

2025 届山东各地市高三三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 9

四、化学基本概念 14

第二部分 化学实验 17

一、化学实验基础 17

二、实验装置题 18

三、实验表格题 25

四、化学实验综合题 32

五、化学实验综合题（非选择题） 40

第三部分 化学工艺流程 60

一、化学工艺流程题 60

二、化学工艺流程题（非选择题） 67

第四部分 化学反应原理 86

一、电化学 86

二、反应热、化学反应机理 93

三、化学反应的方向、限度与速率 100

四、电解质溶液中的离子平衡 109

五、化学反应原理综合题（非选择题） 120

第五部分 物质结构与性质 140

一、物质结构与性质 140

二、元素推断题 147

三、物质结构与性质综合题（非选择题） 152

第六部分 有机化学基础 169

一、有机物的结构与性质 169

二、有机反应 173

三、有机推断题（非选择题） 178

1. 题目来源于 2025 届山东省各地级市一模试题，共 9 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 淄博三模, 1) 齐鲁文化璀璨夺目。下列说法错误的是

- A. 先秦齐国渠展制盐利用蒸发结晶原理
- B. 青州商代青铜钺可用足量稀硝酸浸泡除锈
- C. 龙山文化的陶鬲制作过程涉及氧化还原反应
- D. 兵法竹简的主要成分可在酸性条件下水解为葡萄糖

【答案】B

【解析】

【详解】A. 先秦齐国渠展制盐, 是将海水等盐溶液进行蒸发, 使溶剂不断减少, 溶质氯化钠达到饱和后结晶析出, 利用了蒸发结晶原理, 故 A 正确;

B. 青铜钺中含有铜等金属, 稀硝酸具有强氧化性, 能与铜等金属发生反应, 所以不能用足量稀硝酸浸泡除锈, 否则会腐蚀青铜钺, 故 B 错误;

C. 龙山文化的陶鬲制作过程中, 陶土中的一些成分在高温烧制时可能会发生氧化还原反应, 故 C 正确;

D. 兵法竹简的主要成分是纤维素, 纤维素属于多糖, 在酸性条件下可发生水解反应, 最终水解为葡萄糖, 故 D 正确;

故选 B。

2. (2025 威海三模, 1) 传统工艺品是中华优秀传统文化的瑰宝。下列工艺品中, 主要原材料的材质不能与其他三项归为一类的是

- A. 莱芜锡雕
- B. 东阿阿胶
- C. 临朐宣纸
- D. 东明粮画

【答案】A

【解析】

【详解】A. 莱芜锡雕的主要材质是金属锡;

B. 东阿阿胶由驴皮熬制, 主要成分为胶原蛋白;

C. 临朐宣纸以植物纤维制成, 主要成分是纤维素;

D. 东明粮画以谷物、种子等粮食为原料, 含淀粉、蛋白质等有机物;

综上所述, 莱芜锡雕与另外三类不同。

故选 A。

3. (2025 青岛三模, 1) 下列颜料制取过程不属于氧化还原反应的是

- A. 矾红 (Fe_2O_3): 绿矾每斤, 入黄土四两, 入罐熬炼, 则成矾红
- B. 胡粉 [$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$]: 每铅片百斤, 用醋两瓶, 安火四两, 养之七日, 皆成胡粉
- C. 蜃灰 (CaO): 以蜃蛤之壳厚垒为窑, 熅火煅之, 灰成则坚凝如石, 谓之蜃灰

D. 空青 $[\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3]$ ：生益州山谷及越嵩山有铜处，铜精熏则生空青

【答案】C

【解析】

【详解】A. 绿矾的成分为 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，Fe 元素化合价为+2，高温煅烧后生成 Fe_2O_3 ，Fe 元素化合价变为+3 价，铁元素化合价升高被氧化，属于氧化还原反应，A 不符合题意；

B. 铅单质化合价为 0 价，转化为 $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ 后 Pb 元素化合价变为+2 价，Pb 元素化合价升高被氧化，属于氧化还原反应，B 不符合题意；

C. 蛻蛤壳的主要成分为 CaCO_3 ，高温煅烧后生成 CaO 和 CO_2 ，Ca、C、O 元素的化合价均未变化，不属于氧化还原反应，C 符合题意；

D. 铜精主要成分为单质 Cu，化合价为 0 价，在潮湿环境中生成 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 后 Cu 元素化合价变为+2 价，Cu 元素化合价升高被氧化，属于氧化还原反应，D 不符合题意；

故答案为：C。

4. （2025 潍坊三模，1）“科技兴海，向新向蓝向未来”。山东在发展壮大现代海洋经济上下功夫、求实效。下列生产过程中不涉及氧化还原反应的是

A. 海水制氢

B. 用贝壳或沉积物制取 CaCO_3

C. 海水提溴

D. 海水提锂

【答案】B

【解析】

【详解】A. 海水制氢通常通过电解水等方法将水中的氢转化为氢气，有单质生成，氢的化合价变化，涉及氧化还原反应，A 不符合题意；

B. 用贝壳或沉积物制取 CaCO_3 的过程（如煅烧贝壳后吸收 CO_2 重新生成 CaCO_3 ）中，钙、碳、氧的化合价均未变化，不涉及氧化还原反应，B 符合题意；

C. 海水提溴是由溴元素的化合物变为溴元素的单质，有元素化合价的变化，属于氧化还原反应，C 不符合题意；

D. 海水提锂需将 Li^+ 还原为金属锂或通过其他氧化还原过程，涉及元素化合价变化，属于氧化还原反应，D 不符合题意；

故答案为 B。

5. （2025 日照三模，1）下列过程未发生氧化还原反应的是

A. 果蔬褐变

B. 用一次性保暖贴取暖

C. 黏土高温烧结生产陶瓷

D. “非核氢弹”（主要含 MgH_2 ）爆炸

【答案】C

【解析】

【详解】A. 果蔬褐变是酚类物质被氧化为醌类，有元素化合价的变化，发生了氧化还原反应，A 不符合题意；

B. 保暖贴的核心发热机制基于铁粉氧化反应，总反应为 $2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_2$ ，后续生成 Fe_2O_3 ，发生氧化还原反应，B 不符合题意；

C. 黏土烧结陶瓷是硅酸盐结构重组，主要是物理变化和复杂的非氧化还原的化学变化，元素化合价未变化，未发生氧化还原反应，C 符合题意；

D. MgH_2 爆炸时， MgH_2 与水发生反应： $\text{MgH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2 \uparrow$ ，反应中氢元素的化合价发生变化，属于氧化还原反应，D 不符合题意；

答案选 C。

6. （2025 聊城三模，1）宇树科技人形机器人亮相 2025 年春晚，下列说法错误的是

- A. 芯片是机器人的“大脑”，主要成分为硅单质
- B. 触觉传感器材料压电陶瓷属于新型无机非金属材料
- C. 包裹导线和电气元件的聚四氟乙烯通过加聚反应制备而成
- D. 机器人肢体部分使用的碳纤维复合材料属于有机高分子材料

【答案】D

【解析】

【详解】A. 芯片的核心材料是硅单质，硅是良好的半导体材料，可用于制造计算机芯片等电子元件，A 正确；

B. 压电陶瓷（如钛酸钡）属于新型无机非金属材料，具有压电效应等特殊性能，广泛应用于传感器等领域，B 正确；

C. 聚四氟乙烯是由四氟乙烯（ $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ ）通过加聚反应合成的高分子化合物，C 正确；

D. 碳纤维复合材料由碳纤维（无机物）与树脂等基体复合而成，属于复合材料，而非单纯有机高分子材料，D 错误；

故答案选 D。

7. （2025 济宁三模，1）化学与生活密切相关，下列叙述不涉及氧化还原反应的是

- A. 高粱发酵酿酒
- B. 牙膏中添加氟化物用于预防龋齿
- C. 高炉炼铁
- D. 绿化造林助力实现碳中和目标

【答案】B

【解析】

【详解】A. 高粱发酵酿酒过程中，葡萄糖转化为乙醇和二氧化碳，碳的化合价发生变化，涉及氧化还原反应，A 不符合题意；

B. 牙膏中的氟化物与牙齿中的羟基磷灰石发生离子交换，无化合价变化，不涉及氧化还原反应，B 符合题意；

C. 高炉炼铁通过 CO 还原 Fe_2O_3 ，铁和碳的化合价均变化，涉及氧化还原反应，C 不符合题意；

D. 绿化造林通过光合作用吸收 CO_2 ，碳和氧的化合价变化，涉及氧化还原反应，D 不符合题意；

故选 B。

8. (2025 德州三模，1) 化学与生活、医药密切相关，下列应用没有涉及氧化还原反应理论的是

A. 运输水果时，向水果箱内喷少量 KMnO_4 溶液

B. 人体补铁时，将 Vc 片与补铁剂一起服用

C. 打针输液时，医护人员用酒精对皮肤进行消毒

D. 质量抽查时，质监员用食醋、碘化钾检验加碘盐真假

【答案】C

【解析】

【详解】A. KMnO_4 作为强氧化剂，与水果释放的乙烯发生氧化还原反应，从而延长水果的保质期，A 不符合题意；

B. Vc 具有还原性，通过还原性防止 Fe^{2+} 被氧化，涉及氧化还原反应，B 不符合题意；

C. 酒精通过使蛋白质变性消毒，未发生电子转移，属于非氧化还原反应，C 符合题意；

D. KIO_3 与 I^- 在酸性条件下生成 I_2 ，碘的价态发生变化，涉及氧化还原反应，D 不符合题意；

故选 C。

9. (2025 烟台三模，1) 下列过程中没有氧化还原反应发生的是

A. 用 NaCl 、 CO_2 和 NH_3 制备纯碱

B. 用一次性保暖贴御寒

C. 电解质溶液导电

D. 切开的苹果发生褐变

【答案】A

【解析】

【详解】A. 侯氏制碱法的反应为复分解反应（如 $\text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{NaHCO}_3 \downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$ ），无元素化合价变化，故无氧化还原反应，A 错误；

B. 一次性保暖贴御寒是利用原电池原理，铁粉最终氧化生成 Fe_2O_3 ，Fe 的化合价从 0 升至 +3，属于氧化还原反应，B 正确；

C. 电解质导电时发生电解过程是阴阳离子在两个电极上发生了氧化还原反应，（如 Cl^- 被氧化为 Cl_2 ， H^+ 被还原为 H_2 ），涉及氧化还原反应，C 正确；

D. 苹果切开一段时间会发生褐变是因为多酚氧化酶催化下迅速氧化，属于氧化还原反应，D 正确；

故答案选 A。

10. (2025 烟台三模，4) “诗词藏化学，词章显原理”下列有关说法错误的是

A. “莫笑田家老瓦盆……”瓦盆的材质属于硅酸盐材料

B. “水洗净，细研水飞，去石澄清，慢火熬干”其中涉及的操作有洗涤、粉碎、过滤和蒸发

C. “心忧炭贱愿天寒”中的炭与“嫦娥3号”卫星所用的碳纤维互为同位素

D. “冰，水为之，而寒于水”说明水变成冰的过程 $\Delta H < 0$ ， $\Delta S < 0$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 瓦盆属于陶瓷，陶瓷是硅酸盐材料，A 正确；

B. “水洗净”为洗涤，“细研”为粉碎，“去石澄清”为过滤，“熬干”为蒸发，B 正确；

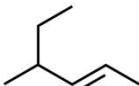
C. 炭与碳纤维均为碳的单质，属于同素异形体而非同位素，C 错误；

D. 水结冰放热 ($\Delta H < 0$)，且熵减 ($\Delta S < 0$)，D 正确；

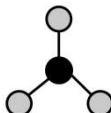
故选 C。

二、化学用语

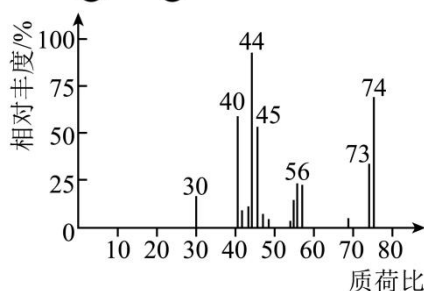
1. (2025 威海三模，2) 下列化学用语或图示错误的是

A.  的名称为：4-甲基-2-己烯

B. CaC_2 的电子式为： $\text{Ca}^{2+} [:\text{C}::\text{C}:]^{2-}$

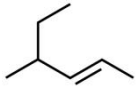
C. SO_3 的 VSEPR 模型为：

D. C_3H_8 的质谱图为：

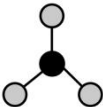


【答案】D

【解析】

【详解】A.  含双键碳原子在内的最长链有 6 个碳原子，从离双键碳最近的一端开始编号，故系统命名为 4-甲基-2-己烯，故 A 正确；

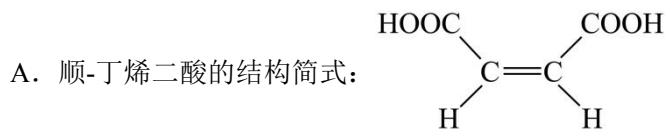
B. 碳化钙属于离子化合物，阴离子中存在碳碳三键，其电子式为 $\text{Ca}^{2+} [:\text{C}::\text{C}:]^{2-}$ ，故 B 正确；

C. SO_3 中 S 的价层电子对数为 $3 + \frac{6 - 3 \times 2}{2} = 3$ ，VSEPR 模型为 ，故 C 正确；

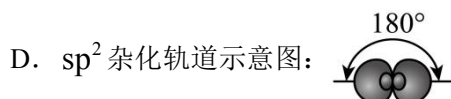
D. C_3H_8 的相对分子质量为 44，最大质荷比为 44，质谱图错误，故 D 错误；

答案选 D。

2. (2025 聊城三模，2) 下列化学用语表示正确的是



B. 中子数为 8 的碳原子: $^{14}_8\text{C}$



【答案】A

【解析】

【详解】A. 顺-丁烯二酸中双键两端的-COOH 应在同一侧, A 正确;

B. 中子数为 8 的碳原子, 质子数为 6, 质量数=6+8=14, 原子符号应为 $^{14}_6\text{C}$, B 错误;

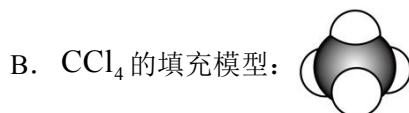
C. SO_2 中 S 的价层电子对数=2+ $\frac{6-2 \times 2}{2}$ =2+1=3, VSEPR 模型为平面三角形, 题中图片为四面体形模型, C 错误;

D. sp^2 杂化轨道由 1 个 s 轨道和 2 个 p 轨道杂化形成, 夹角为 120° , 题中示意图标注 180° , 为 sp 杂化特征, D 错误;

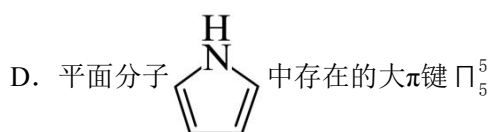
故答案选 A。

3. (2025 日照三模, 3) 下列化学用语或图示正确的是

A. 碳酸二甲酯的结构简式: $\text{CH}_3\text{OCOOCH}_3$



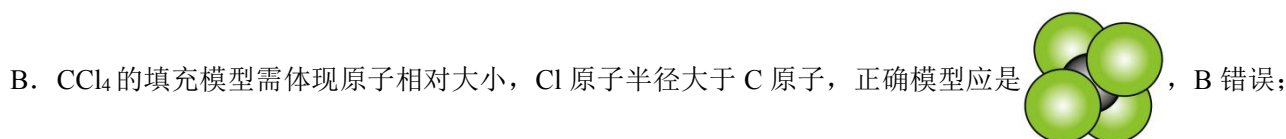
C. 基态 Ge 原子最高能级组的电子排布式: $4s^2 4p^2$



【答案】A

【解析】

【详解】A. 碳酸二甲酯是碳酸与甲醇形成的酯, 结构为两个 -OCH₃ 取代碳酸中的两个羟基, 结构简式为 $\text{CH}_3\text{OCOOCH}_3$, A 正确;



C. Ge 为 32 号元素, 电子排布式为 $[\text{Ar}]3d^{10}4s^2 4p^2$, 最高能级组为第四能级组(含 4s、3d、4p), C 错误;

D. 吡咯 (HN-五元环) 为平面分子, N 原子 sp^2 杂化, p 轨道含 2 个电子, 4 个 C 原子各提供 1 个 p 电子, 形成 5

中心 6 电子大 π 键可表示为 Π_5^6 ，D 错误；

故选 A。

4. (2025 淄博三模, 3) 下列化学用语或图示错误的是

A. 羟基的电子式: $\cdot\ddot{\text{O}}:\text{H}$

B. 甲醛分子的空间填充模型: 

C. HCl 分子中共价键的电子云图: 

D.  的系统命名: 3, 3-二甲基戊烷

【答案】A

【解析】

【详解】A. 羟基的电子式为 $\cdot\ddot{\text{O}}:\text{H}$ ，A 错误；

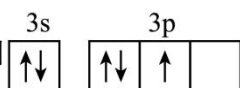
B. 甲醛分子的结构简式为 HCHO，中心 C 原子 sp^2 杂化，空间结构为平面三角形，其空间填充模型为 ，B 正确；

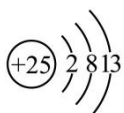
C. HCl 分子中共价键为 s-p σ 键，其电子云轮廓图 ，C 正确；

D.  的结构简式为 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}(\text{CH}_3)_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ ，系统命名为 3, 3-二甲基戊烷，D 正确；

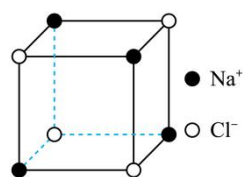
故选 A。

5. (2025 济宁三模, 3) 下列化学用语或相关表述错误的是

A. 基态磷原子价层电子排布图  违背了洪特规则

B. Mn^{2+} 的结构示意图: 

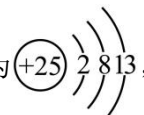
C. Cl_2 分子中共价键的电子云图形: 

D. NaCl 的晶胞示意图: 

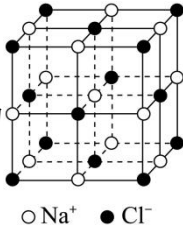
【答案】D

【解析】

【详解】A. 基态磷原子价层电子排布式为 $3s^2 3p^3$ ，根据洪特规则，3p 轨道的 3 个电子应分占不同轨道且自旋方向相同，题目中 3p 轨道排布违背了洪特规则，A 正确；

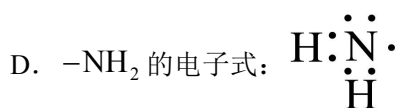
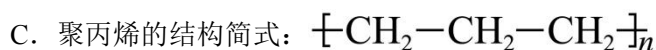
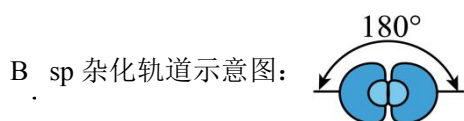
B. Mn 为 25 号元素，基态 Mn 原子电子排布式为 $[\text{Ar}]3d^5 4s^2$ ，Mn 失去 2 个 4s 电子， Mn^{2+} 的电子排布式为 $[\text{Ar}]3d^5$ ，结构示意图为 ，B 正确；

C. Cl_2 分子中 p 轨道形成 Cl-Cl σ 键， σ 键电子云为“头碰头”重叠形成的轴对称图形，C 正确；

D. NaCl 晶胞为面心立方结构，晶胞示意图为 ，D 错误；

故选 D。

6. (2025 烟台三模，3) 下列化学用语或图示表示错误的是



【答案】C

【解析】

【详解】A. H_2O 的中心原子 O 的价层电子对数为 4，孤对电子数为 2，VSEPR 模型为四面体形，A 正确；

B. sp 杂化由 1 个 s 轨道和 1 个 p 轨道杂化形成 2 个夹角为 180° 的直线形轨道，B 正确；

C. 聚丙烯的单体为丙烯 ($\text{CH}_2=\text{CH—CH}_3$)，聚丙烯结构简式应为 $\text{[CH}_2\text{—CH(CH}_3\text{)]}_n$ ，C 错误；

D. N 价电子数是 5， —NH_2 电子式为 ，D 正确；

故答案选 C。

三、物质的性质和用途

1. (2025 潍坊三模，2) 下列物质的性质与用途的对应关系错误的是

A. 氧化镁熔点高，作耐火材料

B. 聚乙炔具有导电性，用作导电塑料

C. 油脂酸性条件下水解，用于生产肥皂

D. 氨易液化且液氨气化热大，用作制冷剂

【答案】C

【解析】

【详解】A. 氧化镁熔点高，可用作耐火材料，A 正确；

B. 聚乙炔具有共轭 π 键，有导电性，可用作导电塑料，B 正确；

C. 油脂在酸性条件下的水解反应为可逆反应，而在碱性条件下水解较完全，因此油脂在碱性条件下水解可用于生产肥皂，C 错误；

D. 氨易液化且气化时吸收大量热量，可用作制冷剂，D 正确；

故选 C。

2. （2025 日照三模，2）化学品在纺织工业中也有重要应用，下列说法正确的是

A. 漂白毛、麻织物常用次氯酸钠

B. 增强织物柔韧性常用苯甲酸钠

C. 中和残留酸性物质常用碳酸氢钠

D. 合成尼龙-66 的原料为己二酸和己二胺

【答案】D

【解析】

【详解】A. 次氯酸钠具有强氧化性，会破坏毛、麻等蛋白质纤维的结构，因此漂白这类织物通常使用更温和的过氧化氢，A 错误；

B. 苯甲酸钠是防腐剂，而非用于增强织物柔韧性，增强柔韧性通常使用表面活性剂或硅油类物质，B 错误；

C. 中和残留酸性物质常用碱性更强的碳酸钠（ Na_2CO_3 ），而非碳酸氢钠（ NaHCO_3 ），因后者碱性较弱，可能无法完全中和，C 错误；

D. 尼龙-66 是由己二酸和己二胺通过缩聚反应生成聚酰胺，D 正确；

故答案为：D。

3. （2025 济宁三模，2）化学品在食品工业中有重要应用，下列说法错误的是

A. 山梨酸钾可用作食品增味剂

B. SO_2 可用于食品的防腐

C. 抗坏血酸可用作食品抗氧化剂

D. 焦糖色可用作食品着色剂

【答案】A

【解析】

【详解】A. 山梨酸钾的主要功能是防腐，而非增味，A 错误；

B. SO_2 在合规范范围内可用于食品防腐（如葡萄酒），B 正确；

C. 抗坏血酸通过还原作用可以用于食品抗氧化，C 正确；

D. 焦糖色是合法着色剂，可用作食品着色，D 正确；

故选 A。

4. （2025 烟台三模，2）下列关于食品添加剂的说法错误的是

A. 馒头加工中可用碳酸氢铵作膨松剂

B. 海参腌制时可用甲醛作防腐剂

C. 制果汁时可用维生素 C 作抗氧化剂

D. 制白砂糖、干果等食品时可用二氧化硫作漂白剂、防腐剂

【答案】B

【解析】

【详解】A. 碳酸氢铵 (NH_4HCO_3) 受热分解生成 CO_2 、 NH_3 和 H_2O ，产生的气体使馒头膨胀，属于合法膨松剂；

B. 甲醛（福尔马林）虽能防腐，但会破坏蛋白质结构且致癌，禁止用于食品加工；

C. 维生素 C（抗坏血酸）通过自身氧化消耗氧气，防止果汁氧化变色，是常用抗氧化剂；

D. SO_2 具有漂白性和抑菌性，在制糖、干果中可限量使用以改善色泽和防腐；

故选 B。

5. （2025 威海三模，3）下列有关物质的性质及其应用对应正确的是

A. $NaHCO_3$ 能与酸反应，常用于调节面团的酸度和去除油腻

B. 浓硫酸与铁常温下不反应，可用铁质容器储存浓硫酸

C. 过氧碳酸钠(Na_2CO_4)具有较强的氧化性，可用于漂白衣物

D. 晶体硅的导电能力介于导体和绝缘体之间，常用于制造芯片和光导纤维

【答案】C

【解析】

【详解】A. $NaHCO_3$ 能与酸反应，能与面团在发酵过程中产生的酸反应，从而调节面团的酸度，但不能用于去除油腻，因为它的碱性较弱，去除油脂通常使用碱性较强的 Na_2CO_3 或 $NaOH$ ，A 不正确；

B. 常温下浓硫酸能使铁发生钝化，不是不反应，而是不能发生持续反应，所以可用铁质容器储存浓硫酸，B 不正确；

C. 过氧碳酸钠(Na_2CO_4)中含有过氧链($-O-O-$)，具有较强的氧化性，可使有色物质褪色，可用于漂白衣物，C 正确；

D. 芯片的主要成分为硅，晶体硅的导电能力介于导体和绝缘体之间，常用于制造芯片，但不能用于生产光导纤维(主要成分为 SiO_2)，D 不正确；

故选 C。

6. （2025 聊城三模，3）化学使科技进步、使生活更美好。下列说法正确的是

A. 玻璃能制成规则外观的玻璃球是由于晶体具有自范性

B. 医学上常用质量分数为 75% 的乙醇溶液杀菌消毒

C. 均衡膳食助健康，蔬果中的纤维素可在人体内水解为葡萄糖

D. 医用软膏中的“凡士林”，其主要成分是含碳原子数较多的烷烃

【答案】D

【解析】

- 【详解】A. 玻璃是非晶体，不具有自范性，晶体自范性指自发形成规则形状的性质，故 A 错误；
- B. 医学消毒常用体积分数 75% 的乙醇溶液，而非质量分数 75%，故 B 错误；
- C. 人体缺乏纤维素酶，无法水解纤维素为葡萄糖，故 C 错误；
- D. 凡士林主要成分是碳原子数较多的烷烃，符合实际描述，故 D 正确；

答案选 D。

7. (2025 青岛三模, 3) 物质性质决定用途，下列两者对应关系错误的是

- A. 二氧化硅常用来制造光导纤维，体现 SiO_2 高熔点
- B. 维生素 C 用作食品抗氧化剂，体现其还原性
- C. 过碳酸钠漂白衣物，体现过氧键较强的氧化性
- D. 硫酸铜常用于配制农药，体现 Cu^{2+} 能使蛋白质变性

【答案】A

【解析】

- 【详解】A. 二氧化硅用于光导纤维是因为其良好的光学性能，而非高熔点，A 错误；
- B. 维生素 C 作为抗氧化剂利用其还原性，B 正确；
- C. 过碳酸钠的过氧键分解产生强氧化性物质，可以漂白衣物，体现过氧键较强的氧化性，C 正确；
- D. Cu^{2+} 是重金属离子，可使蛋白质变性，有杀菌作用，D 正确；

故选 A。

8. (2025 聊城三模, 4) 类比推理是化学中常用的思维方法，下列说法正确的是

- A. $\text{N} \equiv \text{N}$ 键能大，结构稳定，则 $\text{C} \equiv \text{C}$ 键能也大，结构也稳定
- B. NaClO 溶液与 CO_2 反应生成 NaHCO_3 和 HClO ，则 NaClO 溶液与 SO_2 反应生成 NaHSO_3 和 HClO
- C. NaCl 与浓 H_2SO_4 共热可制取 HCl ，则 CaF_2 与浓 H_2SO_4 共热也可制取 HF
- D. CF_3COOH 的酸性强于 CH_3COOH ，则 $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ 碱性强于 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$

【答案】C

【解析】

- 【详解】A. $\text{N} \equiv \text{N}$ 键能大是因氮气结构特殊，而 $\text{C} \equiv \text{C}$ 键能虽高但 2 个 π 键键能较小，容易断裂，故不如氮气稳定，不能简单类比，A 错误；
- B. SO_2 具有还原性，与 NaClO 发生氧化还原反应生成硫酸盐而非 NaHSO_3 ，B 错误；
- C. 浓硫酸为高沸点酸，与 CaF_2 或 NaCl 共热可生成低沸点的 HF 或 HCl ，C 正确；
- D. CF_3- 为强吸电子基，增强了 $-\text{COOH}$ 酸性，降低氨基的电子云密度，使 $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ 碱性弱于 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ ，D 错误；

故选 C。

9. (2025 德州三模, 4) 下列物质的结构或性质不能说明其用途的是

- A. 离子液体由带电荷的阴阳离子组成, 可用作不易挥发的新型溶剂
- B. 聚乙炔存在共轭大 π 键体系为电荷传递提供通路, 可用于制备导电高分子材料
- C. 葡萄糖分子结构中有多个羟基, 可用于与银氨溶液反应制作银镜

D. 聚丙烯酸钠($\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{COONa}}{\text{CH}} \right]_n$) 中含有亲水基团, 可用于制备高吸水性树脂

【答案】C

【解析】

【详解】A. 离子液体由阴阳离子组成, 离子间作用力强, 液态时不易挥发, 故可用作不易挥发的新型溶剂, A 正确;

B. 聚乙炔的共轭大 π 键体系中电子可自由移动, 能传导电荷, 因此可制备导电高分子材料, B 正确;

C. 葡萄糖与银氨溶液反应制作银镜是因为分子中含醛基 ($-\text{CHO}$), 羟基 ($-\text{OH}$) 不参与银镜反应, 该选项结构描述 (多个羟基) 与用途无关, C 错误;

D. 聚丙烯酸钠中的 $-\text{COONa}$ 为亲水基团, 能强烈吸水, 故可制备高吸水性树脂, D 正确;

故选 C。

10. (2025 日照三模, 5) 物质性质决定用途, 下列两者对应关系错误的是

- A. 羧酸与氨气加热制备酰胺, 体现了羧酸的酸性
- B. 邻二氮菲用于 Fe^{2+} 浓度测定, 体现了 N 原子的配位性
- C. SiO_2 用作光导纤维, 体现了 SiO_2 良好的导光特性
- D. 用 ClO_2 清除甲醛, 体现了 ClO_2 的氧化性

【答案】A

【解析】

【详解】A. 羧酸与氨气加热制备酰胺的过程分为两步: 首先羧酸与氨气中和生成铵盐 (体现酸性), 随后脱水生成酰胺, 虽然酸性在第一步起作用, 但酰胺的形成主要依赖脱水缩合而非酸性, A 错误;

B. 邻二氮菲中的 N 原子含有孤对电子, 可与 Fe^{2+} 形成稳定配合物, 用于比色法测定 Fe^{2+} 浓度, 体现了 N 的配位性, B 正确;

C. SiO_2 制成的光导纤维具有高透明度和全反射特性, 因此 SiO_2 通常用作光导纤维的原料, C 正确;

D. ClO_2 具有强氧化性, 可作强氧化剂使用, 能将甲醛氧化为无害物质, D 正确;

故答案为: A。

11. (2025 烟台三模, 5) 物质性质决定用途, 下列“应用”对应“解释或离子方程式”正确的是

选项	应用	解释或离子方程式
A	用聚乳酸替代聚乙烯制吸管	聚乳酸可自然降解
B	工业制 NaOH	$\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}^+ + 2\text{OH}^-$
C	84 消毒液加白醋，可增强漂白效果	$\text{ClO}^- + \text{H}^+ = \text{HClO}$
D	用 MgCO_3 除去 MgCl_2 溶液中的 Fe^{3+}	$2\text{Fe}^{3+} + 3\text{CO}_3^{2-} = \text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3 \downarrow$

【答案】A

【解析】

【详解】A. 聚乳酸由可再生的植物资源提取，能在自然环境中被微生物降解，而聚乙烯难降解，故应用和解释均正确，A 正确；

B. 工业制 NaOH 通过电解食盐水而非 Na_2O 与水反应，方程式虽正确但应用不符合工业实际，B 错误；

C. 84 消毒液加白醋生成 HClO 增强漂白，离子方程式为 $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{ClO}^- = \text{HClO} + \text{CH}_3\text{COO}^-$ ，C 错误；

D. Fe^{3+} 与 CO_3^{2-} 发生双水解生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 CO_2 ，而非 $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ 沉淀，离子方程式为

$2\text{Fe}^{3+} + 3\text{CO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{CO}_2 \uparrow$ ，D 错误；

故答案选 A。

12. (2025 日照三模，7) 下列说法正确的是

A. 酿酒过程中葡萄糖在酒化酶的作用下发生水解反应生成乙醇

B. DNA 双螺旋结构两条链上的碱基通过氢键作用互补配对

C. 蛋白质的空间结构发生变化不会导致其生物活性改变

D. 磷酸、戊糖和碱基结合而成的核苷酸是一种生物大分子

【答案】B

【解析】

【详解】A. 葡萄糖在酒化酶的作用下转化为乙醇和二氧化碳的反应属于无氧分解反应，而非水解反应，水解反应通常需要水参与并且无化合价变化，A 错误；

B. DNA 双螺旋的两条链通过碱基间的氢键互补配对（如 A-T、C-G），B 正确；

C. 蛋白质空间结构改变可能会导致其失去活性（如变性），C 错误；

D. 核苷酸是核酸的单体，本身为小分子，多个核苷酸聚合可形成核酸大分子，D 错误；

答案选 B。

四、化学基本概念

1. (2025 潍坊三模, 4) 利用 CH_3OH 可将废水中的 NO_3^- 转化为对环境无害的物质。反应原理为:



- A. 1mol CO_2 分子含 σ 键的数目为 $4N_A$
- B. 18g 冰中存在的氢键数目最多为 $2N_A$
- C. 氧化剂与还原剂物质的量之比为 $5:6$
- D. 若生成标准状况下的 N_2 11.2L , 则反应转移的电子数为 $3N_A$

【答案】B

【解析】

【详解】A. CO_2 分子结构为 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$, 每个双键含 1 个 σ 键和 1 个 π 键, 故 1mol CO_2 含 $2\text{mol } \sigma$ 键, 数目为 $2N_A$, A 错误;

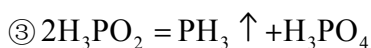
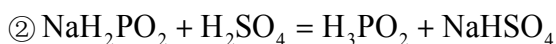
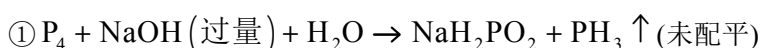
B. 冰中每个水分子形成 4 个氢键, 但每个氢键被 2 个分子共享, 因此 $1\text{mol H}_2\text{O}$ 中存在 2mol 氢键, 18g 冰 (1mol) 氢键数目为 $2N_A$, B 正确;

C. 反应中 6mol NO_3^- 被还原为 N_2 , NO_3^- 为氧化剂, $5\text{mol CH}_3\text{OH}$ 被氧化为 CO_2 , CH_3OH 为还原剂, 氧化剂与还原剂物质的量之比为 $6:5$, C 错误;

D. 生成 3mol N_2 转移 30mol 电子, 则生成 0.5mol N_2 (标准状况下体积为 11.2L) 转移 5mol 电子, 电子数为 $5N_A$, D 错误;

故答案为 B。

2. (2025 济宁三模, 7) PH_3 常作为熏蒸剂, 在贮粮中用于防治害虫, 制备 PH_3 的过程涉及到以下反应:



下列说法正确的是

- A. 上述每步反应均属于氧化还原反应
- B. 反应①中氧化剂和还原剂的质量比是 $3:1$
- C. NaH_2PO_2 属于酸式盐
- D. 理论上, 消耗 1mol 白磷可生产 2.5mol PH_3

【答案】D

【解析】

【详解】A. 反应②是复分解反应, 无元素化合价变化, 不属于氧化还原反应, A 错误;

- B. 反应①的化学方程式为 $\text{P}_4 + 3\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O} = 3\text{NaH}_2\text{PO}_2 + \text{PH}_3\uparrow$, 1mol P_4 中 1mol P 被还原 (氧化剂), 3mol P 被氧化 (还原剂), 氧化剂和还原剂的质量比为 1 : 3, B 错误;
- C. 反应①中 NaOH 过量生成 NaH_2PO_2 , 则 H_3PO_2 为一元酸, 故 NaH_2PO_2 属于正盐, C 错误;
- D. 1mol P_4 通过反应①生成 1mol PH_3 , 同时生成 3mol NaH_2PO_2 ; 后者经反应②③转化为 1.5mol PH_3 , 总产生 2.5mol PH_3 , D 正确;
- 故选 D。

第二部分 化学实验

一、化学实验基础

1. (2025 淄博三模, 2) 实验室根据化学试剂性质的不同采用不同的保存方法。下列说法错误的是

- A. 少量白磷可选用乙醇液封
- B. 氢氟酸保存在塑料瓶中
- C. AgBr 固体保存在棕色广口瓶中
- D. 金属钠保存在石蜡油或煤油中

【答案】A

【解析】

【详解】A. 白磷性质活泼, 暴露在空气中易自燃, 通常保存在水中(水封)以隔绝空气。乙醇易燃, 且白磷在乙醇中可能更易发生反应或增加火灾风险, 因此不宜选用乙醇液封, A 错误;

B. 氢氟酸(HF)能与玻璃中的二氧化硅(SiO_2)反应, 腐蚀玻璃, 故应保存在塑料瓶(如聚乙烯瓶)中, B 正确;

C. 溴化银(AgBr)具有光敏性, 见光易分解($2\text{AgBr} = 2\text{Ag} + \text{Br}_2$), 棕色瓶可避光; 广口瓶常用于固体试剂的保存, C 正确;

D. 金属钠(Na)化学性质活泼, 易与水和氧气反应, 保存在石蜡油或煤油中可隔绝空气和水分, D 正确;

故选 A。

2. (2025 德州三模, 2) 下列实验室事故或药品的处理方法错误的是

- A. 用完的钠、钾、白磷应放回原试剂瓶
- B. 苯酚沾到皮肤上, 应立即用酒精清洗
- C. 温度计破碎水银洒落, 先用胶头滴管回收, 再撒上硫粉
- D. 眼睛溅进酸液, 先用大量水冲洗, 再用饱和的碳酸钠溶液清洗

【答案】D

【解析】

【详解】A. 钠、钾遇水剧烈反应, 白磷自燃, 需放回原瓶避免危险, A 正确;

B. 苯酚易溶于酒精, 酒精清洗可有效去除皮肤上的苯酚, B 正确;

C. 汞需先回收大颗粒, 再用硫粉反应生成硫化汞以降低毒性, C 正确;

D. 眼睛溅入酸液应先用大量水冲洗, 不可用饱和碳酸钠溶液清洗(强碱性可能加重损伤), 应用稀的碳酸氢钠溶液清洗, D 错误;

故选 D。

3. (2025 济宁三模, 4) 实验室中, 下列实验操作或事故处理不合理的是

- A. 取用液溴时, 需戴手套和护目镜, 在通风橱中进行
- B. 硫黄不慎撒在实验台上, 用汞覆盖
- C. 蒸馏过程中发现未加沸石, 应停止加热, 冷却后补加
- D. 电器设备起火, 可以用二氧化碳灭火器灭火

【答案】B

【解析】

【详解】A. 液溴具有强挥发性和腐蚀性，需在通风橱中佩戴手套和护目镜操作，符合安全规范，A 正确；

B. 硫黄撒落后用汞覆盖会生成硫化汞，但汞本身毒性大且处理风险更高，正确方法应为直接收集硫黄，B 错误；

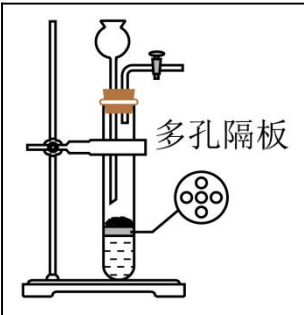
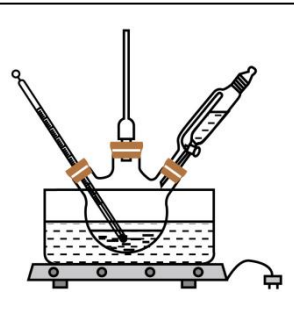
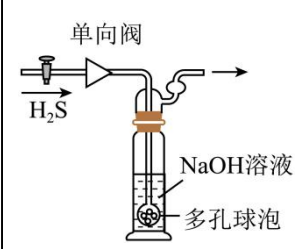
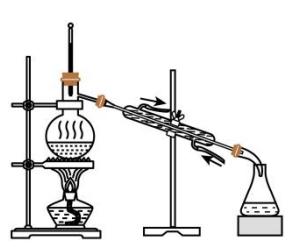
C. 蒸馏时未加沸石需冷却后补加，避免暴沸引发危险，符合操作规范，C 正确；

D. 二氧化碳灭火器不导电且无残留，适合扑灭电器火灾，D 正确；

故选 B。

二、实验装置题

1. （2025 潍坊三模，3）下列装置不能达到实验目的的是

	
A.制备 SO_2	B.制备硝基苯
	
C.吸收 H_2S 气体	D.分离苯和甲苯

【答案】A

【解析】

【详解】A. 制备 SO_2 通常用亚硫酸钠固体与浓硫酸（固液不加热反应），A 装置为固液不加热型发生装置（多孔隔板可控制反应启停），亚硫酸钠为粉末状固体、且溶于水，不能始终在多孔隔板上，长颈漏斗下端未伸入液面下，不能收集到气体，A 不能达到目的；

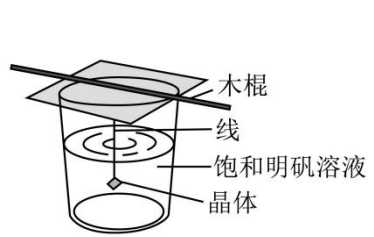
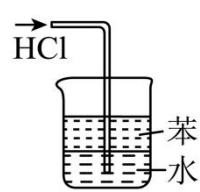
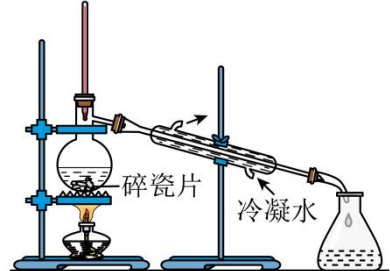
B. 制备硝基苯需苯与浓硝酸在浓硫酸催化、 $50\sim 60^\circ\text{C}$ 水浴加热条件下进行，B 装置中水浴加热可控温，球形冷凝管能冷凝回流反应物，装置合理，B 能达到目的；

C. H_2S 为酸性气体，可用 NaOH 溶液吸收，多孔球泡可增大接触面积，单向阀能防止倒吸，吸收效果好，C 能达到目的；

D. 分离沸点不同互溶的苯和甲苯需蒸馏，蒸馏时温度计水银球应位于蒸馏烧瓶支管口处（测量馏分温度），并且冷凝水采用“下进上出”的方法，冷凝效果好，D 能达到目的；

故选 A。

2. (2025 德州三模, 3) 下列图示实验中, 操作规范的是

	
A. 配制溶液时加入蒸馏水	B. 用于温度稍高于室温时制备明矾大晶体
	
C. 尾气中 HCl 的吸收	D. 由 95% 乙醇水溶液制备无水乙醇

【答案】B

【解析】

【详解】A. 配制溶液, 定容时加入蒸馏水, 用玻璃棒引流至容量瓶时, 玻璃棒下端应放置到刻度线以下, 操作不规范, A 错误;

B. 制备明矾大晶体需将晶种悬挂于饱和溶液中, 缓慢降温促进晶体生长, 图示用线悬挂晶种于饱和明矾溶液中, 装置合理, 操作规范, B 正确;

C. HCl 极易溶于水, 直接通入水层会倒吸, 应该改用下层为四氯化碳上层为水的放倒吸装置, C 错误;

D. 95%乙醇与水形成共沸物, 直接蒸馏无法得无水乙醇, 需先加生石灰除水后再蒸馏, 图示未加干燥剂, 操作不规范, D 错误;

故答案选 B。

3. (2025 青岛三模, 4) 下列图示实验安全或试剂保存错误的是

A. 向试管中倾倒稀硫酸	B. 处理 CO 还原氧化铁尾气
---------------------	-------------------------

C. 保存氢氟酸	D. 保存少量液溴

【答案】C

【解析】

【详解】A. 向试管中倾倒稀硫酸时，应瓶塞倒放、标签向手心、试管倾斜且试剂瓶口紧挨试管口，图示操作符合规范，A 正确；

B. CO 还原氧化铁后的尾气中含有有毒的 CO，可以通过燃烧法转化为 CO_2 消除污染，图示用酒精灯点燃尾气，处理方法正确，B 正确；

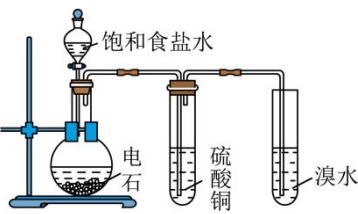
C. 氢氟酸会与玻璃中的 SiO_2 反应： $4HF + SiO_2 = SiF_4 \uparrow + 2H_2O$ ，所以不能用玻璃试剂瓶保存，应使用塑料瓶，图示保存方法错误，C 错误；

D. 液溴易挥发，对橡胶塞易产生腐蚀，保存时需水封（减少挥发）、棕色瓶（避光）、玻璃塞（防腐蚀），图示符合要求，D 正确；

故答案为：C。

4. （2025 济宁三模，5）利用下列装置进行实验，不能达到实验目的的是

A. 比较 Fe^{3+} 、 Br_2 的氧化性强弱	B. 检验 NH_4Cl 受热分解产生的两种气体

	
C. 除去废铝屑表面的油污	D. 检验有乙炔生成

【答案】C

【解析】

【详解】A. 向 FeBr_2 溶液中先滴加少量氯水，因还原性 $\text{Fe}^{2+} > \text{Br}^-$ ， Cl_2 先氧化 Fe^{2+} 生成 Fe^{3+} ， CCl_4 层无色；过量氯水时 Cl_2 氧化 Br^- 生成 Br_2 ， CCl_4 层显橙红色，可证明氧化性 $\text{Br}_2 > \text{Fe}^{3+}$ ，A 能达到目的；

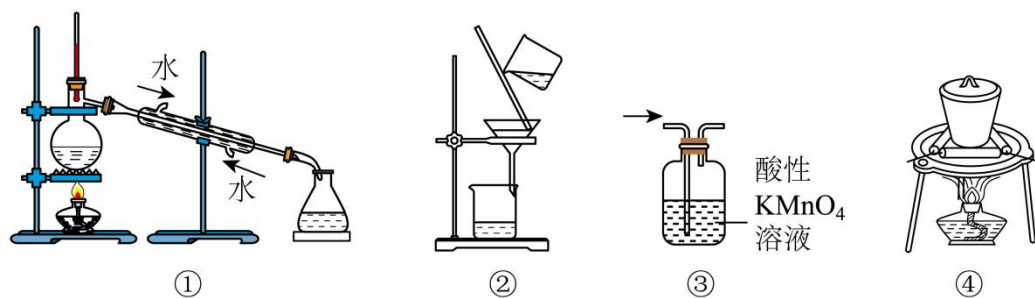
B. NH_4Cl 受热分解生成 NH_3 和 HCl ，玻璃管左侧处的 P_2O_5 作用在于吸收 NH_3 ，避免 NH_3 对 HCl 气体检验的干扰，然后用湿润的蓝色石蕊试纸检验 HCl ，试纸变红；玻璃管右侧处的碱石灰的作用在于吸收 HCl ，避免 HCl 对 NH_3 检验的干扰，然后使用湿润的酚酞试纸检验 NH_3 ，试纸变红，B 能达到目的；

C. 废铝屑表面油污为油脂，热 NaOH 溶液可促进油脂水解生成可溶性物质，能除去油污，但是铝也会和氢氧化钠反应而溶解，不符合除杂原则，C 不能达到目的；

D. 电石与饱和食盐水反应生成乙炔，杂质 H_2S 、 PH_3 被硫酸铜溶液吸收，乙炔与溴水发生加成反应使溴水褪色，可检验乙炔生成，D 能达到目的；

故选 C。

5. (2025 聊城三模，5) 下列实验装置不能达到实验目的的是



A. 用装置①分离 CH_2Cl_2 和 CCl_4

B. 用装置②分离水和苯酚

C. 用装置③除 CO_2 中的 SO_2

D. 用装置④灼烧海带

【答案】B

【解析】

【详解】A. CH_2Cl_2 的沸点为 40°C ， CCl_4 的沸点为 77°C ， CH_2Cl_2 和 CCl_4 为沸点不同、互相混溶的液体混合物，可用蒸馏法分离 CH_2Cl_2 和 CCl_4 ，A 能达到实验目的；

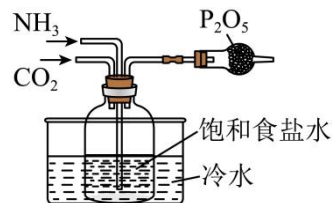
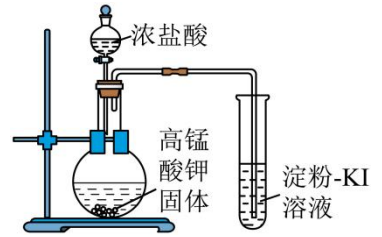
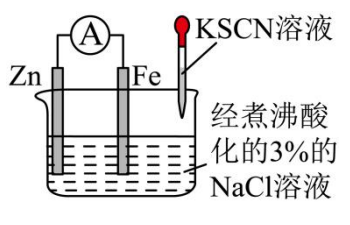
B. 苯酚和水形成的浊液一般是乳浊液，静置后出现明显的分层现象，不能用过滤法分离，应用分液法，B 不能达到实验目的；

C. 装置③为洗气装置，广口瓶中盛有酸性 KMnO_4 溶液将 SO_2 氧化成硫酸而进入溶液，而 CO_2 不能反应，仍然是气体，因此可用酸性 KMnO_4 溶液洗气除去 CO_2 中的 SO_2 杂质，C 能达到实验目的；

D. 装置④用坩埚灼烧固体海带，灼烧固体需在坩埚中进行，仪器使用合理，D 能达到实验目的；

故合理选项是 B。

6. (2025 淄博三模, 6) 下列实验装置或操作能达到实验目的的是

	
A. 制备 NaHCO_3 固体	B. 制备 AlCl_3 固体
	
C. 比较 Cl_2 和 I_2 的氧化性	D. 验证牺牲阳极法保护铁

【答案】C

【解析】

【详解】A. NH_3 极易溶于水，直接将 NH_3 通入饱和食盐水会发生倒吸，因此通入 NH_3 的导管口应在广口瓶瓶口处，而将通入 CO_2 气体的导气管通入饱和食盐水中，A 不符合题意；

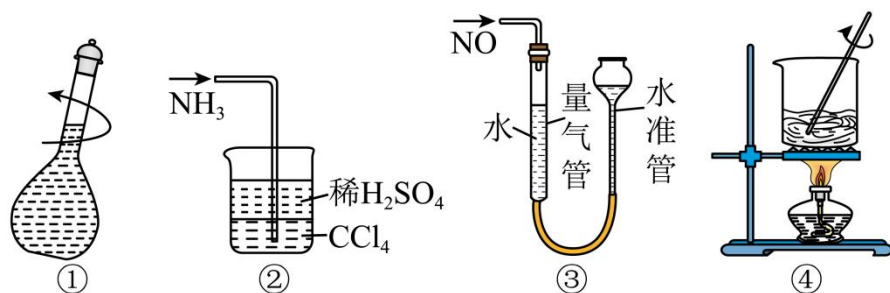
B. AlCl_3 溶液在空气中直接加热会促进 AlCl_3 水解而生成氢氧化铝，氢氧化铝再受热分解可能生成 Al_2O_3 ，不能制备 AlCl_3 固体，B 不符合题意；

C. 向高锰酸钾固体中滴加浓盐酸反应生成氯气，将氯气通入到淀粉-KI 溶液中，若溶液变蓝，则可说明氯气将 I^- 氧化为 I_2 ，能比较 Cl_2 和 I_2 的氧化性强弱，C 符合题意；

D. 该装置为原电池， Zn 比 Fe 活泼， Zn 作负极，被氧化为 Zn^{2+} ，不断被腐蚀，而作为正极的铁被保护，属于牺牲阳极的阴极保护法，但本实验中未生成 Fe^{3+} ，滴加 KSCN 溶液不能验证牺牲阳极法保护铁，D 不符合题意；

故选 C。

7. (2025 威海三模, 6) 下列图示实验中，操作规范且能达到相应实验目的的是



- A. 图①：定容后，食指摁住瓶塞，其余手指把持瓶颈，按图示振荡摇匀
- B. 图②：将导气管末端插入 CCl_4 层，收集 NH_3 ，防止污染空气
- C. 图③：当液面如图所示不再发生改变，读数，测量 NO 的体积
- D. 图④：为了使反应更充分，边加热边搅拌，制备 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体

【答案】B

【解析】

【详解】A. 定容后振荡摇匀，应上下颠倒容量瓶，而不是按图中方式振荡，该操作不规范，A 错误；

B. NH_3 不溶于 CCl_4 ，将导气管末端插入 CCl_4 层， NH_3 从 CCl_4 层逸出，被上层稀硫酸吸收，可防止 NH_3 污染空气，能达到实验目的，B 正确；

C. NO 不溶于水，但图中量气管中与水准管液面不齐平，会导致测量体积不准确，C 错误；

D. 制备 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体，应向沸水中逐滴加入饱和 FeCl_3 溶液，继续煮沸至溶液呈红褐色，停止加热，不能搅拌，搅拌会使胶体聚沉，该操作不能达到目的，D 错误；

故选 B。

8. (2025 日照三模，6) 下列实验装置及操作，规范且能达到相应实验目的的是

NaOH 标准溶液 聚四氟乙烯活塞 20.00 mL 醋酸溶液 1~2 滴酚酞	木棍 线 饱和明矾溶液 晶体
A. 测定醋酸的浓度	B. 快速冷却溶液制备明矾大晶体
8 mL 95% 乙醇 4 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 溶液	

C. 制备 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶体	D. 萃取振荡时放气
---	------------

【答案】A

【解析】

【详解】A. 测定醋酸浓度需用 NaOH 标准溶液滴定，NaOH 为强碱，应使用碱式滴定管或配有聚四氟乙烯活塞的通用滴定管（耐酸碱），图示滴定管有聚四氟乙烯活塞，可装 NaOH；锥形瓶中盛有 20.00 mL 醋酸溶液（需用移液管准确量取）和酚酞指示剂，通过酸碱中和滴定可计算醋酸浓度，操作规范且能达到目的，A 正确；

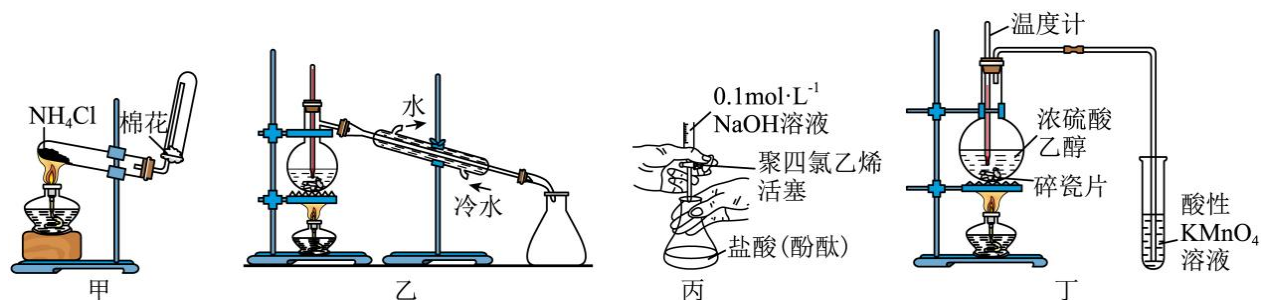
B. 制备明矾大晶体需缓慢冷却使晶体缓慢生长，快速冷却会导致析出细小晶体或粉末，无法得到大晶体，无法达到目的，B 错误；

C. 制备 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶体应向 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 溶液中加入乙醇降低溶解度，但图示中 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液浓度过低（4 mL 溶液中溶质仅 0.0004mol），加入乙醇难以析出晶体，无法达到目的，C 错误；

D. 萃取振荡时放气的操作，是将分液漏斗倒置，然后打开活塞放气，图中放气操作不规范，D 错误；

故选 A。

9. （2025 烟台三模，6）下列实验装置及操作均正确且能达到相应目的的是



A. 用甲装置制备并收集氨气

B. 用乙装置分离苯和溴苯

C. 用丙装置测定盐酸浓度

D. 用丁装置验证乙醇与浓硫酸共热生成乙烯

【答案】C

【解析】

【详解】A. 甲装置用 NH_4Cl 固体加热制备氨气， NH_4Cl 分解生成的 NH_3 和 HCl 会在试管口重新化合为 NH_4Cl ，无法制得氨气，且制备氨气应使用 NH_4Cl 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 混合加热，A 错误；

B. 苯和溴苯互溶，需通过蒸馏分离，但蒸馏装置需温度计测定馏分温度（水银球位于蒸馏烧瓶支管口处），无法完成分离，B 错误；

C. 丙装置为酸碱中和滴定，用 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH 溶液滴定盐酸，酚酞作指示剂（终点由无色变为浅红色），聚四氟乙烯活塞滴定管可盛放 NaOH 溶液，装置及操作均正确，能测定盐酸浓度，C 正确；

D. 乙醇与浓硫酸共热生成乙烯时，会伴随 SO_2 等还原性杂质生成，同时乙醇也就有挥发性，乙醇、 SO_2 均能使酸性 KMnO_4 溶液褪色，丁装置未除杂，无法验证乙烯生成，D 错误；

故选 C。

三、实验表格题

1. (2025 威海三模，9) 下列实验根据现象能得出相应结论的是

选项	实验	现象	结论
A	向 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CuSO_4 溶液中加入少量 NaCl 固体	溶液由蓝色变为黄绿色	Cl^- 和 H_2O 在配合物中存在相互竞争
B	向苯酚浊液中加入足量 Na_2CO_3 溶液	溶液变澄清	$K_a(\text{苯酚}) > K_{a1}(\text{H}_2\text{CO}_3)$
C	向盛有饱和 Na_2CO_3 溶液的试管中加入 BaSO_4 固体，一段时间后，过滤、洗涤沉淀，将洗净后的白色固体加入盐酸中	白色固体加入盐酸后，产生气泡，固体部分溶解	$K_{sp}(\text{BaCO}_3) < K_{sp}(\text{BaSO}_4)$
D	常温下，将氨水和盐酸等体积混合后，滴加几滴甲基橙，振荡	溶液显黄色	$\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 为弱碱

【答案】A

【解析】

【详解】A. 向 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CuSO_4 溶液中加入少量 NaCl 固体，溶液由蓝色变为黄绿色， $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ 转化为 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ ，故 A 正确；

B. 向苯酚浊液中加入足量 Na_2CO_3 溶液生成苯酚钠和碳酸氢钠，溶液变澄清，说明酸性：苯酚 $> \text{HCO}_3^-$ ，得出结论是 $K_a(\text{苯酚}) > K_{a2}(\text{H}_2\text{CO}_3)$ ，故 B 错误；

C. 向盛有饱和 Na_2CO_3 溶液的试管中加入 BaSO_4 固体，一段时间后，过滤、洗涤沉淀，将洗净后的白色固体加入盐酸中，产生气泡，固体部分溶解，说明增大碳酸根离子的浓度有碳酸钡生成，

$Q_c(\text{BaCO}_3) = c(\text{Ba}^{2+})c(\text{CO}_3^{2-}) > K_{sp}(\text{BaCO}_3)$ ，不能说明 $K_{sp}(\text{BaCO}_3) < K_{sp}(\text{BaSO}_4)$ ，故 C 错误；

D. 常温下，将氨水和盐酸等体积混合后，滴加几滴甲基橙，振荡，溶液显黄色，由于没有明确盐酸和氨水的浓度，不能证明 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 为弱碱，故 D 错误；

选 A。

2. (2025 淄博三模, 11) (不定项) 根据实验操作与现象, 所得结论错误的是

	实验操作与现象	结论
A	向淀粉中加入适量稀硫酸并加热, 冷却后直接滴加少量碘水, 溶液不变蓝	淀粉已经完全水解
B	向 2 mL $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液中滴加 2 滴 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{AgNO}_3$ 溶液, 产生白色沉淀, 振荡后再滴加 4 滴 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KI}$ 溶液, 沉淀变为黄色	$K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$
C	向甲苯中滴加酸性 KMnO_4 溶液, 振荡, 紫红色褪去	苯环增强了甲基的活性, 使其被氧化
D	向 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 溶液中加入乙醇并用玻璃棒摩擦试管内壁, 出现深蓝色晶体	增大溶剂极性可以降低 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 的溶解度

【答案】D

【解析】

【详解】A. 向淀粉中加入适量稀硫酸并加热, 冷却后直接滴加少量碘水, 溶液不变蓝, 说明溶液中无淀粉存在, 可证明淀粉已完全水解, A 正确;

B. 向 2 mL $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液中滴加 2 滴 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{AgNO}_3$ 溶液, 产生白色沉淀, 根据数据可知 NaCl 溶液过量, AgNO_3 溶液全部反应生成 AgCl 沉淀, 此时再滴加 4 滴 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KI}$ 溶液, 沉淀变为黄色, 说明白色的 AgCl 沉淀转化为黄色 AgI 沉淀, $\text{AgCl}(\text{s}) + \text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgI}(\text{s}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$, 得到 $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$, B 正确;

C. 向甲苯中滴加酸性 KMnO_4 溶液, 振荡, 紫红色褪去, 反应生成苯甲酸, 苯环增强了甲基的活性, 使其被氧化, 故 C 正确;

D. 加入 95%乙醇是降低了溶剂的极性, 减小了 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 的溶解度而析出晶体, D 错误; 故选 D。

3. (2025 潍坊三模, 11) (不定项) 根据实验操作、现象, 所得结论正确的是

	操作、现象	结论
A	向试管中加入 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{X}$ 和 $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 溶液, 加热, 再滴加 AgNO_3 溶液, 有沉淀生成	卤代烃已水解

B	向 $1\text{mL} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KSCN}$ 溶液中滴加几滴 FeCl_3 溶液，溶液变红，再加入 $1\text{mL} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KF}$ 溶液，红色褪去	结合 Fe^{3+} 的能力： $\text{F}^{-} > \text{SCN}^{-}$
C	将石蜡油蒸气通过炽热的碎瓷片，分解得到的气体通入酸性 KMnO_4 溶液，溶液褪色	分解产物中含乙烯
D	将二氧化硫气体通入碘和淀粉的混合溶液中，溶液颜色褪去	还原性： $\text{SO}_2 > \text{I}^{-}$

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 氢氧化钠能与 AgNO_3 反应生成沉淀，所以有沉淀生成，不能证明卤代烃已水解，故 A 错误；

B. 向 $1\text{mL} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KSCN}$ 溶液中滴加几滴 FeCl_3 溶液，溶液变红，再加入 $1\text{mL} 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KF}$ 溶液，红色褪去， $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ 转化为 $\text{K}_3[\text{FeF}_6]$ ，则说明结合 Fe^{3+} 的能力： $\text{F}^{-} > \text{SCN}^{-}$ ，故 B 正确；

C. 将石蜡油蒸气通过炽热的碎瓷片，分解得到的气体通入酸性 KMnO_4 溶液，溶液褪色，说明分解得到的气体中含有不饱和键，但不一定含乙烯，故 C 错误；

D. 将二氧化硫气体通入碘和淀粉的混合溶液中，溶液颜色褪去，说明发生反应 $\text{SO}_2 + \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HI}$ ，则还原性： $\text{SO}_2 > \text{I}^{-}$ ，故 D 正确；

选 BD。

4. (2025 日照三模，11) (不定项) 由下列事实或现象能得出相应结论的是

选项	事实或现象	结论
A	向 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 溶液中先滴加稀硫酸，再滴加 KSCN 溶液，溶液变红色	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 溶液已变质
B	向蔗糖中滴加浓硫酸并搅拌，蔗糖变黑、体积膨胀、产生刺激性气味气体	浓硫酸体现脱水性和强氧化性
C	用 pH 计测定相同浓度的 Na_2CO_3 溶液和 NaClO 溶液的 pH，前者 pH 大	酸性： $\text{HClO} > \text{HCO}_3^{-}$
D	向等体积等浓度的 NaOH 溶液、氨水中分别加入等质量	碱性：

	AgCl 固体，前者固体不溶解、后者溶解	$\text{NaOH} > \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
--	----------------------	--

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 酸性溶液中，硝酸根离子具有强氧化性，能将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ，滴加 KSCN 溶液，溶液变红色，不能证明 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 已变质，A 不符合题意；

B. 浓硫酸使蔗糖脱水成碳，表现脱水性，碳与浓硫酸反应生成二氧化碳、二氧化硫等，表现强氧化性，B 符合题意；

C. 用 pH 计测定相同浓度的 Na_2CO_3 溶液和 NaClO 溶液的 pH，前者 pH 大，表明 CO_3^{2-} 的水解能力强于 ClO^- ，酸根离子的水解能力越强，对应酸的酸性越弱，则酸性： $\text{HClO} > \text{HCO}_3^-$ ，C 符合题意；

D. NaOH 与 AgCl 不能反应生成配合物，而氨水与 AgCl 能反应生成配合物，配合物的形成与碱性强弱无关，所以由实验操作和现象，不能证明碱性： $\text{NaOH} > \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，D 不符合题意；

故选 BC。

5. （2025 聊城三模，11）（不定项）下列实验中，对应的现象以及结论均正确的是

选项	实验操作	现象	结论
A	向 NaHCO_3 溶液中加入 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ 溶液	有白色沉淀生成	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 结合 H^+ 的能力比 CO_3^{2-} 强
B	马口铁(镀锡铁)出现刮痕后浸泡在饱和食盐水中，一段时间后，取少量溶液于试管中，再滴入几滴 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液	无明显现象	该过程未发生原电池反应
C	常温下，分别测得饱和 NaA 溶液和饱和 NaB 溶液的 pH	溶液的： pH $\text{NaA} > \text{NaB}$	酸性： $\text{HA} < \text{HB}$
D	向 2mL 0.1mol/L 的 NaCl 溶液中滴加 2 滴 0.1mol/L 的 AgNO_3 溶液，再滴加 4 滴 0.1mol/L 的 KI 溶液	先产生白色沉淀，后沉淀变为黄色	$K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 向 NaHCO_3 溶液中加入 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ 溶液，有白色沉淀生成，发生反应的离子方程式为：

$\text{HCO}_3^- + [\text{Al}(\text{OH})_4]^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ ，可看出是 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 结合 HCO_3^- 电离的 H^+ 生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀， HCO_3^- 转化为 CO_3^{2-} ，即 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 结合 H^+ 的能力比 CO_3^{2-} 强，A 正确；

B. 马口铁（镀锡铁）出现刮痕后浸泡在饱和食盐水中，形成原电池，铁作负极发生吸氧腐蚀，电极反应式为

$\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$ ，生成的 Fe^{2+} 能与 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液反应生成蓝色沉淀，而题中说无明显现象，说明此时溶液中无 Fe^{2+} ，但实际上又发生了原电池反应，则只能是反应很微弱生成的 Fe^{2+} 量少，或者被其他物质氧化等原因导致检测不到，B 错误；

C. 常温下，分别测得饱和 NaA 溶液和饱和 NaB 溶液的 pH，溶液的 $\text{pH} : \text{NaA} > \text{NaB}$ ，只能说明 A^- 的水解程度大于 B^- 的水解程度，但前提是两种盐溶液的浓度相同，题中未提及浓度是否相同，所以不能得出酸性： $\text{HA} < \text{HB}$ 的结论，C 错误；

D. 向 2mL 0.1mol/L 的 NaCl 溶液中滴加 2 滴 0.1mol/L 的 AgNO_3 溶液，NaCl 溶液过量， AgNO_3 溶液完全反应生成 AgCl 沉淀，先产生白色沉淀，此时再滴加 4 滴 0.1mol/L 的 KI 溶液，后沉淀变为黄色，说明 AgCl 沉淀转化为 AgI 沉淀，根据沉淀转化的原理，溶解度小的沉淀可以转化为溶解度更小的沉淀，则有

$K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$ ，D 正确；

故答案为：AD。

6. （2025 济宁三模，11）（不定项）由下列实验事实或现象能得出相应结论的是

	事实或现象	结论
A	常温下，向饱和 Na_2CO_3 溶液中加入少量 BaSO_4 粉末，过滤，向洗净的沉淀中加入稀盐酸，有气泡产生	$K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4) > K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)$
B'	常温下，向盛有 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 固体的试管中加入 pH 为 7 的氯化铵和氨水混合溶液，白色固体溶解	NH_4^+ 促进了 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀溶解平衡向溶解方向移动
C	用玻璃棒蘸取 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液点在淀粉碘化钾试纸的中部，试纸变蓝	Fe^{3+} 氧化性大于 I_2
D	在试管中加入 5mL 5% 的 CuSO_4 溶液，再加入 5 滴 5% 的 NaOH	蔗糖是非还原糖

	溶液，混匀后加入 0.5mL 蔗糖溶液，加热，未观察到砖红色沉淀	
--	----------------------------------	--

【答案】B

【解析】

【详解】A. 过滤，向洗净的沉淀中加入稀盐酸，有气泡产生说明产生了碳酸钡，由于 CO_3^{2-} 浓度大， BaSO_4 部分转化为 BaCO_3 ，但 $K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4) < K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)$ ，A 错误；

B. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 存在沉淀溶解平衡 $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$ ，加入氯化铵和氨水混合溶液， NH_4^+ 能与 OH^- 结合生成一水合氨，促进 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的沉淀溶解平衡向溶解方向移动，B 正确；

C. I_2 遇淀粉溶液变为蓝色，向淀粉碘化钾试纸上滴 0.1 mol/L $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液，淀粉 KI 试纸变蓝，说明溶液中有氧化性微粒将 I 氧化为 I_2 ，导致淀粉溶液变为蓝色，根据 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液电离和溶液显酸性，猜测可能是在酸性条件下 H^+ 、 NO_3^- 将 I 氧化为 I_2 ；也可能是 Fe^{3+} 氧化 I 氧化为 I_2 ，C 错误；

D. 向 5mL5% 的硫酸铜溶液滴加 5 滴 5% 的氢氧化钠溶液，因氢氧化钠溶液不足量，导致不能生成与醛基共热反应生成砖红色沉淀的氢氧化铜，所以没有砖红色沉淀生成不能确定蔗糖是否有还原性，D 错误；

故选 B。

7. （2025 德州三模，11）（不定项）下列实验操作及现象能达到实验目的的是

选项	实验目的	实验操作及现象
A	探究乙醇和水中 O－H 的极性强弱	向两支分别盛有无水乙醇和蒸馏水的烧杯中，各加入同样大小的金属钠(绿豆粒大小)，后者反应剧烈
B	探究 Na_2CO_3 溶液呈碱性的原因	对滴有酚酞的 Na_2CO_3 溶液进行加热，溶液颜色加深
C	证明非金属性：C>Si	将硝酸溶液和碳酸钙反应后的气体直接通入 Na_2SiO_3 溶液，产生白色沉淀
D	证明 $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$	往 AgCl 悬浊液中滴入几滴 KI，产生黄色沉淀

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 向两支分别盛有无水乙醇和蒸馏水的烧杯中，各加入同样大小的金属钠(绿豆粒大小)，后者反应剧烈，说明水中 O－H 键极性更大，更容易断裂和钠单质反应生成氢气，A 正确；

B. 对滴有酚酞的 Na_2CO_3 溶液进行加热，溶液颜色加深，说明溶液碱性增强，但是不能说明 Na_2CO_3 溶液呈碱性的原因是碳酸根离子水解导致，B 错误；

C. 硝酸具有挥发性，挥发的硝酸也会和硅酸钠生成硅酸沉淀，干扰实验进行，C 错误；

D. 往 AgCl 悬浊液中滴入几滴 KI ，产生黄色沉淀，说明氯化银沉淀转化为黄色碘化银沉淀，则

$K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$ ，D 正确；

故选 AD。

8. (2025 烟台三模，12) (不定项) 下列实验操作和现象能得出相应结论的是

	实验操作和现象	结论
A	在物质 X 柱面上滴一滴熔化的石蜡，用一根红热的铁针刺中凝固的石蜡，石蜡熔化呈椭圆形	说明物质 X 为非晶体
B	麦芽糖与稀 H_2SO_4 共热后加 NaOH 溶液调至碱性，再加入新制 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 并加热，产生砖红色沉淀	麦芽糖已发生水解
C	向饱和 NaCl 溶液中通入 NH_3 至饱和，再通入 CO_2 会析出 NaHCO_3 晶体	相同温度下，溶解度： $\text{NaHCO}_3 < \text{NH}_4\text{Cl}$
D	向酸性 KMnO_4 溶液中滴加 FeCl_2 溶液，观察到溶液紫红色褪去	氧化性： $\text{MnO}_4^- > \text{Fe}^{3+}$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 在物质 X 柱面上滴一滴熔化的石蜡，用一根红热的铁针刺中凝固的石蜡，石蜡熔化呈椭圆形，说明石蜡在不同方向熔化的快慢不同，这是由于 X 的导热性的各向异性决定的，说明物质 X 为晶体，A 错误；

B. 麦芽糖是还原性糖（含醛基），即使未水解，在“加 NaOH 调碱性，再加新制 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 加热”的条件下，自身也能与新制 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 反应生成砖红色沉淀。因此，该现象无法证明麦芽糖发生了水解，B 错误；

C. 向饱和 NaCl 溶液中先通 NH_3 （使溶液呈碱性，增大 CO_2 溶解度），再通 CO_2 ，析出 NaHCO_3 晶体。这是因为相同温度下， NaHCO_3 的溶解度小于 NH_4Cl ，满足“溶解度小的物质先析出”的规律，C 正确；

D. 酸性 KMnO_4 溶液具有强氧化性，不仅能氧化 Fe^{2+} ，还可能氧化 FeCl_2 中的 Cl^- （酸性条件下 MnO_4^- 能氧化 Cl^- ）。

因此，“溶液紫红色褪去”不能确定是 Fe^{2+} 被氧化，无法直接得出“氧化性： $\text{MnO}_4^- > \text{Fe}^{3+}$ ”，D 错误；

故选 C。

9. (2025 青岛三模，12) (不定项) 下列实验操作、现象正确且与结论相对应的是

选项	实验操作、现象	结论
A	向洁净试管中加入新制的银氨溶液，滴入几滴葡萄糖溶液，用酒精灯加热，试管壁上出现银镜	葡萄糖具有还原性
B	H_2S 溶液中通入 SO_2 ，产生淡黄色沉淀	SO_2 具有氧化性
C	向 Na_2CrO_4 溶液中加入足量稀硝酸，溶液由黄色变为橙色	氧化性： $\text{HNO}_3 > \text{Na}_2\text{CrO}_4$
D	还原铁粉与水蒸气反应生成的气体点燃有爆鸣声	产生的气体为 H_2

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 银镜反应需要水浴加热，不能用酒精灯直接加热，会造成实验失败，A 不符合题意；

B. H_2S 溶液中通入 SO_2 产生的淡黄色沉淀为 S，二者发生归中反应： $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 = 3\text{S} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ，二氧化硫中 S 元素的化合价降低(+4→0)，则二氧化硫为氧化剂，具有氧化性，B 符合题意；

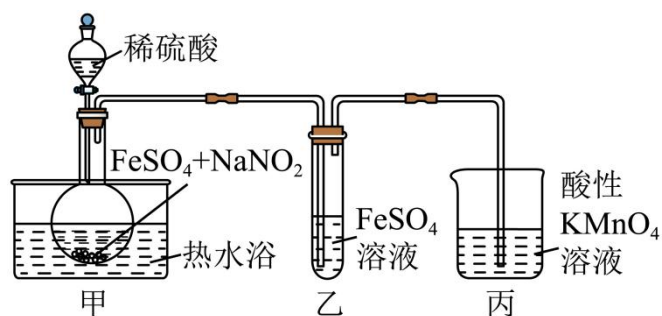
C. 向 Na_2CrO_4 溶液中加入足量稀硝酸，氢离子浓度增大，导致 $2\text{CrO}_4^{2-}(\text{黄}) + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{橙}) + \text{H}_2\text{O}$ 正向移动，故溶液由黄色变为橙色，不能证明氧化性： $\text{HNO}_3 > \text{Na}_2\text{CrO}_4$ ，C 不符合题意；

D. 高温下还原铁粉与水蒸气反应生成的气体为氢气： $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightarrow{\text{高温}} \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$ ，氢气具有可燃性，点燃有爆鸣声，D 符合题意；

故选 BD。

四、化学实验综合题

1. (2025 德州三模，8) 某小组设计实验探究 NaNO_2 的性质，装置如图所示(夹持装置省略)。



已知： $\text{Fe}^{2+} + \text{NO} = [\text{Fe}(\text{NO})]^{2+}$ (棕色环)。实验现象：装置乙中产生“棕色环”，装置丙中溶液紫色变浅。

下列叙述错误的是

A. 通入装置乙中的气体可能有 NO

- B. 用 $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液检验装置甲中 $FeSO_4$ 是否完全反应
- C. 可以用含酚酞的纯碱溶液替代装置丙中酸性 $KMnO_4$ 溶液
- D. 其他条件不变, 撤去水浴, 产生“棕色环”速率变慢

【答案】C

【解析】

【分析】装置乙中产生“棕色环”, 说明乙中发生反应 $Fe^{2+} + NO = [Fe(NO)]^{2+}$, 即甲中反应生成 NO ; 装置丙中酸性高锰酸钾溶液吸收 NO , 溶液紫色变浅。

【详解】A. 装置乙中产生“棕色环”, 说明乙中发生反应 $Fe^{2+} + NO = [Fe(NO)]^{2+}$, 即甲中反应生成 NO 通入装置乙中, A 正确;

B. $K_3[Fe(CN)_6]$ 与 Fe^{2+} 反应生成蓝色沉淀, 可用 $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液检验 Fe^{2+} 的存在, 即 $K_3[Fe(CN)_6]$ 检验装置甲中 Fe^{2+} 是否完全反应, B 正确;

C. 装置丙中酸性高锰酸钾溶液吸收 NO , 并检验 NO , 不能用纯碱溶液吸收 NO , C 错误;

D. 热水浴起加热作用, 撤去热水浴, 温度降低, 反应速率降低, 产生“棕色环”速率变慢, D 正确;

故答案为: C。

2. (2025 威海三模, 11) (不定项) 84 消毒液是一种常见的含氯消毒剂。为探究其性质, 进行如下两个实验。依据实验现象(不考虑 $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$), 推断下列说法错误的是

84消毒液(1:2)

↓ 逐滴加入

实验①



0.01mol·L⁻¹KI
溶液+淀粉

0.01mol·L⁻¹KI溶液

↓ 逐滴加入

实验②



84消毒液(1:2)
+淀粉

	实验现象
实验①	溶液由无色变为蓝色, 继续滴加, 蓝色消失
实验②	溶液中出现少许蓝色, 振荡立即消失; 继续滴加, 出现蓝色

A. 实验①中存在连续两步氧化还原反应

- B. 实验②中“出现少许蓝色”是因为： $2\text{I}^- + \text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{I}_2 + \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$
- C. 实验②中振荡蓝色立即消失，可能是 84 消毒液与淀粉之间发生了氧化还原反应
- D. 上述两个实验说明试剂的滴加顺序不同会影响反应的进程

【答案】C

【解析】

【详解】A. 实验①中溶液由无色变为蓝色说明有 I_2 生成，即次氯酸根离子将 I^- 氧化为 I_2 ，继续滴加，蓝色消失存在是因为 I_2 继续被次氯酸根氧化成 HIO_3 ，故连续两步氧化还原反应，A 正确；

B. 实验②中“出现少许蓝色”说明有 I_2 生成，故是因为： $2\text{I}^- + \text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{I}_2 + \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$ ，B 正确；

C. 实验②中振荡蓝色立即消失，是因为 I_2 被 ClO^- 继续氧化为 IO_3^- ，而不可能是 84 消毒液与淀粉之间发生了氧化还原反应，C 错误；

D. 由题干实验①②可知，按照不同顺序滴加试剂，将观察到不同的现象，故上述两个实验说明试剂的滴加顺序不同会影响反应的进程，D 正确；

故答案为：C。

3. （2025 淄博三模，13）（不定项）为探究肼的化学性质，进行如下实验。已知 AgOH 在水溶液中不稳定，易分解生成 Ag_2O （黑色）。下列说法错误的是

	实验操作与现象
实验甲	将肼与 AgNO_3 溶液混合后，充分振荡，得到黑色固体，有无色无味气体生成
实验乙	取少量黑色固体于试管中，加入足量氨水，振荡，黑色固体部分溶解
实验丙	另取少量黑色固体于试管中，加入足量稀 HNO_3 ，振荡，黑色固体全部溶解，有气泡产生

- A. 实验乙可证明 Ag(I) 与氨水形成可溶性配合物
- B. 实验丙中稀 HNO_3 可用稀硫酸代替
- C. 黑色固体的成分为 Ag_2O
- D. 综上实验可知肼有还原性和碱性

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 实验乙中黑色固体部分溶解，说明 Ag(I) 与氨水形成可溶性配合物，A 正确；

B. 实验丙中稀 HNO_3 起氧化作用，稀硫酸无强氧化性，不能代替，B 错误；

C. 实验丙中黑色固体与稀 HNO_3 反应有气泡，说明含 Ag ，黑色固体不止 Ag_2O ，C 错误；

D. 实验甲中肼还原 AgNO_3 ，有无色无味气体生成，体现还原性，与 AgNO_3 反应，得到黑色固体，体现碱性，D

正确；

故选 BC。

4. （2025 潍坊三模，14）（不定项）某学习小组为探究配合物的形成对物质性质的影响，设计了一系列实验。实验操作及现象如下表：

序号	实验操作	实验现象
①	将铜片浸泡在 2mL 氯化银悬浊液中	短时间内无明显现象，放置一天后，铜片表面明显变暗，烧杯中产生灰黑色固体
②	向 2mL 氯化银悬浊液中滴加 5% 的氨水至沉淀恰好溶解，再加入铜片	表面变黑；10 分钟后溶液呈现浅蓝色；2 小时后试管底部出现银白色雪花状晶体
③	向 2mL 氯化银悬浊液中滴加 5% 的氨水至沉淀恰好溶解后，再加入 1mL 氨水，向试管中加入铜片	铜片表面变黑，铜片上部溶液出现蓝色；10 分钟后溶液变为蓝色；2 小时后试管底部出现银白色粉末状固体，溶液蓝色较②深

