_X = K_Z < K_Y$ ，B 正确；

C. 已知该反应的速率方程为 $v = kp(C_2H_6)$ ，X、Y 两点的总压是相等的，若 C_2H_6 的分压 $p(C_2H_6)$ 也相等，则

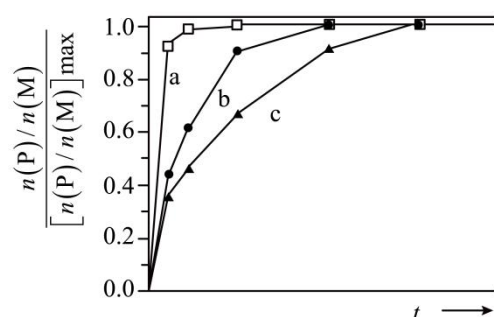
$\frac{v_X}{v_Y} = \frac{k_X}{k_Y}$ ，由 A 可知，X 点 C_2H_6 的平衡转化率小于 Y 点，则 X 的 $p(C_2H_6)$ 比 Y 点大，则 $\frac{v_X}{v_Y} > \frac{k_X}{k_Y}$ ，C 正确；

D. 图示为恒压条件下，温度与 C_2H_6 的平衡转化率的关系，恒容条件下降温，该平衡逆向移动， C_2H_6 的平衡转化率减小，当容器内压强减小，不能使平衡由 Y 点变化至 Z 点，D 错误；

故选 AD。

5. (2025 青岛二模，14) (不定项) 在 550K~650K，反应 $2M(g) + N(g) \rightleftharpoons 2P(g) + 2Q(g)$ $\Delta H < 0$ 温度升高反应速率显著加快。在(573K, 150kPa)、(573K, 300kPa)、(553K, 150kPa)三种初始状态下，向相同恒容密闭容器中分别按 $n(M):n(N) = 2:1$ 投料，保持温度不变， $\frac{n(P)/n(M)}{[n(P)/n(M)]_{\max}}$ 随时间变化如图。曲线 a 的 M 平衡转化率

$\alpha_{\text{平}}(M) = 25\%$ ，曲线 b 对应初始状态为(573K, 300kPa)。下列说法正确的是



A. 曲线 c 对应初始状态为(573K, 150kPa)

B. 在 573K 下，该反应的平衡常数 $K_p = 0.185\text{kPa}$

C. $[n(P)/n(M)]_{\max}$ 最大的是曲线 a

D. 对应曲线 a 初始状态下，保持恒温恒压，则 $\alpha_{\text{平}}(M) > 25\%$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 曲线 b 对应初始状态为(573K, 300kPa)，(553K, 150kPa)和(573K, 150kPa)相比，(573K, 150kPa)温度更高，(573K, 150kPa)时先达到平衡，图像显示，曲线 a 先平衡，则曲线 c 对应初始状态为(553K, 150kPa)，A 错误；

B. 设起始时 $n(M) = 2\text{mol}$ ， $n(N) = 1\text{mol}$ ，曲线 a 的 M 平衡转化率 $\alpha_{\text{平}}(M) = 25\%$ ，则平衡时

$$n(\text{M})=2\text{mol}\times(1-25\%)=1.5\text{mol}, \quad n(\text{N})=1\text{mol}-2\text{mol}\times 25\%\times \frac{1}{2}=0.75\text{mol}, \quad n(\text{P})=n(\text{Q})=2\text{mol}\times 25\%=0.5\text{mol},$$

总物质的量 $n_{\text{总}}=1.5\text{mol}+0.75\text{mol}+0.5\text{mol}+0.5\text{mol}=3.25\text{mol}$ ，该反应在恒容密闭容器中进行，根据 $p=cRT$ （ R 、

$$T、V \text{ 不变}），\text{分压之比等于物质的量之比，} p(\text{M})=\frac{1.5\text{mol}}{3.25\text{mol}}\times 150\text{kPa}, \quad p(\text{N})=\frac{0.75\text{mol}}{3.25\text{mol}}\times 150\text{kPa},$$

$$p(\text{P})=p(\text{Q})=\frac{0.5\text{mol}}{3.25\text{mol}}\times 150\text{kPa}; \text{平衡常数}$$

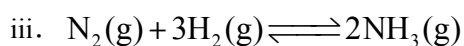
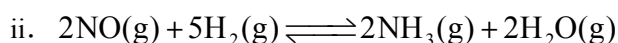
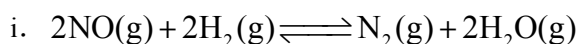
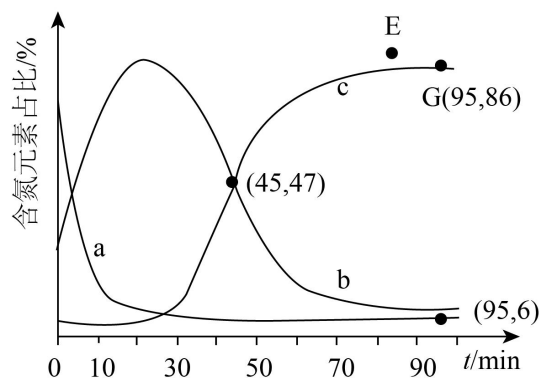
$$K_p = \frac{p^2(\text{P})\times p^2(\text{Q})}{p^2(\text{M})\times p(\text{N})} = \frac{\left(\frac{0.5\text{mol}}{3.25\text{mol}}\times 150\text{kPa}\right)^2 \times \left(\frac{0.5\text{mol}}{3.25\text{mol}}\times 150\text{kPa}\right)^2}{\left(\frac{1.5\text{mol}}{3.25\text{mol}}\times 150\text{kPa}\right)^2 \times \frac{0.75\text{mol}}{3.25\text{mol}}\times 150\text{kPa}} \neq 0.185\text{kPa}, \text{ B 错误;}$$

C. 由反应特点可知，温度不变时，压强越小，平衡正向进行程度越大，压强相同时、温度越低，平衡正向进行程度越大，即温度越低、压强越小， $\left[\frac{n(\text{P})}{n(\text{M})}\right]_{\text{max}}$ 越大，曲线 c 对应(553K,150kPa)，所以 $\left[\frac{n(\text{P})}{n(\text{M})}\right]_{\text{max}}$ 最大的是曲线 c，C 错误；

D. 由 a 项分析可知，对应曲线 a 初始状态(573K,150kPa)，该反应正方向气体物质的量减小，恒温恒压下，相当于在原平衡基础上减压，减压平衡正向移动， $\alpha_{\text{平}}(\text{M})>25\%$ ，D 错误；

故答案选 D。

6. （2025 滨州二模，15）（不定项）南京理工大学朱卫华等人提出了一种基于单簇催化剂还原 NO 的反应，主要反应如下：



在 $T^\circ\text{C}$ 、100kPa 反应条件下，向密闭容器中充入 2 mol NO 和 6mol H_2 ，发生上述反应，测得含氮元素占比[如 N_2 的

$$\text{含氮元素占比} = \frac{n(\text{N}_2)\times 2}{n(\text{NO})+n(\text{NH}_3)+n(\text{N}_2)\times 2}\times 100\% \text{]与时间的关系如图，95 min 时体系达到平衡。已知：反应 ii}$$

为快速平衡，可认为不受慢反应 i、iii 的影响； K_x 为用物质的量分数表示的平衡常数。下列说法正确的是

- A. 曲线 b 表示 NH_3 的含氮元素占比
- B. 若选择对反应 i 更高效的催化剂, 则 G 点将移向 E 点
- C. 0~45 min 内, N_2 的平均反应速率约为 $0.021\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$

D. 反应 i 的平衡常数 $K_x = \frac{\frac{0.86}{6.9} \times \left(\frac{1.88}{6.9}\right)^2}{\left(\frac{0.12}{6.9}\right)^2 \times \left(\frac{3.88}{6.9}\right)^2}$

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 反应 ii 为快反应, 曲线 a 表示物质快速减少, 故表示 NO, NH_3 快速增加, 故曲线 b 表示氨气, 曲线 c 表示 N_2 , A 正确;

B. G 点反应已经达到平衡, 若选择对反应 i 更高效的催化剂, 则达到平衡所需的时间缩短, 但 N_2 的占比不变, B 错误;

C. 起始时, 压强为 100kPa、2 mol NO、6 mol H_2 , 0-45min 时, 由图可知, N_2 的氮含量为 47%,

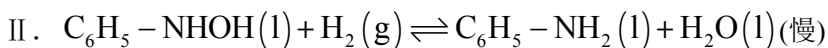
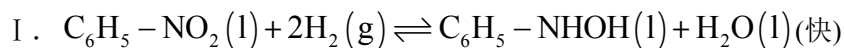
$$n(\text{N}_2) = \frac{2\text{mol} \times 47\%}{2} = 0.47\text{mol}, \text{N}_2 \text{ 的平均反应速率约为 } \frac{0.47\text{mol}}{45\text{min}} \approx 0.01\text{mol} / \text{min}, \text{C 错误};$$

D. 达到平衡时, N_2 的物质的量为 $86\% \div 2 \times 2\text{mol} = 0.86\text{mol}$, NO 的物质的量为 $6\% \times 2\text{mol} = 0.12\text{mol}$, 根据氮原子守恒, NH_3 的物质的量为 $(2 - 0.86 \times 2 - 0.12)\text{mol} = 0.16\text{mol}$, 根据氧原子守恒, 水的物质的量为 $(2 - 0.12)\text{mol} = 1.88\text{mol}$, 根据氢原子守恒, H_2 的物质的量为 $(6 - 1.88 - 0.16 \times 3 \div 2)\text{mol} = 3.88\text{mol}$, $n_{\text{总}}$ 为 6.9 mol, 则反应 i 的平衡常数

$$K_x = \frac{p(\text{N}_2)p^2(\text{H}_2\text{O})}{p^2(\text{NO})p^2(\text{H}_2)} = \frac{\frac{0.86}{6.9} \times \left(\frac{1.88}{6.9}\right)^2}{\left(\frac{0.12}{6.9}\right)^2 \times \left(\frac{3.88}{6.9}\right)^2}, \text{D 正确};$$

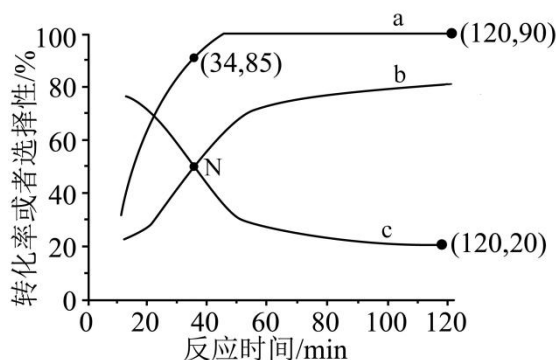
故答案选 AD。

7. (2025 潍坊二模, 15) (不定项) 苯胺是制造药物的原料, 硝基苯加氢制苯胺由以下两步反应完成:



室温下, 向 $1\text{L} 0.2\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝基苯的甲醇溶液中加催化剂, 通入 H_2 并保持 $p(\text{H}_2) = 0.18\text{MPa}$ (氢气的浓度可用氢气压强代替且始终不变), 忽略反应过程中溶液体积变化。硝基苯转化率、苯基羟胺和苯胺的选择性

$$S \left[S(\text{苯胺}) = \frac{n_{\text{生成}}(\text{苯胺})}{n_{\text{消耗}}(\text{硝基苯})} \times 100\% \right] \text{ 随反应时间变化如图, 120min 时体系达到平衡。下列说法错误的是}$$



- A. 代表 S(苯胺)的曲线是 b
- B. 反应 I 若使用高效催化剂, N 点将向左移动
- C. 34min 内苯基羟胺的反应速率是 $2.5 \times 10^{-3} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- D. 该温度下, 反应 II 平衡常数 $K = 7.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$

【答案】B

【解析】

【分析】根据两个反应的生成物可知, 苯基羟胺($\text{C}_6\text{H}_5\text{-NHOH}$)和苯胺($\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_2$)的选择性之和为 1, 且两条选择性曲线相交时, 各占 50%; 由此可知曲线 a 代表硝基苯的转化率; 由题干信息可知, 生成苯基羟胺的反应是快反应, 故开始反应时, 苯基羟胺的选择性(S)大于苯胺, 故曲线 c 表示苯基羟胺的选择性(S); 曲线 b 代表苯胺的选择性(S);

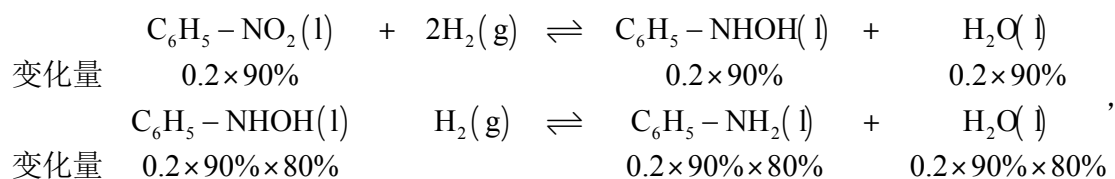
【详解】A. 由分析可知, 代表 S(苯胺)的曲线是 b, A 正确;

B. 反应 I 若使用高效催化剂, 硝基苯转化率增大, 苯基羟胺浓度增大, 则 N 点将向右移动, B 错误;

C. 0-34min 内硝基苯转化率为 85%, 苯胺的选择性为 50%, 则 v(苯基羟

$$\text{胺}) = \frac{0.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \times 85\% \times 50\%}{34 \text{ min}} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}, \text{ C 正确};$$

D. 120min 时已达平衡, 硝基苯平衡转化率为 90%, 苯胺的选择性为 80%, 列出各物质的变化量:



平衡时, $c(\text{C}_6\text{H}_5\text{-NHOH}) = 0.2 \times 90\% - 0.2 \times 90\% \times 80\% = 0.036 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,

$c(\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_2) = 0.2 \times 90\% \times 80\% = 0.144 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, $p(\text{H}_2) = 0.18 \text{ MPa}$,

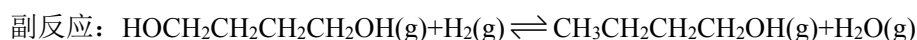
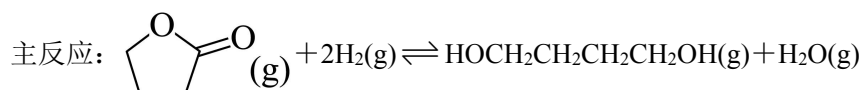
$c(\text{H}_2\text{O}) = 0.2 \times 90\% + 0.2 \times 90\% \times 80\% = 0.324 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 由于反应是在甲醇溶液中进行的, 故水等液体均需要

代入平衡常数表达式中进行计算, 则

$$K = \frac{c(\text{H}_2\text{O}) \cdot c(\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_2)}{c(\text{C}_6\text{H}_5\text{-NHOH}) \cdot c(\text{H}_2)} = \frac{0.324 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.144 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}}{0.036 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.18 \text{ MPa}} = 7.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}, \text{ D 正确};$$

故选 B。

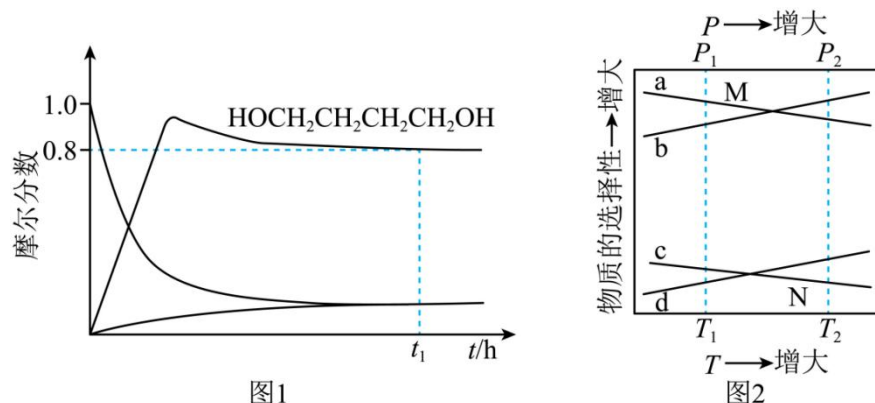
8. (2025 日照二模, 15) (不定项) 利用 γ -丁内酯可制备 1, 4-丁二醇, 涉及反应如下:



在温度为 T_1 、压强为 P_2 密闭容器中, 充入 $2\text{mol H}_2(\text{g})$ 和 $1\text{mol C}_4\text{H}_6\text{O}_2(\text{g})$ 发生反应, $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2(\text{g})$ 、1, 4-丁二醇、丁醇在含碳物质中的摩尔分数随时间变化如图 1 所示, t_1 时达到平衡。此时, 维持体系温度 T_1 , 1, 4-丁二醇和丁醇的选择性随压强的变化、维持体系压强 P_2 , 1, 4-丁二醇和丁醇的选择性随温度的变化如图 2 所示。

已知: 1, 4-丁二醇的选择性 = $\frac{n(1,4\text{-丁二醇})}{n(1,4\text{-丁二醇}) + n(\text{丁醇})} \times 100\%$

下列说法错误的是



- A. 主反应的活化能较小
- B. t_1 时, $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的体积分数约为 40.9%
- C. M 和 N 处于相同的化学平衡状态
- D. 曲线 b 表示温度为 T_1 时 1, 4-丁二醇的选择性随压强的变化

【答案】B

【解析】

【分析】由图 1 可知, $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2(\text{g})$ 为反应物, 随时间的推移, γ -丁内酯摩尔分数降低, 丁醇为生成物, 随时间推移, 丁醇的摩尔分数增大;

【详解】A. 由图可知, 平衡前, 1, 4-丁二醇的摩尔分数先升高后降低, 可知开始主反应正向进行的程度很大, 使生成的 1, 4-丁二醇大于副反应消耗的 1, 4-丁二醇, 主反应易发生, 速率快, 活化能较小, A 正确;

B. t_1 时达到平衡, 1, 4-丁二醇在含碳物质中的摩尔分数为 80%, 即 0.8mol, 丁醇和 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2(\text{g})$ 在含碳物质中的摩尔分数相同, 均为 10%, 即 0.1mol, 列三段式:

	γ -丁内酯	$+2\text{H}_2(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}(\text{g})$	$+\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
起始(mol)	1	2		0	0
转化(mol)	x	$2x$		x	x
平衡(mol)	0.1	$2-2x-0.1$		$x-0.1$	$x+0.1$

	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}(\text{g})$	$+\text{H}_2(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}(\text{g})$	$+\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
起始(mol)	0	2		0	0
转化(mol)	0.1	0.1		0.1	0.1
平衡(mol)	$x-0.1$	$2-2x-0.1$		0.1	$x+0.1$

列式 $x-0.1=0.8$ ， $x=0.9\text{mol}$ ，反应平衡后气体总物质的量为 2.1mol ， $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的体积分数约为

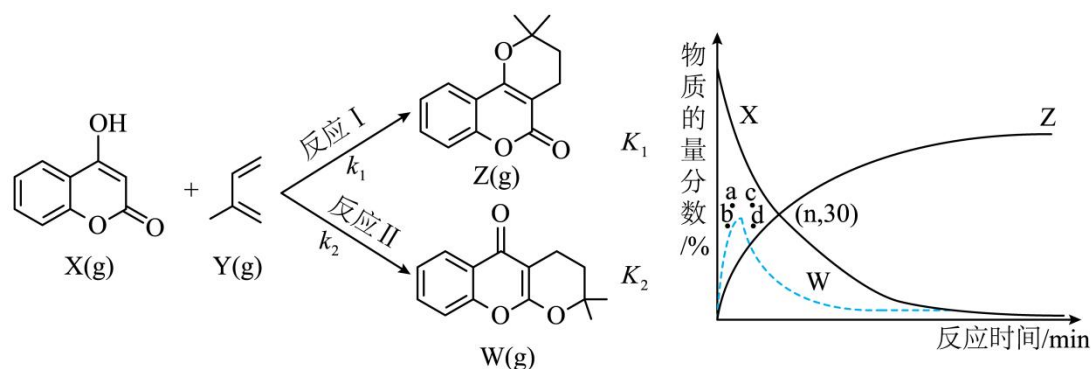
$$\frac{x+0.1}{2.1} \times 100\% = 47.6\%，\text{B 错误；}$$

C. 维持体系温度 T_1 ，压强增大，主反应正向移动，1, 4-丁二醇的选择性随压强的增大而增大，在相同条件下，1, 4-丁二醇与丁醇的选择性之和为 1，曲线 b 表示温度为 T_1 时 1, 4-丁醇的选择性随压强的变化，曲线 c 表示丁醇的选择性随压强的变化，则曲线 a、曲线 d 代表维持体系压强 P_2 时 1, 4-丁二醇和丁醇的选择性随温度的变化，M 和 N 处于相同的化学平衡状态，C 正确；

D. 维持体系温度 T_1 ，压强增大，主反应正向移动，1, 4-丁二醇的选择性随压强的增大而增大，在相同条件下，1, 4-丁二醇与丁醇的选择性之和为 1，曲线 b 表示温度为 T_1 时 1, 4-丁醇的选择性随压强的变化，D 正确；

故选 B。

9. (2025 济宁二模, 15) (不定项) T 温度下，在 1L 刚性密闭容器中投入 X 和 Y 各 1mol，发生下列反应，部分物质的物质的量分数随时间的变化如图所示(近似认为反应 II 建立平衡后，反应 II 始终处于平衡状态)。下列说法正确的是



A. 速率常数 $k_1 > k_2$

B. 反应 II 的平衡常数 $K_c = \frac{7}{9}$

C. 体系达到平衡后，再加入 X 和 Y 各 1mol，Z 的平衡产率不变

D. T 温度下，使用选择性催化反应 II 的催化剂，W 的物质的量分数新峰值点可能是 a

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 由图可知，反应起始阶段，相同时间时 W 的物质的量分数大于 Z，说明反应 I 的反应速率比反应 II

慢，所以速率常数 k_1 小于 k_2 ，故 A 错误；

B. 近似认为反应 II 建立平衡后，反应 II 始终处于平衡状态，由图可知，W 物质的量分数最大时，反应 II 达到平衡，之后反应 II 始终处于平衡状态，时间为 $n\text{min}$ 时时 X、Z 的物质的量分数都为 30%，设 $n\text{min}$ 时 Z、W 的物质的量分别为 $a\text{mol}$ 、 $b\text{mol}$ ，由题意可建立如下三段式：

	$\text{X(g)} + \text{Y(g)} \rightleftharpoons \text{Z(g)}$				$\text{X(g)} + \text{Y(g)} \rightleftharpoons \text{W(g)}$			
起(mol)	1	1	0	起(mol)	1	1	0	, 由 X、Z 的物质
变(mol)	a	a	a	变(mol)	b	b	b	
$n\text{min}(\text{mol})$	$1-a$	$1-a$	a	$n\text{min}(\text{mol})$	$1-a-b$	$1-a-b$	b	

的量分数可得： $\frac{1-a-b}{2-a-b}=0.3$ ， $\frac{a}{2-a-b}=0.3$ ，解联立方程可得 $a=\frac{3}{7}$ 、 $b=\frac{1}{7}$ ，则 1L 刚性密闭容器中反应 II 的平衡常数

$$K_c = \frac{\frac{1}{7}}{(1-\frac{3}{7}-\frac{1}{7}) \times (1-\frac{3}{7}-\frac{1}{7})} = \frac{7}{9}, \text{ 故 B 正确；}$$

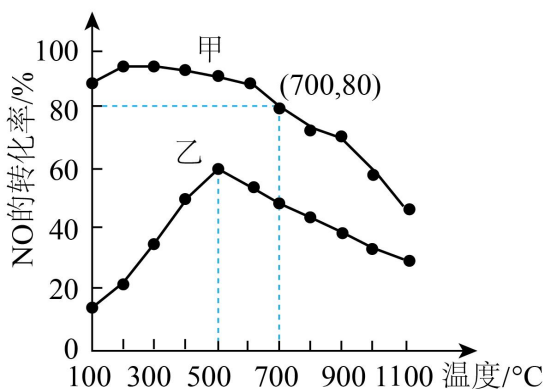
C. 反应 I 和反应 II 都是气体体积减小的反应，体系达到平衡后，再加入 X 和 Y 各 1mol 相当于增大压强，平衡向正反应方向移动，Z 的平衡产率增大，故 C 错误；

D. T 温度下，使用选择性催化反应 II 的催化剂，反应 II 的反应速率增大，相同时间内 W 的物质的量增大，物质的量分数新峰值点可能是 a，故 D 正确；

故选 BD。

10. (2025 济南二模, 15) (不定项) 汽车尾气处理中主要发生反应： $2\text{CO(g)} + 2\text{NO(g)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_2\text{(g)} + \text{N}_2\text{(g)}$ 。

分别向体积为 2L 的恒容密闭容器中充入 2molCO 和 2molNO，在甲、乙两种催化剂条件下，反应 5min 时测得 NO 的转化率与温度的关系如图所示，不考虑副反应发生。下列有关说法正确的是



A. 催化效果：甲>乙

B. 700℃、甲催化条件下，5min 内 $v(\text{CO}) = 0.32\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

C. 其它条件不变时，压缩容器体积乙曲线可能整体向上移动

D. 500℃后，乙催化剂作用下升高温度平衡逆向移动

【答案】AC

【解析】

【详解】A. 由图可知，相同条件下，使用甲催化剂 NO 的转化率更高，故催化效果：甲>乙，A 正确；

B. 由图可知，700℃、甲催化条件下，5min 内 NO 转化率为 80%，则反应 1.6molNO，

$$v(\text{CO})=v(\text{NO})=\frac{1.6\text{mol}}{2\text{L}\times 5\text{min}}=0.16\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}, \text{B 错误};$$

C. 反应 5min 时，乙中 NO 的转化率比同温度时甲低，说明乙中未达到平衡，其它条件不变时，压缩容器体积，化学反应速率增大，同一时间 NO 转化率增大，乙曲线可能整体向上移动，C 正确；

D. 反应 5min 时，乙中 NO 的转化率比同温度时甲低，说明乙中未达到平衡，500℃后，升高温度，NO 的转化率降低的原因是温度升高使催化剂的活性降低，反应速率减慢，D 错误；

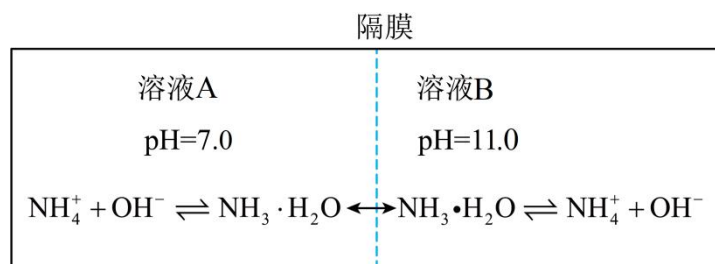
故选 AC。

四、电解质溶液中的离子平衡

1. (2025 滨州二模，10) 某平衡体系如图，隔膜允许 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 通过，不允许 NH_4^+ 和 OH^- 通过。设溶液中

$c_{\text{总}}(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})=c(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})+c(\text{NH}_4^+)$ ，且隔膜两侧的溶液体积相同。下列说法正确的是(已知：室温下

$$K_{\text{b}}(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})=1.0\times 10^{-5}, \lg 2\approx 0.3)$$



A. 水的电离程度：溶液A < 溶液B

B. 溶液 A 中： $c_{\text{总}}(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})=101c(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})$

C. 向溶液 A 中通入一定量 NH_3 ，重新平衡后，溶液 B 的 pH 保持不变

D. 撤去隔膜使溶液 A 与溶液 B 充分混合，所得溶液的 pH 约为 10.7

【答案】B

【解析】

【详解】A. 根据题中信息可知，溶液 B 的 pH 大于溶液 A 的，因此溶液 B 中 $c(\text{OH}^-)$ 大，对水的电离抑制程度大，溶液 B 中水的电离程度小，A 错误；

B. 溶液 A 的 pH=7，溶液 A 中 $c(\text{OH}^-)=10^{-7}\text{mol/L}$ ，故有

$$\frac{c(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})}{c_{\text{总}}(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})}=\frac{c(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})}{c(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})+c(\text{NH}_4^+)}=\frac{1}{1+\frac{K_{\text{b}}}{c(\text{OH}^-)}}=\frac{1}{101}, \text{B 正确};$$

C. 溶液 A 中通入一定量 NH_3 ，导致 A 中 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 的电离平衡逆向移动， $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 浓度增大， $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 跨

膜进入溶液 B 中，导致 B 中 $NH_3 \cdot H_2O$ 增大， $NH_3 \cdot H_2O$ 的电离平衡正移， OH^- 浓度增大，pH 也增大，C 错误；

D. 假设 A、B 溶液的体积均为 V，溶液 A、B 中 $c(OH^-)$ 分别为 $10^{-7} mol/L$ 和 $10^{-3} mol/L$ ，故

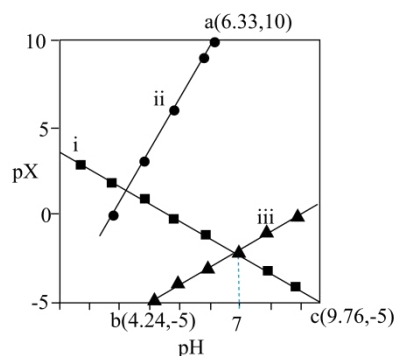
$$c(OH^-) = \frac{10^{-7}V + 10^{-3}V}{2V} mol/L \approx \frac{10^{-3}}{2} mol/L, \quad pOH = -\lg c(OH^-) = -\lg \frac{10^{-3}}{2} = 3 + 0.3 = 3.3, \quad pH = 10.7, \quad \text{但在混合过程中}$$

$NH_3 \cdot H_2O$ 的电离平衡会发生移动，故所得溶液的 pH 不是 10.7，D 错误；

故答案选 B。

2. (2025 济南二模，10) 室温下，用一元弱碱 BOH 调节 MCl_3 和 HA(一元弱酸)的混合液的 pH，得到 pH 与 pX

的关系如下图所示。已知：① $pX = -\lg X$ ， $X = c(M^{3+})$ 、 $\frac{c(A^-)}{c(HA)}$ 、 $\frac{c(B^+)}{c(BOH)}$ ；② $M(OH)_3$ 难溶于水。下列说法正确的是



A. iii 表示 $pc(M^{3+})$ 与 pH 关系

B. 盐 BA 的溶液中： $c(A^-) = c(B^+) > c(H^+) = c(OH^-)$

C. 室温下，BOH 电离常数为 $10^{-9.24}$

D. $M(OH)_3(s) + 3HA(aq) \rightleftharpoons M^{3+}(aq) + 3A^-(aq) + 3H_2O(l)$ 的平衡常数大于 10^{-5}

【答案】B

【解析】

【分析】用一元弱碱 BOH 调节 MCl_3 和 HA(一元弱酸)的混合液的 pH，

$$pM^{3+} = -\lg c(M^{3+}) = -\lg \frac{K_{sp}[M(OH)_3]}{c^3(OH^-)} = -\lg \frac{c^3(H^+)K_{sp}[M(OH)_3]}{K_w^3} =$$

$$3\lg K_w - 3\lg c(H^+) - \lg K_{sp}[M(OH)_3] = -42 + 3pH - \lg K_{sp}[M(OH)_3],$$

$$p \frac{c(A^-)}{c(HA)} = -\lg \frac{c(A^-)}{c(HA)} = -\lg \frac{K_a(HA)}{c(H^+)} = \lg c(H^+) - \lg K_a(HA) = -pH - \lg K_a(HA),$$

$$p \quad \frac{c(B^+)}{c(BOH)} = -\lg \frac{c(B^+)}{c(BOH)} = -\lg \frac{K_b(BOH)}{c(OH^-)} = -\lg \frac{c(H^+)K_b(BOH)}{K_w} =$$

$\lg K_w - \lg c(H^+) - \lg K_b(BOH) = -14 + pH - \lg K_b(BOH)$, 则 i 表示 $p \frac{c(A^-)}{c(HA)}$ 与 pH 关系, ii 表示 $pc(M^{3+})$ 与 pH

关系, iii 表示 $p \frac{c(B^+)}{c(BOH)}$ 与 pH 关系, 以此解答。

【详解】A. 由分析可知, iii 表示 $p \frac{c(B^+)}{c(BOH)}$ 与 pH 关系, A 错误;

B. 由分析可知, i 表示 $p \frac{c(A^-)}{c(HA)}$ 与 pH 关系, iii 表示 $p \frac{c(B^+)}{c(BOH)}$ 与 pH 关系, 当 $pH=7$ 时, $p \frac{c(A^-)}{c(HA)} = p \frac{c(B^+)}{c(BOH)}$,

说明 $K_a(HA)=K_b(BOH)$, 则盐 BA 的溶液中, B^+ 和 A^- 的水解程度相等, 溶液呈中性, 由于水解是微弱的, 则

$c(A^-)=c(B^+)>c(H^+)=c(OH^-)$, B 正确;

C. 由分析可知, 室温下, $p \frac{c(B^+)}{c(BOH)} = -14 + pH - \lg K_b(BOH)$, iii 表示 $p \frac{c(B^+)}{c(BOH)}$ 与 pH 关系, 由(4.24, -5)数据

可知, $K_b(BOH)=10^{-4.76}$, C 错误;

D. 由分析可知, 室温下, $pM^{3+} = -42 + 3pH - \lg K_{sp}[M(OH)_3]$, 由(6.33, 10)数据可知, $K_{sp}[M(OH)_3]=10^{-33}$,

$M(OH)_3(s) + 3HA(aq) \rightleftharpoons M^{3+}(aq) + 3A^-(aq) + 3H_2O(l)$ 的

$$K = \frac{c(A^-)^3 \cdot c(M^{3+})}{c(HA)^3} = \frac{c(A^-)^3 \times c(OH^-)^3 \cdot c(M^{3+}) \cdot c(H^+)^3}{c(HA)^3 \cdot K_w^3}$$

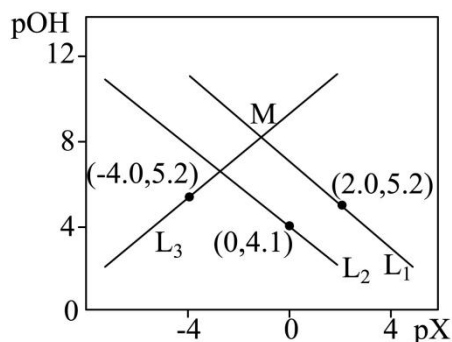
$$= \frac{K_{sp}[M(OH)_3] \times K_a^3(HA)}{K_w^3} = \frac{10^{-33} \times (10^{-4.76})^3}{(10^{-14})^3} = 10^{-5.28} < 10^{-5}, \text{ D 错误;}$$

故选 B。

3. (2025 济宁二模, 10) 常温下, 向乙二胺($H_2NCH_2CH_2NH_2$)和 CH_3COONa 水溶液中滴加盐酸, 混合溶液中

的 pOH 与 pX ($pX = -\lg X$, $X = \frac{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_2)]}$ 或 $\frac{c[(H_3NCH_2CH_2NH_3)^{2+}]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]}$ 或 $\frac{c(CH_3COO^-)}{c(CH_3COOH)}$) 随离

子浓度变化的关系如图所示。



下列说法正确的是

A. L_2 表示 $p \frac{c[(H_3NCH_2CH_2NH_3)^{2+}]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]}$ 与 pOH 的关系

B. M 点坐标为(-1.0, 8.2)

C. 常温下, $H_2NCH_2CH_2NH_3Cl$ 溶液的 $pH < 7$

D. $ClH_3NCH_2CH_2NH_3Cl$ 溶液中:

$$c(Cl^-) = c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+] + c[(H_3NCH_2CH_2NH_3)^{2+}] + c(H_2NCH_2CH_2NH_2)$$

【答案】B

【解析】

【分析】随溶液 pOH 增大, $c(OH^-)$ 减小, $c(H^+)$ 增大, $\frac{c(CH_3COO^-)}{c(CH_3COOH)} = \frac{K_a(CH_3COOH)}{c(H^+)}$ 减小,

$$\frac{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_2)]} = \frac{K_{b1}(H_2NCH_2CH_2NH_2)}{c(OH^-)} \quad \text{增大} \quad \text{大},$$

$$\frac{c[(H_3NCH_2CH_2NH_3)^{2+}]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]} = \frac{K_{b2}(H_2NCH_2CH_2NH_2)}{c(OH^-)} \quad \text{增大}; \quad p \frac{c(CH_3COO^-)}{c(CH_3COOH)} \quad \text{增大}, \quad \text{则直线 } L_3 \text{ 代表}$$

$p \frac{c(CH_3COO^-)}{c(CH_3COOH)}$ 与 pOH 的关系, $K_{b1}(H_2NCH_2CH_2NH_2) > K_{b2}(H_2NCH_2CH_2NH_2)$, L_2 表示

$p \frac{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_2)]}$ 与 pOH 的关系, L_1 表示 $p \frac{c[(H_3NCH_2CH_2NH_3)^{2+}]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]}$ 与 pOH 的关系。根据 L_2 上的点

$$(0, 4.1), \quad K_{b1}(H_2NCH_2CH_2NH_2) = \frac{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+] \cdot c(OH^-)}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_2)]} = 10^{-4.1}, \quad \text{根据 } L_1 \text{ 上点 } (2.0, 5.2),$$

$$K_{b2}(H_2NCH_2CH_2NH_2) = 10^{-7.2}, \quad \text{根据 } L_3 \text{ 上点 } (-4.0, 5.2),$$

$$K_a(CH_3COOH) = \frac{c(CH_3COO^-) \cdot c(H^+)}{c(CH_3COOH)} = 10^4 \times \frac{10^{-14}}{10^{-5.2}} = 10^{-4.8}.$$

【详解】A. 根据上述分析可知, L_2 表示 $p \frac{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_2)]}$ 与 pOH 的关系, A 项错误;

B. M 点为 L_1 、 L_3 的交点, 则 $\frac{c[(H_3NCH_2CH_2NH_3)^{2+}]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]} = \frac{c(CH_3COO^-)}{c(CH_3COOH)}$,

$$\frac{K_{b2}(H_2NCH_2CH_2NH_2)}{c(OH^-)} = \frac{K_a(CH_3COOH)}{c(H^+)}, \text{ 解得}$$

$$c(OH^-) = \sqrt{\frac{K_{b2}(H_2NCH_2CH_2NH_2) \cdot K_w}{K_a(CH_3COOH)}} = \sqrt{\frac{10^{-7.2} \times 10^{-14}}{10^{-4.8}}} = 10^{-8.2} \text{ mol/L}, \quad \frac{c[(H_3NCH_2CH_2NH_3)^{2+}]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]} = 10, \text{ 即}$$

$$p \frac{c[(H_3NCH_2CH_2NH_3)^{2+}]}{c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+]} = -1.0, \quad pOH = 8.2, \text{ M 点坐标为 } (-1.0, 8.2), \text{ B 项正确;}$$

C. $H_2NCH_2CH_2NH_3Cl$ 溶液中存在 $(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+$ 的电离与水解, $(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+$ 的电离

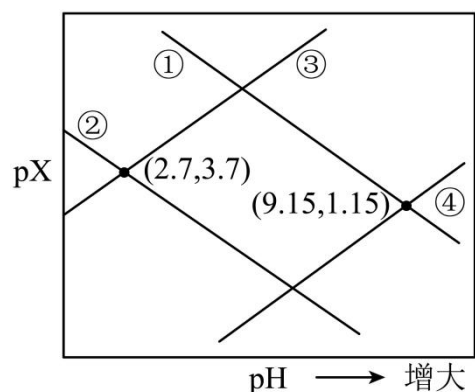
$$K_{b2}(H_2NCH_2CH_2NH_2) = 10^{-7.2} \text{ 大于水解 } K_h = \frac{K_w}{K_{b1}} = \frac{10^{-14}}{10^{-4.1}} = 10^{-9.9}, \text{ 溶液显碱性, } pH > 7, \text{ C 项错误;}$$

D. 根据元素守恒, $ClH_3NCH_2CH_2NH_3Cl$ 溶液中:

$$c(Cl^-) = 2c[(H_2NCH_2CH_2NH_3)^+] + 2c[(H_3NCH_2CH_2NH_3)^{2+}] + 2c(H_2NCH_2CH_2NH_2), \text{ D 项错误;}$$

答案选 B。

4. (2025 日照二模, 10) 常温下, $M(OH)_2$ 和 H_2A 的水溶液中相关离子浓度比值的负对数值 pX 与 pH 的关系如图(其中 $pX = -\lg X$, X 表示 $\frac{c[M(OH)^+]}{c[M(OH)_2]}$ 、 $\frac{c(M^{2+})}{c[M(OH)^+]}$ 、 $\frac{c(HA^-)}{c(H_2A)}$ 或 $\frac{c(A^{2-})}{c(HA^-)}$)。下列说法错误的是



A. 曲线③表示 $\frac{c(M^{2+})}{c[M(OH)^+]}$ 的负对数值随 pH 的变化情况

B. H_2A 电离常数 $K_{a2} = 10^{-10.3} \text{ mol/L}$

C. $pH=8$ 时, 溶液中微粒浓度大小关系为 $c(A^{2-}) < c(H_2A)$

D. 常温下, 0.1 mol/L 的 MCl_2 的水溶液中 $c(Cl^-) > c(M^{2+}) > c[M(OH)^+] > c(H^+)$

【答案】D

【解析】

【分析】由电离常数可知， H_2A 溶液中 $\frac{c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})} = \frac{K_{a1}}{c(\text{H}^+)}$ 、 $\frac{c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)} = \frac{K_{a2}}{c(\text{H}^+)}$ ，溶液 pH 增大时，电离常数不变，溶液中氢离子浓度减小， $p\frac{c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})}$ 和 $p\frac{c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)}$ 减小，由 H_2A 的 K_{a1} 大于 K_{a2} 可知，溶液 pH 相同时，溶液中 $p\frac{c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})}$ 小于 $p\frac{c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)}$ ，则曲线①、曲线②分别表示 $p\frac{c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)}$ 、 $p\frac{c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})}$ 随 pH 的变化情况，由图可知，溶液中 pH 为 2.7 时， $\frac{c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})}$ 为 $10^{-3.7}$ ，则 H_2A 电离常数 $K_{a1} = 10^{-3.7} \times 10^{-2.7} = 10^{-6.4}$ ，溶液中 pH 为 9.15 时， $\frac{c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)}$ 为 $10^{-1.15}$ ，则 H_2A 电离常数 $K_{a2} = 10^{-1.15} \times 10^{-9.15} = 10^{-10.3}$ ；同理可知，曲线③、④分别表示 $p\frac{c(\text{M}^{2+})}{c[\text{M}(\text{OH})^+]}$ 、 $p\frac{c[\text{M}(\text{OH})^+]}{c[\text{M}(\text{OH})_2]}$ 随 pH 的变化情况，则 $\text{M}(\text{OH})_2$ 电离常数 $K_{b1} = 10^{-1.15} \times 10^{-4.85} = 10^{-6}$ 、 $K_{b2} = 10^{-3.7} \times 10^{-11.3} = 10^{-15}$ 。

【详解】A. 由分析可知，曲线③表示 $p\frac{c(\text{M}^{2+})}{c[\text{M}(\text{OH})^+]}$ 随 pH 的变化情况，故 A 正确；

B. 由分析可知， H_2A 电离常数 $K_{a2} = 10^{-1.15} \times 10^{-9.15} = 10^{-10.3}$ ，故 B 正确；

C. H_2A 电离常数 $K_{a1}K_{a2} = \frac{c(\text{A}^{2-})c^2(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{A})}$ ，则溶液 pH=8 时，溶液中 $\frac{c(\text{A}^{2-})}{c(\text{H}_2\text{A})} = \frac{10^{-6.4} \times 10^{-10.3}}{(10^{-6})^2} = 10^{-4.7} < 1$ ，所以溶

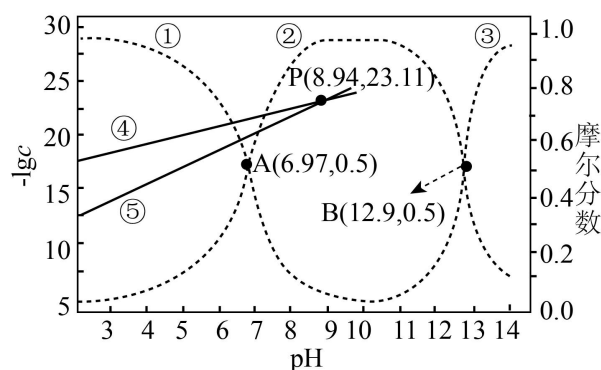
液中微粒浓度大小关系为 $c(\text{A}^{2-}) < c(\text{H}_2\text{A})$ ，故 C 正确；

D. MCl_2 是强酸弱碱盐，由分析可知 M^{2+} 水解程度很大，则溶液中离子浓度大小顺序为

$c(\text{Cl}^-) > c(\text{H}^+) > c[\text{M}(\text{OH})^+] > c(\text{M}^{2+})$ ，故 D 错误；

故选 D。

5. (2025 潍坊二模, 13) (不定项) 常温下， H_2S 溶液中所有含硫物种的摩尔分数与 pH 变化关系如图中虚线所示； Ag_2S 和 CdS 在 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{H}_2\text{S}$ 溶液 (H_2S 浓度保持不变) 中达到沉淀溶解平衡时， $-\lg c$ 与 pH 变化关系如图中实线所示 (c 为金属离子的物质的量浓度)。



下列说法正确的是

- A. 直线⑤表示 H_2S 溶液中 Ag^+ 的 $-\lg c$ 与 pH 的关系
- B. S^{2-} 水解平衡常数 $K_{\text{b}1}$ 的数量级为 10^{-7}
- C. $K_{\text{sp}}(\text{CdS}) = 1 \times 10^{-26.1}$
- D. 向相同浓度的 Ag^+ 和 Cd^{2+} 的混合溶液中通入 H_2S 气体, Ag^+ 先开始沉淀

【答案】CD

【解析】

【分析】随着 pH 增大, H_2S 摩尔分数减小, HS^- 摩尔分数先增大再减小, S^{2-} 摩尔分数增大, 虚线①代表 H_2S 摩

尔分数, 虚线②代表 HS^- 摩尔分数, 虚线③代表 S^{2-} 摩尔分数; $K_{\text{a}1} = \frac{c(\text{HS}^-)c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{S})} = 10^{-6.97}$,

$$K_{\text{a}2} = \frac{c(\text{S}^{2-})c(\text{H}^+)}{c(\text{HS}^-)} = 10^{-12.9},$$

$$K_{\text{a}1}K_{\text{a}2} = \frac{c(\text{HS}^-)c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{S})} \cdot \frac{c(\text{S}^{2-})c(\text{H}^+)}{c(\text{HS}^-)} = \frac{c^2(\text{H}^+)c(\text{S}^{2-})}{c(\text{H}_2\text{S})} = 10^{-6.97} \times 10^{-12.9} \Rightarrow c(\text{S}^{2-}) = \frac{K_{\text{a}1}K_{\text{a}2}c(\text{H}_2\text{S})}{c^2(\text{H}^+)}, \text{ 由 P 点可知,}$$

$$K_{\text{sp}}[\text{Ag}_2\text{S}] = c^2(\text{Ag}^+)c(\text{S}^{2-}) = c^2(\text{Ag}^+) \frac{K_{\text{a}1}K_{\text{a}2}c(\text{H}_2\text{S})}{c^2(\text{H}^+)} = (10^{-23.11})^2 \frac{10^{-6.97} \times 10^{-12.9} \times 0.1}{(10^{-8.94})^2} = 10^{-49.21},$$

$$K_{\text{sp}}[\text{CdS}] = c(\text{Cd}^{2+})c(\text{S}^{2-}) = c(\text{Cd}^{2+}) \frac{K_{\text{a}1}K_{\text{a}2}c(\text{H}_2\text{S})}{c^2(\text{H}^+)} = (10^{-23.11}) \frac{10^{-6.97} \times 10^{-12.9} \times 0.1}{(10^{-8.94})^2} = 10^{-26.1},$$

$K_{\text{sp}}[\text{Ag}_2\text{S}] < K_{\text{sp}}[\text{CdS}]$ 且两者数量级差距较大, 故 pH 较小时, Ag_2S 沉淀所需要银离子浓度更小, 故直线④表示

H_2S 溶液中 Ag^+ 的 $-\lg c$ 与 pH 的关系, 直线⑤表示 H_2S 溶液中 Cd^{2+} 的 $-\lg c$ 与 pH 的关系, 据此分析:

【详解】A. 根据分析可知, 直线④表示 H_2S 溶液中 Ag^+ 的 $-\lg c$ 与 pH 的关系, 直线⑤表示 H_2S 溶液中 Cd^{2+} 的 $-\lg c$ 与 pH 的关系, A 错误;

B. S^{2-} 水解平衡常数 $K_{\text{h}} = \frac{K_{\text{w}}}{K_{\text{a}2}} = \frac{10^{-14}}{10^{-12.9}} = 10^{-1.1}$, 数量级不为 10^{-7} , B 错误;

C. 根据分析可知, $K_{\text{sp}}(\text{CdS}) = 1 \times 10^{-26.1}$, C 正确;

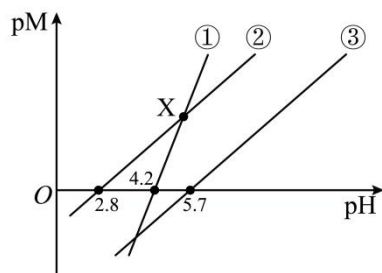
D. 向相同浓度的 Ag^+ 和 Cd^{2+} 的混合溶液中通入 H_2S 气体, 因为硫化氢气体的通入, 溶液呈酸性, 再结合图中两条沉淀溶解平衡直线可知, Ag^+ 先开始沉淀, D 正确;

故选 CD。

6. (2025 菏泽二模, 14) (不定项) 常温下, 向 H_2A (弱酸) 和 CuSO_4 的混合溶液中滴加 NaOH 溶液, 混合溶液

中 $pM \left[pM = -\lg M, M = \frac{c(H_2A)}{c(HA^-)} \cdot \frac{c(HA^-)}{c(A^{2-})} \cdot c(Cu^{2+}) \right]$ 随 pH 的变化关系如图所示。已知： H_2A 和 $CuSO_4$ 在溶

液中不反应；离子浓度 $c \leq 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 认为已除尽。下列叙述错误的是



A. ③代表 $p \frac{c(HA^-)}{c(A^{2-})}$ 与 pH 的关系

B. ①和②的交叉点 X 的坐标为 (5.6, 2.8)

C. $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHA}$ 溶液中： $c(Na^+) > c(HA^-) > c(A^{2-}) > c(H_2A)$

D. 25°C 时，要除尽工业废水中的 Cu^{2+} ，需调整溶液的 pH 至少为 7.3

【答案】D

【解析】

【分析】从图中可以看出，②③两条线平行，则两者斜率相同， $\frac{c(H_2A)}{c(HA^-)} = \frac{c(H^+)}{K_{a1}}$ ，则

$$p \frac{c(H_2A)}{c(HA^-)} = p \frac{c(H^+)}{K_{a1}} = -\lg \frac{c(H^+)}{K_{a1}} = \lg K_{a1} - \lg c(H^+), \text{ 同理 } p \frac{c(HA^-)}{c(A^{2-})} = p \frac{c(H^+)}{K_{a2}} = -\lg \frac{c(H^+)}{K_{a2}} = \lg K_{a2} - \lg c(H^+), \text{ 因此这两种}$$

