

2025 届山东各地市高三一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 7

三、物质的性质和用途 12

四、化学基本概念 17

第二部分 化学实验 19

一、化学实验基础 19

二、实验装置题 21

三、实验表格题 27

四、化学实验综合题 35

五、化学实验综合题（非选择题） 46

第三部分 化学工艺流程 69

一、化学工艺流程题 69

二、化学工艺流程题（非选择题） 74

第四部分 化学反应原理 96

一、电化学 96

二、反应热、化学反应机理 105

三、化学反应的方向、限度与速率 110

四、电解质溶液中的离子平衡 121

五、化学反应原理综合题（非选择题） 137

第五部分 物质结构与性质 161

一、物质结构与性质 161

二、元素推断题 173

三、物质结构与性质综合题（非选择题） 177

第六部分 有机化学基础 195

一、有机物的结构与性质 195

二、有机反应 202

三、有机推断题（非选择题） 207

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

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

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

①烟台、德州、东营一模共用一套卷；②烟台、德州二模共用一套卷。

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

第一部分 化学基础知识

一、化学与 STSE

1. (2025 聊城一模, 1) 化学与生活密切相关, 下列涉及氧化还原反应的是

- A. 切开的茄子放置后切面变色
- B. 制作面点时加入食用纯碱
- C. 肥皂水作蚊虫叮咬处的清洗剂
- D. 使用含氟牙膏预防龋齿

【答案】A

【解析】

【详解】A. 切开的茄子变色是由于其中的多酚类物质被空气中的氧气氧化, 生成有色物质。此过程涉及氧气的还原和有机物的氧化, 属于氧化还原反应, A 选;

B. 食用纯碱 (Na_2CO_3) 与面点中的酸性物质反应生成 CO_2 , 属于复分解反应, 无化合价变化, 不涉及氧化还原, B 不选;

C. 肥皂水是碱性的, 能中和蚊虫分泌的酸性物质, 属于酸碱中和反应, 无化合价变化, 属于非氧化还原反应, C 不选;

D. 含氟牙膏中的 F 与牙齿中的羟基磷灰石发生离子交换, 生成氟磷灰石, 属于复分解反应, 无化合价变化, 属于非氧化还原反应, D 不选;

故选 A。

2. (2025 淄博一模, 1) 2025 年春晚吉祥物“巳升升”的五官设计取材于青铜器和玉器上的纹样, 青铜是铜和铅的合金。关于青铜的说法正确的是

- A. 在潮湿空气中, 青铜会生成铜绿
- B. 青铜的硬度比纯铜小
- C. 青铜是一种合金, 属于纯净物
- D. 青铜的熔点比纯铜高

【答案】A

【详解】A. 在潮湿空气中, 铜和氧气、二氧化碳、水蒸气反应生成碱式碳酸铜, 故 A 正确;

B. 合金的硬度比其组分都大, 故青铜的硬度比纯铜大, 故 B 错误;

C. 青铜是一种合金, 是铜、铅的混合物, 故 C 错误;

D. 合金的熔点比其组分都低, 青铜的熔点比纯铜低, 故 D 错误;

选 A。

3. (2025 淄博一模, 1) 科技强国与化学密切相关, 下列说法错误的是

- A. 智能机器人存储芯片主要成分是晶体硅
- B. 纳米银抗菌原理是利用其具有强氧化性
- C. 火箭隔热层所用材料 Si_3N_4 属于共价晶体
- D. 航母浸水区镶嵌锌块保护舰体不易腐蚀

【答案】B

【解析】

【详解】A. 芯片主要成分是晶体硅，故 A 正确；

B. 银属于重金属，能使蛋白质变性，因此具有抗菌作用，与氧化性无关，故 B 错误；

C. Si_3N_4 属于共价晶体，故 C 正确；

D. 航母浸水区镶嵌锌块，锌块与舰体以及海水构成原电池，锌块活泼，作负极，舰体作正极，从而对舰体起保护作用，不易腐蚀，故 D 正确；

故选：B。

4. （2025 枣庄一模，1）闵恩泽院士在炼油催化应用科学领域做出卓越贡献，被称为“中国催化剂之父”。催化剂是化学反应的重要工具，下列物质类别中原则上一般不常作为催化剂的是

- A. 非金属单质 B. 手性有机小分子 C. 金属配合物 D. 过渡元素的金属单质

【答案】A

【解析】

【详解】A. 非金属单质并不是常用的催化剂类型，通常，非金属单质更多地作为反应物或产物出现，而不是催化剂，A 正确；

B. 手性有机小分子可以作为催化剂，尤其是在不对称合成中，它们可以有效地促进特定立体化学产物的形成，B 错误；

C. 金属配合物是广泛使用的催化剂类型，特别是在有机合成中，它们可以提供特定的活性中心来促进反应，C 错误；

D. 过渡元素的金属单质：过渡元素的金属单质，如铂、钯等，是工业催化中常见的催化剂，用于各种类型的化学反应，包括加氢反应等，D 错误；

故选 A。

5. （2025 泰安一模，1）泰山豆腐，古法精制，源远流长。选豆为先，洗净浸泡，磨浆为次，滤浆以布，点浆于釜，点卤为要，压制成型，豆腐乃成。该工艺没有涉及的操作是

- A. 研磨 B. 过滤 C. 渗析 D. 聚沉

【答案】C

【详解】A. 磨浆为次其中包含了研磨，A 正确；

B. 滤浆以布是过滤豆浆的过程，B 正确；

C. 过程中无渗析，C 错误；

D. 卤水中含有电解质，遇到豆浆发生胶体的聚沉，D 正确；

故选 C。

6. （2025 烟台德州东营一模，1）化学与我们的生活息息相关，衣食住行皆化学。下列说法正确的是

A. 羽绒服的合成纤维面料属于有机高分子化合物

- B. 纤维素属于七大营养素，在人体内可水解为葡萄糖
- C. 房屋地面铺设的瓷砖主要成分为 CaCO_3
- D. 新能源汽车采用的三元锂电池属于新型燃料电池

【答案】A

【解析】

【详解】A. 用石油、天然气、煤和农副产品作原料制成单体，然后经过化学合成和机械加工等制得合成纤维，合成纤维属于有机高分子化合物，A 项正确；

B. 人体内没有催化纤维素水解的酶，故纤维素在人体内不能水解为葡萄糖，B 项错误；

C. 瓷砖根据种类成分有所不同，主要含黏土、石英、长石及添加剂，主要成分中不存在 CaCO_3 ，C 项错误；

D. 新能源汽车采用的三元锂电池属于新型二次电池，D 项错误；

答案选 A。

7. （2025 潍坊一模，1）非物质文化遗产是民族文化瑰宝。下列有关非遗习俗说法错误的是

- A. 高密泥塑所用的原料属于硅酸盐材料
- B. 杨家埠木板年画所用的纸张属于有机高分子材料
- C. 写春联所用的墨汁主要成分是四氧化三铁
- D. 打铁花民俗表演所用的原料生铁属于合金

【答案】C

【解析】

【详解】A. 泥塑的主要原料是泥土，泥土的主要成分是硅酸盐矿物，故 A 正确；

B. 纸张主要由纤维素组成，纤维素是一种有机高分子材料，故 B 正确；

C. 传统墨汁的主要成分是炭黑，而不是四氧化三铁。四氧化三铁是磁性氧化铁，常用于制作录音磁带等，故 C 错误；

D. 生铁是铁和碳的合金，故 D 正确；

故选 C。

8. （2025 青岛一模，1）化学中的“风花雪月”别有韵味。下列说法正确的是

- A. 风力发电主要涉及化学变化
- B. 烟花绽放过程中的电子跃迁为氧化还原反应
- C. 晶莹的雪花融化时氢键的数目减少
- D. “嫦娥工程”发现月壤富含 ^3He ， ^3He 与 ^4He 互为同素异形体

【答案】C

【解析】

【详解】A. 风力发电是将风能转化为电能，该过程没有新物质生成，主要涉及物理变化，A 错误；

B. 烟花绽放过程中的电子从激发态向能量较低的激发态乃至基态进行跃迁，以光的形式向外释放能量，并不涉及

电子的转移，所以该过程不是氧化还原反应，B 错误；

C. 固态水分子间都存在分子间氢键，液态水中部分水分子间存在氢键，部分水分子间存在范德华力，故晶莹的雪花中融化时氢键的数目减少，C 正确；

D. ^3He 与 ^4He 两者质子数相同、中子数不同，互为同位素，D 错误；

故答案为：C。

9. （2025 济宁一模，1）科技是国家强盛之基，创新是民族进步之魂。下列说法正确的是
- A. “天目一号”气象卫星的光伏发电系统，可将化学能转化成电能
- B. C919 飞机上使用了芳纶纤维，芳纶属于天然纤维
- C. 一种高性能涂料的主要成分石墨烯属于不饱和有机物
- D. “天和核心舱”电推进系统中的腔体采用氮化硼陶瓷，其属于新型无机非金属材料

【答案】D

【解析】

- 【详解】A. 光伏发电系统，是将光能转化成电能，A 错误；
- B. 芳纶纤维，芳纶属于合成纤维，不是天然纤维，B 错误；
- C. 石墨烯是单质，不是有机物，C 错误；
- D. 氮化硼陶瓷硬度大、耐高温，属于新型无机非金属材料，D 正确；

答案选 D。

10. （2025 济南一模，1）下列文物材质的主要成分与其他三者不同的是

	
A. 简牍	B. 蜀锦
	
C. 汉帛书	D. 伏羲绢画

【答案】A

【解析】

【详解】A. 简牍主要成分为纤维素；

B. 蜀锦主要成分为蛋白质；

C. 汉帛书的主要成分为蛋白质；

D. 伏羲绢画的主要成分为蛋白质；

上述分析可知文物材质的主要成分与其他三者不同的是简牍；

答案选 A。

11. (2025 菏泽一模, 1) 化学在材料领域发挥着举足轻重的作用。下列说法正确的是

A. 城市柏油路面使用到的沥青可以通过石油分馏得到

B. “歼-20”飞机上大量使用的碳纤维是一种新型有机高分子材料

C. 量子通信的光纤和超算“天河一号”的芯片的主要材料均为 SiO_2

D. 航天服壳体使用的铝合金材料因熔点比纯铝高而耐用

【答案】A

【详解】A. 沥青是石油分馏的产物之一，属于分馏残渣，常用于铺路，A 符合题意；

B. 碳纤维主要成分为碳，属于无机材料，而非有机高分子材料，B 不符合题意；

C. 光纤材料是 SiO_2 ，但芯片的主要材料是高纯度硅单质，而非 SiO_2 ，C 不符合题意；

D. 铝合金的熔点通常低于纯铝，其耐用性源于合金的硬度、强度等性能提升，而非熔点高，D 不符合题意；
故选 A。

12. (2025 泰安一模, 2) 化学材料为我国的科技发展提供了强有力的支撑，下列有关材料的说法错误的是

A. 航母使用的碳纤维是一种新型无机非金属材料

B. 玄武岩纤维制成的五星红旗在月球背面成功展开，其成分是硅酸盐

C. 空间站使用的太阳能电池板材料砷化镓属于金属材料

D. 宇航服使用的特殊高强度涤纶属于有机高分子材料

【答案】C

【详解】A. 碳纤维是碳的单质，是一种新型无机非金属材料，故 A 正确；

B. 玄武岩纤维是由二氧化硅、氧化铝、氧化钙、氧化镁、氧化铁和二氧化钛等氧化物组成，其成分是硅酸盐，故 B 正确；

C. 太阳能电池板材料砷化镓是一种半导体材料，不是金属材料，故 C 错误；

D. 涤纶是合成纤维，属于有机高分子材料，故 D 正确；

答案选 C。

13. (2025 泰安一模, 3) 下列有关能源转化与存储的叙述错误的是

A. 煤炭气化可制得清洁燃料

B. 石蜡油裂化可生产汽油

C. 锂电池能量密度高可用于大型储能设备

D. 利用催化剂分解水制氢气并且放出热量

【答案】D

【详解】A. 煤的气化是高效、清洁地利用煤的重要途径，A 正确；

B. 石蜡油是一种从原油分馏中得到的混合物，主要成分为烃类，通常含有 18 到 30 个碳原子。在高温和催化剂的作用下，石蜡油可以通过裂化过程分解成较短链的烃类混合物，这些混合物包括汽油，后者通常含有 4 到 12 个碳原子，B 正确；

C. 锂电池具有工作电压高、能量密度大、安全性能好等特点，可用于大型储能设备，C 正确；

D. 氢气与氧气反应生成水是放热反应，故利用催化剂分解水制氢气时吸收热量，D 错误；

故选 D。

二、化学用语

1. (2025 聊城一模，2) 下列化学用语或图示表达正确的是

A. 甲酸甲酯的实验式为 $C_2H_4O_2$

B. NO_2^+ 的空间结构为直线形

C. $SiCl_4$ 分子中共价键的电子云图为 

D. $HClO$ 的电子式为 $H:\ddot{Cl}:\ddot{O}:$

【答案】B

【解析】

【详解】A. 实验式即最简式，故甲酸甲酯的实验式为 CH_2O ，故 A 错误；

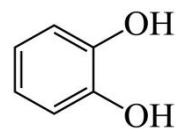
B. NO_2^+ 的价层电子对数为 $2 + \frac{5-1-2 \times 2}{2} = 2$ ，无孤电子对，故空间结构为直线形，故 B 正确；

C. $SiCl_4$ 分子中共价键的电子云图呈正四面体结构，其中硅原子位于中心，四个氯原子位于四个顶点。每个 $Si-Cl$ 键都是共价键，由硅原子的 sp^3 杂化轨道和氯原子的 p 轨道头碰头形成，故 C 错误；

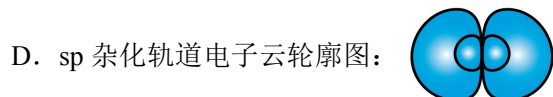
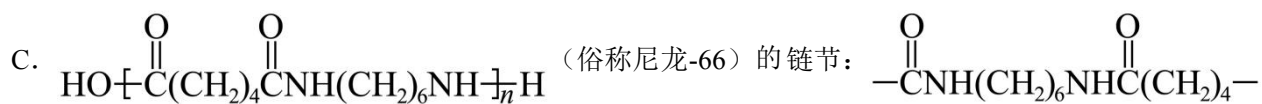
D. $HClO$ 的电子式为 $H:\ddot{O}:\ddot{Cl}:$ ，故 D 错误；

故选 B。

2. (2025 潍坊一模，2) 下列化学用语或图示正确的是

A.  系统命名：邻苯二酚

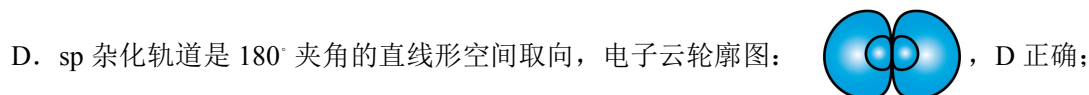
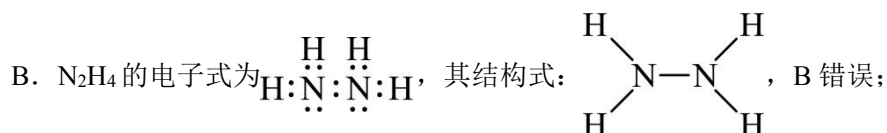
B. 联氨 (N_2H_4) 的结构式：
$$\begin{array}{c} H & H \\ | & | \\ H-N & =N-H \end{array}$$



【答案】D

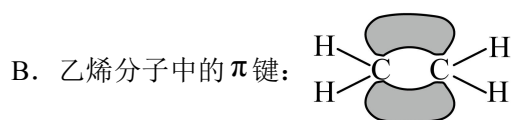
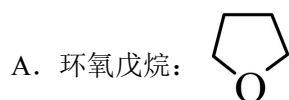
【解析】

【详解】A. 根据系统命名法, 其中酚羟基相连苯环上的一个碳定位 1 号, 另一个为 2 号, 得到名称为 1, 2-苯二酚, A 错误;



故选 D。

3. (2025 青岛一模, 2) 下列化学用语或图示正确的是



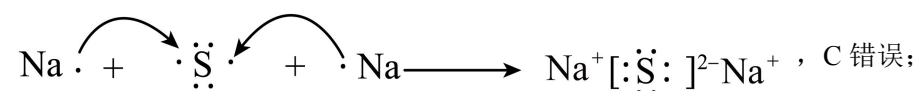
【答案】B

【解析】

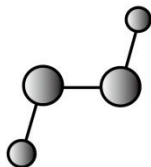
【详解】A. 图示为环氧丁烷, A 错误;

B. π 键为镜面对称, 图示为乙烯分子中的 π 键, B 正确;

C. Na_2S 为离子化合物, 用电子式表示 Na_2S 的形成过程:



D. H_2O_2 的球棍模型不是直线形，应为：

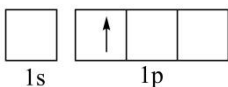


故选 B。

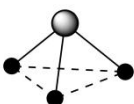
4. (2025 济宁一模，2) 下列化学用语正确的是

A. 钢铁发生吸氧腐蚀，负极反应： $\text{Fe}-2\text{e}^-=\text{Fe}^{2+}$

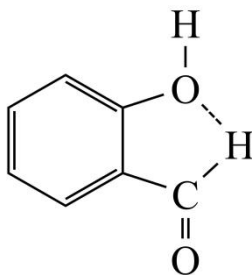
B. H 原子的一种激发态的轨道表示式：



C. AlCl_3 的空间结构：



D. 邻羟基苯甲醛分子内氢键示意图：



【答案】A

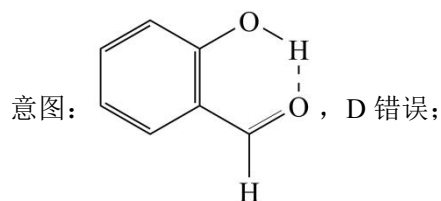
【解析】

【详解】A. 钢铁发生吸氧腐蚀，负极上铁失去电子生成 Fe^{2+} ，电极反应式为： $\text{Fe}-2\text{e}^-=\text{Fe}^{2+}$ ，A 正确；

B. 第一能层没有 p 轨道，B 错误；

C. AlCl_3 的中心原子为 Al，价电子为 3，全部与 Cl 成键，孤电子对为 0，空间结构为平面三角形，C 错误；

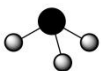
D. 氢键是与 N、O、F 形成共价键的 H 原子与另一个 N、O、F 之间的作用力为氢键，邻羟基苯甲醛分子内氢键示意图：

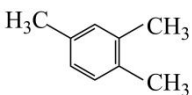


答案选 A。

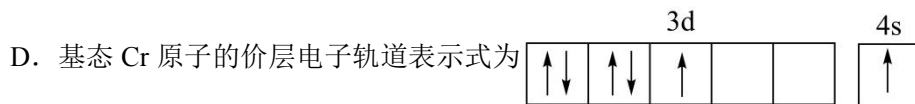
5. (2025 菏泽一模，3) 下列图示或化学用语正确的是

A. NH_3 分子的 VSEPR 模型为



B.  的系统命名：1, 3, 4-三甲苯

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

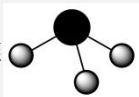


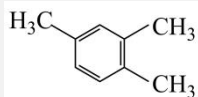
【答案】C

【详解】

A. NH_3 分子中 N 原子的价层电子对数为 $3 + \frac{1}{2} \times (5 - 3 \times 1) = 4$ ，VSEPR 模型为四面体形，含一对孤电子对，分子的空间构型为三角锥

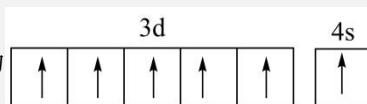
，故 A 错误；



B.  以苯环上其中一个具有甲基的碳原子为 1 号，三个甲基编号最小的位置为 1、2、4，因此该化合物的系统命名：1,2,4-三甲苯，故 B 错误；

C. CaC_2 由 Ca^{2+} 和 C_2^{2-} 组成， C_2^{2-} 包括碳碳三键，两个碳原子之间共享 3 对电子，因此其电子式为 $\text{Ca}^{2+}[:\text{C}::\text{C}:]^{2-}$ ，故 C 正确；

D. 基态 Cr 原子的价层电子排布为 $3d^5 4s^1$ ，3d 轨道有 5 个简并轨道排布 5 个电子，根据洪特规则，5 个电子应以相同自旋方向排布在 5 个简并轨道上，即价层电子轨道表示式为



，故 D 错误；

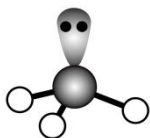
故答案为 C。

6. (2025 烟台德州东营一模，3) 下列化学用语或图示表示错误的是

A. HClO 的电子式： $\text{H}:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{Cl}}:$

B. 基态 Se 原子的价电子排布式： $4s^2 4p^4$

C. PCl_3 的 VSEPR 模型：



D. 酚醛树脂的结构简式： $\text{H}-\left[\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})-\text{CH}_2\text{O} \right]_n-\text{H}$

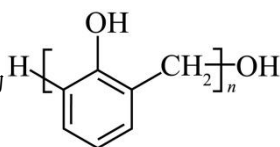
【答案】D

【解析】

【详解】A. HClO 的电子式 $\text{H}:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{Cl}}:$ ，A 正确；

B. 基态 Se 原子核外 34 个电子，为第四周期第 VIA 元素，价电子即为最外层的六个电子，价层电子排布式： $4s^2 4p^4$ ，B 正确；

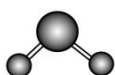
C. 三氯化磷分子中磷原子的价层电子对数为 $3 + \frac{5 - 1 \times 3}{2} = 4$ ，VSEPR 模型为四面体形，C 正确；

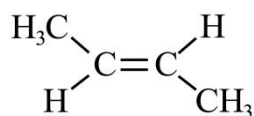
D. 酚醛树脂的结构简式为 ，D 错误；

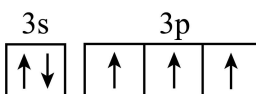
故选 D。

7. (2025 淄博一模, 3) 下列化学用语或图示正确的是

A. H_2O_2 的电子式: $\text{H}^+[\text{:}\ddot{\text{O}}\text{:}\ddot{\text{O}}\text{:}]^{2-}\text{H}^+$

B. SO_2 的 VSEPR 模型: 

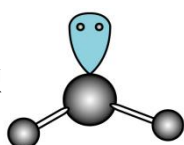
C. 顺-2-丁烯的结构简式: 

D. 基态 P 原子的价电子轨道表示式: 

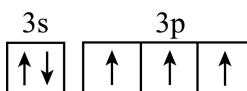
【答案】D

【解析】

【详解】A. H_2O_2 为共价化合物, 电子式为: $\text{H}:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$, 故 A 错误;

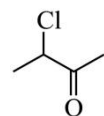
B. SO_2 中心 S 原子的价层电子对数为 3, 含一对孤电子对, VSEPR 模型 ，故 B 错误；

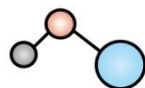
C. 该结构简式为反-2-丁烯, 顺-2-丁烯两个甲基在碳碳双键同侧, 故 C 错误;

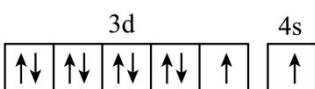
D. P 价层电子排布式为 $3s^23p^3$, 价电子轨道表示式: ，故 D 正确；

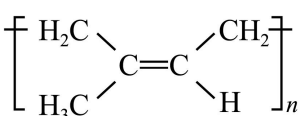
故选: D。

8. (2025 淄博一模, 3) 下列化学用语或图示正确的是

A.  的系统命名: 2-氯丁酮

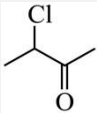
B. HClO 的球棍模型: 

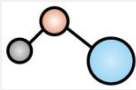
C. 基态 Cu^+ 的价电子轨道表示式: 

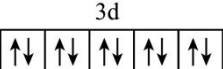
D. 反式聚异戊二烯的结构简式: 

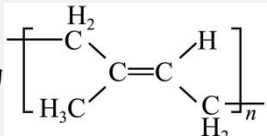
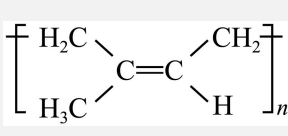
【答案】B

【详解】

A. 由结构简式可知  系统名称为 3-氯丁酮，故 A 错误；

B. HClO 的结构式为 H-O-Cl，又原子半径 $\text{Cl} > \text{O} > \text{H}$ ，球棍模型：，故 B 正确；

C. 基态 Cu^+ 的价电子数为 10，价电子轨道表示式为 ，故 C 错误；

D. 反式聚异戊二烯的结构简式为 ， 表示顺式结构，故 D 错误；

故选：B。

三、物质的性质和用途

1. （2025 济南一模，2）物质性质决定用途，下列两者对应关系正确的是

- A. 浓氨水具有碱性，可用于洗涤试管底部的 AgCl
- B. 聚四氟乙烯具有耐酸碱腐蚀性，可用于滑雪板的涂层
- C. MgCO_3 具有吸汗防滑的性能，可用于体操运动的防滑粉
- D. DNA 的两条链之间通过化学键连接，可用于储存和传递遗传信息

【答案】C

【解析】

【详解】A. NH_3 具有配位性，能与 Ag^+ 形成 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ，则浓氨水可用于洗涤试管底部的 AgCl ，与其具有碱性无关，故 A 错误；

B. 聚四氟乙烯用于滑雪板的涂层，是因为其具有润滑性能，可减小摩擦，与其具有耐酸碱腐蚀性无关，故 B 错误；

C. MgCO_3 具有吸汗防滑的性能，可增大体操运动相关部位的摩擦力，常作用于体操运动的防滑粉，故 C 正确；

D. DNA 的两条链之间通过氢键连接，可用于储存和传递遗传信息，但氢键不是化学键，故 D 错误；

故选：C。

2. （2025 淄博一模，2）下列物质在生产生活中应用错误的是

- A. ClO_2 可用于自来水消毒
- B. NH_4Cl 溶液可用于除铁锈
- C. 聚丙烯可用于制作医用口罩
- D. 胆矾可用于检验无水乙醇中的水

【答案】D

【详解】A. ClO_2 具有强氧化性，能有效杀灭水中细菌、病毒，且副产物少，常用于自来水消毒，应用正确，A 不符合题意；

B. NH_4Cl 溶液水解呈酸性，可与铁锈反应生成可溶盐，用于除锈，应用正确，B 不符合题意；

C. 聚丙烯是医用口罩熔喷层的主要材料，能高效过滤微粒，应用正确，C 不符合题意；

D. 胆矾 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 本身含结晶水，呈蓝色，无法通过颜色变化检验乙醇中的水。正确试剂应为无水硫酸铜 (白色)，

遇水变蓝，因此应用错误，D 符合题意；

故选 D。

3. （2025 潍坊一模，3）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	丙三醇可用于制造日用化妆品	丙三醇有很强的吸水能力
B	向饱和(NH ₄) ₂ SO ₄ 溶液中滴加鸡蛋清溶液，生成沉淀	(NH ₄) ₂ SO ₄ 可使蛋白质变性
C	工业上常利用电解镁、铝的熔融氯化物获取金属单质	镁、铝的熔融氯化物能导电
D	保暖贴能较持久又稳定地提供热量	保暖贴内的铁粉与氧气发生化学腐蚀

【答案】A

【解析】

【详解】A. 丙三醇有很强的吸水能力，可保持皮肤湿润，所以丙三醇可用于制造日用化妆品，A 符合题意；

B. (NH₄)₂SO₄ 是轻金属的盐，能使胶体发生盐析，向饱和(NH₄)₂SO₄ 溶液中滴加鸡蛋清溶液，可析出沉淀，此过程可逆，蛋白质没有变性，B 不符合题意；

C. 氯化镁为离子化合物，氯化铝为共价化合物，氧化铝为离子化合物，镁的熔融氯化物能导电，但铝的熔融氯化物不导电，所以工业上常利用电解熔融氯化镁的方法获取金属镁，用电解熔融氧化铝的方法获取铝，C 不符合题意；

D. 保暖贴内有铁粉、活性炭、无机盐等成分，撕开包装袋，袋内的铁粉与空气接触，发生吸氧腐蚀而放出热量，能较持久又稳定地提供热量，D 不符合题意；

故选 A。

4. （2025 青岛一模，3）化学物质在生活、生产中应用广泛。下列说法正确的是

- A. 甲苯可用于制备食品防腐剂苯甲酸钠
- B. 苏打、小苏打均可用于治疗胃酸过多
- C. 自然界中存在游离态的硅，其可用作半导体材料
- D. 金属钠常用于钛、铌、铜等金属的冶炼

【答案】A

【解析】

【详解】A. 甲苯可以被氧化为苯甲酸，再与碱反应得到苯甲酸钠，故 A 正确；

B. 用于治疗胃酸过多的是小苏打（碳酸氢钠），故 B 错误；

C. 硅在自然界只以化合态存在，故 C 错误；

D. 金属钠具有强还原性，可利用其还原性，将其用于钛、铌、钽、锆等金属的冶炼，常用 CO 等还原剂冶炼金属铜，故 D 错误；

故答案为 A。

5. (2025 济宁一模, 3) 下列物质性质与用途对应关系正确的是

- A. Na 是电的良导体, 可用作高压钠灯
B. AgI 具有感光性, 可用于人工降雨
C. 乙二醇易溶于水, 可用作汽车防冻液
D. 肥皂水显碱性, 可用作蚊虫叮咬处的清洗剂

【答案】D

【解析】

- 【详解】A. Na 的焰色反应为黄色, 用作高压钠灯的原因是激发态的钠原子释放能量发出黄色的光, A 错误;
B. AgI 具有感光性, 可用照相显影使用, B 错误;
C. 乙二醇沸点高, 熔点低, 可以降低水的凝固点, 可用作汽车防冻液, 与乙二醇易溶于水无关, C 错误;
D. 蚊虫叮咬释放出酸性物质, 肥皂水显碱性, 可用作蚊虫叮咬处的清洗剂, D 正确;

答案选 D。

6. (2025 菏泽一模, 4) 物质性质决定用途, 下列两者对应关系正确的是

- A. FeCl_3 具有强氧化性, 可用于制造印刷电路板
B. 浓硫酸具有脱水性, 可用于干燥 Cl_2
C. SO_2 具有漂白性, 可用作葡萄酒的添加剂
D. Al_2O_3 具有很高的熔点, 可用于制造熔融烧碱的坩埚

【答案】A

【详解】A. FeCl_3 中的 Fe^{3+} 具有强氧化性, 能与铜反应, 因此可用于腐蚀覆铜板制造印刷电路板, 性质与用途对应正确, A 正确;

B. 浓硫酸干燥 Cl_2 是利用其吸水性, 而非脱水性 (脱水性指使有机物碳化), B 错误;

C. SO_2 在葡萄酒中作为抗氧化剂 (防止氧化变质), 并非利用其漂白性, C 错误;

D. Al_2O_3 虽熔点高, 但高温下会与 NaOH 反应, 无法用于熔融烧碱的坩埚, D 错误;

故选 A。

7. (2025 济南一模, 5) 把研细的硫粉和铁粉按照一定比例混合均匀, 放在石棉网上堆成如图所示的形状, 用灼热的玻璃棒触及一端, 当混合物呈红热状态时移开玻璃棒。下列有关说法正确的是



- A. Fe 与 S 反应为吸热反应
B. 反应过程中闻到浓烈的刺激性气味, 说明生成 SO_3
C. 取少量反应后的固体溶于稀硫酸中, 滴入几滴酸性 KMnO_4 溶液, 紫色褪去, 可知产物中含有 Fe^{2+}
D. 该实验过程中至少发生两个氧化还原反应

【答案】D

【解析】

【详解】A. 根据题意，用灼热的玻璃棒触及一端，当混合物呈红热状态时移开玻璃棒，反应能够继续进行，说明 $\text{Fe} + \text{S} \xrightarrow{\Delta} \text{FeS}$ 为放热反应，故 A 错误；

B. 反应过程中闻到浓烈的刺激性气味，说明发生了 $\text{S} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} \text{SO}_2$ ，生成 SO_2 ，故 B 错误；

C. 取少量反应后的固体(FeS) 溶于稀硫酸中， $\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$ ，滴入几滴酸性高锰酸钾溶液，紫色褪去，由于 Fe^{2+} 和 H_2S 均具有还原性，均能使酸性高锰酸钾溶液紫色褪去，则不能确定产物中含有 Fe^{2+} ，故 C 错误；

D. 该实验过程中至少发生两个氧化还原反应，即： $\text{Fe} + \text{S} \xrightarrow{\Delta} \text{FeS}$ 和 $\text{S} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} \text{SO}_2$ ，故 D 正确；

答案选 D。

8. (2025 聊城一模，5) 下列说法不正确的是

A. 电解 ZnSO_4 溶液可以得到 Zn

B. 工业上可用氨水吸收燃煤烟气中的二氧化硫

C. 在食品包装袋内放入铁系保鲜剂可防止食品因氧化而变质

D. 浓硝酸与铁在常温下不能反应，所以可用铁质容器贮运浓硝酸

【答案】D

【解析】

【详解】A. 电解 ZnSO_4 溶液，锌离子在阴极得到电子被还原生成 Zn，该说法正确；

B. 氨水呈碱性，二氧化硫是酸性氧化物，二者能发生反应，所以工业上可用氨水吸收燃煤烟气中的二氧化硫，该说法正确；

C. 铁系保鲜剂中的铁具有还原性，能与氧气反应，从而防止食品因氧化而变质，该说法正确；

D. 浓硝酸与铁在常温下发生钝化反应，在铁表面生成一层致密的氧化膜，阻止反应进一步进行，所以可用铁质容器贮运浓硝酸，并不是不能反应，该项说法错误；

综上所述，正确答案是 D。

9. (2025 淄博一模，5) 物质的性质决定用途，下列两者对应关系错误的是

A. Na_2CO_3 具有碱性，可用作食品膨松剂

B. 维 C 具有还原性，可作补铁剂中的抗氧化剂

C. FeCl_3 溶液具有氧化性，可作刻蚀铜电路板的腐蚀液

D. Na_2O_2 能与 CO_2 反应生成 O_2 ，可作潜水艇中的供氧剂

【答案】A

【详解】A. 碳酸钠 (Na_2CO_3) 碱性较强，通常不用作食品膨松剂，食品膨松剂常用的是碳酸氢钠 (小苏打)，它

受热分解产生二氧化碳气体使食品蓬松，该选项错误；

B. 维生素 C 具有还原性，可以防止补铁剂中的铁元素被氧化，能作补铁剂中的抗氧化剂，该选项正确；

C. 氯化铁（ FeCl_3 ）溶液能与铜发生氧化还原反应： $2\text{FeCl}_3 + \text{Cu} = 2\text{FeCl}_2 + \text{CuCl}_2$ ，利用其氧化性可作刻蚀铜电路板的腐蚀液，该选项正确；

D. 过氧化钠（ Na_2O_2 ）能与二氧化碳（ CO_2 ）反应生成氧气（ O_2 ），化学方程式为 $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{CO}_2 = 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2$ ，可作潜水艇中的供氧剂，该选项正确；

综上所述，正确答案是 A。

10. （2025 淄博一模，6）在给定条件下，下列制备或处理过程涉及的物质转化均可实现的是

A. 工业制硝酸： $\text{NH}_3 \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{O}_2} \text{NO} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{HNO}_3$

B. 去除难溶物： $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{饱和Na}_2\text{SO}_4\text{溶液}} \text{CaSO}_4 \xrightarrow{\text{盐酸}} \text{CaCl}_2$

C. 制取金属银： $\text{AgNO}_3(\text{aq}) \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}(\text{aq}) \xrightarrow[\Delta]{\text{蔗糖}} \text{Ag}$

D. 制备配合物： $\text{CuSO}_4\text{溶液} \xrightarrow{\text{过量氨水}} [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{乙醇}} [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

【答案】D

【解析】

【详解】A. NO 与 H_2O 不反应，不能得到硝酸，A 错误；

B. 碳酸钙的溶解度小于微溶的硫酸钙，所以用硫酸钠溶液难以将碳酸钙转化为硫酸钙，并且硫酸钙与盐酸不反应，B 错误；

C. 蔗糖和银氨溶液不反应，C 错误；

D. 硫酸铜溶液能与过量氨水反应生成硫酸四氨合铜，向反应后的溶液中加入乙醇降低硫酸四氨合铜的溶解度，过滤、洗涤、干燥能达到制备一水硫酸四氨合铜的实验目的，D 正确；

故选 D。

11. （2025 烟台德州东营一模，7）物质性质决定用途，下列说法正确的是

A. 活性硅具有吸附性，可分解室内甲醛

B. 葡萄糖具有还原性，可用于工业制镜

C. 黄铁矿具有还原性，可在空气中煅烧制备 SO_3

D. 84 消毒液具有较强氧化性，可对皮革制品进行消毒

【答案】B

【解析】

【详解】A. 活性硅具有吸附性，可吸附室内甲醛，不能将甲醛分解，A 错误；

B. 葡萄糖含醛基，具有还原性，在碱性条件下，葡萄糖可将银氨溶液中的 Ag^+ 还原为 Ag ，用于制镜，B 正确；

C. 黄铁矿（ FeS_2 ）煅烧生成 SO_2 而非 SO_3 ， SO_2 需在催化剂作用下进一步氧化才能生成 SO_3 ，直接煅烧无法得到 SO_3 ，

C 错误；

D. 84 消毒液（含 NaClO ）的强氧化性虽可消毒，但会氧化皮革中的蛋白质，因此不可用于皮革制品，D 错误；
故选 B。

四、化学基本概念

1. （2025 泰安一模，4）下列说法正确的是

A. 标准状况下，22.4L HF 所含的分子数目为 N_A

B. 向 FeBr_2 溶液中通入适量 Cl_2 ，当有 1mol Br_2 生成时，共转移的电子数可能为 $4N_A$

C. 0.1mol Fe 与足量盐酸反应，转移 $0.3N_A$ 个电子

D. 0.1mol 环氧乙烷（）中含有的 σ 键数目为 $0.3N_A$

【答案】B

【详解】A. HF 标准状况下为非气体，无法计算，A 错误；

B. 亚铁离子还原性大于溴离子，通入氯气，亚铁离子首先被氧化为铁离子、然后溴离子被氧化为溴单质， FeBr_2 溶液中通入适量 Cl_2 ，当有 1mol Br_2 生成，则生成溴单质转移 2mol 电子，若溶液中含有 2mol FeBr_2 ，则溴离子部分反应而亚铁离子反应 2mol ，则会共转移 4mol 电子，电子数为 $4N_A$ ，B 正确；

C. Fe 与足量盐酸反应生成亚铁离子， 0.1mol Fe 与足量盐酸反应，转移 $0.2N_A$ 个电子，C 错误；

D. 环氧乙烷中的 C—O 键、C—C 键、C—H 键均为 σ 键， 0.1mol 环氧乙烷()中含有的 0.7mol σ 键，数目为 $0.7N_A$ ，D 错误；

故选 B。

2. （2025 菏泽一模，5）常温下，高铜酸钠(NaCuO_2)是一种黑色难溶于水的固体，有强氧化性，在中性或碱性溶液中稳定存在，在稀硫酸中溶解并产生无色气体，在 NaOH 溶液中可用 NaClO 氧化 Cu(OH)_2 制得。下列说法错误的是

A. NaCuO_2 中 Cu 为 +3 价

B. 制备时，理论上消耗氧化剂与还原剂物质的量之比为 1: 2

C. 可用浓氨水检验高铜酸钠中的 Cu(OH)_2

D. 高铜酸钠在稀硫酸中溶解的离子方程式为 $4\text{CuO}_2^- + 12\text{H}^+ = 4\text{Cu}^{2+} + \text{O}_2\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$

【答案】D

【详解】A. NaCuO_2 中，Na 为 +1 价，每个 O 为 -2 价，总电荷平衡为 $1 + \text{Cu} + 2 \times (-2) = 0 \Rightarrow \text{Cu} = +3$ ，A 正确；

B. 制备反应为： $\text{ClO}^- + 2\text{Cu(OH)}_2 + 2\text{OH}^- = 2\text{CuO}_2^- + \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ ， ClO^- （氧化剂）与 Cu(OH)_2 （还原剂）的物质的量之比为 1:2，B 正确；

C. 高铜酸钠在碱性条件下稳定，而 Cu(OH)_2 可与浓氨水反应生成深蓝色络合物 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ，若存在未反应的

$\text{Cu}(\text{OH})_2$ ，加入浓氨水会显蓝色，C 正确；

D. 高铜酸钠(NaCuO_2)是一种黑色难溶于水的固体，有强氧化性， NaCuO_2 中铜的化合价为+3 价，在稀硫酸中溶解并产生无色气体，离子方程式为： $4\text{NaCuO}_2 + 12\text{H}^+ = 4\text{Na}^+ + 4\text{Cu}^{2+} + \text{O}_2 \uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ ，故 D 错误；

故选 D。

3. (2025 枣庄一模，5) 科学研究发现：微米级纯水滴中大微滴往往带正电荷，而小微滴往往带负电荷，不同电荷的水微滴可以转移电子(充电)。下列说法错误的是

A. 大微滴中正电荷微粒是 H_3O^+ ，该微粒中含有配位键

B. 小微滴中负电荷微粒是 OH^- ，其电子式为 $[\text{:}\ddot{\text{O}}\text{:H}]^-$

C. OH^- 把电子转移给 H_3O^+ ，变为 $-\text{OH}$

D. “充电”总化学方程式为 $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}_2$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 微米级纯水滴中大微滴往往带正电荷，正电荷微粒是 H_3O^+ ，该微粒中 O 原子提供孤电子对， H^+ 提供空轨道，形成配位键，A 正确；

B. 小微滴往往带负电荷，负电荷微粒是 OH^- ，含有 10 个电子，电子式为 $[\text{:}\ddot{\text{O}}\text{:H}]^-$ ，B 正确；

C. 带负电荷的水滴失去电子，带正电荷的水滴得到电子， OH^- 把电子转移给 H_3O^+ ，变为 $-\text{OH}$ ，C 正确；

D. H_3O^+ 得到电子生成原子 H，再生成 H_2 ，因此总反应的产物为 H_2O_2 和 H_2 ，“充电”总化学方程式为 $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2 \uparrow$ ，D 错误；

故选 D。

第二部分 化学实验

一、化学实验基础

1. (2025 烟台德州东营一模, 2) 下列有关实验的说法错误的是

- A. 用浓氨水清洗沾有 AgCl 固体的试管
- B. 用棕色酸式滴定管量取 10.00mL KMnO_4 溶液
- C. 分液漏斗使用前关闭旋塞加少量水, 若旋塞处不漏水即可使用
- D. 蒸馏时先通冷凝水, 再开加热器; 结束时先关加热器, 再关冷凝水

【答案】C

【解析】

【详解】A. 浓氨水与 Ag^+ 配位, 可以清洗 AgCl 固体, 故 A 正确;

B. 高锰酸钾具有强氧化性应用酸式滴定管, 故 B 正确;

C. 萃取前向分液漏斗中加少量水, 检查旋塞处不漏水, 再将旋塞旋转 180° 不漏水, 则可使用, 故 C 错误;

D. 蒸馏开始时先开冷凝水再加热, 结束时先停止加热再关冷凝水, 故 D 正确;

故答案为 C。

2. (2025 淄博一模, 2) 有关实验操作、试剂保存或处理方法错误的是

- A. 点燃 H_2 前, 需检验其纯度
- B. 浓硝酸保存在棕色细口瓶中
- C. 金属 Na 着火时使用泡沫灭火器灭火
- D. 苯酚沾到皮肤上, 先后用乙醇、水冲洗

【答案】C

【解析】

【详解】A. H_2 为易燃气体, 在点燃前需验纯, A 正确;

B. 溶液应盛放在细口瓶中, 因为浓硝酸见光发生分解, 需要避光保存, 因此浓硝酸保存在棕色细口瓶中, B 正确;

C. Na 与二氧化碳反应, Na 与水也可剧烈反应, 故金属 Na 着火, 不可以用泡沫灭火器灭火, 可用沙土盖灭, C 错误;

D. 苯酚易溶于乙醇等有机物质中, 苯酚沾到皮肤上后应立即用乙醇冲洗, 稀释后再用水冲洗, D 正确;

故答案选 C。

3. (2025 枣庄一模, 3) 下列实验室中试剂保存方法正确的是

- A. 液溴保存在细口瓶中并加水液封
- B. 氢氧化钠溶液保存在磨口玻璃塞的细口瓶中
- C. 金属钠保存在装有 CCl_4 的广口瓶中
- D. 浓硝酸保存在橡胶塞的棕色细口瓶中

【答案】A

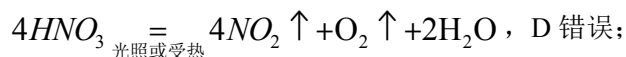
【解析】

【详解】A. 液溴易挥发且密度大于水，通常储存在细口瓶中并加水液封以隔绝空气，减少挥发，A 正确；

B. 氢氧化钠溶液会与玻璃中的 SiO_2 反应生成 Na_2SiO_3 ，方程式为： $2\text{NaOH} + \text{SiO}_2 = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ，导致磨口玻璃塞黏结，应使用橡胶塞，B 错误；

C. 金属钠密度小于 CCl_4 ，会浮在 CCl_4 表面，无法有效隔绝空气，应保存在煤油中，C 错误；

D. 浓硝酸具有强氧化性，会腐蚀橡胶塞，应使用玻璃塞；需避光保存（保存于棕色细口瓶中），否则发生分解：



故选 A。

4. （2025 济宁一模，4）以下关于物质的分离提纯及测定叙述错误的是

A. X 射线衍射实验可用于区分石英玻璃与水晶

B. 萃取、柱色谱法可用于中药中青蒿素的提取、分离

C. 丙烷的质谱图中，质荷比为 43 的峰归属于 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3^+$

D. 红外光谱可用于鉴别乙醇和二甲醚

【答案】C

【解析】

【详解】A. 石英玻璃是非晶态二氧化硅，而水晶是晶态二氧化硅，X 射线衍射实验能够通过检测晶体结构区分两者，晶体（水晶）会产生衍射峰，非晶态（石英玻璃）则呈现弥散图案，故 A 正确；

B. 青蒿素的提取常用乙醚萃取法，柱色谱法则用于进一步分离纯化，两种方法均适用于中药中青蒿素的提取和分离，故 B 正确；

C. 丙烷（ C_3H_8 ）的分子量为 44，其质谱中分子离子峰（ M^+ ）质荷比应为 44，质荷比 43 的峰对应的是 C_3H_7^+ （失去一个 H 后的碎片），而非题目所述的完整丙烷分子离子（ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3^+$ ），故 C 错误；

D. 乙醇含羟基（-OH），二甲醚含醚键（C-O-C），两者官能团不同，红外光谱中特征吸收峰差异明显，可用于鉴别，故 D 正确；

故答案为 C。

5. （2025 泰安一模，5）使用 NaOH 标准溶液滴定未知浓度乙酸溶液的实验中，下列做法错误的是

A. 配制 NaOH 标准溶液时，称量操作中，应用玻璃表面皿或小烧杯代替称量纸

B. 开始滴定时，滴加标准溶液的速度可以快一些，但不能使溶液呈线状流下

C. 接近终点时，应控制半滴标准液在尖嘴处悬而不落，然后将其抖入锥形瓶

D. 每次滴入半滴标准溶液后，都要用少量蒸馏水冲洗锥形瓶内壁

【答案】C

【详解】A. NaOH 易潮解且有腐蚀性，需用玻璃器皿称量，A 正确；

B. 滴定初期可快速滴加，但避免线状流下以防过量，B 正确；

C. 近终点时, 半滴溶液应通过轻触锥形瓶内壁自然流入, 而非“抖入”, 否则可能引入误差, C 错误;

D. 冲洗内壁确保溶液充分反应, 准确判断终点, D 正确;

故选 C。

6. (2025 烟台德州东营一模, 5) 下列鉴别或除杂方法正确的是

A. 用灼烧法鉴别淀粉和纤维素

B. 用 KMnO_4 溶液除去 C_2H_2 中的 H_2S

C. 用 NaHCO_3 溶液鉴别苯酚和乙酸溶液

D. 用溴水鉴别苯和甲苯

【答案】C

【解析】

【详解】A. 淀粉和纤维素均为糖类, 燃烧现象相同, A 错误;

B. 高锰酸钾也会氧化乙炔, 不能保留乙炔, B 错误;

C. 加入 NaHCO_3 溶液, 产生气泡的为乙酸溶液, 无明显现象的为苯酚钠溶液, C 正确;

D. 加入溴水, 振荡后静置, 苯、甲苯出现的现象都为下层无色、上层呈橙红色, 用溴水不能鉴别苯、甲苯, D 错误;

故选 C。

7. (2025 济宁一模, 6) 操作正确规范是实验顺利完成的保障, 下列做法错误的是

A. 皂化反应完成后, 加入饱和食盐水, 分液除去甘油

B. 加热铁粉与硫粉的混合物, 在通风处进行

C. 在实验室做有机实验时若少量有机溶剂着火, 可迅速用湿抹布盖灭

D. 做“钾与水的反应”实验时, 应佩戴护目镜

【答案】A

【解析】

【详解】A. 皂化反应完成后, 加入饱和食盐水, 能引起硬脂酸钠的盐析, 然后过滤将硬脂酸钠分离出, 故 A 错误;

B. 铁粉和硫粉在加热时会发生剧烈反应, 放出大量的热, 并且生成有刺激性气味且有毒的二氧化硫气体, 为了安全考虑, 实验应在开放的空间或在通风橱中进行, 故 B 正确;

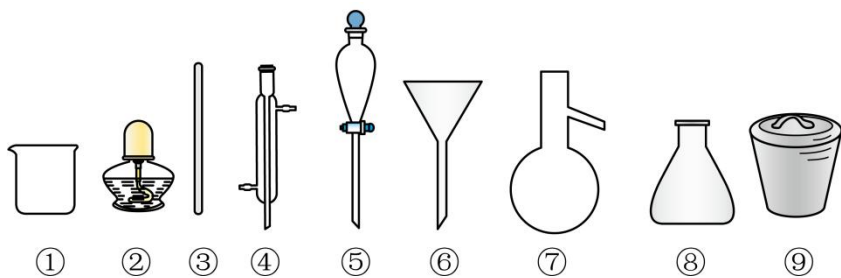
C. 少量有机溶剂着火时, 用湿抹布覆盖可隔绝氧气灭火, 故 C 正确;

D. 钾与水反应剧烈, 可能飞溅甚至爆炸, 佩戴护目镜是必要的安全措施, 故 D 正确;

故答案为 A。

二、实验装置题

1. (2025 聊城一模, 4) 某苯甲酸样品中含少量氯化钠和泥沙, 实验室提纯苯甲酸, 下列实验仪器必须用到的有



- A. ②④⑦⑧ B. ①②⑥⑨ C. ③②⑧⑨ D. ①②③⑥

【答案】D

【解析】

【详解】实验室提纯苯甲酸需要用到的操作有过滤、重结晶，需要用到的仪器有烧杯、漏斗、玻璃棒、酒精灯等，答案选D。

2. (2025 潍坊一模, 4) 利用下列装置进行实验, 装置正确或操作规范且能达到实验目的的是

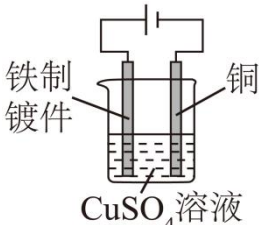
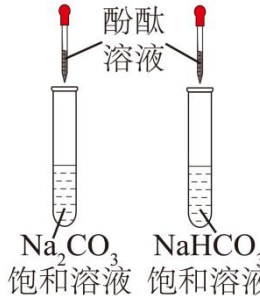
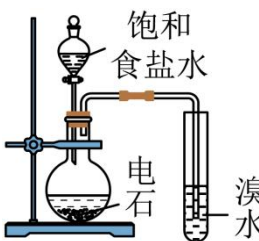
A. 制取 SO_2	B. 灼烧海带	C. 分液	D. 滴定读数

【答案】C

【解析】

【详解】A. 常温下, Cu 与浓硫酸不能发生反应, 不能制取 SO_2 气体, A 不能达到实验目的;
 B. 蒸发皿用于蒸发浓缩溶液或蒸发结晶, 不能用于固体的灼烧, 否则会造成蒸发皿炸裂, 灼烧海带时, 应使用坩埚, B 不能达到实验目的;
 C. 分液时, 先将分液漏斗下层液体从下口放出, 再将上层液体从上口倒出, 图中装置及操作均正确, C 能达到实验目的;
 D. 滴定管读数时, 从滴定管夹上取下滴定管, 单手持滴定管上端, 保持自然垂直, 待液面稳定后读数至小数点后第 2 位, D 不能达到实验目的;
 故选 C。

3. (2025 淄博一模, 5) 下列图示实验中, 操作正确且能达到实验目的的是

	
A. 混合浓硫酸和乙醇	B. 铁制镀件电镀铜
	
C. 比较 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 水解能力	D. 验证 C_2H_2 使溴水褪色

【答案】A

【解析】

【详解】A. 由于浓硫酸稀释会放出大量热且密度较大，所以要将浓硫酸沿烧杯内壁缓慢倒入乙醇中，并边加边搅拌，防止液体沸腾引起飞溅，故 A 正确；

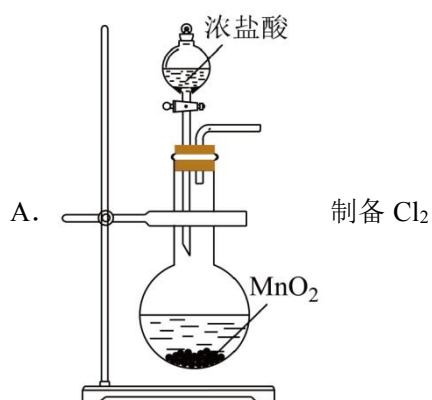
B. 电镀操作中，待镀金属作阴极，向铁制镀件上镀铜，铁制镀件应连电源负极，故 B 错误；

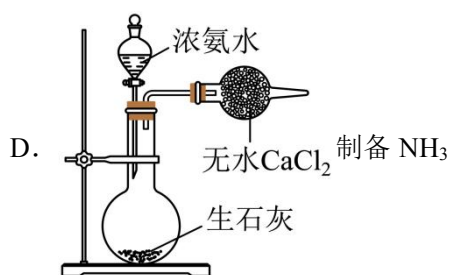
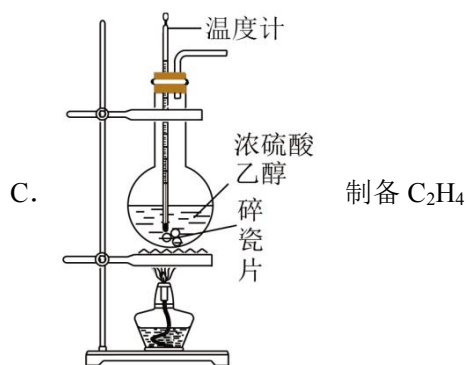
C. Na_2CO_3 和 NaHCO_3 的饱和溶液浓度不同，因此不能通过观察颜色比较 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 水解能力，故 C 错误；

D. 生成的乙炔中有 H_2S 杂质，也会使溴水褪色，则溴水褪色不能证明是乙炔使溴水褪色的，故 D 错误；

故答案选 A。

4. （2025 烟台德州东营一模，6）下列装置和试剂均使用正确，且能够制备相应气体的是





【答案】C

【解析】

【详解】A. 浓盐酸与二氧化锰在加热的条件下制备 Cl_2 ，缺少加热装置，A 项错误；

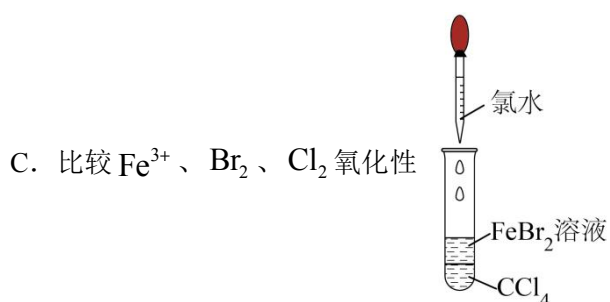
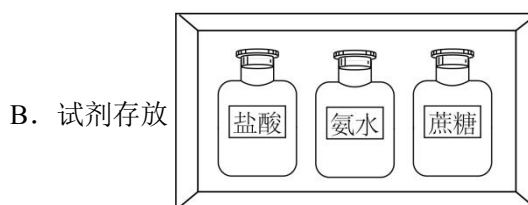
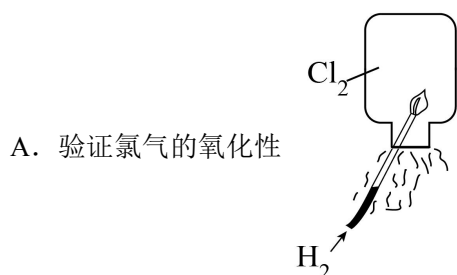
B. 稀硫酸与碳酸钙发生复分解反应，生成微溶的 CaSO_4 覆盖在碳酸钙表面，会阻止反应的进行，不能制备出 CO_2 ，B 项错误；

C. 利用图中的装置，将温度迅速升高到 170°C 可制备乙烯气体，C 项正确；

D. 浓氨水与生石灰制备氨气，生成的氨气可被无水 CaCl_2 吸收，D 项错误；

答案选 C。

5. (2025 青岛一模，6) 下列操作规范或能达到实验目的的是



【答案】C

【解析】

【详解】A. Cl_2 的密度比空气大，易从集气瓶下端逸出，造成污染，A 错误；

B. 盐酸和氨水都易挥发且能反应，不能放置在同一位置，应归类到酸和碱分开放置，同时蔗糖属于有机物，也不能与酸碱类物质放置在一起，B 错误；

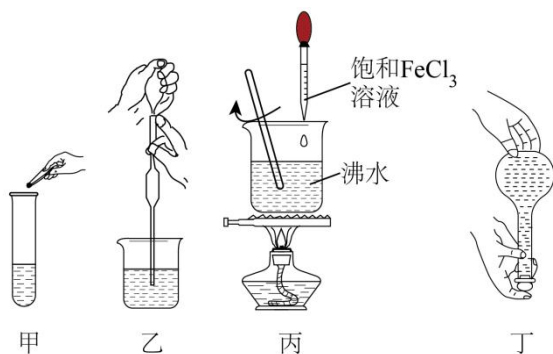
C. 在 FeBr_2 溶液中滴加氯水，如溶液先由浅绿变黄，且 CCl_4 层无现象，说明 Cl_2 只氧化了 Fe^{2+} ，未氧化 Br^- ，继

续滴加氯水，如 CCl_4 层出现橙色，说明此时有 Br_2 产生，证明 $FeBr_2$ 溶液中，还原性 $Fe^{2+} > Br^-$ ，最后得到氧化性 $Cl_2 > Br_2 > Fe^{3+}$ ，C 正确；

D. 不能在容量瓶中溶解氢氧化钠固体，D 错误；

故答案为：C。

6. （2025 淄博一模，6）下列图示实验中，操作规范且能达到实验目的的是



A. 图甲：探究钠与水反应

B. 图乙：用移液管量取 25.00mL 稀硫酸

C. 图丙：制备氢氧化铁胶体

D. 图丁：仅倒置一次检查容量瓶是否漏水

【答案】B

【详解】A. 探究钠与水反应应该在烧杯中进行，故 A 错误；

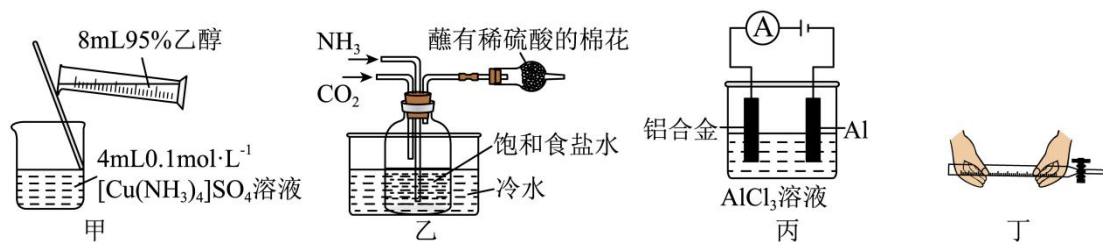
B. 可以用移液管量取 25.00mL 稀硫酸，图示操作正确，故 B 正确；

C. 制备氢氧化铁胶体不能搅拌，故 C 错误；

D. 检查容量瓶是否漏水，用右手食指顶住瓶塞，左手托住瓶底，将容量瓶倒立（瓶口朝下），观察瓶口处是否有水渗出。如果没有水渗出，将容量瓶正立，旋转瓶塞 180 度后再次倒立，重复检查，需倒置两次，故 D 错误；

答案选 B。

7. （2025 济南一模，6）用下列实验装置和操作进行相应实验，能达到实验目的的是



A. 甲中再用玻璃棒摩擦烧杯内壁，可析出深蓝色晶体

B. 乙中先通 NH_3 再通 CO_2 ，制备 $NaHCO_3$

C. 丙可从铝合金中提取 Al

D. 丁用待装液润洗酸式滴定管时，润洗液全部从上口缓缓倒出

【答案】A

【解析】

【详解】A. 乙醇可降低硫酸四氨合铜的溶解度，再用玻璃棒摩擦烧杯内壁产生微小的晶核，可析出深蓝色晶体，

故 A 正确；

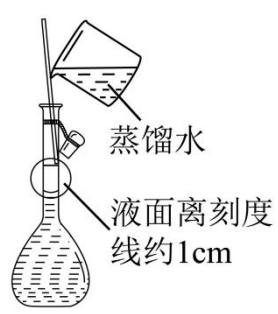
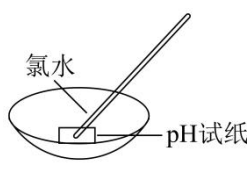
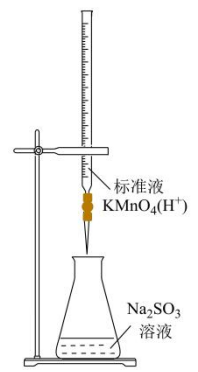
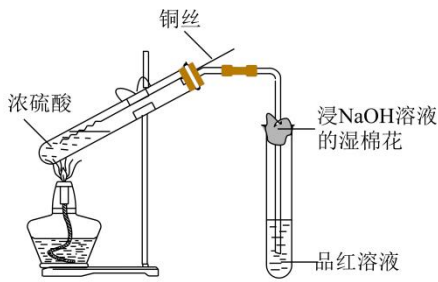
B. 氨气极易溶于水，长导管进气易发生倒吸，应将通入氨气、二氧化碳的导管口互换，故 B 错误；

C. 氢离子的氧化性大于铝离子的氧化性，阴极上氢离子得到电子，不能提取 Al，故 C 错误；

D. 润洗液应从酸式滴定管的下口放出，不能从上口缓缓倒出，故 D 错误；

故选：A。

8. （2025 菏泽一模，6）下列实验操作对应的装置或试剂正确的是

	
A. 配制一定物质的量浓度的 KCl 溶液	B. 测定氯水的 pH
	
C. 用 $\text{KMnO}_4(\text{H}^+)$ 标准液滴定 Na_2SO_3 溶液	D. 铜与浓硫酸反应并检验气态产物

A. A

B. B

C. C

D. D

【答案】D

【详解】A. 配制溶液定容时容量瓶液面离刻度约 1cm 时应改用胶头滴管滴加，故 A 错误；

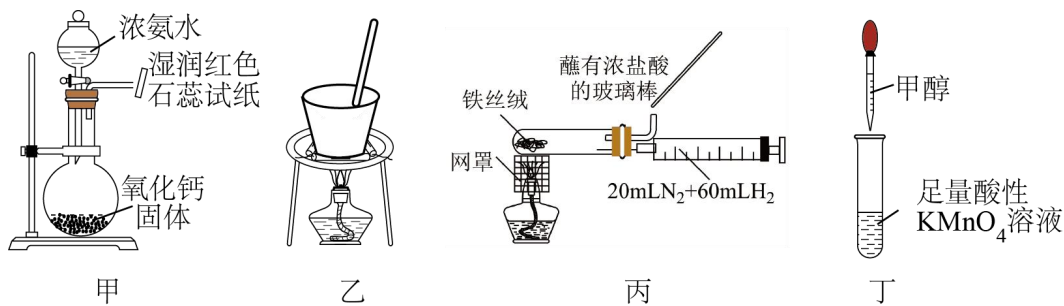
B. 氯水具有漂白性，会将 pH 试纸漂白，不能使用 pH 试纸测量其 pH，应使用 pH 计，故 B 错误；

C. 用 $\text{KMnO}_4(\text{H}^+)$ 标准液滴定应使用酸性滴定管，故 C 错误；

D. 铜与浓硫酸加热产生二氧化硫，二氧化硫具有漂白性，能使品红溶液褪色，同时二氧化硫有毒，应在试管口用浸有氢氧化钠溶液得湿棉花吸收，故 D 正确；

故答案为 D。

9. （2025 济宁一模，7）下列实验装置设计和操作能达到实验目的的是



- A. 用甲装置可证明碱性： $\text{Ca}(\text{OH})_2 > \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ B. 用乙装置从食盐水中提取 NaCl
- C. 用丙装置可合成氨并检验氨的生成 D. 用丁装置可制备甲酸