下列说法错误的是

- A. 实验②中发生反应： $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$
- B. 实验①②说明溶液 pH 增大，使得 $\text{Ag}(\text{I})$ 的氧化性增强
- C. 实验③中溶液蓝色更深是因为加入氨水过量，形成了更多的 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
- D. 实验说明，配合物的生成能够影响物质的氧化性或还原性并改变化学反应速率

【答案】B

【解析】

【分析】由实验①可知，铜片能与氯化银悬浊液缓慢反应生成氯化铜和银；实验②中氯化银悬浊液与氨水反应生成银氨络离子加快了铜与银离子的置换反应的反应速率；实验③中加入的氨水过量，置换反应速率加快，说明银离子的氧化性增强，溶液蓝色更深是因为加入氨水过量，形成了更多的四氨合铜离子；实验结果说明，配合物的生成能够影响物质的氧化性或还原性并改变化学反应速率。

【详解】A. 由题意可知，实验②中沉淀恰好溶解发生的反应为氯化银与氨水反应生成络离子、氯离子和水，反应的离子方程式为： $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$ ，A 正确；

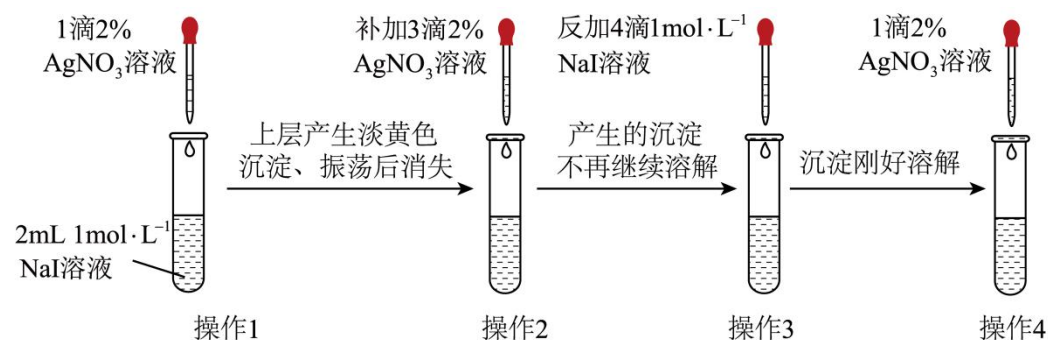
B. 由分析可知，实验①②说明氯化银悬浊液与氨水反应生成银氨络离子加快了铜与银离子的置换反应的反应速率，与溶液 pH 增大无关，B 错误；

C. 由分析可知，实验③中溶液蓝色更深是因为加入氨水过量，形成了更多的四氨合铜离子，C 正确；

D. 由分析可知，实验结果说明，配合物的生成能够影响物质的氧化性或还原性并改变化学反应速率，D 正确；

故选 B。

5. (2025 日照三模, 14) (不定项) 某同学探究银离子与碘离子的反应及 AgI 的性质, 实验操作及现象如图:



已知: ① $\text{AgI} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{I}^-$ $K_{\text{sp}} = 8.5 \times 10^{-17}$ ② $\text{Ag}^+ + 2\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{AgI}_2]^-$ $K = 5.5 \times 10^{11}$

③ $\text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ $K = 1.7 \times 10^7$

下列说法错误的是

- A. “操作 4” 的现象与 “操作 1” 相同
- B. 增大 I^- 的浓度可以促进 AgI 固体的溶解
- C. “操作 2” 发生的反应可能为 $[\text{AgI}_2]^- + \text{Ag}^+ = 2\text{AgI} \downarrow$
- D. AgI 可溶于浓氨水

【答案】D

【解析】

【分析】操作 1 是向过量的 NaI 溶液中加入少量 AgNO₃, 产生的淡黄色沉淀为 AgI, 振荡后沉淀消失是因为过量的 I⁻ 发生反应 $\text{Ag}^+ + 2\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{AgI}_2]^-$; 操作 2 补加 3 滴 AgNO₃, 发生反应: $\text{Ag}^+ + [\text{AgI}_2]^- \rightleftharpoons 2\text{AgI} \downarrow$; 操作 3 继续反加 4 滴 1 mol·L⁻¹ NaI 溶液, I⁻ 浓度增大, $\text{Ag}^+ + 2\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{AgI}_2]^-$ 平衡正移生成更多的 $[\text{AgI}_2]^-$, 沉淀不再溶解; 操作 4 加 1 滴 2% AgNO₃ 溶液, Ag⁺ 浓度增大, $[\text{AgI}_2]^- + \text{Ag}^+ \rightleftharpoons 2\text{AgI} \downarrow$ 平衡正移。

【详解】A. 根据分析可知, 操作 4 加 1 滴 2% AgNO₃ 溶液, Ag⁺ 浓度增大, $[\text{AgI}_2]^- + \text{Ag}^+ \rightleftharpoons 2\text{AgI} \downarrow$ 正移, 形成黄色沉淀, 与操作 1 现象相同, A 正确;

B. 由① $\text{AgI} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{I}^-$ $K_{\text{sp}} = 8.5 \times 10^{-17}$ ② $\text{Ag}^+ + 2\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{AgI}_2]^-$ $K = 5.5 \times 10^{11}$ 可得,

$\text{AgI} + \text{I}^- \rightleftharpoons [\text{AgI}_2]^-$ $K = 5.5 \times 10^{11} \times 8.5 \times 10^{-17} = 4.675 \times 10^{-5}$, 故增大 I⁻ 的浓度可以促进 AgI 固体的溶解, B 正确;

C. 根据分析操作 2 补加 3 滴 AgNO₃, 过量的 Ag⁺ 会与生成的 $[\text{AgI}_2]^-$ 发生选项中反应, C 正确;

D. 由①+③可得 $\text{AgI} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{I}^- + [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{H}_2\text{O}$,

$K = 1.7 \times 10^7 \times 8.5 \times 10^{-17} = 1.445 \times 10^{-9} < 10^{-5}$, 故反应正向进行的趋势极小, AgI 几乎不溶于浓氨水, D 错误;

故选 D。

6. （2025 青岛三模，14）（不定项）工业盐酸（约 $10\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ）含 Fe^{3+} 呈黄色，实验探究呈黄色的原因。下列说法错误的是

序号	实验操作及现象
实验 I	①②③ 号 试 管 中 分 别 加 入 $1\text{mL } 0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$ 、 $0.005\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液，①②③号试管溶 液显黄色，①号试管黄色略亮
实验 II	②③号试管中分别滴入 10 滴 $6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $12\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{HNO}_3$ 溶液，颜 色均由黄色褪为无色
实验 III	另取④⑤号试管，加入与①号试管相同溶液，①④⑤号试管中分别滴入 10 滴 $12\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐酸、 $6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 和蒸馏水，①号试管黄色变亮变浓，④号 试管褪为无色，⑤号试管黄色略变浅

已知反应一： $\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ （黄色） $+ \text{H}^+$ $K_1 = 10^{-6.31}$

反应二： $\text{Fe}^{3+} + 4\text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{FeCl}_4^-$ （黄色） $K_2 = 1$

- A. 实验 I 说明 $0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$ 溶液同时存在反应一和反应二
- B. 实验 II 说明 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液中存在反应一
- C. 上述实验说明稀 FeCl_3 溶液显黄色的原因主要是发生反应二
- D. 工业盐酸显黄色的原因是溶液中存在 FeCl_4^-

【答案】C

【解析】

【详解】A. 实验 I ②③号试管溶液显黄色其中不含氯离子说明发生反应一，①号试管与其他试管比较阴离子不同，含有氯离子而其黄色略亮说明发生反应二，故 A 正确；

B. 实验 II ②③号试管中分别滴入 10 滴 $6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $12\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{HNO}_3$ 溶液，颜色均由黄色褪为无色，氢离子浓度增大，反应一平衡逆向移动，说明 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液中存在反应一，故 B 正确；

C. 实验 III 另取④⑤号试管，加入与①号试管相同溶液，①④⑤号试管中分别滴入 10 滴 $12\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐酸、 $6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 和蒸馏水，①号试管黄色变亮变浓氯离子浓度增大，反应二正向移动，④号试管褪为无色氢离子

浓度增大，反应一逆向进行，⑤号试管黄色略变浅溶液浓度减少，变稀，所以通过④号试管可知稀 FeCl_3 溶液显黄色的原因主要是发生反应一，故 C 错误；

D. 工业盐酸含有大量氯离子，显黄色的原因是溶液中存在 FeCl_4^- ，故 D 正确；

故选：C。

7. （2025 济宁三模，14）（不定项）某兴趣小组探究不同条件下高锰酸钾和氯化钠溶液的反应，向盛有相同高锰酸钾溶液的试管中，滴加溶液 X，并将湿润的淀粉碘化钾试纸置于试管口检验气体。(实验过程中无 MnO_2 产生)

编号	溶液 X	现象
①	0.5mL1mol·L ⁻¹ NaCl 溶液	无明显变化
②	0.5mL1mol·L ⁻¹ NaCl 溶液+2 滴 H ₂ SO ₄	无明显变化
③	0.5mL1mol·L ⁻¹ NaCl 溶液+8 滴 H ₂ SO ₄	试纸变蓝
④	0.5mL1mol·L ⁻¹ NaCl 溶液 +3mL0.1mol·L ⁻¹ FeSO ₄ 溶液	溶液变浑浊，试纸无明显变化；沉淀可溶于稀硫酸，取少量溶解后的溶液滴加 KSCN，溶液变红。
⑤	0.5mL 饱和 NaCl 溶液 +3mL0.1mol·L ⁻¹ FeSO ₄ 溶液	溶液变浑浊，试纸变蓝；沉淀可溶于稀硫酸，取少量溶解后的溶液滴加 KSCN，溶液变红。

下列说法错误的是

- A. 中性条件下， KMnO_4 较难氧化 Cl^-
- B. 实验④中， KMnO_4 与 FeSO_4 反应后溶液 pH 升高
- C. 由④和⑤可知， Cl^- 的浓度越大高锰酸钾的氧化性越强
- D. 向完成实验②的试管中加入 NaCl 固体，试纸可能变蓝

【答案】C

【解析】

【详解】A. 实验①（中性）无明显变化，说明 KMnO_4 较难氧化 Cl^- ，故 A 正确；

B. 实验④中溶液变浑浊，试纸无明显变化；沉淀可溶于稀硫酸，取少量溶解后的溶液滴加 KSCN，溶液变红；说明在实验④中 KMnO_4 优先氧化 Fe^{2+} ， $\text{MnO}_4^- + 5\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 5\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$ ，消耗 H^+ ，pH 升高，故 B 正确；

C. 实验⑤中 Cl_2 生成是因为高 Cl^- 浓度促进了反应（竞争氧化），而不是高锰酸钾氧化性变强，故 C 错误；

D. 实验② ($\text{NaCl} + 2 \text{滴} \text{H}_2\text{SO}_4$) 酸性较弱, 无明显变化; 但若加入 NaCl 固体, 增大 Cl^- 浓度, 同时酸性条件下, 可能发生反应生成 Cl_2 (类似实验⑤), 试纸可能变蓝, 故 D 正确;

故答案选 C。

8. (2025 德州三模, 14) (不定项) 某小组同学欲探究 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 和 HCHO 的反应产物。将 $6.0 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液(过量)、 $0.5 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CuSO_4 溶液和 37%~40% 的 HCHO 溶液按一定比例混合加热。实验记录如下。已知:

$$\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+ = \text{Cu}^{2+} + \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$$

下列说法错误的是

实验	I	II
试剂用量	$n(\text{HCHO}) : n(\text{CuSO}_4) = 1$	$n(\text{HCHO}) : n(\text{CuSO}_4) = 21$
实验现象	砖红色固体生成, 有少量气体产生	紫红色固体生成, 有大量气体产生

- A. 向 I 中的砖红色固体中加入足量稀硫酸, 仍有固体存在, 说明砖红色固体中有 Cu
- B. 可用 X 射线衍射技术确认实验 I 中砖红色固体含有 Cu_2O
- C. 取少量反应后的溶液, 加入过量盐酸, 未产生使澄清石灰水变浑浊的气体, 可证明甲醛的氧化产物为 HCOONa
- D. 实验 II 中 Cu 产生的主要原因为 Cu_2O 沉淀继续被过量的 HCHO 还原所致

【答案】A

【解析】

【分析】利用 HCHO 的还原性, 控制其比例可以将 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 还原成不同价态的还原产物, 实验一的有砖红色固体生成, 则一定生成了砖红色的 Cu_2O , 反应方程式可能为 $\text{HCHO} + 2\text{Cu}^{2+} + 5\text{OH}^- \xrightarrow{\text{加热}} \text{HCOO}^- + \text{Cu}_2\text{O} \downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$, 则实验一中微过量的 HCHO 可能继续将部分 Cu_2O 还原成 Cu , 同时生成少量 H_2 , 实验二由于 HCHO 超过量, 将生成 Cu_2O 全部还原为 Cu , 并产生大量 H_2 。

【详解】A. 加入稀硫酸后存在的固体可能为 Cu_2O 遇酸分解生成的 Cu , 不能据此判断砖红色固体中一定有 Cu , 判断逻辑错误, A 错误;

B. 可以用 X 射线衍射技术确定实验 I 中砖红色固体的结构, 进而判断是否为 Cu_2O , B 正确;

C. HCHO 被氧化的产物可能为 HCOO^- 或 CO_3^{2-} , 若加入盐酸, 产生了使澄清石灰水变浑浊的气体, 说明生成了 CO_3^{2-} , 未观察到现象, 说明氧化产物为 HCOONa , C 正确;

D. 由分析知, D 正确;

故选 A。

9. (2025 烟台三模, 14) (不定项) 为探究银盐的沉淀溶解反应规律, 取等量少许 AgI 、 Ag_2S 分别加入甲、乙

两支试管，进行如下实验。下列说法错误的是

	实验操作及现象
实验一	向试管甲中加入 $2\text{mL } 3\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_3$ ，水浴加热， AgI 不溶解
实验二	向试管乙中加入 $2\text{mL } 3\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_3$ ，水浴加热， Ag_2S (黑色固体) 逐渐减少，有无色气泡产生，溶液中出现乳白色浑浊，试管口处气体略显红棕色，最终无黑色沉淀，产生另一颜色的沉淀
实验三	向试管甲的溶液中加入 KCl 固体，溶液立即变黄，产生无色气泡，沉淀颜色转变为白色

- A. 由实验一和实验三可知，实验一中 AgI 不溶于稀 HNO_3 的原因为 I^- 浓度太小
- B. 实验二中黑色固体的变化仅体现了稀 HNO_3 的强氧化性
- C. 实验二中新生成的另一颜色的沉淀可能为固体 S
- D. 实验三发生反应的离子方程式为 $6\text{AgI} + 6\text{Cl}^- + 2\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+ = 6\text{AgCl} + 3\text{I}_2 + 2\text{NO} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$

【答案】B

【解析】

【详解】A. 因为 AgI 的 $K_{sp}(\text{AgI})$ 非常小，导致溶液中的 I^- 浓度很低，不足以被 HNO_3 氧化；当实验三加入 KCl 后，氧化反应随即发生，证实 I^- 浓度是发生氧化的限制因素，A 正确；

B. Ag_2S (黑色) 加入稀 HNO_3 加热后逐渐溶解，有无色气泡 (可能为 NO)、乳白色浑浊 (可能为胶态单质硫)，试管口气体显红棕色 (NO 氧化为 NO_2)，最终黑色沉淀消失，生成另一颜色的沉淀 (可能为硫磺，呈黄色或乳白色)，在这一转化过程中，不仅体现了稀 HNO_3 的强氧化性 (氧化 S^{2-})，还体现了其酸性 (提供 H^+ 生成 H_2S)，B 错误；

C. 根据选项 B 的分析结果，实验二中新生成的另一颜色的沉淀可能为固体 S，C 正确；

D. 在向试管甲的溶液中加入 KCl 固体，溶液立即变黄，产生了 I_2 ，产生无色气泡，可能是硝酸的还原产物 NO ，沉淀颜色转变为白色，可能是 AgI 沉淀转化成 AgCl 沉淀，则反应的离子方程式为



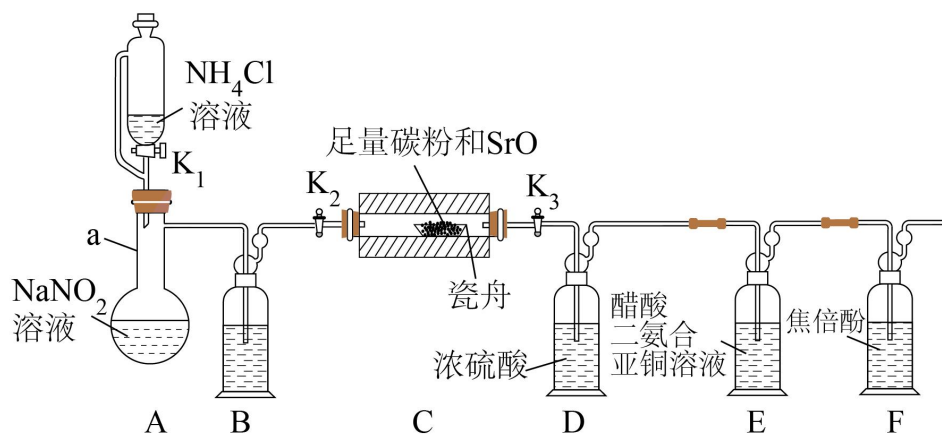
故答案为：B。

五、化学实验综合题 (非选择题)

1. (2025 淄博三模, 17) 氮化锶 (Sr_3N_2) 广泛用于光电材料领域。实验室先制取 Sr ，再根据反应 $3\text{Sr} + \text{N}_2 \xrightarrow{680^\circ\text{C}} \text{Sr}_3\text{N}_2$ ，

制备 Sr_3N_2 装置如下 (加热和夹持装置略)。已知 Sr_3N_2 易水解；醋酸二氨合亚铜溶液可吸收 CO ，但易被 O_2 氧化失去

吸收能力；焦倍酚可吸收 O_2 。



回答下列问题：

- (1) 仪器 a 的名称为_____，装置 B、D 共同起到的作用是_____。
- (2) 检查装置气密性并加入药品，打开 K_1 、 K_2 、 K_3 ，装置 A 内发生反应的化学方程式为_____。一段时间后，关闭 K_1 、 K_2 ，用管式炉加热瓷舟，证明 SrO 被完全还原的实验现象是_____。调整管式炉温度为 $680^\circ C$ ，打开 K_1 、 K_2 ，制备 Sr_3N_2 。图示装置存在一处缺陷，改进的方法是_____。
- (3) 测定 Sr_3N_2 样品纯度：称取 $mg Sr_3N_2$ 样品，滴加足量蒸馏水，将产生的气体全部蒸出，用 $200.00 mL 1.000 mol \cdot L^{-1}$ 的盐酸标准溶液完全吸收(忽略溶液体积变化)，量取 $20.00 mL$ 吸收液，用 $1.000 mol \cdot L^{-1} NaOH$ 标准溶液滴定过剩的盐酸，达滴定终点平均消耗 $NaOH$ 标准溶液 $V mL$ 。则滴定时选用的指示剂为_____，样品中 Sr_3N_2 的质量分数为_____。若读数时，滴定前平视，滴定后俯视，测定结果会_____ (填“偏大”“偏小”或“不变”)。

【答案】 (1) ①. 蒸馏烧瓶 ②. 干燥吸水，防止 Sr_3N_2 水解

(2) ①. $NH_4Cl + NaNO_2 = NaCl + N_2 \uparrow + 2H_2O$ ②. D 装置中无气泡逸出 ③. 装置 D 和 E 之间加一个盛有焦倍酚溶液的洗气瓶

(3) ①. 甲基橙 ②. $\frac{(200-10V) \times 10^{-3} \times 292}{2m} \times 100\%$ ③. 偏大

【解析】

【分析】实验室制取氮化锶的原理为： $3Sr + N_2 \xrightarrow{680^\circ C} Sr_3N_2$ ，先用装置 A 制取 N_2 排除装置中的空气，再用装置 C 制取 Sr 单质，装置 B 是干燥装置，装置 C 中发生反应制取氮化锶，装置 D 吸收水分，防止氮化锶水解，装置 E 醋酸二氨合亚铜溶液可吸收 CO ，但易被 O_2 氧化失去吸收能力；焦倍酚可吸收 O_2 ，据此解答。

【小问 1 详解】

仪器 a 带支管，名称是蒸馏烧瓶，已知 Sr_3N_2 易水解，装置 B、D 共同起到的作用是吸收水分，防止 Sr_3N_2 水解；

【小问 2 详解】

装置 A 制取氮气，发生反应的化学方程式为： $NH_4Cl + NaNO_2 = NaCl + N_2 \uparrow + 2H_2O$ ；

装置 C 中碳粉还原 SrO ，化学方程式为 $\text{C} + \text{SrO} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Sr} + \text{CO} \uparrow$ ，由于不清楚固体颜色，则需要从气体角度考虑，故证明 SrO 被完全还原的实验现象是 D 装置中无气泡逸出；

由已知条件可知，醋酸二氨合亚铜溶液可吸收 CO ，但易被 O_2 氧化失去吸收能力，焦倍酚可吸收 O_2 ，故需要在装置 D 和 E 之间加一个盛有焦倍酚溶液的洗气瓶，确保生成的 CO 可被醋酸二氨合亚铜溶液吸收；

【小问 3 详解】

Sr_3N_2 水解的方程式为： $\text{Sr}_3\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{Sr}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow$ ，用过量盐酸吸收生成的氨气，得到 HCl 、 NH_4Cl 混合溶液，用 NaOH 标准溶液滴定过剩的 HCl ，则滴定终点溶液呈酸性，选择甲基橙做指示剂；

$n(\text{NH}_3) = 0.02\text{L} \times 1\text{mol/L} - 0.1\text{V} \times 10^{-3}$ ，则

$$n(\text{Sr}_3\text{N}_2) = \frac{1}{2} \times (20 \times 10^{-3}\text{L} \times 1\text{mol/L} - 1 \times \text{V} \times 10^{-3}) \times \frac{200\text{ml}}{20\text{ml}} = \frac{(200 - 10\text{V}) \times 10^{-3}}{2} \text{mol}$$
，样品中 Sr_3N_2 的质量分

$$\text{数为} \frac{\frac{(200 - 10\text{V}) \times 10^{-3}}{2} \times 292}{m} \times 100\% = \frac{(200 - 10\text{V}) \times 10^{-3} \times 292}{2m} \times 100\% ;$$

若读数时，滴定前平视，滴定后俯视，标准液读数偏小，即 V 偏小，则测定结果偏大。

2. (2025 潍坊三模，17) 正丁醚 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) 是一种重要的有机溶剂，实验室利用如下装置合成正丁醚 (加热及夹持装置均略去)，实验步骤如下：

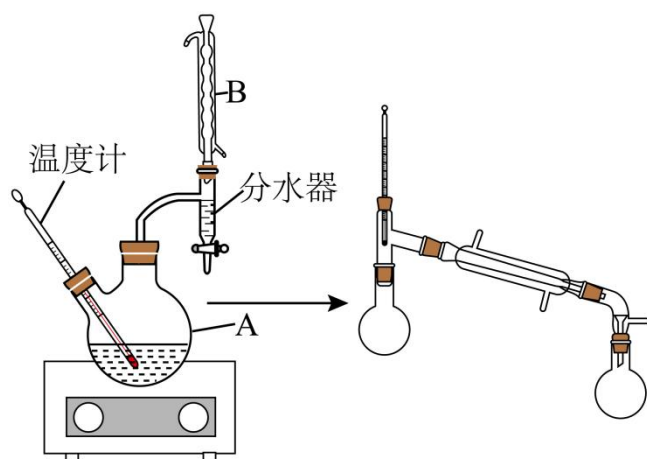


图1 回流反应装置

图2 蒸馏装置

I. 制备：向图 1 装置 A 中加入 7.4g 正丁醇和 1.1mL 浓 H_2SO_4 ，振摇混合均匀，并加入搅拌磁子。在分水器中加入一定体积的水，开始加热至反应结束。

II. 分离：待 A 中液体冷却后将其缓慢倒入盛有 25mL 水的分液漏斗中，振摇后静置，分液、洗涤、干燥，得粗产品。

III. 提纯：将上述处理过的粗产品用图 2 装置进行蒸馏，收集馏分，得纯净正丁醚。

已知各物质信息如下表：

名称	相对分子质量	熔点/℃	沸点/℃	水溶性	密度 (g· mL ⁻¹)
正丁醇	74	-89.53	117.25	溶	0.8098
正丁醚	130	-97.90	142.4	不溶	0.773
浓硫酸	98	10.36	338	互溶放热	1.8

回答下列问题：

- (1) 仪器 B 的名称为_____，搅拌磁子的作用除搅拌外，还有_____。
- (2) 反应装置中，使用分水器的目的是_____。判断反应结束的现象是_____。
- (3) 在分离步骤中，有机粗产物从分液漏斗_____（填“上口”或“下口”）放出（或倒出）。有机层粗产物依次用①20mL 水；②10mLNaOH 溶液；③20mL 水洗涤；用③20mL 水洗涤的目的是_____。
- (4) 蒸馏纯化时，应收集_____℃左右的馏分。在蒸馏装置中，因产物沸点高，不选用直形冷凝管而改为空气冷凝管，原因是_____。
- (5) 蒸馏时最终收集到产品 3.8g，正丁醚的产率为_____（精确到 1%）。(产率= $\frac{\text{生成物的实际产量}}{\text{生成物的理论产量}} \times 100\%$)

【答案】(1) ①. 球形冷凝管 ②. 防止暴沸

(2) ①. 及时分离出水，有利于反应向正反应方向移动 ②. 分水器中水层体积不再变化

(3) ①. 上口 ②. 除去 NaOH 和生成的盐

(4) ①. 142.4 ②. 正丁醚沸点高，内外温差大，直形冷凝管容易炸裂

(5) 58%

【解析】

【分析】实验室利用正丁醇合成正丁醚，方程式为： $2\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{OH} \xrightarrow{\text{浓硫酸}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ，加入 7.4 g 正丁醇和 1.1 mL 浓 H_2SO_4 ，振摇混合均匀，并加入搅拌磁子（还可防止局部过热或暴沸），反应结束后，将不溶于水的正丁醚缓慢倒入盛有 25 mL 水的分液漏斗中，将水与产品分离，最后进行蒸馏，收集馏分，得纯净正丁醚。

【小问 1 详解】

仪器 B 名称是球形冷凝管；搅拌磁子的作用是除使反应物充分混合之外，还可防止局部过热或暴沸。

【小问 2 详解】

分水器的目的是将反应中生成的水及时分出，使平衡不断向生成正丁醚的方向移动，从而提高产率。当分水器中水层体积不再增大，说明不再有水滴滴出，可知反应已经结束。

【小问 3 详解】

由于正丁醚密度小于水，因此它位于上层，所以有机粗产物应从“上口”倒出(或放出)。用 20mL 水洗涤的目的是除去前面加入的 NaOH 和生成盐等水溶性杂质。

【小问 4 详解】

正丁醚的沸点为 142.4°C ，所以蒸馏纯化时应收集约 142.4°C 左右的馏分。在蒸馏装置中，因产物沸点高，不选用直形冷凝管而改为空气冷凝管，原因是正丁醚沸点高，内外温差大，直形冷凝管容易炸裂。

【小问 5 详解】

该反应为： $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow{\text{浓硫酸}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ，2 mol 正丁醇生成 1 mol 正丁醚。本实验中 7.4 g 正丁醇为 0.1 mol，理论上可得正丁醚 0.05 mol，即 $0.05\text{mol} \times 130\text{g/mol} = 6.5\text{g}$ 。实际得到 3.8 g，则产率 $\frac{3.8\text{g}}{6.5\text{g}} \times 100\% \approx 58\%$ 。

3. (2025 威海三模，18) “氟硅酸钾滴定法”是目前常用的测定硅酸盐试样中 SiO_2 含量的方法。步骤如下：

I. 取 mg 硅酸盐试样于仪器 a 中，用 KOH 熔融，使其转化为 K_2SiO_3 。

II. 冷却，将 K_2SiO_3 转移到仪器 b 中，加入硝酸，再用少量盐酸及水冲洗仪器 a，搅拌下继续向 b 中加入 KCl 至饱和，加入 KF，搅拌、静置，生成微溶的氟硅酸钾(K_2SiF_6)。

III. 过滤，用洗涤液洗涤，然后将沉淀置于仪器 b 中，再加入上述洗涤液，滴入适量 NaOH 溶液中和游离酸。

IV. 将 III 中和后的溶液转移至适宜的锥形瓶中，继续加入沸水，使 K_2SiF_6 水解生成 HF，滴加酚酞作指示剂，用 $\text{c mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 标准溶液滴定生成的 HF，最终消耗 V mL 标准溶液。

回答下列问题：

(1) 步骤 I 中，将仪器 a 置于管式炉中(如图)加热，下列仪器中适合的是_____ (填标号，下同)，最适合于步骤 II 中作仪器 b 的是_____。



A. 镍坩埚 B. 镍蒸发皿 C. 塑料杯 D. 瓷坩埚 E. 烧杯

(2) 步骤 II 中，发生反应： $\text{SiO}_3^{2-} + 6\text{F}^- + 6\text{H}^+ \rightarrow \text{SiF}_6^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{SiF}_6^{2-} + 2\text{K}^+ \rightarrow \text{K}_2\text{SiF}_6 \downarrow$ 。加入 KCl 的作用是_____。

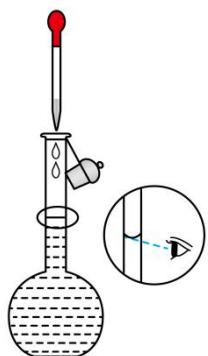
(3) 步骤 III 中，洗涤液最好选用_____ (填标号)。

A. 蒸馏水 B. 氯化钾溶液 C. 氯化钾-乙醇溶液

(4) 步骤 IV 中，加入沸水的目的是_____； K_2SiF_6 水解生成 HF 和 H_2SiO_3 的化学方程式为_____。

(5) 步骤 IV 中，滴定终点溶液颜色变化为_____；滴定接近终点时，使滴定管尖嘴处悬垂的半滴标准溶液加入到锥形瓶中的具体操作是_____。

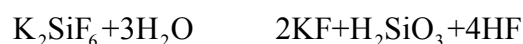
(6) 该硅酸盐试样中 SiO_2 的质量分数为_____ (用含 m 、 c 、 V 的代数式表示); 配制 NaOH 标准溶液时, 定容时观察如图所示, 将导致最终测得的 SiO_2 的质量分数_____ (填“偏高”或“偏低”)。



【答案】 (1) ①. A ②. C

(2) 降低 K_2SiF_6 的溶解度, 有利于析出或加入 KCl , $\text{SiF}_6^{2-} + 2\text{K}^+ \rightleftharpoons \text{K}_2\text{SiF}_6 \downarrow$ 平衡右移, 利于析出 K_2SiF_6

(3) C (4) ①. K_2SiF_6 水解反应为吸热反应, 使用沸水可促进 K_2SiF_6 水解释放出 HF ②.



(5) ①. 由无色变为浅红色 ②. 使半滴溶液悬于管口, 将锥形瓶内壁与管口接触, 使液滴流出

(6) ①. $\frac{1.5cV}{m}\%$ ②. 偏高

【解析】

【分析】该实验采用氟硅酸钾滴定法测定硅酸盐中 SiO_2 含量。首先用 KOH 熔融硅酸盐试样, 将其转化为 K_2SiO_3 ; 酸化并加入 KCl 、 KF , 生成微溶的 K_2SiF_6 沉淀; 过滤洗涤沉淀后, 中和沉淀中的游离酸; 最后将中和液转移至锥形瓶, 加沸水使 K_2SiF_6 水解产生 HF , 用 $c \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 标准溶液滴定 HF , 根据消耗碱液体积计算 SiO_2 含量。

【小问 1 详解】

在步骤 I 中, 需要用 KOH 熔融硅酸盐试样。瓷坩埚中含有 SiO_2 , 会与 KOH 发生反应, 不能选用瓷坩埚; 塑料杯不耐高温, 无法承受熔融时的高温条件; 镍蒸发皿主要用于蒸发操作, 不适合用于固体的高温熔融; 镍坩埚可以承受高温, 且不与发生反应, 所以仪器 a 要选镍坩埚; 步骤 II 中, 将 K_2SiO_3 酸化并加入 KCl 、 KF , 生成微溶的 K_2SiF_6 沉淀等操作, 会生成 HF , HF 会与玻璃中的 SiO_2 反应, 所以只能选塑料杯;

【小问 2 详解】

根据化学平衡移动原理, 对于 $\text{SiF}_6^{2-} + 2\text{K}^+ \rightleftharpoons \text{K}_2\text{SiF}_6 \downarrow$, 加入 KCl 会使溶液中 K^+ 浓度增大, 平衡会向正反应方向移动, 从而促进 K_2SiF_6 沉淀的生成, 使其沉淀更完全, 有利于后续的分离和测定;

【小问 3 详解】

氯化钾-乙醇溶液能降低 K_2SiF_6 的溶解度, 同时氯化钾-乙醇溶液中的乙醇还能较快地带走沉淀表面的水分, 减少沉

淀的溶解损失，用氯化钾-乙醇溶液作洗涤液最好；

【小问 4 详解】

K_2SiF_6 的水解反应是吸热反应，加入沸水，提高了反应体系的温度，温度升高，反应速率加快，同时对于吸热反应，升高温度平衡向正反应方向移动，可促进 K_2SiF_6 水解释放出 HF；根据质量守恒， K_2SiF_6 水解生成 H_2SiO_3 和 HF，同时还会生成 KF，配平后化学方程式为 $K_2SiF_6 + 3H_2O = 2KF + H_2SiO_3 + 4HF$ ；

【小问 5 详解】

- ①酚酞作指示剂，在酸性溶液中，酚酞呈无色；用 NaOH 标准溶液滴定，当达到滴定终点时，溶液呈碱性，酚酞在碱性溶液中变为浅红色，且半分钟内不褪色，以此判断滴定终点；
- ②滴定接近终点时，为了使滴定管尖嘴处悬垂的半滴标准溶液加入到锥形瓶中的操作是使半滴溶液悬于管口，将锥形瓶内壁与管口接触，使液滴流出；

【小问 6 详解】

①由 $K_2SiF_6 + 3H_2O = 2KF + H_2SiO_3 + 4HF$ 和 $HF + NaOH = NaF + H_2O$ 可知，又根据硅元素守恒，

$$n(SiO_2) = n(K_2SiF_6) = \frac{1}{4}n(HF) = \frac{1}{4}(NaOH), \quad n(NaOH) = cV \times 10^{-3} mol,$$

$$m(SiO_2) = \frac{1}{4}cV \times 10^{-3} \times 60 g \cdot mol^{-1} = 0.015cV, \quad \text{该硅酸盐试样中 } SiO_2 \text{ 的质量分数为}$$

$$\frac{0.015cV}{m} \times 100\% = \frac{1.5cV}{m}\%;$$

②配制标准 NaOH 溶液定容时仰视，溶液体积偏大，NaOH 浓度偏小。滴定时，消耗 NaOH 溶液体积偏大，根据上述计算式，会导致测得 SiO_2 质量分数偏高。

4. (2025 日照三模, 19) 钴配合物 $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ 是重要的化工原料，溶于热水，在冷水中微溶。可通过如下

反应制备： $2CoCl_2 \cdot 6H_2O + 10NH_3 + 2NH_4Cl + H_2O_2 \xrightarrow{\text{活性炭}} 2[Co(NH_3)_6]Cl_3 + 14H_2O$ 。已知： Co^{2+} 不易被

氧化， $[Co(NH_3)_6]^{2+}$ 具有较强的还原性。

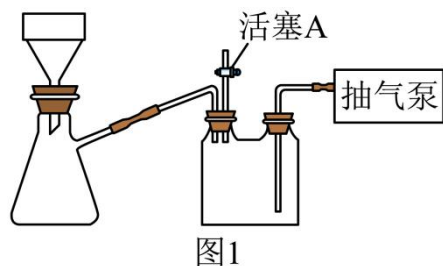
具体步骤如下：

- i. 取 $6.0g CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 和 $3.0g NH_4Cl$ 溶解后加入适量活性炭，控制温度在 $10^\circ C$ 以下，滴入 $20mL$ 浓氨水。
- ii. 边搅拌边逐滴加入 $20mL 6\%$ 的 H_2O_2 溶液，加热至 $55 \sim 60^\circ C$ 反应 $20min$ 。
- iii. 冷却后得到固体，抽滤。将滤得的固体转入含有少量盐酸的 $30mL$ 沸水中溶解，趁热过滤。
- iv. 向滤液中加入少量浓盐酸，冷却、过滤、干燥，得到晶体。

回答下列问题：

- (1) 步骤 i 中先加浓氨水的目的是_____。
- (2) 步骤 ii 中发生反应的离子方程式为_____。

(3) 步骤iii所用抽滤装置如图1所示,与普通过滤相比,抽滤的优点是_____;抽滤操作的正确顺序为:开抽气泵→_____→关抽气泵(填标号)。



a. 转移固液混合物 b. 关活塞 A c. 开活塞 A d. 确认抽干

(4) 步骤iv加入浓盐酸的目的是_____。

(5) 用如图2装置测定配体氨的含量(已省略加热和夹持装置)。

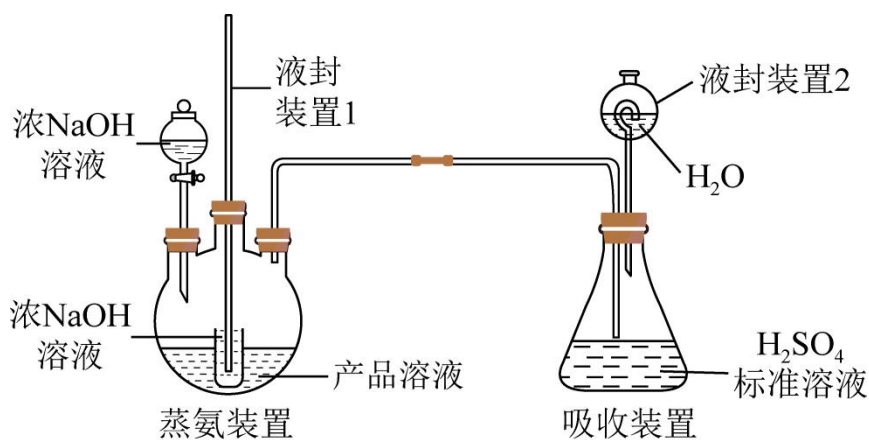


图2

①蒸氨: 取 ag 产品加入过量浓 NaOH 溶液, 加热三颈烧瓶, 蒸出的 NH_3 通入盛有 $V_1\text{mL } c_1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 标准溶液的锥形瓶中。液封装置1的作用是_____。

②滴定: 将液封装置2中的水倒入锥形瓶, 以甲基橙为指示剂, 用 NaOH 标准溶液滴定剩余的 H_2SO_4 , 消耗 $c_2\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaOH 标准溶液 $V_2\text{mL}$, NH_3 的质量分数为_____。

③误差分析: 下列操作会使测得的 NH_3 的质量分数偏大的是_____(填标号)。

- A. 未将液封装置2中的水倒入锥形瓶
- B. NaOH 标准溶液使用前敞口放置于空气中一段时间
- C. 读数时, 滴定前平视, 滴定后仰视读数
- D. 滴定前滴定管尖嘴无气泡, 滴定后滴定管尖嘴内有气泡

【答案】(1) 提供大量 NH_3 , 让 Co^{2+} 与 NH_3 充分结合形成 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, 为后续反应做准备

(2) $2[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 = 2[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + 2\text{OH}^-$

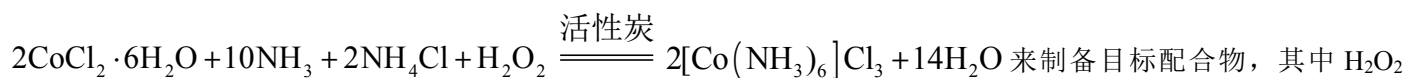
(3) ①. 过滤速度快, 得到的固体较干燥 ②. $a \rightarrow b \rightarrow d \rightarrow c$

(4) 增大 Cl^- 浓度, 使 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 的溶解平衡逆向移动, 促进晶体析出

(5) ①. 防止氨气逸出, 使产生的氨气全部被硫酸标准溶液吸收 ②. $\frac{17(2c_1V_1-c_2V_2)}{1000a} \times 100\%$ ③. D

【解析】

【分析】该实验是制备钴配合物 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 的过程, 反应原理为: 通过



作为氧化剂, 将 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 氧化为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ 。

步骤 i: 先加浓氨水, 是为了提供大量 NH_3 , 让 Co^{2+} 与 NH_3 充分结合形成 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, 为后续被氧化做准备, 同时控制温度在 10°C 以下, 可减少浓氨水的挥发。

步骤 ii: 边搅拌边逐滴加入 H_2O_2 溶液并加热, H_2O_2 氧化 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, 加热能加快反应速率, 逐滴加 H_2O_2 可使反应更充分。

步骤 iii: 冷却后抽滤得到固体, 抽滤相比普通过滤, 速度更快且得到的固体更干燥; 将抽滤得到的固体转入含少量盐酸的沸水中溶解, 是因为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 溶于热水, 加少量盐酸可抑制 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ 的水解, 趁热过滤可除去活性炭等不溶性杂质。

步骤 iv: 向滤液中加浓盐酸, 利用同离子效应, 增大 Cl^- 浓度, 促使 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 晶体析出, 之后冷却、过滤、干燥得到产品。

【小问 1 详解】

步骤 i 中先加浓氨水, 是为了提供大量 NH_3 , 让 Co^{2+} 与 NH_3 充分结合形成 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, 为后续反应做准备。

【小问 2 详解】

步骤 ii 中 H_2O_2 将 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 氧化为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, 反应的离子方程式为: $2[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 = 2[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + 2\text{OH}^-$ 。

【小问 3 详解】

与普通过滤相比, 抽滤的优点是过滤速度快, 得到的固体较干燥。抽滤操作的正确顺序为: 开抽气泵 $\rightarrow$ a (转移固液混合物) $\rightarrow$ b (关活塞 A) $\rightarrow$ d (确认抽干) $\rightarrow$ c (开活塞 A) $\rightarrow$ 关抽气泵。

【小问 4 详解】

步骤 iv 加入浓盐酸的目的是增大 Cl^- 浓度, 利用同离子效应, 使 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 的溶解平衡逆向移动, 促进晶体析出。

【小问 5 详解】

①液封装置 1 的作用是防止氨气逸出, 使产生的氨气全部被硫酸标准溶液吸收。

② H_2SO_4 与 NH_3 反应的化学方程式为 $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NH}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, H_2SO_4 与 NaOH 反应的化学方程式为 $\text{H}_2\text{SO}_4 +$

$2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ 。与 NH_3 反应的 H_2SO_4 的物质的量为 $(c_1V_1 \times 10^{-3} - \frac{1}{2}c_2V_2 \times 10^{-3})\text{mol}$ 。根据化学计量关系, NH_3

的物质的量为 $2\left(c_1V_1 \times 10^{-3} - \frac{1}{2}c_2V_2 \times 10^{-3}\right) \text{ mol} = (2c_1V_1 - c_2V_2) \times 10^{-3} \text{ mol}$ 。NH₃ 的质量为 $(2c_1V_1 - c_2V_2) \times 10^{-3} \times 17 \text{ g}$ ，

则 NH₃ 的质量分数为 $\frac{(2c_1V_1 - c_2V_2) \times 10^{-3} \times 17}{a} \times 100\% = \frac{17(2c_1V_1 - c_2V_2)}{1000a} \times 100\%$ 。

③A. 未将液封装置 2 中的水倒入锥形瓶，会导致部分 NH₃ 未被吸收，使得与 NH₃ 反应的 H₂SO₄ 量减少，滴定消耗的 NaOH 体积偏大，计算出的与 NH₃ 反应的 H₂SO₄ 量偏小，NH₃ 质量分数偏小，A 不符合题意；

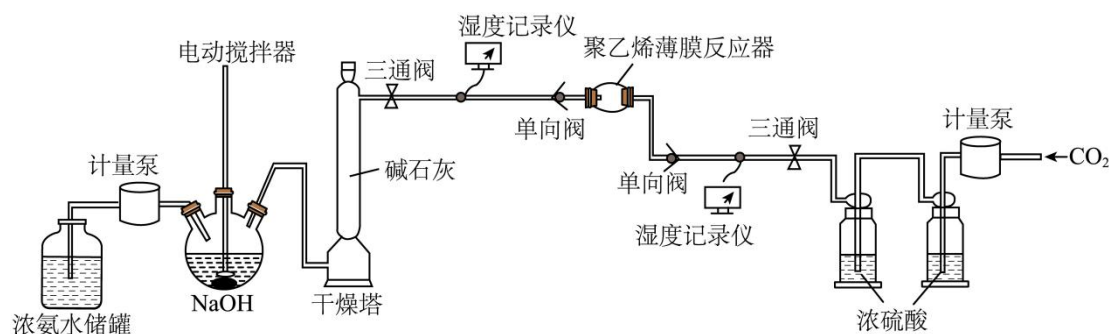
B. NaOH 标准溶液使用前敞口放置于空气中一段时间，NaOH 会吸收 CO₂，部分变质为 Na₂CO₃，滴定 H₂SO₄ 时，消耗的 NaOH 体积偏大，计算出的与 NH₃ 反应的 H₂SO₄ 量偏小，NH₃ 质量分数偏小，B 不符合题意；

C. 读数时，滴定前平视，滴定后仰视读数，会导致读取的 NaOH 体积偏大，计算出的与 NH₃ 反应的 H₂SO₄ 量偏小，NH₃ 质量分数偏小，C 不符合题意；

D. 滴定前滴定管尖端无气泡，滴定后滴定管尖端内有气泡，会导致读取的 NaOH 体积偏小，计算出的与 NH₃ 反应的 H₂SO₄ 量偏大，NH₃ 质量分数偏大，D 符合题意；

故选 D。

5. (2025 青岛三模, 19) 氨基甲酸铵 (H₂NCOONH₄) 是重要的化工原料，易分解，极易水解。实验室通过氨气和二氧化碳反应制备氨基甲酸铵的装置如图：



回答下列问题：

(1) “聚乙烯薄膜反应器”中发生反应的化学方程式为_____。

(2) “单向阀”的作用为_____。

(3) 若“湿度记录仪”检测到气体湿度过高，则应旋转三通阀，将气体排出系统管路，并_____。

(4) 测定氨基甲酸铵的物质的量分数

步骤 I：称取产品 1.845 g [仅含杂质 (NH₄)₂CO₃]，用蒸馏水溶解，定容于 100 mL 容量瓶中。

步骤 II：移取 20.00 mL 溶液于锥形瓶中，加入足量 BaCl₂ 溶液，除去沉淀。

步骤 III：继续向锥形瓶中加入足量甲醛溶液，再用移液管加入 20.00 mL 1.000 mol·L⁻¹ NaOH 溶液。

步骤 IV：滴加 1~2 滴酚酞，用 1.000 mol·L⁻¹ 盐酸标准溶液滴定，实验三次，平均消耗标准液 11.00 mL。

已知：4NH₄⁺ + 6HCHO = [(CH₂)₆N₄H]⁺ + 3H⁺ + 6H₂O；[(CH₂)₆N₄H]⁺ + OH⁻ = (CH₂)₆N₄ + H₂O

①氨基甲酸铵水解的化学方程式为_____。

②产品中氨基甲酸铵的物质的量分数为_____。

③下列实验操作可能导致测定结果偏低的是_____（填标号）。

A.滴定时未用盐酸标准溶液润洗滴定管

B.读数时，滴定前平视，滴定后仰视

C.滴定时振荡锥形瓶，部分液体溅出

【答案】（1） $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 = \text{NH}_2\text{COONH}_4$

（2）控制管路内气流单一方向流动，避免可能发生的倒吸和因两种气体互窜至对方管路内生成固体而堵塞管路

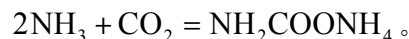
（3）更换干燥剂 （4） ①. $\text{H}_2\text{NCOONH}_4 + \text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ②. $\frac{7}{9}$ ③. AB

【解析】

【分析】该实验为实验室通过氨气和二氧化碳反应制备氨基甲酸铵，浓氨水通过计量泵进入装有 NaOH 的三颈烧瓶，搅拌，产生氨气，经干燥塔干燥后进入“聚乙烯薄膜反应器”中，与右侧经浓硫酸干燥的 CO_2 反应，生成 $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ 。

【小问 1 详解】

“聚乙烯薄膜反应器”中，干燥的 NH_3 与干燥的 CO_2 反应，生成 $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ ，化学方程式为



【小问 2 详解】

“单向阀”的作用为：控制管路内气流单一方向流动，避免可能发生的倒吸和因两种气体互窜至对方管路内生成固体而堵塞管路。

【小问 3 详解】

$\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ 极易水解，则 NH_3 、 CO_2 必须干燥，若“湿度记录仪”检测到气体湿度过高，说明干燥剂失效，需要将气体排出系统管路，并更换干燥剂。

【小问 4 详解】

① $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ 水解原理是发生酰胺基断裂生成 NH_3 、 $-\text{COOH}$ ， NH_3 与 $-\text{COOH}$ 反应生成 $-\text{COONH}_4$ ，故

$\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ 水解方程式为 $\text{H}_2\text{NCOONH}_4 + \text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ；

② $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ 水解生成 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ，除去 CO_3^{2-} 后， NH_4^+ 与足量甲醛溶液反应，加入过量 NaOH，发生反应：

$[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}]^+ + \text{OH}^- = (\text{CH}_2)_6\text{N}_4 + \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ ，剩余的 OH^- 用盐酸标准溶液滴定，根据关系式 $4\text{NH}_4^+ \sim \left\{ [(\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}]^+ 3\text{H}^+ \right\} \sim 4\text{OH}^-$ 可计算 100 mL 溶液中含有的 NH_4^+ 的物质的量为

$$\left(20.00 \times 10^{-3} \text{ L} \times 1.000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - 11.00 \times 10^{-3} \text{ L} \times 1.000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\right) \times \frac{100 \text{ mL}}{20.00 \text{ mL}} = 4.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

含有 $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ 的物质的量为 $a \text{ mol}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 的物质的量为 $b \text{ mol}$ ，结合

$$\text{H}_2\text{NCOONH}_4 + \text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \text{ 可知, } \begin{cases} 2a + 2b = 4.5 \times 10^{-2} \\ 78a + 96b = 1.845 \end{cases} \text{ 解得 } \begin{cases} a = 0.0175 \\ b = 0.005 \end{cases}$$

$$\text{产品中氨基甲酸铵的物质的量分数} = \frac{0.0175 \text{ mol}}{0.0175 \text{ mol} + 0.005 \text{ mol}} = \frac{7}{9};$$

③A. 滴定时未用盐酸标准溶液润洗滴定管，则盐酸标准溶液浓度偏低，消耗盐酸标准溶液体积偏大， NH_4^+ 物质的量偏小， $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ 物质的量分数偏低，A 正确；

B. 读数时，滴定前平视，滴定后仰视，滴定结束读数偏大，即消耗盐酸标准溶液体积偏大， NH_4^+ 物质的量偏小， $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ 物质的量分数偏低，B 正确；

C. 滴定时振荡锥形瓶，部分液体溅出，导致剩余的 NaOH 偏少，滴定消耗盐酸标准溶液体积偏小， NH_4^+ 物质的量偏大， $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$ 物质的量分数偏高，C 错误；

故选 AB。

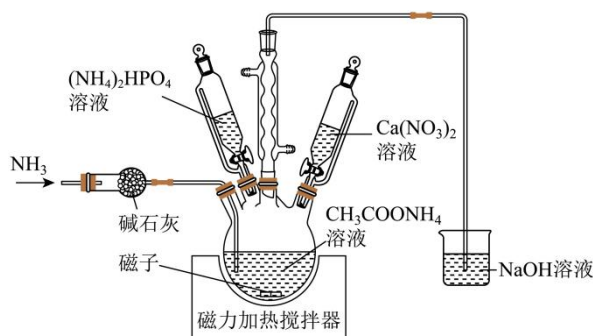
6. (2025 聊城三模, 19) 羟基磷灰石的化学式为 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ，是构成人体骨骼和牙齿的主要成分。某化学兴趣小组设计实验制备高纯度的羟基磷灰石并测定产品中钙和磷的含量。

I. 制备高纯度 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$

步骤 1: 用煮沸的蒸馏水配制 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 溶液、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 溶液和 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液，并用 NH_3 调节各溶液的 pH 均为 8.5 ~ 9.0。

步骤 2: 按如图装置连接仪器，检查气密性并添加实验药品，通入一段时间 N_2 。

步骤 3: 向四颈瓶中同时缓慢滴加图示两种溶液，并通入 NH_3 ，煮沸 2h，静置，过滤，洗涤，干燥，得到产品。



(1) 步骤 3 中通入的 NH_3 需控制一定的流速，若在实验室中制备 NH_3 ，下列仪器必须用到的是_____。

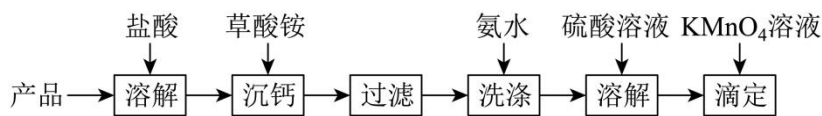
- A. 导管 B. 酒精灯 C. 分液漏斗(或恒压滴液漏斗) D. 大试管

(2) 步骤 3 中生成 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 的离子方程式为_____。

(3) 实验中必须使用煮沸的蒸馏水, 长导管必须插入 NaOH 溶液, 均是为了防止空气中_____ (填化学式) 的干扰, 实验中 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液的作用是_____。

II. 测定产品中钙和磷的含量

(4) 测定钙含量, 方法如下图所示。



如果不用氨水洗涤, 可能会导致测得样品中钙含量偏高, 原因是_____; 滴定至终点时, 溶液颜色变化为_____。

(5) 测定磷含量。称取 $m\text{g}$ 样品, 经一系列操作将其转化为 $(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_3 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$ 沉淀; 用 $c_1\text{mol/L}$ 、 $V_1\text{mL}$ NaOH 标准液溶解沉淀, 加入混合指示剂; 用 $c_2\text{mol/L}$ HCl 标准液(稍过量)滴定过量碱, 消耗体积为 $V_2\text{mL}$; 再用 $c_1\text{mol/L}$ NaOH 标准液滴定过量酸, 消耗体积为 $V_3\text{mL}$ 。涉及反应如下:

$(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_3 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3 + 26\text{NaOH} = 3\text{C}_9\text{H}_7\text{N} + \text{Na}_2\text{HPO}_4 + 12\text{Na}_2\text{MoO}_4 + 14\text{H}_2\text{O}$ 。据此计算样品中磷元素的质量分数为_____ (用含字母的代数式表示)。

【答案】 (1) AC (2) $5\text{Ca}^{2+} + 3\text{HPO}_4^{2-} + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \triangleq \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} \downarrow + 4\text{NH}_4^+$ 或 $5\text{Ca}^{2+} + 3\text{HPO}_4^{2-} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 3\text{NH}_3 \triangleq \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} \downarrow + 4\text{NH}_4^+$

(3) ①. CO_2 ②. 保持体系 pH 的稳定

(4) ①. 草酸钙固体表面可能会存在残留的 Cl^- , 若不用氨水洗涤, KMnO_4 溶液滴定时, Cl^- 也会被滴定, 导致消耗标准液体积偏大 ②. 由无色变为粉红色 (浅红, 浅紫色)

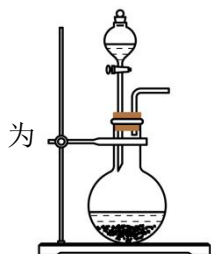
$$(5) \frac{(c_1V_1 + c_1V_3 - c_2V_2) \times 10^{-3} \times \frac{1}{26} \times 31}{m} \times 100\%$$

【解析】

【分析】本实验是制备高纯度 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, 反应原理是 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 溶液、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 溶液和 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液, 用 NH_3 调节各溶液的 pH 均为 8.5~9.0 范围内发生反应: $5\text{Ca}^{2+} + 3\text{HPO}_4^{2-} + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \triangleq \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} \downarrow + 4\text{NH}_4^+$, 从而制取高纯度 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 。

【小问 1 详解】

步骤 3 中通入的 NH_3 需控制一定的流速, 选用浓氨水和生石灰制备 NH_3 能更好地控制速率, 可以选用的发生装置



为，因此需要用到的仪器是分液漏斗（或恒压滴液漏斗）和导管，故选 AC；

【小问 2 详解】

由分析可知，生成 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 的离子方程式为 $5\text{Ca}^{2+} + 3\text{HPO}_4^{2-} + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \triangleq \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} \downarrow + 4\text{NH}_4^+$
或 $5\text{Ca}^{2+} + 3\text{HPO}_4^{2-} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 3\text{NH}_3 \triangleq \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} \downarrow + 4\text{NH}_4^+$ ；

【小问 3 详解】

由题干信息可知，该反应需要将 pH 调节到碱性环境，故实验中必须使用煮沸的蒸馏水，长导管必须插入 NaOH 溶液，均是为了防止空气中 CO_2 的干扰； $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液中存在 CH_3COO^- 、 NH_4^+ ，当 pH 减小时， CH_3COO^- 可消耗 H^+ ，pH 增大时， NH_4^+ 可消耗 OH^- ，因此使用 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液有利于保持体系 pH 的稳定；

【小问 4 详解】

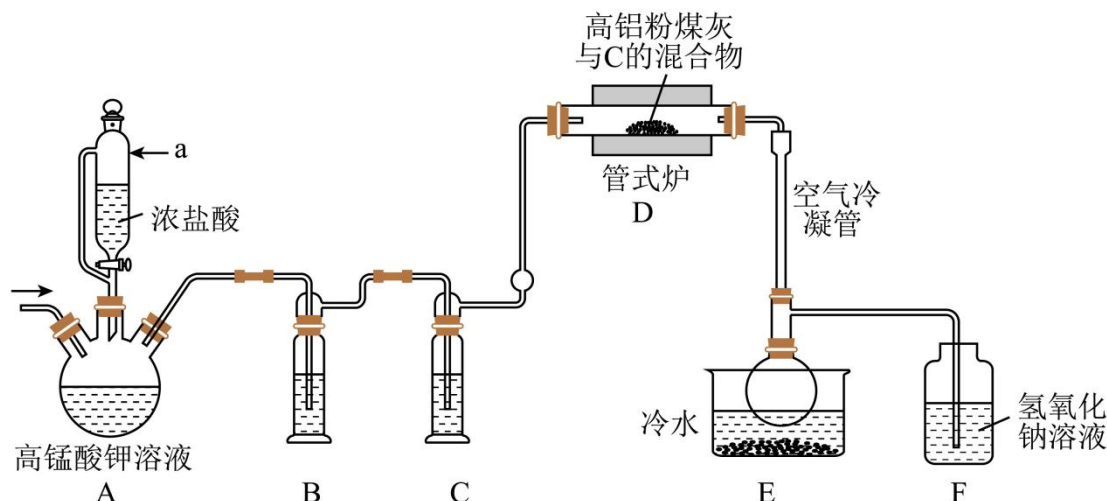
过滤后得到的固体是草酸钙，草酸钙固体表面可能会存在残留的 Cl^- ，若不用氨水洗涤， KMnO_4 溶液滴定时， Cl^- 也会被滴定，导致消耗标准液体积偏大，则钙含量偏高；草酸钙固体加稀硫酸溶解后，用 KMnO_4 溶液滴定草酸，到达滴定终点时，草酸被消耗完， KMnO_4 呈紫色，故颜色变化为：由无色变为粉红色（浅红，浅紫色）；

【小问 5 详解】

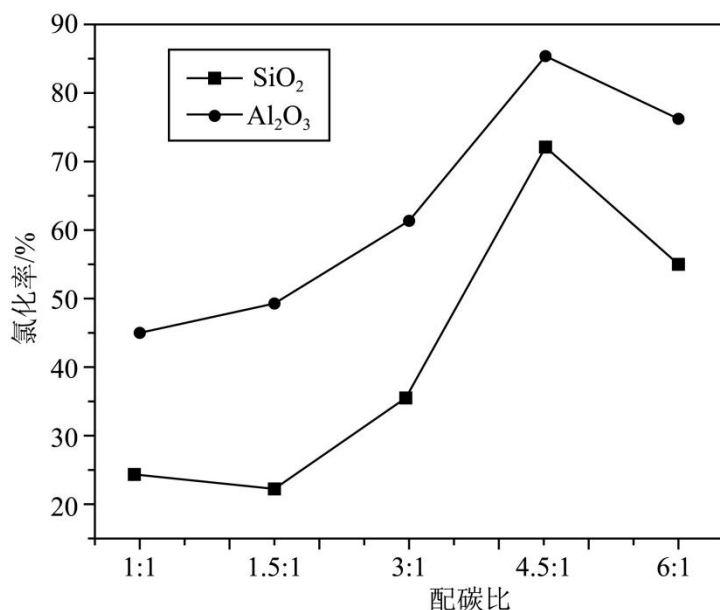
由实验原理可知，两次共计消耗 NaOH 物质的量为 $c_1(V_1 + V_3) \times 10^{-3} \text{ mol}$ ，消耗盐酸物质的量为 $c_2V_2 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ，则与 $(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_3 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$ 沉淀反应的 NaOH 物质的量为 $(c_1V_1 + c_1V_3 - c_2V_2) \times 10^{-3} \text{ mol}$ ，由反应比例关系可知，

$(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_3 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3 \sim 26\text{NaOH}$ ，则磷元素的质量分数为 $\frac{(c_1V_1 + c_1V_3 - c_2V_2) \times 10^{-3} \times \frac{1}{26} \times 31}{m} \times 100\%$ 。

7. （2025 济宁三模，18）高铝粉煤灰氯化制备氯化铝和氯化硅的实验装置，如下图所示。



已知：高铝粉煤灰中的主要物质是氧化铝和二氧化硅；管式炉中碳转化为 CO_2 ； Al^{3+} 与 Zn^{2+} 均可与 EDTA 形成1:1型配合物； AlCl_3 易潮解。



(1) 装置 a 的名称为_____，洗气瓶 B 中试剂为_____，反应前通入 N_2 的目的是_____，实验装置中的缺陷是_____。

(2) 管式炉中生成 AlCl_3 的化学方程式为_____。不同氧化物氯化率随配碳比(碳与氧化物的物质的量之比)的变化关系如图所示，合适的配碳比为_____，高于此配碳比时氯化率变化的可能原因_____。

(3) 实验结束后，分离出 $m\text{g}$ 氯化铝粗品，置于 250mL 锥形瓶，加 25mL 蒸馏水溶解；加入过量的 50.00mL $0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EDTA 溶液，煮沸 1min，冷却至室温，加入二甲酚橙作指示剂，用 $0.02\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化锌标准溶液滴定剩余的 EDTA，消耗 10.00mL，样品中氯化铝的纯度_____%。若用于量取 EDTA 溶液的滴定管未润洗，则测定结果_____ (填“偏大”、“偏小”或“无影响”)。

【答案】(1) ①. 恒压滴液漏斗 ②. 饱和食盐水或饱和氯化钠溶液 ③. 排出空气 ④. 装置 E、F 之间缺少干燥(除水)装置或 DE 之间导管易堵塞

(2) ①. $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} + 6\text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{加热}} 4\text{AlCl}_3 + 3\text{CO}_2$ ②. 4.5:1 ③. 过量的碳与氯气反应生成 CCl_4

(3) ①. $\frac{4.005}{m}$ ②. 偏大

【解析】

【分析】装置 A 中滴入浓盐酸生成氯气，通入饱和食盐水除 HCl ，通入浓硫酸除水蒸气，通入 D 进行反应生成氯化铝和氯化硅，通过空气冷凝，进入到 E，F 为尾气处理装置，据此分析；

【小问 1 详解】

装置 a 的名称为恒压滴液漏斗，洗气瓶 B 中试剂为饱和食盐水或饱和氯化钠溶液，除 HCl ，反应前通入 N_2 的目的

是排出空气， AlCl_3 易潮解，故实验装置中的缺陷是装置 E、F 之间缺少干燥(除水)装置或 DE 之间导管易堵塞；

【小问 2 详解】

管式炉中氯气与 C 和氧化铝混合物反应，生成 AlCl_3 和 CO_2 ，化学方程式为



不同氧化物氯化率随配碳比(碳与氧化物的物质的量之比)的变化关系如图所示，由图可知，配碳比为 4.5:1 时氧化铝和二氧化硅产率高，高于此配碳比时氯化率变化的可能原因：过量的碳与氯气反应生成 CCl_4 ；

【小问 3 详解】

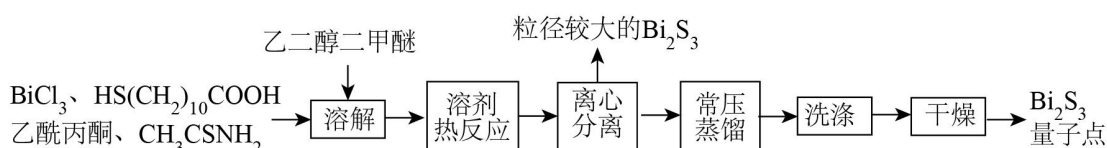
50.00mL 0.01mol·L⁻¹ EDTA 中与 Al^{3+} 反应和 EDTA 的物质的量为

$0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 50.00 \times 10^{-3} \text{L} - 0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 10.00 \times 10^{-3} \text{L} = 3 \times 10^{-4} \text{mol}$ ，则产品中氯化铝的纯度

$$\frac{3 \times 10^{-4} \text{mol} \times 133.5 \text{g/mol}}{\text{mg}} \times 100\% = \frac{4.005}{\text{m}}\%$$

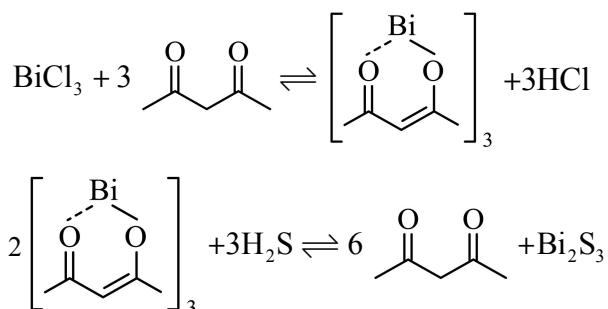
测定结果偏大。

8. (2025 德州三模，18) 一种制备具有优良光电性质的纳米材料 Bi_2S_3 量子点的实验过程如下：



已知：i. BiCl_3 易水解。

ii. $\text{BiCl}_3 \rightarrow \text{Bi}_2\text{S}_3$ 反应过程如下：



iii. 25°C 时， $K_{\text{sp}}(\text{Bi}_2\text{S}_3) = 1.6 \times 10^{-20}$

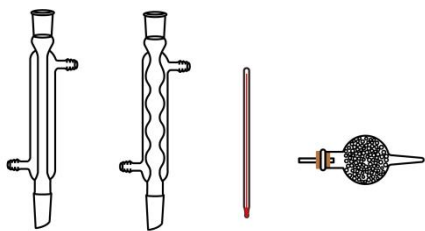
回答下列问题：

(1) “溶解”过程控制低浓度的 Bi^{3+} 与 S^{2-} 是制备 Bi_2S_3 量子点的关键。

① CH_3CSNH_2 缓慢水解产生 H_2S 的化学方程式为_____；使用 CH_3CSNH_2 替换 H_2S 的优点有_____。

② 加入乙酰丙酮的目的是_____。

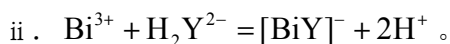
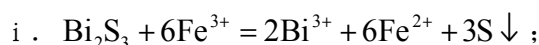
(2) “常压蒸馏”过程，需用到的仪器有_____ (填仪器名称)。



(3) 下列操作不会造成 Bi_2S_3 量子点产率降低的有_____。(填标号)

- A. 去除“乙酰丙酮”反应物
- B. 将表面活性剂 $\text{HS}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ 替换为辛酸
- C. “溶剂热反应”反应时间过长
- D. 将“常压蒸馏”改为“减压蒸馏”

(4) 测定 Bi_2S_3 量子点中 Bi^{3+} 含量：取 1.0g Bi_2S_3 样品溶于 FeCl_3 和盐酸混合液，用维生素 C 消除干扰离子后，定容至 250mL。移取 25.00mL 待测液，用 $0.0200\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ 标准溶液滴定至终点，平均消耗 $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ 标准溶液 20.00mL。该过程涉及反应：



①滴定过程溶液 pH 需维持在 1.0~1.7，其原因是_____。

②该样品中 Bi^{3+} 的质量分数为_____。

【答案】(1) ①. $\text{CH}_3\text{CSNH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$ ②. CH_3CSNH_2 水解产生 H_2S 速率可控，

可减少 H_2S 逸出，提升实验安全性 ③. 形成配合物缓慢释放 Bi^{3+} 产生 H^+ 抑制 H_2S 电离降低 S^{2-} 浓度

(2) 直形冷凝管、温度计 (3) D

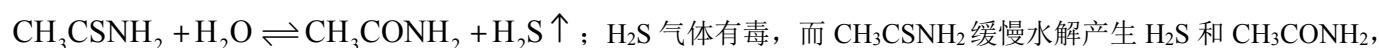
(4) ①. pH 过高， Bi^{3+} 会发生水解；pH 过低，会影响 Bi^{3+} 与 H_2Y^{2-} 反应程度 ②. 83.6%

【解析】

【分析】 BiCl_3 、 $\text{HS}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ 、乙酰丙酮、 CH_3CSNH_2 用乙二醇二甲醚溶解，经过溶剂热反应，离心分离得到粒径较大的 Bi_2S_3 ，经过常压蒸馏、洗涤、干燥得到 Bi_2S_3 量子点。

【小问 1 详解】

① CH_3CSNH_2 缓慢水解产生 H_2S 结合质量守恒，还生成 CH_3CONH_2 ，化学方程式为



使用 CH_3CSNH_2 替换 H_2S 的优点是 CH_3CSNH_2 水解产生 H_2S 速率可控，可减少 H_2S 溢出，提升实验安全性；

②由已知信息 ii 可知， BiCl_3 和乙酰丙酮可以形成配合物和 HCl ，后续可以缓慢释放 Bi^{3+} ，且生成的 HCl 电离出的

H⁺抑制 H₂S 电离降低 S²⁻浓度；

【小问 2 详解】

常压蒸馏装置核心组件为直形冷凝管用于冷凝蒸汽，温度计用于监控蒸馏温度；

【小问 3 详解】

A. 去除乙酰丙酮无法形成配合物控制释放，导致反应不完全，产率下降，A 不符合题意；

B. 将表面活性剂 HS(CH₂)₁₀COOH 替换为辛酸，辛酸可能改变量子点表面性质或稳定性，导致产率下降，B 不符合题意；

C. “溶剂热反应”反应时间过长，可能导致过度反应或杂质生成，降低产率，C 不符合题意；

D. 将“常压蒸馏”改为“减压蒸馏”，降低蒸馏温度，避免量子点高温分解，理论上可能提高产率，D 符合题意；

故选 D；

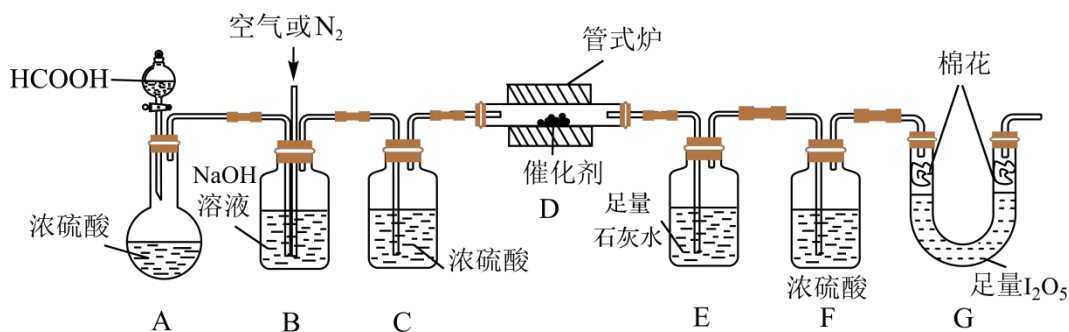
【小问 4 详解】

①已知：BiCl₃ 易水解，且滴定过程存在反应 $\text{Bi}^{3+} + \text{H}_2\text{Y}^{2-} = [\text{BiY}]^- + 2\text{H}^+$ ，故滴定过程溶液 pH 需维持在 1.0~1.7，其原因是 pH 过高，Bi³⁺会发生水解；pH 过低，会影响 Bi³⁺与 H₂Y²⁻反应程度；

②由已知反应，存在关系式 $\text{Bi}_2\text{S}_3 \sim 2\text{Bi}^{3+} \sim 2\text{H}_2\text{Y}^{2-}$ ，结合 Bi 元素守恒，该样品中 Bi³⁺ 的质量分数为

$$\frac{0.0200\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 20.00 \times 10^{-3}\text{L} \times \frac{250}{25} \times 209\text{g}/\text{mol}}{1.0\text{g}} \times 100\% = 83.6\%。$$

9. (2025 烟台三模, 19) CO 是汽车尾气的主要污染物之一，某兴趣小组设计实验探究某催化剂催化空气氧化 CO 的效率，装置如图(部分加热及夹持装置已略)。



已知：①HCOOH 是易挥发液体，常用于制备 CO，原理为 $\text{HCOOH} \xrightarrow{\text{浓H}_2\text{SO}_4} \text{CO} \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 。

②I₂O₅ 是白色固体，吸水易潮解，能够快速与 CO 反应。

回答下列问题：

(1) 装置 A 中盛放 HCOOH 的仪器名称为_____。

(2) 将已称重的装置 E、G 与其他装置组装好，检查气密性，向装置 B 中按一定流速持续通入空气，一段时间后，先打开管式炉调节温度为 120℃，再打开 A 中活塞，此时装置 B 的作用是_____ (至少答出两条)。

(3) 当观察到 B 中左侧导管口不再产生气泡，继续向装置内通入一段时间 N₂。测得装置 E 质量变化 0.88g，装置

G 质量变化 0.32g, 能证明 CO 被空气氧化的现象是_____, G 中发生反应化学方程式为_____, CO 的转化率为_____。

(4) 装置存在的不足之处是_____。

(5) 查阅资料发现, I_2O_5 颗粒容易吸附气体分子, 会导致测定结果存在较大误差, 设计如下测定方案:

I. 将装置 G 中固体溶于足量水中 ($H_2O + I_2O_5 = 2HIO_3$), 不断搅拌至无固体剩余, 再加入 NaOH 溶液调 pH 约为 5 后, 将其配成 250mL 待测溶液;

II. 用移液管量取 25.00mL $0.02mol \cdot L^{-1} Na_2S_2O_3$ 标准溶液于锥形瓶中, 用待测液滴定, 反应原理为

$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$ (滴定时, IO_3^- 和 O_2 不参与反应), 消耗待测液 12.50mL。

①CO 被空气催化氧化的实际转化率为_____(保留三位有效数字)。

②下列操作会导致测定结果偏小的是_____(填标号)。

a. CO 催化氧化过程中, 通入空气流速过快

b. 步骤 I 中, 没有加入 NaOH 溶液调 pH

c. 步骤 II 中, 滴定前滴定管尖嘴内无气泡, 滴定结束后尖嘴内有气泡

【答案】(1) 分液漏斗

(2) 调控气体比例、吸收 CO 中的 HCOOH 及空气中的 CO_2

(3) ①. 石灰水变浑浊 ②. $5CO + I_2O_5 = I_2 + 5CO_2$ ③. 50%

(4) 尾气出口未加防潮解装置

(5) ①. 44.4% ②. a

【解析】

【分析】装置 A 中 HCOOH 在浓硫酸催化下生成 CO 气体, CO 与空气在装置 B 中混合, 同时在装置 B 中用 NaOH 溶液除去空气中的 CO_2 气体及挥发出来的 HCOOH, 并且通过装置 B 中的气泡调节 CO 与空气的体积比为 1:5, 经过装置 C 干燥, 在装置 D 中氧化 CO, 然后用装置 E 吸收反应生成的 CO_2 气体, 由 F 装置干燥剩余的 CO, 最后在装置 G 中用 I_2O_5 吸收过量的 CO;

【小问 1 详解】

装置 A 中盛放 HCOOH 的仪器名称为分液漏斗;

【小问 2 详解】

结合分析, 装置 B 作用为: 调控气体比例、吸收 CO 中的 HCOOH 及空气中的 CO_2 ;

【小问 3 详解】

CO 被氧化为二氧化碳, 二氧化碳能使澄清石灰水变浑浊, 能证明 CO 被空气氧化的现象是石灰水变浑浊; 已知, I_2O_5 能够快速与 CO 反应, I_2O_5 具有氧化性、CO 具有还原性, 则两者发生氧化还原反应生成碘单质和二氧化碳, 则 G 中发生反应化学方程式为 $5CO + I_2O_5 = I_2 + 5CO_2$, 装置 E 用来吸收反应生成的 CO_2 (为 $0.88g \div 44g/mol = 0.02mol$), 结

合碳守恒，则被催化氧化的 CO 的物质的量为 0.02mol），装置 G 中发生反应为 $5\text{CO} + \text{I}_2\text{O}_5 = \text{I}_2 + 5\text{CO}_2$ ，每 5molCO 反应，装置 G 中减少 5molO，则被装置 G 吸收的 CO 的物质的量为 $0.32\text{g} \div 16\text{g/mol} = 0.02\text{mol}$ ，所以 CO 的转化率为 $\frac{0.02}{0.02+0.02} \times 100\% = 50\%$ ；

【小问 4 详解】

I_2O_5 是白色固体，吸水易潮解，则装置存在的不足之处是尾气出口未加防潮解装置；

【小问 5 详解】

①设与 $25.00\text{mL} 0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液反应的 I_2 的物质的量为 x ，由 $5\text{CO} + \text{I}_2\text{O}_5 = \text{I}_2 + 5\text{CO}_2$ 、

$\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ 可得关系式 $\frac{5\text{CO}}{x} \sim \frac{2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}{25.00 \times 10^{-3}\text{L} \times 0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$ ， $x = 1.25 \times 10^{-3}\text{mol}$ ，所以 CO 的

转化率为 $\frac{0.02}{0.02 + \frac{1.25 \times 10^{-3} \times 250\text{mL}}{12.50\text{mL}}} \times 100\% = 44.4\%$ ；

②a. CO 催化氧化过程中，通入空气流速过快，CO 在装置 D 中未充分氧化，会导致的转化率测定值偏小；

b. 步骤 I 中，没有加入 NaOH 溶液调 pH，溶液呈强酸性，碘酸根离子与碘离子生成碘单质，使步骤 II 中消耗的待测液体积偏小，CO 的转化率测定值偏大；

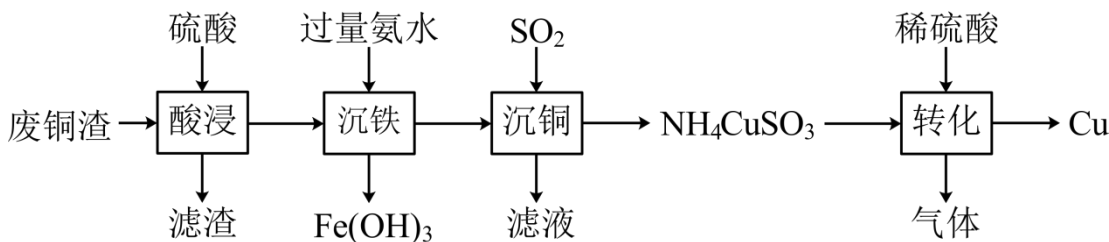
c. 步骤 II 中，滴定前滴定管尖嘴内无气泡，滴定结束后尖嘴内有气泡，使步骤 II 中消耗的待测液体积偏小，CO 的转化率测定值偏大；

故选 a。

第三部分 化学工艺流程

一、化学工艺流程题

1. (2025 潍坊三模, 8) 一种利用废铜渣(主要成分为 CuO , 及少量的 Fe_2O_3 , SiO_2 等杂质)制备超细铜粉的流程如下:



下列说法正确的是

- A. “酸浸”所得滤渣的主要成分为 H_2SiO_3
- B. 向“沉铁”后的滤液中加入乙醇, 析出的深蓝色晶体为 $\text{Cu}(\text{OH})_2$
- C. “沉铜”过程中发生了氧化还原反应, SO_2 是还原剂
- D. “转化”后的滤液中含有的阳离子为 NH_4^+ 和 H^+

【答案】C

【解析】

【分析】废铜渣(主要成分 CuO , 及少量 Fe_2O_3 、 SiO_2 等杂质)“酸浸”时 CuO 、少量 Fe_2O_3 与 H_2SO_4 反应生成硫酸铜、硫酸铁, SiO_2 不溶于 H_2SO_4 , 所以滤渣的成分是 SiO_2 , 滤液中加过量氨水沉铁除去 Fe^{3+} , 铜离子转化为 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$, 所得滤液通二氧化硫沉铜, 过滤出产生的 CuNH_4SO_3 沉淀, 加稀硫酸转化, $+1$ 价铜发生歧化反应, 得到铜离子、和 Cu 。

【详解】A. 据分析, “酸浸”所得滤渣的主要成分为 SiO_2 , A 错误;