情况的斜率相同，而 $K_{a1} > K_{a2}$ ，故在 y 轴上截距小的对应 K_{a1} 的情况，即②代表 $p \frac{c(H_2A)}{c(HA^-)}$ 与 pH 的关系；③代表

$p \frac{c(HA^-)}{c(A^{2-})}$ 与 pH 的关系；则①代表 pCu^{2+} 与 pH 的关系，据此回答。

【详解】A. 由分析知，③代表 $p \frac{c(HA^-)}{c(A^{2-})}$ 与 pH 的关系，A 正确；

B. 由于 $K_{a1} = \frac{c(HA^-) \cdot c(H^+)}{c(H_2A)}$ ， $K_{a2} = \frac{c(A^{2-}) \cdot c(H^+)}{c(HA^-)}$ ，当 $pH = 2.8$ 时， $p \frac{c(H_2A)}{c(HA^-)} = 0$ ，即 $\frac{c(H_2A)}{c(HA^-)} = 1$ ，

$K_{a1} = c(H^+) = 10^{-2.8}$ ；当 $pH = 5.7$ 时， $p \frac{c(HA^-)}{c(A^{2-})} = 0$ ，即 $\frac{c(HA^-)}{c(A^{2-})} = 1$ ， $K_{a2} = c(H^+) = 10^{-5.7}$ ，根据①与 X 的交点可

知铜离子浓度为 1 mol/L 时， $c(H^+) = 10^{-4.2} \text{ mol/L}$ ，则 $K_{sp}Cu(OH)_2 = 10^{-19.6}$ ，在①和②的交叉点 X 处， $\frac{c(H_2A)}{c(HA^-)} = \frac{c(Cu^{2+})}{1}$ ，

$$\frac{c(\text{H}_2\text{A})}{c(\text{HA}^-)} = \frac{c(\text{H}^+)}{K_{a1}}, \text{ 此时 } c(\text{Cu}^{2+}) = \frac{c(\text{H}^+)}{K_{a1}}, \text{ 又因为 } K_{sp}(\text{Cu}(\text{OH})_2) = c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-), \quad c(\text{OH}^-) = \frac{K_w}{c(\text{H}^+)}, \text{ 联立}$$

可得 $c(\text{H}^+) = 10^{-5.6} \text{ mol/L}$, $\text{pH} = 5.6$, $\text{pCu}^{2+} = 2.8$, 所以交叉点 X 的坐标为 (5.6, 2.8), B 正确;

C. 由于 $K_{a2} = 10^{-5.7}$, HA^- 的水解常数 $K_h = \frac{K_w}{K_{a1}} = \frac{10^{-14}}{10^{-2.8}} = 10^{-11.2}$, $K_2 > K_h$, HA^- 的电离程度大于水解程度,

所以 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHA}$ 溶液中: $c(\text{Na}^+) > c(\text{HA}^-) > c(\text{A}^{2-}) > c(\text{H}_2\text{A})$, C 正确;

D. 当 $c(\text{Cu}^{2+}) = 10^{-5} \text{ mol/L}$ 时, $\text{pCu}^{2+} = 5$, 根据 $K_{sp}\text{Cu}(\text{OH})_2 = 10^{-19.6}$ 可得, 此时 $c(\text{OH}^-) = 10^{-7.3} \text{ mol/L}$, $c(\text{H}^+) = 10^{-6.7} \text{ mol/L}$,

因此调节 pH 至少为 6.7, D 错误;

故选 D。

7. (2025 青岛二模, 15) (不定项) H_6Y^{2+} 溶液中含 Y 微粒的分布系数如图 1. 分别在 $\text{pH}=9$ 与 $\text{pH}=10$ 的缓冲体系中, 用 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ 滴定 $20 \text{ mL } 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CaCl_2 溶液, 生成 CaY^{2-} [其稳定常数

$K = \frac{c(\text{CaY}^{2-})}{c(\text{Ca}^{2+})c(\text{Y}^{4-})}$]. 滴定曲线如图 2, 滴定终点时, $c(\text{Ca}^{2+})$ 分别为 $a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。下列说法错误的

是

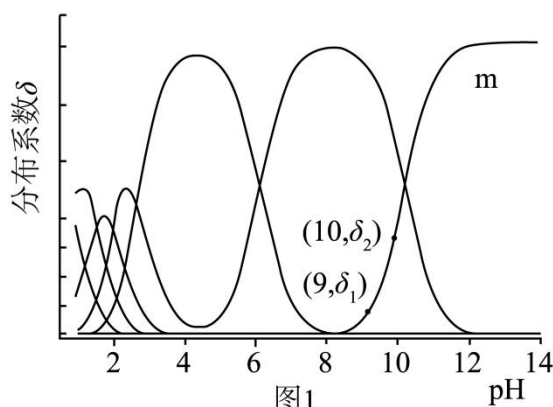


图1

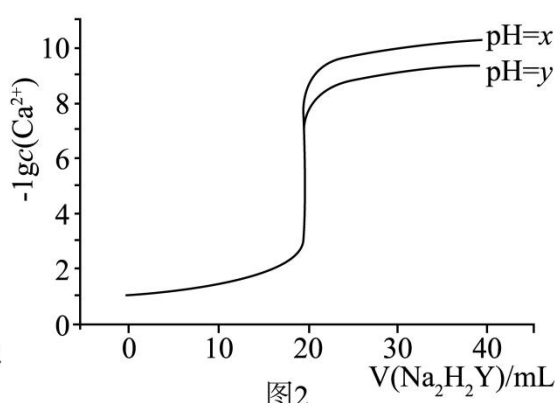


图2

A. 曲线 m 代表 Y^{4-}

B. $\frac{a}{b} = \frac{\delta_2}{\delta_1}$

C. $x=10$, $y=9$

D. $V(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}) = 10 \text{ mL}$ 时,

$$\frac{1}{4}c(\text{Cl}^-) = c(\text{Y}^{4-}) + c(\text{HY}^{3-}) + c(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) + c(\text{H}_3\text{Y}^-) + c(\text{H}_4\text{Y}) + c(\text{H}_5\text{Y}^+) + c(\text{H}_6\text{Y}^{2+})$$

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 在 pH 较高时, Y 微粒主要以 Y^{4-} 形式存在, 从图 1 可知, 曲线 m 在 pH 较高时分布系数较大, 所以曲线 m 代表 Y^{4-} , 故 A 正确;

B. 根据稳定常数 $K = \frac{c(\text{CaY}^{2-})}{c(\text{Ca}^{2+})c(\text{Y}^{4-})}$ ，由于滴定终点时 $c(\text{CaY}^{2-})$ 近似相同，pH=9 和 pH=10 时 Y^{4-} 分布系数

分别为 δ_1 、 δ_2 ， $c(\text{Ca}^{2+})$ 与 Y^{4-} 浓度成反比，应该是 $\frac{a}{b} = \frac{\delta_1}{\delta_2}$ ，故 B 错误；

C. 从图 1 可知，pH=9 时 Y 微粒主要以 HY^{3-} 形式存在，pH=10 时 Y 微粒主要以 Y^{4-} 形式存在，所以 $x=10$ ， $y=9$ ，故 C 正确；

D. $v(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y})=10\text{mL}$ 时，溶液中 Cl^- 物质的量是 Ca^{2+} 起始物质的量的 2 倍，根据物料守恒， $n(\text{Ca}^{2+}) = \frac{1}{4}n(\text{Cl}^-)$ ，

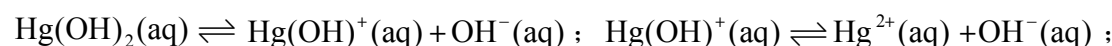
而溶液中 Y 元素的各种存在形式之和等于加入的 Y 的量（ Ca^{2+} 反应后剩余及未反应的），此时

$\frac{1}{4}c(\text{Cl}^-) = c(\text{Y}^{4-}) + c(\text{HY}^{3-}) + c(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) + c(\text{H}_3\text{Y}^-) + c(\text{H}_4\text{Y}) + c(\text{H}_5\text{Y}^+) + c(\text{H}_6\text{Y}^{2+}) + c(\text{CaY}^{2-})$ ，所以

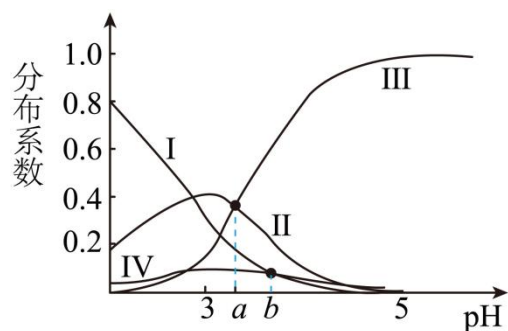
$\frac{1}{4}c(\text{Cl}^-) > c(\text{Y}^{4-}) + c(\text{HY}^{3-}) + c(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) + c(\text{H}_3\text{Y}^-) + c(\text{H}_4\text{Y}) + c(\text{H}_5\text{Y}^+) + c(\text{H}_6\text{Y}^{2+})$ ，故 D 错误；

答案选 BD。

8. （2025 临沂二模，15）（不定项）常温下，二元羧酸（ H_2L ）与 Hg^{2+} 在水溶液体系中存在以下平衡：



$\text{HgL}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+}(\text{aq}) + \text{L}^{2-}(\text{aq})$ ，平衡常数依次为 K_1 、 K_2 、 K_3 且 $K_1 < K_2$ 。体系内含汞粒子的分布系数随 pH 变化如图所示。



下列说法错误的是

A. 曲线 II 表示 HgL 的变化情况

B. $K_2 = 10^{a-14}$

C. pH = a 时， $c(\text{L}^{2-}) = \frac{K_3 \cdot 10^{a-b-14}}{K_1}$

D. pH 过大或过小，均不利于 Hg^{2+} 与 L^{2-} 的配位

【答案】BC

【解析】

【分析】由方程式可知 $K_1 = \frac{c(OH^-) \times c[Hg(OH)^+]}{c[Hg(OH)_2]}$, $K_2 = \frac{c(OH^-) \times c(Hg^{2+})}{c[Hg(OH)^+]}$, $K_3 = \frac{c(L^{2-}) \times c(Hg^{2+})}{c(HgL)}$ 。

从图中四条分布曲线的典型走向可判定：低pH时以游离的 Hg^{2+} 为主（曲线Ⅰ），高pH时以中性羟基配合物 $Hg(OH)_2$ 为主（曲线Ⅲ），在中等pH范围出现明显峰值的物种即所给的配合物 HgL （曲线Ⅱ），而含有一个羟基的 $Hg(OH)^+$ 分布系数始终较小（曲线Ⅳ）。

【详解】A. 根据分析可知曲线Ⅱ表示 HgL 的变化情况，A 正确；

B. 根据图像可知 b 点时， $c(Hg^{2+}) = c[Hg(OH)^+]$, $K_2 = \frac{c(OH^-) \times c(Hg^{2+})}{c[Hg(OH)^+]} = c(OH^-) = 10^{b-14}$, B 错误；

C. pH = a 时， $c(HgL) = c[Hg(OH)_2]$, 根据 $K_3 = \frac{c(L^{2-}) \times c(Hg^{2+})}{c(HgL)}$, 则

$$c(L^{2-}) = \frac{K_3 \times c(HgL)}{c(Hg^{2+})} = \frac{K_3 \times c[Hg(OH)_2]}{c(Hg^{2+})}。根据 K_1 \times K_2 = \frac{c[(OH)^-]^2 \times c(Hg^{2+})}{c[Hg(OH)_2]}$$

$$\frac{c[Hg(OH)_2]}{c(Hg^{2+})} = \frac{c[(OH)^-]^2}{K_1 \times K_2}, c(L^{2-}) = \frac{K_3 \times c[(OH)^-]^2}{K_1 \times K_2} = \frac{K_3 \times (10^{a-14})^2}{K_1 \times 10^{b-14}} = \frac{K_3 \cdot 10^{2a-b-14}}{K_1}, C 错误；$$

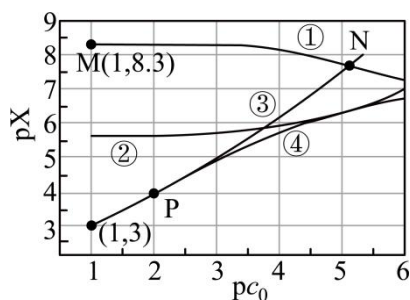
D. pH 过低时，配体 L^{2-} 易被质子化，浓度偏低；pH 过高时，金属离子更易生成氢氧化物，pH 过大或过小，均不利于 Hg^{2+} 与 L^{2-} 的配位，D 正确；

故选 BC。

9. (2025 烟台德州二模, 15) (不定项) H_2A 为二元弱酸，其电离常数分别为 K_{a1} 、 K_{a2} 且 $K_{a1} \cdot K_{a2} < K_w$ 。25℃

时，浓度为 $c_0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHA}$ 溶液中 pX 与 pc_0 的关系如图所示 [其中 $\text{pX} = -\lg c(X)$, X 代表 H_2A 、 H^+ 、 OH^- 和

A^{2-} ; $\text{pc}_0 = -\lg c_0$]。下列说法正确的是



A. 曲线③代表 H_2A

B. K_{a1} 约为 $1.0 \times 10^{-6.3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

C. $\text{pc}_0 = 5$ 时, 溶液中 $c(\text{H}_2\text{A}) > c(\text{A}^{2-}) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$

D. M、N、P 三点对应的溶液中水的电离程度: $\text{M} < \text{P} < \text{N}$

【答案】B

【解析】

【分析】 $K_{a1}K_{a2} < K_w \Rightarrow K_{a2} < \frac{K_w}{K_{a1}}$, 说明 HA^- 水解程度大于电离程度, 根据图像, 选取 $\text{pc}_0 = 1$ 的点, NaHA 显碱性可知, ①代表 pH, 因 $\text{pH} + \text{pOH} = 14$, 故②代表 pOH, 因 HA^- 水解程度大于电离程度, 故③代表 A^{2-} , ④代表 H_2A ,

据此分析;

【详解】A. 曲线③代表 A^{2-} , A 错误;

B. $\text{pc}_0 = 1$, $K_{a1} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})} \approx \frac{10^{-8.3} \times 10^{-1}}{10^{-3}} = 1.0 \times 10^{-6.3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, B 正确;

C. $\text{pc}_0 = 5$ 时, 曲线②低于③, 溶液中 $c(\text{OH}^-) > c(\text{A}^{2-})$, C 错误;

D. 盐的浓度越大, 水解程度最小, 水的电离程度越小, 三点对应的溶液中水的电离程度: $\text{M} > \text{P} > \text{N}$, D 错误;

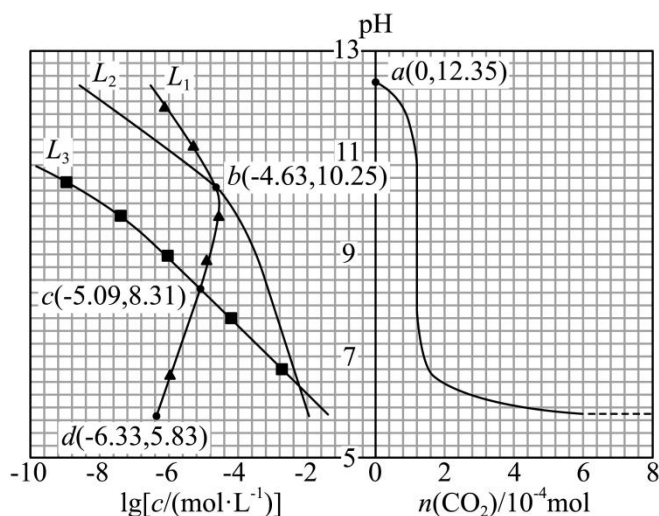
故选 B。

10. (2025 聊城二模, 15) (不定项) 室温下, 向 10mL 饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液中持续缓慢通入 CO_2 , 得到如下图像。

横坐标正半轴为 CO_2 的通入量、虚线部分表示 CO_2 不再溶解; 横坐标负半轴为溶液中含碳物种 (H_2CO_3 、 HCO_3^-

或 CO_3^{2-}) 浓度的对数, 纵坐标表示溶液的 pH (忽略溶液体积的变化)。已知: $\lg 2 = 0.30$, 室温下

$K_{sp}(\text{CaCO}_3) = 10^{-8.54}$ 。下列说法错误的是



A. 曲线 L_1 代表 CO_3^{2-}

B. 室温下, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的 $K_{sp} = 10^{-5.25}$

C. 室温下, H_2CO_3 的电离常数 $K_{a1} = 10^{-6.37}$

D. 溶液先变浑浊, 后沉淀完全消失得到澄清溶液

【答案】D

【解析】

【分析】根据 a 点 (0,12.35) 可知，饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液的 $\text{pH}=12.35$ ， $c(\text{OH}^-)=10^{-1.65}\text{mol/L}$ ，

$\text{Ca}(\text{OH})_2=\text{Ca}^{2+}+2\text{OH}^-$ ， $c(\text{Ca}^{2+})=\frac{c(\text{OH}^-)}{2}$ ，则 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的

$K_{\text{sp}}=c(\text{Ca}^{2+})\cdot c^2(\text{OH}^-)=\frac{c^3(\text{OH}^-)}{2}=\frac{(10^{-1.65})^3}{10^{0.30}}=10^{-5.25}$ ；随 CO_2 的通入，发生反应 $2\text{OH}^-+\text{CO}_2=\text{CO}_3^{2-}+\text{H}_2\text{O}$ ，

CO_3^{2-} 浓度增大，至 $c(\text{CO}_3^{2-})\cdot c(\text{Ca}^{2+})=K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)=10^{-8.54}$ 有 CaCO_3 沉淀生成，即

$\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})+\text{Ca}^{2+}(\text{aq})\rightleftharpoons\text{CaCO}_3(\text{s})$ ， CO_3^{2-} 浓度增大程度减小，至 Ca^{2+} 沉淀接近完全，发生反应

$\text{CO}_3^{2-}+\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}=2\text{HCO}_3^-$ CO_3^{2-} 浓度逐渐减小， HCO_3^- 浓度逐渐增大， CaCO_3 沉淀溶解平衡

$\text{CaCO}_3(\text{s})\rightleftharpoons\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})+\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$ 正移，继续通入 CO_2 ，发生反应 $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}=\text{H}_2\text{CO}_3$ ， H_2CO_3 浓度增大；

故曲线 L_1 代表 CO_3^{2-} 、曲线 L_2 代表 HCO_3^- 、曲线 L_3 代表 H_2CO_3 。

【详解】A. 根据上述分析，曲线 L_1 代表 CO_3^{2-} ，A 项正确；

B. 根据上述分析，室温下， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的 $K_{\text{sp}}=10^{-5.25}$ ，B 项正确；

C. 曲线 L_1 代表 CO_3^{2-} 、曲线 L_2 代表 HCO_3^- ，则由 b 点坐标 $(-4.63, 10.25)$ ，可知 H_2CO_3 的电离常数

$K_{\text{a2}}=\frac{c(\text{H}^+)\cdot c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{HCO}_3^-)}=10^{-10.25}$ ；曲线 L_1 代表 CO_3^{2-} 、曲线 L_3 代表 H_2CO_3 ，则由 c 点坐标 $(-5.09, 8.31)$ ，可知

H_2CO_3 的电离常数 $K_{\text{a1}}\cdot K_{\text{a2}}=\frac{c(\text{H}^+)\cdot c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}\cdot\frac{c(\text{H}^+)\cdot c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{HCO}_3^-)}=\frac{c^2(\text{H}^+)\cdot c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}=(10^{-8.31})^2=10^{-16.62}$ ，解

得 $K_{\text{a1}}=10^{-6.37}$ ，C 项正确；

D. 根据 d 点坐标 $(-6.33, 5.83)$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)=10^{-8.54}$ ，溶液中

$c(\text{Ca}^{2+})=\frac{K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)}{c(\text{CO}_3^{2-})}=\frac{10^{-8.54}}{10^{-6.33}}\text{mol/L}=10^{-2.21}\text{mol/L}$ ，小于原饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液

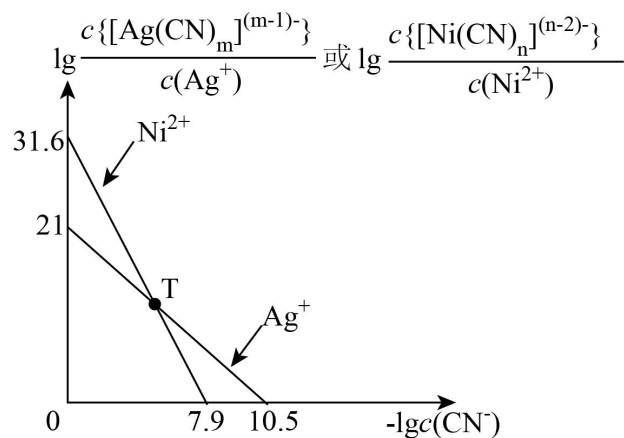
$c(\text{Ca}^{2+})=\frac{c(\text{OH}^-)}{2}=\frac{10^{-1.65}}{2}\text{mol/L}=10^{-1.95}\text{mol/L}$ ，则说明 CaCO_3 沉淀未完全溶解，D 项错误；

答案选 D。

11. (2025 泰安二模, 15)(不定项) 水溶液中 CN^- 可分别与 Ag^+ 、 Ni^{2+} 反应形成 $[\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}$ 、 $[\text{Ni}(\text{CN})_n]^{(n-2)-}$ 。

平衡时 $\lg \frac{c\{[\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}\}}{c(\text{Ag}^+)}$, $\lg \frac{c\{[\text{Ni}(\text{CN})_n]^{(n-2)-}\}}{c(\text{Ni}^{2+})}$ 与 $-\lg c(\text{CN}^-)$ 的关系如图。已知: $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$ 。

下列说法错误的是



A. $m=2$

B. 向 T 点两种配合物的混合液中加少量 NaCN 晶体, 达平衡时达平衡时 $\frac{c\{[\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}\}}{c(\text{Ag}^+)} > \frac{c\{[\text{Ni}(\text{CN})_n]^{(n-2)-}\}}{c(\text{Ni}^{2+})}$

C. 反应 $\text{Ag}^+ + m\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}$ 的平衡常数为 10^{-21}

D. 将少量氯化银固体加入足量的 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{NaCN}$ 溶液中, 氯化银固体全部溶解

【答案】BC

【解析】

【分析】由 $m\text{CN}^- + \text{Ag}^+ \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}$ 可知 $K_{\text{Ag}} = \frac{c\{[\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}\}}{c(\text{Ag}^+)c^m(\text{CN}^-)}$ (用 K_{Ag} 表示该反应的平衡常数),

两边取对数得 $\lg K_{\text{Ag}} = \lg \frac{c\{[\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}\}}{c(\text{Ag}^+)c^m(\text{CN}^-)}$, $\lg \frac{c\{[\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}\}}{c(\text{Ag}^+)} = \lg K_{\text{Ag}} - m[-\lg c(\text{CN}^-)]$, 则

$21 = \lg K_{\text{Ag}}$, $K_{\text{Ag}} = 10^{21}$, $0 = \lg K_{\text{Ag}} - m \times 10.5$, 解得 $m=2$, 同理, $\text{Ni}^{2+} + n\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Ni}(\text{CN})_n]^{(n-2)-}$, 用 K_{Ni}

表示该反应的平衡常数, 则 $K_{\text{Ni}} = \frac{c\{[\text{Ni}(\text{CN})_n]^{(n-2)-}\}}{c(\text{Ni}^{2+})c^n(\text{CN}^-)} = 10^{31.6}$, $n=4$;

【详解】A. 据分析, $m=2$, A 正确;

B. 由图知, T 点时纵坐标值相等, 即 $\frac{c\{[\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}\}}{c(\text{Ag}^+)} = \frac{c\{[\text{Ni}(\text{CN})_n]^{(n-2)-}\}}{c(\text{Ni}^{2+})}$, 向 T 点两种配合物的混合液中

加少量 NaCN 晶体, 则 $c(\text{CN}^-)$ 增大, $-\lg c(\text{CN}^-)$ 减小, 达平衡时纵坐标值增大(两直线上的点位于 T 点左侧),

$$\text{则 } \frac{c\{[\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}\}}{c(\text{Ag}^+)} < \frac{c\{[\text{Ni}(\text{CN})_n]^{(n-2)-}\}}{c(\text{Ni}^{2+})}, \text{ B 错误;}$$

C. 由分析可知, 反应 $\text{Ag}^+ + m\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{CN})_m]^{(m-1)-}$ 的平衡常数为 10^{21} , C 错误;

D. 将少量氯化银固体加入足量的 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{NaCN}$ 溶液中, 存在反应 $\text{AgCl} + 2\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{CN})_2]^- + \text{Cl}^-$, 该反应的平衡常数

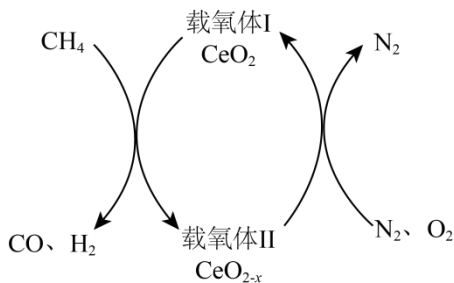
$$K' = \frac{c\{[\text{Ag}(\text{CN})_2]^{-}\}c(\text{Cl}^-)}{c^2(\text{CN}^-)} = \frac{c\{[\text{Ag}(\text{CN})_2]^{-}\}c(\text{Cl}^-)c(\text{Ag}^+)}{c^2(\text{CN}^-)c(\text{Ag}^+)} = K_{\text{Ag}} \times K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) =$$

$10^{21} \times 1.8 \times 10^{-10} = 1.8 \times 10^{11}$, 平衡常数很大, 可以完全反应, 即氯化银固体全部溶解, D 正确;

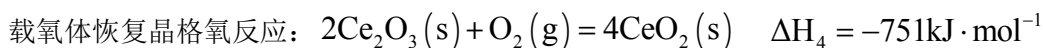
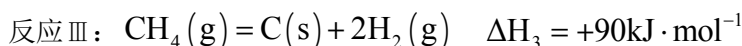
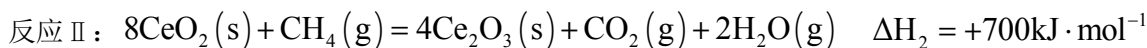
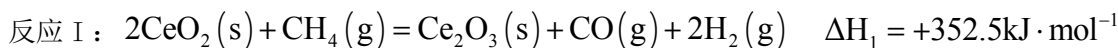
选 BC。

五、化学反应原理综合题（非选择题）

1. (2025 泰安二模, 20) CeO_2 具有优异的储氧和释氧能力, 其晶格氧(O^{2-})可以在还原和氧化条件下灵活迁移, 参与反应。利用晶格氧部分氧化甲烷制合成气(CO 与 H_2) 技术将传统甲烷重整反应分解为几个气固相反应, 实现燃料与氧气不接触反应, 其模型如图所示:



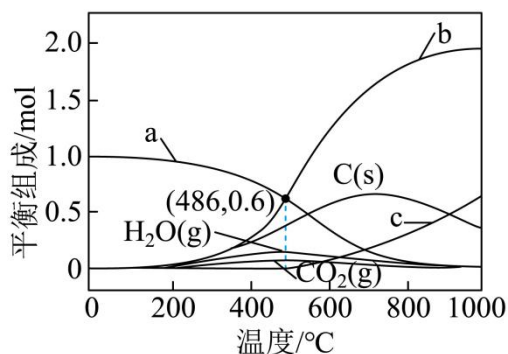
一定温度下晶格氧部分氧化甲烷涉及的主要反应如下:



请回答下列问题:

(1) 该模型部分氧化甲烷制合成气的热化学方程式为: _____。

(2) 将 CH_4 和 CeO_2 加入容器中, 控制投料比为 $n(\text{CeO}_2):n(\text{CH}_4) = 2:1$ 、压强为 100kPa , 平衡时 $\text{C}(\text{s})$ 及各气体的物质的量随温度的变化如图所示。



①图中 c 曲线对应的气体为_____。

②486℃时， $\text{CeO}_2(\text{s})$ 的物质的量为_____mol，反应Ⅲ的压强平衡常数 $K_p(\text{III}) = \text{_____ kPa}$ 。

③保持温度不变，若向平衡体系中通入少量 CH_4 ，重新达平衡后， p_{CO} 将_____（填“增大”“减小”或“不变”）。

（3）当 $n(\text{CH}_4) = 1\text{mol}$ 、 100kPa 时， $n(\text{CeO}_2)$ 越多，温度越高，越有利于合成气的生成，其原因是_____。

【答案】（1） $2\text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -46\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

（2）①. CO ②. 1.2mol ③. 40 ④. 不变

（3） $n(\text{CeO}_2)$ 越大，提供的晶格氧越多，反应 I 占优势；温度越高，对反应 I 的促进作用大于反应Ⅲ，所以有利于合成气的合成

【解析】

【小问 1 详解】

已知：反应 I： $2\text{CeO}_2(\text{s}) + \text{CH}_4(\text{g}) = \text{Ce}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 = +352.5\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ；反应Ⅳ：

$2\text{Ce}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = 4\text{CeO}_2(\text{s}) \quad \Delta H_4 = -751\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 由盖斯定律可知， $2 \times \text{①} + \text{④}$ 得：

$2\text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H = 2 \times (+352.5\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) + (-751\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -46\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ；

【小问 2 详解】

①图 a 中已知 H_2O 、 CO_2 气体的曲线，反应中投料 CH_4 ， CH_4 随着反应气量减少，故 a 为 CH_4 ；由主反应化学方程式可知，消耗 1 分子 CH_4 生成 CO、2 分子 H_2 ，且 CH_4 裂解反应也生成 H_2 ，故 b 为 H_2 ，c 曲线对应的气体为 CO；

②设 $n(\text{CH}_4) = 1.0\text{mol}$ ， $n(\text{CeO}_2) = 2.0\text{mol}$ ，486℃平衡时， CH_4 、 H_2 均为 0.6mol，则生成 H_2 需要消耗 0.3mol CH_4 ，

CO 的物质的量为 0mol，反应 I 不发生，只发生反应Ⅲ，消耗 0mol $\text{CeO}_2(\text{s})$ ，反应Ⅱ消耗 CH_4 的物质的量为

$(1.0\text{mol} - 0.6\text{mol}) - 0.3\text{mol} = 0.1\text{mol}$ ，消耗 0.8mol $\text{CeO}_2(\text{s})$ ，则 486℃时， $\text{CeO}_2(\text{s})$ 的物质的量为 $2 - 0.8\text{mol} = 1.2\text{mol}$ ；

486℃时， $n(\text{CH}_4) = 0.6\text{mol}$ ， $n(\text{H}_2) = 0.6\text{mol}$ ， $n(\text{CO}_2) = 0.1\text{mol}$ ， $n(\text{H}_2\text{O}) = 0.2\text{mol}$ ，反应Ⅲ的压强平衡常数

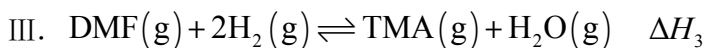
$$K_p(\text{III}) = \frac{p^2(\text{H}_2)}{p(\text{CH}_4)} = \frac{\left(\frac{0.6}{1.5} \times 100\text{kPa}\right)^2}{\frac{0.6}{1.5} \times 100\text{kPa}} = 40\text{kPa} ;$$

③保持温度不变，若向平衡体系中通入少量 CH_4 ，总压强不变，体积增大，与原平衡为等效平衡，重新达平衡后， p_{CO} 将不变；

【小问 3 详解】

根据题目所给信息： CeO_2 具有优异的储氧和释氧能力，其晶格氧(O^{2-})可以在还原和氧化条件下灵活迁移。所以 $n(\text{CeO}_2)$ 越大，提供的晶格氧越多，反应 I 占优势；根据图像可知，温度升高到一定程度，C 固体的物质的量随温度升高而减小，所以温度越高，对反应 I 的促进作用大于反应 III，所以有利于合成气的合成，因此答案为： $n(\text{CeO}_2)$ 越大，提供的晶格氧越多，反应 I 占优势；温度越高，对反应 I 的促进作用大于反应 III，所以有利于合成气的合成。

2. (2025 潍坊二模, 20) N, N 二甲基甲酰胺 $\left[(\text{CH}_3)_2\text{NCHO}\right]$ (DMF) 是常见的有机溶剂，一种 CO_2 加氢耦合二甲胺 $\left[(\text{CH}_3)_2\text{NH}\right]$ (DMA) 制 DMF 的反应如下，副反应产生三甲胺 $\left[(\text{CH}_3)_3\text{N}\right]$ (TMA)：



回答下列问题：

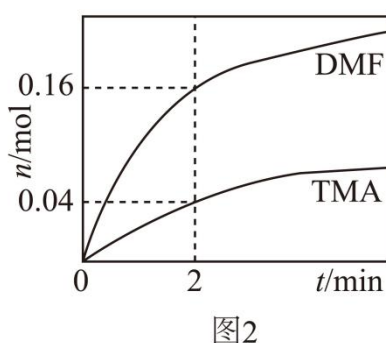
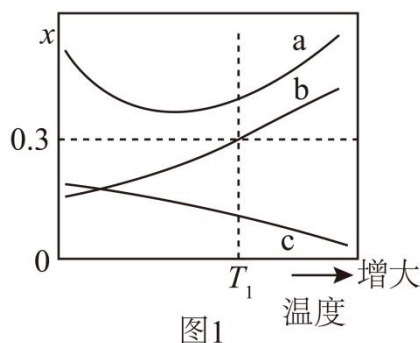
(1) 反应 III 在 _____ (填“较高”“较低”或“任意”) 温度下自发进行。

(2) 将 1 mol DMA 、 1 mol CO_2 、 1.6 mol H_2 ，通入 1 L 密闭容器发生上述反应，体系达平衡后，部分含碳物质的

$$x[x \text{ 为以碳元素计的物质的量分数, } x(\text{DMA}) = \frac{2n(\text{DMA})}{2n(\text{DMA}) + n(\text{CO}_2) + 3n(\text{DMF}) + 3n(\text{TMA})} \times 100\%] \text{ 随温度变}$$

化如图 1 所示，则代表 $x(\text{DMF})$ 的曲线为 _____ (填小写字母)； T_1 温度时， $\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{DMA})} = \frac{5}{6}$ ， $x(\text{CO}_2) = \underline{\hspace{2cm}}$ ，反

应 III 的平衡常数 $K_c = \underline{\hspace{2cm}} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。



(3) T_1 温度下，向 1 L 密闭容器中重新加入 1 mol DMA 、 1 mol CO_2 和适量 H_2 ，发生上述反应，DMF、TMA 的物质的量随时间的变化关系如图 2，2min 内，DMA 的反应速率为 _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，2min 时，体系内

$n(\text{H}_2) = n(\text{H}_2\text{O})$ ，则此时反应 III 的反应速率 $v_{\text{正}}$ _____ $v_{\text{逆}}$ (填“>”“<”或“=”)。

(4) 保持体系总压强和反应物投料比相同, 分别以 He 做辅气与无 He 做辅气投入反应物, DMA 的转化率与温度的关系如图 3, 含 He 的曲线为____, 理由为_____。

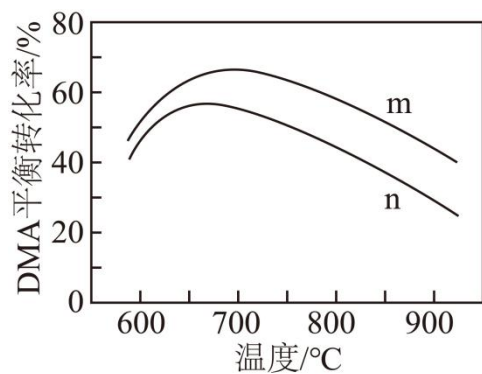


图3

【答案】 (1) 较低 (2) ①. b ②. 20% ③. $\frac{1}{6}$

(3) ①. 0.1 ②. <

(4) ①. n ②. 反应 I 和反应 II 均为气体分子数减小的反应, 在相同温度下, 加入 He, 减小反应体系各物质分压, 平衡逆向移动, DMA 转化率减小

【解析】

【小问 1 详解】

反应 III 是气体分子数减少的反应, 为熵减的反应, 即 $\Delta S < 0$, 且反应 II 减去反应 I 可得反应 III, 即

$\Delta H_3 = \Delta H_2 - \Delta H_1 = -100 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 56 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -156 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 当 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 时反应能自发进行, 则反应 III 在较低温度下能自发进行;

【小问 2 详解】

反应 I 为吸热反应, 升高温度, 反应 I 平衡正向移动, DMF 增多, 反应 II 和 III 为放热反应, 升高温度, 平衡正向移动, 则 TMA 减小, DMF 增多, 综合反应 I、II 和 III 考虑, DMF 一直在增加, 即 $x(\text{DMF})$ 一直在增大, 所以代表 $x(\text{DMF})$ 的曲线为 b, 代表 $x(\text{TMA})$ 的曲线为 c, 代表 $x(\text{DMA})$ 的曲线为 a; 由部分含碳物质的 x 的表达式可知, 分母为含碳物质总的含碳量, 由各物质投料量可知总的含碳量为 3 mol, 分子为某含碳物质中碳的物质的量, 则

T_1 温度时, $x(\text{DMF}) = \frac{3n(\text{DMF})}{3} = 0.3$, 即 $n(\text{DMF}) = 0.3 \text{ mol}$, 列三段式 (反应 III 可由反应 I、II 得到, 故可通过反

应 I、II 列三段式):

	DMA(g)	+	CO ₂ (g)	+	H ₂ (g)	$\rightleftharpoons$	DMF(g)	+	H ₂ O(g)
$n_{\text{起始}}$	1		1		1.6		0		0
$n_{\text{转化}}$	0.3		0.3		0.3		0.3		0.3
$n_{\text{平衡}}$	0.7		0.7		1.3		0.3		0.3

	DMA(g)	+	CO ₂ (g)	+	3H ₂ (g)	⇌	TMA(g)	+	2H ₂ O(g)
$n_{\text{起始}}$	0.7		0.7		1.3		0		0.3
$n_{\text{转化}}$	y		y		$3y$		y		$2y$
$n_{\text{平衡}}$	$0.7-y$		$0.7-y$		$1.3-3y$		y		$0.3+2y$

由 $\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{DMA})} = \frac{5}{6}$ 可知: $\frac{0.3+2y}{0.7-y} = \frac{5}{6}$, 解得 $y=0.1$, 则 $x(\text{CO}_2) = \frac{0.7-0.1}{3} \times 100\% = 20\%$; 反应Ⅲ的平衡常数

$$K_c = \frac{c(\text{H}_2\text{O}) \cdot c(\text{TMA})}{c^2(\text{H}_2) \cdot c(\text{DMF})} = \frac{0.5 \times 0.1}{1^2 \times 0.3} = \frac{1}{6}$$

【小问 3 详解】

由图 2 可列 2min 内转化量三段式:

	DMA(g)	+	CO ₂ (g)	+	H ₂ (g)	⇌	DMF(g)	+	H ₂ O(g)
$n_{\text{起始}}$									
$n_{\text{转化}}$	0.16		0.16		0.16		0.16		0.16
$n_{\text{平衡}}$									

	DMA(g)	+	CO ₂ (g)	+	3H ₂ (g)	⇌	TMA(g)	+	2H ₂ O(g)
$n_{\text{起始}}$									
$n_{\text{转化}}$	0.04		0.04		0.12		0.04		0.08
$n_{\text{平衡}}$									

容器体积为 1L, 则 2min 内 DMA 的转化量为 0.2mol/L, DMA 的反应速率为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; 2min 时, 温度不

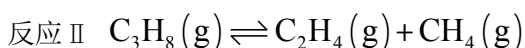
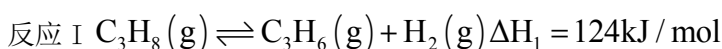
变, 则平衡常数不变, 体系内 $n(\text{H}_2) = n(\text{H}_2\text{O}) = 0.16\text{mol} + 0.08\text{mol} = 0.24\text{mol}$, 则 2min 时, 反应Ⅲ的

$$Q_c = \frac{c(\text{H}_2\text{O}) \cdot c(\text{TMA})}{c^2(\text{H}_2) \cdot c(\text{DMF})} = \frac{0.24 \times 0.04}{0.24^2 \times 0.16} \approx 1.04 > K_c = \frac{1}{6}, \text{此时平衡逆向移动, 所以此时反应Ⅲ的反应速率 } v_{\text{正}} < v_{\text{逆}};$$

【小问 4 详解】

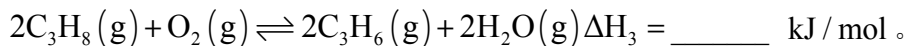
保持体系总压强和反应物投料比相同, 反应 I 和反应 II 均为气体分子数减小的反应, 充入 He, 体积膨胀, 导致反应中各物质浓度减小, 相当于分压减小, 平衡向气体体积增大的方向移动, 即逆向移动, DMA 转化率减小, 所以含 He 的曲线为 n; 理由为: 反应 I 和反应 II 均为气体分子数减小的反应, 在相同温度下, 加入 He, 减小反应体系各物质分压, 平衡逆向移动, DMA 转化率减小。

3. (2025 日照二模, 20) 丙烯是制作医用口罩的原料之一。在一定温度, 丙烷在 RhIn/沸石催化剂表面发生化学反应:

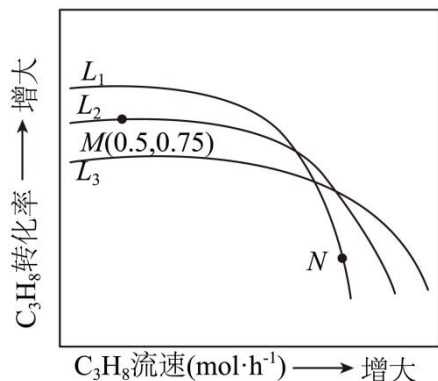


回答下列问题:

(1) 已知氢气的摩尔燃烧焓 $\Delta H = -285.8 \text{ kJ/mol}$, $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \Delta H_2 = -44 \text{ kJ/mol}$, 则



(2) 将丙烷和稀释气 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 分别以不同的起始流速通入温度为 $T^\circ\text{C}$ ，压强为 1.175MPa 的反应器中发生反应 I 和反应 II，维持温度和压强不变，在 $n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8)$ 为 8、10、12 下反应，通过检测流出气体的成分获得丙烷的转化率随丙烷流速变化曲线如图所示(在较低流速下转化率可近似看成平衡转化率)。



① L_3 代表 $n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

② 图中 M 点时 C_2H_4 的选择性为 20%，则 $0\sim 1\text{h}$, $v(\text{H}_2) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol/h}$ ，反应 II 的 $K_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ MPa}$ [已知: C_2H_4

$$\text{的选择性} = \frac{n_{\text{生成}}(\text{C}_2\text{H}_4)}{n_{\text{转化}}(\text{C}_3\text{H}_8)} \times 100\%]。$$

③ 下列措施可增大 N 点丙烷转化率的是 。

- A. 增大丙烷的流速 B. 升高体系的温度
C. 增大 $n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8)$ D. 使用高效的催化剂

④ 流速较大时，丙烷转化率降低，且 L_1 与 L_2 、 L_3 相比降低明显加快的原因是 。

【答案】 (1) -235.6

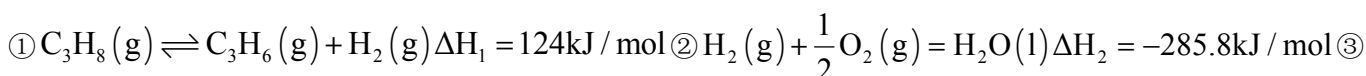
(2) ①. 8 ②. 0.3 ③. 0.009 ④. BD ⑤. 反应未达到平衡时，在相同温度和压强下，

$n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8)$ 增大，丙烷浓度降低，化学反应速率减慢，同时水占据了较多的催化剂表面活性点位，导致催化剂催化效果降低

【解析】

【小问 1 详解】

由题意可得如下热化学方程式：



$\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \Delta H_3 = -44\text{kJ/mol}$ ，由盖斯定律可知，反应① $\times 2$ +反应② $\times 2$ -反应③ $\times 2$ 得到反应



$\times 2 = -235.6 \text{ kJ/mol}$ ，故答案为：-235.6；

【小问 2 详解】

①反应 I 和反应 II 都是气体体积增大的反应，维持温度和压强不变，在较低流速下 $n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8)$ 增大相当于减小平衡体系的压强，平衡向正反应方向移动，丙烷的转化率增大，由图可知，丙烷流速相同时曲线 L_3 对应丙烷的转化率最小，所以 L_3 代表 $n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8)=8$ ，故答案为：8；

②由图可知，图中 M 点 $n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8)=10$ ，丙烷流速为 0.5mol/h 、转化率为 75%，则 0~1h 内 M 点起始水蒸气、丙烷的物质的量分别为 5mol 、 0.5mol ，由丙烷的转化率可知，1h 时，丙烷的物质的量为

$0.5\text{mol}-0.5\text{mol}\times 75\%=0.125\text{mol}$ ，由乙烯的选择性可知，乙烯的物质的量为 $0.5\text{mol}\times 75\%\times 20\%=0.075\text{mol}$ ，丙烯的物质的量为 $0.5\text{mol}\times 75\%\times (1-20\%)=0.3\text{mol}$ ，由方程式可知，氢气、甲烷的物质的量为 0.3mol 、 0.075mol ，则混合气

体的总物质的量为 5.875mol ，氢气的反应速率为 $\frac{0.3\text{mol}}{1\text{h}}=0.3\text{mol/h}$ ，反应 II 的

$$K_p = \frac{\left(\frac{0.075\text{mol}}{5.875\text{mol}} \times 1.175\text{MPa}\right) \times \left(\frac{0.075\text{mol}}{5.875\text{mol}} \times 1.175\text{MPa}\right)}{\left(\frac{0.125\text{mol}}{5.875\text{mol}} \times 1.175\text{MPa}\right)} = 0.009\text{MPa}, \text{故答案为: } 0.3; 0.009;$$

③A. 增大丙烷的流速，丙烷不能在催化剂表面充分接触，会导致分解反应不充分，使得丙烷的转化率减小，故不符合题意；

B. 升高体系的温度，反应速率加快，消耗丙烷的物质的量增大，丙烷的转化率增大，故符合题意；

C. 由图可知，增大 $n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8)$ ，丙烷的转化率减小，故不符合题意；

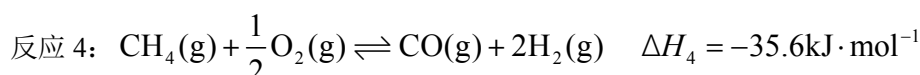
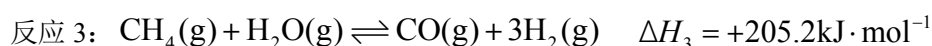
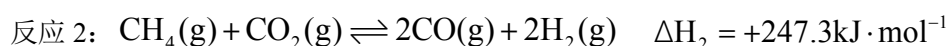
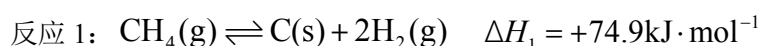
D. 使用高效的催化剂，反应速率加快，消耗丙烷的物质的量增大，丙烷的转化率增大，故符合题意；

故选 BD；

④流速较大时，反应未达到平衡，在相同温度和压强下， $n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8)$ 增大，丙烷浓度降低，化学反应速率减慢，同时水占据了较多的催化剂表面活性点位，导致催化剂催化效果降低，化学反应速率减慢，所流速较大时，以丙烷转化率降低，且 L_1 与 L_2 、 L_3 相比降低明显加快，故答案为：反应未达到平衡时，在相同温度和压强下，

$n(\text{H}_2\text{O}): n(\text{C}_3\text{H}_8)$ 增大，丙烷浓度降低，化学反应速率减慢，同时水占据了较多的催化剂表面活性点位，导致催化剂催化效果降低。

4. (2025 青岛二模, 20) 甲烷重整过程会产生积碳使催化剂失活，通过加入 CO_2 、 H_2O 或 O_2 可以在一定条件下减少或消除积碳。反应分别为：

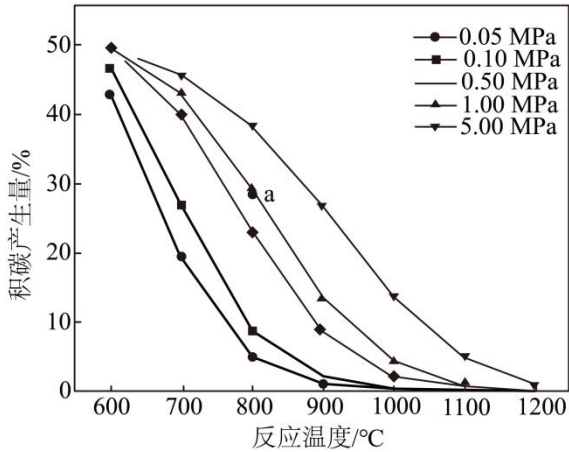


(1) $C(s)$ 摩尔燃烧焓 $\Delta H_5 =$ _____ (用含 ΔH_1 、 ΔH_2 、 ΔH_4 的代数式表示)。根据以上数据, 摩尔燃烧焓:

$CO(g)$ _____ $H_2(g)$ (填 “>”, “=”, “<” 或 “无法判断”)。

(2) 将 $n(CH_4):n(CO_2)=1:1$ 的混合气体置于恒温恒压的密闭容器中, 忽略反应 3 与反应 4。测得充分反应后积

碳产生量[$C(s)$ 占体系中碳总量的摩尔分数]与温度、压强之间的关系如图。



①温度升高会导致积碳减少或完全消失, 原因为_____。在 a 点向容器中通入一定量 N_2 , 则积碳产生量会 _____ (填 “增大”、“减少” 或 “不变”)。

②在 $T^\circ C$ 、 p kPa 条件下, 充分反应后, 容器体积增加了 25%, 反应 1 的压强平衡常数为 $\frac{2p}{25}$ kPa, 则此时 CO 的分

压为 _____ kPa, 反应 2 的压强平衡常数为 $K_p =$ _____ kPa^2 。此时, 下列能够促使反应 2 正向移动的有 _____ (填标号)。

A. 加入少量 $C(s)$ B. 升高温度 C. 加入合适催化剂 D. 以上均不可

【答案】 (1) ①. $2\Delta H_4 - \Delta H_1 - \Delta H_2$ ②. 无法判断

(2) ①. 随着温度升高, 反应 2 正向进行的程度更大 ②. 减少 ③. $0.2p$ ④. $\frac{4}{225}p^2$ ⑤. AB

【解析】

【小问 1 详解】

碳的摩尔燃烧焓是指 100Kpa 时, 1 mol 碳完全燃烧生成 $CO_2(g)$ 时的焓变, 即: 目标化学方程式为

$C(s) + O_2(g) = CO_2(g)$, 利用盖斯定律, 目标热化学方程式为 $C(s) + O_2(g) = CO_2(g)$, 可由 $2 \times$ 反应 4 - 反应 1 - 反应 2 得到, 即 $\Delta H_5 = 2\Delta H_4 - \Delta H_1 - \Delta H_2$;

$CO(g)$ 的摩尔燃烧焓, 反应 6: $CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) = CO_2(g)$ ΔH_6 , $H_2(g)$ 的摩尔燃烧焓, 反应 7:

$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) = H_2O(l)$, $\Delta H_7 < 0$, 反应 6 - 反应 7 得: $CO(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$ ΔH , 要比较

$CO(g)$ 的摩尔燃烧焓与 $H_2(g)$ 的摩尔燃烧焓的相对大小, 即要求 $CO(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$ ΔH 与 0 的大