【答案】C

【解析】

【详解】A. 湿润的红色石蕊试纸用于检验氨气生成，生成氨气是因为氧化钙溶于水放热，促进浓氨水分解，没有涉及强碱制弱碱的反应，无法比较二者碱性强弱，A 错误；

B. 食盐水中提取 NaCl 应采用蒸发的方法，应该用蒸发皿，不能用坩埚加热，B 错误；

C. 氮气和氢气在催化剂加热条件下发生反应，用蘸有浓盐酸的玻璃棒检验氨气，若产生白烟，则证明生成了氨气，能达到实验目的，C 正确；

D. 用足量的酸性 KMnO_4 氧化甲醇通常会生成 CO_2 而难以得到甲酸，D 错误；

故选 C。

三、实验表格题

1. （2025 济宁一模，9）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	烯烃中溶入冠醚， KMnO_4 水溶液与烯烃反应时的氧化效果明显增强	冠醚也可氧化烯烃
B	向裹有 Na_2O_2 的脱脂棉上滴加蒸馏水，脱脂棉燃烧	Na_2O_2 有强氧化性
C	向淀粉 KI 溶液和 AgNO_3 溶液中，分别滴加少量新制氯水，前者溶液变蓝，后者溶液产生白色沉淀	氯气与水的反应存在限度
D	将镀层破坏的镀锌铁片放入酸化的 3% NaCl 溶液中，一段时间后取溶液于试管中，滴加铁氰化钾溶液，无蓝色沉淀产生	铁未被腐蚀，已破损的镀层锌仍能起到保护的作用

【答案】D

【解析】

【详解】A. 冠醚可以识别 K^+ 形成超分子，提高 $KMnO_4$ 在有机相中的溶解性，从而增强氧化效果，而非冠醚自身氧化烯烃，A 错误；

B. Na_2O_2 与水反应剧烈放热并生成 O_2 ，脱脂棉燃烧是因为反应释放的热量达到其着火点，而非直接因 Na_2O_2 的强氧化性，B 错误；

C. 向淀粉 KI 溶液和 $AgNO_3$ 溶液中，分别滴加少量新制氯水，前者溶液变蓝，后者溶液产生白色沉淀，说明氯水中存在能将 I^- 氧化为 I_2 的氧化剂，该氧化剂可以是 Cl_2 或 $HClO$ ，无法证明氯气与水的反应存在限度，C 错误；

D. 镀锌层破损后，Zn 作为活泼金属为负极优先被腐蚀，Fe 作为正极被保护，溶液中无 Fe^{2+} ，一段时间后取溶液于试管中，滴加铁氰化钾溶液，无蓝色沉淀产生，D 正确；

故选 D。

2. （2025 菏泽一模，10）下列实验操作正确并能达到实验目的的是

	实验目的	实验操作
A	证明 $CH_2=CHCH_2OH$ 含有碳碳双键	向 $CH_2=CHCH_2OH$ 中加入酸性高锰酸钾溶液
B	检验 $Na_2S_2O_3$ 溶液中的 SO_4^{2-}	向 $Na_2S_2O_3$ 溶液中先加入过量稀硝酸，再加入 $BaCl_2$ 溶液
C	检验 1-溴丁烷的消去产物	将 1-溴丁烷加入 $NaOH$ 的乙醇溶液中，微热；将产生的气体通入酸性 $KMnO_4$ 溶液中
D	比较水和乙醇中羟基氢的活泼性	分别将少量钠投入到盛有水和乙醇的烧杯中

A. A B. B C. C D. D

【答案】D

【详解】A. 该分子中碳碳双键与羟基均与酸性高锰酸钾反应，故 A 错误；

B. 硝酸会将 $Na_2S_2O_3$ 氧化为硫酸钠，不能确定原 $Na_2S_2O_3$ 溶液中是否含有 SO_4^{2-} ，故 B 错误；

C. 乙醇受热挥发，会使酸性高锰酸钾溶液褪色，干扰 1-丁烯的检验，故 C 错误；

D. 钠与水反应比与乙醇反应剧烈，则可比较水和乙醇中羟基氢的活泼性，故 D 正确；

故答案为 D。

3. （2025 淄博一模，11）（不定项）根据实验操作及现象，所得结论错误的是

	实验操作与现象	结论
A	久置的 $FeCl_2$ 溶液，出现红褐色沉淀	$K_{sp}[Fe(OH)_3] > K_{sp}[Fe(OH)_2]$

B	向 FeCl_3 溶液中滴加 KSCN 溶液, 溶液先变成血红色, 再加入少量 Fe 粉, 血红色变浅	其它条件不变, 减少反应物浓度, 平衡逆向移动
C	将 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 和 NH_4NO_3 固体混合并用玻璃棒快速搅拌, 有刺激性气味的气体产生, 并伴随降温	该反应能发生的主要原因是熵增
D	将乙醇与浓硫酸混合加热至 170°C , 将产生的气体通入酸性 KMnO_4 溶液, 溶液褪色	可证明有乙烯生成

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 久置的 FeCl_2 溶液, 出现红褐色沉淀, 说明氯化亚铁被氧化为氢氧化铁, 不能用来判断氢氧化铁和氢氧化亚铁的溶度积的大小关系, A 符合题意;

B. 向 FeCl_3 溶液中滴加 KSCN 溶液, 发生反应 $\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3$ 溶液变为红色, 再加入铁粉后发生 $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$ 使溶液中铁离子浓度减小而导致 $\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3$ 平衡逆向移动, B 不符合题意;

C. 将 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 和 NH_4NO_3 固体混合并用玻璃棒快速搅拌, 有刺激性气味的气体产生, 并伴随降温该反应能自发进行则 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$, 降温且有气体生成有 $\Delta H > 0, \Delta S > 0$, 则该反应能发生的主要原因是熵增, C 不符合题意;

D. 将乙醇与浓硫酸混合加热至 170°C 过程中可能有二氧化硫生成能使酸性高锰酸钾褪色, 同时挥发的乙醇也能使酸性高锰酸钾褪色, 因此该实验不能证明有乙烯生成, D 符合题意;

故选 AD。

4. (2025 烟台德州东营一模, 11) (不定项) 由下列事实或现象能得出相应结论的是

	事实或现象	结论
A	烯烃中溶入冠醚时, KMnO_4 水溶液与烯烃反应的氧化效果明显增强	冠醚能氧化烯烃
B	向 NaHA 溶液中滴加紫色石蕊溶液, 溶液变为蓝色	$K_w > K_{a1}(\text{H}_2\text{A}) \cdot K_{a2}(\text{H}_2\text{A})$
C	常温下将铝片投入浓 HNO_3 中, 无明显现象	Al 与浓 HNO_3 不反应
D	向 Pb_3O_4 、 Fe_3O_4 中分别滴加浓盐酸, 固体均消失, 但只有前者产生黄绿色气体	氧化性: $\text{Pb}_3\text{O}_4 > \text{Fe}_3\text{O}_4$

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 冠醚的作用是作为相转移催化剂，通过络合离子（如 K^+ ）促进 $KMnO_4$ 与烯烃的反应，而非直接氧化烯烃，结论错误，故 A 错误；

B. 紫色石蕊溶液变为蓝色，说明 NaHA 的水解大于电离，NaHA 的水解平衡常数

$$K_h(HA^-) = \frac{[H_2A][OH^-]}{[HA^-]} = \frac{K_w}{K_{a1}(H_2A)}, \text{ NaHA 的电离平衡常数 } K_a(HA^-) = \frac{[A^{2-}][H^+]}{[HA^-]} = K_{a2}(H_2A), \text{ 则}$$

$$\frac{K_w}{K_{a1}(H_2A)} > K_{a2}(H_2A), \text{ 即 } K_w > K_{a1}(H_2A) \cdot K_{a2}(H_2A), \text{ 故 B 正确；}$$

C. 常温下铝被浓 HNO_3 钝化，表面生成致密的氧化膜，所以反应无明显现象，不能说明 Al 与浓 HNO_3 不反应，故 C 错误；

D. Pb_3O_4 中可将浓盐酸氧化为氯气，而 Fe_3O_4 不能将 HCl 氧化成氯气，证明氧化性： $Pb_3O_4 > Fe_3O_4$ ，故 D 正确；

故答案为 BD。

5. （2025 泰安一模，11）（不定项）下列操作能达到实验目的是

选项	实验内容	实验操作步骤
A	除去 NH_3 中的 $H_2O(g)$	将气体通过盛有无水氯化钙的干燥管
B	检验溴乙烷中的官能团	加热溴乙烷和 2 mL 5% NaOH 混合溶液，停止加热后，取水层于试管中，先加稀硝酸酸化，再加几滴 2% $AgNO_3$ 溶液
C	制备乙酸乙酯	向试管中加入 3 mL CH_3COOH ，再加入 3 mL C_2H_5OH 和碎瓷片加热
D	银氨溶液的配制	向试管中加入 1 mL 2% $AgNO_3$ 溶液，边振荡加入 2% 氨水溶液至沉淀恰好溶解

A. A

B. B

C. C

D. D

【答案】BD

【详解】A. 无水氯化钙不仅能够吸收水分，也可以吸收 NH_3 ，因此不能使用无水氯化钙干燥 NH_3 ，而应该使用碱石灰干燥，A 错误；

B. 要检验溴乙烷中的官能团，应该使有机物中的溴原子转化为溴离子，然后用 $AgBr$ 的不溶性进行检验，正确的操作方法为：充分加热溴乙烷和 2 mL 5% NaOH 混合溶液，停止加热后冷却，然后取水层溶液于试管中，先加稀硝酸，中和未反应的 NaOH 溶液，使溶液显酸化，然后再加入几滴 2% $AgNO_3$ 溶液，若产生淡黄色沉淀，就证明水溶液中含有 Br^- ，则原有机物中含有 C-Br 键，B 正确；

C. 制备乙酸乙酯时，应该先向试管中加入 3 mL $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ，然后缓缓加入 2 mL 浓硫酸，待溶液冷却后加入 3 mL CH_3COOH ，加入碎瓷片，然后再进行加热操作，C 错误；

D. 要配制银氨溶液，操作方法是：向试管中加入 1 mL 2% AgNO_3 溶液，边振荡加入 2% 氨水溶液，直至最初产生的沉淀恰好溶解，就得到银氨溶液，D 正确；

故合理选项是 BD。

6. （2025 潍坊一模，11）（不定项）下列有关实验操作，实验现象和所得结论均正确的是

	实验操作	实验现象	结论
A	将 5mL 1-溴丙烷和 10mL 饱和氢氧化钾乙醇溶液混合，加热，取混合溶液，滴加 HNO_3 酸化的 AgNO_3 溶液	有淡黄色沉淀生成	1-溴丙烷发生消去反应
B	向 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{CuSO}_4$ 溶液中逐滴滴加 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水至过量	先产生蓝色沉淀，后沉淀溶解，溶液变为深蓝色	与 Cu^{2+} 配位能力： H_2O 小于 NH_3
C	向某补铁口服液中加入适量的酸性高锰酸钾溶液	酸性高锰酸钾溶液紫色褪去	该补铁口服液中一定含有 Fe^{2+}
D	向 ZnSO_4 溶液中滴入适量 Na_2S 溶液；静置、过滤、洗涤，向沉淀中滴加适量 CuSO_4 溶液	先有白色沉淀生成，后有黑色沉淀生成	$K_{\text{sp}}(\text{CuS}) < K_{\text{sp}}(\text{ZnS})$

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 有淡黄色沉淀生成只能说明 1-溴丙烷中含有 Br 原子，不能说明 1-溴丙烷发生消去反应，A 错误；

B. 向 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{CuSO}_4$ 溶液中逐滴滴加 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氨水至过量，先产生蓝色沉淀，后沉淀溶解，溶液变为深蓝色，说明 $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ 转化为更加稳定的 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ，说明与 Cu^{2+} 配位能力： H_2O 小于 NH_3 ，B 正确；

C. 向某补铁口服液中加入适量的酸性高锰酸钾溶液，酸性高锰酸钾溶液紫色褪去，说明某补铁口服液中含有还原性物质，不一定是 Fe^{2+} ，C 错误；

D. 向 ZnSO_4 溶液中滴入适量 Na_2S 溶液，生成 ZnS 沉淀，静置、过滤、洗涤，向沉淀中滴加适量 CuSO_4 溶液，有黑色沉淀生成，说明 ZnS 沉淀转化为 CuS 沉淀，说明 CuS 的溶解度小于 ZnS ，则 $K_{\text{sp}}(\text{CuS}) < K_{\text{sp}}(\text{ZnS})$ ，D 正确；

故选 BD。

7. （2025 日照一模，11）（不定项）由下列事实或现象能得出相应结论的是

	事实或现象	结论
A	向苯酚浊液中加入足量 Na_2CO_3 溶液，溶液变澄清	$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) > K_{a2}(\text{H}_2\text{CO}_3)$
B	向两份 5mL $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液中分别加入 1mL $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KMnO}_4$ 和 FeCl_3 ，前者产生气泡速率快	KMnO_4 的催化效果比 FeCl_3 好
C	常温下，用 pH 计测定 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaH}_2\text{PO}_2$ 溶液的 $\text{pH} > 7$	H_3PO_2 为三元弱酸
D	分别向丙烯酸乙酯和 α -氰基丙烯酸乙酯中滴入水，前者无明显现象，后者快速固化	氰基能活化双键，使其更易发生加聚反应

A. A

B. B

C. C

D. D

【答案】AD

【详解】A. 强酸能和弱酸盐溶液反应生成弱酸，根据题干现象，苯酚溶液变澄清，但没有气泡产生，说明苯酚与碳酸钠反应生成苯酚钠、碳酸氢钠，得出酸性：碳酸 > 苯酚 > 碳酸氢根离子，则电离平衡常数 $K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) > K_{a2}(\text{H}_2\text{CO}_3)$ ，A 符合题意；

B. KMnO_4 溶液可氧化过氧化氢， FeCl_3 溶液可催化过氧化氢分解，反应原理不同，且题干两种溶液的体积不同，故不能探究催化效果，B 不合题意；

C. 常温下，用 pH 计测定 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaH}_2\text{PO}_2$ 溶液的 $\text{pH} > 7$ 溶液呈碱性，说明该盐为强碱弱酸盐，不能确定该盐是正盐还是酸式盐，所以无法判断 H_3PO_2 是几元酸，C 不合题意；

D. 分别向丙烯酸乙酯和 α -氰基丙烯酸乙酯中滴入水，前者无明显现象，后者快速固化说明氰基活化碳碳双键，使其更易发生加聚反应，D 符合题意；

故答案为：AD。

8. (2025 青岛一模，11) (不定项) 下列实验操作、现象及结论分析均正确的是

选项	操作	现象	结论
A	向某溶液中滴加盐酸，将产生的气体通入品红溶液	品红溶液褪色	该溶液中含有 SO_3^{2-} 或 HSO_3^-
B	用 pH 试纸分别测定等物质的量浓度的 NaClO 与 CH_3COONa 溶液的 pH	前者 pH 大于后者的 pH	酸性： $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{HClO}$

C	将 NaHCO_3 溶液滴入 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ 溶液	有白色沉淀产生	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 和 HCO_3^- 相互促进水解
D	分别向 MgCl_2 和 AlCl_3 溶液滴加 NaOH 溶液至过量	MgCl_2 溶液产生白色沉淀, AlCl_3 溶液先产生白色沉淀, 后沉淀消失	失电子能力: $\text{Mg} > \text{Al}$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 溶液中可以是 KMnO_4 溶液或 NaClO 溶液, 与盐酸反应可以生成 Cl_2 , Cl_2 也能使品红褪色, A 错误;
 B. NaClO 有漂白性, 会使 pH 试纸褪色, 不能用 pH 试纸测定 NaClO 溶液的 pH 值, B 错误;
 C. HCO_3^- 的酸性大于 $\text{Al}(\text{OH})_3$, NaHCO_3 溶液与 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ 溶液反应是强酸制取弱酸, 属于复分解反应, C 错误;
 D. 分别向 MgCl_2 和 AlCl_3 溶液滴加 NaOH 溶液至过量, 得到 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 白色沉淀, 而 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀溶解, 说明 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 具有两性, 则碱性 $\text{Mg}(\text{OH})_2 > \text{Al}(\text{OH})_3$, 金属性 $\text{Mg} > \text{Al}$, 失电子能力 $\text{Mg} > \text{Al}$, D 正确;
 答案选 D。

9. (2025 聊城一模, 11) (不定项) 室温下, 由下列事实或现象能得出相应结论的是

选项	实验过程及现象	实验结论
A	将 NO_2 分别通入到浓 HNO_3 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 和 HNO_3 的混合溶液中至饱和, 溶液颜色前者由无色变至黄色、后者由蓝色变至绿色	Cu 和浓 HNO_3 反应后溶液呈绿色的主要原因是溶有 NO_2
B	分别测定等物质的量浓度的 NH_4F 与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 溶液的 pH, 前者 pH 小	$K_a(\text{HF}) > K_{a1}(\text{H}_2\text{SO}_3)$
C	取 4 mL 乙醇, 加入 12 mL 浓硫酸、少量沸石, 迅速升温至 170°C , 将产生的气体通入 2 mL 溴水中, 溴水褪色	乙醇发生了消去反应
D	向 KBr 、 KI 混合溶液中加入少量氯水, 然后加入适量 CCl_4 , 振荡, 静置, 溶液分层, 下层呈紫红色	氧化性: $\text{Cl}_2 > \text{Br}_2 > \text{I}_2$

【答案】A

【解析】

【详解】A. 将 NO_2 通入浓硝酸溶液至饱和溶液变黄色，说明红棕色的 NO_2 溶于浓 HNO_3 中，导致溶液由无色变为黄色，通入 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 和 HNO_3 混合溶液从蓝色变为绿色， $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 和 HNO_3 的混合溶液为蓝色，通入 NO_2 后，溶液蓝色变绿色，绿色是蓝色和黄色混合的结果，故 Cu 和浓 HNO_3 反应后溶液呈绿色的主要原因是溶有 NO_2 ，A 正确；

B. NH_4F 的 pH 较低说明其酸性强， F^- 的水解程度较弱，对应的 HF 酸性强 (K_a 较大)。但 SO_3^{2-} 的水解程度由 H_2SO_3 的 K_{a2} 决定，而非 K_{a1} ，题目结论错误地比较了 $K_a(\text{HF})$ 与 $K_{a1}(\text{H}_2\text{SO}_3)$ ，且 NH_4^+ 浓度也不同，存在一定的干扰，B 错误；

C. 浓硫酸在高温下可能使乙醇碳化，产生 SO_2 气体， SO_2 也能使溴水褪色（还原反应）；实验未排除 SO_2 干扰，无法确定褪色仅由乙烯引起，结论不可靠，C 错误；

D. 根据实验现象可知， Cl_2 氧化 I^- 生成 I_2 （紫红色），得出结论氧化性： $\text{Cl}_2 > \text{I}_2$ ，由于氯水少量，优先氧化还原性强的 I^- ，即还原性： $\text{I}^- > \text{Br}^-$ ，从而可以得出结论：氧化性： $\text{Br}_2 > \text{I}_2$ ，实验中无法证明 Cl_2 的氧化性大于 Br_2 ，D 错误；

故选 A。

10. （2025 济南一模，11）（不定项）下列事实或现象能得出相应结论的是

	事实或现象	结论
A	向淀粉溶液中滴入硫酸，一段时间后再滴加几滴碘水，溶液呈蓝色	淀粉部分发生水解
B	向含有酚酞的 Na_2CO_3 溶液中加入少量 BaCl_2 固体，生成白色沉淀，且溶液红色变浅	溶液中存在平衡： $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$
C	向 NaHCO_3 溶液中加入盐酸，将逸出的气体依次通入 NaHCO_3 溶液、 Na_2SiO_3 溶液中，生成白色沉淀	非金属性： $\text{Cl} > \text{C} > \text{Si}$
D	向银镜反应后的试管中分别加入等浓度 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 和 FeCl_3 的浓溶液，后者能使银镜溶解	FeCl_3 的氧化性强于 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 的

【答案】B

【解析】

【详解】A. 向淀粉溶液中滴入硫酸，一段时间后再滴加几滴碘水，溶液呈蓝色，说明依然有淀粉，淀粉部分水解或未发生水解，A 错误；

B. Na_2CO_3 溶液水解显碱性，加氯化钡使水解平衡逆向移动，则由溶液颜色的变化可知 Na_2CO_3 溶液中存在水解平衡，能够达到实验目的，B 正确；

C. 由于盐酸不是最高价氧化物对应水化物，不能说明非金属性： $\text{Cl} > \text{C}$ ，C 错误；

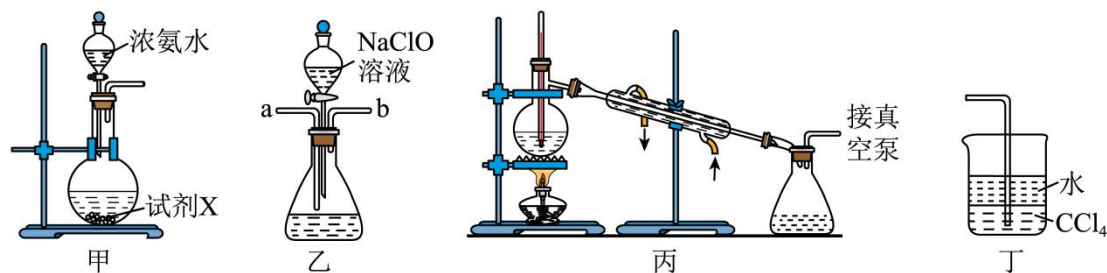
D. 向银镜反应后的试管中分别加入等浓度 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 和 FeCl_3 的浓溶液， Fe^{3+} 与 Ag 反应生成的 Ag^+ 与 Cl^- 形成 $[\text{AgCl}_2]^-$ ，增强 Ag 的还原性，D 错误；

故选 B。

四、化学实验综合题

1. (2025 枣庄一模，6) 水合肼($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)易溶于水，沸点 118.5°C ，是重要的氢能源稳定剂，其制备原理如下：

$\text{NaClO} + 2\text{NH}_3 = \text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ ，下列装置和操作不能达到实验目的的是



A. 装置甲中试剂 X 可以选择碱石灰

B. 装置乙从 a 口通入 NH_3 制备 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

C. 装置丙用于提纯 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

D. 装置丁用于吸收反应中过量的 NH_3

【答案】C

【解析】

【详解】A. 装置甲用于制备氨气，浓氨水和碱石灰混合时，碱石灰溶解放热且溶液中氢氧根离子浓度增大，促使浓氨水分解产生氨气，所以试剂 X 可以选择碱石灰，能达到实验目的，不符合题意，A 错误；

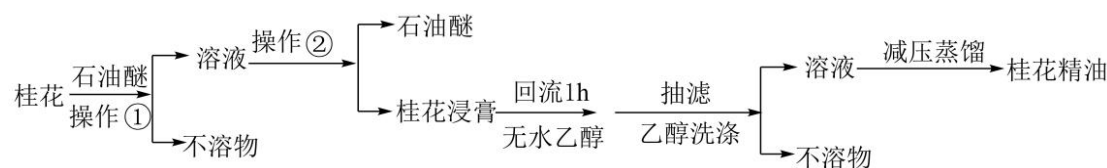
B. 由于 NH_3 极易溶于水，在装置乙从 a 口通入 NH_3 ，能快速被溶液吸收，形成饱和溶液，浓度增大，滴入 NaClO 溶液后能快速反应生成 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，能达到实验目的，不符合题意，B 错误；

C. 水合肼 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 沸点为 118.5°C ，装置丙为蒸馏装置，通过蒸馏可以分离提纯水合肼，但是温度计的位置错误，应该置于支管口处，故不能达到实验目的，符合题意，C 正确；

D. NH_3 极易溶于水，不溶于 CCl_4 ，装置丁中 CCl_4 能起到防倒吸的作用，可用于吸收反应中过量的 NH_3 ，能达到实验目的，不符合题意，D 错误；

故选 C。

2. (2025 青岛一模，8) 实验室提取桂花精油的流程如下。下列说法错误的是



A. “操作①”所需的玻璃仪器有烧杯、漏斗、玻璃棒

- B. “操作②”为过滤，所得的石油醚可循环利用
- C. “乙醇洗涤”可提高桂花精油的收率
- D. “减压蒸馏”可防止桂花精油在较高温度下变质

【答案】B

【解析】

【分析】向桂花中加入石油醚，充分振荡，过滤，分离除去不溶物，得到溶液，然后根据物质沸点的不同，将溶液进行蒸馏，分离出沸点低的石油醚和桂花浸膏，再向桂花浸膏中加入无水乙醇回流 1 小时，进行抽滤，并用乙醇洗涤固体残渣，充分回收桂花精油，将分离得到溶液进行减压蒸馏，分离得到桂花精油。

【详解】A. “操作①”是分离难溶性固体与可溶性液体混合物的操作，该操作名称为过滤，所需的玻璃仪器有烧杯、漏斗、玻璃棒，A 正确；

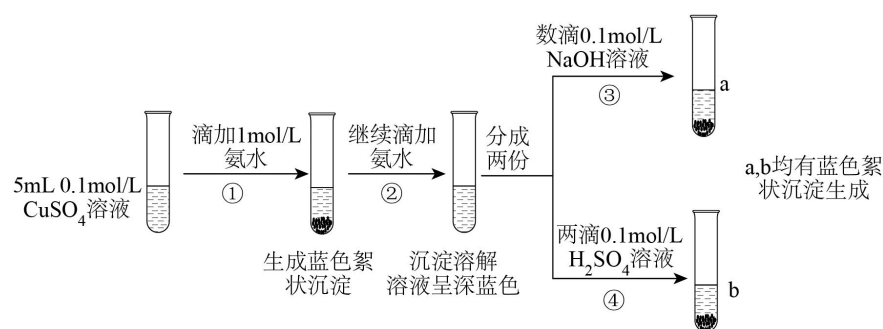
B. “操作②”为分离互溶的、沸点不同的混合物，名称为蒸馏，所得的沸点较低的石油醚可循环利用，B 错误；

C. 残留在固体上的桂花精油能够溶于乙醇，“乙醇洗涤”抽滤时的固体残渣，可提高桂花精油的收率，C 正确；

D. 桂花精油不稳定，高温易变质。利用物质沸点随压强的减小而降低的性质进行“减压蒸馏”就可防止桂花精油在较高温度下变质，D 正确；

故合理选项是 B。

3. （2025 聊城一模，8）某同学通过实验研究铜离子在碱性溶液中存在形式的转化，下列说法不正确的是



A. 上述过程涉及 2 种配离子

B. 过程②中 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 的存在促进了 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离

C. 由②③可知，溶液中存在平衡 $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^-$

D. 试管 b 中出现蓝色絮状沉淀可能是因为 H_2SO_4 消耗了溶液中的 NH_3

【答案】B

【解析】

【分析】由图可知，实验①发生的反应为硫酸铜溶液与氨水反应生成氢氧化铜蓝色絮状沉淀；实验②发生的反应为氢氧化铜与氨水反应生成氢氧化四氨合铜和水，实验②③说明溶液中存在平衡 $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^-$ ，向溶液中加入氢氧化钠溶液，溶液中氢氧根离子浓度增大，平衡向逆反应方向移动，导致有氢

氧化铜蓝色絮状沉淀生成；实验④说明铜氨络离子在溶液中存在络合平衡 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3$ ，向溶液中加入稀硫酸，硫酸电离出的氢离子与氨分子反应，溶液中氨分子浓度减小，络合平衡正移，导致溶液中的铜离子浓度增大，与溶液中的氢氧根离子反应生成氢氧化铜蓝色絮状沉淀。

【详解】A. 溶液中的铜离子实际与水分子形成配离子 $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ 存在，上述过程涉及 2 种配离子，分别是 $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ 和 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ，A 正确；

B. 过程②中 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 溶于氨水，发生 $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^-$ 反应，不能说明 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 的存在促进了 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离，B 错误；

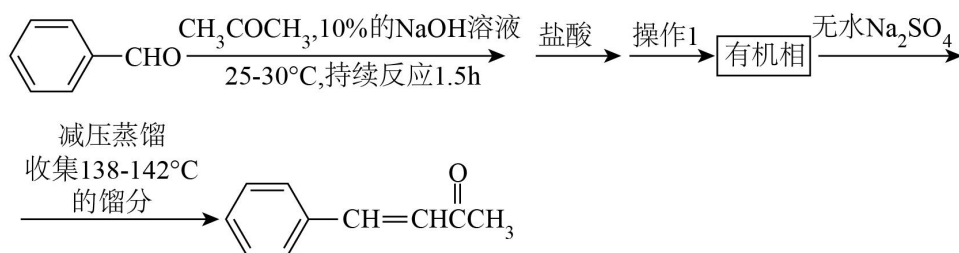
C. 由分析可知，实验②③说明溶液中存在平衡 $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^-$ ，向溶液中加入氢氧化钠溶液，溶液中氢氧根离子浓度增大，平衡向逆反应方向移动，导致有氢氧化铜蓝色絮状沉淀生成，故 C 正确；

D. 由分析可知，实验④说明铜氨络离子在溶液中存在络合平衡 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3$ ，向溶液中加入稀硫酸，硫酸电离出的氢离子与氨分子反应，溶液中氨分子浓度减小，络合平衡正移，导致溶液中的铜离子浓度增大，与溶液中的氢氧根离子反应生成氢氧化铜蓝色絮状沉淀，故 D 正确；

答案选 B。

4. (2025 潍坊一模，8) 化合物 M ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CHC}(\text{O})\text{CH}_3$) 是一种食品添加剂，熔点 38°C ，沸点 261°C ，

易溶于有机溶剂，难溶于水，长时间加热易分解。其实验室合成过程如下：



下列说法错误的是

- A. 取有机相液体加入少量溴水，若溴水褪色，证明有 M 生成
- B. 无水 Na_2SO_4 的作用是干燥有机相
- C. 在进行操作 1 后，向水相中加入适量甲苯，再次进行操作 1，可提高产率
- D. 减压蒸馏可以防止产品分解

【答案】A

【解析】

【分析】苯甲醛与丙酮在 10%NaOH 溶液中持续加热 $25\sim 30^\circ\text{C}$ ，发生反应生成化合物 M；加入盐酸中和过量的碱，调节溶液的 pH 至合适的范围，以便后续操作能顺利进行；再进行分液，获得有机相；加入无水 Na_2SO_4 干燥有机相，

再进行减压分馏，从而获得有机物 M。

【详解】A. 苯甲醛与丙酮在 10%NaOH 溶液中发生反应，苯甲醛可能有剩余，苯甲醛具有还原性，能使溴水褪色，则有机相液体使溴水褪色，不能证明有 M 生成，A 错误；

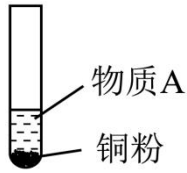
B. 将有机相与水相分离后，有机相中仍混有少量水分，加入无水 Na₂SO₄，可干燥有机相，B 正确；

C. 在进行操作 1(分液)后，水相中仍溶有少量 M，向水相中加入适量甲苯，可萃取 M，再次进行分液后，将有机相合并进行蒸馏，可提高 M 的产率，C 正确；

D. M 长时间加热易分解，为降低沸点，防止 M 的分解，可采用减压蒸馏提取 M，D 正确；

故选 A。

5. （2025 泰安一模，10）探究 Cu 和物质 A 的反应，一段时间后现象如下。

装置	序号	物质 A	实验现象
	①	0.6mol·L ⁻¹ Fe(NO ₃) ₃ 溶液（调 pH = 1）	铜粉溶解，溶液变为深棕色 [经检验含 Fe(NO) ²⁺]
	②	0.6mol·L ⁻¹ FeCl ₃ 溶液	铜粉溶解，溶液变为蓝绿色
	③	1.8mol·L ⁻¹ NaNO ₃ 溶液（调 pH = 1）	无明显变化

下列分析错误的是

- A. ②中铜粉溶解的原因：Cu + 2Fe³⁺ = Cu²⁺ + 2Fe²⁺
- B. ①中产生 NO 的原因：pH = 1 时 Cu 直接将 NO₃⁻ 还原为 NO
- C. 若向③中加入适量 FeSO₄ 固体，推测溶液变深棕色
- D. 该实验条件下，0.6mol·L⁻¹ 的 Fe³⁺ 氧化性大于 0.1mol·L⁻¹ 的 HNO₃

【答案】B

【详解】A. 实验②中铜与铁离子反应生成蓝色的铜离子和浅绿色的亚铁离子，离子方程式为：

Cu + 2Fe³⁺ = Cu²⁺ + 2Fe²⁺，故 A 正确；

B. 经检验含 Fe(NO)²⁺，再结合实验③的现象，说明加入铜粉后铜先与 Fe³⁺ 反应生成蓝色的 Cu²⁺ 和浅绿色的 Fe²⁺，酸性条件下 Fe²⁺ 与 NO₃⁻ 反应产生 NO，故 B 不正确；

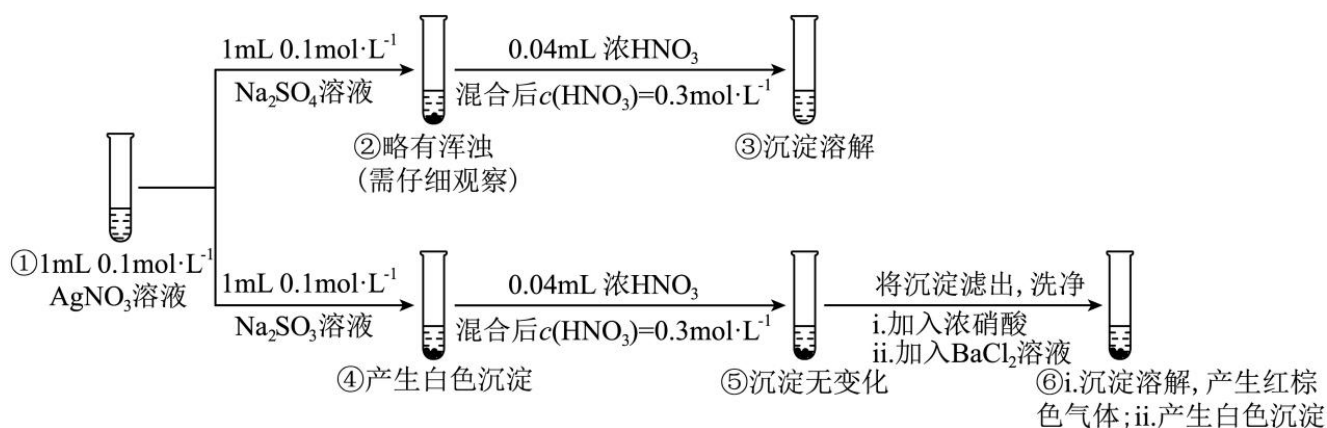
C. 若向③中加入 FeSO₄ 固体，酸性条件 Fe²⁺ 与 NO₃⁻，发生氧化还原反应生成 Fe³⁺，产生了硝酸铁，根据实验①的

条件, 推测铜粉会溶解, 溶液变为深棕色, 故 C 正确;

D. 同一金属单质发生氧化还原反应, 先与氧化性强的物质发生反应则, 根据实验①的现象可得 $0.6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Fe^{3+} 氧化性大于 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 HNO_3 (实验①调 $\text{pH}=1$, $c(\text{H}^+)=0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), 故 D 正确;

故答案选 B。

6. (2025 菏泽一模, 13) (不定项) 为探究 Ag_2SO_3 能否溶于硝酸, 某实验小组进行如下实验。下列说法错误的是



A. 由②③知少量的 Ag_2SO_4 能溶于稀硝酸

B. ④中白色沉淀为 Ag_2SO_4

C. ⑥中沉淀溶解发生反应: $\text{Ag}_2\text{SO}_3+2\text{HNO}_3(\text{浓})=\text{Ag}_2\text{SO}_4+2\text{NO}_2\uparrow+\text{H}_2\text{O}$

D. 上述实验表明 Ag_2SO_3 能否溶于硝酸与硝酸的浓度有关

【答案】B

【详解】A. AgNO_3 溶液和 Na_2SO_4 溶液反应生成沉淀 Ag_2SO_4 , 故②中观察到略有浑浊, 由③现象可得少量的 Ag_2SO_4 能溶于稀硝酸, A 正确;

B. Na_2SO_3 溶液与 AgNO_3 溶液反应生成的白色沉淀是 Ag_2SO_3 , 故④中白色沉淀不是 Ag_2SO_4 , B 错误;

C. 实验⑥中加入浓硝酸时产生红棕色气体(NO_2)并用 BaCl_2 溶液检出 SO_4^{2-} (得到 BaSO_4 白色沉淀), 说明浓硝酸将 Ag_2SO_3 氧化成了 Ag_2SO_4 , 并放出 NO_2 , 故⑥中沉淀溶解发生反应: $\text{Ag}_2\text{SO}_3+2\text{HNO}_3(\text{浓})=\text{Ag}_2\text{SO}_4+2\text{NO}_2\uparrow+\text{H}_2\text{O}$, C 正确;

D. ⑤中现象说明 Ag_2SO_3 在 $c(\text{HNO}_3)=0.3\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时不溶解, ⑥中现象说明 Ag_2SO_3 能溶于浓硝酸, 因此 Ag_2SO_3 能否溶于硝酸与硝酸的浓度有关, D 正确;

故选 B。

7. (2025 枣庄一模, 13) (不定项) 为探究碘水与 AgNO_3 溶液反应, 设计如下实验。向碘水、淀粉的混合液中加入 AgNO_3 溶液, 蓝色褪去, 产生黄色沉淀。过滤, 得滤液①, 向滤液①中加入过量 NaCl 溶液, 产生白色沉淀, 过滤, 得到滤液②, 向滤液②中加入 KI 溶液, 溶液立即变蓝。下列分析错误的是

A. 蓝色褪去的原因是 Ag^+ 氧化了 I_2

B. 产生黄色沉淀后溶液的 pH 变小

C. 用 Na_2CO_3 溶液代替 NaCl ，加入 KI 溶液后的现象仍为立即变蓝

D. 溶液立即变蓝的原因可能是 HNO_3 氧化了 I^-

【答案】AC

【解析】

【详解】A. 蓝色褪去是因为 I_2 参与了反应，但 Ag^+ 不能氧化 I_2 ，该反应中发生的是 I_2 与水的可逆反应 $\text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HI} + \text{HIO}$ ，加入 AgNO_3 溶液， Ag^+ 与 I^- 结合生成 AgI 黄色沉淀，使平衡正向移动， I_2 浓度减小，蓝色褪去，A 错误；

B. I_2 与水发生 $\text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HI} + \text{HIO}$ 反应生成 HI 和 HIO ，加入 AgNO_3 溶液后， Ag^+ 与 I^- 结合生成 AgI 沉淀，促进 Ag^+ 与水的反应正向进行，生成更多的 H^+ ，所以溶液的 pH 变小，B 正确；

C. 若用 Na_2CO_3 代替 NaCl ， Na_2CO_3 会中和溶液中的 H^+ ，生成 CO_2 和 H_2O ，同时沉淀部分 Ag^+ 为 Ag_2CO_3 ，滤液②中 pH 升高， NO_3^- 在碱性条件下氧化性较弱，无法将 I^- 氧化为 I_2 ，因此加入 KI 后不会立即变蓝，C 错误；

D. 在酸性条件下， HNO_3 具有强氧化性，能将 I^- 氧化为 I_2 ，所以溶液立即变蓝的原因可能是 HNO_3 氧化了 I^- ，D 正确；

故选 AC。

8. (2025 淄博一模, 13) (不定项) 某实验小组用酸性条件下 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 将 Mn^{2+} 氧化为 MnO_4^- 的性质测定 Mn^{2+} 含量，为探究测定 Mn^{2+} 含量所需的条件，进行如下实验。下列说法错误的是

实验	试管	$c(\text{MnSO}_4) / \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	实验操作及现象
	甲	0.002	无明显现象；加热至沸腾，5min 后溶液变为紫色，再滴加 MnSO_4 溶液，立即生成棕黑色沉淀(MnO_2)
	乙	0.05	无明显现象；加热至沸腾，生成大量棕黑色沉淀(MnO_2)，静置，上层溶液未变紫色

A. 试管甲加热前无明显现象的原因是温度低反应速率慢

B. 试管甲现象推知氧化性： $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} > \text{MnO}_4^- > \text{MnO}_2$

C. 试管乙中溶液未变紫色的原因是 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8)$ 太低将 Mn^{2+} 氧化为 MnO_2

D. 以上实验表明测定 Mn^{2+} 含量时应控制反应温度，并且 Mn^{2+} 浓度和用量不宜太大

【答案】C

【解析】

【详解】A. 根据试管甲的现象，加热至沸腾，5min 后溶液变为紫色，说明开始无现象可能是温度低所导致的，故 A 正确；

B. 根据溶液变为紫色说明 $S_2O_8^{2-}$ 将 Mn^{2+} 氧化为 MnO_4^- ，则氧化性 $S_2O_8^{2-} > MnO_4^-$ ，再滴加 $MnSO_4$ 溶液，立即生成棕黑色沉淀(MnO_2)，说明 MnO_4^- 将 Mn^{2+} 氧化为 MnO_2 ，氧化性 $MnO_4^- > MnO_2$ ，故 B 正确；

C. 甲、乙中 $c(Na_2S_2O_8)$ 相同，根据甲中的现象，乙中加热至沸腾，生成大量棕黑色沉淀(MnO_2)，可能是生成的 MnO_4^- 与剩余的 Mn^{2+} 发生归中反应生成 MnO_2 ，故 C 错误；

D. 根据甲、乙的实验现象，温度太低时反应无明显现象， Mn^{2+} 浓度太大时也不能生成 MnO_4^- ，故 D 正确；
答案选 C。

9. (2025 烟台德州东营一模，14) (不定项) 氯化亚铜($CuCl$)为白色粉末状固体，难溶于水，可用作催化剂、杀菌剂、媒染剂，将少量 $CuCl$ 分别加入浓盐酸和氨水中进行实验，得到如下实验现象：

试剂	实验现象
浓盐酸	固体溶解，溶液为无色，露置空气一段时间后变为黄色，最后变为浅蓝色。 加热浅蓝色溶液，溶液又恢复为黄色。
氨水	固体溶解，溶液为无色，露置空气一段时间后变为深蓝色，且不变色。

已知： $[CuCl_4]^{3-}$ 无色， $[CuCl_4]^{2-}$ 黄色， $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ 浅蓝色， $[Cu(NH_3)_2]^+$ 无色， $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ 深蓝色。下列说法错误的是

A. 用饱和食盐水代替浓盐酸会产生相同的实验现象

B. $[CuCl_4]^{2-} + 4H_2O \rightleftharpoons [Cu(H_2O)_4]^{2+} + 4Cl^-$ $\Delta H < 0$

C. 向深蓝色溶液中加入乙醇，可析出深蓝色晶体

D. 无色溶液变为深蓝色时发生离子反应： $4[Cu(NH_3)_2]^+ + O_2 + 8NH_3 \cdot H_2O = 4OH^- + 6H_2O + 4[Cu(NH_3)_4]^{2+}$

【答案】A

【解析】

【分析】氯化亚铜($CuCl$)为白色粉末状固体，溶于浓硫酸时，得到 $[CuCl_4]^{3-}$ 无色溶液，露置空气一段时间后变为黄色，最后变为浅蓝色，说明 $[CuCl_4]^{3-}$ 被氧气氧化为 $[CuCl_4]^{2-}$ ，最终转化为 $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ ，氯化亚铜($CuCl$) 溶于氨水，得到 $[Cu(NH_3)_2]^+$ 无色溶液，露置空气一段时间后变为深蓝色，说明 $[Cu(NH_3)_2]^+$ 被氧气氧化为 $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ ，以此解答。

【详解】A. 用饱和食盐水代替浓盐酸时， $CuCl$ 虽可溶解形成无色的 $[CuCl_4]^{3-}$ ，但后续氧化现象不同，浓盐酸中的 H^+ 促进氧化反应。如： $4[CuCl_4]^{3-} + O_2 + 4H^+ = 4[CuCl_4]^{2-} + 2H_2O$ ，而饱和食盐水 H^+ 浓度低，氧化反应受阻，无法出现“无色→黄色→浅蓝”的完整现象，A 错误；

B. 由题干可知，加热浅蓝色溶液，溶液又恢复为黄色，说明 $[CuCl_4]^{2-}$ 与 H_2O 的配位平衡

$[\text{CuCl}_4]^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+} + 4\text{Cl}^-$ 为放热反应, $\Delta H < 0$, 加热促使逆反应, 符合实验现象, B 正确;

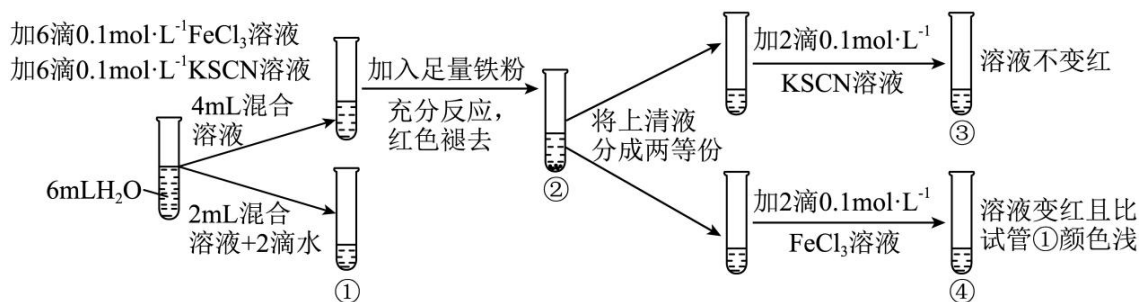
C. 深蓝色 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 溶液中加入乙醇可降低溶解度, 析出深蓝色晶体, C 正确;

D. 无色溶液变为深蓝色时, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ 被 O_2 氧化为 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, 离子反应为:

$4[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{O}_2 + 8\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^- + 6\text{H}_2\text{O} + 4[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, D 正确;

故选 A。

10. (2025 潍坊一模, 14) (不定项) 化学实验小组为探究铁粉使氯化铁与硫氰化钾反应溶液褪色的原因, 进行下列实验:



已知: ① KSCN 在酸性条件下可以被金属分解, 生成 H_2S 和 HCN ;

② 本实验条件下可忽略 Fe^{2+} 与 SCN^- 的配位。

下列说法正确的是

A. ②中溶液中含有少量 KSCN

B. 试管④溶液比试管①颜色浅是因为试管④中 Fe^{3+} 浓度比试管①中小

C. 向③中加入 1 滴 3% H_2O_2 溶液, 溶液变红

D. 试管②中红色褪去的主要原因是: $\text{Fe} + 3\text{H}^+ + \text{SCN}^- = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S} + \text{HCN}$

【答案】AC

【解析】

【详解】A. 试管②将上层清液分成两份, 一份中加入 FeCl_3 溶液后, 溶液变红且比试管①溶液浅, 说明②中溶液中含有少量 KSCN , A 正确;

B. 试管④溶液变红且比试管①颜色浅, 是因为试管②中 KSCN 在酸性条件下被铁分解, 导致试管④中 SCN^- 浓度比试管①中小, B 错误;

C. ③中含有 Fe^{2+} , 加入 1 滴 3% H_2O_2 溶液, H_2O_2 将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , Fe^{3+} 与溶液中少量的 KSCN 反应, 溶液变红, C 正确;

D. 结合试管③、④的现象分析, 试管②中红色褪去的主要原因是 $\text{Fe} + 2\text{Fe}^{3+} = 3\text{Fe}^{2+}$, D 错误;

故选 AC。

11. (2025 日照一模, 14) (不定项) 配合物具有丰富的性质, 为探究 Fe(III) 及其配合物的性质进行如下实验。

已知: $\text{Fe}^{3+} + 6\text{F}^- = [\text{FeF}_6]^{3-}$ (无色)。

	实验操作及现象
I	取少量 FeO 加入①号试管, 滴入过量 $0.3\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HNO}_3$ 溶液, 固体溶解, 产生无色气体, 在试管口处变为红棕色, 溶液为无色, 取少量该溶液于②号试管, 加入 1 滴 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KSCN}$, 无变化; 向①号试管中加入过量的 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 溶液, 产生红褐色沉淀
II	向③号、④号试管各加入 $1\text{mL } 0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{FeCl}_3$ 溶液, 向③号试管中加入少许 NH_4F 固体, 溶液黄色褪去, 分别向两支试管中各滴加 5 滴 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 淀粉 KI 溶液, ③号试管无变化, ④号试管变蓝

下列说法正确的是

- A. ①②号试管实验不能证明 FeO 被 HNO_3 氧化
- B. ①②号试管实验说明 Fe(III) 在有 HNO_3 存在下不能用少量 KSCN 检验
- C. ①②③号试管实验表明与 Fe(III) 配位能力强弱顺序: $\text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{SCN}^-$
- D. ③④号试管实验说明 Fe(III) 形成 $[\text{FeF}_6]^{3-}$ 配离子后氧化性减弱, 不能氧化 I^-

【答案】BD

【详解】A. FeO 和硝酸反应, 生成了 NO, 说明硝酸被还原, 则 FeO 被氧化, 故 A 错误;

B. 向 FeO 和过量硝酸反应后的溶液中加入过量的 NaOH 溶液, 产生红褐色沉淀, 说明有 Fe(III) 生成, 但加入 KSCN 溶液无变化, 说明 Fe(III) 在有 HNO_3 存在下不能用少量 KSCN 检验, 故 B 正确;

C. 向③号试管的 FeCl_3 溶液中加入少许 NH_4F 固体, 溶液黄色褪去, 说明 F^- 和 Fe(III) 结合生成了无色的 $[\text{FeF}_6]^{3-}$, 则 F^- 和 Fe(III) 结合能力强于 Cl^- , ①②号试管实验不能比较 Cl^- 和 Fe(III) 的结合能力和 SCN^- 和 Fe(III) 结合能力的强弱, 故 C 错误;

D. 加入 NH_4F 固体的③号试管滴加淀粉 KI 溶液不变蓝, 说明 Fe(III) 形成 $[\text{FeF}_6]^{3-}$ 配离子后氧化性减弱, 不能氧化 I^- , 故 D 正确;

故选 BD。

12. (2025 青岛一模, 14) (不定项) 探究 Al 和 CuCl_2 溶液的反应机理, 进行以下实验。

实验一: 将光洁的 Al 条插入饱和 CuCl_2 溶液中, 一段时间后溶液变为无色, 产生大量气泡, 析出紫红色固体, 取反应后的无色溶液于试管中, 加入蒸馏水, 产生大量白色沉淀。

实验二: 取白色沉淀于试管中, 加入 NaCl 溶液, 沉淀溶解, 得无色溶液, 插入光洁的 Al 条, 析出紫红色固体。

根据实验现象分析, 下列说法正确的是

- A. 生成的气体为 H_2 , 白色沉淀为 $\text{Al}(\text{OH})_3$
- B. 1mol Al 与足量饱和 CuCl_2 溶液反应可生成 1.5mol Cu

C. 上述实验涉及的含铜物质发生的化学反应均为氧化还原反应

D. “实验二”无色溶液中，铜元素的价态为+1 价

【答案】D

【解析】

【详解】A. 白色沉淀于试管中，加入 NaCl 溶液，沉淀溶解，得无色溶液，插入光洁的 Al 条，析出紫红色固体，紫红色固体应为铜单质，则沉淀不是氢氧化铝沉淀，结合质量守恒，沉淀是铜元素生成的 CuCl 沉淀，A 错误；

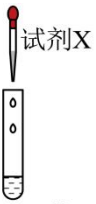
B. 反应中生成气体，根据活动性应该为铝参与反应生成的氢气，则 1molAl 不会全部参与置换铜离子生成铜单质，则不会生成 1.5 molCu，B 错误；

C. 结合 A 分析，初始反应后的无色溶液于试管中，加入蒸馏水，产生大量白色沉淀，加入 NaCl 溶液，沉淀溶解，得无色溶液，则应该初始反应生成 CuCl₂，稀释后溶液浓度减小，CuCl₂ 转化为 CuCl 沉淀，加入 NaCl 溶液，氯离子浓度增大，CuCl 和过量氯离子生成 CuCl₂，反应中没有元素化合价改变，不是氧化还原反应，C 错误；

D. 结合 AC 分析，“实验二”无色溶液中，铜元素的价态为+1 价，D 正确；

故选 D。

13. (2025 济宁一模, 14) (不定项) 锰的化合物在工业、医疗等领域有重要应用, 某兴趣小组探究不同试剂对锰(II)盐氧化产物的影响, 分别进行了四组实验:

装置图	试剂 X	实验现象
 5mL 0.1mol/L MnSO ₄	①0.5mL 0.1mol/LNaOH 溶液	生成浅棕色沉淀, 一段时间后变为棕黑色
	②0.5mL0.1mol/L NaOH 和 15%H ₂ O ₂ 混合液	立即生成棕黑色沉淀
	③0.5mL 0.1mol/L HNO ₃ 溶液	无明显现象
	④0.5mL0.1mol/L HNO ₃ 溶液和少量 PbO ₂	滴加 HNO ₃ 无明显现象, 加入 PbO ₂ 立即变为紫红色, 稍后紫红色很快消失, 生成棕黑色沉淀

已知: i. Mn(OH)₂ 为白色难溶固体; MnO₂ 为棕黑色难溶固体; ii. KMnO₄ 在酸性环境下缓慢分解产生 MnO₂。下列说法错误的是

A. 通过实验①和②, 可判断 H₂O₂ 的氧化性比 O₂ 的强

B. 实验②中迅速生成棕黑色沉淀的离子方程式: $\text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- = \text{MnO}_2 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$

C. 实验③排除了 HNO₃ 将 Mn²⁺ 氧化的可能性

D. 实验④中紫红色消失的原因是酸性条件下 KMnO_4 不稳定，分解产生了 MnO_2

【答案】AD

【解析】

【分析】实验①中生成棕黑色沉淀的原因可能是空气中的氧气在碱性环境反应氧化锰离子生成二氧化锰： $2\text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 + 4\text{OH}^- = 2\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ；实验②为碱性条件下 H_2O_2 将 Mn^{2+} 氧化为 MnO_2 ，离子反应为： $\text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- = \text{MnO}_2 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ；由题干实验可知，实验③无明显现象，说明 HNO_3 不能氧化 Mn^{2+} ；资料表明 KMnO_4 在酸性环境下缓慢分解产生 MnO_2 ，而实验④中紫红色很快消失并产生棕黑色沉淀，故不是 KMnO_4 在酸性环境下自身分解产生 MnO_2 ；

【详解】A. 实验①溶液中溶解氧气很少浓度很低，而②中过氧化氢溶液浓度较大，故不可通过生成棕黑色沉淀快慢判断 H_2O_2 的氧化性比 O_2 的强，A 错误；

B. 实验②中迅速生成棕黑色沉淀反应为过氧化氢在碱性条件下氧化锰离子生成二氧化锰沉淀，

$\text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- = \text{MnO}_2 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ，B 正确；

C. 实验③中无明显现象，则排除了 HNO_3 将 Mn^{2+} 氧化的可能性，C 正确；

D. 资料表明 KMnO_4 在酸性环境下缓慢分解产生 MnO_2 ，而实验④中紫红色很快消失并产生棕黑色沉淀，故不是 KMnO_4 在酸性环境下自身分解产生 MnO_2 ，D 错误；

故选 AD。

14. （2025 济南一模，14）（不定项）某实验小组探究 I^- 与金属阳离子反应的多样性，设计如下实验：

序号	实验	实验现象
I	向 2 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$ 溶液中滴加 2 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KI}$ 溶液，再加入 CCl_4 ，振荡静置	溶液仍为棕黄色；下层呈紫红色
II	向 2 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$ 溶液中滴加 2 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KI}$ 溶液	溶液迅速变浑浊，离心分离后得无色溶液和黄色沉淀
III	向 2 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CuSO}_4$ 溶液中滴加 2 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KI}$ 溶液	溶液变为棕黄色，有白色沉淀生成

已知：①同浓度氧化性： $\text{Ag}^+ > \text{I}_2 > \text{Cu}^{2+}$ ；② CuI 为白色沉淀。下列说法正确的是

A. 实验 I 中可用 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 代替 FeCl_3 完成实验

B. 由实验 II 可知 Ag^+ 不能氧化 I^-

C. 由实验 III 可知降低 Cu^+ 的浓度，能提高 Cu^{2+} 的氧化性

D. 由上述实验可知, 相同浓度的金属阳离子氧化性顺序为 $\text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Ag}^+$

【答案】C

【解析】

【详解】A. $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液中含有 NO_3^- , 在酸性条件下能氧化 I⁻, 会干扰实验, 所以不能用 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 代替 FeCl_3 完成实验, 故 A 错误;

B. 实验 II 中 Ag^+ 与 I⁻ 反应时优先生成 AgI 沉淀, 溶液迅速变浑浊, 离心分离后得无色溶液和黄色沉淀, 故 B 错误;

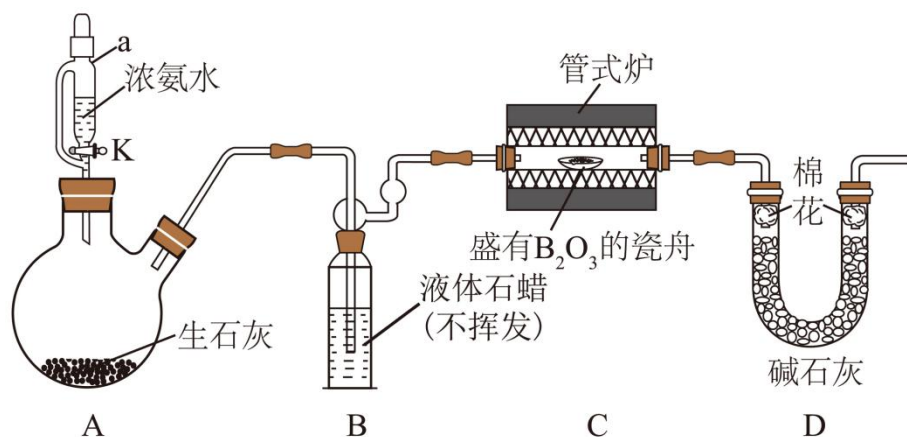
C. 实验 III 中 Cu^{2+} 与 I⁻ 反应生成 CuI 白色沉淀和 I_2 , 溶液变为棕黄色, 有白色沉淀生成, 说明 Cu^{2+} 被还原为 Cu^+ , 由于 CuI 的生成降低了 Cu^+ 的浓度, 使得 Cu^{2+} 的氧化性增强, 从而能氧化 I⁻, 故 C 正确;

D. 实验 I 中 Fe^{3+} 能氧化 I⁻, 实验 III 中 Cu^{2+} 也能氧化 I⁻, 且同浓度氧化性 $\text{Ag}^+ > \text{I}_2 > \text{Cu}^{2+}$, 实验 II 中 Ag^+ 与 I⁻ 反应生成 AgI 沉淀同时 Ag^+ 氧化了 I⁻, 说明 Ag^+ 氧化性强于 Fe^{3+} , 所以相同浓度的金属阳离子氧化性顺序为 $\text{Ag}^+ > \text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+}$, 故 D 错误;

故选: C。

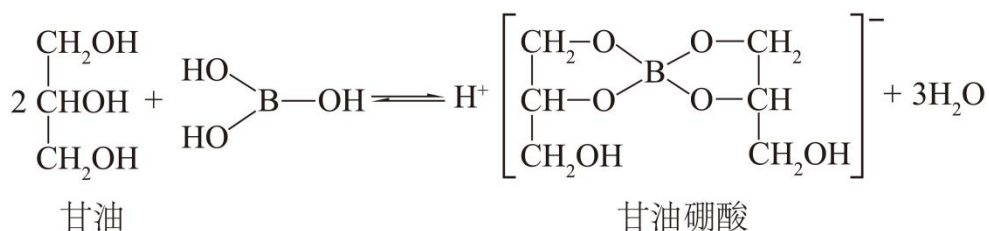
五、化学实验综合题(非选择题)

1. (2025 淄博一模, 19) 实验室用 B_2O_3 和 NH_3 反应制备 BN 并测定 BN 样品纯度, 装置如图(夹持装置略)。



已知: i. BN 难溶于水, 高温下易被氧化。 B_2O_3 熔点 450°C , 沸点 1860°C , 溶于热水生成硼酸, 遇热的水蒸气生成易挥发的偏硼酸(HBO_2): $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + [\text{B}(\text{OH})_4]^-$ 。

ii. 硼酸与甘油反应:



回答下列问题:

I. 制备 BN

实验操作如下: ①连接装置, 检查气密性; ②打开旋塞 K, 滴入适量浓氨水; ③关闭旋塞 K; ④打开管式炉加热开

关，加热至 900℃ 左右，待反应完全；⑤在装置中加入相应试剂；⑥关闭管式炉加热开关，待装置冷却。

(1) 正确的操作顺序为：①⑤→____(填标号)；仪器 a 名称为____；装置 C 中发生反应的化学方程式为____；图示装置存在的两处缺陷是____。

II. 测定 BN 纯度

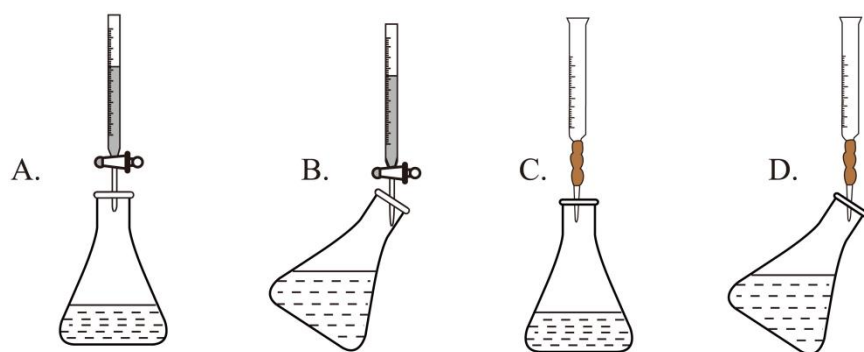
(2) 数字化实验探究：25℃ 时，用 $0.2000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 标准溶液分别滴定 20.00 mL 同浓度的硼酸溶液和甘油硼酸溶液，数据如下。

NaOH 溶液 (mL)	19.96	19.98	20.00	20.02	20.04
溶液 pH					
硼酸 ($K_a = 10^{-9.24}$)	10.66	10.82	x	11.19	11.35
甘油硼酸 ($K_a = 10^{-5.2}$)	6.63	6.94	8.97	10.98	11.28

则 $x =$ ____ (保留两位有效数字)。

(3) 滴定：取 $ag \text{BN}$ 样品(杂质为 B_2O_3)，经热水充分洗涤过滤，向滤液中加入适量甘油，滴加几滴酚酞，用 $cmol \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 标准溶液滴定至溶液呈浅红色，补加少许甘油后浅红色消失，再滴加标准溶液，如此反复。达滴定终点时平均消耗 NaOH 标准溶液 $V \text{ mL}$ 。

接近滴定终点时，向锥形瓶中滴入半滴标准液的操作为____(填标号)。



先加甘油再滴定的目的是____；样品中 BN 的纯度为____；若加入甘油不足，测定结果会____(“偏大” “偏小” 或 “不变”)。

【答案】(1) ①. ②④⑥③ ②. 恒压滴液漏斗 ③. $\text{B}_2\text{O}_3 + 2\text{NH}_3 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{BN} + 3\text{H}_2\text{O}$ ④. 装置 B 和

C 之间无干燥装置、无 NH_3 的尾气处理装置

(2) 11 (3) ①. D ②. 滴定硼酸时突跃范围过小，且不在指示剂变色范围内，加甘油生成甘油硼酸，

加指示剂便于观察滴定终点(或其它合理答案) ③. $1 - \frac{35cV \times 10^{-3}}{a} \times 100\%$ (其它合理答案) ④. 偏大

【解析】

【小问 1 详解】

实验开始前要先连接装置、检查气密性, 然后加入相应试剂, 接下来要先产生氨气排尽装置内空气, 所以先打开旋塞 K 滴入适量浓氨水, 接着打开管式炉加热开关进行反应, 反应完全后关闭管式炉加热开关, 待装置冷却, 再关闭旋塞 K, 防止 BN 高温下被氧化, 故正确操作顺序为①⑤②④⑥③。

仪器 a 是用于添加液体试剂的, 其名称为恒压滴液漏斗。

装置 C 中是 B_2O_3 和 NH_3 反应制备 BN, 根据原子守恒可知, 反应的化学方程式为



B_2O_3 遇热的水蒸气生成易挥发的偏硼酸(HBO_2), A 装置中产生的氨气带有水蒸气, 会导致 B_2O_3 生成易挥发的偏硼酸, 影响实验, 所以应在 B 和 C 之间增加干燥装置除去氨气中的水蒸气。氨气有刺激性气味, 是大气污染物, 该装置没有对未反应完的氨气进行处理, 会污染环境。

【小问 2 详解】

当用 $0.2000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 标准溶液滴定 20.00 mL 同浓度的硼酸溶液时, NaOH 溶液体积为 20.00 mL 时恰好完

全反应, H_3BO_3 是一元弱酸, 电离方程式为: $H_3BO_3 + H_2O \rightleftharpoons H^+ + [B(OH)_4]^-$ $K_a = 10^{-9.24}$, 恰好完全反应时,

生成 $Na[B(OH)_4]$, $[B(OH)_4]^-$ 会水解 $[B(OH)_4]^- + H_2O \rightleftharpoons H_3BO_3 + OH^-$, 设 $[B(OH)_4]^-$ 水解产生的 OH^- 浓度

为 $c(OH^-)$, 由于水解程度较小, 可近似认为水解后 $[B(OH)_4]^-$ 的浓度等于其起始浓度, 由于等体积混合,

$$c([B(OH)_4]^-) = \frac{0.2000}{2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1},$$

$$K_h = \frac{K_w}{K_a} = \frac{10^{-14}}{10^{-9.24}} = 10^{-4.76}, K_h = \frac{c(H_3BO_3) \times c(OH^-)}{c([B(OH)_4]^-)}, \text{ 因为 } c(H_3BO_3) = c(OH^-), \text{ 所以 } K_h = \frac{c^2(OH^-)}{c([B(OH)_4]^-)} \text{ 即}$$

$$10^{-4.76} = \frac{c^2(OH^-)}{0.1}, c(OH^-) = \sqrt{10^{-4.76} \times 0.1} = 10^{-2.88} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{ pOH} = -\lg c(OH^-) = 2.88, \text{ pH} = 14 - 2.88 = 11.12,$$