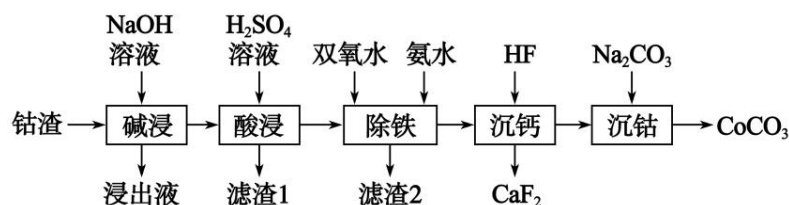
B. 若向“沉铁”后所得滤液中加入乙醇, 析出的深蓝色晶体为 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4$, B 错误;

C. “沉铜”时含有 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ 和过量氨水的混合溶液中通入二氧化硫生成 CuNH_4SO_3 沉淀, 铜元素化合价降低, 则发生氧化还原反应, SO_2 是还原剂, C 正确;

D. 转化时, CuNH_4SO_3 在稀硫酸中发生歧化反应, 得到铜离子、和 Cu , 结合元素守恒可知, “转化”后所得滤液中含有的主要阳离子: NH_4^+ 、 H^+ 、 Cu^{2+} , D 错误;

答案选 C。

2. (2025 淄博三模, 9) 用钴渣(主要成分为 CoO , 含有 Fe_3O_4 、 Al_2O_3 、 PbO 、 CaO 等)制备 CoCO_3 的工艺流程如图所示。已知: 常温下, $K_a(\text{HF})=2.0 \times 10^{-4}$, $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2)=4.0 \times 10^{-11}$ 。



下列叙述错误的是

- A. 滤渣 1 的主要成分有 PbSO_4 、 CaSO_4
- B. 向浸出液中通入足量 CO_2 ，有白色沉淀生成
- C. 该工艺条件下，可推知氧化性： $\text{H}_2\text{O}_2 > \text{Fe}^{3+} > \text{Co}^{3+}$
- D. 若沉钙后的溶液中， $c(\text{HF}) = c(\text{Ca}^{2+}) = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则此时溶液的 pH 约为 6

【答案】C

【解析】

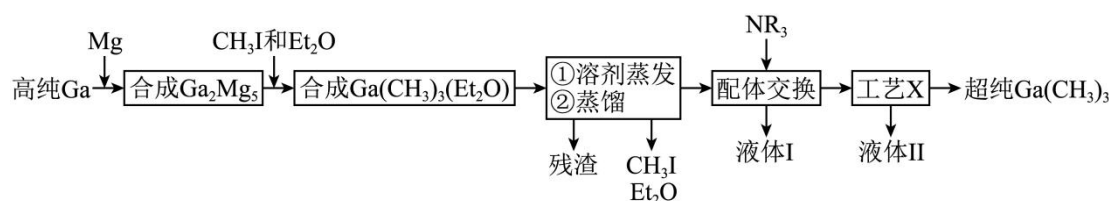
【分析】钴渣主要成分为 CoO ，还含有 Fe_3O_4 、 Al_2O_3 、 PbO 、 CaO 等。用氢氧化钠“碱浸”生成 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ 除氧化铝，滤渣“酸浸”生成滤渣 1 为硫酸铅沉淀、硫酸钙沉淀，滤液中含有硫酸钴、硫酸铁、硫酸亚铁、少量硫酸钙，滤液中加双氧水把硫酸亚铁氧化为硫酸铁，加氨水生成氢氧化铁沉淀除铁，滤渣 2 为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，滤液中加 HF 生成 CaF_2 沉淀除钙，加入 Na_2CO_3 沉钴得到 CoCO_3 。

- 【详解】A. 由分析可知，“酸浸”所得“滤渣 1”的成分有 PbSO_4 、 CaSO_4 ，A 正确；
- B. “浸出液”中含有 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ ，通入足量 CO_2 ，发生 $\text{CO}_2 + [\text{Al}(\text{OH})_4]^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{HCO}_3^-$ ，有白色沉淀生成，B 正确；
- C. “除铁”时加入 H_2O_2 ，氧化 Fe^{2+} 而不氧化 Co^{2+} ，说明还原性： $\text{Fe}^{2+} > \text{Co}^{2+}$ 、氧化性： $\text{Co}^{3+} > \text{H}_2\text{O}_2$ ，则氧化性顺序是： $\text{Co}^{3+} > \text{H}_2\text{O}_2 > \text{Fe}^{3+}$ ，C 错误；

- D. 若“沉钙”后溶液中 $c(\text{HF}) = c(\text{Ca}^{2+}) = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，由 $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2) = 4 \times 10^{-11}$ ，求出 $c(\text{F}^-) = \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}[\text{CaF}_2]}{c(\text{Ca}^{2+})}} = 2 \times 10^{-3}$ ，再根据 $K_{\text{a}}(\text{HF})$ 求出 $c(\text{H}^+) = 1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，从而得出 pH 为 6，D 正确；

故选 C。

3. (2025 青岛三模，9) 工业上制备超纯 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ 流程如下：



物质	$\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$	Et_2O	CH_3I	NR_3
沸点/ $^{\circ}\text{C}$	55.7	34.6	42.4	365.8
Et_2O 和 NR_3 在上述流程中可作为配体（Et 为乙基，R 为烃基）				

下列说法错误的是

- A. “液体 I” 含有 Et_2O
- B. “残渣” 含镁物质仅有 MgI_2
- C. “工序 X” 的作用是解配 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3(\text{NR}_3)$ ，并蒸出 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$
- D. 直接加热 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3(\text{Et}_2\text{O})$ 并蒸馏，无法得到超纯 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$

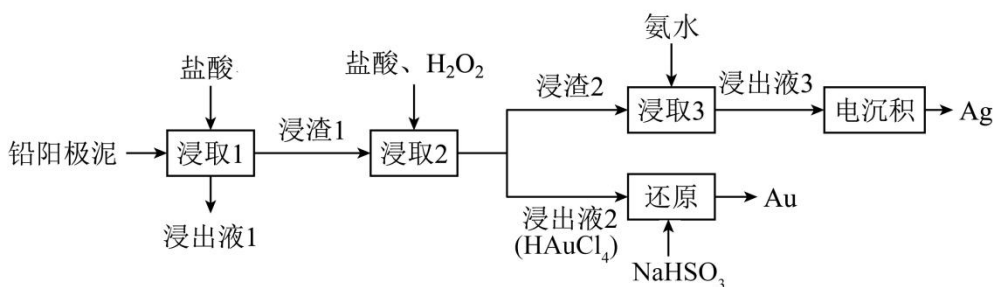
【答案】B

【解析】

- 【详解】A. “配体交换” 过程中 NR_3 与 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3(\text{Et}_2\text{O})$ 发生配体交换得到 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3(\text{NR}_3)$ 和 Et_2O ，则液体 I 含有 Et_2O ，A 正确；
- B. 合成 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3(\text{Et}_2\text{O})$ 时， $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3(\text{Et}_2\text{O})$ 中 Ga 与 CH_3 个数比为 1 : 3， Ga_2Mg_5 中 Ga 与 Mg 个数比为 2 : 5， CH_3I 中 CH_3 与 I 个数比为 1 : 1，根据原子守恒，“残渣”中含镁物质并非仅有 MgI_2 ，还有 CH_3MgI ，B 错误；
- C. NR_3 沸点极高（365.8 $^{\circ}\text{C}$ ），配体交换后生成 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3(\text{NR}_3)$ ，工序 X 需解配 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3(\text{NR}_3)$ 并使 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ （沸点 55.7 $^{\circ}\text{C}$ ）蒸出，C 正确；
- D. $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3(\text{Et}_2\text{O})$ 中 Et_2O 沸点（34.6 $^{\circ}\text{C}$ ）低于 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ （55.7 $^{\circ}\text{C}$ ），直接蒸馏会导致 Et_2O 与 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ 共沸，无法分离，D 正确；

故选 B。

4. （2025 聊城三模，12）（不定项）经过充分氧化的铅阳极泥，富含 CuO 、 Ag 、 Au 。一种从中提取金和银的流程如图所示。下列说法错误的是



- A. “浸渣 1” 的主要成分为 Ag 、 Au
- B. “浸取 2” 步骤中， Ag 被氧化的化学方程式为 $2\text{Ag} + 2\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{AgCl} + 2\text{H}_2\text{O}$

C. “还原”步骤中，被氧化的 NaHSO_3 与产物 Au 的物质的量之比为 3:4

D. 该流程中可循环利用的物质有 NH_3

【答案】C

【解析】

【分析】从富含 CuO 、 Ag 、 Au 的铅阳极泥中提取金和银的流程为：将铅阳极泥加盐酸进行浸取 1， CuO 溶于盐酸过滤得到浸出液 1，剩余不溶的 Ag 和 Au 变成浸渣 1，向浸渣 1 中继续加盐酸和 H_2O_2 进行浸取 2， Ag 和 Au 都被氧化溶解，其中 Ag 溶解转化为 AgCl 沉淀过滤得到滤渣 2，将滤渣 2 继续加氨水溶解， AgCl 沉淀转化为 $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}$ 溶液得到浸取液 3，最后电解浸取液 3 得到单质 Ag ；而浸取 2 中 Au 转化为可溶的 HAuCl_4 随过滤得到浸出液 2，在浸出液 2 中加入 NaHSO_3 还原最终得到单质 Au ；据此分析解答。

【详解】A. 根据分析， Ag 和 Au 不溶于盐酸中，则“浸渣 1”的主要成分为 Ag 、 Au ，A 正确；

B. “浸取 2”步骤中， Ag 在盐酸和 H_2O_2 作用溶解转化为 AgCl 沉淀，则反应的化学方程式为



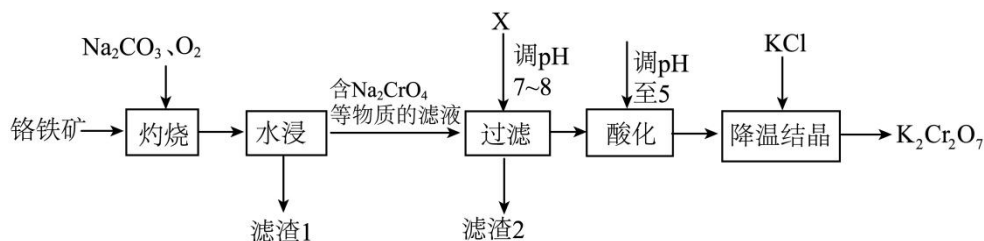
C. “还原”步骤中， HAuCl_4 被 NaHSO_3 还原为单质 Au ，而 HSO_3^- 被氧化为 SO_4^{2-} ，反应的方程式为：

$2\text{HAuCl}_4 + 3\text{NaHSO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = 3\text{Au} \downarrow + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{HCl} + 3\text{NaCl}$ ，得到被氧化的 NaHSO_3 与产物 Au 的物质的量之比为 3:2，C 错误；

D. 对浸取液 3 进行电解时，阴极的电极反应式为： $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{e}^- = \text{Ag} + 2\text{NH}_3 \uparrow$ ，生成的 NH_3 可以循环到浸取 3 时再次使用，D 正确；

故答案为：C。

5. （2025 济宁三模，12）（不定项）实验室用铬铁矿[主要成分为 $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ，含 SiO_2 、 Al_2O_3 杂质]制取重铬酸钾，流程如图



下面说法正确的是

A. “灼烧”操作可在耐高温陶瓷坩埚中进行

B. 滤渣 2 的主要成分为 H_2SiO_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$

C. X 可选用稀 H_2SO_4

D. 为增强“酸化”过程效果，可将 pH 调至 1

【答案】BC

【解析】

【分析】铬铁矿主要成分为 $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ （含 SiO_2 、 Al_2O_3 杂质），制取 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 。铬铁矿与 Na_2CO_3 和 O_2 反应，将 Cr(III) 氧化为 Cr(VI)（生成 Na_2CrO_4 ），同时生成 NaAlO_2 、 Na_2SiO_3 等物质，灼烧后产物为 Na_2CrO_4 、 Fe_2O_3 、 NaAlO_2 、 Na_2SiO_3 等；加水溶解后， Fe_2O_3 不溶，成为滤渣 1，滤液中含 NaAlO_2 、 Na_2SiO_3 、 Na_2CrO_4 ；加酸使 NaAlO_2 生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ， Na_2SiO_3 生成 H_2SiO_3 ，为滤渣 2；酸化将 CrO_4^{2-} 转化为 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ，最后加 KCl 并降温，析出重铬酸钾晶体，据此分析解题。

【详解】A. 铬铁矿与纯碱、氧气在高温下反应，会生成 Na_2CrO_4 、 NaAlO_2 、 Na_2SiO_3 等物质，陶瓷含 SiO_2 ，高温下会与 Na_2CO_3 反应，“灼烧”操作不能在高温陶瓷坩埚中进行，故 A 错误；

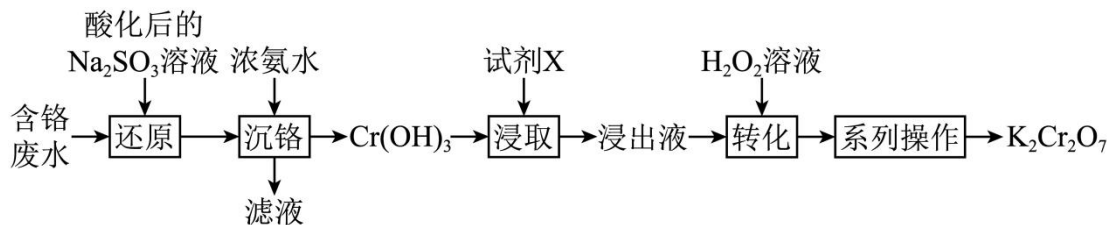
B. 据分析可知，滤渣 2 为 H_2SiO_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，故 B 正确；

C. 选 X 调节滤液的 pH 为 7~8，将 NaAlO_2 、 Na_2SiO_3 转化为沉淀而除去，故 X 可选用稀 H_2SO_4 ，故 C 正确；

D. “酸化”过程中若将 pH 调至 1，加入 KCl “降温结晶”时，酸性条件下 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 会氧化 Cl^- ，使产品产率降低、同时产生污染物，故不能将 pH 调至 1，故 D 错误；

故答案选 BC。

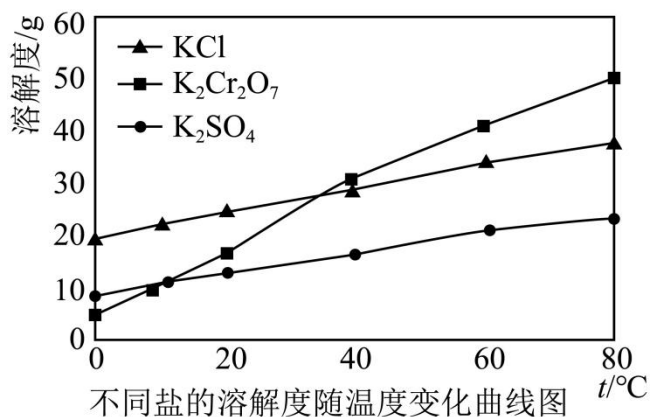
6. （2025 威海三模，13）（不定项）已知含铬废水中的铬离子均以 VI 价态存在。现设计如下流程将废水中的铬离子以 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 晶体形式回收，不同盐的溶解度随温度变化如图所示。下列说法错误的是



已知：① $\lg K_{\text{sp}}[\text{Cr}(\text{OH})_3] = -30.2$ ，当金属离子浓度 $\leq 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时可认为沉淀完全；

② $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 的性质与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 类似；

③ $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ ；碱性条件下 Cr(III) 可被 H_2O_2 氧化为 Cr(VI)，酸性条件下 Cr(VI) 可被 H_2O_2 还原为 Cr(III)。



不同盐的溶解度随温度变化曲线图

- A. “还原”时，酸化后的 Na_2SO_3 溶液 pH 值不宜过低
- B. “沉铬”时，加浓氨水应控制溶液的 pH 值不低于 5.6
- C. “浸取”时，加入的试剂 X 可以是稀盐酸或稀硫酸
- D. “系列操作”为：加 H_2SO_4 酸化、加热浓缩、趁热过滤、洗涤干燥

【答案】CD

【解析】

【分析】由题给信息可知，“还原”过程中 SO_3^{2-} 被 Cr(VI) 氧化为 SO_4^{2-} ， Cr(VI) 被还原为 Cr(III) 。通入浓氨水后， Cr(III) 以 Cr(OH)_3 形式存在。加入试剂 X 后，将 Cr(OH)_3 沉淀转化为离子形式，最终产物是 Cr(VI) ，结合已知条件②，“转化”步骤应为碱性条件下， Cr(III) 被 H_2O_2 氧化为 Cr(VI) 的过程，故试剂 X 应为强碱。据此分析。

【详解】A. 还原时，若酸化后的 Na_2SO_3 溶液 pH 值过低，会与浓氨水反应，从而影响后续“沉铬”过程，A 项正确；

B. 根据已知①，可知当 $c(\text{Cr}^{3+})=10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时，此时 $c(\text{OH}^-)=\sqrt[3]{\frac{K_{\text{spl-1}}}{c(\text{Cr}^{3+})}}=\sqrt[3]{\frac{10^{-30.2}}{10^{-5}}}=10^{-8.4}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，溶液的

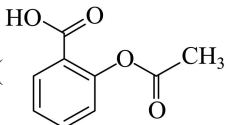
$\text{pH}=-\lg\frac{K_{\text{w}}}{c(\text{OH}^-)}=-\lg\frac{10^{-14}}{10^{-8.4}}=-\lg 10^{-5.6}=5.6$ ，故“沉铬”时，为使 Cr^{3+} 沉淀完全，加浓氨水应控制溶液的 pH 值

不低于 5.6，B 项正确；

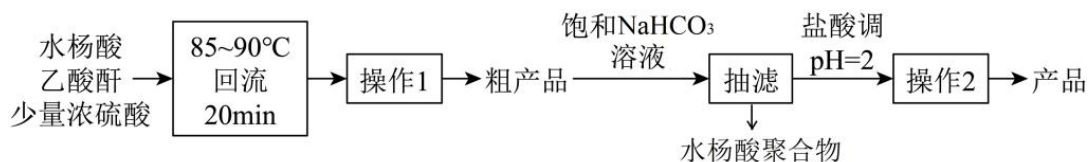
C. 根据分析，“转化”步骤为 Cr(III) 被 H_2O_2 氧化为 Cr(VI) 的过程，则“浸取”应在碱性条件下进行，故试剂 X 不能是酸，C 项错误；

D. 由溶解度随温度变化图可知， $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶解度随温度升高而增大，为得到 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 晶体，“系列操作”应为：加 H_2SO_4 酸化、加热浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤干燥，D 项错误；

答案选 CD。

7. (2025 日照三模，13) (不定项) 乙酰水杨酸() 是一种白色晶体，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，一种合成及提纯路线如下：



下列说法正确的是

- A. “操作1”为冷却结晶、过滤
- B. 饱和 NaHCO₃ 溶液的作用是与乙酰水杨酸反应生成可溶性的钠盐
- C. 盐酸的主要作用是除去稍过量的 NaHCO₃
- D. “操作2”洗涤时应先用冷水洗，再用乙醇洗

【答案】B

【解析】

【分析】水杨酸和乙酸酐发生取代反应生成乙酰水杨酸，方程式为

$$\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})(\text{COOH}) + (\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} \xrightarrow{\text{浓硫酸}, \Delta} \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})(\text{COOCH}_3) + \text{CH}_3\text{COOH}$$

(水杨酸)+(醋酸酐)

浓硫酸
HO-C(=O)-C₆H₄-OH + (CH₃CO)₂O $\xrightleftharpoons[\Delta]{} \text{CH}_3\text{COO-C}_6\text{H}_4\text{-COOH} + \text{CH}_3\text{COOH}$
酚)

将粗产品加到饱和碳酸氢钠溶液中溶解，乙酰水杨酸转化为乙酰水杨酸钠，而副产物不溶，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. 结合分析知，“操作1”不是简单的冷却结晶、过滤，而是将反应后的反应液倒入冷水中，使乙酰水杨酸（及副产物）结晶析出，然后过滤，A 错误；

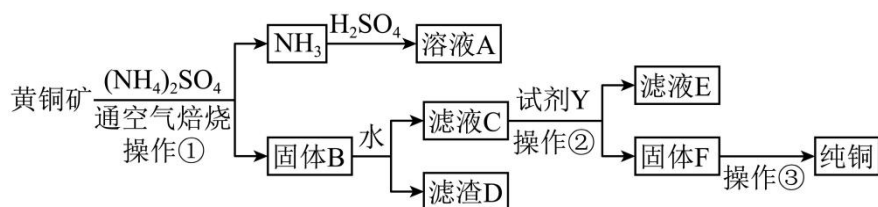
B. 粗产品中含有乙酰水杨酸、副产物，乙酰水杨酸可与碳酸氢钠反应生成可溶性的钠盐，而副产物难溶于饱和碳酸氢钠溶液，从而实现乙酰水杨酸、副产物的分离，故饱和 NaHCO₃ 溶液的作用是与乙酰水杨酸反应生成可溶性的钠盐，B 正确；

C. 盐酸可以除去稍过量的 NaHCO₃，但盐酸的主要作用是将乙酰水杨酸钠转化为乙酰水杨酸，所以盐酸的主要作用不是除去稍过量的 NaHCO₃，C 错误；

D. “操作2”洗涤时，用冷水洗可减少乙酰水杨酸溶解带来的损失，因乙酰水杨酸易溶于有机溶剂（如乙醇），用乙醇洗会导致产品部分溶解，故不能用乙醇洗，D 错误；

故选 B。

8. （2025 德州三模，13）（不定项）利用黄铜矿(主要成分为 CuFeS₂，含有 SiO₂ 等杂质)生产纯铜，流程示意图如下



下列说法正确的是

- A. 操作①中未发生氧化还原反应
B. 固体 B 中一定含有 CuSO_4 和 SiO_2
C. 试剂 Y 是过量铁粉
D. 对滤液 E 进行蒸发结晶可制绿矾

【答案】BC

【解析】

【分析】黄铜矿粉碎后加入硫酸铵通入空气焙烧转化成硫酸铜，得到的混合气体中主要含 NH_3 ，用硫酸吸收得到硫酸铵，硫酸铵是溶液 A 的主要溶质，可以循环利用；固体 B 为 SiO_2 、 CuSO_4 及铁的氧化物，加水分离，主要形成含硫酸铜的滤液 C 和含铁氧化物、 SiO_2 的滤渣 D，向硫酸铜溶液中加入过量的铁，置换得到粗铜 F 和含 FeSO_4 的滤液 E，粗铜处理的纯铜；

【详解】A. 操作① CuFeS_2 中的硫元素被空气中氧气氧化为二氧化硫，发生氧化还原反应，A 错误；

B. 由分析，固体 B 中一定含有 CuSO_4 和 SiO_2 ，B 正确；

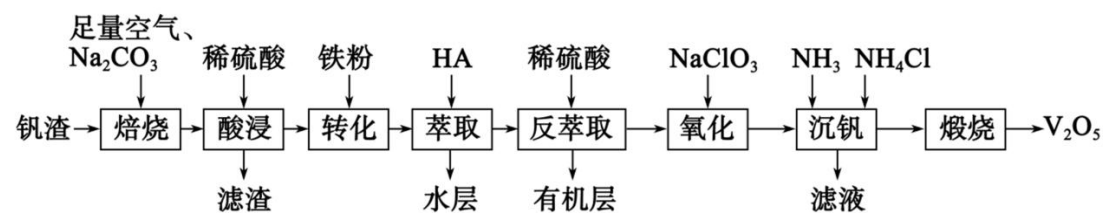
C. 硫酸铜溶液中加入过量的铁，置换得到粗铜 F 和含 FeSO_4 的滤液 E，试剂 Y 是过量铁粉，C 正确；

D. 对滤液 E 进行蒸发浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤、烘干得到绿矾，而不是直接蒸发结晶，D 错误；

故选 BC。

二、化学工艺流程题（非选择题）

1. （2025 淄博三模，19）用钒渣(主要化学成分为 V_2O_3 ，含少量 CaO 、 Fe_2O_3 和 SiO_2) 制备 V_2O_5 的工艺流程如图所示。

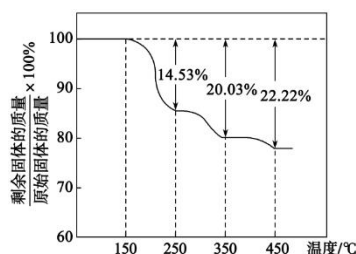


已知：I. 酸性条件下，+4 价、+5 价 V 分别以 VO^{2+} 、 VO_2^+ 形式存在。II. HA 的萃取原理为 $\text{M}^{n+}(\text{水层}) + n\text{HA}(\text{有机层}) \rightleftharpoons n\text{H}^+(\text{水层}) + \text{MA}_n(\text{有机层})$ ；酸性溶液中，HA 对 VO^{2+} 、 Fe^{3+} 萃取能力强，对 VO_2^+ 、 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 的萃取能力较弱。回答下列问题：

- (1) “焙烧”时 V_2O_3 转化为 NaVO_3 ，该反应的化学方程式为_____。
- (2) “转化”工序加铁粉的主要作用是_____。
- (3) “萃取”后，水层溶液的 pH 的变化为_____ (填“增大”“不变”或“减小”) “氧化”时发生反应的离子方程式为_____。

(4) “沉钒”中通入 NH_3 的作用之一是调节 pH, 将 VO_2^+ 转化为 VO_3^- 。常温下, 维持溶液中 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} - \text{NH}_4\text{Cl}$ 总浓度为 $c \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH}=8$, 则析出 NH_4VO_3 后溶液中 $c(\text{VO}_3^-) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。已知常温下, $K_{\text{sp}}(\text{NH}_4\text{VO}_3) = a$, $K_{\text{b}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = b$ 。

(5) “煅烧”工序得到 V_2O_5 , 其他产物可返回到 工序重新利用; 煅烧过程中固体的失重比随温度变化如图所示, 则加热至 250°C 时, 固体成分为 (填化学式)。



【答案】(1) $\text{V}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{焙烧}} 2\text{NaVO}_3 + \text{CO}_2$

(2) 将 VO_3^- 还原为 VO^{2+} 、将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+}

(3) ①. 减小 ②. $\text{ClO}_3^- + 6\text{VO}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Cl}^- + 6\text{VO}_2^+ + 6\text{H}^+$

(4) $\frac{a(b+10^{-6})}{bc}$

(5) ①. 沉钒 ②. HVO_3

【解析】

【分析】钒渣(主要化学成分为 V_2O_3 , 含少量 CaO 、 Fe_2O_3 和 SiO_2)加入 Na_2CO_3 , 在足量空气中进行焙烧, 主要发生 $\text{V}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{焙烧}} 2\text{NaVO}_3 + \text{CO}_2$ 反应, 加入稀硫酸进行酸浸, 得到含 VO^{2+} 、 VO_2^+ 、 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 等的溶液和滤渣, 向溶液中加入铁粉进行转化, 将 VO_3^- 还原为 VO^{2+} 、将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} , 由于, HA 对 VO^{2+} 、 Fe^{3+} 萃取能力强, 对 VO_2^+ 、 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 的萃取能力较弱, 加入 HA 将 VO^{2+} 进行萃取, 加入稀硫酸进行反萃取, 得到含 VO^{2+} 的溶液, 加入 NaClO_3 进行氧化, 发生 $\text{ClO}_3^- + 6\text{VO}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Cl}^- + 6\text{VO}_2^+ + 6\text{H}^+$ 反应, 将 VO^{2+} 氧化为 VO_2^+ , 加入 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 和 NH_4Cl 进行沉钒, 得到 NH_4VO_3 , 将 NH_4VO_3 煅烧得到 V_2O_5 , 据此回答。

【小问 1 详解】

焙烧时, V_2O_3 、 Na_2CO_3 与空气中氧气在高温下发生 $\text{V}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{焙烧}} 2\text{NaVO}_3 + \text{CO}_2$ 反应, 将 V_2O_3 转化为 NaVO_3 ;

【小问 2 详解】

HA 对 VO^{2+} 、 Fe^{3+} 萃取能力强，对 VO_2^+ 、 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 的萃取能力较弱，向溶液中加入铁粉进行转化，将 VO_3^- 还原为 VO^{2+} 、将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ，还原后 Fe^{2+} 不被萃取，实现与 V 分离；

【小问 3 详解】

由萃取原理 $\text{M}^{n+}(\text{水层}) + n\text{HA}(\text{有机层}) \rightleftharpoons n\text{H}^+(\text{水层}) + \text{MA}_n(\text{有机层})$ ，生成 H^+ ，“萃取”后，水层溶液的 pH 减小；氧化时， VO^{2+} 被 NaClO_3 氧化为 VO_2^+ ，离子方程式： $\text{ClO}_3^- + 6\text{VO}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Cl}^- + 6\text{VO}_2^+ + 6\text{H}^+$ ；

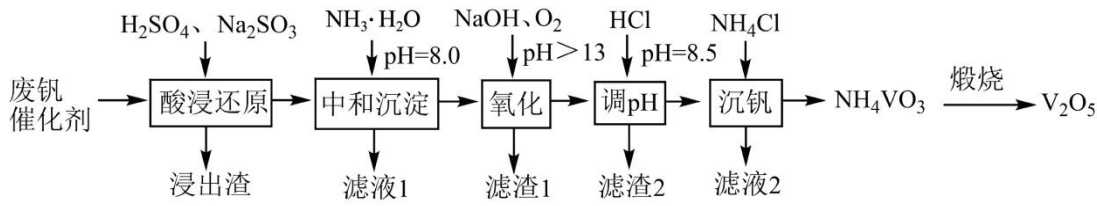
【小问 4 详解】

pH=8 时， $c(\text{OH}^-) = 10^{-6} \text{ mol/L}$ ， $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ ， $K_b = \frac{c(\text{NH}_4^+) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})}$ ，由 $K_b = \frac{c(\text{NH}_4^+) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})}$ ，
 $c(\text{NH}_4^+) = \frac{K_b \cdot c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})}{c(\text{OH}^-)}$ ，总浓度 $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = c \text{ mol/L}$ ，解得 $c(\text{NH}_4^+) = \frac{bc}{10^{-6} + b}$ ，由
 $K_{sp}(\text{NH}_4\text{VO}_3) = c(\text{NH}_4^+) \cdot c(\text{VO}_3^-) = a$ ，则 $c(\text{VO}_3^-) = \frac{a}{c(\text{NH}_4^+)} = \frac{a(b + 10^{-6})}{bc}$ ；

【小问 5 详解】

NH_4VO_3 煅烧时由 NH_3 和水生成，可返回沉钒工序（沉钒需要 NH_3 ）；设 NH_4VO_3 为 1 mol（质量为 117g）， 250°C 时，失重比 14.53% 时，失重质量 $117 \times 14.53\% \approx 17 \text{ g}$ （ NH_3 质量），发生 $\text{NH}_4\text{VO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{NH}_3 \uparrow + \text{HVO}_3$ 反应，剩余的固体为 HVO_3 。

2. （2025 潍坊三模，18）五氧化二钒常用于冶炼钒铁。以某种废钒催化剂（主要含有 V_2O_5 、 CaO 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 SiO_2 等）为原料制备 V_2O_5 的工艺流程如下图：

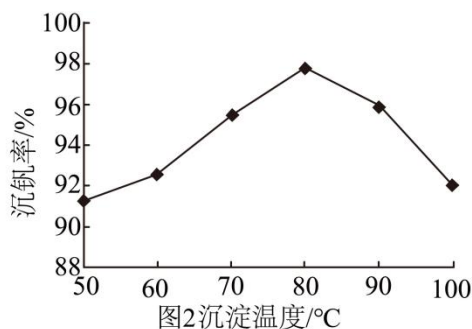
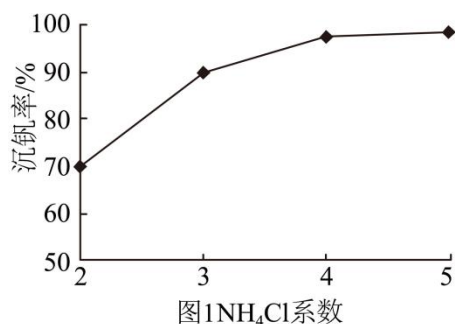


已知：pH > 9.6 时 Al 元素在溶液中主要以 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 形式存在；溶液中金属离子开始沉淀和完全沉淀的 pH 如下表：

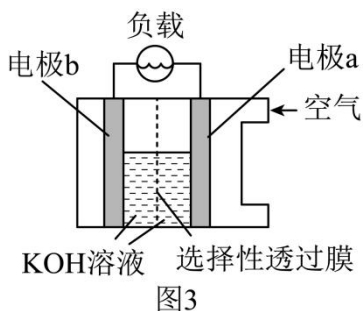
金属离子	Al^{3+}	Fe^{3+}	Fe^{2+}
开始沉淀时（ $c = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ）的 pH	3.7	2.2	7.5
沉淀完全时（ $c = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ）的 pH	4.7	3.2	9.5

回答下列问题：

- (1) “酸浸还原”中 V_2O_5 转化为 VO^{2+} 反应的离子方程式是_____。
- (2) “中和沉淀”生成的沉淀中有一定量 $Fe(OH)_2$ ，滤液 1 中 $c(Fe^{2+}) = \underline{\hspace{2cm}} mol \cdot L^{-1}$ 。
- (3) “氧化”步骤 VO_2 转化为 $NaVO_3$ 反应的化学方程式为_____，滤渣 1 主要成分是_____（填化学式）。
- (4) “调 pH”步骤将溶液 pH 调节为 8.5 的目的是_____。
- (5) 该工艺中沉钒率随 NH_4Cl 系数（ NH_4Cl 加入质量与料液中 V_2O_5 的质量比）和温度的变化趋势分别如图 1、图 2 所示。应控制 NH_4Cl 系数和温度为：_____。



- (6) 一种利用硼化钒制备 V_2O_5 的装置如图 3 所示，该电池工作时发生的反应为 $4VB_2 + 11O_2 = 4B_2O_3 + 2V_2O_5$ 。
- 电极 b 的电极反应式为_____，选择性透过膜为_____（填“阴离子”或“阳离子”）透过膜。



【答案】(1) $V_2O_5 + 4H^+ + SO_3^{2-} = 2VO^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$

(2) 0.01 (3) ①. $4VO_2 + 4NaOH + O_2 = 4NaVO_3 + 2H_2O$ ②. $Fe(OH)_3$

(4) 使 $[Al(OH)_4]^-$ 转化为难溶的 $Al(OH)_3$ 而除去

(5) 4, 80 (6) ①. $2VB_2 + 22OH^- - 22e^- = V_2O_5 + 2B_2O_3 + 11H_2O$ ②. 阴离子

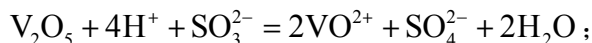
【解析】

【分析】废钒催化剂主要含有 V_2O_5 、 CaO 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 SiO_2 等。“酸浸还原”中 V_2O_5 转化为 VO^{2+} ，氧化钙转化为硫酸钙，氧化铁转化为硫酸铁，氧化铝转化为硫酸铝，二氧化硅不溶于硫酸，过滤，浸出渣中含有二氧化硅、硫酸钙；浸出液加氨水调 pH=8 进行中和沉淀，此时 VO^{2+} 转化为 VO_2 沉淀， Fe^{2+} 有一部分转化为 $Fe(OH)_2$ 沉淀， Al^{3+} 转化为 $Al(OH)_3$ 沉淀；过滤后，往滤渣中加入 $NaOH$ 、 O_2 ，调节 pH>13，此时 $Fe(OH)_2$ 转化为 $Fe(OH)_3$ (滤渣 1)， $Al(OH)_3$ 转化为 $[Al(OH)_4]^-$ ， VO_2 转化为 $NaVO_3$ ；过滤后，往滤液中加入 HCl ，调节 pH=8.5， $[Al(OH)_4]^-$ 转化为 $Al(OH)_3$ 。

沉淀(滤渣 2)；过滤后，往滤液中加入 NH_4Cl 沉淀钒，生成 NH_4VO_3 沉淀，煅烧得 V_2O_5 。

【小问 1 详解】

“酸浸还原”中 V_2O_5 被亚硫酸钠还原为 VO^{2+} ，根据得失电子守恒，反应的离子方程式是



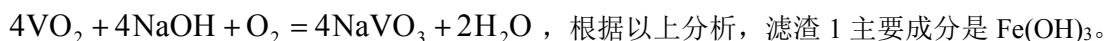
【小问 2 详解】

Fe^{2+} 完全沉淀时的 $\text{pH}=9.5$ ，则 $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2] = 1 \times 10^{-5} \times (1 \times 10^{-4.5})^2 = 1 \times 10^{-14}$ ，“中和沉淀”调 $\text{pH}=8$ ，滤液 1

$$\text{中 } c(\text{Fe}^{2+}) = \frac{1 \times 10^{-14}}{(1 \times 10^{-6})^2} = 1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}。$$

【小问 3 详解】

“氧化”步骤 VO_2 在碱性条件下被氧气氧化为 NaVO_3 ，反应的化学方程式为



【小问 4 详解】

$\text{pH} > 9.6$ 时 Al 元素在溶液中主要以 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 形式存在，“调 pH ”步骤将溶液 pH 调节为 8.5 的目的是使

$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 转化为难溶的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 而除去；

【小问 5 详解】

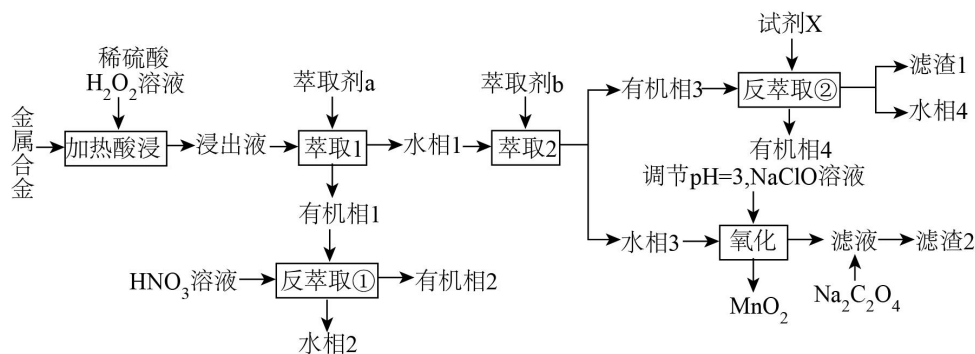
根据图示， NH_4Cl 系数=4 时，沉钒率达到最大值；温度为 80°C 时，沉钒率达到最大值；所以应控制 NH_4Cl 系数和温度为 4、 80°C 。

【小问 6 详解】

该电池工作时发生的反应为 $4\text{VB}_2 + 11\text{O}_2 = 4\text{B}_2\text{O}_3 + 2\text{V}_2\text{O}_5$ 。A 电极氧气得电子生成氢氧根离子，a 是正极，则 b 为负极， VB_2 在电极 b 失电子发生氧化反应生成 B_2O_3 和 V_2O_5 ，电极 b 的电极反应式为

$2\text{VB}_2 + 22\text{OH}^- - 22\text{e}^- = \text{V}_2\text{O}_5 + 2\text{B}_2\text{O}_3 + 11\text{H}_2\text{O}$ ，a 极生成氢氧根离子、b 极消耗氢氧根离子，为使电池能持续放电，选择性透过膜为阴离子透过膜。

3.（2025 威海三模，19）从废锂离子电池还原熔炼产生的金属合金(含 Co 、 Ni 、 Cu 、 Fe 、 Mn)中，逐一回收各种金属的部分工艺流程如下：



已知：①浸出液中含 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 和 Mn^{2+} ；

②萃取剂 a 可选择性萃取 Cu^{2+} ，萃取剂 b 可选择性萃取 Fe^{3+} 和 Co^{2+} ； Co^{2+} 可形成稳定配离子 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ， Cu^{2+} 可形成 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ 且易溶于有机溶剂；

③ $K_{\text{sp}}(\text{NiC}_2\text{O}_4) = 4.0 \times 10^{-10}$ ，金属离子浓度 $\leq 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时可认为沉淀完全。

回答下列问题：

(1) “加热酸浸”时，金属 Fe 发生反应的化学方程式为_____。

(2) “反萃取①”时，也可用王水代替 HNO_3 溶液，但随王水浓度的增加，反萃取率会有所下降，原因是_____。

(3) “反萃取②”时加入的试剂 X 为_____ (填字母序号)。

A. NaOH 溶液 B. 氨水 C. 稀盐酸 D. NH_4Cl 溶液

(4) 滤渣 1 的成分为_____ (填化学式)；“氧化”时无气体产生，则反应的离子方程式为_____。已知滤液中 $c(\text{Ni}^{2+}) = 5.2 \times 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，若用 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 沉淀 1L 该滤液中的 Ni^{2+} ，至少需要加 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 固体 _____ mol (不考虑溶液体积变化)。

(5) 用碘量法测定经“反萃取①”后水相 2 中 Cu^{2+} 的浓度：

操作步骤为：取 25.00mL 水相 2，向其中加入过量 KI 溶液，滴入几滴淀粉溶液，用 $0.0500 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定至终点，消耗 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液 20.00mL。(已知： $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{I}^- = 2\text{CuI} + \text{I}_2$ ； $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$)。

①已知有机相 1 中 Cu^{2+} 浓度为 $0.09 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，若水相 2 和有机相 2 体积比为 2:1，则 Cu^{2+} 的反萃取率为

_____ (保留到小数点后 1 位)。(反萃取率 $= \frac{m_{\text{M}_a}}{m_{\text{M}_0}} \times 100\%$ ， M_a 代表水相中的金属离子， M_0 代表原有机相中

的金属离子，忽略萃取过程中两相体积变化)。

②下列关于滴定分析正确的是_____ (填标号)

- A. 未用标准液润洗滴定管，测定反萃取率偏高
- B. 振荡时锥形瓶中有液体溅出，测定反萃取率偏高
- C. 滴定达终点时，发现滴定管尖嘴部分有气泡，测定反萃取率偏高

【答案】(1) $2\text{Fe}+3\text{H}_2\text{O}_2+3\text{H}_2\text{SO}_4=\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3+6\text{H}_2\text{O}$

(2) Cu^{2+} 与 Cl^- 形成 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ 易溶于有机溶剂(萃取剂 a), 导致反萃取率有所下降 (3) B

(4) ①. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ②. $\text{Mn}^{2+}+\text{ClO}^-+\text{H}_2\text{O}=\text{MnO}_2+\text{Cl}^-+2\text{H}^+$ ③. 5.24×10^{-3}

(5) ①. 88.9% ②. A

【解析】

【分析】由题干流程图信息可知, 向金属合金(含 Co、Ni、Cu、Fe、Mn)中加入稀硫酸和 H_2O_2 将它们分别转化为含 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 和 Mn^{2+} , 过滤除去不溶性杂质, 向浸出液中加入萃取剂 a, 萃取出 Cu^{2+} , 分离出有机相 1, 再向其中加入 HNO_3 溶液进行反萃取①分离得到有机相 2 主要含萃取剂 a 和水相 2 主要含 Cu^{2+} , 向水相 1 中加入萃取剂 b 进行萃取出 Fe^{3+} 和 Co^{2+} , 分离出有机相 3, 向其中加入试剂 X 进行“反萃取②”时将 Fe^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀进入滤渣 1, Co^{2+} 转化为稳定配离子 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 进入水相 4, 向水相 3 中加入试剂调节 $\text{pH}=3$, 再加入 NaClO 将 Mn^{2+} 氧化为 MnO_2 而除去, 过滤得到滤液主要含有 Ni^{2+} , 向滤液中加入 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 得到沉淀 NiC_2O_4 , 过滤得到滤渣 2 主要成分是 NiC_2O_4 , 据此分析解题。

【小问 1 详解】

由分析可知, “加热酸浸”时, 金属 Fe 转化为 Fe^{3+} , 则 Fe 发生反应的化学方程式为:

$2\text{Fe}+3\text{H}_2\text{O}_2+3\text{H}_2\text{SO}_4=\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3+6\text{H}_2\text{O}$, 故答案为: $2\text{Fe}+3\text{H}_2\text{O}_2+3\text{H}_2\text{SO}_4=\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3+6\text{H}_2\text{O}$;

【小问 2 详解】

由题干信息可知, Cu^{2+} 可形成 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ 且易溶于有机溶剂, 则“反萃取①”时, 也可用王水即浓盐酸和浓硝酸按照体积比为 1:3 混合, 代替 HNO_3 溶液, 但随王水浓度的增加, Cu^{2+} 与 Cl^- 形成 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ 易溶于有机溶剂(萃取剂 a), 导致反萃取率有所下降, 故答案为: Cu^{2+} 与 Cl^- 形成 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ 易溶于有机溶剂(萃取剂 a), 导致反萃取率有所下降;

【小问 3 详解】

由题干信息可知, Co^{2+} 可形成稳定配离子 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, “反萃取②”时将 Fe^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀进入滤渣 1, Co^{2+} 转化为稳定配离子 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 进入水相 4, 则加入的试剂 X 为氨水, 故答案为: B;

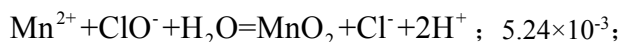
【小问 4 详解】

由分析可知, 滤渣 1 的成分为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$; “氧化”时将 Mn^{2+} 氧化为 MnO_2 且无气体产生, 则反应的离子方程式为

$\text{Mn}^{2+}+\text{ClO}^-+\text{H}_2\text{O}=\text{MnO}_2+\text{Cl}^-+2\text{H}^+$, 已知滤液中 $c(\text{Ni}^{2+})=5.2\times 10^{-3}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 当 Ni^{2+} 完全沉淀时溶液中 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 的

浓度为: $\frac{K_{\text{sp}}[\text{NiC}_2\text{O}_4]}{c(\text{Ni}^{2+})}=\frac{4.0\times 10^{-10}}{10^{-5}}=4.0\times 10^{-5}\text{mol/L}$, 若用 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 沉淀 1L 该滤液中的 Ni^{2+} , 至少需要加 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

固体 $4.0\times 10^{-5}\text{mol/L}\times 1\text{L}+5.2\times 10^{-3}\text{mol/L}\times 1\text{L}=5.24\times 10^{-3}\text{mol}$, 故答案为: $\text{Fe}(\text{OH})_3$;



【小问 5 详解】

操作步骤为：取 25.00mL 水相 2，向其中加入过量 KI 溶液，滴入几滴淀粉溶液，用 $0.0500\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定至终点，消耗 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液 20.00mL。（已知： $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{I}^- = 2\text{CuI} + \text{I}_2$ ； $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ ）。

①由反应方程式 $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{I}^- = 2\text{CuI} + \text{I}_2$ ； $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ 可找到关系式为： $2\text{Cu}^{2+} \sim \text{I}_2 \sim 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ，故有

$$n(\text{Cu}^{2+}) = n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0.0500\text{mol/L} \times 20.00 \times 10^{-3}\text{L} = 1.0 \times 10^{-3}\text{mol}, \text{ 则水相 2 中 } \text{Cu}^{2+} \text{ 的浓度为: } \frac{1.0 \times 10^{-3}\text{mol}}{25.00 \times 10^{-3}\text{L}} = 0.04\text{mol/L}, \text{ 已}$$

知有机相 1 中 Cu^{2+} 浓度为 0.09mol/L ，若水相 2 和有机相 2 体积比为 2:1，则 Cu^{2+} 的反萃取率

$$= \frac{m_{\text{M}_a}}{m_{\text{M}_0}} \times 100\% = \frac{0.04\text{mol/L} \times 2\text{VL}}{0.09\text{mol/L} \times \text{VL}} \times 100\% = 88.9\%, \text{ 故答案为: } 88.9\%;$$

②

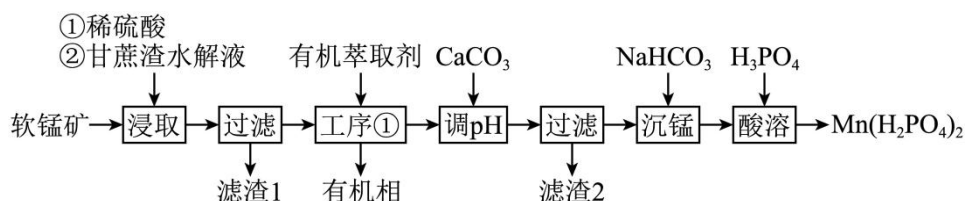
A. 未用标准液润洗滴定管，导致标准液的浓度偏小，消耗标准液的体积偏大，测定水相中 Cu^{2+} 浓度偏大，则测定反萃取率偏高，A 符合题意；

B. 振荡时锥形瓶中有液体溅出，导致消耗标准液的体积偏小，测定水相中 Cu^{2+} 浓度偏小，测定反萃取率偏低，B 不合题意；

C. 滴定达终点时，发现滴定管尖嘴部分有气泡，导致消耗标准液的体积偏小，测定水相中 Cu^{2+} 浓度偏小，测定反萃取率偏低，C 不合题意；

故答案为：A。

4.（2025 日照三模，18）以软锰矿（主要含 MnO_2 及少量的 FeS_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等）为主要原料制备 $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 的工艺流程如下：



回答下列问题：

(1) “浸取”时 MnO_2 将 FeS_2 氧化为 S 单质的离子方程式为_____，“甘蔗渣水解液”的主要作用是_____。

(2) “滤渣 1”的主要成分是_____ (填化学式)。

(3) “工序①”的名称为_____。

(4) “有机相”中含有 Fe^{2+} ，向其中滴加_____ (填化学式) 溶液，有蓝色沉淀生成。

(5) 有机萃取剂选用 $(\text{HA})_2$ ，萃取时发生反应 $\text{Fe}^{2+} + n(\text{HA})_2 \rightleftharpoons \text{FeA}_2 \cdot (n-1)(\text{HA})_2 + 2\text{H}^+$ ，实验测得 Fe^{2+} 萃

取率随 pH 升高先增大后减小，其原因可能是_____。

(6) “沉锰”时生成 MnCO_3 的离子方程式为_____。

【答案】(1) ①. $3\text{MnO}_2 + 2\text{FeS}_2 + 12\text{H}^+ = 3\text{Mn}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 4\text{S} \downarrow + 6\text{H}_2\text{O}$ ②. 作还原剂

(2) SiO_2 、S (3) 萃取分液

(4) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

(5) pH 较低时， H^+ 浓度大，平衡逆向移动， Fe^{2+} 萃取率低；随 pH 升高， H^+ 浓度减小，平衡正向移动，萃取率增大；pH 过高时， Fe^{2+} 水解生成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 沉淀，萃取率减小

(6) $\text{Mn}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{MnCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

【解析】

【分析】软锰矿主要含 MnO_2 及少量 FeS_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等，经稀硫酸浸取（同时加入甘蔗渣水解液）后， MnO_2 氧化 FeS_2 为 S 单质， Al_2O_3 与酸反应；过滤后滤渣 1 为不溶的 SiO_2 和反应生成的 S；滤液中加入有机萃取剂进行萃取分液，分离出含 Fe^{2+} 有机相；水相中加 CaCO_3 调 pH，使 Al^{3+} 沉淀；滤液中加 NaHCO_3 沉锰生成 MnCO_3 ，再加 H_3PO_4 酸溶得到 $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 。

【小问 1 详解】

浸取时， MnO_2 将 FeS_2 氧化为 S 单质，自身被还原为 Mn^{2+} ， FeS_2 中 Fe 为 +2 价、S 为 -1 价，酸性条件下离子方程式为： $3\text{MnO}_2 + 2\text{FeS}_2 + 12\text{H}^+ = 3\text{Mn}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 4\text{S} \downarrow + 6\text{H}_2\text{O}$ ；甘蔗渣水解液的主要作用是作还原剂，保证反应体系中还原性环境（如还 Fe^{3+} ）；

【小问 2 详解】

根据分析可知，滤渣 1 的主要成分为 SiO_2 和 S；

【小问 3 详解】

加入有机萃取剂后，分离“有机相”和水相的操作是萃取分液；

【小问 4 详解】

检验 Fe^{2+} 可滴加 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液，生成蓝色沉淀；

【小问 5 详解】

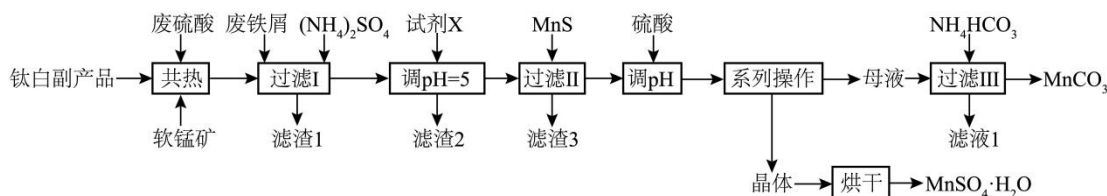
萃取是发生的反应为： $\text{Fe}^{2+} + n(\text{HA})_2 \rightleftharpoons \text{FeA}_2 \cdot (n-1)(\text{HA})_2 + 2\text{H}^+$ ，pH 较低时， H^+ 浓度大，平衡逆向移动， Fe^{2+} 萃取率低，随 pH 升高， H^+ 浓度减小，平衡正向移动，萃取率增大，pH 过高时， Fe^{2+} 水解生成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 沉淀，萃取率减小；

【小问 6 详解】

“沉锰”时生成 MnCO_3 的离子方程式为 $\text{Mn}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{MnCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 。

5. （2025 青岛三模，17）以工业钛白副产品〔主要成分 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，少量 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 和 CuO 〕、废硫酸和软

锰矿（主要成分 MnO_2 ）为原料生产硫酸锰和碳酸锰流程如图：



已知：常温下， $K_{sp}[\text{Al}(\text{OH})_3]=1\times 10^{-33}$ 。

回答下列问题：

(1) “共热”过程中 MnO_2 参与反应的离子方程式为_____。

(2) “过滤 I”先加入适量废铁屑充分反应后再加入硫酸铵生成 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$ 沉淀，生成沉淀的化学方程式为_____，加入“废铁屑”的目的为_____。

(3) “试剂 X”可能为_____（填标号）。

A. MnO B. MnO_2 C. MnCO_3

(4) “滤渣 3”的主要成分为_____（填化学式）。

(5) 实验室中进行“系列操作”所用的玻璃仪器有_____。

(6) “滤液 1”可循环到的操作单元为_____。

【答案】(1) $2\text{Fe}^{2+} + \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$

(2) ①. $3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 12\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12} \downarrow + 6\text{H}_2\text{SO}_4$ ②. 将硫酸铁

还原为硫酸亚铁得以重新利用，直到将所有 MnO_2 均还原为锰离子

(3) AC (4) CuS

(5) 酒精灯、烧杯、玻璃棒、漏斗

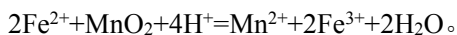
(6) 过滤 I

【解析】

【分析】共热浸取过程中 MnO_2 将 Fe 元素转化为+3 价态，同时 Mn 元素自身转变为+2 价态，加入适量废铁屑将 Fe^{3+} 转变为 Fe^{2+} ，使 MnO_2 被充分还原，再加入硫酸铵沉铁，调 $\text{pH}=5$ ，将铝离子转化为沉淀分离，然后加入 MnS 将 Cu^{2+} 转化为沉淀分离，最后通过一系列操作得到产品。

【小问 1 详解】

共热过程中 MnO_2 将亚铁离子氧化为铁离子，自身被还原为 Mn^{2+} ，反应的离子方程式为：



【小问 2 详解】

①根据原子守恒，沉铁发生的化学方程式为 $3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 12\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12} \downarrow + 6\text{H}_2\text{SO}_4$ ；

②加入废铁屑的目的是将硫酸铁还原为硫酸亚铁得以重新利用，直到将所有 MnO_2 均还原为锰离子，提高产率。

【小问 3 详解】

试剂 X 的作用是调 pH，将铝离子转化为沉淀且不能引入新离子，用 +2 价的 Mn 元素的化合物进行调节，不会引入新杂质，所以 MnO 与 MnCO_3 可作为试剂 X，而 MnO_2 不可以，故填 AC。

【小问 4 详解】

加入 MnS 将 Cu^{2+} 转化为 CuS 沉淀，滤渣 3 主要成分为 CuS 。

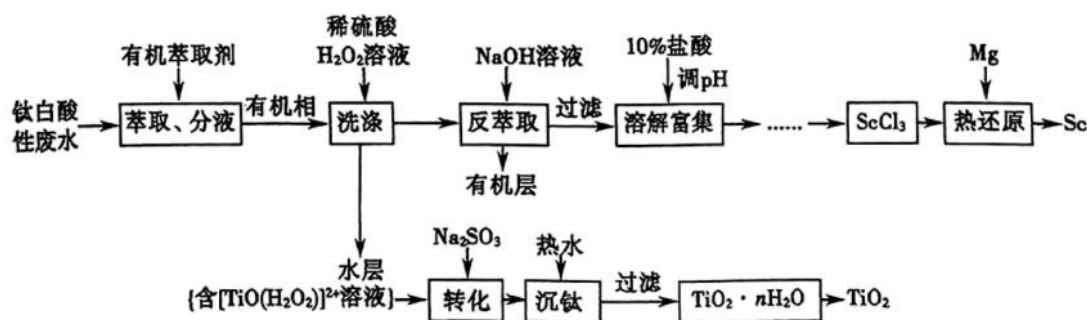
【小问 5 详解】

系列操作后得到硫酸锰的水合结晶和母液，则该操作为蒸发浓缩、冷却结晶、过滤，用到的玻璃仪器为酒精灯、烧杯、玻璃棒、漏斗。

【小问 6 详解】

硫酸锰和碳酸氢铵反应生成碳酸锰沉淀、水、二氧化碳和硫酸铵，故滤液 1 为硫酸铵溶液，可循环到过滤 I 中使用。

6. (2025 聊城三模, 18) 钪(Sc)是一种在国防、航空航天、核能等领域具有重要作用的稀土元素。钪的价格昂贵，在地壳里的含量只有 0.0005%，化学性质非常活泼。以钛白酸性废水(主要含 TiO^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Sc^{3+})为原料制备 Sc 及 TiO_2 的工艺流程如图所示。



已知：① 25°C 时， $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 2.8 \times 10^{-39}$ ， $K_{\text{sp}}[\text{Sc}(\text{OH})_3] = 1.0 \times 10^{-30}$ ， $\lg 5 = 0.7$ ， $\lg 7 = 0.8$ 。

②氢氧化钪 $\text{Sc}(\text{OH})_3$ 是白色固体，难溶于水，其化学性质与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 相似； Sc^{3+} 易形成八面体形的配离子。

③常温下，两相平衡体系中，被萃取物在有机层和水层中的物质的量浓度之比称为分配比(D)，如 $D = \frac{c_{\text{有机相}}(\text{Sc})}{c_{\text{水相}}(\text{Sc})}$ ，

$$\text{Sc 萃取率} = \frac{n_{\text{有机相}}(\text{Sc})}{n_{\text{总}}(\text{Sc})} \times 100\%。$$

(1) 有机萃取剂可选用有机磷萃取剂，通过 $3\text{ROH} + \text{POCl}_3 \rightleftharpoons (\text{RO})_3\text{PO} + 3\text{HCl}$ 制得有机磷萃取剂 $(\text{RO})_3\text{PO}$ ，

其中 $-\text{R}$ 代表烃基， $-\text{R}$ 不同， $(\text{RO})_3\text{PO}$ 产率也不同。当 $-\text{R}$ 为 “ $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ ” 时， $(\text{RO})_3\text{PO}$ 产率_____ (填

“大于”、“小于”或“等于”) $-\text{R}$ 为 “ $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ” 时，请从结构的角分析原因_____。

(2) “反萃取” 时若加入的氢氧化钠溶液过量， $\text{Sc}(\text{OH})_3$ 沉淀会溶解。写出 $\text{Sc}(\text{OH})_3$ 与过量 NaOH 溶液反应的

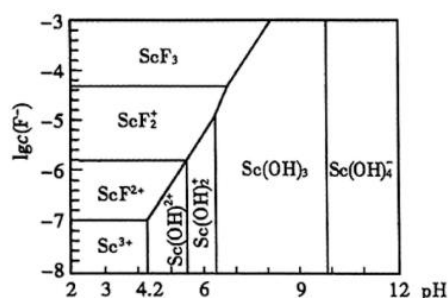
离子方程式：_____。

(3) 用“10% 盐酸调 pH”，过滤，滤液中 Sc^{3+} 的浓度为 1mol/L ，则调 pH 的范围是_____。

(4) 某工厂取 1000L Sc^{3+} 总浓度为 50mg/L 的废酸液，加入 500L 某萃取剂，若 $D=12$ ，则单次萃取率为_____(保留一位小数)。

(5) 写出“沉钛”过程中离子反应方程式_____。

(6) 常温下，三价 Sc 的部分存在形式与氟离子浓度的对数 $[\lg c(\text{F}^-)]$ 、pH 的关系如图所示。若溶液中 $c(\text{F}^-) = 5 \times 10^{-6}\text{mol/L}$ ，“调 pH”过程中控制 pH=7，则调节 pH 后三价 Sc 的存在形式为_____(填化学式)。

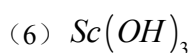
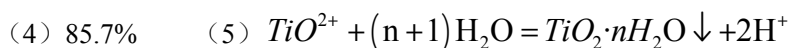


【答案】(1) ①. 大于 ②. “ $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ”的推电子能力强于“ $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ ”，导致结合的 O—H 键

更难断裂，使 $(\text{RO})_3\text{PO}$ 的产率降低



(3) $3 \leq \text{pH} < 4$



【解析】

【分析】利用钛白酸性废水(主要含 TiO^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Sc^{3+})为原料制备 Sc 及 TiO_2 的工艺流程为：将钛白酸性废水加入有机溶剂进行萃取、分液后得到有机相，将有机相用稀 H_2SO_4 和 H_2O_2 溶液进行洗涤，分液后得到含 Sc 元素的而有机相，加 NaOH 溶液进行反萃取得到 $\text{Sc}(\text{OH})_3$ 沉淀，过滤加稀盐酸调节 pH 溶解富集，经过一系列处理得到 ScCl_3 ，加入单质 Mg 对 ScCl_3 进行热还原得到单质 Sc；另一边对洗涤后得到的含 $[\text{TiO}(\text{H}_2\text{O}_2)]^{2+}$ 水层溶液，加 Na_2SO_3 还原转化，再用热水进行沉钛得到 $\text{TiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$ ，最后加热脱去结晶水得到产品 TiO_2 ，据此分析解答。

【小问 1 详解】

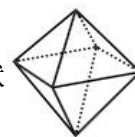
随着碳原子数增加，“ $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ”的推电子能力强于“ $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ ”，导致结合的 O—H 键更难断裂，不利于反应 $3\text{ROH} + \text{POCl}_3 \rightleftharpoons (\text{RO})_3\text{PO} + 3\text{HCl}$ 的正向进行，使 $(\text{RO})_3\text{PO}$ 的产率降低，所以当—R 为“ $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ ”

时, $(RO)_3PO$ 产率大于—R 为 “ $-CH_2CH_2CH_3$ ” 时。

【小问 2 详解】

根据题干信息, $Sc(OH)_3$ 难溶于水, 其化学性质与 $Al(OH)_3$ 相似, 则在 “反萃取” 时若加入的氢氧化钠溶液过量,

$Sc(OH)_3$ 沉淀会溶解, 同时要使 Sc^{3+} 形成八面体形的配离子, 根据八面体形状



可知至少需要配体为 6

才能满足, 则反应的离子方程式为: $Sc(OH)_3 + 3OH^- = [Sc(OH)_6]^{3-}$ 。

【小问 3 详解】

用 “10% 盐酸调 pH” 时, 沉淀主要含 $Fe(OH)_3$ 和 $Sc(OH)_3$, 加盐酸时只溶解 $Sc(OH)_3$ 而不能溶解 $Fe(OH)_3$,

滤液中 Sc^{3+} 的浓度为 1mol/L 时, 根据:

$$K_{sp}[Sc(OH)_3] = c(Sc^{3+}) \cdot c^3(OH^-) \Rightarrow c^3(OH^-) = \frac{K_{sp}[Sc(OH)_3]}{c(Sc^{3+})} = \frac{1.0 \times 10^{-30}}{1} = 1.0 \times 10^{-30} \Rightarrow c(OH^-) = 1.0 \times 10^{-10} \text{mol/L}^{-1}, \text{ 得到此时溶液的}$$

pH 值为 4; 当 $Fe(OH)_3$ 刚好溶解时, 即 $c(Fe^{3+}) = 1 \times 10^{-5} \text{mol/L}^{-1}$, 根据:

$$K_{sp}[Fe(OH)_3] = c(Fe^{3+}) \cdot c^3(OH^-) \Rightarrow c^3(OH^-) = \frac{K_{sp}[Fe(OH)_3]}{c(Fe^{3+})} = \frac{2.8 \times 10^{-39}}{1 \times 10^{-5}} = 2.8 \times 10^{-34}, \text{ 解得}$$

$c(OH^-) = 0.65 \times 10^{-11} \text{mol/L}^{-1}$, 此时溶液的 pH 值约等于 3; 则应调节的 pH 范围为: $3 \leq pH < 4$ 。

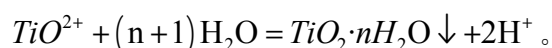
【小问 4 详解】

根据已知 Sc 萃取率 = $\frac{n_{\text{有机相}}(Sc)}{n_{\text{总}}(Sc)} \times 100\% = \frac{D \times V_{\text{有机}}}{D \times V_{\text{有机}} + V_{\text{水}}} \times 100\%$, 代入 $D=12$ 、 $V_{\text{有机}} = 500\text{L}$ 、 $V_{\text{水}} = 1000\text{L}$ 解

$$\text{得 } Sc \text{ 萃取率} = \frac{12 \times 500}{12 \times 500 + 1000} \times 100\% = \frac{6000}{7000} \times 100\% = 85.7\%。$$

【小问 5 详解】

沉钛过程为 TiO^{2+} 与水反应得到 $TiO_2 \cdot nH_2O$ 沉淀, 则反应的离子方程式为:

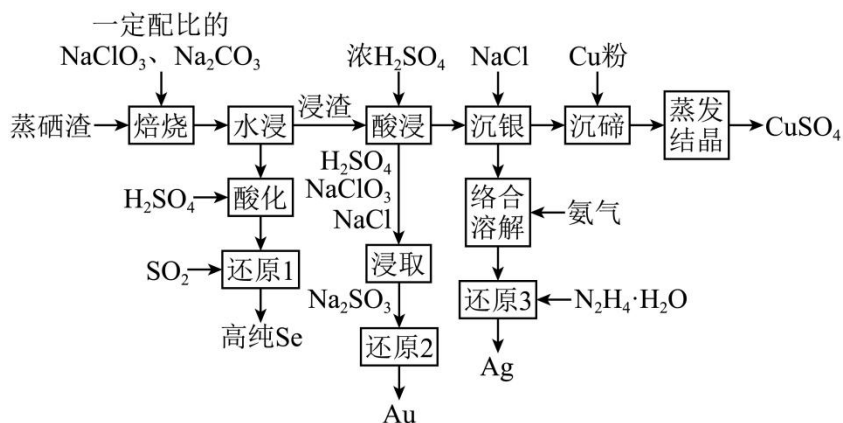


【小问 6 详解】

当溶液中 $c(F^-) = 5 \times 10^{-6} \text{mol/L}$, 此时的 $\lg c(F^-) = \lg(5 \times 10^{-6}) = -5.3$, 当调 “pH” 过程中控制 $pH=7$ 时, 根

据图形得到在 $(7, -5)$ 区间三价 Sc 的存在形式为: $Sc(OH)_3$ 。

7. (2025 济宁三模, 19) 稀贵金属被广泛应用于冶金、军事工业等领域。下图是一种从蒸硒渣(主要成分为 Au 、 SeS 、 Cu_2S 、 $CuSe$ 、 $AgTe_3$)中提取稀贵金属的工艺流程。



已知：①Se、Te 元素焙烧后的产物为 Na_2SeO_3 、 Na_2TeO_3 ；

② Ag_2SO_4 可溶于浓硫酸。

回答下列问题：

- (1) 提高“焙烧”效率，可采取的措施有_____。
- (2) “还原1”中氧化剂与还原剂的物质的量之比为_____。
- (3) “浸取”时，单质 Au 反应生成可溶性的配位化合物 NaAuCl_4 ，在 NaAuCl_4 中 Au 元素的化合价为_____，该反应的离子方程式为_____。
- (4) “络合溶解”时，发生反应的离子方程式为 $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^-$ ，该反应的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。{已知： $\text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ $K = 2 \times 10^7$ ， $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$ }
- (5) “还原3”工序中生成的气体可以循环到_____工序中再利用，每生成 1mol Ag ，需要消耗_____ $\text{g N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

【答案】(1) 将蒸硒渣粉碎或适当提高焙烧温度

(2) 1:2

(3) ①. +3 ②. $2\text{Au} + \text{ClO}_3^- + 7\text{Cl}^- + 6\text{H}^+ = 2\text{AuCl}_4^- + 3\text{H}_2\text{O}$

(4) 3.6×10^{-3}

(5) ①. 络合溶解 ②. 12.5

【解析】

【分析】本题为提炼稀贵金属的工业流程题，首先将蒸硒渣在一定配比的碳酸钠和氯酸钠作用下焙烧，此时 Se、Te 元素焙烧后的产物为 Na_2SeO_3 、 Na_2TeO_3 ；水浸后的滤液用硫酸酸化后用二氧化硫还原制备 Se；而滤渣用硫酸浸取后可以分别得到 Au、Ag 和硫酸铜，以此解题。

【小问1 详解】

从反应速率的影响因素考虑可知，提高“焙烧”效率，可采取的措施有：将蒸硒渣粉碎或适当提高焙烧温度；

【小问2 详解】

Se、Te 元素焙烧后的产物为 Na_2SeO_3 、 Na_2TeO_3 ，“还原 1”步骤还原剂为 SO_2 ，反应为：

$\text{Na}_2\text{SeO}_3 + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Se} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ，同理 $\text{Na}_2\text{TeO}_3 + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Te} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ，其中，氧化剂是 Na_2SeO_3 、 Na_2TeO_3 ，（Se、Te 被还原），还原剂是 SO_2 （S 被氧化），物质的量之比为 1：2。

【小问 3 详解】

NaAuCl_4 是配位化合物， $[\text{AuCl}_4]^-$ 离子中 Cl 为 -1 价，整体电荷 -1，因此 Au 的化合价为 +3；该反应中 Au 被氯酸根氧化，同时被还原为氯离子，最终形成配离子，方程式为： $2\text{Au} + \text{ClO}_3^- + 7\text{Cl}^- + 6\text{H}^+ = 2\text{AuCl}_4^- + 3\text{H}_2\text{O}$ ；

【小问 4 详解】

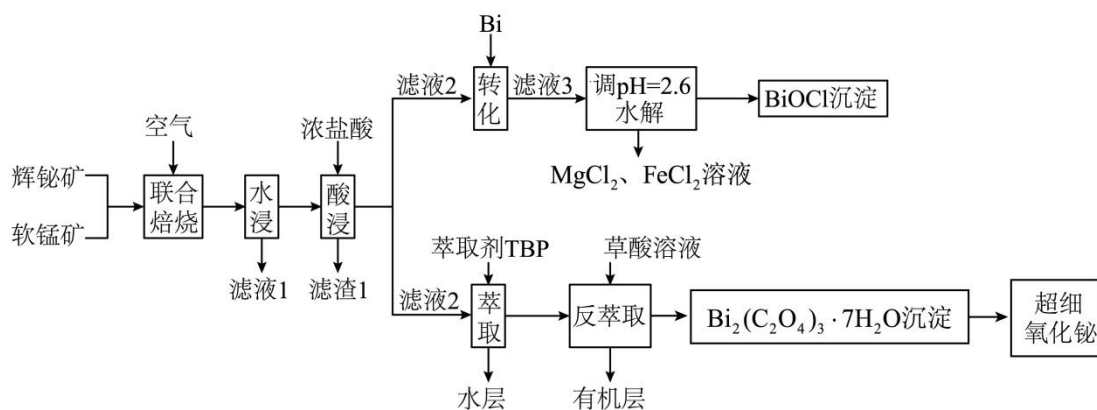
反应 $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^-$ 可以拆分为 $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ 和

$\text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ，则总反应平衡常数 $K = K_{\text{sp}} \times K_1 = 1.8 \times 10^{-10} \times 2 \times 10^7 = 3.6 \times 10^{-3}$ ；

【小问 5 详解】

“还原 3”中用 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 还原 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 生成 Ag 和 N_2 ，反应方程式为：
 $4[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} = 4\text{Ag} \downarrow + \text{N}_2 \uparrow + 4\text{NH}_4^+ + 4\text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ ，生成的 NH_3 可循环至“络合溶解”工序(用于溶解 AgCl 生成 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ，根据电子守恒， $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 中 N 元素 (-2 → 0) 每分子失去 $4e^-$ ， $1\text{mol Ag}^+ (+1 \rightarrow 0)$ 得到 $1e^-$ ，故 $4n(\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = n(\text{Ag}) \times 1$ 则 $n(\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{4}\text{mol}$ ， $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的摩尔质量为 50g/mol ，故质量为 $\frac{1}{4}\text{mol} \times 50\text{g/mol} = 12.5\text{g}$ 。

8.（2025 德州三模，17）以辉铋矿(主要成分为 Bi_2S_3 ，含有 FeS_2 、 SiO_2 杂质)和软锰矿(主要成分为 MnO_2)为原料联合制取氯化铋(BiOCl)、超细氧化铋(Bi_2O_3)和二氧化锰(MnO_2)的工艺流程如下：



已知：① Bi^{3+} 易与 Cl^- 形成 BiCl_6^{3-} ， BiCl_6^{3-} 可以发生水解生成 BiOCl 。

② $2\text{BiOCl}(\text{白色}) + 2\text{OH}^- \xrightarrow{\Delta} 2\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{Bi}_2\text{O}_3(\text{黄色})$ 。

(1) “联合焙烧”时， Bi_2S_3 和 MnO_2 在空气中反应生成 Bi_2O_3 和 MnSO_4 。则反应过程中氧化剂是_____。

(2) “酸浸”时发生的主要反应的离子方程式为_____；若要提高“酸浸”的金属浸出率，可采取的措施为_____ (写一条即可)。

(3) 若进行“转化”操作不加入金属 Bi 导致的结果是_____。

(4) “萃取”时的原理可表示为： BiCl_6^{3-} (水层) + n TBP (有机层) $\rightleftharpoons$ $\text{BiCl}_3 \cdot \text{nTBP}$ (有机层) + 3Cl^- (水层)，则“反萃取”时发生的化学方程式为_____。

(5) 向 a g 含少量 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 杂质的 BiOCl 粗品中边搅拌边分批加入足量稀 H_2SO_4 ，充分反应后静置，过滤，洗涤沉淀；将沉淀浸入过量 NaOH 溶液，加热并充分搅拌至固体颜色不再变化后过滤、洗涤、干燥、称量得 b g 产物。

①检验沉淀洗涤干净的操作_____，

② BiOCl 粗品中 BiOCl 的纯度为_____。

【答案】 (1) MnO_2 、 O_2

(2) ①. $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 12\text{Cl}^- = 2\text{BiCl}_6^{3-} + 3\text{H}_2\text{O}$ ②. 适当升高温度、搅拌或粉碎滤渣等

(3) 调节 $\text{pH} = 2.6$ 时生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀，使生成的 BiOCl 含有 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 杂质

(4) $2\text{BiCl}_3 \cdot \text{nTBP} + 3\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 7\text{H}_2\text{O} = \text{Bi}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + 2\text{nTBP} + 6\text{HCl}$

(5) ①. 向最后一次洗涤后的滤液中滴加 BaCl_2 溶液不再出现白色沉淀 ②. $\frac{521b}{466a} \times 100\%$

【解析】

【分析】辉铋矿和软锰矿联合焙烧时， Bi_2S_3 和 MnO_2 在空气中反应生成 Bi_2O_3 和 MnSO_4 ， FeS_2 转化为氧化铁，水浸后过滤，滤渣中加浓盐酸酸浸后过滤，滤渣 1 为不反应的 SiO_2 ，将滤液分成两份，其中一份中加金属铋转化，铋和铁离子发生氧化还原反应生成亚铁离子和 BiCl_6^{3-} ，然后调节溶液 $\text{pH} = 2.6$ ，使 BiCl_6^{3-} 水解生成 BiOCl ；另一份加萃取剂 TBP，使铁离子和 BiCl_6^{3-} 分离，分液，有机相再加草酸溶液反萃取，最终得到超细氧化铋；

【小问 1 详解】

“联合焙烧”时， Bi_2S_3 和 MnO_2 在空气中反应生成 Bi_2O_3 和 MnSO_4 ，反应的化学方程式为

$2\text{Bi}_2\text{S}_3 + 6\text{MnO}_2 + 9\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Bi}_2\text{O}_3 + 6\text{MnSO}_4$ ，反应过程中 O 元素的化合价由 0 价降至 -2 价，二氧化锰中锰元素的化合

价由 +4 降低为 +2，则氧化剂是 MnO_2 、 O_2 ；

【小问 2 详解】

已知： Bi^{3+} 易与 Cl^- 形成 BiCl_6^{3-} ，则“酸浸”时发生的主要反应为 Bi_2O_3 和盐酸生成 BiCl_6^{3-} 和水，离子方程式为

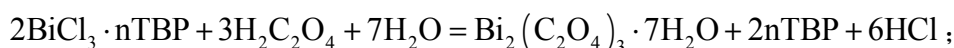
$\text{Bi}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 12\text{Cl}^- = 2\text{BiCl}_6^{3-} + 3\text{H}_2\text{O}$ ；若要提高“酸浸”的金属浸出率，可采取的措施为适当升高温度、搅拌或粉碎滤渣等；

【小问 3 详解】

由分析可知，转化加入金属 Bi 的作用是将铁离子转化为亚铁离子，避免形成氢氧化铁沉淀，从而保证 BiOCl 的纯度；若进行“转化”操作不加入金属 Bi 导致的结果是调节 $\text{pH} = 2.6$ 时生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀，使生成的 BiOCl 含有 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 杂质；

【小问 4 详解】

“萃取”时的原理可表示为： BiCl_6^{3-} (水层) + n TBP (有机层) $\rightleftharpoons$ $\text{BiCl}_3 \cdot \text{nTBP}$ (有机层) + 3Cl^- (水层)，则“反萃取”时发生反应为加入草酸，草酸和有机层中 $\text{BiCl}_3 \cdot \text{nTBP}$ 反应转化为 $\text{Bi}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 沉淀而脱离有机层，同时生成 HCl 和 TBP，“反萃取”时发生的化学方程式为：



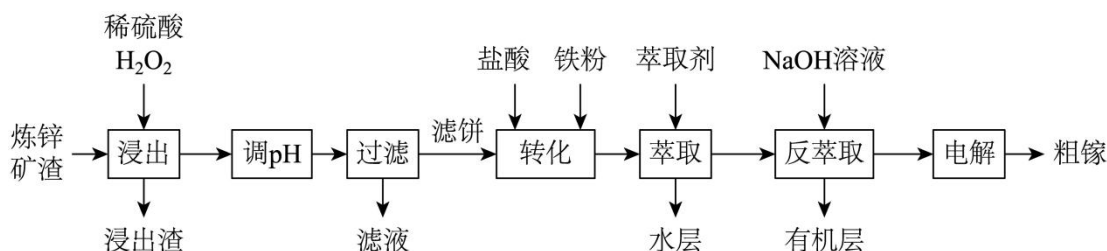
【小问 5 详解】

①检验沉淀洗涤干净就是检验最后一次洗涤液中是否含有硫酸根离子，硫酸根离子和钡离子生成不溶于酸的硫酸钡沉淀，故操作为：向最后一次洗涤后的滤液中滴加 BaCl_2 溶液不再出现白色沉淀；

②已知存在反应 $2\text{BiOCl}(\text{白色}) + 2\text{OH}^- \xrightarrow{\Delta} 2\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{Bi}_2\text{O}_3(\text{黄色})$ ，沉淀浸入过量 NaOH 溶液，加热并充分搅拌至固体颜色不再变化后过滤、洗涤、干燥、称量得 bg 产物 Bi_2O_3 ，结合 Bi 元素守恒，BiOCl 粗品中 BiOCl 的纯度

$$\text{为: } \frac{\frac{\text{bg}}{466\text{g/mol}} \times 2 \times 260.5\text{g/mol}}{\text{ag}} \times 100\% = \frac{521\text{b}}{466\text{a}} \times 100\% .$$

9. （2025 烟台三模，18）金属镓被称为“电子工业脊梁”，是用于制造半导体的材料。利用炼锌矿渣[主要含铁酸锌 ZnFe_2O_4 ，铁酸镓 $\text{Ga}_2(\text{Fe}_2\text{O}_4)_3$ 、 SiO_2 及少量铁]制备 Ga 的工艺流程如下图：



已知：① $\text{Fe}_2\text{O}_4^{2-}$ 在酸性条件下不稳定，易转化为 Fe^{3+} 。

②常温下，浸出液中各离子的浓度及其开始形成氢氧化物沉淀的 pH(离子浓度 $\leq 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，认为沉淀完全)和金属离子在该工艺条件下的萃取率见下表：

金属离子	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Zn^{2+}	Ga^{3+}

开始沉淀的 pH	8.0	1.7	5.5	3.0
沉淀完全的 pH	9.6	3.2	8.0	4.9
萃取率%	0	99	0	97~98.5

回答下列问题：

(1) “酸浸”时温度不宜过高，原因是_____。

(2) 浸出液“调 pH”的范围是_____；若滤液 pH 为 5.4，则滤液中残留的 Fe^{3+} 的浓度为_____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ；