小关系：反应 3-反应 2 得反应 8： $CO(g)+H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g)+H_2(g) \Delta H_8 = 2.5.2 - 247.3 = -42.1 kJ/mol$ ，
而过程 9： $H_2O(l) = H_2O(g) \Delta H_9 > 0$ ，反应 8+过程 9 得： $CO(g)+H_2O(l) \rightleftharpoons CO_2(g)+H_2(g) \Delta H = \Delta H_8 + \Delta H_9$ ，
无法判断 $\Delta H_8 + \Delta H_9$ 大于 0 还是小于 0，即无法判断 $CO(g)$ 的摩尔燃烧焓与 $H_2(g)$ 的摩尔燃烧焓的相对大小；

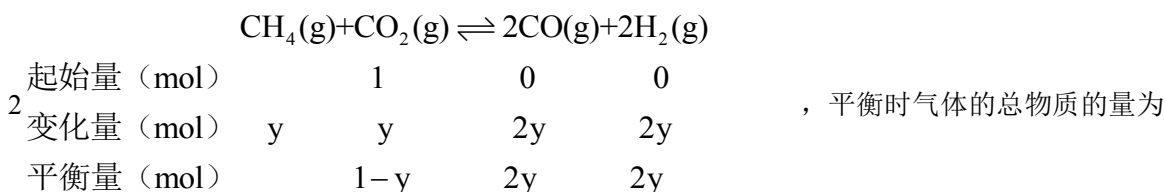
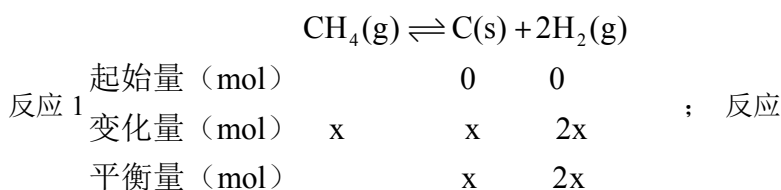
【小问 2 详解】

①反应 1 和反应 2 均为吸热反应，升温，反应正方向进行程度增大，由于反应 2 正向进行的程度更大，甲烷减少，导致反应 1 逆移，故温度升高会导致积碳减少或完全消失；在 a 点向容器中通入一定量 N_2 ，由于容器为恒温恒压容器，通入 N_2 但总压不变，各组分分压减小，即等效减压，由图示可知，相同条件下，压强越小积碳产生量越少，所以在 a 点向容器中通入一定量 N_2 ，积碳产生量减少；

②在 $T^\circ C$ 、 p kPa 条件下，充分反应后，容器体积增加了 25%，反应 1 的压强平衡常数为 $\frac{2p}{25}$ kPa。设初始

时 $n(CH_4)=n(CO_2)=1$ mol，反应后气体总物质的量为 $2 \text{ mol} \times 125\% = 2.5 \text{ mol}$ 。

假设反应 1 生成 $x \text{ mol C(s)}$ 和 $2x \text{ mol H}_2(g)$ ，反应 2 生成 $2y \text{ mol CO(g)}$ 和 $2y \text{ mol H}_2(g)$ ，则平衡时 CH_4 的物质的量为 $1-x-y \text{ mol}$ ：



① $1-x-y+1-y+2x+2y+2y=2.5 \text{ mol}$ ：反应 1 的 $K_p = \frac{p^2(H_2)}{P(CH_4)} = \frac{\left(\frac{2x+2y}{2.5}p\right)^2}{\frac{1-x-y}{2.5}p} = \frac{2p}{25}$ kPa，假设总压为 p kPa，则：

$$p(CH_4) = \frac{n(CH_4)}{n_{\text{总}}}p = \frac{1-x-y}{2.5}p, \quad p(H_2) = \frac{n(H_2)}{n_{\text{总}}}p = \frac{2x+2y}{2.5}p, \quad \text{代入平衡常数表达式: } ② \frac{\left(\frac{2x+2y}{2.5}p\right)^2}{\frac{1-x-y}{2.5}p} = \frac{2p}{25} \text{ kPa,}$$

联立①②解得： $x=-0.1$ ， $y=0.3$ ，起始并没有加碳， x 不可能小于 0，因此该条件下，反应 1 未进行，反应后气体物

质的量增加 0.5 mol ，则有 $2y=0.5$ ， $p(CO) = \frac{n(CO)}{n_{\text{总}}}p = \frac{2y}{2.5}p = \frac{0.5}{2.5}p = 0.2p$ kPa，所以反应 2 的压强平衡常数为：

$$K_p = \frac{p^2(\text{CO})p^2(\text{H}_2)}{p(\text{CH}_4)p(\text{CO}_2)} = \frac{(0.2p)^2 \times (0.2p)^2}{\left(\frac{1-0.25}{2.5}p\right) \times \left(\frac{1-0.25}{2.5}p\right)} = \frac{4p^2}{225} \text{ kPa};$$

A. 最初没有加碳，此时加碳，对反应 1， $Q = \frac{p^2(\text{H}_2)}{p(\text{CH}_4)} = \sqrt{K_{p2}} = \sqrt{\frac{4p^2}{225}} \text{ kPa} = \frac{2p}{15} \text{ kPa} > \frac{2p}{25} \text{ kPa} = K_{p1}$ ，反应 1

逆向进行，甲烷物质的量增多，反应 2 正向移动，A 正确；

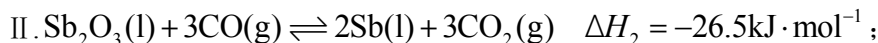
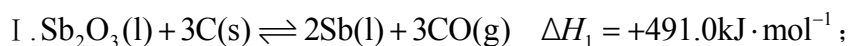
B. 因为反应 2 为吸热反应，升高温度有利于正向移动，B 正确；

C. 催化剂可以加快反应速率，但不改变平衡，C 错误；

D. 由以上分析可知，A、B 正确，D 错误；

故答案为：AB。

5. (2025 临沂二模，20) 锑(Sb)是重要的半导体材料，工业制备粗锑的反应如下。

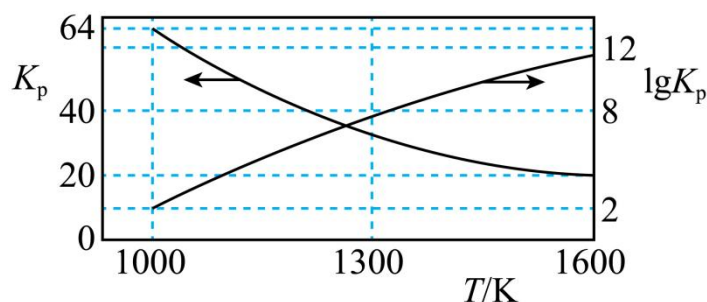


回答下列问题：

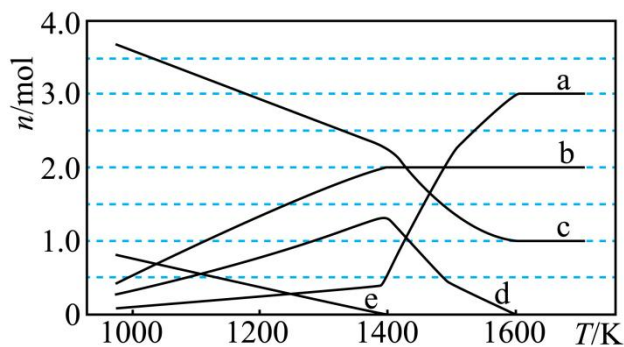
(1) $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 反应 I、II 的 K_p 或 $\lg K_p$ 与温度 T 的关系如下图所示。保持 1000K 不变，在恒容容器中加入 4mol Sb_2O_3 与足量焦炭，发生上述反应，达到平衡时，气体总物质的量为 4mol，则 $\frac{p(\text{CO}_2)}{p(\text{CO})} = \underline{\hspace{2cm}}$ ， Sb_2O_3 的转化率为

$\underline{\hspace{2cm}}$ ；若将容器体积压缩至原来的 $\frac{1}{2}$ ，重新建立平衡后 CO 的体积分数将 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填“变大”“变小”或“不变”)。



(3) 恒压容器中，加入 4mol 焦炭与 1mol Sb_2O_3 ，在一定条件下反应相同时间，测得反应体系中各物质的物质的量与温度的关系如图所示(已知：反应 II 的速率远大于反应 I)。



①a 线对应物种为_____ (填化学式)。

②温度 $T < 910\text{K}$ 时无 Sb 生成, 原因是_____。

③1400K 之前, 随温度升高 d 线对应物质的物质的量不断增大, 原因是_____。

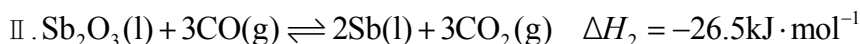
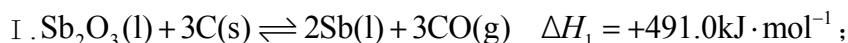
【答案】 (1) +172.5 或 172.5

(2) ①. 4 ②. 60%或 0.6 ③. 不变

(3) ①. CO ②. 反应 I 的 $\Delta H > 0$ 、 $\Delta S > 0$, 高温自发, 910K 之前 $\Delta G > 0$, 反应不自发 ③. 反应 II 快速平衡, 在 1400K 之前, 反应 I 中 CO 量的增多大于温度升高对反应 II 的影响, 所以 CO_2 的物质的量不断增大

【解析】

【小问 1 详解】



根据盖斯定律 $(\text{I} - \text{II}) \times \frac{1}{3}$ 得 $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H = (\Delta H_1 - \Delta H_2) \times \frac{1}{3} = +172.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

【小问 2 详解】

反应 I、II 的 K_p 或 $\lg K_p$ 与温度 T 的关系如下图所示。保持 1000K 不变, 在恒容容器中加入 $4\text{mol Sb}_2\text{O}_3$ 与足量焦炭, 发生上述反应, 达到平衡时, 气体总物质的量为 4mol,

反应 II 放热, 随温度升高, K_p 减小, 根据图示, 1000K 时, II 的=64, 即即 $K_p = \left(\frac{p(\text{CO}_2)}{p(\text{CO})} \right)^3 = 64$, 则 $\frac{p(\text{CO}_2)}{p(\text{CO})} = 4$;

达到平衡时, 气体总物质的量为 4mol, 则 $n(\text{CO})=0.8\text{mol}$ 、 $n(\text{CO}_2)=3.2\text{mol}$, 根据 O 元素守恒, 反应消耗 Sb_2O_3 的物质的量= $\frac{3.2 \times 2 + 0.8}{3} = 2.4\text{mol}$, Sb_2O_3 的转化率为 $\frac{2.4\text{mol}}{4\text{mol}} \times 100\% = 60\%$; 若将容器体积压缩至原来的 $\frac{1}{2}$, 重新建立平衡后, 平衡常数不变, CO 的体积分数将不变。

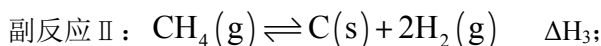
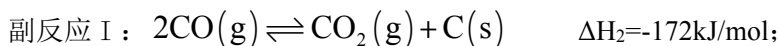
【小问 3 详解】

①反应 II 的速率远大于反应 I, 反应 II 放热, 反应达到平衡后升高温度, 平衡逆向移动, 所以随温度升高, CO_2 的物质的量先增大后减小, 则 d 表示 CO_2 、a 线对应物种为 CO。

②反应 I 的 $\Delta H > 0$ 、 $\Delta S > 0$, 高温自发, 910K 之前 $\Delta G > 0$, 反应不自发, 所以温度 $T < 910\text{K}$ 时无 Sb 生成。

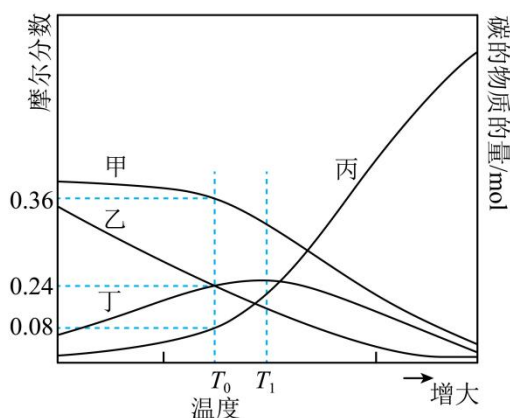
③d 表示 CO_2 ，反应 II 快速平衡，在 1400K 之前，反应 I 中 CO 量的增多大于温度升高对反应 II 的影响，所以 1400K 之前 CO_2 的物质的量不断增大。

6. (2025 聊城二模, 20) 氢能源是一种绿色能源，其工业生产来源之一是天然气，如通过甲烷的重整反应获得 H_2 。



(1) $\text{CH}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 的焓变 $\Delta H_3 =$ _____。

(2) 压强恒定为 p 的密闭容器中加入 CH_4 、 CO_2 各 1mol 进行反应。在不同温度下反应达到平衡时，气相中含碳组分的摩尔分数和碳的物质的量变化曲线如图所示，曲线_____ (填“甲”、“乙”、“丙”或“丁”) 表示 CH_4 的摩尔分数变化。当温度高于 T_1 时，随温度升高曲线丁对应物理量减小的原因是_____。



(3) 压强 p 下、温度为 T_0 时，图示气相中含碳组分的摩尔分数分别为 0.36、0.24、0.08，反应

$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 的 $K_p =$ _____ (写出计算式); 甲烷的转化率为 _____, 碳的物质的量为 _____ mol。若向平衡体系中通入一定量 $\text{Ne}(\text{g})$ ，重新达到平衡后， $n(\text{H}_2)$ 将 _____ (填“增大”、“减小”或“不变”)。

【答案】 (1) $+76 \text{ kJ/mol}$

(2) ①. 乙 ②. 温度高于 T_1 时，副反应 I 起主导因素，随升高温度平衡逆向移动，碳的物质的量减少

(3) ①. $\frac{(0.32p)^2 \times (0.08p)^2}{0.24p \times 0.36p}$ ②. 40% ③. 0.3 ④. 增大

【解析】

【小问 1 详解】

根据盖斯定律，由重整反应+副反应 I 可得副反应 II，则

$$\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 = (+248 \text{ kJ/mol}) + (-172 \text{ kJ/mol}) = +76 \text{ kJ/mol};$$

【小问 2 详解】

根据重整反应： $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 为吸热反应，温度升高，平衡正移，副反应 II：

$\text{CH}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 为吸热反应，温度升高，平衡正移，则 CH_4 的摩尔分数减小，而副反应 I：

$2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s})$ 为放热反应，温度升高，平衡逆移， CO_2 的摩尔分数减小的程度缓慢，故曲线乙代表

CH_4 的摩尔分数随温度的变化，曲线甲代表 CO_2 的摩尔分数随温度的变化；从重整反应、副反应 I 方程式中可以看

出，随 CO_2 的减少， CO 增加，且增加的 CO 为减少的 CO_2 的 2 倍，曲线甲代表 CO_2 的摩尔分数始终减小，图中

曲线丙始终增大，且增加量符合减少的 CO_2 的 2 倍这一特征，而曲线丁的变化为先增大后减小，故曲线丙表示 CO

的摩尔分数随温度的变化，曲线丁表示碳的物质的量变化，当温度高于 T_1 时，随温度升高碳的物质的量减小的原因

是副反应 I 为放热反应，副反应 II 为吸热反应，温度高于 T_1 时随升高温度副反应 I 平衡逆向移动，使碳的物质的

量减少大于副反应 II 平衡正移碳的物质的量增加；故答案为：乙；温度高于 T_1 时，副反应 I 起主导因素，随升

高温平衡逆向移动，碳的物质的量减少；

【小问 3 详解】

根据图像中曲线含义，温度为 T_0 时，图示气相中含碳组分的摩尔分数分别 CO_2 为 0.36、 CH_4 为 0.24、 CO 为 0.08，

则 H_2 为 $1 - 0.36 - 0.24 - 0.08 = 0.32$ ，则反应 $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 的

$$K_p = \frac{p^2(\text{CO}) \cdot p^2(\text{H}_2)}{p(\text{CH}_4) \cdot p(\text{CO}_2)} = \frac{(0.32p)^2 \times (0.08p)^2}{0.24p \times 0.36p}$$

；根据 H 元素守恒可知，生成的 H_2 的物质的量是参加反应的 CH_4 物

质的量的 2 倍，则 CH_4 转化率 = $\frac{0.32 \times \frac{1}{2}}{0.32 \times \frac{1}{2} + 0.24} \times 100\% = 40\%$ ；根据初始密闭容器中加入 CH_4 、 CO_2 各 1mol，

参加反应的 CH_4 为 0.4mol，生成 H_2 的物质的量为 0.8mol，平衡时气体总物质的量为 $\frac{0.8\text{mol}}{0.32} = 2.5\text{mol}$ ，则气相中

含碳组分 CO_2 、 CO 、 CH_4 总物质的量为 $2.5\text{mol} - 0.8\text{mol} = 1.7\text{mol}$ ，根据碳元素守恒，固相碳的物质的量为

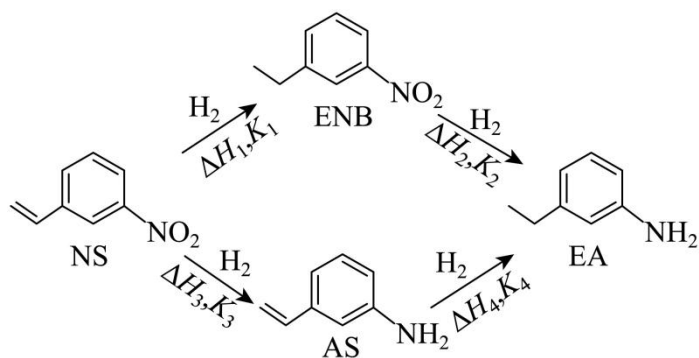
$1.0\text{mol} + 1.0\text{mol} - 1.7\text{mol} = 0.3\text{mol}$ ；若向平衡体系中通入一定量 $\text{Ne}(\text{g})$ ，压强不变，密闭容器体积增大，各气体组

分的分压减小，平衡向气体体积增大的方向移动，即重整反应： $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 及副反

应 II： $\text{CH}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 均向正移，使 $n(\text{H}_2)$ 增大。故答案为： $\frac{(0.32p)^2 \times (0.08p)^2}{0.24p \times 0.36p}$ ；40%；0.3；增

大。

7. （2025 济宁二模，20）利用 3-硝基苯乙烯(NS)制备 3-乙基苯胺(EA)，涉及反应如下：



已知: $\ln K = -\frac{\Delta H}{R} \frac{1}{T} + \frac{\Delta S}{R}$ (R 为常数, 在温度变化范围不大时, 同一反应的 ΔH 、 ΔS 为常数)

(1) 反应④的焓变 $\Delta H_4 =$ _____ (用含 ΔH_1 、 ΔH_2 、 ΔH_3 的代数式表示), 反应①的平衡常数 $K_1 =$ _____ (用含 K_2 、 K_3 、 K_4 的代数式表示)。

(2) 在某选择性催化剂条件下, 四个反应的平衡常数随温度变化的曲线如图 1 所示, c 和 d 分别表示反应②和③的平衡常数随温度变化的曲线, 则表示反应①和④的平衡常数随温度变化曲线为 _____、_____。

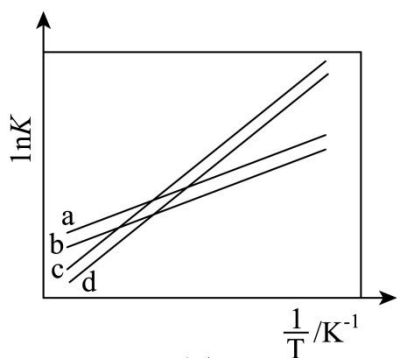


图1

(3) 下列说法错误的是_____。

- a. 四个反应均为放热反应 b. $\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} > 1$ c. 压强越大, 温度越高越有利于生成 EA

(4) 以 1mol NS 为原料, PMPa 的高压 H_2 氛围下(因反应在 H_2 高压氛围下进行, 故 H_2 压强近似等于总压)发生上述反应, 测得不同温度下平衡时产物的选择性、NS 平衡转化率关系如图 2 所示。平衡转化率为 60% 时, AS 的产率 = _____%, 反应①的 $K_p =$ _____。

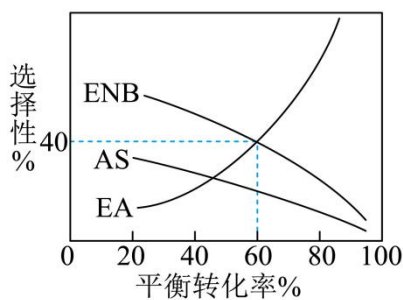


图2

【答案】 (1) ①. $\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$ ②. $\frac{K_3 K_4}{K_2}$

(2) ①. b ②. a

(3) bc (4) ①. 12 ②. $\frac{3}{5P}$

【解析】

【小问 1 详解】

由盖斯定律可知，反应①+反应②-反应③=反应④，则反应④的焓变 $\Delta H_4 = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$ ，反应的平衡常数

$$K_1 = \frac{K_3 K_4}{K_2}，故答案为：\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3；\frac{K_3 K_4}{K_2}；$$

【小问 2 详解】

由题意可知，c 和 d 分别表示反应②和③的平衡常数随温度变化的曲线，升温 K 减小，反应为放热反应， $\Delta H < 0$ ，

$$\ln K = -\frac{\Delta H}{R} \frac{1}{T} + \frac{\Delta S}{R}，c 线在 \ln K 截距更大，\Delta S_2 > \Delta S_3，两条路径的总 \Delta S 相等，即 \Delta S_1 + \Delta S_2 = \Delta S_3 + \Delta S_4，则 \Delta S_1$$

小于 ΔS_4 ，反应①对应的图像在 $\ln K$ 截距更小，对应题图中的 b，反应④对应题图中的 a，所以表示反应①和④的

平衡常数随温度变化曲线分别为 b、a，故答案为：b；a；

【小问 3 详解】

a. 由图可知，温度升高，四个反应的平衡常数均减小，平衡向逆反应方向移动，则四个反应均为放热反应，故正确；

b. 已知： $\ln K = -\frac{\Delta H}{R} \frac{1}{T} + \frac{\Delta S}{R}$ ，由图可知，升温 K 减小，反应为放热反应， $\Delta H < 0$ ，且 ΔH 绝对值越大，图中直线斜率越大， ΔH 越小，c 和 b 分别表示反应②和①的平衡常数随温度变化的曲线，c 线斜率更大，则

$$\Delta H_2 < \Delta H_1 < 0，焓变比值 \frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} < 1，故错误；$$

c. 由图可知，温度升高，四个反应的平衡常数均减小，平衡向逆反应方向移动，则四个反应均为放热反应，则温度越高越不利于生成 EA，故错误；

故选 bc；

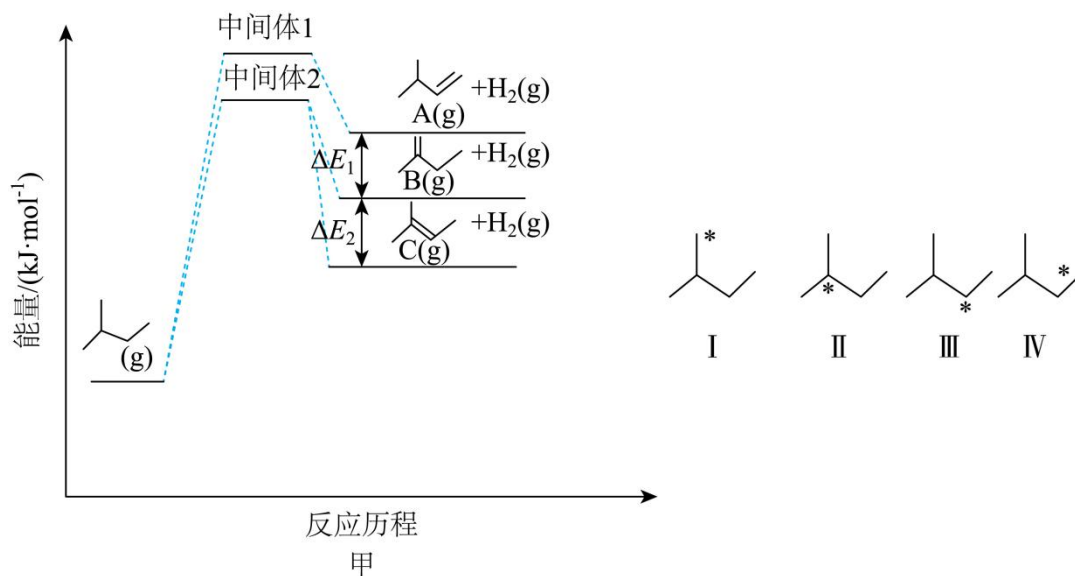
【小问 4 详解】

由图可知，NS 平衡转化率为 60%时，ENB 和 EA 的选择性都为 40%，则平衡时，AS 的产率为

$$\frac{1\text{mol} \times 60\% \times (1-40\%-40\%)}{1\text{mol}} \times 100\% = 12\%，NS 的物质的量为 1\text{mol} - 1\text{mol} \times 60\% = 0.4\text{mol}，ENB、EA、AS 的物质的量分别为 1\text{mol} \times 60\% \times 40\% = 0.24\text{mol}、1\text{mol} \times 60\% \times 40\% = 0.24\text{mol}、1\text{mol} \times 60\% \times 20\% = 0.12\text{mol}，设氢气的物质的量$$

$$\text{为 } a\text{mol}，则由题意可知，反应①的 } K_p = \frac{\frac{0.24}{0.9+a} \times P\text{MPa}}{\left(\frac{0.4}{0.9+a} \times P\text{MPa}\right) \times P\text{MPa}} = \frac{3}{5P}，故答案为：12；\frac{3}{5P}。$$

8. (2025 济南二模，20) 异戊烷催化脱氢生成单烯烃(A、B 和 C)时各微粒的相对能量关系及可能的自由基中间体如图所示：



已知：选择性 $S(A) = \frac{n(\text{生成产物A消耗的异戊烷})}{n(\text{反应消耗的异戊烷})} \times 100\%$ 。

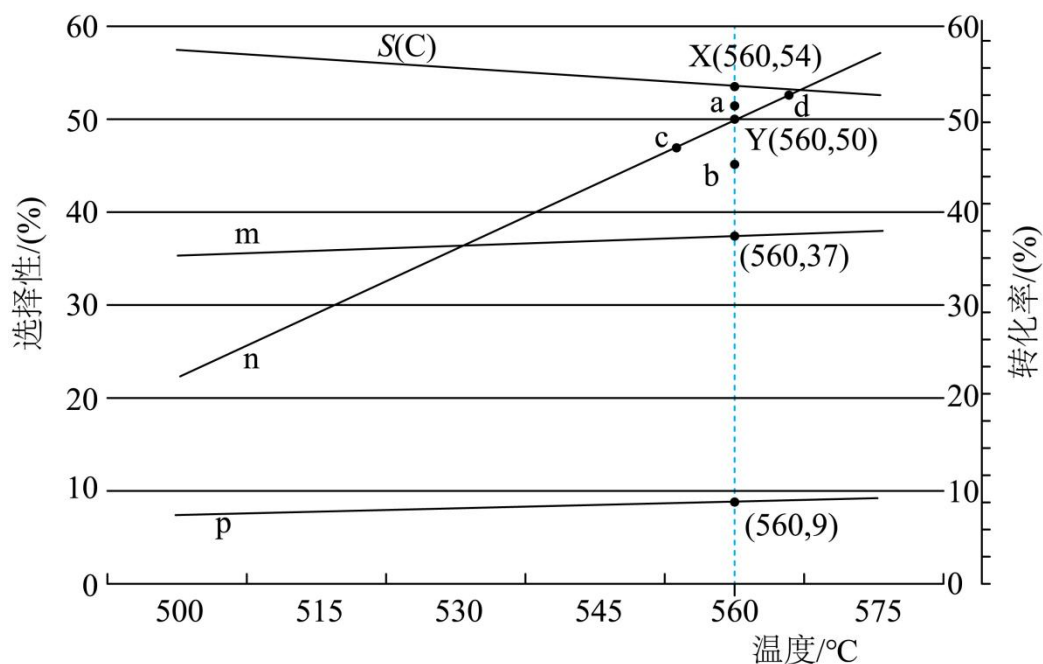
回答下列问题：

(1) 单烯烃产物(A、B和C)中相对较稳定的是_____ (用系统命名法命名)；该条件下反应：

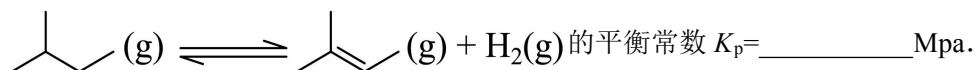
$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 的 $\Delta H =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (用含 ΔE_1 和 ΔE_2 的代数式表示)。

(2) 烷烃催化脱氢机理一般认为是遵循自由基机理：在催化剂作用下，烷失去一个氢原子得到烷基自由基中间体(有供电子基团的烷基自由基一般较为稳定)，再脱掉 β 碳上一个H原子形成单烯烃产物，中间体2可能是图甲中_____ (填“Ⅰ”“Ⅱ”“Ⅲ”或“Ⅳ”)。

(3) 烷烃脱氢过程中通常加入适量氢气防止积碳。在 0.17MPa 下、按氢气和异戊烷相同初始摩尔分数投料，实验测定异戊烷的平衡转化率和各产物选择性 S 随温度的变化关系如图乙所示。



图乙中表示异戊烷的转化率随温度变化的曲线为_____ (填“m”“n”或“p”)；S(C)随温度变化逐渐降低的原因是_____；在 560°C 下，反应达到平衡时 H_2 的分压为_____ MPa；反应



(4) 在 560℃、0.17MPa 下, 氢烃摩尔比为 2 时, 异戊烷的平衡转化率可能对应乙图中的 _____ (填“a” “b” “c” 或 “d”)。

【答案】 (1) ①. 2-甲基-2-丁烯 ②. $-(\Delta E_1 + 2\Delta E_2)$

(2) II (3) ①. n ②. 升高温度, 异戊烷转化率变高, 但正向移动导致转化为物质 A 和 B 增大的程度和比正向移动 C 增加的程度大, 故 C 的选择性降低 ③. 0.102 ④. 0.05508

(4) b

【解析】

【小问 1 详解】

从图中可以看出, 单烯烃产物 C 的能量最低, 则 C 相对较稳定, C 的系统命名名称是: 2-甲基-2-丁烯;

由图可得出: ① $A(g) \rightleftharpoons B(g)$ $\Delta H_1 = -\Delta E_1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

② $B(g) \rightleftharpoons C(g)$ $\Delta H_2 = -\Delta E_2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

依据盖斯定律, 将反应①+2×②得, $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 的 $\Delta H = -(\Delta E_1 + 2\Delta E_2) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

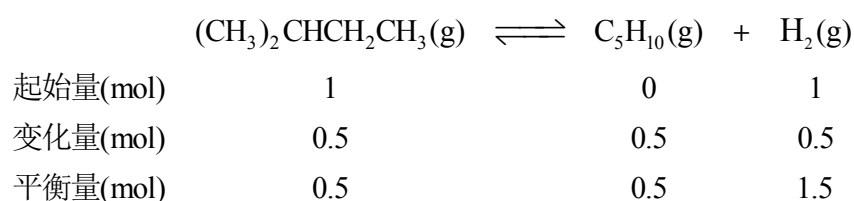
【小问 2 详解】

烷烃催化脱氢机理一般认为是遵循自由基机理: 在催化剂作用下, 烷失去一个氢原子得到烷基自由基中间体(有供电子基团的烷基自由基一般较为稳定), 再脱掉β碳上一个 H 原子形成单烯烃产物, 由图可知, 中间体 2 最终生成产物 B 和 C; 结合 B、C 的结构知, 中间体 2 可能是图甲中 II。

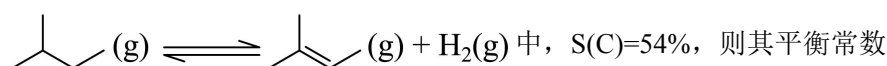
【小问 3 详解】

A、B、C 的选择性之和等于 1; 从甲图中可以看出, 异戊烷分解生成 A、B、C 的反应都为吸热反应, 升高温度, 异戊烷的平衡转化率增大, 所以曲线 n 为异戊烷的转化率曲线; 由分析可知, 图乙中升高温度, S(A)、S(B)都增大, 则 S(C)减小, 所以 S(C)随温度变化逐渐降低的原因是: 升高温度, 异戊烷转化率变高, 但正向移动导致转化为物质 A 和 B 增大的程度和比正向移动 C 增加的程度大, 故 C 的选择性降低;

在 560℃、0.17MPa 下, 按氢气和异戊烷相同初始摩尔分数投料(设二者物质的量都为 1mol), 异戊烷的转化率为 50%, 则可建立如下三段式:



反应达到平衡时 H₂ 的分压为 $\frac{1.5 \text{ mol}}{0.5 \text{ mol} + 0.5 \text{ mol} + 1.5 \text{ mol}} \times 0.17 \text{ MPa} = 0.102 \text{ MPa}$; 反应

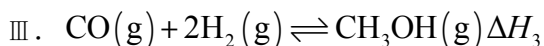
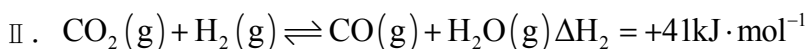
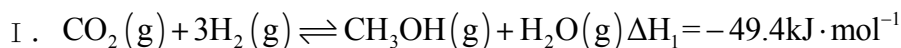


$$K_p = \frac{\frac{1.5}{2.5} \times 0.17 \text{ MPa} \times \frac{0.5 \times 54\%}{2.5} \times 0.17 \text{ MPa}}{\frac{0.5}{2.5} \times 0.17 \text{ MPa}} = 0.05508 \text{ MPa}。$$

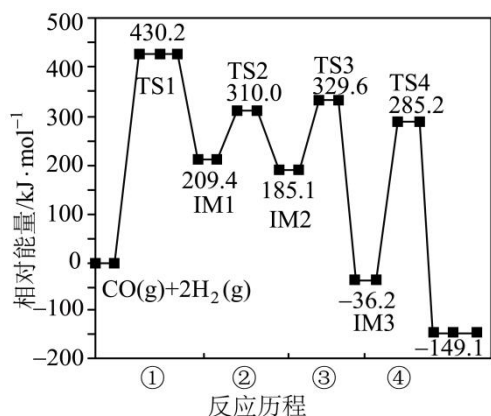
【小问 4 详解】

在 560℃、0.17MPa 下，氢烃摩尔比为 2 时，相当于氢烃摩尔比为 1 时，再增大 H₂ 的物质的量，平衡逆向移动，异戊烷的平衡转化率降低，则异戊烷的平衡转化率可能对应乙图中的 b。

9. （2025 菏泽二模，20）以工业废气中的 CO₂ 为原料催化加氢制备甲醇具有较好的发展前景。涉及以下反应：



(1) $\Delta H_3 =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。计算机模拟 III 的反应历程及能量变化如图所示(TS 代表过渡态，IM 表示中间产物)。催化剂主要降低反应历程中第 _____ 步的能垒(填序号)。



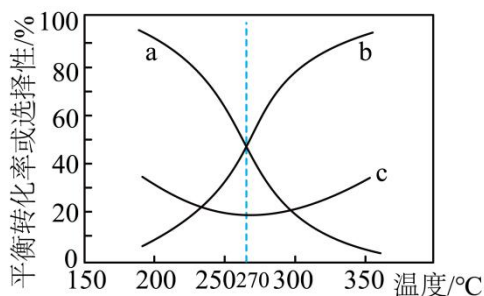
(2) 已知：X 的选择性 $S(X) = \frac{n(\text{生成X消耗的CO}_2)}{n(\text{参与反应的CO}_2)} \times 100\%$ 。将 3mol H₂ 和 1mol CO₂ 充入密闭恒压容器中进行

上述反应，平衡时，CO₂ 转化率 $\alpha(\text{CO}_2)$ 、CH₃OH 选择性 S_1 、CO 选择性 S_2 随温度的变化关系如图所示。则

图中表示 S_1 变化的曲线是 _____ (填标号)；当温度高于 270℃ 时， $\alpha(\text{CO}_2)$ 逐渐增大的原因是 _____。

条件不变，原料气中增加 0.4mol CO(g)，在某温度下达到平衡，测得 $\alpha(\text{CO}_2) = 0.1$ ， $n(\text{CH}_3\text{OH}) = 0.35$ ，则

$n(\text{CO}) =$ _____ mol。



(3) 一定条件下, 将 3molH_2 和 1molCO_2 充入恒容密闭容器中发生上述反应。不同时间容器内的压强见下表, 平衡时测得体系内 CO 的摩尔分数为 10%。

t / min	0	5	10	15	20	25
p / kPa	6.0	5.55	5.2	4.95	4.8	4.8

该温度下反应 III 的平衡常数 $K_p =$ _____ kPa^{-2} (列出计算式即可)。

【答案】 (1) ①. -90.4 ②. ①

(2) ①. a ②. 温度高于 270°C 时, 温度升高, 反应 I 平衡逆向移动, 反应 II 平衡正向移动且程度更大 ③. 0.15

$$(3) \frac{\frac{0.4}{3.2} \times 4.8}{\left(\frac{0.32}{3.2} \times 4.8\right) \left(\frac{1.48}{3.2} \times 4.8\right)^2} \text{ 或 } \frac{0.6}{0.48 \times 2.22^2}$$

【解析】

【小问 1 详解】

根据盖斯定律, 反应 I-II 可得反应 III, 即 $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2 = -49.4\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 41\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -90.4\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; 催化剂能降低反应的活化能, 活化能越大的步骤, 催化剂降低能垒的效果越明显, 由图可知, 步骤①的活化能最大, 所以催化剂主要降低反应历程中第①步的能垒;

【小问 2 详解】

反应 I 是放热反应, 反应 II 是吸热反应, 升高温度, 反应 I 平衡逆向移动, CH_3OH 的选择性降低; 反应 II 平衡正向移动, CO 的选择性升高, 所以表示 S_1 变化的曲线是 a; 温度高于 270°C 时, 温度升高, 反应 I 平衡逆向移动, 反应 II 平衡正向移动且程度更大, 所以当温度高于 270°C 时, $\alpha(\text{CO}_2)$ 逐渐增大; 初始 $n(\text{CO}_2) = 1\text{mol}$, $\alpha(\text{CO}_2) = 0.1$, 则转化的 $n(\text{CO}_2) = 1\text{mol} \times 0.1 = 0.1\text{mol}$, 已知 $n(\text{CH}_3\text{OH}) = 0.35\text{mol}$, 反应 I 中生成 $0.35\text{mol CH}_3\text{OH}$ 消耗 0.35mol CO_2 , 所以反应 II 中消耗的 $n(\text{CO}_2) = 0.1\text{mol} - 0.35\text{mol} < 0$ (不合理, 说明 CO 参与了反应 III), 设反应 II 生成 $x\text{mol CO}$, 反应 III 消耗 $y\text{mol CO}$, 根据 CO_2 的转化量可得: $(x - y) + 0.35 = 0.1$; 初始充入 0.4mol CO , 则平衡时 $n(\text{CO}) = 0.4 + x - y$, 又因为 $n(\text{CH}_3\text{OH}) = 0.35\text{mol}$, 根据反应 III 可知消耗 0.35mol CO , 所以 $n(\text{CO}) = 0.4 + (0.1 - 0.35) = 0.15\text{mol}$;

【小问 3 详解】

设平衡时 CO 的物质的量为 $n(\text{CO})$ ，CO 的摩尔分数为 10%，则 $\frac{n(\text{CO})}{n_{\text{总}}} = 0.1$ ；根据恒温恒容时，压强之比等于物质

的量之比，初始 $n_{\text{总}} = 3\text{mol} + 1\text{mol} = 4\text{mol}$ ，平衡时 $p_{\text{平}} = 4.8\text{kPa}$ ，初始 $p_0 = 6.0\text{kPa}$ ，可得平衡时

$n_{\text{总}} = \frac{4.8\text{kPa}}{6.0\text{kPa}} \times 4\text{mol} = 3.2\text{mol}$ ，所以 $n(\text{CO}) = 0.1 \times 3.2\text{mol} = 0.32\text{mol}$ ，设反应 I 消耗 $x\text{mol CO}_2$ ，反应 II 消耗 0.32mol

CO_2 ，则 $n(\text{CH}_3\text{OH}) = x\text{mol}$ ， $n(\text{CO}) = 0.32\text{mol}$ ， $n(\text{H}_2\text{O}) = (x + 0.32)\text{mol}$ ， $n(\text{CO}_2) = (1 - x - 0.32)\text{mol}$ ，

$n(\text{H}_2) = (3 - 3x - 0.32)\text{mol}$ ， $(1 - x - 0.32) + (3 - 3x - 0.32) + 0.32 + (x + 0.32) + x = 3.2$ ，联立解得 $x = 0.4$ ，则

$n(\text{CO}_2) = (1 - 0.4 - 0.32)\text{mol} = 0.28\text{mol}$ ， $n(\text{H}_2) = (3 - 3 \times 0.4 - 0.32)\text{mol} = 1.48\text{mol}$ ， $n(\text{CH}_3\text{OH}) = 0.4\text{mol}$ ，则

$$\text{该温度下反应 III 的平衡常数 } K_p = \frac{\frac{0.4}{3.2} \times 4.8}{\left(\frac{0.32}{3.2} \times 4.8\right) \left(\frac{1.48}{3.2} \times 4.8\right)^2} \text{kPa}^{-2} = \frac{0.6}{0.48 \times 2.22^2} \text{kPa}^{-2}。$$

10. (2025 滨州二模, 20) 碳酸盐作为地球碳循环的关键物质，其转化和利用与环境气候变化紧密相关。

I. 某研究团队通过直接对碳酸钙进行氢化生成高附加值的化学品，相关反应如下。



(1) CO 与 CH_4 的混合气(体积比为 2:1)可用于合成多种化工产品。利用上述反应获得 1 mol 该混合气，理论上需吸收的热量为_____。

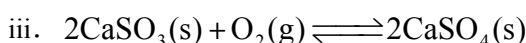
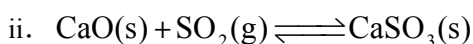
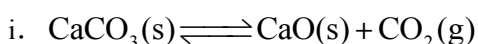
(2) 恒温恒容条件下，向真空密闭容器中加入足量碳酸钙、合适的固体催化剂，通入 2 mol H_2 ，只发生反应 i 和反应 ii，测得装置总压随时间变化如下表：

时间/min	0	10	20	30	40	50
总压/MPa	2.00	2.17	2.08	2.01	1.95	1.95

①反应过程中总压先增大后减小的原因是_____。

②实验结束后共收集到 12.6 g $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ，计算反应 i 的平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{MPa}$ 。

II. 碳酸钙还可用于燃煤脱硫，相关反应如下。



(3) 恒定温度为 $T^\circ\text{C}$ ，在 2 L 的刚性容器中加入一定量的 CaCO_3 和 5 mol SO_2 、3 mol O_2 混合气体，起始压强为

p_0 kPa。

①20 min 时测得体系有 2 mol CO_2 ，则用 CO_2 表示的化学反应速率为_____ kPa · min⁻¹ (用含 p_0 代数式表示)。

②反应一段时间达平衡后，测得体系中总压为 $1.25p_0$ kPa， SO_2 和 O_2 ，体积分数分别为 8%、12%，则体系中 CaSO_3

的物质的量为_____。若继续向刚性容器中充入少量 O_2 ，再次平衡时 $\frac{p(\text{CO}_2)}{p(\text{O}_2)}$ 将_____ (填“增大”、“减小”或“不变”)。

【答案】 (1) 142 kJ

(2) ①. 反应 i 是气体分子数增大的反应，反应 ii 是气体分子数减小的反应。0~10 min，反应 i 速率快，总压增大；10 min 后反应 ii 速率快，总压减小 ②. 0.175 或 7/40

(3) ①. $p_0/80$ ②. 0.6 mol ③. 不变

【解析】

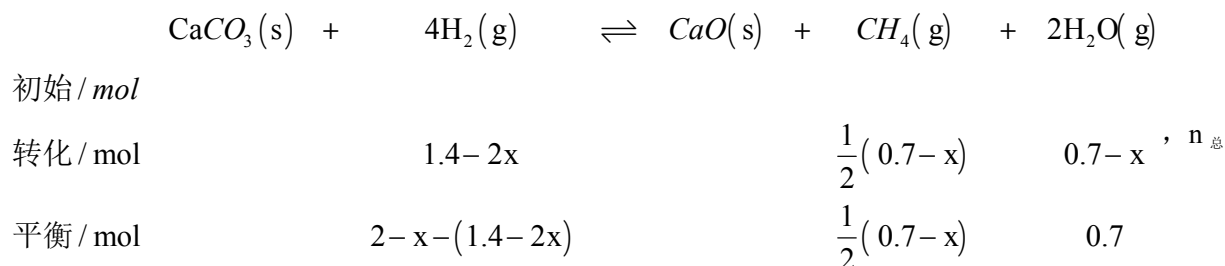
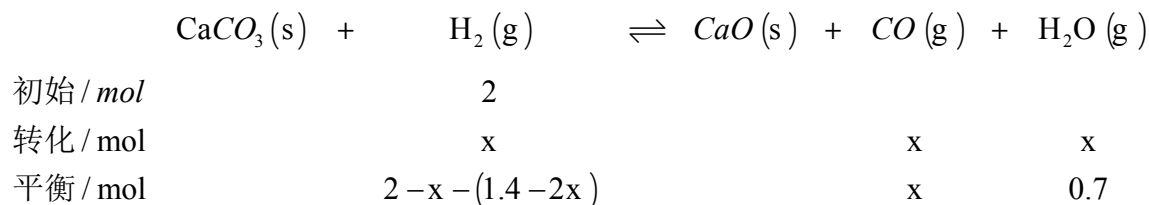
【小问 1 详解】

目标反应方程式 $3\text{CaCO}_3(\text{s}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{CaO}(\text{s}) + 2\text{CO}(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CH}_4(\text{g})$ 可由 2i+ii 得到，根据盖斯定律可知， $\Delta H = 2\Delta H_1 + \Delta H_2 = 2 \times (+220 \text{ kJ/mol}) + (-14 \text{ kJ/mol}) = +426 \text{ kJ/mol}$ ，故获得 1 mol 该混合气，理论上需吸收的热量为 $\frac{426 \text{ kJ}}{3} = 142 \text{ kJ}$ ；

【小问 2 详解】

①反应 i 是气体分子数增大的反应，而反应 ii 是气体分子数减小的反应。刚开始反应 i 进行的程度更大，气压增大；随后反应 ii 进行的程度更大，气压减小，因此反应的总压先增大后减小；②恒温恒容条件下，压强之比等于物质的量之比，反应前 2 mol 气体，总压为 2.00 MPa，平衡后总压为 1.95 MPa，气体总物质的量为 1.95 mol，生成的

$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{12.6 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 0.7 \text{ mol}$ ，设反应 i 生成 x mol H_2O ，列出三段式：



$= 2-x-(1.4-2x) + \frac{1}{2}(0.7-x) + 0.7+x = 1.95$ ， $x=0.2$ ；故平衡时 H_2 、 CH_4 、 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 、 CO 的物质的量分别为 0.8 mol、0.25 mol、

0.7mol、0.2mol，即 H₂、CH₄、H₂O(g)、CO 的分压分别为 0.8MPa、0.25 MPa、0.7 MPa、0.2 MPa，故反应 i 的平衡

常数 $K_p = \frac{p(CO)p(H_2O)}{p(H_2)} = \frac{0.2MPa \times 0.7MPa}{0.8MPa} = \frac{7}{40}MPa = 0.175MPa$ ；

【小问 3 详解】

①恒温恒容条件下，压强之比等于物质的量之比，20min 时，容器内的压强为 $\frac{(3+5+2)mol}{(3+5)mol} p_0 kPa = \frac{5}{4} p_0 kPa$ ，故

用 CO₂ 表示的化学反应速率为 $\frac{2mol}{(2+3+5)mol} \times \frac{5}{4} p_0 kPa \times \frac{1}{20min} = \frac{p_0}{80} kPa \cdot min^{-1}$ ；

②当体系中总压为 1.25p₀ kPa，则 n_总=1.25×(3+5)mol=10mol，此时 SO₂和 O₂的物质的量分别为 0.8mol 和 1.2mol，

故 CaSO₃ 的物质的量为 (5-0.8)mol-2×(3-1.2)mol=0.6mol； $\frac{p(CO_2)}{p(O_2)} = k_i k_{iii}$ ，温度不变，则比值不变。

11. （2025 烟台德州二模，20）(CH₃)₂N-CHO(DMF)是一种常见的有机溶剂，一种 CO₂加氢偶合 (CH₃)₂NH(DMA)制备 DMF 的主要反应以及反应在不同温度下的化学平衡常数如表所示。

化学反应	平衡常数	温度 / °C	
		300	500
①(CH ₃) ₂ NH(g)+CO ₂ (g)+H ₂ (g)⇌(CH ₃) ₂ NCHO(g)+H ₂ O(g) ΔH ₁	K ₁	2.5	2.68
②(CH ₃) ₂ NH(g)+CO ₂ (g)+3H ₂ (g)⇌(CH ₃) ₃ N(g)+2H ₂ O(g) ΔH ₂	K ₂	1.25	1.08
③(CH ₃) ₃ N(g)+H ₂ O(g)⇌(CH ₃) ₂ NCHO(g)+2H ₂ (g) ΔH ₃	K ₃		

回答下列问题：

(1) DMA 在 ZnO-TiO₂ 催化剂表面不同位点上生成 DMF 的基元反应能量变化如下表。

基元反应	Zn-O-Zn 位点		Zn-O-Ti 位点	
	活化能/eV	反应热/eV	活化能/eV	反应热/eV
i . HCOO* + H* + DMA* → HCOOH* + DMA*	2.30	1.55	1.05	0.75
ii . HCOOH* + DMA* → H ₂ O* + DMF*	1.35	-0.65	1.25	-0.45

在_____ (填“Zn-O-Zn”或“Zn-O-Ti”)位点上更有利于 HCOO* 与 DMA* 反应生成 DMF*，该位点上

决速步反应为_____ (填“ i ”或“ ii ”)。

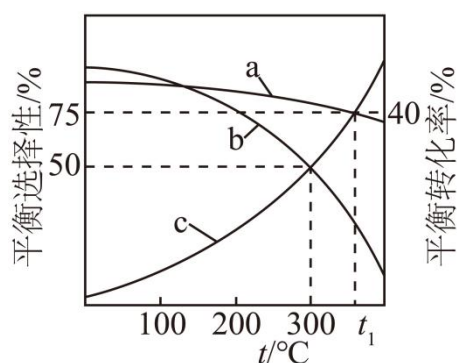
(2) 若反应③正反应的活化能为 E_1 、逆反应的活化能为 E_2 ，则 E_1 _____ (填“>”“<”或“=”) E_2 。已知平衡常

数与温度关系为 $\ln K = -\frac{\Delta H}{RT} + C$ (R 与 C 为常数)，升高相同温度， ΔK_1 、 ΔK_2 、 ΔK_3 由大到小的顺序为

_____。

(3) 在压强恒定为 $p_0 \text{ Pa}$ 的密闭容器中，按 $n(\text{DMA}):n(\text{CO}_2):n(\text{H}_2)=1:1:3$ 充入原料发生上述反应，DMA 的平衡转化率以及 DMF 和 $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ 的平衡选择性随温度的变化如图所示。[X 的平衡选择性

$= \frac{\text{生成X的物质的量}}{\text{参加反应的DMA的物质的量}} \times 100\%$ ，X 为 DMF 或 $(\text{CH}_3)_3\text{N}$]。