保留两位有效数字为 11

【小问 3 详解】

接近滴定终点时, 向锥形瓶中滴入半滴标准液的操作是使尖嘴部分悬而不滴, 用锥形瓶内壁将半滴标准液沾下, 然后用洗瓶以少量蒸馏水冲洗锥形瓶内壁, 且 NaOH 标准溶液, 装在碱式滴定管中, 故答案选 D。

硼酸是极弱的酸, 滴定硼酸时突跃范围过小, 且不在指示剂变色范围内, 加入甘油后, 甘油能与硼酸反应, 生成一种较强的甘油硼酸, 加指示剂便于观察滴定终点(或其它合理答案)。

根据实验原理, B_2O_3 与热水反应生成 H_3BO_3 , 加入甘油后, 甘油与 H_3BO_3 反应生成甘油硼酸, 甘油硼酸再与 $NaOH$

反应, $n(H_3BO_3)=n(NaOH)$, 因为 $B_2O_3 + 3H_2O=2H_3BO_3$, 所以 $n(B_2O_3)=\frac{1}{2}n(H_3BO_3)=\frac{1}{2}n(NaOH)$,

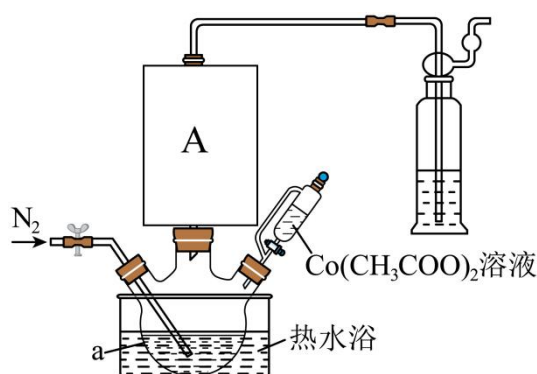
$m(B_2O_3)=\frac{1}{2}n(NaOH)\times 70g/mol=35cV\times 10^{-3}g$, $m(BN)=(a-35cV)\times 10^{-3}g$, 样品中 BN 的纯度为

$$\frac{a-35cV\times 10^{-3}}{a}=1-\frac{35cV\times 10^{-3}}{a}\times 100\%。$$

当甘油不足时, 硼酸不能完全与甘油反应生成甘油硼酸, 导致消耗 $NaOH$ 的体积 V 偏小, 根据上述公式可知, 计算出的 BN 的纯度测定结果偏大。

2. (2025 枣庄一模, 17) $[Co(II)Salen]$ 常用于模拟研究金属蛋白质的载氧机理。回答下列问题:

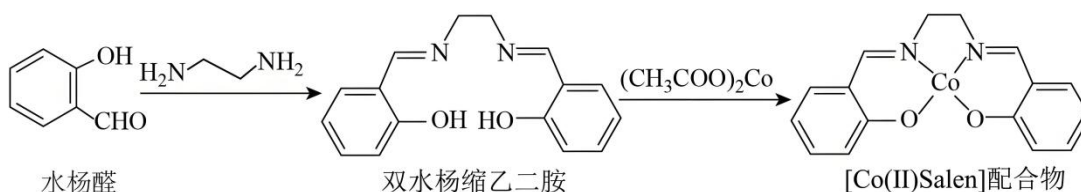
I. 按如图装置进行制备 $[Co(II)Salen]$



水杨醛+乙二胺+95%乙醇

已知: i. Co^{2+} 在溶液中易被氧化为 Co^{3+} ;

ii. 双水杨醛缩乙二胺与 $[Co(II)Salen]$ 的结构简式分别为:



制备过程: 在三颈烧瓶中加入水杨醛(1.6mL)、乙二胺(0.5mL)及 95%乙醇(80mL), 室温搅拌 4-5min, 生成亮黄色双水杨醛缩乙二胺晶体。通 N_2 , 通冷凝水, 加热使晶体溶解, 将醋酸钴溶液(15mL)加入烧瓶中, 生成胶状沉淀, 继续保持微沸, 有暗红色晶体析出, 回流结束。冷却、抽滤、洗涤、干燥, 制得产品。

(1) A 处应安装的仪器是_____ (填名称); 恒压滴液漏斗支管的作用是_____。

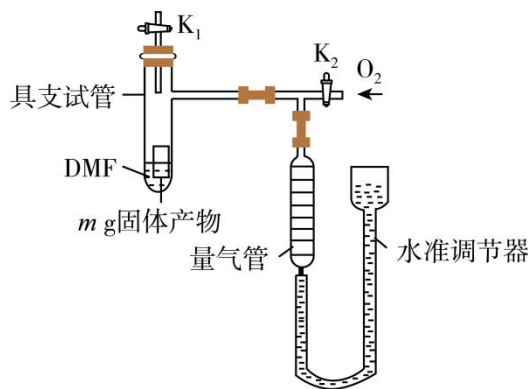
(2) 不通氮气会造成实验失败, 原因是_____; “保持微沸” 的目的是_____。

(3) 回流结束后, 接下来的操作顺序为_____ (填序号)。

①关闭冷凝水 ②停止加热 ③停止通氮气

(4) 双水杨醛缩乙二胺与醋酸钴反应生成 $[Co(II)Salen]$ 的化学方程式为_____。

II. 按如图乙装置进行载氧量测定



图乙

(5) 除去装置中的空气后, 关闭 K_1 、 K_2 , 每隔 5 分钟记录一次数据。每次读数前应先进行的操作是_____。

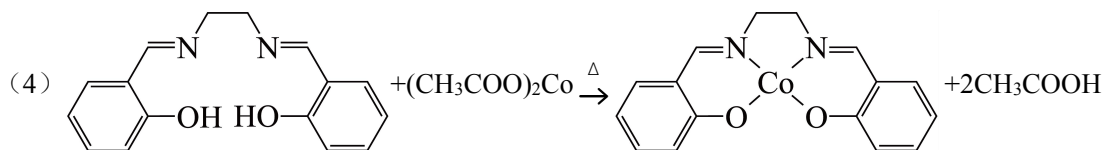
(6) $[\text{Co}(\text{II})\text{Salen}]$ 在 DMF 中可吸氧。载氧量测定结果如表:

序号	$[\text{Co}(\text{II})\text{Salen}]$ 样品质量/g	吸氧体 积 /mL(标 况下)
1	m	3.22
2	m	3.38
3	m	3.20

配合物载氧量= $n(\text{吸收的 } \text{O}_2)$: $n([\text{Co}(\text{II})\text{Salen}])$ 的计算式为_____ (已知: $M[\text{Co}(\text{II})\text{Salen}]=325\text{g/mol}$)。

【答案】 (1) ①. 球形冷凝管 ②. 平衡气压, 使漏斗中的液体顺利流下

(2) ①. Co^{2+} 或双水杨醛缩乙二醇胺易被空气中的氧气氧化 ②. 使胶状微粒聚沉, 便于过滤 (3) ②①③



(5) 调整水准调节器, 使其和量气管内液面相平

(6) $(3.21 \times 10^{-3} \times 325) : 22.4\text{m}$

【解析】

【分析】由题意可知, 制备配合物的操作为: 通 N_2 排出装置内的氧气, 在氮气保护作用下, 向含有双水杨醛缩乙二醇胺的乙醇溶液中缓慢滴加醋酸钴的乙醇溶液, 加热回流 1h, 待沉淀转化为暗红色晶体后停止加热、关闭冷凝水、停止通氮气, 充分冷却后将溶液过滤, 洗涤并干燥, 得到配合物 $[\text{Co}(\text{II})\text{Salen}]$ 。

【小问 1 详解】

为了提高反应物的转化率, 使反应充分进行, A 处应安装的仪器是球形冷凝管; 使用恒压分液漏斗支管的作用是平衡气压, 使漏斗中的液体顺利流下;

【小问 2 详解】

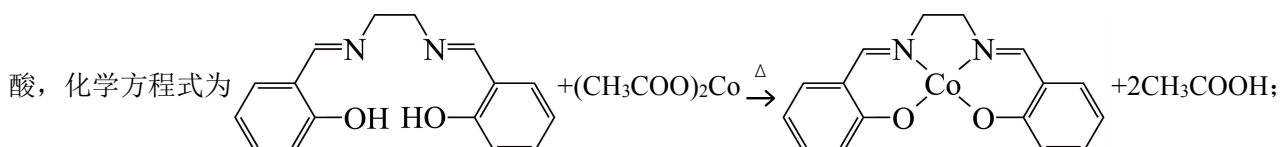
Co²⁺或双水杨醛缩乙二胺会被空气中的氧气氧化，通入氮气排除装置中的空气，防止其被氧化；“保持微沸”可以使胶状微粒聚沉，便于过滤；

【小问 3 详解】

由分析可知，回流结束后的操作为停止加热、关闭冷凝水、停止通入氮气，充分冷却后将溶液过滤、洗涤、干燥得到配合物，故答案为：②①③；

【小问 4 详解】

从双水杨醛缩乙二醇与[Co(II)Salen]的结构可知, 双水杨醛缩乙二醇与醋酸钴反应生成[Co(II)Salen]的同时生成醋



【小问 5 详解】

每次记录时应先进行的操作是调整水准调节器,使其和量气管内液面相平;

【小问 6 详解】

由三次实验数据可知,第二次试验误差较大,数据应舍去,则标准状况下吸收氧气平均体积为 $\frac{3.22+3.20}{2} \approx 3.21\text{mL}$,

$$\text{则 } n(\text{吸收的 O}_2) = \frac{3.21 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ L/mL}}{22.4 \text{ L/mol}}, \quad n([\text{Co(II)Salen}]) = \frac{\text{mg}}{325 \text{ g/mol}}, \quad \text{故 } n(\text{吸收的 O}_2):$$

$$n([\text{Co}(\text{II})\text{Salen}]) = (3.21 \times 10^{-3} \times 325) : 22.4 \text{m}.$$

3. (2025 烟台德州东营一模, 19) 双氰胺($\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4$)为白色晶体, 在冷水中溶解度较小, 易溶于热水、乙醇, 其水溶液在 80°C 以上会发生分解反应。某学习小组以石灰氮(CaCN_2)为原料制备双氰胺。实验过程如下:

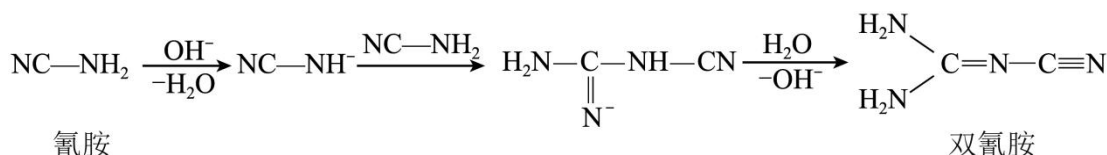
①水解：将装有蒸馏水的三颈烧瓶置于 30℃ 水浴加热器中加热，然后将 CaCN_2 粉末定量均匀地加入三颈烧瓶，水解 10min 得到悬浮状水解液。

②脱钙：将 CO_2 通入水解液中，150min 后 pH 达 10 时停止通入 CO_2 ，将水解液抽滤，滤液呈淡黄色。

③聚合：将滤液移入圆底烧瓶，置于 70℃ 水浴加热器中加热，15-20 min 后溶液呈无色，120min 后停止反应，抽滤。

④结晶和干燥：将滤液蒸发浓缩、冰水浴中冷却结晶、抽滤、干燥，得到粗产品。

已知：氰胺(无色或淡黄色液体)二聚反应机理：



回答下列问题:

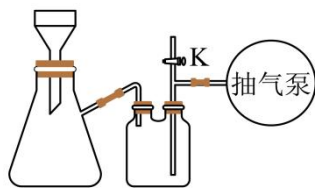
(1) CaCN_2 水解产物的化学式是_____。

(2)“脱钙”过程中, pH 达 10 时停止通入 CO_2 气体, pH 不能过低的原因是_____。

(3) 步骤④中蒸发浓缩时,常采用减压蒸发浓缩,目的是 ;“抽滤”操作顺序(只洗涤一次): 。

开抽气泵→转移固液混合物→a→c→b→关抽气泵→_____→_____→开抽气泵

→_____→_____→关抽气泵(填标号)。

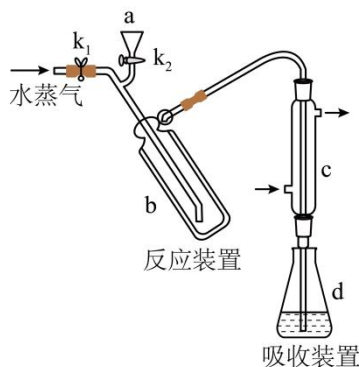


抽滤装置

- a. 关活塞 k b. 开活塞 k c. 确认抽干 d. 加洗涤剂洗涤

(4) 测定双氰胺样品纯度：取 m g 双氰胺样品(杂质不含氮元素)，加足量浓 H_2SO_4 和催化剂，将所有的氮元素转化成铵盐，然后用如图装置处理铵盐。d 中加入硼酸(H_3BO_3)，铵盐由 a 注入 b，随后注入 NaOH 溶液，用蒸馏水冲洗 a，关闭 k_2 ，a 中保留少量水。打开 k_1 通水蒸气进入 b，将 NH_3 蒸出，一段时间后关闭 k_1 。向 d 中加入指示剂，滴定吸收液时消耗 c mol/L 的盐酸 V mL。

已知： $NH_3 + H_3BO_3 = NH_3 \cdot H_3BO_3$ ； $NH_3 \cdot H_3BO_3 + HCl = NH_4Cl + H_3BO_3$ 。



①a 中保留少量水的目的是_____。

②双氰胺样品的纯度为_____%(用代数式表示)；指示剂最好选择_____；若将双层真空玻璃瓶 b 换成普通的玻璃瓶，测定结果会_____ (填“偏大”、“偏小”或“不变”)。

【答案】 (1) $Ca(OH)_2$ 和 CH_2N_2

(2) OH^- 为二聚反应的催化剂，pH 太低不利于发生聚合反应（反应需要碱性环境）

(3) ①. 降低溶液沸点、加快被浓缩速率，防止双氰胺因温度过高发生分解 ②. dacb

(4) ①. 液封，防止 NH_3 逸出 ②. $\frac{2.1cV}{m}$ ③. 甲基橙 ④. 偏小

【解析】

【分析】①将装有蒸馏水的三颈烧瓶置于 $30^\circ C$ 水浴加热器中加热，然后将 $CaCN_2$ 粉末定量均匀地加入三颈烧瓶，水解 10min 得到悬浮状水解液，说明水解得到的产物中存在 $Ca(OH)_2$ ，同时生成 $N \equiv C - NH_2$ ；②将 CO_2 通入水解液中， CO_2 与 $Ca(OH)_2$ 反应生成 $CaCO_3$ ，抽滤后得滤渣 $CaCO_3$ ；④结晶和干燥后得到双氰胺。

【小问 1 详解】

$CaCN_2$ 水解后生成 $Ca(OH)_2$ 和 $N \equiv C - NH_2$ ，故水解产物的化学式为 $Ca(OH)_2$ 和 CH_2N_2 ；

【小问 2 详解】

“脱钙”过程中，将 CO_2 通入水解液中，将 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 转化为 CaCO_3 ， OH^- 为二聚反应的催化剂，pH 达 10 时停止通入 CO_2 气体，由于氰胺转化为双氰胺要在碱性条件下进行，pH 不能过低，若 pH 过低，会不利于发生聚合反应；

【小问 3 详解】

蒸发浓缩时，为了降低水的沸点、加快被浓缩速率，防止双氰胺因温度过高发生分解，故选择减压蒸发浓缩；抽滤时，打开抽气泵，转移固液混合物，关闭活塞 k，打开抽气泵，当布氏漏斗中固液混合物抽干后，打开活塞 k，关闭抽气泵，向布氏漏斗中加入洗涤剂，关闭活塞 k，打开抽气泵，当固液混合物再次抽干后，打开活塞 k，关闭抽气泵，此时得到较多的晶体，故顺序为 dacb；

【小问 4 详解】

①a 中保留少量水，利用水将 a 处封住，可防止氨气逸出，故 a 中保留少量水的目的是液封，防止氨气逸出；

②根据题意可得计量关系： $\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4 \sim 4\text{NH}_3 \sim 4\text{HCl}$ ，HCl 的物质的量为 $cV \times 10^{-3} \text{ mol}$ ， $\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2$ 的物质的量为

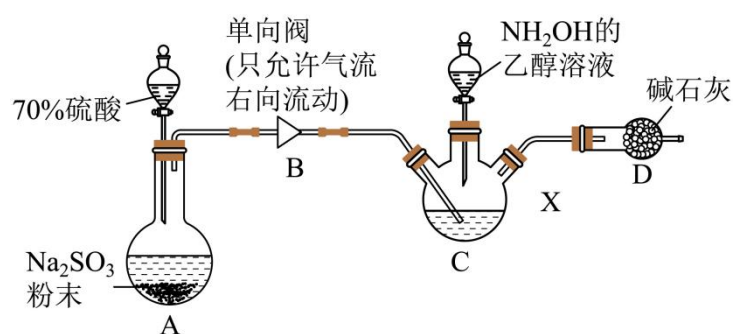
$$\frac{cV \times 10^{-3}}{4} \text{ mol}，故样品的纯度为 \frac{\frac{cV \times 10^{-3}}{4} \times 84 \text{ g/mol}}{\text{mg}} \times 100\% = \frac{2.1cV}{m} \%；滴定时用盐酸滴定氨气，甲基橙在酸性$$

条件下变色明显，故可利用甲基橙作指示剂；若将双层真空玻璃瓶 b 换成普通的玻璃瓶，体系散热较快，会导致氨气蒸出不完全，测定的氨气的量减少，从而使得计算出的双氰胺的量偏小，因此测定结果偏小。

4. （2025 泰安一模，17）氨基磺酸（ $\text{H}_2\text{NSO}_3\text{H}$ ）是一元固体强酸，微溶于乙醇，溶于水时存在反应：

$\text{H}_2\text{NSO}_3\text{H} + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{HSO}_4$ 。实验室用羟胺（ NH_2OH ）和 SO_2 反应制备氨基磺酸。已知： NH_2OH 沸点为 70°C ，性

质不稳定，加热时爆炸，室温下同时吸收水蒸气和 CO_2 时迅速分解。根据下列装置回答相关问题：



(1) 仪器 X 的名称是_____。

(2) 该装置还存在一处明显的问题，改进的办法是_____。

(3) 设计实验证明氨基磺酸溶于水有 NH_4^+ 生成：_____。

(4) 下列叙述正确的是_____（填字母）。

- a. 装置 A 选用 98% 浓硫酸可以加快 SO_2 生成速率
- b. 装置 C 可采用热水浴加快反应速率
- c. 实验完毕后，采用过滤分离装置 C 中混合物

(5)氨基磺酸与氨基酸类似，是两性化合物，能与酸、碱反应生成盐。预测熔点大小关系是： $\text{H}_2\text{NSO}_3\text{H}$ _____ H_2SO_4 （填“>”或“<”），理由是_____。

(6)准确称取 2.500g 氨基磺酸粗品配成 250mL 待测液。取 25.00mL 待测液于锥形瓶中，以淀粉-碘化钾溶液做指示剂，用 $0.080\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaNO_2 标准溶液进行滴定，当溶液恰好变蓝时，消耗 NaNO_2 标准溶液 25.00mL。此时氨基磺酸恰好被完全氧化成 N_2 ， NaNO_2 的还原产物也为 N_2 ，则氨基磺酸粗品的纯度：_____（用质量百分数表示，保留 3 位有效数字）；用 NaOH 标准溶液进行滴定也可以测定氨基磺酸粗品的纯度，所选择的指示剂为_____（填“甲基橙”或“酚酞”）。

【答案】(1)三颈烧瓶

(2)在装置 AB 间安放盛有浓硫酸的洗气瓶

(3)向少量氨基磺酸溶液中加入足量浓 NaOH 溶液，加热，产生使湿润的红色石蕊试纸变蓝的气体，证明溶于水有 NH_4^+ 产生

(4)c

(5) > 氨基磺酸分子中的氨基和磺酸基反应生成 $^+\text{H}_3\text{NSO}_3^-$ ，类似氨基酸形成内盐，熔点较高，而固态硫酸为分子晶体，熔点较低

(6) 77.6% 甲基橙

【分析】本题是无机物制备类的实验题，由装置 A 制备二氧化硫，经过干燥后在装置 C 中二氧化硫和 (NH_2OH) 反应制备氨基磺酸，由于二氧化硫有毒，会污染环境，同时产品遇水会发生反应，故装置的最后部分要用装有碱石灰的干燥管进行处理，以此解题。

【详解】(1)由图可知，仪器 X 的名称是三颈烧瓶；

(2)由于氨基磺酸室温下同时吸收水蒸气时迅速分解，则制备时要防水，则改进的办法是在装置 AB 间安放盛有浓硫酸的洗气瓶，由于单向阀具有单向截止的作用，可用于防倒吸，故不能在 BC 处安放浓硫酸的洗气瓶；

(3)铵根离子遇到氢氧根离子在加热时会生成氨气，则证明氨基磺酸溶于水有 NH_4^+ 生成的方法为：向少量氨基磺酸溶液中加入足量浓 NaOH 溶液，加热，产生使湿润的红色石蕊试纸变蓝的气体，证明溶于水有 NH_4^+ 产生；

(4) a. 制备二氧化硫时利用了强酸制备弱酸，所用硫酸浓度不能太大，否则电离程度小，氢离子浓度低，反应速率慢，通常是用 70%左右的硫酸，错误；

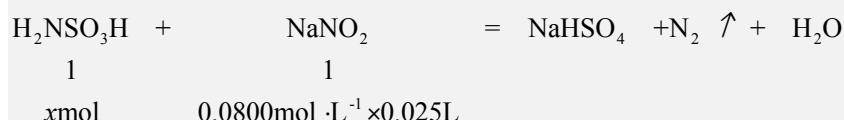
b. NH_2OH 沸点为 70°C ，性质不稳定，加热时爆炸，则装置 C 不可采用热水浴加快反应速率，错误；

c. 氨基磺酸是一种一元固体强酸，微溶于乙醇，实验完毕后，大部分氨基磺酸以固体形式存在，所以实验完毕后，采用过滤分离装置 C 中混合物，正确；

故选 c；

(5) 氨基磺酸分子中的氨基和磺酸基反应生成 ${}^+\text{H}_3\text{NSO}_3^-$ ，类似氨基酸形成内盐，熔点较高，而固态硫酸为分子晶体，熔点较低，故答案为：>；氨基磺酸分子中的氨基和磺酸基反应生成 ${}^+\text{H}_3\text{NSO}_3^-$ ，类似氨基酸形成内盐，熔点较高，而固态硫酸为分子晶体，熔点较低；

(6) 设 25.00ml 待测液中氨基磺酸的物质的量为 $x\text{mol}$ ；

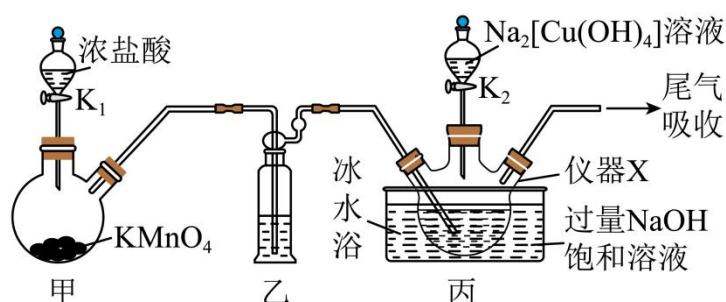


$$x=0.002\text{mol}, \text{氨基磺酸粗品的纯度为} \frac{0.002\text{mol}\times\frac{250}{25}\times 97\text{g/mol}}{2.5\text{g}}\times 100\%=77.6\% ;$$

结合信息可知，氨基磺酸中混有硫酸氢铵，都能与氢氧化钠反应，以酚酞为指示剂，用 NaOH 进行酸碱中和滴定能测定产品中氨基磺酸的纯度，测定结果通常比 NaNO_2 法偏高，并且滴定时，只需消耗其中的氨基磺酸，硫酸氢铵会有剩余，此时溶液显酸性，故指示剂应该选择甲基橙。

5. (2025 烟潍坊一模, 19) 高铜酸钠(NaCuO_2)是一种难溶于水的棕黑色固体, 可用作强氧化剂, 高温下易分解。

实验室中制备高铜酸钠并测定产品中铜含量的部分实验装置如图所示(夹持装置略)。



已知: ① NaClO 与 $\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{OH})_4]$ 在强碱性条件下反应生成 NaCuO_2 ;

② NaCuO_2 在中性或酸性条件下不稳定。遇酸生成 O_2 和 Cu^{2+} 。

回答下列问题:

(1) 装置乙中盛放的试剂是____, 仪器 X 的名称是____。

(2) 制备 Na_2CuO_2 : 打开 K_1 , 向装置丙中通入 Cl_2 , 一段时间后, 关闭 K_1 , 打开 K_2 , 向丙中加入 $\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{OH})_4]$ 溶液至出现大量棕黑色固体, 抽滤、洗涤、干燥得粗产品。

① 反应过程中需用冰水浴控制温度, 目的是_____。

② 装置丙中生成 NaCuO_2 的反应的化学方程式为_____。

③ 洗涤时可以选择_____ (填化学式) 溶液作为洗涤剂。

(3) 测定产品中铜的含量:

i. 准确称取 $a\text{g}$ 粗产品, 与足量硫酸反应后配制成 100mL 溶液, 取 25.00mL 于锥形瓶中;

ii. 加入足量 10%KI 溶液, 滴加淀粉溶液做指示剂, 用 $c\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定至溶液呈浅蓝色, 消耗 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的体积为 $V_1\text{mL}$;

iii. 再加入足量 10%KSCN 溶液, 摇匀后, 溶液蓝色加深, 继续用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定至蓝色刚好消失, 又消耗 $V_2\text{mLNa}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液。

已知: $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{I}^- = 2\text{CuI}\downarrow + \text{I}_2$, $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{I}^-$; CuI 沉淀表面易吸附 I_2 ;

$K_{\text{sp}}(\text{CuSCN}) = 1.77 \times 10^{-13}$, $K_{\text{sp}}(\text{CuI}) = 1.27 \times 10^{-12}$ 。

①产品中铜元素的质量分数为_____ (用含 c 、 a 、 V_1 、 V_2 的式子表示)。

②若未加入 10%KSCN 溶液, 直接用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定至蓝色刚好消失, 则测得铜元素的质量分数_____ (填“偏大”“偏小”或“不变”)。

【答案】 (1) ①. 饱和食盐水 ②. 三颈烧瓶

(2) ①. 增大 Cl_2 溶解度; 防止 NaCuO_2 分解 ②.

$2\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{OH})_4] + \text{NaClO} = 2\text{NaCuO}_2\downarrow + \text{NaCl} + 2\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O}$ ③. NaOH

(3) ①. $\frac{25.6c(V_1+V_2)}{a}\%$ ②. 偏小

【解析】

【分析】装置甲中高锰酸钾和浓盐酸反应生成氯气, 装置乙中盛有饱和食盐水, 作用是除去氯气中混有的 HCl 气体, 装置丙中 NaClO 与 $\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{OH})_4]$ 在强碱性条件下反应生成 NaCuO_2 , 以此解答。

【小问 1 详解】

由分析可知, NaCuO_2 在中性或酸性条件下不稳定, 装置乙中盛放的试剂是饱和食盐水, 以除去氯气中混有的 HCl 气体, 仪器 X 的名称是三颈烧瓶。

【小问 2 详解】

① NaCuO_2 高温下易分解, 反应过程中需用冰水浴控制温度, 目的是增大 Cl_2 溶解度, 防止 NaCuO_2 分解;

②装置丙中 NaClO 与 $\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{OH})_4]$ 在强碱性条件下反应生成 NaCuO_2 , 该反应中 Cl 元素化合价由+1 价下降到-1 价, Cu 元素化合价由+2 价上升到+3 价, 根据得失电子守恒和原子守恒配平化学方程式为:

$2\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{OH})_4] + \text{NaClO} = 2\text{NaCuO}_2\downarrow + \text{NaCl} + 2\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O}$;

③ NaCuO_2 在中性或酸性条件下不稳定, 洗涤时可以选择 NaOH 溶液作为洗涤剂。

【小问 3 详解】

①再加入足量10%KSCN溶液，摇匀后，溶液蓝色加深，说明CuI转化为CuSCN，释放出吸附的 I_2 ，由题意可得

$2Cu^{2+} \sim I_2 \sim 2S_2O_3^{2-}$ ，则 $n(Cu^{2+}) = n(Na_2S_2O_3) = c(V_1 + V_2) \times 10^{-3} mol$ ，

$$w(Cu) = \frac{c(V_1 + V_2) \times 10^{-3} mol \times \frac{100 mL}{25 mL} \times 64 g/mol}{a} \times 100\% = \frac{25.6c(V_1 + V_2)}{a} \%$$

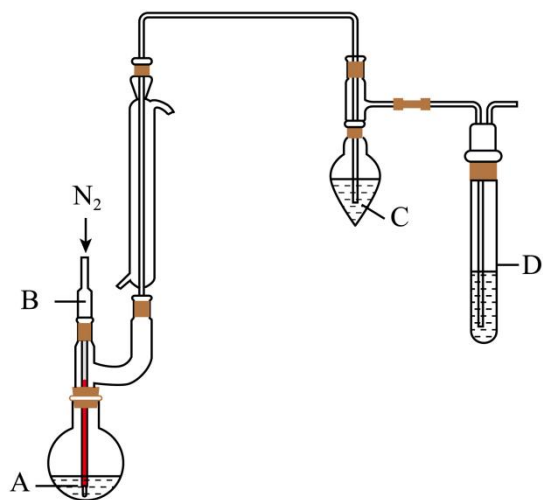
②若未加入10%KSCN溶液，CuI沉淀表面易吸附 I_2 ，导致消耗 $Na_2S_2O_3$ 标准溶液的体积偏小，则测得铜元素的质量分数偏小。

6. (2025日照一模，18) 利用“氧化法测定葡萄酒中 SO_2 的实验装置如图所示(夹持装置略)。实验过程如下：

①加样：向梨形瓶C和试管D中分别加入20.0mL和5.0mL的0.3% H_2O_2 溶液，并各滴3滴混合指示剂后，溶液立即变为紫色，再依次滴入少量NaOH标准液，使C和D中溶液颜色恰好变为橄榄绿色。向A瓶中加入20.00mL葡萄酒样品。

②氧化：取10.00mL25%的磷酸溶液加入A瓶中，B管中缓缓通入 N_2 10min左右，C瓶中溶液颜色逐渐变为紫色，D中溶液颜色无变化。

③滴定：取下C瓶，用NaOH标准液滴定至终点，消耗NaOH标准液VmL。



回答下列问题：

(1)仪器A的名称为_____，B管中通入 N_2 的目的是_____。

(2)用NaOH固体配制100mL $0.01 mol \cdot L^{-1}$ NaOH溶液，取50.00mL该溶液稀释至500mL，作为NaOH标准液。上述操作过程中必须用到的标有刻度和温度的玻璃仪器为_____ (填标号)。

①玻璃棒 ②胶头滴管 ③100mL容量瓶 ④500mL容量瓶

(3)“氧化”过程，梨形瓶C中发生反应的离子方程式为_____。

(4)该滴定实验达到终点现象为_____，样品中 SO_2 的含量为_____ g/L。

(5)装置D的作用为_____；若试管D中溶液颜色发生变化，其它操作不变，测定结果会_____ (填“偏大”“偏小”或“不变”)。

【答案】 (1) 圆底烧瓶 驱赶 SO_2 到C瓶溶液中进行充分反应，同时防止空气中的氧气将葡萄酒中的+4价硫被氧化

(2)③④

(3) $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ 或者 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-}$

(4) 滴入最后半滴 NaOH 溶液, 溶液由紫色变为橄榄绿色, 且 30s 不变色 $1.6\text{V} \times 10^{-3}$

(5) 验证 SO_2 全部被 C 瓶中的 H_2O_2 氧化 偏小

【分析】本题为实验探究题, 利用磷酸将葡萄酒中溶解的 SO_2 赶出并通入 N_2 将 SO_2 全部带入 0.3% 的 H_2O_2 溶液中发生氧化反应生成 H_2SO_4 , 方程式为: $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{SO}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4$, 然后用 NaOH 溶液进行滴定 H_2SO_4 , 根据消耗 NaOH 的物质的量来计算 H_2SO_4 的物质的量进而计算出 SO_2 的物质的量, 以测量葡萄酒中 SO_2 的含量, 据此分析解题。

【详解】(1) 由题干实验装置图可知, 仪器 A 的名称为圆底烧瓶, 结合分析可知 B 管中通入 N_2 的目的是驱赶 SO_2 到 C 瓶溶液中进行充分反应, 同时防止空气中的氧气将葡萄酒中的 +4 价硫被氧化, 故答案为: 圆底烧瓶; 驱赶 SO_2 到 C 瓶溶液中进行充分反应, 同时防止空气中的氧气将葡萄酒中的 +4 价硫被氧化;

(2) 用 NaOH 固体配制 100mL $0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液中需要使用的仪器有: 天平、烧杯、玻璃棒、100mL 容量瓶和胶头滴管, 取 50.00mL 该溶液稀释至 500mL 需要使用的仪器有: 量筒、烧杯、玻璃棒、500mL 容量瓶和胶头滴管, 其中量筒、容量瓶中必须标明刻度和温度, 即上述操作过程中必须用到的标有刻度和温度的玻璃仪器为 100mL 容量瓶、500mL 容量瓶, 故答案为: ③④;

(3) 由分析可知, “氧化”过程, 梨形瓶 C 中发生氧化反应生成 H_2SO_4 , 方程式为: $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{SO}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4$, 则该反应的离子方程式为: $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ 或者 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-}$, 故答案为: $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ 或者 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-}$;

(4) 由分析可知, 该滴定实验达到终点现象为滴入最后半滴 NaOH 溶液, 溶液由紫色变为橄榄绿色, 且 30s 不变色, 由(2)可知, NaOH 标准液的浓度为: 0.001mol/L , 根据题干信息可知, $\text{SO}_2 \sim \text{H}_2\text{SO}_4 \sim 2\text{NaOH}$, 故

$n(\text{SO}_2) = \frac{1}{2}n(\text{NaOH}) = \frac{1}{2} \times 0.001\text{mol/L} \times V \times 10^{-3}\text{L} = 5.0V \times 10^{-7}\text{mol}$, 则样品中 SO_2 的含量为:

$\frac{5.0V \times 10^{-7}\text{mol} \times 64\text{g/mol}}{20.00 \times 10^{-3}\text{L}} = 1.6V \times 10^{-3}\text{g/L}$, 故答案为: $1.6V \times 10^{-3}$;

(5) 由题干信息可知, 装置 D 中溶液颜色没有发生改变, 说明从 C 中逸出的气体中不含 SO_2 , 故装置 D 的作用为验证 SO_2 全部被 C 瓶中的 H_2O_2 氧化, 若试管 D 中溶液颜色发生变化, 说明 SO_2 未完全被 C 中 H_2O_2 氧化, 则生成的硫酸物质的量偏小, 消耗标准液 NaOH 的体积偏小, 则其它操作不变, 测定结果会偏小, 故答案为: 验证 SO_2 全部被 C 瓶中的 H_2O_2 氧化; 偏小。

7. (2025 青岛一模, 17) 无水 CrCl_3 易水解, 650°C 以上升华, 常用于有机合成。设计以下实验制无水 CrCl_3 并测定产品纯度。回答下列问题。

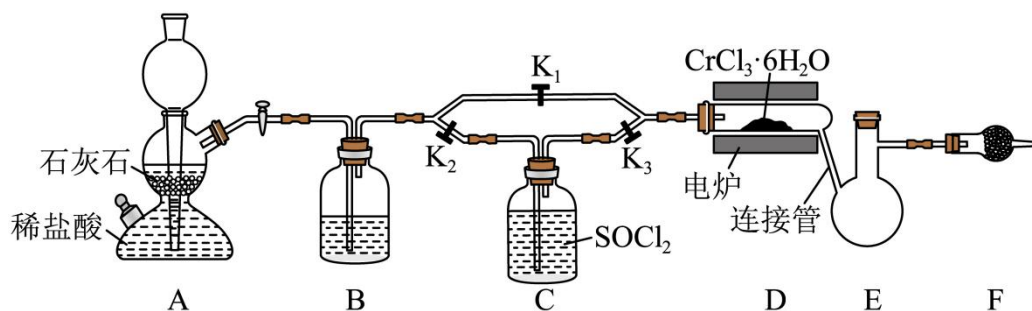
I. 制备 $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 与浓盐酸在加热条件下制备 CrCl_3 , 反应后经一系列操作得 $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。

(1) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 与浓盐酸反应的离子方程式为_____。

II. 制备无水 CrCl_3

$\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 与 SOCl_2 蒸气加热反应制 CrCl_3 装置如图(夹持及部分加热装置省略)。 SOCl_2 沸点 76°C ，遇水极易反应。



(2) B 中盛放的试剂为_____。装置 F 中盛放碱石灰，作用为_____。

(3) 装置 D 中反应的化学方程式为_____。

(4) 实验开始时，通入 CO_2 排出装置内空气后，再_____ (填控制止水夹的操作)，将 SOCl_2 带入装置 D。

(5) 实验过程中，连接管需间歇性加热，其目的是_____。

III. 测定无水 CrCl_3 的纯度

①称取制备的无水 CrCl_3 1.000 g，溶于水后定容至 100 mL。

②取 25.00 mL 溶液于碘量瓶中，加入稍过量的 Na_2O_2 充分反应，再加入 H_2SO_4 将 Cr^{3+} 转化为 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ；煮沸、冷却后再加入过量 KI 固体，加塞摇匀。

③加入少量淀粉溶液，再用 0.1000mol/L 的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定，平行滴定三次，平均消耗 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液 30.00 mL。

已知： $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{I}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + \text{Cr}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$ (未配平)； $\text{I}_2 + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + \text{I}^-$ (未配平)。

(6) 样品中无水 CrCl_3 的质量分数为_____。若步骤②中未煮沸，则测得的无水 CrCl_3 的质量分数_____ (填“偏高”“偏低”或“无影响”)。

【答案】 (1) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{Cl}^- = 2\text{Cr}^{3+} + 3\text{Cl}_2 \uparrow + 7\text{H}_2\text{O}$

(2) ①. 浓硫酸 ②. 吸收 SO_2 和 HCl ；防止污染空气防止空气中的水蒸气进入装置

(3) $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{SOCl}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CrCl}_3 + 6\text{SO}_2 + 12\text{HCl}$

(4) 关闭 K_1 ，打开 K_2 、 K_3

(5) 防止 CrCl_3 冷却凝固堵塞连接管

(6) ①. 63.40% ②. 偏高

【解析】

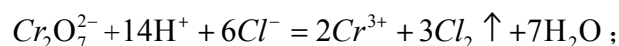
【分析】制备无水 CrCl_3 的过程，由图可知，装置 A 产生 CO_2 ，用于排尽装置中的空气，由于 SOCl_2 沸点 76°C ，遇水极易反应，故装置 B 盛放的应为浓硫酸，用于干燥 CO_2 ；打开 K_1 、关闭 K_2 和 K_3 ，通一段时间 CO_2 排尽装置内空气后，关闭 K_1 ，打开 K_2 和 K_3 ，利用 CO_2 流经 C 瓶将 SOCl_2 蒸汽带入装置 D 与 $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 反应；装置 E 为气体缓冲装置，由于 $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 与 SOCl_2 蒸气加热反应制 CrCl_3 反应为：

$\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{SOCl}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CrCl}_3 + 6\text{SO}_2 + 12\text{HCl}$ ，会产生 SO_2 和 HCl ，污染空气，故装置 F 中盛放碱石灰，作

用为：吸收 SO_2 和 HCl ，防止污染空气并防止空气中的水蒸气进入装置；

【小问 1 详解】

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 中 Cr 为 +7 价，浓盐酸中 Cl 为 -1 价，两者发生氧化还原反应，故离子方程式为：



【小问 2 详解】

由图可知，装置 A 产生 CO_2 ，排尽装置中的空气，由于 SOCl_2 沸点 76°C ，遇水极易反应，故装置 B 盛放的应为浓硫酸，用于干燥 CO_2 ；由于 $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 与 SOCl_2 蒸气加热反应制 CrCl_3 反应为：

$\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{SOCl}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CrCl}_3 + 6\text{SO}_2 + 12\text{HCl}$ ，会产生 SO_2 和 HCl ，污染空气，故装置 F 中盛放碱石灰，作

用为：吸收 SO_2 和 HCl ，防止污染空气并防止空气中的水蒸气进入装置；

【小问 3 详解】

装置 D 中反应的化学方程式为： $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{SOCl}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CrCl}_3 + 6\text{SO}_2 + 12\text{HCl}$ ；

【小问 4 详解】

实验开始时，通入 CO_2 排出装置内空气后，再关闭 K_1 ，打开 K_2 、 K_3 ，利用 CO_2 流经 C 瓶将 SOCl_2 蒸汽带入装置 D；

【小问 5 详解】

由于无水 CrCl_3 易水解， 650°C 以上升华，故实验过程中，连接管需间歇性加热，其目的是为了防止 CrCl_3 冷却凝固堵塞连接管；

【小问 6 详解】

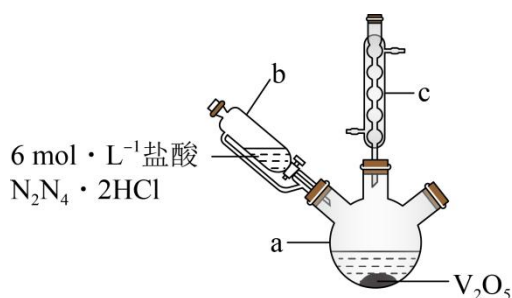
①滴定反应相应离子方程式为： $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{I}^- + 14\text{H}^+ = 2\text{Cr}^{3+} + 3\text{I}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ ， $2\text{Cr}^{3+} \sim$

$3\text{I}_2 \sim 6\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ，故 $3n(\text{CrCl}_3) = n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ ，故无水 CrCl_3 的质量分数为

$$\frac{0.1000\text{mol/L} \times 30.00\text{mL} \times 10^{-3} \times 4 \times \frac{1}{3} \times 158.5\text{g/mol}}{1.000\text{g}} \times 100\% = 63.40\%$$

②步骤②取 25.00 mL 溶液于碘量瓶中，加入稍过量的 Na_2O_2 充分反应，再加入 H_2SO_4 将 Cr^{3+} 转化为 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ；煮沸、冷却后再加入过量 KI 固体，煮沸是为了除去 H_2O_2 ，若不煮沸， H_2O_2 也会将 I^- 氧化为 I_2 ，则消耗的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 多，故测得的无水 CrCl_3 的质量分数偏高。

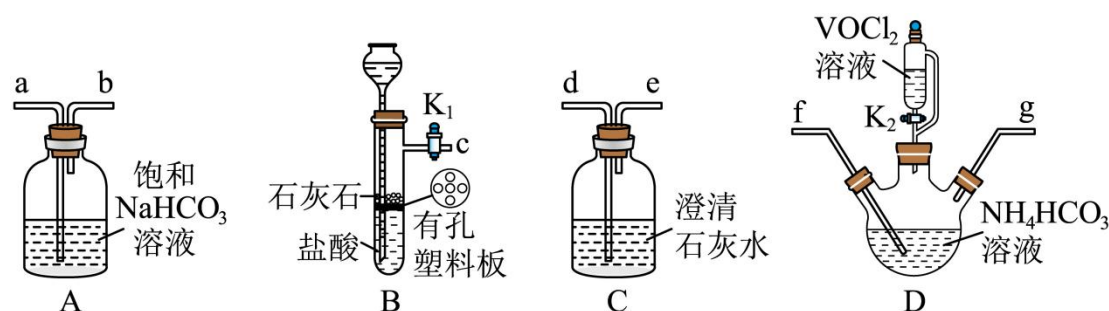
8. (2025 聊城一模，19) 氧钒(IV)碱式碳酸铵是制备热敏材料 VO_2 的原料，其化学式为 $(\text{NH}_4)_5[(\text{VO})_6(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_9] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，制备的实验流程如下：



已知： VO^{2+} 在酸性条件下易被氧化。

(1) 步骤 1 的反应装置如图所示（夹持及加热装置略去，下同）。仪器 b 的名称为____， $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 2\text{HCl}$ 的作用是____。

(2) 步骤 2 可在如下装置中进行：



①接口的连接顺序为 $c \rightarrow$ _____。

②连接好装置，____，加入试剂，关闭 K_2 、打开 K_1 ，一段时间后，关闭 K_1 、打开 K_2 ，充分反应。

③实验结束，利用饱和 NH_4HCO_3 溶液洗涤 D 中所得晶体，检验晶体已洗涤干净的操作是_____。

(3) 测定产品纯度

称取 $a\text{g}$ 样品用稀硫酸溶解后，加入 $V_1\text{mL } c_1\text{mol/L}$ 酸性 KMnO_4 溶液将 VO^{2+} 转化成 VO_2^+ ，向反应后溶液中滴加

$c_2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaNO}_2$ 标准溶液，至剩余酸性 KMnO_4 溶液恰好完全反应

$\left[\text{NO}_2^- + \text{MnO}_4^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \right]$ (未配平)，重复实验 3 次，平均消耗 NaNO_2 标准溶液 $V_2 \text{ mL}$ 。

①粗产品中氧钒(IV)碱式碳酸铵(摩尔质量为 $M \text{ g/mol}$) 的质量分数表达式为_____ % (用含 M 、 a 、 c_1 、 V_1 、 c_2 、 V_2 的代数式表示)。

②若步骤 2 直接关闭 K_1 、打开 K_2 进行实验，则产品纯度_____ (填“偏高”“偏低”或“无影响”)。

【答案】 (1) ①. 恒压滴液漏斗 ②. 还原 V_2O_5

(2) ①. $a \rightarrow b \rightarrow f \rightarrow g \rightarrow d \rightarrow (e)$ ②. 查装置气密性 ③. 取少量最后一次洗涤液于试管中，滴加稀硝酸使溶液呈酸性，再滴加 AgNO_3 溶液，若不产生白色沉淀，则证明晶体已洗涤干净

(3) ①. $\frac{(5c_1V_1 - 2c_2V_2)M}{60a}$ ②. 偏低

【解析】

【分析】制取氧钒(IV)碱式碳酸铵 $(\text{NH}_4)_5[(\text{VO})_6(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_9] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 时，先利用 B 装置制取 CO_2 ，利用 A 装置除去 CO_2 中混有的 HCl ，将 CO_2 通入 D 装置，并与 VOCl_2 、 NH_4HCO_3 发生反应，制取 $(\text{NH}_4)_5[(\text{VO})_6(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_9] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ；利用 C 装置检验 CO_2 。

【小问 1 详解】

仪器 b 的名称为：恒压滴液漏斗； V_2O_5 作氧化剂，则 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 2\text{HCl}$ 表现出还原性，则 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 2\text{HCl}$ 作用是还原 V_2O_5 ；

【小问 2 详解】

①由分析可知，装置连接顺序是 $B \rightarrow A \rightarrow D \rightarrow C$ ，则接口的连接顺序为 $c \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow f \rightarrow g \rightarrow d \rightarrow (e)$ ；

②连接好装置，装药品前需要检查装置气密性；

③实验结束，利用饱和 NH_4HCO_3 溶液洗涤 C 中所得晶体，晶体不含有氯离子则已洗涤干净，操作是：取少量最后一次洗涤液于试管中，滴加稀硝酸使溶液呈酸性，再滴加 AgNO_3 溶液，若不产生白色沉淀，则证明晶体已洗涤干净；

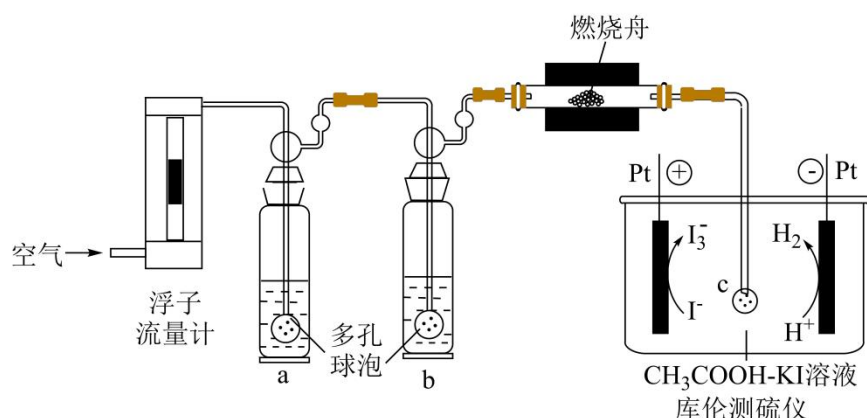
【小问 3 详解】

①由 $2\text{KMnO}_4 \sim 5\text{NO}_2^-$ ，可求出过量的 KMnO_4 的物质的量为 $\frac{2}{5} \times c_2 V_2 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ；则与 VO^{2+} 反应的 KMnO_4 的物质的量为 $c_1 V_1 \times 10^{-3} \text{ mol} - \frac{2}{5} \times c_2 V_2 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ；由关系式 $\text{KMnO}_4 \sim 5\text{VO}^{2+}$ ，可求出 VO^{2+} 的物质的量为 $5(c_1 V_1 \times 10^{-3} - \frac{2}{5} \times c_2 V_2 \times 10^{-3}) \text{ mol} = (5c_1 V_1 - 2c_2 V_2) \times 10^{-3} \text{ mol}$ ，所以样品中氧钒(IV)碱式碳酸铵(摩尔质量为 $M \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) 的

$$\text{质量分数} = \frac{(5c_1V_1 - 2c_2V_2) \times 10^{-3} \text{ mol} \times \frac{1}{6} \times \text{Mg/mol}}{ag} \times 100\% = \frac{(5c_1V_1 - 2c_2V_2)M}{60a} \%$$

②若步骤2直接关闭 K_1 、打开 K_2 进行实验，没有将空气排干净，则 VO^{2+} 会提前被氧化，导致酸性高锰酸钾氧化 VO^{2+} 的量偏少，需要消耗更多的 NaNO_2 标准液，即 V_2 偏大，根据公式可知，样品纯度偏低。

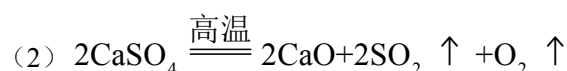
9. (2025 济宁一模, 18) 煤中的硫以有机硫和无机硫(CaSO_4 、硫化物及微量单质硫等)的形式存在，可以采用库伦滴定法检测 $m \text{ g}$ 煤中硫的含量，实验装置如下图所示。



已知：①空气中含有少量杂质气体(SO_2 、 H_2S 、 HCHO)；②在燃烧舟中煤中 S 元素均转化为 SO_2 和 SO_3 ；③钼试剂呈橙黄色，遇钼离子生成橙红色络合物。

- (1) 浮子流量计的作用____，仪器 a 盛放的试剂为____，仪器 b 的名称____。
- (2) 燃烧舟中 CaSO_4 分解生成 SO_2 的化学方程式_____。
- (3) 库伦测硫仪工作原理如上图所示。检测前，500mL 电解质溶液中 $c(\text{I}_3^-)/c(\text{I}^-)$ 保持不变，电解池不工作。待气体进入后，测硫仪立即自动进行电解，至 $c(\text{I}_3^-)/c(\text{I}^-)$ 又回到原定值。 SO_2 与 I_3^- 反应的离子方程式为____，电解结束，库伦测硫仪显示电解过程中转移电子 $x \text{ mol}$ ；电解后取 25mL 电解池中溶液，滴 2-3 滴钼试剂，用 $c \text{ mol/L BaCl}_2$ 溶液滴定，达滴定终点，消耗 $V \text{ mL}$ ，滴定终点的现象为____；用此方法既可以测得样品中 S 的含量，也可以测定燃烧过程中产生 SO_2 和 SO_3 的物质的量的比值， $n(\text{SO}_2)/n(\text{SO}_3)=$ ____，下列操作中，会使 $n(\text{SO}_2)/n(\text{SO}_3)$ 的值偏低的是____。
- A. $c(\text{I}_3^-)/c(\text{I}^-)$ 未回到原定值，即读测硫仪数据
- B. 燃烧舟内壁有 SO_3 残留
- C. 滴定过程终点时俯视读数
- D. 滴定前尖嘴内有气泡，终点时无气泡

【答案】(1) ①. 检测气体流速 ②. 酸性高锰酸钾溶液或双氧水 ③. (孟式) 洗瓶



(3) ①. $\text{I}_3^- + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 3\text{I}^- + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ ②. 滴入最后半滴 BaCl_2 标准液，溶液由橙黄色变橙红色，且半分

钟不恢复原色 ③. $\frac{25x}{(cV-25x)}$ ④. AD

【解析】

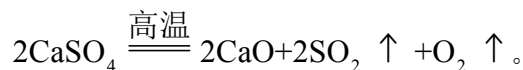
【分析】煤中的硫以有机硫和无机硫(CaSO_4 、硫化物及微量单质硫等)的形式存在, 可以采用库伦滴定法检测 $m\text{g}$ 煤中硫的含量, 空气经过浮子流量计检测气体流速, 空气中含有少量杂质气体(SO_2 、 H_2S 、 HCHO), 试剂 a 的作用是除去空气中的还原性气体, 试剂 a 可以是酸性高锰酸钾溶液或双氧水, 仪器 b 的作用是干燥空气, 在燃烧舟中煤中 S 元素均转化为 SO_2 和 SO_3 , 测硫仪工作时, 左侧铂电极为电解池的阳极, 碘离子在阳极失去电子发生氧化反应生成碘三离子, 电极反应式为 $3\text{I}^- - 2\text{e}^- = \text{I}_3^-$, 反应生成的 I_3^- 与二氧化硫反应生成碘离子、硫酸根离子和氢离子, 反应的离子方程式为 $\text{I}_3^- + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 3\text{I}^- + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$, 右侧铂电极为阴极, 溶液中的氢离子在阴极得到电子发生还原反应生成氢气。

【小问 1 详解】

由分析可知, 浮子流量计的作用是: 检测气体流速, 仪器 a 盛放的试剂为酸性高锰酸钾溶液或双氧水, 仪器 b 的名称 (孟式) 洗瓶。

【小问 2 详解】

燃烧舟中 CaSO_4 分解生成 SO_2 , S 元素化合价降低, 可以推知该过程中 O 元素化合价上升, 有 O_2 生成, Ca 元素化合价不变, 该过程中还有 CaO 生成, 根据得失电子守恒和原子守恒配平化学方程式为:



【小问 3 详解】

由分析可知, 二氧化硫在电解池中发生的反应为反应生成的碘三离子与二氧化硫反应生成碘离子、硫酸根离子和氢离子, 反应的离子方程式为: $\text{I}_3^- + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 3\text{I}^- + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ 。用 $c\text{ mol/L BaCl}_2$ 溶液滴定生成 BaSO_4 沉淀, 达滴定终点时, Ba^{2+} 过量与钡试剂生成橙红色络合物, 滴定终点的现象为: 滴入最后半滴 BaCl_2 标准液, 溶液由橙黄色变橙红色, 且半分钟不恢复原色。电解过程中 SO_2 转化为 SO_4^{2-} , 电解结束, 库伦测硫仪显示电解过程中转移电子 $x\text{mol}$,

则 $n(\text{SO}_2) = \frac{x}{2}\text{mol}$, 溶液中 $n(\text{SO}_4^{2-}) = n(\text{Ba}^{2+}) = cV \times 10^{-3}\text{mol}$, 则 $n(\text{SO}_3) = cV \times 10^{-3}\text{mol} \times \frac{500}{25} - \frac{x}{2}\text{mol}$, 则

$$\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{SO}_3)} = \frac{\frac{x}{2}\text{mol}}{cV \times 10^{-3}\text{mol} \times \frac{500}{25} - \frac{x}{2}\text{mol}} = \frac{25x}{(cV-25x)},$$

A. $\frac{c(\text{I}_3^-)}{c(\text{I}^-)}$ 未回到原定值, 即读测硫仪数据, 会导致测得转移电子的物质的量偏少, 测得 $n(\text{SO}_2)$ 偏小, 则 $\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{SO}_3)}$ 偏

低, A 选;

B. 燃烧舟内壁有 SO_3 残留, 会导致测得 $n(\text{SO}_3)$ 偏小, 则 $\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{SO}_3)}$ 偏高, B 不选;

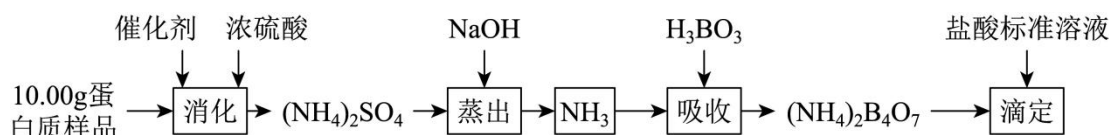
C. 滴定过程终点时俯视读数, 会导致测得消耗 BaCl_2 标准液的体积偏小, 导致测得 $n(\text{SO}_4^{2-})$ 偏小, 则 $\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{SO}_3)}$ 偏高, C 不选;

C 不选;

D. 滴定前尖嘴内有气泡, 终点时无气泡, 会导致测得消耗 BaCl_2 标准液的体积偏大, 导致测得 $n(\text{SO}_4^{2-})$ 偏大, 则 $\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{SO}_3)}$ 偏低, D 选;

故选 AD。

10. (2025 济南一模, 19) 凯氏定氮法(Kjeldahl method)是分析化学中一种常用的确定有机化合物中氮含量的检测方法。某化学实验小组欲通过“凯氏定氮法”测定某蛋白质中的含氮量, 设计实验方案如下。



回答下列问题:

(1) “消化”操作在图 1 所示装置中进行, 在加热条件下, 稍过量的浓硫酸先将有机物碳化, 再将 N、C、H 元素分别转化为 NH_4^+ 、 CO_2 、 H_2O , 用_____ (填“托盘天平”“电子天平”)称取 10.00g 蛋白质, 加入至仪器 X 中开始实验, CuSO_4 的作用是_____, 实验结束后, 再打开 K_1 继续通入 N_2 的原因是_____。

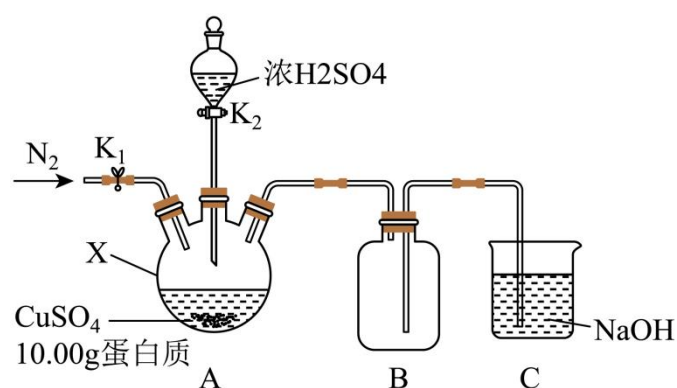


图1

(2) “蒸出”、“吸收”操作在图 2 所示装置中进行, 向吸收瓶加入稍过量的 30.00mL 硼酸(一元弱酸), 从 Y 口迅速将“消化”后所得溶液转移至反应管中, 再迅速注入过量氢氧化钠溶液, 用蒸馏水冲洗 Y 口, 快速放入棒状玻塞, 再向 Y 口加入少量水, 其原因是_____, 实验过程中向反应管中鼓入水蒸气和使用隔热套的作用是_____, 吸收瓶中发生反应的化学方程式为_____. 反应结束后, 下列操作的先后顺序是_____ (填标号)。

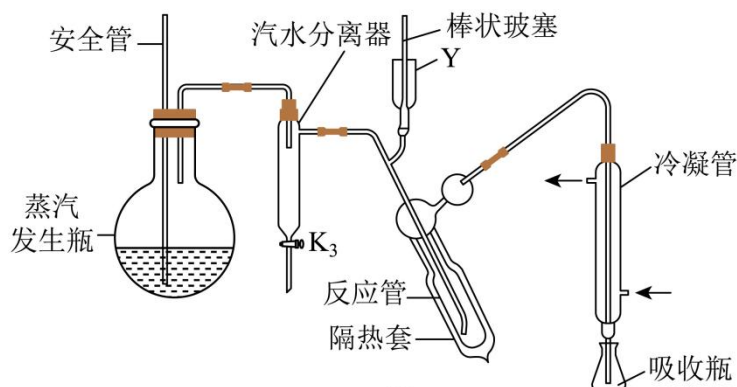


图2

①关闭蒸汽发生瓶的加热装置 ②打开活塞 K_3 ③移走吸收瓶

(3) 将 Y 中溶液、Y 的洗涤液合并于吸收瓶中，加入几滴 0.1% 甲基红乙醇溶液，再用 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸标准溶液滴定，滴定终点时消耗盐酸体积为 $V_1 \text{ mL}$ ；另取 30.00 mL 相同浓度的硼酸，重复上述滴定过程，进行空白对照滴定，终点时消耗盐酸体积为 $V_2 \text{ mL}$ 。

①蛋白质样品中氮的质量分数为_____。

②下列操作导致蛋白质样品中氮的质量分数测定结果偏大的是_____ (填标号)。

- A. 实验过程中，没有用冷凝管
- B. 未用标准液润洗滴定管
- C. 空白滴定时，滴定达终点时发现滴定管尖嘴内有气泡生成

【答案】(1) ①. 电子天平 ②. 催化剂 ③. 将生成的 SO_2 赶入装置 C 中完全吸收

(2) ①. 吸收反应逸出的 NH_3 ②. 升高反应管中温度且防止热量散失，降低 NH_3 的溶解度，使 NH_3 逸出

③. $2\text{NH}_3 + 4\text{H}_3\text{BO}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{B}_4\text{O}_7 + 5\text{H}_2\text{O}$ ④. ③②①

(3) ①. $0.014(V_1 - V_2)\%$ ②. BC

【解析】

【分析】(1) 化学中使用的电子天平的精确度为 0.0001 g ，用电子天平称量 10.00 g 的蛋白质，在催化剂和浓硫酸的作用下反应生成硫酸铵，硫酸铵与氢氧化钠作用生成氨气，蒸出氨气用硼酸吸收得到 $(\text{NH}_4)_2\text{B}_4\text{O}_7$ ，最后用盐酸滴定；

(2) “蒸出”、“吸收”操作在图 2 所示装置中进行，向吸收瓶加入稍过量的 30.00 mL 硼酸(一元弱酸)，从 Y 口迅速将“消化”后所得溶液转移至反应管中，再迅速注入过量氢氧化钠溶液，用蒸馏水冲洗 Y 口，快速放入棒状玻璃塞，再向 Y 口加入少量水，吸收反应逸出的氨气，实验过程中向反应管中鼓入水蒸气和使用隔热套的作用是升高反应管的温度且防止热量散失，吸收瓶中发生反应的化学方程式为 $2\text{NH}_3 + 4\text{H}_3\text{BO}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{B}_4\text{O}_7 + 5\text{H}_2\text{O}$ ，反应结束后，操作的先后顺序是移走吸收瓶、打开活塞 K_3 、关闭蒸汽发生瓶的加热装置；

【小问 1 详解】

化学中使用的电子天平的精确度为 0.0001 g ，所以用电子天平称取 10.00 g 蛋白质，加入至仪器 X 中开始实验， CuSO_4

的作用是催化剂，实验结束后，再打开 K_1 继续通入 N_2 的原因是将生成的 SO_2 全部赶入装置 C 中被吸收；

【小问 2 详解】

由上述分析可知，向 Y 口加入少量水，其原因是吸收反应逸出的 NH_3 ；实验过程中向反应管中鼓入水蒸气和使用隔热套的作用是升高反应管的温度且防止热量散失，从而降低 NH_3 的溶解度，使 NH_3 逸出；吸收瓶中发生反应的化学方程式为 $2NH_3 + 4H_3BO_3 = (NH_4)_2B_4O_7 + 5H_2O$ ；反应结束后，操作的先后顺序是移走吸收瓶、打开活塞 K_3 、关闭蒸汽发生瓶的加热装置，答案为③②①；

【小问 3 详解】

①根据题意 $(NH_4)_2B_4O_7 + 2HCl + 5H_2O = 2NH_4Cl + 4H_3BO_3$ ，则有关系式： $2N \sim 2NH_3 \sim (NH_4)_2B_4O_7 \sim 2HCl$ ， $n(N) = n(HCl)$ ，

所以蛋白质样品中氮的质量分数为 $\frac{0.1\text{mol/L} \times (V_1 - V_2) \times 10^{-3}\text{L} \times 14\text{g/mol}}{10.00\text{g}} \times 100\% = 0.014(V_1 - V_2)\%$ ；