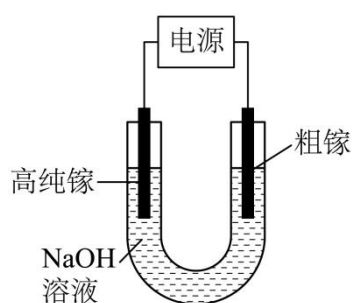
“转化”过程加入铁粉的目的是_____。

(3) 已知：一定温度下，溶质在平衡共存的两液相中的分配系数为 k $\left[k = \frac{c(\text{有机相中溶质})}{c(\text{水相中溶质})} \right]$ 。分别用与原溶液

等体积的萃取剂依次萃取两次后，水层中 Ga 元素的残留率为_____ [用含 k 的代数式表示，残留率

$$\frac{c(\text{最后水相中溶质})}{c(\text{初始溶液中溶质})}]。$$

(4) 电解法可以提纯粗镓，原理如图所示：①粗镓与电源_____极相连(填“正”或“负”)。②镓溶解生成的 Ga^{3+} 与 NaOH 溶液反应生成 $[\text{Ga}(\text{OH})_4]^-$ ，则高纯镓电极反应式为_____。



【答案】 (1) 防止 H_2O_2 受热分解

(2) ①. $4.9 \leq \text{pH} < 5.5$ ②. $1 \times 10^{-11.6}$ ③. 将 Fe^{3+} 转化为 Fe^{2+} ，避免 Fe^{3+} 被萃取

(3) $\frac{1}{(1+k)^2}$

(4) ①. 正 ②. $[\text{Ga}(\text{OH})_4]^- + 3\text{e}^- = \text{Ga} + 4\text{OH}^-$

【解析】

【分析】炼锌矿渣[主要含铁酸锌 ZnFe_2O_4 ，铁酸镓 $\text{Ga}_2(\text{Fe}_2\text{O}_4)_3$ 、 SiO_2 及少量铁]加稀硫酸和 H_2O_2 浸出，溶液中主要含有的金属阳离子为： Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Ga^{3+} ，难溶性矿渣 SiO_2 经过过滤得到浸出渣，滤液调节 pH 后将 Fe^{3+} 、 Ga^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 沉淀，过滤后向沉淀中加盐酸和铁粉后，加萃取剂萃取，目的是分离铁元素和镓元素，加 Fe 的目的是将 Fe^{3+} 转化为 Fe^{2+} ，便于与 Ga^{3+} 分离，水层含 Fe^{2+} ；再经过 NaOH 反萃取获得含

Ga^{3+} 的溶液，经电解得到 Ga。

【小问 1 详解】

“酸浸”时加入了 H_2O_2 ，温度过高， H_2O_2 受热分解，因此“酸浸”时温度不宜过高。

【小问 2 详解】

浸出液“调 pH”的目的是将 Fe^{3+} 、 Ga^{3+} 完全转化为 $Fe(OH)_3$ 、 $Ga(OH)_3$ 沉淀，而 Zn^{2+} 不沉淀，因此溶液的 pH 范围是 $4.9 \leq pH < 5.5$ ； Fe^{3+} 恰好沉淀时的浓度为 $1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，此时溶液 pH 为 3.2， $c(OH^-) = 10^{-10.8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，可计算出 $K_{sp}[Fe(OH)_3] = c(Fe^{3+})c^3(OH^-) = 10^{-5} \times (10^{-10.8})^3 = 1 \times 10^{-37.4}$ ，滤液 pH 为 5.4， $c(OH^-) = 1 \times 10^{-8.6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，

则此时滤液中残留的 Fe^{3+} 的浓度为 $\frac{K_{sp}[Fe(OH)_3]}{c^3(OH^-)} = \frac{1 \times 10^{-37.4}}{(1 \times 10^{-8.6})^3} = 1 \times 10^{-11.6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ；根据表格信息可知，萃取剂

对于 Fe^{3+} 、 Ga^{3+} 的萃取率较高、而对于 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 的萃取率无萃取作用，因此在“转化”过程加入铁粉的目的是将 Fe^{3+} 转化为 Fe^{2+} ，避免 Fe^{3+} 被萃取。

【小问 3 详解】

假设 Ga 元素初始浓度为 c_0 ，第一次萃取后有机相中 Ga 元素初始浓度为 c_1 、水相中 Ga 元素初始浓度为 c_2 ，第二次萃取后有机相中 Ga 元素初始浓度为 c_3 、水相中 Ga 元素初始浓度为 c_4 ，由于加入萃取剂体积等于原溶液体积（假设体积为 V ），根据 Ga 物质的量守恒有： $c_0V = c_1V + c_2V$ 、 $c_2V = c_3V + c_4V$ ，则

$c_0 = c_1 + c_3 + c_4 = kc_2 + c_3 + c_4 = k(c_3 + c_4) + c_3 + c_4 = (1+k)(c_3 + c_4) = (1+k)(kc_4 + c_4) = (1+k)^2 c_4$ ，水层中 Ga 元素的

残留率为 $\frac{c_4}{c_0} = \frac{1}{(1+k)^2}$ 。

【小问 4 详解】

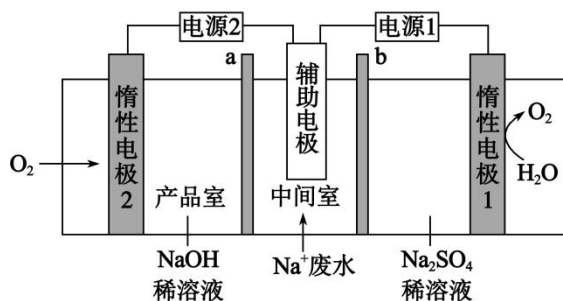
①粗镓在电解中失电子溶解进入溶液，在电解池中作为阳极，与电源正极相连；

②镓溶解生成的 Ga^{3+} 与 NaOH 溶液反应生成 $[Ga(OH)_4]^-$ ，电解池阴极（高纯镓）中 $[Ga(OH)_4]^-$ 得电子生成 Ga，电极反应式为 $[Ga(OH)_4]^- + 3e^- = Ga + 4OH^-$ 。

第四部分 化学反应原理

一、电化学

1. (2025 淄博三模, 12) (不定项) 从废水中回收钠的装置如图所示, 辅助电极材料可选择性吸附 Na^+ 转化为 NaMO_2 , 脱出 Na^+ 转化为 $\text{Na}_{1-x}\text{MO}_2$ (M 为过渡金属)。下列说法错误的是



- A. 交换膜 a、b 应选用阴离子交换膜
B. 吸附 Na^+ 时应接通电源 2, 关闭电源 1
C. 脱出 Na^+ 时中间室电极反应式为 $\text{NaMO}_2 - x\text{e}^- = \text{Na}_{1-x}\text{MO}_2 + x\text{Na}^+$
D. 理论上, 产品室每生成 8 g NaOH, 惰性电极 1 上生成 O_2 体积为 1.12 L(标准状况)

【答案】AB

【解析】

【分析】废水回收钠的工作原理为第一步接通电源 1, 与直流电源正极相连的惰性电极 1 为阳极, 水在阳极失去电子发生氧化反应生成氧气和氢离子, 电极反应式为: $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$, 中间室材料为阴极, $\text{Na}_{1-x}\text{MO}_2$ 在阴极得到电子发生还原反应生成 NaMO_2 , 阴极电极反应式为 $\text{Na}_{1-x}\text{MO}_2 + x\text{Na}^+ + x\text{e}^- = \text{NaMO}_2$, 钠离子通过阳离子交换膜由阳极室进入阴极室; 第二步接通电源 2, 与直流电源正极相连的中间室材料为阳极, NaMO_2 在阳极失去电子发生氧化反应生成 $\text{Na}_{1-x}\text{MO}_2$, 阳极电极反应式为 $\text{NaMO}_2 - x\text{e}^- = \text{Na}_{1-x}\text{MO}_2 + x\text{Na}^+$, 惰性电极 2 为阴极, 水分子作用下氧气在阴极得到电子发生还原反应生成氢氧根离子, 阴极电极反应式 $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$, 钠离子通过阳离子交换膜由中间室进入产品室, 从而达到使废水中的钠离子最终以氢氧化钠的形式被回收的目的, 据此分析;

【详解】A. 根据分析可知, 交换膜 a、b 应选用阳离子交换膜, A 错误;

B. 吸附 Na^+ 时, $\text{Na}_{1-x}\text{MO}_2$ 在阴极得到电子发生还原反应生成 NaMO_2 , 阴极电极反应式为

$\text{Na}_{1-x}\text{MO}_2 + x\text{Na}^+ + x\text{e}^- = \text{NaMO}_2$, 应接通“电源 1”, B 错误;

C. 脱出钠时, NaMO_2 转化为 $\text{Na}_{1-x}\text{MO}_2$, M 元素化合价升高, 发生氧化反应, 电极反应式为

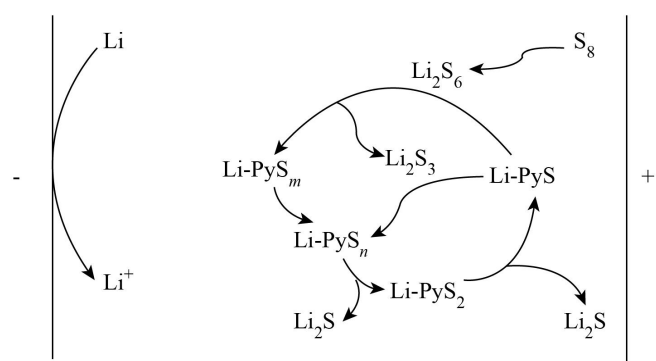
$\text{NaMO}_2 - x\text{e}^- = \text{Na}_{1-x}\text{MO}_2 + x\text{Na}^+$, C 正确;

D. 惰性电极 2 为阴极, 水分子作用下氧气在阴极得到电子发生还原反应生成氢氧根离子, 电极反应式

$2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$ ，钠离子通过阳离子交换膜由中间室进入产品室，生成 8g (即 0.2mol) NaOH，转移 0.2mol 电子，惰性电极 1 上发生反应 $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$ ，根据电子守恒，生成 O_2 的物质的量为 0.05mol，标准状况下体积为 $0.05\text{mol} \times 22.4\text{L/mol} = 1.12\text{L}$ ，D 正确；

故选 AB。

2. (2025 德州三模, 12) (不定项) 硫锂电池具有高能量密度且价格低廉。一种添加有机电解质的新型硫锂电池，添加剂 4-巯基吡啶(4MPy)可先在体系中转化为吡啶硫醇锂(Li-PyS)，其后放电过程的工作原理如图所示。设 N_A 为阿伏加德罗常数的值。下列叙述正确的是



- A. 放电过程中的催化剂为 4MPy
- B. 若 Li-PyS 与 Li_2S_6 反应的物质的量之比为 1 : 1，则 Li-PyS_m 中的 m 为 5
- C. 1mol Li-PyS_n 完全转化为 Li-PyS₂，理论上得到电子数目为 $(2n-4)N_A$
- D. 正极总的电极反应式可表示为 $\text{S}_8 - 16\text{e}^- + 16\text{Li}^+ = 8\text{Li}_2\text{S}$

【答案】C

【解析】

【分析】放电过程中，右侧 Li-PyS 先消耗再生成，为催化剂，正极上 S_8 最终还原为 Li_2S ，负极上 Li 氧化为 Li^+ 。

【详解】A. 放电过程中，右侧 Li-PyS 先消耗再生成，为催化剂，A 错误；

B. 若 Li-PyS 与 Li_2S_6 反应的物质的量之比为 1 : 1，即 $\text{Li-PyS} + \text{Li}_2\text{S}_6 = \text{Li}_2\text{S}_3 + \text{Li-PyS}_4$ ，m 为 4，B 错误；

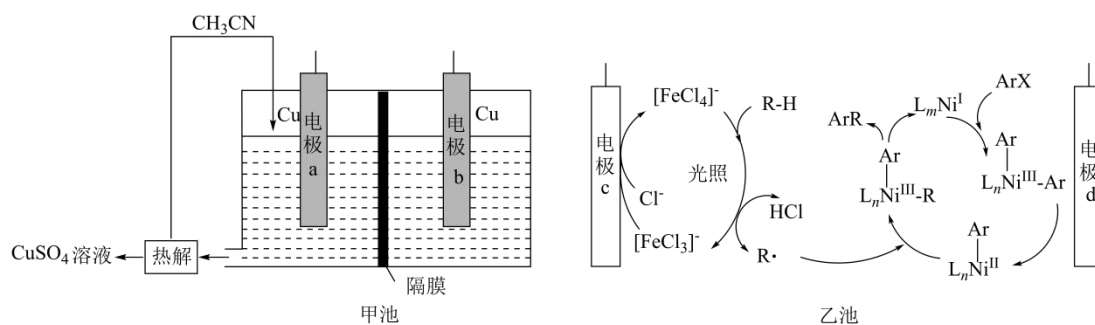
C. Li-PyS_n 转化为 Li-PyS₂： $\text{Li-PyS}_n + (2n-4)\text{e}^- = \text{Li-PyS}_2 + (n-2)\text{S}^{2-}$ ，则 1mol Li-PyS_n 完全转化为 Li-PyS₂，理论上得到电子数目为 $(2n-4)N_A$ ，C 正确；

D. 正极发生得电子的还原反应，正极总的电极反应式可表示为 $\text{S}_8 + 16\text{e}^- + 16\text{Li}^+ = 8\text{Li}_2\text{S}$ ，D 错误；

故选 C。

3. (2025 日照三模, 12) (不定项) 以相同浓度的 CuSO_4 为电解液的热再生乙腈电池，在光电条件下，可实现烃的偶联反应，向甲池左侧加入乙腈后，装置开始工作。已知：-R、-Ar 分别代表烷基和芳香基，X 代表卤素原子；

$\text{Cu}^{2+} + 4\text{CH}_3\text{CN} = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^{2+}$ ；乙池中部分产物未标出。下列说法错误的是



- A. 电极 b 连接电极 c
- B. a 电极反应式为 $\text{Cu} - 2\text{e}^- + 4\text{CH}_3\text{CN} = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^{2+}$
- C. 乙池反应每生成 1mol 非极性键，b 极质量增加 64g
- D. 甲池隔膜为阴离子交换膜

【答案】C

【解析】

【分析】由图，甲池中 a 电极上铜失去电子被氧化发生反应： $\text{Cu} - 2\text{e}^- = \text{Cu}^{2+}$ ，然后铜离子转化为 $[\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^{2+}$ ： $\text{Cu}^{2+} + 4\text{CH}_3\text{CN} = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^{2+}$ ，总反应为： $\text{Cu} - 2\text{e}^- + 4\text{CH}_3\text{CN} = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^{2+}$ ，a 为负极，b 为正极铜离子得到电子被还原： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$ ；乙池中 c 电极发生氧化反应： $[\text{FeCl}_3]^- - \text{e}^- + \text{Cl}^- = [\text{FeCl}_4]^-$ ，c 为阳极，则 d 为阴极；

【详解】A. 电源正极连接电解池阳极，则电极 b 连接电极 c，A 正确；

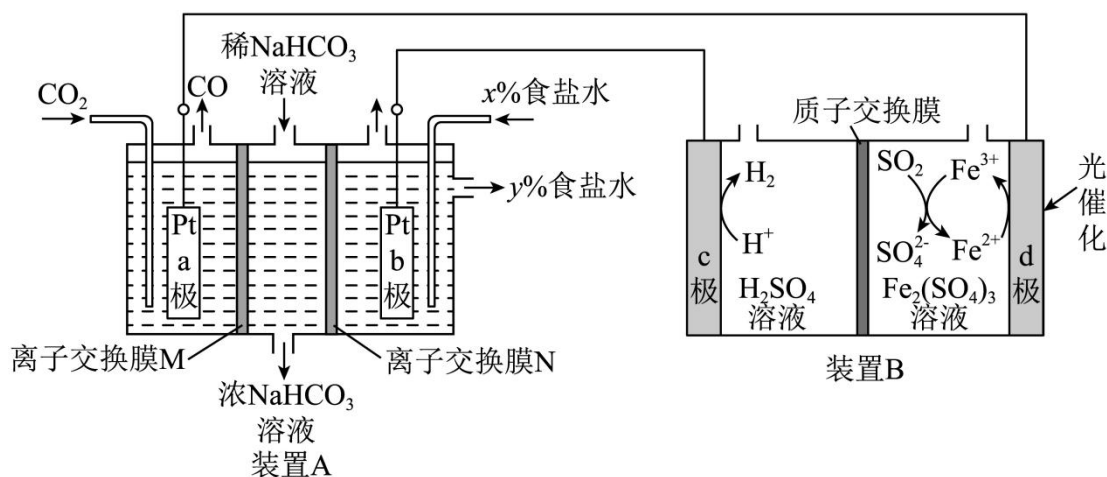
B. 由分析，a 电极总反应式为 $\text{Cu} - 2\text{e}^- + 4\text{CH}_3\text{CN} = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^{2+}$ ，B 正确；

C. 由图，乙池中生成 ArR 过程中形成 1 个碳碳非极性键时存在 1 电子转移，则乙池反应每生成 1mol 非极性键，转移 1mol 电子，b 极生成 0.5mol 铜单质，质量增加 32g，C 错误；

D. 结合分析，甲池中右侧硫酸根离子移向左侧负极，则隔膜为阴离子交换膜，D 正确；

故选 C。

4. （2025 威海三模，12）（不定项）我国科学家在光电催化—化学耦合烟气脱硫并实现 CO_2 的资源化利用与电能储存的研究中取得重大突破，其工作原理如图所示。下列说法正确的是



- A. 电极 a 的电极反应式： $\text{CO}_2 + 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 2\text{OH}^-$
- B. 装置 A 食盐水中 NaCl 质量分数： $x\% < y\%$
- C. 离子交换膜 N 为阴离子交换膜
- D. 每吸收 1mol SO_2 ，理论上装置 B 的总质量增加 62g

【答案】D

【解析】

【分析】装置 B 中，d 极 $2\text{Fe}^{2+} - 2\text{e}^- = 2\text{Fe}^{3+}$ ，作原电池的负极；c 极 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$ ，作原电池的正极，则装置 B 为原电池。装置 A 为电解池，a 极与电源的负极相连，作电解池的阴极，在该电极， CO_2 得电子产物与电解质反应生成 CO 和 HCO_3^- ，电极反应式为 $3\text{CO}_2 + 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 2\text{HCO}_3^-$ ；b 极与电源正极相连，为电解池的阳极，食盐水中的 Cl^- 失电子生成 Cl_2 ，电极反应式为 $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2\uparrow$ 。装置 A 中，左侧 HCO_3^- 透过离子交换膜 M 进入中间盛有 NaHCO_3 溶液室，右侧 Na^+ 透过离子交换膜 N 进入中间盛有 NaHCO_3 溶液室，使 NaHCO_3 溶液由稀变浓，食盐水由浓变稀；离子交换膜 M 为阴膜，离子交换膜 N 为阳膜。

【详解】A. 由分析可知，电极 a 为阴极， CO_2 得电子产物与电解质反应生成 CO 和 HCO_3^- ，电极反应式：

$3\text{CO}_2 + 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 2\text{HCO}_3^-$ ，A 不正确；

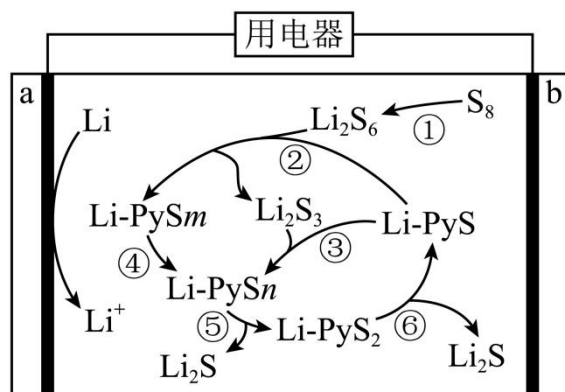
B. 装置 A 中，食盐水中 Cl^- 失电子生成 Cl_2 从溶液中逸出， Na^+ 透过阳离子交换膜 N 进入中间 NaHCO_3 溶液室，从而使 NaCl 溶液由浓变稀，所以 NaCl 质量分数： $x\% > y\%$ ，B 不正确；

C. 由分析可知， Na^+ 能透过离子交换膜 N，所以离子交换膜 N 为阳离子交换膜，C 不正确；

D. 在装置 B 内， $\text{SO}_2 - 2\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ ，在 c 极 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$ ，每吸收 1mol SO_2 ，同时生成 1mol H_2 ，则理论上装置 B 的总质量增加 $1\text{mol} \times 64\text{g/mol} - 1\text{mol} \times 2\text{g/mol} = 62\text{g}$ ，D 正确；

故选 D。

5. (2025 潍坊三模，13) (不定项) 一种新型可充电硫锂电池中 4-巯基吡啶 (4MPy) 作电解液添加剂，可先与多硫化物反应生成吡啶硫醇锂 (Li-PyS)，其后放电过程的工作原理如图所示。下列叙述错误的是



- A. b 电极总的反应式可表示为 $S_8 - 16e^- + 16Li^+ = 8Li_2S$
- B. 若过程②中 $Li-PyS$ 与 Li_2S_6 反应的物质的量之比为 1:1, 则 $m = 4$
- C. 过程⑥中, 完全转化生成 $1mol Li-PyS$, 理论上 $Li-PyS_2$ 可转移 1 mol 电子
- D. 充电时, 每转移 0.05 mol 电子, 负极材料质量增加 0.35 g

【答案】AC

【解析】

【分析】放电时 a 电极发生氧化反应, Li 被氧化为 Li^+ , b 电极为还原反应, S_8 被还原并与 Li^+ 结合进入电解液中, 据此解答。

【详解】A. b 电极为正极, 得电子发生还原反应, A 错误;

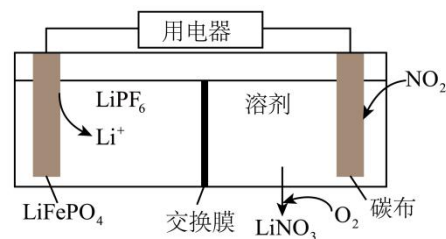
B. $Li-PyS$ 与 Li_2S_6 物质量为 1:1 时, 过程②反应为 $Li-PyS + Li_2S_6 = Li_2S_3 + Li-PyS_4$, m 为 4, B 正确;

C. $Li-PyS_2$ 转化为 $Li-PyS$ 的方程式为 $Li-PyS_2 + 2e^- = Li-PyS + S^{2-}$, 所以每生成 1 mol $Li-PyS$, 转化 2 mol 电子, C 错误;

D. 充电时, 负极接 a, 发生反应 $Li^+ + e^- = Li$, 每转移 0.05 mol 电子, 增加质量为 $0.05mol \times 7g/mol = 0.35g$, D 正确;

答案选 AC。

6. (2025 青岛三模, 13) (不定项) 废旧锂离子电池中锂元素回收利用原理如图 (工作过程有 NO_2^- 生成)。下列说法正确的是



- A. 碳布为该装置的负极
- B. 交换膜为锂离子交换膜
- C. 电池总反应为 $LiFePO_4 + NO_2 = LiNO_2 + FePO_4$
- D. 理论上, 每 4 $mole^-$ 通过电路消耗 22.4 L (STP) O_2

【答案】BC

【解析】

【分析】该装置为原电池，碳布电极发生 $\text{NO}_2 + \text{e}^- = \text{NO}_2^-$ 为还原反应，该电极为正极，溶液中发生 $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 = 2\text{NO}_3^-$ ，回收 LiNO_3 ；左侧为负极，发生 $\text{LiFePO}_4 - \text{e}^- = \text{Li}^+ + \text{FePO}_4$ ， Li^+ 通过锂离子交换膜向正极迁移。

【详解】A. 根据上述分析可知，碳布为该装置的正极，A 错误；

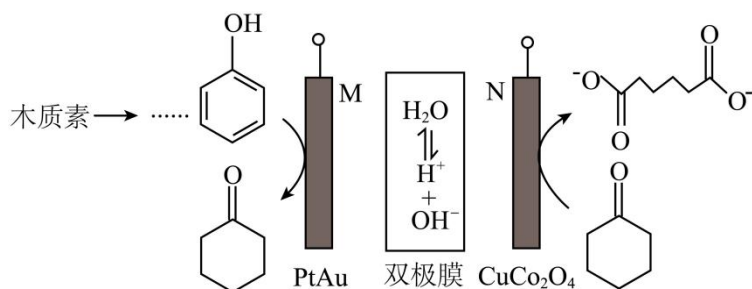
B. Li^+ 由左侧负极区向右侧正极区迁移，生成 LiNO_3 回收，故交换膜为锂离子交换膜，B 正确；

C. 根据正极、负极电极反应式相加得总反应 $\text{LiFePO}_4 + \text{NO}_2 = \text{LiNO}_2 + \text{FePO}_4$ ，C 正确；

D. 理论上，每 4mol e^- 通过电路，正极 $\text{NO}_2 + \text{e}^- = \text{NO}_2^-$ 生成 4mol NO_2^- ，根据 $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 = 2\text{NO}_3^-$ 可知，可消耗 2mol O_2 ，标准状况下为 44.8 L ，D 错误；

故选 BC。

7. (2025 聊城三模, 13) (不定项) 某课题组提出电解偶联方法，通过双金属协同催化实现了木质素衍生酚类化合物到己二酸的高效转化，原理如下图所示。下列说法错误的是



A. PtAu 合金和 CuCo_2O_4 的使用降低了电极反应的活化能

B. 电解时，电极 M 连接电源正极

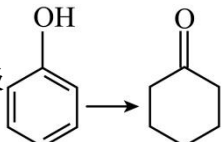
C. 电解一段时间后，N 极区溶液的 pH 增大

D. 理论上，电路通过 6 mol 电子时，生成 $1\text{ mol}^- \text{OOC}(\text{CH}_2)_4 \text{COO}^-$

【答案】BC

【解析】

【详解】A. PtAu 合金和 CuCo_2O_4 协同催化实现了木质素衍生酚类化合物到己二酸的高效转化，降低了电极反应的活化能，加快了化学反应速率，A 正确；

B. 电解时，在 M 极  为加氢反应，是还原反应，则 M 极为阴极，连接电源负极，B 错误；

C. N 极区电解反应式： $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O} - 6\text{e}^- + 8\text{OH}^- = \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ ，反应消耗 8 mol OH^- 时，双极膜有 6 mol OH^-

移向 N 极区，则电解一段时间后，N 极区溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 减小，pH 减小，C 错误；

D. N 极区电解反应式： $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O} - 6\text{e}^- + 8\text{OH}^- = \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ ，电路通过 6 mol 电子时，生成

1 mol $\text{OOC}(\text{CH}_2)_4\text{COO}^-$ ，D 正确；

故答案选 BC。

8. (2025 济宁三模, 13) (不定项) 一种“自充电”锌离子水系电池工作原理如图 1 所示。电池工作一段时间后，通过加入 H_2O_2 实现“自充电”。电池右侧电极材料为 $\text{NaFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 晶体，结构如图 2(a)， Na^+ 填充在立方体空隙中(未画出)。下列说法正确的是

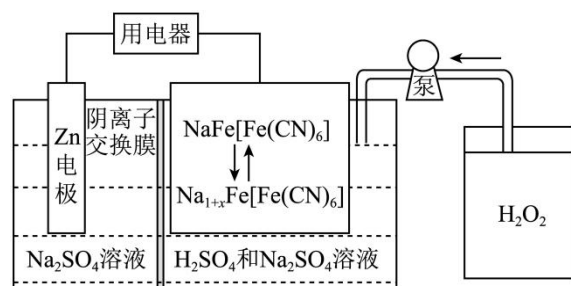


图1

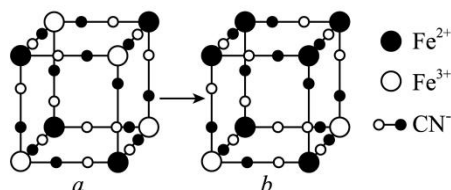


图2

- A. 反复使用过程中，不需要更换 Zn 电极
- B. “自充电”过程中，右侧 pH 减小
- C. 若消耗 1mol Zn，则需加入 1mol H_2O_2 实现电池“自充电”
- D. 若晶体发生图 2 中 a→b 变化，则 $\text{Na}_{1+x}\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 中 $x = 0.5$

【答案】CD

【解析】

【详解】A. 在锌离子水系电池中，Zn 电极作为负极，发生氧化反应： $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$ ，反复使用会被消耗，因此需要更换 Zn 电极，A 错误；

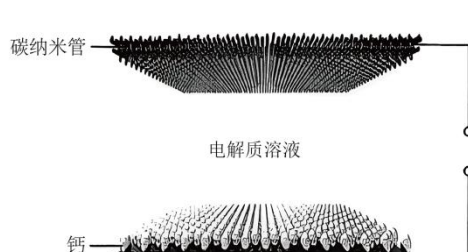
B. 右侧电极为正极，发生还原反应， $\text{NaFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 得电子转变为 $\text{Na}_{1+x}\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ，“自充电”过程中， H_2O_2 作为氧化剂参与反应，将 $\text{Na}_{1+x}\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 氧化为 $\text{NaFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ，反应过程中会消耗 H^+ ，导致右侧 pH 增大，B 错误；

C. Zn 作为负极，1 mol Zn 失去电子物质的量为 2 mol， H_2O_2 作为氧化剂，每 1 mol H_2O_2 得到 2 mol 电子，根据得失电子守恒，若消耗 1mol Zn 需要加入 H_2O_2 物质的量为 1 mol，C 正确；

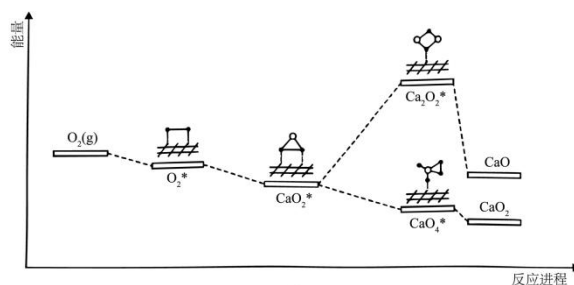
D. b 结构中, Fe^{2+} 个数为 $6 \times \frac{1}{8} = \frac{3}{4}$, Fe^{3+} 个数为 $2 \times \frac{1}{8} = \frac{1}{4}$, CN^- 个数为 $12 \times \frac{1}{4} = 3$, 根据化学式 $\text{Na}_{1+x}\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, b 结构中 Na^+ 个数为 $\frac{1+x}{2}$, 通过电荷守恒计算 $\frac{1+x}{2} \times 1 + \frac{3}{4} \times 2 + \frac{1}{4} \times 3 = 3 \times 1$, 解得 $x = 0.5$, D 正确;

答案为 CD。

9. (2025 烟台三模, 13) (不定项) 我国研制出在室温下可充电 700 次的钙-氧气可充电电池(如图一), 放电过程中, O_2 在电极表面的两种反应路径如图二、下列说法正确的是



图一



图二

- A. 该电池的电解质溶液可采用 CaSO_4 溶液或乙醇溶液
- B. 放电时, O_2 参与的主要电极反应式为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$
- C. 放电时, 正极流入的 $n(\text{e}^-)$:消耗 $n(\text{O}_2)$ 为 2.07, 则生成的 $n(\text{CaO}_2)$: $n(\text{CaO}) = 193:14$
- D. 充电时, 阳极发生的主要电极反应为 $\text{CaO}_2 - 2\text{e}^- = \text{Ca}^{2+} + \text{O}_2 \uparrow$

【答案】CD

【解析】

【详解】A. 根据图一, 因为有钙电极参与, 能与水反应, 故不能使用水溶液, A 错误;

B. 根据图二, O_2 通过一系列转化最终生成 CaO 和 CaO_2 , 且该电池在无水中进行, 则 O_2 参与的主要电极反应式为: $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{Ca}^{2+} = 2\text{CaO}$ 和 $\text{O}_2 + 2\text{e}^- + \text{Ca}^{2+} = \text{CaO}_2$, B 错误;

C. 正极发生的两个电极反应为① $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{Ca}^{2+} = 2\text{CaO}$; ② $\text{O}_2 + 2\text{e}^- + \text{Ca}^{2+} = \text{CaO}_2$, 设发生反应①的 O_2 为 $x\text{mol}$, 发生反应②的 O_2 为 $y\text{mol}$, 则有 $4x + 2y = 2.07(x + y)$, 得 $x:y = 7:193$, 则生成 CaO_2 与 CaO 的物质的量之比为 193:14, C 正确;

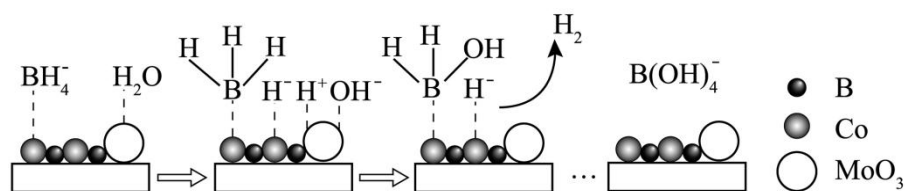
D. 根据图二, CaO_2 的能量低于 CaO , 更稳定, 为主要产物, 则充电时主要发生的是 CaO_2 失去电子, 则阳极发生的主要电极反应为 $\text{CaO}_2 - 2\text{e}^- = \text{Ca}^{2+} + \text{O}_2 \uparrow$, D 正确;

故答案为: CD。

二、反应热、化学反应机理

1. (2025 青岛三模, 6) NaBH_4 是一种储氢材料, 钴硼 (Co-B) 催化 NaBH_4 释氢原理如图所示。Co-B 催

化剂中掺杂 MoO_3 会提高 NaBH_4 释氢速率。下列说法错误的是



- A. BH_4^- 的空间构型为正四面体形
- B. NaBH_4 中 B 的化合价为+3 价
- C. 用 D_2O 进行实验，会生成 D_2
- D. MoO_3 促进 H_2O 解离成 H^+ 和 OH^- ，提高释氢速率

【答案】C

【解析】

【详解】A. BH_4^- 中 B 的价层电子对数为 $\frac{3+1-4}{2} + 4 = 4$ ，无孤电子对，空间构型为正四面体形，A 正确；

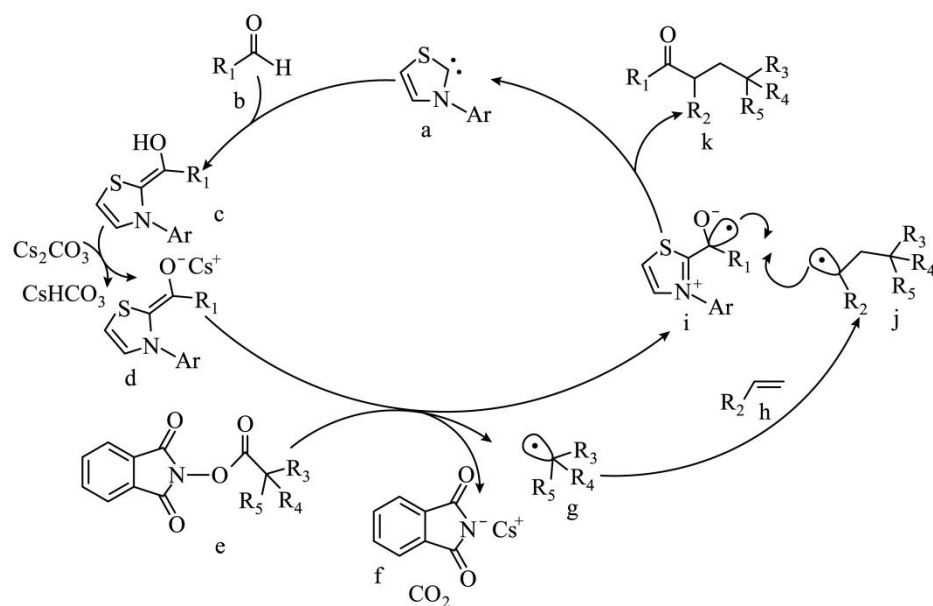
B. NaBH_4 由 Na^+ 和 BH_4^- 构成，设 B 化合价为 x，H 为-1 价（储氢材料中 H 常为-1），则 $x+4 \times (-1) = -1$ ，解得 $x=+3$ ，B 正确；

C. D_2O 中 D 为+1 价， BH_4^- 中 H 为-1 价，二者发生归中反应生成 HD（H⁻与 D⁺结合），而非 D_2 ，C 错误；

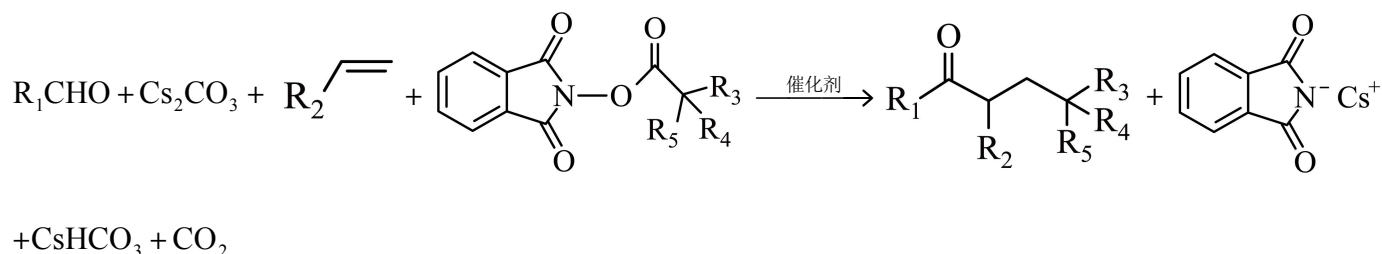
D. MoO_3 掺杂提高释氢速率，推测其促进 H_2O 解离为 H^+ 和 OH^- ，增加 H^+ 浓度，加快 H⁻与 H^+ 的反应，D 正确；

故选 C。

2. （2025 青岛三模，7）使用物质：a ($\text{C}_3\text{H}_2\text{SN}-\text{Ar}$) 可以催化图示反应，其中“ $-\text{Ar}$ ”为取代基。下列说法错误的是

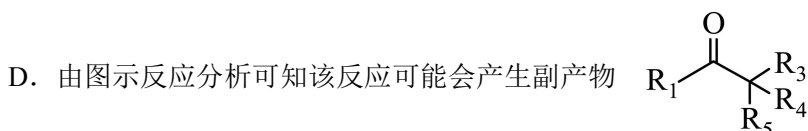


A. 总反应方程式为



B. a 中所有碳原子均满足 8 电子稳定结构

C. d→i 过程中 d 被氧化

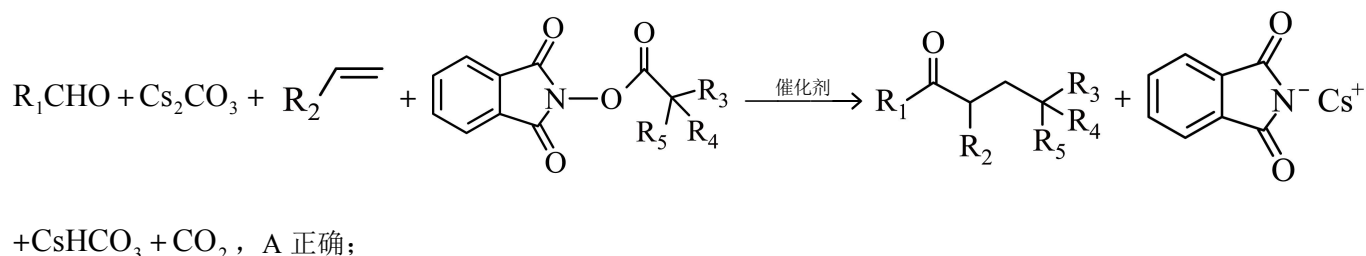


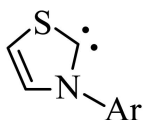
【答案】B

【解析】

【详解】A. 根据机理图确定反应物包括 R_1CHO (b)、烯烃 h ($R_2 = CH_2$)、e (N-acylphthalimide) 及 Cs_2CO_3 ,

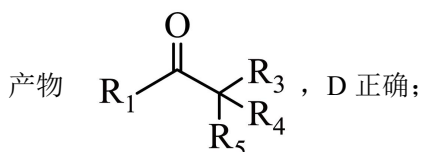
产物为 k ($R_1-C(=O)-CH(R_2)-CH_2-C(R_3)(R_4)(R_5)$)、 $CsHCO_3$ 、f ($\text{phthalimide-N}^-Cs^+$)、 CO_2 ，总反应的方程式为：



B. a 的结构为 ，其中有 1 个 C 原子只形成 2 个单键，同时该 C 原子还存在 1 个孤电子对，则此 C 原子只有 6 个电子，没有达到 8 电子稳定结构，B 错误；

C. d→i 过程中，其中的 N 原子变为 N^+ ，则 d 失电子发生了氧化反应、被氧化，C 正确；

D. 主产物 k 含 $-CH(R_2)-$ 基团，若中间自由基 g 未与烯烃 h 加成，而是直接与羰基碳结合，可能生成无 R_2 的副



故答案为：B。

3. (2025 潍坊三模，9) 在 Cu 基催化剂 M 条件下，草酸二甲酯合成乙二醇的部分反应机理如图 (H^* 为活性氢)。

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccc}
 \text{CH}_3\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{OCH}_3 & \xrightleftharpoons{+2\text{M}} & \text{CH}_3\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{M} + \text{CH}_3\text{O}-\text{M} \\
 & \searrow \text{+2M} & \\
 \text{M}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{M} + \text{CH}_3\text{O}-\text{M} & & \text{CH}_3\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{CH}_2\text{OH} \\
 \downarrow \text{+6H}^* & & \updownarrow \text{+2M} \\
 \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} & \xleftarrow{+3\text{H}^*} & \text{M}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{CH}_2\text{OH} + \text{CH}_3\text{O}-\text{M} \\
 & & \downarrow \text{+H}^* \\
 & & \text{CH}_3\text{O}-\text{M} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}
 \end{array}
 \end{array}$$

- 【答案】D

第 96 页 共 204 页

- A. 过渡态 1 比过渡态 2 稳定
- B. 可能有 HBF_4 副产物生成
- C. 该历程分三步进行，总反应的决速步是第三步

D. 升高温度，平衡时 $\frac{c(\text{BF}_2\text{OH})}{c[\text{BF}(\text{OH})_2]}$ 减小

【答案】D

【解析】

【详解】A. 过渡态 1 的能量低于过渡态 2，故过渡态 1 比过渡态 2 稳定，A 正确；

B. HF 和 BF_3 有可能继续反应生成 HBF_4 副产物，B 正确；

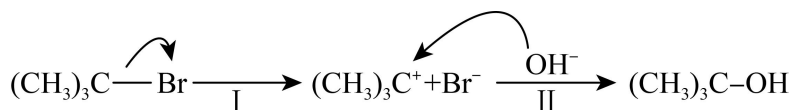
C. 该历程分三步进行，第三步的活化能最大，故总反应的决速步是第三步，C 正确；

D. 升高温度，第一步反应是吸热反应，平衡向正向发生移动，第二步反应是放热反应，平衡向逆向发生移动，平

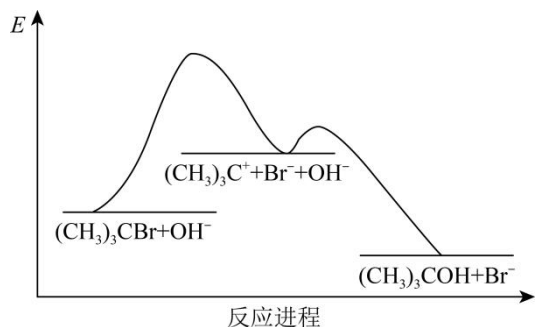
衡时 $\frac{c(\text{BF}_2\text{OH})}{c[\text{BF}(\text{OH})_2]}$ 增大，D 错误；

故选 D。

5. (2025 聊城三模，10) 2-溴-2-甲基丙烷发生水解反应的历程如下：



已知：①反应能量图如下：



②结构不同的溴代烷在相同条件下水解相对速率如下表：

取代基	$(\text{CH}_3)_3\text{C}-$	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-$	$(\text{CH}_3)\text{CH}_2-$	CH_3-
相对速率	108	45	1.7	1.0

下列说法正确的是

- A. $(\text{CH}_3)_3\text{C}^+$ 中 4 个碳原子共平面
- B. 该历程中， $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{Br}$ 水解速率较大程度受 $c(\text{OH}^-)$ 的影响

C. 升高温度, 有利于提高该反应的反应速率和平衡转化率

D. 推测 $(\text{CH}_3)_3\text{CI}$ 水解速率比 $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$ 慢

【答案】A

【解析】

【详解】A. $(\text{CH}_3)_3\text{C}^+$ 中中心碳原子为 sp^2 杂化, 呈平面三角形结构, 三个甲基的碳原子分别与中心碳原子以 σ 键相连, 三个甲基碳位于平面三角形的三个顶点, 故中心碳与三个甲基碳共平面, 4 个碳原子共平面, A 正确;

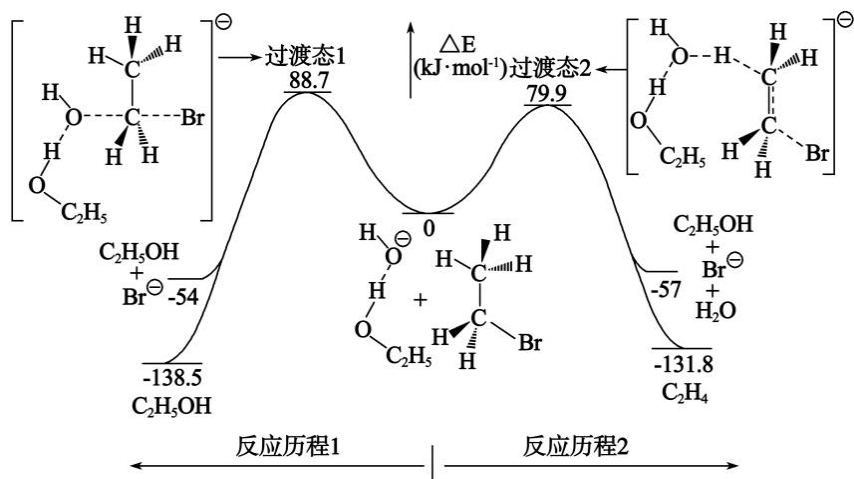
B. 该水解历程中, 第一步 (生成碳正离子) 活化能更高, 为决速步骤, 而第一步不涉及 OH^- , 总反应速率主要由第一步决定, 与 $c(\text{OH}^-)$ 无关, B 错误;

C. 由能量图可知, 产物能量低于反应物, 反应为放热反应, 升高温度可加快反应速率, 但平衡逆向移动, 平衡转化率降低, C 错误;

D. 卤代烷水解过程中, $\text{C}-\text{I}$ 键长比 $\text{C}-\text{Br}$ 键长长, $\text{C}-\text{I}$ 键能比 $\text{C}-\text{Br}$ 键能小, $\text{C}-\text{I}$ 更容易断裂, 且在水溶液中离去基团稳定性: $\text{I}^- > \text{Br}^-$, $(\text{CH}_3)_3\text{CI}$ 中 I^- 更易离去, $(\text{CH}_3)_3\text{CI}$ 水解速率比 $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$ 快, D 错误;

故选 A。

6. (2025 淄博三模, 14) (不定项) 已知 $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ 在 NaOH 醇溶液中发生的取代反应和消去反应互为竞争, 二者反应历程中的相对能量变化如下图所示。下列说法错误的是



A. 升高温度对反应历程 1 更有利

B. NaOH 醇溶液中 OH^- 与乙醇分子间形成了氢键

C. $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ 发生取代反应或消去反应时, OH^- 进攻的原子不同

D. NaOH 醇溶液中 $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ 发生消去反应在热力学上更有利

【答案】D

【解析】

【详解】A. 由图可知, 反应历程 1 的活化能 (88.7 kJ/mol) 低于反应历程 2 的活化能 (79.9 kJ/mol), 根据化学反应速率理论, 活化能越低, 反应越容易进行, 升高温度会使更多的反应物分子具有足够的能量来克服活化能垒, 从

而加快反应速率，所以升高温度对反应历程 1 更有利，A 正确；

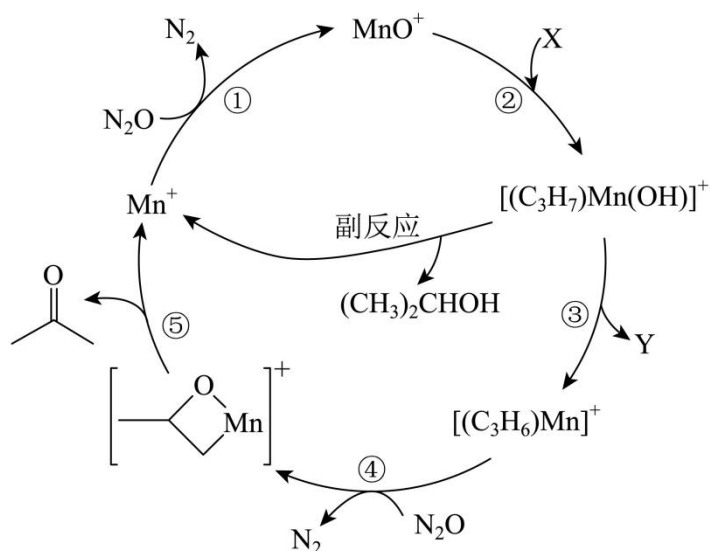
B. 从反应历程图能看到， OH^- 中的氧与乙醇分子中的氢存在相互作用，符合氢键形成特征，所以 NaOH 醇溶液中 OH^- 与乙醇分子间形成了氢键，B 正确；

C. 取代反应里， OH^- 进攻与 Br 原子相连的碳原子；消去反应时， OH^- 进攻与 Br 原子相连碳原子的邻位碳原子上的氢原子，进攻原子不同，C 正确；

D. 由图可知，取代反应产物能量比消去反应产物能量低，能量越低越稳定，说明在 NaOH 醇溶液中 $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ 发生取代反应在热力学上更有利，并非消去反应，D 错误；

故选 D。

7. (2025 聊城三模, 14) (不定项) 化合物 X 可以在如图途径中转化为丙酮，其中 $[(\text{C}_3\text{H}_6)\text{Mn}]^+$ 中检测出含 Mn 的三元环结构。下列说法正确的是



A. $[(\text{C}_3\text{H}_7)\text{Mn}(\text{OH})]^+$ 中共有四种化学环境的氢原子

B. 转化①②④⑤均为氧化还原反应

C. 物质 X、Y 的中心原子均为 sp^3 杂化

D. 途径中副反应的化学方程式为 $\text{C}_3\text{H}_8 + \text{N}_2\text{O} \xrightarrow{\text{Mn}^+} (\text{CH}_3)_2\text{CHOH} + \text{N}_2$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 反应②中根据原子守恒，X 为丙烷，从副反应的产物来看， $[(\text{C}_3\text{H}_7)\text{Mn}(\text{OH})]^+$ 中共有三种化学环境的氢原子，A 错误；

B. 根据氧化还原反应的特征，转化②Mn 元素的化合价没有变化，是非氧化还原反应，B 错误；

C. 根据反应中的原子守恒，X 是丙烷，Y 是水；根据价层电子对互斥理论判断杂化类型，丙烷中所有碳原子、水中

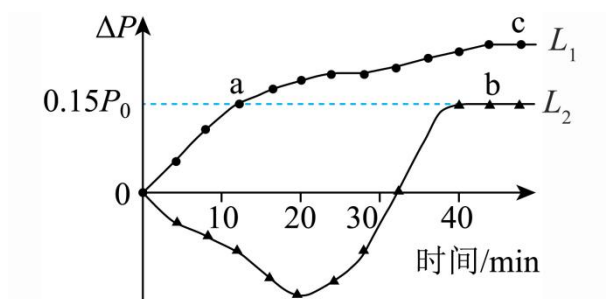
氧原子的杂化类型均为 sp^3 杂化，C 正确；

D. 途径中副反应的化学方程式为 $[(C_3H_7)Mn(OH)]^+ = (CH_3)_2CHOH + Mn^+$ ，D 错误；

故选 C。

三、化学反应的方向、限度与速率

1. (2025 淄博三模, 10) 向体积均为 1 L 的两个刚性容器中各充入 4 mol HBr(g) 和 1 mol O₂(g)，分别在绝热和恒温条件下发生反应 $4HBr(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2Br_2(g) + 2H_2O(g) \Delta H$ ，测得压强变化 $\Delta P (\Delta P = P_0 - P_x, P_0$ 为起始压强, P_x 为某时刻压强) 随时间变化关系如图所示。



下列说法正确的是

A. L₁ 表示绝热条件下 ΔP 随时间变化关系

B. $\Delta H > 0$

C. HBr 的转化率: $\alpha(b) > \alpha(c)$

D. b 点对应的平衡常数 $K > 20.25 L \cdot mol^{-1}$

【答案】D

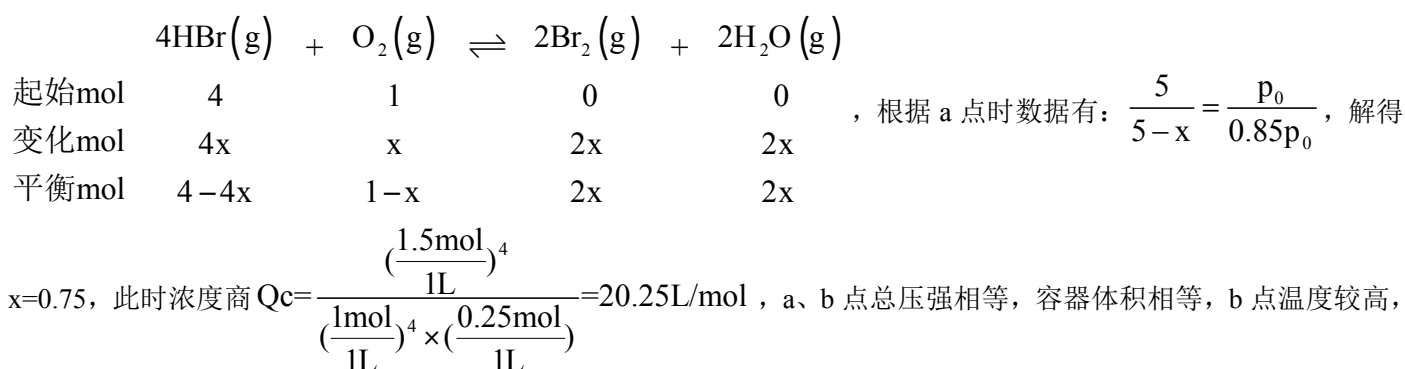
【解析】

【详解】A. 恒温恒容条件下，容器中气体的压强与气体的物质的量成正比，根据方程式知，反应前后气体的物质的量之和减小，则压强减小，在绝热条件下进行，随着反应的进行，容器内压强先增大后减小，说明开始时温度对压强的影响大于气体的物质的量，则 L₂ 表示绝热条件下 ΔP 随时间变化关系，A 错误；

B. 恒温恒容条件下，容器中气体的压强与气体的物质的量成正比，根据方程式知，反应前后气体的物质的量之和减小，则压强减小， $\Delta P > 0$ ，在图中以 ac 所在线表示；在绝热条件下进行，随着反应的进行，容器内压强先增大后减小，说明开始时温度对压强的影响大于气体的物质的量，说明该反应为放热反应， $\Delta H < 0$ ，B 错误；

C. b 点温度高于 c 点，该反应为放热反应，升高温度，平衡逆向移动，所以 HBr 的转化率: $\alpha(b) < \alpha(c)$ ，C 错误；

D. 在恒温恒容条件下，气体压强之比等于总物质的量之比，根据三段式：



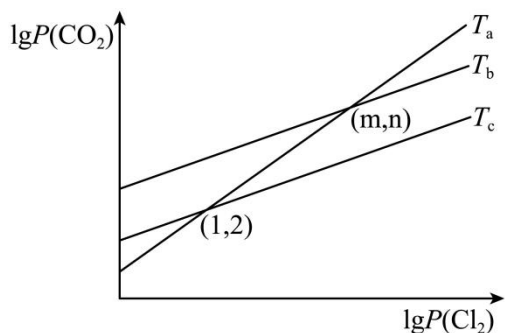
故 b 点气体的物质的量小于 a 点，正反应是气体分子数减小的反应，说明 b 点 HBr 的转化率大于 a 点，即 b 点平衡常数 K 大于 a 点 Qc，D 正确；

故选 D。

2. (2025 济宁三模, 10) 恒容密闭装置内, 发生反应 $\text{TiO}_2(\text{s}) + \text{C}(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{TiCl}_4(?) + \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 。

按照化学计量数之比投入 TiO_2 、C 和 Cl_2 ，平衡时 $\lg P(\text{CO}_2)$ 与 $\lg P(\text{Cl}_2)$ 关系如图所示。(已知: TiCl_4 沸点 136°C)

下列说法正确的是



A. 三条线对应的温度 $T_a > T_b > T_c$

B. $n = m + 1$

C. T_c 温度时, 若平衡总压为 100kPa , $P(\text{CO}_2) = \frac{1000}{21}\text{kPa}$

D. T_a 温度时, 装置总压由 P 增大为 $2P$, CO_2 平衡浓度由 c_0 转化为 $2c_0$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 已知该反应为放热反应 ($\Delta H < 0$)，温度升高平衡逆向移动，平衡常数 K_p 减小。由平衡常数表达式

(TiCl_4 为气态时 $K_p = \frac{[P(\text{TiCl}_4) \cdot P(\text{CO}_2)]}{[P(\text{Cl}_2)]^2}$ ，因为 $P(\text{TiCl}_4) = P(\text{CO}_2)$ ，则

$K_p = \frac{[P(\text{CO}_2)]^2}{[P(\text{Cl}_2)]^2}$ ， $\lg P(\text{CO}_2) = \lg P(\text{Cl}_2) + \frac{1}{2} \lg K_p$)，如果 TiCl_4 不是气态，则有

$\lg P(\text{CO}_2) = 2 \lg P(\text{Cl}_2) + \lg K_p$ ，因此 T_a 表示 TiCl_4 不是气态的曲线。温度升高时 $\lg K_p$ 减小，因此温度 $T_c > T_b > T_a$ ，

A 错误；

B. $\lg P(\text{CO}_2) = \lg P(\text{Cl}_2) + \frac{1}{2} \lg K_p$ ， $n = m + \frac{1}{2} \lg K_p$ ，只有当 $\frac{1}{2} \lg K_p$ 为 1 时才有 $n = m + 1$ ，并非普遍规律，B 错误；

C. T_c 温度时 TiCl_4 为气态，总压 $P_{\text{总}} = P(\text{Cl}_2) + P(\text{TiCl}_4) + P(\text{CO}_2)$ ，且 $P(\text{TiCl}_4) = P(\text{CO}_2) = y$ ， $P(\text{Cl}_2) = x$ ，

由 $K_p = \frac{[P(\text{CO}_2)]^2}{[P(\text{Cl}_2)]^2} = y^2 / x^2$ 及图像中 (1, 2) 点得 $y / x = 10$ ，总压 $P_{\text{总}} = x + 2y = 21x = 100\text{kPa}$ ，解

得 $x = \frac{100}{21}\text{kPa}$ ， $y = \frac{1000}{21}\text{kPa}$ ，即 $P(\text{CO}_2) = \frac{1000}{21}\text{kPa}$ ，C 正确；

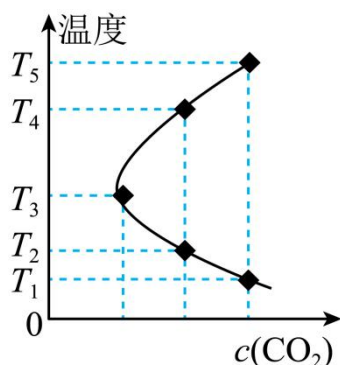
D. 恒容装置总压增大若为充入惰性气体，各气体分压不变， CO_2 浓度不变；若压缩体积则非恒容，题目未明确增

压方式，无法确定浓度变为 $2c_0$ ，D 错误；

故选 C。

3. （2025 威海三模，10）工业上可用 Na_2CO_3 溶液捕获 CO_2 以减少其排放：

$\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NaHCO}_3(\text{aq}) \quad \Delta H$ 。不同温度下，在同一密闭容器中充入同浓度的 CO_2 ，加入同浓度同体积的 Na_2CO_3 溶液，经相同时间测得 CO_2 浓度如图。下列说法错误的是



A. $\Delta H < 0$

B. c1ccccc1[O-].[Na+](aq) 也可以作为 CO_2 捕获剂

C. 在 $T < T_3$ 时该反应未达到平衡状态

D. 从 T_4 迅速升温至 T_5 并恒温，溶液 pH 减小

【答案】D

【解析】

【详解】A. 由题干方程式可知，反应 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NaHCO}_3(\text{aq})$ 正反应是一个气体体积减小的方向，即 $\Delta S < 0$ ，根据当 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 时，反应可以自发进行，故可知 $\Delta H < 0$ ，A 正确；

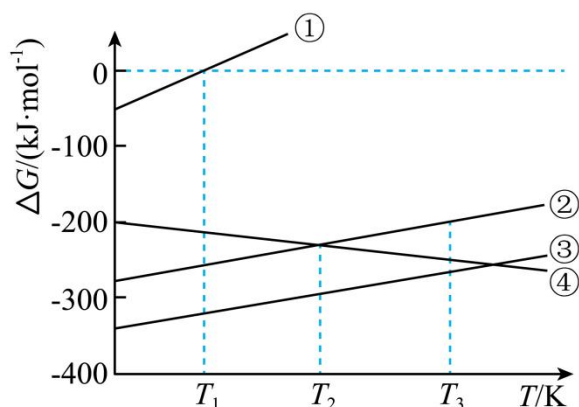
B. 已知苯酚的酸性比碳酸弱，故 CO_2 能与 c1ccccc1[O-].[Na+](aq) 反应生成苯酚和 NaHCO_3 ，故 c1ccccc1[O-].[Na+](aq) 也可以作为 CO_2 捕获剂，B 正确；

C. 由 A 项分析可知，该反应的 $\Delta H < 0$ ，则降低温度平衡正向移动， CO_2 的浓度减小，由图信息可知，在 $T < T_3$ 时温度越低 CO_2 浓度越大，故此时温度该反应未达到平衡状态，由于温度越低反应速率越慢，导致 CO_2 的浓度越大，C 正确；

D. 由 C 项分析可知，当温度 $T > T_3$ 时反应达到化学平衡，则升高温度平衡逆向移动，溶液中 Na_2CO_3 浓度增大， NaHCO_3 浓度减小，由于 Na_2CO_3 的水解程度比 NaHCO_3 大，故从 T_4 迅速升温至 T_5 并恒温，溶液 pH 增大，D 错误；故答案为：D。

4. （2025 威海三模，14）（不定项）已知 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -RT \ln K$ ，若 $\Delta G < 0$ ，则该反应可自发进行；R 为理想气体常数，K 为化学平衡常数，忽略 ΔH 、 ΔS 随 T 的变化。反应① $\text{Cl}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{C}(\text{s}) = \frac{1}{2}\text{CCl}_4(\text{g})$ 、

② $\text{Cl}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{Si}(\text{s}) = \frac{1}{2}\text{SiCl}_4(\text{g})$ 、③ $\text{Cl}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{Ti}(\text{s}) = \frac{1}{2}\text{TiCl}_4(\text{g})$ 、④ $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = 2\text{HCl}(\text{g})$ 的 ΔG 随温度变化情况如图。下列说法正确的是



- A. 反应①在 T_1 时, $K=1$
- B. 反应②的 $\Delta H < 0$, 反应④的 $\Delta S < 0$
- C. T_1 时, Ti 可从 SiCl_4 中置换出 Si
- D. T_2 时, $c(\text{SiCl}_4) \cdot c(\text{H}_2)^2 = c(\text{HCl})^2$

【答案】AC

【解析】

【详解】A. 由题干图像信息可知, 已知 $\Delta G = -RT \ln K$, 在 T_1 时, 对于反应① $\Delta G = 0$, 将 $\Delta G = 0$ 代入 $\Delta G = -RT \ln K$ 中, 得到 $0 = -RT_1 \ln K$, 因为 R 、 T_1 均不为 0, 所以 $\ln K = 0$, 根据对数的性质, $\ln 1 = 0$, 则 $K = 1$, A 正确;

B. 对于反应②, 从图象可知, ΔG 随温度升高而增大, 因为 $\Delta S < 0$, 随着 T 增大, $-T\Delta S > 0$, 且单调递增, 又因为给定温蒂范围内 $\Delta G < 0$, 则 $\Delta H < 0$, 所以反应②的 $\Delta H < 0$; 同理可推知, 对于反应④ $\Delta H < 0$, 且温度越高, ΔG 越小, 则 $\Delta S > 0$, B 错误;

C. 在 T_1 时, 反应③的 ΔG 比反应②的 ΔG 更小, 即 $0 > \Delta G_2 > \Delta G_3$, 反应③: $\text{Cl}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{Ti}(\text{s}) = \frac{1}{2}\text{TiCl}_4(\text{g})$; 反应②: $\text{Cl}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{Si}(\text{s}) = \frac{1}{2}\text{SiCl}_4(\text{g})$, 若 Ti 可从 SiCl_4 中置换出 Si, 发生反应 $\text{Ti} + \text{SiCl}_4 = \text{TiCl}_4 + \text{Si}$, 根据盖斯定律: 可通过 $2 \times \text{③} - 2 \times \text{②}$ 得到, 则该反应的 $\Delta G = 2\Delta G_3 - 2\Delta G_2 < 0$, 该反应可自发进行, C 正确;

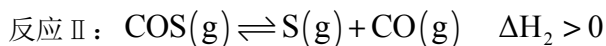
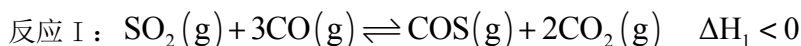
D. 对于反应④ $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = 2\text{HCl}(\text{g})$, 其平衡常数 $K = \frac{c^2(\text{HCl})}{c(\text{H}_2)c(\text{Cl}_2)}$, 对于反应② $\text{Cl}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{Si}(\text{s}) = \frac{1}{2}\text{SiCl}_4(\text{g})$, 其平衡

常数 $K = \frac{c^{\frac{1}{2}}(\text{SiCl}_4)}{c(\text{Cl}_2)}$, 由题干图像可知, 在 T_2 时, 两反应的 ΔG 相等, 由 $\Delta G = -RT \ln K$ 可知即两反应的 K 相等, 即

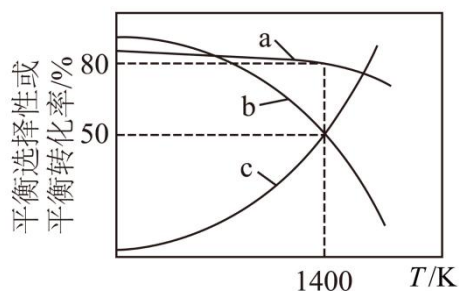
$$\frac{c^2(\text{HCl})}{c(\text{H}_2)c(\text{Cl}_2)} = \frac{c^{\frac{1}{2}}(\text{SiCl}_4)}{c(\text{Cl}_2)}, \text{ 也就是 } c^{\frac{1}{2}}(\text{SiCl}_4) \times c^2(\text{H}_2) = c^2(\text{HCl}), \text{ D 错误;}$$

故答案为: AC。

5. (2025 潍坊三模, 15) (不定项) 硫酸工业尾气中的 SO_2 可用 CO 处理并回收 S , 涉及的反应有:



恒压条件下, 按 $n(\text{CO}):n(\text{SO}_2)=3:1$ 充入原料, 其中 SO_2 的平衡转化率以及 COS 和 S 的平衡选择性随温度的变化如图所示。



$$(\text{X的平衡选择性} = \frac{\text{生成X的物质的量}}{\text{转化的SO}_2\text{的物质的量}} \times 100\%)$$

下列说法错误的是

- A. 曲线 c 表示 S 的平衡选择性
- B. 应在较高温度下回收单质硫
- C. 增大 $n(\text{CO}):n(\text{SO}_2)$ 的比值, 单质 S 的选择性持续增大
- D. 1400K 下, 反应 $\text{COS}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{S}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$ 的平衡常数 $K_x = \frac{5}{9}$

【答案】CD

【解析】

【分析】反应 I 为放热反应, 升高温度, 平衡向逆反应方向移动, 二氧化硫的平衡转化率减小, 反应 II 为吸热反应, 升高温度, 平衡向正反应方向移动, 硫的选择性增大, 且 COS 的选择性和硫的选择性之和为 1, 则曲线 a 表示二氧化硫的平衡转化率、曲线 b 表示 COS 的平衡选择性、曲线 c 表示硫的平衡选择性。

【详解】A. 由分析可知, 曲线 c 表示硫的平衡选择性, A 正确;

B. 由图可知, 升高温度, COS 的平衡选择性减小、硫的平衡选择性增大, 说明应在较高温度下回收单质硫, B 正确;

C. 与原平衡体系相比, 恒压条件下, 增大 $n(\text{CO}):n(\text{SO}_2)$ 的比值相当于增大平衡体系中一氧化碳的浓度, 反应 I 的平衡向正反应方向移动, 使得 COS 的浓度增大, 反应 II 的反应物浓度和生成物浓度均增大, 平衡不一定会向正反应方向移动, 硫的选择性不一定增大, C 错误;

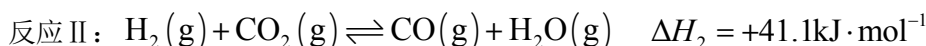
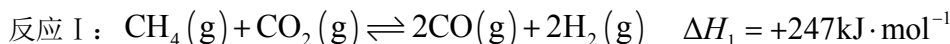
D. 设起始一氧化碳、二氧化硫的物质的量分别为 3mol、1mol, 由图可知, 1400K 下反应达到平衡时, 二氧化硫的

转化率为80%，COS和硫的选择性都为50%，则平衡时二氧化硫、COS、硫的物质的量分别为 $1\text{mol}-1\text{mol}\times 80\%=0.2\text{mol}$ 、 $1\text{mol}\times 80\%\times 50\%=0.4\text{mol}$ 、 $1\text{mol}\times 80\%\times 50\%=0.4\text{mol}$ ，由反应 I 的方程式可知，平衡时二氧化碳的物质的量为 $1\text{mol}\times 80\%\times 2=1.6\text{mol}$ ，由碳原子个数守恒可知，平衡时一氧化碳的物质的量为 $3\text{mol}-0.4\text{mol}-1.6\text{mol}=1\text{mol}$ ，则混合

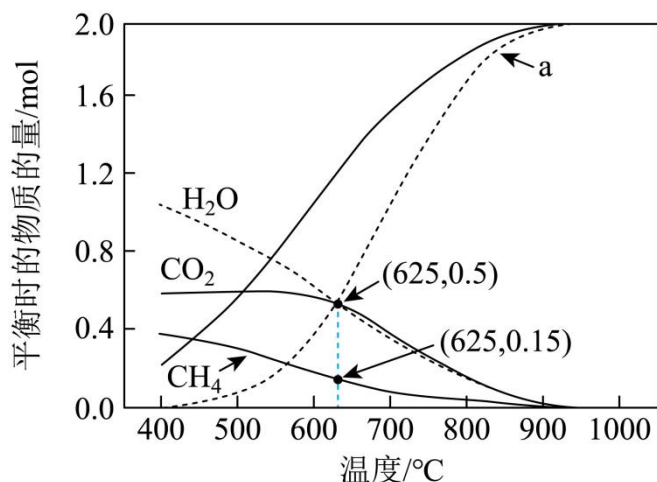
气体的总物质的量为 3.6mol ，反应 II 的平衡常数 $K_x = \frac{\frac{0.4}{3.6} \times \frac{1}{3.6}}{\frac{0.4}{3.6}} = \frac{5}{18}$ ，D 错误；

故选 CD。

6. (2025 日照三模, 15) (不定项) CH_4 和 CO_2 重整制氢体系中主要发生下列反应：



在密闭容器中， $1.01\times 10^5\text{Pa}$ 、 $n_{\text{始}}(\text{CH}_4) = n_{\text{始}}(\text{CO}_2) = 1\text{mol}$ 时，若仅考虑上述反应，平衡时各气态物质的物质的量随温度的变化如图所示。下列说法正确的是



A. a 表示平衡时 H_2 的物质的量随温度的变化

B. 625°C ，反应 II 的平衡常数 $K = \frac{5}{12}$

C. $500\sim 600^\circ\text{C}$ ，随着温度升高，容器中积碳减少

D. 1000°C 下，增大压强， $\frac{n(\text{CO})}{n(\text{H}_2)}$ 增大

【答案】BC

【解析】

【分析】升高温度，反应 I 平衡正向移动， CO 、 H_2 的物质的量都增大；升高温度，反应 II 平衡正向移动， CO 的物质的量增大， H_2 的物质的量减小；反应 III 中，升高温度，平衡逆向移动， CO 的物质的量增大。综合分析，升高温度， CO 物质的量增大的幅度大于 H_2 物质的量增大的幅度，所以曲线 a 表示 CO 平衡时物质的量随温度变化的曲线。

【详解】A. 由分析可知，a 表示平衡时 CO 的物质的量随温度的变化，不表示平衡时 H₂ 的物质的量随温度的变化，

A 错误；

B. 625℃， $n(\text{CO})=n(\text{CO}_2)=n(\text{H}_2\text{O})=0.5\text{mol}$ ， $n(\text{CH}_4)=0.15\text{mol}$ ， $n_{\text{始}}(\text{CH}_4)=1\text{mol}$ ，依据氢元素守恒，可求出平衡时 $n(\text{H}_2)=(1\text{mol}-0.15\text{mol})\times 2-0.5\text{mol}=1.2\text{mol}$ ，设容器的体积为 $V\text{L}$ ，则反应 II 的平衡常数

$$K = \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{H}_2) \cdot c(\text{CO}_2)} = \frac{\frac{0.5}{V} \times \frac{0.5}{V}}{\frac{1.2}{V} \times \frac{0.5}{V}} = \frac{5}{12}, \text{ B 正确};$$

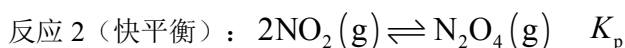
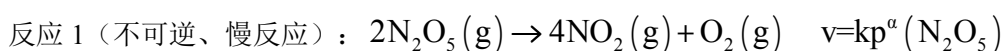
C. 500~600℃，温度升高，反应 III(放热反应)平衡逆向移动，容器中积碳减少，C 正确；

D. 图中 1000℃ 下，体系中的气体只有 CO、H₂，且二者均为 2.0mol，说明反应 I 恰好反应完全，且不存在反应

II、反应 III，所以增大压强对 $\frac{n(\text{CO})}{n(\text{H}_2)}$ 无影响，D 错误；

故选 BC。

7. (2025 青岛三模，15) (不定项) 在恒温恒容密闭容器中充入一定量的 N₂O₅(g)，发生如下反应：



测得体系 $p(\text{N}_2\text{O}_5)$ 、 $p_{\text{总}}$ 随时间变化关系如下表所示 (t = ∞ 时，N₂O₅ 完全分解)。

t/min	0	200	400	600	800	∞
$p(\text{N}_2\text{O}_5)/\text{kPa}$	100	50	25	12.5	6.25	0
$p_{\text{总}}/\text{kPa}$	100		150			

下列说法错误的是

A. 0~200 min 与 200~400 min 反应 1 速率之比为 2:1

B. $\alpha=2$

C. $K_p=0.1\text{kPa}^{-1}$

D. t = ∞ 时， $p_{\text{总}} > 160\text{kPa}$

【答案】B

【解析】

【详解】A. 计算平均速率：0~200 min: $\Delta p(\text{N}_2\text{O}_5) = 50 \text{ kPa}$ ， $\Delta t = 200 \text{ min}$ ，平均速率 为：0.25 kPa/min。200~400 min: $\Delta p(\text{N}_2\text{O}_5) = 25 \text{ kPa}$ ， $\Delta t = 200 \text{ min}$ ，平均速率： 0.125 kPa/min；速率之比为 2:1，A 正确；

B. 反应 1 的速率由 $v=kp^{\alpha}(\text{N}_2\text{O}_5)$ 决定。从数据看: $p(\text{N}_2\text{O}_5)$ 每 200 min 减半, 表明半衰期恒定 (200 min),

200 min 的 $p(\text{N}_2\text{O}_5)$ 是 400 min 的 2 倍, 则有 $\frac{v_{200\text{min}}}{v_{400\text{min}}} = \frac{k \times 50^{\alpha}}{k \times 25^{\alpha}} = \frac{2}{1}$, 则 $\alpha=1$, B 错误;

C. 反应 2 是快平衡, 始终处于平衡状态。利用 $t=400$ min 数据计算: $p(\text{N}_2\text{O}_5) = 25$ kPa, 初始 $p(\text{N}_2\text{O}_5) = 100$ kPa。消耗 N_2O_5 的分压 75 kPa, 产生 O_2 的分压 37.5 kPa, 产生 NO_2 的分压 150 kPa, 设反应 2 消耗了 $2y$ kPa NO_2 , 生成了 y kPa N_2O_4 , 则 NO_2 的分压 $(150-2y)$ kPa, 此时 $p_{\text{总}}=150$ kPa, 即 $25+37.5+y+150-2y=150$ kPa, 解得 $y=62.5$ kPa,

$K_p = \frac{y}{(150-2y)^2}$, 代入数据, 解得 $K_p = 0.1 \text{ kPa}^{-1}$, C 正确;

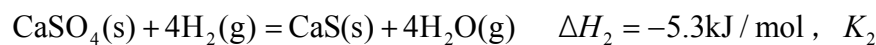
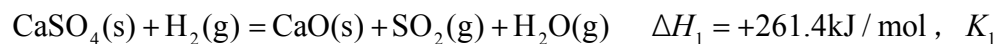
D. $t=\infty$ 时, 完全分解, NO_2 的分压 200 kPa, O_2 的分压 50 kPa, 设反应 2 消耗了 $2y$ kPa NO_2 , 生成了 y kPa N_2O_4 ,

则 NO_2 的分压 $(200-2y)$ kPa, $K_p = \frac{y}{(200-2y)^2} = 0.1$, 解得 $y \approx 85.4$ kPa, 总压为: $85.4+29.2+50=164.6 \text{ kPa} > 160 \text{ kPa}$,

D 正确;

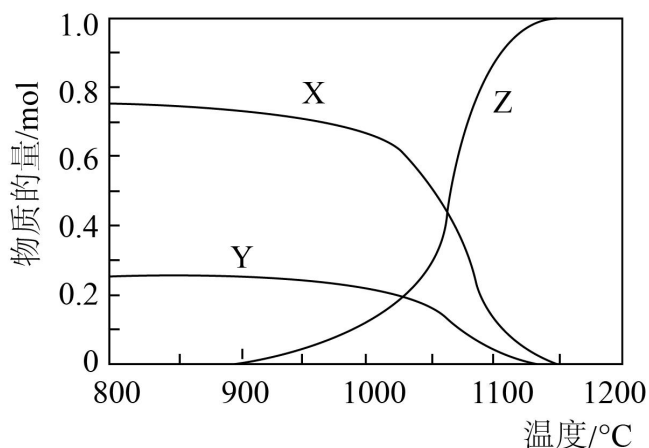
故选 B。

8. (2025 聊城三模, 15) (不定项) 利用 H_2 可实现对石膏中 S 元素的脱除, 涉及的主要反应如下:



在 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $n_{\text{始}}(\text{H}_2)$ 和 $n_{\text{始}}(\text{CaSO}_4)$ 均为 1 mol 时, 若仅考虑上述反应, 平衡时各固体物质的物质的量随温度的变化关系如图所示。石膏中 S 元素的脱除效果可用脱硫率

$\left[\frac{m_{\text{反应前}}(\text{石膏中S元素}) - m_{\text{反应后}}(\text{固体中S元素})}{m_{\text{反应前}}(\text{石膏中S元素})} \times 100\% \right]$ 表示。下列说法错误的是



A. 图中曲线 Y 表示平衡时 CaS 固体的物质的量随温度的变化

B. 反应 $3\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CaS}(\text{s}) = 4\text{CaO}(\text{s}) + 4\text{SO}_2(\text{g})$ 的平衡常数 $K = K_1^4 \cdot K_2^{-1}$

C. 一定温度下, 减小体系压强, 可提高平衡时的脱硫率

D. 其他条件不变, 1000°C 下, $n_{\text{始}}(\text{H}_2) < 1\text{mol}$ 时, $n_{\text{始}}(\text{H}_2)$ 越多, 平衡时的脱硫率越高

【答案】D

【解析】

【分析】设反应①为: $\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) = \text{CaO}(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H_1 = +261.4\text{kJ/mol}$, K_1 ; 反应②为: $\text{CaSO}_4(\text{s}) + 4\text{H}_2(\text{g}) = \text{CaS}(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H_2 = -5.3\text{kJ/mol}$, K_2 , 因反应① $\times 4 -$ ②是吸热反应, 反应②是放热反应, 随着温度的升高, 反应①正向移动, 反应②逆向移动, 则 Z 代表 CaO 含量的变化, 再结合变化趋势可知 X 为 CaSO_4 含量的变化, Y 为 CaS 含量的变化; 据此分析解答。

【详解】A. 根据分析, 曲线 Y 表示平衡时 CaS 固体的物质的量随温度的变化曲线, A 正确;

B. 根据反应①得 $K_1 = \frac{c(\text{SO}_2) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{H}_2)}$, 再根据反应②得 $K_2 = \frac{c^4(\text{H}_2\text{O})}{c^4(\text{H}_2)}$, 根据盖斯定律, 反应