①DMF 平衡选择性的曲线是_____ (填序号)；300℃时，若平衡时密闭容器的体积为1L， $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的平衡浓度为 $0.18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\text{H}_2(\text{g})$ 的平衡浓度为_____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，DMA 的平衡转化率为_____。

② $t_1^\circ\text{C}$ 时，用分压表示反应①的平衡常数为_____ Pa^{-1} 。 $t_1^\circ\text{C}$ 时，保持压强恒定为 $p_0 \text{ Pa}$ ，向容器内通入 H_2

使 H_2 的分压保持不变，重新达平衡时， $\frac{c(\text{DMF})}{c[(\text{CH}_3)_3\text{N}]}$ 的值_____ (填“增大”“减小”或“不变”)。

【答案】 (1) ①. Zn—O—Ti ②. ii

(2) ①. > ②. $\Delta K_3 > \Delta K_1 > \Delta K_2$

(3) ①. c ②. 0.6 ③. 42.9% ④. $\frac{25}{32p_0}$ ⑤. 减小

【解析】

【小问 1 详解】

由表格数据可知，在 Zn—O—Ti 位点上反应时，活化能更小，反应速率更快，则在 Zn—O—Ti 位点上更有利于 HCOO^* 与 DMA^* 反应生成 DMF^* ，该位点上反应时，反应 ii 的活化能大于反应 i，反应速率小于反应 i，为该位点上的决速步反应。

【小问 2 详解】

由表格数据可知，升高温度，反应①的平衡常数增大，该反应为吸热反应， $\Delta H_1 > 0$ ，升高温度，反应②的平衡常数减小，该反应为放热反应， $\Delta H_2 < 0$ ，由盖斯定律可知，反应①-反应②可得反应③，则 $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2 > 0$ ，反应③是吸热反应，若反应③正反应的活化能为 E_1 、逆反应的活化能为 E_2 ，则 $E_1 > E_2$ ；

反应①、③是吸热反应，升温， K 增大，反应②是放热反应，升高温度 K 减小，即 $\Delta K_2 < 0$ ，其最小；平衡常数与温度关系为 $\ln K = -\frac{\Delta H}{RT} + C$ (R 与 C 为常数)，则比较 ΔK_1 、 ΔK_3 就是比较函数的斜率，即比较 $|\Delta H_1|$ 、 $|\Delta H_3|$ 的大小，根据上一问可知， $|\Delta H_1| < |\Delta H_3|$ ，则 ΔK_1 、 ΔK_2 、 ΔK_3 由大到小的顺序为 $\Delta K_3 > \Delta K_1 > \Delta K_2$ 。

【小问 3 详解】

①反应①和反应③是吸热反应，升高温度，平衡正向移动，DMA 的平衡选择性增大，则 DMF 平衡选择性的曲线是 c， $(CH_3)_3N$ 的平衡选择性减小，且 DMF 和 $(CH_3)_3N$ 的平衡选择性相加为 1，则 $(CH_3)_3N$ 平衡选择性的曲线是 b，DMA 的平衡转化率曲线为 a，300℃ 时，若平衡时密闭容器的体积为 1L， $H_2O(g)$ 的平衡浓度为 $0.18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，

DMF 和 $(CH_3)_3N$ 的平衡选择性均为 50%，则平衡时 $c(\text{DMF}) = c\{(CH_3)_3N\}$ ，300℃ 时反应③的平衡常数

$$K_3 = \frac{K_1}{K_2} = \frac{2.5}{1.25} = 2 = \frac{c^2(H_2)c(\text{DMF})}{c(H_2O)c\{(CH_3)_3N\}} = \frac{c^2(H_2)}{c(H_2O)} = \frac{c^2(H_2)}{0.18}$$

物是主产物和副产物的互变，利用选择性进行计算时，忽略此反应，DMF 和 $(CH_3)_3N$ 的平衡选择性均为 50%，则反应①生成 $n(H_2O) = 0.06 \text{ mol}$ ，消耗 $n(H_2) = 0.06 \text{ mol}$ ，消耗 $n(\text{DMF}) = 0.06 \text{ mol}$ ，反应②生成 $n(H_2O) = 0.12 \text{ mol}$ ，消耗 $n(H_2) = 0.18 \text{ mol}$ ，消耗 $n(\text{DMF}) = 0.06 \text{ mol}$ ，共消耗 $n(H_2) = 0.06 \text{ mol} + 0.18 \text{ mol} = 0.24 \text{ mol}$ ，则 H_2 的投入量为

$0.24 \text{ mol} + 0.6 \text{ mol} = 0.84 \text{ mol}$ ，由于按 $n(\text{DMA}) : n(\text{CO}_2) : n(H_2) = 1 : 1 : 3$ 充入原料发生上述反应，则

$$n(\text{DMA}) = 0.84 \text{ mol} \times \frac{1}{3} = 0.28 \text{ mol}，\text{DMA 的平衡转化率为} \frac{0.06 + 0.06}{0.28} \times 100\% = 42.9\%。$$

②假设 DMA、 CO_2 、 H_2 的投入量分别为 1mol、1mol、3mol，DMA 的平衡转化率为 40%，DMF 平衡选择性为 75%，

由 N 元素守恒可知， $n(\text{DMA}) = (1 - 0.4) \text{ mol} = 0.6 \text{ mol}$ ， $n\{(CH_3)_3N\} = 0.4 \text{ mol} \times 0.25 = 0.1 \text{ mol}$ ， $n(\text{DMF}) = 0.4 \text{ mol} \times 0.75 = 0.3 \text{ mol}$ ，

由 C 元素守恒可知， $n(\text{CO}_2) = 2 \text{ mol} + 1 \text{ mol} - 2 \times 0.6 \text{ mol} - 3 \times 0.1 \text{ mol} - 3 \times 0.3 \text{ mol} = 0.6 \text{ mol}$ ，由 O 元素守恒可知，

$n(H_2O) = 2 \text{ mol} - 2 \times 0.6 \text{ mol} - 0.3 \text{ mol} = 0.5 \text{ mol}$ ，由反应①和反应②系数关系可知， $n(H_2) = 3 \text{ mol} - 0.3 \text{ mol} - 0.1 \times 3 \text{ mol} = 2.4 \text{ mol}$ ，

气体总物质的量为 $0.6 \text{ mol} + 0.3 \text{ mol} + 0.1 \text{ mol} + 0.6 \text{ mol} + 0.5 \text{ mol} + 2.4 \text{ mol} = 4.5 \text{ mol}$ ，用分压表示反应①的平衡常数为

$$K_p = \frac{\frac{0.5}{4.5} \times p_0 \times \frac{0.3}{4.5} \times p_0}{\frac{0.6}{4.5} \times p_0 \times \frac{0.6}{4.5} \times p_0 \times \frac{2.4}{4.5} \times p_0} = \frac{25}{32p_0}，\text{温度不变，反应③的} K_p = \frac{p^2(H_2)p(\text{DMF})}{p(H_2O)p[(CH_3)_3N]} \text{是定值，保持压强恒}$$

定为 $p_0 \text{ Pa}$ ，向容器内通入 H_2 使 H_2 的分压保持不变，相对于原平衡， H_2 的分压增大，反应①、②平衡正移，反应

③平衡逆移，则 $p(\text{H}_2\text{O})$ 增大， K_p 、 $p(\text{H}_2)$ 均为定值，则 $\frac{c(\text{DMF})}{c[(\text{CH}_3)_3\text{N}]}$ 减小。

第五部分 物质结构与性质

一、物质结构与性质

1. (2025 济南二模, 3) 下列关于肼(NH_2NH_2)、甲胺(CH_3NH_2)、羟胺(NH_2OH)的描述错误的是

- A. 分子中所含电子数目相同
- B. C、N、O 原子的 VSEPR 模型相同
- C. 均能与水形成氢键, 增大在水中溶解度
- D. 中心 N 原子结合 H^+ 的能力: $\text{NH}_2\text{OH} > \text{NH}_2\text{NH}_2 > \text{CH}_3\text{NH}_2$

【答案】D

【解析】

【详解】A. NH_2NH_2 含 18 个电子, CH_3NH_2 含 18 个电子, NH_2OH 含 18 个电子, 电子数目相同, 故 A 正确;
B. 三种分子中 C、N、O 均含 4 对价层电子对, VSEPR 模型相同, 故 B 正确;
C. 三种分子中均含电负性强的 N 原子, 能与水分子之间形成氢键, 从而增大在水中溶解度, 故 C 正确;
D. 羟胺中 N 原子受邻近 O 原子的吸电子效用影响, 孤电子对更难给出, 碱性最弱, 结合氢离子能力最弱, 结合氢离子能力顺序应为: $\text{NH}_2\text{OH} < \text{NH}_2\text{NH}_2 < \text{CH}_3\text{NH}_2$, 故 D 错误;

故选: D。

2. (2025 烟台德州二模, 3) 下列事实不能用电负性解释的是

- A. 干冰的熔点小于石英
- B. B_2H_6 中氢元素的化合价为 -1 价
- C. CF_3COOH 的酸性强于 CCl_3COOH
- D. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 的稳定性强于 $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$

【答案】A

【解析】

【详解】A. 石英即二氧化硅, 是共价晶体, 干冰是分子晶体, 共价键比分子间作用力强, 所以石英的熔点高于干冰, 不能用电负性解释, A 选;
B. 元素的电负性越大, 对成键电子的吸引力越强, 在形成化合物时易呈现负价, B 的电负性小于 H, 所以 B_2H_6 中 H 为 -1 价, 与电负性有关, B 不选;
C. 氟元素的电负性大于氯元素, F-C 的极性大于 Cl-C, 使 $\text{F}_3\text{C}-$ 的极性大于 $\text{Cl}_3\text{C}-$ 的极性, 对羧基的吸电子能力大于 $\text{Cl}_3\text{C}-$, CF_3COOH 中 O-H 的极性大于 CCl_3COOH 中 O-H 的极性, 所以 CF_3COOH 更易电离出氢离子, 酸性强于 CCl_3COOH , C 不选;
D. 氧的电负性大于氮, 氧原子对电子的吸引能力大于 N, N 原子给容易给出电子形成配位键, 则铜离子与氨气可

形成更稳定配位键，则稳定性： $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} > [\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ ，D 不选；

故选 A。

3. (2025 济宁二模，4) 下列属于非极性分子的是

- A. O_3 B. SeO_3 C. Cl_2O D. CH_2F_2

【答案】B

【解析】

【详解】A. O_3 为 V 形结构，正负电荷重心不重合，为极性分子，故 A 错误；

B. SeO_3 中心原子 Se 的价层电子对数是 $3 + \frac{6-3 \times 2}{2} = 3$ ，无孤对电子，是平面三角形结构，为非极性分子，故 B 正确；

C. Cl_2O 的中心原子 O 价层电子对数为 $2 + \frac{1}{2}(6-2 \times 1) = 4$ ，为 V 形结构，正负电荷的重心不重合，属极性分子，故 C 错误；

D. CH_2F_2 为四面体结构，正负电荷重心不重合，为极性分子，故 D 错误；

故选 B。

4. (2025 青岛二模，4) 离子晶体的熔点差异较大。下列离子晶体的熔点最低的是

- A. CaO B. KCl C. Na_2SO_4 D. CH_3COOCs

【答案】D

【解析】

【分析】离子晶体中形成离子键的离子半径越小，电荷数越多，离子键越强，熔沸点越高。据此分析作答。

【详解】① CaO ：离子半径较小，电荷数为 2；

② KCl ： K^+ 半径比 Ca^{2+} 大，电荷数为 1；

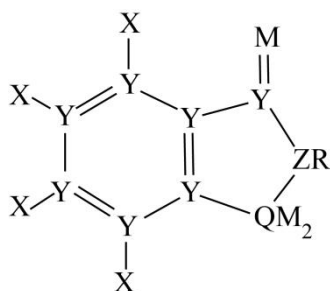
③ Na_2SO_4 ： Na^+ 半径比 K^+ 小，电荷数为 2；

④ CH_3COOCs ： Cs^+ 的半径比 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 都大，电荷数为 1；

综上分析可知， CH_3COOCs 离子键最弱，熔沸点最低；

故选 D。

5. (2025 菏泽二模，4) 一种食品添加剂的结构如图。已知 X、Y、Z、M、R、Q 为短周期主族元素，原子序数依次增大，最外层电子数之和为 23，X 的基态原子核外电子只有一种自旋取向，M 与 Q 同族。下列说法错误的是



A. 原子半径: $R > Y > Z$

B. 第一电离能: $R > Z > M$

C. 简单氢化物的热稳定性: $M > Q$

D. X 的氧化物与 Q 的氧化物反应可能发生氧化还原反应

【答案】B

【解析】

【分析】X 的基态原子核外电子只有一种自旋取向, 说明 X 只有 1 个电子, 所以 X 为 H 元素, 由食品添加剂的结构可知, Y 形成 4 个共价键, X、Y、Z、M、R、Q 为短周期主族元素, 原子序数依次增大, 若 Y 为 Si, 则不满足 Q 为短周期主族元素, 所以 Y 为 C; M 形成 2 个共价键, 若 M 为 S, 则不满足 Q 为短周期主族元素, 所以 M 为 O, M 与 Q 同族, 原子序数大于 O, 则 Q 为 S, 由原子序数依次增大, 可得 Z 为 N, 由最外层电子数之和为 23, 可得 R 的最外层电子数为 $23 - (1 + 4 + 5 + 6 + 6) = 1$, 则 R 为 Na, 据此回答。

【详解】A. 由分析知, R 为 Na, Y 为 C, Z 为 N, Na 位于第三周期, 原子半径最大, C 和 N 为与同周期, 原子半径 $C > N$, 则原子半径: $Na > C > N$, A 正确;

B. 由分析知, R 为 Na, Z 为 N, M 为 O, Na 第一电离能三者中最小, 由于 N 的 2p 轨道为半满结构, 第一电离能大于 O, 故第一电离能: $N > O > Na$, B 错误;

C. M 为 O, Q 为 S, 非金属性 $O > S$, 非金属性越强, 简单气态氢化物的稳定性越强, 则简单氢化物的热稳定性: $H_2O > H_2S$, C 正确;

D. H 的氧化物中 H_2O_2 能与 S 的氧化物中的 SO_2 发生 $SO_2 + H_2O_2 = H_2SO_4$ 反应, 该反应中, S 的化合价升高, O 的化合价降低, 属于氧化还原反应, D 正确;

故选 B。

6. (2025 临沂二模, 4) 下列两者对应关系错误的是

A. 等离子体用于制造显示器, 与其含有带电粒子有关

B. 碳纳米管可用作新型储氢材料, 与其比表面积有关

C. 碱金属中 Li 熔点最高, 与碱金属的价电子数目有关

D. 18-冠-6 识别 K^+ 的能力强于 12-冠-4, 与其空腔直径有关

【答案】C

【解析】

【详解】A. 等离子体是电离气体, 含有自由电子和离子(带电粒子), 在等离子显示器中, 电场作用于带电粒子, 激发气体发光, 故 A 正确;

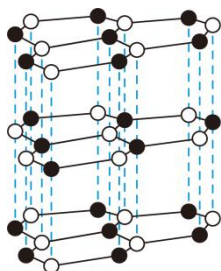
B. 碳纳米管具有极高的比表面积(单位质量或体积的表面积), 能高效吸附氢气分子, 实现储氢功能, 故 B 正确;

C. 碱金属(Li、Na、K、Rb、Cs)的价电子数均为 1, 但 Li 的熔点(180°C)最高, Na(98°C)、K(63°C)等依次降低, 熔点差异主要与原子半径和金属键强度有关: Li 原子半径最小, 金属键最强, 故熔点最高, 而非价电子数目(所有碱金属价电子数相同), 故 C 错误;

D. 冠醚是一类环状化合物, 其识别阳离子的能力取决于其空腔直径与离子直径的匹配, 18-冠-6 空腔直径与 K^+ 直径近似, 12-冠-6 空腔直径小与 K^+ 直径, 因此 18-冠-6 识别 K^+ 的能力强于 12-冠-4, 故 D 正确;

故答案为 C。

7. (2025 聊城二模, 5) 氮化硼(BN)_x 的六方晶型与石墨类似, 其结构如图所示。下列说法正确的是



A. (BN)_x 属于共价晶体

B. (BN)_x 可作高温润滑剂

C. (BN)_x 是一种良好的导体

D. 1mol (BN)_x 含有 3 mol σ 键

【答案】B

【解析】

【分析】氮化硼(BN)_x 的六方晶型与石墨类似, 为层状结构, 层内存在共价键, 层间存在范德华力, 故为混合型晶体, 适用于高温环境, 据此分析作答。

【详解】A. 由分析可知, (BN)_x 与石墨类似, 因此不属于共价晶体, 故 A 错误;

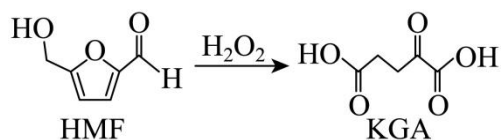
B. (BN)_x 与石墨类似, 层间存在范德华力, 层与层之间容易滑动, 且适用于高温环境, 可作高温润滑剂, 故 B 正确;

C. (BN)_x 虽与石墨类似, 但由图可知, (BN)_x 中 1 个 B 原子与 3 个 N 原子相连, B 原子最外层 3 个电子都参与形成共价键, 层与层之间没有自由移动的电子, 故不能导电, 故 C 错误;

D. (BN)_x 中每个 B 原子与 3 个 N 原子相连, 形成 3 个 σ 键, 每个 N 子与 3 个 B 原子相连, 形成 3 个 σ 键, 根据均摊法可知, 平均每个(BN)_x 中含有 $3x$ 个 σ 键, 所以 1mol(BN)_x 含有 $3x$ mol σ 键, 故 D 错误;

答案选 B。

8. (2025 临沂二模, 6) α -酮戊二酸(KGA)是有机合成的重要中间体, 可由下列反应制得。下列说法正确的是



A. H-O 键极性: $HMF > KGA$

B. 在水中溶解度: $KGA > HMF$

C. HMF 含有平面形五元环, 大 π 键可表示为 π_5^5

D. HMF 中 C-O 键的键长均相等

【答案】B

【解析】

【详解】A. CH_2 给电子, $C=O$ 吸电子, KGA 中的 O-H 键极性更大, 故 A 错误;

- B. KGA 有 2 个羧基(亲水基)，而 HMF 含有一个五元环(憎水基)，故 KGA 在水中溶解度更大，故 B 正确；
- C. 氧提供 2 个电子，每个 C 提供单电子，大 π 键表示为 π_5^6 ，故 C 错误；
- D. C-O 和 C=O 键长不相等，故 D 错误；

故答案为 B。

9. （2025 聊城二模，6）结构决定性质，性质决定用途。下列对应解释错误的是

选项	用途	解释
A	N ₂ 可用于反应的保护气	N ₂ 中 N≡N 键能大
B	次氯酸钠可用于杀菌消毒	次氯酸钠水解呈碱性
C	Ti—Fe 合金可用于储存 H ₂	Ti—Fe 合金能与 H ₂ 结合成金属氢化物
D	甘油可用于配制化妆品	甘油能与水形成氢键保湿

【答案】B

【解析】

- 【详解】A. 氮气中存在氮氮三键，键能大，分子结构稳定，化学性质不活泼，不易与其他物质发生反应，所以可用于反应的保护气，A 正确；
- B. 次氯酸钠用于杀菌消毒，是因为次氯酸钠水解生成次氯酸，次氯酸具有强氧化性，能使蛋白质变性，从而起到杀菌消毒的作用，而不是因为次氯酸钠水解呈碱性，B 错误；
- C. Ti- Fe 合金能与氢气结合成金属氢化物，在一定条件下又能释放出氢气，可用于储存氢气，C 正确；
- D. 甘油即丙三醇，分子中含有多个羟基，能与水分子形成氢键，具有良好的吸水性和保湿性，可用于配制化妆品，D 正确；

故答案选 B。

10. （2025 菏泽二模，6）下列化合物，按其晶体的熔点由高到低排列正确的是

- A. SiCl₄、SiF₄、SiH₄
B. 晶体硅、碳化硅、金刚石
- C. H₂Se、H₂S、H₂O
D. CsCl、KCl、NaCl

【答案】A

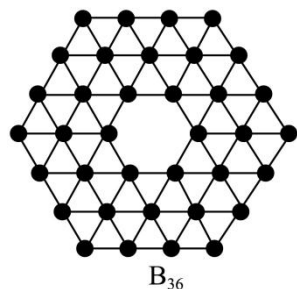
【解析】

- 【详解】A. 这几种物质都属于分子晶体且都不含氢键，其相对分子质量依次减小，则熔点依次降低，A 正确；
- B. 这几种物质都是原子晶体，键长 C-C<C-Si<Si-Si，所以熔点：晶体硅<SiC<金刚石，B 错误；
- C. 这几种物质都属于分子晶体，但水中含有氢键熔点最高，相对分子质量 H₂Se>H₂S，分子间作用力 H₂Se 更强，所以熔点高低顺序是 H₂O>H₂Se>H₂S，C 错误；
- D. 这几种物质都是离子晶体，阴离子相同，阳离子所带电荷相同，阳离子半径依次减小，则熔点依次升高，D 错

误；

故答案选 A。

11. (2025 济宁二模, 7) B_{36} 是一种二维平面结构的“硼烯”, 原子间排成三角形, 中间形成一个完美六边形空穴, 如图, 下列有关说法错误的是



- A. B_{40} 与 B_{36} 互为同素异形体
- B. B_{36} 表面形成 B-F 键, 抗氧化性增强
- C. 嵌入 Li 原子形成 $Li@B_{36}$, 可作电池正极材料
- D. B_{36} 表面接 -COOH, 可增强其水溶性

【答案】C

【解析】

【详解】A. B_{40} 与 B_{36} 都由硼元素组成的单质, 互为同素异形体, 故 A 正确;
B. B_{36} 表面形成 B-F 键, 键能大, 抗氧化性增强, 故 B 正确;
C. 嵌入 Li 原子形成 $Li@B_{36}$, 具有还原性, 可作电池负极材料, 故 C 错误;
D. B_{36} 表面接 -COOH, -COOH 为亲水基, 可增强其水溶性, 故 D 正确;
故选 C。

12. (2025 泰安二模, 7) “离子液体”硝酸乙基铵 $[(C_2H_5NH_3)NO_3]$ 的熔点只有 $12^\circ C$, 下列有关说法正确的是

- A. 原子半径: $O > N > C > H$
- B. $C_2H_5NH_2$ 结合质子的能力比 NH_3 弱
- C. 该物质中的化学键有氢键、离子键、共价键和配位键
- D. 该物质常温下是液体, 主要原因是阳离子体积大, 离子键弱

【答案】D

【解析】

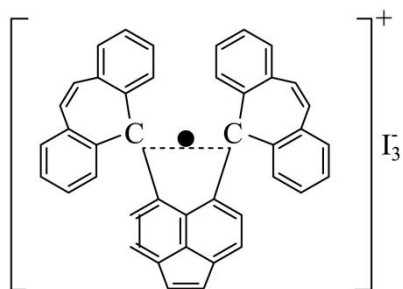
【详解】A. 电子层数越多, 原子半径越大, 电子层数相同, 原子核电荷数越大, 半径越小, 所以原子半径: $C > N > O > H$, A 错误;
B. 结合质子的能力与元素的电负性和成键情况有关, NH_3 中氮元素的化合价为 -3 价, 而 $C_2H_5NH_2$ 中氮元素的化合价为 -2 价, $C_2H_5NH_2$ 中氮原子的孤电子对更多, 更容易结合质子, 所以 $C_2H_5NH_2$ 结合质子的能力比 NH_3 强, B 错误;

C. 硝酸乙基铵属于离子化合物，该物质中阳离子 $(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3)^+$ 和阴离子 NO_3^- 之间存在离子键，阳离子和阴离子内部原子之间存在共价键，同时 $(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3)^+$ 中氮原子提供孤电子对，与 H^+ 中的空轨道形成配位键。而氢键不是化学键，是一种分子间作用力，该物质中的化学键有离子键、共价键和配位键，没有氢键，C 错误；

D. “离子液体”硝酸乙基铵中，阳离子 $(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3)^+$ 体积较大，导致离子间距离较大，离子键的作用力相对较弱，使得物质的熔点较低，常温下是液体，D 正确；

故答案选 D。

13. (2025 菏泽二模，7) 近期研究人员证实了含碳-碳单电子 σ 键化合物的存在。其中一种化合物的结构如图，虚线和圆点表示仅有 1 个共用电子的共价键。下列说法错误的是



- A. 该化合物含有离子键、共价键
- B. 该化合物中碳原子的杂化方式为 sp^2
- C. 该碳-碳单电子 σ 键的键长比普通碳-碳单键的键长要长
- D. 依据价层电子对互斥理论， I_3^- 的中心碘原子价层电子对数为 5

【答案】B

【解析】

【详解】A. 该化合物由阴阳离子构成，含有离子键，阴阳离子内部含共价键，A 正确；

B. 该化合物中苯环和碳碳双键连接的 C 原子为 sp^2 杂化，虚线和圆点连接的碳原子的杂化方式为 sp^3 ，B 错误；

C. 该碳-碳单电子 σ 键仅有一个单电子，作用力较弱，键长比普通碳-碳单键的键长要长，C 正确；

D. 依据价层电子对互斥理论， I_3^- 的中心碘原子的价电子数为 7，每个配位碘原子贡献 1 个电子，共 2 个（两个配位原子），由于离子带一个单位负电荷，需加上 1 个电子，价层电子对数为 $\frac{7+2\times 1+1}{2}=5$ ，D 正确；

故选 B。

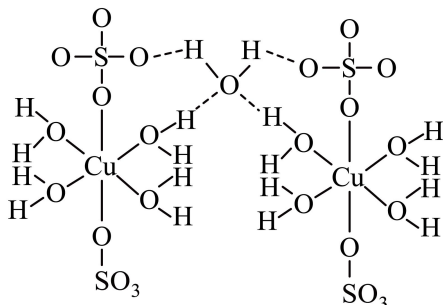
14. (2025 青岛二模，11) (不定项) 实验 1：将胆矾(部分结构如图)配成 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 溶液，取 4mL 溶液逐滴加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水至过量，加入 8mL95%乙醇，并用玻璃棒摩擦试管内壁。

实验 2：将大小形状相同的铁丝分别浸入相同体积浓度均为 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 CuSO_4 溶液和 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 溶液，表面明显析出红色固体的时间分别为 3min 和 24h。

实验 3: 取 $0.2\text{g Cu}(\text{OH})_2$ 固体, 逐滴加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氨水, 固体不溶解, 再加入少量 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 固体大部分溶解。

已知: ① $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}(\text{aq}) + 2\text{NH}_4^+(\text{aq}) = [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $K = 5 \times 10^2$

② $K_b(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}) = 1.8 \times 10^{-5}$



下列说法错误的是

- A. 脱去胆矾中不同水分子时所需的温度相同
- B. 电负性: $\text{O} > \text{H} > \text{S}$
- C. 与 Cu^{2+} 配位的能力: $\text{NH}_3 > \text{H}_2\text{O}$
- D. 摩擦试管内壁和加入乙醇均有利于铜氨配合物晶体析出

【答案】AB

【解析】

【分析】实验 1: 向盛有 $4\text{mL } 0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 蓝色 CuSO_4 溶液的试管中, 滴加几滴 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水, 有 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 蓝色沉淀生成, 继续滴加氨水并振荡试管, 沉淀溶解, 得到深蓝色溶液, 生成 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, 向试管中加入 $8\text{mL } 95\%$ 乙醇, 降低了溶剂的极性, 并用玻璃棒摩擦试管壁, 有深蓝色晶体析出。

【详解】A. 由图可知, 胆矾晶体中, 每个铜离子和 4 个水分子通过配位键形成配离子, 另一个水分子通过氢键相连接, 则结晶水分子与硫酸铜结合的能力不完全相同, 则失去结晶水克服的作用力大小不完全相同, 故 A 错误;

B. 同主族从上到下元素的电负性递减, 硫化氢中氢呈正价硫呈负价, 则电负性: $\text{O} > \text{S} > \text{H}$, 故 B 错误;

C. 根据实验 1, 将胆矾配成 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 溶液, 取 4mL 溶液逐滴加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水至过量, 加入 $8\text{mL } 95\%$ 乙醇, 并用玻璃棒摩擦试管内壁会析出硫酸四氨合铜晶体, 则 $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ 可转化为 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, 说明与 Cu^{2+} 配位的能力: $\text{NH}_3 > \text{H}_2\text{O}$, 故 C 正确;

D. 向试管中加入 $8\text{mL } 95\%$ 乙醇, 降低了溶剂的极性, 并用玻璃棒摩擦试管壁, 摩擦会在试管内壁产生微小的玻璃碎屑可作为晶核使深蓝色铜氨配合物晶体析出, 故 D 正确;

选 AB。

15. (2025 聊城二模, 11) (不定项) 济美酱菜享誉“中华老字号”。至今, 济美制作腐乳还在延续最传统工艺:

选豆(非转基因)浸泡、吸水膨胀→磨浆、煮浆、点浆→压制成型、切块→发酵、调味等几个阶段。下列说法错误的是

- A. 大豆基因中碱基互补配对时形成共价键
B. 大豆中淀粉、蛋白质等含有亲水基团
C. 利用 MgCl_2 点浆可使豆浆中的蛋白质聚沉
D. 红曲霉发酵产生的红曲红属于天然着色剂

【答案】A

【解析】

【详解】A. 碱基互补配对时，是通过氢键相连，A 错误；

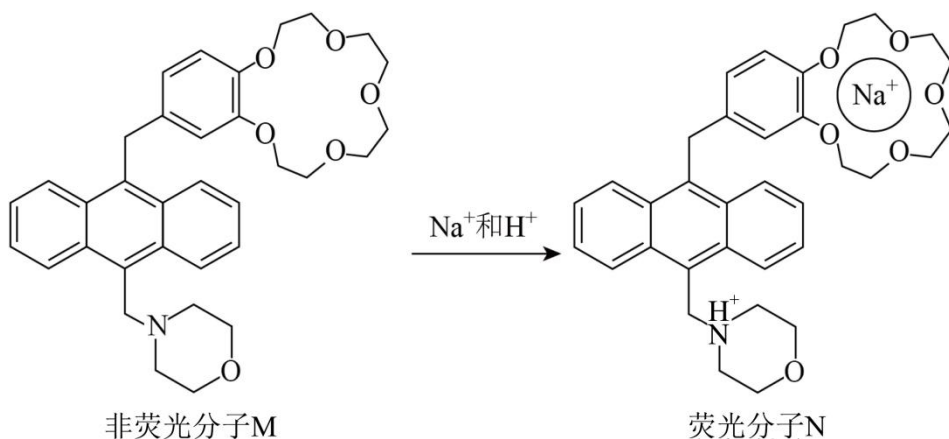
B. 大豆中淀粉、蛋白质等含有亲水基团，如淀粉中的羟基、蛋白质中的氨基、羧基，B 正确；

C. 豆浆属于胶体， MgCl_2 属于电解质，向胶体中加电解质会使胶体发生聚沉，C 正确；

D. 红曲霉发酵产生的红曲红是从微生物中提取的，属于天然着色剂，D 正确；

故答案选 A。

16. (2025 济南二模, 13) (不定项) 非荧光分子 M 转化为荧光分子 N 的原理如图, 分子 N 在光照射下产生荧光。下列说法正确的是



- A. 分子 M 识别 Na^+ 和 H^+ 转化为分子 N 时均利用了配位作用
B. 适当提高 Na^+ 和 H^+ 浓度能增强分子荧光强度
C. 特定波长光照射下, 可实现 N 转化为 M
D. 上述转化中用 K^+ 替换 Na^+ 后, 与 H^+ 的共同作用能形成新的荧光分子

【答案】AB

【解析】

【详解】A. 分子 M 识别 Na^+ 和 H^+ 转化为分子 N 时, Na^+ 与冠醚中的 O 原子间形成配位键, H^+ 与 N 原子间形成配位键, 均利用了配位作用, A 正确；

B. 因为分子 N 在光照射下产生荧光, 适当提高 Na^+ 和 H^+ 浓度, 能促进非荧光分子 M 转化为荧光分子 N, 从而增强分子荧光强度, B 正确；

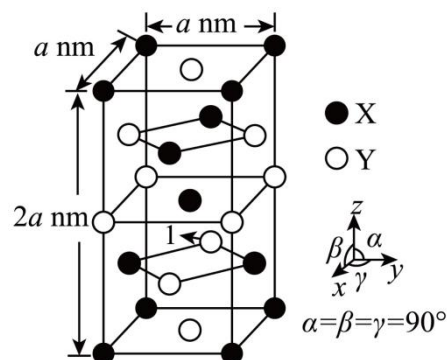
C. 根据题意和图示, 特定波长光照射下, 分子 N 产生荧光, 并没有实现 N 转化为 M, C 不正确；

D. 上述转化中用 K^+ 替换 Na^+ 后, 由于 K^+ 的半径比 Na^+ 大, 与 M 分子中的冠醚的空腔不适合, 则与 H^+ 的共同作用

不能形成新的荧光分子，D 不正确；

故选 AB。

17. (2025 潍坊二模, 8) 某晶体结构如图所示, 下列说法错误的是



A. 图示为两个晶胞无隙并置

B. Y 的配位数为 8

C. 标号为“1”的 Y 的原子分数坐标为 $\left(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}\right)$

D. 最近的两个 Y 的距离为 $\frac{\sqrt{2}}{2}a\text{nm}$

【答案】A

【解析】

【详解】A. 图示晶胞的结构不对称, 并不是两个晶胞无隙并置, A 错误;

B. 由题干晶胞示意图可知, 离 Y 最近的距离相等的 X 的数目为 8, 则其配位数为 8, B 正确;

C. 由题干晶胞示意图可知, 标号为“1”的 Y 的原子在 x 轴方向的原点, 位于 y 轴方向棱的 $\frac{1}{2}$ 处, 位于 z 轴方向棱的 $\frac{1}{4}$ 处, 则其分数坐标为 $\left(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}\right)$, C 正确;

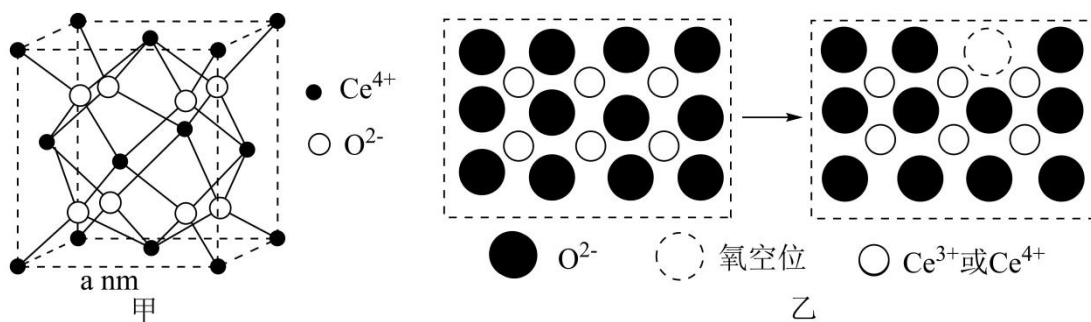
D. 由题干晶胞示意图可知, 最近的两个 Y 的距离为侧面面心与底面面心的距离, 即 $\sqrt{\left(\frac{1}{2}a\right)^2 + \left(\frac{1}{2}a\right)^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}a\text{nm}$,

D 正确;

故答案为: A。

18. (2025 滨州二模, 14) (不定项) 二氧化铈(CeO_2)可作脱硝催化剂, 其立方晶胞如图甲。在脱硝过程中, CeO_2

将 NO 转化为 NO_2 时, 形成氧空位, 转化为新的铈氧化物 $[\text{Ce(III)}_x\text{Ce(IV)}_y\text{O}_z]$ (如图乙)。下列说法正确的是



A. CeO_2 晶胞中, O^{2-} 的配位数为 8

B. CeO_2 晶胞中, Ce^{4+} 与 O^{2-} 的最短距离为 $\frac{\sqrt{3}}{4}a \text{ nm}$

C. 当 1mol CeO_2 氧化标准状况下 5.6 L NO 后, 生成新的铈氧化物中 x 、 y 、 z 的最简整数比为 $2:2:7$

D. 用 CaO 代替 CeO_2 也能实现上述脱硝反应

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 由 CeO_2 的晶胞结构可知, O^{2-} 的配位数为 4, A 错误;

B. 由 CeO_2 的晶胞结构可知, Ce^{4+} 与 O^{2-} 的最短距离为晶胞体对角线长度的 $\frac{1}{4}$, 即 $\frac{\sqrt{3}}{4}a \text{ nm}$, B 正确;

C. 根据得失电子守恒可知, $x \text{ mol} \times 1 = \frac{5.6 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} \times 2$, $x = 0.5 \text{ mol}$, 又知 $x + y = 1 \text{ mol}$, 故 $y = 0.5 \text{ mol}$, 根据化合物各元素化合价代数和为 0, 得 $z = 1.75$, 故 $x : y : z = 2 : 2 : 7$, C 正确;

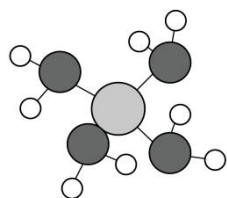
D. CaO 中 Ca 为 +2 价, 氧化性很弱, 故不能实现上述脱硝反应, D 错误;

故答案选 BC。

二、元素推断题

1. (2025 滨州二模, 5) 原子序数依次增大的 X、Y、Z 三种元素位于不同的短周期, 其组成的化合物结构如图。

下列说法错误的是



A. 电负性: $Y > X > Z$

B. 简单氢化物的沸点: $Y > Z$

C. 最高价含氧酸的酸性: $Z > Y$

D. Y、Z 组成的化合物可能为共价晶体

【答案】C

【解析】

【分析】原子序数依次增大的 X、Y、Z 三种元素位于不同的短周期，即分别位于第一、二、三周期，则原子半径依次增大，所以由图可知，白球为 X，只能形成 1 个共价键，则 X 为 H 元素；黑球为 Y，形成 3 个共价键，则 Y 为 N 元素；灰球为 Z，形成 4 个共价键，则 Z 为 Si 元素，据此解答。

【详解】A. X 为 H 元素，Y 为 N 元素，Z 为 Si 元素， SiH_4 中 Si、H 元素化合价分别为 +4、-1，则 Si、H 原子间的共用电子对偏离 Si 原子而偏向 H 原子，即电负性：H>Si，同理根据 NH_3 可得电负性：N>H，所以电负性：N>H>Si，即 Y>X>Z，A 正确；

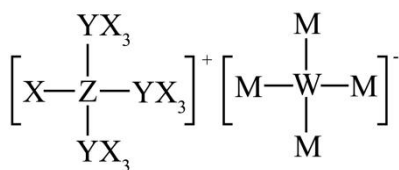
B. Y 为 N 元素，Z 为 Si 元素，因 N 元素的电负性很大， NH_3 分子间存在氢键， SiH_4 分子间不存在氢键，则简单氢化物的沸点： $\text{NH}_3 > \text{SiH}_4$ ，即 Y>Z，B 正确；

C. Y 为 N 元素，Z 为 Si 元素，同周期主族元素从左到右，非金属性依次增大，同主族元素从上到下，非金属性依次减小，则非金属性：N>Si，元素的非金属性越强，最高价含氧酸的酸性越强，则最高价含氧酸的酸性： $\text{HNO}_3 > \text{H}_2\text{SiO}_3$ ，即 Y>Z，C 错误；

D. Y 为 N 元素，Z 为 Si 元素，N、Si 组成的化合物可能为共价晶体，如 Si_3N_4 ，D 正确；

故选 C。

2. (2025 潍坊二模，6) 某离子液体由原子序数依次增大的短周期元素 X、Y、Z、W、M 组成，其结构如图所示。其中 Y、Z 位于同周期相邻主族，基态 W 和 M 的 p 轨道均含一个未成对电子。下列说法错误的是



A. 简单离子半径：M>Z>W

B. 电负性：M>Y>X

C. 氢化物的沸点：Z 一定大于 Y

D. 该离子液体的阴、阳离子中均含有配位键

【答案】C

【解析】

【分析】依据结构可知 X 形成 1 个单键，且在五种元素中原子序数最小，则 X 为 H，Y 均形成四个共价键，则 Y 为 C，由于 Y、Z 位于同周期相邻主族，故 Z 为 N 元素，该物质阳离子应该是 $\text{N}(\text{CH}_3)_3$ 与 H^+ 结合，其中 N 上有 1 个孤电子对， H^+ 提供空轨道，二者形成配位键，该物质的阴离子为 -1 价，结合 W 和 M 的 p 轨道均含有一个未成对电子，故 W 的价电子排布式为 $3s^2 3p^1$ ，M 的价电子排布式为 $3s^2 3p^5$ ，该阴离子应该为 AlCl_4^- ，其中 Al^{3+} 提供空轨道，Cl 提供孤电子对，二者形成配位键。由此可以得知，X 为 H，Y 为 C，Z 为 N，W 为 Al，M 为 Cl。

【详解】A. Al^{3+} 、 N^{3-} 均为 10 电子微粒，电子层结构相同，核电荷数越大，半径越小，故半径： $\text{N}^{3-} > \text{Al}^{3+}$ ，Cl 为 18 电子微粒，所以 Cl⁻ 的半径最大，因此简单离子半径： $\text{Al}^{3+} < \text{N}^{3-} < \text{Cl}^-$ ，故 A 正确；

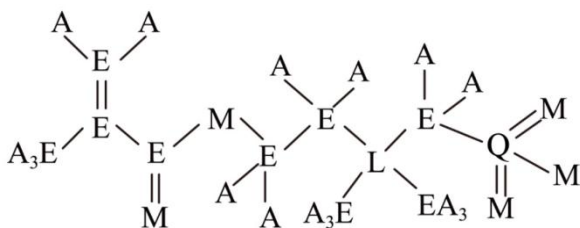
B. 元素非金属性越大，电负性越大，因此非金属性 H<C，C 有 2 个价电子，Cl 有 7 个价电子，Cl 更容易吸引 H^+ ，因此电负性 C<Cl，故电负性：X<Y<M，故 B 正确；

C. 非金属性越强，简单氢化物沸点越高，但 C 和 N 的氢化物种类众多，因此 N 的氢化物沸点不一定大于 C 的氢化物沸点，故 C 错误；

D. 由上述分析可知, 该离子液体中阴、阳离子中均含有配位键, 故 D 正确;

故答案为 C。

3. (2025 青岛二模, 7) A、E、L、M、Q 为原子序数依次增大的五种短周期元素, 由它们组成的某种生物碱结构如图。下列说法正确的是



A. 第一电离能: $M > L$

B. 简单氢化物沸点: $Q > M$

C. 基态原子半径: $E > M > A$

D. 常温下, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Q}$ 的最高价含氧酸的水溶液其 $\text{pH} = 1$

【答案】C

【解析】

【分析】A、E、L、M、Q 为原子序数依次增大的五种短周期元素, 由结构可知, A 只能形成一个共价键, 可能为 H 或 F 或 Cl, E 形成 4 个共价键, 为 C 或 Si, 但若 E 为 Si, 则 L、M、Q 分别为 P、S、Cl, 与图中 Q 形成 6 个键矛盾, 所以 E 为 C, 则 A 原子序数小于 C, 即 A 为 H; Q 可形成 6 个共价键, 为 S, M 形成 2 个共价键, 原子序数大于 C, 为 O; L 原子序数在 M、E 之间, 则 L 为 N。

【详解】A. N 的价电子排布为 $2s^2 2p^3$, 为半充满稳定结构, O 的价电子排布为 $2s^2 2p^4$, 则第一电离能 $N > O$, 故 A 错误;

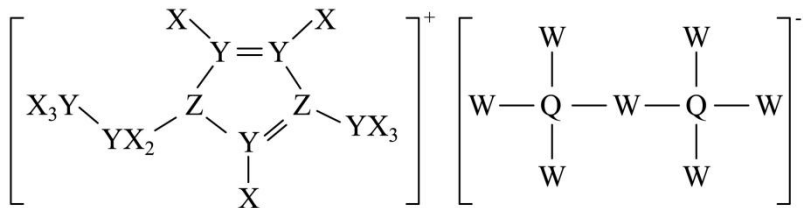
B. 水分子间存在氢键, 而硫化氢没有分子间氢键, 所以 O 的简单氢化物沸点较 H_2S 的高, 即简单氢化物沸点: $\text{O} > \text{S}$, 故 B 错误;

C. 同周期主族元素从左至右半径减小, H 原子半径在三者中最小, 因此基态原子半径: $\text{C} > \text{O} > \text{H}$, 故 C 正确;

D. Q 的最高价含氧酸为 H_2SO_4 , H_2SO_4 为二元强酸, $\text{pH} < 1$, 故 D 错误;

故答案为 C。

4. (2025 烟台德州二模, 8) 某离子液体结构如图所示, Q、W、Y、Z、X 分别为不同主族的短周期元素, 且原子半径依次减小。下列说法正确的是



A. 电负性: $Y > W > Q$

B. 同周期中第一电离能大于 Z 的元素有 3 种

C. 简单氢化物沸点: $W > Y > Z$

D. 最高价氧化物对应水化物的酸性: $W > Z > Y$

【答案】D

【解析】

【分析】根据 Q、W、Y、Z、X 分别为不同主族的短周期元素，且原子半径依次减小，X 在离子液体结构中形成 1 个共价键，且半径小，故 X 可能为 H；Y 形成 4 个共价键，短周期中 C 原子最外层有 4 个电子，常形成 4 个共价键，故 Y 为 C；Z 形成 3 个共价键，原子半径介于 C 与 H 之间，且与其他元素不同主族，故 Z 为 N；W 形成 1 个共价键，原子半径大于 C，故 W 为 Cl；右侧阴离子中 Q 形成 4 个共价键，Al 原子最外层 3 个电子，通过配位键可以形成 4 个共价键，且 Al 位于 IIIA 族与 H、C、N、Cl 均不同主族，故 Q 为 Al，综上推断，各元素均位于不同主族，且原子半径依次递减，满足题意。

【详解】A. 电负性 $\text{Cl} > \text{C} > \text{Al}$ ，即 $W > Y > Q$ ，A 错误；

B. 第二周期中第一电离能大于 N 的只有 F、Ne，共 2 种，B 错误；

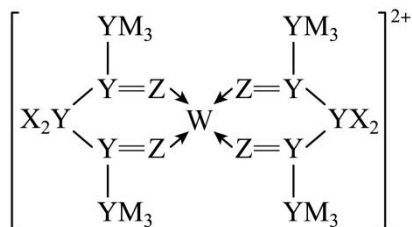
C. NH_3 有氢键，沸点要高于 HCl 和 CH_4 ，所以 $\text{NH}_3 > \text{HCl} > \text{CH}_4$ ，C 错误；

D. W、Y、Z 分别是 Cl、C、N，非金属性： $\text{Cl} > \text{N} > \text{C}$ ，则其最高价氧化物的水化物酸性强弱顺序：

$\text{HClO}_4 > \text{HNO}_3 > \text{H}_2\text{CO}_3$ ，D 正确；

故答案选 D。

5. (2025 聊城二模，9) X、Y、Z、M、W 五种元素原子序数依次增大，Y、Z、M 同周期，基态 Y 原子各能级上的电子数相等， W^{2+} 离子的价电子排布式为 $3d^9$ ，由五种元素组成的某配离子的结构如图所示。下列说法错误的是



A. 电负性： $Z > Y > X$

B. XM 属于酸，但能与某酸性氧化物反应

C. W 的最高价氧化物的水化物能溶于强酸，但不溶于任何碱

D. 该配离子中 σ 键与 π 键个数比为 8 : 1

【答案】C

【解析】

【分析】X、Y、Z、M、W 五种元素原子序数依次增大，Y、Z、M 同周期，基态 Y 原子各能级上的电子数相等，Y 能形成 4 个共价键，Y 是 C 元素；Z 能形成 2 个共价键，Z 是 O 元素；M 形成 1 个共价键，M 是 F 元素；X 形成 1 个共价键，X 是 H 元素； W^{2+} 离子的价电子排布式为 $3d^9$ ，W 是 Cu 元素。

【详解】A. 元素非金属性越强，电负性越大，电负性： $\text{O} > \text{C} > \text{H}$ ，故 A 正确；

B. HF 属于酸，能与酸性氧化物 SiO_2 反应，故 B 正确；

C. Cu 的最高价氧化物的水化物 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 能溶于强酸，也能溶于氨水，故 C 错误；

D. 配位键属于 σ 键, 该配离子中 σ 键数是 32, π 键个数是 4, σ 键与 π 键个数比为 8:1, 故 D 正确;

选 C。

三、物质结构与性质综合题 (非选择题)

1. (2025 泰安二模, 16) 回答下列问题:

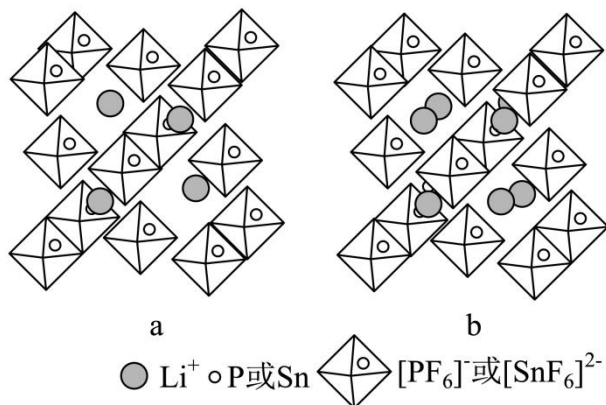
(1) 六氟磷酸锂(LiPF_6)是锂离子电池的常用电解质, 其中 Li、P、F 的电负性由大到小的排序是_____ ; F^- 的电子排布式为_____ ; PF_6^- 的空间构型为_____。

(2) 制备 LiPF_6 的反应为 $\text{PF}_5 + \text{LiF} = \text{LiPF}_6$, PF_5 的中心原子杂化类型为_____ (填序号)。

a. sp^3 b. dsp^3 c. sp^3d d. sp^3d^2

PF_5 在 CCl_4 中的溶解度_____ (填 “大于” “小于”) 在乙醇中的溶解度。

(3) Li_2SnF_6 也是锂离子电池的常用电解质, 二者晶胞结构为图 a 或图 b, 两种晶胞中阴离子均采取面心立方最密堆积方式。



代表 LiPF_6 的是_____ (填 a 或 b)。已知 LiPF_6 晶体的密度为 $\rho \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 阿伏加德罗常数为 N_A , 则其晶胞边长为_____ nm, 晶胞 a 和 b 中四面体空隙的填充率之比为_____。

【答案】 (1) ①. $\text{F} > \text{P} > \text{Li}$ ②. $1s^2 2s^2 2p^6$ ③. 正八面体

(2) ①. c ②. 大于

(3) ①. a ②. $\sqrt[3]{\frac{608}{\rho N_A}} \times 10^7$ ③. 1:2

【解析】

【小问 1 详解】

在周期表中, 同一周期元素的电负性从左到右逐渐增大, 同一主族元素从上到下逐渐降低, 同时非金属性越强, 电负性越强, 由非金属性 $\text{F} > \text{P} > \text{Li}$ 可得 Li、P、F 的电负性由大到小的排序为: $\text{F} > \text{P} > \text{Li}$; F^- 得到 1 个电子后核外共有 10 个电子, 则其电子排布式为: $1s^2 2s^2 2p^6$; 在 PF_6^- 中, 中心 P 原子其价层电子对数为 6 (5 个价电子加上 1 个负电荷形成的配位键), P 原子采用 sp^3d^2 杂化方式, 杂化后形成 6 个等价的杂化轨道, 构成正八面体结构,

则 PF_6^- 的空间构型为：正八面体。

【小问 2 详解】

在 PF_5 中，中心原子 P 原子有 5 个价层电子对，且全是成键电子对，没有孤对电子，P 原子需要提供 5 个杂化轨道来容纳这 5 个成键电子对，故杂化类型为： sp^3d ，几何构型为：三角双锥形，结合题目提供的四组选项，只有 c 选项符合题意；根据 PF_5 的三角双锥形结构可知 PF_5 为非极性分子， CCl_4 为非极性分子， $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 为极性分子，根据相似相溶原理可知， PF_5 在 CCl_4 中的溶解度大于在乙醇中的溶解度。

【小问 3 详解】

根据 LiPF_6 和 Li_2SnF_6 中 Li^+ 个数之比为 1:2，结合图 a 和图 b 中 Li^+ 个数可得出代表 LiPF_6 的晶胞图是：a；根据 LiPF_6 晶胞的结构，在 1 个 LiPF_6 晶胞中有 4 个 Li^+ ，4 个 PF_6^- ，设立方晶胞的边长为 $a\text{nm}$ ，则根据

$$\rho = \frac{(7+31+19 \times 6) \times 4}{N_A (a \times 10^{-7})^3} \Rightarrow a^3 = \frac{608}{\rho N_A \times (10^{-7})^3}, \text{解得 } a = \sqrt[3]{\frac{608}{\rho N_A}} \times 10^7 \text{ nm}; \text{在晶胞 a、b 中均存在以阴离子形成的四面体空隙，同时都形成有八个四面体空隙，但前者只有四个四面体空隙填充了锂离子，而后者八个四面体都填充了锂离子，故四面体空隙的填充率之比为：1:2。}$$

2. (2025 潍坊二模, 16) MAX 相是一大类具有层状结构的金属碳化物或氮化物的总称，其中 M 为 Ti、V、Nb (铌) 等过渡金属，X 为 C 或 N，A 为 Al、Sn、Ge、Sb 等主族元素。

回答下列问题：

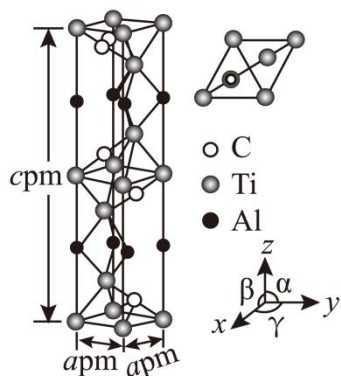
(1) Nb 是与 V 同族的相邻周期元素，其基态原子中的价电子分布在两个能级且均为未成对电子，基态 Nb 原子价电子的轨道表示式为_____；第 4 周期中，基态原子未成对电子数比 Nb 多的元素是_____ (填元素符号)。

(2) 与 N 同周期的非金属主族元素中第一电离能大于 N 的是_____ (填元素符号)，与 N 同周期的非金属元素 (硼除外) 形成的简单气态氢化物中键角最小的是_____ (填化学式)。 R_3N 可与 H^+ 结合形成 R_3NH^+ ，存在平衡

$\text{R}_3\text{NH}^+ \rightleftharpoons \text{R}_3\text{N} + \text{H}^+$ ，平衡常数为 K_a 。 R_3N 能结合 H^+ 的原因是_____； $\text{p}K_a(\text{NH}_4^+) = 9.25$ ，

$\text{p}K_a(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+) = 10.7$ ， $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+$ 的 $\text{p}K_a$ 较大的原因是_____。

(3) Ti、Al、C 组成的 MAX 相结构属六方晶系，晶胞参数 $a \neq c$ ， $\alpha = \beta = 90^\circ$ ， $\gamma = 120^\circ$ ，晶胞结构及 C、Ti 原子沿 z 轴投影如图所示。晶体中与 C 最近且等距离的 Ti 原子的个数是_____。该晶体的密度为 $\rho \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，阿伏加德罗常数的值 $N_A = \text{_____}$ (用含 a 、 c 、 ρ 的代数式表示)。



【答案】 (1) ①.