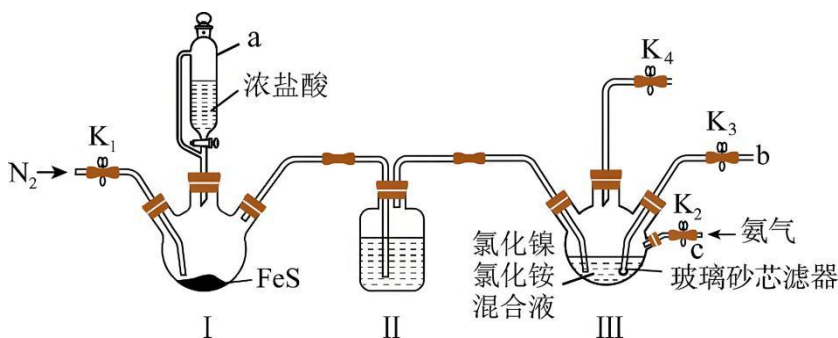
②A. 实验过程中，没有用冷凝管，部分氨气损失，测定结果偏小，故 A 不选；

B. 未用标准液润洗滴定管，导致标准液浓度偏低，滴定时，消耗标准液体积偏大，导致测定结果偏大，故 B 选；

C. 空白滴定时，滴定达终点时发现滴定管尖嘴内有气泡生成，导致空白实验体积偏小，导致测定结果偏大，故 C 选；

故答案为：BC。

11. (2025 菏泽一模，17) 硫化镍(NiS)是一种重要的化学品，实验室利用 H_2S 、 NH_3 通入含 $NiCl_2$ 的溶液制备 NiS ，其装置如图所示(夹持装置略)。已知 NiS 溶于稀酸，有水存在时易被 O_2 氧化成 $Ni(OH)S$ 。回答下列问题：

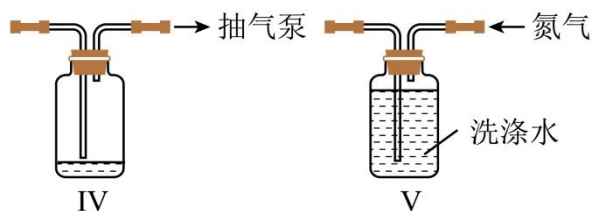


(1)制备时进行操作：(i)检查装置气密性并加入药品。打开_____，关闭 K_2 、 K_3 ，通入 N_2 ，其目的是_____；

(ii)关闭 K_1 ，打开 a 的活塞，加入浓盐酸制备 H_2S 气体，同时打开 K_2 通入 NH_3 ，观察到Ⅲ中产生浑浊，继续反应一段时间。

装置 II 的作用是_____。装置 III 中发生反应的离子方程式为_____。图示装置存在的缺陷是_____。

(2)反应结束后关闭 K_4 ，在 b、c 处分别连接下图两个装置，打开 K_2 、 K_3 进行抽滤洗涤。装置 IV 接在_____ (填“b”或“c”)处。证明 NiS 洗涤干净的方法是_____。



(3)测定 NiS 样品的纯度。取 2.5g 产品完全溶于稀硝酸后，配成 250mL 溶液。取 20mL 溶液于锥形瓶，加入 30mL 0.10mol/L EDTA($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$)溶液。煮沸，滴入几滴 PAN 作指示剂，趁热用 0.10mol/L CuSO_4 溶液滴定过量的 EDTA(Ni^{2+} 与 Cu^{2+} 与 EDTA 化学计量数之比均为 1:1)。当滴定到达滴定终点时，消耗 CuSO_4 溶液为 10mL(滴定过程中杂质不参与反应)。样品中 NiS 质量分数为_____。

【答案】(1) K_1 、 K_4 反应都处在氮气氛围下，防止 NiS 被氧气氧化为 $\text{Ni}(\text{OH})\text{S}$ 除去中 H_2S 的 HCl

杂质气体 $\text{H}_2\text{S} + \text{Ni}^{2+} + 2\text{NH}_3 = \text{NiS} \downarrow + 2\text{NH}_4^+$ 没有 H_2S 、 NH_3 的尾气处理装置

(2) b 取最后一次抽滤洗涤液少许与试管中，先加入稀硝酸，再加入硝酸银溶液，若无白色沉淀产生，则证明洗涤干净

(3)91%

【分析】由装置图可以知道，整个装置通入氮气使反应都处在氮气氛围下，防止产物被氧气氧化，装置 I 是浓盐酸和 FeS 反应生成 H_2S 气体和 FeCl_2 ，然后经过装置 II 除去 HCl 杂质气体，最后 H_2S 进入装置 III 和 NiCl_2 、 NH_3 反应生成 NiS。

【详解】(1) 检查装置气密性并加入药品。打开 K_1 、 K_4 ，关闭 K_2 、 K_3 ，通入氮气使反应都处在氮气氛围下，防止 NiS 被氧气氧化为 $\text{Ni}(\text{OH})\text{S}$ ；

由分析可知，浓盐酸具有挥发性，装置 II 除去中 H_2S 的 HCl 杂质气体，III 中 H_2S 、 NiCl_2 、 NH_3 反应生成 NiS 沉淀，离子方程式为： $\text{H}_2\text{S} + \text{Ni}^{2+} + 2\text{NH}_3 = \text{NiS} \downarrow + 2\text{NH}_4^+$ ；图示装置存在的缺陷是没有 H_2S 、 NH_3 的尾气处理装置；

(2) 如图可知，装置 IV 是抽滤装置，装置 V 是洗涤沉淀的装置，b 口导管与装置 III 中液体相连通，故 b 口接 IV 抽滤装置，c 口接 V 洗涤沉淀装置；NiS 沉淀表面可能会附着氯离子，证明 NiS 洗涤干净即证明洗涤液不含有氯离子，故方法是：取最后一次抽滤洗涤液少许与试管中，先加入稀硝酸，再加入硝酸银溶液，若无白色沉淀产生，则证明洗涤干净；

(3) 由题可知， $\text{Ni}^{2+} + \text{EDTA} = \text{EDTA} - \text{Ni}^{2+}$ ， $\text{Cu}^{2+} + \text{EDTA} = \text{EDTA} - \text{Cu}^{2+}$ ，并且过量的 EDTA 可以被 Cu^{2+} 滴定来计算用量，所以过量的 $n(\text{EDTA}) = n(\text{Cu}^{2+}) = 0.1\text{mol/L} \times 10 \times 10^{-3}\text{L} = 1 \times 10^{-3}\text{mol}$ ，

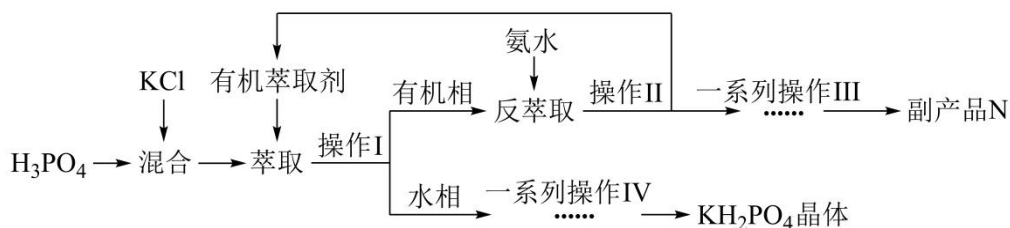
$n(\text{Ni}^{2+}) = n(\text{EDTA}) - n(\text{过量EDTA}) = (0.1 \times 30 - 1) \times 10^{-3}\text{mol} = 2 \times 10^{-3}\text{mol}$ ，则该镍样品纯度为：

$$\frac{2 \times 10^{-3}\text{mol} \times 91\text{g/mol} \times \frac{250\text{mL}}{20\text{mL}}}{2.5\text{g}} \times 100\% = 91\%$$

第三部分 化学工艺流程

一、化学工艺流程题

1. (2025 聊城一模, 9) 晶体磷酸二氢钾(KH_2PO_4)是一种非线性光学材料, 实验室模拟工业工序设计的流程如图所示。



已知: HCl 易溶于乙醇和醚等有机溶剂, 下列说法不正确的是

- A. 有机萃取剂不可选用乙醇
- B. KH_2PO_4 既可与盐酸也可与 NaOH 溶液反应
- C. 操作 I、操作 II 是相同的操作方法
- D. 一系列操作 III 主要包括蒸发结晶、干燥

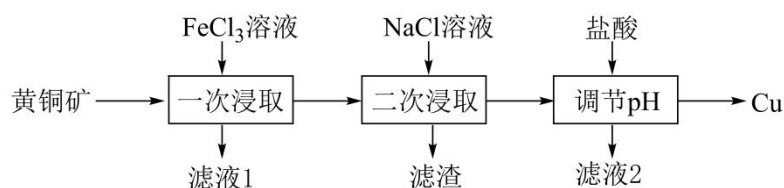
【答案】D

【解析】

【分析】 H_3PO_4 加入 KCl 混合, 用有机萃取剂进行萃取, 主要反应原理为 $\text{KCl} + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightleftharpoons \text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{HCl}$, 经操作 I (分液) 得到有机相和水相, 水相经一系列操作可得到 KH_2PO_4 晶体, 反应产生的 HCl 易溶于有机萃取剂, 有机相加入氨水进行反萃取, 发生反应 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{HCl} = \text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$, 再分液得到有机萃取剂返回萃取操作中循环使用, 另一部分经蒸发浓缩、冷却结晶, 过滤、洗涤、干燥便可得到 NH_4Cl 。

【详解】A. 因为乙醇与水互溶, 所以有机萃取剂不可选用乙醇, A 正确;
B. KH_2PO_4 是酸式盐, 既可与盐酸也可与 NaOH 溶液反应, B 正确;
C. 根据分析知, 操作 I、操作 II 都是分液, 是相同的操作方法, C 正确;
D. NH_4Cl 受热易分解, 所以一系列操作 III 主要包括蒸发浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤、干燥, D 错误;
故选 D。

2. (2025 淄博一模, 9) 用黄铜矿(主要成分 CuFeS_2 , 含少量 SiO_2) 冶炼铜的一种工艺流程如图所示:



已知: “一次浸取”后的滤渣主要为 CuCl 、 S 、 SiO_2 ; $\text{CuCl}(s) + \text{Cl}^-(aq) \rightleftharpoons [\text{CuCl}_2]^- (aq)$ 。下列说法错误的是

- A. “一次浸取”反应方程式为 $\text{CuFeS}_2 + 3\text{FeCl}_3 = \text{CuCl} + 4\text{FeCl}_2 + 2\text{S}$

- B. 滤液 1 在空气中加热蒸干灼烧后, 可得 Fe_2O_3
- C. “二次浸取”后滤渣中的混合物可用热的 NaOH 溶液分离
- D. “调节 pH”中每生成 1 mol Cu , 转移 1 mol 电子

【答案】C

【解析】

【分析】黄铜矿(主要成分 CuFeS_2 , 含少量 SiO_2), 加氯化铁进行浸取, “一次浸取”后的滤渣主要为 CuCl 、 S 、 SiO_2 ; 可知 CuFeS_2 被氯化铁氧化生成 CuCl 和 S ; 过滤后滤渣加 NaCl 溶液二次浸取, CuCl 转化为 $[\text{CuCl}_2]^-$; 过滤所得滤液加盐酸调节 pH, $[\text{CuCl}_2]^-$ 转化为 Cu , 据此分析解答。

【详解】A. 结合已知 CuFeS_2 被氯化铁氧化生成 CuCl 和 S , 氯化铁被还原为氯化亚铁, 根据得失电子守恒以及元素守恒得反应方程式: $\text{CuFeS}_2 + 3\text{FeCl}_3 = \text{CuCl} + 4\text{FeCl}_2 + 2\text{S}$, 故 A 正确;

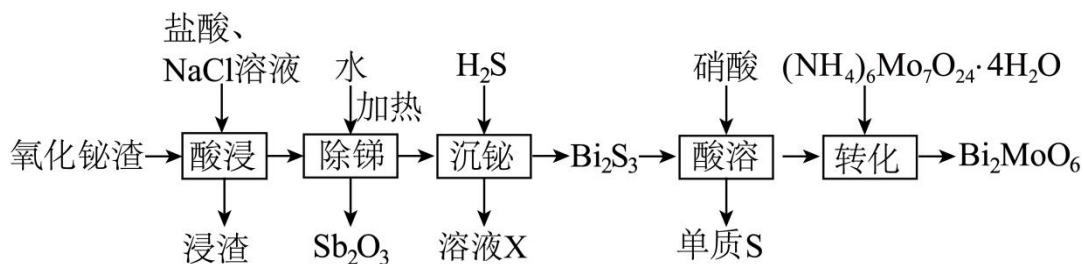
B. 滤液 1 主要成分为氯化亚铁, 在空气中加热会被氧化为氯化铁, 蒸干过程中氯化铁水解生成氢氧化铁, 灼烧得到氧化铁, 故 B 正确;

C. 二次浸取后滤渣为 S 和 SiO_2 , 两者均能与 NaOH 反应, 因此不能用热的 NaOH 溶液分离, 故 C 错误;

D. “调节 pH”时发生反应: $2[\text{CuCl}_2]^- \xrightarrow{\text{H}^+} \text{Cu} + \text{Cu}^{2+} + 4\text{Cl}^-$, 每生成 1 mol Cu , 转移 1 mol 电子, 故 D 正确;

故选: C。

3. (2025 菏泽一模, 11) (不定项) 以氧化铋渣(Bi_2O_3 、 Sb_2O_3 , 含 Ag_2O 和 SiO_2 等杂质)为原料制备钼酸铋(Bi_2MoO_6 , 其中 Mo 为+6 价)的主要流程如下。



已知: H_2S 的 $K_{a1}=1.0\times 10^{-7}$, $K_{a2}=1.0\times 10^{-13}$; $K_{sp}(\text{Bi}_2\text{S}_3)=2.0\times 10^{-99}$.

下列说法错误的是

- A. “浸渣”的主要成分为 AgCl 和 SiO_2
- B. 溶液 X 经处理后可循环用于“酸浸”过程
- C. “酸溶”时产生 NO , 理论上消耗氧化剂与还原剂的物质的量之比为 2: 3
- D. “沉铋”反应 $2\text{Bi}^{3+}(\text{aq})+3\text{H}_2\text{S}(\text{aq})=\text{Bi}_2\text{S}_3(\text{s})+6\text{H}^+(\text{aq})$ 的平衡常数 $K=5.0\times 10^{38}$

【答案】C

【分析】由题干信息可知, 氧化铋渣加入盐酸和氯化钠溶液, 二氧化硅不与盐酸反应, 氧化银和盐酸反应生成氯化

银，其他物质和盐酸生成相应氯化物，过滤，向滤液中加水加热得到 Sb_2O_3 ，过滤，向滤液中加入 H_2S ，生成 Bi_2S_3 和 HCl ，再次过滤得到 Bi_2S_3 固体和溶液 X，则 X 中含有 HCl 和 NaCl ，向 Bi_2S_3 中加入硝酸得到单质硫、 NO 和硝酸铋，向硝酸铋溶液中加入 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 得到 Bi_2MoO_6 ，据此分析解题。

【详解】A. 由分析可知，二氧化硅不与盐酸反应，氧化银和盐酸反应生成氯化银，即“浸渣”的主要成分为 AgCl 和 SiO_2 ，A 正确；

B. 由分析可知，X 中含有 HCl 和 NaCl ，则溶液 X 经处理后可循环用于“酸浸”过程，B 正确；

C. 由分析可知，“酸溶”时产生 NO 即向 Bi_2S_3 中加入硝酸得到单质硫、 NO 和硝酸铋，反应方程式为：

$\text{Bi}_2\text{S}_3 + 8\text{HNO}_3(\text{稀}) = 2\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + 2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{S}\downarrow$ ，反应中 Bi_2S_3 为还原剂， HNO_3 部分为氧化剂，故理论上消耗氧化剂与还原剂的物质的量之比为 2:1，C 错误；

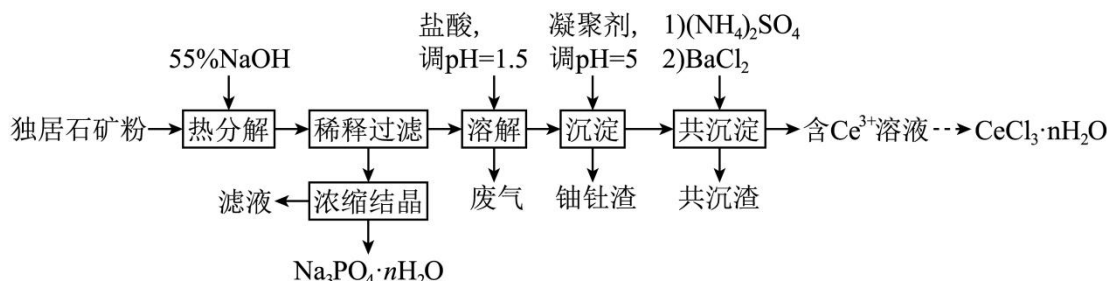
D. “沉铋”反应 $2\text{Bi}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{S}(\text{aq}) = \text{Bi}_2\text{S}_3(\text{s}) + 6\text{H}^+(\text{aq})$ 的平衡常数

$$K = \frac{c^6(\text{H}^+)}{c^2(\text{Bi}^{3+})c^3(\text{H}_2\text{S})} = \frac{c^6(\text{H}^+)c^3(\text{S}^{2-})}{c^2(\text{Bi}^{3+})c^3(\text{S}^{2-})c^3(\text{H}_2\text{S})} = \frac{1}{K_{\text{sp}}[\text{Bi}_2\text{S}_3]} \times \left[\frac{c^2(\text{H}^+)c(\text{S}^{2-})}{c(\text{H}_2\text{S})} \right]^3 = \frac{[K_{\text{a}1}(\text{H}_2\text{S})K_{\text{a}2}(\text{H}_2\text{S})]^3}{K_{\text{sp}}[\text{Bi}_2\text{S}_3]} = \frac{[1.0 \times 10^{-7} \times 1.0 \times 10^{-13}]^3}{2.0 \times 10^{-99}} = 5.0 \times 10^{38}$$

，D 正确；

故答案为：C。

4. （2025 聊城一模，12）（不定项）稀土是国家的战略资源之一，以下是一种以独居石[主要成分为 CePO_4 ，含有 $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$ 、 U_3O_8 和少量 Ra 杂质]为原料制备 $\text{CeCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 的工艺流程图。



已知：①步骤 1 中 U_3O_8 转化为 $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ ；② Ce^{3+} 在空气中易被氧化成 Ce^{4+} ；③ 25°C 时，

$$K_{\text{sp}}[\text{Th}(\text{OH})_4] = 4.0 \times 10^{-45}, K_{\text{sp}}[\text{Ce}(\text{OH})_3] = 1.6 \times 10^{-20}, K_{\text{sp}}[\text{Ce}(\text{OH})_4] = 2.0 \times 10^{-48}。$$

下列说法正确的是

A. 仅“热分解”步骤发生了氧化还原反应

B. 滤液可吸收“溶解”步骤产生的废气

C. 共沉渣成分主要为 BaSO_4 和 RaSO_4

D. “沉淀”步骤所得溶液中 $c(\text{Th}^{4+}) = 4.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$

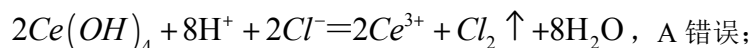
【答案】C

【解析】

【分析】独居石的主要成分为 CePO_4 ，含有 $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$ 和 U_3O_8 和少量镭杂质，加入 NaOH 进行热分解， U_3O_8 发

生反应： $2\text{U}_3\text{O}_8 + \text{O}_2 + 6\text{NaOH} = 3\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7 + 3\text{H}_2\text{O}$ ， CePO_4 中的 Ce 被氧化为 $\text{Ce}(\text{OH})_4$ ，将热分解后的物质加水稀释后过滤，得到的滤液中含有 Na_3PO_4 ，过滤得到的固体产物中加入盐酸， $\text{Ce}(\text{OH})_4$ 具有氧化性，与盐酸发生反应： $2\text{Ce}(\text{OH})_4 + 8\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- = 2\text{Ce}^{3+} + \text{Cl}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ ，废气为氯气，调节 pH ，使铈和 Th 转化为 BaSO_4 和 RaSO_4 沉淀，向滤液中加入硫酸铵和氯化钡，使 BaSO_4 和 RaSO_4 形成共沉淀，得到含有 Ce^{3+} 的溶液，经过一系列操作，得到 $\text{CeCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，据此分析作答。

【详解】A. 在“溶解 $\text{pH} = 1.5$ ”步骤中也发生了氧化还原反应：



B. 得到的滤液中含有 Na_3PO_4 ，废气含有氯气，磷元素已经处于最高化合价，不会被氯气氧化，所以二者不会发生反应，B 错误；

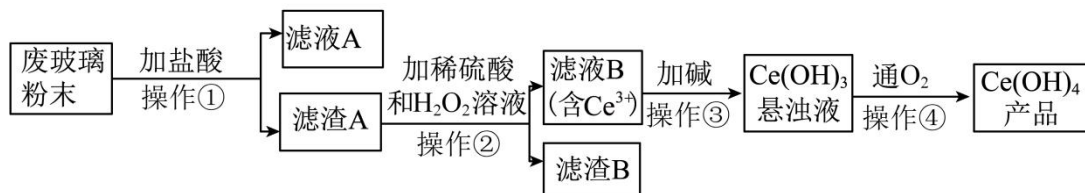
C. 根据分析可知，共沉渣成分主要为 BaSO_4 和 RaSO_4 ，C 正确；

D. “沉淀”步骤 $\text{pH} = 5$ ，根据溶度积常数可得：
$$c(\text{Th}^{4+}) = \frac{K_{sp}[\text{Th}(\text{OH})_4]}{c^4(\text{OH}^-)} = \frac{4.0 \times 10^{-45}}{(10^{-9})^4} = 4.0 \times 10^{-9} \text{ mol/L},$$

D 错误；

故选 C。

5. (2025 泰安一模，12) (不定项) 以废玻璃粉末(含 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 CeO_2)为原料回收铈，实验流程图如下：



下列说法中错误的是

- A. 流程中①②③④操作均需要用到烧杯、漏斗、玻璃棒
- B. 滤渣 B 的主要成分为 SiO_2
- C. 过程②中发生反应的离子方程式为 $\text{CeO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + 3\text{H}^+ = \text{Ce}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$
- D. 过程④中氧化剂与还原剂的物质的量之比为 1: 4

【答案】AC

【分析】废玻璃粉末中含 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 CeO_2 ，向其中加入盐酸， Fe_2O_3 反应变为可溶性 FeCl_3 进入溶液中， SiO_2 、 CeO_2 不能反应，仍以固体形式存在，然后过滤。滤液 A 中含 FeCl_3 ，滤渣 A 中含有 SiO_2 、 CeO_2 。向滤渣 A 中加入稀硫酸，并加入适量 H_2O_2 ，发生反应： $2\text{CeO}_2 + 6\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{Ce}^{3+} + \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ ， SiO_2 不能反应，仍以固体形式存在，然后过滤。在滤液 B 中含有 Ce^{3+} ，在滤渣 B 中含有 SiO_2 ；再向滤液 B 中加入碱 NaOH ，使 Ce^{3+} 转化为 $\text{Ce}(\text{OH})_3$ 沉

淀，向其中通入 O_2 并加热，发生反应： $4Ce(OH)_3 + O_2 + 2H_2O \xrightarrow{\Delta} 4Ce(OH)_4$ ，再过滤，就得到 $Ce(OH)_4$ 产品。

【详解】A. 根据上述分析可知：流程中①②操作均为过滤操作，需要使用的玻璃仪器有烧杯、漏斗、玻璃棒，③④不是过滤，A 错误；

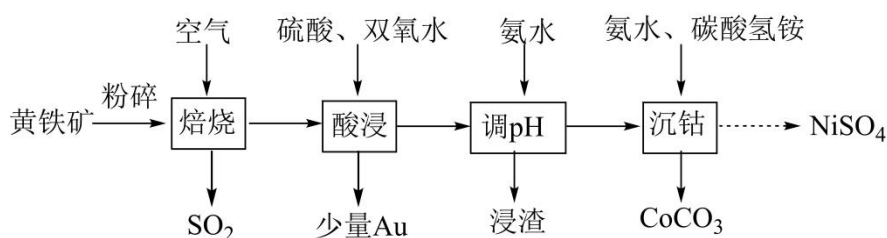
B. 根据上述分析可知：滤渣 B 的主要成分为 SiO_2 ，B 正确；

C. 反应过程②中发生反应的离子方程式为： $2CeO_2 + 6H^+ + H_2O_2 = 2Ce^{3+} + O_2 \uparrow + 4H_2O$ ，C 错误；

D. 过程④中发生反应为： $4Ce(OH)_3 + O_2 + 2H_2O \xrightarrow{\Delta} 4Ce(OH)_4$ ，其中氧化剂为 O_2 ，还原剂为 $Ce(OH)_3$ ，氧化剂与还原剂的物质的量之比为 1：4，D 正确；

故合理选项是 AC。

6. (2025 日照一模，13) (不定项) 以黄铁矿(主要含 FeS_2 ，还含有 NiS 、 CoS 、 CuS 以及少量 Au)为原料分离各种金属，工艺流程如下：



已知：①“焙烧”后烧渣主要成分是 Fe_2O_3 、 NiO 、 CuO 、 Co_3O_4 和 Au 。

②常温， $K_{sp}[Fe(OH)_3]=10^{-38.6}$ ， $K_{sp}[Cu(OH)_2]=10^{-19.8}$ ， $K_{sp}[Co(OH)_2]=10^{-14.7}$ ， $K_{sp}[Ni(OH)_2]=10^{-12.8}$ ，一般认为金属阳离子 $\leq 10^{-5} \text{ mol/L}$ 为沉淀完全。

③氧化性： $Co^{3+} > Cl_2$ 。

④ $\lg 5 = 0.7$ 。

下列说法错误的是

- A. “酸浸”时 H_2O_2 作还原剂，若用盐酸代替硫酸和 H_2O_2 效果更佳
- B. 当 $c(Co^{2+})=0.05 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ ， $c(Ni^{2+})=0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ ，“调 pH”范围是 $6.6 \leq pH < 7.3$
- C. “沉钴”时发生反应的离子方程式为 $Co^{2+} + 2HCO_3^- = CoCO_3 \downarrow + CO_2 \uparrow + H_2O$
- D. 检验 $CoCO_3$ 是否洗涤干净的试剂可选用 HCl 和 $BaCl_2$

【答案】AC

【分析】将矿石粉碎，在空气中焙烧，得到金属氧化物和二氧化硫气体，烧渣用硫酸和过氧化氢浸泡，得到含 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 溶液，金单质过滤除去，过滤后的溶液加氨水调节 pH， Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 转化为氢氧化物沉淀除去， Co^{2+} 和 Ni^{2+} 在溶液中，再加入氨水和碳酸氢铵得到 $CoCO_3$ 沉淀，溶液中得到 $NiSO_4$ 。

【详解】A. “酸浸”时 Co_3O_4 溶于酸得到 Co^{2+} 和 Co^{3+} ，氧化性： $Co^{3+} > Cl_2$ ，用盐酸代替硫酸， Co^{3+} 会将 Cl^- 氧化为 Cl_2 ，A 错误；

B. 加入氨水让 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 沉淀， Co^{2+} 和 Ni^{2+} 不沉淀，根据溶度积常数 $K_{sp}[Fe(OH)_3]=10^{-38.6}$ ， $K_{sp}[Cu(OH)_2]=10^{-19.8}$ ，当 Cu^{2+} 沉淀完全时， Fe^{3+} 也已经完全沉淀， $K_{sp}[Cu(OH)_2]=1 \times 10^{-5} \times c^2(OH^-)=10^{-19.8}$ ， $c(OH^-)=1.0 \times 10^{-7.4} \text{ mol/L}$ ，

$c(\text{H}^+) = 1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$, $\text{pH} = 6.6$, 又根据 $K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2] = 10^{-14.7}$, $K_{\text{sp}}[\text{Ni}(\text{OH})_2] = 10^{-12.8}$ 可知, Co^{2+} 先沉淀, Co^{2+} 开始沉淀时, $K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2] = c(\text{Co}^{2+}) \times c^2(\text{OH}^-) = 0.05 \times c^2(\text{OH}^-) = 10^{-14.7}$, $c^2(\text{OH}^-) = 2 \times 10^{-13.7}$, $c^2(\text{H}^+) = 5 \times 10^{-15.3}$, $\text{pH} = 7.3$, “调 pH”范围是 $6.6 \leq \text{pH} < 7.3$, B 正确;

C. “沉钴”时加入碳酸氢铵和氨水, 生成 CoCO_3 沉淀, 反应的离子方程式为

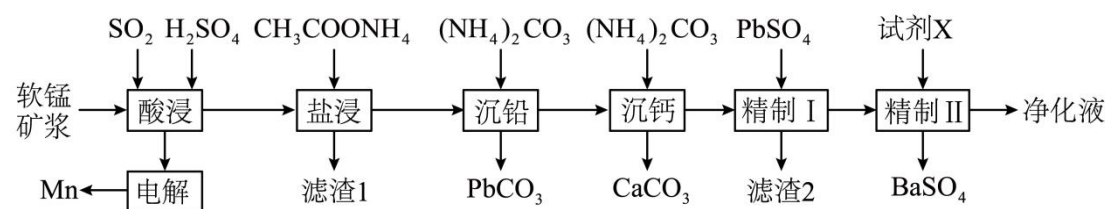
$\text{Co}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{CoCO}_3 \downarrow + 2\text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-}$, C 错误;

D. CoCO_3 沉淀表面有硫酸根离子, 检验 CoCO_3 是否洗涤干净的试剂可选用 HCl 和 BaCl_2 , D 正确;

答案选 AC。

二、化学工艺流程题（非选择题）

1. (2025 淄博一模, 17) 为推动生产方式的绿色化转型, 工业上以软锰矿(主要成分为 MnO_2 , 含 PbSO_4 、 CaSO_4 、 SiO_2) 制 Mn 并协同回收 Pb、Ca, 以实现绿色化生产的流程如下



已知: I. 25°C , $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 3\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_3]^- (\text{aq})$ $K = 10^{6.4}$:

$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Pb}(\text{OH})_3]^- (\text{aq})$ $K = 10^{14.0}$

11.25°C , $K_{\text{sp}}[\text{PbCO}_3] = 10^{-13.0}$, $K_{\text{sp}}[\text{CaCO}_3] = 10^{-8.5}$, $K_{\text{sp}}[\text{PbSO}_4] = 10^{-7.6}$

回答下列问题:

(1) “酸浸”中主要反应的化学方程式为_____。

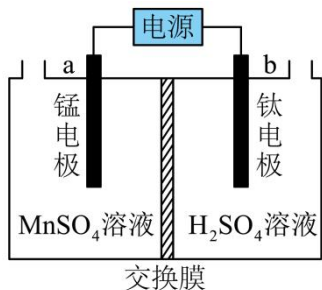
(2) “盐浸”中 Pb、Ca 转换为可溶性配合物。反应

$\text{PbSO}_4(\text{s}) + 3\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_3]^- (\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, 25°C 时, 其平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$; 滤渣 1 主要成分的化学式为_____。

(3) “沉铅”中, 加入 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 至 Ca^{2+} 开始沉淀时, 溶液中 $\frac{c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{Pb}^{2+})} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。若 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 浓度过大, 将导致沉铅率降低, 其原因是_____。

(4) “精制 I”发生反应的离子方程式为_____。净化液可返回_____工序循环使用。

(5) 电解制锰如图所示, 则 b 极的电极反应式为_____。电解时需保持阴极室溶液 pH 不宜过低的原因是_____。



【答案】(1) $\text{MnO}_2 + \text{SO}_2 = \text{MnSO}_4$

(2) ①. $10^{-1.2}$ ②. SiO_2

(3) ①. $10^{4.5}$ ②. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 浓度过大时, 溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 增大, 平衡:

$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Pb}(\text{OH})_3]^- (\text{aq})$ 右移, 导致沉铅率降低

(4) ①. $\text{PbSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{PbCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ②. 盐浸

(5) ①. $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$ ②. pH 过低, 电解液中 $c(\text{H}^+)$ 大, 氧化性增强, H^+ 优先在阴极放电

【解析】

【分析】工业上以软锰矿(主要成分为 MnO_2 , 含 PbSO_4 、 CaSO_4 、 SiO_2)制 Mn 并协同回收 Pb、Ca, 软锰矿浆通入 SO_2 、 H_2SO_4 酸浸, 还原 MnO_2 为硫酸锰, 过滤得到滤液为 MnSO_4 溶液, 电解 MnSO_4 溶液得到 Mn, 滤渣主要为 PbSO_4 、 CaSO_4 、 SiO_2 , 加入醋酸铵盐浸, PbSO_4 、 CaSO_4 转化为配合物, SiO_2 不溶, 过滤得到滤渣 1 为 SiO_2 , 滤液加入碳酸铵, 醋酸铅转化为 PbCO_3 , 过滤得到 PbCO_3 , 滤液中加入碳酸铵沉钙, 过滤得到碳酸钙, 滤液加入硫酸铅, 过量的碳酸根离子生成碳酸铅, 则滤渣 2 为碳酸铅, 过滤后加入醋酸钡生成硫酸钡沉淀和醋酸铵, 过滤得到硫酸钡和含醋酸铵的净化液, 净化液返回盐浸步骤循环利用, 据此解答。

【小问 1 详解】

“酸浸”中主要为还原 MnO_2 为硫酸锰, 反应的化学方程式为 $\text{MnO}_2 + \text{SO}_2 = \text{MnSO}_4$ 。

【小问 2 详解】

反应 $\text{PbSO}_4(\text{s}) + 3\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_3]^- (\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, 25°C 时平衡常数

$$K = \frac{c(\text{SO}_4^{2-}) \cdot c[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_3]^-}{[c(\text{CH}_3\text{COO}^-)]^3} = \frac{c(\text{SO}_4^{2-}) \cdot c[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_3]^- \times c(\text{Pb}^{2+})}{[c(\text{CH}_3\text{COO}^-)]^3 \times c(\text{Pb}^{2+})} = \frac{10^{-7.6}}{10^{-6.4}} = 10^{-1.2}; \text{ 根据分析, 滤}$$

渣 1 主要成分的化学式为 SiO_2 。

【小问 3 详解】

“沉铅”中，加入 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 至 Ca^{2+} 开始沉淀时，溶液中 $\frac{c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{Pb}^{2+})} = \frac{K_{\text{sp}}[\text{CaCO}_3]}{K_{\text{sp}}[\text{PbCO}_3]} = \frac{10^{-8.5}}{10^{-13.0}} = 10^{4.5}$ 。若

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 浓度过大，将导致沉铅率降低，其原因是 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 浓度过大时，溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 增大，平衡：

$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Pb}(\text{OH})_3]^- (\text{aq})$ 右移，导致沉铅率降低。

【小问 4 详解】

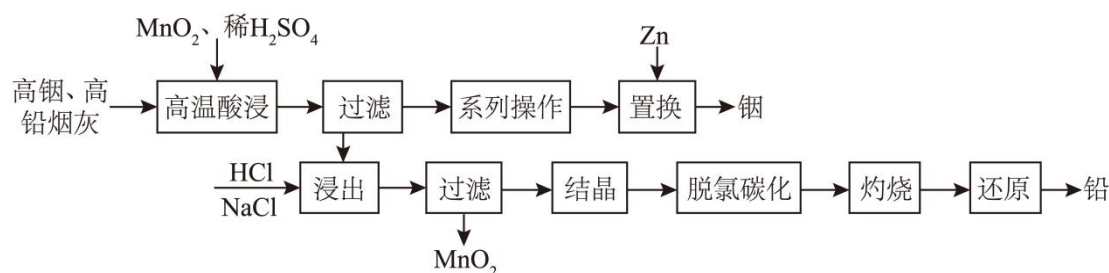
“精制 I”发生反应主要是硫酸铅转化为碳酸铅，离子方程式为 $\text{PbSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{PbCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 。

根据分析，净化液可返回盐浸工序循环使用。

【小问 5 详解】

电解制锰过程中， Mn^{2+} 在阴极得到电子生成 Mn ，则 a 为阴极，b 为阳极，阳极水失去电子生成氧气，则 b 极的电极反应式为 $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$ 。电解时需保持阴极室溶液 pH 不宜过低的原因是 pH 过低，电解液中 $c(\text{H}^+)$ 大，氧化性增强， H^+ 优先在阴极放电。

2. (2025 枣庄一模, 18) 某厂的高铟、高铅烟灰(In_2O_3 、 In_2S_3 、 PbO 、 Fe_2O_3 、 ZnO)可提取铟和铅，工艺流程如图：



已知：i. In^{3+} 与 Al^{3+} 性质相似，易水解。

ii. $K_{\text{sp}}(\text{PbCl}_2) = 3.2 \times 10^{-5}$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{PbCO}_3) = 1.2 \times 10^{-14}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Pb}(\text{OH})_2] = 2.0 \times 10^{-15}$ 。

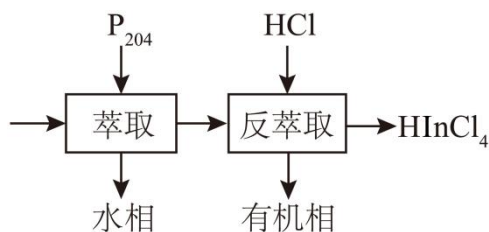
iii. In^{3+} 能被有机萃取剂 P_2O_4 (简称 H_2A_2) 萃取，其萃取原理可表示为 $\text{In}^{3+}(\text{水层}) + 3\text{H}_2\text{A}_2(\text{有机层}) \rightleftharpoons \text{InA}_3 \cdot 3\text{HA}(\text{有机层}) + 3\text{H}^+(\text{水层})$ 。

回答下列问题：

(1) “高温酸浸”后滤渣除二氧化锰外还有_____，该操作中硫元素被氧化为硫酸根， In_2S_3 反应的化学方程式为_____。

(2) 室温时，向结晶产物 PbCl_2 固体中加入 NH_4HCO_3 溶液，并加入氨水调节 pH 进行脱氯碳化。“脱氯碳化”过程中，为避免 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ 的生成，应将 pH 控制在_____以下；灼烧过程中，将 80.1mg PbCO_3 在氩气中加热分解(气体产物只有 CO_2)，316℃ 时，剩余固体的质量为 71.3mg，此时固体 $n(\text{Pb}) : n(\text{C}) =$ _____。

(3) “系列操作”含如下步骤：



①萃取前加入 Na_2SO_3 预处理可提高铟的纯度，可能的原因是_____。

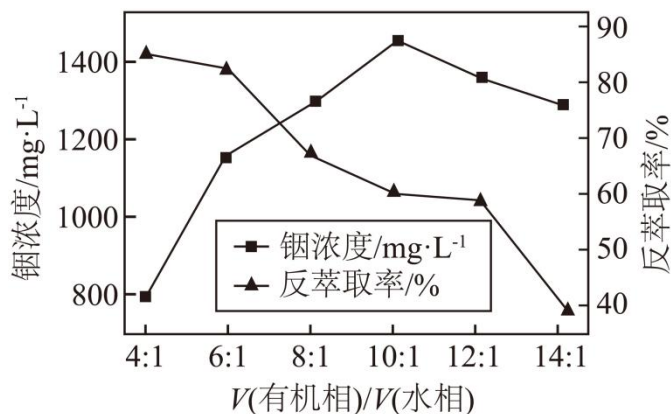
②关于萃取与反萃取，下列说法错误的是_____ (填标号)。

A. pH 越大萃取效果越好

B. 有机相经处理后可以循环利用

C. 萃取与反萃取原理相同，均利用了溶质在溶剂中溶解性的不同

③反萃取时，有机相与水相体积比和反萃取率、水相中铟浓度的关系如图所示，操作时选择有机相和水相的体积比为_____；所需玻璃仪器为_____。



【答案】 (1) ①. PbSO_4 ②. $\text{In}_2\text{S}_3 + 12\text{MnO}_2 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{高温}} \text{In}_2(\text{SO}_4)_3 + 12\text{MnSO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$

(2) ①. 7.5 ②. 3: 1

(3) ①. P_{204} 可以萃取 Fe^{3+} ，不能萃取 Fe^{2+} ， Na_2SO_3 还原 Fe^{3+} 为 Fe^{2+} ，防止 Fe^{3+} 被萃取 ②. AC ③. 4: 1

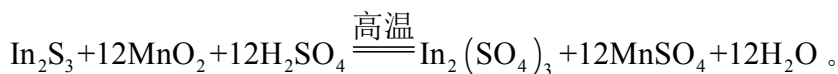
④. 烧杯、分液漏斗

【解析】

【分析】高铟、高铅烟灰(In_2O_3 、 In_2S_3 、 PbO 、 Fe_2O_3 、 ZnO)加入 MnO_2 和稀硫酸， PbO 转化 PbSO_4 ，浸取渣含有 PbSO_4 、 MnO_2 ，滤液中含有 In^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} ，萃取分离出有机液含 $\text{In}(\text{HA}_2)_3$ ，加盐酸反萃取得到溶液含 HInCl_4 ，置换时加 Zn 发生 $3\text{Zn} + 2\text{HInCl}_4 = 2\text{In} + 3\text{ZnCl}_2 + 2\text{HCl}$ ，从而得到海绵铟， PbSO_4 、 MnO_2 用 HCl 和 NaCl 混合溶液浸出，过滤得到 MnO_2 ， PbSO_4 转化为 PbCl_2 ，向结晶产物 PbCl_2 固体中加入 NH_4HCO_3 溶液，并加入氨水调节 pH 进行脱氯碳化，灼烧 PbCO_3 生成 PbO ，还原 PbO 得到 Pb ，以此来解答。

【小问 1 详解】

由分析可知，“高温酸浸”后滤渣除二氧化锰外还有 PbSO_4 ，该操作中硫元素被 MnO_2 氧化为硫酸根， MnO_2 转化为 Mn^{2+} ，根据得失电子守恒和原子守恒配平 In_2S_3 反应的化学方程式为：



【小问 2 详解】

“脱氯碳化”过程中， PbCl_2 转化为 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ 时，需要满足： $K_{\text{sp}}(\text{PbCl}_2) = K_{\text{sp}}[\text{Pb}(\text{OH})_2] \times \frac{c^2(\text{Cl}^-)}{c^2(\text{OH}^-)}$ ，

$$\frac{c^2(\text{Cl}^-)}{c^2(\text{OH}^-)} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{PbCl}_2)}{K_{\text{sp}}[\text{Pb}(\text{OH})_2]} = \frac{3.2 \times 10^{-5}}{2.0 \times 10^{-15}} = 1.6 \times 10^{10}，\text{PbCl}_2 \text{ 饱和溶液中 } 2c(\text{Cl}^-) = c(\text{Pb}^{2+})，\text{ 则 } c(\text{Cl}^-) =$$

$$2\sqrt[3]{\frac{K_{\text{sp}}(\text{PbCl}_2)}{4}} = 2\sqrt[3]{\frac{3.2 \times 10^{-5}}{4}} \text{ mol/L} = 4 \times 10^{-2} \text{ mol/L}，\text{ 则 } c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{(4 \times 10^{-2})^2}{1.6 \times 10^{10}}} \text{ mol/L} = 10^{-6.5} \text{ mol/L}，$$

$$c(\text{H}^+) = \frac{10^{-14}}{10^{-6.5}} \text{ mol/L} = 10^{-7.5} \text{ mol/L}，\text{ pH}=7.5，\text{ 则“脱氯碳化”过程中，为避免 } \text{Pb}(\text{OH})_2 \text{ 的生成，应将 pH 控制在 7.5 以下；}$$

$$80.1 \text{ mg PbCO}_3 \text{ 的物质的量为 } \frac{80.1 \times 10^{-3} \text{ g}}{267 \text{ g/mol}} = 3 \times 10^{-4} \text{ mol}，\text{ PbCO}_3 \text{ 在氩气中加热分解(气体产物只有 CO}_2\text{)，可得关系}$$

$$\text{式：PbCO}_3 \sim \text{CO}_2 \sim \text{PbO}，\text{ 故 } 316^\circ\text{C} \text{ 时固体减少的质量即生成 CO}_2 \text{ 的质量，} n(\text{CO}_2) = \frac{(80.1 - 71.3) \times 10^{-3} \text{ g}}{44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 2 \times 10^{-4} \text{ mol}，$$

$$\text{剩余固体中 } n(\text{Pb}):n(\text{C}) = (3 \times 10^{-4}) : (3 \times 10^{-4} - 2 \times 10^{-4}) = 3:1。$$

【小问 3 详解】

①萃取前加入 Na_2SO_3 预处理可提高铟的纯度，可能的原因是 P_{204} 可以萃取 Fe^{3+} ，不能萃取 Fe^{2+} ， Na_2SO_3 还原 Fe^{3+} 为 Fe^{2+} ，防止 Fe^{3+} 被萃取；

②A. pH 越大， $c(\text{OH}^-)$ 越大，可能导致 Fe^{3+} 转化为氢氧化铁胶体，吸附 In^{3+} 造成损失，A 错误；

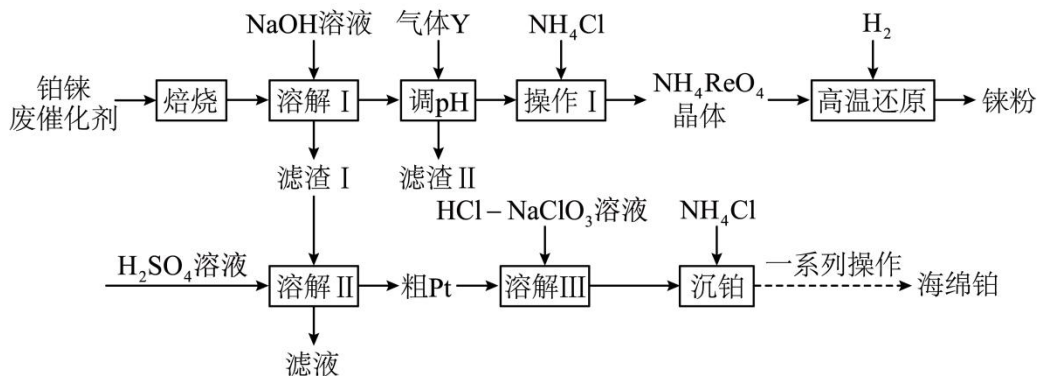
B. 有机相经反萃取处理后又生成有机萃取剂，可以循环利用，B 正确；

C. 加入 P_{204} 进行萃取，使 $\text{In}^{3+}(\text{水层}) + 3\text{H}_2\text{A}_2(\text{有机层}) \rightleftharpoons \text{InA}_3 \cdot 3\text{HA}(\text{有机层}) + 3\text{H}^+(\text{水层})$ 正向移动，加入 HCl 反萃取，使 $\text{In}^{3+}(\text{水层}) + 3\text{H}_2\text{A}_2(\text{有机层}) \rightleftharpoons \text{InA}_3 \cdot 3\text{HA}(\text{有机层}) + 3\text{H}^+(\text{水层})$ 逆向移动，应用了平衡移动的原理，与溶质在溶剂中溶解性无关，C 错误；

故选 AC；

③由图可知，反萃取中有机相和水相的体积比为 4:1 时，反萃取率较高，反萃取效果最好，然后经过分液分类出水相，所需玻璃仪器为烧杯、分液漏斗。

3. (2025 烟台德州东营一模，17) 一种铂铼废催化剂(Pt、Re，含 Al_2O_3 、 Fe_3O_4 、积碳等杂质)中金属元素的综合回收利用的工艺流程如下。



已知：①高铼酸铵(NH_4ReO_4)微溶于冷水，易溶于热水；

②室温下： $K_{\text{sp}}[(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6]=5.7\times 10^{-6}$ ， $\sqrt{57}\approx 7.5$ 。

回答下列问题：

- (1) “焙烧”的目的：①将铼转化为 Re_2O_7 ，②_____；“溶解 I”中含铼化合物发生反应的离子方程式为_____。
- (2) “滤渣 II”的成分为_____，“操作 I”为_____、过滤、洗涤、干燥。
- (3) “溶解 III”中反应的离子方程式为_____；“沉铂”时，若溶液中 $c([\text{PtCl}_6]^{2-})=0.1\text{mol/L}$ ，加入等体积 NH_4Cl 溶液， $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 完全沉淀($c\leq 1.0\times 10^{-5}\text{mol/L}$)所需 NH_4Cl 的最小浓度为_____mol/L(忽略溶液混合后体积的变化)。
- (4) “高温还原”时，工业上用价格稍贵的 H_2 ，而不选用廉价还原剂碳的原因是_____；理论上获得 3.72g 铼粉，需要标准状况下 H_2 的体积至少为_____L。

【答案】(1) ①. 除积碳 ②. $\text{Re}_2\text{O}_7+2\text{OH}^-=2\text{RO}_4^-+\text{H}_2\text{O}$

(2) ①. $\text{Al}(\text{OH})_3$ ②. 蒸发浓缩、冷却结晶

(3) ①. $3\text{Pt}+16\text{Cl}^-+2\text{ClO}_3^-+12\text{H}^+=3[\text{PtCl}_6]^{2-}+6\text{H}_2\text{O}$ ②. 1.7

(4) ①. 不引入杂质，便于分离提纯铼 ②. 1.568

【解析】

【分析】铂铼废催化剂(Pt、Re，含 Al_2O_3 、 Fe_3O_4 、积碳等杂质)焙烧除去积碳，铼转化为 Re_2O_7 ，加入 NaOH 溶液溶解 Al_2O_3 生成 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ ， Re_2O_7 转化为 NaReO_4 ，Pt、 Fe_3O_4 不和 NaOH 溶液反应过滤后存在于滤渣 I 中，向滤液中通过过量 CO_2 ，将 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ 转化为 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，过滤后存在于滤渣 II 中，向滤液中加入氯化铵溶液，得到 NH_4ReO_4 晶体，加入 H_2 高温还原得到铼粉，滤渣 I 用硫酸溶液溶解后，Pt 不溶于硫酸溶液，过滤得到粗 Pt，加入 HCl-NaCl 溶液溶解 Pt，加入 NH_4Cl 沉铂，经过一系列操作得到海绵铂。

【小问 1 详解】

由分析可知，“焙烧”的目的：①将铼转化为 Re_2O_7 ，②除积碳；“溶解 I”中 Re_2O_7 和 NaOH 反应转化为 NaReO_4 ，离子方程式为： $\text{Re}_2\text{O}_7+2\text{OH}^-=2\text{RO}_4^-+\text{H}_2\text{O}$ 。

【小问 2 详解】

由分析可知，“滤渣 II”的成分为 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，“操作 I”可以得到 NH_4ReO_4 晶体，为蒸发浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤、

干燥。

【小问 3 详解】

“溶解Ⅲ”中加入 HCl-NaCl 溶液溶解 Pt，生成 $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ 和 H_2O ，根据得失电子守恒和电荷守恒配平离子方程式为：

$3\text{Pt}+16\text{Cl}^-+2\text{ClO}_3^-+12\text{H}^+=3[\text{PtCl}_6]^{2-}+6\text{H}_2\text{O}$ ，“沉铂”时，若溶液中 $c([\text{PtCl}_6]^{2-})=0.1\text{mol/L}$ ，加入等体积 NH_4Cl 溶液， $[\text{PtCl}_6]^{2-}$

完全沉淀($c\leq 1.0\times 10^{-5}\text{mol/L}$)时溶液中 $c(\text{NH}_4^+)=\sqrt{\frac{K_{\text{sp}}[(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6]}{c([\text{PtCl}_6]^{2-})}}=\sqrt{\frac{5.7\times 10^{-6}}{1.0\times 10^{-5}}}\text{mol/L}=0.75\text{mol/L}$ ，则所需

NH_4Cl 的最小浓度为 $\frac{0.1\text{mol/L}\times 2V+0.75\text{mol/L}\times 2V}{V}=1.7\text{mol/L}$ 。

【小问 4 详解】

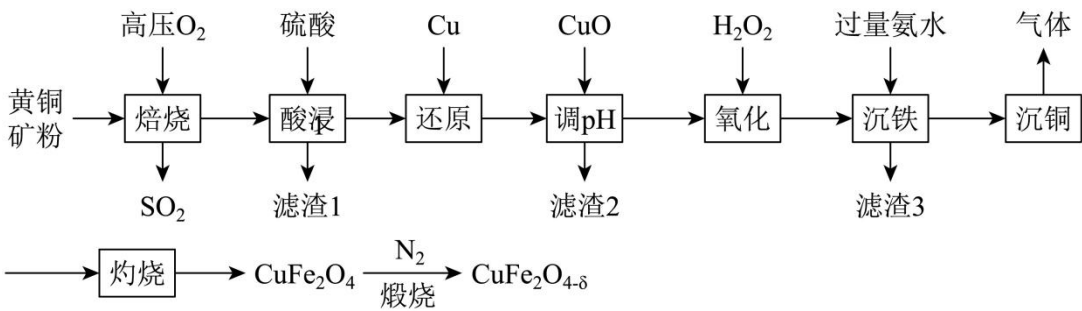
“高温还原”时，工业上用价格稍贵的 H_2 ，而不选用廉价还原剂碳的原因是：不引入杂质，便于分离提纯铼；根据反

应方程式： $2\text{NH}_4\text{ReO}_4+7\text{H}_2\overset{\text{高温}}{\longrightarrow}2\text{Re}+2\text{NH}_3+8\text{H}_2\text{O}$ ，理论上获得 3.72g 铼粉， $n(\text{Re})=\frac{3.72\text{g}}{186\text{g/mol}}=0.02\text{mol}$ ，需要标准

状况下 H_2 的体积至少为 $0.07\text{mol}\times 22.4\text{L/mol}=1.568\text{L}$ 。

4. (2025 泰安一模, 18) 氧缺位体 ($\text{CuFe}_2\text{O}_{4-\delta}$) 是热化学循环分解水制氢的催化剂。一种以黄铜矿(主要成分是 CuFeS_2 ，

含 Al_2O_3 、 SiO_2 等杂质) 为原料制备 $\text{CuFe}_2\text{O}_{4-\delta}$ 的流程如下：



已知：

①酸浸后溶液中的金属离子有 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 和 Fe^{3+} 。

②25℃时，几种金属离子沉淀的 pH 如表所示：

金属氢氧化物	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_2$
开始沉淀的 pH	1.9	3.4	6.4	7.0
完全沉淀的 pH	3.2	4.7	7.6	9.0

回答下列问题：

(1) CuFeS_2 “焙烧”时生成三种氧化物（其中 Fe 的氧化物形式为 Fe_3O_4 ），其化学方程式为_____。

(2) 加 Cu “还原”的目的是_____；加 CuO 调 pH 范围为_____；滤渣 2 的主要成分有_____。

(3) 流程中可以循环利用的物质是_____；滤渣 3 可以用于_____操作单元。

(4)在 N_2 中充分煅烧 $CuFe_2O_4$ 制备氧缺位体 ($CuFe_2O_{4-\delta}$)，若氧缺位体质量为原质量的 96.6%，则氧缺位体中 +3，+2 铁元素物质的量之比为_____。

(5)氧缺位体分解水制氢分两步：

第一步_____（完成方程式）；

第二步： $2CuFe_2O_4 = 2CuFe_2O_{4-\delta} + \delta O_2 \uparrow$ 。

【答案】(1) $6CuFeS_2 + 19O_2 \xrightarrow{\text{焙烧}} 6CuO + 2Fe_3O_4 + 12SO_2$

(2) 将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ，防止 Fe^{3+} 在调 pH 时变成 $Fe(OH)_3$ 而除去 $4.7 \leq pH < 6.4$ Cu 和 $Al(OH)_3$

(3) NH_3 灼烧

(4)49：51

(5) $CuFe_2O_{4-\delta} + \delta H_2O = CuFe_2O_4 + \delta H_2 \uparrow$

【分析】氧气具有氧化性，已知，酸浸后溶液中的金属离子有 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 和 Fe^{3+} ， $CuFeS_2$ “焙烧”时生成三种氧化物，结合质量守恒可知，“焙烧”中黄铜矿的 $CuFeS_2$ 与氧气反应生成 SO_2 、 CuO 、 Fe_3O_4 ，加入硫酸将金属氧化物转化相应硫酸盐溶液，滤渣 1 为不反应的二氧化硅，加入 Cu 还原铁离子为 Fe^{2+} ，加入 CuO 调 pH 使 Al^{3+} 完全沉淀，而 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 不沉淀，滤渣 2 主要成分是氢氧化铝沉淀，含少量铜、氧化铜；加入过氧化氢将亚铁离子氧化为铁离子，加入过量氨水反应生成 $[Cu(NH_3)_4]SO_4$ ， Fe^{3+} 与弱碱氨水反应生成 $Fe(OH)_3$ 沉淀， $[Cu(NH_3)_4]SO_4$ 经系列操作生成 CuO ，灼烧时 CuO 与氢氧化铁反应生成 $CuFe_2O_4$ ，在氮气做保护气下煅烧生成 $CuFe_2O_{4-\delta}$ ，以此解答。

【详解】(1) 由分析可知， $CuFeS_2$ “焙烧”时生成三种氧化物（其中 Fe 的氧化物形式为 Fe_3O_4 ），结合质量守恒可知，另外两种氧化物为 SO_2 、 CuO ，根据得失电子守恒和原子守恒配平化学方程式为：

$6CuFeS_2 + 19O_2 \xrightarrow{\text{焙烧}} 6CuO + 2Fe_3O_4 + 12SO_2$ 。

(2) 还原流程后调 pH 使得 Al^{3+} 完全沉淀，而 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 不沉淀，由于铁离子会较铝离子首先沉淀，故加 Cu “还原”的目是将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ，防止 Fe^{3+} 在调 pH 时变成 $Fe(OH)_3$ 而除去。加 CuO 调 pH 的范围为 $4.7 \leq pH < 6.4$ ，这是为了 Al^{3+} 完全沉淀，而 Cu^{2+} 和 Fe^{2+} 不沉淀。滤渣 2 的主要成分是过量的 Cu 和 $Al(OH)_3$ 。

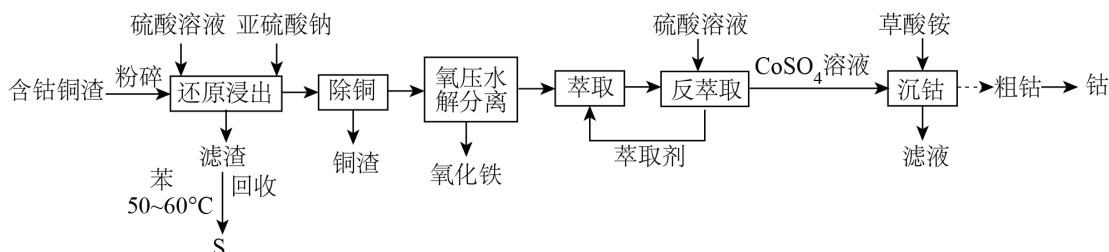
(3) “沉铁”时加入过量的氨水， $CuSO_4$ 和氨水反应生成 $[Cu(NH_3)_4]SO_4$ ，“沉铜”过程中需要让 Cu^{2+} 转化为 $Cu(OH)_2$ 沉淀，这个过程中会有 NH_3 生成， NH_3 溶于水得到氨水，可以在“沉铁”时循环利用；滤渣 3 是 $Fe(OH)_3$ ，可以用于“灼烧”步骤和 CuO 反应生成 $CuFe_2O_4$ 。

(4) 在 N_2 中充分煅烧 $CuFe_2O_4$ 制备氧缺位体 ($CuFe_2O_{4-\delta}$)，若氧缺位体质量为原质量的 96.6%，说明 δ 个 O 的质量占总质量的 96.6%，则 $\frac{16\delta}{64+56 \times 2 + 16 \times 4} \times 100\% = 1 - 96.6\%$ ，解得 δ 为 0.51，则 $CuFe_2O_4$ 煅烧后得到 $CuFe_2O_{3.49}$ ，设其中 Fe^{3+} 的个数为 x， Fe^{2+} 的个数为 y，则 $x + y = 2$ 、 $2 + 3x + 2y = 3.49 \times 2$ ，解得 $x = 0.98$ 、 $y = 1.02$ ，则氧缺位体中 +3，+2 铁元素

物质的量之比为 49: 51。

(5) 第一步是氧缺位体与水反应生成氢气和完全氧化的 CuFe_2O_4 ，第二步是 CuFe_2O_4 在高温下分解生成氧缺位体和氧气，方程式为： $\text{CuFe}_2\text{O}_{4-\delta} + \delta\text{H}_2\text{O} = \text{CuFe}_2\text{O}_4 + \delta\text{H}_2 \uparrow$ 。

5. (2025 烟潍坊一模, 18) 钴及其化合物广泛应用于磁性材料、电池材料等领域。一种用某含钴铜渣(主要成分 Co 和 Cu ，含 Co_3S_4 、 CuO 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 等) 制备 Co 单质的流程如下：

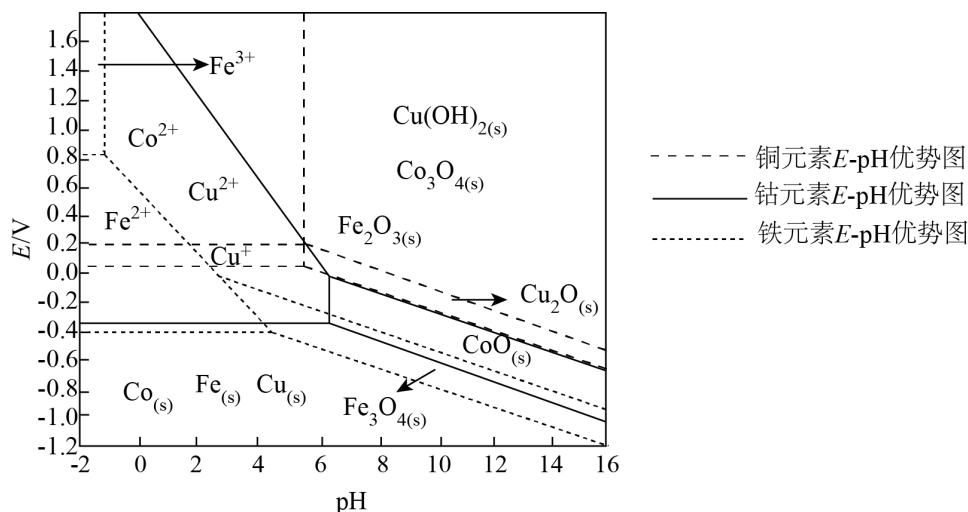


已知：①酸性条件下 Co^{3+} 有氧化性；

②当反应的平衡常数 $K > 10^5$ 时，可以认为反应进行完全； $K_{\text{sp}}(\text{CoC}_2\text{O}_4) = 10^{-8.48}$ ，草酸的电离常数 $K_{\text{a1}} = 5.6 \times 10^{-2}$, $K_{\text{a2}} = 1.5 \times 10^{-4}$ 。

回答下列问题：

- (1) Co_3S_4 具有磁性， Co_3S_4 中 Co 的化合价为_____；“还原浸出”中加入亚硫酸钠的作用是_____。
- (2) 回收 S 时，温度控制在 $50 \sim 60^\circ\text{C}$ 之间，原因是_____。
- (3) 在“除铜”操作中，通过控制体系酸度和电位可实现将溶液中的 Cu^{2+} 转化为 $\text{Cu}(\text{s})$ 而除去，符合要求的反应体系是_____。



- $\text{pH} = 1.5, E = 0\text{V}$
- $\text{pH} = 4, E = 0.4\text{V}$
- $\text{pH} = 8, E = 0.2\text{V}$
- $\text{pH} = -1, E = 0.1\text{V}$

(4) “氧压水解分离”发生反应的离子方程式为_____。

(5) 可通过电解精炼粗钴制取钴单质, 用硫酸钴溶液作为电解质, 控制阴极室 pH 为 3~5 之间, 若 pH 过低, 会影响产率, 原因是_____。

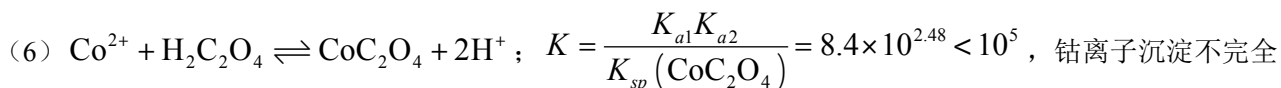
(6) “沉钴”时, 若用草酸代替草酸铵溶液、试通过计算来说明草酸能否实现完全沉钴_____。

【答案】(1) ①. +3,+2 ②. 还原 Co^{3+} 和 Fe^{3+}

(2) 温度过高苯易挥发, 温度过低硫的溶解速率(或溶解度)小 (3) A



(5) H^+ 浓度大, 先于 Co^{2+} 放电



【解析】

【分析】“还原浸出”过程将金属氧化物溶解, 并且将三价钴和三价铁还原为二价钴和二价铁, 同时生成 S, 二氧化硅不溶于酸, 滤渣为 S 和 SiO_2 , 然后将 Cu^{2+} 还原为 Cu 除去, 再把 Fe^{2+} 氧化为氧化铁沉淀除去, 最后将 Co^{2+} 还原为 Co。

【小问 1 详解】

Co_3S_4 中 S 为 -2 价, Co 的化合价为 +3,+2; “还原浸出”中加入亚硫酸钠的作用是还原 Co^{3+} 和 Fe^{3+} 。

【小问 2 详解】

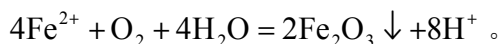
滤渣中包括 S 和二氧化硅, 用苯萃取滤渣可回收 S, 为保证萃取分离速度和效率, 需要温度控制在 $50 \sim 60^\circ\text{C}$ 之间, 原因是温度过高苯易挥发, 温度过低硫的溶解速率(或溶解度)小。

【小问 3 详解】

在“除铜”操作中, 通过控制体系酸度和电位可实现将溶液中的 Cu^{2+} 转化为 Cu(s) 而除去, 符合要求的反应体系是 $\text{pH} = 1.5, E = 0\text{V}$, 故答案为 A。