$3\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CaS}(\text{s}) = 4\text{CaO}(\text{s}) + 4\text{SO}_2(\text{g})$ 可看成由① $\times 4 -$ ②, 有

$$K = c^4(\text{SO}_2) = \frac{\frac{c^4(\text{SO}_2) \cdot c^4(\text{H}_2\text{O})}{c^4(\text{H}_2)}}{\frac{c^4(\text{H}_2\text{O})}{c^4(\text{H}_2)}} = \frac{K_1^4}{K_2} = K_1^4 \cdot K_2^{-1}, \text{ B 正确;}$$

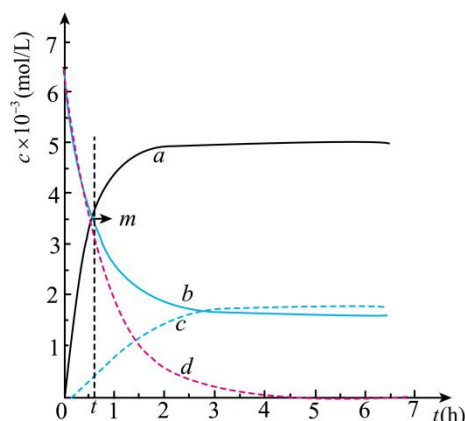
C. 一定温度下, K 不变, 如减小体系压强, 反应 $\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) = \text{CaO}(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 和反应

$3\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CaS}(\text{s}) = 4\text{CaO}(\text{s}) + 4\text{SO}_2(\text{g})$ 的平衡都向右移动, 则平衡时的脱硫率增大, C 正确;

D. 根据反应 $3\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CaS}(\text{s}) = 4\text{CaO}(\text{s}) + 4\text{SO}_2(\text{g})$ 的 $K = c^4(\text{SO}_2)$, 其他条件不变, 1000°C 下若温度不变时二氧化硫的平衡浓度不变, 二氧化硫的物质的量不变, 即 $n_{\text{始}}(\text{H}_2) < 1\text{mol}$ 时, $n_{\text{始}}(\text{H}_2)$ 越多, 不会改变二氧化硫的平衡浓度, 也就不会影响平衡脱硫率, D 错误;

故答案为: D。

9. (2025 德州三模, 15) (不定项) bEG 是一种新型生物基材料, 可通过酯交换反应合成, 其相关反应及反应过程中各组分浓度(除 CH_3OH 外)在不同反应时间变化如图所示:





已知反应 I、II 的速率方程式分别为:

$$v_1 = k_1 \cdot c(-\text{COOCH}_3) \cdot c(\text{EG}), \quad v_2 = k_2 \cdot c(-\text{COOCH}_3) \cdot c(\text{tEG}), \quad \text{且 } k_1 = 4k_2;$$

反应 III 为快速平衡反应。下列说法错误的是

A. 反应活化能 $E_a(\text{II}) > E_a(\text{I}) > E_a(\text{III})$

B. 曲线 c 表示 tEG

C. t 时刻反应 I 与 II 的速率之比为 4:1

D. m 点后, 将 CH_3OH 分离出体系, 则 $\frac{c(\text{bEG})}{c(\text{tEG})}$ 增大

【答案】BD

【解析】

【分析】活化能越小反应越快, 活化能越大反应越慢, 已知: $k_1 = 4k_2$, 反应 III 为快速平衡反应, 则反应速率 $\text{III} > \text{I} > \text{II}$, 则反应活化能 $E_a(\text{II}) > E_a(\text{I}) > E_a(\text{III})$; $-\text{COOCH}_3$ 参与 2 个反应, 则其浓度减小最快, d 曲线表示 $-\text{COOCH}_3$ 、b 曲线表示 EG, 反应速率 $\text{I} > \text{II}$, 则 a 曲线表示 tEG、c 曲线表示 bEG;

【详解】A. 由分析, 反应活化能 $E_a(\text{II}) > E_a(\text{I}) > E_a(\text{III})$, A 正确;

B. c 曲线表示 bEG, B 错误;

C. t 时刻, $c(\text{EG}) = c(\text{tEG})$, 反应 I 与 II 的速率之比为 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{k_1 \cdot c(-\text{COOCH}_3) \cdot c(\text{EG})}{k_2 \cdot c(-\text{COOCH}_3) \cdot c(\text{tEG})} = \frac{k_1}{k_2} = 4:1$, C 正确;

D. 反应速率 $\text{I} > \text{II}$, m 点后, 将 CH_3OH 分离出体系, 促使反应 I、II 正向移动, 但是生成 tEG 速率更快, 导致 $\frac{c(\text{bEG})}{c(\text{tEG})}$ 减小, D 错误;

故选 BD。

四、电解质溶液中的离子平衡

1. (2025 聊城三模, 9) 实验室模拟用 Na_2S 溶液吸收脱除废气中的 SO_2 , 探究 O_2 对脱硫的影响。将一定比例 O_2 、 SO_2 和 N_2 的混合气体恒温恒流速持续通入一定体积一定浓度的 Na_2S 溶液中, 测得随反应进行吸收液的 pH 和各组分的浓度变化如图 1。

已知: ① $\text{S} + \text{SO}_3^{2-} = \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ② SO_2 水溶液中各粒子的物质的量分数随 pH 变化如图 2。

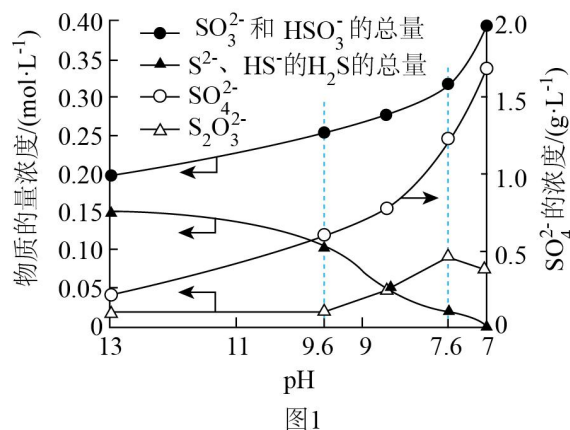


图1

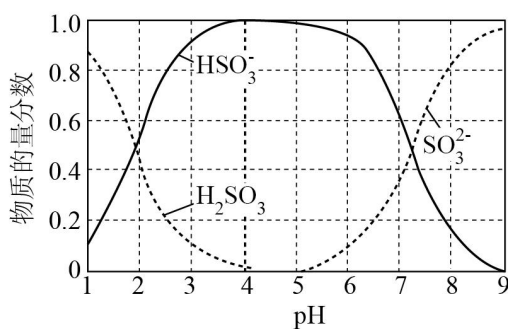


图2

下列说法正确的是

- A. 吸收液的pH从13降至9.6的过程中，未发生氧化还原反应
- B. 由图1知，pH从7.6降至7的过程中 $c(\text{SO}_3^{2-})$ 增大
- C. $9.6 > \text{pH} > 7$ ，S的来源只有 O_2 氧化-2价硫元素
- D. $\text{pH}=9.6$ ，可能的反应： $\text{SO}_2 + 2\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HS}^- + \text{SO}_3^{2-}$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 由图1可知，pH从13降至9.6过程中， SO_4^{2-} 的浓度增大，而 S^{2-} 、 HS^- 、 H_2S 的总量减小，说明硫元素被氧化，发生了氧化还原反应，A错误；

B. 由图1可知，pH从7.6降至7的过程中 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 的浓度减小， SO_4^{2-} 的浓度明显增大， $c(\text{SO}_3^{2-})$ 随pH减小而减小，B错误；

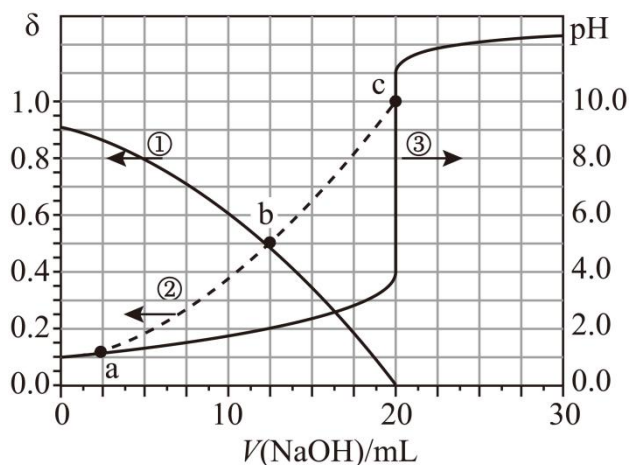
C. $9.6 > \text{pH} > 7$ 时， SO_2 与 S^{2-} 可发生归中反应生成S单质，故S的来源不仅有 O_2 氧化-2价硫元素，还有 SO_2 与 S^{2-} 的归中反应，C错误；

D. 由图2知 $\text{pH}=9.6$ 时， SO_2 水溶液中 SO_3^{2-} 为主，可能发生反应 $\text{SO}_2 + 2\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HS}^- + \text{SO}_3^{2-}$ ，D正确；故答案选D。

2. (2025烟台三模，10) 常温下向10mL $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 H_2A 溶液中滴入 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的NaOH溶液，溶液中 HA^- 和 A^{2-} 的分布系数 δ 、pH与加入NaOH溶液体积 V 的关系如图所示[如 A^{2-} 的分布系数：

$$\delta(\text{A}^{2-}) = \frac{c(\text{A}^{2-})}{\text{含A微粒的浓度之和}}]$$

下列说法错误的是



- A. ①表示 $\delta(\text{HA}^-)$
- B. c 点溶液中 $c(\text{A}^{2-}) = 10^5 \cdot c(\text{HA}^-)$
- C. 随着 NaOH 溶液的加入，水的电离程度： $a < b < c$
- D. 反应恰好结束时，溶液中存在： $c(\text{Na}^+) > 2c(\text{A}^{2-}) + 2c(\text{HA}^-)$

【答案】D

【解析】

【详解】A. HA^- 的分布系数随 NaOH 加入先增大后减小 ($V=10\text{ mL}$ 时达最大，此时生成 NaHA)， A^{2-} 的分布系数持续增大 ($V=20\text{ mL}$ 时达最大，生成 Na_2A)。图中①曲线符合 HA^- 的变化趋势，A 正确；

B. HA^- 电离平衡： $\text{HA}^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^{2-}$ ， $K_2 = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)}$ 。当 $\delta(\text{HA}^-) = \delta(\text{A}^{2-})$ 时， $c(\text{HA}^-) = c(\text{A}^{2-})$ ，此时 $\text{pH} = \text{p}K_2$ 。设该点 $\text{pH} = a$ ，

$K_2 = 10^{-a}$ 。c 点 $\text{pH} = b$ ， $c(\text{H}^+) = 10^{-b}$ ，则

$\frac{c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)} = \frac{K_2}{c(\text{H}^+)} = 10^{b-a}$ 。若 $b-a=5$ ，比例为 10^5 ，但由图中 pH 范围 (0~10) 及常见二元弱酸 K_2 值，该比例通常为

$10^3 \sim 10^4$ ，B 错误；

C. a 点为 H_2A 溶液 (强酸性，抑制水的电离)，b 点为 NaHA 溶液 (酸性减弱，抑制减弱)，c 点为 Na_2A 溶液 (A^{2-} 水解促进水的电离)，水的电离程度 $a < b < c$ ，C 正确；

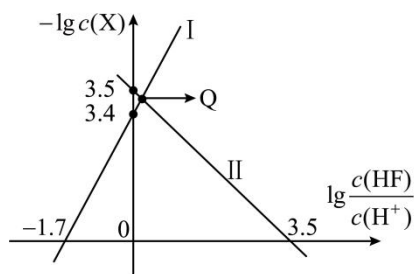
D. 反应恰好结束时生成 Na_2A ，元素守恒： $c(\text{Na}^+) = 2[c(\text{A}^{2-}) + c(\text{HA}^-) + c(\text{H}_2\text{A})]$ ，则 $c(\text{Na}^+) = 2[c(\text{A}^{2-}) + c(\text{HA}^-)] + 2c(\text{H}_2\text{A})$ ，故 $c(\text{Na}^+) > 2[c(\text{A}^{2-}) + c(\text{HA}^-)]$ ，D 正确；

故答案选 D。

3. (2025 潍坊三模，10) 25°C ，向含有足量 CaF_2 固体的悬浊液中滴加一定浓度的盐酸，溶液中 $-\lg c(\text{X})$ (X 表

示 Ca^{2+} 或 F^-) 与 $\lg \frac{c(\text{HF})}{c(\text{H}^+)}$ 的关系如图所示。不考虑 HF 的挥发损耗，溶液中的含氟微粒仅考虑 F^- 和 HF。下列说法

错误的是



- A. 线Ⅱ表示 F^- 的变化情况
- B. Q 点溶液中, $c(H^+) + c(Ca^{2+}) = c(OH^-) + c(Cl^-)$
- C. 加入盐酸的过程中 $c(Ca^{2+}) \cdot c(F^-)$ 保持不变
- D. CaF_2 的沉淀溶解平衡常数 $K_{sp} = 10^{-10.4}$

【答案】C

【解析】

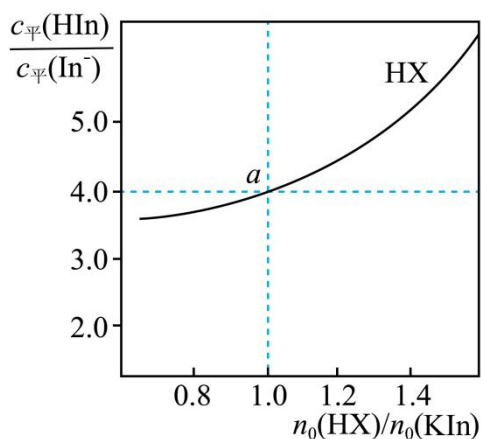
【分析】HF 的电离平衡常数为 $K_a = \frac{c(F^-) \cdot c(H^+)}{c(HF)}$, 可得 $\frac{c(HF)}{c(H^+)} = \frac{c(F^-)}{K_a}$; $K_{sp}(CaF_2) = c(Ca^{2+}) \cdot c^2(F^-)$, 温度不变时 K_a 不变, $\lg \frac{c(HF)}{c(H^+)}$ 越大时 $c(F^-)$ 越大, $-\lg c(F^-)$ 越小, $c(Ca^{2+})$ 越小, 即 $-\lg c(Ca^{2+})$ 随 $\lg \frac{c(HF)}{c(H^+)}$ 的增大而增大、 $-\lg c(F^-)$ 随 $\lg \frac{c(HF)}{c(H^+)}$ 的增大而减小, 所以曲线 I、II 分别代表 $-\lg c(Ca^{2+})$ 、 $-\lg c(F^-)$ 与 $\lg \frac{c(HF)}{c(H^+)}$ 的变化。

- 【详解】A. 根据上述分析可知, 曲线 I、II 分别代表 $-\lg c(Ca^{2+})$ 、 $-\lg c(F^-)$ 与 $\lg \frac{c(HF)}{c(H^+)}$ 的变化, A 正确;
- B. Q 点溶液中 $c(F^-) = c(Ca^{2+})$, 电荷守恒关系为 $2c(Ca^{2+}) + c(H^+) = c(OH^-) + c(Cl^-) + c(F^-)$, 则存在 $c(H^+) + c(Ca^{2+}) = c(OH^-) + c(Cl^-)$, B 正确;
- C. $K_{sp}(CaF_2) = c(Ca^{2+}) \cdot c^2(F^-)$, 加入盐酸的过程中 CaF_2 溶解, $c(Ca^{2+})$ 增大, 则 $c(F^-)$ 减小, 则有 $c(Ca^{2+}) \cdot c(F^-) = \frac{K_{sp}(CaF_2)}{c(F^-)}$ 增大, C 错误;
- D. 当 $\lg \frac{c(HF)}{c(H^+)} = 0$ 时 $c(HF) = c(H^+)$ 根据图像可知, $c(F^-) = 10^{-3.5} \text{ mol/L}$, $c(Ca^{2+}) = 10^{-3.4} \text{ mol/L}$, 则 $K_{sp}(CaF_2) = c(Ca^{2+}) \cdot c^2(F^-) = 10^{-3.4} \times (10^{-3.5})^2 = 10^{-10.4}$, D 正确;

故选 C。

4. (2025 德州三模, 10) 一定温度下, 某指示剂(HIn)对应的钾盐(KIn)在非水溶剂(该溶剂不电离)中完全电离, 向

含 KIn 的该溶剂中加入弱酸 HX , 发生反应: $\text{In}^- + \text{HX} \rightleftharpoons \text{X}^- + \text{HIn}$ 。若起始的物质的量分别为 $n_0(\text{KIn})$ 、 $n_0(\text{HX})$, 测得 $c_{\text{平}}(\text{HIn})/c_{\text{平}}(\text{In}^-)$ 随 $n_0(\text{HX})/n_0(\text{KIn})$ 的变化曲线如图所示。(已知 $K_a(\text{HIn}) = 3.0 \times 10^{-20}$) 下列说法正确的是



- A. HX 的电离平衡常数 $K_a = 1.2 \times 10^{-19}$
- B. a 点存在: $c(\text{X}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{In}^-)$
- C. a 点时 $\alpha(\text{KIn}) = 80\%$
- D. 若将 HX 换为酸性更弱的 HY 发生上述反应, 则 a 点上移

【答案】C

【解析】

【分析】利用 a 点的特殊数据 $\frac{n_0(\text{HX})}{n_0(\text{KIn})} = 1.0$, 及 $\frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]} = 4.0$, 结合 $K_a(\text{HX})$ 与 $K_a(\text{HIn})$ 的表达式结构, 据此解答。

【详解】A. 反应平衡常数 $K = \frac{K_a(\text{HX})}{K_a(\text{HIn})} = \frac{[\text{X}^-][\text{HIn}]}{[\text{In}^-][\text{HX}]}$ 。a 点 $\frac{n_0(\text{HX})}{n_0(\text{KIn})} = 1.0$, 设起始物质的量均为 n , 反应量为 x , 则 $\frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]} = \frac{x}{n-x} = 4.0$, 解得 $x = 0.8n$, $K = \left(\frac{x}{n-x}\right)^2 = 16$, 故

$K_a(\text{HX}) = K \cdot K_a(\text{HIn}) = 16 \times 3.0 \times 10^{-20} = 4.8 \times 10^{-19} \neq 1.2 \times 10^{-19}$, A 错误;

B. a 点 $c(\text{X}^-) = 0.8n$, $c(\text{In}^-) = 0.2n$, $c(\text{H}^+)$ 由 HX 电离产生, $K_a(\text{HX}) = \frac{[\text{H}^+][\text{X}^-]}{[\text{HX}]} = 4.8 \times 10^{-19}$, 解得 $[\text{H}^+] = 1.2 \times 10^{-19} \text{ mol/L}$, 则 $c(\text{X}^-) > c(\text{In}^-) > c(\text{H}^+)$, B 错误;

C. a 点 $\frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]} = 4.0$, 设 $c(\text{In}^-) = a$, 则 $c(\text{HIn}) = 4a$, $\alpha(\text{KIn}) = \frac{4a}{a+4a} \times 100\% = 80\%$, C 正确;

D. 换为酸性更弱的 HY , $K_a(\text{HY}) < K_a(\text{HX})$, 反应平衡常数 $K' = \frac{K_a(\text{HY})}{K_a(\text{HIn})} < K$, $\frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]} = \sqrt{K'} < 4$, a 点下

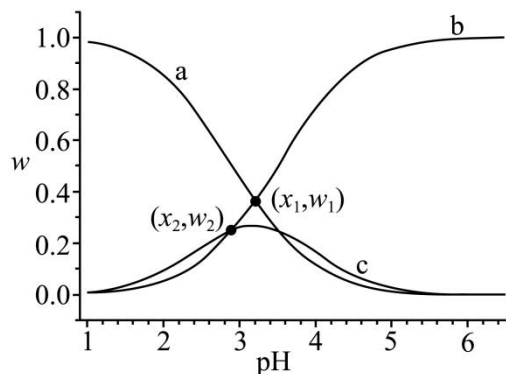
移，D 错误；

故选 C。

5. (2025 青岛三模, 10) HF 溶液中存在平衡: $\text{HF}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{F}^-(\text{aq}) K_1$, $\text{HF}(\text{aq}) + \text{F}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{HF}_2^-(\text{aq}) K_2$ 。

不同 pH 下, 初始浓度 $c_0 = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HF 溶液中各含氟微粒分布如图, w 为各含氟微粒中氟占总氟的质量分数。

下列说法错误的是



A. 曲线 c 为 HF_2^-

B. $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HF 溶液 $\text{pH} < x_1$

C. 若 c_0 变大, 则 w_1 变小

D. $\text{pH} = x_2$ 时, $c(\text{F}^-) = \frac{10^{x_1-x_2}}{K_2}$

【答案】D

【解析】

【分析】pH 较低时, H^+ 浓度大, 抑制 HF 电离, 占主导, 曲线 a 代表 HF; pH 较高时, OH^- 消耗 H^+ , 促进 HF 电离, F^- 占主导, 曲线 b 代表 F^- ; HF_2^- 是 HF 与 F^- 结合产物, 在中间 pH 存在且浓度有峰值, 对应曲线 c, 据此解答。

【详解】A. 曲线 c 为 HF_2^- , A 正确;

B. x_1 是 HF 与 F^- 分布分数相等的点, 此时 $c(\text{H}^+) = K_1$ ($\text{pH} = x_1 = \text{p}K_1$), HF 为弱酸, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 溶液中 H^+ 浓度由电离产生, 其 pH 小于 $\text{p}K_1$ (x_1), B 正确;

C. c_0 增大时, HF 浓度升高促进 HF_2^- 生成 ($\text{HF} + \text{F}^- \rightleftharpoons \text{HF}_2^-$), HF_2^- 分布分数增大。 x_1 处 HF 与 F^- 分布分数均为 w_1 , 总分布分数为 1, 则 HF_2^- 分布分数 $= 1 - 2w_1$, 其增大导致 w_1 减小, C 正确;

D. $\text{pH} = x_1$ 时, $c(\text{H}^+) = 10^{-x_1} \text{ mol/L}$, 此时, $c(\text{HF}) = c(\text{F}^-)$, $K_1 = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{F}^-)}{c(\text{HF})} = c(\text{H}^+) = 10^{-x_1}$, $\text{pH} = x_2$ 时 F^- 与 HF_2^- 分

布分数相等, 即 $c(\text{F}^-) = c(\text{HF}_2^-)$, 由 $K_2 = \frac{c(\text{HF}_2^-)}{c(\text{HF}) \cdot c(\text{F}^-)}$ 可得 $K_2 c(\text{HF}) = 1$, 故 $c(\text{HF}) = \frac{1}{K_2}$, 当 $\text{pH} = x_2$ 时,

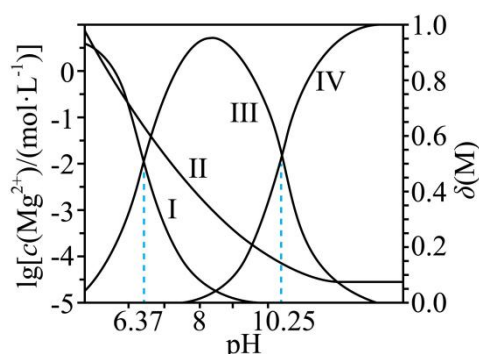
$\frac{10^{-x_2} \cdot c(\text{F}^-)}{c(\text{HF})} = 10^{-x_1}$, 则 $c(\text{F}^-) = \frac{10^{-x_1} \cdot c(\text{HF})}{10^{-x_2}} = \frac{10^{x_2-x_1}}{K_2}$, D 错误;

答案选 D。

6. (2025 日照三模, 10) 向 MgCO_3 饱和溶液(含有足量 MgCO_3 固体)中通入 HCl 气体或加入 NaOH 固体调节 pH。

不考虑 CO_2 从溶液中逸出, 平衡时 $\lg[c(\text{Mg}^{2+})]$ 、分布系数 $\delta(\text{M})$ 与 pH 的变化关系如图所示(其中 M 代表

H_2CO_3 、 HCO_3^- 或 CO_3^{2-})。已知: $K_{\text{sp}}(\text{MgCO}_3) = 1.0 \times 10^{-5.2}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2] = 10^{-11.3}$ 。下列说法错误的是



A. $c(\text{H}_2\text{CO}_3) = c(\text{CO}_3^{2-})$ 时, 溶液的 $\text{pH} = 8.31$

B. $\text{pH} = 7$ 时, 溶液中 $2c(\text{Mg}^{2+}) = c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-})$

C. $\text{MgCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3$ 的平衡常数 $K = 10^{11.42}$

D. 随 pH 增大, 曲线 IV 不断上升的原因可能是部分 MgCO_3 转化为 $\text{Mg}(\text{OH})_2$

【答案】B

【解析】

【分析】向 MgCO_3 饱和溶液(含有足量 MgCO_3 固体)中通入 HCl 气体调节体系 pH 时, MgCO_3 逐渐溶解, $c(\text{CO}_3^{2-})$

和 $\delta(\text{CO}_3^{2-})$ 逐渐降低, $c(\text{Mg}^{2+})$ 逐渐增大, $c(\text{HCO}_3^-)$ 和 $\delta(\text{HCO}_3^-)$ 先增大后减小, $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 和 $\delta(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 逐渐增大,

所以图中曲线 I、II、III、IV 分别表示 $\delta(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 、 $\lg[c(\text{Mg}^{2+})]$ 、 $\delta(\text{HCO}_3^-)$ 、 $\delta(\text{CO}_3^{2-})$ 与 pH 的变化关系, 由图可

知, $c(\text{HCO}_3^-) = c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 时, $\text{pH} = 6.37$, 此时 $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{CO}_3) = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = c(\text{H}^+) = 10^{-6.37}$, 同理 $K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{CO}_3) =$

$\frac{c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{HCO}_3^-)} = c(\text{H}^+) = 10^{-10.25}$, 据此分析解答。

【详解】A. $c(\text{H}_2\text{CO}_3) = c(\text{CO}_3^{2-})$ 时, $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{CO}_3) \cdot K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{CO}_3) = \frac{c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot c^2(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = c^2(\text{H}^+) = 10^{-16.62}$,

$c(\text{H}^+) = 10^{-8.31} \text{ mol/L}$, 则溶液的 $\text{pH} = 8.31$, A 正确;

B. $\text{pH} = 7$ 时, $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+)$, 由电荷守恒 $2c(\text{Mg}^{2+}) + c(\text{H}^+) = c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{Cl}^-) + c(\text{OH}^-)$ 得

$2c(\text{Mg}^{2+}) = c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{Cl}^-)$, 则 $2c(\text{Mg}^{2+}) > c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-})$, B 错误;

C. $\text{MgCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3$ 的平衡常数

$$K = \frac{c(\text{H}_2\text{CO}_3) \cdot c(\text{Mg}^{2+})}{c^2(\text{H}^+)} = \frac{c(\text{H}_2\text{CO}_3) \cdot c(\text{Mg}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot c(\text{HCO}_3^-)}{c^2(\text{H}^+) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot c(\text{HCO}_3^-)} =$$

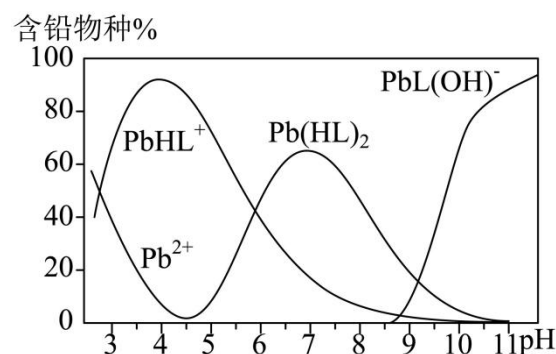
$$\frac{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCO}_3^-)} \times \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})} \times c(\text{Mg}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{K_{sp}(\text{MgCO}_3)}{K_{a1}(\text{H}_2\text{CO}_3) \cdot K_{a2}(\text{H}_2\text{CO}_3)} = 10^{11.42}, \text{C 正确};$$

D. $K_{sp}(\text{MgCO}_3)$ 相对较大, MgCO_3 是微溶物, 而 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 更难溶, 随 pH 增大, 部分 MgCO_3 转化为 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 导致溶液中 $c(\text{CO}_3^{2-})$ 增大, D 正确;

故选 B。

【点睛】本题若能考虑到是通过“通入 HCl 气体或加入 NaOH 固体调节 pH”，列电荷守恒式时，会包含 $c(\text{Cl}^-)$ 或 $c(\text{Na}^+)$ ，即可确定 B 选项错误。

7. (2025 威海三模, 15) (不定项) 某氨基酸衍生物 H_2L 的 $\text{pK}_{a1}=1.47$, $\text{pK}_{a2}=7.90$ 。常温下构建 $\text{Pb}^{2+}-\text{H}_2\text{L}$ 体系, 体系中含铅物种百分含量与 pH 关系如图所示。下列说法错误的是



A. 图中没有将含铅物种全表示出来

B. pH=6 时, $c(\text{L}^{2-})=10^{-3.37}c(\text{H}_2\text{L})$

C. pH=10 时, $2c(\text{L}^{2-})+c(\text{HL}^-)+c(\text{OH}^-)+c([\text{PbL}(\text{OH})]^-)=2c(\text{Pb}^{2+})+c(\text{H}^+)+c([\text{PbHL}]^+)$

D. pH=12 后继续增大 pH, 溶液中的 $c([\text{PbL}(\text{OH})]^-)$ 不一定继续增大

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 图中显示了 Pb^{2+} 、 PbHL^+ 、 $\text{Pb}(\text{HL})_2$ 和 $\text{PbL}(\text{OH})^-$, 根据化学反应原理, 还可能存在其他形式的含铅物种, 如 PbL^{2-} , A 正确;

B. 已知 H_2L 的 $\text{pK}_{a2}=7.90$, 则 $K_{a2} = \frac{c(\text{L}^{2-}) \times c(\text{H}^+)}{c(\text{HL}^-)} = 10^{-7.90}$, 当 pH=6 时, $c(\text{H}^+) = 10^{-6} \text{ mol/L}$, 由 K_{a2} 的表达式

可得 $\frac{c(\text{L}^{2-})}{c(\text{HL}^-)} = \frac{10^{-7.90}}{10^{-6}} = 10^{-1.90}$, 又 $K_{a1} = \frac{c(\text{HL}^-) \times c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{L})} = 10^{-1.47}$, pH=6 时, $\frac{c(\text{HL}^-)}{c(\text{H}_2\text{L})} = \frac{10^{-1.47}}{10^{-6}} = 10^{4.53}$, 所以 $c(\text{L}^{2-}) = 10^{-1.90} \times c(\text{HL}^-)$, $c(\text{HL}^-) = 10^{4.53} \times c(\text{H}_2\text{L})$, 则 $c(\text{L}^{2-}) = 10^{-1.90} \times 10^{4.53} \times c(\text{H}_2\text{L}) = 10^{2.63}c(\text{H}_2\text{L})$, B 错误;

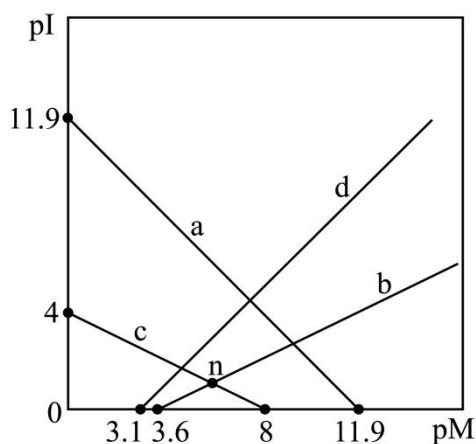
C. 根据选项 A 可知, 图中的含 Pb 物种并未全部列出, 因此 pH=10 时, 仅按照已知含 Pb 物种写出电荷守恒式是

不对的，C 错误；

D. pH = 12 后继续增大 pH，OH⁻ 浓度持续升高，可能会导致 PbL(OH)⁻ 进一步转化为其他形式的含铅物种，因此 PbL(OH)⁻ 的浓度不一定继续增大，D 正确；

故答案选 BC。

8. (2025 济宁三模, 15) (不定项) 室温下，溶液中 Pb²⁺ 和 Cu⁺ 可与 I⁻ 生成 PbI₂、CuI 沉淀，也可形成 [PbI₄]²⁻、[CuI₂]⁻ 离子。向含 Pb²⁺ 和 Cu⁺ 的溶液中加入含 I⁻ 的溶液，平衡时 pM 随 pI 的变化关系如图所示。



已知：①M 表示 Pb²⁺、Cu⁺、[PbI₄]²⁻、[CuI₂]⁻；

② pM = -lgc(M)，pI = -lgc(I⁻)。

下列说法错误的是

A. 线 d 表示 p[PbI₄]²⁻ 的变化情况

B. PbI₂ 的 K_{sp} 为 10⁻⁸

C. 反应 Cu⁺(aq) + 2I⁻(aq) ⇌ [CuI₂]⁻(aq) 的 K = 10^{-3.1}

D. n 点的坐标为 (5.8, 1.1)

【答案】AC

【解析】

【详解】A. 溶液中存在以下两种平衡 Cu⁺(aq) + 2I⁻(aq) ⇌ [CuI₂]⁻(aq)、Pb²⁺(aq) + 4I⁻(aq) ⇌ [PbI₄]²⁻(aq)，当 I⁻ 的变化浓度相同时，[PbI₄]²⁻ 的变化浓度较小，p[PbI₄]²⁻ 较大，故 b 表示 p[PbI₄]²⁻ 的变化情况，a、c、d 分别代表 CuI、PbI₂、[CuI₂]⁻，A 错误；

B. 沉淀溶解平衡 Pb²⁺(aq) + 2I⁻(aq) ⇌ PbI₂(s)，K_{sp} = c(Pb²⁺)c²(I⁻)，取 c 起始点，此时 c(I⁻) = 10⁻⁴ mol/L，带入计算得 K_{sp} = 10⁻⁸，B 正确；

C. 反应 $\text{Cu}^+(\text{aq}) + 2\text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{CuI}_2]^- (\text{aq})$ 的 $K = \frac{c[\text{CuI}_2]^-}{c(\text{Cu}^+)c^2(\text{I}^-)} = \frac{c[\text{CuI}_2]^-}{K_{sp}(\text{CuI})c(\text{I}^-)}$, 取 a 中起始点数据计算

$K_{sp}(\text{CuI}) = 10^{-11.9}$, 取 d 中起始点代入 $K = \frac{10^{-3.1}}{10^{-11.9}} = 10^{8.8}$, C 错误;

D. 反应 $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{PbI}_4]^{2-}(\text{aq})$, 取 b 的起始点数据计算 $K = \frac{c(\text{PbI}_4^{2-})}{c(\text{Pb}^{2+})c^4(\text{I}^-)} = \frac{10^{-3.6}}{10^{-8}} = 10^{4.4}$, 此时

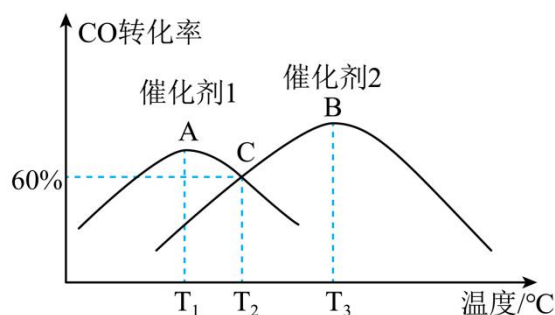
交点 $c(\text{Pb}^{2+})$ 、 $c(\text{PbI}_4^{2-})$ 相等, $K = \frac{1}{c^4(\text{I}^-)} = 10^{4.4}$, 解得 $c(\text{I}^-) = 10^{-1.1} \text{ mol/L}$, 代入 $K_{sp} = c(\text{Pb}^{2+})c^2(\text{I}^-) = 10^{-8}$ 中,

$c(\text{Pb}^{2+}) = 10^{-5.8} \text{ mol/L}$, 故 n 点坐标为 (5.8, 1.1), D 正确;

选答案 AC。

9. (2025 烟台三模, 15) (不定项) 工业上利用反应 $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 制取 H_2 。

向两个容积相同的密闭容器中分别加入等量的 $\text{CO}(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, 在不同温度和催化剂下进行反应, 保持其他初始条件不变, 经 10min 测得两容器中 $\text{CO}(\text{g})$ 转化率如图。下列说法正确的是



A. AC 段的转化率降低的原因是温度升高, 平衡逆向移动

B. T_2 温度下, 0~10min 内, $v(\text{CO})$: 催化剂 1=催化剂 2

C. 催化剂 2 中, B、C 两点均满足 $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$

D. T_2 温度时, 该反应的平衡常数 $K > 2.25$

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 催化剂不改变化学平衡转化率, 由图可知, C 点到 B 点的过程中 CO 的转化率: 催化剂 1 < 催化剂 2, 则温度 T_1 、催化剂 1 条件下 A 点反应未达到平衡状态, 所以 A 点到 C 点转化率降低应该是催化剂失活使反应速率降低, 导致 CO 的转化率减小, 与化学平衡移动无关, A 错误;

B. 由图可知, 0~10min 内 T_2 温度下, CO 的转化率相同, 由 $v = \frac{\Delta c}{\Delta t}$ 可知, 平均速率 $v(\text{CO})$ 的大小关系: 催化剂 1=催化剂 2, B 正确;

C. 由选项 A 分析可知, C 点反应没有达到平衡状态, 反应在正向进行, 此时有 $v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}$; B 点时反应也不一定达到平衡状态, $v_{\text{正}}$ 、 $v_{\text{逆}}$ 不一定相等, C 错误;

D. 由图可知, 温度为 T_2 时, C 点 $\text{CO}(\text{g})$ 转化率为 60%, 若设 $\text{CO}(\text{g})$ 、 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的起始量均为 $a\text{mol}$, 设容器体积

为 VL , 列反应的三段式为:

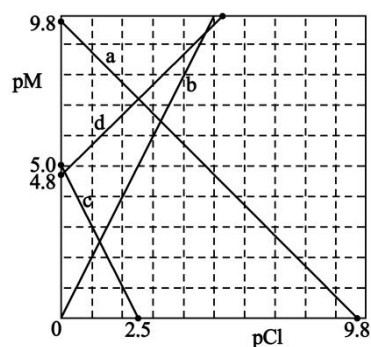
	$\text{CO}(\text{g})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{CO}_2(\text{g})$	+	$\text{H}_2(\text{g})$	
起始量(mol)	a		a		0		0	
转化量(mol)	0.6a		0.6a		0.6a		0.6a	
C点量(mol)	0.4a		0.4a		0.6a		0.6a	

, 由于此时反应还

未达到平衡状态, 则此时的浓度熵 $Q = \frac{\frac{0.6a\text{mol}}{VL} \times \frac{0.6a\text{mol}}{VL}}{\frac{0.4a\text{mol}}{VL} \times \frac{0.4a\text{mol}}{VL}} = 2.25 < K$, D 正确;

故答案为: BD。

10. (2025 淄博三模, 15) (不定项) 常温下, 向分别含 Pb^{2+} 和 Ag^+ 的溶液中加入含 Cl^- 的溶液, 平衡时 pM 随 pCl 的关系如图所示。已知: $\text{AgCl}(\text{s}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{AgCl}_2]^- (\text{aq})$, $\text{PbCl}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{PbCl}_4]^{2-} (\text{aq})$; $\text{pCl} = -\lg c(\text{Cl}^-)$; $\text{pM} = -\lg c(\text{M})$, M 表示 Pb^{2+} 、 Ag^+ 、 $[\text{AgCl}_2]^-$ 、 $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ 。



下列说法正确的是

A. 线 b 表示 $\text{pc}\{[\text{AgCl}_2]^- \} \sim \text{pCl}$ 的关系

B. 常温下, PbCl_2 的 K_{sp} 数量级为 10^{-10}

C. 常温下, $\text{AgCl}(\text{s}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{AgCl}_2]^- (\text{aq})$ $K = 10^{-4.8}$

D. 常温下, 向浓度均为 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 AgNO_3 混合溶液中加入 NaCl ,

$\text{pCl} = 5$ 时 $c(\text{Ag}^+) + 2c\{[\text{AgCl}_2]^- \} > 10^{-5}\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

【答案】CD

【解析】

【分析】① 因为 $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)$, 所以 $-\lg K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = -\lg c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)$ 可变形得到

$-\lg K_{sp}(\text{AgCl}) = -\lg c(\text{Ag}^+) - \lg c(\text{Cl}^-)$ ，即 $\lg c(\text{Ag}^+) = \lg K_{sp}(\text{AgCl}) - \lg c(\text{Cl}^-)$ ，由表达式可知， $-\lg c(\text{Cl}^-)$ 越大， $\lg c(\text{Ag}^+)$ 越大， $-\lg c(\text{Ag}^+)$ 越小；

② 因为 $K_{sp}(\text{PbCl}_2) = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{Cl}^-)$ ，所以 $-\lg K_{sp}(\text{PbCl}_2) = -\lg c(\text{Pb}^{2+}) - 2\lg c(\text{Cl}^-)$ 可变形得到 $-\lg K_{sp}(\text{PbCl}_2) = -\lg c(\text{Pb}^{2+}) - 2\lg c(\text{Cl}^-)$ ，即 $\lg c(\text{Pb}^{2+}) = \lg K_{sp}(\text{PbCl}_2) - 2\lg c(\text{Cl}^-)$ ，由表达式可知， $-\lg c(\text{Cl}^-)$ 越大， $\lg c(\text{Pb}^{2+})$ 越大， $-\lg c(\text{Pb}^{2+})$ 越小；

③ $\text{AgCl}(\text{s}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{AgCl}_2]^- (\text{aq})$ ，所以 $K = \frac{c([\text{AgCl}_2]^-)}{c(\text{Cl}^-)}$ 可变形得到 $-\lg K = -\lg \frac{c([\text{AgCl}_2]^-)}{c(\text{Cl}^-)}$ ，变形得 $-\lg K = -\lg c([\text{AgCl}_2]^-) + \lg c(\text{Cl}^-)$ 即 $-\lg c([\text{AgCl}_2]^-) = -\lg c(\text{Cl}^-) - \lg K$ ，由表达式可知， $-\lg c(\text{Cl}^-)$ 越大， $-\lg c([\text{AgCl}_2]^-)$ 越大；

④ $\text{PbCl}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{PbCl}_4]^{2-} (\text{aq})$ ，所以 $K = \frac{c([\text{PbCl}_4]^{2-})}{c^2(\text{Cl}^-)}$ 可变形得到 $-\lg K = -\lg \frac{c([\text{PbCl}_4]^{2-})}{c^2(\text{Cl}^-)}$ ，变形得 $-\lg K = -\lg c([\text{PbCl}_4]^{2-}) + 2\lg c(\text{Cl}^-)$ 即 $-\lg c([\text{PbCl}_4]^{2-}) = -2\lg c(\text{Cl}^-) - \lg K$ ，由表达式得， $-2\lg c(\text{Cl}^-)$ 越大， $-\lg c([\text{PbCl}_4]^{2-})$ 越大；根据以上分析可知，曲线 a 为 Ag^+ 、曲线 c 为 Pb^{2+} ，曲线 b 为 $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ ，曲线 d 为 $[\text{AgCl}_2]^-$ ，据此回答下列问题。

【详解】A. 由分析知，线 b 表示 $p c\{[\text{PbCl}_4]^{2-}\} \sim p\text{Cl}$ 的关系，A 错误；

B. 根据图像上的数据结合分析可知， $K_{sp}(\text{PbCl}_2) = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{Cl}^-) = 10^{-5} \times 1^2 = 10^{-5}$ ，B 错误；

C. 根据图像上的数据结合分析可知， $\text{AgCl}(\text{s}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{AgCl}_2]^- (\text{aq})$ ， $K = \frac{c([\text{AgCl}_2]^-)}{c(\text{Cl}^-)} = \frac{10^{-4.8}}{1} = 10^{-4.8}$ ，

C 正确；

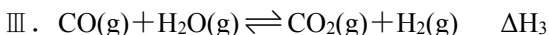
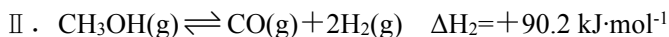
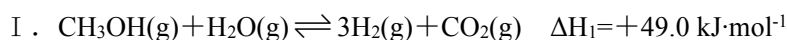
D. 根据图像上的数据结合分析可知， $K_{sp}(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) = 10^{-9.8} \times 1 = 10^{-9.8}$ ， $p\text{Cl}=5$ 时，

$c(\text{Ag}^+) = 10^{-4.8} \text{ mol/L}$ ，则 $c(\text{Ag}^+) + 2c\{[\text{AgCl}_2]^- \} > 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，D 正确；

故选 CD。

五、化学反应原理综合题（非选择题）

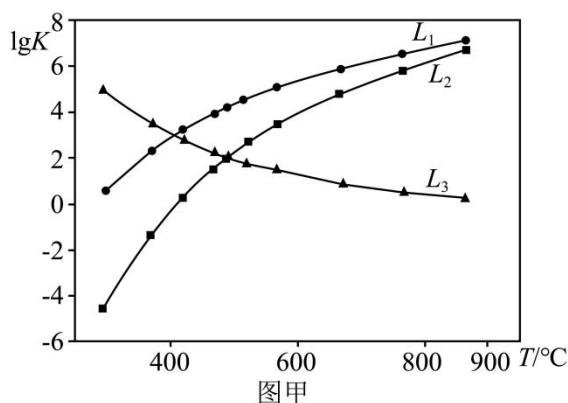
1. （2025 淄博三模，20）甲醇水蒸气催化重整制氢气，涉及主要反应如下：



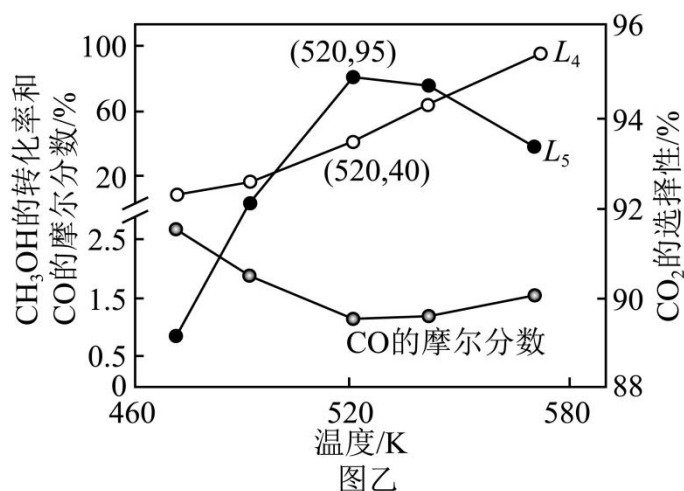
回答下列问题：

（1） $\Delta H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ；以上三个反应的平衡常数 $\lg K$ 随温度 T 变化关系如图甲所示，则表示反应 I 的变化曲

线为_____ (填标号)。



(2) 压强 P 下, 向密闭容器中充入等物质的量的 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 与 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, 达平衡时, CH_3OH 的转化率、 CO 的摩尔分数及 CO_2 的选择性随温度变化的曲线如图乙所示。



已知: CO_2 的选择性 $S(\text{CO}_2) = \frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{CO}_2) + n(\text{CO})} \times 100\%$ 。则表示 CO_2 的选择性的曲线是_____ (填标号); 520K

时, $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的平衡转化率为_____; 随温度升高, CO 的摩尔分数先降低后升高的原因是_____。

(3) 温度 T 时, 向恒容密闭容器中按 $\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{CH}_3\text{OH})} = 1:1$ 投料, 测得起始压强为 $a \text{ kPa}$, 加入适量 $\text{CaO}(\text{s})$, 体系达平衡后, CO_2 的选择性为 80%, CaO 对 CO_2 的吸收率为 50%, 已知温度 T 时, 反应 $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 的平衡常数 $K_p = b \text{ kPa}$, 则平衡时, 分压 $p(\text{H}_2) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kPa}$; 反应 II 的平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}}$; 若向平衡体系中再加入少量 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$, 重新达平衡后, $\frac{p(\text{CH}_3\text{OH})}{p(\text{CO}_2)}$ 将_____ (填“增大”“减小”或“不变”)。

【答案】 (1) ①. -41.2 ②. L_1

(2) ①. L_5 ②. 38% ③. 520K 以下, 反应 I 是主反应, 520K 以上, 反应 II、III 是主反应

(3) ①. 7b ②. $\frac{49b^3}{a-5b}$ ③. 增大

【解析】

【小问 1 详解】

根据盖斯定律, 反应Ⅲ=反应Ⅰ-反应Ⅱ, 则 $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2 = 49.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 90.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -41.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;

反应Ⅰ、Ⅱ为吸热反应, 升高温度 K 增大 ($\lg K$ 增大); 反应Ⅲ为放热反应, 升高温度 K 减小 ($\lg K$ 减小),

反应Ⅰ的 ΔH 小于反应Ⅱ, 相同温度下反应Ⅰ的 K 小于反应Ⅱ, 故表示反应Ⅰ的曲线是 L_1 ;

【小问2 详解】

反应Ⅰ、Ⅲ生成 CO_2 , 反应Ⅱ生成 CO , 温度升高, 反应Ⅰ、Ⅱ (吸热) 正向移动, 反应Ⅲ (放热) 逆向移动, 初始时, 随着温度的升高, 反应Ⅰ占主导, CO_2 选择性升高, 温度升高到一定程度后, 反应Ⅲ占主导, 平衡逆向移动, CO_2 选择性逐渐降低, 故表示 CO_2 选择性的曲线是 L_5 ; 由图可知 520K 时, CH_3OH 的转化率为 40%, CO_2 的选择性为 95%, 设起始 CH_3OH 和 H_2O 的物质的量都为 1mol, 生成 CO_2 的物质的量为 x mol, 生成 CO 的物质的量为 y mol,

则 $\frac{x}{x+y} = 95\%$, $x+y=0.4$, 解得 $x=0.38$, $y=0.02$, 即反应Ⅰ消耗 CH_3OH 为 0.38mol、消耗水 0.38mol, 反应Ⅱ消耗

CH_3OH 为 0.02mol, 所以 H_2O 的平衡转化率为 $\frac{0.38 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times 100\% = 38\%$; 随温度升高, 520K 以下, 反应Ⅰ是主反应, 520K 以上, 反应Ⅱ、Ⅲ是主反应, 故 CO 的摩尔分数先降低后升高;

【小问3 详解】

已知温度 T 时, 反应 $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 的平衡常数 $K_p = p(\text{CO}_2) = b \text{ kPa}$, 即平衡时 $p(\text{CO}_2) = b \text{ kPa}$,

由于 CaO 对 CO_2 的吸收率为 50%, 即反应Ⅰ生成的 $p(\text{CO}_2) = 2b \text{ kPa}$, 温度 T 时, 向恒容密闭容器中按

$\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{CH}_3\text{OH})} = 1:1$ 投料, 测得起始压强为 $a \text{ kPa}$, 即 $p(\text{CH}_3\text{OH}) = p(\text{H}_2\text{O}) = \frac{a}{2} \text{ kPa}$, 体系达平衡后, CO_2 的选择性为

80%, 则 $\frac{p(\text{CO}_2)}{p(\text{CO})} = \frac{2b}{x} = \frac{80\%}{1-80\%}$, 解得 $p(\text{CO}) = \frac{b}{2} \text{ kPa}$, 由 C 守恒可得 $p(\text{CH}_3\text{OH}) = (\frac{a}{2} - 2b - \frac{b}{2}) \text{ kPa} = \frac{a-5b}{2} \text{ kPa}$,

由Ⅰ. $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 、Ⅱ. $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 可知,

$p(\text{H}_2) = 3 \times 2b \text{ kPa} + 2 \times \frac{b}{2} \text{ kPa} = 7b \text{ kPa}$; 反应Ⅱ的平衡常数

$K_p = \frac{p(\text{CO}) \times p^2(\text{H}_2)}{p(\text{CH}_3\text{OH})} = \frac{\frac{b}{2} \text{ kPa} \times (7b \text{ kPa})^2}{\frac{a-5b}{2} \text{ kPa}} = \frac{49b^3}{a-5b} \text{ kPa}^2$; 若向平衡体系中再加入少量 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$, 由于温度未发

生变化, 则 $K_p = p(\text{CO}_2) = b \text{ kPa}$ 不变, 加入 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 使得 $p(\text{CH}_3\text{OH})$ 增大, 故重新达平衡后, $\frac{p(\text{CH}_3\text{OH})}{p(\text{CO}_2)}$ 增大。

2. (2025 潍坊三模, 20) 工业可利用 Zn 还原 SiCl_4 制备单质 Si , 反应过程中有副产物 SiCl_2 生成, 抑制 SiCl_2 生成可以增加 Si 产量并降低生产能耗。存在如下主要化学反应:

i: $\text{SiCl}_4(\text{g}) + 2\text{Zn}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Si}(\text{s}) + 2\text{ZnCl}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 = -134 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

ii: $\text{SiCl}_4(\text{g}) + \text{Zn}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SiCl}_2(\text{g}) + \text{ZnCl}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2$



回答下列问题:

(1) $\Delta H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 在分别为 0.5 MPa、2.5 MPa 和 5.0 MPa 压强下, 反应达平衡时 $x \left[\frac{n_{\text{平}}(\text{SiCl}_2)}{n_{\text{初}}(\text{SiCl}_4)} \right]$ 与温度关系如图 1 所示。反应

在 5.0 MPa、1350 K 时的 $x = \underline{\hspace{2cm}}$, 判断的依据是 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。在压强为 p_1 、1350 K 条件下, 在密闭容器中加入 $1 \text{ mol SiCl}_4(\text{g})$ 和 $4 \text{ mol Zn}(\text{g})$, 恒压反应达平衡时, 容器中 $\text{Zn}(\text{g})$ 的物质的量为 3.05 mol, 此时生成单质 Si 的物质的量为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ mol}$, 反应 iii 的平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

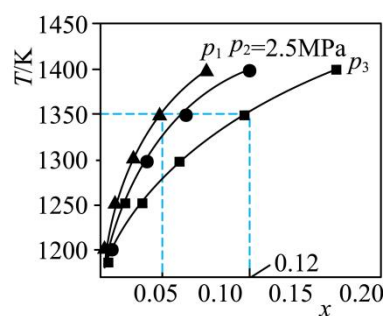


图1

(3) 向密闭容器中加入 $1 \text{ mol SiCl}_4(\text{g})$ 和 $2 \text{ mol Zn}(\text{g})$, 10.0 MPa 条件下平衡时 Si 的选择性 S 随温度的变化及 1500 K 条件下平衡时 S 随压强的变化如图 2 所示。

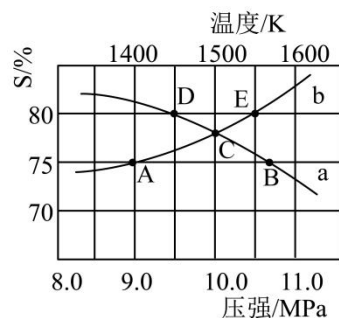


图2

① 10.0 MPa 条件下平衡时 S (Si) 随温度的变化的曲线是 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填 “a” 或 “b”)。C、D、E 对应条件下, 最快达到化学平衡状态的点是 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

② 恒压条件下, 反应经 t min 达 A 点平衡状态, 此时 Zn 和 ZnCl_2 的分压之和为 7.5 MPa, 则 0~t min 内用 SiCl_4 分压表示的平均反应速率为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ MPa} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

【答案】 (1) 98 (2) ①. 0.05 ②. 温度相同时, 增大压强, 反应 iii 平衡逆向移动, $n_{\text{平}}(\text{SiCl}_2)$ 减小,

则 $\frac{n_{\text{平}}(\text{SiCl}_2)}{n_{\text{初}}(\text{SiCl}_4)}$ 减小 ③. 0.45 ④. $\frac{1}{182} \text{ MPa}$

(3) ①. a ②. E ③. $\frac{2.25}{t}$

【解析】

【小问 1 详解】

根据盖斯定律, $\Delta H_2 = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_3}{2} = \frac{-134 + 330}{2} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 98 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

【小问 2 详解】

其他条件相同时, 增加压强, 反应 iii 逆向移动, 此时 x 减小, 则 $p_1 > p_2 > p_3$, $p_1 = 5.0 \text{ MPa}$, 由图得 $x = 0.05$; p_1 、1350 K 时, $x = 0.05$, 则平衡时 $n(\text{SiCl}_2) = 0.05 \times 1 \text{ mol} = 0.05 \text{ mol}$, 则反应 ii 消耗了 $\text{Zn(g)} 0.05 \text{ mol}$, 反应 i 消耗 Zn(g) 物质的量为 $(4 - 3.05 - 0.05) \text{ mol} = 0.9 \text{ mol}$, 所以生成了 Si(s) 物质的量为 $\frac{1}{2} \times 0.9 \text{ mol} = 0.45 \text{ mol}$, 根据 Zn 总量守恒, 体系中生成 $\text{ZnCl}_2 0.95 \text{ mol}$, 剩余 SiCl_4 物质量为 $(1 - 0.45 - 0.05) \text{ mol} = 0.5 \text{ mol}$, 体系中总物质量为 $(0.95 + 3.05 + 0.05 + 0.5)$

$$\text{mol} = 4.55 \text{ mol}, \text{反应 iii 的平衡常数为 } K_p = \frac{\left[\frac{n(\text{SiCl}_2)}{n(\text{总})} \times p_1 \right]^2}{\frac{n(\text{SiCl}_4)}{n(\text{总})} \times p_1} = \frac{\left(\frac{0.05 \text{ mol}}{4.55 \text{ mol}} \times 5.0 \text{ MPa} \right)^2}{\frac{0.5 \text{ mol}}{4.55 \text{ mol}} \times 5.0 \text{ MPa}} = \frac{1}{182} \text{ MPa}。$$

【小问 3 详解】

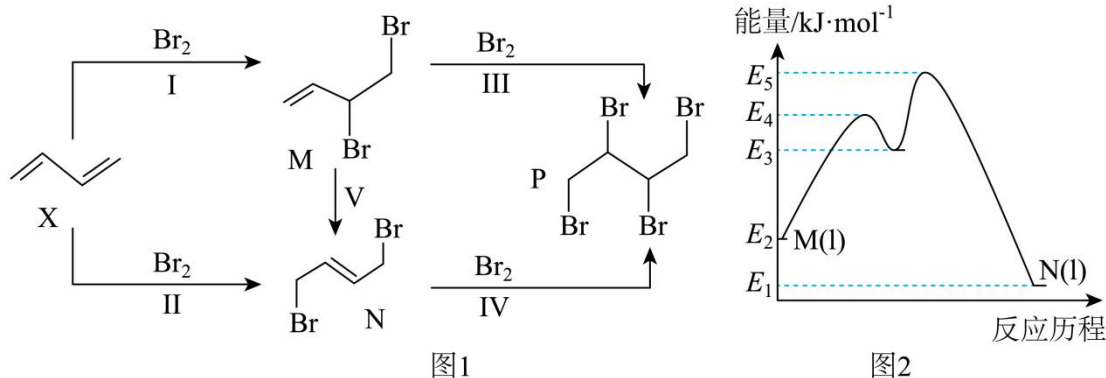
①生成 Si 的反应 i 为放热反应, 压强一定, 升温使平衡逆向移动, S 减小, 所以曲线 a 为压强一定 S 随温度的变化曲线; 温度越高, 压强越大, 反应速率越快, 所以 C 点的反应速率大于 D 点, E 点的反应速率大于 C 点, 则 E 点最快达到平衡;

②A 点平衡时, 总压为 9.0 MPa, 设平衡时总气体物质的量为 $n(\text{总})$, 根据 Zn 守恒, 则 $7.5 \text{ MPa} = \frac{2 \text{ mol}}{n(\text{总})} \times 9.0 \text{ MPa}$,

解得 $n(\text{总}) = 2.4 \text{ mol}$, 所以平衡时容器内 SiCl_2 与 SiCl_4 的总物质的量为 $(2.4 - 2) \text{ mol} = 0.4 \text{ mol}$, 根据 Si 原子守恒, 得出生成 Si(s) 物质量为 $(1 - 0.4) \text{ mol} = 0.6 \text{ mol}$, 因为 A 点 Si 的选择性为 75%, 所以 SiCl_2 的选择性为 25%, 则生成了 SiCl_2 物质的量为 $0.6 \text{ mol} \times \frac{25\%}{75\%} = 0.2 \text{ mol}$, 所以容器内剩余 SiCl_4 物质的量为 $(0.4 - 0.2) \text{ mol} = 0.2 \text{ mol}$, SiCl_4 的反应速率为

$$v(\text{SiCl}_4) = \frac{9.0 \text{ MPa} \times \frac{1 \text{ mol}}{3 \text{ mol}} - 9.0 \text{ MPa} \times \frac{0.2 \text{ mol}}{2.4 \text{ mol}}}{t \text{ min}} = \frac{2.25}{t} \text{ MPa} \cdot \text{min}^{-1}。$$

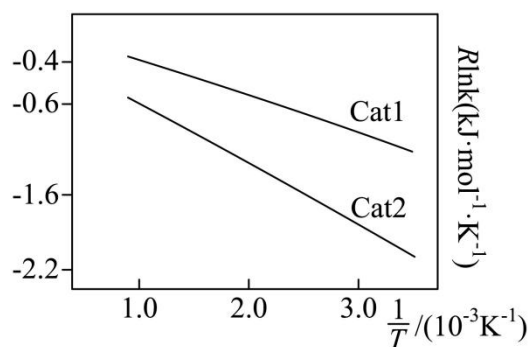
3. (2025 威海三模, 20) 1, 3-丁二烯与溴在气相中发生加成反应时, 其反应机理如图 1 所示; 室温下, M 可以缓慢转化为 N, 能量变化如图 2 所示。回答下列问题:



(1) 室温下反应 V 的热化学方程式为_____ (物质用结构简式表示)。

(2) 反应 I~IV 的速率方程均可表示为 $v = kc(A)c(B)$ ，其中 $c(A)$ 、 $c(B)$ 分别为各反应中对应反应物的浓度， k 为速率常数($k_1 \sim k_4$ 分别对应反应 I~IV)。

① 已知阿伦尼乌斯公式可表示为： $R \ln k = -\frac{E_a}{T} + C$ (R 、 C 均为常数)。一定温度下向密闭容器中充入适量 $M(g)$ 和 $Br_2(g)$ ，发生反应 III。实验测得在催化剂 Cat1、Cat2 下 $R \ln k$ 与 $\frac{1}{T}$ 的关系如图 3 所示。催化效能较高的是_____ (填 “Cat1” 或 “Cat2”)，判断依据是_____。



② 某温度下，向恒容反应器中充入一定量的 $X(g)$ ，保持体系中 $Br_2(g)$ 浓度恒定。已知该温度下，

$k_1:k_2:k_3:k_4=24:6:4:23$ (忽略 M 到 N 的转化)。实验测得 60min 时， $c(M)=0.052 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，假设 0~60min 产物 P 的含量忽略不计，则此时 $c(N)=$ _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3) 向恒容密闭容器中投入 $y \text{ mol } N(g)$ 和 $y \text{ mol } Br_2(g)$ ，发生反应 IV： $N(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons P(g)$ ，在不同条件下进行，反应体系总压强随时间的变化如图 4 所示。

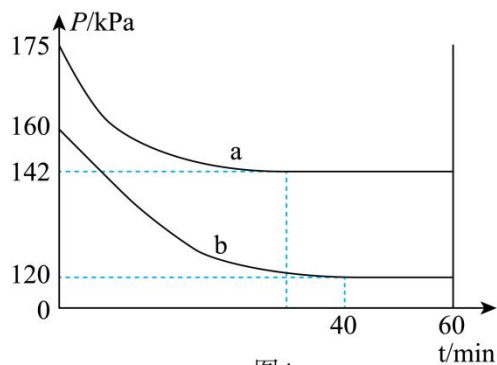


图4

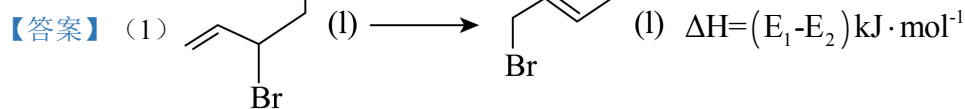
①相对曲线 b，曲线 a 改变的条件可能是_____。

②曲线 b 条件下，保持温度不变，40min 时移走 0.25mol N(g) 和 $0.25\text{mol Br}_2(\text{g})$ ，再达到平衡时， $n(\text{P})$ 为_____mol(填标号)。

A. $0.5y$ B. $0.25y$ C. $<0.25y$ D. $0.25y \sim 0.5y$

(4) 在一定温度下，向某反应容器中加入 1.0mol X(g) 和一定量的 $\text{Br}_2(\text{g})$ 发生上述反应 I、II 和 V。测得 X 的转化率为 α ，若以摩尔分数表示的平衡常数为 K_x ，反应 V 的平衡常数 $K_{x5}=3$ ，则产物 N 的选择性为_____ (选择

性 $S_{(\text{N})} = \frac{n_{(\text{N})}}{n_{(\text{X})\text{消耗}}} \times 100\%$)。



(2) ①. Catl ②. 改变相同温度，在 Catl 条件下 Rlnk 变化值较小， E_a 较小，催化效能较高或相同温度时，Catl 条件下 Rlnk 值较大，k 值较大， E_a 较小，催化效能较高 ③. 0.013

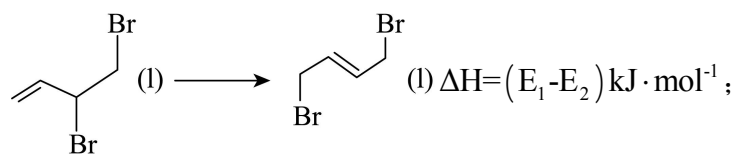
(3) ①. 升高温度 ②. D

(4) 75%

【解析】

【小问 1 详解】

反应的焓变等于生成物总能量和减去反应物总能量，由图，室温下反应 V 的热化学方程式为：



【小问 2 详解】

①活化能越小反应越快，活化能越大反应越慢；由题意可知， $R\ln k = -E_a \times \frac{1}{T} + C$ ，结合图，改变相同温度，在 Catl 条件下 Rlnk 变化值较小， E_a 较小，催化效能较高或相同温度时，Catl 条件下 Rlnk 值较大，k 值较大， E_a 较小，

催化效能较高；

②由题意，体系中 $\text{Br}_2(\text{g})$ 浓度恒定，则 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{k_1 c(\text{X}) c(\text{Br}_2)}{k_2 c(\text{X}) c(\text{Br}_2)} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{24}{6}$ ，则生成 M、N 的浓度之比为

$$\frac{c(\text{M})}{c(\text{N})} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{24}{6} = \frac{0.052 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{c(\text{N})}, \text{ 此时 } c(\text{N}) = 0.013 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}。$$

【小问 3 详解】

①恒容密闭容器中投入 $y \text{ mol N}(\text{g})$ 和 $y \text{ mol Br}_2(\text{g})$ ，发生反应Ⅳ，由图，初时 a 压强更大，且反应速率更快，首先达到平衡，则相对曲线 b，曲线 a 改变的条件可能是升高温度；

②反应为气体分子数减小 1 的反应，由图，曲线 b 平衡时压强由 160kPa 减小到 120kPa，则总的物质的量减小

$$(y \text{ mol} + y \text{ mol}) \times \frac{160-120}{160} = 0.5y \text{ mol}, \text{ 结合化学方程式，平衡时 N、Br}_2、\text{P 分别为 } 0.5y \text{ mol、} 0.5y \text{ mol、} 0.5y \text{ mol；}$$

假设容器体积为 1L，此时 $K = \frac{0.5y}{0.5y \times 0.5y} = \frac{2}{y}$ ，那么 40min 时移走 $0.25y \text{ mol N}(\text{g})$ 和 $0.25y \text{ mol Br}_2(\text{g})$ ，则平衡逆

向移动，设某时刻 P 为 $0.25y \text{ mol}$ ，则此时 N、 Br_2 均为 $0.5y \text{ mol}$ ，对应的 $Q = \frac{0.25y}{0.5y \times 0.5y} = \frac{1}{y} < K$ ，即新平衡 P 的物

质的量大于 $0.25y \text{ mol}$ ，由于平衡逆向移动，新平衡 P 的物质的量小于 $0.5y \text{ mol}$ ，故选 D；

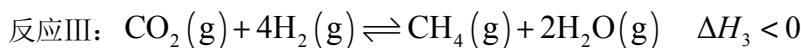
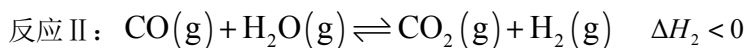
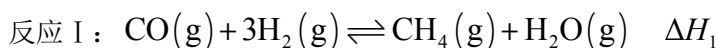
【小问 4 详解】

反应 V 的平衡常数 $K_{x5} = 3 = \frac{x(\text{N})}{x(\text{M})}$ ，则 $x(\text{N}) = 3x(\text{M})$ ，结合反应 I: $\text{X}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{M}(\text{g})$ ，II:

$\text{X}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}(\text{g})$ ，假设生成 $a \text{ mol M}$ ，则生成 $3a \text{ mol N}$ ，则 $\frac{a+3a}{1} = \alpha$ ， $a = 0.25\alpha$ ，则产物 N 的选择性为

$$\frac{3 \times 0.25\alpha}{\alpha} \times 100\% = 75\%。$$

4. (2025 日照三模，20) 氢气和碳氧化物反应生成甲烷，有利于实现碳循环利用，涉及反应如下：



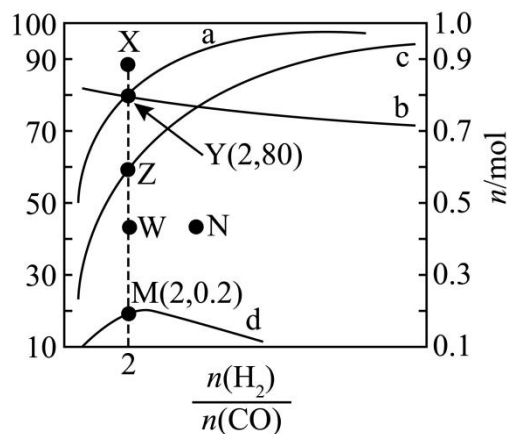
回答下列问题：

(1) $\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2}$ 的数值范围是_____ (填标号)。

A. < -1 B. $-1 \sim 0$ C. $0 \sim 1$ D. > 1

(2) T_1 时，在固定容积的容器中充入一定量的 H_2 和 1 mol CO ，平衡时 H_2 和 CO 的转化率(α)及 CH_4 和 CO_2 的物质

的量(n)随 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO})}$ 变化的情况如图所示。



①曲线 a 和 c 分别代表_____、_____。

②当 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO})} = 2$ 时, CH_4 的选择性 $\left[\frac{n(\text{CH}_4)}{n(\text{CO}_2) + n(\text{CH}_4)} \times 100\% \right] =$ _____。若起始压强为 $3P_0$, 反应 I 的

$K_p =$ _____。

(3) T_2 时, 若反应 II 的平衡常数 $K=0.5$, 则 T_1 _____ T_2 (填“>”或“<”), 当 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO})} = 2$ 时, $\alpha(\text{CO})$ 可能对应

图中的_____ (填“X”“W”或“N”)点。

【答案】 (1) D (2) ①. CO 转化率 ②. CH_4 产率 ③. 75% ④. $\frac{75}{4P_0^2}$

(3) ①. < ②. W

【解析】

【小问 1 详解】

由盖斯定律, 反应 I - 反应 II 得反应 III, 则 $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2 < 0$, $\Delta H_1 < \Delta H_2$, 由于 $\Delta H_2 < 0$, 则 $\Delta H_1 < 0$, 则

$\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} > 1$, 故选 D;

【小问 2 详解】

①结合反应, $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO})}$ 越大, CO 转化率越大直到接近 100%, 而氢气本身的转化率将下降, 故 a 表示 CO 转化率、b

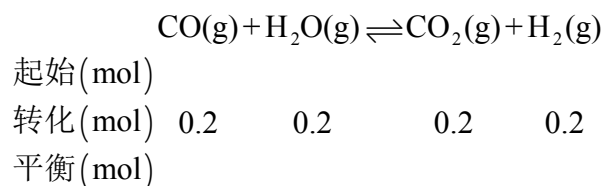
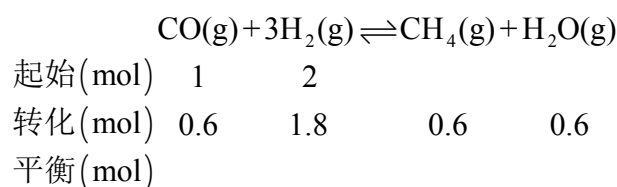
表示 H_2 转化率, 随着 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO})}$ 的增大, CO 接近完全转化, CH_4 产率逐渐增大, 直到接近 100%, 故 c 表示 CH_4 产率

变化的曲线, a 表示 CO 转化率, b 表示 H_2 转化率, d 表示 CO_2 产率变化的曲线;

②反应 I - 反应 II 得反应反应 III, 可以只考虑反应 I、II, 当 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO})} = 2$ 时, 投料 2mol 氢气、1mol CO, 图中 CO

转化率为 80%，则反应了 0.8mol CO，生成 0.2mol 二氧化碳，则结合碳守恒知，生成 0.6mol 甲烷，CH₄ 的选择性

$$\left[\frac{n(\text{CH}_4)}{n(\text{CO}_2) + n(\text{CH}_4)} \times 100\% \right] = \frac{0.6}{0.8} \times 100\% = 75\% ; \text{ 由三段式:}$$



则一氧化碳、氢气、甲烷、水、二氧化碳分别为 0.2mol、0.4mol、0.6mol、0.4mol、0.2mol，总的物质的量为 1.8mol，

$$\text{若起始压强为 } 3P_0, \text{ 则平衡压强为 } 3P_0 \times \frac{1.8}{3} = 1.8P_0, \text{ 反应 I 的 } K_p = \frac{1.8P_0 \times \frac{0.4}{1.8} \times 1.8P_0 \times \frac{0.6}{1.8}}{1.8P_0 \times \frac{0.2}{1.8} \times \left(1.8P_0 \times \frac{0.4}{1.8} \right)^3} = \frac{75}{4P_0^2};$$

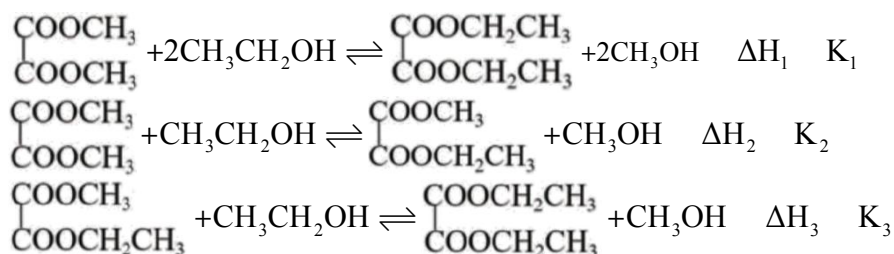
【小问 3 详解】

反应 II 为气体分子数不变的反应，则 T_1 时，反应 II 的平衡常数 $K = \frac{0.4 \times 0.2}{0.4 \times 0.2} = 1$ ，反应为放热反应，升高温度，平

衡逆向移动，平衡常数减小， T_2 时，若反应 II 的平衡常数 $K = 0.5$ ，则 $T_1 < T_2$ ；当 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO})} = 2$ 时，升高温度，反应

I、II 均逆向移动，使得 CO 转化率降低，故 $\alpha(\text{CO})$ 可能对应图中的 W。

5. (2025 青岛三模, 20) 液相中，草酸二甲酯 (DMO) 与乙醇发生酯交换反应合成草酸二乙酯 (DEO) 的反应体系包括如下反应，副产物为草酸甲乙酯 (MEO)：



回答下列问题：

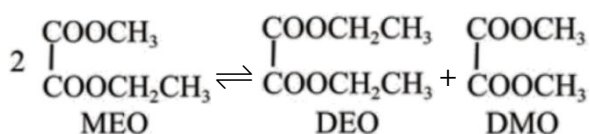
(1) $\Delta H_1 =$ _____ (用 ΔH_2 、 ΔH_3 表示)。

(2) 三个反应的平衡常数几乎与温度无关，从结构的角解释原因_____。

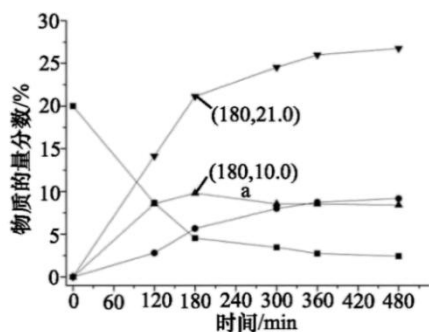
(3) 已知反应 $\begin{array}{c} \text{COOR}_1 \\ | \\ \text{COOR}_1 \end{array} + 2\text{R}_2\text{OH} \rightleftharpoons \begin{array}{c} \text{COOR}_2 \\ | \\ \text{COOR}_2 \end{array} + 2\text{R}_1\text{OH}$ 平衡常数与 R_1 、 R_2 无关 (R_1 与 R_2 为不相同的烃基)。

①若 $K_2=2$ ，则 $K_3= \underline{\hspace{2cm}}$ 。

② MEO 保存时会发生如下反应，其平衡转化率为 $\underline{\hspace{2cm}}$ %。



(4) 初始投料 $n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}):n(\text{DMO})=4:1$ ，323K 时测定 DMO、MEO、DEO、 CH_3OH 物质的量分数随时间的变化如图所示：



①曲线 a 代表 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填“DMO”、“MEO”、“DEO”或“ CH_3OH ”)。

②180min 时 DEO 的物质的量分数为 $\underline{\hspace{2cm}}$ %。

(5) 若上述反应在 $\frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{CH}_3\text{OH})}=x$ 的混合溶液中进行，忽略反应过程对 x 的影响，则随着 x 的增大，平衡时

$\frac{n(\text{MEO})}{n(\text{MEO})+n(\text{DMO})+n(\text{DEO})}$ 会 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填标号)。

- A. 增大 B. 减小 C. 不变 D. 以上均不对

【答案】 (1) $\Delta H_2+\Delta H_3$

(2) 每个反应断裂的化学键与形成的化学键的种类、数目一致，焓变接近 0

(3) ①. 0.5 ②. 50

(4) ①. MEO ②. 5.5 (5) D

【解析】

【小问 1 详解】

将已知反应依次编号为①②③，由盖斯定律可知，反应②+反应③=反应①，则反应 $\Delta H_1=\Delta H_2+\Delta H_3$ ；

【小问 2 详解】

由方程式可知，三个反应都是酯基交换的反应，反应中断裂的化学键与形成的化学键的种类、数目一致，焓变接近 0，所以三个反应的平衡常数几乎与温度无关；

【小问 3 详解】

①由反应 $\begin{matrix} \text{COOR}_1 \\ | \\ \text{COOR}_1 \end{matrix} + 2\text{R}_2\text{OH} \rightleftharpoons \begin{matrix} \text{COOR}_2 \\ | \\ \text{COOR}_2 \end{matrix} + 2\text{R}_1\text{OH}$ 平衡常数与 R_1 、 R_2 无关可知，反应①平衡常数为 $K_1=1$ ，由盖斯

定律可知，反应②+反应③=反应①，则平衡常数 $K_1=K_2 K_3$ ，则反应③的平衡常数 $K_3=\frac{1}{K_2}=\frac{1}{2}=0.5$ ；

②由盖斯定律可知，反应③-反应②=目标反应，则反应的平衡常数 $K=\frac{K_3}{K_2}=\frac{0.5}{2}=0.25$ ，设起始 MEO 的浓度为 2mol/L ，

平衡转化率为 x ，由方程式可知，DEO、DMO 的浓度都为 $x\text{mol/L}$ ，由平衡常数可得： $\frac{x \times x}{(2-2x)^2}=0.25$ ，解得 $x=0.5$ ，

则 MEO 的平衡转化率为 50%；

【小问 4 详解】

①由方程式可知，323K 条件下发生反应时，相同时间内 DMO 的物质的量分数减小，甲醇和 DEO 的物质的量分数增大，且甲醇的物质的量分数大于 DEO，而即做反应物又做生成物的 MEO 的物质的量分数先增大后减小，则曲线 a 代表 MEO；

②由图可知，180min 时，甲醇的物质的量分数为 21.0%，MEO 的物质的量分数为 10.0%，DMO 的物质的量分数小于 5%，则 DEO 的物质的量分数约为 5.5%；

【小问 5 详解】

增大 x 相当于增大乙醇的浓度，反应②、反应③的平衡均向正反应方向移动，DMO 的物质的量减小，DEO 的物质的量增大，但由题意可知，MEO 会转化为 DEO、DMO，所以平衡时 $\frac{n(\text{MEO})}{n(\text{MEO})+n(\text{DMO})+n(\text{DEO})}$ 的值可能先增大后减小，故选 D。

6. (2025 聊城三模，20) CO_2 的利用是实现“碳达峰、碳中和”目标的关键技术之一，逆水煤气转换反应具有实现 CO_2 高效转化为 CO 的巨大潜力。发生的主要反应为：

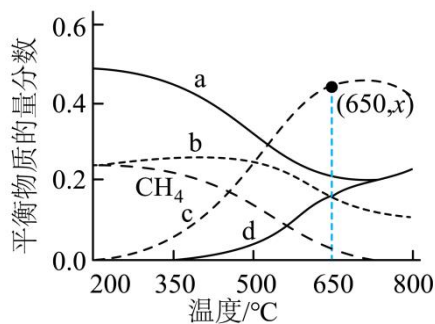
反应 1(逆水煤气变换)： $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_1 = +42.1\text{kJ/mol}$

反应 2(CO_2 甲烷化)： $\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_2 =$

反应 3(CO 甲烷化)： $\text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_3 = -208.1\text{kJ/mol}$