4d					5s
↑	↑	↑	↑		↑

 ②. Cr

(2) ①. F ②. H_2O ③. N 原子孤电子对所在轨道可与 H^+ 的空轨道重叠形配位键 ④. 乙基有推电子作用, 使 N-H 键极性变弱, H^+ 不易电离

(3) ①. 6 ②. $\frac{7.8 \times 10^{32}}{\sqrt{3} \rho a^2 c}$

【解析】

【小问 1 详解】

V 是位于第 4 周期、第 VB 族, Nb 是与 V 同族的相邻周期元素, 则 Nb 是第 5 周期第 VB 族, 由 Nb 的基态原子中的价电子分布在两个能级且均为未成对电子可知, 其价电子排布式为 $4d^4 5s^1$, 其轨道表示式为

4d					5s
↑	↑	↑	↑		↑

; Nb 有 5 个未成对电子, 第 4 周期中, 基态原子未成对电子数比 Nb 多的元素是 Cr, 故

答案为:

4d					5s
↑	↑	↑	↑		↑

; Cr;

【小问 2 详解】

同周期元素第一电离能从左到右逐渐增大, VA 族元素由于 p 能级处于半充满, 较稳定, 第一电离能高于相邻主族元素, 所以与 N 同周期的非金属主族元素中第一电离能大于 N 的是 F; 与 N 同周期的非金属元素(硼除外)有 C、O, 其形成的简单气态氢化物分别为 CH_4 、 NH_3 、 H_2O , 中心原子均为 sp^3 杂化, 孤电子对数分别为 0、1、2, 所以键角最小的是 H_2O ; R_3N 中的 N 原子有一对孤电子对, 可以与 H^+ 形成配位键, 所以 R_3N 能结合 H^+ ; $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+$ 中乙基为推电子基, 使 N-H 键极性变弱, H^+ 不易电离, 因此 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+$ 的 pK_a 较大, 故答案为: F; H_2O ; N 原子孤电子对所在轨道可与 H^+ 的空轨道重叠形配位键; 乙基有推电子作用, 使 N-H 键极性变弱, H^+ 不易电离;

【小问 3 详解】

C 原子位于 Ti 原子组成的正八面体空隙中, 所以晶体中与 C 最近且等距离的 Ti 原子的个数是 6; 在晶胞中含有 C

原子的个数为 4, 位于 30° 顶点的 Ti 原子的 $\frac{1}{12}$ 属于该晶胞, 位于 120° 顶点的 Ti 原子的 $\frac{1}{6}$ 属于该晶胞, 所以 Ti 原

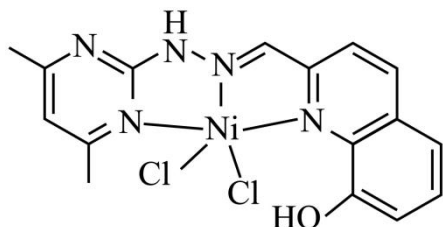
子的个数为 $4 \times \frac{1}{12} + 4 \times \frac{1}{6} + 2 \times \frac{1}{3} + 2 \times \frac{1}{6} + 4 = 6$ 个, Al 原子的个数为 $4 \times \frac{1}{3} + 4 \times \frac{1}{6} = 2$, 晶体的密度

$$\rho = \frac{4 \times 12 + 6 \times 48 + 2 \times 27}{\frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c N_A \times 10^{-30}} \text{ g/cm}^3, \text{ 则 } N_A = \frac{7.8 \times 10^{32}}{\sqrt{3} \rho a^2 c}, \text{ 故答案为: } 6; \frac{7.8 \times 10^{32}}{\sqrt{3} \rho a^2 c}。$$

3. (2025 日照二模, 16) 第 VA 族元素及其化合物在生产、生活和科研中应用广泛。回答下列问题:

(1) 与基态 As 原子具有相同未成对电子数的同周期元素有 _____ (填元素符号)。

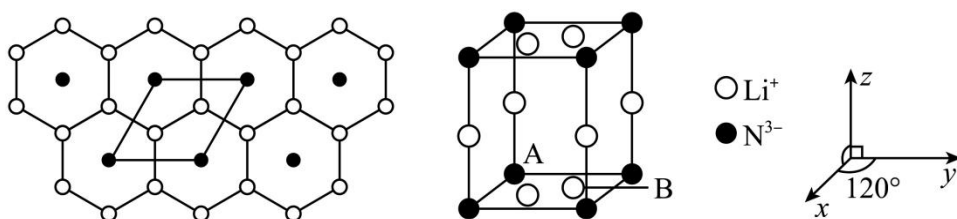
(2) 一种含氮配合物结构如图, 其中 N 的杂化方式为 _____, 与镍配位的配体数为 _____。



(3) 液氨存在类似于水的电离, $2\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{NH}_2^-$, 反应涉及的三种微粒中键角最小的是 _____ (填化学式),

金属钠与液氨的反应的化学方程式为 _____。

(4) 氮化锂具有高离子电导率可用作固体电解质, 其晶体结构如图所示。



①氮化锂晶胞中有 _____ 种不同化学环境的 Li^+ , N^{3-} 的配位数为 (晶胞参数 $a\text{pm}$ 、 $a\text{pm}$ 、高 $b\text{pm}$, $b > 2a$) _____。

②若 A 点的原子分数坐标为 (0, 0, 0), 则 B 点的坐标为 _____; 晶胞参数为 $a\text{pm}$ 、 $a\text{pm}$ 、 $b\text{pm}$, N_A 为阿伏加德罗常数, 则晶体的密度为 _____ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

【答案】 (1) V、Co

(2) ①. sp^2 、 sp^3 ②. 3

(3) ①. NH_2^- ②. $2\text{NH}_3 + 2\text{Na} = 2\text{NaNH}_2 + \text{H}_2\uparrow$

(4) ①. 2 ②. 6 ③. $(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 0)$ ④. $\frac{70\sqrt{3}}{3a^2bN_A} \times 10^{30}$

【解析】

【小问 1 详解】

砷元素的原子序数为 33, 基态原子的价电子排布式为 $4s^2 3p^3$, 核外未成对电子数为 3, 同周期元素中核外未成对电子数为 3 的元素还有价电子排布式为 $3d^3 4s^2$ 的钒元素、 $3d^7 4s^2$ 的钴元素, 故答案为: V、Co;

【小问 2 详解】

由图可知, 配合物中单键氮原子的杂化方式为 sp^3 杂化、双键氮原子的杂化方式为 sp^2 杂化; 配合物中具有空轨道的镍离子为中心离子, 2 个氯离子及一个有机物中的 3 个氮原子提供孤对电子, 则镍离子的配体数为 3, 故答案为:

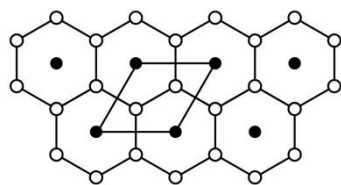
sp^2 、 sp^3 ；3；

【小问 3 详解】

铵根离子、氨分子、氨基离子中氮原子的价层电子对数分别为 $4 + \frac{5-1 \times 4-1}{2} = 4$ 、 $3 + \frac{5-1 \times 3}{2} = 4$ 、 $2 + \frac{5-1 \times 2+1}{2} = 4$ ，孤对电子对数分别为 0、1、2，孤对电子对数越多，对成键电子对的斥力越大，键角越小，则三种微粒中键角最小的是氨基离子；由钠与水反应生成氢氧化钠和氢气可知，钠与液氨的反应为钠与液氨反应生成氨基钠和氢气，反应的化学方程式为 $2NH_3 + 2Na = 2NaNH_2 + H_2 \uparrow$ ，故答案为： NH_2^- ； $2NH_3 + 2Na = 2NaNH_2 + H_2 \uparrow$ ；

【小问 4 详解】

①由晶胞结构可知，氮化锂晶胞中位于棱上和面上的锂离子的化学环境不同，共有 2 种；由



可知，离氮离子距离最近的锂离子个数为 6，即氮离子的配位数为 6，故答案为：2；6；

②位于顶点的 A 点的原子分数坐标为(0, 0, 0)，则晶胞的边长为 1，位于面对角线上的 B 点的原子分数坐标为($\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, 0)；由晶胞结构可知，晶胞中位于顶点的氮离子个数为 $8 \times \frac{1}{8} = 1$ ，位于棱上和面上的锂离子个数为 $4 \times \frac{1}{2} + 4 \times \frac{1}{4} = 3$ ，

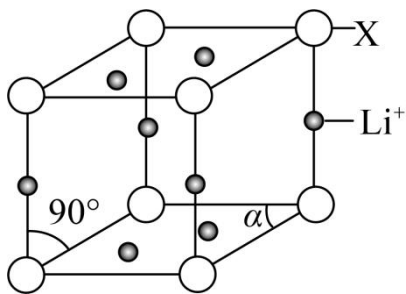
设晶体的密度为 $d g/cm^3$ ，由晶胞的质量公式可得： $\frac{35}{N_A} = (10^{-10}a \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 10^{-10}a \times 10^{-10}b)d$ ，解得 $d = \frac{70\sqrt{3}}{3a^2bN_A} \times 10^{30}$ ，

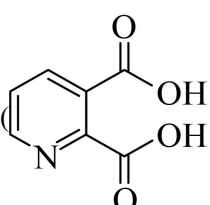
故答案为： $(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 0)$ ； $\frac{70\sqrt{3}}{3a^2bN_A} \times 10^{30}$ 。

4. (2025 青岛二模，16) 中科院团队提出了一种独特的锂氮电池，使用钌催化剂实现温和条件固氮，并提供电能。已知钌与铁在周期表中同列。回答下列问题：

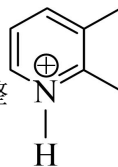
(1) Fe 在周期表第_____列，同周期元素中基态原子未成对电子数多于 Fe 的有_____种。

(2) 如图为该电池 Li 电极表面一种涂层材料的晶胞，X 配位数为 8， $\angle \alpha =$ _____度。传导 Li^+ 时，晶胞中 X 元素化合价_____ (填“升高”、“降低”或“不变”)。



(3) 喹啉酸()中 N 原子杂化方式为_____，其孤电子对占据_____轨道。喹啉酸一个

羧基氢转移至 N 后可形成七元环稳定结构, 请将该稳定结构补充完整 _____。1 个喹啉酸分子 190℃

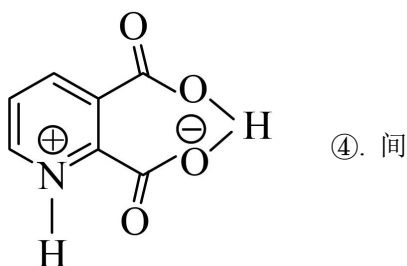


释放出 1 个 CO_2 后剩余羧基应在 N 的 _____ (填“邻”或“间”)位。已知: 降低羧基的电子云密度可增强其酸性并有利于脱羧反应的发生。

【答案】 (1) ①. 8 ②. 2

(2) ①. 60 ②. 不变

(3) ①. sp^2 ②. sp^2 ③.



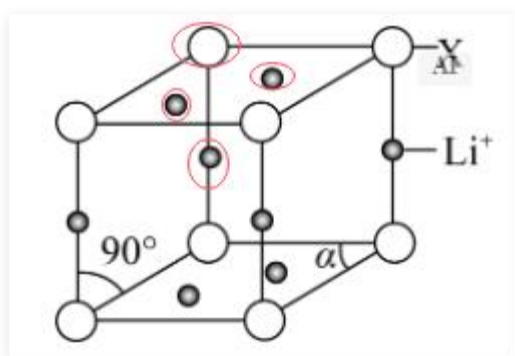
【解析】

【小问 1 详解】

是 26 号元素, 位于第四周期第Ⅷ族, 在周期表中处于第 8 列; Fe 的价电子排布式为 $3\text{d}^6 4\text{s}^2$, 未成对电子数为 4, 第四周期元素中, 基态原子未成对电子数多于 Fe 的有 Cr (价电子排布式 $3\text{d}^5 4\text{s}^1$, 未成对电子数为 6)、Mn (价电子排布式 $3\text{d}^5 4\text{s}^2$, 未成对电子数为 5), 共 2 种;

【小问 2 详解】

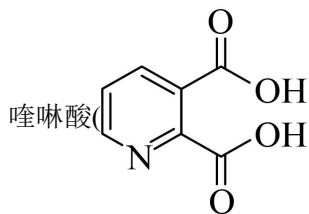
X 配位数为 8,

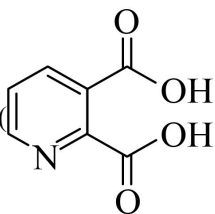


则此平行六面体长、宽、高分别为 a 、 a 、 $2a$, 面上 Li^+

把面对角线分成 3 等份, 以圈起来的 X 为例, 晶胞中 3 个 Li^+ 与之最近且距离相等, 同层面上有 6 个、圈起来的棱上 1 个, 上层棱上 1 个, 共 8 个, 则 $\angle \alpha = 60^\circ$; 由于是 Li 电极表面一种涂层材料, 仅起传 Li^+ 的作用, X 不参与得失电子, 故 X 的化合价不变;

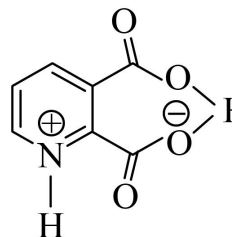
【小问 3 详解】



喹啉酸()中, N 原子形成 2 个 N—C σ 键, 1 个孤电子对, 价层电子由 3 个电子对, 故为 sp^2 杂化;

N 原子进行 sp^2 杂化时, 2s 轨道与 2 个 2p 轨道杂化形成 3 个能量相等的 sp^2 杂化轨道, N 原子的孤电子对占据另一个 sp^2 轨道, 未参与杂化的 1 个 2p 轨道垂直于 sp^2 杂化轨道平面, 剩余的 1 个电子占据后参与形成环状共轭体系; 根据题目要求, 一个羧基氢转移至 N 后形成七元环, 需要在原结构基础上, 让羧基的 C 原子与 N 原子成键, 同时

将羧基 O 上的 H 原子转移到 N 原子上, 从而构建出七元环状稳定结构为:



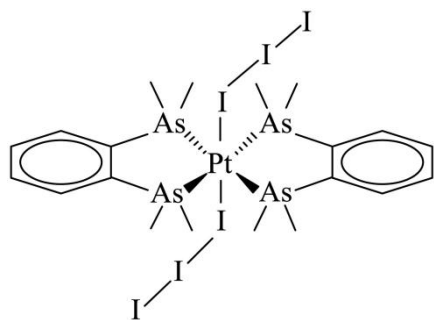
子云密度可增强其酸性并有利于脱羧反应的发生, N 原子具有吸电子效应, 在喹啉酸中, 与 N 处于间位的羧基受 N 吸电子诱导和共轭效应影响, 电子云密度相对降低更多, 更易发生脱羧反应, 所以 1 个喹啉酸分子在 190°C 释放出 1 个 CO_2 后剩余羧基应在 N 的间位。

5. (2025 临沂二模, 17) 砷及其化合物具有较大应用价值。回答下列问题:

(1) 基态 As 原子的价电子排布式为_____; 与同周期 Ge、Se 相比, 第一电离能由大到小的顺序为_____。

(2) 氮和砷位于同一主族, 氮原子间能形成氮氮三键, 而砷原子间不易形成三键的原因是_____。

(3) $\text{Pt}[\text{C}_6\text{H}_4(\text{AsMe}_2)_2]_2(\text{I}_3)_2$ 的结构如图所示(Me 为甲基)。



① Pt^{2+} 的杂化方式为_____ (填标号)。

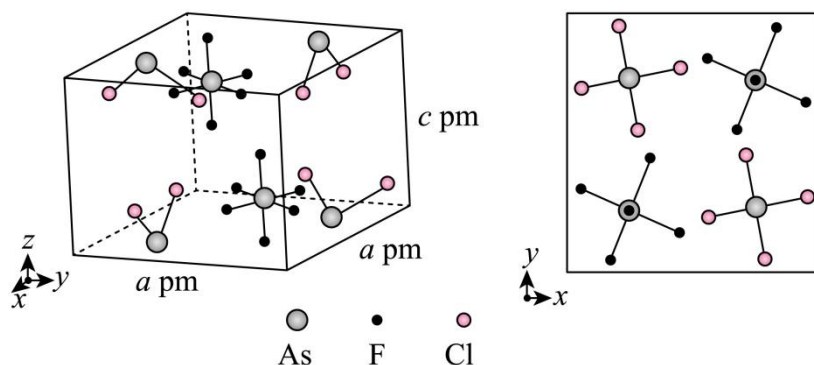
a. sp^3 b. dsp^2 c. sp^3d d. sp^3d^2

②该配合物在 CCl_4 中的溶解度_____ (填“大于”或“小于”)在水中的溶解度, 原因是_____。

(4) 某正五价含砷化合物属四方晶系, 晶胞参数以及晶胞沿 z 轴方向的投影如图所示, 晶胞棱边夹角均为 90° 。

该化合物可由 ClF_3 和 AsCl_3 反应得到, 反应的化学方程式为_____; 晶体中阳离子的空间构型为_____;

该晶体密度为_____ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (N_A 为阿伏加德罗常数的值)。



【答案】 (1) ①. $4s^2 4p^3$ ②. $\text{As} > \text{Se} > \text{Ge}$

(2) 砷原子半径比较大, 原子间形成的 σ 键较长, $p-p$ 轨道重叠程度较小或几乎不能重叠, 难以形成 π 键

(3) ①. d ②. 大于 ③. 该配合物和 CCl_4 均为非极性分子, 相似相溶

(4) ①. $\text{ClF}_3 + \text{AsCl}_3 = \text{Cl}_2 + \text{AsCl}_2\text{F}_3$ ②. 正四面体 ③. $\frac{812}{a^2 c N_A} \times 10^{30}$

【解析】

【小问 1 详解】

As 为第四周期第 VA 族元素, 基态 As 原子的价电子排布式为 $4s^2 4p^3$; 同周期元素从左到右的第一电离能增大, 由于 As 的 $4p$ 轨道的电子排布处于半满稳定结构, 因此 As 的第一电离能最大, 故第一电离能由大到小的顺序为: $\text{As} > \text{Se} > \text{Ge}$ 。

【小问 2 详解】

氮和砷位于同一主族, 氮原子间能形成氮氮三键, 而砷原子间不易形成三键的原因是砷原子半径比较大, 原子间形成的 σ 键较长, $p-p$ 轨道重叠程度较小或几乎不能重叠, 难以形成 π 键。

【小问 3 详解】

①根据结构式, Pt^{2+} 为六配位, 则 Pt^{2+} 的杂化方式为 $sp^3 d^2$, 故答案为 d;

②该配合物和 CCl_4 均为非极性分子, 根据相似相溶原理, 该配合物在 CCl_4 中的溶解度大于在水中的溶解度。

【小问 4 详解】

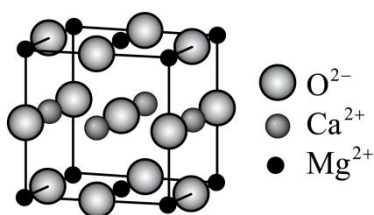
根据晶体结构, As 为 +5 价, 则一个晶胞中有 2 个 $[\text{AsF}_6]^-$ 和 2 个 $[\text{AsCl}_4]^+$, 该晶体的分子式为 AsCl_2F_3 , 则该化合物可由 ClF_3 和 AsCl_3 反应得到, 反应的化学方程式为 $\text{ClF}_3 + \text{AsCl}_3 = \text{Cl}_2 + \text{AsCl}_2\text{F}_3$; 阳离子 $[\text{AsCl}_4]^+$ 中 As 价层电子对数为 $4 + \frac{5-1-4 \times 1}{2} = 4$, 则阳离子的空间构型为正四面体; 晶体密度为

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{4 \times (75 + 2 \times 35.5 + 3 \times 19) \text{ g/mol}}{a^2 c \times 10^{-30} \text{ cm}^3 \times N_A \text{ mol}^{-1}} = \frac{812}{a^2 c N_A} \times 10^{30} \text{ g/cm}^3。$$

6. (2025 聊城二模, 16) 2025 年国产 DeepSeek 开源 AI 模型大放异彩。采用 AI 技术结合计算化学方法, 可以模

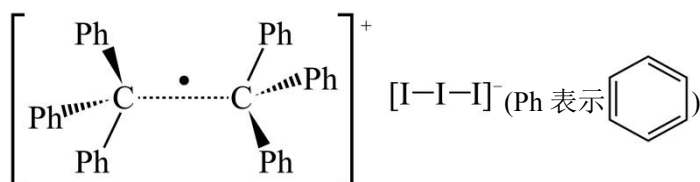
拟出许多物质的结构。

(1) 模拟预测熔融 CaO 和 MgO 冷却结晶的产物结构, 得到一种类似 NaCl 晶胞的结构, 如右图所示。



- ①同周期中, 基态原子最外层电子数比 Ca 少的元素有 _____ 种。
- ②该结构中 Ca^{2+} 周围最近的 Mg^{2+} 有 _____ 个。已知该晶胞边长为 $a\text{nm}$, 阿伏加德罗常数为 N_A , 则该晶体的密度 $\rho =$ _____ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。
- ③用 AI 输出的另一种晶胞结构是: 上图晶胞体心的 O^{2-} 被替换为 Mg^{2+} , 这种新晶胞的结构是否合理? _____, 判断依据是 _____。

(2) 利用 AI 模拟 $\text{C}_{38}\text{H}_{30}\text{I}_3$ 的结构如下图, 该物质是一种含有碳—碳单电子 σ 键的化合物, 虚线和圆点表示仅有 1 个共用电子的 σ 键。



①上图所示物质的正离子中, 碳原子的杂化方式是 _____, 从化学键角度解释该正离子带正电荷的原因 _____。

②上图所示物质的负离子 $[\text{I}-\text{I}-\text{I}]^-$ 的中心碘原子价层电子对数为 _____。

A. 2 B. 3 C. 4 D. 5

【答案】(1) ①. 3 ②. 8 ③. $\frac{1.92 \times 10^{23}}{N_A \cdot a^3}$ ④. 不合理 ⑤. 正负化合价代数和不为零或 Mg^{2+} 周围

都是 Ca^{2+} , 同种电荷相互排斥, 不稳定或正负电荷数不相等

(2) ①. sp^2 、 sp^3 ②. 碳—碳单电子 σ 键少了一个电子, 所以带正电荷 ③. D

【解析】

【小问 1 详解】

① Ca 位于第四周期第 II A 族, 最外层电子数为 2。同周期中, 基态原子最外层电子数比 Ca 少的元素有 K (最外层 1 个电子)、 Cr (最外层 1 个电子, 价电子构型为 $3\text{d}^5 4\text{s}^1$)、 Cu (最外层 1 个电子, 价电子构型为 $3\text{d}^{10} 4\text{s}^1$), 共 3 种。

②由晶胞结构可知, 以位于面心的 Ca^{2+} 为研究对象, Ca^{2+} 周围最近的有 8 个 Mg^{2+} 。根据均摊法, 晶胞中 Ca^{2+} 个

数为 $4 \times \frac{1}{2} = 2$, Mg^{2+} 个数为 $8 \times \frac{1}{8} + 2 \times \frac{1}{2} = 2$, O^{2-} 个数为 $1 + 12 \times \frac{1}{4} = 4$ 。晶胞质量 $m = \frac{(40 \times 2 + 24 \times 2 + 16 \times 4)}{N_A} \text{g}$,

晶胞体积 $V = (a \times 10^{-7})^3 \text{ cm}^3$ ，根据 $\rho = \frac{m}{V}$ ，可得晶体密度

$$\rho = \frac{(40 \times 2 + 24 \times 2 + 16 \times 4)}{N_A \times (a \times 10^{-7})^3} \text{ g/cm}^3 = \frac{1.92 \times 10^{23}}{N_A \cdot a^3} \text{ g/cm}^3。$$

③不合理， Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 半径相近，且均带 2 个单位正电荷，体心被 Mg^{2+} 占据会使同种电荷相互排斥，结构不稳定。

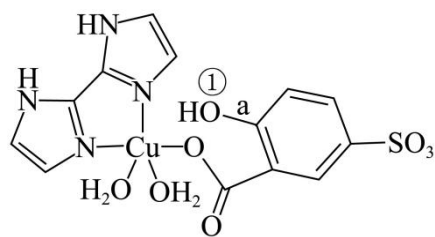
【小问 2 详解】

①上图所示物质的正离子中苯环上的碳原子采用 sp^2 杂化，其余碳原子周围的价层电子对数为 4，采用 sp^3 杂化。从化学键角度看，碳-碳单电子 σ 键少了一个电子，从而带正电荷。

②对于 $[\text{I}-\text{I}]^-$ ，中心碘原子的价层电子对数=成键电子对数+孤电子对数，成键电子对数为 2，孤电子对数 $= \frac{7+1-2 \times 1}{2} = 3$ ，所以价层电子对数=2+3=5，答案是 D。

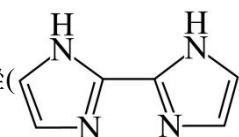
7. (2025 济宁二模, 16) 铜元素在生命体系和超导领域研究中发挥着至关重要的作用。已知含有多个配位原子的配体与同一中心离子(或原子)通过螯合配位成环而形成的配合物为螯合物。

(1) 以 5-磺基水杨酸和咪唑衍生物为配体合成了单核心的铜配合物如图所示：



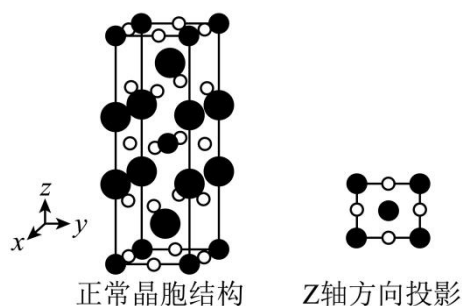
基态 Cu 原子的价电子排布图为_____，该配合物中所含第二周期元素的第一电离能由大到小的顺序_____。

(2) 上图中酚羟基中的 H 保持与苯环共平面，①号 O 原子的杂化方式为_____，a 处 C-O 键键长_____乙醇中

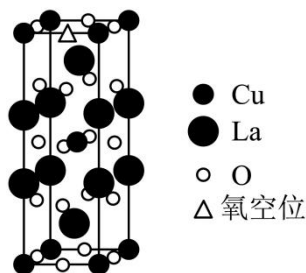
C-O 键键长(填“<”、“>”或“=”)，与 Mg^{2+} 相比 Cu^{2+} 更易与联咪唑()形成螯合物，原因是

_____。

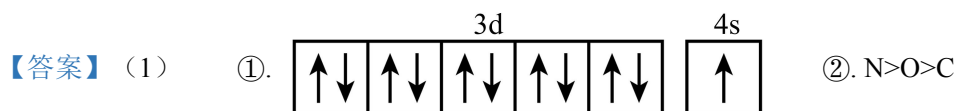
(3) 某含铜(II)化合物晶体结构如图所示，该化合物的化学式为_____；



下图所示的含氧空位的晶胞结构中，La 化合价不变， $n(\text{Cu}^{2+})$ ： $n(\text{Cu}^+)$ _____。



含氧空位的晶胞结构



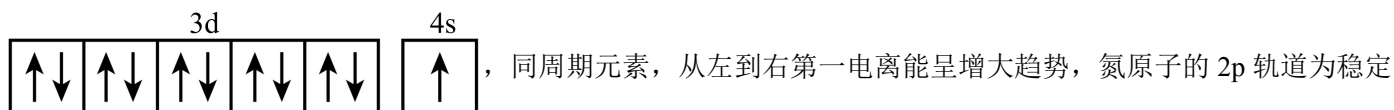
(2) ①. sp^2 ②. $<$ ③. 铜离子比镁离子的半径大，空间位阻小

(3) ①. La_2CuO_4 ②. 3: 1

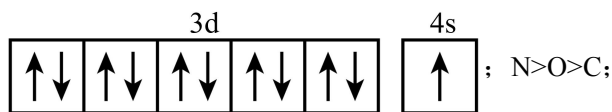
【解析】

【小问 1 详解】

铜元素的原子序数为 29，基态原子的价电子排布式为 $3d^{10}4s^1$ ，价电子排布图为



$N > O > C$ ，故答案为：



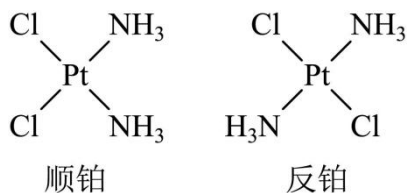
【小问 2 详解】

酚羟基中的氢原子保持与苯环共平面说明①号氧原子原子的杂化方式为 sp^2 杂化，酚羟基的氧原子直接连在 sp^2 杂化的碳原子上，氧原子的杂化状态也为 sp^2 杂化，形成平面结构，氧上的孤对电子能与苯环的 π 电子发生 $p-\pi$ 共轭，使 C-O 键具有部分双键特性，导致 C-O 键的键长小于乙醇分子中的 C-O 键；铜离子比镁离子的半径大，空间位阻小，所以铜离子更易与联咪唑形成螯合物，故答案为： sp^2 ； $<$ ；铜离子比镁离子的半径大，空间位阻小；

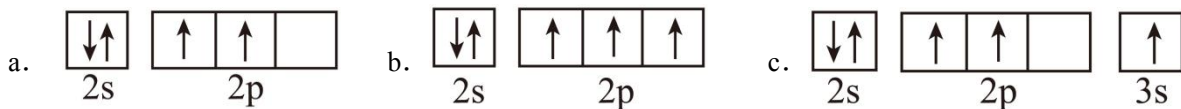
【小问 3 详解】

由晶胞结构可知，位于顶点和体心的铜原子个数为 $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ ，位于棱上和体内的镧原子个数为 $8 \times \frac{1}{4} + 2 = 4$ ，位于面上和棱上的氧原子个数为 $12 \times \frac{1}{2} + 8 \times \frac{1}{4} = 8$ ，则化合物中镧原子、铜原子和氧原子的个数比为 4: 2: 8=2: 1: 4，化学式为 La_2CuO_4 ；由化合价代数和为 0 可知，化合物中镧元素的化合价为 +3 价，由图可知，含氧空位的晶胞结构中氧原子个数为 $12 \times \frac{1}{2} + 7 \times \frac{1}{4} = 7.75$ ，化学式为 $La_4Cu_2O_{7.75}$ ，设化合物中铜离子个数为 a，亚铜离子个数为 b，由铜原子个数可得： $a+b=2$ ，由化合价代数和为 0 可得： $12+2a+b-15.5=0$ ，解联立方程可得 $a=1.5$ 、 $b=0.5$ ，则化合物中铜离子和亚铜离子的物质的量比 1.5: 0.5=3: 1，故答案为： La_2CuO_4 ；3: 1。

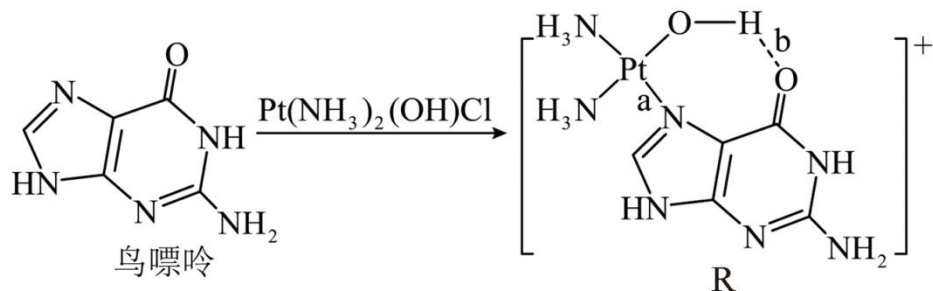
8. （2025 济南二模，16）含氮配合物在生产、检测、医药中发挥着重要作用。回答下列问题：



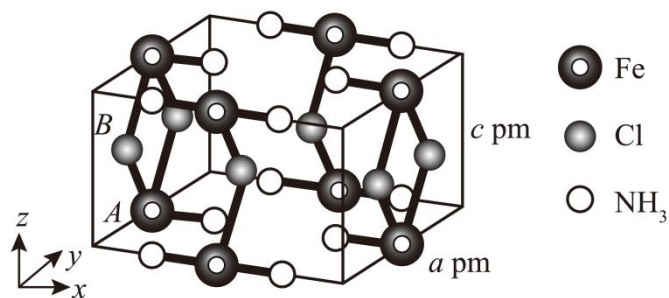
(1) 顺铂是临床使用的第一代铂类抗癌药物, 存在同分异构体反铂。基态 Cl 占据的最高能级的电子云轮廓图的形状是_____；推测 Pt 的杂化轨道类型不是 sp^3 的依据是_____；下列状态的氮中, 电离最外层一个电子所需能量最小的是_____ (填标号)。



顺铂的抗癌机理: 在铜转运蛋白的作用下, 顺铂进入人体细胞发生水解, 生成的 $\text{Pt}(\text{NH}_3)_2(\text{OH})\text{Cl}$ 与 DNA 结合, 破坏 DNA 的结构, 阻止癌细胞增殖。生成物 R 中 a 所示共价键, 依据原子轨道重叠的方式判断, 属于_____键; b 所示的作用力类型是_____。



(2) 某铁氨配合物的晶胞如图所示, 晶胞参数为 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $a = b \neq c$ 。该晶体的化学式为_____；晶体类型为_____；铁元素的配位数为_____。原子分数坐标可用于表示晶胞内部各原子的相对位置, A 原子分数坐标为 $(0, \frac{1}{2}, 0)$, 桥连相同两个铁原子的两个氯原子间距离为 $x \text{ pm}$, 则 B 原子的分数坐标为_____。



【答案】 (1) ①. 哑铃形 ②. 存在顺铂和反铂同分异构现象或答出若为 sp^3 杂化仅一种空间结构 ③. c ④. σ ⑤. (分子内)氢键

(2) ①. $[\text{Fe}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ②. 混合型晶体 ③. 6 ④. $(0, \frac{a-x}{2a}, \frac{1}{2})$

【解析】

【小问 1 详解】

基态 Cl 的价电子排布式为 $3s^2 3p^6$, 占据的最高能级为 $3p$, 电子云轮廓图的形状是哑铃形; $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ 有顺式和反

式结构, 则 $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ 为平面结构, 从而推测 Pt 的杂化轨道类型不是 sp^3 , 依据是: 存在顺铂和反铂同分异构现象
或答出若为 sp^3 杂化仅一种空间结构; 在原子核外电子所占据的轨道中, 能量 $1s < 2s < 2p < 3s$, 轨道的能量越高, 电离出轨道中的电子所需的能量越小, 则下列状态的氮中, 电离最外层一个电子所需能量最小的是 c。

生成物 R 中 a 所示共价键, 是 N 原子提供孤电子对与中心 Pt 原子提供空轨道形成的配位键, 依据原子轨道重叠的方式判断, 属于 σ 键; b 所示的是 O、H 原子间形成的氢键, 作用力类型是: (分子内) 氢键。

【小问 2 详解】

某铁氨配合物的晶胞中, Fe^{2+} 位于棱上, 含 Fe^{2+} 离子数目为 $8 \times \frac{1}{4} = 2$; 有 4 个 Cl^- 位于面上, 2 个 Cl^- 位于体内, 含 Cl^-

的数目为 $4 \times \frac{1}{2} + 2 = 4$; 8 个 NH_3 分子位于棱上, 4 个 NH_3 分子位于面上, 含 NH_3 分子数目为 $8 \times \frac{1}{4} + 4 \times \frac{1}{2} = 4$, 该

晶胞中, Fe^{2+} 、 Cl^- 、 NH_3 的个数比为 $2:4:4=1:2:2$, 则晶体的化学式为 $[\text{Fe}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$; 在晶体中, 微粒间存在共价键和氢键, 则晶体类型为: 混合型晶体; 我们设定棱上的亚铁离子为研究对象, 每个亚铁离子与 4 个 Cl^- 和 2 个 NH_3 分子形成配位键, 则铁元素的配位数为 6。原子分数坐标可用于表示晶胞内部各原子的相对位置, A 原子分数坐标为 $(0, \frac{1}{2}, 0)$, 桥连相同两个铁原子的两个氯原子间距离为 xpm, 则 B 原子在侧面上, 离 Z 轴的垂直距离为 $\frac{a-x}{2}$ pm,

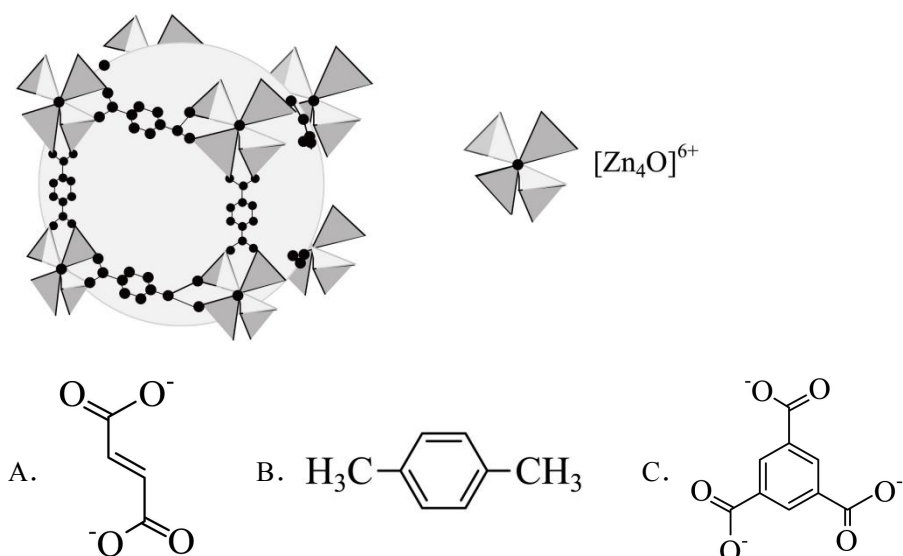
离 Y 轴的垂直距离为 $\frac{1}{2}$ cpm, 所以 B 原子的分数坐标为 $(0, \frac{a-x}{2a}, \frac{1}{2})$ 。

【点睛】计算晶胞中所含微粒数目时, 可采用均摊法。

9. (2025 菏泽二模, 16) 量子材料、金属有机骨架材料、光催化材料等有较大应用价值。回答下列问题:

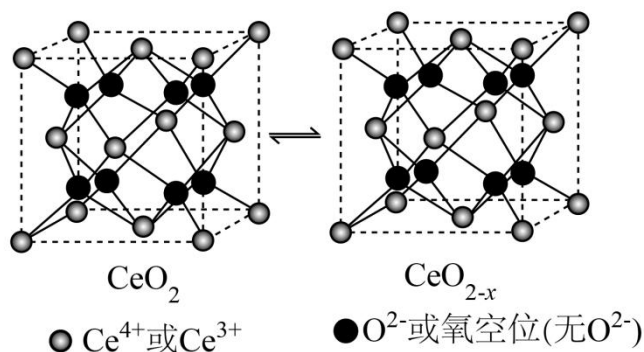
(1) 量子材料锡烯具有特殊二维蜂窝状结构, 有望实现常温下超导。Sn 在元素周期表中的位置为 _____, 其含氧酸根 SnO_3^{2-} 的空间构型为 _____。

(2) 三维多孔金属有机骨架材料 MOF-5 的低温储氢性能非常优异, 其晶体结构如图所示。化学式为 $\text{Zn}_4\text{O}(\text{BDC})_3$, 其中对苯二甲酸根离子(BDC)作为有机配体, 与无机基团 $[\text{Zn}_4\text{O}]^{6+}$ 连接。 $[\text{Zn}_4\text{O}]^{6+}$ 中 O 原子的杂化轨道类型为 _____。下列物质可作为有机配体与 $[\text{Zn}_4\text{O}]^{6+}$ 连接形成三维多孔骨架的是 _____ (填标号)。



MOF-5 晶体内部的空腔可吸附多种小分子。若要增强 MOF-5 与 H_2O 之间的吸附作用,可在配体上引入羟基而不引入甲基的原因是_____ (假设 MOF-5 晶胞形状不变)。

(3) 氧化铈(CeO_2) 是一种重要的光催化材料,在光催化过程中立方晶胞的组成变化如图所示, Ce^{4+} 和 Ce^{3+} 的可逆转换会造成氧空位的生成和消除。每个 CeO_{2-x} 晶胞中 Ce^{3+} 个数为_____ (用含 x 的代数式表示),消除氧空位的过程中,晶体作_____ (填“氧化剂”“还原剂”或“既不是氧化剂也不是还原剂”)。



【答案】 (1) ①. 第 5 周期第 IV A 族 ②. 平面正三角形

(2) ①. sp^3 ②. AC ③. 羟基能与水形成分子间氢键,而甲基不能

(3) ①. $8x$ ②. 还原剂

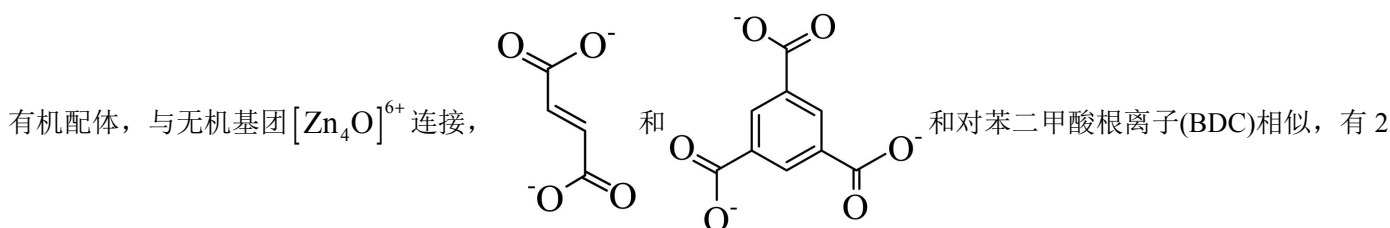
【解析】

【小问 1 详解】

Sn 在元素周期表中的位置为第 5 周期第 IV A 族,其含氧酸根 SnO_3^{2-} 中心原子价层电子对数为 $3 + \frac{1}{2} \times (4 + 2 - 3 \times 2) = 3$, 且不含孤电子对,空间构型为平面正三角形。

【小问 2 详解】

$[\text{Zn}_4\text{O}]^{6+}$ 中 O 原子形成 4 个 σ 键,且不含孤电子对, O 原子的杂化轨道类型为 sp^3 ; 对苯二甲酸根离子(BDC)作为



个(或多个)羧酸根,都可作为有机配体与 $[\text{Zn}_4\text{O}]^{6+}$ 连接形成三维多孔骨架,故答案为: AC。由于羟基能与水形成分子间氢键,而甲基不能,所以要增强 MOF-5 与 H_2O 之间的吸附作用,可在配体上引入羟基而不引入甲基;

【小问 3 详解】

CeO_{2-x} 中 Ce^{3+} 和 Ce^{4+} 的个数分别为 a 、 b , 则 $a+b=1$, 根据正负化合价代数和为 0, 则 $3a+4b=2(2-x)$, 解得 $a=2x-2$ 、 $b=1-2x$; 根据均摊法, 1 个晶胞中含 Ce^{3+} 和 Ce^{4+} 共 $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$, 则每个 CeO_{2-x} 晶胞中 Ce^{4+} 个数为 $4 \times (1-2x) = 4-8x$,

Ce^{3+} 个数为 $8x$ ，消除氧空位的过程中，该晶体结合 O 元素，作还原剂。

10. (2025 滨州二模, 16) 氮形成的一系列化合物广泛应用于科研、医疗、化工等领域。回答下列问题:

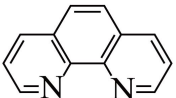
(1) 基态 N 原子核外电子的空间运动状态有 _____ 种; N、O、F 第一电离能由大到小的顺序为 _____ (填元素符号)。

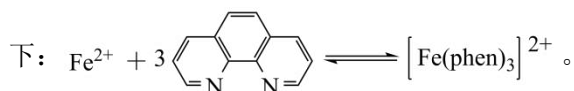
(2) 甲胺(CH_3NH_2)和胍(NH_2NH_2)都可用作制药原料。

①两者的碱性随 N 原子电子云密度增大而增强, 则其中碱性较强的是 _____ (填化学式), 原因为 _____。

②胍与硫酸反应生成 $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$, 其晶体内存在 _____ (填标号)。

A. 离子键 B. 共价键 C. 配位键 D. 金属键

(3) 含氮有机物邻二氮菲(, 简称为 phen) 是平面分子, 能与 Fe^{2+} 生成稳定的螯合物, 其反应原理如下:

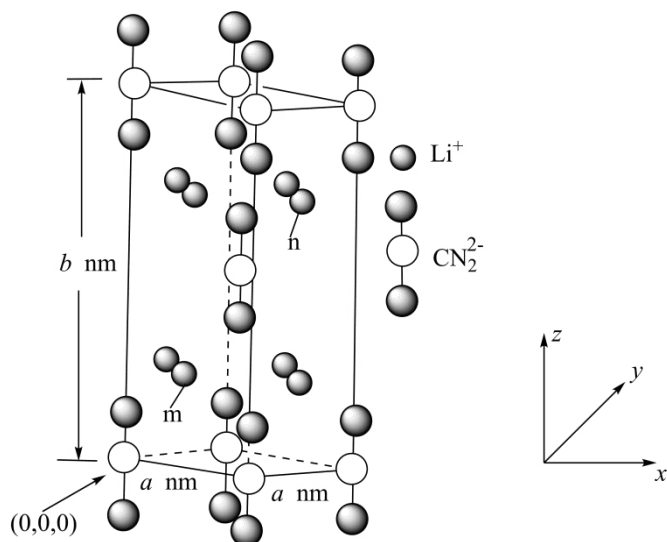


①phen 中 N 原子的价层孤电子对占据 _____ (填标号)。

A. 2s 轨道 B. 2p 轨道 C. sp^3 杂化轨道 D. sp^2 杂化轨道

② $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ 中 Fe^{2+} 的配位数为 _____。

(4) 活性氮物质 Li_2CN_2 能用于合成多种高附加值含氮化合物, 其晶胞形状为长方体, 结构如图。



以晶胞参数为单位长度建立的坐标系可以表示晶胞中各原子的位置, 称作原子分数坐标。图中 m 处 Li^+ 的分数坐标

为 $\left(\frac{1}{2}, 0, \frac{p}{b}\right)$ ($p \text{ nm}$ 为 m 处 Li^+ 到底面的垂直距离), 则 n 处 Li^+ 的分数坐标为 _____; 该晶体的密度

$\rho = \text{_____} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (N_A 表示阿伏加德罗常数的值, 用含 a、b、 N_A 的代数式表示)。

【答案】 (1) ①. 5 ②. $\text{F} > \text{N} > \text{O}$

(2) ①. CH_3NH_2 ②. 甲基是推电子基, 使甲胺中 N 电子云密度增大 ③. ABC

(3) ①. D ②. 6

(4) ①. $(1, \frac{1}{2}, \frac{b-p}{b})$ ②. $\frac{108}{a^2b \cdot N_A} \times 10^{21}$

【解析】

【小问 1 详解】

基态氮原子核外有 7 个电子, 所以基态 N 原子核外电子的空间运动状态有 5 种; 同一周期从左到右, 元素的第一电离能有增大的趋势, 但由于氮原子的价电子排布式为 $2s^2 2p^3$, 2p 上排布 3 个电子是半充满的稳定结构, 所以其第一电离能大于其后的氧元素, 所以 N、O、F 第一电离能由大到小的顺序为 $F > N > O$;

【小问 2 详解】

①甲基为推电子基团, 会导致甲胺中 N 的电子云密度增大, 则 CH_3NH_2 碱性更强;