【小问 4 详解】

据分析, “氧压水解分离”是把 Fe^{2+} 氧化为氧化铁沉淀除去, 发生反应的离子方程式为



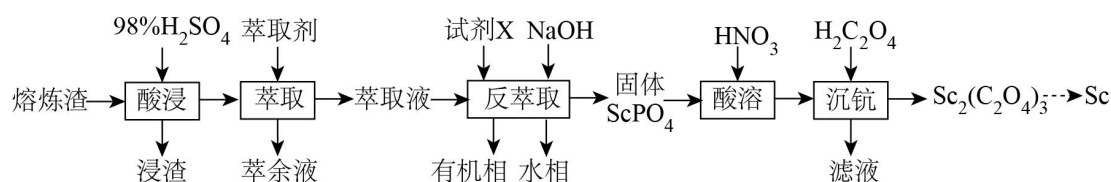
【小问 5 详解】

可通过电解精炼粗钴制取钴单质, 用硫酸钴溶液作为电解质, 控制阴极室 pH 为 3~5 之间, 若 pH 过低, 会影响产率, 原因是 H^+ 浓度大, 先于 Co^{2+} 放电。

【小问 6 详解】

$\text{Co}^{2+} + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons \text{CoC}_2\text{O}_4 + 2\text{H}^+$; $K = \frac{K_{a1}K_{a2}}{K_{sp}(\text{CoC}_2\text{O}_4)} = 8.4 \times 10^{2.48} < 10^5$, 钴离子沉淀不完全。

6. (2025 日照一模, 19) 以赤泥熔炼渣(主要成分为 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 CaO , 少量 Sc_2O_3)为原料分离稀土元素钪(Sc)的一种工艺流程如下:



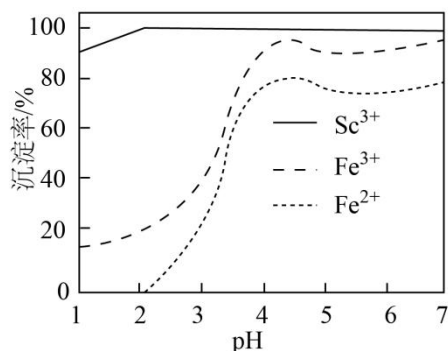
已知: ①萃取剂为磷酸三丁酯、磷酸二丁酯和磺化煤油; ② Sc^{3+} 的氧化性很弱。

回答下列问题:

(1)“浸渣”的主要成分为_____ (填化学式)。

(2)“反萃取”的目的是分离 Sc 和 Fe 元素。向“萃余液”中加入 NaOH, (Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Sc^{3+})的沉淀率随 pH 的变化如图。

试剂 X 为_____ (填 Na_2SO_3 或 NaClO), 应调节 pH 最佳为_____。



(3)已知 $\text{Sc}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ 难溶于水, 难溶于酸; $K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=a$, $K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=b$, $K_{sp}[\text{Sc}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3]=c$, “沉钪”时, 发生反应:

$2\text{Sc}^{3+}+3\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4=\text{Sc}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3\downarrow+6\text{H}^+$, 此反应的平衡常数 $K=_____$ 。(用含 a、b、c 代数式表示)

(4) $\text{Sc}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ 经系列操作可得 $\text{ScCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{ScCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 加热脱水时生成 ScOCl 的化学方程式为_____。

(5)在一定条件下, 一种物质在两种互不相溶的溶剂 A、B 中的浓度之比是一个常数(分配系数 K_d) $K_d = \frac{c(A)}{c(B)}$; 萃取

率 = $\frac{n_{\text{有机物}}(X)}{n_{\text{总}}(X)} \times 100\%$ 。萃取 Sc 的过程中, 若 Sc 元素的分配系数 $K_d = \frac{c(\text{有机相})}{c(\text{水相})} = 7.5$, 取 100mL 含钪的溶液, 一次

性加入 60mL 萃取剂, 则 Sc 的萃取率为_____%(保留到小数点后一位, 下同); 若将 60mL 萃取剂分成 3 次萃取, 每次用 20mL, 则最后一次水层中钪的残留率为_____%。

【答案】(1) CaSO_4 、 SiO_2

(2) Na_2SO_3 2

(3) $\frac{a^3b^3}{c}$

(4) $\text{ScCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{ScOCl} + 2\text{HCl}\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$

(5) 81.8 6.4

【分析】熔炼渣主要成分为 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 CaO ，少量 Sc_2O_3 ，其中二氧化硅不溶，氧化钙和硫酸反应生成硫酸钙，故“浸渣”的主要成分为 CaSO_4 、 SiO_2 ； Fe_2O_3 和 Sc_2O_3 和硫酸反应生成相应的盐，随后用萃取剂萃取，将钪元素和铁元素分类出来，加入试剂 X 将三价铁还原为二价铁，加入氢氧化钠实现钪和铁的分离，过滤后加入硝酸溶解，随后加入草酸沉钪，处理后得到单质钪，以此解题。

【详解】（1）熔炼渣主要成分为 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 CaO ，少量 Sc_2O_3 ，其中二氧化硅不溶，氧化钙和硫酸反应生成硫酸钙，故“浸渣”的主要成分为 CaSO_4 、 SiO_2 ；

（2）由图可知，二价铁更容易和 Sc 分离，故试剂 X 应该是将三价铁转化为二价铁，则试剂 X 为 Na_2SO_3 ；由图可知，pH 为 2 时，二价铁没有沉淀，Sc 的沉淀率已经很大，故应调节 pH 最佳为 2；

（3）已知 $K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=a$ ， $K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=b$ ， $K_{sp}[\text{Sc}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3]=c$ ，则结合平衡常数的定义可知反应

$$2\text{Sc}^{3+}+3\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4=\text{Sc}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3+6\text{H}^+\text{的平衡常数 } K=\frac{[K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)\cdot K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)]^3}{K_{sp}[\text{Sc}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3]}=\frac{a^3b^3}{c}；$$

（4） $\text{ScCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 沉淀在高温脱水的过程中， ScCl_3 发生了水解反应，方程式为： $\text{ScCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}\xrightarrow{\Delta}\text{ScOCl}+2\text{HCl}\uparrow+5\text{H}_2\text{O}$ ；

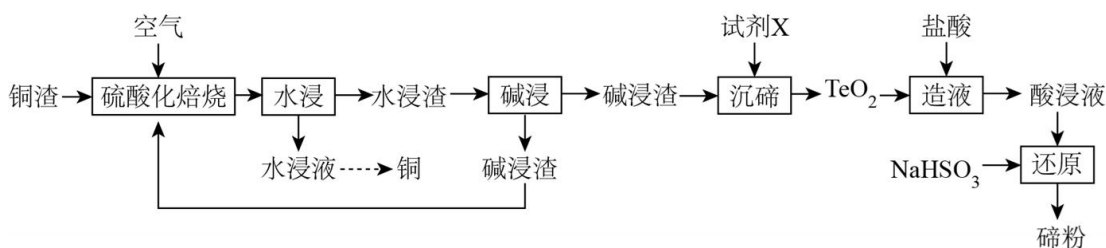
（5）设 100mL 含 Sc 的溶液中 Sc 的物质的量为 a mol，一次性加入 60mL 萃取剂，其中可以萃取的 Sc 的物质的量为 xmol，则 $K_d=\frac{\frac{x}{60\times 10^{-3}}}{\frac{a-x}{100\times 10^{-3}}}=7.5$ ，解得 $x=0.818a$ ，Sc 的萃取率= $\frac{n_{\text{有机物}}(\text{X})}{n_{\text{总}}(\text{X})}\times 100\%=\frac{0.818a}{a}\times 100\%=81.8\%$ ；

若将 60mL 萃取剂分成 3 次萃取，每次用 20mL，设 100mL 含 Sc 的溶液中 Sc 的物质的量为 a mol，一次性加入 20mL 萃取剂，其中可以萃取的 Sc 的物质的量为 xmol，则 $K_d=\frac{\frac{x}{20\times 10^{-3}}}{\frac{a-x}{100\times 10^{-3}}}=7.5$ ，解得 $x=0.6a$ ，Sc 的萃取率

$$=\frac{n_{\text{有机物}}(\text{X})}{n_{\text{总}}(\text{X})}\times 100\%=\frac{0.6a}{a}\times 100\%=60\%，\text{钪的残留率为 } 1-60\%=40\%，\text{没有每次萃取时，使用的萃取剂体积都是 } 20\text{mL}，$$

则每次的萃取率相同，故最后一次水层中钪的残留率= $40\%\times 40\%\times 40\%=6.4\%$ 。

7. （2025 青岛一模，18）碲(Te)是重要的半导体材料，被誉为“现代工业、国防与尖端技术的维生素”。工业上以电解精炼铜渣(含 Cu、 Cu_2Te)为主要原料提取 Te 和 Cu 的工艺流程如下：



已知：二氧化碲(TeO_2)为两性氧化物，难溶于水，碱性条件下转化为 TeO_3^{2-} 。回答下列问题。

（1）碲在元素周期表中的位置为_____。

“硫酸化焙烧”及“水浸”试验结果如下表所示：

编号	焙烧温度 /℃	硫酸加入比例	水浸渣		
			渣率 /%	Cu 含量 /%	Te 含量 /%
1	500	1.5	62	20.89	50.09
2	500	1.2	60	24.21	51.74
3	450	1.5	50	4.98	62.02
4	450	1.2	52	9.44	59.67
5	400	1.5	59	17.81	52.72
6	400	1.2	55	23.80	56.58
注：硫酸加入比例为硫酸实际加入量与理论加入量的比值					

(2) “硫酸化焙烧”过程中焙烧温度与硫酸加入比例最佳条件为_____ (填编号)。

(3) “碱浸渣”能循环利用的原因为_____。“硫酸化焙烧” Cu_2Te 反应的化学方程式为_____。

(4) “试剂 X”可选用_____ (填标号), “沉碲”反应的离子方程式为_____。

A. H_2SO_4 B. NaOH C. 氨水

(5) 若生产得到“碲粉”2.56t, 理论上至少需加入纯度为 93.6%的 NaHSO_3 固体的质量为_____t(保留两位小数)。

【答案】 (1) 第 5 周期 VIA 族

(2) 3 (3) ①. “硫酸化焙烧”不充分 ②. $\text{Cu}_2\text{Te} + 2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{焙烧}} \text{TeO}_2 + 2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

(4) ①. A ②. $\text{TeO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{TeO}_2 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$

(5) 4.44

【解析】

【分析】含有 Cu、 Cu_2Te 的铜渣硫酸化焙烧发生反应 $\text{Cu}_2\text{Te} + 2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{焙烧}} \text{TeO}_2 + 2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ 、
 $2\text{Cu} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{焙烧}} 2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, 水浸后过滤水浸液为硫酸铜溶液, 水浸渣主要成分为 TeO_2 , 碱浸使得 TeO_2 转化为 TeO_3^{2-} , 向含有 TeO_3^{2-} 的溶液中加入强酸发生反应 $\text{TeO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{TeO}_2 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$, 过滤得到的 TeO_2

与盐酸发生反应 $\text{TeO}_2 + 2\text{HCl} = \text{TeCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ，向 TeCl_4 溶液中加入 NaHSO_3 将 TeCl_4 还原为 Ti 。

【小问 1 详解】

碲原子核外 52 个电子，核外电子排布式为 $[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^4$ ，位于元素周期表第 5 周期ⅥA 族，故答案为：第 5 周期ⅥA 族；

【小问 2 详解】

“硫酸化焙烧”及“水浸”过程中 Cu 含量越低越好，Te 含量越高越好，对比所给 6 组数据，第 3 组 Cu 含量最低，Te 含量最高，第 3 组温度与硫酸加入比例为最佳条件，故答案为：3；

【小问 3 详解】

“硫酸化焙烧”若不充分，水浸渣中含有的未反应 Cu、 Cu_2Te ，碱浸后的滤渣不反应的 Cu、 Cu_2Te 可循环到“硫酸化焙烧”再利用；“硫酸化焙烧” Cu_2Te 发生反应 $\text{Cu}_2\text{Te} + 2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{焙烧}} \text{TeO}_2 + 2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ，故答案为：

“硫酸化焙烧不充分： $\text{Cu}_2\text{Te} + 2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{焙烧}} \text{TeO}_2 + 2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ；

【小问 4 详解】

“沉碲”过程加入强酸将 TeO_3^{2-} 转化为 TeO_2 ，发生反应为 $\text{TeO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{TeO}_2 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ，故答案为：A；

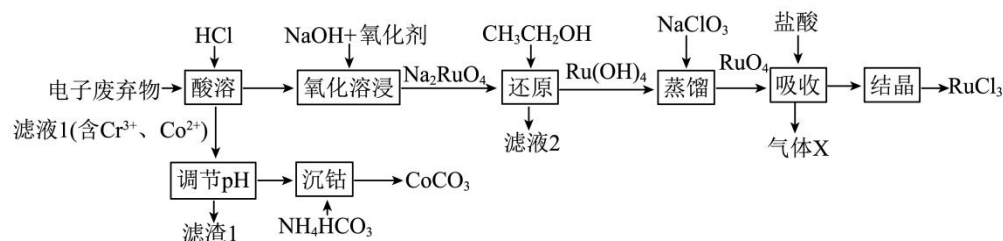
$\text{TeO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{TeO}_2 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ；

【小问 5 详解】

根据电子守恒列关系式 $\frac{2\text{NaHSO}_3}{208} \sim \frac{\text{Te}}{128}$ ， $\frac{208}{a \times 93.6\%} = \frac{128}{2.56}$ 解得 $a \approx 4.44$ ，故答案为：4.44。

8. （2025 聊城一模，18）铂族金属钌（Ru）广泛用于航天航空、石油化学、信息传感工业、制药等高科技领域。

以下工艺实现了电子废弃物中铂族金属钌（Ru）的回收利用，电子废弃物主要成分为 Ru、Co、Cr、Si 等物质。



已知：① $\lg 4 = 0.6$ ② $K_{sp}[\text{Cr}(\text{OH})_3] = 6.4 \times 10^{-31}$ ， $K_{sp}[\text{Co}(\text{OH})_2] = 1.8 \times 10^{-15}$ 。

（1）“氧化溶浸”步骤，两种氧化剂在不同温度下对渣率和钌浸出率的影响分别如图 1、图 2 所示，则最佳反应温度为_____，适宜选择的氧化剂为_____，反应的离子方程式为_____。

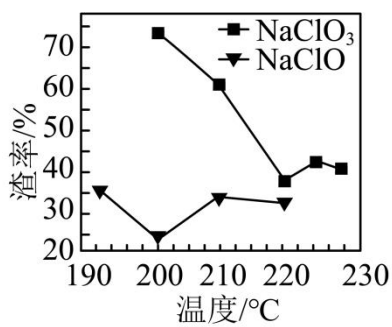


图1

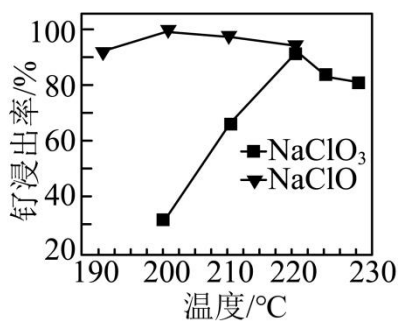


图2

(2) “还原”步骤， $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 的氧化产物为 CH_3COO^- ，则氧化剂和还原剂的物质的量之比为____，滤液 2 中的主要成分有 NaCl 、 CH_3COONa 、____。

(3) 蒸馏时，所用到的玻璃仪器有酒精灯、冷凝管、锥形瓶、温度计____。

(4) 滤液 1 中含 Cr^{3+} 和 Co^{2+} 的浓度分别为 520mg/L 、 10.62mg/L ，“调节 pH”步骤 pH 的范围为____。[已知：当 $c(\text{M}^{n+}) \leq 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，可认为 M^{n+} 已经沉淀完全]

【答案】(1) ①. 200°C ②. NaClO ③. $\text{Ru} + 2\text{OH}^- + 3\text{ClO}^- = \text{RuO}_4^{2-} + 3\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$

(2) ①. 2:1 ②. Na_2SiO_3

(3) 蒸馏烧瓶和牛角管

(4) $5.6 \leq \text{pH} < 8.5$

【解析】

【分析】电子废弃物主要成分为 Ru、Co、Cr、Si 等物质，酸溶后过滤得到含有 Cr^{3+} 和 Co^{2+} 的滤液 1，滤渣含有 Ru 和 Si，滤液 1 调节 pH 沉淀 Cr^{3+} 得到滤渣 1 为 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀，过滤后向滤液中加入 NH_4HCO_3 沉钴得到 CoCO_3 ，滤渣用 NaOH 和氧化剂反应，得到 Na_2SiO_3 和 Na_2RuO_4 ， Na_2RuO_4 用乙醇还原得到 $\text{Ru}(\text{OH})_4$ 沉淀和滤液 2，滤液 2 中有 NaCl 、 CH_3COONa 和 Na_2SiO_3 ， $\text{Ru}(\text{OH})_4$ 再用 NaClO_3 氧化，经过蒸馏得到 RuO_4 ， RuO_4 具有氧化性，与盐酸反应得到 RuCl_3 溶液和 Cl_2 ，气体 X 为 Cl_2 ， RuCl_3 溶液结晶得到 RuCl_3 晶体，以此解答。

【小问 1 详解】

“氧化溶浸”步骤，钌被氧化为 Na_2RuO_4 ，要求钌的浸出率高，渣率低，选择最佳温度为 200°C 和 NaClO 做氧化剂； ClO^- 被还原为 Cl^- ，Ru 被氧化为 RuO_4^{2-} 离子，反应的离子方程式为： $\text{Ru} + 2\text{OH}^- + 3\text{ClO}^- = \text{RuO}_4^{2-} + 3\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ ；

【小问 2 详解】

“氧化溶浸”的溶液中有 NaCl 、 Na_2RuO_4 和 Na_2SiO_3 ，用乙醇还原 Na_2RuO_4 ，氧化剂为 Na_2RuO_4 ，还原剂为乙醇，得到 $\text{Ru}(\text{OH})_4$ 沉淀和 CH_3COO^- ，根据得失电子守恒，氧化剂与还原剂的物质的量之比为：2:1；滤液 2 中有 NaCl 、 CH_3COONa 和 Na_2SiO_3 ；

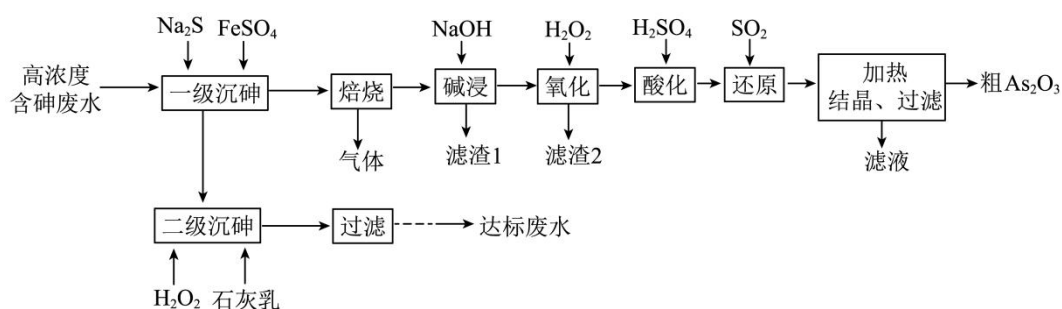
【小问 3 详解】

蒸馏需要的仪器有酒精灯、冷凝管、锥形瓶、温度计、蒸馏烧瓶和牛角管等；

【小问 4 详解】

滤液 1 中含 Cr^{3+} 和 Co^{2+} 的浓度分别为 520mg/L 、 10.62mg/L ，“调节 pH”让 Cr^{3+} 沉淀， Co^{2+} 不沉淀， Cr^{3+} 浓度为 10^{-5}mol/L 时沉淀完全， $K_{\text{sp}}[\text{Cr}(\text{OH})_3]=c(\text{Cr}^{3+})\times c^3(\text{OH}^-)=1\times 10^{-5}\times c^3(\text{OH}^-)=6.4\times 10^{-31}$ ，得出 $c(\text{OH}^-)=4\times 10^{-9}\text{mol/L}$ ， $c(\text{H}^+)=2.5\times 10^{-6}\text{mol/L}$ ， $\text{pH}=5.6$ ， Co^{2+} 浓度为 $10.62\text{mg/L}=\frac{10.62\times 10^{-3}\text{g}}{59\text{g/mol}}=1.8\times 10^{-4}\text{mol/L}$ ， Co^{2+} 开始沉淀时， $K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2]=c(\text{Co}^{2+})\times c^2(\text{OH}^-)=1.8\times 10^{-4}\times c^2(\text{OH}^-)=1.8\times 10^{-15}$ ，得出 $c(\text{OH}^-)=1\times 10^{-5.5}\text{mol/L}$ ， $c(\text{H}^+)=1\times 10^{-8.5}\text{mol/L}$ ， $\text{pH}=8.5$ ，故 pH 范围为： $5.6\leq \text{pH}<8.5$ ；

9.（2025 济宁一模，19）某工业废水中砷元素主要以亚砷酸(H_3AsO_3)形式存在，可用化学沉降法处理酸性高浓度含砷废水，并提取粗 As_2O_3 的工艺流程如图所示。



已知：Ⅰ.“一级沉砷”后滤渣为 As_2S_3 和 FeS ，“焙烧”过程中残留少量 As_2S_3 。

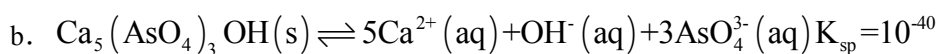
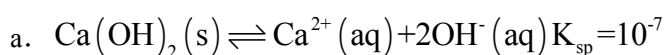
Ⅱ. As_2S_3 与过量的 S^{2-} 存在反应： $\text{As}_2\text{S}_3+3\text{S}^{2-}=2\text{AsS}_3^{3-}$ ， $\text{As}_2\text{S}_3+6\text{NaOH}=\text{Na}_3\text{AsO}_3+\text{Na}_3\text{AsS}_3+3\text{H}_2\text{O}$ 。

回答下列问题：

(1) 写出亚砷酸转化为 As_2S_3 的离子方程式_____， FeSO_4 的作用为_____。

(2) 滤渣 2 的成分为_____。

(3) “二级沉砷”过程中石灰乳的作用是，在一定温度下将砷元素转化为 $\text{Ca}_5(\text{AsO}_4)_3\text{OH}$ 沉淀，主要反应有：

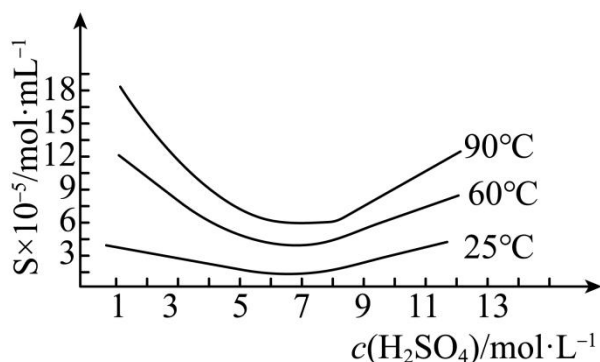


加入石灰乳调溶液中 $c(\text{OH}^-)=0.01\text{mol/L}$ ，此时溶液中 $c(\text{AsO}_4^{3-})=$ _____(已知： $10^{1/3}=2.15$)。

(4) “还原”过程发生反应的化学方程式_____。

(5) 从综合利用的角度看，可循环利用的物质为_____。

(6) As_2O_3 在不同温度 and 不同浓度硫酸中的溶解度(S)曲线如图所示。为了提高粗 As_2O_3 的产率，结晶过程中应控制的条件为_____。



【答案】 (1) ①. $2\text{H}_3\text{AsO}_3 + 3\text{S}^{2-} + 6\text{H}^+ = \text{As}_2\text{S}_3 \downarrow + 6\text{H}_2\text{O}$ ②. 与过量的 S^{2-} 结合生成 FeS 沉淀, 防止 As_2S_3 与 S^{2-}

结合生成 AsS_3^{3-} (与过量的 S^{2-} 结合生成 FeS 沉淀, 使平衡左移, 提高沉砷效果)

(2) S (3) $2.15 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$

(4) $\text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$

(5) SO_2 和 H_2SO_4

(6) 调硫酸浓度约为 7 mol/L , 冷却至 25°C

【解析】

【分析】某工业废水中砷元素主要以亚砷酸(H_3AsO_3)形式存在, 加入 Na_2S 、 FeSO_4 , “一级沉砷”后滤渣为 As_2S_3 和 FeS , 其中 FeSO_4 可除去过量的 S^{2-} 生成 FeS , 滤渣焙烧后产生 SO_2 气体、 Fe_2O_3 固体、 As_2O_3 固体和少量 As_2S_3 固体, 固体用 NaOH 溶液处理, As_2O_3 和 As_2S_3 转化为 Na_3AsO_3 、 Na_3AsS_3 , Fe_2O_3 不和 NaOH 溶液反应, 过滤后存在于滤渣 1 中, 向滤液中加入 H_2O_2 溶液将 Na_3AsO_3 、 Na_3AsS_3 氧化为 Na_3AsO_4 和 S 单质, 滤液 2 是 S , 滤液酸化后得到 H_3AsO_4 , H_3AsO_4 被 SO_2 还原生成 H_3AsO_3 , “二级沉砷”过程中石灰乳的作用是, 在一定温度下将砷元素转化为 $\text{Ca}_5(\text{AsO}_4)_3\text{OH}$ 沉淀, 以此解答。

【小问 1 详解】

“一级沉砷”中 H_3AsO_3 和 Na_2S 发生氧化还原反应生成 As_2S_3 沉淀和水, 根据得失电子守恒和电荷守恒配平离子方程式为: $2\text{H}_3\text{AsO}_3 + 3\text{S}^{2-} + 6\text{H}^+ = \text{As}_2\text{S}_3 \downarrow + 6\text{H}_2\text{O}$, FeSO_4 的作用为: 与过量的 S^{2-} 结合生成 FeS 沉淀, 防止 As_2S_3 与 S^{2-} 结合生成 AsS_3^{3-} (与过量的 S^{2-} 结合生成 FeS 沉淀, 使平衡左移, 提高沉砷效果)。

【小问 2 详解】

由分析可知, 滤渣 2 的成分为 S 。

【小问 3 详解】

加入石灰乳调溶液中 $c(\text{OH}^-) = 0.01 \text{ mol/L}$, 由方程式 a 可知 $c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}[\text{Ca}(\text{OH})_2]}{c^2(\text{OH}^-)} = \frac{10^{-7}}{10^{-4}} \text{ mol/L} = 10^{-3} \text{ mol/L}$,

由方程式 b 可知, 此时溶液中

$$c(\text{AsO}_4^{3-}) = \sqrt[3]{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Ca}_5(\text{AsO}_4)_3\text{OH}]}{c^5(\text{Ca}^{2+})c(\text{OH}^-)}}(\text{s}) = \sqrt[3]{\frac{10^{-40}}{10^{-2} \times (10^{-3})^5}} \text{mol/L} = \sqrt[3]{10^{-23}} \text{mol/L} = 2.15 \times 10^{-8} \text{mol/L}。$$

【小问 4 详解】

“还原”过程中 H_3AsO_4 被 SO_2 还原生成 H_3AsO_3 ， SO_2 被氧化为 H_2SO_4 ，根据得失电子守恒和原子守恒配平化学方程式为： $\text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4。$

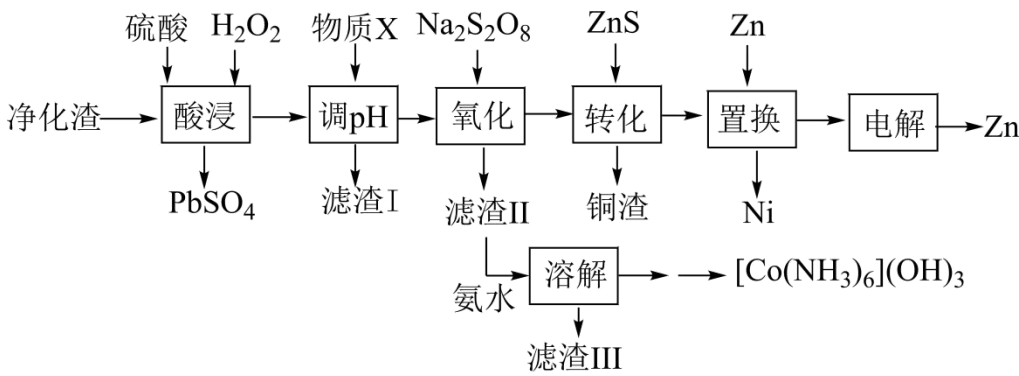
【小问 5 详解】

从综合利用的角度看，焙烧时产生 SO_2 气体，还原时消耗 SO_2 ，“一级沉砷”时消耗 H_2SO_4 ，还原”过程中生成 H_2SO_4 ，则可循环利用的物质为 SO_2 和 $\text{H}_2\text{SO}_4。$

【小问 6 详解】

为了提高粗 As_2O_3 的产率，需要使其溶解度尽可能小，则结晶过程中应控制的条件为调硫酸浓度约为 7mol/L ，冷却至 $25^\circ\text{C}。$

10. （2025 济南一模，18）湿法炼锌净化渣中含有 ZnO 、 CuO 、 PbO_2 、 Fe_2O_3 、 NiO 、 CoO 、 MnO_2 等物质，利用该净化渣制备 Zn 和 Co 的配合物的流程如图所示。



已知：① MnO_2 是不溶水的黑色颗粒状固体，其氧化性随酸性增强而增强；

②当溶液中某离子浓度 $c(\text{M}^{n+}) \leq 1 \times 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，可认为该离子沉淀完全；常温下，几种沉淀的 K_{sp} 即如下表所示：

	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Co}(\text{OH})_3$	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$\text{Ni}(\text{OH})_2$	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	ZnS	CuS
K_{sp}	1×10^{-38}	1×10^{-32}	1×10^{-17}	2×10^{-15}	2×10^{-13}	1×10^{-24}	1×10^{-36}

③ $\text{Co}^{3+} + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ $K_{\text{稳}} = 4.5 \times 10^{33}。$

回答下列问题：

（1）“溶浸”操作中，为了提高物质的利用率和浸取的效率，在不断搅拌的条件下，先加入_____（填“硫酸”或“ H_2O_2 ”），一段时间后，再缓慢加入另一种试剂，此时被还原的元素有_____。

(2)“调 pH”操作中加入物质 X 的最佳试剂为_____ (填标号), 调 pH 约为 5, 再加入 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 氧化, 则 Co^{2+} 发生反应的离子方程式为_____, 随着反应的进行, 还要分批加入少量物质 X。

a. 氨水 b. $\text{Zn}(\text{OH})_2$ c. MnCO_3 d. CuO

(3)“转化”时溶液中主要阳离子 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 浓度均为 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则加入稍过量 ZnS , 充分净化后溶液中残留的 Cu^{2+} 浓度为_____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。“电解”工作一段时间后, 所得电解质溶液可转入_____操作单元中循环使用。

(4) 利用沉淀溶解平衡原理解释从“滤渣 II”分离出 Co 的化合物的原因是_____, “滤渣 III”的主要成分为_____。

【答案】 (1) ①. 硫酸 ②. Mn、Pb

(2) ①. b ②. $2\text{Co}^{2+} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Co}(\text{OH})_3 \downarrow + 2\text{SO}_4^{2-} + 6\text{H}^+$

(3) ①. 2×10^{-12} ②. 溶浸

(4) ①. $\text{Co}(\text{OH})_3$ 溶解平衡为 $\text{Co}(\text{OH})_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Co}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^-(\text{aq})$, 加入氨水将 Co^{3+} 转化为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, 导致 $Q < K_{\text{sp}}$, $\text{Co}(\text{OH})_3$ 不断溶解进一步实现分离 ②. MnO_2

【解析】

【分析】净化渣中含有 ZnO 、 CuO 、 PbO_2 、 Fe_2O_3 、 NiO 、 CoO 、 MnO_2 等物质, 先加入稀硫酸, 再加入 H_2O_2 将 PbO_2 、 MnO_2 还原成二价离子, 形成 PbSO_4 ; 再加入 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 或 ZnO 调节 pH, 得到滤渣 I 为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀; 滤液中加入 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$, Co^{2+} 被氧化为 Co^{3+} 形成 $\text{Co}(\text{OH})_3$ 沉淀, Mn^{2+} 被氧化生成 MnO_2 , 加入氨水溶解形成 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_3$, 滤渣 III 为 MnO_2 ; “转化”时溶液中主要阳离子 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 加入稍过量 ZnS 得到 CuS (铜渣) 滤液中加入 Zn 置换出 Ni , 电解硫酸锌得到锌, 据此分析;

【小问 1 详解】

“溶浸”操作中, 为了提高物质的利用率和浸取的效率, 在不断搅拌的条件下, 先加入硫酸进行酸溶, 一段时间后, 再缓慢加入 H_2O_2 , 将 PbO_2 、 MnO_2 还原成二价离子, 此时被还原的元素有 Mn、Pb;

【小问 2 详解】

根据分析可知, 为不引入新杂质, “调 pH”操作中加入最佳试剂为 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 或 ZnO 或 ZnCO_3 , 故选 b; 调 pH 约为 5, 再加入 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 氧化 Co^{2+} , 生成 Co^{3+} , 反应的离子方程式为 $2\text{Co}^{2+} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Co}(\text{OH})_3 \downarrow + 2\text{SO}_4^{2-} + 6\text{H}^+$, 随着反应的进行, 还要分批加入少量物质 X;

【小问 3 详解】

发生沉淀转化， $\text{ZnS} + \text{Cu}^{2+} \rightleftharpoons \text{CuS} + \text{Zn}^{2+}$ ，设残留的 Cu^{2+} 浓度为 $x \text{ mol/L}$ ，

$$\frac{K_{\text{sp}}(\text{CuS})}{c(\text{Cu}^{2+})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{ZnS})}{c(\text{Zn}^{2+})} \Rightarrow \frac{1 \times 10^{-24}}{x} = \frac{1 \times 10^{-36}}{2-x}, \text{ 解得 } x = 2 \times 10^{-12}; \text{ 电解硫酸镍溶液, 阳极电极反应}$$

$2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$ ，阴极电极反应为 $\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Ni}$ ，“电解”工作一段时间后，所得电解质溶液主要为硫酸，可转入溶浸操作单元中循环使用；

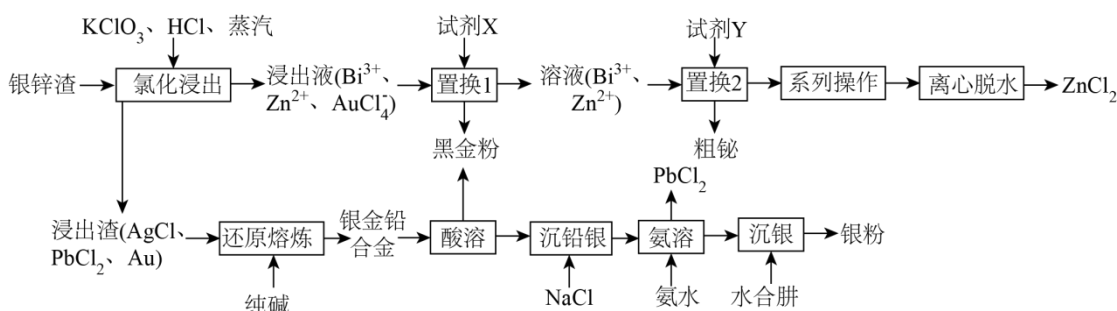
【小问 4 详解】

$\text{Co}(\text{OH})_3$ 溶解平衡为 $\text{Co}(\text{OH})_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Co}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^-(\text{aq})$ ，根据

$\text{Co}^{3+} + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ $K_{\text{稳}} = 4.5 \times 10^{33}$ 可知正反应极易发生，加入氨水将 Co^{3+} 转化为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ，

导致 $Q < K_{\text{sp}}$ ， $\text{Co}(\text{OH})_3$ 不断溶解进一步实现分离；根据分析可知，“滤渣Ⅲ”的主要成分为 MnO_2 。

11. (2025 菏泽一模, 18) 从银锌渣中(含有 Bi、Pb、Ag、Zn、Au 等金属)，回收 Bi、Ag、Au 工艺流程如图：



已知：①氯化浸出 Au 单质比置换还原 Au 单质效率高；

②室温下 $K_{\text{sp}}(\text{PbCl}_2) = 1 \times 10^{-4}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$ ；

③溶液中离子浓度 $< 10^{-5} \text{ mol/L}$ 时，即可认定该离子沉淀完全。

回答下列问题：

(1)“氯化浸出”通入蒸汽的目的是_____；实际生产中 KClO_3 溶液的浓度不宜过高的原因是_____。

(2)“置换 1”可选用的试剂 X 为_____ (填标号)。

A. Mg B. Zn C. Au D. Bi

“置换 2”反应的离子方程式_____。

(3)“还原熔炼”中碳酸钠与 AgCl 反应生成两种无色气体，分别为_____ (填化学式)。

(4)“沉银”中水合肼($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)的作用是_____，将“沉银”生成的银粉制成电极板用作_____ (填“阴极”或“阳极”)进行电解精炼。

(5)若“酸溶”过滤后的溶液中含有 0.1 mol Ag^+ 、 0.2 mol Pb^{2+} ，加入 NaCl 溶液充分沉铅银后的溶液体积为 100 mL ，理论上至少消耗_____ mol NaCl 。

【答案】(1) 提高浸出温度和反应速率，提升银锌渣的浸出率 会使浸出液中溶解的 Au 增多，降低 Au 的回收率

(2) D $2\text{Bi}^{3+} + 3\text{Zn} = 2\text{Bi} + 3\text{Zn}^{2+}$

(3) CO_2 和 O_2

(4) 作还原剂 (或还原 $[Ag(NH_3)_2]^+$) 阳极

(5) 0.82

【分析】从银锌渣中(含有 Bi、Pb、Ag、Zn、Au 等金属), 回收 Bi、Ag、Au 工艺流程为: 将银锌渣加入 $KClO_3$ 、HCl、水蒸气氯化浸出, 过滤得滤液 Bi^{3+} 、 Zn^{2+} 、 $AuCl_4^-$, 加入试剂 X 置换出 Au, 剩余溶液 Bi^{3+} 、 Zn^{2+} , 再加入金属 Zn 将 Bi 置换出来过滤, 对滤液进行蒸发浓缩, 冷却结晶, 离心脱水后得 $ZnCl_2$; 将氯化浸出过滤得的滤渣 $AgCl$ 、 $PbCl_2$ 、Au, 加入纯碱进行还原熔炼得到银金铅合金, 再进行酸溶剩余单质 Au, 在得到的酸性溶液中加入 NaCl 沉铅银转变为 $AgCl$ 、 $PbCl_2$, 加氨水溶解 $AgCl$ 为 $Ag(NH_3)_2Cl$, 过滤得 $PbCl_2$ 固体, 最后在 $Ag(NH_3)_2Cl$ 中加入水合肼还原出单质银, 据此分析解答。

【详解】(1) 在氯化浸出过程中, 使用水蒸气一是提高浸出的温度, 同时还能提升银锌渣的浸出速率, 使银锌渣充分浸出; 加入 $KClO_3$ 的目的是将 Bi 和 Zn 氧化成 Bi^{3+} 和 Zn^{2+} 进入浸出液, 在 $KClO_3$ 和 HCl 的共同作用下还氧化部分 Au 转化为 $AuCl_4^-$, 如 $KClO_3$ 溶液的浓度过高, 会使浸出液中溶解的 Au 增多, 降低 Au 的回收率。

故答案为: 提高浸出温度和反应速率, 提升银锌渣的浸出率; 会使浸出液中溶解的 Au 增多, 降低 Au 的回收率。

(2) 在置换 1 中加入 X 后能将 $AuCl_4^-$ 中的 Au 元素置换出来, 再根据后面主要滤液主要含 Bi^{3+} 、 Zn^{2+} , 又不能置换出 Bi, 根据金属活动顺序 $Zn > Bi$, 同时又不能带入新的杂质, 则 X 可选用的金属为:

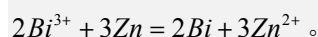
A. Mg: 能将溶液中的 Au、Bi、Zn 都置换出来, A 不符合题意;

B. Zn: 将 Au 置换出来的同时也会将 Bi 置换出, B 不符合题意;

C. Au: 与溶液中的离子不发生反应, C 不符合题意;

D. Bi: 只置换出 Au, 不消耗 Bi^{3+} 、 Zn^{2+} , D 符合题意;

“置换 2”是利用试剂 Y 将 Bi 置换出来, 根据不能带入新的杂质的原理, 则加入的 Y 为 Zn, 反应的离子方程式为:



故答案为: D; $2Bi^{3+} + 3Zn = 2Bi + 3Zn^{2+}。$

(3) “还原熔炼”中碳酸钠与 $AgCl$ 反应生成两种无色气体, 所以无 Cl_2 产生, 根据元素的特点, 则产生的气体由 C 元素和 O 元素中的 1 种或 2 种组成, 得到反应的方程式为: $2Na_2CO_3 + 4AgCl \xrightarrow{\Delta} 4Ag + 4NaCl + 2CO_2 \uparrow + O_2 \uparrow$, 则生成两种无色气体分别为: CO_2 和 O_2 。

故答案为: CO_2 和 O_2 。

(4) “沉银”中水合肼($N_2H_4 \cdot H_2O$)的作用是将 $Ag(NH_3)_2Cl$ 还原为单质 Ag, 反应的离子方程式为:

$4[Ag(NH_3)_2]^+ + N_2H_4 = 4Ag \downarrow + N_2 \uparrow + 4NH_4^+ + 4NH_3 \uparrow$ ；得到的粗银需要进行电解精炼，根据电解精炼的原理，需要精炼的粗银要作为电解的阳极，含 Ag^+ 的溶液作电解液，纯银作阴极，发生的电极反应为：阳极 $Ag - e^- = Ag^+$ ，阴极 $Ag^+ + e^- = Ag$ ，从而实现银的精炼。

故答案为：作还原剂（或还原 $[Ag(NH_3)_2]^+$ ）；阳极。

（5）在含有 $0.1mol Ag^+$ 、 $0.2mol Pb^{2+}$ 的溶液中，要沉淀完全 Ag^+ 和 Pb^{2+} ，根据 $\begin{matrix} Ag^+ & \sim & Cl^- & \sim & AgCl \\ 0.1mol & & 0.1mol & & \end{matrix}$ ，

$\begin{matrix} Pb^{2+} & \sim & 2Cl^- & \sim & PbCl_2 \\ 0.2mol & & 0.4mol & & \end{matrix}$ ，首先需要 $n(Cl^-) = 0.1mol + 0.4mol = 0.5mol$ ，根据室温下 $K_{sp}(PbCl_2) = 1 \times 10^{-4}$ ，

$K_{sp}(AgCl) = 1.8 \times 10^{-10}$ ，当 Ag^+ 浓度 $< 10^{-5} mol \cdot L^{-1}$ 量，此时 $c(Cl^-) = \frac{K_{sp}(AgCl)}{c(Ag^+)} = \frac{1.8 \times 10^{-10}}{1 \times 10^{-5}} = 1.8 \times 10^{-5} mol \cdot L^{-1}$ ，而当

溶液中 Pb^{2+} 浓度 $< 10^{-5} mol \cdot L^{-1}$ 时，此时溶液的 $c(Cl^-)$ 为： $c(Cl^-) = \sqrt{\frac{K_{sp}(PbCl_2)}{c(Pb^{2+})}} = \sqrt{\frac{1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-5}}} = \sqrt{10} mol \cdot L^{-1} = 3.2 mol \cdot L^{-1}$

大于 $AgCl$ 中 $c(Cl^-)$ ，所以当沉淀后的溶液中 $c(Cl^-) = 3.2 mol \cdot L^{-1}$ 时， Ag^+ 和 Pb^{2+} 都沉淀完全，则此时还需要加入

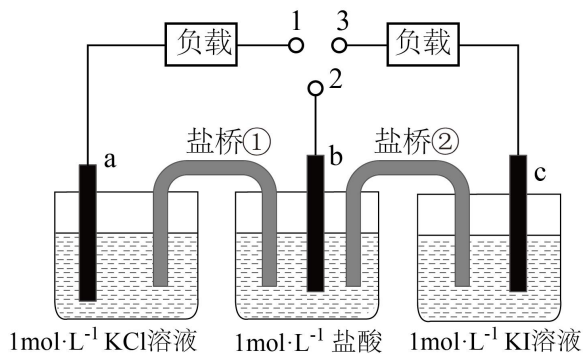
$n(NaCl) = 3.2 mol \cdot L^{-1} \times 0.1L = 0.32mol$ ，则理论上至少消耗 $NaCl$ 的物质的量为 $0.5mol + 0.32mol = 0.82mol$

故答案为：0.82。

第四部分 化学反应原理

一、电化学

1. (2025 枣庄一模, 8) 如图装置中, b 为 H^+/H_2 标准氢电极, 可发生还原反应($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$)或氧化反应($\text{H}_2 - 2\text{e}^- = 2\text{H}^+$), a、c 分别为 AgCl/Ag 、 AgI/Ag 电极。实验发现: 1 与 2 相连 a 电极质量减小, 2 与 3 相连 c 电极质量增大。下列说法正确的是



- A. 1 与 2 相连, 盐桥①中阳离子向 b 电极移动
B. 2 与 3 相连, 电池反应为 $2\text{Ag} + 2\text{I}^- + 2\text{H}^+ = 2\text{AgI} + \text{H}_2\uparrow$
C. 1 与 3 相连, a 电极减小的质量等于 c 电极增大的质量
D. 1 与 2、2 与 3 相连, 两个原电池装置中, 电势较低的一极均为 b 电极

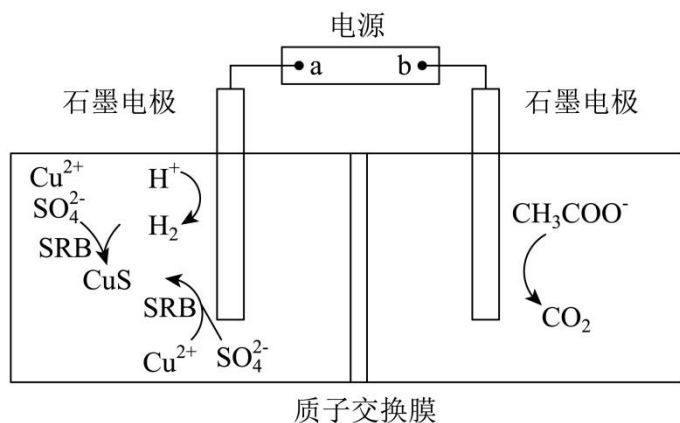
【答案】B

【解析】

【分析】1 与 2 相连, 左侧两池构成原电池, a 电极质量减小, AgCl 转化为 Ag , 说明 a 为正极, b 为负极, b 极反应为 $\text{H}_2 - 2\text{e}^- = 2\text{H}^+$; 2 与 3 相连, 右侧两池构成原电池, c 电极质量增大, Ag 转化为 AgI , 说明 c 为负极, b 为正极, b 极反应为: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$, 据此分析。

【详解】A. 由分析可知, 1 与 2 相连, a 为正极, b 为负极, 盐桥①中阳离子向 a 电极移动, A 错误;
B. 2 与 3 相连, 右侧两池构成原电池, c 电极质量增大, Ag 转化为 AgI , 说明 c 为负极, b 为正极, 生成氢气, 电池反应为 $2\text{Ag} + 2\text{I}^- + 2\text{H}^+ = 2\text{AgI} + \text{H}_2\uparrow$, B 正确;
C. 1 与 3 相连, 由于 AgI 更难溶, AgCl 转化为 AgI , a 极为正极, AgCl 转化为 Ag , a 极质量减小, b 极为负极, Ag 转化为 AgI , b 极质量增加, a 电极减小的质量小于 c 电极增大的质量, C 错误;
D. 1 与 2 相连, b 为负极, 电势较低; 2 与 3 相连, c 为负极, 电势较低, D 错误;
故选 B。

2. (2025 日照一模, 10) 硫酸盐还原菌(SRB)可以处理含 Cu^{2+} 的硫酸盐酸性废水, 同时实现有机废水的处理, 原理如图所示, 下列说法正确的是



- A. 若以铅蓄电池为电源，b 为 Pb 电极
- B. SO_4^{2-} 参与的电极反应为： $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 8\text{e}^- + 8\text{H}^+ \xrightarrow{\text{SRB}} \text{CuS} + 4\text{H}_2\text{O}$
- C. 电解一段时间后阳极区溶液的 pH 减小
- D. 标准状况下，产生 2.24L CO_2 时，理论上可产生 9.6g CuS

【答案】B

【分析】由装置图可知右侧石墨电极上发生反应： $\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} - 8\text{e}^- = 2\text{CO}_2 \uparrow + 7\text{H}^+$ ；可知石墨电极作阳极，则左侧石墨电极为阴极，a 为负极，b 为正极，据此分析解答。

【详解】A. 由以上分析可知 b 为正极，若以铅蓄电池为电源，b 为 PbO_2 电极，故 A 错误；

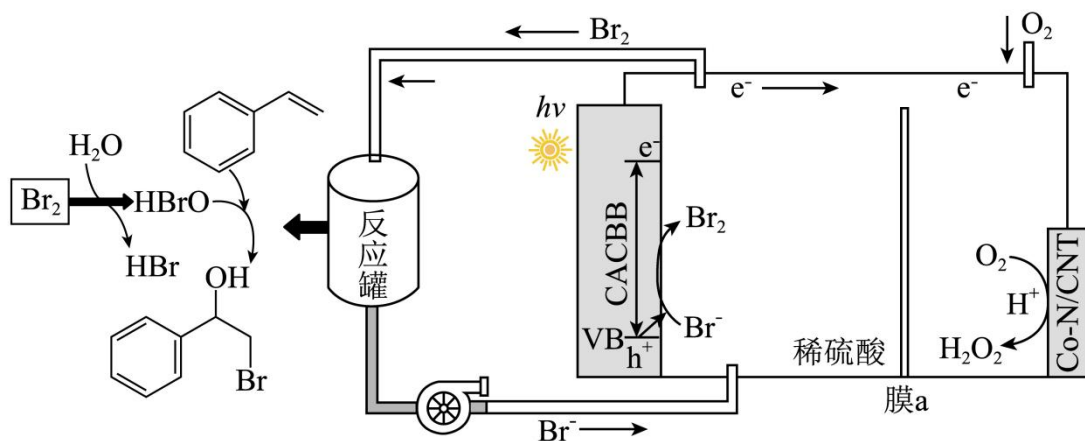
B. 左侧石墨电极为阴极， SO_4^{2-} 在该电极得电子转化为 CuS ，电极反应为： $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 8\text{e}^- + 8\text{H}^+ \xrightarrow{\text{SRB}} \text{CuS} + 4\text{H}_2\text{O}$ ，故 B 正确；

C. 结合阳极反应可知，每转移 8mol 电子时，阳极区生成 7mol 氢离子，但为满足电荷守恒，同时有 8mol 氢离子通过质子交换膜进入阴极区，则阳极区溶液中氢离子浓度减小，pH 增大，故 C 错误；

D. 标准状况下，产生 2.24L CO_2 即生成 0.1mol，转移 0.4mol 电子，结合阴极反应可知，此时阴极生成 0.05mol CuS ，质量为：4.8g，故 D 错误；

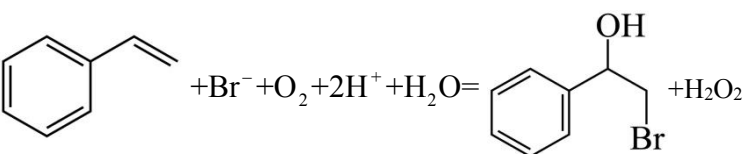
故选：B。

3. （2025 济南一模，12）（不定项）太阳光照射光催化电极(CACBB)可以产生带正电空穴(h^+ 表示；可捕获电子)和电子，采用光催化装置和反应罐相结合的方式，利用 HBr 等原料高效制备双氧水和 2-溴-1-苯乙醇，反应原理如下图所示，下列说法正确的是



A. 膜 a 为质子交换膜

B. Co-N/CNT 电极反应式为 $O_2 + 2H^+ = H_2O_2 + 2h^+$

C. 光催化装置的总反应为 

D. 工作一段时间后, 需要补充 HBr

【答案】AD

【解析】

【详解】A. Co-N/CNT 电极上 O_2 得电子和 H^+ 反应生成 H_2O_2 , 该电极消耗 H^+ , H^+ 通过膜 a 进入 Co-N/CNT 电极区域, 则膜 a 为质子交换膜, 故 A 正确;

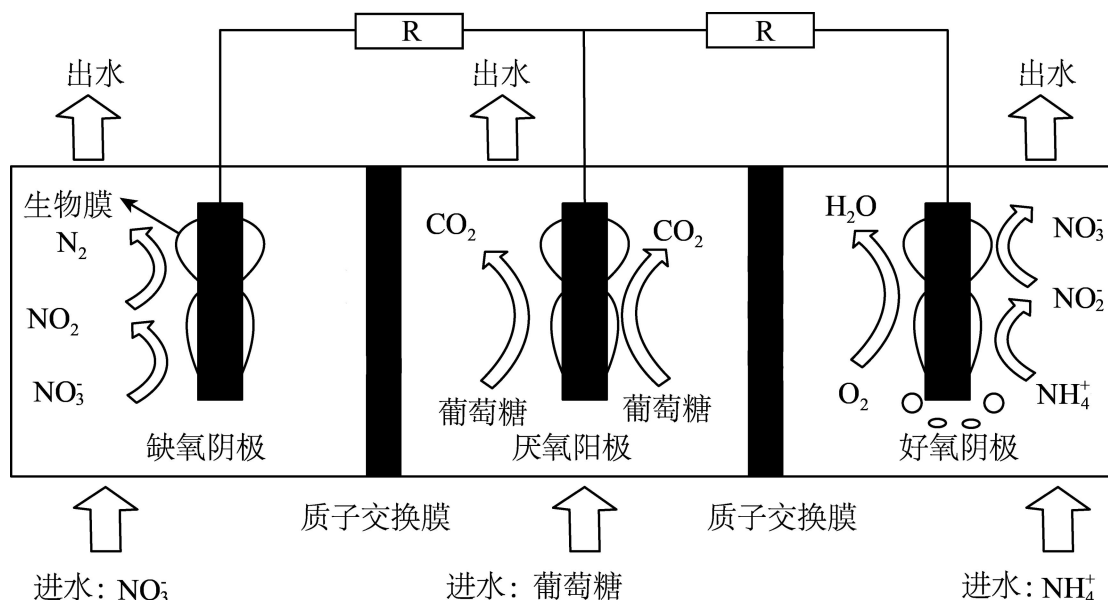
B. Co-N/CNT 电极上不生成 h^+ , 根据题干信息知, CACBB 电极上生成 h^+ , Co-N/CNT 电极反应式为 $O_2 + 2e^- + 2H^+ = H_2O_2$, 故 B 错误;

C. 光催化装置的总反应为 $2Br^- + O_2 + 2H^+ = H_2O_2 + Br_2$, 故 C 错误;

D. 根据图知, CACBB 电极上溴在反应罐中生成 2 个 HBr 分子, 其中一个 HBr 分子又进入 CACBB 电极上生成 Br_2 , 即反应中消耗 HBr, 所以工作一段时间后, 需要补充 HBr, 故 D 正确;

故选: AD。

4. (2025 菏泽一模, 12) (不定项) 双阴极微生物燃料电池可进行硝化和反硝化脱氮, 装置如图。下列说法错误的是



A. H^+ 的迁移方向: 厌氧阳极 $\rightarrow$ 缺氧阴极, 厌氧阳极 $\rightarrow$ 好氧阴极

B. 装置工作时, “缺氧阴极”电极附近的溶液 pH 增大

C. “好氧阴极”电极反应式为: $NH_4^+ - 6e^- + 2H_2O = NO_2^- + 8H^+$

D. 放电过程中若有 $1\text{mol } NH_4^+$ 完全转化为 NO_3^- , “好氧阴极”区内理论上消耗 $O_2(\text{STP}) 44.8\text{L}$

【答案】CD

【分析】如图，“厌氧阳极”上， $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 失去电子生成 CO_2 和 H^+ ，电极反应式为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} - 24\text{e}^- = 6\text{CO}_2 + 24\text{H}^+$ ；“缺氧阴极”上， NO_3^- 得到电子生成 NO_2 ， NO_2 再转化为 N_2 ，电极反应式分别为 $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e}^- = \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 、 $2\text{NO}_2 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- = \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ 。“好氧阴极”上， O_2 得到电子生成 H_2O ，电极反应式为 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$ ，同时 O_2 还能氧化 NH_4^+ 生成 NO_2^- ， NO_2^- 还可以被 O_2 氧化为 NO_3^- ，离子方程式分别为 $2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 = 2\text{NO}_2^- + 4\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 = 2\text{NO}_3^-$ ，据此回答。

【详解】A. 在原电池中，阳离子向正极移动。该电池中厌氧阳极是负极，缺氧阴极和好氧阴极是正极，所以 H^+ 的迁移方向是厌氧阳极→缺氧阴极，厌氧阳极→好氧阴极，A正确；

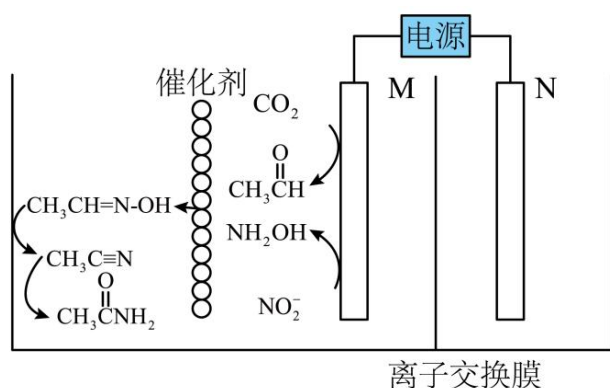
B. 由分析可知，电池工作时，“缺氧阴极”上消耗的 H^+ 多于从“厌氧阳极”迁移过来的 H^+ ，且反应生成水，其附近的溶液pH增大，B正确；

C. “好氧阴极”应该发生得电子的还原反应，而 $\text{NH}_4^+ - 6\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{NO}_2^- + 8\text{H}^+$ 是氧化反应，“好氧阴极”正确的电极反应式为 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$ ，C错误；

D. 1mol NH_4^+ 完全转化为 NO_3^- ，N元素的化合价从-3价升高到+5价，失去 8mol 电子，需要消耗的 O_2 为 2mol 。根据“好氧阴极”的电极反应式 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$ ，转移 8mol 电子时，消耗 2mol O_2 ，共消耗的 O_2 为 4mol ，在标准状况（STP）下的体积为 $4\text{mol} \times 22.4\text{L/mol} = 89.6\text{L}$ ，D错误；

故选CD。

5. （2025烟台德州东营一模，13）（不定项）电催化共还原 CO_2 与 NO_2^- 制备乙酰胺(CH_3CONH_2)是一种碳中和与废水处理有机结合的绿色电化学策略，其装置如图所示。已知：酸性条件下极易发生严重的析氢竞争反应。下列说法错误的是



- A. 电极M的电势比电极N低
- B. 电极N附近pH降低
- C. M极存在电极反应： $2\text{CO}_2 + 10\text{e}^- + 7\text{H}_2\text{O} = 10\text{OH}^- + \text{CH}_3\text{CHO}$
- D. 制备 1mol 乙酰胺，电路中至少转移 12mol e^-

【答案】D

【解析】

【分析】在碱性条件下，根据图示可知，M 极发生电极反应： $2\text{CO}_2 + 10\text{e}^- + 7\text{H}_2\text{O} = 10\text{OH}^- + \text{CH}_3\text{CHO}$ ， $\text{NO}_2^- + 4\text{e}^- + 4\text{H}_2\text{O} = 5\text{OH}^- + \text{NH}_2\text{OH}$ ，N 极发生电极反应： $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$ ，据此分析；

【详解】A. 电极 M 上得电子，为阴极，N 为阳极，M 的电势比电极 N 低，A 正确；

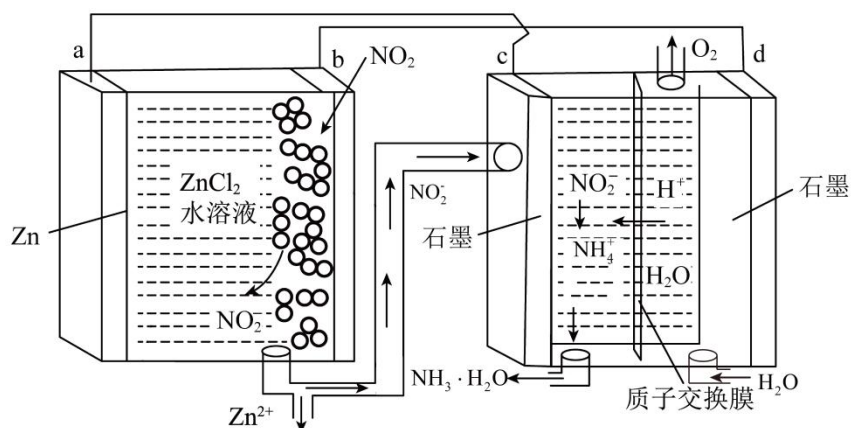
B. 根据分析，电极 N 产生氢离子，附近 pH 降低，B 正确；

C. 根据分析，M 极存在电极反应： $2\text{CO}_2 + 10\text{e}^- + 7\text{H}_2\text{O} = 10\text{OH}^- + \text{CH}_3\text{CHO}$ ，C 正确；

D. 根据分析，制备 1mol 乙酰胺，电路中至少转移 14mol e^- ，D 错误；

故选 D；

6. （2025 泰安一模，13）（不定项）一种新型 Zn- NO_2 电池通过自供电实现 NO_2^- 转化为 NH_3 ，装置如图所示。下列说法错误的是



A. c 电极的电势比 d 电极的电势低

B. 电解池的总反应式为： $2\text{NO}_2^- + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$

C. 装置工作时 d 极区溶液的 pH 减小

D. 当电路中转移 2mole $^-$ 时，d 极区溶液质量减少 16g

【答案】D

【分析】新型 Zn- NO_2 电池中，Zn 失电子转化为 Zn^{2+} ，则 a 电极(Zn)作负极，b 电极作正极，与 a 电极相连的 c 电极作阴极，d 电极作阳极。

【详解】A. 由分析可知，右侧电池为电解池，c 电极作阴极，d 电极作阳极，对于电解池，阳极的电势高于阴极，则 c 电极的电势比 d 电极的电势低，A 正确；

B. 在阴极， NO_2^- 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 能稳定存在，则阴极电解质呈碱性，电极反应式为 $\text{NO}_2^- + 6\text{e}^- + 5\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3 + 7\text{OH}^-$ ，阳极电极反应式为 $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$ ，将两电极反应式调整得失电子守恒、然后相加，可得出电解池的总反应式为：

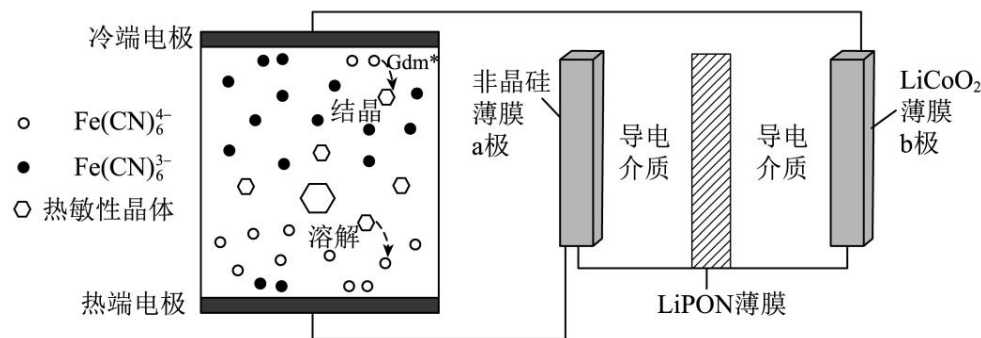
$2\text{NO}_2^- + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$ ，B 正确；

C. 装置工作时, d 极发生反应 $2\text{H}_2\text{O}-4\text{e}^-=\text{O}_2\uparrow+4\text{H}^+$, 则 d 极区溶液的 pH 减小, C 正确;

D. 依据 d 极电极反应式 $2\text{H}_2\text{O}-4\text{e}^-=\text{O}_2\uparrow+4\text{H}^+$, 当电路中转移 2mol e^- 时, 生成 0.5mol O_2 , 同时有 2mol H^+ 通过质子交换膜进入 c 极区, 所以 d 极区溶液质量减少 $0.5\text{mol}\times 32\text{g/mol}+2\text{mol}\times 1\text{g/mol}=18\text{g}$, D 错误;

故选 D。

7. (2025 潍坊一模, 13) (不定项) 华中科技大学研究者在 Science 报道了一种新型热敏结晶增强液态热化学电池, 可以给锂离子电池充电。胍离子 (Gdm^+) 选择性地诱导 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 结晶, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 与 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 之间的转化平衡被打破, 产生电势差, 锂离子电池反应为 $\text{Li}_x\text{Si} + \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} \text{Si} + \text{LiCoO}_2$ 。下列说法正确的是



- A. 电池冷端电极电势小于热端电极电势
- B. 电池热端的电极反应式为 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{e}^- = \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$
- C. 充电过程中 Li^+ 通过 LiPON 薄膜移向 b 极
- D. 充电时热端电极转移 $x\text{mol}$ 电子, b 极生成 $1\text{mol Li}_{1-x}\text{CoO}_2$

【答案】D

【解析】

【分析】根据锂离子电池反应为 $\text{Li}_x\text{Si} + \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} \text{Si} + \text{LiCoO}_2$, 放电时 $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ 即 b 极做正极, Li_xSi 即 a 极做负极。充电时, a 极为阴极, b 极为阳极。

【详解】A. 由于热敏结晶增强液态热化学电池 (TC-LTC) 的工作原理涉及在电解质中加入胍离子 (Gdm^+) 来选择性地诱导 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 结晶, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 在温度低的一端 (顶部) 结晶, 并自发沉积到底部温度较高的一端, 并在此重新溶解, 如此循环。因此, 电池冷端电极电势大于热端电极电势。所以 A 选项是错误的。