(1) $\Delta H_2 =$ _____ kJ/mol 。

(2) 恒容条件下，加入催化剂($\beta\text{-Mo}_2\text{C/SiO}_2$)、 1molCO_2 和 2molH_2 。在不同的温度下进行反应，平衡时各物种的物质的量分数如图所示。曲线 _____ (填“a”、“b”、“c”或“d”)表示 CO 的平衡物质的量分数随温度变化，随温度升高，曲线 a 先下降的原因是 _____，后上升的原因是 _____。



(3) 650°C达平衡时, 体系的总压为 p MPa, 平衡体系中各物质的物质的量之和为 2.8 mol, $x = \underline{\hspace{2cm}}$, 反应 1 的 $K_p = \underline{\hspace{2cm}}$ (均保留两位小数), 若将容器的体积缩小一半, 达到新的平衡后 CO 的分压 $p_{\text{后}}(\text{CO})$ 与压缩前 CO 的分压中前(CO)相比: $p_{\text{后}}(\text{CO}) \underline{\hspace{2cm}}$ (填“大于”“小于”或“等于”) $2p_{\text{前}}(\text{CO})$ 。

【答案】 (1) -166

(2) ①. d ②. 随温度升高, 由于反应 2 和反应 3 都是放热反应且占主导, 平衡向左移动, H_2O 的含量减小 ③. 当温度继续升高超过 650°C 后, 反应 1 为吸热反应开始占主导作用, 平衡向右移动, H_2O 的含量又开始升高

(3) ①. 0.43 ②. 0.47 ③. 小于

【解析】

【小问 1 详解】

根据盖斯定律, 反应 2: $\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 可看作为由反应 1+反应 3 所得, 则得到

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 + \Delta H_3 = +42.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + (-208.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -166 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}。$$

【小问 2 详解】

根据反应 1 $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H_1 = +42.1 \text{ kJ} / \text{mol}$ 、反应

$2 \text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H_2 = -166 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、反应

$3 \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H_3 = -208.1 \text{ kJ} / \text{mol}$, 在温度 200°C 达到平衡时, 根据 CH_4 物质的

量分数可知主要发生反应 2 为主, CO 含量几乎为 0, 生成物中有 $n(\text{CH}_4):n(\text{H}_2\text{O}) = 1:2$, 则可得到曲线 a 为 H_2O 、

剩余的 CO_2 含量与 CH_4 差不多, 则曲线 b 为 CO_2 , 当升高温度, 反应 2 和反应 3 平衡都向左移动, 开始生成 H_2 和

CO, 根据反应比可知 H_2 生成的量比 CO 多, 则曲线 c 为 H_2 、曲线 d 为 CO; 随温度升高, 由于反应 2 和反应 3

都是放热反应且占主导, 平衡向左移动, H_2O 的含量减小, 当温度继续升高超过 650°C 后, 反应 1 为吸热反应开

始占主导作用, 平衡向右移动, H_2O 的含量又开始升高。

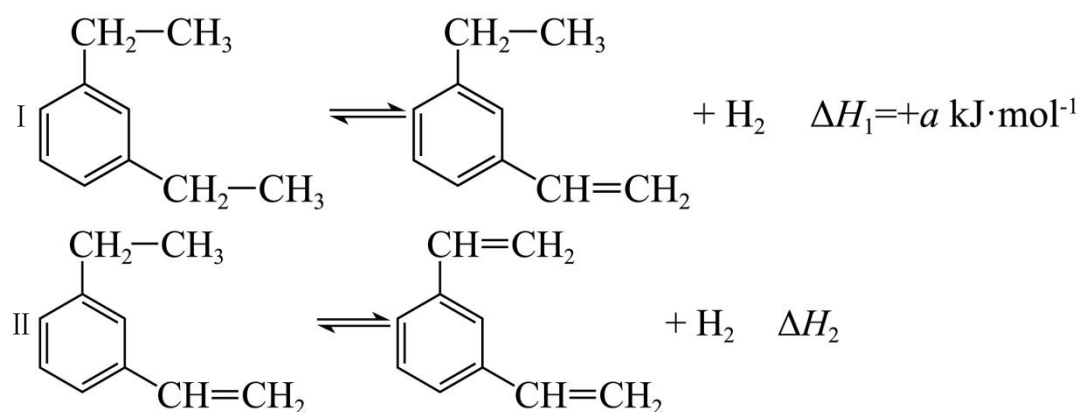
【小问 3 详解】

650℃达平衡时，体系的总压为 p MPa，平衡体系中各物质的物质的量之和为 2.8mol，根据图表中数据可分别得到各成分的物质的量分别为： $n(\text{CH}_4) = 2.8\text{mol} \times 0.01 = 0.028\text{mol}$ 、 $n(\text{CO}) = 2.8\text{mol} \times 0.18 = 0.504\text{mol}$ 、 $n(\text{CO}_2) = 2.8\text{mol} \times 0.18 = 0.504\text{mol}$ 、 $n(\text{H}_2\text{O}) = 2.8\text{mol} \times 0.2 = 0.56\text{mol}$ 、 $n(\text{H}_2) = 2.8\text{mol} \times x = (2.8 - 0.56 - 0.504 - 0.504 - 0.028)\text{mol} = 1.204\text{mol}$ ，解得 $x = 0.43$ 或

$$x = 1 - 0.2 - 0.18 - 0.18 - 0.01 = 0.43; \text{由此可得反应 1 的 } K_p = \frac{\frac{0.504}{2.8} \times p \times \frac{0.56}{2.8} \times p}{\frac{0.504}{2.8} \times p \times \frac{1.204}{2.8} \times p} = 0.47; \text{若将容器的体积}$$

缩小一半，相当于增大压强，反应 1 等体积，平衡不移动；反应 3 为体积减小的反应，增压平衡向右移动，CO 的量减小，则达到新的平衡后 CO 的分压 $p_{\text{后}}(\text{CO})$ 与压缩前 CO 的分压中前(CO)相比： $p_{\text{后}}(\text{CO})$ 小于 $2p_{\text{前}}(\text{CO})$ 。

7. (2025 济宁三模, 20) 间二乙苯脱氢制备间二乙烯基苯,



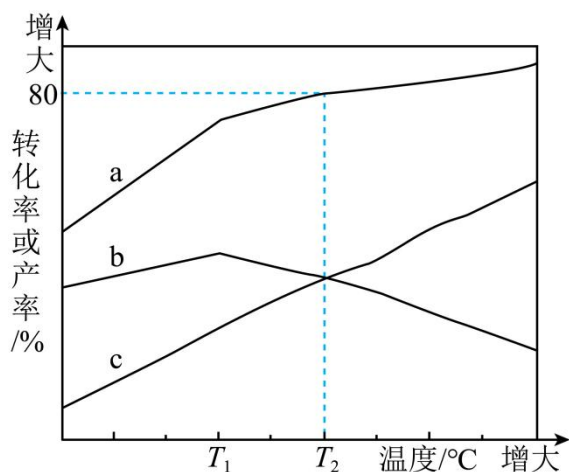
(1) 已知化学键的键能

化学键	C-H	C-C	C=C	H-H
键能 $\text{KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	414	332	611	436

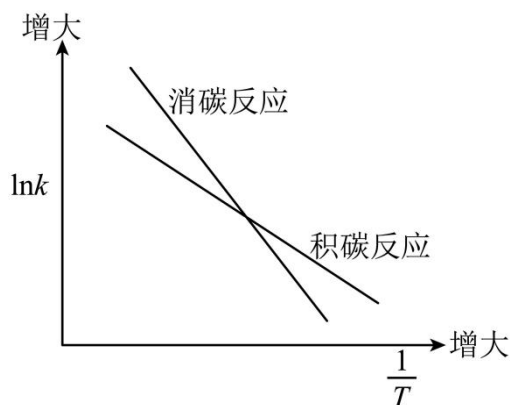
反应 II 的 $\Delta H_2 =$ _____; 反应 II 在 _____ (填“低温”或“高温”)的条件下能自发发生。

(2) 将 1mol 间二乙苯通入压强为 100kPa 的恒压密闭容器，测得间二乙苯的平衡转化率、间乙基乙烯苯和间二乙烯基苯的平衡产率随温度的变化关系如图所示。图中表示间乙基乙烯苯平衡产率的曲线为 _____ (填“a”、“b”或“c”)， T_1 后其平衡产率变化趋势的原因 _____； T_2 条件下进行上述反应，平衡时

$n(\text{H}_2) =$ _____ mol，反应 I 的平衡常数 $K_p =$ _____。



(3) 实际生产过程中会产生积碳反应, 影响催化剂的活性, 通过向容器中通入 CO_2 达到消碳的目的。积碳反应和消碳反应的 $\ln k$ 与温度的关系如图所示($k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$, k 为速率常数, A 、 e 、 R 均为常数, E_a 为反应的活化能, T 表示温度), 消碳反应活化能_____积碳反应活化能(填“大于”、“小于”或“等于”); 为提高除碳效率应在_____区除碳(填“高温”或“低温”)



【答案】 (1) ①. +113kJ/mol ②. 高温

(2) ①. b ②. T_1 温度之后, 反应 II 占主导, 间乙基乙烯苯的消耗量大于生成量 ③. 1.2 ④. $\frac{1200}{11}$ 或

$$\frac{1200}{11} \text{ kPa}$$

(3) ①. 大于 ②. 高温

【解析】

【小问 1 详解】

反应 II, 断裂两条 C-H 键, 生成一条 C=C 双键中的一条, 同时生成 H-H 键,

$$\Delta H_2 = 2 \times E(\text{C-H}) - \{E(\text{C=C}) - E(\text{C-C})\} - E(\text{H-H}) = 2 \times 414 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 611 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 332 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = +113 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}; \text{ 反应 II 自发满足}$$

$\Delta H - T\Delta S < 0$, $\Delta H_2 > 0$, $\Delta S > 0$ 高温的条件下能自发;

【小问 2 详解】

反应 I 是吸热反应, 反应 II 是吸热反应, 温度升高, 反应 I 反应 II 均正向进行, 间乙基乙烯苯是生成间二乙烯基苯

的反应物，故曲线 a 代表间二乙苯的平衡转化率，曲线 b 代表间乙基乙烯苯平衡产率，曲线 c 代表间二乙烯基苯产率， T_1 后其平衡产率变化趋势的原因， T_1 温度之后，反应 II 占主导，间乙基乙烯苯的消耗量大于生成量， T_2 条件下进行上述反应，平衡时间二乙烯基苯的产率等于乙基乙烯苯的产率，间二乙苯的转化率为 80%，故转化的

$$n(\text{间二乙苯}) = 1\text{mol} \times 80\% = 0.8\text{mol}, \quad n(\text{间乙基乙烯苯}) = n(\text{间二乙烯基苯}) = 0.4\text{mol},$$

$$n(\text{H}_2) = n(\text{间乙基乙烯苯}) + 2n(\text{间二乙烯基苯}) = 0.4\text{mol} + 0.8\text{mol} = 1.2\text{mol}; \quad 1\text{mol 间二乙苯通入压强为 } 100\text{kPa}$$

的恒压密闭容器， T_2 条件下进行上述反应，平衡时， $n(\text{间二乙苯}) = 1\text{mol} \times 20\% = 0.2\text{mol}$,

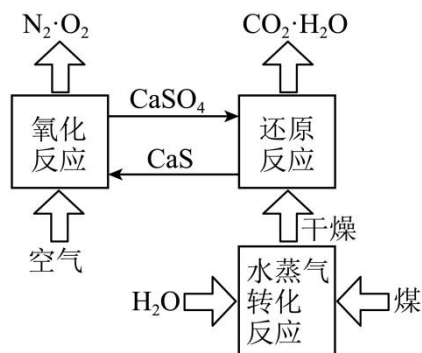
$$n(\text{间乙基乙烯苯}) = n(\text{间二乙烯基苯}) = 0.4\text{mol}, \quad n(\text{H}_2) = 1.2\text{mol}, \quad \text{气体总物质的量是 } 2.2\text{mol},$$

$$\text{反应 I 的平衡常数 } K_p = \frac{\left(\frac{0.4}{2.2} \times 100\text{kPa}\right) \left(\frac{1.2}{2.2} \times 100\text{kPa}\right)}{\left(\frac{0.2}{2.2} \times 100\text{kPa}\right)} = \frac{1200}{11} \text{kPa};$$

【小问 3 详解】

根据 $k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$, $\ln \frac{k}{A} = -\frac{E_a}{RT} \ln e$, 可知斜率大的 E_a 大, 故消碳反应活化能大于积碳反应活化能, T 相同时; 为提高除碳效率应在消碳反应高于积碳反应区域, 即高温区除碳。

8. (2025 德州三模, 20) 化学链燃烧中燃料与空气不直接接触, 是一种无焰燃烧。煤的气化产物的钙基载氧体化学链燃烧反应在三个不同反应器中进行, 更有利于 CO_2 的捕集。已知相关反应的热化学方程式如下:



I. 水蒸气转化器: ① $\text{C(s)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO(g)} + \text{H}_2\text{(g)}$

II. 还原反应器: ② $\text{CO(g)} + \frac{1}{4}\text{CaSO}_4\text{(s)} \rightleftharpoons \frac{1}{4}\text{CaS(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} \quad \Delta H_1 = -43.5\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

③ $\text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{4}\text{CaSO}_4\text{(s)} \rightleftharpoons \frac{1}{4}\text{CaS(s)} + \text{H}_2\text{O(g)} \quad \Delta H_2 = -2.5\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

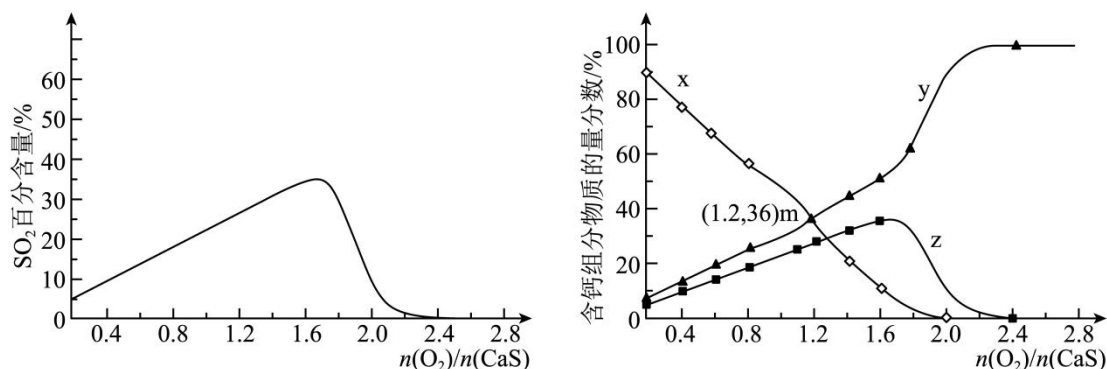
III. 氧化反应器: ④ $\text{CaS(s)} + 2\text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CaSO}_4\text{(s)} \quad \Delta H_3 = -974\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(1) 若碳的燃烧热为 $393\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则水蒸气转化反应的 $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 在恒容密闭容器中进行还原反应, 初始压强为 P , 达平衡后测得混合气中 CO_2 的物质的量分数为 40%, 则反应②的 $K_p = \underline{\hspace{2cm}}$, P_{CO} 分压为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。若压缩容器体积, 重新达平衡后 P_{CO} 分压 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填“增大”“减小”)

或“不变”)

(3) 950°C 下, CaS 氧化过程中, 会发生副反应: $\text{CaS(s)} + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{CaO(s)} + \text{SO}_2(\text{g})$ 。随空气供应量增加, 平衡体系中气体组分中 SO_2 含量以及不同含钙组分(CaS、 CaSO_4 、CaO)物质的量分数的影响如下图所示:



①通过分析可知, 曲线 y 代表_____; 为使 CaS 尽可能多的循环使用, $n(\text{O}_2)/n(\text{CaS})$ 应选择_____(填标号)。

A. 0.4 B. 1.8 C. 2.4

②当 $n(\text{O}_2)/n(\text{CaS}) = 1.2$ 时, 生成 CaSO_4 的选择性 = _____。(选择性 = $\frac{\text{CaSO}_4 \text{ 生成的物质的量}}{\text{CaS 转化的物质的量}} \times 100\%$)

【答案】 (1) +140

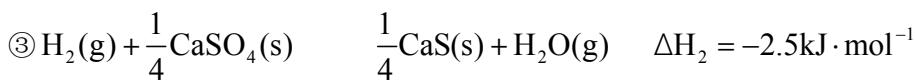
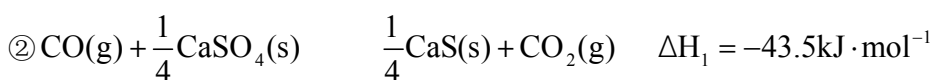
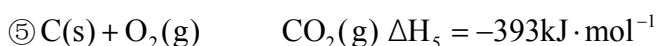
(2) ①. 4 ②. 0.1P ③. 增大

(3) ①. CaSO_4 ②. C ③. 56.25%

【解析】

【小问 1 详解】

燃烧热是在 101 kPa 时, 1 mol 纯物质完全燃烧生成指定产物时所放出的热量; 碳的燃烧热为 $393\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则:



由盖斯定律, ⑤-②-③- $\frac{1}{2}$ ④得反应① $\text{C(s)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO(g)} + \text{H}_2(\text{g})$, 则其焓变为

$$\Delta H = \Delta H_5 - \Delta H_1 - \Delta H_2 - \frac{1}{2}\Delta H_3 = +140\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1};$$

【小问 2 详解】

水蒸气转化器得到等量的氢气和一氧化碳, 初时两者物质的量分数均为 50%, 氢气和一氧化碳进行的还原反应均为气体分子数不变的反应, 反应前后总的物质的量不变、总压强不变, 在恒容密闭容器中进行还原反应, 初始压强为

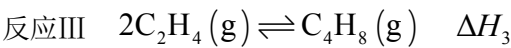
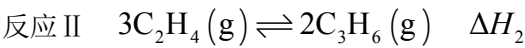
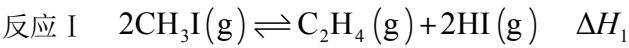
P, 达平衡后测得混合气中 CO_2 的物质的量分数为 40%，结合反应 $\text{CO(g)} + \frac{1}{4}\text{CaSO}_4\text{(s)} \rightleftharpoons \frac{1}{4}\text{CaS(s)} + \text{CO}_2\text{(g)}$ ，
 则 CO 物质的量分数为 50%-40%=10%，反应②的 $K_p = \frac{0.4P}{0.1P} = 4$ ， P_{CO} 分压为 10%P=0.1P，若压缩容器体积，总的
 物质的量不变，总压强增大，CO 物质的量分数不变，则重新达平衡后 P_{CO} 分压增大；

【小问 3 详解】

①副反应： $\text{CaS(s)} + \frac{3}{2}\text{O}_2\text{(g)} = \text{CaO(s)} + \text{SO}_2\text{(g)}$ 为气体分子数减小的反应，随空气供应量增加，平衡正向移动，
 平衡体系中气体组分中 SO_2 含量会先增大，不同含钙组分中硫化钙含量减小、氧化钙含量增大，氧化钙和二氧化硫、
 氧气转化为硫酸钙，导致后期氧化钙含量减小而硫酸钙含量增大，结合图示，曲线 x 代表 CaS、曲线 y 代表 CaSO_4 、
 曲线 z 代表 CaO；结合图，为使 CaS 尽可能多的循环使用， $n(\text{O}_2)/n(\text{CaS})$ 应选择 C. 2.4，此时钙主要以硫酸钙
 存在，然后通过反应 $\text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{4}\text{CaSO}_4\text{(s)} \rightleftharpoons \frac{1}{4}\text{CaS(s)} + \text{H}_2\text{O(g)}$ 回收硫化钙：

②当 $n(\text{O}_2)/n(\text{CaS}) = 1.2$ 时，硫酸钙和硫化钙物质的量含量均为 36%，结合钙元素守恒，生成 CaSO_4 的选择性
 $= \frac{36\%}{1-36\%} \times 100\% = 56.25\%$ 。

9. （2025 烟台三模，20）低碳烯烃指乙烯、丙烯、丁烯，是有机合成的重要原料。一定条件下，碘甲烷（ CH_3I ）热
 裂解制低碳烯烃的主要反应有：



回答下列问题：

（1）反应 I、II、III在不同温度下的分压平衡常数 K_p 数值如下表：

	298 K	323 K	423 K	523 K	623 K
反应 I	7.77×10^{-8}	1.65×10^{-6}	1.05×10^{-2}	2.80	1.41×10^2
反应 II	7.50×10^{13}	2.33×10^{12}	1.48×10^8	3.73×10^5	6.42×10^3
反应	2.50×10^{11}	6.04×10^9	1.40×10^5		2.24

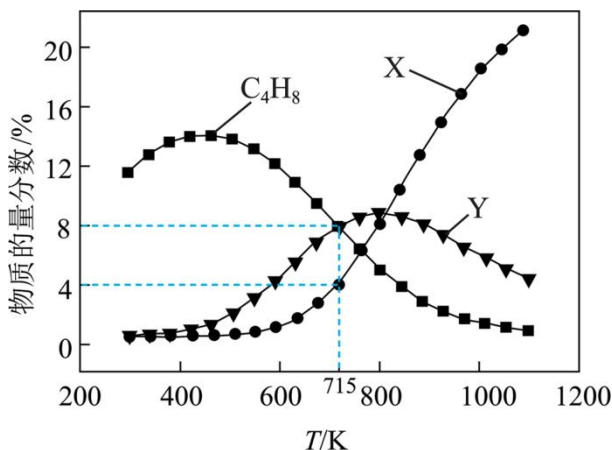
III				1.94×10^2	
-----	--	--	--	--------------------	--

①分析上述数据，推测有利于提高乙烯平衡产率的措施为_____ (填序号)。

A. 合适的催化剂 B. 低温高压 C. 高温高压 D. 高温低压 E. 低温低压

②若存在副反应： $4\text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{C}_4\text{H}_8(\text{g})$ ，则 298 K 时该副反应的平衡常数 K_p 的数值约为_____。

(2) 向容积为 1L 的密闭容器中起始投入 1mol $\text{CH}_3\text{I}(\text{g})$ ，控制条件只发生反应 I、II、III。反应温度对平衡体系中乙烯、丙烯和丁烯占有所有气体物质的量分数的影响如下图所示。



①表示温度对平衡体系中乙烯物质的量分数影响的曲线是_____ (填“X”或“Y”)。

②分析温度低于 450 K 时， C_4H_8 的物质的量分数随温度升高而增大的原因是_____。

③715 K 时平衡压强为 a MPa。此温度下 $\text{C}_4\text{H}_8(\text{g})$ 平衡物质的量浓度为_____，反应 I 的平衡常数

$K_p = \text{_____}$ (用含 a 的式子表示)。

【答案】 (1) ①. D ②. 2.78×10^6

(2) ①. X ②. 反应 I 为吸热反应，反应 III 是放热反应。温度低于 450K 时，对反应 III 的影响是浓度大于温度，温度升高，反应 I 正向移动乙烯浓度增大，导致反应 III 平衡右移，所以 C_4H_8 物质的量分数随温度升高而增大 ③.

$0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ④. $0.64a \text{ Mpa}$

【解析】

【小问 1 详解】

①反应 I 平衡常数随着温度的升高而增大，是吸热反应，反应 II 和反应 III 的平衡常数随着温度的升高而减小，是放热反应，催化剂不能改变平衡产率，高温下反应 I 正向移动可以提高乙烯平衡产率，反应后气体分子数增加，则减压可以使得反应 I 正向移动提高乙烯平衡产率，因此有利于提高乙烯平衡产率的措施为高温低压，故答案为 D；

$$\textcircled{2} K_p = \frac{p^3(\text{C}_4\text{H}_8)}{p^4(\text{C}_3\text{H}_6)} = \frac{p^3(\text{C}_4\text{H}_8)}{p^4(\text{C}_3\text{H}_6)} \frac{p^6(\text{C}_2\text{H}_4)}{p^6(\text{C}_2\text{H}_4)} = \frac{K_{p3}^3}{K_{p2}^2} = \frac{(2.5 \times 10^{11})^3}{(7.5 \times 10^{13})^2} = 2.78 \times 10^6.$$

【小问 2 详解】

①反应 I 是吸热反应，反应 II 和反应 III 是放热反应，温度越高，越有利于乙烯的生成，故表示温度对平衡体系中乙烯物质的量分数影响的曲线是 X，Y 为丙烯；

②反应 I 为吸热反应，反应 III 是放热反应，温度低于 450K 时，对反应 III 的影响是浓度大于温度，温度升高，反应 I 正向移动乙烯浓度增大，导致反应 III 平衡右移，所以 C_4H_8 物质的量分数随温度升高而增大；

③由图可知，750K 反应达到平衡时， C_2H_4 的物质的量分数为 4%， C_3H_6 、 C_4H_8 的物质的量分数都为 8%，设平衡时乙烯的物质的量为 x mol、碘甲烷的物质的量为 y mol，由碘原子个数守恒可知，碘化氢的物质的量为 $(1-y)$ mol，由碳

原子个数守恒可得： $y+2x+6x+8x=1$ ，乙烯的物质的量分数： $\frac{x}{y+5x+1-y} \times 100\% = 4\%$ ，解得 $x=0.05$ mol， $y=0.2$ mol，

碘甲烷的物质的量分数： $\frac{0.2}{1.25} \times 100\% = 16\%$ ，碘化氢的物质的量分数： $\frac{0.8}{1.25} \times 100\% = 64\%$ ，反应 I 的平衡常数：

$$K_p = \frac{p(C_2H_4)p^2(HI)}{p^2(CH_3I)} = \frac{[p_{平}x(C_2H_4)][p_{平}x(HI)]^2}{[p_{平}x(CH_3I)]^2} = p_{平} \times \frac{x(C_2H_4)x^2(HI)}{x^2(CH_3I)} = aMPa \times \frac{4\% \times (64\%)^2}{(16\%)^2} = 0.64aMPa$$
，平衡时丁烯物质的

量浓度为 $\frac{1.25 \times 8\% mol}{1L} = 0.1 mol / L$ 。

第五部分 物质结构与性质

一、物质结构与性质

1. (2025 青岛三模, 2) 氰酸银 (AgOCN) 与 NH_4Cl 一定条件下反应可制得尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 。下列说法正确的是



B. 第一电离能: $\text{O} > \text{N} > \text{C}$

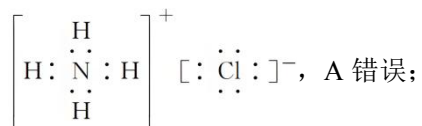
C. 电负性: $\text{Cl} > \text{O} > \text{C}$

D. $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 为极性分子

【答案】D

【解析】

【详解】A. 氯化铵为离子化合物, 由 NH_4^+ 和 Cl^- 构成, N 原子周围 8 电子, Cl^- 周围 8 电子, 电子式为:

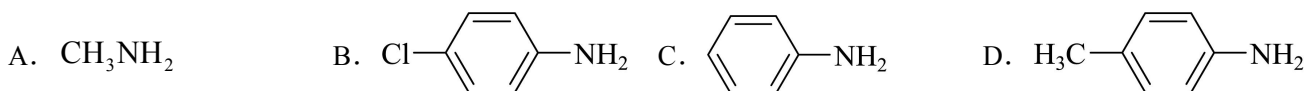


B. 同周期元素第一电离能呈增大趋势, 但 N 的 2p 轨道为半满稳定结构, 第一电离能大于相邻的 O, 正确顺序为 $\text{N} > \text{O} > \text{C}$, B 错误;

C. 同一周期内, 从左到右电负性逐渐增大; 同一主族中, 自上而下电负性逐渐减小, 所以电负性大小为: $\text{O} > \text{Cl} > \text{C}$, C 错误;

D. $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 分子中, 分子中的羰基和氨基电负性差异显著, 导致正负电荷中心不重合, 是极性分子, D 正确; 故选 D。

2. (2025 威海三模, 4) 胺可与 H_2O 发生如下解离反应: $\text{RNH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{RNH}_3^+ + \text{OH}^-$ 而显碱性。已知: ①烷基属于给电子基团; ②苯环的 π 电子可与氮原子上的孤对电子作用, 降低氮原子上的电子云密度。下列胺类化合物中, 碱性最弱的是



【答案】B

【解析】

【详解】氯原子是吸电子基团、甲基和苯环是推电子基团, 吸电子基团导致氨基碱性减弱、推电子基团导致氨基碱性增强, 故碱性由强到弱的顺序为 $\text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2 > \text{C}_6\text{H}_5-\text{NH}_2 > \text{CH}_3\text{NH}_2 > \text{Cl}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2$; 碱性

最弱的是 $\text{Cl}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2$;

答案选 B。

3. (2025 日照三模, 4) 下列关于配合物 $[\text{Fe}(\text{en})_2\text{ClBr}]\text{Cl}$ (en: 乙二胺) 的说法错误的是

A. 铁的化合价为 +3

B. 配体是 en、 Cl^- 、 Br^- ，配位数为 6

C. 1mol 该配合物中含有的 σ 键数为 $28N_A$

D. 若向 1mol 该配合物中加入足量硝酸酸化的 AgNO_3 溶液，可得到 3mol 沉淀

【答案】D

【解析】

【详解】A. 溴和氯为 -1 价，乙二胺不带电，根据正负化合价之和为零可知，铁的化合价计算为 +3，A 正确；

B. 配体为 en（提供两个配位原子）、 Cl^- 、 Br^- ，配位数 = $2 \times 2 + 1 + 1 = 6$ ，B 正确；

C. 每个 en 含 11 个 σ 键，两个 en 共 22，配位键 6 个，总 σ 键数 $28N_A$ ，C 正确；

D. 内界 Cl^- 和 Br^- 作为配体不水解，仅外界 Cl^- 生成 1mol AgCl ，D 错误；

故选 D。

4. (2025 淄博三模, 4) 对下列事实解释错误的是

	事实	解释
A	聚乙炔用于制备导电高分子材料	高分子的共轭大 π 键体系为电荷传递提供了通路
B	王水溶解金	浓盐酸增强了浓硝酸的氧化性
C	利用“杯酚”可分离 C_{60} 和 C_{70}	超分子具有“分子识别”的特性
D	碱性: $\text{CH}_3\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} > \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	甲基是推电子基，增强了 N 原子的电子云密度

【答案】B

【解析】

【详解】A. 聚乙炔的共轭大 π 键体系为电荷传递提供了通路，可用于制备导电高分子材料，A 正确；

B. 王水中浓盐酸的主要作用是提供 Cl^- ，可以溶解得到 HAuCl_4 溶液，B 错误；

C. “杯酚”具有超分子的“分子识别”特性，可分离 C_{60} 和 C_{70} ，C 正确；

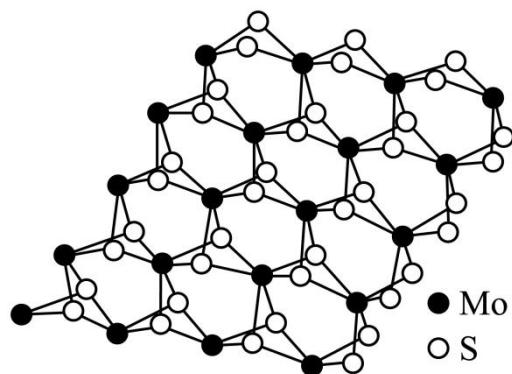
D. 甲基是推电子基，增强了 N 原子的电子云密度，使得 $\text{CH}_3\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 更易结合 H^+ ，导致其碱性比 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 强，

D 正确；

故选 B。

5. (2025 威海三模, 5) 层状 Mo_xS_y 的晶体结构与石墨类似，可用于制作润滑材料、电极材料等。其单层二维部

分结构如图所示，下列说法错误的是



- A. 由结构可知 $x=1, y=2$
- B. 每个 Mo 原子周围距离最近的 S 原子数目为 6
- C. 该晶体中 Mo—S 之间不存在配位键
- D. 其作为润滑材料表现优异与层间存在范德华力有关

【答案】C

【解析】

【详解】A. 由结构可知每个 Mo 原子连接 4 个 S 原子，每个 S 原子连接 2 个 Mo 原子，Mo、S 的最简个数比为 1:2， $x=1, y=2$ ，A 正确；

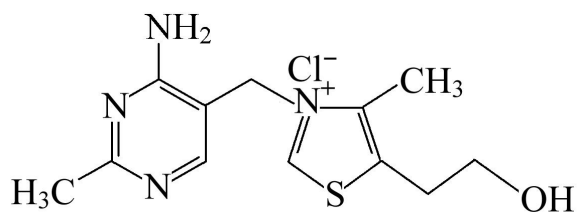
- B. 由图中结构  可知每个 Mo 原子周围距离最近的 S 原子数目为 6，B 正确；

C. S 形成 2 个 σ 键后，S 原子存在孤电子对，Mo 原子提供空轨道，该晶体中 Mo—S 之间存在配位键，C 错误；

D. 层间存在范德华力，作用力较小，容易相对滑动，故其作为润滑材料表现优异与层间存在范德华力有关，D 正确；

故选 C。

6. (2025 济宁三模，6) 维生素 B₁ 可作为辅酶参与糖的代谢，并有保护神经系统的作用，其结构如图所示。下列说法错误的是



- A. 熔点高于 CsCl
- B. 易溶于盐酸
- C. 五元环为平面结构，则五元环形成的离域大 π 键为： π_5^6
- D. 结构中碳原子有两种杂化方式

【答案】A

【解析】

【详解】A. CsCl 为典型的无机离子晶体，熔点较高；维生素 B₁ 为有机盐（有机阳离子与 Cl⁻ 形成），有机阳离子体积大、电荷分散，离子键强度弱，晶格能小，熔点低于 CsCl，A 错误；

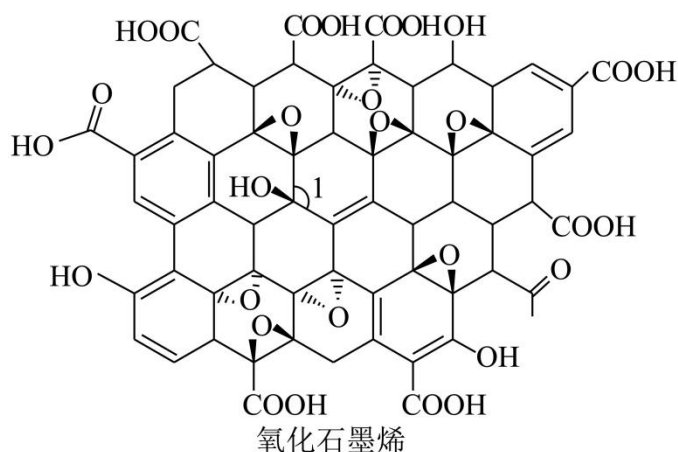
B. 结构含氨基（碱性，可与盐酸反应）、羟基（极性）及季铵盐 N⁺（离子型），均为极性基团，易溶于盐酸，B 正确；

C. 五元环各原子采取 sp² 杂化，为平面结构，N 提供 1 个 p 电子、双键 C 各提供 1 个 p 电子、S 提供 2 个 p 电子，共 6 个电子，离域大π键为 π₅⁶，C 正确；

D. 碳原子杂化方式：六元环、五元环中 C 为 sp² 杂化，饱和 C 为 sp³ 杂化，D 正确；

故选 A。

7. （2025 德州三模，6）氧化石墨烯是一种很好的绝缘体，一旦遇到火灾，就会转变为导电状态，从而触发报警装置，自动发出火灾警报。有关氧化石墨烯的说法错误的是



A. 电负性：O > C > H

B. 高温时部分碳氧键容易断裂

C. 氧化石墨烯的水溶性优于石墨烯

D. 键角 1 大于单层石墨烯中的 ∠C-C-C

【答案】D

【解析】

【详解】A. 元素的非金属性越强，电负性越大，非金属性强弱顺序为 O > C > H，则电负性大小顺序为 O > C > H，A 正确；

B. 氧化石墨烯是一种很好的绝缘体，一旦遇到火灾，就会转变为导电状态，从而触发报警装置，自动发出火灾警报说明火灾时高温使部分碳氧键断裂，含氧官能团减少，结构趋近石墨烯，从而导电触发报警，B 正确；

C. 由图可知，氧化石墨烯含有的羟基、羧基可与水形成分子间氢键，而石墨烯不能与水形成分子间氢键，所以氧化石墨烯水溶性优于石墨烯，C 正确；

D. 单层石墨烯中碳原子形成六元并环结构，杂化方式为 sp² 杂化，∠C-C-C 键角 120°；氧化石墨烯中“键角 1”处碳原子形成四个 σ 键，其杂化方式为 sp³，∠C-C-C 键角小于 120°，所以键角 1 小于石墨烯中的 ∠C-C-C，D 错误；

故选 D。

8. (2025 潍坊三模, 7) 下列陈述 I 与陈述 II 均正确, 且具有因果关系的是

选项	陈述 I	陈述 II
A	原子光谱是不连续的线状光谱	原子的能级是量子化的
B	酸性: $\text{CF}_3\text{COOH} < \text{CBr}_3\text{COOH}$	电负性: $\text{F} > \text{Br}$
C	熔点: $\text{Li} > \text{Na} > \text{K}$	金属键强弱: $\text{Li} < \text{Na} < \text{K}$
D	存在 PCl_5 分子, 故存在 NCl_5 分子	同主族元素性质相似

【答案】A

【解析】

【详解】A. 原子光谱的线状特征是由于能级量子化导致的, A 正确;

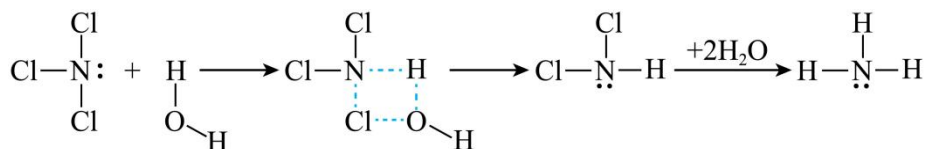
B. F 电负性大于 Br, F 吸电子能力强于 Br, CF_3COOH 的羧基中 O-H 键更容易断裂, CF_3COOH 的酸性强于 CBr_3COOH , B 错误;

C. 半径: $\text{Li} < \text{Na} < \text{K}$, 金属键强弱: $\text{Li} > \text{Na} > \text{K}$, 熔点: $\text{Li} > \text{Na} > \text{K}$, C 错误;

D. N 原子无 d 轨道, 无法形成 NCl_5 , D 错误;

故答案为 A。

9. (2025 德州三模, 7) NCl_3 和 SiCl_4 均可发生水解反应, 其中 NCl_3 的水解机理示意图如下:



下列说法错误的是

A. NCl_3 和 SiCl_4 的空间构型不同

B. NCl_3 水解过程中 N 的杂化不变

C. NHCl_2 能与 H_2O 形成氢键

D. NCl_3 和 SiCl_4 的水解均有 HClO 产生

【答案】D

【解析】

【详解】A. NCl_3 中 N 的价层电子对数为 4, 有 1 个孤电子对, 空间构型为三角锥形, SiCl_4 中 Si 的价层电子对数

为4，无孤电子对，空间构型为正四面体形，二者空间构型不同，A正确；

B. NCl_3 中 N 的价层电子对数为 4，杂化方式为 sp^3 ，水解过程中，中间产物（如 NHCl_2 ）及最终产物（ NH_3 ）中 N 的价层电子对数均为 4，杂化方式始终为 sp^3 ，B 正确；

C. NHCl_2 中存在 N-H 键，N 的电负性大，H 原子可与 H_2O 中 O 的孤电子对形成氢键（ $\text{N-H}\cdots\text{O}$ ），C 正确；

D. NCl_3 水解生成 NH_3 和 HClO ，而 SiCl_4 水解生成 H_4SiO_4 和 HCl ，无 HClO 产生，D 错误；

故选 D。

10. （2025 烟台三模，7）类比推理是化学中常用的思维方法，下列推理正确的是

A. CO_2 中的 C 是 sp 杂化，推测 SiO_2 中的 Si 是 sp 杂化

B. Fe 与 S 反应生成 FeS ，推测 Cu 与 S 反应生成 Cu_2S

C. NH_3 的熔沸点高于 PH_3 ，推测 CH_4 的熔沸点高于 SiH_4

D. $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 能溶于浓氨水中，推测 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 也可溶于浓氨水中

【答案】B

【解析】

【详解】A. CO_2 由分子构成，其中的 C 原子采用 sp 杂化，但 SiO_2 是由原子通过共价键构成的共价晶体，Si 原子采用 sp^3 杂化，A 错误；

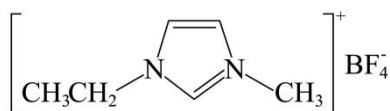
B. 由于 S 氧化性比较弱，与变价金属反应时只能生成低价态 S 的化合物。S 与变价金属 Fe 反应生成+2 价的 FeS ，与变价金属 Cu 反应生成+1 价的 Cu_2S ，类比正确，B 正确；

C. N、P 是同一主族元素，由于 N 的非金属性强，原子半径小，因此 NH_3 的分子之间除范德华力外，还存在氢键，使物质分子之间吸引力增强，因此其熔沸点比同族的元素的氢化物 PH_3 高。而 CH_4 和 SiH_4 是同族元素形成的氢化物，都是由分子构成。物质结构相似，物质的相对分子质量越大，分子间作用力就越大，克服分子间作用力使物质熔化、汽化消耗的能量就越多，物质的熔沸点也就越高。由于范德华力： $\text{SiH}_4 > \text{CH}_4$ ，所以， SiH_4 的熔沸点更高，C 错误；

D. $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 溶于浓氨水是由于生成配合物离子 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ，但 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 不能与氨水形成配合物，因此不能溶于浓氨水中，D 错误；

故合理选项是 B。

11. （2025 日照三模，9）离子液体具有电导率高、化学稳定性好等优点。某离子液体的结构简式如图，下列说法错误的是



A. 键角： $\text{BF}_3 > \text{BF}_4^-$

- B. CH_3^+ 与 NH_2^- 的空间构型均为平面三角形
- C. 该离子液体中存在极性键、非极性键、配位键等化学键
- D. 改变离子液体中烷基的长度可调节离子液体的熔、沸点

【答案】B

【解析】

【详解】A. BF_3 中 B 的价层电子对数为 $3 + \frac{3-3 \times 1}{2} = 3 + 0 = 3$, B 为 sp^2 杂化, BF_3 为平面三角形结构, 键角为 120° ;
 BF_4^- 中 B 的价层电子对数为 $4 + \frac{3+1-4 \times 1}{2} = 4 + 0 = 4$, B 为 sp^3 杂化, BF_4^- 为正四面体, 键角约为 $109^\circ 28'$, 故键角: $\text{BF}_3 > \text{BF}_4^-$, A 正确;

B. CH_3^+ 中 C 价层电子对数为 $3 + \frac{4-1-3 \times 1}{2} = 3$ (无孤电子对), C 为 sp^2 杂化, CH_3^+ 为平面三角形; NH_2^- 中 N 的价层电子对数为 $2 + \frac{5+1-2 \times 1}{2} = 2 + 2 = 4$ (2 对孤电子对), N 为 sp^3 杂化, 空间构型为 V 形, 并非平面三角形, B 错误;

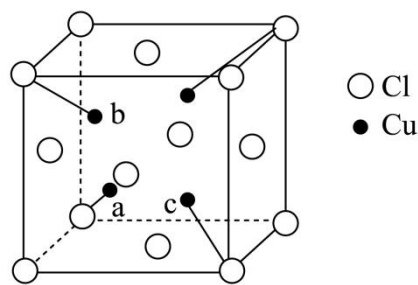
C. 极性键 (如 C-N、C-H)、非极性键 (如乙基中 C-C)、配位键 (BF_4^- 中 B 与 F 形成配位键) 均存在, C 正确;

D. 当烷基长度增加时, 阳离子的体积变大, 阴阳离子间的作用力变小, 离子液体的熔、沸点将降低, 故可通过调节烷基长度调节离子液体的熔、沸点, D 正确;

故选 B。

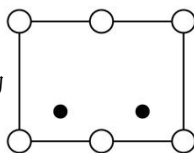
12. (2025 聊城三模, 6) 铜的一种化合物的晶胞如图所示, 晶胞的边长为 $x\text{pm}$, N_A 为阿伏加德罗常数的值, 铜

原子 b 的分数坐标为 $\left(\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}\right)$, 下列说法错误的是



A. 铜原子 a 的分数坐标为 $\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$

B. 将晶胞从上下两面对角线方向切开得到的切面图为



C. a、c 两个铜原子间的距离为 $\frac{\sqrt{3}}{2}x\text{pm}$

D. 晶体中与 Cl 最近且等距离的 Cl 有 12 个

【答案】C

【解析】

【详解】A. 铜原子b的分数坐标为 $\left(\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}\right)$ ，根据分数坐标定义，晶胞中对称位置的原子坐标应满足各分量互

补（1-坐标值），则a的坐标为 $\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$ ，故A正确；

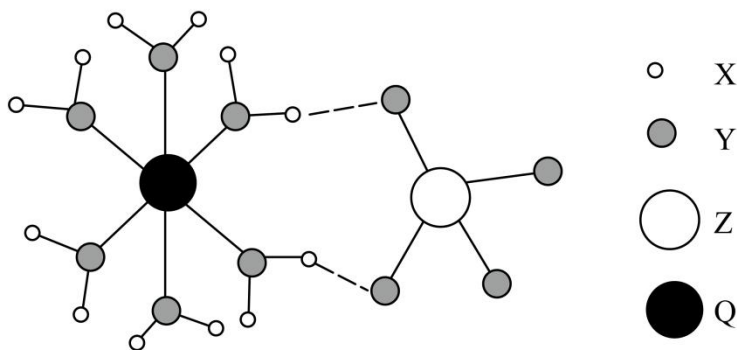
B. 晶胞为立方结构，从上下两面对角线方向切开（沿 $x=y$ 平面），切面会经过顶点 Cl^- 和内部 Cu^+ ，切面图中顶点为 Cl^- （白球），中间为 Cu^+ （黑球），与选项图示一致，故B正确；

C. a的坐标为 $\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$ ，c若为另一四面体间隙 Cu^+ （如 $\left(\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}\right)$ ），则a、c间 $\Delta x=0.5$ 、 $\Delta y=0$ 、 $\Delta z=0.5$ ，距离为 $\sqrt{\left(\frac{1}{2}x\right)^2 + \left(\frac{1}{2}x\right)^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}x \text{ pm}$ ，而非 $\frac{\sqrt{3}}{2}x \text{ pm}$ ，故C错误；

D. Cl^- 呈面心立方（FCC）堆积，每个 Cl^- 周围最近且等距离的 Cl^- 有12个（同层4个，上下层各4个），故D正确；答案选C。

二、元素推断题

1. （2025 潍坊三模，5）X、Y、Z、Q 是不同周期、原子序数依次增大的前四周期元素，基态 Y 原子有 3 个能级，其中有 2 个未成对电子，Z 与 Y 同主族，Q 二价阳离子核外的 M 层排布了 14 个电子，由四种元素组成的化合物结构如图。下列说法正确的是



- A. 简单氢化物稳定性：Y < Z
B. 同周期的简单离子半径比 Y 离子小的有 1 种
C. 第一电离能：Y > Z > Q
D. 该化合物中存在的化学键有离子键、非极性共价键、极性共价键和配位键

【答案】C

【解析】

【分析】X、Y、Z、Q 为不同周期、原子序数依次增大的前四周期元素。Y 为第二周期元素，基态 Y 原子有 3 个能级（1s、2s、2p），2 个未成对电子，结合四种元素组成的化合物的结构知，Y 为 O；X 为第一周期元素，只能为 H；Z 为与 Y 同主族的第三周期元素，Z 为 S；Q 为第四周期元素，Q 二价阳离子的 M 层（第三层）有 14 个电

子，Q 的原子序数=2（K 层）+8（L 层）+14（M 层）+2（失去 2 个电子）=26，Q 为 Fe，据此分析解题。

【详解】A. Y 为 O，简单氢化物为 H_2O ；Z 为 S，简单氢化物为 H_2S ，非金属性 $\text{O} > \text{S}$ ，故稳定性 $\text{H}_2\text{O} > \text{H}_2\text{S}$ ，即 $\text{Y} > \text{Z}$ ，故 A 错误；

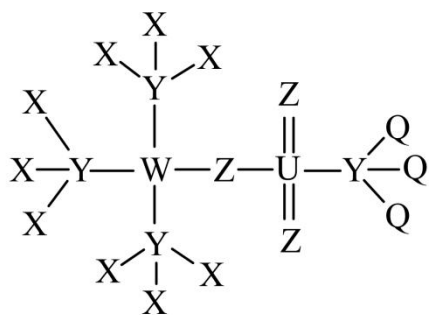
B. Y 为 O，简单离子为 O^{2-} ，第二周期简单离子中，比 O^{2-} 半径小的有：阳离子（ Li^+ 、 Be^{2+} 等，电子层 1 层）和阴离子 F^- （电子层 2 层，核电荷数更大），故 B 错误；

C. Y（O）、Z（S）同主族，第一电离能 $\text{O} > \text{S}$ ；Q（Fe）为金属，第一电离能小于非金属 S，故第一电离能 $\text{O} > \text{S} > \text{Fe}$ ，即 $\text{Y} > \text{Z} > \text{Q}$ ，故 C 正确；

D. 该化合物中存在离子键、配位键、极性共价键，但无非极性共价键，故 D 错误；

故答案选 C。

2. （2025 青岛三模，5）短周期非金属元素组成的化合物结构如图所示，X、Y、Z 原子序数依次增大，Z、Q、U 电子层数之和为 7。下列说法错误的是



A. 常温下 Q_2 可以置换出 Z_2

B. 非金属性： $\text{Z} > \text{U} > \text{Y}$

C. 简单离子的半径： $\text{U} > \text{Z} > \text{Q}$

D. UZQ_2 为平面型分子

【答案】D

【解析】

【分析】X、Y、Z、Q、U 都是短周期非金属元素，化合物结构中 Z 形成 2 条共价键、U 形成 6 条共价键，二者处于 VIA 族，故 Z 为 O 元素、U 为 S 元素；而 Z、Q、U 电子层数之和为 7，则 Q 的电子层数为 $7-2-3=2$ ，结构图中 Q 能形成 1 条共价键，可知 Q 为 F 元素；X 形成 1 条共价键、Y 形成 4 条共价键，X、Y、Z（氧）原子序数依次增大，可知 X 为 H 元素、Y 为 C 元素。

【详解】A. Q_2 为 F_2 ， Z_2 为 O_2 ， F_2 常温下可与水反应： $2\text{F}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HF} + \text{O}_2 \uparrow$ ，A 正确；

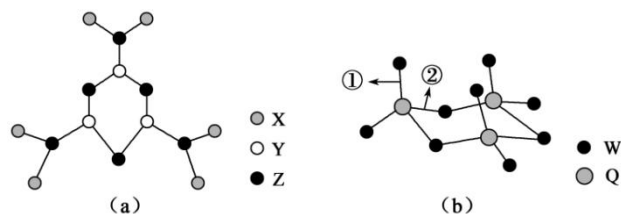
B. Z 为 O，U 为 S，Y 为 C，非金属性 $\text{O} > \text{S}$ （同主族从上到下减弱）、 $\text{S} > \text{C}$ （S 非金属性强于 C），则非金属性 $\text{Z} > \text{U} > \text{Y}$ ，B 正确；

C. 简单离子 U 为 S^{2-} 、Z 为 O^{2-} 、Q 为 F^- ， S^{2-} 电子层 3 层， O^{2-} 和 F^- 为 2 层，电子层数越大半径越大，电子层相同核电荷数越小半径越大，故半径 $\text{S}^{2-} > \text{O}^{2-} > \text{F}^-$ ，即 $\text{U} > \text{Z} > \text{Q}$ ，C 正确；

D. UZQ_2 为 SOF_2 ，中心 S 原子价层电子对数是： $3 + \frac{1}{2} \times (6 - 2 - 2 \times 1) = 4$ ，含 1 对孤电子对，属于 sp^3 杂化，分子构型为三角锥形，非平面型，D 错误；

故选 D。

3. (2025 淄博三模，8) 短周期主族元素 X、Y、Z、W、Q 的原子序数依次增大，且 X、Y、Q 位于不同周期，W、Q 同主族，五种元素基态原子中 Z 未成对电子数最多。这些元素组成的环状物质 a 和 b 结构如图所示(图中未区别标出单、双键)。下列说法正确的是



A. 电负性： $Z > W > Y$

B. a 分子为极性分子

C. b 分子中键长：① < ②

D. b 形成的晶体作用力为共价键

【答案】C

【解析】

【分析】X、Y、Z、W、Q 为原子序数逐渐增大的短周期元素，X、Y、Q 处于不同周期，X 为 H 元素，Y 为第二周期元素，Q 为第三周期的元素，由图 a 可知，Z 周围形成三个共价键，Z 的基态原子中未成对电子数最多，则 Z 为 N 元素，Y 和 Z 形成的环状结构中，存在大 π 键，则 Y 为 C 元素，图 a 为 NH_2CN 的三聚体；图 b 可知，W 形成 2 个键，W 与 Q 同主族，W 为 O 元素，Q 为 S 元素，b 是 SO_3 的三聚体。

【详解】A. 同周期元素，原子序数越大，非金属性越强，故电负性 $\text{O} > \text{N} > \text{C}$ ，电负性： $\text{W} > \text{Z} > \text{Y}$ ，A 错误；

B. a 分子正负电荷中心重合，是非极性分子，B 错误；

C. b 分子中①为 $\text{S}=\text{O}$ 键，②为 $\text{S}-\text{O}$ 键，双键键长小于单键键长，C 正确；

D. b 形成的晶体为分子晶体，作用力是范德华力，D 错误；

故选 C。

4. (2025 威海三模，8) 化合物 $\text{RY}_2(\text{YZ}_3\text{X}_{10})(\text{XW})_2$ 在涂料等领域应用广泛。W、X、Y、Z、R 的原子序数依次增加，W、X、Y、R 分别属于前四个不同周期的主族元素。基态 X 原子中 s 能级电子总数与 p 能级电子总数相等，基态 Z 原子次外层电子数是最高能层电子数的 2 倍，Y 和 Z 的原子序数之和等于 X 和 R 的原子序数之和，基态 R 原子的价电子只占据最高能层 1 个原子轨道。下列说法错误的是

A. 原子半径： $\text{R} > \text{Y} > \text{Z} > \text{X}$

B. X 的第一电离能比同周期相邻元素的都低

C. 化合物 $\text{RY}_2(\text{YZ}_3\text{X}_{10})(\text{XW})_2$ 中，Z 显 +4 价

D. Y、Z、R 的最高价氧化物对应的水化物，两两之间均能反应

【答案】D

【解析】

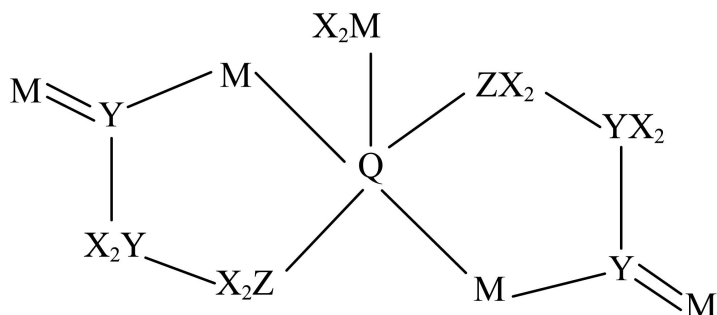
【分析】W、X、Y、Z、R 的原子序数依次增加，W、X、Y、R 分别属于前四个不同周期的主族元素，W 是 H 元素。基态 X 原子中 s 能级电子总数与 p 能级电子总数相等，X 是 O 元素；基态 Z 原子次外层电子数是最高能层电子数的 2 倍，Z 是 Si 元素；Y 和 Z 的原子序数之和等于 X 和 R 的原子序数之和，基态 R 原子的价电子只占据最高能层 1 个原子轨道，R 是 K 或 Ca，若 R 是 Ca，X 和 R 的原子序数之和为 28，Y 和 Si 的原子序数之和等于 28，则 Y 原子序数为 14，所以 R 不可能是 Ca，R 是 K，Y 是 Al。

【详解】A. 电子层数越多半径越大，电子层数相同，质子数越多半径越小，原子半径： $K > Al > Si > O$ ，故 A 正确；
B. 同周期元素从左到右第一电离能有增大趋势，N 原子 2p 能级半充满，结构稳定，N 原子第一电离能大于同周期相邻元素，所以 O 的第一电离能比同周期相邻元素的都低，故 B 正确；

C. 根据化合价代数和等于 0，化合物 $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ 中，Si 显 +4 价，故 C 正确；

D. $Al(OH)_3$ 是两性氢氧化物，溶于强酸和强碱， H_2SiO_3 是弱酸， $Al(OH)_3$ 和 H_2SiO_3 不反应，故 D 错误；
选 D。

5. (2025 济宁三模，8) 物质 K 是一种矿物类饲料添加剂，其结构如图所示，其中 X、Y、Z、M、Q 五种元素的原子序数依次增大，基态原子满足下列条件：X 是原子半径最小的元素，Y 的最外层电子数是次外层电子数的 2 倍，M 的 L 能层有两对成对电子，Q 位于第四周期且同周期中价电子数最多。下列说法错误的是



A. 简单氢化物的稳定性： $M > Z$

B. 物质 K 中 Q 的化合价为 0 价

C. 第二电离能大小顺序为： $M > Z > Y$

D. 1mol 该化合物含有配位键的数目为 $5N_A$

【答案】B

【解析】

【分析】X、Y、Z、M、Q 五种元素的原子序数依次增大，X 是原子半径最小的元素，则 X 为 H；Y 的最外层电子数是次外层电子数的 2 倍，则 Y 为 C；M 的 L 能层有两对成对电子，则 M 为 O；Z 的原子序数介于 C 和 O 之间，则 Z 为 N；Q 位于第四周期且同周期中价电子数最多，则 Q 为 Zn，据此回答问题。

【详解】A. 非金属性越强，简单氢化物越稳定，非金属性： $O > N$ ，故简单氢化物的稳定性： $H_2O > NH_3$ ，A 正确；

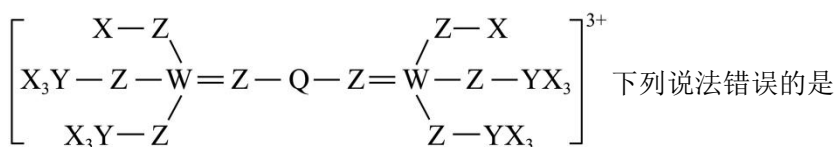
B. 由结构可知，Zn 在物质 K 中显 +2 价，B 错误；

C. 第二电离能： O^+ 的价电子排布式为 $2s^22p^3$ ，处于 $2p$ 半满稳定结构， N^+ 的价电子排布式为 $2s^22p^2$ ， C^+ 的价电子排布式为 $2s^22p^1$ ，因此第二电离能： $O>N>C$ ，C正确；

D. Zn 为中心离子，结构中通过配位键与5个配位原子（如O、N等）结合， $1mol$ 该化合物含 $5N_A$ 配位键，D正确；

故选B。

6. （2025 聊城三模，8）某有机反应的催化剂粒子为 $[Q(Y_2X_7Z_4W)]^{3+}$ ，结构如下图，X、Y、Z、W、Q为前四周期元素且原子序数依次递增。X、Y、Z三种元素的核电荷数之和等于W的核电荷数，基态W原子的第一电离能高于同周期相邻的两种元素，基态Q原子中自旋方向相反的电子数相差4。



A. 电负性： $Y>X$

B. 简单氢化物的键角： $Y>Z$

C. 简单氢化物的沸点： $Z>W$

D. 基态原子的未成对电子数： $Q>W$

【答案】C

【解析】

【分析】由催化剂粒子M的结构可知，X形成1个共价键，Y形成4个共价键，Z形成2个共价键，W形成5个共价键，前四周期元素X、Y、Z、W、Q的原子序数依次递增，且X、Y、Z三种元素的核电荷数之和等于W的核电荷数，基态W原子的第一电离能高于同周期相邻的两种元素，所以W是P元素，X是H元素，Y是C元素，Z是O元素，基态Q原子中两种自旋方向的电子数相差4，且原子序数大于O，所以Q是Fe元素，据此回答。

【详解】A. 电负性： $C>H$ ，故A正确；

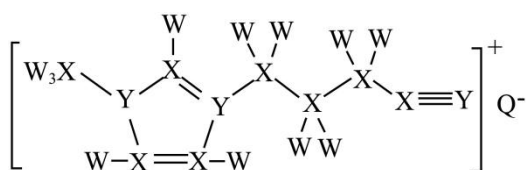
B. CH_4 （正四面体，键角 $109^\circ28'$ ），键角大于 H_2O （V形，键角 104.5° ），故B正确；

C. PH_3 的沸点（ $-87.7^\circ C$ ）低于 H_2O （ $100^\circ C$ ），故C错误；

D. Fe的未成对电子数为4，大于P的未成对电子数3，故D正确；

答案选C。

7. （2025 烟台三模，9）W、X、Y、Q是原子序数依次增大的短周期主族元素，含有W、X、Y、Q的化合物可形成离子液体，结构如图所示，其中的五元环中含有大 π 键。下列说法错误的是



A. 第一电离能： $X<W<Y$

B. 该结构中X所表示元素的杂化方式有3种

C. 仅由W、Y两种元素形成的化合物中可能存在离子键

D. 四种元素中最高价氧化物对应的水化物酸性最强的一定是Y元素

【答案】D

【解析】

【分析】W 形成 1 个共价键，X 形成 4 个共价键，Y 形成 3 个共价键，则 Y 是 N 原子，X 是 C 原子，W 是 H 原子，Q 能形成-1 价阴离子，Q 可能是 F 或 Cl。

【详解】A. W 为 H、X 为 C、Y 为 N，第一电离能： $C < H < N$ ，故 A 正确；

B. X 为 C，单键碳的杂化方式为 sp^3 、双键碳的杂化方式为 sp^2 、三键碳的杂化方式为 sp ，故 B 正确；

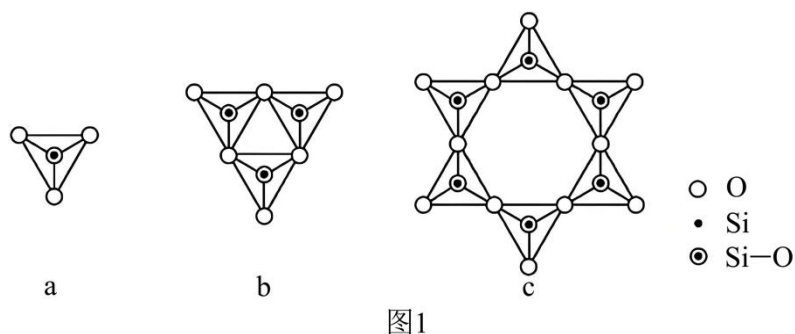
C. W 为 H，Y 为 N，二者可形成 NH_4H ，属于离子化合物，存在离子键，故 C 正确；

D. Q 的原子序数大于 Y，若 Q 为 Cl，其最高价氧化物对应水化物为 $HClO_4$ ，其酸性强于 HNO_3 ，故 D 错误；
选 D。

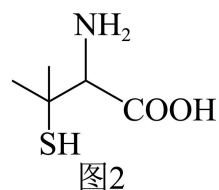
三、物质结构与性质综合题（非选择题）

1. （2025 淄博三模，16）铜、金可形成许多结构与性质特殊的化合物。回答下列问题：

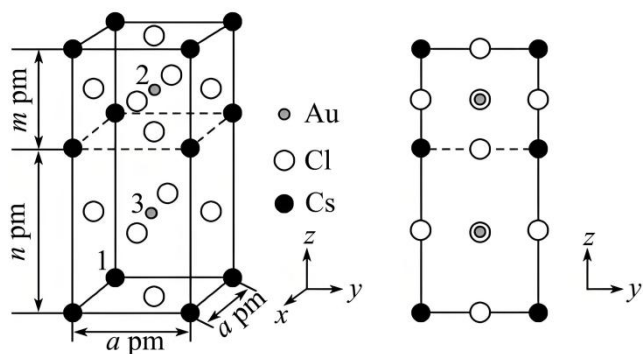
（1）齐文化博物馆汉代器物上的颜料“中国蓝”的成分为 $BaCuSi_4O_{10}$ ，其基态铜离子的价电子排布式为_____，基态 O 原子核外电子的空间运动状态有_____种。硅氧四面体 SiO_4^{4-} 结构如图 a 表示，图 b 和图 c 分别是由数个 SiO_4^{4-} 构成的多硅酸根，若 Si 原子数为 $n(n \geq 3)$ ，则其化学式可表示为_____。



（2）用青霉胺(见图 2)可解铜盐中毒，青霉胺分子中 S 原子的轨道杂化方式为_____；键角： H_2S _____ NH_3 (填“>”或“<”)；第二周期元素中，第一电离能大于 N 的元素有_____ (用元素符号表示)；青霉胺易溶于水的主要原因为_____。



（3）由 Au、Cs 和 Cl 组成的晶胞属于四方晶系，结构如图所示，2、3 为两种不同价态和化学环境的 Au， $m < a < n$ 。则两种环境 Au 的配离子化学式分别为_____。点 1 原子的分数坐标为(0, 0, 0)，则点 2 原子的分数坐标为_____。



【答案】 (1) ①. $3d^9$ ②. 5 ③. $\text{Si}_n\text{O}_{3n}^{2n-}$

(2) ①. sp^3 ②. < ③. F、Ne ④. 青霉胺可与水形成分子间氢键

(3) ①. $[\text{AuCl}_2]^-$ 、 $[\text{AuCl}_4]^-$ ②. $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{n+0.5m}{m+n})$

【解析】

【小问 1 详解】

①Cu 原子电子排布式为 $[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$, Cu^{2+} 其价层电子排布式为 $3d^9$;

②基态 O 原子核外电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^4$, s 轨道和 p 轨道的原子轨道数共为 5, 则基态 O 的空间运动状态有 5 种;

③c 中含有 6 个四面体结构, 所以含有 6 个 Si 原子, 含有的氧原子数为 18, 含有氧原子数比 6 个 SiO_4^{4-} 少 6 个 O, 带有的电荷数为: $6 \times (-2) = -12$; 根据图示可知: 若一个单环状离子中 Si 原子数为 n ($n \geq 3$), 则含有 n 个四面体结构, 含有的氧原子数目比 n 个硅酸根离子恰好少 n 个 O 原子, 即: 含有 n 个 Si 原子, 则含有 $3n$ 个氧原子, 带有的负电荷为: $n \times (-2) = -2n$, 故其化学式为: $\text{Si}_n\text{O}_{3n}^{2n-}$;

【小问 2 详解】

①由图 2 可知青霉胺的结构式为 S 原子的价层电子对数为 4, 故 S 原子轨道杂化方式为 sp^3 ;

② H_2S 和 NH_3 中心原子的杂化方式均为 sp^3 杂化, 但由于 H_2S 中含有两对孤电子对, 而 NH_3 中只含一对孤电子对, 含孤电子对数越多则键角就越小, 故键角: $\text{H}_2\text{S} < \text{NH}_3$;

③第二周期元素中, 第一电离能大于 N 的元素有 F、Ne;

④由图 可知, 青霉胺中含有氨基和羧基, 它们可与水形成氢键, 故易溶于水的主要原因为: 青霉胺

可与水形成分子间氢键;

【小问 3 详解】

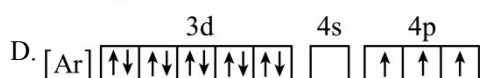
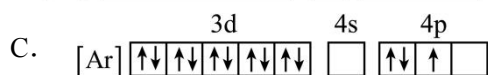
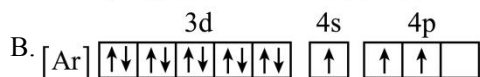
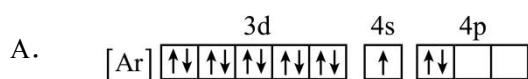
①因为 $m < a < n$ 所以距离点 2 (Au) 的最近的 Cl^- 有：上面的面心和中间体内的 Cl^- ，故点 2 (Au) 的配离子化学式为 $[\text{AuCl}_2]^-$ ；距离点 2 (Au) 的最近的 Cl^- 有：下面六面体的前后左右四个面的面心位置的 Cl^- ，故点 3 (Au) 的配离子化学式为 $[\text{AuCl}_4]^-$ ；

②分数坐标是指 x、y、z 三个方向上的距离分别占晶胞长宽高的比例，如图所示，晶胞内部点 2 位于上面立方体的体心位置，以原子 1 为原点建立坐标系，小白球位于上部分的体心，高为 $m+n$ ，则小白球的分数坐标为：

$$(0.5, 0.5, \frac{n+0.5m}{m+n})。$$

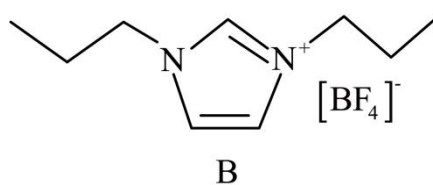
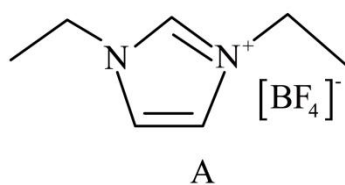
2. (2025 潍坊三模, 16) 元素周期表第 III A 族包括 B、Al、Ga 等元素，它们参与形成的化合物有重要研究和应用价值。回答下列问题：

(1) 同周期中，基态原子未成对电子数与 Ga 相同的主族元素是_____ (填元素符号)，基态 Ga 转化为下列激发态时所需能量最少的是_____ (填标号)。



(2) 离子液体常用作铝离子电池的电解质，其中阴离子有 AlCl_4^- 、 Al_2Cl_7^- ， AlCl_4^- 的空间构型为_____， Ga_2Cl_7^- 与 Al_2Cl_7^- 结构相似，均含有两个配位键， Ga_2Cl_7^- 的结构式为_____ (标出配位键位置)。

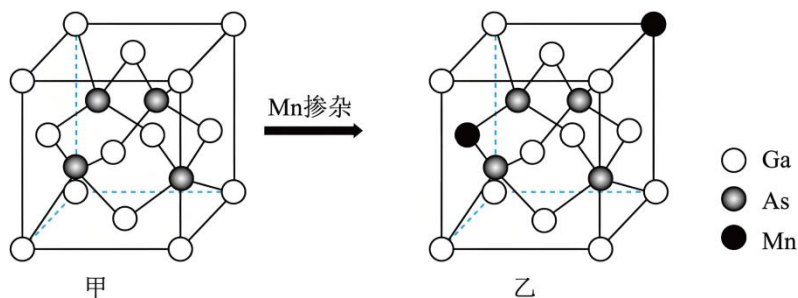
(3) 研究发现通过改变阳离子侧链可调控离子化合物的熔点，离子液体 A 和 B 的熔点较高的是_____ (填标号)；元素 H、B、N、F 的电负性由大到小的顺序为_____。



(4) 离子液体 C () 可用于分离木质素和纤维素 $\{[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3]_n\}$ ，纤维素

极易溶于该离子液体的原因是_____。

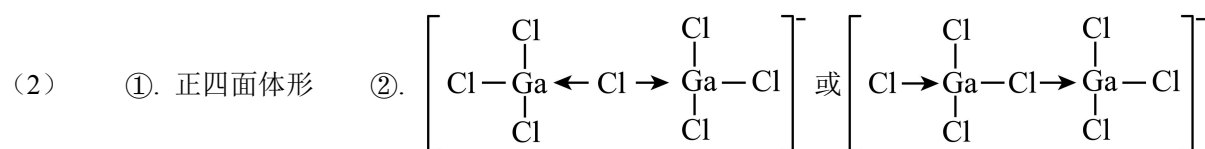
(5) GaAs 晶胞结构如图甲所示，将 Mn 掺杂到 GaAs (晶体中得到稀磁性半导体材料结构如图乙所示。



①图甲中，GaAs 的相对分子质量为 M ，晶体密度为 $\rho \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ， N_A 表示阿伏加德罗常数的值，则晶胞中距离最近的两个 Ga 原子间距离为 _____ pm (用含 M 、 ρ 、 N_A 的代数式表示)。

②图乙晶体中 Mn、Ga、As 的原子个数比为 _____。

【答案】 (1) ①. K、Br ②. B



(3) ①. A ②. $F > N > H > B$

(4) 纤维素间的分子间氢键被破坏，羟基与离子液体形成分子间氢键

(5) ①. $\frac{\sqrt{2}}{2} \times 3 \sqrt{\frac{4M}{\rho N_A}} \times 10^{10}$ ②. 5:27:32

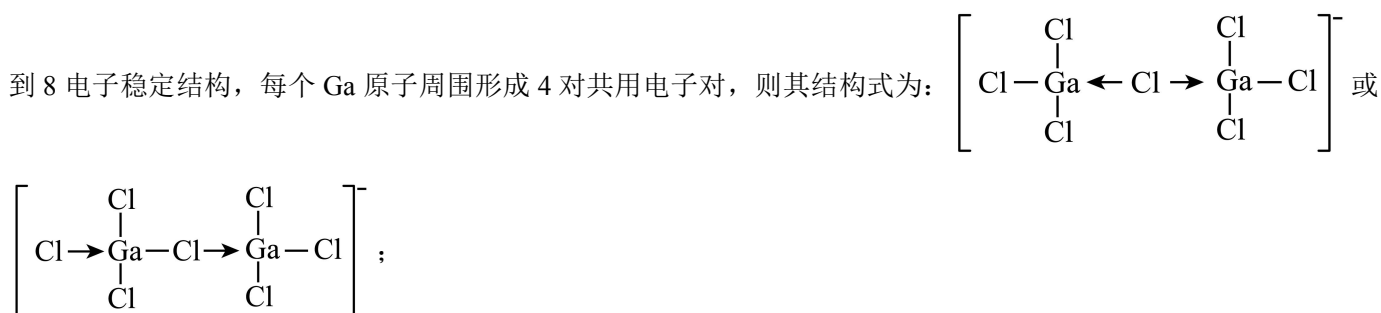
【解析】

【小问 1 详解】

基态 Ga 原子的未成对电子数为 1，同周期中，基态原子未成对电子数与 Ga 相同的主族元素是 K、Br；由题干信息可知，A、B 中只有一个 4s 上的电子跃迁到 4p 上，C、D 中有两个 4s 上的电子跃迁到 4p 上，故 A、B 需要的能量小于 C、D，而 A 中 4p 上的 2 个电子占有一个轨道，B 中 4p 上的 2 个电子分别占有不同的轨道，故 B 的能量比 A 低，故 B 所示发生的跃迁所需能量最低，故选 B；

【小问 2 详解】

AlCl_4^- 中中心原子的价层电子对数为 $4 + \frac{3+1-4 \times 1}{2} = 4$ ，故其空间构型为正四面体形， Ga_2Cl_7^- 中各原子最外层均达



【小问 3 详解】

A、B 均为离子晶体，阴离子相同，阳离子所带电荷量也相同。当阳离子侧链从乙基增长到丙基，阳离子的体积(或

半径/尺寸)增大, 离子键的强度减弱, 熔点也随之降低, 故 A 的熔点较高; 同周期主族元素从左到右电负性逐渐增大, 所以电负性: $F > N > B$, 又因为 BH_3 、 NH_3 中 B、N 元素分别显正价、负价, 说明电负性: $N > H > B$, 所以 H、B、N、F 的电负性由大到小的顺序为 $F > N > H > B$;

【小问 4 详解】

纤维素难溶于水的主要原因是其链间有多个氢键, 其极易溶于该离子液体的原因是纤维素间的分子间氢键被破坏, 羟基与离子液体形成分子间氢键;

【小问 5 详解】

①若 GaAs 晶体密度为 $\rho g \cdot cm^{-3}$, 相对分子质量为 M , N_A 表示阿伏加德罗常数的数值, 可知 $\rho = \frac{m}{V}$, 设晶胞边长为 a cm, 则 $\rho = \frac{4M}{N_A \times a^3}$, 解得 $a = \sqrt[3]{\frac{4M}{N_A \rho}} \times 10^{10} pm$, 晶胞中距离最近的两个 Ga 原子间距离为面对角线的一半,

$$\text{即 } \frac{\sqrt{2}}{2} \times \sqrt[3]{\frac{4M}{N_A \rho}} \times 10^{10} pm;$$

②根据图像, GaAs 晶胞中距离 Ga 原子最近 As 原子有四个; 该晶胞中的锰原子的个数根据均摊法计算共有

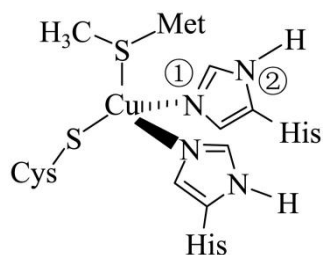
$$1 \times \frac{1}{8} + 1 \times \frac{1}{2} = \frac{5}{8}; \text{ 镓原子的个数根据均摊法计算共有 } 7 \times \frac{1}{8} + 5 \times \frac{1}{2} = \frac{27}{8}; \text{ 砷原子共有内部 4 个; 故晶体中}$$

Mn、Ga、As 的原子个数比为 $5 : 27 : 32$ 。

3. (2025 威海三模, 16) 铜及其化合物在生产、生活和科研领域应用广泛。回答下列问题:

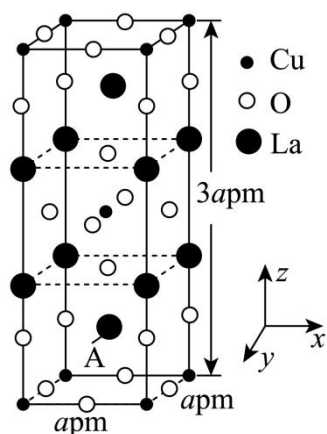
(1) 基态 Cu 原子的价层电子的轨道表示式为_____; 同周期的过渡元素中, 基态原子未成对电子数和 Cu 相同的元素是_____(填元素符号)。

(2) 质体蓝素是首个通过 X 射线衍射分析结构测定的蓝铜蛋白, 其结构如图。图中 Cu^{2+} 的配位数为_____。



已知 $\begin{array}{c} N \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \\ NH \end{array}$ 具有与苯环类似的大 π 键, 则图中②号 N 原子的杂化方式为_____, 试分析①号 N 原子比②号 N 原子更易与 Cu^{2+} 形成配位键的原因为_____。

(3) 化合物 X 由 La、Cu 和 O 三种元素组成, 它是第一个被发现的氧化物超导体, 其晶胞结构如图所示, 晶胞棱边夹角均为 90° 。晶胞中每个 Cu 原子处于最近的若干个 O 原子构成的空间结构的中心, 则这若干个 O 原子构成的空间构型为_____。化合物 X 的化学式为_____; A 点原子的分数坐标为_____; 若阿伏加德罗常数的值为 N_A , 则晶胞密度 $\rho =$ _____ $g \cdot cm^{-3}$ (用含 a 、 N_A 的代数式表示)。



【答案】 (1) ①. $\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 3d \\ \hline \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{|c|} \hline 4s \\ \hline \uparrow \\ \hline \end{array}$ ②. Sc

(2) ①. 4 ②. sp^2 ③. ①号 N 原子上的孤电子对, 未参与形成大 π 键, 电子云密度大, 易给出孤电子对, ②号 N 原子上的孤电子对, 参与形成大 π 键, 使电子云密度降低, 不易给出孤电子对

(3) ①. 正八面体形 ②. La_2CuO_4 ③. $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{6})$ ④. $\frac{8.12 \times 10^{32}}{3N_A \cdot a^3}$

【解析】

【小问 1 详解】

Cu 是 29 号元素, 基态 Cu 原子的价层电子排布式为 $3d^{10}4s^1$, 根据泡利原理和洪特规则, 其价层电子的轨道表示式为 $\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 3d \\ \hline \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{|c|} \hline 4s \\ \hline \uparrow \\ \hline \end{array}$; 基态 Cu 原子的价层电子排布式为 $3d^{10}4s^1$, 未成对电子数是 1, 同周期过渡元素中, Sc 的价层电子排布式为 $3d^14s^2$, 未成对电子数也是 1 个, 所以基态原子未成对电子数和 Cu 相同的元素是 Sc;

【小问 2 详解】

由图可知, Cu^{2+} 与 2 个 S 原子和 2 个 N 原子形成配位键, 所以 Cu^{2+} 的配位数为 4; 已知 $\begin{array}{c} N \\ \diagup \quad \diagdown \\ \diagdown \quad \diagup \\ NH \end{array}$ 具有与苯环类似的大 π 键, 则图中②号 N 原子形成 3 个 σ 键, 无孤电子对, 杂化轨道数为 3, 所以杂化方式为 sp^2 ; 由于①号 N 原子上的孤电子对, 未参与形成大 π 键, 电子云密度大, 易给出孤电子对, ②号 N 原子上的孤电子对, 参与形成大 π 键, 使电子云密度降低, 不易给出孤电子对, 则①号 N 原子比②号 N 原子更易与 Cu^{2+} 形成配位键;

【小问 3 详解】

如图所示, 晶胞棱边夹角均为 90° , 铜原子位于体心, O 原子位于晶胞内、棱上和侧面面心, 晶胞中每个 Cu 原子处于最近的 6 个 O 原子构成的正八面体空间结构的中心; 由晶胞图可知, Cu 原子位于顶点和体心, 个数为 $1 + 8 \times \frac{1}{8} = 2$, La 原子位于体内和棱上, 个数为 $2 + 8 \times \frac{1}{4} = 4$, 氧原子位于晶胞内、棱上和侧面面心, 个数为 $2 + 16 \times \frac{1}{4} + 4 \times \frac{1}{2} = 8$, 则 La、Cu、O 原子的原子个数比为 $4 : 2 : 8 = 2 : 1 : 4$, 则化合物 X 的化学式为 La_2CuO_4 ; A 原子位于晶胞的体内, 从俯视图可知, x 和 y 的坐标均为 $\frac{1}{2}$, 从侧视图可知, z 的坐标为 $\frac{1}{6}$, A 点原子的分数坐标为 $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{6})$; 由晶胞图可知, Cu 原子位于顶点和体心, 个数为 $1 + 8 \times \frac{1}{8} = 2$, La 原子位于体内和棱上, 个数为