②肼(N_2H_4)分子与硫酸反应生成 $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$, $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$ 与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 化合物类型相同, 故 $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$ 是离子晶体, $\text{N}_2\text{H}_6^{2+}$ 和 SO_4^{2-} 之间存在离子键, $\text{N}_2\text{H}_6^{2+}$ 中 N 和 H 之间形成 6 个共价键(其中 2 个配位键), SO_4^{2-} 中也存在共价键, 故选 ABC;

【小问 3 详解】

①phen 为平面形分子, N 原子的价层孤电子对占据 sp^2 杂化轨道, 故选 D;

② $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ 中, 每个邻二氮菲分子中两个氮原子与 Fe^{2+} 形成 2 个配位键, 该配离子中配体是 3 个, 所以 Fe^{2+} 的配位数为 6;

【小问 4 详解】

图中 m 处 Li^+ 的分数坐标为 $(\frac{1}{2}, 0, \frac{p}{b})$ (p nm 为 m 处 Li^+ 到底面的垂直距离), 由晶胞结构可知 n 处 Li^+ 的分数坐标

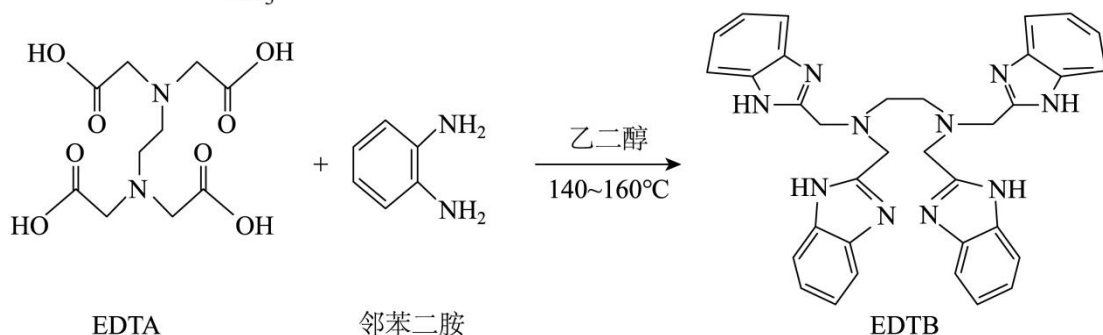
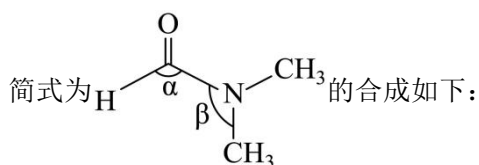
为 $(1, \frac{1}{2}, \frac{b-p}{b})$, CN_2^{2-} 的个数为 $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$, Li^+ 的个数为 $8 \times \frac{1}{2} = 4$, 设 N_A 表示阿伏加德罗常数的值, 该晶体的密度

$$\rho = \frac{4 \times 7 + 40 \times 2}{a^2 b \cdot N_A} \times 10^{21} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = \frac{108}{a^2 b \cdot N_A} \times 10^{21} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}。$$

11. (2025 烟台德州二模, 16) 锰及其化合物在生产生活中应用广泛。回答下列问题:

(1) 基态 Mn^{2+} 的价电子排布式为_____, Mn 的第三电离能_____ (填 “>” “<” 或 “=”) 铁的第三电离能。

(2) 科学家设计了一种含锰的仿生螯合物 $[\text{Mn}(\text{EDTB})](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{DMF}$ 可催化酚类转化为醌。其中 DMF 的结构

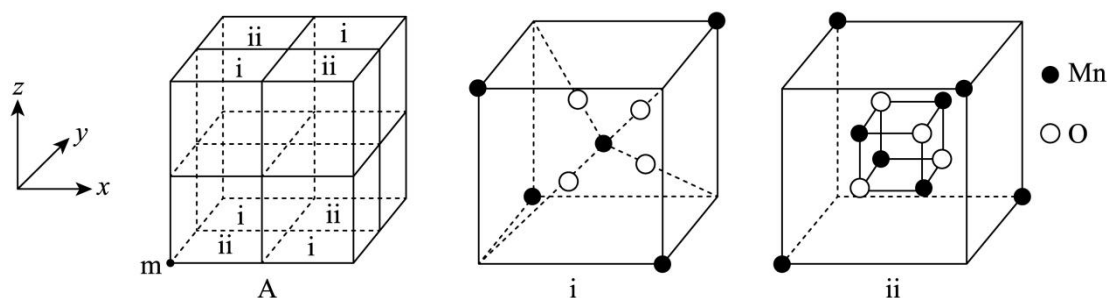


① NO_3^- 的空间构型为_____，EDTB 分子中 N 的杂化轨道类型为_____，DMF 分子中键角：

α _____ β (填 “>” “<” 或 “=”)。

② 对苯二胺的沸点为 267~269℃ 而邻苯二胺的沸点为 252~258℃，两者差异的原因是_____。

(3) 锰的某种氧化物具有一定催化效果，其晶胞结构如图中 A 所示(Mn 和 O 原子省略)，晶胞棱长为 $a\text{pm}$ 。A 可看作是由 i、ii 两种基本单元交替排列而成；ii 中单元内的锰和氧均位于体对角线上离顶点 $\frac{1}{4}$ 处。



① 晶胞 A 中，距离 m 原子 $(0,0,0)$ 最近的 O 原子分数坐标为_____； i、ii 单元中 Mn 的配位数之比为_____。

② 该氧化物的晶体密度为_____ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (列出计算式)。

【答案】 (1) ①. $3d^5$ ②. >

(2) ①. 正三角形 ②. sp^2 、 sp^3 ③. > ④. 邻苯二胺可形成分子内氢键，减弱分子间作用力，导致沸点相对较低(或对苯二胺更易形成分子间氢键，增强分子间作用力，因此沸点更高)

(3) ①. $\left(\frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}\right)$ ②. 4:3 ③. $\frac{(24 \times 55 + 32 \times 16)}{N_A \cdot (a \times 10^{-10})^3}$

【解析】

【小问 1 详解】

锰的原子序数为 25，基态电子排布为： $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$ ，其价电子排布式为 $3d^5$ 。锰的电子排布为 $3d^5$ ，

失去一个电子后变为 $3d^4$ ，这是一个半充满的稳定结构，因此需要较高的能量；铁的电子排布为 $3d^6$ ，失去一个电子后变为 $3d^5$ ，也是一个半充满的稳定结构，但其第三电离能低于锰，因此，锰的第三电离能 $>$ 铁的第三电离能。

【小问 2 详解】

① NO_3^- 的价层电子对数是： $3 + \frac{1}{2} \times (5 + 1 - 2 \times 3) = 3$ ，且没有孤对电子，因此其空间构型为平面正三角形。*EDTB*

分子中的 N 原子通常与多个原子成键，既形成了双键，也有单键，因此其杂化轨道类型为 sp^2 和 sp^3 两种杂化方式。

DMF 分子中，氮原子采用 sp^3 杂化，含有一对孤对电子。键角 α 是 $\text{H}-\text{C}-\text{N}$ 键角， β 是 $\text{C}-\text{N}-\text{C}$ 键角。由于 $\text{C}-\text{N}-\text{C}$ 中的氮原子的孤对电子排斥作用， $\text{C}-\text{N}-\text{C}$ 键角 β 略小于 120° ，而 $\text{H}-\text{C}-\text{N}$ 键角 α 接近 120° ，故 $\alpha > \beta$ 。

② 对苯二胺的氨基位于对位，分子间更容易形成氢键，而邻苯二胺的氨基位于邻位，分子间氢键作用较弱，因此对苯二胺的沸点更高。

【小问 3 详解】

① 在单元 *i* 中，Mn 原子与 4 个 O 原子配位，因此配位数为 4；在单元 *ii* 中，Mn 原子与 3 个 O 原子配位，因此配位数为 3，所以 Mn 的配位数之比为 4:3。O 原子位于体对角线上离顶点 $\frac{1}{4}$ 处，因此其坐标为 $\left(\frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}\right)$ 。这

是因为体对角线的长度为 $\sqrt{3}$ 倍，离顶点 $\frac{1}{4}$ 处的坐标为 $\left(\frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}\right)$ 。

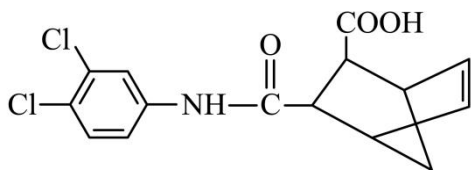
② 把 *i* 和 *ii* 摆为 A 的样子，锰原子位于晶胞的 8 个顶点和 6 个面心，以及 4 个 *i* 的内部各个，4 个 *ii* 的内部各 4 个，所以一个 A 中含有锰原子为： $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} + 4 \times 1 + 4 \times 4 = 24$ 个，氧原子均在晶胞内部，故氧原子为： $4 \times 8 = 32$ 个，

所以其氧化物的化学式为： $\text{Mn}_{24}\text{O}_{32}$ 。该氧化物的晶体密度为： $\frac{(24 \times 55 + 32 \times 16)}{(a \times 10^{-10})^3 \cdot N_A} \text{g/cm}^3$ 。

第六部分 有机化学基础

一、有机物的结构与性质

1. (2025 泰安二模, 4) 某抗癌药物的结构如图所示, 下列说法错误的是



- A. 分子式为 $\text{C}_{15}\text{H}_{13}\text{NO}_3\text{Cl}_2$
- B. 含有 4 种官能团
- C. 能使 Br_2 的 CCl_4 溶液褪色
- D. 1mol 该物质最多能与 5molH_2 发生加成反应

【答案】D

【解析】

【详解】A. 根据其键线式可知其分子式为: $C_{15}H_{13}NO_3Cl_2$, A 正确;

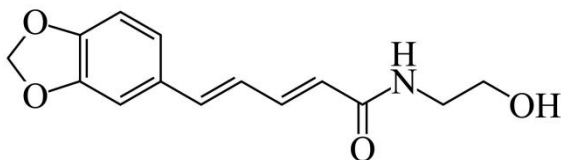
B. 该有机物含有 C-Cl 键、酰胺基、羧基和碳碳双键四种官能团, B 正确;

C. 因为该物质含有 $C=C$ ，可以与溴的四氯化碳发生加成反应，导致褪色，C 正确；

D. 该物质中，苯环可以和 $3mol$ 氢气加成， $C=C$ 可以和 $1mol$ 氢气加成，酰胺基不能和氢气加成，所以一共需要 $4mol$ 氢气，D 错误；

故选 D。

2. (2025 济南二模, 5) (E, E)-胡椒酰乙醇胺在增强鲜味和咸味方面具有显著效果, 其结构简式如图所示。下列关于(E, E)-胡椒酰乙醇胺的说法错误的是



- A. 存在顺反异构体
- B. 分子中所有 O 原子可能共平面
- C. 可形成分子内氢键和分子间氢键
- D. 可用酸性高锰酸钾溶液检验分子中碳碳双键

【答案】D

【解析】

【详解】A. 分子中碳碳双键两端的碳原子连接 2 个不同的原子或原子团，所以存在顺反异构，故 A 正确；

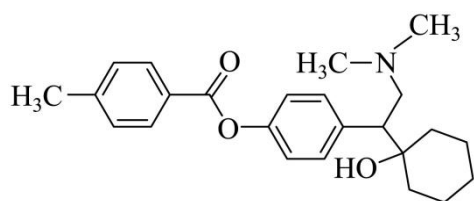
B. 分子中饱和碳原子具有甲烷的结构特点，甲烷分子中最多有 3 个原子共平面，则该分子中所有氧原子可能共平面，故 B 正确；

C. 醇羟基和亚氨基能形成分子内氢键，醇羟基能形成分子间氢键，所以该分子可形成分子内和分子间氢键，故 C 正确；

D. 分子中碳碳双键、 $-\text{CH}_2\text{OH}$ 都能被酸性高锰酸钾溶液氧化而使酸性高锰酸钾溶液褪色，不能用酸性高锰酸钾溶液检验碳碳双键，故 D 错误；

故选：D。

3. (2025 滨州二模，6) 化合物 X 是一种抗抑郁药物的主要成分，结构简式如图。下列相关表述错误的是



A. 分子式为 $\text{C}_{24}\text{H}_{31}\text{NO}_3$

B. 含有 3 种官能团和 1 个手性碳原子

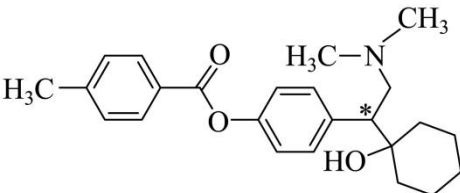
C. 消去反应的产物有 2 种(不考虑立体异构)

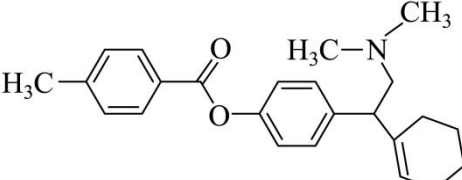
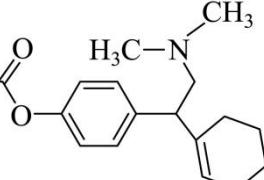
D. 1 mol X 最多可与 7 mol H_2 发生加成反应

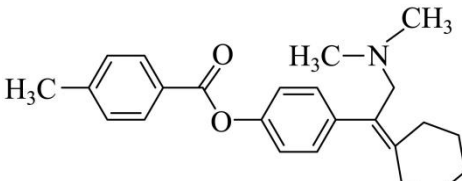
【答案】D

【解析】

【详解】A. 该有机物的分子式为 $\text{C}_{24}\text{H}_{31}\text{NO}_3$ ，A 正确；

B. 含有酯基、羟基、氨基 3 种官能团和 1 个手性碳原子 ，B 正确；

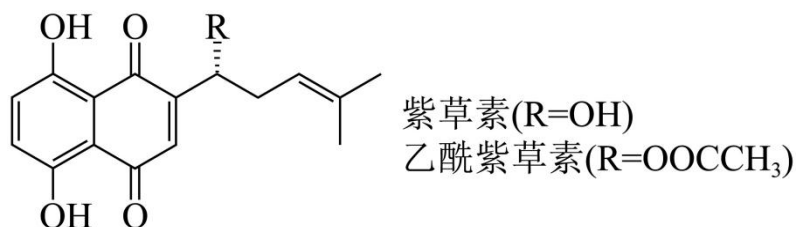
C. 消去反应的产物有 2 种(不考虑立体异构)， 和 ，C 正确；

 C 正确；

D. 含有 2 个苯环，1 mol X 最多可与 6 mol H_2 发生加成反应，D 错误；

故选 D。

4. (2025 烟台德州二模，7) 紫草素及其衍生物是紫红色萘醌类天然色素，主要包括紫草素、乙酰紫草素等，下列说法正确的是

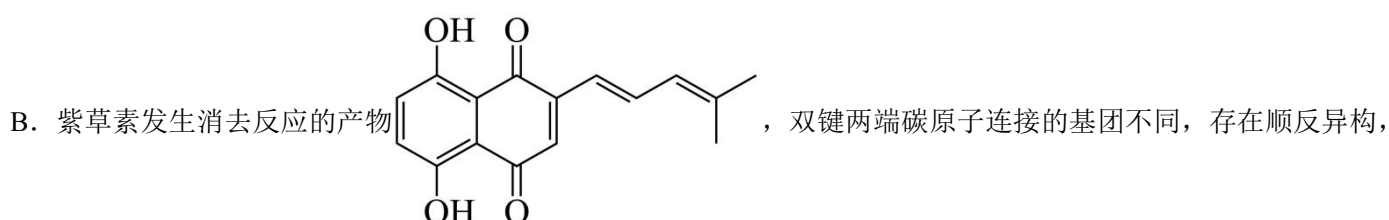


- A. 1mol 紫草素与溴水反应时最多消耗 4molBr_2
- B. 紫草素发生消去反应的产物不存在顺反异构
- C. NaOH 溶液能将乙酰紫草素转化为紫草素
- D. 1mol 乙酰紫草素最多可与 8molH_2 反应

【答案】A

【解析】

【详解】A. 苯环中酚羟基的邻位氢可以被溴取代，碳碳双键可以和溴加成，故 1mol 该物质与足量浓溴水反应，最多可消耗 4molBr_2 ，A 正确；



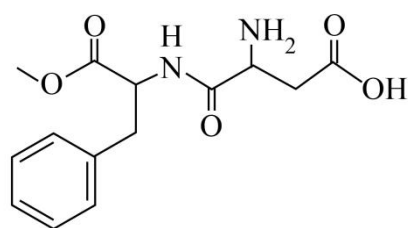
B 错误；

C. 能和氢氧化钠反应的有酚羟基和酯基，故不能生成紫草素，C 错误；

D. 乙酰紫草素含 1 个苯环，2 个羰基，两个碳碳双键，1mol 乙酰紫草素最多可与 7molH_2 反应，D 错误；

故选 A。

5. (2025 日照二模，7) 阿斯巴甜是一种甜味剂，其结构简式如图，下列有关阿斯巴甜说法正确的是



- A. 分子中含有 5 种官能团
- B. 该物质不能和酸性高锰酸钾反应
- C. 可在人体内水解为两种氨基酸和甲醇
- D. 1 mol 阿斯巴甜最多能与 2molNaOH 反应

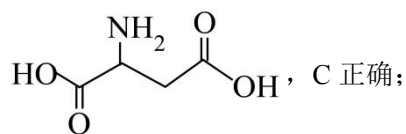
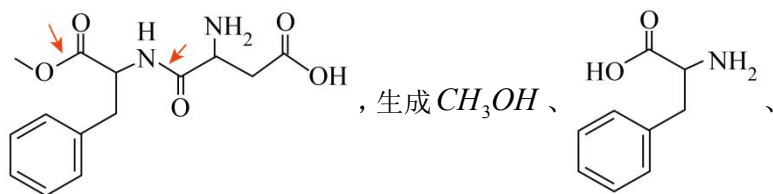
【答案】C

【解析】

【详解】A. 由结构简式可知，分子中含有氨基、羧基、酰胺基、酯基等 4 种官能团，A 错误；

B. 阿斯巴甜的官能团中含有氨基，可以被高锰酸钾氧化，B 错误；

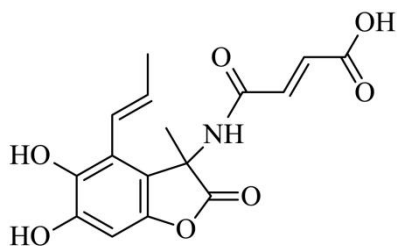
C. 阿斯巴甜可在人体内按照图示处发生水解断键，



D. 阿斯巴甜中可以和氢氧化钠反应的官能团是酰胺基、羧基和酯基，所以 1mol 阿斯巴甜最多能与 3mol NaOH 反应，D 错误；

故选 C。

6. (2025 聊城二模，8) 有机化合物 M 具有广谱抗菌活性，其结构简式如图所示。下列关于 M 的说法错误的是



A. 含 4 种含氧官能团

B. 存在顺反异构和对映异构

C. 1mol M 最多可消耗 5mol NaOH

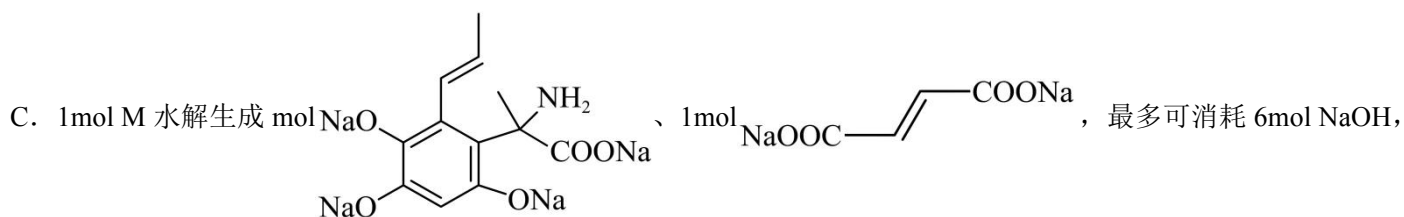
D. 其酸性水解产物均可发生加成反应和取代反应

【答案】C

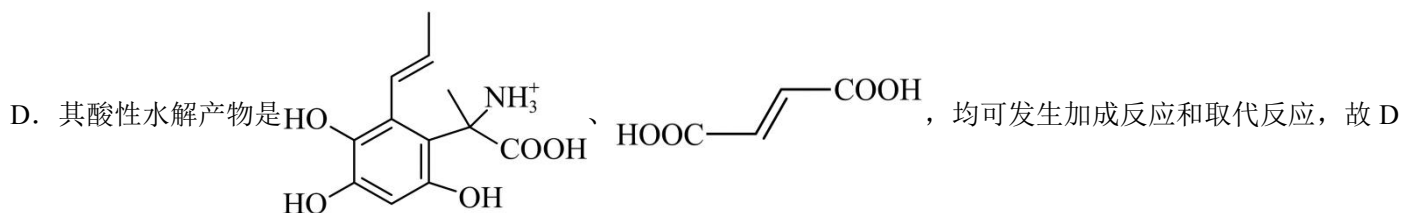
【解析】

【详解】A. 含(酚)羟基、酰胺基、羧基、酯基 4 种含氧官能团，故 A 正确；

B. M 分子中含有碳碳双键且碳碳双键的两个碳原子各连接两个不同的基团，所以存在顺反异构，M 分子中含有与 4 个不同原子或原子团相连的单键碳，所以存在对映异构，故 B 正确；



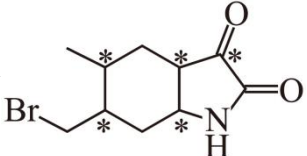
故 C 错误；



正确；

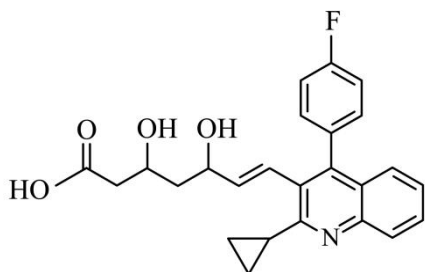
选 C。

7. (2025 青岛二模，8) 拉贝洛尔可用于治疗各种类型高血压，其结构如图。下列关于该有机物说法错误的是

D. X 与足量 H_2 加成后的产物为 ，分子中含 5 个手性碳原子，故 D 错误；

故答案为：C。

9. (2025 菏泽二模，9) 匹伐他汀类药物是治疗高脂血症和高胆固醇血症的常见药物，其中一种结构如图。下列关于该物质的说法错误的是



A. 分子式为 $C_{25}H_{24}FNO_4$

B. 存在顺反异构、对映异构

C. 所有碳原子可能共平面

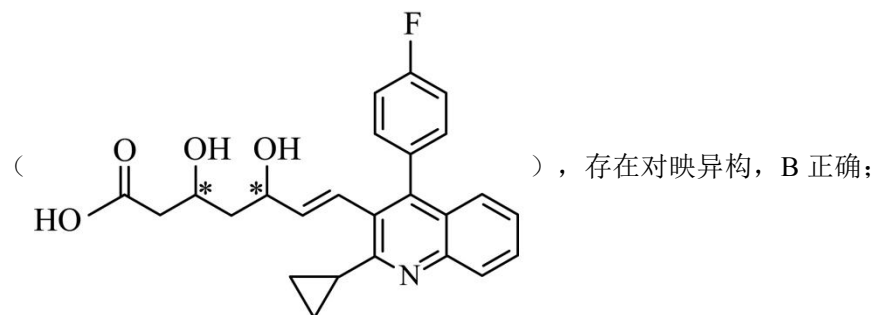
D. 可发生取代反应、消去反应和缩聚反应

【答案】C

【解析】

【详解】A. 由结构简式可知，该物质的分子式为 $C_{25}H_{24}FNO_4$ ，A 正确；

B. 含有 1 个双键，且碳碳双键同端的碳原子相连的基团不相同，存在顺反异构，分子具有手性 C 原子

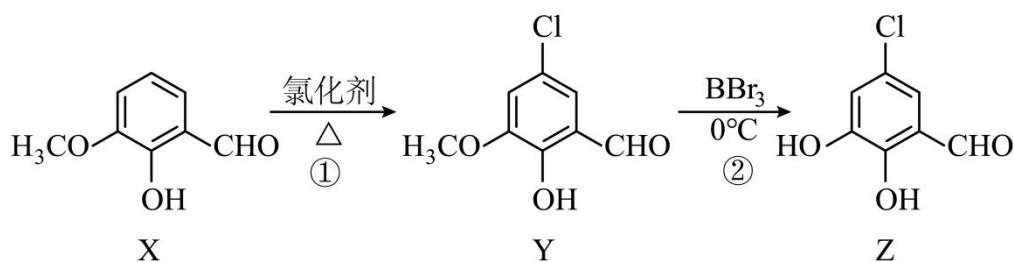


C. 含有饱和碳原子，饱和碳原子及与之相连的 3 个碳原子，不可能都共面，C 错误；

D. 该物质含有羟基（邻位碳上有氢原子）、羧基，可以发生消去反应，取代反应和缩聚反应，D 正确；

故选 C。

10. (2025 烟台德州二模，12) (不定项) 化合物 Z 是合成苯并呋喃衍生物的中间体，由化合物 X 生成化合物 Z 的路线如图所示，下列说法错误的是



A. X 的同分异构体中，与其官能团相同的有 9 种

- B. 用红外光谱可检测 Z 中是否含有 Y
- C. 化合物 Y 与足量 H_2 加成后的产物中含有 3 个不对称碳原子
- D. 化合物 Z 在核磁共振氢谱上有 5 组吸收峰

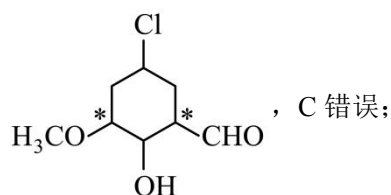
【答案】AC

【解析】

【详解】A. 苯环连接三个不同取代基的同分异构体数目为 10 种，当取代基为 $-CHO$ ， $-OH$ ， $-OCH_3$ ，去除自己，还剩 9 种，直接与苯环相连的取代基为 $-O-CH_2-CHO$ ， $-OH$ ，有 3 种，共有 12 种，A 错误；

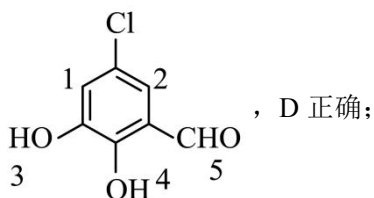
B. Z 与 Y 的官能团不同，可以用红外光谱可检测 Z 中是否含有 Y，B 正确；

C. 化合物 Y 与足量 H_2 加成后的产物中含有 2 个不对称碳原子，



，C 错误；

D. 化合物 Z 在核磁共振氢谱上有 5 组吸收峰，

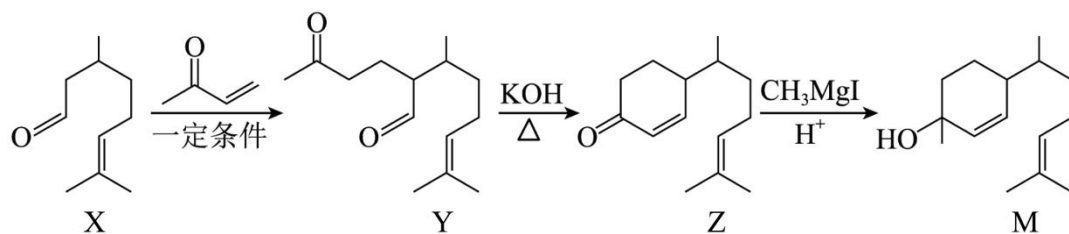


，D 正确；

故选 AC。

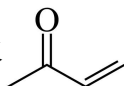
二、有机反应

1. (2025 日照二模，5) 有机物 M 的合成路线如下，下列有关说法错误的是



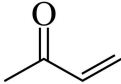
- A. $X \rightarrow Y$ 的反应类型为加成反应
- B. 利用溴水可以鉴别物质 Z 与 M
- C. M 分子中有 3 个手性碳原子

D. 依据 $Y \rightarrow Z$ 的反应机理，可由丙酮与甲醛反应制取



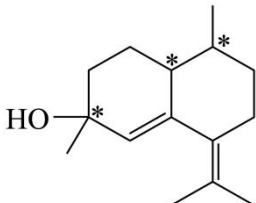
【答案】B

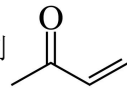
【解析】

【分析】X 与  通过加成反应生成 Y，Y 通过先加成、后消去反应生成 Z，Z 与 CH_3MgI 反应，再酸化生成 M。

【详解】A. 据分析， $X \rightarrow Y$ 的反应类型为加成反应，故 A 正确；

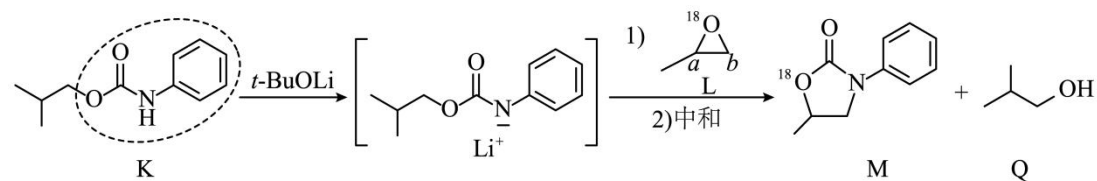
B. Z 和 M 均有碳碳双键，均与溴水发生加成反应、使溴水褪色，不能鉴别两者，故 B 错误；

C. M 分子中有 3 个手性碳原子：HO- (“*”标示的碳原子)，故 C 正确；

D. 丙酮与甲醛下发生加成反应生成 $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ，再加热发生消去反应得到 ，故 D 正确；

故答案为 B。

2. （2025 潍坊二模，7）化合物 M 是一种新型抗生素中间体，其合成路线如下。已知化合物 K 中虚线圈内所有原子共平面。



下列说法错误的是

A. K 中虚线圈内碳原子和氮原子的杂化方式均为 sp^2

B. 形成 M 时，氮原子与 L 中碳原子 b 成键

C. Q 的核磁共振氢谱有 4 组峰

D. M 水解可生成 CO^{18}O

【答案】D

【解析】

【详解】A. K 虚线圈内所有原子共平面，则 N 原子的最外层孤电子对未参与杂化，N 原子的杂化方式为 sp^2 ，苯环和碳氧双键的 C 均为 sp^2 杂化，A 正确；

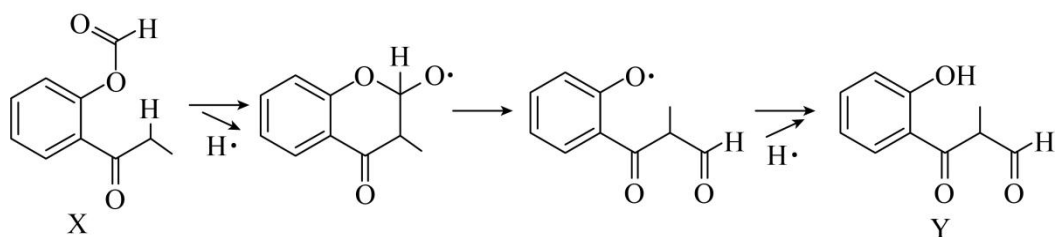
B. 对照 L 和 M 的结构可以看出，形成 M 时，L 分子中 ^{18}O 与 b 碳原子之间的共价键断裂，则氮原子与 L 中碳原子 b 成键，B 正确；

C. Q 有四种类型的氢原子，核磁共振氢谱有 4 组峰，C 正确；

D. M 分子中，左侧环上存在酯基和酰胺基，在酸性条件下两种官能团都发生水解反应，M 可水解生成 H_2CO_3 ， H_2CO_3 分解生成 CO_2 和水，但是 ^{18}O 并不存在于二氧化碳中，D 错误；

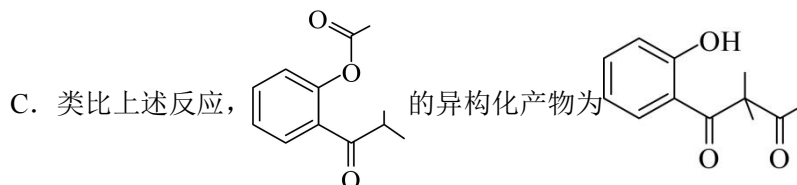
故选 D。

3. （2025 潍坊二模，12）（不定项）有机物 $\text{X} \rightarrow \text{Y}$ 的异构化过程如图所示。下列说法错误的是



A. 用 FeCl_3 溶液可以鉴别 X 和 Y

B. 反应过程中有非极性键的断裂和生成



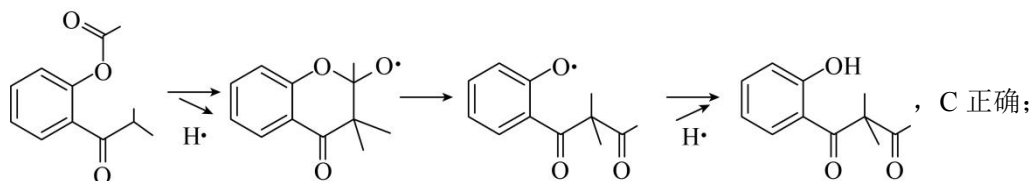
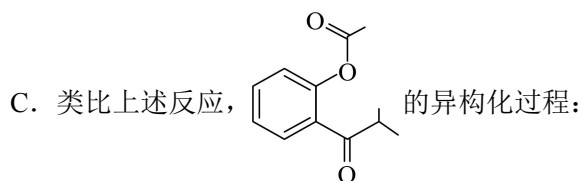
D. 苯环上有一个取代基，含醛基和羧基且有手性碳原子的 X 的同分异构体有 3 种

【答案】BD

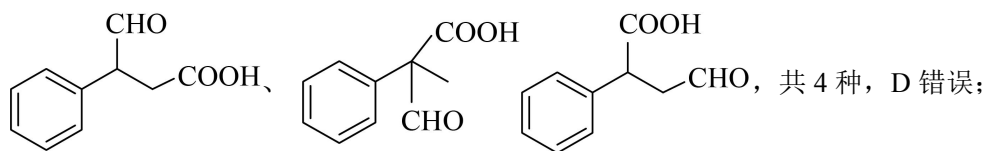
【解析】

【详解】A. Y 中含有酚羟基，遇氯化铁溶液发生显色反应，可以鉴别 X 和 Y，A 正确；

B. 反应过程中有非极性键的生成，没有非极性键的断裂，B 错误；

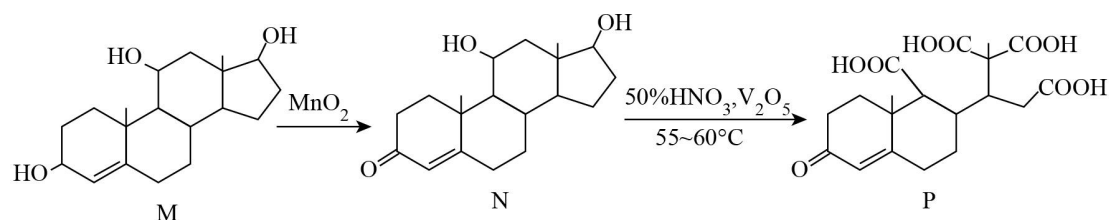


D. 苯环上有一个取代基，含醛基和羧基且有手性碳原子的 X 的同分异构体有 、

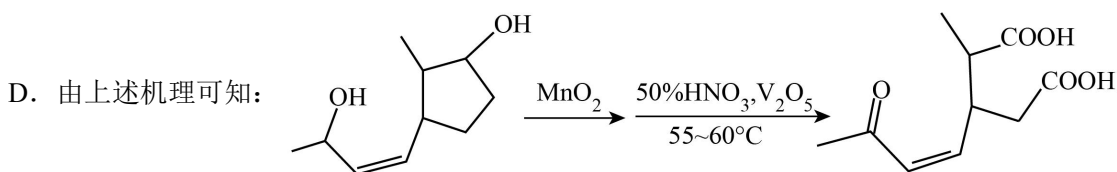


故答案为：BD。

4. （2025 济宁二模，12）（不定项）已知有机物 M、N、P 转化关系如下图，下列有关说法正确的是

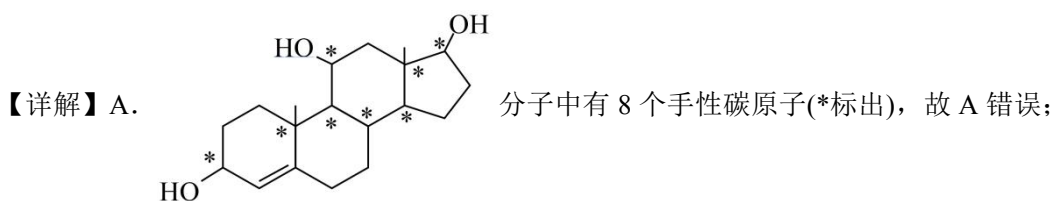


- A. M 分子中有 7 个手性碳原子
- B. N 分子在一定条件下能发生加聚和缩聚反应
- C. N 的消去产物有四种

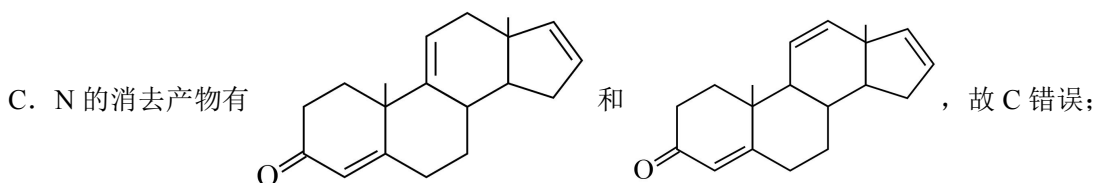


【答案】BD

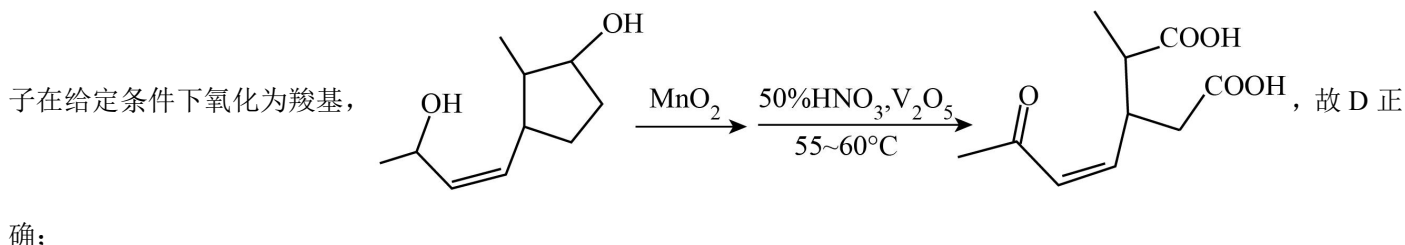
【解析】



B. N 分子含有碳碳双键, 能发生加聚反应, N 分子中含有 2 个羟基, 在一定条件下能发生缩聚反应, 故 B 正确;

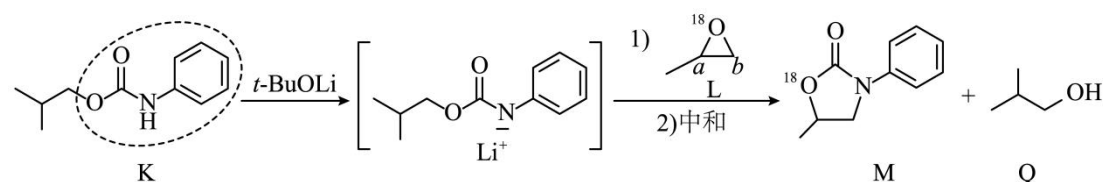


D. 由上述机理可知, 双键碳的邻位的羟基被二氧化锰氧化为羰基, 与羟基相连的碳原子、含有 H 原子的邻位碳原



选 BD。

5. (2025 滨州二模, 12) (不定项) 化合物 M 是一种新型抗生素的中间体, 其合成路线如下(略去部分试剂和反应条件)。已知化合物 K 虚线圈内所有原子共平面。下列说法错误的是



- A. K 中碳氮键可沿键轴旋转
- B. L 中所有碳、氧原子共平面
- C. 形成 M 时, 氮原子与 L 中碳原子 b 成键
- D. Q 的构造异构体有 6 种

【答案】AB

【解析】

【详解】A. 化合物 K 虚线圈内所有原子共平面, 则 N 原子的最外层孤电子对未参与杂化, 而是与苯环的大 π 键共轭, 故碳氮键不可沿键轴旋转, A 错误;

B. L 中有饱和碳原子, 故所有碳、氧原子不共平面, B 错误;

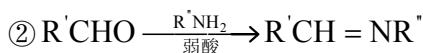
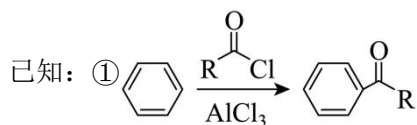
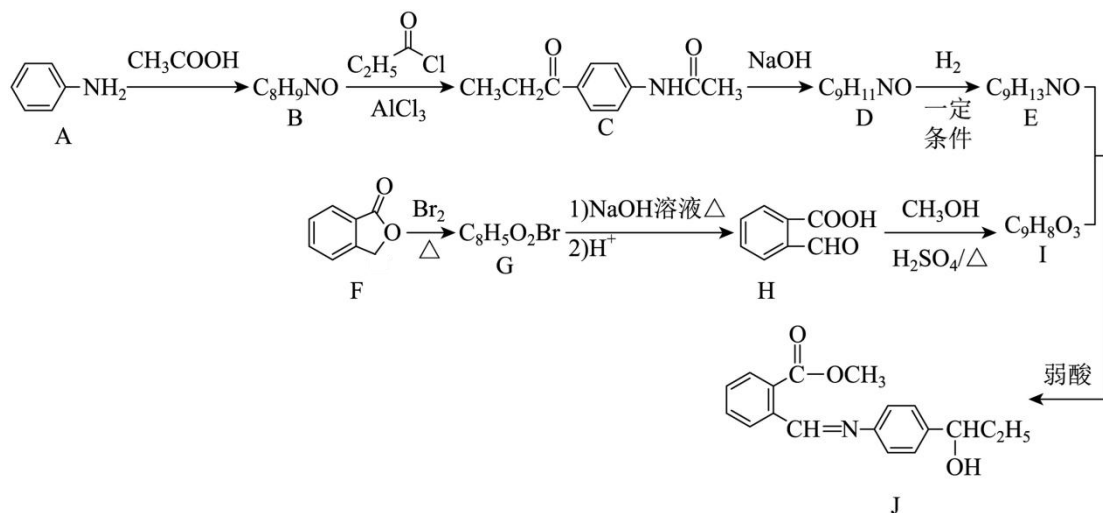
C. 对照 L 和 M 的结构可以看出, 形成 M 时, L 分子中 ^{18}O 与 b 碳原子之间的共价键断裂, 则氮原子与 L 中碳原子 b 成键, C 正确;

D. Q 的构造异构体 $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})(\text{CH}_3)_2$ 、 $\text{CH}_3\text{-O-CH}(\text{CH}_3)_2$ 、 $\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{CH}_3$, 共有 6 种, D 正确;

故选 AB。

三、有机推断题（非选择题）

1. (2025 泰安二模, 19) 有机物 J 是治疗脑血栓的药物。J 的一种合成路线如图:



③ 同一碳原子上连两个羟基时结构不稳定, 易脱水生成醛或酮。

回答下列问题:

(1) 由 B 生成 C 的反应类型为_____, D 的结构简式为_____。

(2) E 中官能团的名称是_____, 用 “*” 标出 J 中的手性碳原子_____。

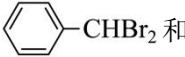
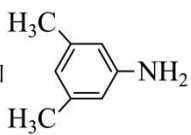
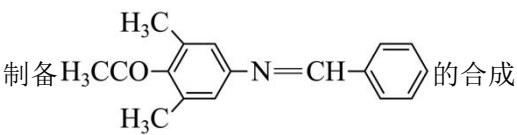
(3) $\text{I} + \text{E} \rightarrow \text{J}$ 的化学方程式为_____。

(4) 在 I 的同分异构体中, 同时满足下列条件的共有_____种 (不考虑立体异构)。

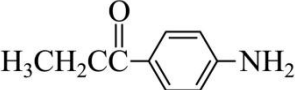
① 酸性条件下的水解产物之一能使 FeCl_3 溶液变色

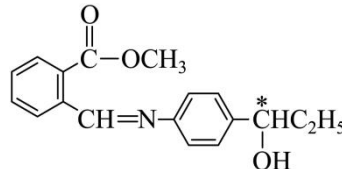
② 两种水解产物均能发生银镜反应

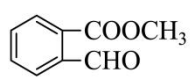
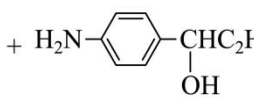
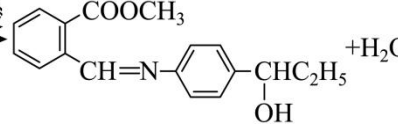
③苯环上只有 2 个取代基，除苯环外没有其他环

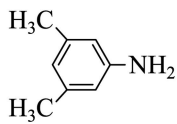
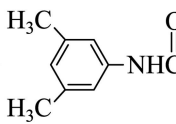
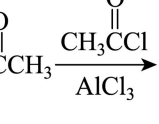
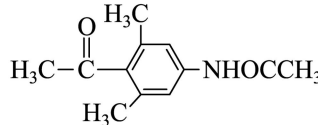
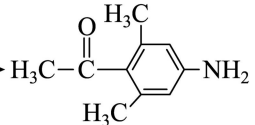
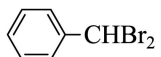
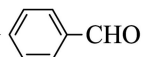
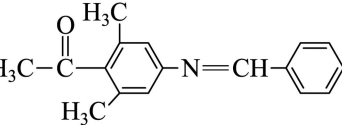
(5) 根据题干合成过程和题目信息设计由  和  制备  的合成

路线_____ (无机试剂任选)。

【答案】 (1) ①. 取代反应 ②. 

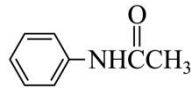
(2) ①. 氨基、羟基 ②. 

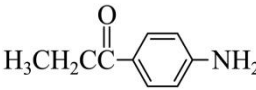
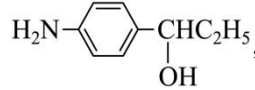
(3)  +  $\xrightarrow{\text{弱酸}}$  + H₂O (4) 3

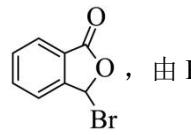
(5)  $\xrightarrow{\text{CH}_3\text{COOH}}$  $\xrightarrow[\text{AlCl}_3]{\text{CH}_3\text{COCl}}$ 
 $\xrightarrow{\text{NaOH溶液}}$ 
 $\xrightarrow{\text{NaOH溶液}}$  $\rightarrow$ 

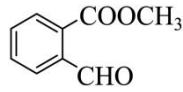
【解析】

【分析】由题干 A、C 的结构简式和 B 的分子式以及 A 到 B、B 到 C 的转化条件，并结合已知信息①可知，B 的结

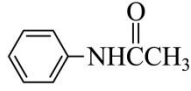
构简式为: ，由 C 的结构简式、D 的分子式和 C 到 D 的转化条件可知，D 的结构简式为:

，由 D 到 E 的转化条件和 E 的分子式可知，E 的结构简式为: ，由 F 的结

构简式和 G 的分子式，结合 F 到 G 的转化条件和已知信息③可知，G 的结构简式为: ，由 H 的结构简式

以及 H 到 I 的转化条件、I 的分子式和 J 的结构简式可知，I 的结构简式为: ，据此分析解题。

【小问 1 详解】

B 的结构简式为: ，与 C₂H₅COCl 发生取代反应生成 C 和 HCl，反应类型为取代反应；根据分析，D

的结构简式为： $\text{H}_3\text{CH}_2\text{CC}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2$ ；

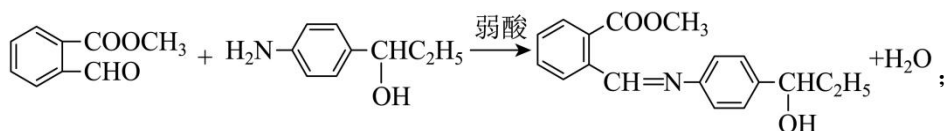
【小问 2 详解】

E 的结构简式为： $\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ ，官能团为羟基和氨基；手性碳原子为一个碳原子周围有四个不一样的原子

或原子团，用“*”标出 J 的手性碳原子为： $\text{C}_6\text{H}_5-\text{C}(=\text{O})\text{OCH}_3$ 与 $\text{CH}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}^*(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ ；

【小问 3 详解】

E 的结构简式为： $\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ ，I 的结构简式为： $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOCH}_3)(\text{CHO})$ ，二者发生已知②的反应，化学方程式为：



【小问 4 详解】

I 的分子式为 $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_3$ ，结构简式为 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOCH}_3)(\text{CHO})$ ，符合条件①酸性条件下的水解产物之一能使 FeCl_3 溶液变色，

含有酚酯基，②两种水解产物均能发生银镜反应，含有甲酸酯基和醛基，③苯环上只有 2 个取代基，符合条件的同

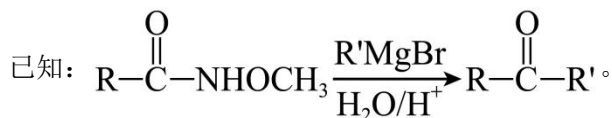
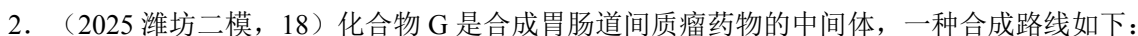
分异构体有 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OCHO})(\text{CH}_2\text{CHO})$ (有邻、间、对三种位置)，共三种；

【小问 5 详解】

目标产物为： $\text{H}_3\text{CCO}-\text{C}_6\text{H}_2(\text{CH}_3)_2-\text{N}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$ ，可以由 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CHO}$ 和 $\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_2(\text{CH}_3)_2-\text{NH}_2$ 发生已知②的反应得到，

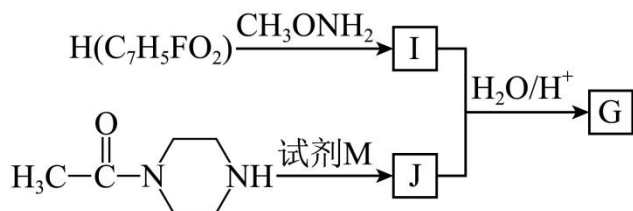
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CHO}$ 由 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CHBr}_2$ 在碱性条件下水解得到， $\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_2(\text{CH}_3)_2-\text{NH}_2$ 可以由 $\text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{CH}_3)_2-\text{NH}_2$ 按照题目中 A 到 D 的

反应得到，故合成路线为：



回答下列问题:

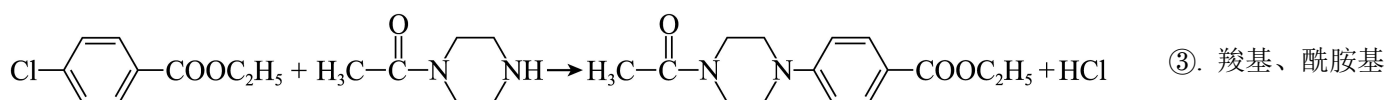
- (1) A 的名称为_____ (用系统命名法命名), $B \rightarrow C$ 的反应条件为_____。
- (2) 设计 $B \rightarrow C$ 的目的为_____, $C \rightarrow D$ 的化学方程式为_____, E 中含氧官能团名称为_____。
- (3) 写出一种符合下列条件的 E 的同分异构体的结构简式_____。
- ①含苯环; ②有四种不同化学环境的 H 且个数比为 1:2:4:9; ③能发生银镜反应。
- (4) G 的另一条合成路线设计如下:

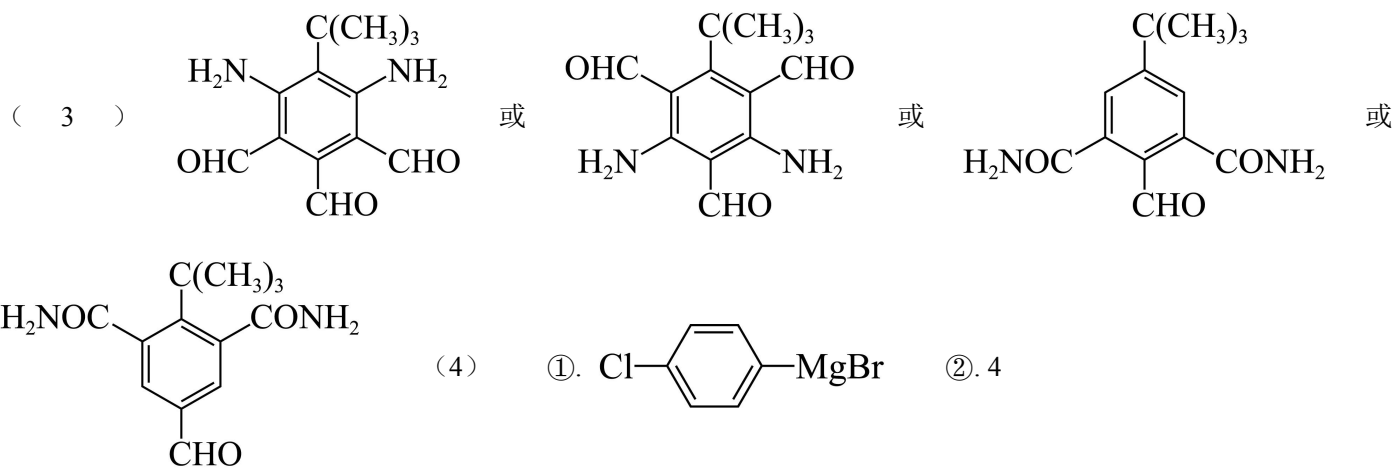


试剂 M 的结构简式为 ，I 中有 种化学环境的氢原子。

【答案】 (1) ①. 4-氯苯甲醛 ②. 浓硫酸, 加热

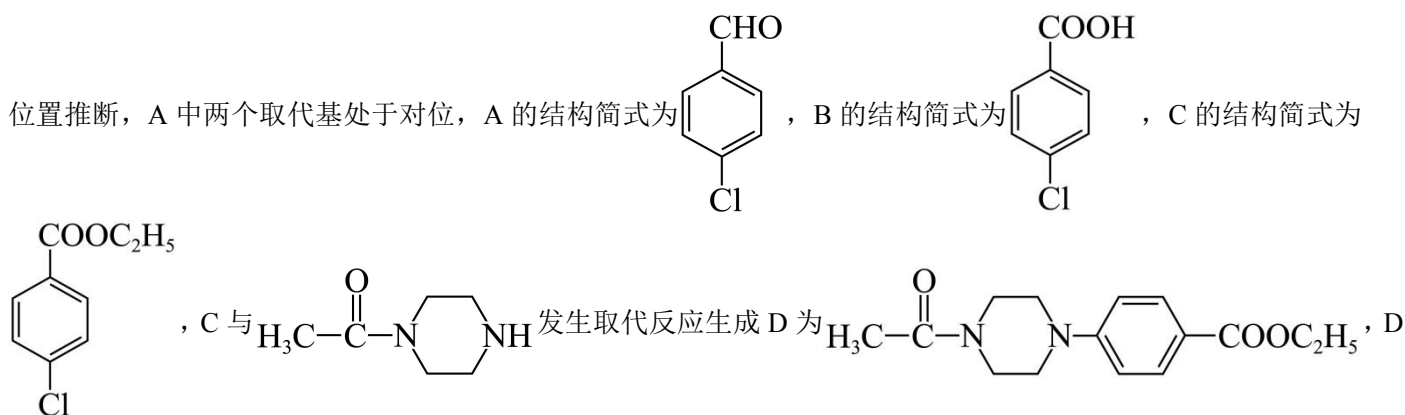
- (2) ①. 防止 $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{N}$ 中的 NH 与 B 中 $-\text{COOH}$ 结合 (保护羧基) ②.