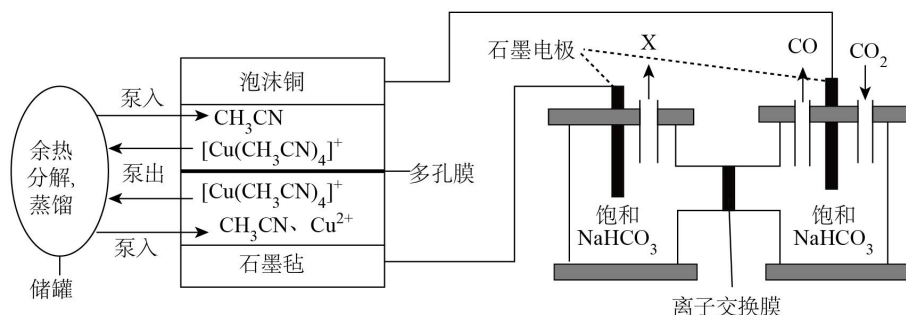
B. 在热敏结晶增强液态热化学电池中, 热端发生的是氧化反应, 即 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 转化为 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$, 电极反应式为 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} - \text{e}^- = \text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 。所以 B 选项是错误的。

C. 在充电过程中, 锂离子 Li^+ 通过电解质隔膜 (如 LiPON 薄膜) 移向电池的阴极 (即 a 极), 所以 C 选项是错误的。

D. 充电时, 每生成 $1\text{mol Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ 转移 $x\text{mol}$ 电子。所以 D 选项是正确的。

综上所述, 正确的说法是 D。

8. (2025 青岛一模, 13) (不定项) 热再生电池堆- CO_2 电化学还原池系统 (TRB- CO_2RR) 可减少工业烟气中的 CO_2 排放并利用余热, 其工作原理如图。下列说法正确的是



- A. 气体 X 是 O_2
- B. 离子交换膜为阳离子交换膜
- C. 泡沫铜为负极, 电极反应: $\text{Cu} - \text{e}^- + 4\text{CH}_3\text{CN} = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^+$
- D. 阴极的电极反应: $3\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{HCO}_3^- + \text{CO}$

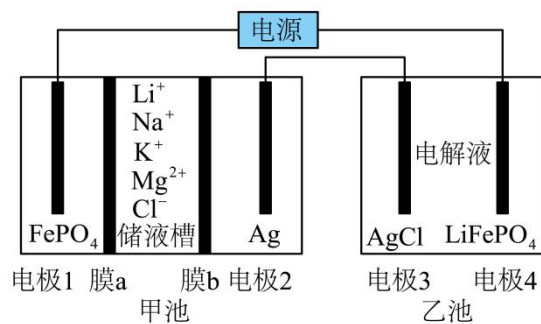
【答案】CD

【解析】

【分析】左侧为原电池, 泡沫铜为负极发生氧化反应, 电极反应方程式为: $\text{Cu} - \text{e}^- + 4\text{CH}_3\text{CN} = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^+$, 石墨毡为正极, 铜离子得电子发生还原反应, 电极反应方程式为: $\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- + 4\text{CH}_3\text{CN} = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^+$, 右侧为电解装置, 右侧石墨电极上二氧化碳得电子产生一氧化碳、发生还原反应, 为阴极, 电极反应方程式为 $3\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{HCO}_3^- + \text{CO}$, 左侧石墨电极为阳极, 电极反应方程式为: $4\text{HCO}_3^- - 4\text{e}^- = 4\text{CO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$, 电解池总反应为 $2\text{CO}_2 \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{CO} + \text{O}_2$;

- 【详解】A. 据分析, 气体 X 是 O_2 和二氧化碳的混合气体, A 项错误;
- B. 电解时, 阴离子移向阳极, 阳离子移向阴极, 由于阴极反应生成碳酸氢根, 阳极反应消耗碳酸氢根, 则离子交换膜为阴离子交换膜, 使碳酸氢根从右侧向左侧移动, 故 B 错误;
- C. 据分析, 泡沫铜为负极, 电极反应: $\text{Cu} - \text{e}^- + 4\text{CH}_3\text{CN} = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^+$, 故 C 正确;
- D. 据分析, 阴极的电极反应: $3\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{HCO}_3^- + \text{CO}$, 故 D 正确;
- 选 CD。

9. (2025 聊城一模, 13) (不定项) 为了从海水中提取锂, 某团队设计了如图所示的电解池。保持电源正负极不变, 每运行一段时间后, 将甲池、乙池电极两两互换, 在乙池中实现锂的富集。下列说法正确的是



- A. 膜 a 为 阴离子交换膜
- B. 电极 1 应与电极 3 互换
- C. 电极 4 连接电源的正极
- D. 理论上，电路通过 1mol 电子时，乙池中电解液质量增加 42.5 g

【答案】CD

【解析】

【分析】保持电源正负极不变，每运行一段时间后，将甲池、乙池电极两两互换，在乙池中实现锂的富集，说明电极 1 上电极反应式为 $\text{Li}^+ + \text{e}^- + \text{FePO}_4 = \text{LiFePO}_4$ ，电极 1 为阴极，则电极 2、3、4 分别是阳极、阴极、阳极，电极 4 上发生的电极反应为： $\text{LiFePO}_4 - \text{e}^- = \text{Li}^+ + \text{FePO}_4$ 。

【详解】A. 由于电极 1 上电极反应式为 $\text{Li}^+ + \text{e}^- + \text{FePO}_4 = \text{LiFePO}_4$ ，需要补充锂离子，所以膜 a 为阳离子交换膜，A 错误；

B. 根据分析可知，电极 1 应与电极 4 互换，B 错误；

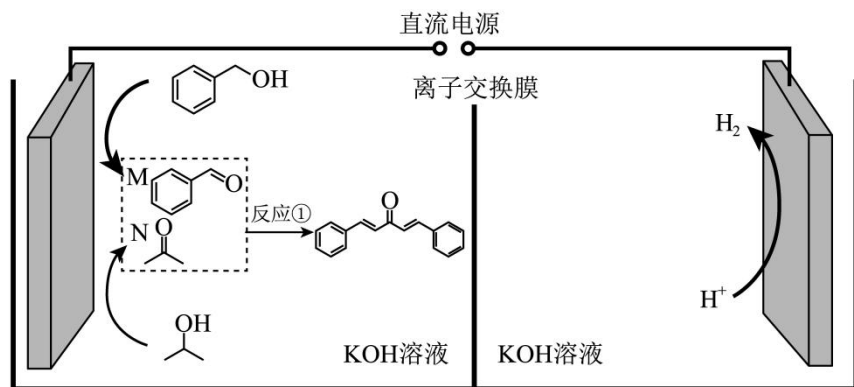
C. 电极 4 上发生的电极反应为： $\text{LiFePO}_4 - \text{e}^- = \text{Li}^+ + \text{FePO}_4$ ，为阳极，所以电极 4 连接电源的正极，C 正确；

D. 乙池中，电极 3 上电极反应式为 $\text{AgCl} + \text{e}^- = \text{Ag} + \text{Cl}^-$ ，电极 4 的电极反应式为为：

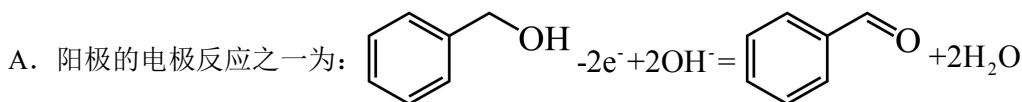
$\text{LiFePO}_4 - \text{e}^- = \text{Li}^+ + \text{FePO}_4$ 。理论上，电路通过 1mol 电子时，乙池中电解液增加的质量相当于 1mol LiCl 的质量，质量为 $1\text{mol} \times 42.5\text{ g/mol} = 42.5\text{ g}$ ，D 正确；

故选 CD。

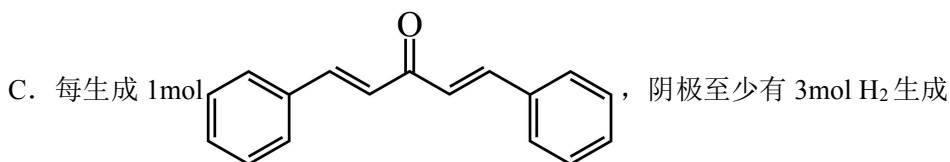
10. （2025 济宁一模，13）（不定项）科学家研究的新型电化学装置实现了在常温常压下，KOH 电解质加速羰基中间体缩合高效合成。



下列说法正确的是



B. 过程中两极室电解质溶液 pH 不变



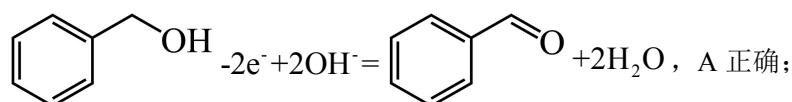
D. 反应①的反应类型为取代反应

【答案】AC

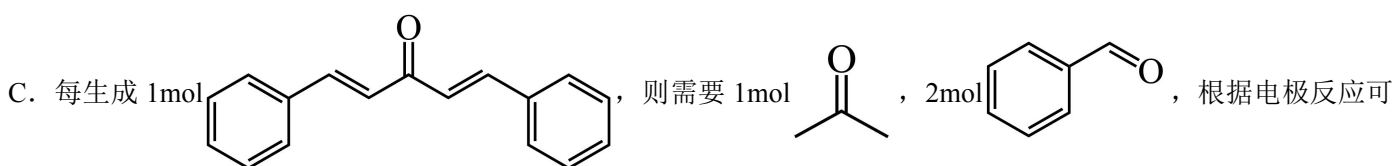
【解析】

【分析】如图可知，左侧 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$ 、 $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ 均发生氧化反应，则左侧为阳极，右侧为阴极；阳极的反应包含 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH} - 2\text{e}^- + 2\text{OH}^- = \text{C}_6\text{H}_5\text{CHO} + 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH} - 2\text{e}^- + 2\text{OH}^- = (\text{CH}_3)_2\text{C=O} + 2\text{H}_2\text{O}$ 两个反应，阴极的反应为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$ ，据此分析解答。

【详解】A. 左侧为阳极， $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$ 被氧化为 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$ ，电极反应之一为：



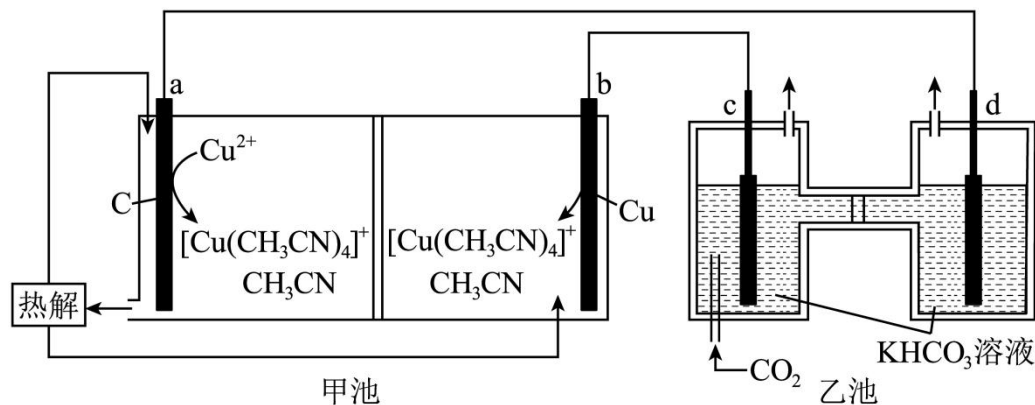
B. 当转移 2mol 电子时，有 2mol OH^- 在阳极参与电极反应，同时有 2mol OH^- 通过离子交换膜向阳极移动，但阳极生成水，pH 减小，阴极消耗水生成氢氧根离子，pH 增大，B 错误；



D. 反应①先发生醛基的加成反应形成羟基，再发生羟基的消去反应形成碳碳双键，不是取代反应，D 错误；

故选 AC。

11. (2025 淄博一模, 14) (不定项) 热再生乙腈(CH_3CN) 电池将 CO_2 还原为 CO ，利用工业废热热解甲池左室溶液可实现 CH_3CN 再生，其工作原理如图所示。下列说法错误的是



- A. 甲池 Cu 电极为负极
- B. 甲池隔膜为阴离子交换膜
- C. 乙池 c 极电极反应式为 $3\text{CO}_2 + 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 2\text{HCO}_3^-$
- D. 若 d 极生成 1.12 L (标准状况) O_2 ，则理论上 b 极质量减少 6.4g

【答案】BD

【解析】

【分析】由装置图可知 b 电极上发生反应： $\text{Cu} + 4\text{CH}_3\text{CN} - \text{e}^- = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^+$ ，Cu 作负极，a 电极为正极，正极发生反应： $\text{Cu}^{2+} + 4\text{CH}_3\text{CN} + \text{e}^- = [\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^+$ ，则 c 电极为阴极，d 电极为阳极，据此分析解答。

【详解】A. 由以上分析可知甲池 Cu 电极为负极，故 A 正确；

B. 由图示信息可知，甲池中两极产物均为 $[\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^+$ ，且最终从左侧电极导出，则 b 电极生成的 $[\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]^+$ 应通过隔膜进入左侧，该隔膜应为阳离子交换膜，故 B 错误；

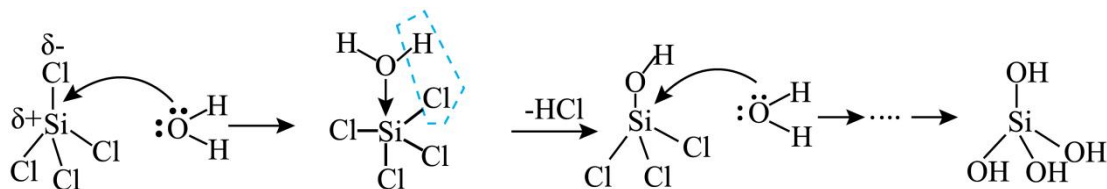
C. c 电极为阴极，该电极上 CO_2 还原为 CO ，电极反应为： $3\text{CO}_2 + 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 2\text{HCO}_3^-$ ，故 C 正确；

D. 若 d 极生成 1.12 L (标准状况) O_2 ，即消耗 0.05mol 氧气，转移电子 0.2mol，结合上述电极反应可知 b 电极消耗 0.2mol Cu，质量减少 12.8g，故 D 错误；

故选：BD。

二、反应热、化学反应机理

1. (2025 青岛一模, 5) 非金属卤化物中心原子具有 δ^+ 和价层空轨道时可发生亲核水解；中心原子有孤电子对时，孤电子对进攻 H_2O 的 H^+ 可发生亲电水解。 SiCl_4 亲核水解机理如图。下列说法错误的是



- A. 图示过程只有极性键的断裂与生成
- B. 图示过程中Si有2种杂化方式
- C. CCl_4 和 PCl_3 均能发生亲核水解
- D. NCl_3 水解产物可能为 NH_3 和 HClO

【答案】C

【解析】

【详解】A. 图示中有 H-O 、 Si-Cl 极性键断开，有 Si-O 、 H-Cl 极性键生成，A 正确；

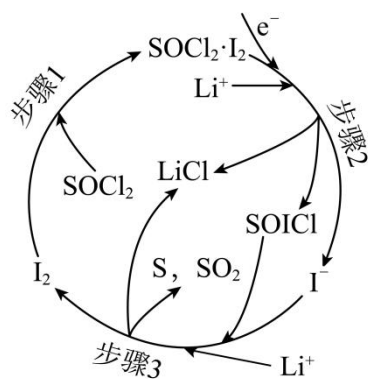
B. SiCl_4 的 Si 杂化方式为 sp^3 ，与水分子中的 O 原子成键后，周围有 5 个共价键，杂化方式为 sp^3d ，B 正确；

C. C 的最外层为 L 层，没有 d 轨道接受水中的孤电子对， PCl_3 的中心原子 P 上有孤电子对，发生亲电水解，二者均不能发生亲核水解，C 错误；

D. NCl_3 中心原子 N 上有孤电子对，孤电子对进攻 H_2O 的 H^+ 可发生亲电水解，得到 NH_3 和 HClO ，D 正确；

答案选 C。

2. (2025 青岛一模，7) 加入 I_2 可提高 Li-SOCl_2 电池性能。该电池放电时某电极区域的物质转变过程如图。下列说法错误的是



- A. 该电极放电时发生还原反应
- B. “步骤 3” 的反应为: $2\text{Li}^+ + 2\text{I}^- + 2\text{SOICl} = \text{S} + \text{SO}_2 + 2\text{LiCl} + 2\text{I}_2$
- C. 电路中每转移 2 mole^- ，生成 1 mol SO_2
- D. SOICl 和 I^- 是反应过程中的中间产物

【答案】C

【解析】

【详解】A. 从物质转变过程图可知，该电极处 SOCl_2 得到电子转化为其他物质，发生还原反应，A 选项正确；

B. 根据图中“步骤 3”的物质转化关系，结合元素守恒和电荷守恒，可以写出反应方程式

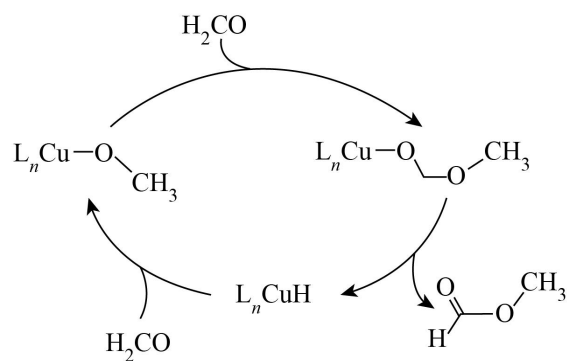
$2\text{Li}^+ + 2\text{I}^- + 2\text{SOICl} = \text{S} + \text{SO}_2 + 2\text{LiCl} + 2\text{I}_2$ ，B 选项正确；

C. 总反应为 $4\text{Li} + 2\text{SOCl}_2 = 4\text{LiCl} + \text{S} + \text{SO}_2$ ，每转移 4mole^- 生成 1mol SO_2 ，所以电路中每转移 2mole^- ，生成 0.5mol SO_2 ，C 选项错误；

D. 从图中可以看出 SOICl 和 I^- 在反应过程中先生成，后又参与反应被消耗，是中间产物，D 选项正确；

综上所述，答案是 C。

3. （2025 潍坊一模，9） Cu-H 团簇 (L_nCuH) 可以催化甲醛生成甲酸甲酯，其机理如图所示。下列说法错误的是



A. 反应过程中既有 σ 键的断裂也有 π 键断裂

B. 若向甲醛中加入 Cu-D (Cu-D 表示 Cu-H 团簇中的所有氢原子均被 D 取代)，则反应产物是 DCOOCH_3

C. 反应过程中，碳原子的杂化方式发生改变

D. 该反应原子利用率为 100%，符合绿色化学理念

【答案】B

【解析】

【详解】A. 反应过程中既有 σ 键 (O-Cu 键) 的断裂也有 π 键 (C=O 键) 断裂，A 正确；

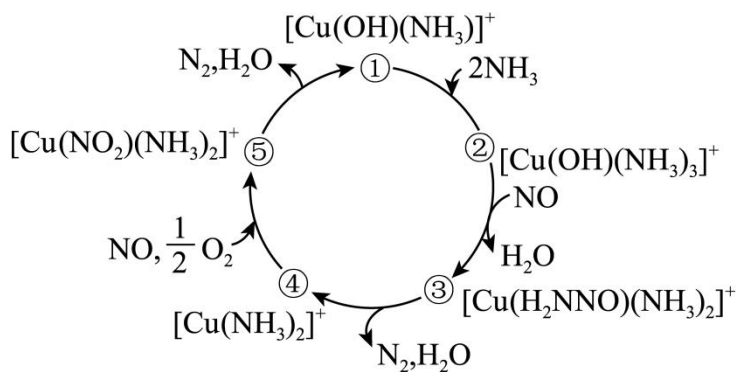
B. 由反应机理可知，若向甲醛中加入 Cu-D (Cu-D 表示 Cu-H 团簇中的所有氢原子均被 D 取代)，则反应产物是 HCOOCH_2D ，B 错误；

C. 甲醛生成甲酸甲酯的机理中，甲醛中醛基被加成，C 原子杂化方式由 sp^2 转化为 sp^3 ，C 正确；

D. 该反应的总方程式为： $2\text{HCHO} \xrightarrow{\text{L}_n\text{CuH}} \text{HCOOCH}_3$ ，该反应为化合反应，原子利用率为 100%，符合绿色化学理念，D 正确；

故选 B。

4. （2025 泰安一模，9）一种汽车尾气脱硝处理的机理如图所示，下列说法错误的是



- A. $[\text{Cu}(\text{OH})(\text{NH}_3)]^+$ 是反应的催化剂
- B. 状态③到状态④的过程中, 有 O-H 键的形成
- C. 状态④到状态⑤过程中, NO 发生氧化反应
- D. 该过程中 Cu 元素的化合价未发生变化

【答案】D

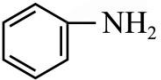
【详解】A. 题意不明, 无法判断;

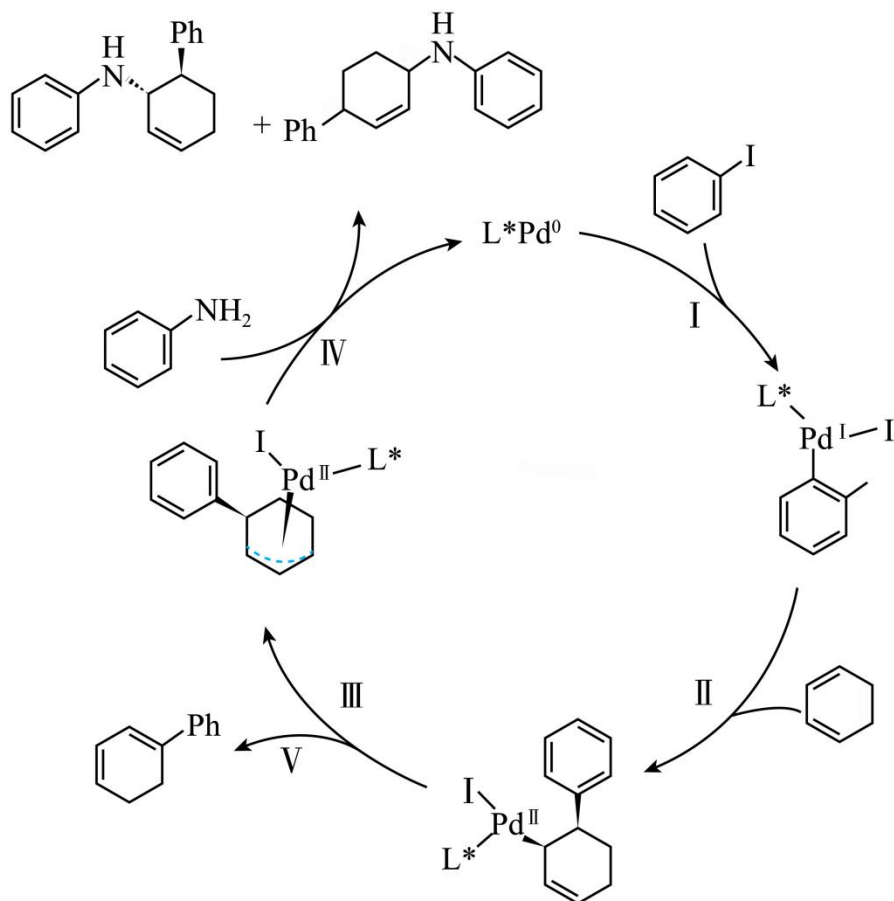
B. 状态③到状态④的变化过程中有 H_2O 生成, 即有 O-H 键的形成, B 正确;

C. 状态④到状态⑤过程中, NO 化合价由+2 价升高到+4 价, 被氧化, 发生氧化反应, C 正确;

D. 态②到状③的过程中, Cu 和 N 的化合价发生变化, 其中 Cu 的化合价降低, N 元素化合价升高, D 错误; 故选 D。

5. (2025 聊城一模, 10) 复旦大学某团队以 1, 3-环己二烯为载体, 与苯胺和碘苯, 通过钯与改进的 Ming-Phos 催化, 实现了高对映、区域选择性的三组分碳胺化转化, 并提出了如图所示的反应机理 (部分无机产物略去)。已

知: ①Ph 一为苯基; ②动力学实验表明  参加的反应为决速步骤; ③反应 V 为副反应。下列说法正确的是



- A. 步骤 I 中存在非极性键的断裂
- B. 步骤 II 中发生加成反应
- C. 步骤 IV 中两种有机产物的质谱图完全一样
- D. 步骤 V 中钯的化合价没有发生变化

【答案】B

【解析】

【详解】A. 步骤 I 是极性键的断开和生成，不存在非极性键的断开和生成，A 错误；

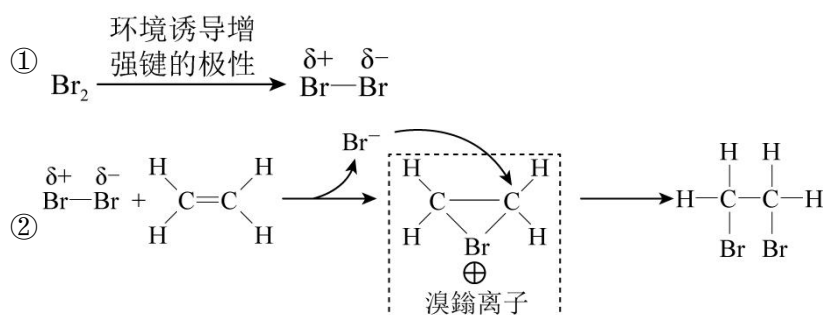
B. 步骤 II 是环己二烯的加成反应，B 正确；

C. 质谱图是有机物分解产生的粒子的质荷比，步骤 IV 两种有机物分解的产生的粒子不完全相同，质荷比也不完全相同，C 错误；

D. 反应 V 为副反应，步骤 V 中钯的化合价降低，发生了变化，D 错误；

答案选 B。

6. (2025 枣庄一模, 14) (不定项) 乙烯与溴单质发生加成反应的机理如图所示。下列说法错误的是



- A. 将乙烯通入含 NaCl 杂质的溴水中，可能生成 $\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$
- B. 相同条件下，乙烯与溴的 CCl_4 溶液反应比与溴水反应更容易
- C. 玻璃容器表面的 Si-O 键，对反应进行有一定的促进作用
- D. 为得到纯净的 1, 2-二溴乙烷，应选择乙烯与溴的 CCl_4 溶液发生反应

【答案】B

【解析】

- 【详解】A. 从反应机理可知，第一步 Br_2 在环境诱导下键的极性增强，形成 δ^+ 和 δ^- ，若体系中有 NaCl， Cl^- 有可能参与后续反应，与溴鎓离子结合，从而生成 $\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ ，A 正确；
- B. 溴水中存在水，水是极性分子，会对 Br_2 分子产生诱导作用，增强 Br - Br 键的极性，更有利于反应进行；而 CCl_4 为非极性溶剂，对 Br_2 分子的诱导作用较弱，所以相同条件下，乙烯与溴水反应比与溴的 CCl_4 溶液反应更容易，B 错误；
- C. 玻璃容器表面的 Si - O 键具有一定极性，能对 Br_2 分子产生环境诱导，增强 Br - Br 键的极性，对反应进行有一定的促进作用，C 正确；
- D. 乙烯与溴的 CCl_4 溶液反应，体系中只有乙烯、溴和 CCl_4 ， CCl_4 不参与反应，能减少其他副反应的发生，从而可得到更纯净的 1, 2-二溴乙烷，D 正确；
- 故选 B。

三、化学反应的方向、限度与速率

1. （2025 枣庄一模，2）下列生活、生产事实不能用平衡移动原理解释的是

- A. 热纯碱溶液去油污能力更强
- B. 可乐汽水瓶盖打开后有大量气泡冒出
- C. 面粉车间遇明火可能发生爆炸
- D. 水垢中的 CaSO_4 用饱和 Na_2CO_3 溶液浸泡再除去

【答案】C

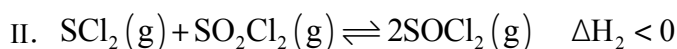
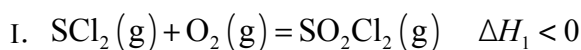
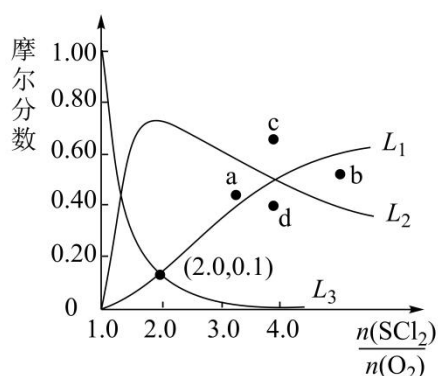
【解析】

- 【详解】A. 纯碱中碳酸根离子水解 $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ ，升高温度，水解平衡右移，氢氧根离子浓度增大，去油污能力更强，故 A 正确；
- B. 可乐汽水中溶解了大量二氧化碳， $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ 打开瓶盖，瓶内压强减小，平衡逆移，产生大量气泡，故 B 正确；
- C. 面粉中含有大量碳水化合物，遇明火粉尘会迅速燃烧，释放大量的热，这是一个化学反应过程，不涉及平衡移动，故 C 错误；
- D. $\text{CaSO}_4 + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$ ，加入饱和 Na_2CO_3 溶液，平衡正移，可除去硫酸钙，故 D 正确；

答案选 C。

2. （2025 淄博一模，10） SCl_2 和 O_2 制备 SOCl_2 的相关反应如下， $T^\circ\text{C}$ 时，反应在密闭体系中达平衡时各组分摩

尔分数随 $\frac{n(\text{SCl}_2)}{n(\text{O}_2)}$ 的变化关系如图所示：



下列说法正确的是

- A. 曲线 L_1 表示 SOCl_2 摩尔分数随 $\frac{n(\text{SCl}_2)}{n(\text{O}_2)}$ 的变化
- B. $T^\circ\text{C}$ ，反应 II 的平衡常数 $K = 64$
- C. 降温达新平衡后，曲线 L_1 和 L_2 新交点可能出现在 a 处
- D. $T^\circ\text{C}$ ，缩小容器体积达新平衡后， $\frac{n(\text{SCl}_2)}{n(\text{SOCl}_2)}$ 的值变小

【答案】B

【解析】

【分析】发生的反应 I. $\text{SCl}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{SO}_2\text{Cl}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 < 0$ ，II. $\text{SCl}_2(\text{g}) + \text{SO}_2\text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SOCl}_2(\text{g})$

$\Delta H_2 < 0$ ，反应 I 全反应，故当 $\frac{n(\text{SCl}_2)}{n(\text{O}_2)} = 1$ 时，量最多的为 SO_2Cl_2 ， L_3 代表 SO_2Cl_2 ，随着 $\frac{n(\text{SCl}_2)}{n(\text{O}_2)}$ 增加，反应

II 正向进行，曲线 L_1 代表 SCl_2 摩尔分数增加，因 SO_2Cl_2 的量不是一直增加，故 SOCl_2 摩尔分数先增加后减少，

曲线 L_2 代表 SOCl_2 ，据此分析：

【详解】A. 根据分析可知，曲线 L_2 表示 SOCl_2 摩尔分数随 $\frac{n(\text{SCl}_2)}{n(\text{O}_2)}$ 的变化，A 错误；

B. $T^\circ\text{C}$ 时，温度不变，则 K 不变， $\frac{n(\text{SCl}_2)}{n(\text{O}_2)} = 2$ 时，设投放了 1mol O_2 和 2mol SCl_2 ，反应 II 反应了 $a\text{mol SCl}_2$ ，

		$\text{SCl}_2(\text{g})$	+	$\text{SO}_2\text{Cl}_2(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$2\text{SOCl}_2(\text{g})$	
列三段式，	起始 (mol)	1		1		0	，根据图中
	转化 (mol)	a		a		2a	
	平衡 (mol)	1-a		1-a		2a	

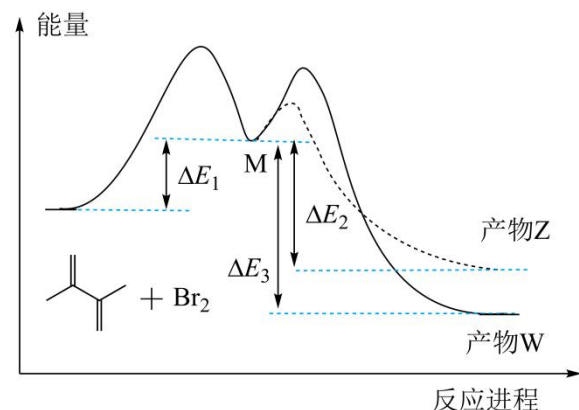
给出 L_1 与 L_3 交叉点信息，列式， $\frac{1-a}{2}=0.1$ ，解得 $a=0.8\text{mol}$ ， $K=\frac{c^2(\text{SOCl}_2)}{c(\text{SO}_2\text{Cl}_2)c(\text{SCl}_2)}=\frac{\left(\frac{1.6}{V}\right)^2}{\frac{0.2}{V}\frac{0.2}{V}}=64$ ，B 正确；

C. 降温达新平衡后，反应 II 正向进行， SCl_2 摩尔分数减少， SOCl_2 摩尔分数增加，曲线 L_1 和 L_2 新交点不可能在 a 点，可能出现在 b 处，C 错误；

D. $T^\circ\text{C}$ ，缩小容器体积，压强增大，反应 II 不移动达新平衡后， $\frac{n(\text{SCl}_2)}{n(\text{SOCl}_2)}$ 的值不变，D 错误；

故选 B。

3. (2025 烟台德州东营一模，10) 一定条件下，2, 3-二甲基-1, 3-丁二烯与溴单质发生液相加成反应分两步进行，第一步生成中间体 M，第二步生成产物 Z 或 W，表示如下。反应进程及能量变化如图所示。下列说法错误的是



- A. 生成 Z 的反应热为 $\Delta E_1 - \Delta E_2$
- B. 反应开始时，反应速率 $v(\text{Z}) > v(\text{W})$
- C. 达到平衡时，Z 的含量小于 W
- D. 达到平衡后，升高温度 $\frac{c_{\text{平}}(\text{Z})}{c_{\text{平}}(\text{W})}$ 减小

【答案】D

【解析】

【详解】A. 由图像可知，生成 Z 的反应， ΔE_1 为反应物到中间产物吸收的热量， ΔE_2 为中间产物到 Z 释放的热量，反应为放热反应，故反应热为 $\Delta E_1 - \Delta E_2$ ，故 A 正确；

B. 由图像可知，M 转化为 Z 的活化能更小，所以开始时生成 Z 的反应速率更快，故 B 正确；

C. 由反应物生成 Z 或 W 都是放热反应，生成 W 时放热更多，更有利用反应进行，故平衡时生成的 W 更多，故 C 正确；

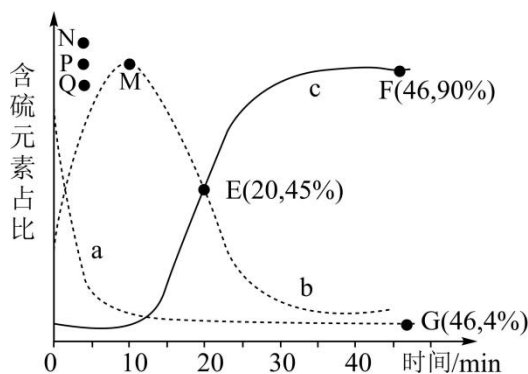
D. 生成 W 的反应活化能更大, 故升高温度生成 W 的反应逆向移动的程度更大, $c_{\text{平}}(\text{W})$ 减小更多, 故 $\frac{c_{\text{平}}(\text{Z})}{c_{\text{平}}(\text{W})}$ 增大,

故 D 错误;

答案选 D。

4. (2025 聊城一模, 14) (不定项) 煤化工等行业废气普遍含有硫化氢, 需回收处理并加以利用。在 $T^{\circ}\text{C}$ 、100kPa 恒定条件下, 向密闭容器中充入 $2\text{molH}_2\text{S}$ 和 6molO_2 , 发生反应① $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{S}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 、② $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 、③ $\text{S}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(\text{g})$ 。测得含硫元素占比[如 S_2 的含硫元素占比 $\text{S}_2\% = \frac{n(\text{S}_2) \times 2}{n(\text{SO}_2) + n(\text{H}_2\text{S}) + 2n(\text{S}_2)} \times 100\%$]与时间的关系如图所示。

元素占比 $\text{S}_2\% = \frac{n(\text{S}_2) \times 2}{n(\text{SO}_2) + n(\text{H}_2\text{S}) + 2n(\text{S}_2)} \times 100\%$ 与时间的关系如图所示。



已知: 反应①快速平衡。下列说法正确的是

- A. 反应①的活化能高于反应③
- B. 图中曲线 c 表示 SO_2 的含硫元素占比与时间的变化关系
- C. 若选择对反应①催化效果更好的催化剂, 则 M 点将移向 P 点
- D. 若 40 min 时达到平衡, 则平衡时生成 H_2O 的物质的量为 1.92 mol

【答案】BD

【解析】

【分析】随反应进行, H_2S 的物质的量减少, a 表示 H_2S 的含硫元素占比与时间的变化关系的曲线; 反应 I 快速平衡, 则 S_2 快速达到最大值, 则 b 表示 S_2 的含硫元素占比与时间的变化关系的曲线; c 表示 SO_2 的含硫元素占比与时间的变化关系的曲线;

【详解】A. 反应①快速平衡说明反应①速率快, 活化能更低, A 错误;

B. 由分析可知, c 表示 SO_2 的含硫元素占比与时间的变化关系的曲线, B 正确;

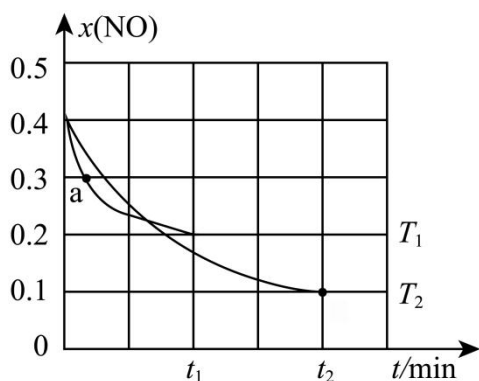
C. 若选择对反应 I 催化效果更好的催化剂, 平衡不移动, 反应速率加快, 由于达到平衡的时间缩短, 反应 III 消耗 S_2 的量减少, 则 M 点将移向 N 点, C 错误;

D. 若 40 min 时达到平衡, 生成 H_2O 的物质的量与 46 min 相同, H_2S 的含硫元素占比为 4%, H_2S 的物质的量为 0.08 mol,

则反应消耗 H_2S 的物质的量为 1.92mol ，根据氢元素守恒可知生成水 1.92mol ，D 正确；

故选 BD。

5. (2025 菏泽一模, 14) (不定项) 已知基元反应 $\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 的速率方程为 $v_{\text{正}} = k_{\text{正}} c(\text{NO}) \cdot c(\text{O}_3)$ 、 $v_{\text{逆}} = k_{\text{逆}} c(\text{NO}_2) \cdot c(\text{O}_2)$ 。向 2L 恒容密闭容器中充入 $0.4\text{mol NO}(\text{g})$ 和 $0.6\text{mol O}_3(\text{g})$ 发生上述反应， T_1 、 T_2 温度时 NO 的体积分数 $x(\text{NO})$ 随时间变化关系如图所示。下列说法错误的是



- A. 正、逆反应活化能的大小关系为 $E_a(\text{正}) < E_a(\text{逆})$
- B. a 点: $k_{\text{正}}/k_{\text{逆}} < [c(\text{NO}_2) \cdot c(\text{O}_2)]/[c(\text{NO}) \cdot c(\text{O}_3)]$
- C. T_2 温度下, O_3 的平衡转化率为 50%
- D. 温度不变, 仅改变初始容器体积, $x(\text{NO})$ 随时间的变化曲线不变

【答案】BD

【分析】根据先拐先平数值大可知, $T_1 > T_2$, 温度较高的 T_1 时体积分数 $x(\text{NO})$ 大, 说明升高温度平衡逆向移动, 逆反应为吸热反应, 正反应为放热反应。

【详解】A. 根据先拐先平数值大可知, $T_1 > T_2$, 温度较高的 T_1 时体积分数 $x(\text{NO})$ 大, 说明升高温度平衡逆向移动, 逆反应为吸热反应, 正反应为放热反应, 故正、逆反应活化能的大小关系为 $E_a(\text{正}) < E_a(\text{逆})$, A 正确;

B. 平衡时 $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$, $\frac{K_{\text{正}}}{K_{\text{逆}}} = \frac{\frac{v_{\text{正}}}{c(\text{NO})c(\text{O}_3)}}{\frac{v_{\text{逆}}}{c(\text{NO}_2)c(\text{O}_2)}} = \frac{c(\text{NO}_2)c(\text{O}_2)}{c(\text{NO})c(\text{O}_3)} = K$, 而 a 点, 反应未达平衡, 还在正向移动, 此时的 $v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}$,

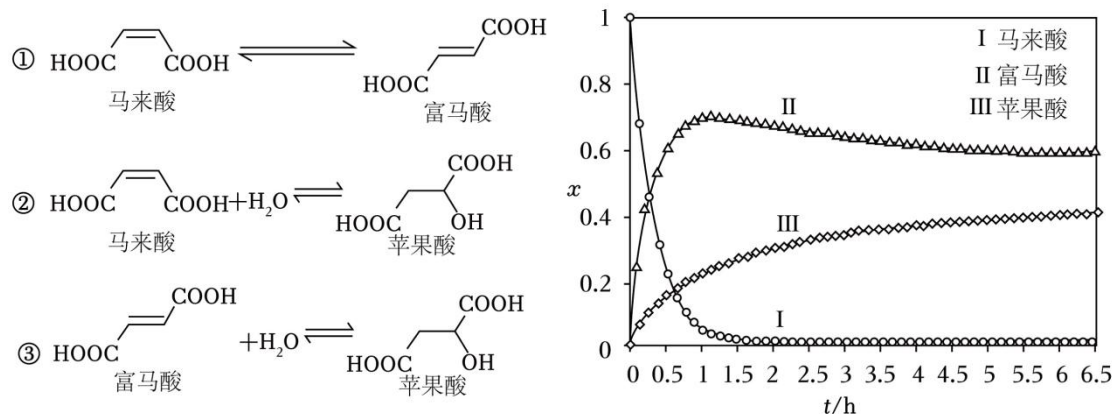
代入上式可知, $k_{\text{正}}/k_{\text{逆}} > [c(\text{NO}_2) \cdot c(\text{O}_2)]/[c(\text{NO}) \cdot c(\text{O}_3)]$, B 错误;

C. T_2 温度下, 平衡时, NO 占总气体量的 0.1, 由于是等体积反应, 反应前后气体的总物质的量不变 (均为 1mol), 所以平衡时, 剩余的 NO 为 0.1mol , 反应的 NO 是 0.3mol , 根据方程式可知, O_3 反应了 0.3mol , 所以 O_3 的平衡转化率为 50%, C 正确;

D. 温度不变, 仅改变初始容器体积, 此反应是气体等体积反应, 平衡不移动, 但是会导致气体浓度改变, 化学反应速率变化, $x(\text{NO})$ 随时间的变化曲线会变, D 错误;

故选 BD。

6. (2025 泰安一模, 15) (不定项) 马来酸, 富马酸和苹果酸在水热条件下存在如下相互转化过程。190℃时, 相关物质的物质的量分数随时间变化如图所示。6.5h 后, 苹果酸的物质的量分数不再随时间变化。下列说法错误的是



- A. 二元弱酸的第一级电离常数: $K_{a1}(\text{马来酸}) > K_{a1}(\text{富马酸})$
- B. 190℃时的平衡常数: $K(\text{反应①}) > K(\text{反应②}) > K(\text{反应③})$
- C. 平均反应速率: $v(\text{马来酸}) = v(\text{富马酸}) + \frac{1}{2}v(\text{苹果酸})$
- D. 1.25h 后转化过程以反应③为主

【答案】C

【详解】A. 由图可知, 马来酸属于顺式结构, 属于极性分子, 富马酸是非极性分子, 因此马来酸中羟基的极性大于富马酸, 故第一级电离常数: $K_{a1}(\text{马来酸}) > K_{a1}(\text{富马酸})$, A 正确;

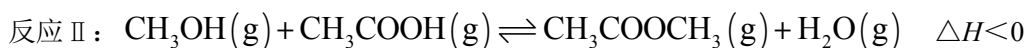
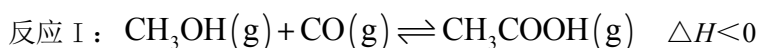
B. 平衡时, $x(\text{富马酸}) > x(\text{苹果酸}) > x(\text{马来酸})$, $K_1 = \frac{c(\text{富马酸})}{c(\text{马来酸})} > K_2 = \frac{c(\text{苹果酸})}{c(\text{马来酸})} > 1$, $K_3 = \frac{c(\text{苹果酸})}{c(\text{富马酸})} < 1$, 故 190℃ 时的平衡常数: $K(\text{反应①}) > K(\text{反应②}) > K(\text{反应③})$, B 正确

C. 根据物料守恒, $\Delta c(\text{马来酸}) = \Delta c(\text{苹果酸}) + \Delta c(\text{富马酸})$, 反应平均速率 $v = \frac{\Delta c}{\Delta t}$, 则 $v(\text{马来酸}) = v(\text{富马酸}) + v(\text{苹果酸})$, C 错误;

D. 1.25h 后, 马来酸含量几乎为 0, 说明反应①、②基本完成, 富马酸含量减少, 苹果酸含量增大, 说明以反应③为主, D 正确;

故选 C。

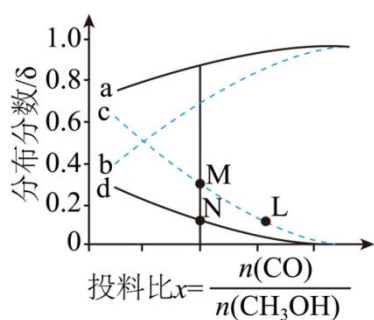
7. (2025 潍坊一模, 15) (不定项) 工业上多采用 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 和 $\text{CO}(\text{g})$ 反应制备 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{g})$ 。恒压下, 向密闭容器中充入一定量的 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 和 $\text{CO}(\text{g})$, 体系中同时存在如下反应:



在 503K 和 583K 下, 反应达到平衡时, 测得含碳产物的分布分数 δ

$[\delta(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{n(\text{CH}_3\text{COOH})}{n(\text{CH}_3\text{COOH}) + n(\text{CH}_3\text{COOCH}_3)}]$ 随投料比 x (物质的量之比) 的变化关系如图。下列说法正确

的是



- A. b 线代表乙酸的分布分数
- B. CO 平衡转化率: $\alpha(M) > \alpha(N)$
- C. CH₃OH 的转化率: $\alpha(L) < \alpha(M)$
- D. M、N 两点对应反应 II 的平衡常数: $K(M) < K(N)$

【答案】AB

【解析】

【分析】反应 I 为主反应，反应 II 为副反应，随着投料比 x 的不断增大，平衡不断正向移动，CH₃COOH 的物质的量不断增大， $\delta(\text{CH}_3\text{COOH})$ 不断增大，所以 a、b 为 CH₃COOH 的分布曲线，c、d 为 CH₃COOCH₃ 的分布曲线。对于反应 II，升高温度，平衡逆向移动，CH₃COOCH₃ 的物质的量减小， $\delta(\text{CH}_3\text{COOCH}_3)$ 应减小，所以曲线中实线为 583K 时的曲线，虚线为 503K 时的曲线。

【详解】A. 由分析可知，b 线代表乙酸的分布分数，A 正确；

B. M、N 丙点，投料比 x 相同，温度不同，M 点温度低于 N 点，降低温度，平衡正向移动，则 CO 平衡转化率：

$\alpha(M) > \alpha(N)$ ，B 正确；

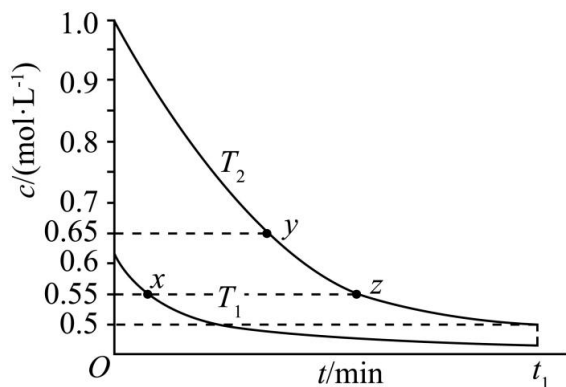
C. L、M 点的温度相同，L 点 CO 的含量大，从 M 点到 L 点，相当于增大 CO 的浓度，平衡正向移动，CH₃OH 的转化率增大，则 CH₃OH 的转化率: $\alpha(L) > \alpha(M)$ ，C 不正确；

D. M 点的温度低于 N 点，降低温度，平衡正向移动，平衡常数增大，则 M、N 两点对应反应 II 的平衡常数：

$K(M) > K(N)$ ，D 不正确；

故选 AB。

8. (2025 日照一模, 15)(不定项) 分别向恒温恒压密闭容器 I (T_1, P_1), 恒温恒压密闭容器 II (T_2, P_2) 中充入 $1\text{mol C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 发生反应 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ $\Delta H > 0$, 反应过程中 $\alpha(\text{C}_3\text{H}_8)$ 随时间 t 的变化曲线如图所示。已知: $v = kc(\text{C}_3\text{H}_8)$, T_1 、 T_2 时反应速率常数分别为 k_1 、 k_2 , $v(x) = v(y)$, t_1 时容器 II 达到化学平衡状态。下列说法错误的是



- A. 反应速率常数 $k_1:k_2=11:13$
- B. x 点的活化分子数目多于 z 点
- C. 减小容器 I 的压强, 可使平衡时各组分的物质的量分数与容器 II 中的相同
- D. 若容器 II 初始充入 1mol 丙烷和 5molAr, 则平衡后, 丙烷的转化率为 75%

【答案】ACD

【分析】从图像分析, 容器 I (T_1 、 P_1) 初始 $c(\text{C}_3\text{H}_8)$ 小于容器 II (T_2 、 P_2) 初始 $c(\text{C}_3\text{H}_8)$, 说明容器 I 体积大于容器 II, $P_1 < P_2$; x 点 $c(\text{C}_3\text{H}_8) = 0.55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $v(x) = k_1 \times 0.55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, y 点 $c(\text{C}_3\text{H}_8) = 0.65 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $v(y) = k_2 \times 0.65 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 由 $v(x) = v(y)$, 即 $k_1 \times 0.55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = k_2 \times 0.65 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $k_1 > k_2$, $T_1 > T_2$ 。

【详解】A. 根据图像分析, x 点 $c(\text{C}_3\text{H}_8) = 0.55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $v(x) = k_1 \times 0.55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, y 点 $c(\text{C}_3\text{H}_8) = 0.65 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $v(y) = k_2 \times 0.65 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 由 $v(x) = v(y)$, 即 $k_1 \times 0.55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = k_2 \times 0.65 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $k_1:k_2=13:11$, A 项错误;

B. 相同温度下, y 点 $c(\text{C}_3\text{H}_8)$ 比 z 点 $c(\text{C}_3\text{H}_8)$ 大, $v(y) > v(z)$, 由 $v(x) = v(y)$, 则 $v(x) > v(z)$, 结合 x 点与 z 点 $c(\text{C}_3\text{H}_8)$ 相同, 说明单位体积 x 点的活化分子数目多于 z 点, 容器 I 体积大于容器 II, 则 x 点的活化分子数目多于 z 点, B 项正确;

C. 从上述分析可知, $P_1 < P_2$, 再减小容器 I 的压强, $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 反应平衡正移, 压强影响容器 I 平衡比容器 II 正移程度大, $\Delta H > 0$, $T_1 > T_2$, 温度影响容器 I 平衡比容器 II 正移程度大, 故在容器 I、容器 II 分别处于 T_1 、 T_2 温度下, 减小容器 I 的压强, 不可使平衡时各组分的物质的量分数与容器 II 中的相同, C 项错误;

D. 容器 II (T_2 、 P_2) 初始 1mol $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$, $c(\text{C}_3\text{H}_8) = 1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则容器体积为 1L, t_1 时达到化学平衡状态,

$$c(\text{C}_3\text{H}_8) = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{ 根据三段式分析计算 } K_p, \quad \begin{array}{l} \text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \\ \text{初始 / mol} \quad 1 \quad \quad 0 \quad \quad 0 \\ \text{转化 / mol} \quad x \quad \quad x \quad \quad x \\ \text{平衡 / mol} \quad 1-x \quad \quad x \quad \quad x \end{array}, \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{V(\text{平})}{1\text{L}} = \frac{1-x+x+x}{1\text{mol}} \\ \frac{1-x}{V(\text{平})} = 0.5 \text{ mol/L} \end{array} \right.,$$

$$\text{解得} \begin{cases} x = \frac{1}{3} \text{ mol} \\ V(\text{平}) = \frac{4}{3} \text{ L} \end{cases}; \text{平衡时气体 } n(\text{总}) = \frac{4}{3} \text{ mol}, K_p = \frac{p(\text{C}_3\text{H}_6) \cdot p(\text{H}_2)}{p(\text{C}_3\text{H}_8)} = \frac{\left(p_2 \cdot \frac{1/3}{4/3}\right) \cdot \left(p_2 \cdot \frac{1/3}{4/3}\right)}{\left(p_2 \cdot \frac{2/3}{4/3}\right)} = \frac{p_2}{8}; \text{温度不变, } K_p \text{ 不}$$

变, 若丙烷的转化率为 75% 时, 计算 Q_p ,

	$\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{C}_3\text{H}_6(\text{g})$	$+$	$\text{H}_2(\text{g})$	Ar
初始 / mol	1		0		0	5
转化 / mol	0.75		0.75		0.75	0
此时 / mol	0.25		0.75		0.75	5

, 此时 $n(\text{总}) = 6.75 \text{ mol}$,

$$Q_p = \frac{p(\text{C}_3\text{H}_6) \cdot p(\text{H}_2)}{p(\text{C}_3\text{H}_8)} = \frac{\left(p_2 \cdot \frac{0.75}{6.75}\right) \cdot \left(p_2 \cdot \frac{0.75}{6.75}\right)}{\left(p_2 \cdot \frac{0.25}{6.75}\right)} = \frac{p_2}{3} \neq K_p, \text{此时不是平衡状态, 即平衡后, 丙烷的转化率不等于 } 75\%,$$

D 项错误;

答案选 ACD。

9. (2025 济南一模, 15) (不定项) 工业常用 Si 和 HCl 为原料来制备 SiHCl_3 , 反应原理:

$\text{Si}(\text{s}) + 3\text{HCl}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SiHCl}_3(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 。向恒压容器中加入 5 mol HCl 和 1 mol Si, 在 T K、 p_0 kPa 下发生

上述反应, 测得容器中气体体积(V)与时间(t)的关系如表所示(20min 时, 瞬间扩大容器减小压强为 $\frac{p_0}{2}$ kPa 下发生

反应; 忽略固体体积对气体体积的影响):

时间	0min	5min	10min	15min	20min	30min	40min
体积	2L	1.7L	1.6L	1.6L	3.2L	3.36L	3.36L

下列说法正确的是

A. 0~5min 内, $v(\text{Si}) = 0.15 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$

B. 反应进行到 10min 时已达平衡状态

C. 15min 时, 向反应体系中再加入 1 mol Si, 容器体积不随时间变化

D. 在 T K 时, 该反应的 $K_p = \frac{\left(\frac{0.8}{4.2} \times \frac{p_0}{2}\right)^2}{\left(\frac{2.6}{4.2} \times \frac{p_0}{2}\right)^3} \text{ kPa}^{-1}$

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 反应为气体分子数减小 1 的反应, 0~5min 内, 容器中气体体积减小 0.3L, 结合阿伏伽德罗定律, 减小气体的物质的量为 $5 \text{ mol} \times \frac{0.3 \text{ L}}{2 \text{ L}} = 0.75 \text{ mol}$, 结合反应方程式, 则反应 0.75mol Si,

$$v(\text{Si}) = \frac{0.75}{5} \text{mol} \cdot \text{min}^{-1} = 0.15 \text{mol} \cdot \text{min}^{-1}, \text{A 正确};$$

B. 反应进行到10min时, 总的气体的物质的量为 $5 \text{mol} \times \frac{1.6 \text{L}}{2 \text{L}} = 4 \text{mol}$, 气体减少 1mol, 则反应硅 1mol, 硅完全反应, 而该反应为可逆反应, 则未达平衡状态, B 错误;

C. 结合 B 分析, 15min时, 硅完全反应, 向反应体系中再加入 1 mol Si, 则导致平衡正向移动, 气体物质的量减小则容器体积减小, C 错误;

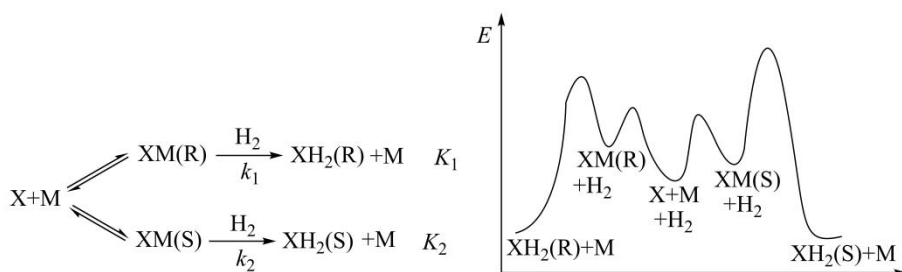
D. 结合 B 分析, 15min时, 总的气体为 4mol, HCl、SiHCl₃、H₂ 分别为 2mol、1mol、1mol; 30min、40min 时气体体积增大则平衡逆向移动, 达到平衡, 30min时总的物质的量为 $4 \text{mol} \times \frac{3.36 \text{L}}{3.2 \text{L}} = 4.2 \text{mol}$, 则气体增加 0.2mol,

则 0.2mol H₂、0.2mol SiHCl₃ 反应生成 0.6mol HCl, 则平衡时 HCl、SiHCl₃、H₂ 分别为 2.6mol、0.8mol、0.8mol,

$$\text{故 T K 时, 该反应的 } K_p = \frac{\left(\frac{0.8}{4.2} \times \frac{p_0}{2}\right) \times \left(\frac{0.8}{4.2} \times \frac{p_0}{2}\right)}{\left(\frac{2.6}{4.2} \times \frac{p_0}{2}\right)^3} \text{kPa}^{-1}, \text{D 正确};$$

故选 AD。

10. (2025 济宁一模, 15) (不定项) 不对称催化剂催化 2-乙酰氨基-3-苯基烯酸乙酯(记为 X)不对称氢化的机理如图所示。平衡时, $n[\text{XM}(\text{R})]/n[\text{XM}(\text{S})] = 0.05$, $n[\text{XH}_2(\text{R})]/n[\text{XH}_2(\text{S})] = 40.0$ (已知: XM 生成 XH₂ 的反应为基元反应; k_1 、 k_2 为速率常数, K_1 、 K_2 为平衡常数)。



下列说法正确的是

A. 平衡常数 K_2 : $K_1 = 800$

B. 升高温度, k_1/k_2 减小

C. 其他条件不变, 增加 M 的物质的量, X 的平衡转化率增大

D. 已知存在 $\text{XM}(\text{R}) \rightleftharpoons \text{XM}(\text{S})$, 提高 H₂ 的压强, 平衡时, $n[\text{XH}_2(\text{R})]/n[\text{XH}_2(\text{S})]$ 不变

【答案】BD

【解析】

$$\text{【详解】A. 平衡常数 } K_2: K_1 = \frac{c(\text{M}) \times c[\text{XH}_2(\text{S})]}{c(\text{H}_2) \times c[\text{XM}(\text{S})]} : \frac{c(\text{M}) \times c[\text{XH}_2(\text{R})]}{c(\text{H}_2) \times c[\text{XM}(\text{R})]} = \frac{c[\text{XH}_2(\text{S})] \times c[\text{XM}(\text{R})]}{c[\text{XM}(\text{S})] \times c[\text{XH}_2(\text{R})]} = \frac{1}{800},$$

A 错误;

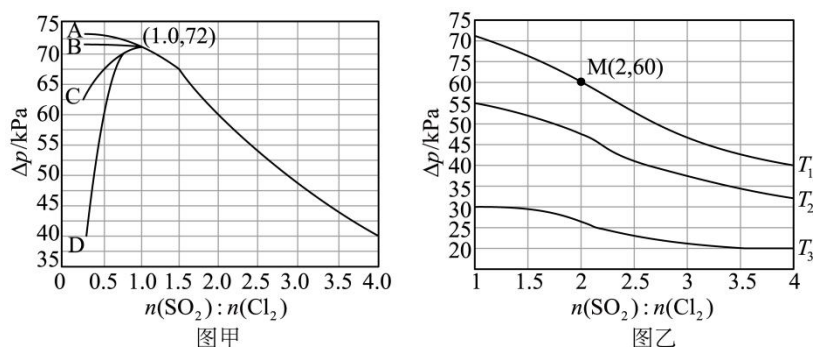
- B. 升高温度, k_1 、 k_2 均增大, 反应 2 的活化能大, 温度对 k_2 的影响大, 升高温度 k_2 增加的多, k_1/k_2 减小, B 正确;
- C. M 是催化剂, 反应前后不变, 改变催化剂的量, 对平衡转化率无影响, C 错误;
- D. 反应中 $XM(R) \rightleftharpoons XM(S)$, 反应物和生成物都没有 H_2 , 增加氢气的量, 对平衡无影响, 提高 H_2 的压强, 平衡时, $n[XH_2(R)]/n[XH_2(S)]$ 不变, D 正确;

答案选 BD。

11. (2025 枣庄一模, 15) (不定项) 硫酰氯常用作氯化剂和氯磺化剂, 工业上制备原理如下: $SO_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2Cl_2(g)$

$\Delta H < 0$. 恒容密闭容器中按不同的投料比充入 $SO_2(g)$ 和 $Cl_2(g)$, 测定某温度下体系达平衡时的 Δp , 结果如图。已知:

$\Delta p = p_0 - p_t$, p_0 为体系初始压强, 等于 240 kPa; p_t 为体系平衡压强。



下列说法错误的是

- A. 图甲能准确表示该温度下 Δp 随进料比变化的曲线是 C
- B. 图甲中, 该温度下产物 SO_2Cl_2 平衡时物质的量分数的最大值约为 43%
- C. 图乙中温度关系为 $T_3 > T_2 > T_1$
- D. 图乙 T_1 温度下, 平衡常数 $K_p = 0.06 \text{ KPa}^{-1}$

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 由题干可得, 反应的 K_p 不变, 且该反应中 SO_2 和 Cl_2 的化学计量系数之比为 1:1, 当投料比为 1:1 时 Δp 最大, 则投料比为 $a:b$ 与 $b:a$ 时, Δp 相等, 即投料比为 0.5 和 2 时的 Δp 相等, 则图甲能准确表示该温度下 Δp 随进料比变化的曲线是 D, A 错误;

B. 图甲中, 当 $n(SO_2):n(Cl_2) = 1$ 时, $\Delta p = 72 \text{ kPa}$, 恒温恒容下, 压强之比等于物质的量之比, 设起始时 SO_2 和 Cl_2 物质的量均为 $x \text{ mol}$, 则反应达到平衡时气体总物质的量减小 $\frac{72}{240} \times 2x \text{ mol} = 0.6x \text{ mol}$ 。根据化学方程式可知生成 $SO_2Cl_2(g)$ 的物质的量为 $0.6x \text{ mol}$, 平衡时气体总物质的量为 $2x - 0.6x = 1.4x \text{ mol}$, 则图甲中, 该温度下产物 SO_2Cl_2 平衡时物质的量分数的最大值约为 $\frac{0.6x}{1.4x} \times 100\% \approx 43\%$, B 正确;

C. 该反应 $\Delta H < 0$, 属于放热反应, 相同投料比时, 升高温度, 平衡逆向移动, 气体物质的量增大, $\Delta p = p_0 - p_t$ 减

小，则图乙中温度关系为 $T_3 > T_2 > T_1$ ，C 正确；

D. 图乙 T_1 温度下， $n(\text{SO}_2):n(\text{Cl}_2) = 2$ 时， $\Delta p = 60\text{kPa}$ ，设起始时 Cl_2 物质的量为 $n\text{mol}$ ，则 SO_2 物质的量为 $2n\text{mol}$ ，

反应后气体总物质的量减小 $\frac{60}{240} \times 3n\text{mol} = 0.75n\text{mol}$ ，根据化学方程式可知生成 $\text{SO}_2\text{Cl}_2(\text{g})$ 的物质的量为

$0.75n\text{mol}$ ，平衡时 SO_2 物质的量为 $(2n - 0.75n)\text{mol} = 1.25n\text{mol}$ ， Cl_2 物质的量为 $(n - 0.75n)\text{mol} = 0.25n\text{mol}$ ，平衡时总

压强 $p_t = 240\text{kPa} - 60\text{kPa} = 180\text{kPa}$ ，则平衡时 $p(\text{SO}_2) = \frac{1.25n}{3n - 0.75n} \times 180\text{kPa} = 100\text{kPa}$ ，

$p(\text{Cl}_2) = \frac{0.25n}{3n - 0.75n} \times 180\text{kPa} = 20\text{kPa}$ ， $p(\text{SO}_2\text{Cl}_2) = \frac{0.75n}{3n - 0.75n} \times 180\text{kPa} = 60\text{kPa}$ ，所以平衡常数