$2 + 8 \times \frac{1}{4} = 4$ ，O 原子位于晶胞内、棱上和侧面面心，个数为 $2 + 16 \times \frac{1}{4} + 4 \times \frac{1}{2} = 8$ ，则晶胞的质量

$$m = \frac{64 \times 2 + 139 \times 4 + 16 \times 8}{N_A} g = \frac{812}{N_A} g, \text{ 晶胞的体积 } V = (a \times 10^{-10} \times a \times 10^{-10} \times 3a \times 10^{-10}) cm^3 = 3a^3 \times 10^{-30} cm^3,$$

则由 $\rho = \frac{m}{V}$ 可得，晶胞密度 $\rho = \frac{m}{V} = \frac{\frac{812}{N_A} g}{3a^3 \times 10^{-30} cm^3} = \frac{8.12 \times 10^{32}}{3a^3 \cdot N_A} g/cm^3$ 。

4. (2025 日照三模, 16) C、Fe、N、Li 及其化合物在生产生活中有重要作用。

回答下列问题:

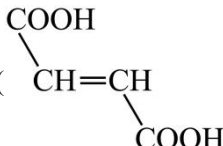
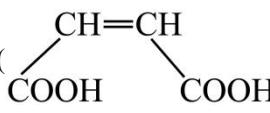
(1) 杂化轨道中 s 轨道成分越多, C 元素的电负性越强。下列化合物中, 最有可能在碱性体系中形成阴离子的是 _____ (填标号)。

A. CH_4

B. C_2H_4

C. C_2H_2

D. 苯

(2) 富马酸() 的熔点为 $300^\circ C$, 马来酸() 的熔点为 $140^\circ C$, 富马酸熔点大于

马来酸的原因可能是 _____。

(3) 第四周期元素中, 基态原子未成对电子数比 Fe 多的是 _____ (填元素符号), 该周期中 3d 轨道上没有未成对电子的过渡元素离子的水合离子为无色, 下列离子形成的水合离子为无色的是 _____。

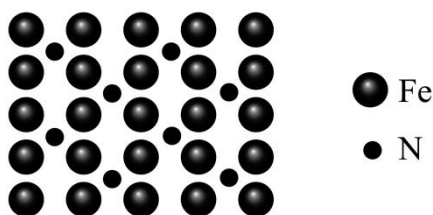
A. Sc^{3+}

B. Cr^{3+}

C. Fe^{3+}

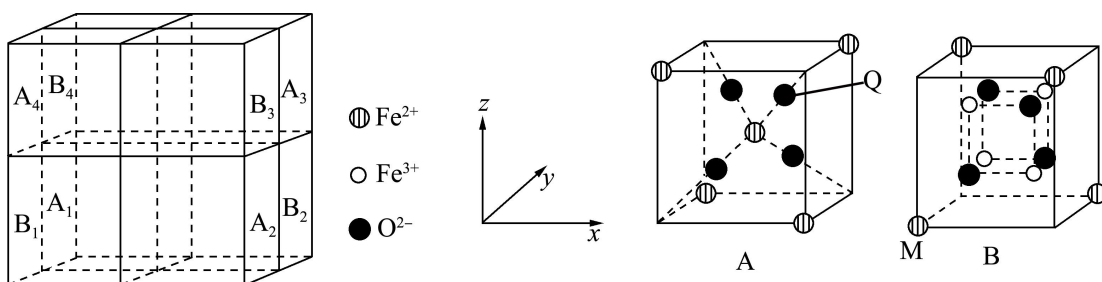
D. Zn^{2+}

(4) 应用于合成氨反应的铁催化剂表面上存在氮原子, 下图为氮原子在铁的晶面上的单层附着局部示意图, 铁颗粒表面上氮原子与铁原子的个数比为 _____。



(5) 某种离子型铁氧化物的晶胞结构如下图所示, 它由 A、B 两种正方体单元构成, 且两种正方体单元中氧离子的空间位置相同。通过 Li^+ 嵌入或脱嵌晶胞的棱心和体心, 可将该晶体设计为某锂电池的正极材料

$LiFe_mO_n / Li_{1-x}Fe_mO_n$ (m、n 为正整数)。



已知：脱嵌率 = $\frac{\text{一个晶胞中脱嵌出的Li}^+\text{数}}{\text{一个晶胞中嵌入Li}^+\text{的最大值}} \times 100\%$ 。

①B₁中M原子分数坐标为(0, 0, 0)，则A₃中Q原子分数坐标为_____。

②若该锂电池正极材料中n(Fe²⁺): n(Fe³⁺)=5: 7，则Li⁺的脱嵌率为_____。

【答案】(1) C (2) 富马酸是反式结构，形成的主要是分子间氢键，使其分子间的作用力大大强于马来酸，故熔点比马来酸高的多

(3) ①. Cr、Mn ②. AD

(4) 1: 2 (5) ①. $(\frac{7}{8}, \frac{5}{8}, \frac{7}{8})$ ②. 50%

【解析】

【小问1 详解】

C是6号元素，根据构造原理可知基态C原子核外电子排布式是1s²2s²2p²，其价电子排布式是2s²2p²；C原子在形成化合物时，可采取多种杂化方式，杂化轨道中s轨道成分越多，则C元素的电负性越强，连接在该C原子上的H原子越容易电离，越容易在碱性体系中形成阴离子。

A. CH₄中C原子杂化类型是sp³杂化；

B. C₂H₄的结构简式是CH₂=CH₂，该分子中C原子杂化类型是sp²杂化；

C. C₂H₂的结构简式是CH≡CH，该分子中C原子杂化类型是sp杂化；

D. 苯分子式是C₆H₆，该分子中C原子杂化类型是sp²杂化。

可见在上述四种位置中，杂化轨道中s轨道成分最多的物质是乙炔C₂H₂，因此最有可能在碱性体系中形成阴离子的是物质是C₂H₂，合理选项是C；

【小问2 详解】

富马酸和马来酸分子式相同，而分子的空间结构不同，二者是同分异构体。二者都是由分子通过范德华力形成的分子晶体，但由于富马酸是反式结构，其分子之间除存在范德华力外，还存在氢键，氢键比范德华力大很多，氢键的存在使其分子间的作用力大大强于马来酸，导致物质的熔沸点升高，故富马酸的熔点比马来酸高的多；

【小问3 详解】

Fe是26号元素，根据构造原理，可知基态Fe原子核外电子排布式为1s²2s²2p⁶3s²3p⁶3d⁶4s²，Fe原子核外有4个未成对电子。同周期中基态原子未成对电子数比Fe多的有Cr、Mn两种元素，Mn原子核外有5个未成对电子，Cr原子核外有6个未成对电子；

A. Sc是21号元素，Sc³⁺核外电子排布式是1s²2s²2p⁶3s²3p⁶，3d轨道无电子，也无成对电子，其离子水合时通常为无色；

B. Cr是24号元素，Cr³⁺核外电子排布式是1s²2s²2p⁶3s²3p⁶3d³，3d轨道有3个未成对电子，水合离子为绿色；

C. Fe是26号元素，Fe³⁺核外电子排布式是1s²2s²2p⁶3s²3p⁶3d⁵，3d轨道有5个未成对电子，水合离子为黄色；

D. Zn是30号元素，Zn²⁺核外电子排布式是1s²2s²2p⁶3s²3p⁶3d¹⁰，3d轨道全满，无未成对电子，水合离子为无色；

可见形成的水合离子为无色的是 Sc^{3+} 和 Zn^{2+} ，故合理选项是 AD；

【小问 4 详解】

以 N 原子为研究对象，在每个 N 原子周围有 4 个 Fe 原子，每个 Fe 原子被 2 个这种单层平面结构所共有，属于该结构的 Fe 原子数目为 $4 \times \frac{1}{2} = 2$ ，故在铁颗粒表面上氮原子与铁原子的个数比为 $n(\text{N}) : n(\text{Fe}) = 1 : 2$ ；

【小问 5 详解】

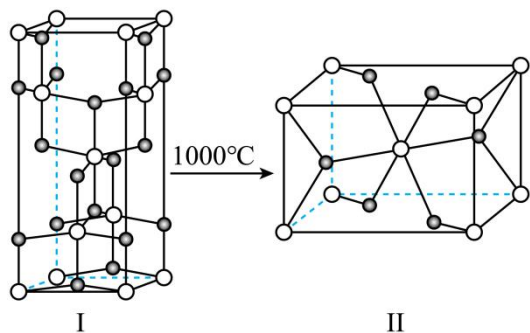
① B_1 中 M 原子分数坐标为 (0, 0, 0)，A、B 单元的边长为 1，Q 在 A_3 的体对角线的 $\frac{3}{4}$ 处，其在晶胞中 x、y、z 轴上投影坐标分别为 $\frac{7}{8}$ 、 $\frac{5}{8}$ 、 $\frac{7}{8}$ ，因此 Q 原子分数坐标应为 $(\frac{7}{8}, \frac{5}{8}, \frac{7}{8})$ ；

② 由 A、B 两种正方体单元可知，离子型铁的氧化物晶胞中，顶点、面心和体内的 Fe^{2+} 个数为： $4 \times (4 \times \frac{1}{8} + 4 \times \frac{1}{8} + 1) = 8$ ，位于体内的 Fe^{3+} 个数为： $4 \times 4 = 16$ ， Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的总数为 $8 + 16 = 24$ ，位于体内的氧离子个数为： $4 \times 8 = 32$ ；嵌入或脱嵌在晶胞的棱心和体心的 Li^+ ，最大值为： $12 \times \frac{1}{4} + 1 = 4$ 。若该正极材料中 $n(\text{Fe}^{2+}) : n(\text{Fe}^{3+}) = 5 : 7$ ，则其中含有 Fe^{2+} 个数为： $24 \times \frac{5}{12} = 10$ ， Fe^{3+} 的数目为： $24 \times \frac{7}{12} = 14$ ，设晶胞中含 y 个 Li^+ ，由化合物中各元素化合价代数和为零可知， $10 \times 2 + 14 \times 3 + y = 32 \times 2$ ，解得 $y = 2$ ，则 1 个晶胞中脱嵌出 2 个 Li^+ ，含有 2 个 Li^+ ，故 Li^+ 的脱嵌率为 $\frac{2}{4} \times 100\% = 50\%$ 。

5. (2025 青岛三模，16) 钛氧化物和氮化碳是光催化制氢的催化剂。回答下列问题：

(1) 钛和锆位于周期表中同族相邻周期，锆的价电子排布式为_____。

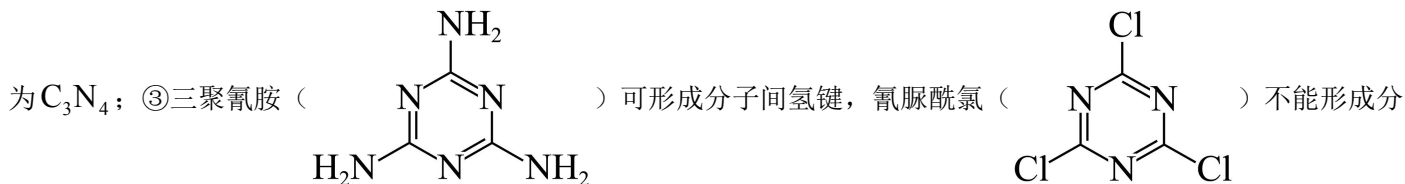
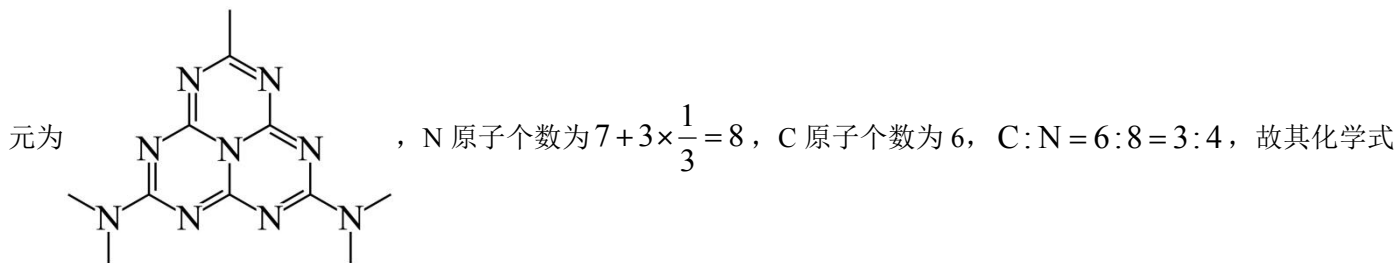
(2) 1000°C 时，锐钛矿型 TiO_2 (晶胞 I，Ti 位于顶点、侧面和体心) 转变为金红石型 TiO_2 (晶胞 II) 如图，晶胞 I 的体积为 $V_1 \text{nm}^3$ ，晶胞 II 的体积为 $V_2 \text{nm}^3$ 。



① 晶胞 I 与晶胞 II 的密度之比为_____ (用含 V_1 和 V_2 的式子表示)。

② 晶胞 I 中 Ti^{4+} 的配位数为_____。

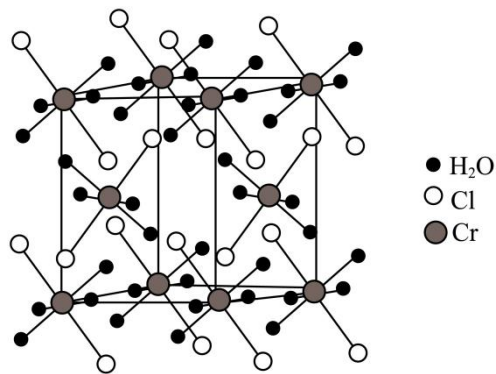
(3) 氮化碳型半导体二维层状材料具有类石墨结构，两种结构如图 III 和 IV。



子间氢键, 故三聚氰胺沸点较高。

6. (2025 聊城三模, 16) 元素及其化合物构成了丰富多彩的物质世界, 回答下列问题。

(1) 某含结晶水的盐的晶胞如图所示

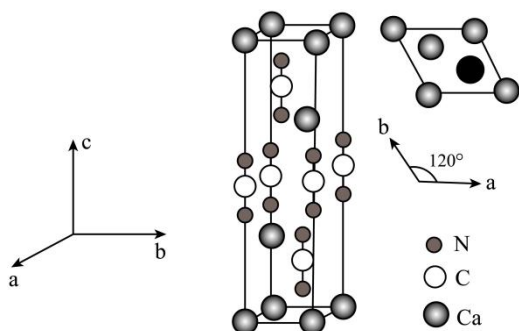


其化学式是 _____ , Cr 原子基态核外电子排布式为 _____ 。

(2) 已知 $CH_3CH_2NH_2 + H^+ \rightleftharpoons CH_3CH_2NH_3^+$, 则 $CH_3CH_2NH_2$ 中的键角 HNH _____ $CH_3CH_2NH_3^+$ 中的键角 HNH (填 “>”、“<” 或 “=”), 请说明理由 _____ 。

(3) 已知 $AlBr_3$ 溶于 CH_3CN 生成配合物 $Al(CH_3CN)_2Br_3$, $1mol Al(CH_3CN)_2Br_3$ 与足量硝酸银溶液反应生成 $1mol AgBr$ 沉淀。中心原子配位数为 _____ , 配位原子是 _____ (写化学符号), $1mol$ 该配合物中有 σ 键 _____ mol 。

(4) 某含氮化合物晶胞如图, 晶胞参数分别为 $a pm$ 、 $b pm$ 、 $c pm$, 该晶胞密度为 _____ $g \cdot cm^{-3}$ (用 N_A 表示阿伏加德罗常数的值)。



【答案】 (1) ①. $CrCl_2 \cdot 4H_2O$ ②. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$

(2) ①. < ②. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ 中 N 价层电子对数为 4, 有 1 个孤电子对, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+$ 中 N 价层电子对数为 4, 没有孤电子对, 孤电子对对成键电子排斥力较大, 键角更小

(3) ①. 4 ②. Br、N ③. 14

$$(4) \frac{160\sqrt{3} \times 10^{30}}{abcN_A}$$

【解析】

【小问 1 详解】

根据晶胞结构, 每个 Cr^{2+} 周围有 2 个 Cl, 4 个 H_2O , 其化学式是 $\text{CrCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; Cr 原子的原子序数为 24, 基态核外电子排布式, $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$;

【小问 2 详解】

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ 中 N 价层电子对数为 4, 有 1 个孤电子对, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+$ 中 N 价层电子对数为 4, 没有孤电子对, 孤电子对对成键电子排斥力较大, 键角更小, 则 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ 中的键角 $\text{HNH} < \text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+$ 中的键角 HNH ;

【小问 3 详解】

$1\text{mol Al}(\text{CH}_3\text{CN})_2\text{Br}_3$ 与足量硝酸银溶液反应生成 1mol AgBr 沉淀, 说明 $\text{Al}(\text{CH}_3\text{CN})_2\text{Br}_3$ 能电离出 1 个 Br, 外界有 1 个 Br, 则中心原子配位数为 4; Br 提供孤电子对, CH_3CN 中氮原子提供孤电子对, 配位原子是 Br、N; CH_3CN 中有 5 个 σ 键, 1mol 该配合物中有 σ 键 $(5 \times 2 + 4)\text{mol} = 14\text{mol}$;

【小问 4 详解】

由晶胞结构可知 C 与 N 形成阴离子为 CN_2^{2-} , 有 8 个 Ca^{2+} 位于晶胞顶点, 2 个 Ca^{2+} 位于晶胞内, 晶胞中 Ca^{2+} 数目为 $4 \times \frac{1}{6} + 4 \times \frac{1}{12} + 2 = 3$, 有 4 个 CN_2^{2-} 位于棱上, 2 个 CN_2^{2-} 位于晶胞内, 晶胞中 CN_2^{2-} 数目为 $2 \times \frac{1}{3} + 2 \times \frac{1}{6} + 2 = 3$,

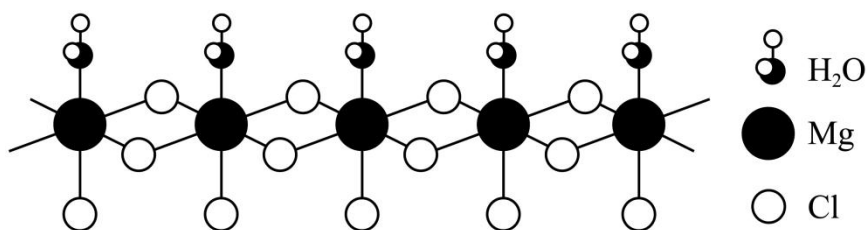
晶胞参数分别为 $a\text{pm}$ 、 $b\text{pm}$ 、 $c\text{pm}$, 晶胞体积为 $\frac{\sqrt{3}}{2}abc \times 10^{-30} \text{cm}^3$, 该晶胞密度为

$$\frac{3 \times (40 + 12 + 14 \times 2)}{\frac{\sqrt{3}}{2}abc \times 10^{-30} N_A} \text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = \frac{160\sqrt{3} \times 10^{30}}{abcN_A} \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}。$$

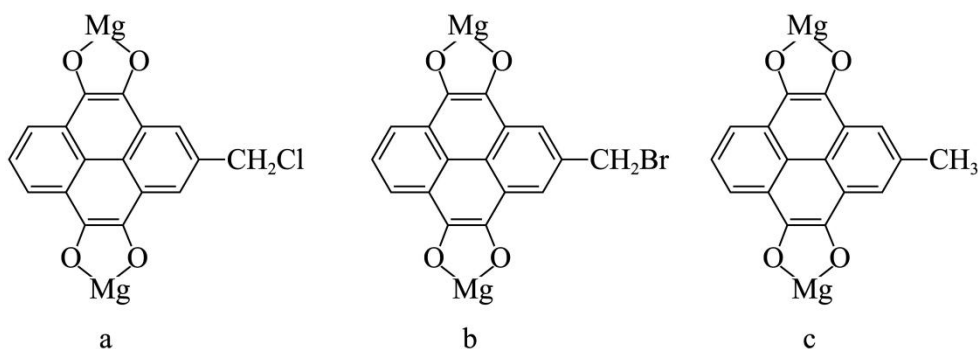
7. (2025 济宁三模, 16) 镁离子电池是具有大规模储能应用潜力的电池体系。

(1) MgV_2Se_4 具有三维扩散通道结构, 有助于实现 Mg^{2+} 的扩散和可逆脱嵌。 $_{34}\text{Se}$ 元素在周期表中的位置 _____; 同周期基态原子与 V 具有相同未成对电子数的元素有 _____ 种。

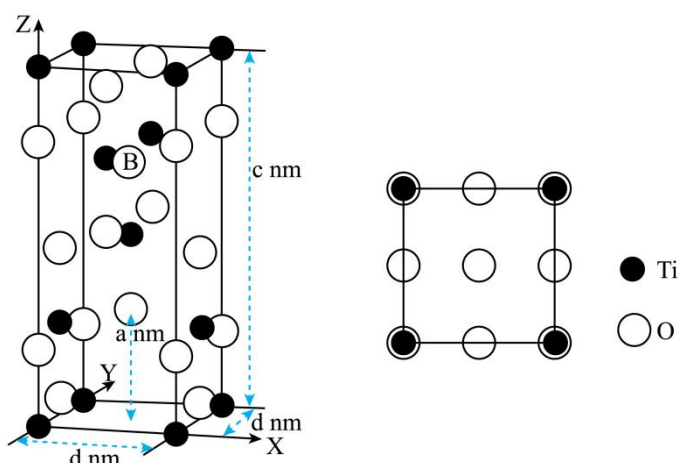
(2) 具有无限链状结构的离子 X 如图所示, 可用于制备离子型正极材料 MgCl_4^{2-} 。离子 X 的化学式为 _____, MgCl_4^{2-} 中心离子的杂化方式为 _____。



(3) 配体电子云密度越高, 配合物稳定性越强, 下列 Mg^{2+} 形成的螯合物, 稳定性由强到弱的顺序为_____。



(4) TiO_x 可做锂离子电池负极材料, TiO_x 的晶胞及其在 Z 轴方向的投影如图所示。



该晶胞的密度=_____ $\text{g} \cdot \text{cm}^3$, B 点原子的分数坐标为_____。

【答案】 (1) ①. 第四周期VIA 族 ②. 2

(2) ①. $[\text{MgCl}_3(\text{H}_2\text{O})]^-$ ②. sp^3 杂化

(3) cba (4) ①. $\frac{3.2 \times 10^{23}}{d^2 c \text{NA}}$ ②. $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{c-a}{c}\right)$ 或 $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 1 - \frac{a}{c}\right)$

【解析】

【小问 1 详解】

硒是 34 号元素, 在周期表中的位置是第四周期 VIA 族; 同周期基态原子 V 是第 23 号元素, 核外电子排布为 $3\text{d}^3 4\text{s}^2$, 具有相同未成对电子数的元素有 $[\text{Ar}]3\text{d}^7 4\text{s}^2$ 、 $[\text{Ar}]3\text{d}^{10} 4\text{s}^2 4\text{p}^3$, 2 种;

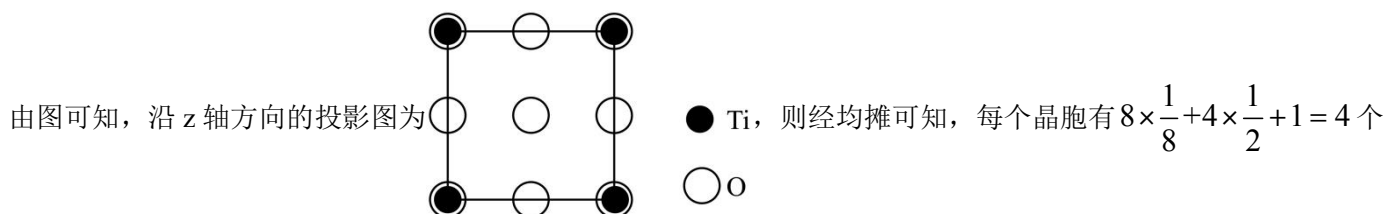
【小问 2 详解】

根据均摊法,该离子中每个 Mg 结合 1 个水, $1+4\times\frac{1}{2}=3$ 个 Cl, 离子 X 的化学式为 $[\text{MgCl}_3(\text{H}_2\text{O})]^-$; MgCl_4^{2-} 中心离子价层电子对数 $4+\frac{2+2-1\times 4}{2}=4$, 杂化方式为 sp^3 杂化;

【小问 3 详解】

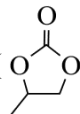
电负性: $\text{Cl} > \text{Br} > \text{H}$, 电负性强的元素对电子吸引力强, 使配体电子云密度偏离, 稳定性减弱, 故稳定性由强到弱的顺序为 cba;

【小问 4 详解】



Ti, $8\times\frac{1}{8}+8\times\frac{1}{2}+2=8$ 个 O, 所以密度 $\rho=\frac{m}{V}=\frac{(4\times 48+8\times 16)}{d^2cN_A\times 10^{-21}}=\frac{3.2\times 10^{23}}{d^2cN_A}$; B 点 Z 轴分数坐标为 $\frac{c-a}{c}$, 故 B

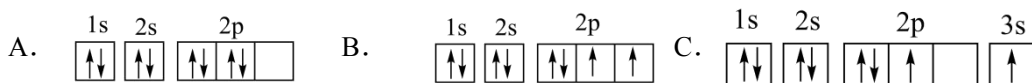
点原子的分数坐标为 $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{c-a}{c})$ 或 $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 1-\frac{a}{c})$ 。

8. (2025 德州三模, 16) 某二代钠离子电池以 NaClO_4 的碳酸丙烯酯()溶液作电解质溶液, 锰基高锰普鲁

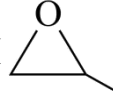
士白 $\{\text{Na}_2\text{Mn}[\text{Mn}(\text{CN})_6]\}$ 作正极材料, 嵌钠硬碳(Na_xC_y)作负极材料。

(1) 基态 Mn^{2+} 的价电子排布图为_____。

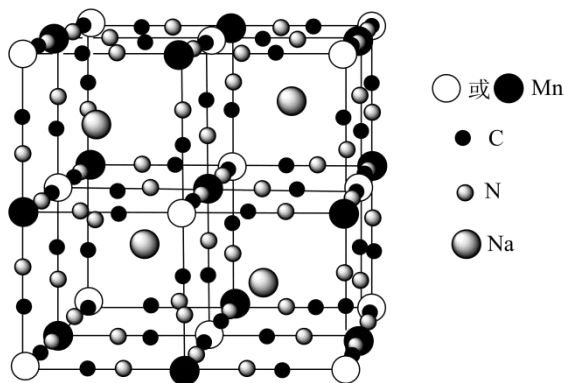
(2) 下列 O 原子所处的状态, 能量由高到低的顺序为_____(用字母代号表示)。



(3) 碳酸丙烯酯可以由 1, 2—丙二醇与尿素在催化剂存在的条件下生成。该反应另一种反应产物为_____, 其分子的 VSEPR 构型为_____。

(4) 碳酸丙烯酯也可由 CO_2 与环氧丙烷()在催化剂条件下生成。1mol 环氧丙烷中含有共价键数目为_____, 环氧丙烷的沸点_____1, 2-丙二醇(填“大于”、“小于”或“等于”), 其原因是_____。

(5) 下图中为充电过程中正极材料某时刻晶胞的化学式为_____, 若最近的两个 Mn 间的距离为 a nm, 则该晶体的密度为_____ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (用含 a、 N_A 的代数式表示)。



【答案】 (1) $\begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \hline \end{array}$ (2) $C > A > B$

(3) ①. NH_3 ②. 四面体形

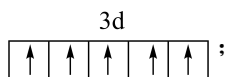
(4) ①. $10N_A$ ②. 小于 ③. 1, 2-丙二醇可形成分子间氢键

(5) ①. $\text{NaMn}_2(\text{CN})_6$ 或 $\text{NaMn}[\text{Mn}(\text{CN})_6]$ ②. $\frac{289}{2a^3 N_A} \times 10^{21}$

【解析】

【小问 1 详解】

锰为 25 号元素，价电子排布式为 $3d^5 4s^2$ ，锰原子失去 2 个电子形成二价锰离子，基态 Mn^{2+} 的价电子排布图为



【小问 2 详解】

基态 O 原子核外电子排布图为 $\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow \\ \hline \end{array}$ 1s 2s 2p，此时能量最低；C 中 1 个 2p 电子跃迁到 3s 轨道后能量最高；

A 中不符合洪特规则，其能量高于基态氧原子，故能量由高到低的顺序为： $C > A > B$ ；

【小问 3 详解】

碳酸丙烯酯可以由 1, 2-丙二醇与尿素在催化剂存在的条件下生成，结合质量守恒，该反应另一种反应产物为 NH_3 ，

NH_3 分子中 N 原子的价层电子对数为 $3 + \frac{5-3 \times 1}{2} = 4$ ，孤电子对数为 1，其分子的 VSEPR 构型为四面体形；

【小问 4 详解】

单键均为 σ 键，一分子环氧丙烷中含有 10 个共价键 (6 个 C-H、2 个 O-C、2 个 C-C)，1mol 环氧丙烷中含的共价键数目为 $10N_A$ ，环氧丙烷的沸点小于 1, 2-丙二醇，其原因是两者均为分子晶体，而 1, 2-丙二醇可形成分子间氢键，导致其沸点较高；

【小问 5 详解】

图中 Mn 位于 8 个顶点、6 个面心、12 个棱心、1 个体内，“CN”位于棱上、面上、体内，根据“均摊法”，一个

晶胞中含 $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} + 12 \times \frac{1}{4} + 1 = 8$ 个 Mn、4 个 Na(体内)、 $12 \times 2 \times \frac{1}{4} + 6 \times 4 \times \frac{1}{2} + 2 \times 3 = 24$ 个“CN”，则 Mn、Na、“CN”的个数比为 2:1:6，化学式为 $\text{NaMn}_2(\text{CN})_6$ 或 $\text{NaMn}[\text{Mn}(\text{CN})_6]$ ，最近的两个 Mn 间的距离为 $a \text{ nm}$ ，

$$\text{则晶胞边长为 } 2a \text{ nm，晶体密度为 } \frac{m}{V} = \frac{N_A}{(2a \times 10^{-7})^3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = \frac{289}{2a^3 N_A} \times 10^{21} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}。$$

9. (2025 烟台三模, 16) 硼元素在医药、储氢材料、超导材料等领域具有重要应用。回答下列问题:

(1) 基态 B 原子的电子排布式是_____，Be、B 均为第二周期的元素，基态原子的第一电离能 Be_____B(填“>”“<”或“=”)。

(2) 硼酸(H_3BO_3)具有抑菌消炎作用，为一元弱酸($\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{B}(\text{OH})_4]^- + \text{H}^+$)，可由乙硼烷(B_2H_6)水解制得。

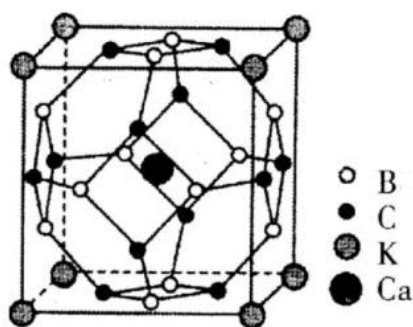
① H_3BO_3 中 B 原子的杂化类型为_____， $[\text{B}(\text{OH})_4]^-$ 中化学键类型有_____ (填标号)。

A. 氢键 B. 共价键 C. 配位键 D. 离子键

② 乙硼烷(B_2H_6)与联氨(N_2H_4)的相对分子质量相近，但乙硼烷的熔点(-165.5°C)、沸点(-92.6°C)分别低于联氨的熔点(1.4°C)、沸点(113.5°C)，原因是_____。

(3) 氨硼烷(NH_3BH_3)可作为储氢材料。在一定条件下 NH_3BH_3 和 H_2O 发生反应，产生 H_2 ，反应后溶液中的阴离子为 $\text{B}_3\text{O}_6^{3-}$ ，该反应的离子方程式为_____。 $\text{B}_3\text{O}_6^{3-}$ 具有六元环结构，画出其结构图_____。

(4) 科学家合成了一种含硼高温超导材料，其立方晶胞结构如图所示，晶胞的边长为 $a \text{ pm}$ ，设阿伏加德罗常数为 N_A ，该高温超导材料的化学式为_____，晶胞密度为_____ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。



【答案】(1) ①. $1s^2 2s^2 2p^1$ ②. >

(2) ①. sp^2 ②. BC ③. 联氨分子间能形成氢键

(3) ①. $3\text{NH}_3\text{BH}_3 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{B}_3\text{O}_6^{3-} + 3\text{NH}_4^+ + 9\text{H}_2 \uparrow$ ②.

(4) ①. KCaC_6B_6 ②. $\frac{2.17}{N_A a^3} \times 10^{32}$

【解析】

【小问 1 详解】

B 的原子序数是 5，基态 B 原子的电子排布式是 $1s^2 2s^2 2p^1$ ，基态 Be 的电子排布式为 $1s^2 2s^2$ ，为全满结构，较稳定，基态 Be 第一电离能大于基态 B，故答案为 $1s^2 2s^2 2p^1$ ；>。

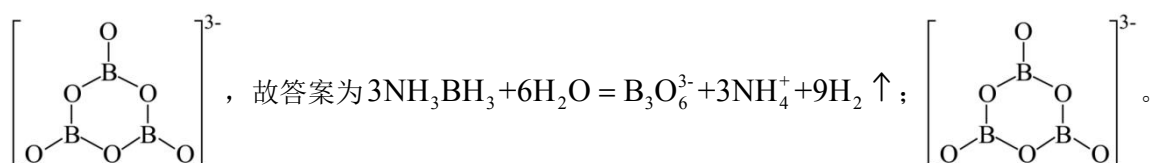
【小问 2 详解】

① H_3BO_3 分中 B 原子与 3 个 -OH 相连，B 的价层电子对数为 3，故 B 原子的杂化类型为 sp^2 ， $[\text{B}(\text{OH})_4]^-$ 中存在共价键、配位键，故答案为 sp^2 ；BC。

② 联氨分子间能形成氢键，而乙硼烷分子间仅存在较弱的范德华力，使乙硼烷的熔点低于联氨分子，故答案为联氨分子间能形成氢键。

【小问 3 详解】

氨硼烷 (NH_3BH_3) 可作为储氢材料。在一定条件下 NH_3BH_3 和 H_2O 发生反应，产生 H_2 ，反应后溶液中的阴离子为 $\text{B}_3\text{O}_6^{3-}$ ，该反应的离子方程式为 $3\text{NH}_3\text{BH}_3 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{B}_3\text{O}_6^{3-} + 3\text{NH}_4^+ + 9\text{H}_2 \uparrow$ ， $\text{B}_3\text{O}_6^{3-}$ 具有六元环结构，则结构为



【小问 4 详解】

由晶胞图可知，12 个 B 和 12 个 C 位于晶胞的面上，8 个 K 位于晶胞的顶点，1 个 Ca 位于晶胞的体心，利用均摊法计算，晶胞中含 B 和 C 的个数均为 $12 \times \frac{1}{2} = 6$ ，K 的个数为 $8 \times \frac{1}{8} = 1$ ，Ca 的个数为 1，故高温超导材料的化学式为

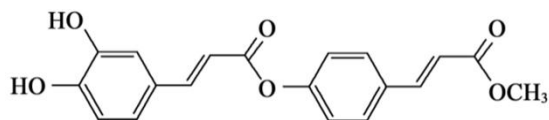
KCaC_6B_6 ，晶胞的边长为 $a \text{ pm}$ ，晶胞密度为 $\rho = \frac{(40 + 39 + 6 \times 11 + 6 \times 12)}{N_A (a \times 10^{-10})^3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = \frac{2.17}{N_A a^3} \times 10^{32} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，故答

案为 KCaC_6B_6 ； $\frac{2.17}{N_A a^3} \times 10^{32}$ 。

第六部分 有机化学基础

一、有机物的结构与性质

1. (2025 淄博三模, 5) 植物提取物抗氧化性活性成分 M 的结构如图, 下列有关 M 的说法错误的是



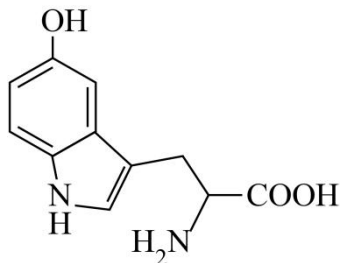
- A. 存在顺反异构
- B. 苯环上的一溴代物共有 5 种
- C. 与 Br_2 可发生取代和加成反应
- D. 酸性条件下的水解产物均可与 NaOH 溶液反应

【答案】D

【解析】

- 【详解】A. 分子中含碳碳双键, 双键两端基团不同, 故存在顺反异构, A 正确;
- B. 左边苯环有 3 种氢, 右边苯环有 2 种氢, 苯环上一溴代物共 5 种, B 正确;
- C. 含酚羟基, 苯环上可与 Br_2 发生取代反应; 含碳碳双键, 可与 Br_2 发生加成反应, C 正确;
- D. 酸性条件下水解产物含羧基、酚羟基和醇羟基 (CH_3OH) 等, 醇羟基 (CH_3OH) 不能与 NaOH 反应, D 错误; 故选 D。

2. (2025 德州三模, 5) 化合物 5-羟色胺酸可能对人体睡眠具有调节作用, 其结构如图所示。下列有关该化合物的说法错误的是



- A. 分子式为 $\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_3$
- B. 与氢气加成后的产物中含有 5 个手性碳原子
- C. 分子中最多有 9 个碳原子共平面
- D. 该物质可以发生取代反应、加成反应、加聚反应

【答案】C

【解析】

- 【详解】A. 根据结构简式, 分子中含 11 个 C、12 个 H、2 个 N、3 个 O, 分子式为 $\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_3$, A 正确;
- B. 与氢气加成后, 苯环和吡咯环双键均被还原为单键。侧链中连有 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{COOH}$ 的 C 为手性碳; 稠环中六元环 (环己烷) 连羟基的 C、共用 2 个 C 及五元环 (四氢吡咯) 连接侧链的 C 均为手性碳, 共 5 个手性碳, B 正确;
- C. 苯环 (6 个 C) 与吡咯环 (4 个 C) 耦合共平面 (共用 2 个 C, 共 8 个 C), 侧链 $-\text{CH}_2-$ 也与苯环共面, 与羧基连

D. 该物质含羧基、羟基等可发生取代反应，含苯环和双键可发生加成反应，碳碳双键可以发生加聚反应，D 正确；
故选 C。

异绿原酸B

绿原酸

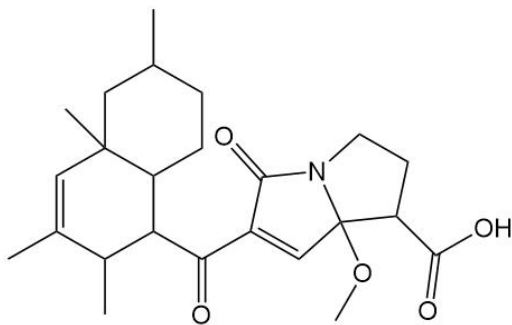
- A. 异绿原酸 B 分子中有 3 个手性碳原子
- B. 绿原酸存在顺反异构体
- C. 1mol 绿原酸与足量溴水反应, 最多消耗 2.5molBr₂
- D. 1mol 异绿原酸 B 与足量 NaOH 溶液反应, 最多消耗 6molNaOH

【解析】



- 故答案选 B。

第 170 页 共 204 页

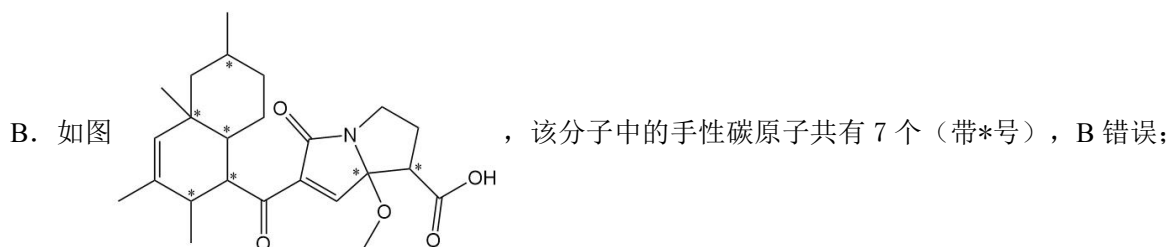


- A. 含有四种含氧官能团
B. 含有 6 个手性碳原子
C. 能发生水解反应
D. 1mol 最多可与 3mol H_2 反应

【答案】B

【解析】

【详解】A. 由结构图可知，该分子中的含氧官能团有酮羰基、酰胺键、醚键、羧基四种，A 正确；

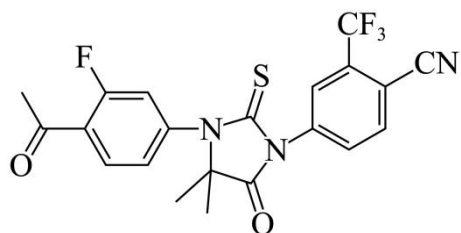


C. 由结构图知，该分子中含有酰胺键，能发生水解反应，C 正确；

D. 由结构图知，该分子中含有的酮羰基和碳碳双键均能与 H_2 发生加成反应，则 1mol 最多可与 3mol H_2 反应，D 正确；

故选 B。

5. （2025 日照三模，8）新一代 NTRK 抑制剂，其结构如图，下列说法正确的是



- A. 分子中有 2 种含氧官能团
B. 分子中所有碳原子共平面
C. 1 mol 该物质与足量 H_2 发生加成反应，最多可消耗 6 mol H_2
D. 1 mol 该物质与足量 NaOH 溶液反应，产物酸化后分子中含 4 mol 羧基

【答案】A

【解析】

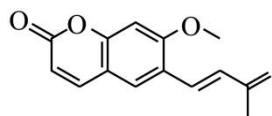
【详解】A. 分子中含酰胺基、酮羰基两种含氧官能团，A 正确；

B. 分子中连接两个甲基的碳原子为 sp^3 杂化, 所有碳原子不可能共平面, B 错误;

C. 一个分子中含有的 2 个苯环、1 个酮羰基、1 个 $-CN$ 均能与 H_2 发生加成反应, 则 1 mol 该物质与足量 H_2 发生加成反应, 最多可消耗 9 mol H_2 , C 错误;

D. 与足量 NaOH 反应、产物酸化时, 氰基 ($-CN$)、酰胺基 ($-CON-$) 水解酸化后生成 2 mol 羧基, D 错误;
故答案选 A。

6. (2025 青岛三模, 8) 香豆素衍生物 G 结构如图。下列说法错误的是

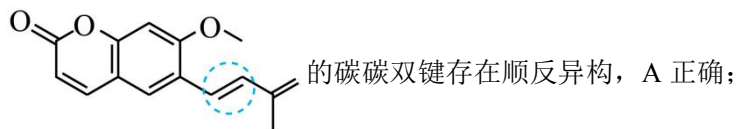


- A. 存在顺反异构
- B. 能发生氧化、加成、取代反应
- C. 除氢原子外, 所有原子可能共平面
- D. 1mol G 最多能与 1mol NaOH 反应

【答案】D

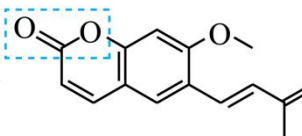
【解析】

【详解】A. 香豆素衍生物 G 分子中侧链含碳碳双键, 双键两端碳原子分别连接不同基团, 如图所示



B. 香豆素衍生物 G 分子中含碳碳双键可发生氧化、加成反应, 苯环可发生取代反应, 酯基可发生水解 (取代反应), B 正确;

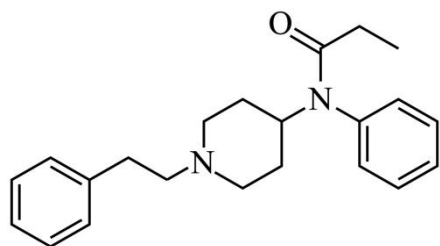
C. 香豆素衍生物 G 分子中苯环、碳碳双键、酯基中羰基均为平面结构, 各平面通过单键旋转可共面, 除氢外所有原子可能共平面, C 正确;

D. 香豆素衍生物 G 分子中含内酯基 , 其水解后可生成羧基和酚羟基, 二者均能与 NaOH

溶液反应, 则 1mol 内酯基水解可以消耗 2mol NaOH, D 错误;

故答案为: D。

7. (2025 烟台三模, 8) 芬太尼是一种强效止痛剂, 其结构如图所示, 下列关于芬太尼的说法错误的是

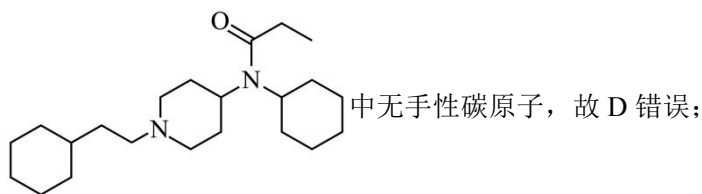


- A. 分子式为 $C_{22}H_{28}N_2O$
- B. 既能与酸反应又能与碱反应
- C. 可使酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色
- D. 一定条件下与足量氢气反应后的产物中含有 2 个手性碳原子

【答案】D

【解析】

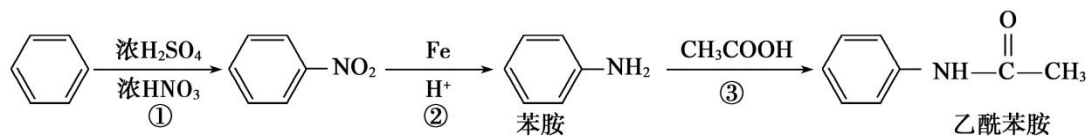
- 【详解】A. 通过结构分析，分子中含 22 个 C、28 个 H、2 个 N、1 个 O，分子式为 $C_{22}H_{28}N_2O$ ，A 正确；
- B. 芬太尼含酰胺基，可与酸反应，也能与碱反应，B 错误；
- C. 与苯环相连的碳原子上有 H 原子，可被酸性高锰酸钾氧化，可使酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色，C 正确；
- D. 只有苯环与氢气发生加成反应，连接 4 个不同基团的碳原子为手性碳原子，则加成产物



故选：D。

二、有机反应

1. （2025 淄博三模，7）实验室合成乙酰苯胺的路线如下(反应条件略去)，下列说法正确的是



- A. 反应①②③都是取代反应
- B. 可用红外光谱鉴别苯胺和乙酰苯胺
- C. 反应②中若加入过量酸，乙酰苯胺产率会提高
- D. 在乙酰苯胺的芳香族同分异构体中，能发生水解的有 3 种

【答案】B

【解析】

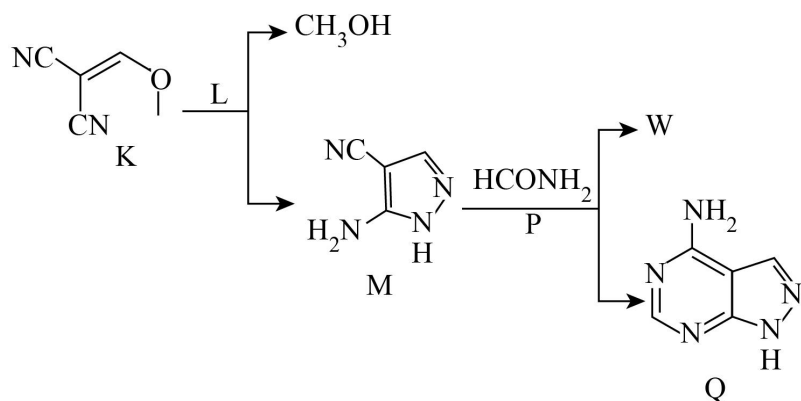
【分析】苯和浓硝酸、浓硫酸发生硝化反应生成硝基苯，硝基苯在铁催化下发生还原反应生成苯胺，苯胺和乙酸发生取代反应生成乙酰苯胺；

- 【详解】A. 反应②为还原反应，反应①和反应③为取代反应，A 错误；
- B. 用红外光谱得到分子中含有的化学键或官能团信息；苯胺和乙酰苯胺的官能团不同，可用红外光谱鉴别苯胺和乙酰苯胺，B 正确；
- C. 苯胺具有碱性，若反应②中加入过量的酸会消耗部分苯胺，从而降低苯胺的产率，C 错误；
- D. 乙酰苯胺芳香族同分异构体中可以水解的有酰胺类，如邻甲基甲酰苯胺、间甲基甲酰苯胺、对甲基甲酰苯胺、

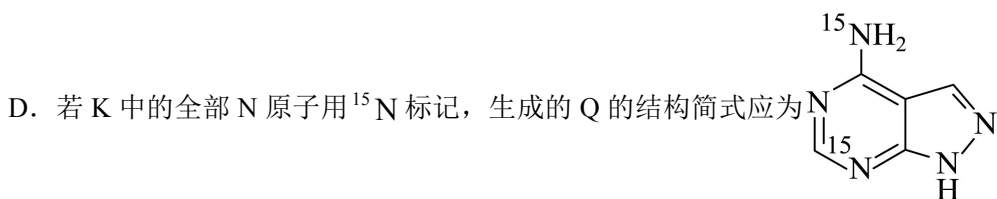
苯乙酰胺等，所以在乙酰苯胺的同分异构体中，能发生水解的不少于 3 种，D 错误；

故选 B。

2. (2025 聊城三模, 7) 由化合物 K、L 和 P 合成药物中间体 Q，转化关系如图。已知：生成 Q 时，M 与 HCONH_2 中均有 N—H 键断裂。下列说法错误的是



- A. W 的化学式为 H_2O
- B. 物质 Q 与 H_2 完全加成的产物只有 2 个手性碳原子
- C. $\text{K} \rightarrow \text{M}$ 和 $\text{M} \rightarrow \text{Q}$ 的过程中，均涉及 $-\text{CN}$ 上的加成反应

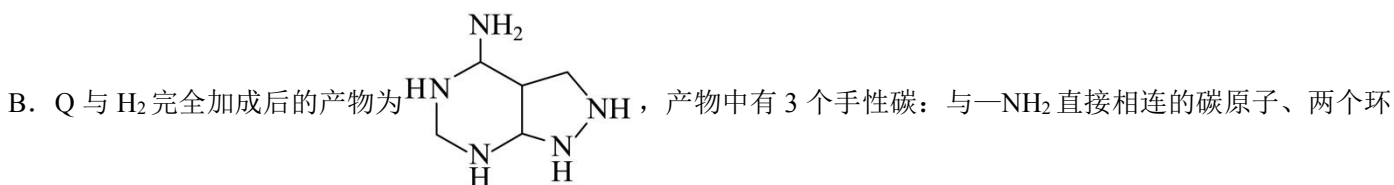


【答案】B

【解析】

【分析】根据流程， $\text{K} + \text{L}$ 生成 M 与甲醇，利用原子守恒，L 为 N_2H_4 ，同理，W 为 H_2O 。

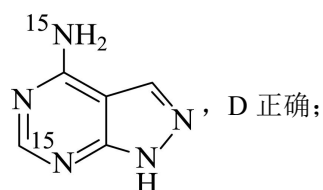
【详解】A. 根据元素守恒及 M 与 HCONH_2 反应生成 Q 时均有 N—H 键断裂，W 为 H_2O ，A 正确；



共用的 2 个碳原子，B 错误；

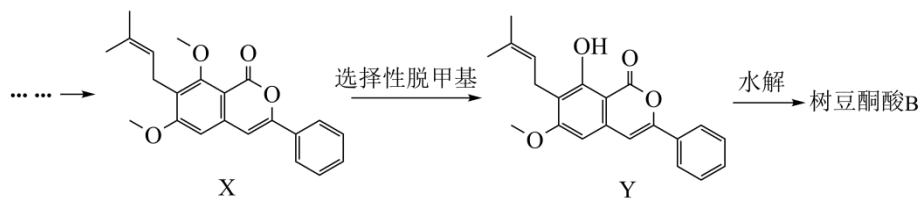
C. $\text{K} \rightarrow \text{M}$ 有 N_2H_4 与 $-\text{CN}$ 发生加成反应， $\text{M} \rightarrow \text{Q}$ 中， HCONH_2 断开 N—H 键与 M 中 $-\text{CN}$ 发生加成反应，C 正确；

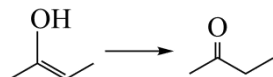
D. 若 K 中的全部 N 原子用 ^{15}N 标志，M 与 HCONH_2 反应生成 Q 时均有 N—H 键断裂，生成的 Q 的结构简式为



故选 B。

3. (2025 济宁三模, 9) 树豆酮酸 B 具有潜在抗糖尿病的生物活性, 下面是树豆酮酸 B 的部分合成路线。



已知: 烯醇式结构极易转化为醛酮式结构。如: 

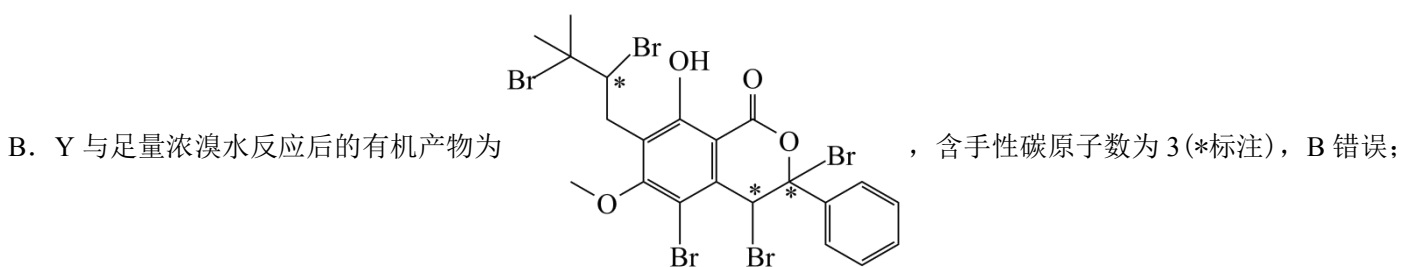
下列说法正确的是

- A. X 中所有碳原子不可能共平面
B. Y 与足量浓溴水反应后的有机产物中含 4 个手性碳原子
C. 可用酸性 KMnO_4 溶液检验 Y 中的碳碳双键
D. 1 mol 树豆酮酸 B 中含碳碳双键 1 mol

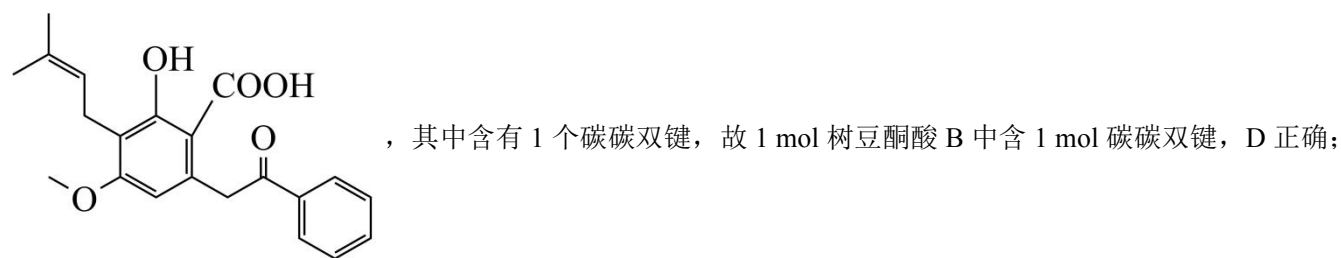
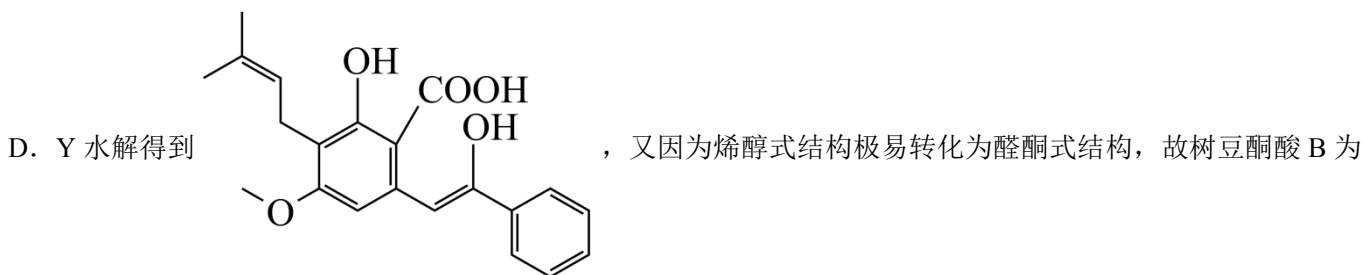
【答案】D

【解析】

【详解】A. 苯环和双键均为平面结构, X 中的所有碳原子可能共平面, A 错误;

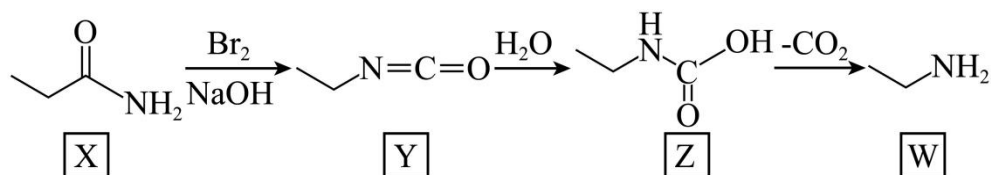


C. Y 中酚羟基具有还原性, 亦可使酸性 KMnO_4 褪色, 干扰碳碳双键的检验, C 错误;

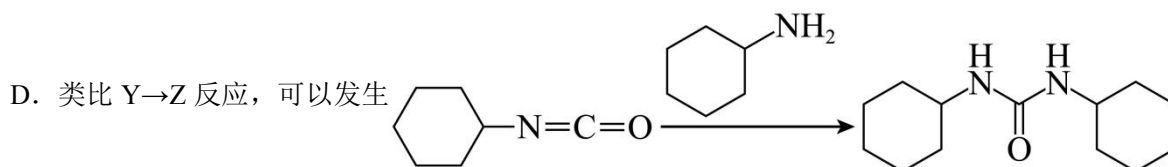


故选 D。

4. (2025 青岛三模, 11) (不定项) 有机物的转化反应如图所示。下列说法正确的是



- A. W 存在对映异构体
- B. 可以用红外光谱区分 X 和 Z
- C. Y 中的 N 原子为 sp^2 杂化, C 原子均为 sp^3 杂化



【答案】BD

【解析】

【详解】A. W 不存在手性碳原子, 不存在对映异构体, A 项错误;

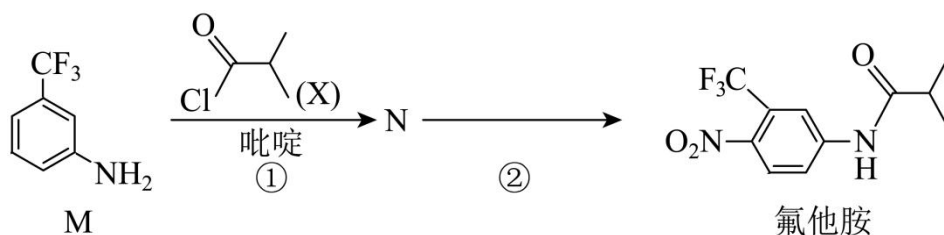
B. 红外光谱可测定有机物结构中的化学键和官能团, Z 存在羧基($-\text{COOH}$)而 X 不含, 二者官能团不同, 可以用红外光谱区分 X 和 Z, B 项正确;

C. Y 中氮原子形成两个 σ 键且孤电子对数为 1, N 原子价层电子对数为 3, N 为 sp^2 杂化; 与氧原子连接的 C 原子形成两个 σ 键且孤电子对数为 0, 为 sp 杂化; 其余 C 均为饱和碳原子, 为 sp^3 杂化, C 项错误;

D. Y→Z 是氮碳双键的加成反应, 类比 Y→Z 反应, 该反应可以方式, D 项正确;

答案选 BD。

5. (2025 烟台三模, 11) (不定项) 氟他胺是一种抗肿瘤药, 可由中间体 M 通过如下转化制得(部分试剂和条件已略去)。下列说法错误的是

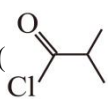
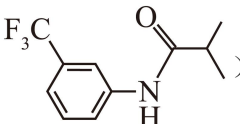


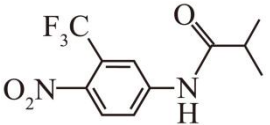
已知: 氨基具有还原性; 吡啶是一种有机碱。

- A. 吡啶可提高反应①的原料利用率
- B. N 分子中采取 sp^3 杂化的碳原子数为 5
- C. 反应②所需的反应试剂和条件为浓硫酸、浓硝酸、加热
- D. 交换反应①和②的顺序, 对氟他胺的制备没有影响

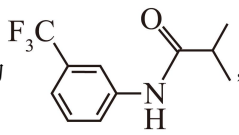
【答案】BD

【解析】

【分析】中间体 M 与 X() 在吡啶作用下发生反应①生成 N ()，N 再经反应②（硝化反应）

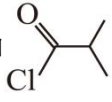
得到氟他胺 ()，据此回答

【详解】A. 反应①中产生了 HCl，吡啶呈碱性消耗 HCl 从而促使反应正向进行，可提高原料利用率，A 正确；

B. N 的结构简式为 ，分子中 4 个单键碳原子采取 sp^3 杂化，苯环和酰胺基碳原子采取 sp^2 杂化，

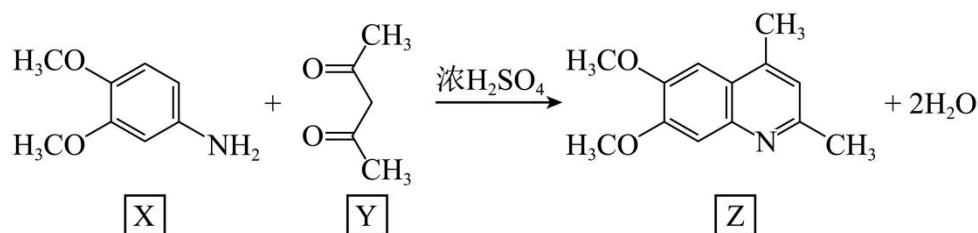
故 B 错误；

C. 反应②为硝化反应，所需的反应试剂和条件为浓硫酸、浓硝酸、加热，C 正确；

D. 氨基具有还原性，在发生硝化反应时，可能被氧化导致后续不能和  反应合成氟他胺，D 错误；

故答案选 BD。

6. (2025 潍坊三模, 12) (不定项) 芳胺与 1,3-二羰基化合物反应合成喹啉的反应原理如图所示：

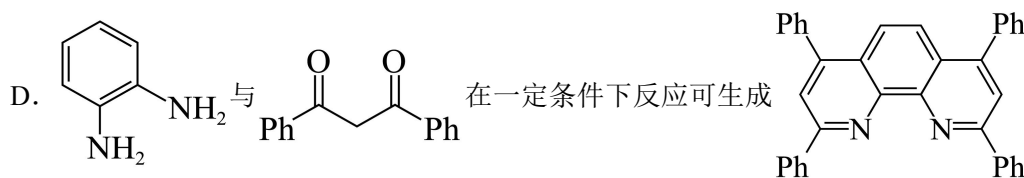


已知：两个羟基连在同一碳原子上不稳定，会自动脱水。下列说法正确的是

A. X 分子中所有碳原子一定共平面

B. X、Y、Z 分子中 sp^2 杂化的碳原子数目之比为 3:1:5

C. 含苯环、氨基($-NH_2$)和两个醇羟基且有手性碳原子的 X 的同分异构体有 7 种（不考虑立体异构）

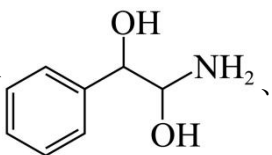


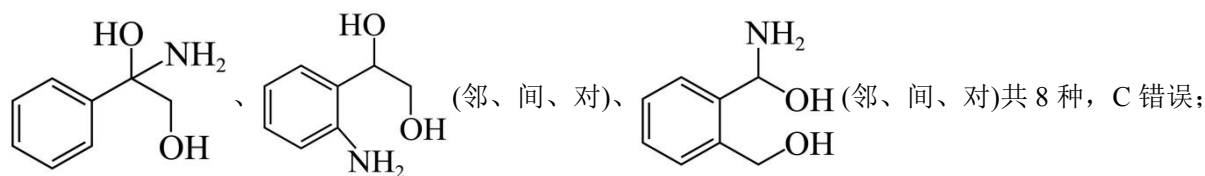
【答案】D

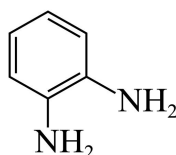
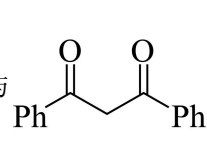
【解析】

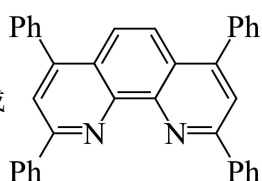
【详解】A. X 分子中氧原子为 sp^3 杂化，和醚键相连的 C 原子和苯环不一定共平面，A 错误；

B. X 中苯环上的碳为 sp^2 杂化，共 6 个，Y 中酮基上的碳为 sp^2 杂化，共 2 个，Z 中苯环和杂环上的碳为 sp^2 杂化，共 9 个，故 X、Y、Z 分子中 sp^2 杂化的碳原子数目之比为 6:2:9，B 错误；

C. 含苯环、氨基($-\text{NH}_2$)和两个醇羟基且有手性碳原子的 X 的同分异构体有 、



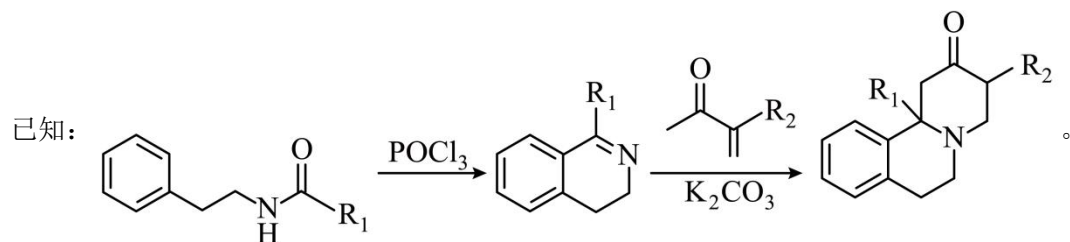
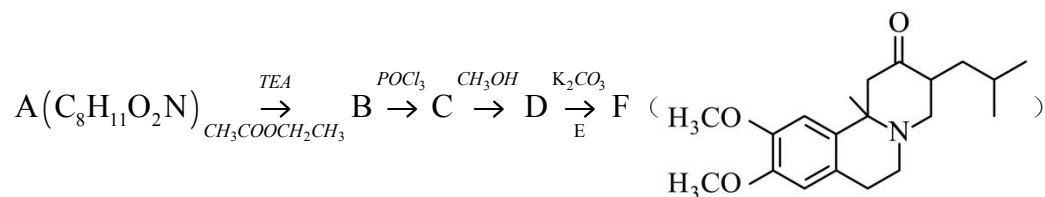
D. 根据芳胺与 1,3-二羰基化合物反应合成喹啉的反应原理， 与  在一定条件下反应

可生成 ，D 正确；

故选 D。

三、有机推断题（非选择题）

1. （2025 淄博三模，18）治疗中枢系统障碍的丁苯那嗪类药物(F)合成路线如下：

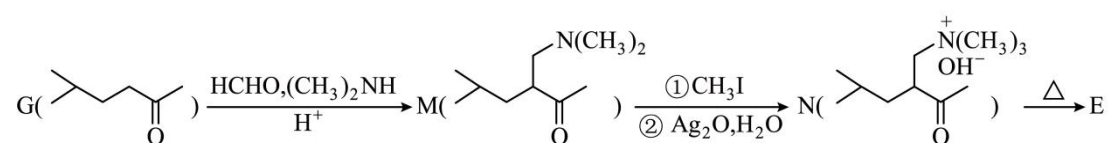


回答下列问题：

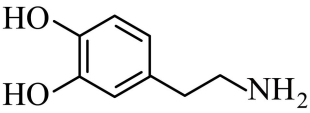
(1) A 的结构简式为_____；B 中含氧官能团名称是_____。

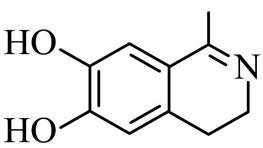
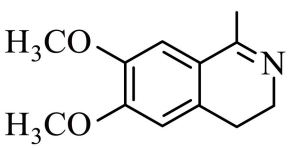
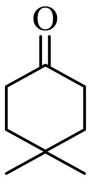
(2) $\text{C} \rightarrow \text{D}$ 的化学方程式为_____；E 的同分异构体含碳氧双键、六元碳环结构和 3 种不同化学环境的氢原子(个数比为 3：2：2)，其结构简式为_____ (任写一种)。F 中手性碳原子有_____个。

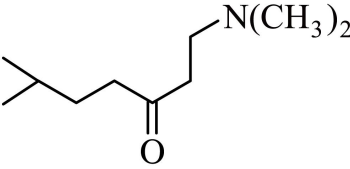
(3) 化合物 $\text{G} \rightarrow \text{E}$ 的合成路线设计如下：



化合物 $\text{G} \rightarrow \text{M}$ 中有副产物($\text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{ON}$)生成，该副产物的结构简式为_____； $\text{N} \rightarrow \text{E}$ 的反应类型为_____；N 转化为 E 时，还生成了 H_2O 和_____ (填结构简式)。

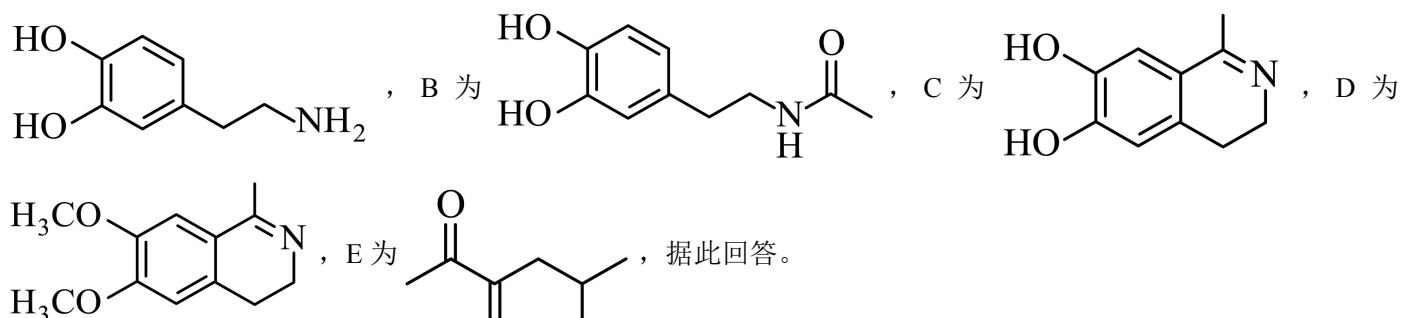
【答案】 (1) ①.  ②. 酰胺基、酚羟基

(2) ①.  + 2CH₃OH $\rightleftharpoons$ 2H₂O +  ②.  ③. 2

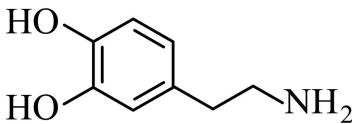
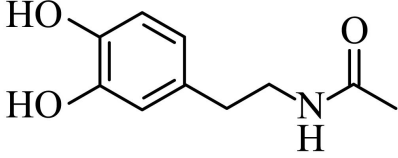
(3) ①.  ②. 消去反应 ③. N(CH₃)₃

【解析】

【分析】A 与 CH₃COOCH₂CH₃ 发生取代反应生成 B，B 在 POCl₃ 下发生已知反应生成 C，C 与 CH₃OH 发生取代反应生成 D，D 与 E 在 K₂CO₃ 下发生已知反应生成 F，由 F 的结构式和 A、B、C、D、E 的分子式可推知 A 为

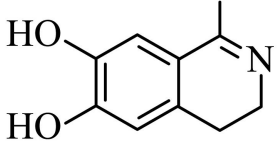
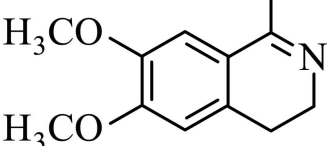


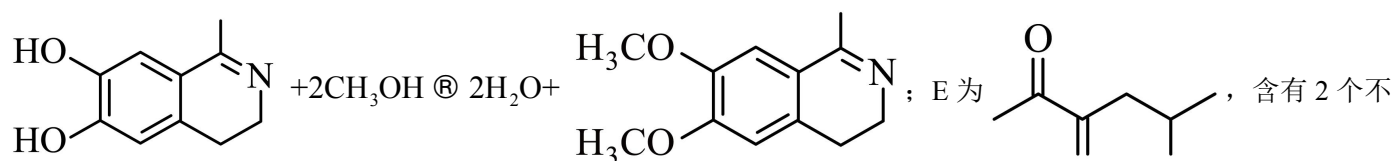
【小问 1 详解】

由分析知，A 的结构简式为 ；B 的结构为 ，含氧官

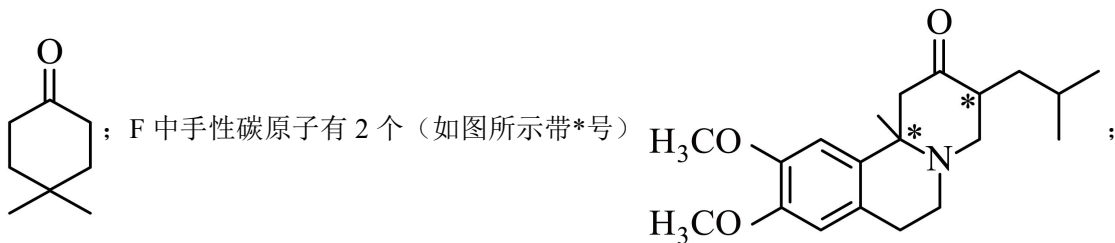
能团名称是酰胺基、酚羟基；

【小问 2 详解】

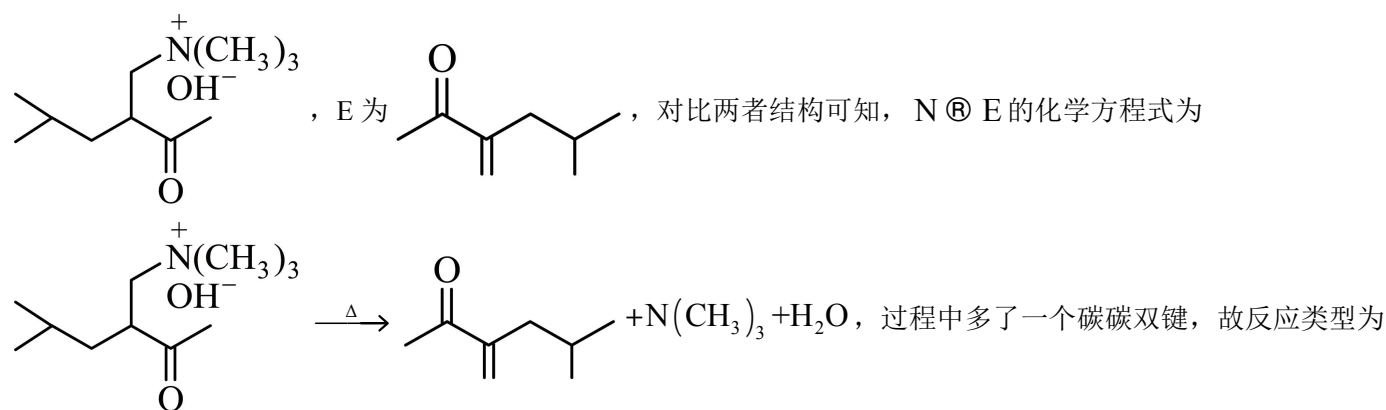
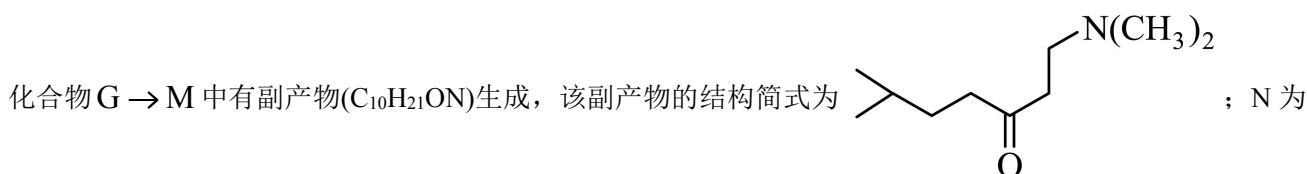
由分析知，C 为 ，D 为 ，C $\rightarrow$ D 的化学方程式为



饱和度，同分异构体含碳氧双键、六元碳环结构和 3 种不同化学环境的氢原子(个数比为 3 : 2 : 2)，其结构简式为

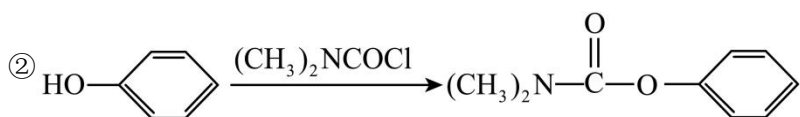
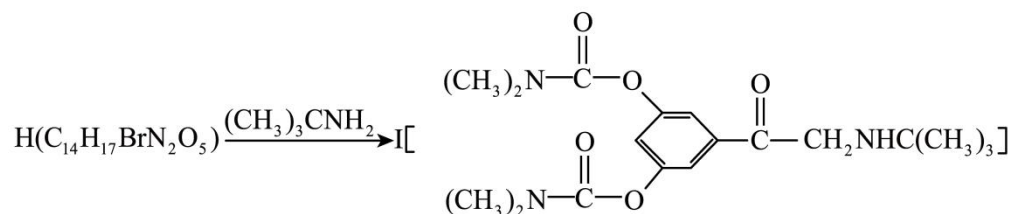
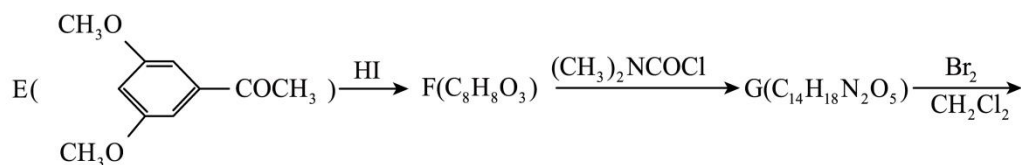
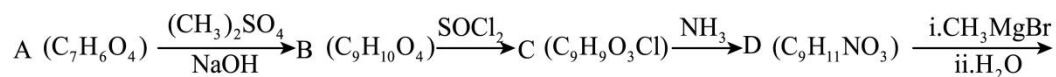


【小问 3 详解】



消去反应; N 转化为 E 时, 还生成了 H₂O 和 N(CH₃)₃。

2. (2025 潍坊三模, 19) 一种用于治疗阻塞性肺气肿药物的中间体 I 的合成路线如下:



回答下列问题:

(1) 鉴别 A 和 B 的常用试剂为 _____, B → C 的反应类型为 _____。

(2) E 中官能团的名称为_____，G 的结构简式为_____。

(3) 写出 C→D 的化学方程式_____。

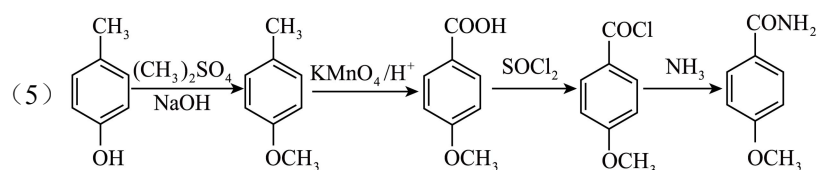
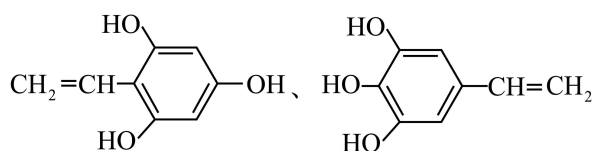
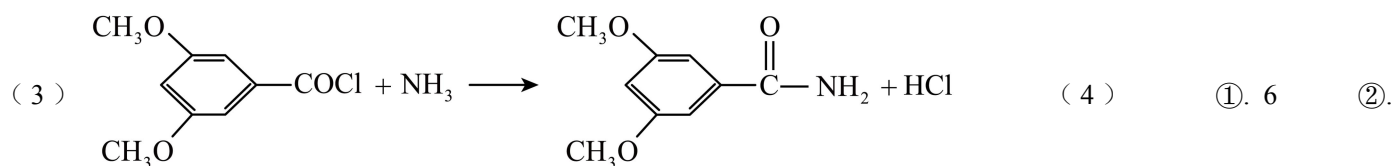
(4) F 的同分异构体中满足下列条件的有_____种，其中不同化学环境的氢原子个数比为 2:2:2:1:1 的结构简式为_____。