【解析】

【分析】A 的分子式为 $\text{C}_7\text{H}_5\text{ClO}$ ，不饱和度为 5，结合条件可知，A 发生氧化反应生成 B，B 与乙醇发生酯化反应生成 C，结合 A 的不饱和度为 5，说明 A 中含有的是醛基、苯环(由目标产物推断)，结合目标产物中苯环取代基的位置推断，A 中两个取代基处于对位，A 的结构简式为 ，B 的结构简式为 ，C 的结构简式为



中酯基先水解，再酸化生成 E 为 $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{N}(\text{CH}_2)_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH}$ ，E 中羧基与 CH_3ONH_2 中氨基发生取代反应生成 F 为 $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{N}(\text{CH}_2)_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{OCH}_3$ ，F 与 $\text{F}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{MgBr}$ 发生已知信息的反应生成目标产物，据此解答。

【小问 1 详解】

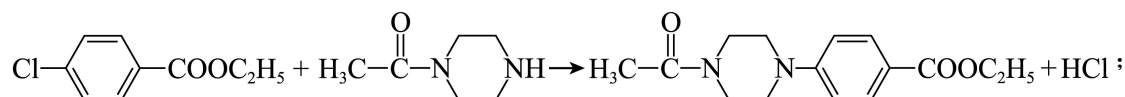
A 的结构简式为 ，系统命名法为 4-氯苯甲醛；B→C 发生的是羧基和羟基的酯化反应，反应条件为浓硫酸、加热；

【小问 2 详解】

B→C 的反应先让羧基发生酯化反应，而 D→E 又发生酯基的水解反应，说明 B→C 的目的为防止



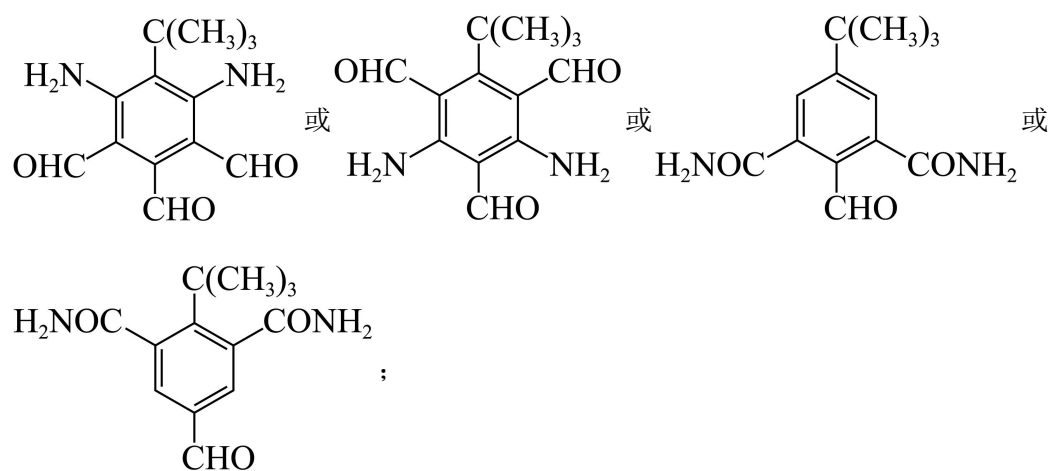
C→D 的反应为取代反应，同时会生成 HCl，化学方程式为



结合 E 的结构简式可知，含氧官能团名称为羧基、酰胺基；

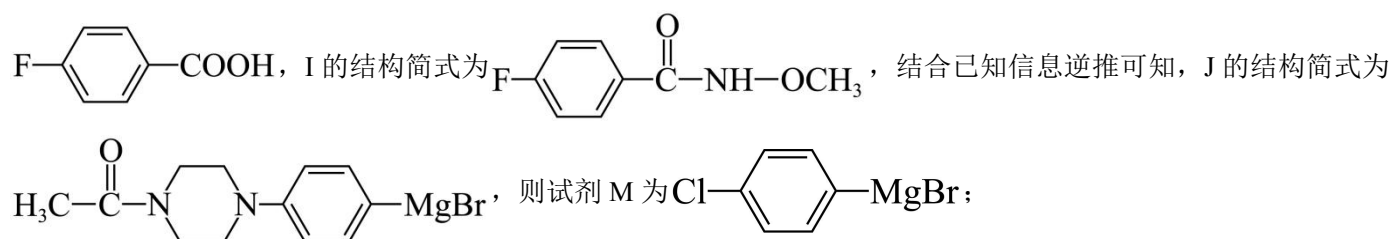
【小问 3 详解】

E 结构简式为 $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{N}(\text{CH}_2)_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH}$ ，①含苯环，除了苯环外还剩余 7 个碳原子、3 个氧原子、2 个氮原子、3 个不饱和度，②有四种不同化学环境的 H 且个数比为 1:2:4:9，说明含有 $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ 的结构，③能发生银镜反应，说明含有醛基，满足条件的结构简式为



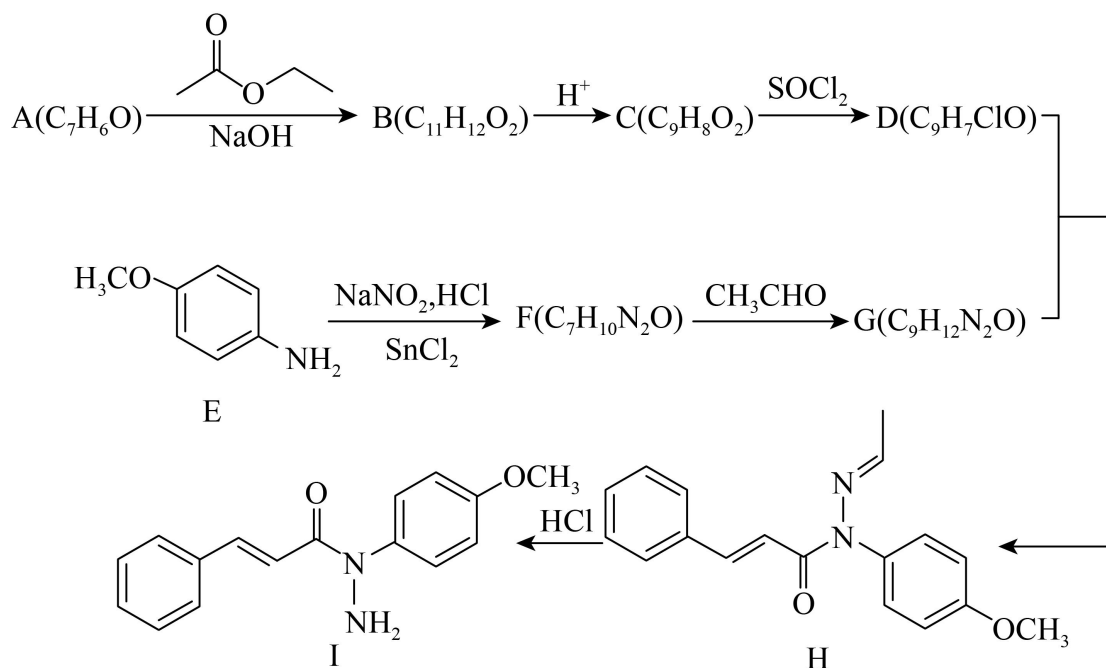
【小问 4 详解】

H 的分子式为 $\text{C}_7\text{H}_5\text{FO}_2$ ，结合 E→F 的反应，H 与 CH_3ONH_2 中氨基发生取代反应生成 I，则 H 的结构简式为



由上述分析可知，试剂 M 为 $\text{Cl}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{MgBr}$ ；I 中有 $\text{F}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{OCH}_3$ 4 种化学环境的氢原子。

3. (2025 日照二模, 17) 化合物 I 为抗炎药吡唑拉新的前体，其合成路线如下：



已知：I . $R-COOH \xrightarrow{SOCl_2} R-COCl$

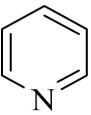
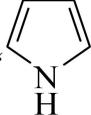
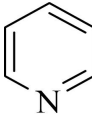
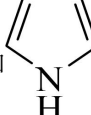
II . $R-NH_2 \xrightarrow[\text{SnCl}_2]{\text{NaNO}_2, \text{HCl}} R-NH-NH_2$

回答下列问题：

(1) B 中官能团名称为_____。

(2) C 与过量的酸性高锰酸钾溶液反应，所得有机物的结构简式为_____。

(3) C→D 的反应类型为_____。

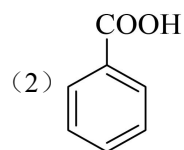
(4) D+G→H 过程中加入_____ (填“”或“”)更有利于反应正向进行(已知：和均为平面形分子)。

(5) F→G 的化学方程式为_____。

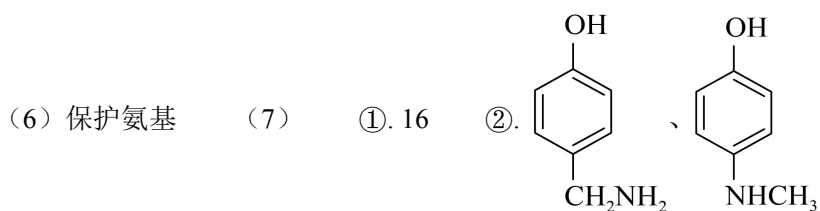
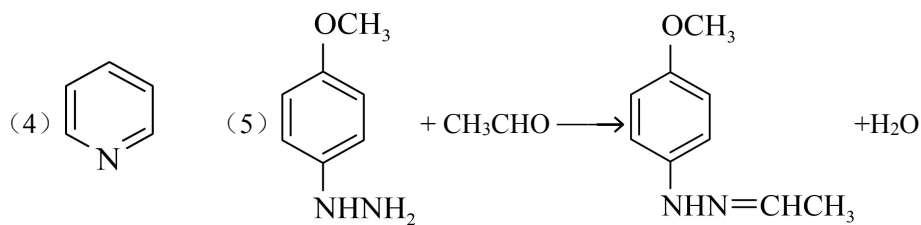
(6) 设计 F→G 和 H→I 的目的为_____。

(7) E 的同分异构体中属于酚有_____种，其中核磁共振氢谱显示有 5 种不同化学环境的氢原子的结构简式为_____。

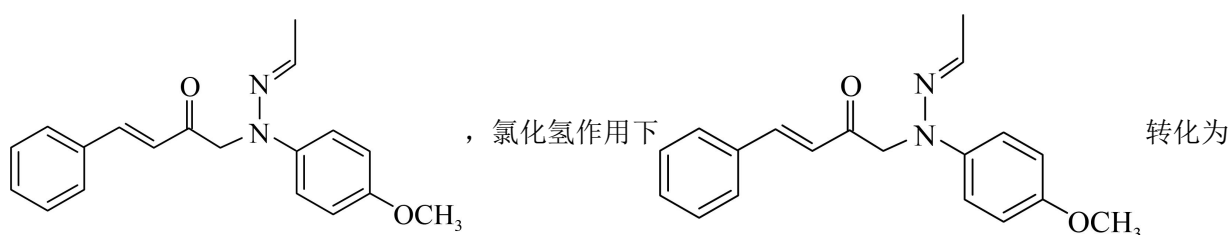
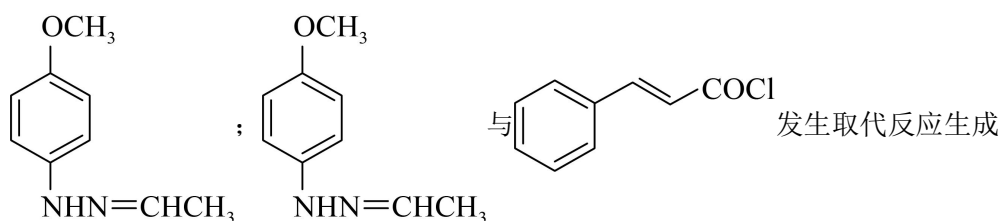
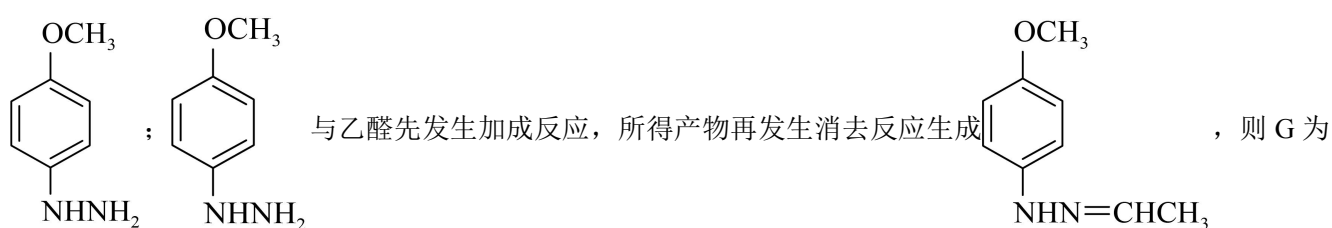
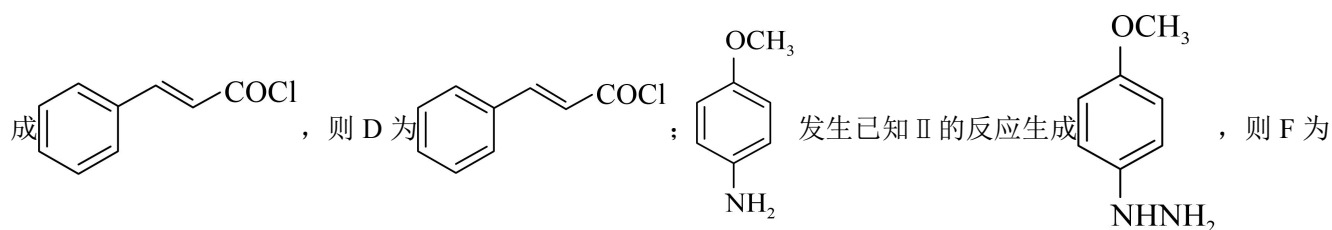
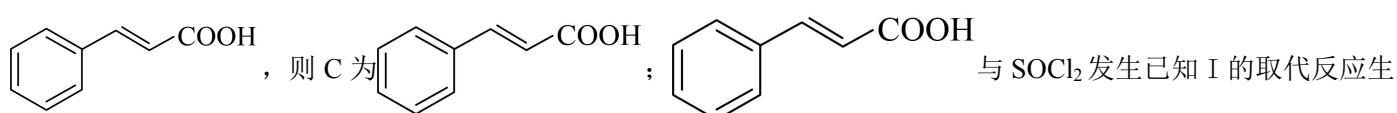
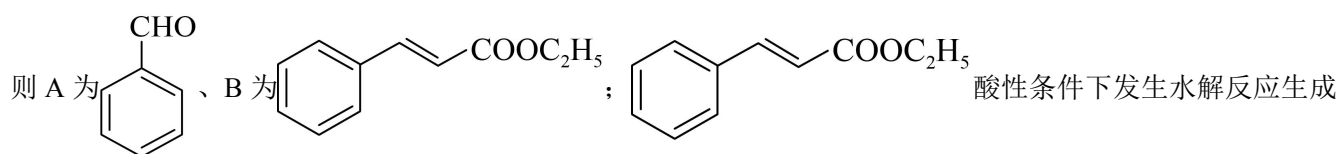
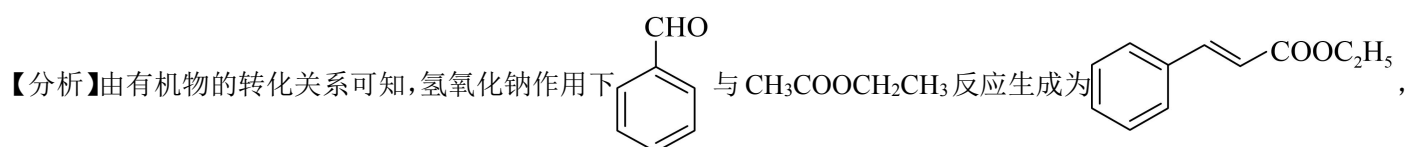
【答案】 (1) 酯基、碳碳双键

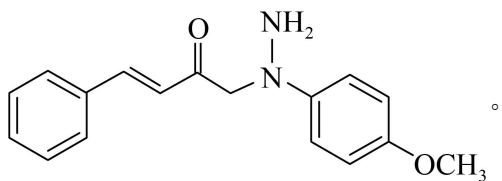


(3) 取代反应



【解析】





【小问 1 详解】

由分析可知，B 的结构简式为 ，官能团为酯基、碳碳双键，故答案为：酯基、碳碳双键；

【小问 2 详解】

由分析可知，C 的结构简式为 ， 分子中含有的碳碳双键能与过量的酸

性高锰酸钾溶液发生氧化反应生成 和 HOOC-COOH，HOOC-COOH 能被酸性高锰酸钾氧化成二氧化碳，故

答案为：；

【小问 3 详解】

由分析可知，C→D 的反应为 与 SOCl₂ 发生取代反应生成 ，故答案为：

取代反应；

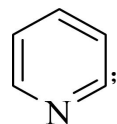
【小问 4 详解】

由分析可知，D+G→H 的反应为 与 发生取代反应生成

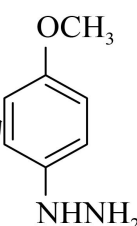
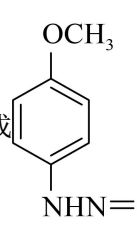
和氯化氢；由结构简式和题意可知， 和 分子中的氮原子均

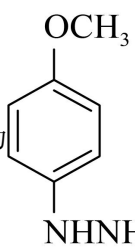
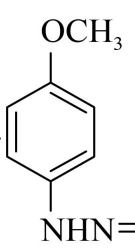
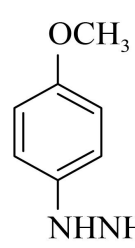
采用 sp² 杂化， 中氮原子的孤对电子位于垂直于环平面的 sp² 轨道中，未参与共轭，可自由结合质子，而 中氮原子的孤对电子参与环的共轭π体系，导致其难以结合质子，所以反应过程中加入吡啶与氯化氢反应，减小生

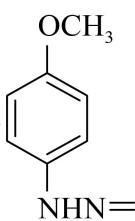
成物的浓度，使平衡向正反应方向移动，更有利于反应正向进行，故答案为：



【小问 5 详解】

由分析可知，F→G 的反应为  与乙醛先发生加成反应，所得产物再发生消去反应生成  ，

反应的化学方程式为  + CH₃CHO →  + H₂O，故答案为：  +

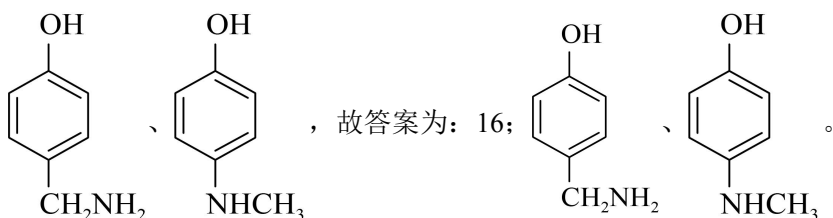
CH₃CHO →  + H₂O；

【小问 6 详解】

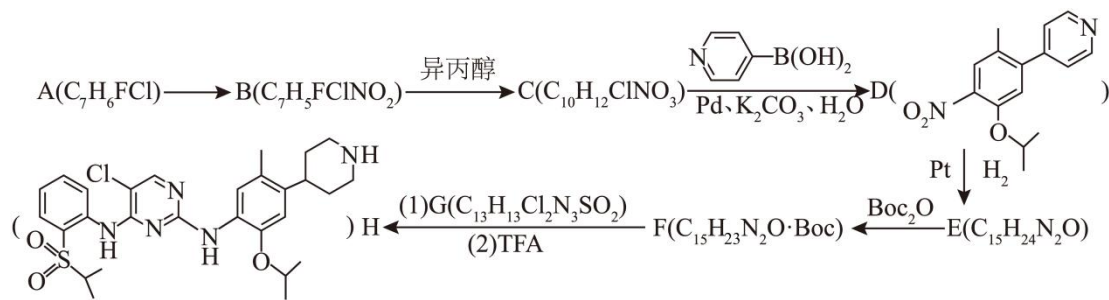
由结构简式可知，E 分子和 I 分子中都含有氨基，则流程中设计 F→G 和 H→I 的目的为保护氨基，故答案为：保护氨基；

【小问 7 详解】

E 的同分异构体中属于酚的结构可以视作苯酚分子中苯环上的氢原子被—CH₂NH₂和—NHCH₃取代所得结构，共有 6 种；还可以视作邻甲基苯酚、间甲基苯酚、对甲基苯酚分子中苯环上氢原子被氨基取代所得结构，共有 10 种，则符合条件的同分异构体共有 16 种结构，其中核磁共振氢谱显示有 5 种不同化学环境的氢原子的结构简式为



4. （2025 青岛二模，18）一种激酶抑制剂(H)的合成路线如下：



已知： Boc_2O 是引入 $-\text{Boc}$ 保护基的试剂， $-\text{Boc}$ 为 $-\text{COOC}(\text{CH}_3)_3$ 。

回答下列问题：

(1) $A \rightarrow B$ 的化学方程式为_____。

(2) $B \rightarrow C$ 的反应类型为_____；符合下列条件的 C 的同分异构体有_____种。

①含有 $-\text{COOH}$ 和 $-\text{NH}_2$ 且连接在同一个碳原子上

②遇 FeCl_3 溶液显色

③苯环上有两个取代基且有两种化学环境的氢

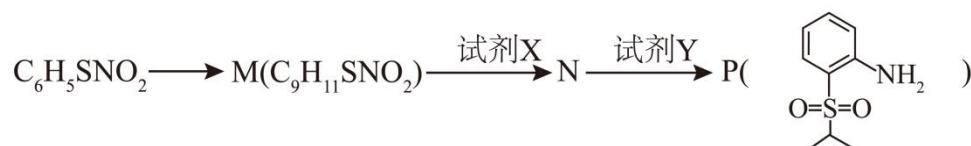
(3) D 中的含氧官能团名称为_____。E 的结构简式为_____。

(4) TFA 的作用_____。

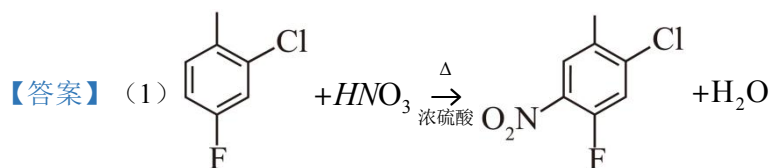
(5) 制备 G 的原料 P 可由邻硝基苯磺酰氯和 2-溴丙烷为主要原料通过以下方法合成：

已知：①硫醚在酸性 H_2O_2 条件下氧化为磺基($\text{O}=\text{S}(=\text{O})$)

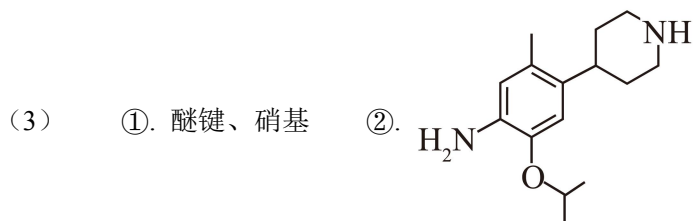
②硝基在铁粉与盐酸条件下还原为氨基(苯胺易被氧化)



M 的结构简式为_____。试剂 X 为_____。

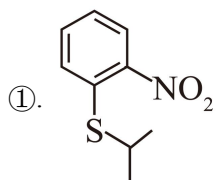


(2) ①. 取代反应 ②. 10



(4) 脱去保护基

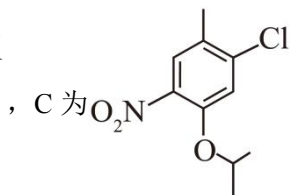
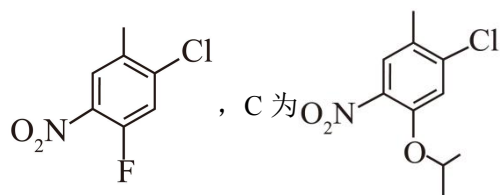
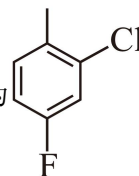
(5)



②. $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}^+$

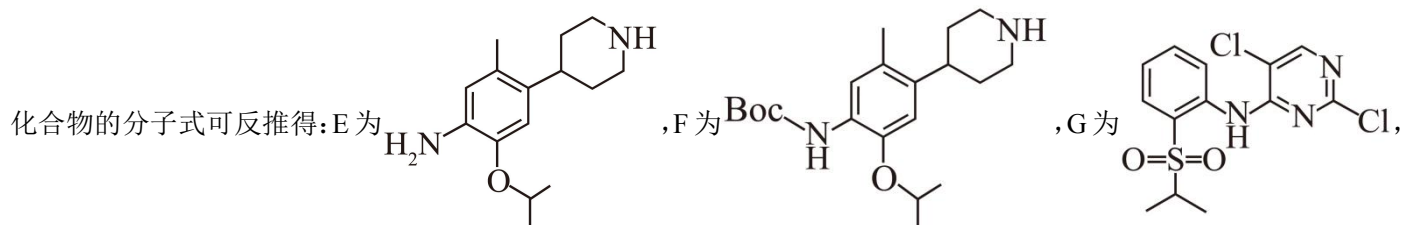
【解析】

【分析】根据 D 的结构、 $\text{A} \rightarrow \text{B} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{D}$ 的反应条件以及相关化合物的分子式可反推得：A 为 ，B 为



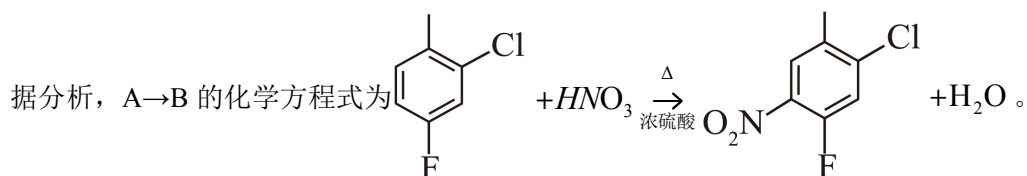
，C 为 ，则 A 在浓硫酸、浓硝酸、加热作用下生成 B，B 与异丙醇发生取代反应

生成 C 和 HF，C 与 在 Pd 催化条件下生成 D；根据 H 的结构、 $\text{D} \rightarrow \text{E} \rightarrow \text{F} \rightarrow \text{H}$ 的反应条件以及相关



则 D 经氢气还原为 E，E 使用 Boc 基团保护氨基得到 F，F 与 G 发生取代反应、在经过 TFA 脱去保护基生成 H。

【小问 1 详解】



【小问 2 详解】

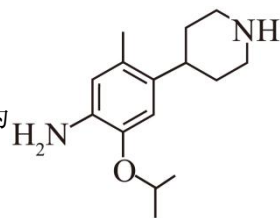
据分析， $\text{B} \rightarrow \text{C}$ 的反应类型为取代反应；据已知，C 的同分异构体为 -OH 和 $-\text{C}_4\text{H}_8\text{NO}_2\text{Cl}$ 对位取代的苯，同分异构体

数目取决于 $-\text{C}_4\text{H}_8\text{NO}_2\text{Cl}$ 的种类，不考虑 Cl 取代的 $-\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}_2$ 有： $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ 、 $-\text{CH}_2\text{C}(\text{NH}_2)(\text{COOH})\text{CH}_3$ 、

$-\text{C}(\text{NH}_2)(\text{COOH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ，再考虑 Cl 取代位置共有 $3+2+2+3=10$ 种。

【小问 3 详解】

根据 D 的结构，其含氧官能团名称为醚键、硝基；据分析，E 的结构简式为



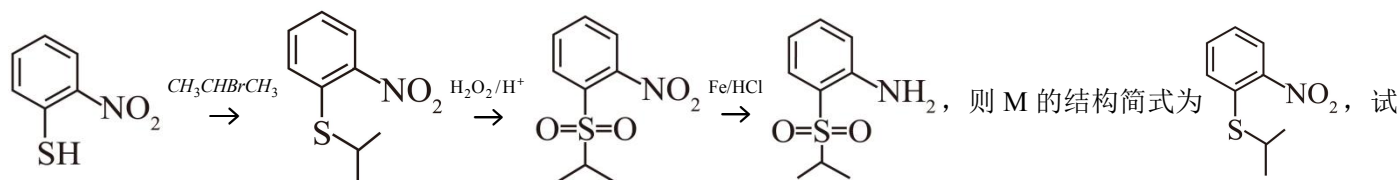
【小问 4 详解】

TFA 为三氟乙酸，脱去 Boc 保护基，酸性条件，使 F 和 G 反应产物质子化得到 H。

【小问 5 详解】

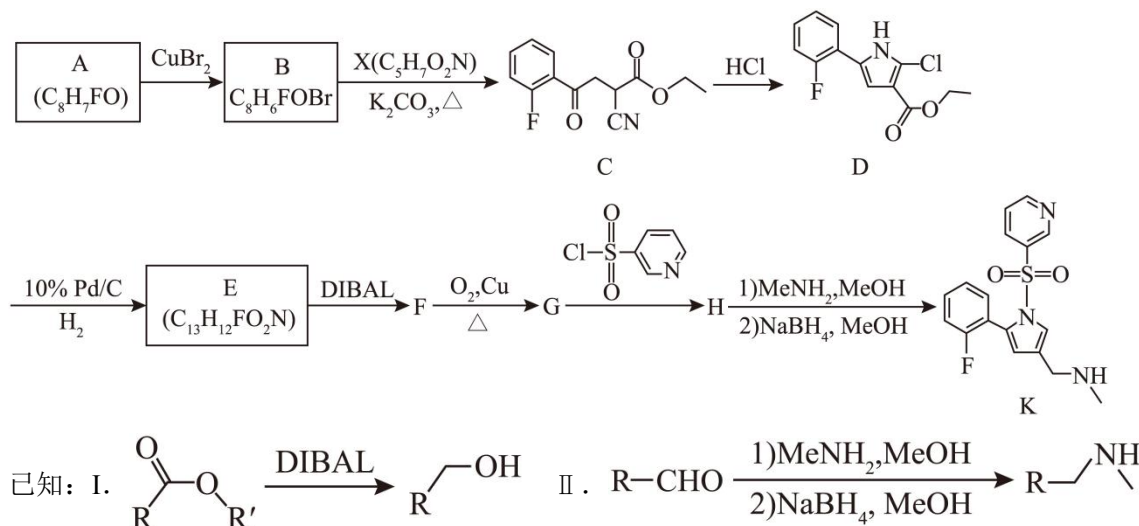
根据已知条件，2-B 硝基硫醇与 2-溴丙烷反应生成 ，然后通过酸性过氧化氢氧化、Fe/HCl 还原得到

(氨基易被氧化，不能首先将硝基还原为氨基，再氧化硫醚)，则 P 的合成路线为：



剂 X 为 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}^+$ 。

5. (2025 临沂二模，18) 某药物中间体 K 的合成路线如下图所示。

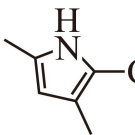


回答下列问题：

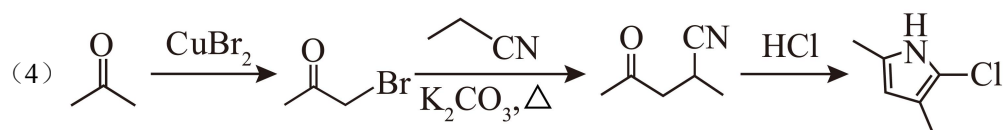
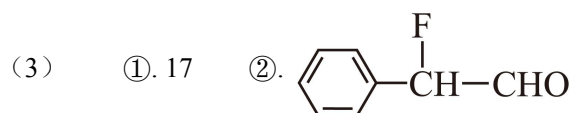
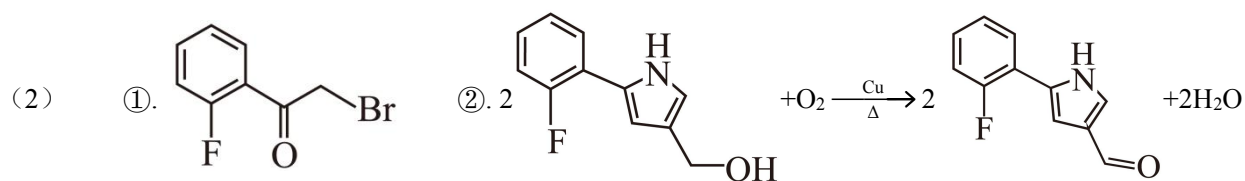
(1) X 中官能团名称为_____； K_2CO_3 的作用是_____； $\text{G} \rightarrow \text{H}$ 反应类型为_____。

(2) B 的结构简式为_____； $\text{F} \rightarrow \text{G}$ 的化学方程式为_____。

(3) A 的同分异构体中含有苯环且能发生银镜反应的有_____种 (不考虑立体异构)；其中核磁共振氢谱有 5 组峰，且峰面积比为 1:1:1:2:2 的结构简式为_____。

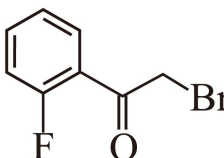
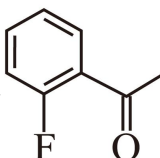
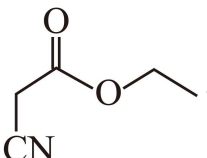
(4) 根据上述信息, 写出以丙酮和丙腈为原料制备  的合成路线_____。

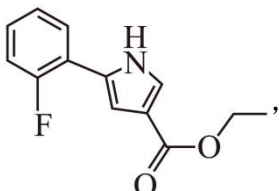
【答案】 (1) ①. 氰基、酯基 ②. 消耗 HBr, 促使 B 转化为 C ③. 取代反应

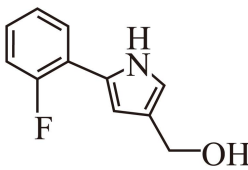
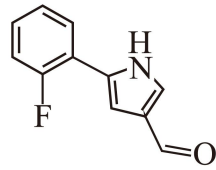


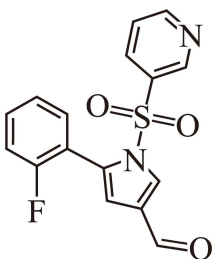
【解析】

【分析】有机物 A 分子式是 $\text{C}_8\text{H}_7\text{FO}$, A 与 CuBr_2 发生取代反应产生分子式是 $\text{C}_8\text{H}_6\text{FOBr}$ 的物质 B, B 与分子式是 $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ 的物质在 K_2CO_3 存在加热时发生反应产生 C, 根据 C 物质的分子结构即 B 物质的分子式, 结合反应过程

中碳链结构不变, 逆推可知 B 物质是 , A 是 , X 是 。C 与 HCl 反

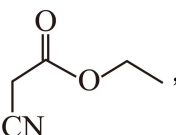
应产生 D, D 与 10%Pd/C 及 H_2 发生反应产生 E: , E 与 DIBAL 发生信息 I 的反应产生 F:

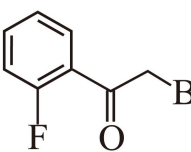
, F 与 O_2 在 Cu 催化下发生氧化反应产生 G: , G 与 $\text{Cl-SO}_2\text{-pyridine}$ 发生取代

反应产生 H: , 化合物 H 在① MeNH_2 , MeOH; ② NaBH_4 , MeOH 作用下发生信息 II 的反应产生

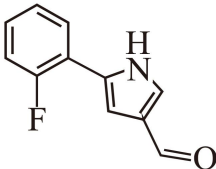
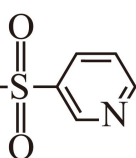
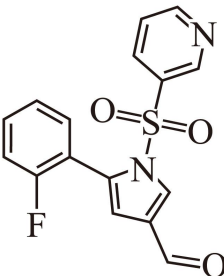
K。

【小问 1 详解】

根据上述分析可知：物质 X 是 ，该物质分子中含有的官能团是氰基、酯基；

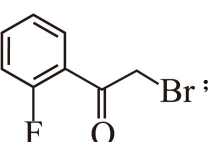
物质 B 是 ，B 与 X 在 K_2CO_3 存在时加热，反应产生 C 和 HBr，HBr 水溶液显酸性，能够与 K_2CO_3

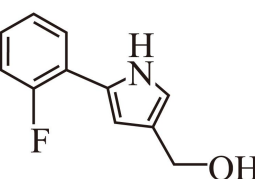
反应，使反应正向进行，有利于 B 转化为物质 C；故 K_2CO_3 在该反应中的作用是反应消耗 HBr，促使 B 转化为 C；

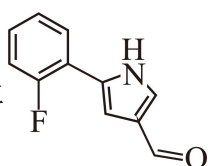
G 是 ，G 与  发生取代反应产生  和 HCl，故 G→H 的反应类型是

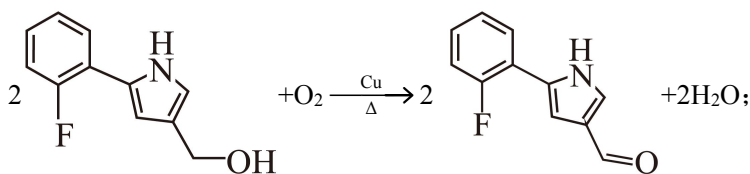
取代反应；

【小问 2 详解】

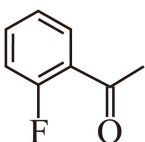
根据上述分析可知，物质 B 结构简式是 ；

物质 F 是 ，该物质分子中含有醇羟基，由于羟基连接的 C 原子上有 H 原子，可以与 O_2 在 Cu

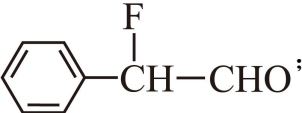
催化下加热发生氧化反应，产生  和 H_2O ，该反应的化学方程式为：



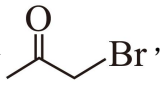
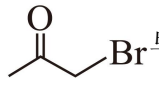
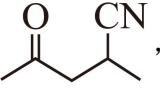
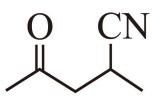
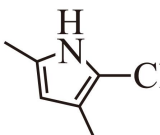
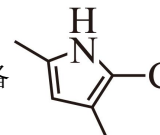
【小问 3 详解】

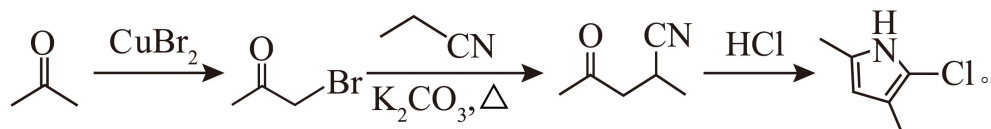
物质 A 是 ，其同分异构体中含有苯环，且能发生银镜反应，说明物质分子中含有醛基-CHO，其苯环连

接的支链可能情况：一个支链的 ，只有 1 种结构；两个支链的有①—F 与— CH_2CHO 和②— CH_2F 与—CHO 两种情况，它们在苯环的位置分别有邻、间、对，共用 $2 \times 3 = 6$ 种；三个取代基的只有—F、— CH_3 、—CHO，根据它们在苯环上的相对位置不同有 10 种不同结构，故符合要求的 A 的同分异构体的总数为：1+6+10=17 种；

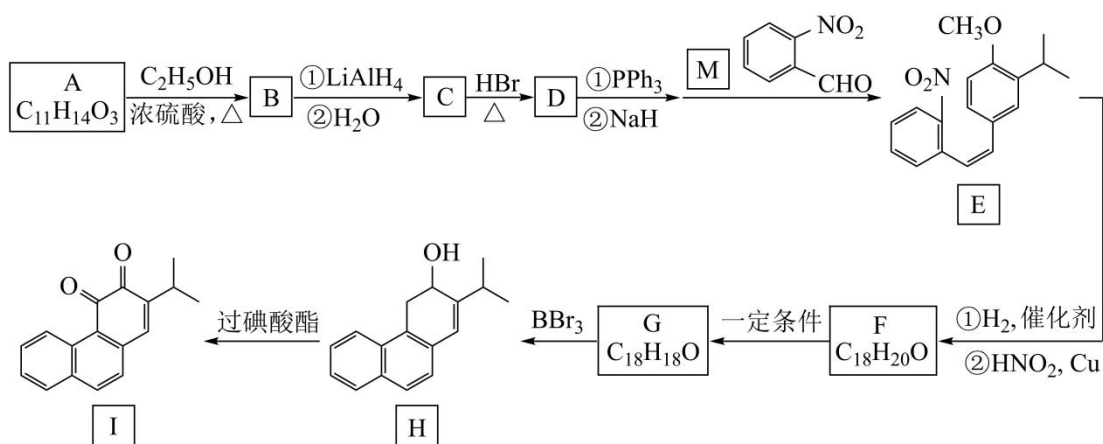
其中核磁共振氢谱有 5 组峰，且峰面积比为 1:1:1:2:2 的结构简式为 

【小问 4 详解】

丙酮  与 CuBr_2 发生取代反应产生 ,  与  发生反应产生 ,
 与 HCl 反应产生 。故以丙酮和丙腈为原料制备  的合成路线为:

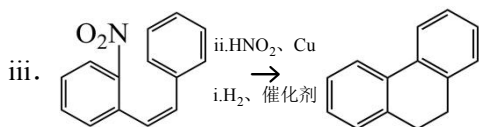


6. (2025 聊城二模, 17) 化合物 I 是合成酮类药物的一种中间体, 其合成路线如下:



已知: i. $\text{RCOOR}' \xrightarrow[\text{H}_2\text{O}]{\text{LiAlH}_4} \text{RCH}_2\text{OH} + \text{R}'\text{OH}$

ii. $\text{RCH}_2\text{Br} \xrightarrow[\text{NaH}]{\text{PPh}_3} \text{R}'\text{CHO} \rightarrow \text{RCH}=\text{CHR}'$

iii. 