$K_p = \frac{p(\text{SO}_2\text{Cl}_2)}{p(\text{SO}_2) \cdot p(\text{Cl}_2)} = \frac{60\text{kPa}}{100\text{kPa} \times 20\text{kPa}} = 0.03\text{kPa}^{-1} \neq 0.06\text{kPa}^{-1}$ ，D 错误；

故选 AD。

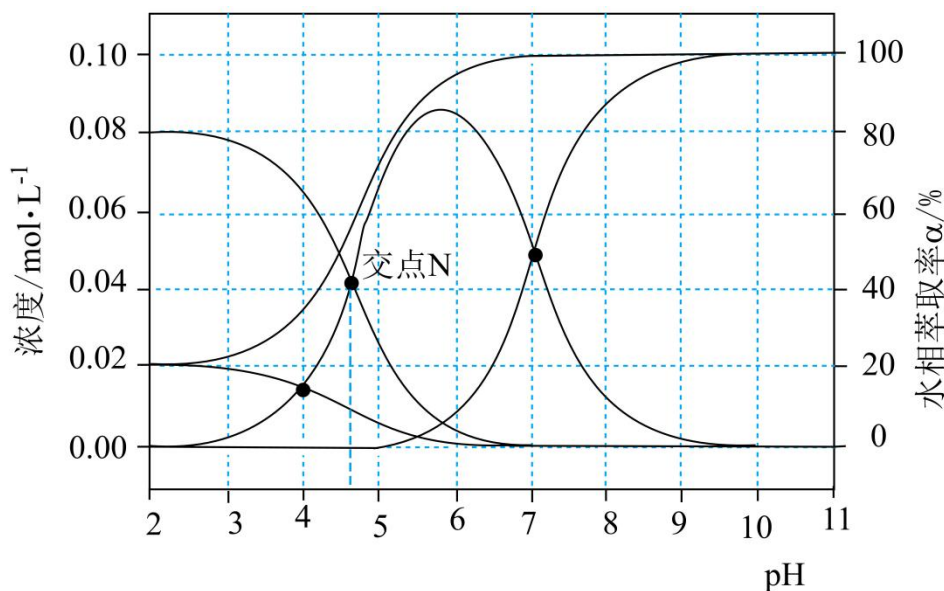
四、电解质溶液中的离子平衡

1. (2025 潍坊一模, 10) 二元弱酸在有机相和水相中存在平衡: $\text{H}_2\text{A}(\text{有机相}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{A}(\text{aq})$ ，平衡常数为 K_d ， H_2A

在有机相中不电离。25℃时，向 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{A}(\text{有机相})$ 溶液中加入等体积水进行萃取，用 $\text{NaOH}(\text{s})$ 或 $\text{HCl}(\text{g})$

调节溶液 pH，忽略体积变化。测得两相中含 A 微粒的浓度与水相萃取率 $\alpha \left[\alpha = 1 - \frac{c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})}{0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}} \right]$ 随 pH 的变化关

系如图。下列说法正确的是



A. $K_d = 4$

B. 曲线 a 代表水相中 $c(\text{H}_2\text{A})$

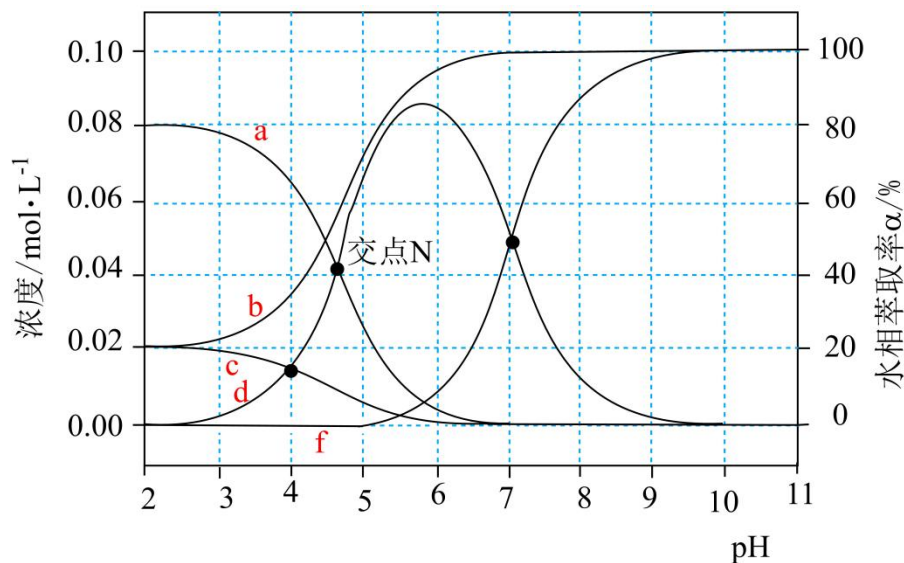
C. N 点 $c(\text{H}^+) = 2.5 \times 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

D. 当 $\text{pH} = 5.6$ 时，体系中 $c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A}) > c(\text{H}_2\text{A}) > c(\text{A}^{2-})$

【答案】C

【解析】

【分析】为方便分析，给曲线进行命名，如图：



有机相中 H_2A 的浓度 $[c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})]$ 与水相萃取率 $\alpha \left[\alpha = 1 - \frac{c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})}{0.1 \text{ mol} \times \text{L}^{-1}} \right]$ 可知 $0.1\alpha + c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A}) = 0.1$ ，可知曲

线 a 应为 $c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})$ ，b 为水相萃取率，水溶液中的 HA^- 会随着 pH 的增大先增大后减小，曲线 d 为水溶液中的 HA^- ，而 A^{2-} 来源于 HA^- 的电离，由图可知，pH=2 时， HA^- 浓度为 0，即此时 A^{2-} 为 0，因此曲线 f 为水溶液中的 A^{2-} ，即 c 为水溶液中 H_2A 的浓度，综上：a 为 $c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})$ 、b 为水相萃取率、c 为水溶液中 H_2A 的浓度、d 为水溶液

中的 HA^- 、f 为水溶液中的 A^{2-} ，c、d 交点的 pH 为 4，即 H_2A 的 $K_{a1} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})} = 10^{-4}$ ，d、f 交点的 pH 为

7，即 $K_{a2} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)} = 10^{-7}$ 。

【详解】A. 当 pH=2 时，代入数据得 $K_d = \frac{c_{\text{aq}}(\text{H}_2\text{A})}{c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})} = \frac{0.02}{0.08} = 0.25$ ，故 A 错误；

B. 据分析得，曲线 a 代表 $c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})$ ，故 B 错误；

C. 由 A 选项 $K_d = \frac{c_{\text{aq}}(\text{H}_2\text{A})}{c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})} = \frac{0.02}{0.08} = 0.25$ ，可知 $c(\text{H}_2\text{A}) = 0.25c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})$ ，又因为

$K_{a1} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})} = 10^{-4}$ ，可得 $K_{a1} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{HA}^-)}{0.25c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})} = 10^{-4}$ ，当 $c(\text{HA}^-) = c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})$ 时，

$c(\text{H}^+) = 2.5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ，pH=4.6，故 C 正确；

D. 由 A 选项 $K_d = \frac{c_{\text{aq}}(\text{H}_2\text{A})}{c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})} = \frac{0.02}{0.08} = 0.25$ ，可知 $c(\text{H}_2\text{A}) = 0.25c_{\text{有机相}}(\text{H}_2\text{A})$ ，又因为

$$K_{a1} = \frac{c(H^+)c(HA^-)}{c(H_2A)} = 10^{-4}, K_{a2} = \frac{c(H^+)c(A^{2-})}{c(HA^-)} = 10^{-7}, \text{ 可得}$$

$$K_{a1}K_{a2} = \frac{c^2(H^+)c(A^{2-})}{c(H_2A)} = \frac{c^2(H^+)c(A^{2-})}{0.25c_{\text{有机相}}(H_2A)} = 10^{-11}, \text{ 曲线 a 和曲线 f 的交点处有: } c(A^{2-}) = c_{\text{有机相}}(H_2A), \text{ 则}$$

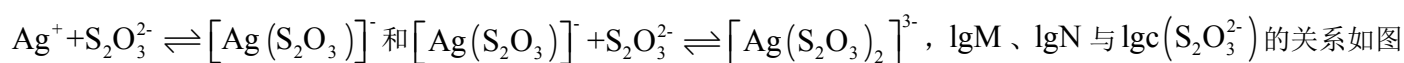
$$c^2(H^+) = 2.5 \times 10^{-12}, c(H^+) = 1.6 \times 10^{-6} \text{ mol/L}, \text{ pH}=5.8, \text{ 曲线 c 和曲线 f 的交点处有: } c(A^{2-}) = c(H_2A), \text{ 则}$$

$$c^2(H^+) = 10^{-11}, c(H^+) = 10^{-5.5} \text{ mol/L}, \text{ pH}=5.5, \text{ 则当 pH}=5.6 \text{ 时, 根据图像以及上述分析可知, 体系中}$$

$$c(HA^-) > c_{\text{有机相}}(H_2A) > c(A^{2-}) > c(H_2A), \text{ 故 D 错误;}$$

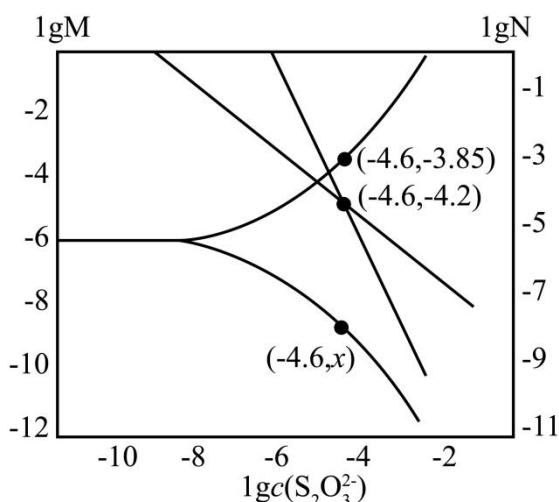
故答案为 C。

2. (2025 青岛一模, 10) $T^\circ\text{C}$, AgBr 悬浊液(含足量 AgBr 固体)加 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 固体, 发生反应



所示, M 代表 $c(\text{Ag}^+)$ 或 $c(\text{Br}^-)$, N 代表 $\frac{c(\text{Ag}^+)}{c\{[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-\}}$ 或 $\frac{c(\text{Ag}^+)}{c\{[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}\}}$ 。已知 $K_{\text{sp}}(\text{AgBr}) = 10^{-12.2}$ 。

下列说法错误的是



A. $x = -8.35$

B. $\text{AgBr(s)} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}(\text{aq}) + \text{Br}^-(\text{aq})$ 的平衡常数 $K = 10^{1.2}$

C. $c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = c\{[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}\}$ 时, $(10^{1.2} - 1)c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = c(\text{Ag}^+) + c\{[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-\}$

D. $c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = c\{[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-\}$ 时, $c(\text{Br}^-) > c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) > c\{[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}\} > c(\text{Ag}^+)$

【答案】D

【解析】

【分析】溴化银的饱和溶液中溴离子浓度和银离子浓度相等, 向饱和溶液中滴加硫代硫酸钠溶液时, 溶液中银离子浓度减小、溴离子浓度增大, 溴化银与硫代硫酸钠溶液开始反应时, 溴化银主要转化为 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$, 故开始溶液中

$$\frac{c(\text{Ag}^+)}{c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-\}} \text{ 小于 } \frac{c(\text{Ag}^+)}{c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-}}。$$

【详解】A. $K_{sp}(\text{AgBr})=10^{-12.2}$ ，则 $10^{-3.85} \times 10^x = 10^{-12.2}$ ， $x=-8.35$ ，故 A 正确；

B. 由图可知，溶液中硫代硫酸根离子浓度为 $10^{-4.6} \text{ mol/L}$ 时，溶液中溴离子和银离子浓度分别为 $10^{-3.85} \text{ mol/L}$ 、

$$10^{-8.35} \text{ mol/L}, \frac{c(\text{Ag}^+)}{c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-}} = 10^{-4.2}, [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} \text{ 的浓度为: } \frac{10^{-8.35}}{10^{-4.2}} \text{ mol/L} = 10^{-4.15} \text{ mol/L},$$

$$\text{AgBr} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} + \text{Br}^- \text{ 的平衡常数为 } \frac{10^{-4.15} \times 10^{-3.85}}{(10^{-4.6})^2} = 10^{1.2}, \text{ 故 B 正确;}$$

C. 根据物料守恒， $(-4.6, -4.2)$ 点存在 $c(\text{Br}^-) = c(\text{Ag}^+) + c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-\} + c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-}$ ，

$$\frac{c(\text{Br}^-) \times c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-}}{c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})^2} = \frac{c(\text{Br}^-) \times c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-}}{c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})^2} = 10^{1.2}, c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-} \text{ 时,}$$

$$(10^{1.2} - 1)c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = c(\text{Br}^-) - c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = c(\text{Ag}^+) + c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-\}, \text{ 故 } c(\text{Br}^-) = c(\text{Ag}^+) + c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-\} + c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-}, \text{ 故 C 正确;}$$

D. 溴化银与硫代硫酸钠溶液开始反应时，溴化银主要转化为 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$ ， $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 浓度逐渐减小，溶液中

$$\frac{c(\text{Ag}^+)}{c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-\}} \text{ 小于 } \frac{c(\text{Ag}^+)}{c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-}}, (-4.6, -4.2) \text{ 点存在 } \frac{c(\text{Ag}^+)}{c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-}} = \frac{c(\text{Ag}^+)}{c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-\}}, \text{ 该点左侧}$$

$$c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-\} > c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-}, \text{ 而该点右侧 } c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-} > c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-\}, c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-\} \text{ 时,}$$

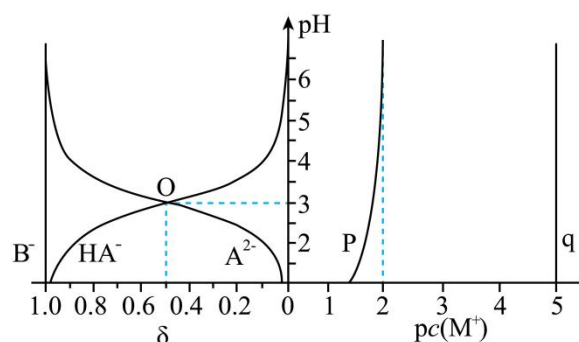
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 固体完全溶解，位于该点右侧，结合分析，存在 $c(\text{Br}^-) > c\{\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2\}^{3-} > c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) > c(\text{Ag}^+)$ ，故 D 错误；

故选 D。

3. (2025 济宁一模，10) 常温下，有含 $\text{M}_2\text{A}(\text{s})$ 的 M_2A 饱和溶液、含 $\text{MB}(\text{s})$ 的 MB 饱和溶液，两份溶液中

$\text{pc}(\text{M}^+)$ ($\text{pc} = -\lg c$) 和微粒的分布系数 δ [$\delta(\text{A}^{2-}) = c(\text{A}^{2-}) / \text{所有含 A 微粒的总浓度}$]，随 pH 的变化关系如图所示， M^+

不发生水解，MHA 可溶。



下列说法正确的是

- A. P 表示 MB 饱和溶液中 $\text{pc}(\text{M}^+)$ 随 pH 变化的图像
- B. 反应 $\text{M}_2\text{A}(\text{s}) + 2\text{B}^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{MB}(\text{s}) + \text{HA}^-$ 的平衡常数约为 5×10^{16}
- C. MHA 与少量 HB 反应的离子方程式为: $\text{HA}^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{A}$
- D. pH=3 时, M_2A 的饱和溶液中 $c(\text{H}^+) + c(\text{M}^+) < 3c(\text{HA}^-) + c(\text{OH}^-)$

【答案】B

【解析】

【分析】含 A 微粒的分布系数曲线只有一个交点,说明 H_2A 第一步完全电离,第二步部分电离,含 A 微粒只有 HA^- 和 A^{2-} ,二者浓度相等时: pH=3,则 HA^- 电离常数 $= c(\text{H}^+) = 10^{-3}$; 含 B 微粒的分布系数曲线只有 B^- 一条曲线,且 $\delta=1$,则 HB 为强酸,在水溶液中完全电离,则 M^+ 浓度改变, M_2A 饱和溶液的 pH 改变, MB 饱和溶液的 pH 不变,即 p 表示 M_2A 饱和溶液中 $\text{pc}(\text{M}^+)$ 随 pH 变化的图像, q 表示 MB 饱和溶液中 $\text{pc}(\text{M}^+)$ 随 pH 变化的图像。据此解答:

【详解】A. 根据分析, HB 为强酸, B^- 不发生水解, M^+ 浓度改变 MB 溶液 pH 不变,而 H_2A 第一步完全电离,第二步部分电离, A^{2-} 在水溶液中会发生水解, M^+ 浓度改变 M_2A 溶液 pH 变化,因此 P 表示 M_2A 饱和溶液中 $\text{pc}(\text{M}^+)$ 随 pH 变化的图像,故 A 错误;

B. 根据分析, M^+ 、 B^- 均不发生水解,所以 MB 饱和溶液中 $\text{pc}(\text{M}^+)$ 不随 pH 变化,则 q 代表 MB 饱和溶液中 $\text{pc}(\text{M}^+)$, p 代表 M_2A 饱和溶液中 $\text{pc}(\text{M}^+)$ 随 pH 发生变化,据图可知, pH=6 时, M_2A 饱和溶液中 $\text{pc}(\text{M}^+) = 2$,

$c(\text{M}^+) = 0.01 \text{ mol/L}$,此时,溶液中只有 A^{2-} ,则 $c(\text{A}^{2-}) = \frac{1}{2}c(\text{M}^+) = 0.005 \text{ mol/L}$,那么

$K_{\text{sp}}(\text{M}_2\text{A}) = c^2(\text{M}^+) \cdot c(\text{A}^{2-}) = 0.01^2 \times 0.005 = 5 \times 10^{-7}$, MB 饱和溶液中 $\text{pc}(\text{M}^+) = 5$,

$c(\text{B}^-) = c(\text{M}^+) = 10^{-5} \text{ mol/L}$, $K_{\text{sp}}(\text{MB}) = c(\text{M}^+) \cdot c(\text{B}^-) = 10^{-5} \times 10^{-5} = 1 \times 10^{-10}$,根据 HA^- 和 A^{2-} 二者浓度相等时 pH=3,得出 HA^- 电离常数 $K_{\text{a}}(\text{HA}^-) = c(\text{H}^+) = 10^{-3}$ 因此反应 $\text{M}_2\text{A}(\text{s}) + 2\text{B}^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{MB}(\text{s}) + \text{HA}^-$ 的平衡

常数: $K = \frac{c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}^+) \cdot c^2(\text{B}^-)} = \frac{c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}^+) \cdot c^2(\text{B}^-)} \cdot \frac{c(\text{A}^{2-})}{c(\text{A}^{2-})} \cdot \frac{c^2(\text{M}^+)}{c^2(\text{M}^+)} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{M}_2\text{A})}{K_{\text{a}}(\text{HA}^-)[K_{\text{sp}}(\text{MB})]^2} = \frac{5 \times 10^{-7}}{10^{-3} \times (10^{-10})^2} = 5 \times 10^{16}$,故 B 正确;

C. MHA 在水溶液中完全电离为 M^+ 和 HA^- , HB 在水溶液中完全电离为 H^+ 和 B^- ,由于

$K_{\text{sp}}(\text{MB}) = c(\text{M}^+) \cdot c(\text{B}^-) = 10^{-5} \times 10^{-5} = 1 \times 10^{-10}$,因此 MB 是难溶化合物,由于 H_2A 第一步完全电离,因此 HA^-

不与反应 H^+ ,则 MHA 与少量 HB 反应的离子方程式为: $\text{M}^+ + \text{B}^- = \text{MB} \downarrow$,故 C 错误;

D. 当溶液 pH=3 时, $\delta(\text{HA}^-) = \delta(\text{A}^{2-})$, $c(\text{HA}^-) = c(\text{A}^{2-})$,溶液中存在物料守恒

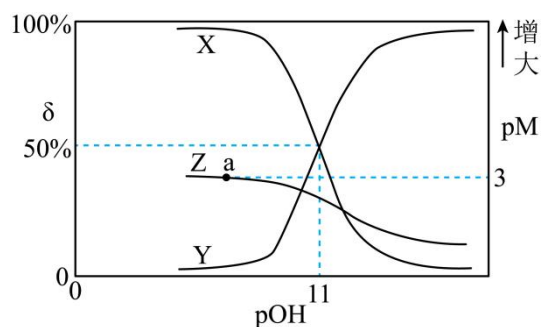
$$c(M^+) = 2[c(HA^-) + c(A^{2-})] = 4c(HA^-), \text{ 电荷守恒}$$

$$c(H^+) + c(M^+) = 2c(A^{2-}) + c(HA^-) + c(OH^-) = 3c(HA^-) + c(OH^-), \text{ 故 D 错误;}$$

故答案为 B。

4. (2025 济南一模, 10) 已知: H_2A 为二元酸, MOH 为强碱, MHA 易溶于水。常温下, 含足量 $M_2A(s)$ 的 M_2A 溶液中, 逐滴滴入某浓度 H_2A 的溶液调节 pH, 测得 $pM[-\lg c(M^+)]$ 及溶液中含 A 物种的分布系数[例如

$$\delta(HA^-) = \frac{c(HA^-)}{\text{含 A 物种的总浓度}} \times 100\% \text{ 随 } pOH \text{ 的变化曲线如图所示。}$$



下列说法正确的是

- A. 曲线 X 表示 H_2A 的分布系数随 pOH 变化
- B. 常温下, $K_{sp}(M_2A)$ 约为 5×10^{-10}
- C. 当 $pOH=11$ 时, 溶液中存在 $c(HA^-) + c(H^+) = c(OH^-)$
- D. $0.0001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} MHA$ 溶液中, $c(M^+) > c(HA^-) > c(A^{2-})$

【答案】B

【解析】

【详解】A. 题图溶液中含 A 物种的分布系数只有两条线且相交, 说明 H_2A 第一步为完全电离 $H_2A = HA^- + H^+$, 溶液中不存在 H_2A , 故 A 错误;

B. 随溶液 pOH 增大, pH 减小, $HA^- \rightleftharpoons A^{2-} + H^+$ 逆向移动, 溶液中 $c(HA^-)$ 增大, $c(A^{2-})$ 减小, 则曲线 X、Y 分别表示 A^{2-} 、 HA^- 的分布系数随溶液 pOH 的变化, 曲线 Z 表示 M_2A 饱和溶液中 pM 随溶液 pOH 的变化, M_2A 饱和溶液中存在: $M_2A(s) \rightleftharpoons 2M^+(aq) + A^{2-}(aq)$, 图中 a 点, M_2A 饱和溶液中 $pM=3$, 即 $c(M^+) = 0.001 \text{ mol/L}$, 则 $K_{sp}(M_2A) =$

$$0.001^2 \times \frac{0.001}{2} = 5 \times 10^{-10}, \text{ 故 B 正确;}$$

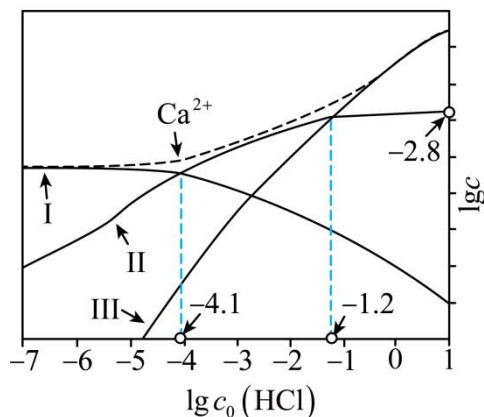
C. 当 $pOH=11$ 即 pH 为 3 时, $c(H^+) > c(OH^-)$, 则 $c(HA^-) + c(H^+) > c(OH^-)$, 故 C 错误;

D. 当 $pOH=11$ 时 $c(HA^-) = c(A^{2-})$, HA^- 的 $K_a(HA^-) = \frac{c(A^{2-})c(H^+)}{c(HA^-)} = c(H^+) = 0.001$, 0.0001 mol/L MHA 溶液中 $c(H^+) <$

0.0001mol/L, 则溶液中 $\frac{c(A^{2-})}{c(HA^-)} = \frac{K_a(HA^-)}{c(H^+)} > \frac{0.001}{0.0001} = 10$, 知 $c(HA^-) < c(A^{2-})$, 故 D 错误;

答案选 B。

5. (2025 枣庄一模, 12) (不定项) 草酸钙固体溶于不同初始浓度 $[c_0(HCl)]$ 的盐酸中, 平衡时部分组分的 $\lg c - \lg c_0(HCl)$ 关系如图。已知草酸 $K_{a1}=10^{-1.3}$, $K_{a2}=10^{-4.3}$ 。下列说法正确的是



- A. 曲线Ⅲ代表 $C_2O_4^{2-}$
- B. $K_{sp}(CaC_2O_4)$ 的数量级为 10^{-9}
- C. $\lg c_0(HCl) = -4.1$ 时, $2c(Ca^{2+}) + c(H^+) = c(OH^-) + 2c(HC_2O_4^-) + c(Cl^-)$
- D. $CaC_2O_4(s) + 2H^+(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + H_2C_2O_4(aq)$ $K \approx 10^{-3.0}$

【答案】BD

【解析】

【分析】随着 $\lg c_0(HCl)$ 的增大, 则 $c_0(HCl)$ 逐渐增大, 溶液的酸性增强, 溶液中 $c(C_2O_4^{2-})$ 减小、 $c(HC_2O_4^-)$ 先增大后减小、 $c(H_2C_2O_4)$ 增大, 所以曲线 I、II、III 分别表示 $\lg c(C_2O_4^{2-})$ 、 $\lg c(HC_2O_4^-)$ 、 $\lg c(H_2C_2O_4)$, 以此解答。

【详解】A. 草酸钙固体溶于不同初始浓度 $[c_0(HCl)]$ 的盐酸中, 溶液的酸性增强, 溶液中 $c(C_2O_4^{2-})$ 减小、曲线 I 代表 $C_2O_4^{2-}$, A 错误;

B. 由图可知, 当 $\lg c_0(HCl) = 1$ 时, $c(H^+) = 10 \text{ mol/L}$, $c(HC_2O_4^-) = 1 \times 10^{-2.8} \text{ mol/L}$,

$$K_{a2} = \frac{c(C_2O_4^{2-})c(H^+)}{c(HC_2O_4^-)} = \frac{10c(C_2O_4^{2-})}{1 \times 10^{-2.8}} = 10^{-4.3}, \quad c(C_2O_4^{2-}) = 10^{-8.1} \text{ mol/L},$$

$$K_{a1} = \frac{c(HC_2O_4^-)c(H^+)}{c(H_2C_2O_4)} = \frac{1 \times 10^{-2.8} \times 10}{c(H_2C_2O_4)} = 10^{-1.3}, \quad c(H_2C_2O_4) = 10^{-0.5} \text{ mol/L},$$

由图可知, 当 $\lg c_0(HCl) = 1$ 时, $c(Ca^{2+}) =$

$c(H_2C_2O_4) = 10^{-0.5} \text{ mol/L}$, 则 $K_{sp}(CaC_2O_4) = c(Ca^{2+})c(C_2O_4^{2-}) = 10^{-8.1} \times 10^{-0.5} = 1 \times 10^{-8.6}$, 数量级为 10^{-9} , B 正确;

C. 溶液中存在电荷守恒 $c(\text{Ca}^{2+}) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{Cl}^-)$, $\lg c_0(\text{HCl}) = -4.1$ 时,

$c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$, 则存在关系 $2c(\text{Ca}^{2+}) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + 3c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{Cl}^-)$, C 错误;

D. $\text{CaC}_2\text{O}_4(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 的平衡常数 $K =$

$$\frac{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)c(\text{Ca}^{2+})}{c^2(\text{H}^+)} = \frac{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)c(\text{Ca}^{2+})c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c^2(\text{H}^+)c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaC}_2\text{O}_4)}{K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = \frac{10^{-8.6}}{10^{-1.3} \times 10^{-4.3}} = 10^{-3.0}, \text{ D}$$

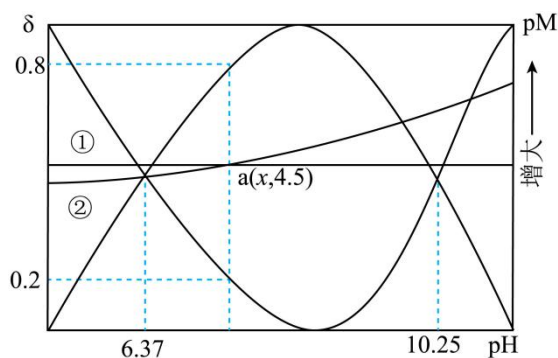
正确;

故选 BD。

6. (2025 日照一模, 12) (不定项) 室温下, 含有 $\text{MCO}_3(\text{s})$ 的 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Na_2CO_3 溶液和含有 $\text{MSO}_4(\text{s})$ 的 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

的 Na_2SO_4 溶液, 两份溶液中的 $\text{pM} [\text{pM} = -\lg c(\text{M}^{2+})]$ 以及含碳微粒分布分数 δ 如 $\delta(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$

随 pH 变化关系如图所示。



① M^{2+} 不水解; ② $10^{0.6} = 4$

下列说法错误的是

A. 曲线②表示 MCO_3 的变化曲线

B. $x = 6.97$

C. $\text{MSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{M}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 的 K_{sp} 的数量级为 10^{-7}

D. 若将 Na_2CO_3 溶液的浓度变为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则曲线①②的交点将出现在 a 点右侧

【答案】D

【分析】随着 pH 的增大, $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 逐渐减小, $c(\text{HCO}_3^-)$ 逐渐增大, 然后 $c(\text{HCO}_3^-)$ 逐渐减小, $c(\text{CO}_3^{2-})$ 逐渐增大, 所以图像中左侧分布系数逐渐减小的曲线代表 $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$, 右侧分布系数逐渐增大的曲线代表 $c(\text{CO}_3^{2-})$, 分布系数先增大后减小的曲线代表 $c(\text{HCO}_3^-)$; 随着 pH 增大, $c(\text{CO}_3^{2-})$ 增大, $\text{MCO}_3(\text{s})$ 的沉淀溶解平衡逆向移动, 溶液中 $c(\text{M}^{2+})$ 减小, pM 增大; 随着 pH 增大, $c(\text{SO}_4^{2-})$ 不变, 对 $\text{MSO}_4(\text{s})$ 的沉淀溶解平衡无影响, 溶液中 $c(\text{M}^{2+})$ 不变, pM 不变, 所以曲线①表示 MSO_4 的变化曲线, 曲线②表示 MCO_3 的变化曲线。

【详解】A. 由分析知, 曲线②表示 MCO_3 的变化曲线, 故 A 正确;

B. pH 为 6.37 时, $c(\text{H}_2\text{CO}_3)=c(\text{HCO}_3^-)$, $c(\text{H}^+)=10^{-6.37}$, 所以 $K_{a1}=\frac{c(\text{HCO}_3^-)c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}=10^{-6.37}$, pH 为 x 时 $\delta(\text{H}_2\text{CO}_3)=0.2$,

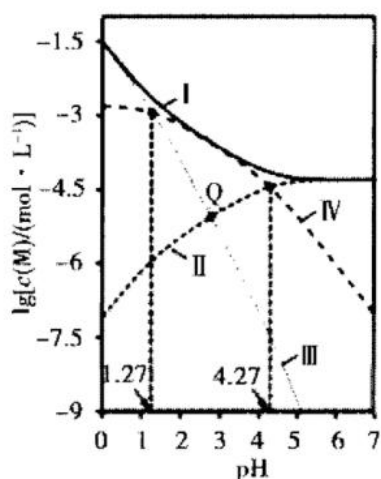
$\delta(\text{HCO}_3^-)=0.8$, $c(\text{H}^+)=10^{-x}$, 则 $K_{a1}=\frac{c(\text{HCO}_3^-)c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}=\frac{0.8x}{0.2}=10^{-6.37}$, $x=10^{-6.97}$, 故 B 正确;

C. a 点时, $c(\text{SO}_4^{2-})=0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $c(\text{M}^{2+})=10^{-4.5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 所以 $K_{sp}=c(\text{M}^{2+})c(\text{SO}_4^{2-})=10^{-4.5}\times 0.01=10^{-6.5}$, 数量级为 10^{-7} , 故 C 正确;

D. 曲线①②的交点为 $c(\text{M}^{2+})$ 不变, 若将 Na_2CO_3 溶液的浓度变为 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, pH 相同时, 溶液中的 $c(\text{CO}_3^{2-})$ 比 $0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Na_2CO_3 溶液的大, 所以曲线①②的交点将出现在 a 点左侧, 故 D 错误;

故选 D。

7. (2025 泰安一模, 14) (不定项) 室温下, 向含有足量 CaC_2O_4 的悬浊液中通入 HCl 气体来调节体系 pH。平衡时, $\lg\left[c(\text{M})/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})\right]$ 随 pH 的变化如图所示 (M 表示 Ca^{2+} 、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 、 HC_2O_4^- 和 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$)。物质的溶解度以物质的量浓度表示。已知: $K_{sp}(\text{CaC}_2\text{O}_4)=10^{-8.6}$ 。下列说法错误的是



A. 表示 $\lg\left[c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)\right]$ 随 pH 变化的曲线为 IV

B. $\text{Ca}^{2+}+2\text{HC}_2\text{O}_4^-\rightleftharpoons\text{CaC}_2\text{O}_4+\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 的 $K=10^{5.53}$

C. pH=4.27 时, CaC_2O_4 的溶解度约为 $10^{-4.45}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

D. Q 点时, 溶液中 $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)+2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})<c(\text{Cl}^-)$

【答案】B

【分析】向含有足量 CaC_2O_4 的悬浊液中 $c(\text{Ca}^{2+})\approx c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})=\sqrt{K_{sp}(\text{CaC}_2\text{O}_4)}=\sqrt{10^{-8.6}}\text{mol/L}=10^{-4.3}\text{mol/L}$, 不断通入 HCl 气体调节体系 pH 时, CaC_2O_4 逐渐溶解, $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ 逐渐降低, $c(\text{Ca}^{2+})$ 逐渐增大、 $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$ 先增大后减小, $c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 逐渐增大, 所以图中曲线 I 代表 $\lg\left[c(\text{Ca}^{2+})\right]$ 、曲线 II 代表 $\lg\left[c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})\right]$, 曲线 III 代表 $\lg\left[c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)\right]$,

曲线Ⅳ代表 $\lg[c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)]$ 与 pH 的变化关系；由图可知， $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)=c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 时 $\text{pH}=1.27$ ，此时

$$K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=\frac{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}\times c(\text{H}^+)=c(\text{H}^+)=10^{-1.27}，\text{同理 } K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=\frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}\times c(\text{H}^+)=10^{-4.27}，\text{据此分析解答：}$$

【详解】A. 根据分析，表示 $\lg[c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)]$ 随 pH 变化的曲线为Ⅳ，A 正确；

B. $\text{Ca}^{2+}+2\text{HC}_2\text{O}_4^-\rightleftharpoons\text{CaC}_2\text{O}_4+\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 的

$$K=\frac{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{c(\text{Ca}^{2+})\cdot c^2(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}=\frac{K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)\cdot K_{sp}(\text{CaC}_2\text{O}_4)}=\frac{10^{-4.27}}{10^{-1.27}\times 10^{-8.6}}=10^{5.6}，\text{B 错误；}$$

C. $\text{pH}=4.27$ 时，设 CaC_2O_4 的溶解度为 s ，则 $c(\text{Ca}^{2+})=s$ ，溶液中 $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ 来自两部分，一部分来自 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 解

离，一部分来自 CaC_2O_4 解离， $\alpha_{\text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{H})}=1+\frac{c(\text{H}^+)}{K_{a2}}+\frac{c^2(\text{H}^+)}{K_{a1}K_{a2}}$ ， $s=c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})=\sqrt{\alpha_{\text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{H})}K_{sp}}=\sqrt{2K_{sp}}\approx 10^{-4.45}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，

C 正确；

D. Q 点时， $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})=c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 溶液中电荷守恒： $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)+2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})+c(\text{Cl}^-)+c(\text{OH}^-)=c(\text{H}^+)+2c(\text{Ca}^{2+})$ ，物

料守恒： $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)+c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)+c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})=c(\text{Ca}^{2+})$ ，联立两式可得 $c(\text{Cl}^-)+c(\text{OH}^-)=c(\text{H}^+)+c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)+2c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ ，

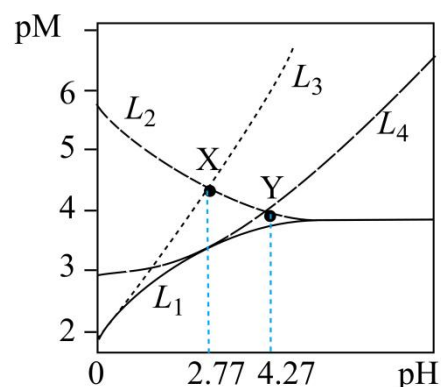
溶液呈酸性，故 $c(\text{OH}^-)<c(\text{H}^+)$ ，则 $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)+2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})<c(\text{Cl}^-)$ ，D 正确；

故选 B；

8. (2025 淄博一模，15) (不定项) 常温下，向含有足量 CaC_2O_4 固体的悬浊液中加盐酸调节 pH，体系中 $\text{pM} \sim \text{pH}$

关系如图所示。已知 $\text{pM}=-\lg c(\text{M})$ ，M 为溶液中 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 、 HC_2O_4^- 、 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 或 Ca^{2+} ； $K_{sp}(\text{CaC}_2\text{O}_4)=10^{-8.6}$ 。

下列说法正确的是



A. 曲线 L_3 表示 $\text{pc}(\text{HC}_2\text{O}_4^-) \sim \text{pH}$ 的关系

B. 常温下， $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 的 $\frac{K_{a1}}{K_{a2}}=10^{1.5}$

C. 常温下， $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})+2\text{HC}_2\text{O}_4^-(\text{aq})\rightleftharpoons\text{CaC}_2\text{O}_4(\text{s})+\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 平衡常数 $K=10^{5.6}$

D. X 点时, 溶液中 $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) < c(\text{Cl}^-)$

【答案】CD

【解析】

【分析】有足量 CaC_2O_4 固体的悬浊液中 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, $c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = \sqrt{K_{\text{sp}}(\text{CaC}_2\text{O}_4)} = 10^{-4.3} \text{ mol/L}$; 不断加盐酸调节体系 pH 时, CaC_2O_4 逐渐溶解, $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ 逐渐降低、 $c(\text{Ca}^{2+})$ 逐渐增大、 $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$ 先增大后减小、 $c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 逐渐增大, 所以图中曲线 L_1 代表 $\text{pc}(\text{Ca}^{2+})$ 、曲线 L_2 代表 $\text{pc}(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$, 曲线 L_3 代表 $\text{pc}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$, 曲线 L_4 代表 $\text{pc}(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$ 与 pH 的变化关系; 由图可知, $\text{pH}=4.27$ 时, $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$, $K_{\text{a}2} = \frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})c(\text{H}^+)}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)} = 10^{-4.27}$; $\text{pH}=2.77$ 时, $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$, $K_{\text{a}1}K_{\text{a}2} = \frac{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)} \times \frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})c(\text{H}^+)}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)} = c^2(\text{H}^+) = 10^{-2.77 \times 2}$, 则 $K_{\text{a}1} = 10^{-1.27}$;

【详解】A. 根据分析, 可知曲线 L_3 代表 $\text{pc}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \sim \text{pH}$ 的关系, A 错误;

B. 常温下, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 的 $\frac{K_{\text{a}1}}{K_{\text{a}2}} = \frac{10^{-1.27}}{10^{-4.27}} = 10^3$, B 错误;

C. 常温下, $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{HC}_2\text{O}_4^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CaC}_2\text{O}_4(\text{s}) + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 平衡常数

$$K = \frac{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{c(\text{Ca}^{2+})c^2(\text{HC}_2\text{O}_4^-)} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{c(\text{Ca}^{2+})c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)c(\text{H}^+)c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)} = \frac{K_{\text{a}2}}{K_{\text{a}1}K_{\text{sp}}(\text{CaC}_2\text{O}_4)} = 10^{5.6}, \text{C 正确};$$

D. X 点时, $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$, 由电荷守恒, $2c(\text{Ca}^{2+}) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{Cl}^-)$, 由物料守恒, $c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$, 则

$2c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{Cl}^-)$, 溶液显酸性, $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$, 则溶液中

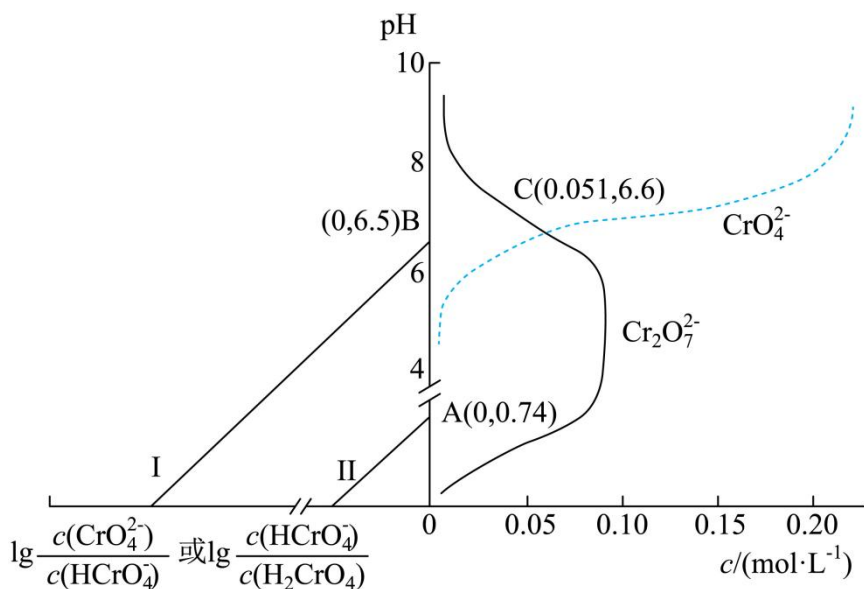
$c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) < c(\text{Cl}^-)$, D 正确;

故选 CD。

9. (2025 烟台德州东营一模, 15) (不定项) 室温下, 用 H_2SO_4 或 $\text{NaOH}(\text{s})$ 调节 $0.1 \text{ mol/L K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液的 pH,

$c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$ 、 $c(\text{CrO}_4^{2-})$ 以及 $\lg c(\text{CrO}_4^{2-})/c(\text{HCrO}_4^-)$ 、 $\lg c(\text{HCrO}_4^-)/c(\text{H}_2\text{CrO}_4)$ 随 pH 的变化如图所示(已知

H_2CrO_4 是二元强酸)。下列说法正确的是



A. II 表示 $\lg c(\text{CrO}_4^{2-}) / c(\text{HCrO}_4^-)$

B. 溶液中 $c^2(\text{HCrO}_4^-) / [c(\text{H}_2\text{CrO}_4) \cdot c(\text{CrO}_4^{2-})] = 10^{-5.76}$

C. B 点溶液中存在 $c(\text{K}^+) < 5c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$

D. 溶液中存在平衡 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$, 平衡常数 $K = 5.1 \times 10^{-15.2}$

【答案】CD

【解析】

【详解】A. 根据 $K_{a1}(\text{H}_2\text{CrO}_4) = \frac{c(\text{HCrO}_4^-)c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{CrO}_4)}$ 、 $K_{a2}(\text{H}_2\text{CrO}_4) = \frac{c(\text{CrO}_4^{2-})c(\text{H}^+)}{c(\text{HCrO}_4^-)}$, 由于 K_{a1} 大于 K_{a2} , 即

$c(\text{HCrO}_4^-) = c(\text{H}_2\text{CrO}_4)$ 时的 pH 应小于 $c(\text{CrO}_4^{2-}) = c(\text{HCrO}_4^-)$ 的 pH, 根据 A、B 点的坐标则 I 为

$\lg c(\text{CrO}_4^{2-}) / c(\text{HCrO}_4^-)$, II 为 $\lg c(\text{HCrO}_4^-) / c(\text{H}_2\text{CrO}_4)$, 故 A 错误;

B. 根据选项 A 分析, $K_{a1}(\text{H}_2\text{CrO}_4) = \frac{c(\text{HCrO}_4^-)c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{CrO}_4)} = 10^{-0.74}$, $K_{a2}(\text{H}_2\text{CrO}_4) = \frac{c(\text{CrO}_4^{2-})c(\text{H}^+)}{c(\text{HCrO}_4^-)} = 10^{-6.5}$,

$\frac{K_{a1}(\text{H}_2\text{CrO}_4)}{K_{a2}(\text{H}_2\text{CrO}_4)} = \frac{c^2(\text{HCrO}_4^-)}{c(\text{H}_2\text{CrO}_4)c(\text{CrO}_4^{2-})} = 10^{-0.74 - (-6.5)} = 10^{5.76}$, 故 B 错误;

C. 根据 B、C 点可知, B 点的溶液中 $c(\text{CrO}_4^{2-}) = c(\text{HCrO}_4^-) = c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$, 即 B 点的溶液组成为

K_2CrO_4 、 KHCrO_4 、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的 1: 1: 1 混合溶液, 根据物料守恒有

$c(\text{K}^+) = 5[c(\text{CrO}_4^{2-}) + c(\text{HCrO}_4^-) + c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})]$, 即 $c(\text{K}^+) < 5c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$, 故 C 正确;

D. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ 的平衡常数 $K = \frac{c^2(\text{CrO}_4^{2-})c^2(\text{H}^+)}{c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})}$, 由 C 点可知:

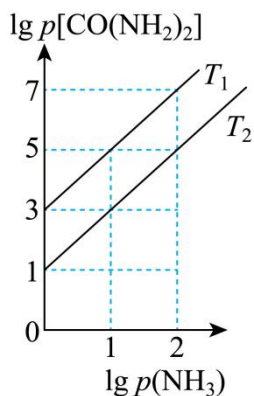
$c(\text{CrO}_4^{2-}) = c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = \text{L}$ 、 $c(\text{H}^+) = 10^{-6.6}$, 则

$$K = \frac{c^2(\text{CrO}_4^{2-})c^2(\text{H}^+)}{c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})} = c(\text{CrO}_4^{2-})c^2(\text{H}^+) = 0.051 \times (10^{-6.6})^2 = 5.1 \times 10^{-2-6.6 \times 2} = 5.1 \times 10^{-15.2}, \text{ 故 D 正确;}$$

故答案为 CD。

10. (2025 青岛一模, 15) (不定项) 工业合成尿素: $\text{HNCO}(\text{g}) + \text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{NH}_2)_2(\text{g}) \Delta H < 0$ 。恒容密闭容器加入等物质的量的 HNCO 和 NH_3 , 在 T_1 和 $T_2^\circ\text{C}$ 反应达到平衡, $\lg p(\text{NH}_3)$ 与 $\lg p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 关系如图所示 (压强单位均为 kPa)。反应 $d\text{D}(\text{g}) + e\text{E}(\text{g}) \rightleftharpoons g\text{G}(\text{g})$ 的标准平衡常数

$$K^\circ = \frac{\left[\frac{p(\text{G})}{p^\circ} \right]^g}{\left[\frac{p(\text{D})}{p^\circ} \right]^d \left[\frac{p(\text{E})}{p^\circ} \right]^e}, p^\circ = 100 \text{ kPa}。 \text{ 下列说法正确的是}$$



A. $T_1 > T_2$

B. $\frac{K_p(T_1)}{K_p(T_2)} = \frac{K^\circ(T_1)}{K^\circ(T_2)}$

C. $T_2^\circ\text{C}$ 下, 平衡时体系的总压强为 250 kPa 时, $p(\text{NH}_3) \approx 4.9 \text{ kPa}$

D. 若改为恒压密闭容器, 则平衡时 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 的体积分数减小

【答案】BC

【解析】

【分析】 $p(\text{NH}_3)$ 表示物质 NH_3 的分压强, $\lg p(\text{NH}_3)$ 值越大, 说明其分压越大, 说明其体积分数或物质的量分数越大, 据此分析解答。

【详解】A. 平衡时, 相同的 $\lg p(\text{NH}_3)$ 时, 温度 T_2 时的 $\lg p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 小于 T_1 时的 $\lg p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$, 说明温度 T_1 到 $T_2^\circ\text{C}$ 时, 平衡逆向移动, 该反应是放热反应, 则 $T_1 < T_2$, 故 A 错误;

$$B. K^{\circ} = \frac{\left[\frac{p(G)}{p^{\circ}} \right]^g}{\left[\frac{p(D)}{p^{\circ}} \right]^d \left[\frac{p(E)}{p^{\circ}} \right]^e} = \frac{p(G)^g}{p(D)^d p(E)^e} \times [p^{\circ}]^{d+e-g} = K_p [p^{\circ}]^{d+e-g}, \text{ 则 } K^{\circ}(T_1) = K_p(T_1) [p^{\circ}]^{d+e-g},$$

$$K^{\circ}(T_2) = K_p(T_2) [p^{\circ}]^{d+e-g}, \text{ 故 } \frac{K_p(T_1)}{K_p(T_2)} = \frac{K^{\circ}(T_1)}{K^{\circ}(T_2)}, \text{ 故 B 正确;}$$

C. $T_2^{\circ}\text{C}$ 时, $\lg p(\text{NH}_3)=1$, $\lg p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=3$, 则 $p(\text{NH}_3)=10$, $p(\text{HNCO})=10$, $p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=1000$,

$$\text{则 } K_p(T_2) = \frac{p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]}{p(\text{NH}_3)p(\text{HNCO})} = \frac{1000}{100} = 10, \text{ 若平衡时, } p(\text{NH}_3) \approx 4.9 \text{ kPa}, \text{ 则}$$

$$K_p(T_2) = \frac{p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]}{p(\text{NH}_3)p(\text{HNCO})} = \frac{p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]}{4.9 \times 4.9} = 10, \text{ 则 } p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 240.1 \text{ kPa},$$

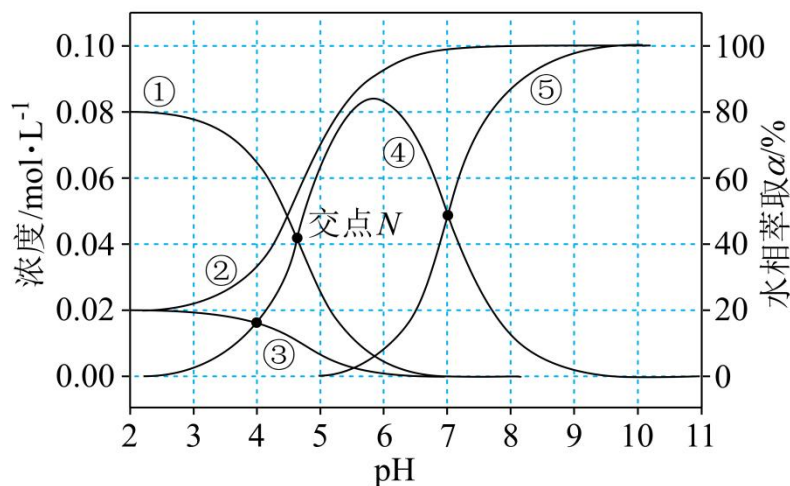
$P_{\text{总}} = p[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] + p(\text{NH}_3) + p(\text{HNCO}) = 240.1 + 4.9 + 4.9 = 249.9 \approx 250 \text{ kPa}$, 则平衡时体系的总压强为 250 kPa, 故 C 正确;

D. 此反应 $\text{HNCO}(\text{g}) + \text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{NH}_2)_2(\text{g})$ 是总物质的量减小的反应, 若改为恒压密闭容器, 相对于恒容密闭容器来说, 相当于增大压强的反应, 增大压强, 平衡会正向移动, 则若改为恒压密闭容器, 平衡时 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 的体积分数会增大, 故 D 错误;

答案 BC。

11. (2025 聊城一模, 15) (不定项) 弱酸 H_2A 在有机相和水相中存在平衡: $\text{H}_2\text{A}(\text{环己烷}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{A}(\text{aq})$, 平衡常数为 K_d 。25 $^{\circ}\text{C}$ 时, 向 $V \text{ mL } 0.1 \text{ mol/L } \text{H}_2\text{A}$ 环己烷溶液中加入 $V \text{ mL}$ 水进行萃取, 用 $\text{NaOH}(\text{s})$ 或 $\text{HCl}(\text{g})$ 调节水溶液 pH。测得水溶液中 H_2A 、 HA^- 、 A^{2-} 浓度、环己烷中 H_2A 的浓度 $[c_{\text{环己烷}}(\text{H}_2\text{A})]$ 与水相萃取率

$\alpha \left[\alpha = 1 - \frac{c_{\text{环己烷}}(\text{H}_2\text{A})}{0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \right]$ 随 pH 的变化关系如图。



已知：① H_2A 在环己烷中不电离；②忽略体积变化。

下列说法不正确的是

A. 曲线①表示水溶液中的 H_2A 浓度变化

B. $\text{pH} = 5$ 时， $\alpha < 75\%$

C. H_2A 的 $K_{\text{a}1} = 10^{-4}$

D. 若加水体积为 $2V\text{mL}$ ，则交点 N 的 pH 保持不变

【答案】A

【解析】

【分析】环己烷中 H_2A 的浓度 $[c_{\text{环己烷}}(\text{H}_2\text{A})]$ 与水相萃取率 $\alpha \left[\alpha = 1 - \frac{c_{\text{环己烷}}(\text{H}_2\text{A})}{0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}} \right]$ 可知

$0.1\alpha + c_{\text{环己烷}}(\text{H}_2\text{A}) = 0.1$ ，可知曲线①应为 $c_{\text{环己烷}}(\text{H}_2\text{A})$ ，②为水相萃取率，水溶液中的 HA^- 会随着 pH 的增大先增大后减小，曲线④为水溶液中的 HA^- ，而 A^{2-} 来源于 HA^- 的电离，由图可知， $\text{pH}=2$ 时， HA^- 浓度为 0，即此时 A^{2-} 为 0，因此曲线⑤为水溶液中的 A^{2-} ，即③为水溶液中 H_2A 的浓度，综上：①为 $c_{\text{环己烷}}(\text{H}_2\text{A})$ 、②为水相萃取率、③为水溶液中 H_2A 的浓度、④为水溶液中的 HA^- 、⑤为水溶液中的 A^{2-} ，③、④交点的 pH 为 4，即 H_2A 的

$$K_{\text{a}1} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})} = 10^{-4}, \text{④、⑤交点的 pH 为 7, 即 } K_{\text{a}2} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)} = 10^{-7}.$$

【详解】A. 由分析可知，①为环己烷中 H_2A 的浓度，A 错误；

B. 由分析可知， $K_{\text{a}1} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})} = 10^{-4}$ ， $\text{pH} = 5$ 时， $c(\text{HA}^-) = 10c(\text{H}_2\text{A})$ ，同理，

$$K_{\text{a}2} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)} = 10^{-7}, c(\text{A}^{2-}) = 10^{-2}c(\text{HA}^-) = 10^{-1}c(\text{H}_2\text{A}), \text{根据物料守恒:}$$

$$(10 + 0.1 + 1)c(\text{H}_2\text{A}) + c(\text{H}_2\text{A})(\text{环己烷}) = 0.1\text{mol/L}, \text{当 pH}=2 \text{ 时, 代入数据得}$$

$$K_{\text{d}} = \frac{c(\text{H}_2\text{A})(\text{aq})}{c(\text{H}_2\text{A})(\text{环己烷})} = \frac{0.02}{0.08} = 0.25, \text{则 } c(\text{H}_2\text{A}) = 0.25c(\text{H}_2\text{A})(\text{环己烷}), \text{即}$$

$$11.1 \times 0.25c(\text{H}_2\text{A})(\text{环己烷}) + c(\text{H}_2\text{A})(\text{环己烷}) = 0.1, c(\text{H}_2\text{A})(\text{环己烷}) = \frac{1}{37.75}\text{mol/L}, \text{根据水相萃取率}$$

$$\left[\alpha = 1 - \frac{c_{\text{环己烷}}(\text{H}_2\text{A})}{0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}} \right], \text{可得 } \alpha \approx 73.5\%, \text{B 正确;}$$

C. 由分析可知， H_2A 的 $K_{\text{a}1} = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})} = 10^{-4}$ ，C 正确；

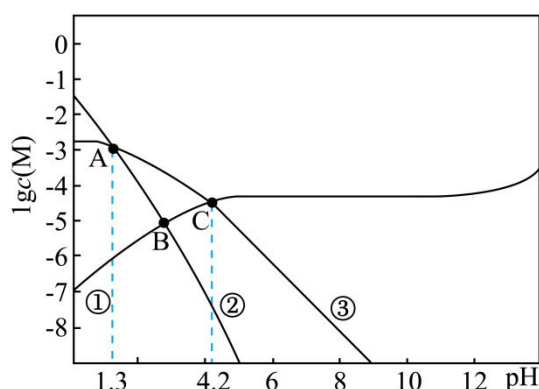
D. K_d 、 K_{a1} 只与温度有关, $K_{a1} = \frac{c(H^+)c(HA^-)}{0.25c(H_2A)(环己烷)} = 10^{-4}$, 当 $c(HA^-) = c(H_2A)$ (环己烷) 时,

$c(H^+) = 2.5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$, $pH=4.6$, 若加水体积为 $2V \text{ mL}$, 对交点 N 的横坐标无影响, D 正确;

故选 A。

12. (2025 菏泽一模, 15) (不定项) 常温下, 往足量草酸钙固体与水的混合体系中加盐酸或 NaOH 调节 pH 时,

$\lg c(H_2C_2O_4)$, $\lg c(HC_2O_4^-)$, $\lg c(C_2O_4^{2-})$ 与 pH 变化关系如图所示。下列说法错误的是



A. 曲线③表示 $C_2O_4^{2-}$ 的变化情况

B. $H_2C_2O_4$ 的 $K_{a2}=10^{-4.2}$

C. $pH=7$ 时, $c(HC_2O_4^-)+2c(C_2O_4^{2-})=2c(Ca^{2+})$

D. $pH>12$ 后, 曲线①呈上升趋势的原因是部分 CaC_2O_4 转化为 $Ca(OH)_2$

【答案】AC

【分析】 CaC_2O_4 体系中存在一系列平衡, $CaC_2O_4(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + C_2O_4^{2-}(aq)$ 、 $C_2O_4^{2-} + H_2O \rightleftharpoons HC_2O_4^- + OH^-$ 、 $HC_2O_4^- + H_2O \rightleftharpoons H_2C_2O_4 + OH^-$, 所以在 CaC_2O_4 溶液中, 增大 pH, 后两个平衡逆向移动, 草酸根浓度增大, 其正对数增大, ①表示 $C_2O_4^{2-}$; 增大 pH 的过程中, 后这个平衡均逆向移动, 草酸氢根减小程度缓于草酸分子, ②表示 $H_2C_2O_4$ 、③表示 $HC_2O_4^-$ 。

【详解】A. 由分析可知, 曲线③表示 $HC_2O_4^-$ 的变化情况, A 错误;

B. $K_{a2} = \frac{c(H^+) \cdot c(C_2O_4^{2-})}{c(HC_2O_4^-)}$, ①③相交时 $c(C_2O_4^{2-}) = c(HC_2O_4^-)$, 此时 $pH = 4.2$, 可得 $K_{a2} = 10^{-4.2}$, B 正确;

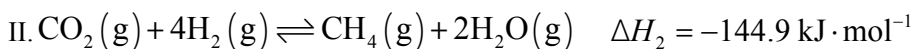
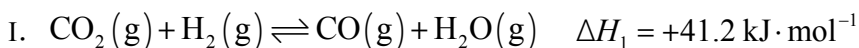
C. 溶液 $pH=7$ 时 $c(H^+) = c(OH^-)$, 溶液中电荷守恒 $c(HC_2O_4^-) + 2c(C_2O_4^{2-}) + c(OH^-) = 2c(Ca^{2+}) + c(H^+)$, 但是没有考虑到加入盐酸或者氢氧化钠以后提供的氯离子或钠离子, 所以 $c(HC_2O_4^-) + 2c(C_2O_4^{2-}) = 2c(Ca^{2+})$ 错误, C 错误;

D. 溶液中存在 $K_{sp}(CaC_2O_4) = c(Ca^{2+}) \times c(C_2O_4^{2-})$, $pH>12$ 后, $c(OH^-)$ 增大, 导致 $Q[Ca(OH)_2] > K_{sp}[Ca(OH)_2]$, 生成 $Ca(OH)_2$ 导致 $c(Ca^{2+})$ 减小, 则 $c(C_2O_4^{2-})$ 上升, D 正确;

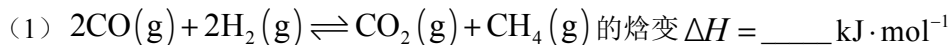
故选 AC。

五、化学反应原理综合题（非选择题）

1. （2025 淄博一模，20）二氧化碳资源化利用，涉及主要反应如下：



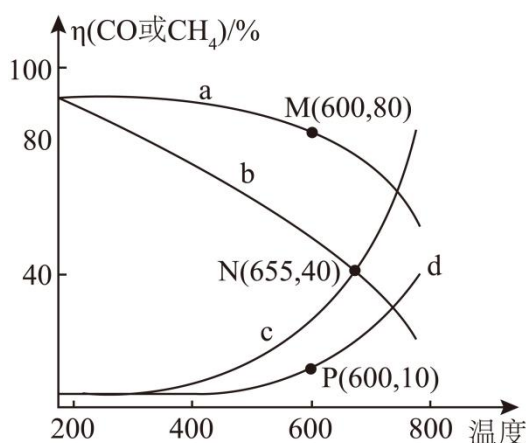
回答下列问题：



反应 I 的净速率 $v = v_{\text{正}} - v_{\text{逆}} = k_{\text{正}} \cdot c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2) - k_{\text{逆}} \cdot c(\text{H}_2\text{O}) \cdot c(\text{CO})$ ，其中 $k_{\text{正}}$ 、 $k_{\text{逆}}$ 分别为正、逆反应速率常数。升高温度时， $k_{\text{正}} - k_{\text{逆}}$ （填“增大”、“减小”或“不变”）。

（2）分别向压强为 0.1MPa、1.0MPa 的恒压体系中通入 $1\text{mol CO}_2(\text{g})$ 和 $4\text{mol H}_2(\text{g})$ ，达平衡时，部分含碳物种

的摩尔分数 $\eta(X) = \frac{n(X)}{n(\text{CH}_4) + n(\text{CO}) + n(\text{CO}_2)}$ 随温度变化如图所示。



表示压强为 1.0MPa 时， $\text{CO}(\text{g})$ 的摩尔分数随温度变化的曲线是 （填标号）。随温度升高，当温度高于 655℃，对应含碳物种的摩尔分数 $\eta(\text{b}) < \eta(\text{c})$ 的原因是 。

（3）图示 M、N、P 三点对应 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的转化率大小关系为 ；655℃时，反应 I 的平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}}$ ；600℃，压强为 1.0MPa 时，若增大投料比 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO}_2)}$ ，重新达平衡后， $\frac{n(\text{CO})}{n(\text{CH}_4)}$ 的值将 （填“增大”、“减小”或“不变”）。

【答案】（1） ①. -227.3 ②. 增大

（2） ①. d ②. 升高温度，促进反应 I 正向进行，抑制反应 II，低温时，以反应 II 为主，高于 655℃，以反应 I 为主

（3） ①. $M = P > N$ ②. 1.2 ③. 减小

【解析】

【小问 1 详解】

根据盖斯定律，反应 II-反应 I $\times$ 2 可得 $2\text{CO}(\text{g})+2\text{H}_2(\text{g})\rightleftharpoons\text{CO}_2(\text{g})+\text{CH}_4(\text{g})$,

$\Delta H=-144.9\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}-+41.2\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\times 2=-227.3\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ；反应 I 正反应吸热，升高温度，平衡正向移动，

$k_{\text{正}}-k_{\text{逆}}$ 增大；

【小问 2 详解】

升高温度，反应 I 平衡正向移动，反应 II 平衡逆向移动， $\eta(\text{CO})$ 增大， $\eta(\text{CH}_4)$ 减小，增大压强，反应 II 平衡正

向移动， $\eta(\text{CH}_4)$ 增大， $\eta(\text{CO})$ 减小，则压强为 1.0MPa 时， $\text{CO}(\text{g})$ 、 $\text{CH}_4(\text{g})$ 的摩尔分数随温度变化的曲线分

别是 d、a；则压强为 0.1MPa 时， $\text{CO}(\text{g})$ 、 $\text{CH}_4(\text{g})$ 的摩尔分数随温度变化的曲线分别是 c、b；表示压强为 1.0MPa

时， $\text{CO}(\text{g})$ 的摩尔分数随温度变化的曲线是 d；

温度升高，当温度高于 655°C ，对应含碳物种的摩尔分数 $\eta(\text{b})<\eta(\text{c})$ 的原因是：升高温度，促进反应 I 正向进行，

抑制反应 II，低温时，以反应 II 为主，高于 655°C ，以反应 I 为主；

【小问 3 详解】

根据(2)中分析，M、P 两点温度相同，压强相同， $\text{CO}_2(\text{g})$ 的转化率相同， $\eta(\text{CH}_4)$ 为 80%， $\eta(\text{CO})$ 为 10%，则

$\eta(\text{CO}_2)$ 为 10%，N 点 $\eta(\text{CH}_4)$ 为 40%， $\eta(\text{CO})$ 为 40%，则 $\eta(\text{CO}_2)$ 为 20%，说明 N 点 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的转化率较小，

M、N、P 三点对应 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的转化率大小关系为：M=P>N；

根据碳原子守恒， 655°C 时，N 点 $\text{CO}_2(\text{g})$ 、 $\text{CO}(\text{g})$ 、 $\text{CH}_4(\text{g})$ 分别为 0.2mol、0.4mol、0.4mol；根据反应