①属于芳香族化合物

②1mol 该同分异构体最多与 3molNa₂CO₃ 发生反应

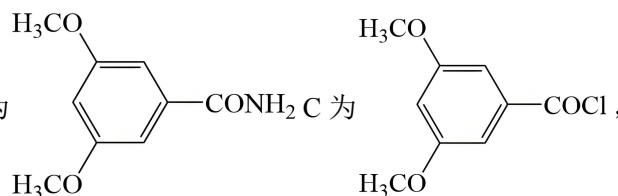
(5) 参照上述流程，设计以 $\text{CH}_3\text{—}\text{C}_6\text{H}_4\text{—OH}$ 为原料合成 $\text{CH}_3\text{O—C}_6\text{H}_4\text{—CONH}_2$ 的合成路线_____。

【答案】 (1) ①. FeCl₃ 溶液或溴水 ②. 取代反应



【解析】

【分析】由已知①和 E 的结构可知，D 为

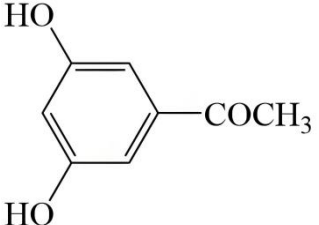


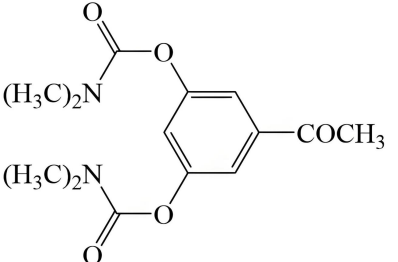
子式可知，A 为

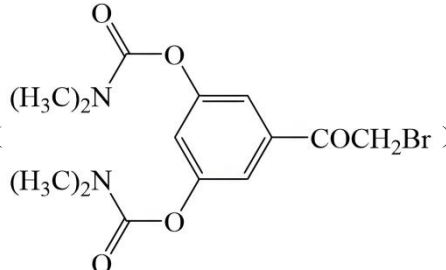
，B 为

；A 与 $(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$ 、NaOH 发生取代反应生成 B、

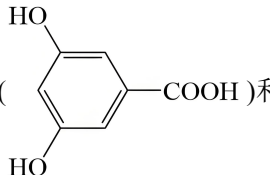
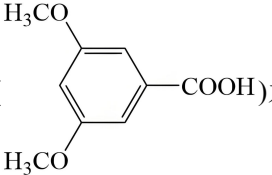
硫酸钠和水，B 与 SOCl₂ 发生取代反应生成 C 和 HOSCl，C 与 NH₃ 发生已知①的反应生成 D 和 HCl，D 依次经

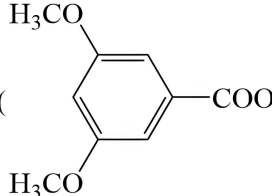
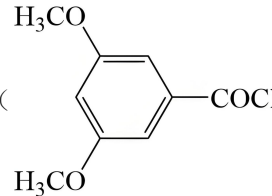
CH_3MgBr 、 H_2O 的作用下氨基转化为甲基生成 E, E 在 HI 的作用下生成 F (), F 与

($(CH_3)_2NCOCl$) 发生已知②的反应生成 G (), G 在 Br_2 发生取代反应生成 H

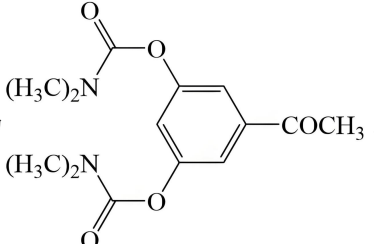
() 和 HBr, H 与 ($(CH_3)_3CNH_2$) 发生取代反应生成 I 和 HBr。

【小问 1 详解】

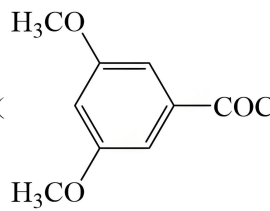
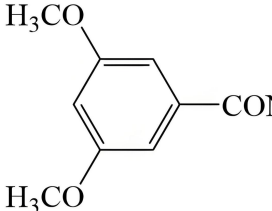
鉴别 A() 和 B() 为鉴别酚羟基, 常用试剂为 $FeCl_3$ 溶液或溴水;

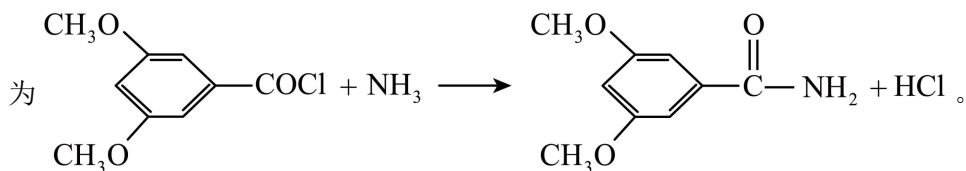
B() 与 $SOCl_2$ 发生取代反应生成 C () 和 $HOSOCl$ 。

【小问 2 详解】

根据 E 的结构简式, 其官能团为羰基、醚键; 据分析, G 为 。

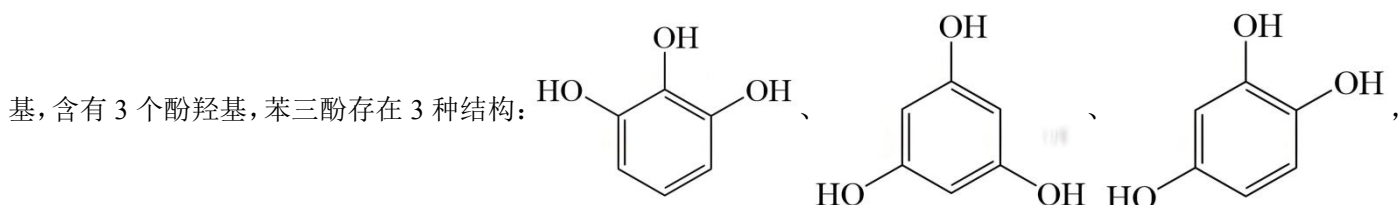
【小问 3 详解】

C () 与 NH_3 发生已知①的反应生成 D () 和 HCl , 化学方程式

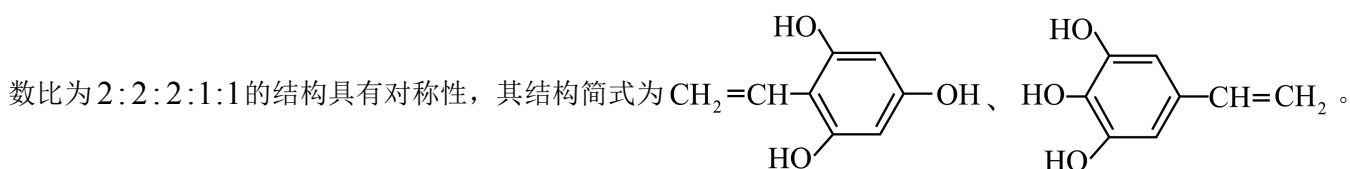


【小问 4 详解】

酚羟基和羧基可与碳酸钠反应，由于 1mol 该同分异构体最多与 3molNa₂CO₃ 发生反应，因此该同分异构体不含羧



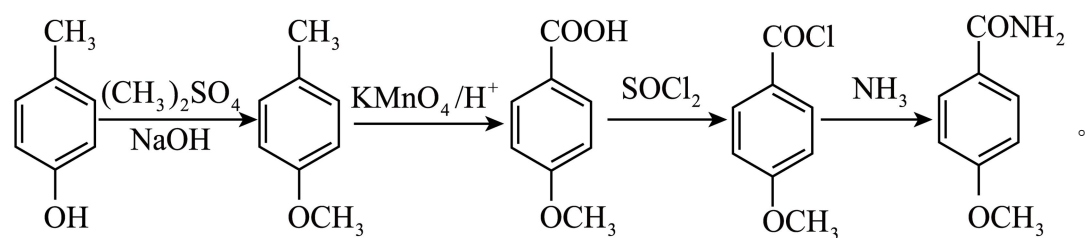
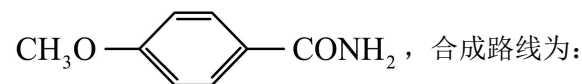
F 的不饱和度为 5，则该同分异构体为 -CH=CH₂ 取代的苯三酚，有 2+1+3=6 种结构；不同化学环境的氢原子个



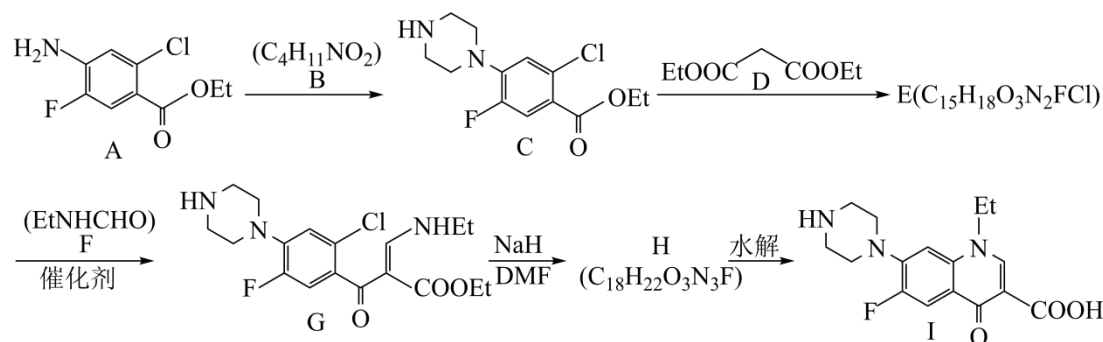
【小问 5 详解】

由于 CH₃-C₆H₄-OH 中的苯环上的甲基和酚羟基均可被氧化，因此先将酚羟基按照 A→B 的路径转化

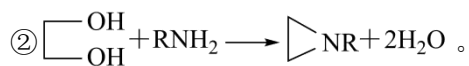
为甲氧基，然后再把苯环上的甲基氧化为羧基，再按照 B→D 的路径将羧基转化为酰胺基，即可得到目标产物



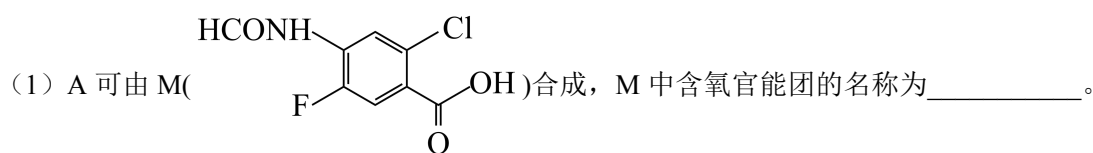
3. (2025 威海三模，17) 药物 I 是一种常见的杀菌消炎药，其合成路线 1 如图所示：



已知：① Et 代表乙基；



回答下列问题：



(2) A 生成 C 的反应类型为_____。D 的名称为_____。

(3) E 和 F 先后经过加成、消去反应得到 G, E 的结构简式为_____。N 比 F 多一个碳原子，即化学式为 $\text{C}_4\text{H}_9\text{ON}$ 。

则 N 满足下列条件的同分异构体共有_____种(不考虑立体异构)。

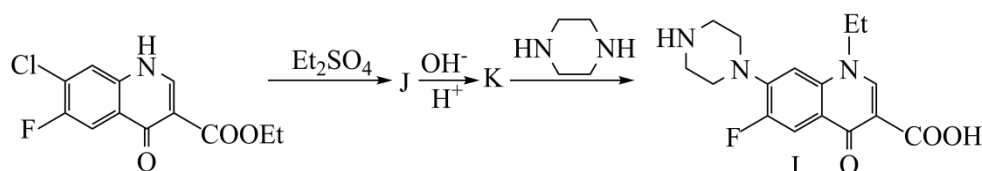
①能发生银镜反应；②核磁共振氢谱显示有 5 组峰。

(4) 下列有关 B、G、H 三种物质的说法错误的是_____。

a. B 中最多 9 个原子共面 b. B 中元素的电负性顺序： $\text{N} > \text{O} > \text{C} > \text{H}$

c. G 存在顺反异构体 d. 1mol H 最多消耗 2mol NaOH

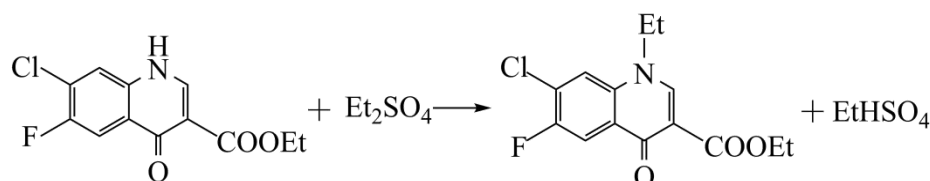
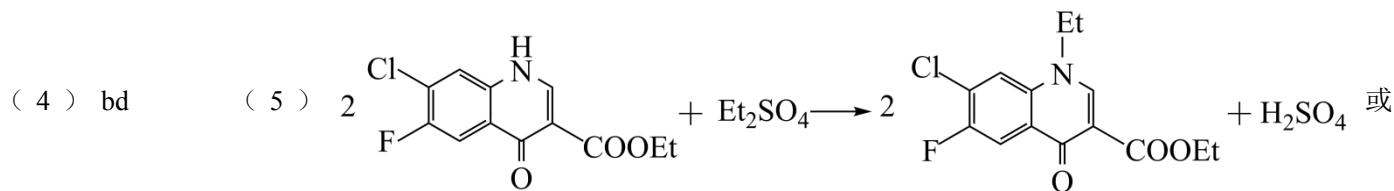
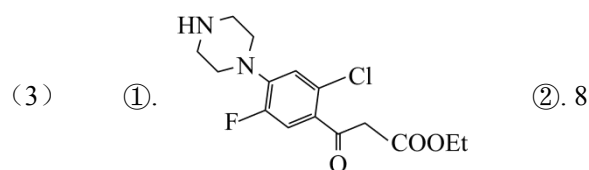
(5) 药物 I 的合成路线 2 片段如下：



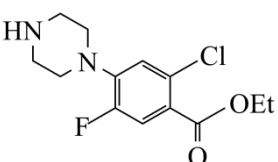
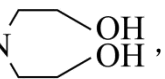
生成 J 的化学方程式为_____。

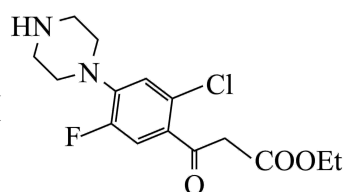
【答案】 (1) 酰胺基、羧基

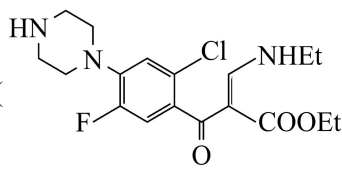
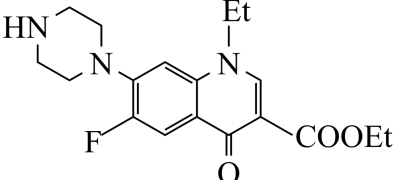
(2) ①. 取代反应 ②. 丙二酸二乙酯



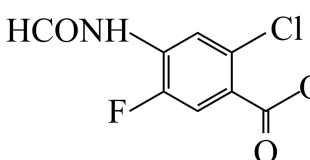
【解析】

【分析】A 与 B 发生取代反应生成 C(), 结合已知信息②, 则 B 的结构简式为:  ,

C 与 D 反应生成 E(), E 和 F(EtNHCHO) 先后经过加成、消去反应得到 G

(), G 反应生成 H(), H 水解生成 I。

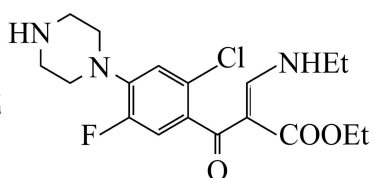
【小问 1 详解】

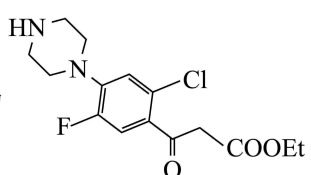
由 M() 的结构简式可知, M 中含氧官能团的名称为酰胺基、羧基;

【小问 2 详解】

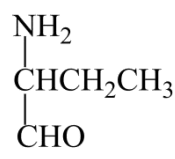
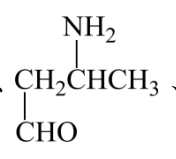
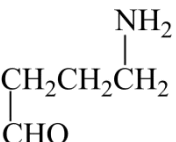
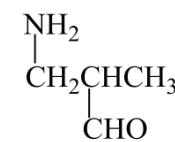
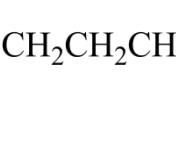
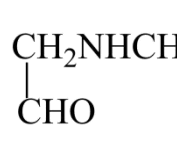
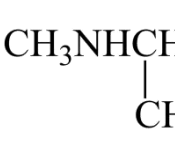
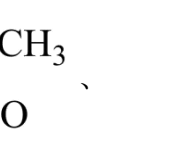
观察 A 生成 C 的反应, A 中 —NH_2 与 B 发生反应, 结合已知②的反应类型, 可判断该反应为取代反应; 已知 D 的结构简式为 $\text{EtOOC—CH}_2\text{—COOEt}$, Et 代表乙基, 含有两个酯基, 名称为丙二酸二乙酯;

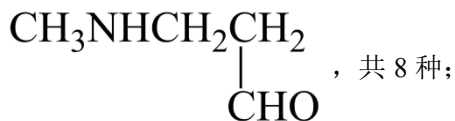
【小问 3 详解】

E 和 F(EtNHCHO) 先后经过加成、消去反应得到 G, 通过 G 的结构简式  , 可推出 E

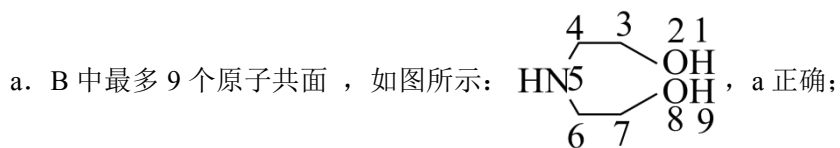
的结构简式为  ;

化学式为 $\text{C}_4\text{H}_9\text{ON}$, 不饱和度为 1, 满足下列

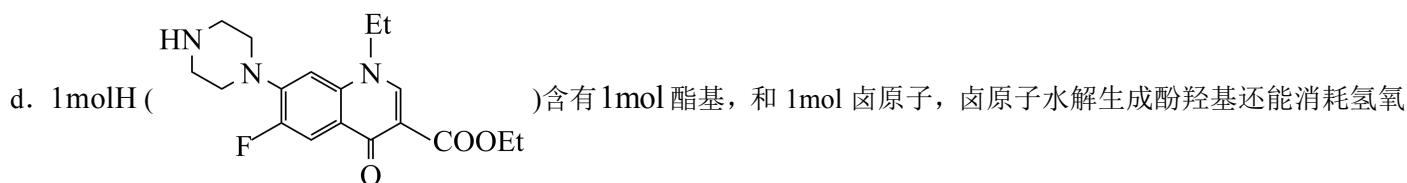
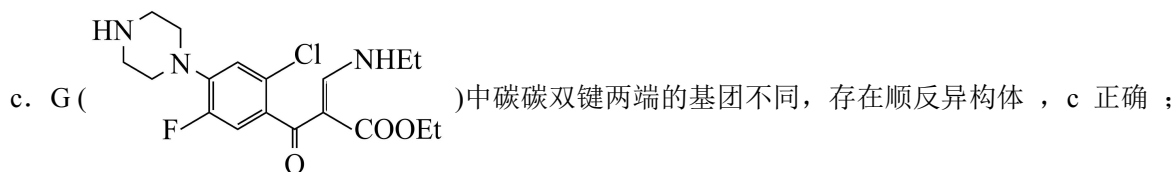
①能发生银镜反应, 说明含有醛基; ②核磁共振氢谱显示有 5 组峰的同分异构体共有:  ,  ,  ,  ,  ,  ,  ,  ,



【小问 4 详解】

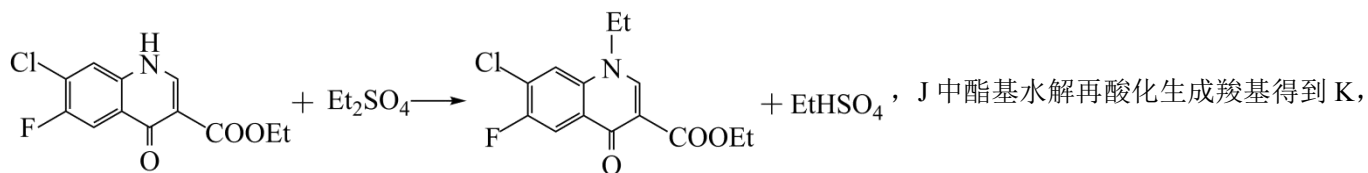
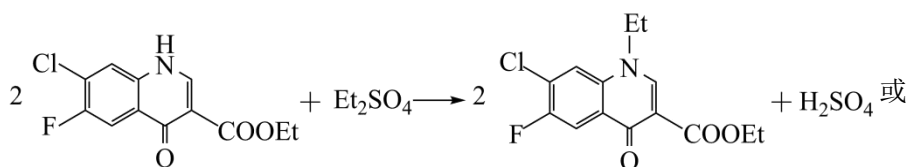


b. 非金属性越强，电负性越大，B 中元素的电负性顺序：O>N>C>H，b 错误；



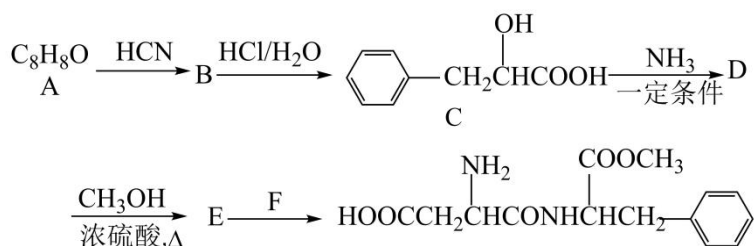
【小问 5 详解】

结合 I 的结构可知，生成 J 的反应为 Et 取代-NH 上的 H，化学方程式为：



K 中氯原子与  发生取代反应得到 I。

4. (2025 日照三模，17) 一种合成阿斯巴甜(G)的路线如下：





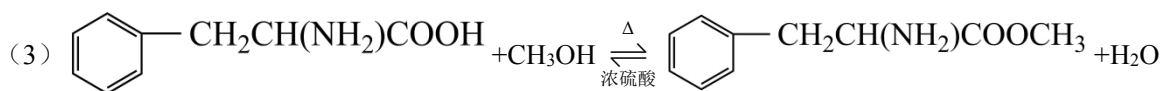
回答下列问题：

- (1) A 的化学名称为_____；A→B 的反应类型为_____。
- (2) B 中碳原子的杂化方式有_____种。C 与 M(-CH₂CH₂COOH) 相比，酸性较强的是_____ (填“C”或“M”)。
- (3) D→E 的化学方程式为_____。
- (4) F 的结构简式为_____；G 中含氮官能团的名称为_____。
- (5) 符合下列条件的 C 的同分异构体有_____种 (不考虑立体异构)，其中核磁共振氢谱上有 4 组峰，峰面积之比为 6:2:1:1 的结构简式为_____ (写出一种)。

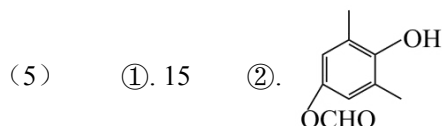
①能与 FeCl₃ 溶液显紫色 ②能发生银镜反应和水解反应 ③苯环上有四个取代基

【答案】 (1) ①. 苯乙醛 ②. 加成反应

(2) ①. 3 ②. C



(4) ①. HOOCCH₂CH(NH₂)COOH ②. 氨基、酰胺基



【解析】

【分析】由流程，结合物质化学式和结构，A 为 -CH₂CHO，A 和 HCN 加成生成 B -CH₂CHOHCN，B 中-CN 转化为羧基得到 C，C 和氨气发生已知反应生成 D -CH₂CH(NH₂)COOH，D 和甲醇发生酯化反应生成 E -CH₂CH(NH₂)COOCH₃，E 和 F 生成产物阿斯巴甜，结合阿斯巴甜结构，F 为 HOOCCH₂CH(NH₂)COOH；

【小问 1 详解】

A 为 -CH₂CHO，A 的化学名称为苯乙醛；A 和 HCN 加成生成 B，A→B 的反应类型为加成反应；

【小问 2 详解】

B -CH₂CHOHCN，B 中苯环碳为 sp² 杂化，支链中饱和碳为 sp³ 杂化，-CN 中碳为 sp 杂化，碳原子的杂化方式有 3 种。C 中羟基氧电负性很强，使得羧基中氢更容易被电离，导致与 M(-CH₂CH₂COOH) 相比，酸性较强的是 C；

【小问 3 详解】

D 和甲醇发生酯化反应生成 E, 反应为: $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} + \text{CH}_3\text{OH} \xrightleftharpoons[\text{浓硫酸}]{\Delta} \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

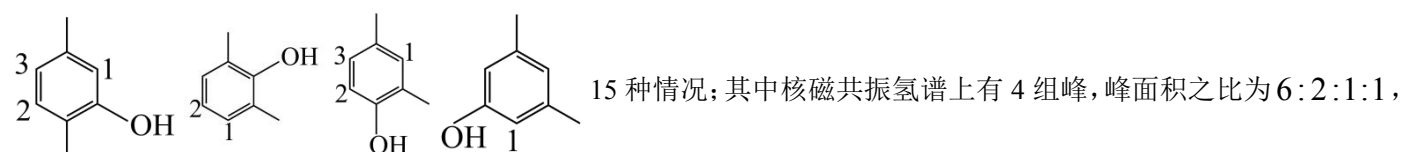
【小问 4 详解】

由分析, F 的结构简式为 $\text{HOOCCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$; 由结构, G 中含氮官能团的名称为氨基、酰胺基;

【小问 5 详解】

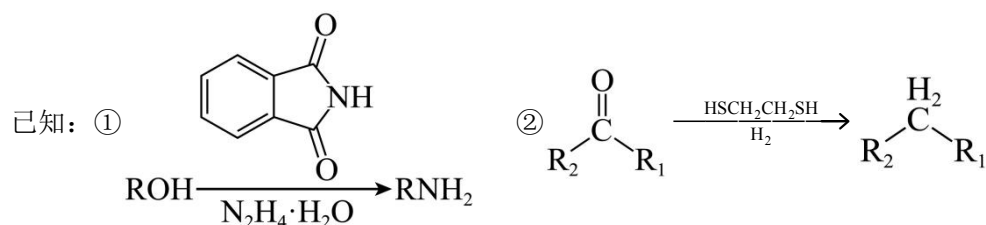
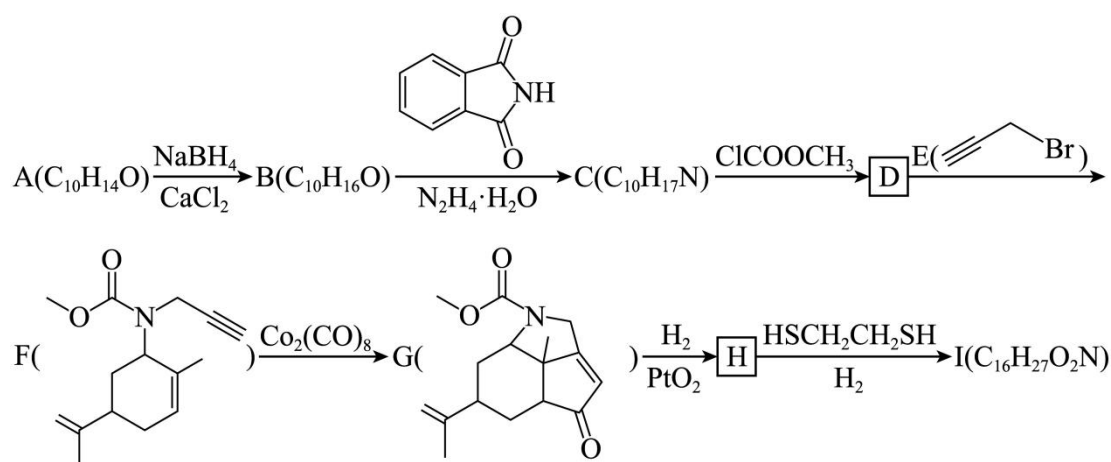
C 中除苯环外, 含 3 个碳、3 个氧、1 个不饱和度, 符合下列条件的 C 的同分异构体: ①能与 FeCl_3 溶液显紫色, 则含酚羟基; ②能发生银镜反应和水解反应, 则为甲酸酯; ③苯环上有四个取代基, 则为 $-\text{OH}$ 、 $-\text{OCHO}$ 、 $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}_3$,

苯环上 4 个取代基中 2 个相同, 首先确定其中 3 个取代基再确定第 4 个取代基, 存在



则存在 2 个相同的甲基, 结构简式为

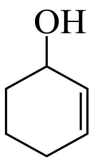
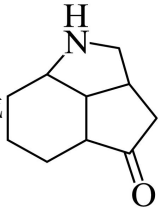
5. (2025 青岛三模, 18) 石斛碱是一种重要的药物, I 是合成石斛碱的重要中间体, 合成路线如下:



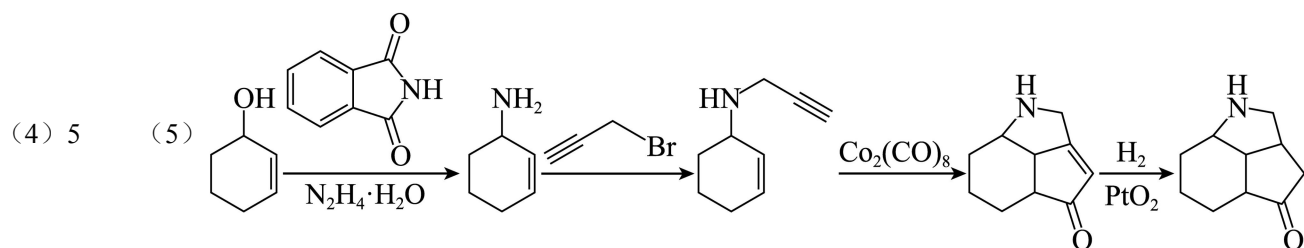
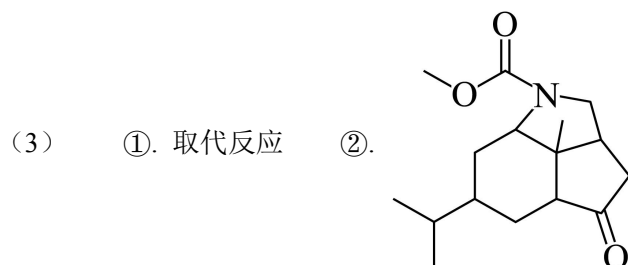
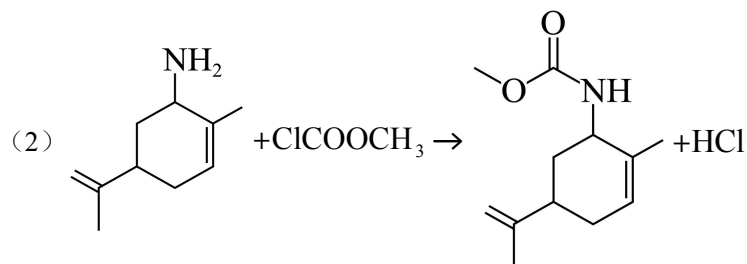
回答下列问题:

- (1) E 的名称为_____。B 中官能团的名称为_____。
- (2) C→D 的化学方程式为_____。
- (3) D→F 的反应类型为_____。H 的结构简式为_____。
- (4) 符合下列条件的 A 的同分异构体有_____种 (不考虑立体异构)。

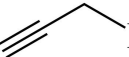
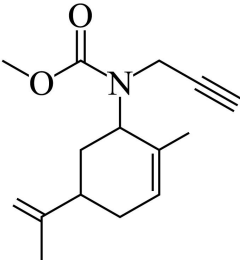
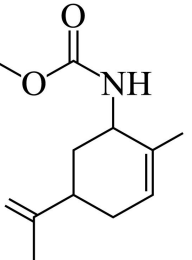
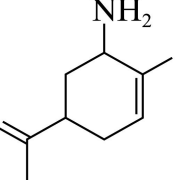
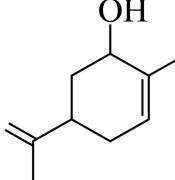
- ①含有苯环且只有一个侧链；
②催化氧化产物能发生银镜反应。

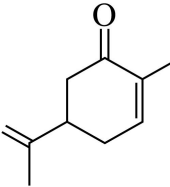
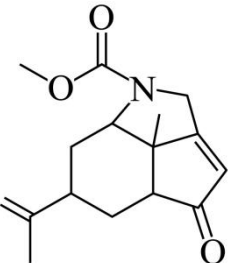
(5) 参照上述合成路线，由  合成  的路线是_____（其他试剂任选）。

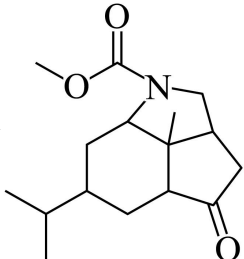
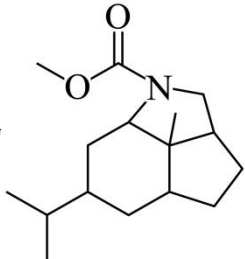
【答案】 (1) ①. 3-溴丙炔 ②. 羟基、碳碳双键



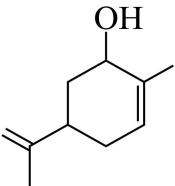
【解析】

【分析】根据流程，D 与  Br 反应，生成 F 为 ，可知 D 为 ；C 与 ClCOOCH_3 反应，生成 D，可知 C 为 ；结合已知①，则 B 为 ；A 被硼氢化钠还原，

变为 B，则 A 为 ；F 在 $\text{Co}_2(\text{CO})_8$ 作用下生成 G 为 ；G 与氢气发生加成反应，生

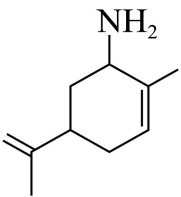
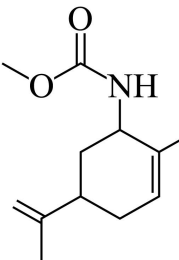
成 H，H 发生已知反应②，可知 H 为 ，I 为 ，据此分析作答。

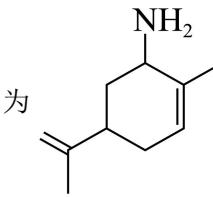
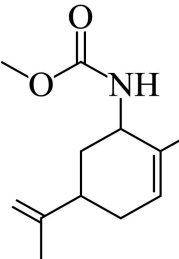
【小问 1 详解】

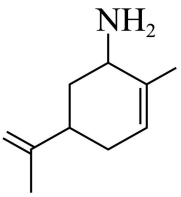
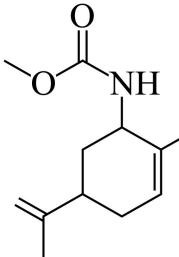
根据 E 的结构简式，可知其名称为 3-溴丙炔；B 为 ，其中官能团的名称为羟基、碳碳双键，故答案

为：3-溴丙炔；羟基、碳碳双键。

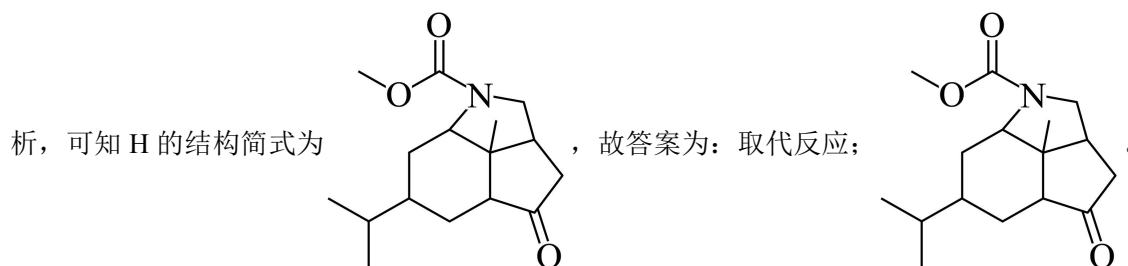
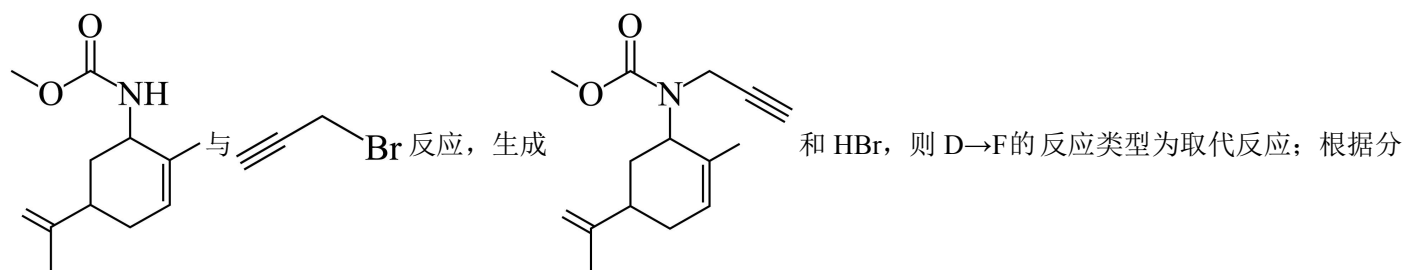
【小问 2 详解】

 与 ClCOOCH_3 反应，生成  和 HCl ，化学方程式

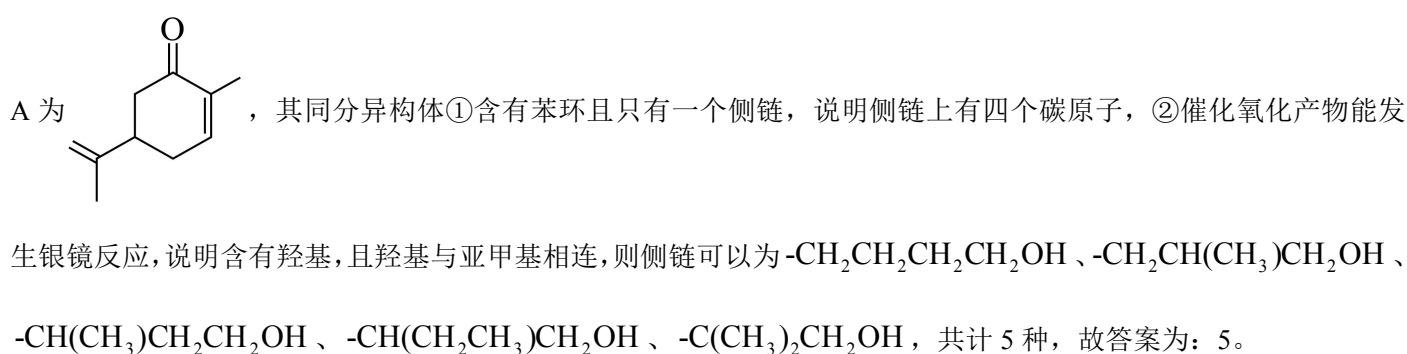
为  + $\text{ClCOOCH}_3 \rightarrow$  + HCl ，故答案为：

 + $\text{ClCOOCH}_3 \rightarrow$  + HCl 。

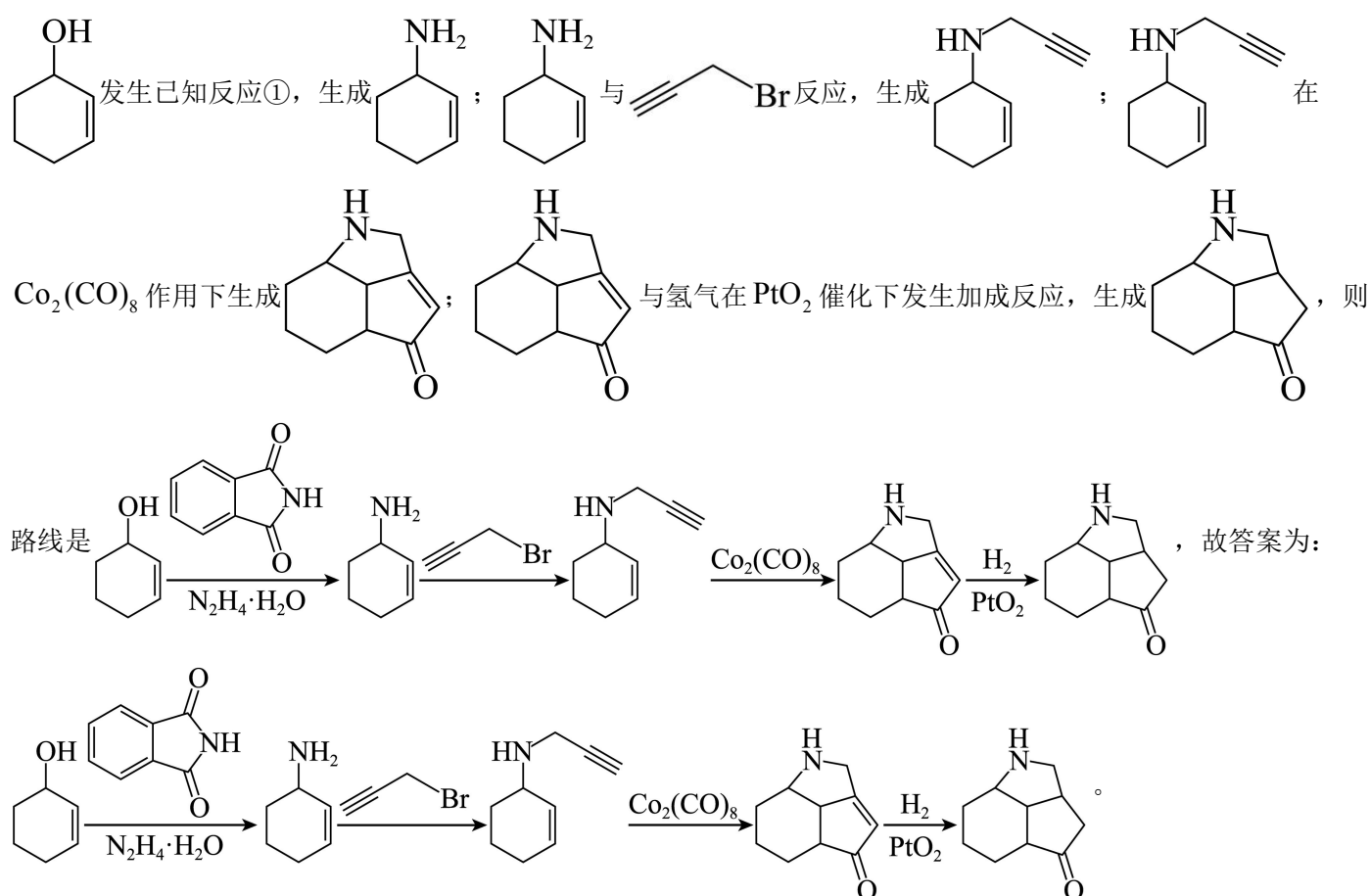
【小问 3 详解】



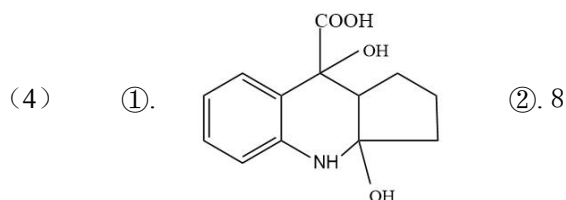
【小问 4 详解】



【小问 5 详解】



6. (2025 聊城三模, 17) 有机物 Q 是一种染料中间体, 它的一种合成路线如下。

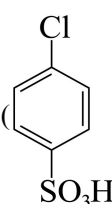
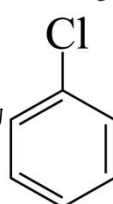
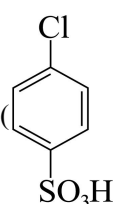
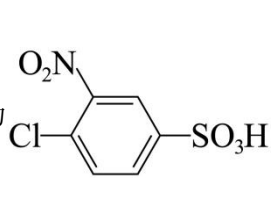


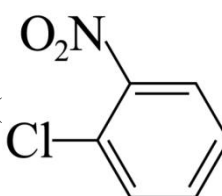
【解析】

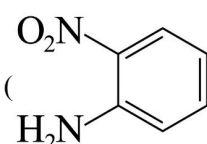
【分析】由 C 与 NaCN 发生取代反应生成 D($\text{H}_2\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OCH}_3$), 可推知 C 的结构为 $\text{H}_2\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OCH}_3$, Cl

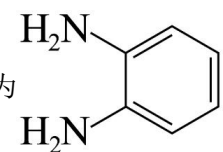
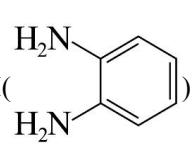
由 B 与甲醇在浓硫酸、加热条件下发生酯化反应生成 C, 可推知 B 的结构为 $\text{H}_2\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$, Cl

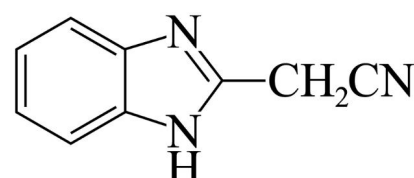
的 P 的作用下生成 B, 可推知 A 为 $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$, 由 E 的分子式为 $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$, 结合 E 与浓硫酸发生已知反应

生成 F() , 可推知 E 为 , F() 与浓硫酸、浓硝酸反应生成 G, 则 G 为 

G 与水发生反应生成 H() , H 和 NH_3 反应, 结合分子式可知, 发生了取代反应, 可推知 J 的结

构式为 () , J 经还原生成 M, 结合 M 的核磁共振氢谱有三组峰, 发生将硝基还原为氨基的反应,

则 M 为 , D($\text{H}_2\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OCH}_3$) 和 M() 发生已知信息②生成 Q, 结合信息①可得 Q

为: , 回答下列问题;

【小问 1 详解】

根据分析可知: B 的化学名称是一氯乙酸; B→C 的化学方程式为: $\text{Cl}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{CH}_3\text{OH} \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{浓硫酸}} \text{Cl}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$;

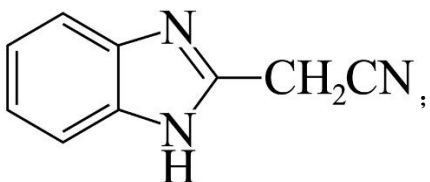
C→D 的反应类型是取代反应；

【小问 2 详解】

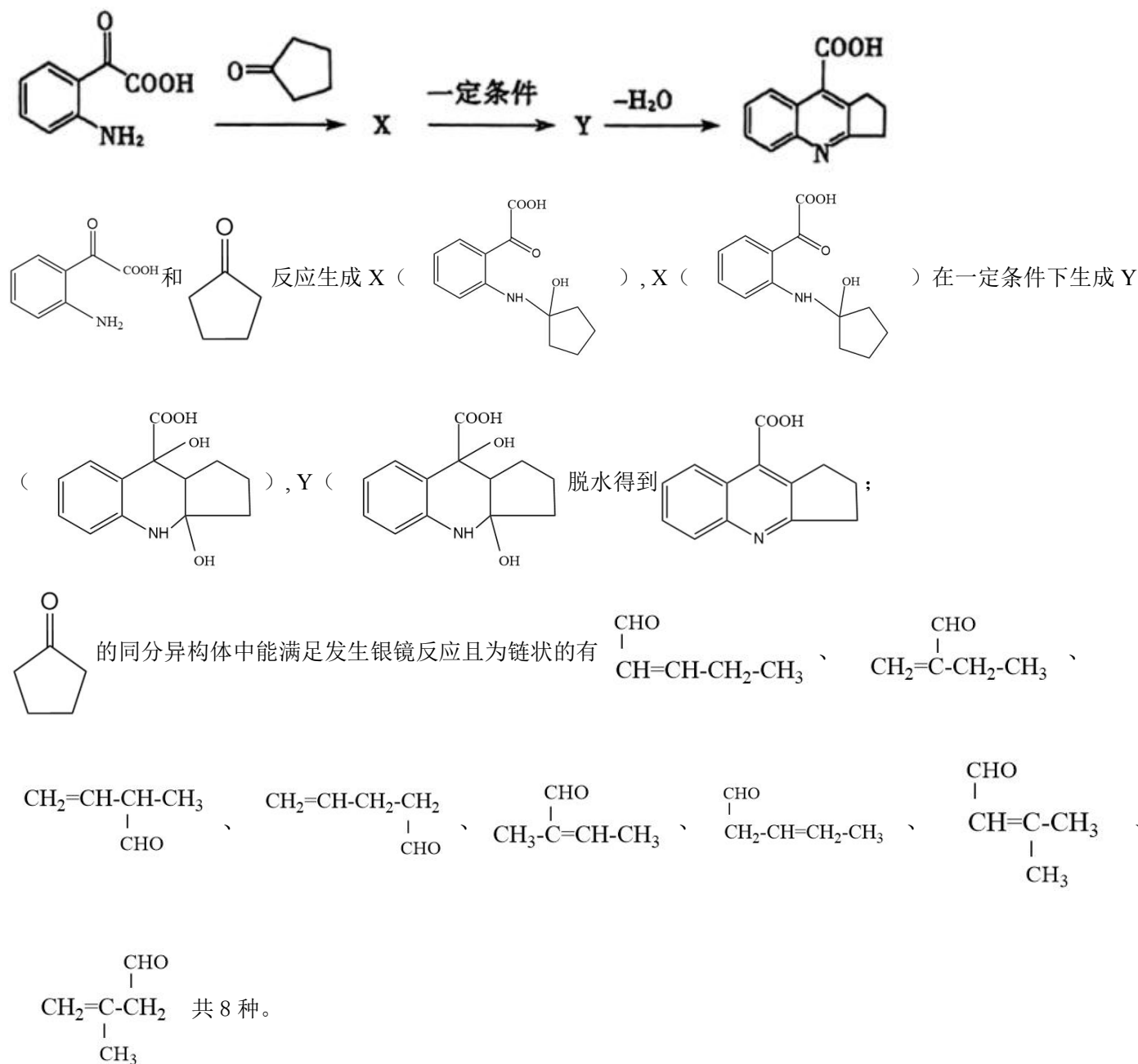
设计 E→F 的目的是防止生成副产物对硝基氯苯；

【小问 3 详解】

根据分析可知：G 分子中含氧官能团有磺酸基和、硝基；有机物 Q 的结构简式为：

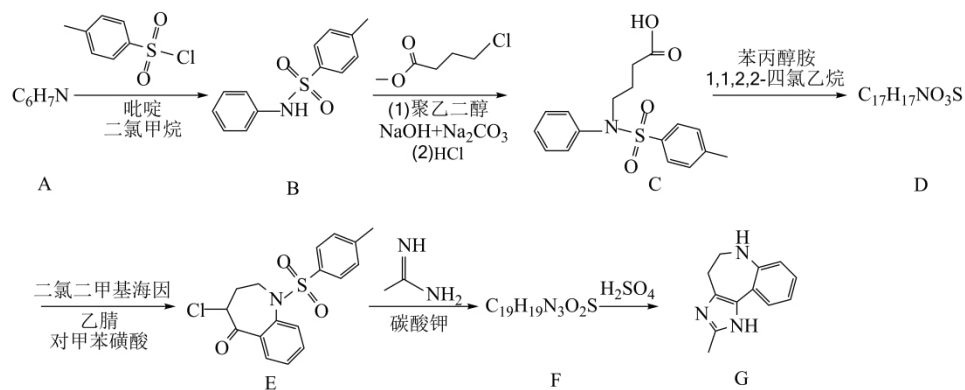


【小问 4 详解】



7. (2025 济宁三模, 17) 盐酸考尼伐坦是一种非肽类双重抑制剂, 主要用于低钠血症的治疗。根据盐酸考尼伐坦中间体(G)的两条合成路线, 回答下列问题。

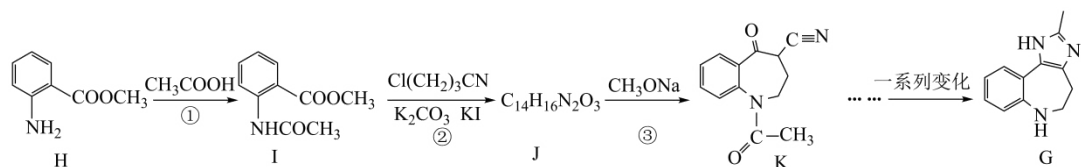
路线一：



(1) A 的化学名称为_____，C→D 的化学方程式为_____。

(2) E→F 中，碳酸钾的作用为_____。

路线二：



(3) K 中含氧官能团的名称为_____，①②③反应中取代反应个数为_____。

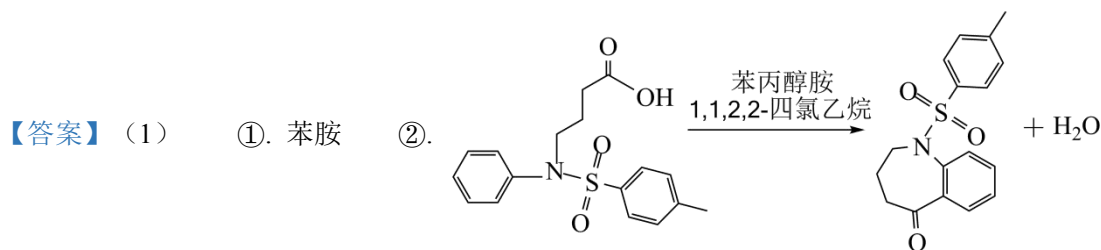
(4) J 的结构简式为_____。

(5) 同时满足下列条件的 I 的同分异构体有_____种。

①分子中含有苯环，不含其它环状结构，含有 $-\text{NO}_2$

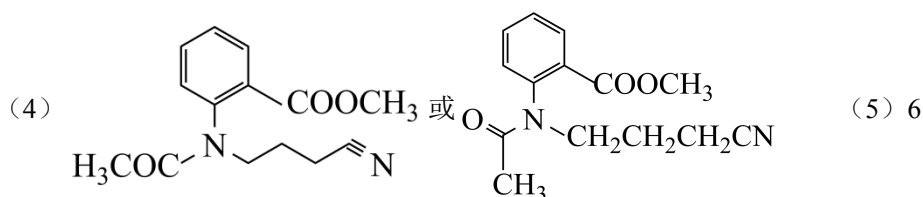
②可以发生银镜反应

③核磁共振氢谱有 4 组峰

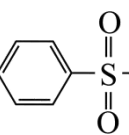
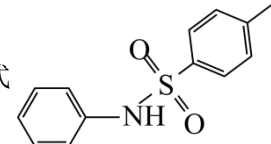


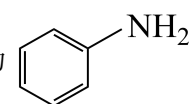
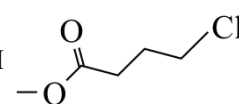
(2) 中和反应生成的盐酸，增大产物 F 的产率

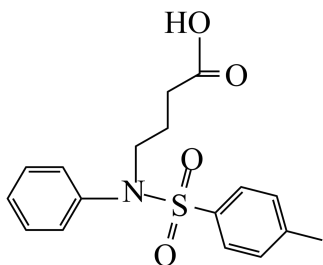
(3) ①. 酰胺基、酮羰基或羰基 ②. 3



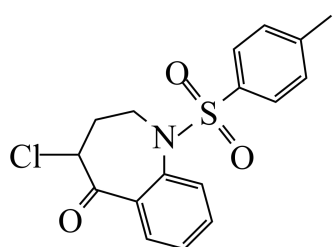
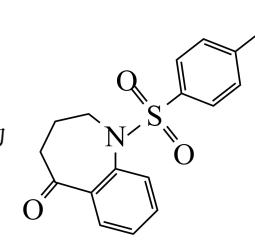
【解析】

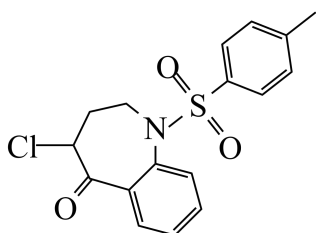
【分析】路线一：根据 A(C_6H_7N)与  反应生成的 B 的结构简式 ，可知 A

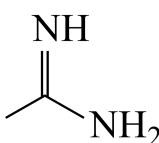
的结构为 ，B 与 M  发生取代反应、水解反应生成 C，结构简式为

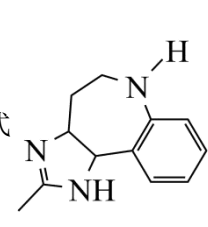
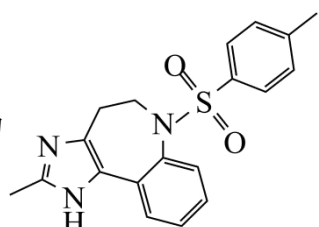


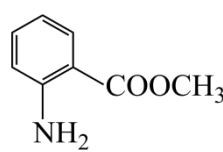
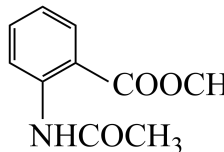
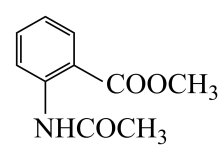
，根据 C(分子式 $C_{17}H_{19}NO_4S$)、D(分子式 $C_{17}H_{17}NO_3S$)、E(分子式 $C_{17}H_{16}NO_3SCl$)，

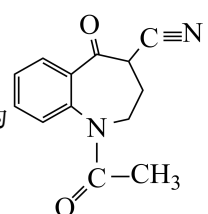
结合 E 的结构简式 ，可知 D 的结构简式为 ，E 为

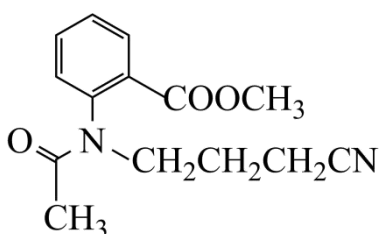


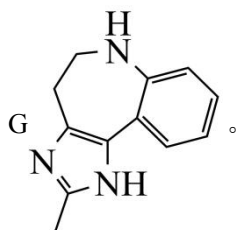
、分子式 $C_{17}H_{16}NO_3SCl$ 与  反应生成 F(分子式 $C_{19}H_{19}N_3O_2S$)，结合 F 在

硫酸环境中水解生成的 G 的结构简式 ，可知 F 的结构简式为 。

路线二：H  与乙酸发生取代反应生成 I ， 与

$Cl(CH_2)_3CN$ 发生反应生成 J(分子式为 $C_{14}H_{16}N_2O_3$)，J 在 CH_3ONa 环境中生成结构简式为  的

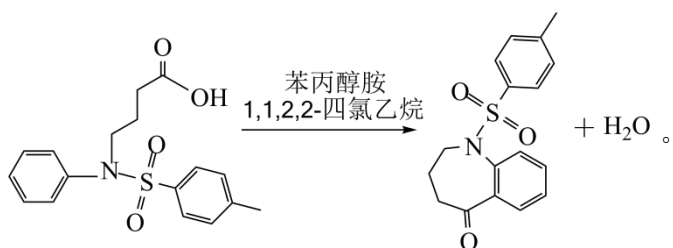
K，结合 K 的分子式 $C_{13}H_{12}N_2O_2$ ，可推断 J 的结构简式为 ，J 经过一系列反应生成



【小问 1 详解】

根据上述分析可知 A 的结构为 ，名称为苯胺；C 为 ，在苯丙醇胺、1, 1, 2,

2-四氯乙烷环境发生脱水反应生成 D 为 ，化学方程式为



【小问 2 详解】

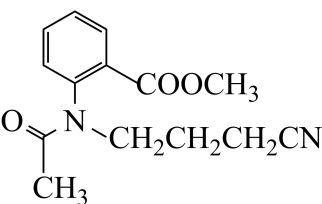
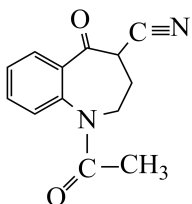
E 为 与 反应生成 F 和 HCl，则可知碳酸钾的作

用为中和反应生成的盐酸，使该反应平衡正移，增大产物 F 的产率。

【小问 3 详解】

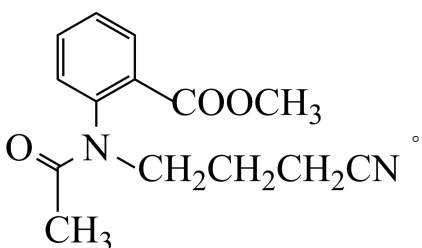
根据 K 的结构简式为 可知，含氧官能团为羰基（酮羰基）、酰胺基；反应①为氨基与羧基脱水

生成酰胺基，为取代反应，反应②酰胺基 N 原子上的 H 与 $\text{Cl}(\text{CH}_2)_3\text{CN}$ 中的 Cl 结合生成 HCl，即 N 原子上的 H

被 $-(\text{CH}_2)_3\text{CN}$ 取代, 该反应为取代反应, 反应③是  自身成环反应, 生成 

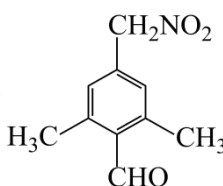
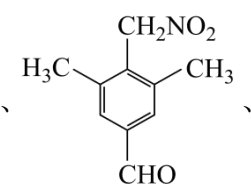
同时生成 CH_3OH , 属于取代反应, ①②③反应均为取代反应, 取代反应个数为 3。

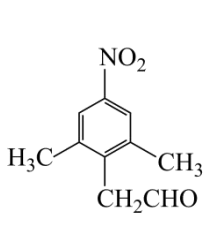
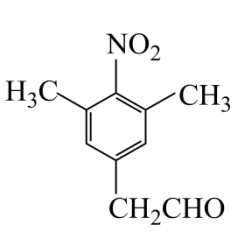
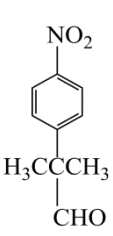
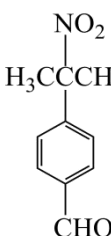
【小问 4 详解】

根据上述分析可知, J 的结构简式为 。

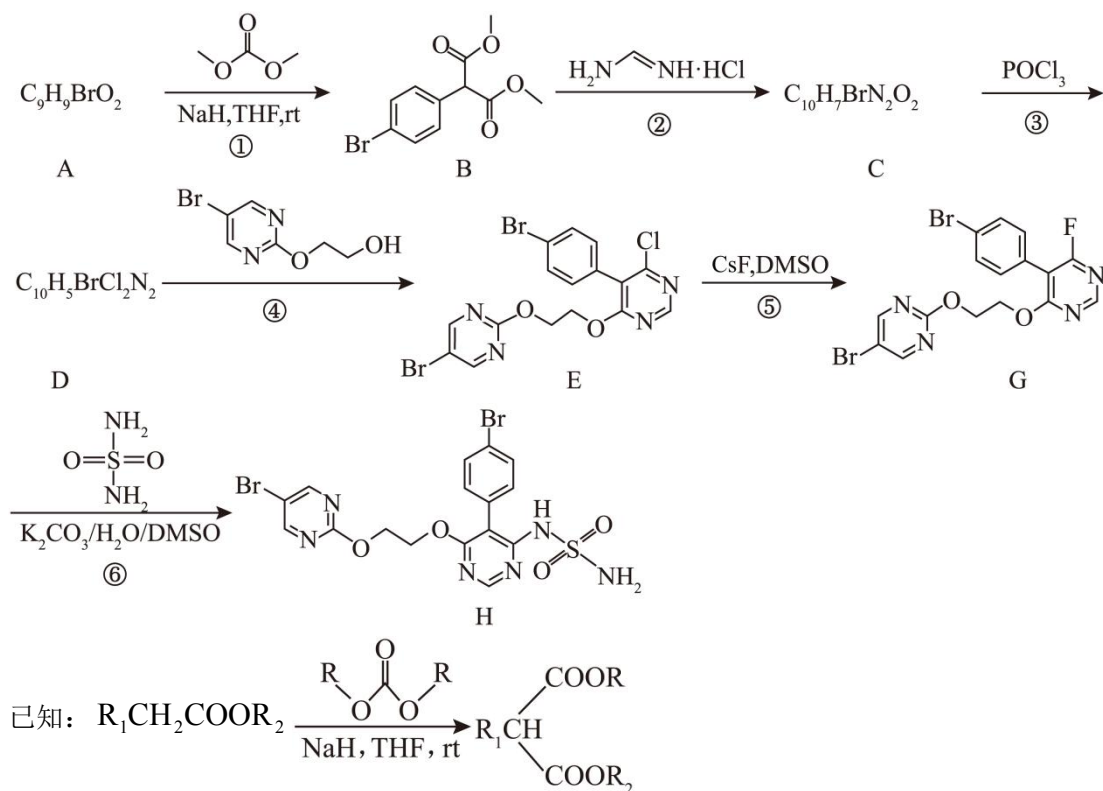
【小问 5 详解】

I 为 , 分子式为 $\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{NO}_3$, 满足条件①分子中含有苯环, 不含其它环状结构, 含有 $-\text{NO}_2$,

②可以发生银镜反应, 含有醛基, ③核磁共振氢谱有 4 组峰的同分异构体有 , ,

, , , , 共 6 种。

8. (2025 德州三模, 19) 阿普昔腾坦 H 用于治疗其他药物无法充分控制的成年难治性高血压, 其合成路线如下:



(1) A 的结构简式为_____，C 中的含氧官能团名称_____。

(2) 反应③的反应类型为_____。

(3) 反应⑥中碳酸钾的作用为_____。

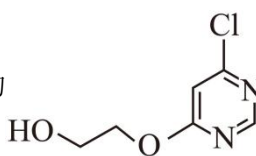
(4) 化合物 X 是比化合物 A 少 1 个碳的芳香族化合物，则同时满足下列条件的 X 的同分异构体有_____种。

①遇 FeCl_3 溶液不显紫色

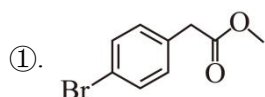
②能发生银镜反应

③1mol X 最多消耗 3mol NaOH

其中核磁共振氢谱含有 4 组峰，峰面积之比为 2:2:2:1 的结构简式为_____。

(5) 参照题干合成路线，写出由乙酸乙酯为原料制备化合物  的合成路线_____ (其它试剂任选)。

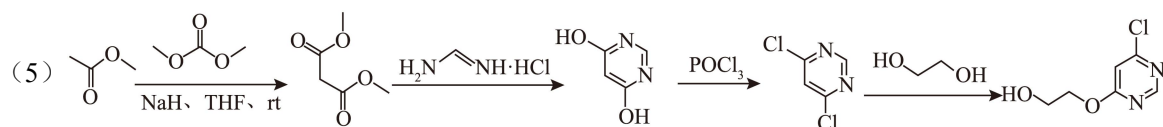
【答案】 (1)



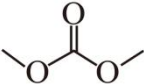
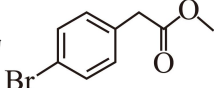
②. 羟基

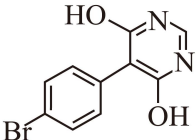
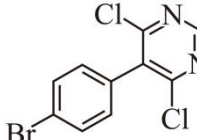
(2) 取代反应 (3) (消耗生成的 HF) 促进反应正向进行，提高 H 产率

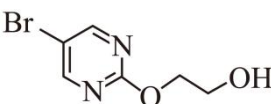
(4) ①. 13 ②. $\text{BrCH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OOCH}$



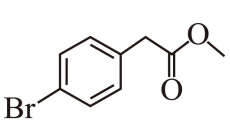
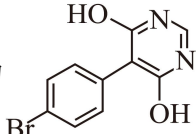
【解析】

【分析】由流程，A 和  发生已知反应原理生成 B，结合 B 结构、A 化学式，A 为 ，B

和 $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}=\text{NH}\cdot\text{HCl}$ 反应生成 C：，C 和 POCl_3 发生取代反应生成 D：，D 和

 发生取代反应生成 E，E 中氯原子被氟原子取代生成 G，G 中 F 原子被取代生成 H；

【小问 1 详解】

由分析，A 的结构简式为 ，C 为 ，C 中的含氧官能团名称羟基；

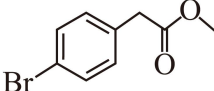
【小问 2 详解】

反应③为 C 中羟基和 POCl_3 发生取代反应引入氯原子生成 D，反应类型为取代反应；

【小问 3 详解】

反应⑥为 G 中 F 原子被取代生成 H，结合质量守恒，还生成 HF，反应中碳酸钾的作用为：(消耗生成的 HF)促进反应正向进行，提高 H 产率；

【小问 4 详解】

A 的结构简式为 ，化合物 X 是比化合物 A 少 1 个碳的芳香族化合物，则 X 中除苯环外含 2 个碳、

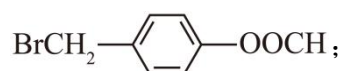
2 个氧、1 个溴、1 个不饱和度，同时满足下列条件的 X 的同分异构体：①遇 FeCl_3 溶液不显紫色，则不含酚羟基；

②能发生银镜反应，则含醛基；③1mol X 最多消耗 3mol NaOH，1mol-Br 水解消耗 1mol 氢氧化钠，则另外还含有

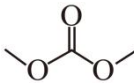
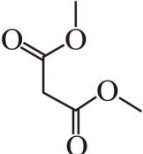
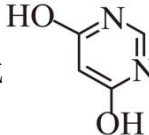
甲酸酯基且甲酸酯基水解生成酚羟基，消耗 2mol 氢氧化钠，共消耗 3mol 氢氧化钠；若苯环上含 $-\text{CH}_2\text{Br}$ 、 $-\text{OOCH}$

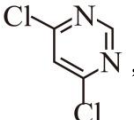
两个取代基，存在邻间对 3 种；若苯环上含 $-\text{Br}$ 、 $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{OOCH}$ 三个取代基，三个不同取代基存在 10 种；共 13 种；

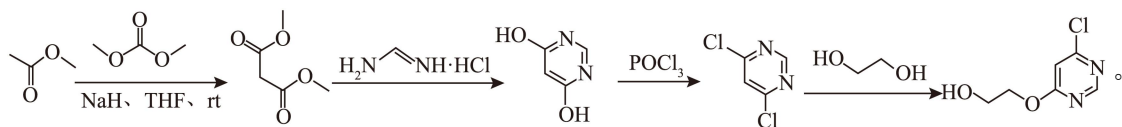
其中核磁共振氢谱含有 4 组峰，峰面积之比为 2:2:2:1，则结构对称且不存在甲基，则结构简式为



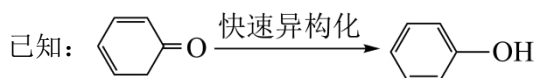
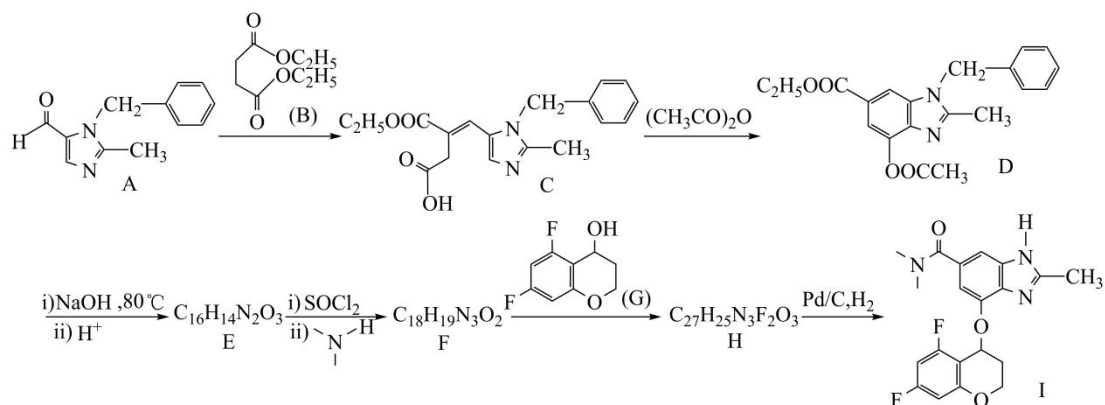
【小问 5 详解】

乙酸乙酯首先和  发生已知反应原理生成 ，再和 $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}=\text{NH}\cdot\text{HCl}$ 反应生成 ，羟

基被氯取代生成 ，再和乙二醇生成产物，故流程为：



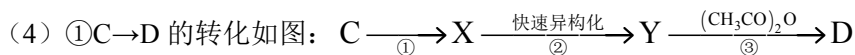
9. (2025 烟台三模, 17) 合成一种药物 I 的路线如下:



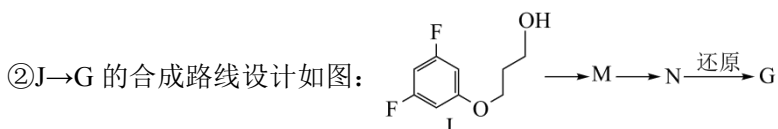
回答下列问题:

- (1) I 中含氧官能团的名称为_____。
- (2) B 的化学名称为_____; H→I 的反应类型为_____。
- (3) 符合下列条件 B 的同分异构体的结构简式为_____。

①与 B 含有相同官能团; ②水解生成丙二酸; ③含有三种不同化学环境的氢原子。



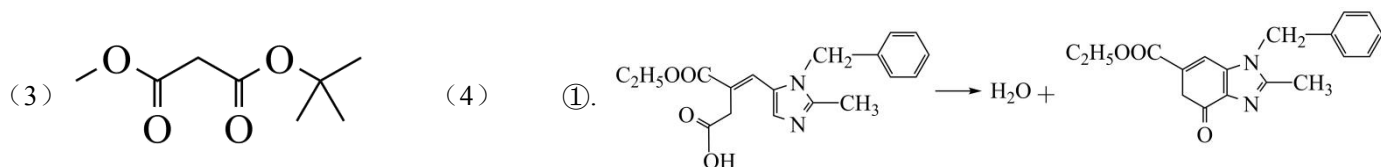
已知 C 分子内的咪唑环与羧基反应生成 X, ①的化学方程式为_____。



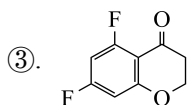
已知苯环与咪唑环性质类似。参考 C→X 的转化原理, J→M 的反应类型为_____; N 的结构简式为_____。

【答案】(1) 醚键、酰胺基

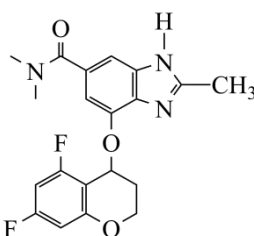
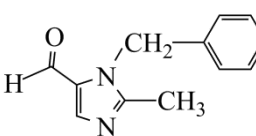
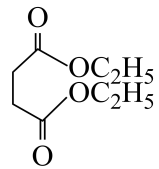
- (2) ①. 丁二酸二乙酯 ②. 取代反应

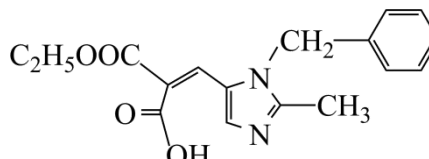


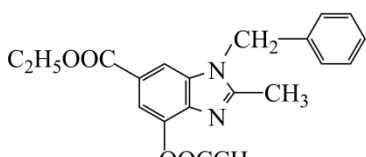
②. 氧化反应

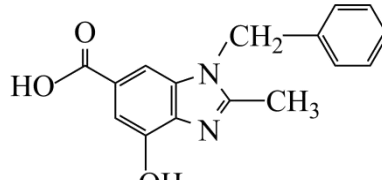


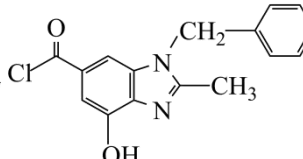
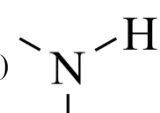
【解析】

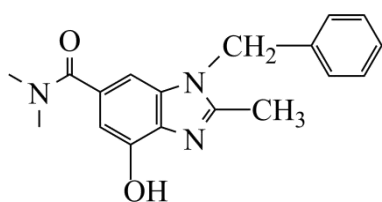
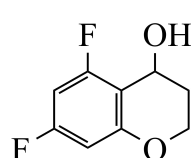
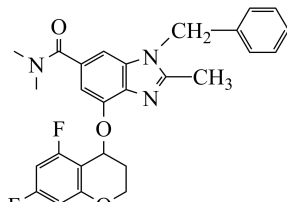
【分析】工业上合成  的工艺为：将 A:  与 B:  进行取代生

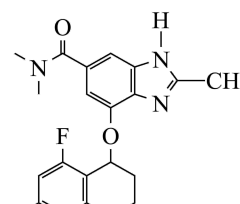
成 C: ，再将 C 与 $(CH_3CO)_2O$ 进行反应可得到 D:

，将 D 在 NaOH 溶液中、 $80^{\circ}C$ 温度下进行水解，水解产物再进行酸化生成

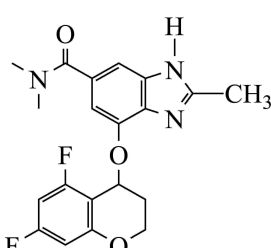
E ($C_{16}H_{14}N_2O_3$)，结合 E 的碳原子和 O 原子数以及 I 的结构可反推出 E 的结构为: ，

将 E 在 i) $SOCl_2$ 作用下先转化为 ，再与 ii)  反应生成 F:

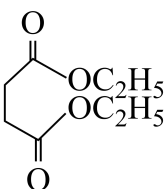
，将 F 与 G:  反应生成 H: ，最后将 H 在

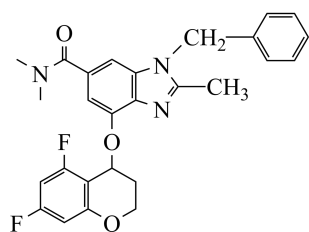
Pd/C 、 H_2 作用得到目标产物 I: ，据词分析解答。

【小问 1 详解】

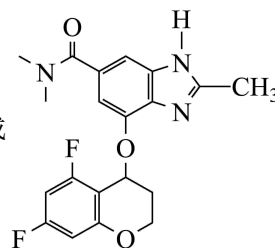
I 的结构为: ，起含有的含氧官能团名称为：醚键、酰胺基。

【小问 2 详解】

B 的结构为：，是由丁二酸与乙醇酯化后得到的产物，其名称为：丁二酸二乙酯；H→I 为



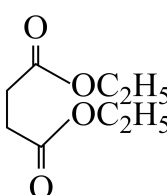
在 Pd/C 作用下与 H_2 通过取代的方式反应生成



和 ，其反应

类型为：取代反应。

【小问 3 详解】

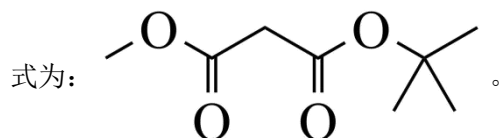
B 的结构为：，其同分异构体中满足以下条件：①与 B 含有相同官能团，即仍含有酯基；②水解生

成丙二酸：即 $HOOC-CH_2-COOH$ ，则醇结构可能是以下组合： CH_3OH 和 $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ 、 CH_3OH

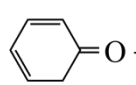
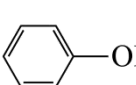
和 $CH_3CH_2CH(OH)CH_3$ 、 CH_3OH 和 $(CH_3)_2CHCH_2OH$ 、 CH_3OH 和 $(CH_3)_3COH$ 、 CH_3CH_2OH 和

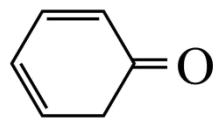
$CH_3CH_2CH_2OH$ 、 CH_3CH_2OH 和 $(CH_3)_2CHOH$ ；③含有三种不同化学环境的氢原子：由于丙二酸两边结合的

醇结构不对称，则要求醇的结构要对称，含尽可能多的甲基结构；最后得到符合条件的 B 的同分异构体的结构简

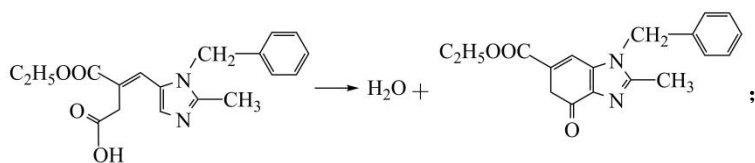


【小问 4 详解】

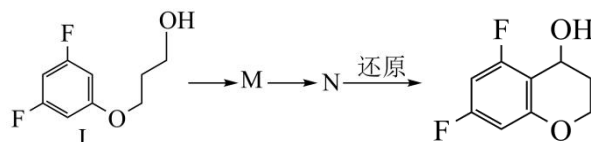
①根据已知： $\xrightarrow{\text{快速异构化}}$  的信息可知 $C \xrightarrow{\text{①}} X \xrightarrow[\text{快速异构化}]{\text{②}} Y$ 的转化中，X 结构中含有



的结构单元来满足快速异构化，则反应①的化学方程式为：

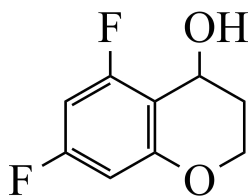


②根据 J→G 的合成路线图：

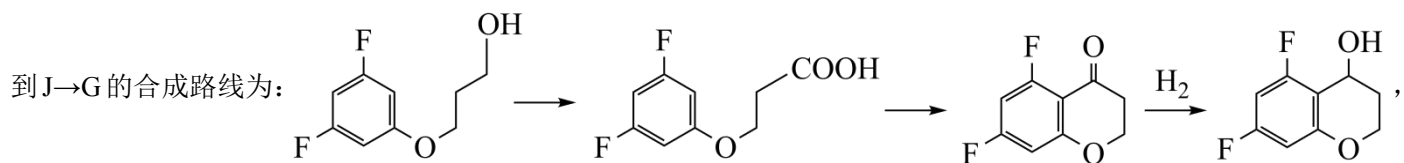


，结合苯环与咪唑环性质类似，同时

参考 C→X 的转化原理，由于 N 是通过还原反应生成



，则 N 结构中存在羰基结构单元，可得



则得到 J→M 的反应类型为：氧化反应；N 的结构简式为：