(1) $\text{A} \rightarrow \text{B}$ 的化学方程式为_____。

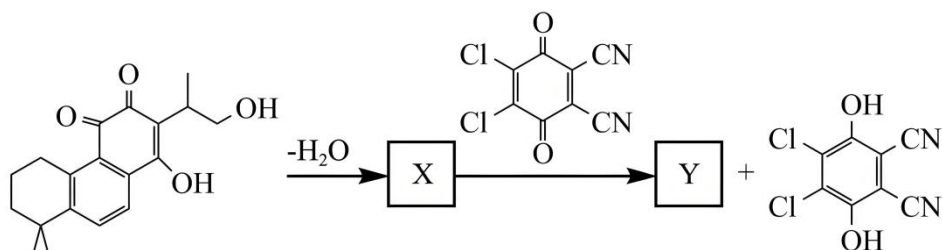
(2) M 的化学名称为_____, $\text{H} \rightarrow \text{I}$ 的反应类型为_____。

(3) E 生成 F 的同时会生成一种与 F 互为同分异构体的副产物 F', F' 的结构简式为_____。

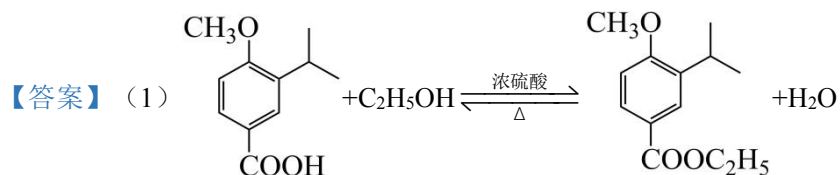
(4) M 在一定条件下还原得到 J ($\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}_3$), 符合下列条件的 J 的同分异构体有_____种。

①遇 FeCl_3 溶液显紫色, 含有酰胺基或氨基 ②能发生水解反应和银镜反应

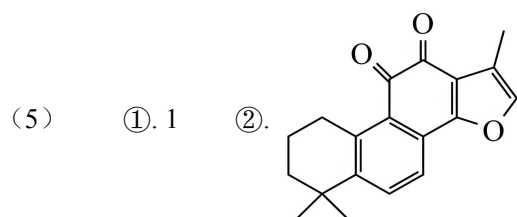
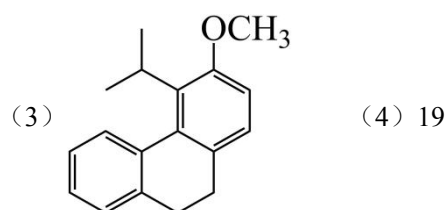
(5) 化合物 I 的另一种衍生物 Y 的合成过程中如下:



已知：①X 不与 Na 反应，②Y 分子中与氧原子连接的碳均为 sp^2 杂化。则 X 中手性碳原子有_____个，Y 的结构简式为_____。

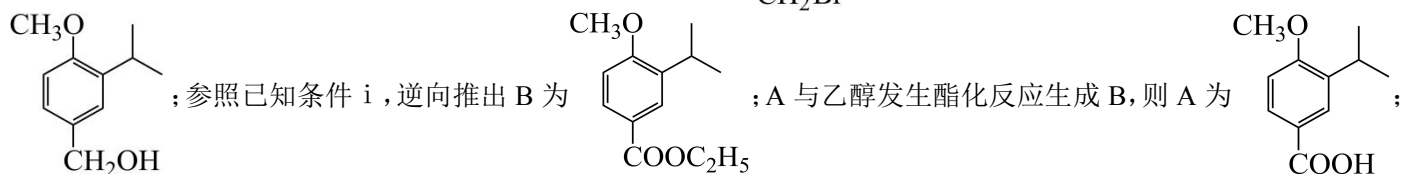


(2) ①. 邻硝基苯甲醛或 2-硝基苯甲醛 ②. 氧化反应

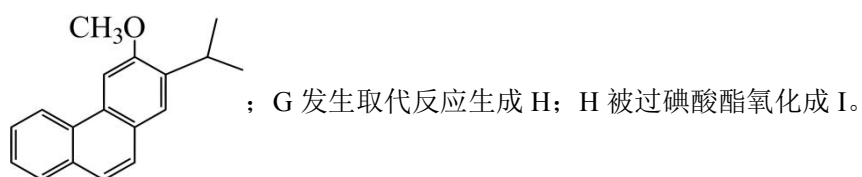


【解析】

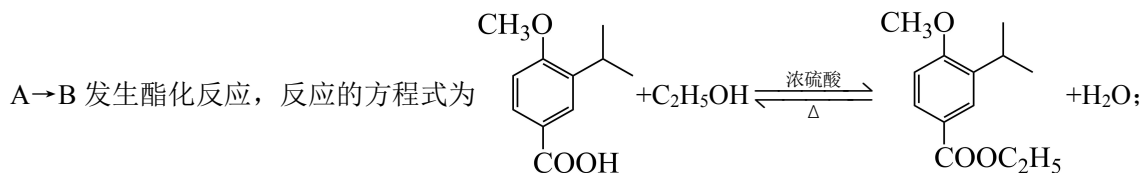
【分析】参照已知条件 ii，逆向推出 D 的结构简式为 ；C 与 HBr 发生羟基的取代反应，则 C 为 ；



参照已知条件 iii 推出 F 为 ；对比 G 与 F 的分子式，结合 H 的结构，推出 G 的结构为 ；



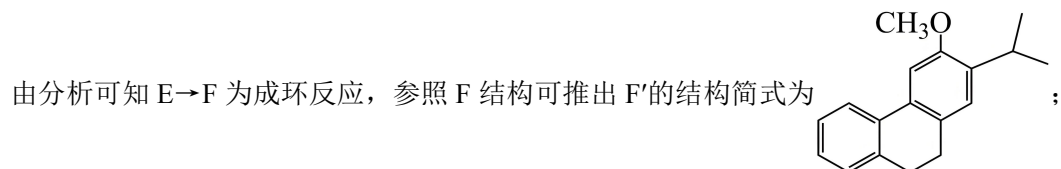
【小问 1 详解】



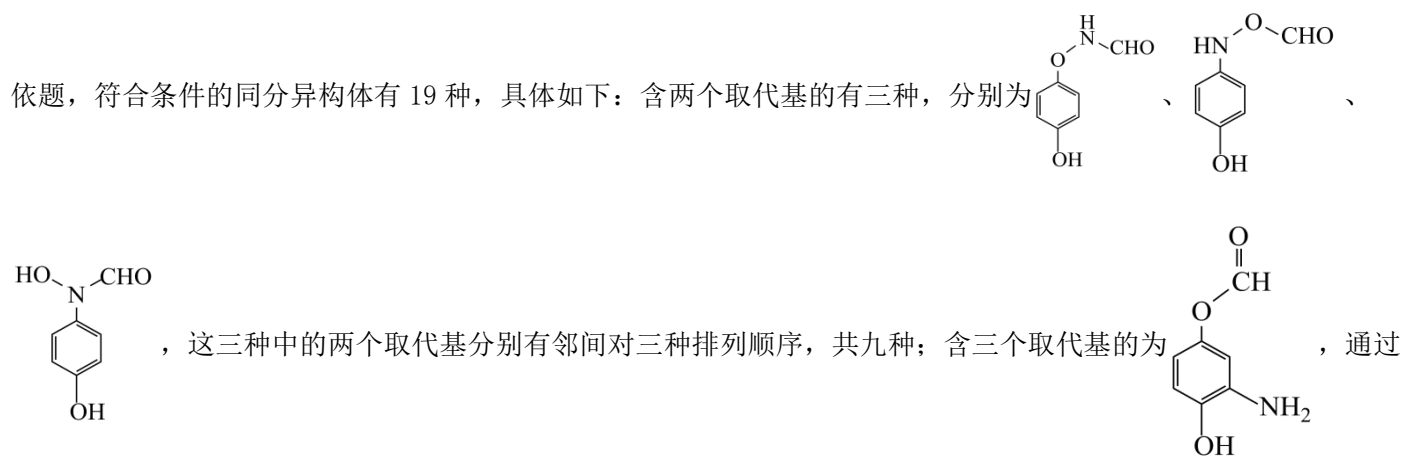
【小问 2 详解】

M 为邻硝基苯甲醛或 2-硝基苯甲醛；由上述分析可知 H→I 为氧化反应；

【小问 3 详解】

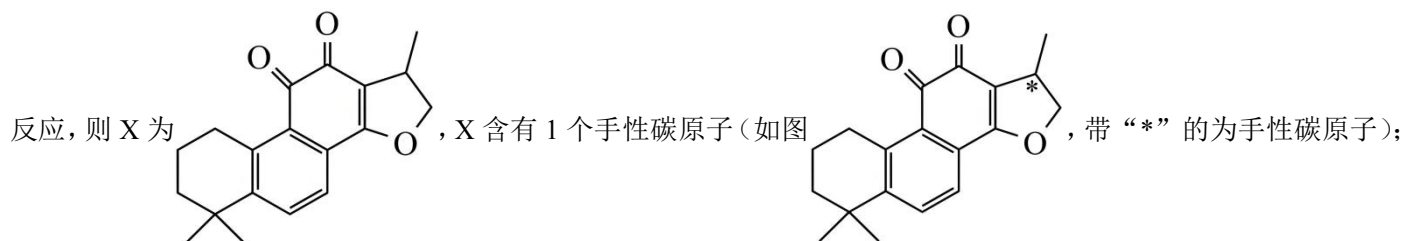
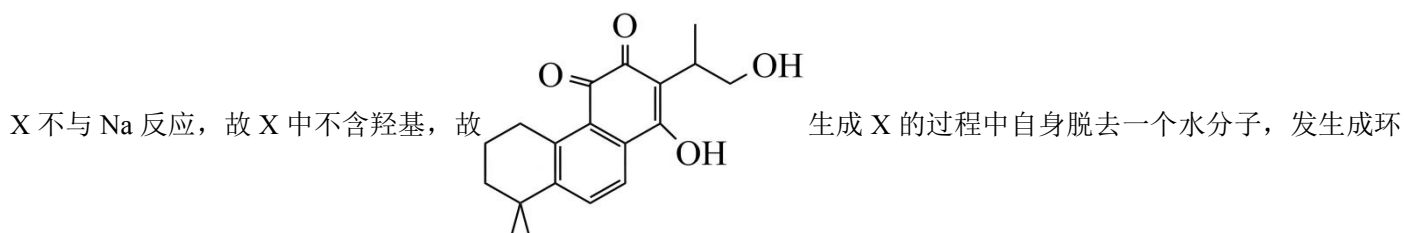


【小问 4 详解】

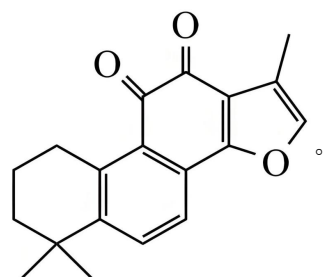


定二移一法，可以得出有十种同分异构体，故 J 的同分异构体共有 19 种；

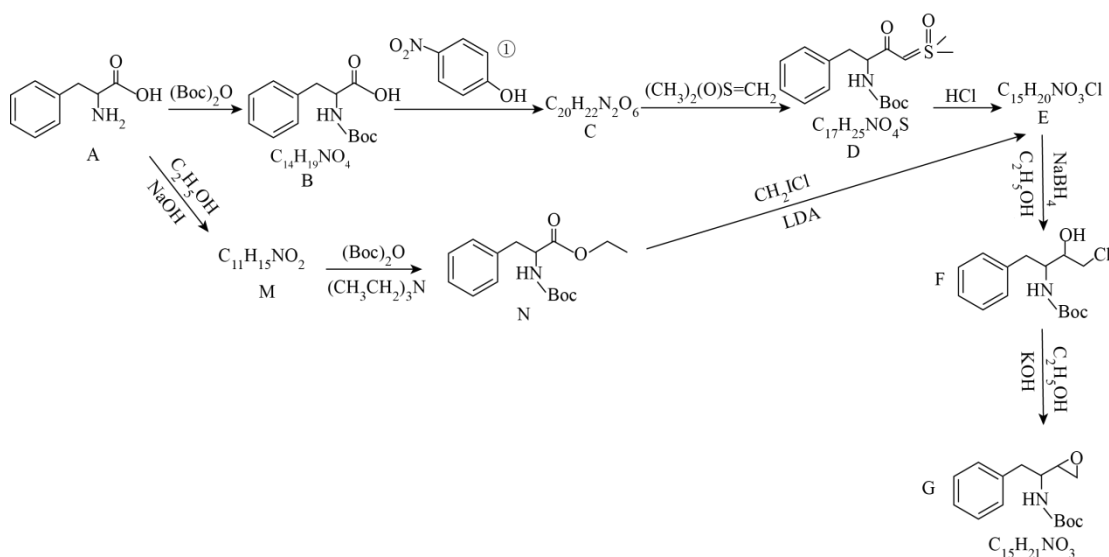
【小问 5 详解】



Y 分子中与 O 原子连接的碳均为 sp^2 杂化，故五元环上与 O 相连的 C 原子形成了碳碳双键结构，Y 的结构为



7. (2025 济宁二模, 17) G 是制备那韦类抗 HIV 药物的关键中间体, 其合成路线如下:



(1) A 中所含官能团的名称为 _____, ①的化学名称为 _____。

(2) C 的结构简式为 _____。

(3) N→E 的反应类型是 _____。

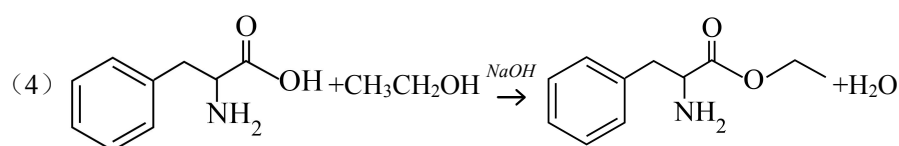
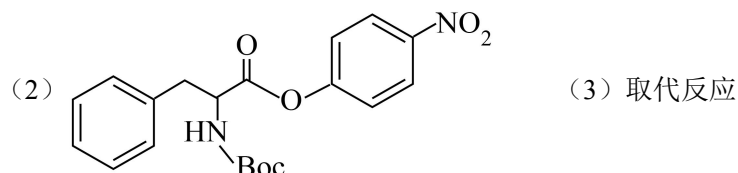
(4) A→M 的化学方程式为 _____。

(5) 写出符合下列条件的 G 的同分异构体的结构简式: _____ (写出一种即可)。

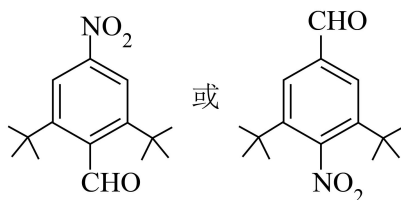
①含苯环, 且能发生银镜反应; ②分子中含有 3 种不同化学环境的氢。

(6) 写出以 $\text{HO}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$ 为主要原料制备 $\text{Cl}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{Cl}$ 的合成路线流程图(无机试剂和流程中的有机试剂任选) _____。

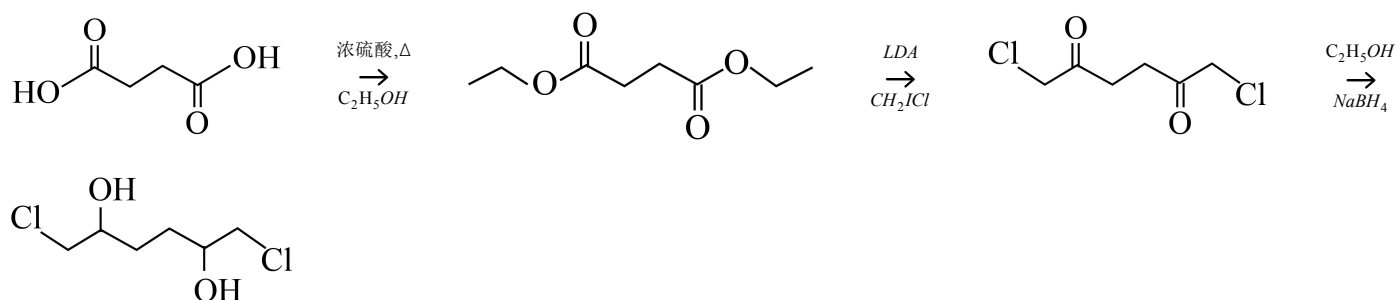
【答案】 (1) 氨基、羧基 ②. 对硝基苯酚或 4-硝基苯酚



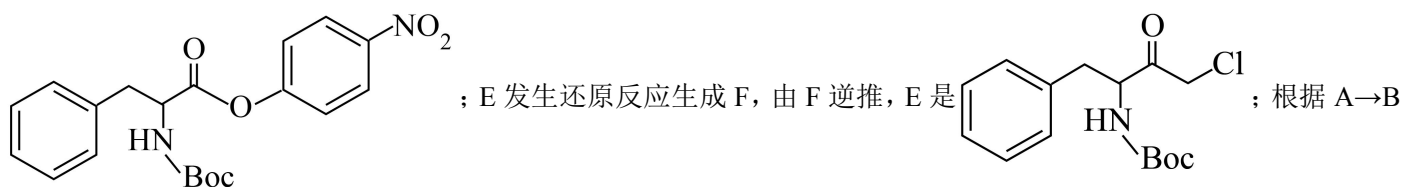
(5)



(6)

**【解析】**

【分析】根据 C 的分子式可知，B 和对硝基苯酚反应生成 C 和水，则 C 的结构简式为



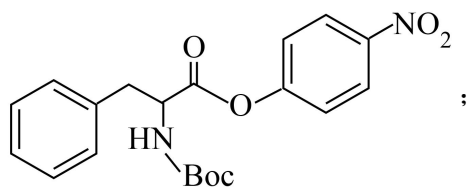
可知，M 中氨基上 1 个 H 被 -Boc 代替得到 N，则 M 是 。

【小问 1 详解】

根据 A 的结构简式，A 中所含官能团的名称为氨基、羧基；根据①的结构简式，①化学名称为对硝基苯酚。

【小问 2 详解】

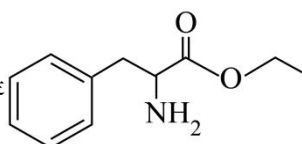
B 和对硝基苯酚反应生成 C，根据 C 的分子式可知，B 和对硝基苯酚反应生成 C 和水，C 的结构简式为

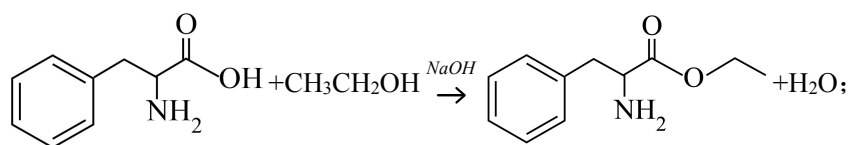
**【小问 3 详解】**

E 是 ，根据 N 的结构简式，可知 N 中 -OCH₂CH₃ 被 -CH₂Cl 代替得到 E，则 N→E 的反应类

型是取代反应。

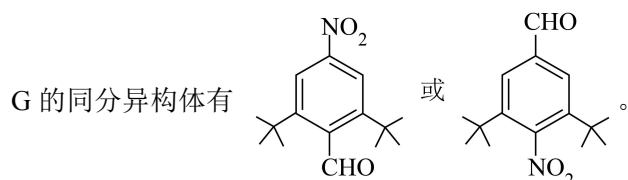
【小问 4 详解】

M 是 ，A 和乙醇反应生成 M 和水，反应方程式为

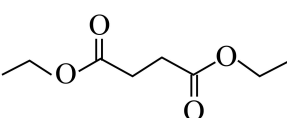
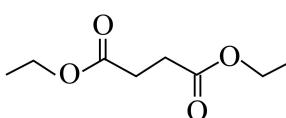


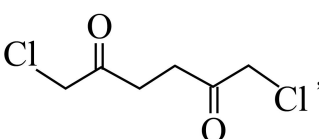
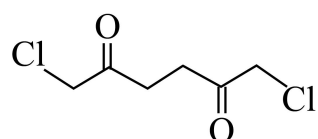
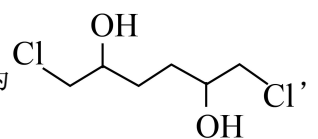
【小问 5 详解】

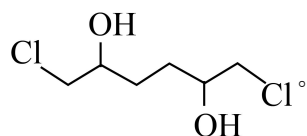
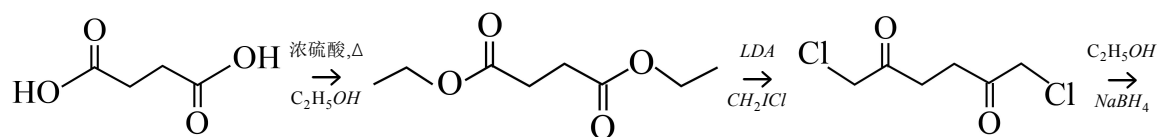
①含苯环，且能发生银镜反应，说明含有醛基；②分子中含有 3 种不同化学环境的氢，说明结构对称，符合条件的

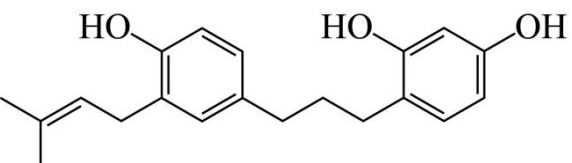


【小问 6 详解】

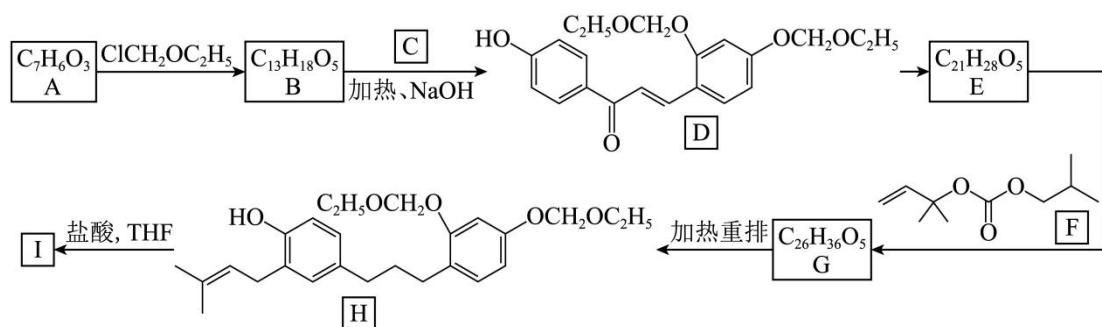
$\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ 和乙醇发生酯化反应生成 ， 和 CH_2I_2 发生取

代反应生成 ， 还原为 ，合成路线为

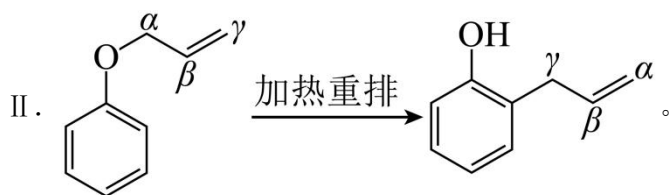


8. (2025 济南二模, 19) 一种酪氨酸酶活性抑制剂 I () 的合成路线

如图所示：



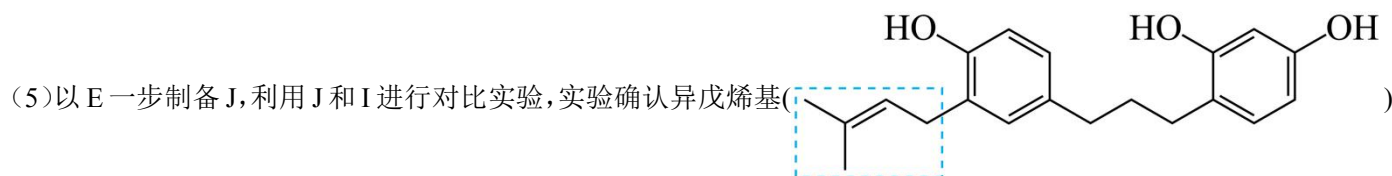
已知：I. $\text{R}_1\text{C}(\text{O})\text{CH}_3 + \text{R}_2\text{CHO} \xrightarrow{\text{NaOH, 加热}} \text{R}_2\text{CH}=\text{CHC}(\text{O})\text{R}_1$ ；



回答下列问题:

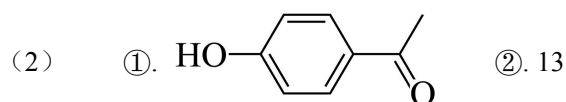
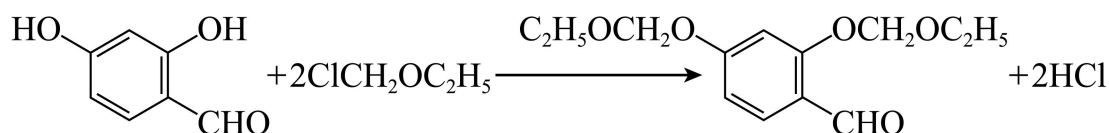
- (1) 原料 $\text{ClCH}_2\text{OC}_2\text{H}_5$ 中官能团名称为_____； $\text{A} \rightarrow \text{B}$ 的化学方程式为_____。
- (2) C 的结构简式为_____；含酚羟基且能发生银镜反应 C 的同分异构体有_____种。
- (3) $\text{D} \rightarrow \text{E}$ 的反应类型_____；F 完全水解能得到_____种有机物。
- (4) 下列说法错误的是_____ (填标号)。

- a. 原料 $\text{ClCH}_2\text{OC}_2\text{H}_5$ 作用是保护酚羟基
- b. 检验 B 中是否含有 A 的试剂可用 FeCl_3 溶液
- c. A 和 I 互为同系物
- d. 1mol I 和足量溴水反应时，最多消耗 3mol Br_2

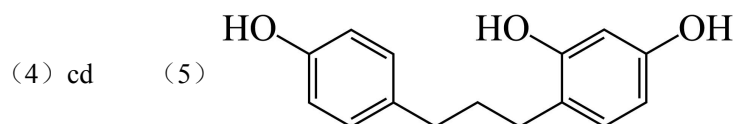


不是抑制酪氨酸酶活性的关键药效团。J 的结构简式为_____。

【答案】 (1) ①. 碳氯键或氯原子、醚键 ②.

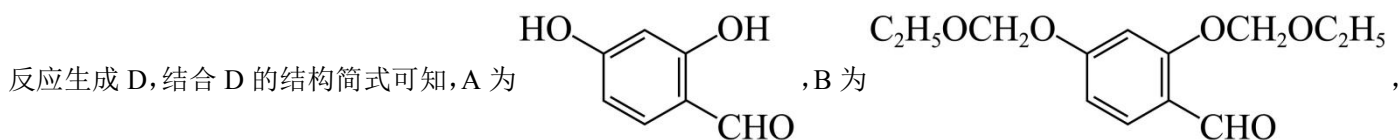


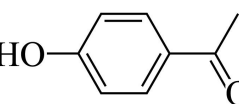
(3) ①. 还原反应 ②. 2

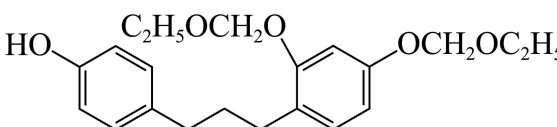


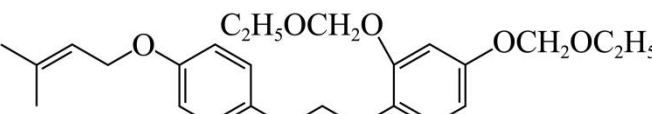
【解析】

【分析】A 的分子式为 $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ ，不饱和度为 5，与 $\text{ClCH}_2\text{OC}_2\text{H}_5$ 发生取代反应生成 B，B 与 C 发生已知信息 I 的



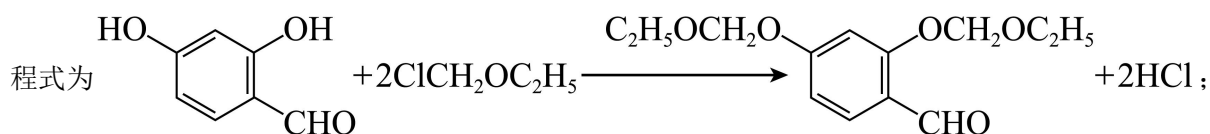
C 为  ; 结合 E 的分子式, 其不饱和度为 8, 说明 D→E 发生的是还原反应, E 的结构简式为

 , E 和 F 发生取代反应生成 G, G 加热重排生成 H, 结合 H 的结构简式,

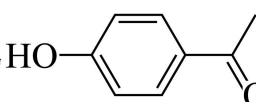
以及加热重排的原理可知, G 的结构简式为  , H 和盐酸、THF 反应生成 I, 据此解答。

【小问 1 详解】

原料 $\text{ClCH}_2\text{OC}_2\text{H}_5$ 中官能团名称为碳氯键或氯原子、醚键; A→B 发生取代反应, 同时生成小分子的 HCl, 化学方



【小问 2 详解】

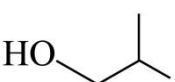
由分析可知, C 结构简式为  ; 含酚羟基且能发生银镜反应, 若含有两个取代基, 可以是

$\begin{cases} -\text{OH} \\ -\text{CH}_2\text{CHO} \end{cases}$, 有邻、间、对三种同分异构体, 若含有三个取代基, 可以是 $\begin{cases} -\text{OH} \\ -\text{CH}_3 \\ -\text{CHO} \end{cases}$, 三个不同的取代基在苯环上

有 10 种同分异构体, 共计 13 种同分异构体;

【小问 3 详解】

D 的不饱和度为 10, E 的不饱和度为 8, E 比 D 还少了一个氧原子, 则 D→E 发生的是还原反应, F 中含有两个酯

基, 完全水解后得到 、、 H_2CO_3 , 属于有机产物的有 2 种;

【小问 4 详解】

a. A→B 中酚羟基先发生取代反应, 到最后 H→I 的反应又重新生成酚羟基, 可见原料 $\text{ClCH}_2\text{OC}_2\text{H}_5$ 作用是保护酚羟基, a 正确;

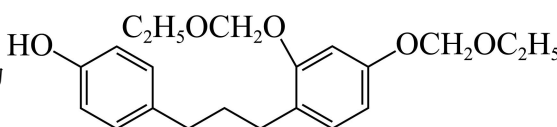
b. 酚羟基与 FeCl_3 溶液发生显色反应, B 不含有酚羟基, A 中含有酚羟基, 故可用 FeCl_3 溶液检验 B 中是否含有 A, b 正确;

c. A 和 I 官能团数量不相同, 种类也不相同, 不互为同系物, c 错误;

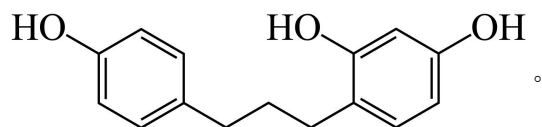
d. 1mol I 的酚羟基有 3mol 邻、对位的 H 原子能与 Br_2 发生取代反应、1mol 碳碳双键能与 Br_2 发生加成反应, 故 1mol I 和足量溴水反应时, 最多消耗 4mol Br_2 , d 错误;

故选 cd;

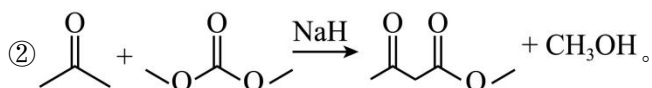
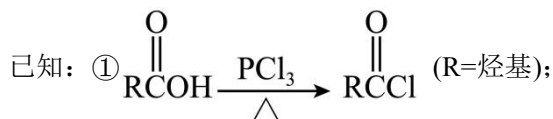
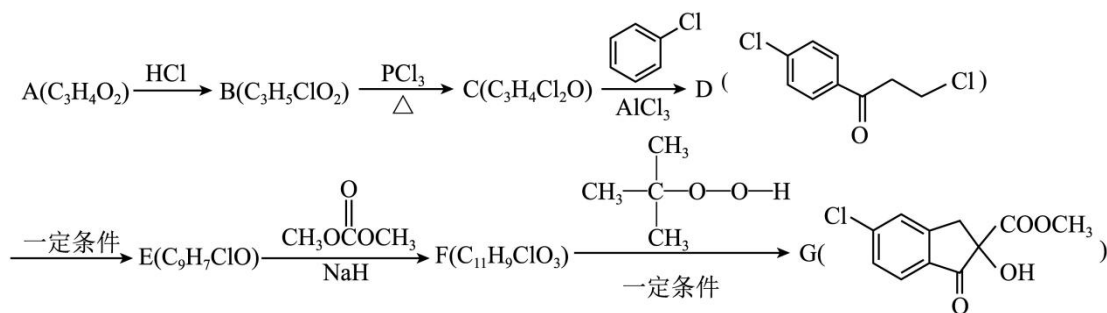
【小问 5 详解】

由分析可知，E 的结构简式为 ，要确认异戊烯基不是抑制酪氨酸酶活

性的关键药效团，则 J 中不含有异戊烯基，其他结构与 I 相同，则 E→J 发生的是取代反应，J 的结构简式为



9. (2025 菏泽二模, 19) 绿色环保型农药茚虫威中间体(G)的合成路线如下:



回答下列问题:

(1) A 的结构简式为 _____; B 中官能团的名称为 _____。

(2) C→D 的化学方程式为 _____。

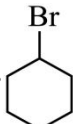
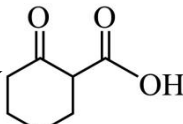
(3) 符合下列条件的 E 的同分异构体有 _____ 种(不考虑立体异构)。

①除苯环外无其他环状结构 ②氯原子直接与苯环相连

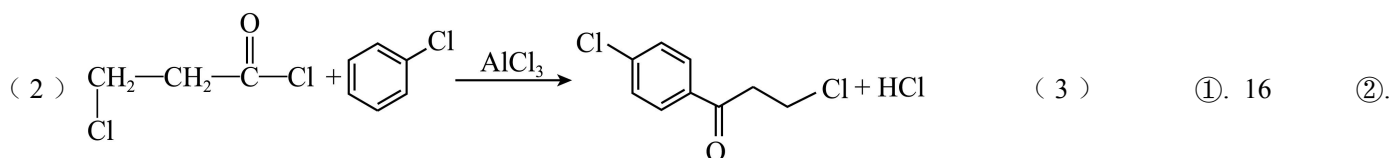
③能发生银镜反应

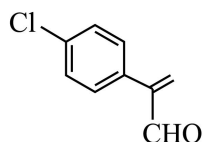
其中核磁共振氢谱有五组峰且峰面积是 2:2:2:1 的同分异构体的结构简式为 _____。

(4) F→G 反应类型为 _____。

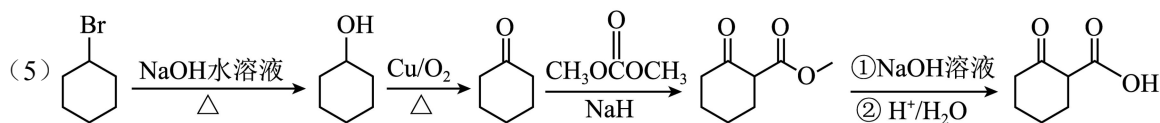
(5) 根据上述信息, 写出以  和碳酸二甲酯($\text{CH}_3\text{OCOCCH}_3$)为主要原料制备  的合成路线 _____ (无机试剂任选)。

【答案】 (1) ①. $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCOOH}$ ②. 羧基、氯原子(碳氯键)



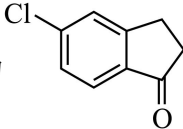


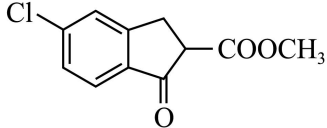
(4) 氧化反应

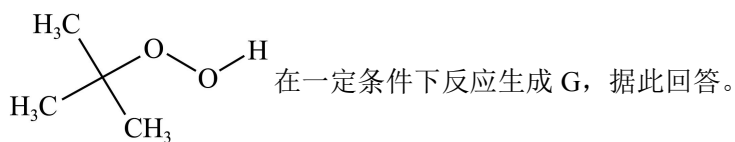


【解析】

【分析】A 和 HCl 发生加成反应生成 B，B 和 PCl_3 发生取代反应生成 C，C 和氯苯发生取代反应生成 D，由 D 的结构和 A 的分子式可推知 A 为 $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCOOH}$ ，B 为 $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ，C 为 $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{COCl}$ ，D 在一定条件下反

应生成 E，结合 E 的分子式可知，D 在一定条件下脱 HCl 成环得到 E，可推知 E 为 , E 与 $\text{CH}_3\text{OCOCH}_3$

在 NaH 下发生取代反应生成 F，由 F 的分子式可推知 F 的结构为 , F 与

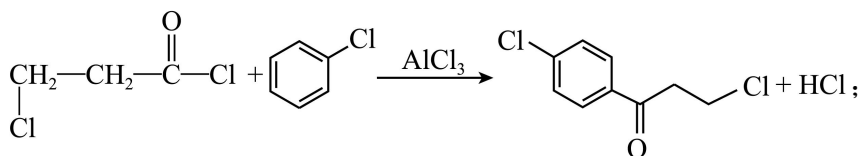


【小问 1 详解】

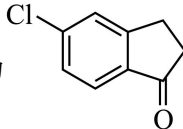
由分析知，A 的结构简式为 $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCOOH}$ ；B 的结构简式为 $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ，其中官能团的名称为羧基、氯原子（碳氯键）；

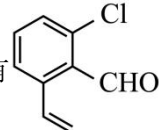
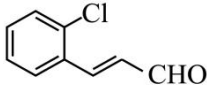
【小问 2 详解】

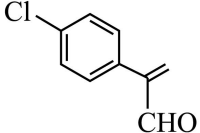
$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{COCl}$ 和氯苯发生取代反应生成 D，化学方程式为

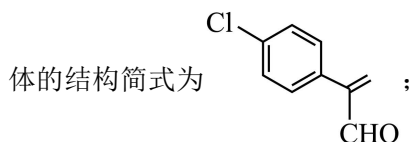


【小问 3 详解】

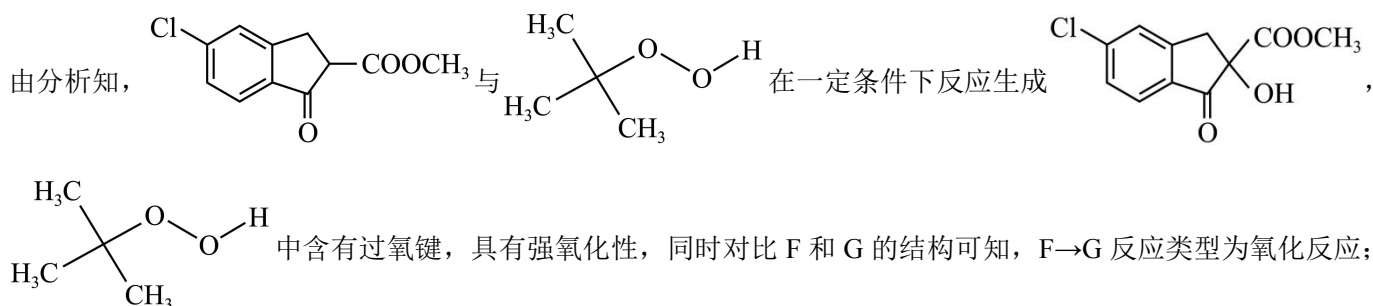
由分析知，E 为 , 满足①除苯环外无其他环状结构，②氯原子直接与苯环相连，③能发生银镜反应

的 E 的同分异构体有  (苯环上连三个不同取代基，共有 10 种)、 (邻、间、对三种)、

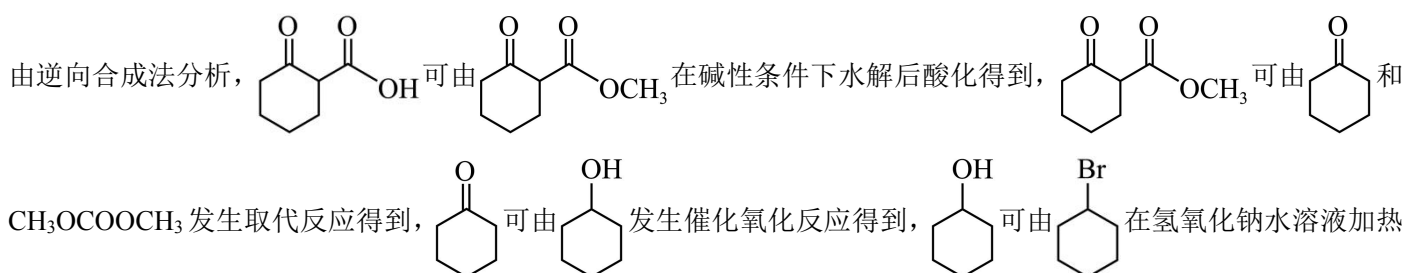
 (邻、间、对三种)共 $10+3+3=16$ 种；其中核磁共振氢谱有五组峰且峰面积是 2:2:2:1 的同分异构



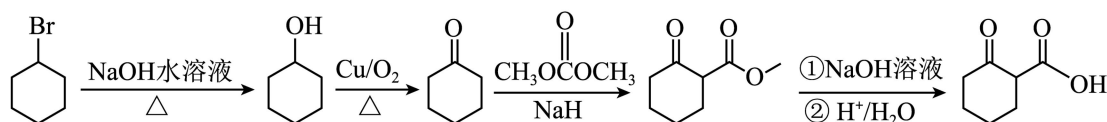
【小问 4 详解】



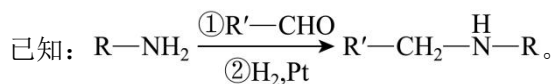
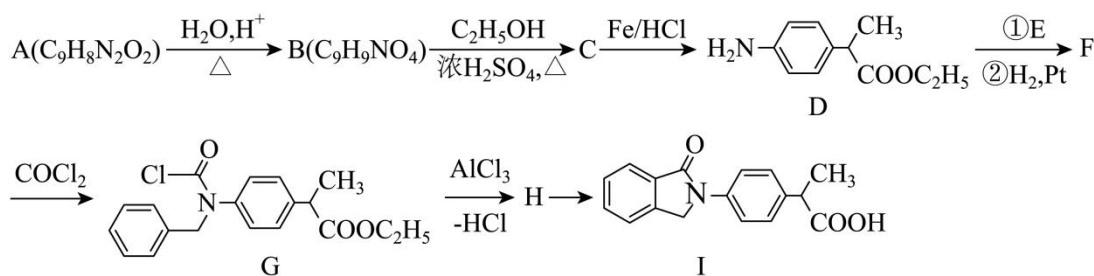
【小问 5 详解】



条件下水解得到, 则合成路线为:

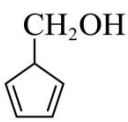
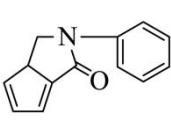


10. (2025 滨州二模, 17) 化合物 I(德克司他丙酚)具有显著的镇静效果。其合成路线如下(部分条件忽略)。

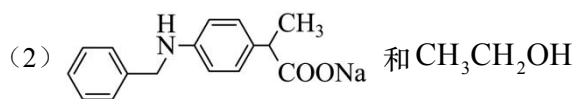


回答下列问题:

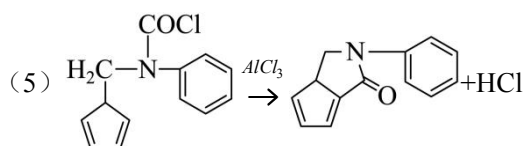
- (1) A 分子中 sp^2 杂化的原子数为 _____, C 中官能团名称是 _____, E 的化学名称是 _____。
- (2) G 与足量 NaOH 水溶液加热, 所得有机产物的结构简式为 _____。
- (3) M 是 B 的同分异构体, 同时符合下列条件的 M 共有 _____ 种(不考虑立体异构)。
 - ①含硝基, 但不含甲基
 - ②属于芳香族化合物
 - ③既能发生银镜反应又能发生水解反应
- (4) 合成路线中, 需对羧基进行保护的原因是 _____。

(5) 依据以上流程信息, 写出以苯胺和  为原料合成  的路线中最后一步反应的化学方程式 _____。

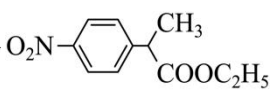
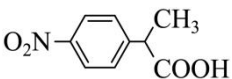
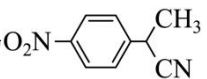
【答案】 (1) ①. 7 ②. 酯基、硝基 ③. 苯甲醛

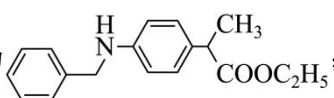


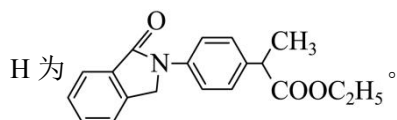
(3) 12 (4) 羧基会与铁反应影响官能团的转化



【解析】

【分析】C 结构上的硝基还原成氨基, 故 C 为 ; B 与乙醇发生酯化反应生成 C, B 为 ; 对比 A、B 的分子式, 结合反应条件以及 B 的结构简式, 推出 A 为 ; F 与 COCl_2

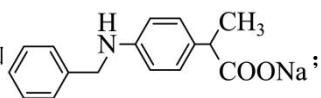
反应生成 G, F 为 ; 结合已知条件, 可推出 E 为苯甲醛; G 发生分子内取代反应生成 H,



【小问 1 详解】

由 A 的结构可知, 苯环上的 6 个碳原子均为 sp^2 杂化, 硝基上的 N 原子也为 sp^2 杂化; 由 C 的结构简式可知, C 中含有硝基和酯基; 由上述分析可知 E 为苯甲醛;

【小问 2 详解】

G 在足量 NaOH 水溶液加热条件下发生酯基水解反应, 得到 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 和 

【小问 3 详解】

符合条件的 M 的结构如下: 苯环上含 $-\text{NO}_2$ 、 $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OOCH}$ 的二取代苯有 3 种, 苯环上含 $-\text{CH}_2\text{NO}_2$ 、 $-\text{CH}_2\text{OOCH}$

的二取代苯有 3 种, 苯环上含 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NO}_2$ 、 $-\text{OOCH}$ 的二取代苯有 3 种, 苯环上含 $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NO}_2)-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$ 、

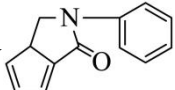
$-\text{CH}(\text{NO}_2)-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$ 、 $-\text{CH}(\text{NO}_2)-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$ 的单取代苯各 1 种, 由于不存在甲基, 则苯环上的取代基最多为 2, 因

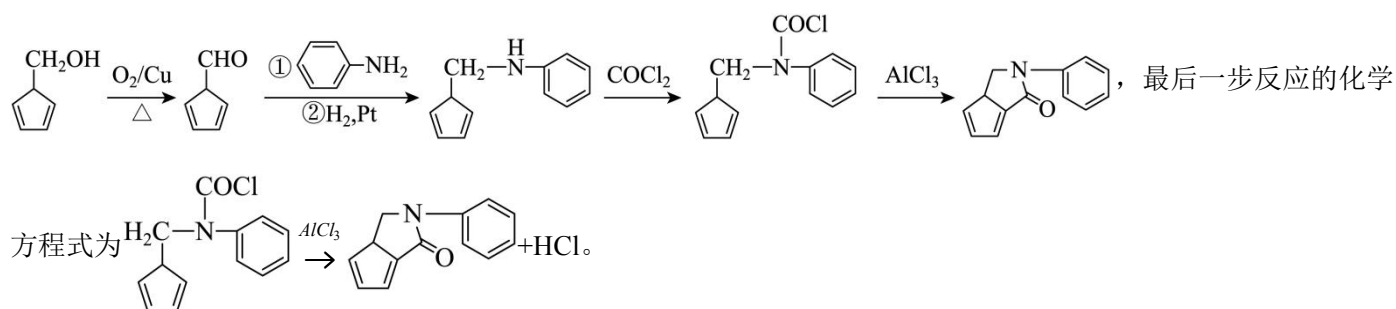
此符合下列条件的 M 共有 12 种;

【小问 4 详解】

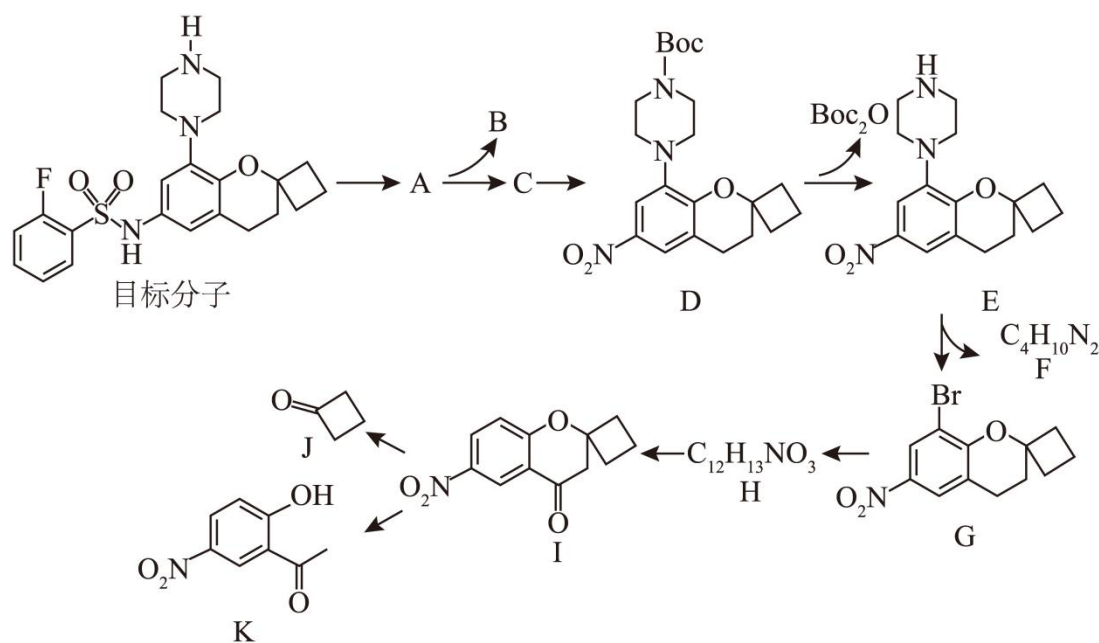
C→D 过程中使用的 Fe 会与 C 中的羧基反应，影响后续反应，故需对羧基进行保护；

【小问 5 详解】

类比 D→H 的合成流程，由苯胺和  制备  的流程为



11. (2025 烟台德州二模, 19) 逆合成分析是分析目标结构，逐步将其拆解为更简单的前体和原料，完成路线设计的方法，也是近年来化学领域 AI 应用热点。某课题组使用 AI 对某目标分子进行逆合成分析如下(⇒为逆合成分析箭头，反应条件省略)：



回答下列问题：

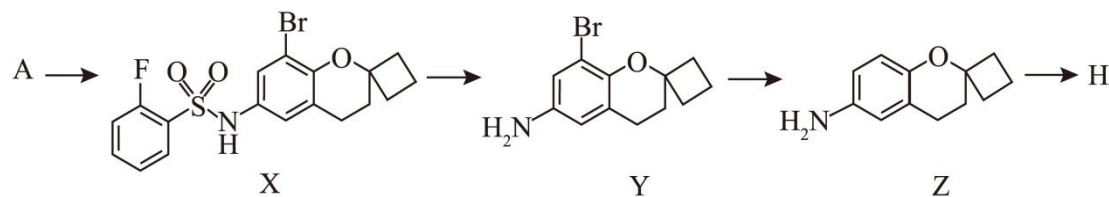
- (1) E 中含氧官能团的名称为_____，D→C 的反应类型为_____；H 的结构简式为_____。
- (2) $F + G \rightarrow E$ 的化学方程式为_____。
- (3) 写出符合下列条件的 K 的同分异构体的结构简式_____。

①含苯环且能发生水解反应；②1mol 该有机物发生银镜反应最多能生成 4molAg

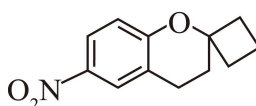
③核磁共振氢谱有 4 组峰且峰面积之比为 1:2:2:2

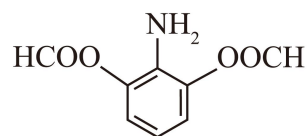
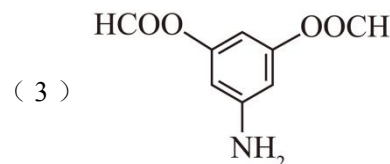
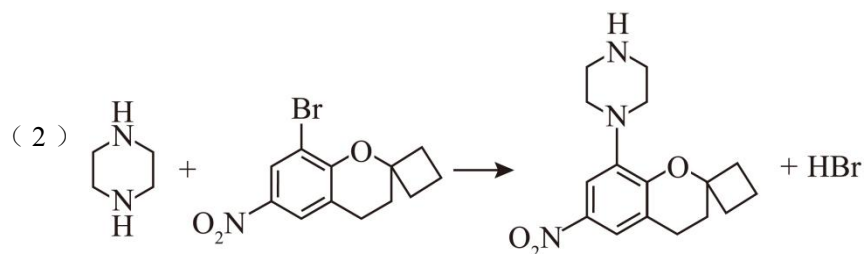
(4) E→D 反应的目的是_____。

(5) 对于由 A 至 H 的逆合成分析，某同学给出了另一分析结果：



该分析不可行的理由是：①X→A 的反应，F 原子更易被取代；②_____。

【答案】(1) ①. 醚键、硝基 ②. 还原反应 ③. 

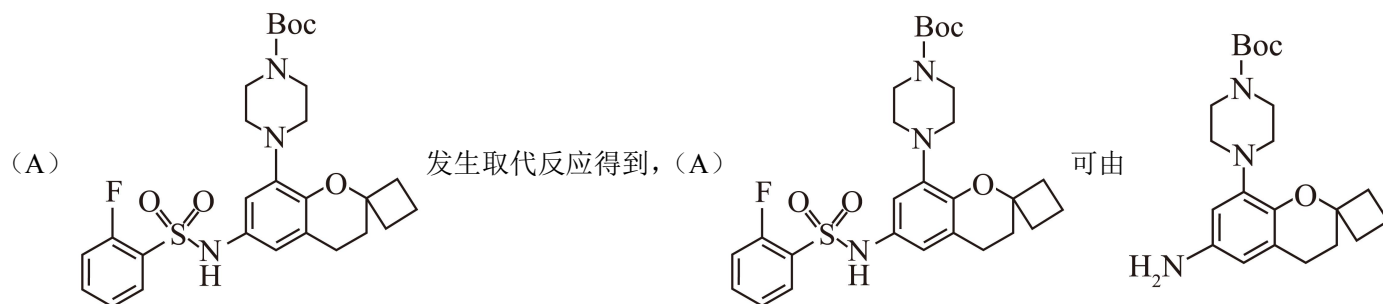


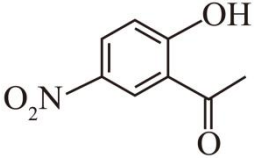
(4) 保护  NH (亚氨基)(或保护  NH，防止  NH 发生反应)

(5) Z→Y 的反应，由于 -NH₂、-OR 为邻对位取代基，且决定性：-NH₂ > -OR，所以 Br 难以取代在 -NH₂ 的间位

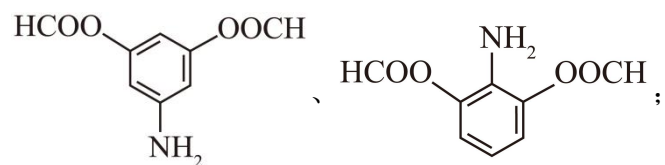
【解析】

【分析】逆合成分析是分析目标结构，逐步将其拆解为更简单的前体和原料，完成路线设计的方法，目标分子可由

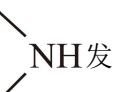


K 为 ，满足①含苯环且能发生水解反应，含有酯基，②1mol 该有机物发生银镜反应最多能生

成 4molAg，则含有 2 种甲酸酯结构，③核磁共振氢谱有 4 组峰且峰面积之比为 1:2:2:2 的同分异构体为



【小问 4 详解】

E 到 D 将 NH(亚氨基)取代，A 到目标分子将 NH(亚氨基)还原回来，则 E→D 反应的目的是保护 NH(亚氨基)(或保护 NH，防止 NH 发生反应)；

【小问 5 详解】

由已知对于苯环， $-\text{NO}_2$ 是间位取代定位基； $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{OR}$ 是邻对位取代定位基，且决定性： $-\text{NH}_2 > -\text{OR}$ ，对于由 A 至 H 的逆合成分析，该同学给出了另一分析结果中，Z→Y 的反应，由于 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{OR}$ 为邻对位取代基，且决定性： $-\text{NH}_2 > -\text{OR}$ ，所以 Br 难以取代在 $-\text{NH}_2$ 的间位，则该逆合成分析不可行。