I. $\text{CO}_2(\text{g})+\text{H}_2(\text{g})\rightleftharpoons\text{CO}(\text{g})+\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 、II. $\text{CO}_2(\text{g})+4\text{H}_2(\text{g})\rightleftharpoons\text{CH}_4(\text{g})+2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 反应共消耗 $\text{H}_2(\text{g})$ 为

0.4mol+0.4mol $\times$ 4=2mol，余下 $\text{H}_2(\text{g})$ 2mol，生成 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 为 0.4mol+0.4mol $\times$ 2=1.2mol，此时体系内气体总的物质的

量为(0.2+0.4+0.4+2+1.2)=4.2mol， 655°C 时，N 点压强为 0.1MPa，则 $\text{CO}_2(\text{g})$ 、 $\text{H}_2(\text{g})$ 、 $\text{CO}(\text{g})$ 、 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的分

压分别为 $\frac{0.2}{4.2}\times 0.1\text{MPa}$ 、 $\frac{2}{4.2}\times 0.1\text{MPa}$ 、 $\frac{0.4}{4.2}\times 0.1\text{MPa}$ 、 $\frac{1.2}{4.2}\times 0.1\text{MPa}$ ，反应 I 的平衡常数

$$K_p=\frac{P(\text{CO})\cdot P(\text{H}_2\text{O})}{P(\text{CO}_2)\cdot P(\text{H}_2)}=\frac{0.4\times 1.2}{0.2\times 2}=1.2;$$

600°C ，压强为 1.0MPa 时，若增大投料比 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO}_2)}$ ， $\text{CO}_2(\text{g})$ 的转化率变大，根据图像中 a、d 两条曲线可知， $\text{CH}_4(\text{g})$

增多， $\text{CO}(\text{g})$ 减少，则重新达平衡后， $\frac{n(\text{CO})}{n(\text{CH}_4)}$ 的值将减小。

2. (2025 枣庄一模，20) 水煤气变换反应是工业上的重要反应，可用于制氢。

水煤气变换反应：Ⅰ. $\text{CO(g)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{(g)}$ $\Delta H_1 = -41.2 \text{ kJ/mol}$

副反应：Ⅱ. $\text{CO(g)} + 3\text{H}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_4\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(g)}$ $\Delta H_2 = -206.1 \text{ kJ/mol}$

回答下列问题：

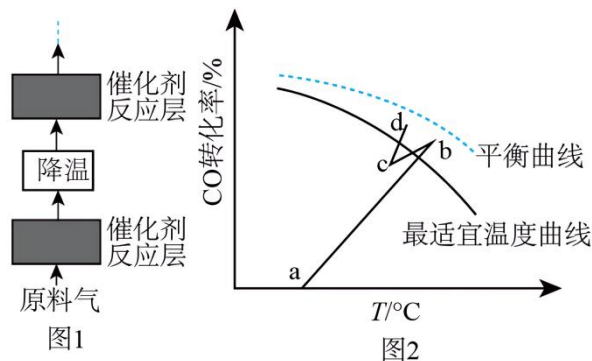
(1) 反应 $4\text{H}_2\text{(g)} + \text{CO}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_4\text{(g)} + 2\text{H}_2\text{O(g)}$ 的焓变 $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ/mol}$ ，该反应在 (填“高温”、“低温”或“任意温度”)更易自发进行。

(2) 恒定总压 3.40 MPa 和水碳比 $[\text{n}(\text{H}_2\text{O})/\text{n}(\text{CO}) = 12:5]$ 投料，在不同条件下达到平衡时 CO_2 、 H_2 和 CH_4 的分压(某成分分压=总压 X 该成分的物质的量分数)如表：

	$p(\text{CO}_2)/\text{MPa}$	$p(\text{H}_2)/\text{MPa}$	$p(\text{CH}_4)/\text{MPa}$
条件 1	0.60	0.60	0
条件 2	0.84	0.72	0.04

在条件 1 下，水煤气变换反应的压强平衡常数 K_p 为 ；在条件 2 下，CO 转化为 CH_4 的选择性为 % (保留两位有效数字)。

(3) 水煤气变换反应是放热反应，需在多个催化剂反应层间进行降温操作以“去除”反应过程中的余热(如图 1 所示)，保证反应在最适宜温度附近进行。



在催化剂活性温度范围内，图 2 中 b-c 段对应降温操作，实现该过程的操作有 (填标号)。

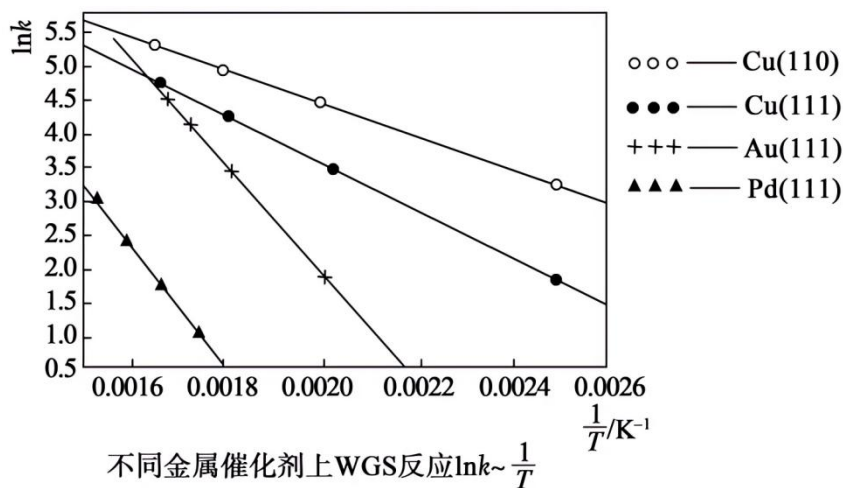
A. 按原水碳比通入冷的原料气 B. 喷入冷水(蒸气) C. 通过热交换器换热

(4) 水煤气变换反应可能的基元反应步骤如下：

① $\text{H}_2\text{O} + * = \text{H}_2\text{O}^*$ ；② $\text{H}_2\text{O}^* + * = \text{OH}^* + \text{H}^*$ ；③ $\text{OH}^* + * = \text{O}^* + \text{H}^*$ ；④ $2\text{H}^* = \text{H}_2 + 2^*$ ；⑤ $\text{CO} + * = \text{CO}^*$ ；⑥ ；
⑦ $\text{CO}_2^* = \text{CO}_2 + *$ 。

已知：*表示催化剂表面活性位，X*表示金属表面吸附物种。第⑥步基元反应为 。

(5) 水煤气变换反应的速率表达式： $v_{\text{正}} = k_{\text{正}} \cdot c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})$ ， $v_{\text{逆}} = k_{\text{逆}} \cdot c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)$ ($k_{\text{正}}$ 、 $k_{\text{逆}}$ 为化学反应速率常数)。 $\ln k - 1/T$ 关系如图所示，550-600K 温度范围内，四种催化剂中活性最差的是 (填标号)。



- A. Cu(110) B. Cu(111) C. Au(111) D. Pd(111)

【答案】 (1) ①. -164.9 ②. 低温

(2) ①. 0.5 ②. 4.5

(3) A (4) $\text{CO}^* + \text{O}^* = \text{CO}_2^{**}$ (5) D

【解析】

【小问 1 详解】

由盖斯定律可知，反应 II - 反应 I 可得 $4\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的焓变

$\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1 = -206.1 \text{ kJ/mol} + 41.2 \text{ kJ/mol} = -164.9 \text{ kJ/mol}$ 。该反应的 $\Delta S < 0$ ，当 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 时，反应可以自发进行，则该反应在低温更易自发进行。

【小问 2 详解】

①条件 1 下没有甲烷生成，只发生了水煤气变换反应，该反应是一个气体分子数不变的反应。设在条件 1 下平衡时容器的总体积为 V，水蒸气和一氧化碳的投料分别为 12mol 和 5mol，参加反应的一氧化碳为 xmol，根据已知信息可得以下三段式：

	$\text{CO}(\text{g})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{CO}_2(\text{g})$	+	$\text{H}_2(\text{g})$
起始(mol)	5		12		0		0
转化(mol)	x		x		x		x
平衡(mol)	5-x		12-x		x		x

$p(\text{CO}_2) = \frac{x}{5-x+12-x+x+x} \times 3.4 \text{ MPa} = 0.6 \text{ MPa}$ ，解得 $x=3$ ，水煤气变换反应的压强平衡常数 K_p 为

$$\frac{\left(\frac{3}{17} \times 3.4 \text{ MPa}\right)^2}{\left(\frac{12-3}{17} \times 3.4 \text{ MPa}\right) \left(\frac{5-3}{17} \times 3.4 \text{ MPa}\right)} = 0.5; \text{ 条件 2 下 } p(\text{CO}_2): p(\text{CH}_4) = 0.84: 0.04 = 21: 1, \text{ CO 转化为 CH}_4 \text{ 的选择性}$$

为 $\frac{1}{21+1} \times 100\% = 4.5\%$ 。

【小问 3 详解】

A. 按原水碳比通入冷的原料气，可以降低温度，反应物浓度增大导致 CO 的转化率稍减小，之后再通过催化剂层

后, CO 的转化率又增大且高于原来的, 与图中变化相符, A 正确;

B. 喷入冷水(蒸气), 可以降低温度, 但是同时水蒸气的浓度增大, 会导致 CO 的转化率增大, 与图中变化不符, B 错误;

C. 换热的过程在催化剂层外, 并不会反应, 故只有温度降低而不会引起转化率变化, C 不正确;

故选 A。

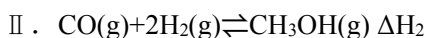
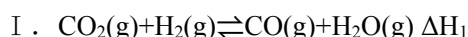
【小问 4 详解】

水煤气变换反应总反应为 $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$, 可以推知第⑥步基元反应为 CO^* 和 O^* 反应生成 CO_2^* 和 * , 该基元反应为 $\text{CO}^* + \text{O}^* = \text{CO}_2^* + ^*$ 。

【小问 5 详解】

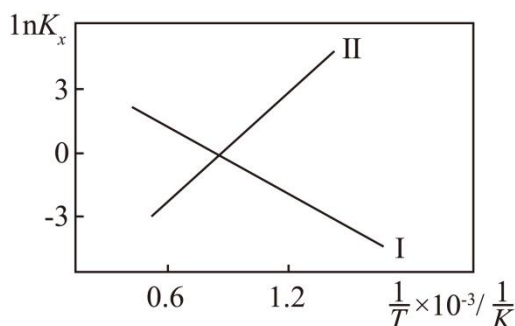
反应速率常数越小, 则反应越慢, 说明催化剂活性越差, 550K~600K 温度范围内, 即横坐标 0.0016~0.0018 对应的纵坐标 $\ln k$ 的数值是 Pd(111) 的最小, 因此 Pd(111) 催化的反应速率常数最小, 催化活性最差, 故选 D。

3. (2025 烟台德州东营一模, 20) CO_2 催化加氢转化为 CH_3OH 既能响应国家的“双碳”目标, 又能缓解能源紧缺。该过程主要发生下列反应:



回答下列问题:

(1) 反应 I、II 以物质的量分数表示的平衡常数 $\ln K_x$ 与温度 T 的变化关系见图。则 $\Delta H_3/\Delta H_2$ 的数值范围是 _____ (填标号)。



A. <-1

B. -1-0

C. 0-1

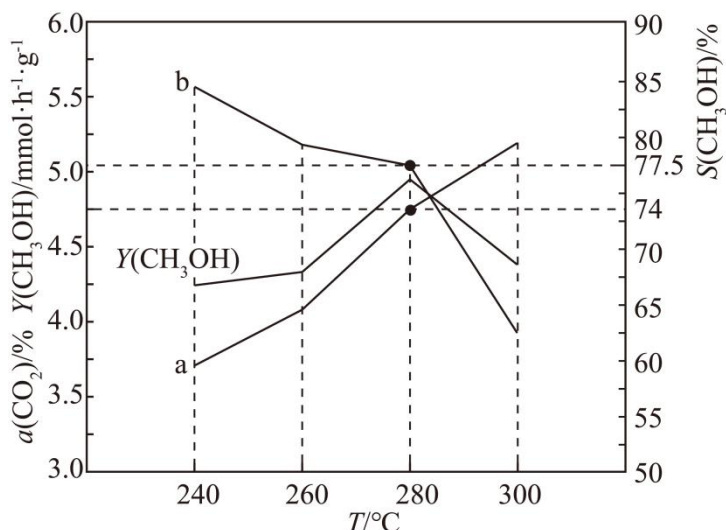
D. >1

(2) 3MPa 下, 以进气流量 $4.5 \text{ mmol} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $n(\text{CO}_2): n(\text{H}_2)=1:3$ 持续通过装有 0.5g 催化剂的反应管中(仅发生上述反应 I、II)。经相同时间测得 CO_2 的转化率 $[\alpha(\text{CO}_2)]$ 、 CH_3OH 的选择性 $[S(\text{CH}_3\text{OH})]$ 及 CH_3OH 的时空收率 $[Y(\text{CH}_3\text{OH})]$ 随温度(T)的变化关系如图:

已知: a. $S(\text{CH}_3\text{OH}) = n(\text{转化为 CH}_3\text{OH 的 CO}_2)/n(\text{消耗的 CO}_2) \times 100\%$

b. $Y(\text{CH}_3\text{OH}) = \text{CH}_3\text{OH 的产率} \times \text{CO}_2 \text{ 的进气流量} / \text{催化剂的质量} (\text{mmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1})$

①该条件下，合成 CH_3OH 的最佳温度是_____，图中代表 $S(\text{CH}_3\text{OH})$ 随温度变化的曲线是_____， 280°C 后，曲线 b 快速下降的可能原因是_____。



② 280°C 时，CO 的选择性为_____，若 $Y(\text{CH}_3\text{OH})$ 为 $4.95 \text{ mmol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ，则 $\alpha(\text{CO}_2)$ = _____ (列出计算式即可)。

③一定条件下，将进气流量改为 $0.04 \text{ mmol}\cdot\text{min}^{-1}$ (此流量下的转化率可近似认为平衡转化率)，测得出气流量为 $0.038 \text{ mmol}\cdot\text{min}^{-1}$ ， $\alpha(\text{CO}_2)$ 为 50%，此时反应 I 的平衡常数 K_p = _____。

【答案】 (1) C (2) ①. 280°C ②. b ③. 反应未达平衡， CO_2 的转化率逐渐增大，反应 I 速率的增大程度远大于反应 II，故甲醇的选择性快速下降 ④. 22.5% ⑤. $\frac{0.5 \times 4.95 \times 4}{77.5\% \times 4.5 \times 60}$ ⑥. $\frac{4}{23}$

【解析】

【小问 1 详解】

根据盖斯定律，反应 III 可以看作是反应 I 和反应 II 的加和： $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$ ，根据题目描述， $\Delta H_3 < 0$ ，即 $\Delta H_1 + \Delta H_2 < 0$ ，从图中可以看出，反应 I 的 $\ln K_x$ 随温度升高而增大，说明 $\Delta H_1 > 0$ ，反应 II 的 $\ln K_x$ 随温度升高而减小，说明 $\Delta H_2 < 0$ ，因此 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 < 0$ 且 $\Delta H_1 > 0$ ， $\Delta H_2 < 0$ ，所以 $\frac{\Delta H_3}{\Delta H_2}$ 的范围为 $0 < \frac{\Delta H_3}{\Delta H_2} < 1$ ；

故答案为 C

【小问 2 详解】

①根据题干信息，甲醇的时空收率 Y 与甲醇的产率成正比， 280°C 时，Y 最大，即甲醇产率最大，也就是说 280°C 是生成 CH_3OH 的最佳温度；

故答案为： 280°C

根据(1)题结论以及 a、b 两条曲线变化趋势可知，反应 I 为吸热反应，反应 II 为放热反应，升高温度 $n(\text{CH}_3\text{OH})$ 减小，转化为 CH_3OH 的 CO_2 减小， $n(\text{CO})$ 增加，转化为 CO 的 CO_2 增加，则 $S(\text{CH}_3\text{OH})$ 降低，图中代表 $S(\text{CH}_3\text{OH})$ 随温度变化的曲线是 b；

故答案为：b

280℃后，曲线b快速下降的可能反应未达平衡，升高温度，CO₂的转化率逐渐增大，反应I速率的增大程度远大于反应II，故甲醇的选择性快速下降；

故答案为：反应未达平衡，升高温度，CO₂的转化率逐渐增大，反应I速率的增大程度远大于反应II，故甲醇的选择性快速下降

②根据图像信息可知，280℃时，CH₃OH的选择性为77.5，根据反应I和反应II以及元素守恒和选择性的表达式可得，

$$S(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{n(\text{转化为CH}_3\text{OH的CO}_2)}{n(\text{消耗的CO}_2)} \times 100\%, \quad S(\text{CO}) = \frac{n(\text{转化为CO的CO}_2)}{n(\text{消耗的CO}_2)} \times 100\%,$$

$$S(\text{CH}_3\text{OH}) + S(\text{CO}) = 1, \text{ 所以 } S(\text{CO}) = 1 - S(\text{CH}_3\text{OH}) = 1 - 77.5\% = 22.5\%;$$

故答案为：22.5%

$$Y(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{\text{CH}_3\text{OH的产率} \times \text{CO}_2\text{的进气流量}}{\text{催化剂质量}}, \text{ 已知 } Y(\text{CH}_3\text{OH}) = 4.95 \text{ mmol} \cdot \text{h}^{-1}, \text{ 进气流量 } 4.5 \text{ mmol} \cdot \text{min}^{-1},$$

$$n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2) = 1 : 3, \text{ 所以 } \text{CO}_2 \text{ 的进气流量为 } \frac{4.5}{4} \text{ mmol} \cdot \text{min}^{-1}, \text{ 根据单位换算, 1h 通入 } \text{CO}_2 \text{ 的物质的量为}$$

$$\frac{4.5 \times 60 \text{ mmol}}{4}, \text{ 催化剂质量为 } 0.5 \text{ g}, \text{ 因此 } \text{CH}_3\text{OH} \text{ 的产率} = \frac{Y(\text{CH}_3\text{OH}) \times \text{催化剂质量}}{\text{CO}_2\text{的进气流量}} = \frac{0.5 \times 4.95 \times 4}{4.5 \times 60},$$

$$\text{甲醇的产率} = \frac{\text{甲醇的实际产量}}{\text{甲醇的理论产量}} \times 100\% = \frac{n(\text{消耗CO}_2)}{n(\text{起始CO}_2)} \times \frac{n(\text{转化为CH}_3\text{OH的CO}_2)}{n(\text{消耗的CO}_2)} \times 100\% = \text{CO}_2 \text{ 转化率}$$

$$\times \text{CH}_3\text{OH 的选择性}, 280^\circ\text{C 时甲醇的选择性为 } 77.5\%, \text{ 所以 } \frac{0.5 \times 4.95 \times 4}{4.5 \times 60} = 77.5\% \times \text{CO}_2 \text{ 转化率}, \text{ 故}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 转化率} = \frac{0.5 \times 4.95 \times 4}{77.5\% \times 4.5 \times 60};$$

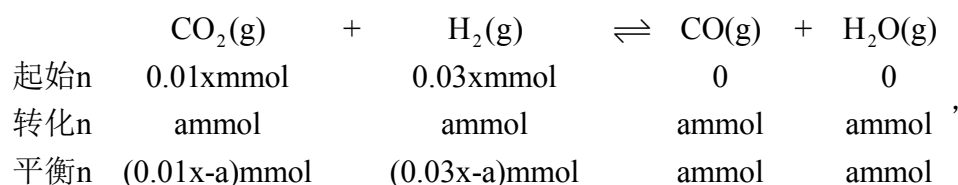
$$\text{故答案为: } \frac{0.5 \times 4.95 \times 4}{77.5\% \times 4.5 \times 60}$$

③根据题意，该气体流速下的转化率为平衡转化率，若假设装置中起始时含有0.04x mmol气体，那么起始时

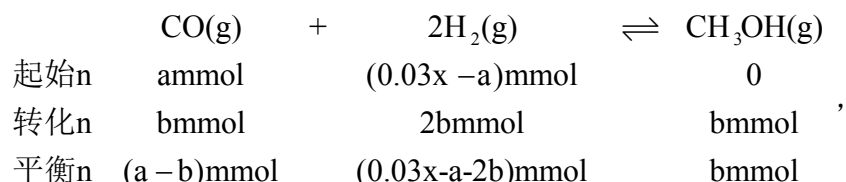
$$n(\text{CO}_2) = 0.01x \text{ mmol}、n(\text{H}_2) = 0.03x \text{ mmol}, \text{ 反应 I 中 } \Delta n(\text{CO}_2) \text{ 为 } a \text{ mmol}, \text{ 反应 II } \Delta n(\text{CO}_2) \text{ 为 } b \text{ mmol}, \text{ 则假}$$

设反应I达到平衡后再发生反应II并达到平衡，且平衡时 $n_{\text{总}} = 0.038x \text{ mmol}$ ，则有如下三段式；

反应I的三段式为：



反应II的三段式为：

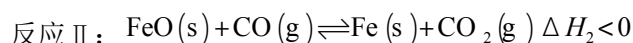
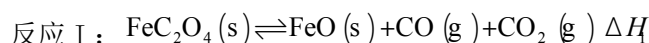


根据平衡时转化率为 50%，可知 $a=0.005x$ ， $n_{\text{总}}=0.01x-a+a-b+0.03x-a-2b+a+b=0.04x-2b=0.038x\text{mmol}$ ，解得 $b=0.001x\text{mmol}$ ，则平衡时 $n(\text{CO}_2)=0.01x\text{mmol}-0.005x\text{mmol}=0.005x\text{mmol}$ 、 $n(\text{H}_2)=0.03x-a-2b=0.023x\text{mmol}$ 、 $n(\text{H}_2\text{O})=a\text{mmol}=0.005x\text{mmol}$ ， $n(\text{CO})=(a-b)\text{mmol}=0.004x\text{mmol}$ ，可以

$$\text{得到反应 I 的 } K_p = \frac{p(\text{CO})p(\text{H}_2\text{O})}{p(\text{CO}_2)p(\text{H}_2)} = \frac{\frac{n(\text{CO})}{n_{\text{总}}}p_{\text{总}} \cdot \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n_{\text{总}}}p_{\text{总}}}{\frac{n(\text{CO}_2)}{n_{\text{总}}}p_{\text{总}} \cdot \frac{n(\text{H}_2)}{n_{\text{总}}}p_{\text{总}}} = \frac{n(\text{CO})n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{CO}_2)n(\text{H}_2)} = \frac{0.004x \times 0.005x}{0.023x \times 0.005x} = \frac{4}{23};$$

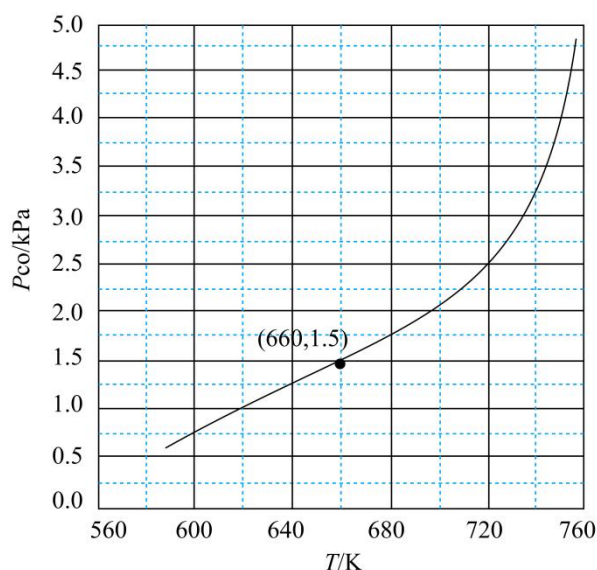
故答案为： $\frac{4}{23}$ 。

4. (2025 泰安一模，19) 草酸亚铁 (FeC_2O_4) 可用于制药。在一定温度下，将 FeC_2O_4 置入真空容器中发生如下反应：



已知 760K 以下只发生反应 I，平衡时 $p_{\text{CO}} \sim T$ 的关系如图所示。760K 以上反应 I 和反应 II 同时进行。

回答下列问题：



(1) 660K 时，将 FeC_2O_4 置入一真空刚性容器中至反应到达平衡，此时反应 I 的平衡常数 $K_p(\text{I}) = \underline{\hspace{2cm}} (\text{kPa})^2$ ；有

关该混合体系说法正确的是 (填序号)。

- a. 反应 I 的正、逆反应的活化能 ($E_{\text{a正}}$ 、 $E_{\text{a逆}}$)， $E_{\text{a正}} < E_{\text{a逆}}$
- b. FeO 的质量不变时，体系达到平衡状态
- c. 平衡后充入惰性气体氩， p_{CO} 减小
- d. 平衡时，分离出部分 CO_2 ，再次平衡时， $p_{\text{CO}} \neq p_{\text{CO}_2}$

(2) 反应 $\text{Fe(s)} + 2\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{FeC}_2\text{O}_4(\text{s})$ 能自发进行, $\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2}$ 的数值范围是填序号_____ (填序号)。

- A. < -1 B. $-1 \sim 0$ C. $0 \sim 1$ D. > 1

(3) 800K 时, 将 FeC_2O_4 置入另一真空刚性容器中至反应到达平衡, 此时容器中 $\frac{n(\text{CO})}{n(\text{CO}_2)} = \frac{2}{3}$, 则 $\frac{n(\text{FeO})}{n(\text{Fe})} =$ _____;

保持温度不变, 充入少量 CO_2 气体, 再次平衡时容器中 p_{CO} _____ (填“增大”“减小”或“不变”); 升高温度, p_{CO_2} _____ (填“增大”“减小”或“不变”)。

【答案】(1) 2.25 bd

(2) A

(3) 4:1 不变 增大

【详解】(1) 已知 760K 以下只发生反应 I, 由方程式可知生成等量的 CO 和 CO_2 , 所以 $p_{\text{CO}} = p_{\text{CO}_2}$, 由图像可知, 660K 时 $p_{\text{CO}} = 1.5\text{kPa}$, 所以 $K_p(\text{I}) = p_{\text{CO}} \times p_{\text{CO}_2} = 1.5\text{kPa} \times 1.5\text{kPa} = 2.25(\text{kPa})^2$;

a. 由图像可知, 升高温度, p_{CO} 增大, 平衡正向移动, 反应吸热, 则反应 I 的正、逆反应的活化能, $E_{\text{a正}} > E_{\text{a逆}}$, a 错误

b. FeC_2O_4 分解生成 FeO, FeO 的质量不变时, 体系达到平衡状态, b 正确;

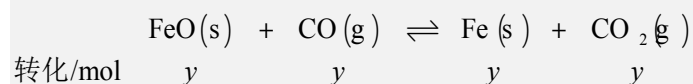
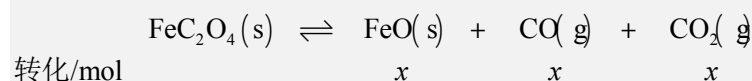
c. 平衡后充入惰性气体氩, 平衡不移动, p_{CO} 不变, c 错误;

d. 平衡时, 分离出部分 CO_2 , 平衡正向移动, 生成等量的 CO 和 CO_2 , 则再次平衡时, $p_{\text{CO}} \neq p_{\text{CO}_2}$, d 正确;

故选为: bd;

(2) 反应 $\text{Fe(s)} + 2\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{FeC}_2\text{O}_4(\text{s})$ 为熵减反应, 则 $\Delta S < 0$, 能自发进行, 说明该反应 $\Delta H < 0$, 由盖斯定律可知 $\Delta H = -\Delta H_1 - \Delta H_2 < 0$, $\Delta H_2 > 0$, 则 $\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} < -1$, 故选 A;

(3) 设反应 I 生成 CO_2 x mol, 反应 II 生成 CO_2 y mol, 可列三段式:



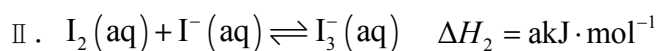
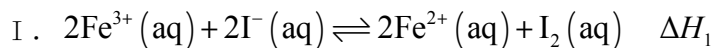
则 $\frac{n(\text{CO})}{n(\text{CO}_2)} = \frac{x-y}{x+y} = \frac{2}{3}$, 则 $\frac{x}{y} = \frac{5}{1}$, $\frac{n(\text{FeO})}{n(\text{Fe})} = \frac{x-y}{y} = \frac{4}{1}$; 保持温度不变, 充入少量 CO_2 气体, 反应 I、II 的平衡常

数不变, 则 p_{CO} 不变; 升高温度, 反应 $\text{Fe(s)} + 2\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{FeC}_2\text{O}_4(\text{s})$ 向吸热方向移动, 即逆向移动, 所以 p_{CO_2} 增大,

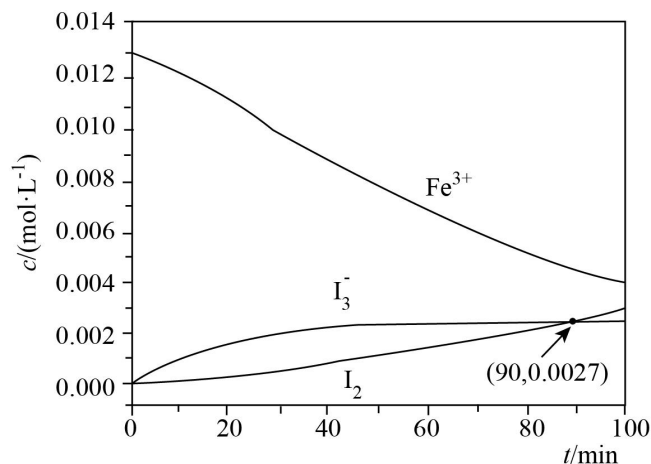
故答案为: 4:1; 不变; 增大。

5. (2025 烟台一模, 20) Fe^{3+} 可用于处理含 I^- 废水。一定温度下, FeCl_3 与 KI 混合溶液中存在如下反应 (反

应过程中忽略碘单质的挥发与阳离子的水解)。



回答下列问题:



(1) 反应Ⅲ: $2\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{I}^{-}(\text{aq}) = 2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{I}_3^{-}(\text{aq}) \quad \Delta H_3 = b\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则反应Ⅰ的焓变

$\Delta H_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (用含 a 、 b 的代数式表示), 当 FeCl_3 和 KI 的初始浓度均为 $0.013\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 部分微粒

的物质的量浓度随时间变化曲线如图所示。0~90min 内, Fe^{3+} 的反应速率 $v(\text{Fe}^{3+}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

(2) 已知: 反应Ⅰ的正反应速率 $v_{\text{正}} = k_{\text{正}} \cdot c^m(\text{I}^{-}) \cdot c^n(\text{Fe}^{3+})$ ($k_{\text{正}}$ 为正反应速率常数), 改变 I^{-} 、 Fe^{3+} 的浓度,

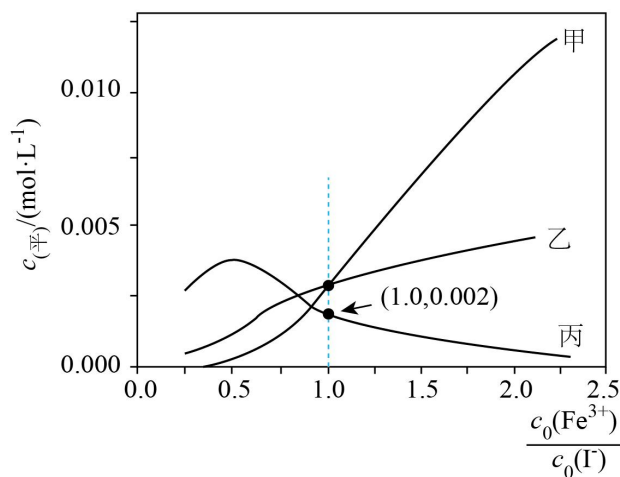
反应Ⅰ的正反应速率如下表所示:

	$c(\text{I}^{-})/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	$c(\text{Fe}^{3+})/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	$v(\text{正})/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$
①	0.20	0.80	$0.032k_{\text{正}}$
②	0.60	0.40	$0.144k_{\text{正}}$
③	0.80	0.20	$0.128k_{\text{正}}$

I^{-} 浓度对反应速率的影响大于 Fe^{3+} 浓度对反应速率的影响, 理由是_____。

(3) 保持混合溶液中 $c_0(\text{FeCl}_3) + c_0(\text{KI}) = 0.026\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 发生反应Ⅰ、Ⅱ, 平衡时, $c_{\text{平}}(\text{Fe}^{3+})$ 、 $c_{\text{平}}(\text{I}_2)$ 与

$c_{\text{平}}(\text{I}_3^{-})$ 随起始投料比 $\frac{c_0(\text{Fe}^{3+})}{c_0(\text{I}^{-})}$ 的变化曲线如图。



①表示 $c_{\text{平}}(\text{I}_2)$ 的曲线为_____。

②当 $\frac{c_0(\text{Fe}^{3+})}{c_0(\text{I}^-)} = 1$ 达平衡后，溶液中 I_2 的浓度 $c_{\text{平}}(\text{I}_2) = \underline{\hspace{2cm}} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，反应 I 的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ ；反应平衡后

再加入少量 CCl_4 充分振荡，重新平衡后水溶液中 $c_{\text{平}}(\text{I}_2) \cdot c_{2e}(\text{I}^-)$ 的值_____（填“变大”“变小”或“不变”）。

【答案】 (1) ①. $(b-a)$ ②. 1.2×10^{-4}

(2) 计算得 $m=2, n=1, m>n$ ，故 I^- 浓度对反应速率的影响大于 Fe^{3+} 浓度对反应速率的影响

(3) ①. 乙 ②. 0.003 ③. 3.3×10^4 ④. 变小

【解析】

【小问 1 详解】

由盖斯定律可知，反应 III-反应 II 可得 $2\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 2\text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{I}_2(\text{aq})$

$\Delta H_1 = \Delta H_3 - \Delta H_2 = (b-a) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ， FeCl_3 和 KI 的初始浓度均为 $0.013 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，90min 时，溶液中

$c(\text{I}_3^-) = c(\text{I}_2) = 0.0027 \text{ mol/L}$ ，根据已知条件列出“三段式”

	$2\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$	+	$2\text{I}^-(\text{aq})$	$\rightleftharpoons$	$2\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	+	$\text{I}_2(\text{aq})$
起始(mol/L)	0.013		0.013		0		0
转化(mol/L)	2x		2x		2x		x
90min(mol/L)	0.013-2x		0.013-2x		2x		x

	$\text{I}_2(\text{aq})$	+	$\text{I}^-(\text{aq})$	$\rightleftharpoons$	$\text{I}_3^-(\text{aq})$
起始(mol/L)	x		0.013-2x		0
转化(mol/L)	y		y		y
90min(mol/L)	x-y		0.013-2x-y		y

$Y=0.0027$ ， $x-y=0.0027$ ，则 $x=0.0054$ ，0~90min 内，

$$v(\text{Fe}^{3+}) = \frac{2 \times 0.0054 \text{ mol/L}}{90 \text{ min}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}。$$

【小问 2 详解】

由已知数据可知, $0.032k_{\text{正}} = (0.20)^m (0.8)^n$ 、 $0.128k_{\text{正}} = (0.80)^m (0.2)^n$ 、 $0.144k_{\text{正}} = (0.6)^m (0.4)^n$, 解得 $m=2$, $n=1$,

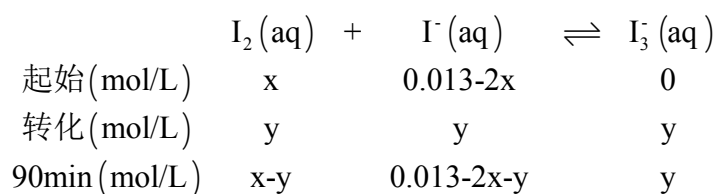
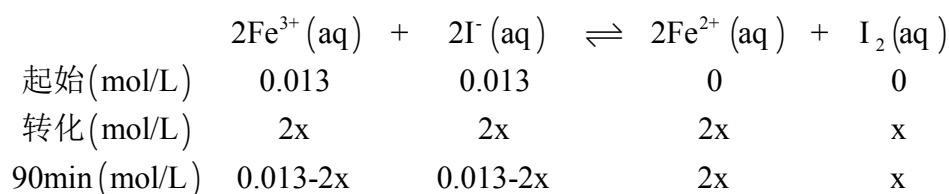
I^- 浓度对反应速率的影响大于 Fe^{3+} 浓度对反应速率的影响, 理由是: 计算得 $m=2, n=1, m>n$, 故 I^- 浓度对反应速率的影响大于 Fe^{3+} 浓度对反应速率的影响。

【小问 3 详解】

①投料比 $\frac{c_0(\text{Fe}^{3+})}{c_0(\text{I}^-)}$ 增大, 相当于减小 $c(\text{I}^-)$, 反应 I 平衡逆向移动, $c_{\text{平}}(\text{Fe}^{3+})$ 增大, 反应 II 平衡逆向移动, $c_{\text{平}}(\text{I}_3^-)$

减小, $c_{\text{平}}(\text{I}_2)$ 减小, 氮减小程度小于 $c_{\text{平}}(\text{Fe}^{3+})$, 则表示 $c_{\text{平}}(\text{Fe}^{3+})$ 的是甲, 表示 $c_{\text{平}}(\text{I}_2)$ 的曲线为乙, 表示 $c_{\text{平}}(\text{I}_3^-)$ 的是丙:

②当 $\frac{c_0(\text{Fe}^{3+})}{c_0(\text{I}^-)} = 1$ 达平衡后, 根据已知条件列出三段式:



$c_{\text{平}}(\text{I}_3^-) = y = 0.002 \text{ mol/L}$, $c_{\text{平}}(\text{Fe}^{3+}) = c_{\text{平}}(\text{I}_2) = 0.013 - 2x = x - y$, 解得 $x = 0.005$, 溶液中 I_2 的浓度

$c_{\text{平}}(\text{I}_2) = 0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - 0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.003 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 反应 I 的平衡常数

$K = \frac{0.003 \times (0.01)^2}{(0.013 - 0.01 - 0.002)^2 (0.003)^2} = 3.3 \times 10^4$; 反应平衡后再加入少量 CCl_4 充分振荡, I_2 进入 CCl_4 中, 反应 II

逆向移动, $c_{\text{平}}(\text{I}_2)$ 减小, $c_{\text{平}}(\text{I}^-)$ 增大, 重新平衡后水溶液中 $c_{\text{平}}(\text{I}_2) \cdot c_{\text{平}}(\text{I}^-)$ 的值变小。

6. (2025 日照一模, 20) CO_2 加氢制甲醚的反应原理: $2\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H$
其分步反应及副反应如下:

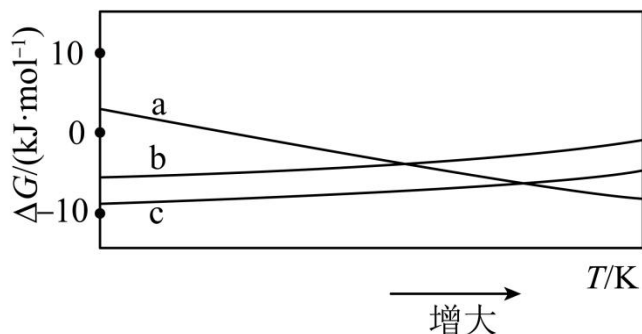
I. $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_1 = -49.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

II. $2\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_2 = -23.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \Delta S_2 < 0$

III. $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_3 = +41.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

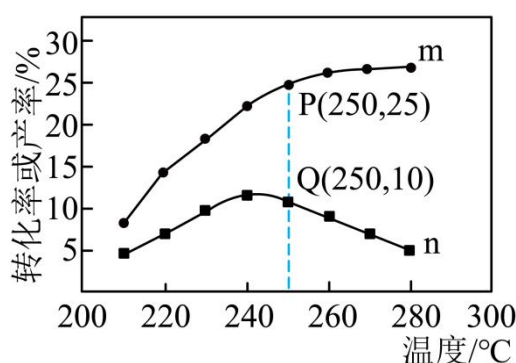
回答下列问题:

(1) $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 上述反应的 ΔG 随温度的变化如图, 其中表示反应 III 的 ΔG 随温度的变化曲线是
(填 a、b 或 c)。



(2)在 4.0MPa 条件下，将 1mol CO₂、3mol H₂ 通入反应器发生反应 I、II、III，测得 CO₂ 平衡转化率、CH₃OH 产率与温度的关系如图所示。

已知：X 产率 = $\frac{n(X)}{n_{\text{理论}}(X)} \times 100\%$ ， $n_{\text{理论}}(x)$ 表示 CO₂ 完全转化为 X 时对应生成 X 的物质的量，X 表示 CH₃OH、CO、CH₃OCH₃。



①表示 CH₃OH 产率的曲线是_____ (填 m 或 n)。

②250℃，测得平衡体系中 H₂O 的物质的量为 0.3mol，则甲醚的产率为_____，该温度下反应 II 的 K_P = _____。

③240℃~280℃ 温度范围内，甲醚的选择性随温度升高而_____ (填“增大”、“减小”或“不变”)。已知：甲醚的选择性 = $\frac{\text{生成甲醚所消耗CO}_2\text{的物质的量}}{\text{所消耗CO}_2\text{的总物质的量}} \times 100\%$

210℃-240℃ 温度范围内，随温度升高 n 曲线对应的量逐渐增大的原因是_____。

【答案】(1) -122.2 a

(2) n 10% 1.5 减小 210℃~240℃ 温度范围内，升高温度，反应 I 逆向移动使 CH₃OH 减少，反应 II 逆向移动使 CH₃OH 增多，240℃ 前升温对反应 II 影响更大

【详解】(1) 由盖斯定律可知反应 $2\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 可由 $2 \times \text{I} + \text{II}$ 得到，则

$$\Delta H = 2\Delta H_1 + \Delta H_2 = -49.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 2 + (-23.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -122.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1};$$

由反应可知反应 I 中， $\Delta S < 0$ ， $\Delta H_1 < 0$ ；反应 II 中 $\Delta H_2 < 0$ 、 $\Delta S_2 < 0$ ，则反应 I 和反应 II 的 ΔG 随温度的变化曲线变化趋势相同，结合图像可知，b、c 代表反应 I、反应 II，则 a 代表反应 III 的 ΔG 随温度的变化曲线；

(2) ①由反应可知 CO₂ 最终可转化为 CH₃OH、CO、CH₃OCH₃ 三种物质，其转化率始终高于 CH₃OH 的产率；则 m 代表 CO₂ 平衡转化率、n 代表 CH₃OH 产率；

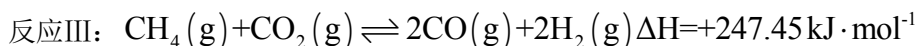
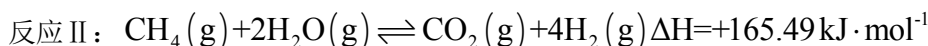
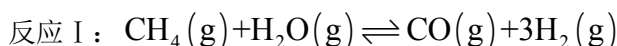
②250℃, CO₂平衡转化率为25%, CH₃OH产率为10%, 则此时 n(CO₂)=0.75mol, n(CH₃OH)=0.1mol, 设生成的 CH₃OCH₃ 的物质的量为 xmol, CO 为 ymol, 则根据 C 原子守恒得: 2x+y=0.25-0.1=0.15; 根据 O 原子守恒得: 2n(CO₂)+n(CO)+n(CH₃OH)+n(CH₃OCH₃)+n(H₂O)=2, 即 0.75×2+y+0.1+x+0.3=2, 联立解得 x=y=0.05, 理论上生成甲醚 0.5mol; 则甲醚的产率为 $\frac{0.05}{0.5} \times 100\% = 10\%$; 根据 H 原子守恒得: 2n(H₂)+4n(CH₃OH)+2n(H₂O)+6n(CH₃OCH₃)=6, 即 2n(H₂)+4×0.1+2×0.3+6×0.05=6, 解得: n(H₂)=2.35mol;

该温度下反应 II 的

$$K_p = \frac{p(\text{H}_2\text{O}) \cdot p(\text{CH}_3\text{OCH}_3)}{p^2(\text{CH}_3\text{OH})} = \frac{\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{总})} p_{(\text{总})} \cdot \frac{n(\text{CH}_3\text{OCH}_3)}{n(\text{总})} p_{(\text{总})}}{\frac{n^2(\text{CH}_3\text{OH})}{n^2(\text{总})} p_{(\text{总})}^2} = \frac{n(\text{H}_2\text{O}) \cdot n(\text{CH}_3\text{OCH}_3)}{n^2(\text{CH}_3\text{OH})} = \frac{0.3 \times 0.05}{0.1^2} = 1.5;$$

③随温度升高, 反应 II 逆向移动, 则甲醚的选择性减小; 210℃~240℃温度范围内, 升高温度, 反应 I 逆向移动使 CH₃OH 减少, 反应 II 逆向移动使 CH₃OH 增多, 240℃前升温对反应 II 影响更大, 因此甲醇的产率逐渐增大。

7. (2025 青岛一模, 20) 积极发展氢能, 是实现“碳达峰、碳中和”的重要举措。用甲烷和水蒸气催化制氢气涉及的主要反应如下:

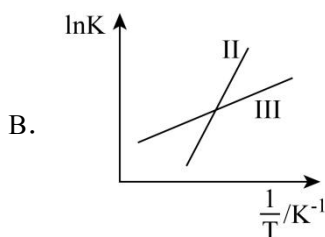
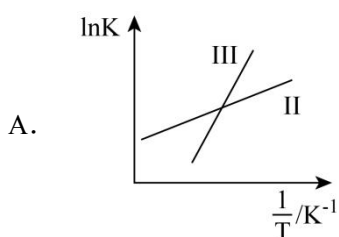


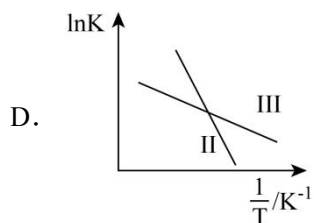
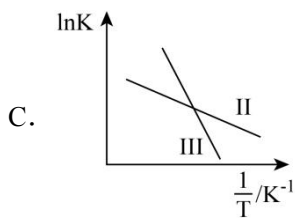
(1) 反应 I 的正反应活化能_____逆反应活化能(填“>”或“<”)。

(2) 刚性绝热密闭容器中只发生反应 I, 下列一定能说明反应达到平衡状态的是_____ (填标号)。

- A. 气体混合物的密度不再变化 B. CH₄ 消耗速率和 CO 生成速率相等
C. CO 和 H₂ 的物质的量之比不再变化 D. 气体平均相对分子质量不再变化
E. 体系的压强不再变化 F. 体系的温度不再变化

(3) 已知 $\Delta H - T\Delta S = -RT\ln K$ (忽略 ΔH 、 ΔS 随温度的变化), $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。反应 II、III 的 $\ln K$ 随 $\frac{1}{T}$ 变化曲线正确的为_____ (填标号)。在所选项像中画出反应 I 的 $\ln K$ 随 $\frac{1}{T}$ 变化的曲线_____。





$M(s)$ 对反应有催化作用, 存在反应 $M \cdot 4H_2O(s) \rightleftharpoons M(s) + 4H_2O(g)$ 。 $T_1^\circ C$ 时, 刚性密闭容器中加入等物质的量 $M \cdot 4H_2O(s)$ 和 $CH_4(g)$ 发生上述三个反应。30 min 达平衡时总压强为 510 kPa, 含碳物质的物质的量相等, H_2O 和 H_2 的物质的量相等。

(4) $0 \sim 30 \text{ min}$ H_2 的平均生成速率为 _____ $\text{kPa} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

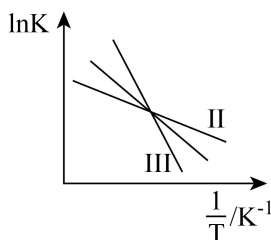
(5) $M \cdot 4H_2O(s)$ 的分解率为 _____ % (保留一位小数)。

(6) $T_1^\circ C$ 下, 反应 I 的 $K_p =$ _____ kPa^2 。

(7) 平衡后, 继续向刚性容器中加入含碳物质各 0.5 mol, 则反应 $M \cdot 4H_2O(s)$ 的分解平衡 _____ (填“向正反应方向移动”“向逆反应方向移动”或“不移动”)。

【答案】 (1) > (2) DEF

(3) ①. C ②.



(4) 7 (5) 83.3

(6) 210^2 或 44100

(7) 不移动

【解析】

【小问 1 详解】

根据盖斯定律可得反应 I = (反应 II + 2 反应 III) $\times 1/2$, 可得反应 I 的焓变 $\Delta H = +206.47 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 因 $\Delta H > 0$, 所以反应 I 的正反应活化能大于逆反应的活化能;

【小问 2 详解】

A. 因为该反应在刚性容器中反应, 气体体积不会改变, 反应过程中因质量守恒, 气体的总质量也不会改变, 因为不管该反应是否达到平衡, 气体混合物的密度均不变化, 故 A 错误;

B. 化学平衡的本质特征是正反应速率等于逆反应速率, 而题中所给 CH_4 消耗速率和 CO 生成速率均指正反应速率, 用做概念, 故 B 错误;

C. 如果该反应从正反应方向起始, 在反应过程中无论是否达到平衡状态, CO 和 H_2 的物质的量之比总是 1:3, 不

会改变，故 C 错误；

D. 在反应过程中气体的总质量保持不变，而如未达到平衡状态，气体的物质的量就会不断变化（反应前后气体的分子数不相等），气体的平均相对分子质量就会不断变化。题中讲气体平均相对分子质量不再变化，可以证明反应达到平衡状态，故 D 正确；

E. 题中给定的是绝热体系，如果反应体系未达到平衡状态，反应体系的温度变会不断变化。另外如果反应体系未达到平衡状态，反应体系中气体的总物质的量也会不断变化（反应前后气体的分子数不相等），题目中“体系的压强不再变化”，可以证明反应达到平衡状态，故 E 正确；

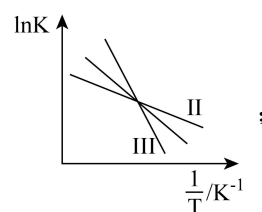
F. 题中给定的是绝热体系，如果反应体系未达到平衡状态，反应体系的温度变会不断变化。题目中“体系的温度不再变化”可以证明反应达到平衡状态。故 F 正确；

答案选 DEF；

【小问 3 详解】

根据 $\Delta H - T\Delta S = -RT\ln K$ ，得到 $\ln K = \frac{1}{T} \cdot \frac{\Delta H - T\Delta S}{-R}$ ，反应 III 的 ΔH 大于反应 II，从反应前后气体分子数的变化情况看，反应 III 的 ΔS 与反应 II 相差不大，故图像选 C；同理，反应 I 的 ΔH 介于反应 III 和反应 II 之间。从反应前后气体

分子数的变化情况看，反应 I 的 ΔS 与反应 II、III 相差不大，故画出图像如下：



【小问 4 详解】

依据题意，不妨设平衡时 CH_4 、 CO 、 CO_2 的物质的量均为 x ，设平衡时 H_2O 和 H_2 的物质的量均为 y ，设初始加入的 $\text{M} \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 和 $\text{CH}_4(\text{g})$ 均为 1mol ，设 $\text{M} \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 的分解率为 α 。综合以上反应 I、II、III 并考虑 CO 和 CO_2 的物质的量相等。可以写出总的反应关系如下： $2\text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{CO}_2 + 7\text{H}_2$ ，从题意“平衡时 CH_4 、 CO 、 CO_2 的物质的量相等”可判断参加反应的 CH_4 为 $2/3\text{mol}$ ，通过方程可知参加反应的 H_2O 为 1mol ，判断出平衡体系得到的 H_2 为 $7/3\text{mol}$ ，则平衡体系中的 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 也是 $7/3\text{mol}$ ，因初始设定加入的 $\text{M} \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 为 1mol ，其中的水分子共 4mol ，综上所述，可计算出 $\text{M} \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 的转化率（根据 H_2O 计算）： $(1\text{mol} + 7/3\text{mol}) \div 4\text{mol} = 5/6 = 83.3\%$ 。在平衡体系中，根据碳守恒有： $3x = 1$ ，根据氢守恒有： $4x + 4y = 4 + 8 \times 5/6$ 。解得： $x = 1/3$ 、 $y = 7/3$ 。如此可根据平衡混合气体中氢气所占物质的量分数计算生成的氢气的分压： $510\text{kPa} \times \frac{7/3}{1 + 14/3} = 210\text{kPa}$ ，因为起始氢气的分压为 0 ，于

是可得 $0 \sim 30\text{min}$ $\text{H}_2\text{O} \sim 30\text{min}$ H_2 的平均生成速率为 $7\text{kPa} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

【小问 5 详解】

由(4)可知 $\text{M} \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 的分解率为 83.3% ；

【小问 6 详解】

反应 II 的 K_p 表达式为： $K_p = \frac{p(\text{CO}) \cdot p(\text{H}_2)^3}{p(\text{CH}_4) \cdot p(\text{H}_2\text{O})}$ ，如上分析， $p(\text{H}_2) = p(\text{H}_2\text{O}) = 210\text{kPa}$ ，同理可计算 $p(\text{CO}) =$

$p(\text{CH}_4)=1/17 \times 510 \text{ kPa} = 30 \text{ kPa}$ 。将数值代入上式可得 $K_p=210^2$ 或 44100;

【小问 7 详解】

平衡后，继续向刚性容器中加入含碳物质各 0.5 mol ，相当于将一氧化碳、二氧化碳和甲烷增大同等倍数，观察反

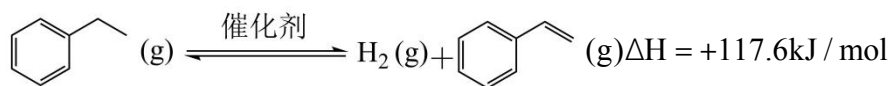
应 I，其平衡常数可表达为： $K = \frac{C(\text{CO}) \cdot C(\text{H}_2)^3}{C(\text{CH}_4) \cdot C(\text{H}_2\text{O})}$ ，通过平衡常数表达式分析，当同等倍数改变一氧化碳和甲烷的

浓度时，常数并不发生改变。即平衡不会发生移动。同理，反应 II、III 的平衡也不会发生移动。因为这样改变不会使上述三个化学平衡发生移动， $C[\text{H}_2\text{O}(\text{g})]$ 不会发生改变。反应 $\text{M} \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{M} \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 的分解平衡不移动。

【点睛】复杂多平衡体系的计算问题关键要从变化中抓不变因素，如从元素守恒角度看问题等。

8. (2025 聊城一模, 20) 苯乙烯是合成树脂、离子交换树脂及合成橡胶等的重要单体，常用乙苯为原料制备。

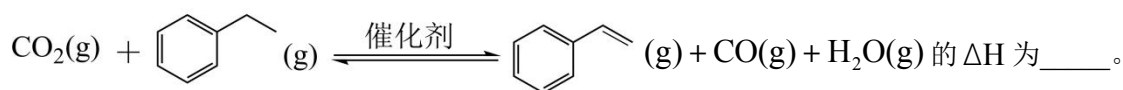
(1) 乙苯制备苯乙烯的原理如下：



① 为提高乙苯的平衡转化率，应选择反应条件为_____（填序号）。

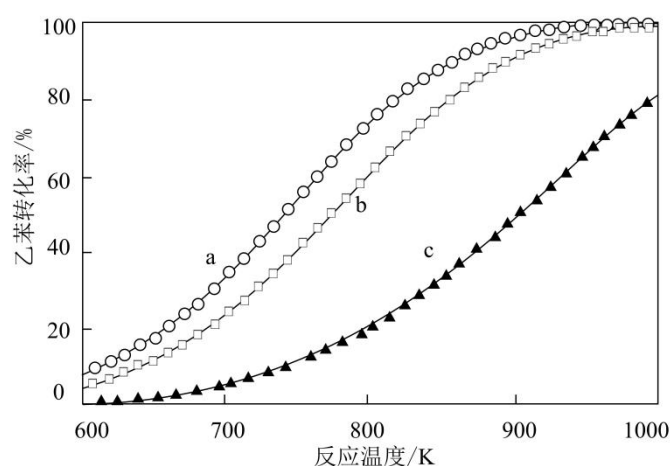
A. 低温、低压 B. 高温、高压 C. 高温、低压 D. 低温、高压

② 已知 $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = +41.2 \text{ kJ/mol}$ 。则



(2) 在 0.1 MPa 下，有三种原料气配比：① 只有乙苯；② $n(\text{乙苯}) : n(\text{CO}_2) = 1 : 9$ ；③ $n(\text{乙苯}) : n(\text{N}_2) = 1 : 9$ 。

测得乙苯的平衡转化率与温度的变化关系如图所示。



图中，表示原料气配比为只有乙苯的曲线是_____（填“a”或“b”或“c”），相同温度下，乙苯转化率曲线 a 大于曲线 c 的原因是_____。

(3) 在 100.8 kPa 时，乙苯和 N_2 按照 $n(\text{乙苯}) : n(\text{N}_2) = 1 : 9$ 充入钯膜反应器（仅 H_2 能透过而移出），平衡时氢气的移出率为 90%，乙苯的平衡转化率为 80%，平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kPa}$ ，保持反应条件不变，继续通入一定量 N_2 ，

乙苯的平衡转化率_____（填“增大”“减小”或“不变”）。

（4）乙苯制备苯乙烯时，会产生少量积碳，相同条件下使用水蒸气代替 N_2 ，可较长时间内保持催化剂的催化活性，其原因是_____。（用化学方程式来表示）

【答案】（1） ① C ②. +158.8kJ/mol

（2） ①. c ②. 降低乙苯分压并消耗氢气，促进平衡向生成苯乙烯的方向移动

（3） ①. 3.2 ②. 增大

（4） $C + H_2O \xrightarrow{\text{高温}} CO + H_2$

【解析】

【小问 1 详解】

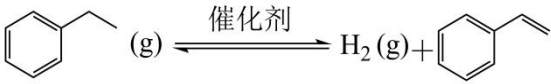
①该反应为气体分子数增大的吸热反应，则为提高乙苯的平衡转化率，应选择高温、低压条件才能使平衡正向移动，故选 C；

②将已知反应依次编号为①②，由盖斯定律可知，反应①+②可得二氧化碳和乙苯反应制备苯乙烯的反应，则反应 $\Delta H = (+117.6 \text{ kJ/mol}) + (+41.2 \text{ kJ/mol}) = +158.8 \text{ kJ/mol}$ ；

【小问 2 详解】

乙苯制备苯乙烯均是气体分子数增大的反应，恒压条件下，增加其他气体的用量，相当于减压，平衡正向移动，相应的乙苯转化率也就越高，故原料气配比为只有乙苯时，其转化率最低，曲线是 c；

相同温度下，乙苯的平衡转化率曲线 a 大于曲线 c，且 a 大于 b，则 a 表示 $n(\text{乙苯}):n(\text{CO}_2)=1:9$ ；原因是充入二氧化碳气体降低乙苯的分压并消耗乙苯制备苯乙烯反应生成的氢气，使得平衡

 正向移动，使得乙苯脱氢制备苯乙烯的反应正向移动，乙苯转化率提高；

【小问 3 详解】

设向反应器中充入 1mol 气态乙苯发生反应 $C_6H_5C_2H_5(g) \rightleftharpoons C_6H_5CH=CH_2(g) + H_2(g)$ ，乙苯的平衡转化率为 80%，

	$C_6H_5C_2H_5(g) \rightleftharpoons C_6H_5CH=CH_2(g) + H_2(g)$			
平衡时氢气的移出率为 90%，可列三段式：	起始(mol)	1	0	0
	转化(mol)	$1 \times 80\%$	0.8	0.8
	平衡(mol)	0.2	0.8	$0.8 - 0.8 \times 90\%$

，平衡

时混合气体总物质的量为 $(0.2 + 0.8 + 0.08 + 9) \text{ mol} = 10.08 \text{ mol}$ ，则 $p(H_2) = \frac{0.08}{10.08} \times 100.8 \text{ kPa} = 0.8 \text{ kPa}$ 、

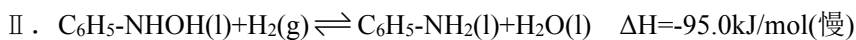
$p(C_6H_5CH=CH_2) = \frac{0.8}{10.08} \times 100.8 \text{ kPa} = 8 \text{ kPa}$ 、 $p(C_6H_5C_2H_5) = \frac{0.2}{10.08} \times 100.8 \text{ kPa} = 2 \text{ kPa}$ ，平衡常数

$K_p = \frac{0.8 \times 8}{2} \text{ kPa} = 3.2 \text{ kPa}$ ；保持反应条件不变，继续通入一定量 N_2 ，乙苯的分压减小，平衡正向移动，乙苯的平衡转化率增大；

【小问 4 详解】

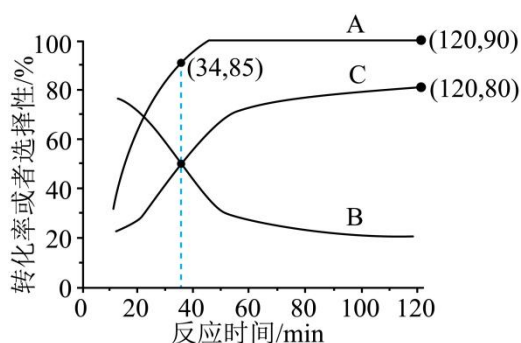
乙苯制备苯乙烯时，会产生少量积碳，相同条件下使用水蒸气代替 N_2 ，可较长时间内保持催化剂的催化活性，说明产生的积碳能和水蒸气反应，化学方程式为 $C + H_2O \xrightarrow{\text{高温}} CO + H_2$ 。

9. (2025 济宁一模, 20) 苯胺是制造药物的原料，硝基苯加氢制苯胺产率较高，相关反应如下：



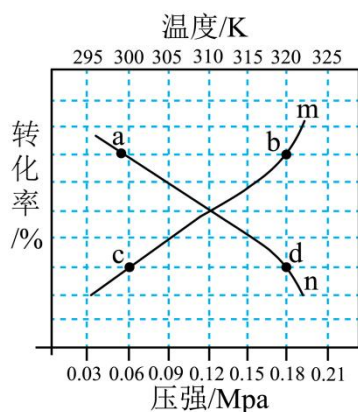
(1) 硝基苯与氢气反应生成苯胺：III. $C_6H_5-NO_2(l) + 3H_2(g) \rightleftharpoons C_6H_5-NH_2(l) + 2H_2O(l) \quad \Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ/mol}$ 。

(2) 室温下，向含有 1L 0.1mol/L 硝基苯的甲醇溶液的刚性容器中加催化剂，通入 H_2 并保持 $p(H_2) = 0.18 \text{ MPa}$ 。反应过程中硝基苯转化率、苯基羟胺和苯胺的选择性(S)随反应时间变化如图所示：



已知： $S(\text{苯胺}) = [n_{\text{生成}}(\text{苯胺}) / n_{\text{消耗}}(\text{硝基苯})] \times 100\%$ 。图中代表 $S(\text{苯胺})$ 的曲线为 ，提高硝基苯的平衡转化率，可采取的措施 ，0-34min 内 $v(\text{苯胺}) = \underline{\hspace{2cm}}$ ；120min 时已达平衡，忽略溶液体积变化，该温度下反应 II 的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol/L/MPa}$ (氢气的浓度可用氢气的压强代替)。

(3) 相同投料下，298K 下硝基苯平衡转化率随压强的变化关系、0.18MPa 下硝基苯平衡转化率随温度的变化关系如图所示，图中对应等压曲线的是 ，a、b、c、d 四个点中，处于相同化学平衡状态的点是 。



【答案】 (1) -245.7

(2) ①. C ②. 适当降低温度、增大 H_2 的压强、及时分离出水 ③. $1.25 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ④. 3.6

(3) ①. n ②. a 和 b

【解析】

【小问 1 详解】

根据盖斯定律将反应 I + 反应 II 得到目标反应, 则 $\Delta H = -150.7 \text{ kJ/mol} + (-95.0 \text{ kJ/mol}) = -245.7 \text{ kJ/mol}$;

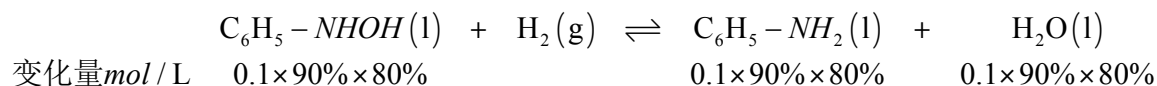
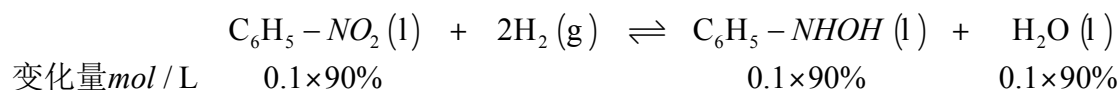
【小问 2 详解】

根据两个反应的生成物可知, 苯基羟胺($\text{C}_6\text{H}_5\text{-NHOH}$)和苯胺($\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_2$)的选择性之和为 1, 且两条选择性曲线相交时, 各占 50%; 由此可知曲线 A 代表硝基苯的转化率; 由题干信息可知, 生成苯基羟胺的反应是快反应, 故开始反应时, 苯基羟胺的选择性(S)大于苯胺, 故曲线 B 表示苯基羟胺的选择性(S); 曲线 C 代表苯胺的选择性(S); 提高硝基苯的平衡转化率, 即使得平衡正向移动, 可以采取的措施是适当降低温度、增大 H_2 的压强、及时分离出水等措施;

0-34min 内硝基苯转化率为 85%, 苯胺的选择性为 50%, 则 $v(\text{苯胺}) = \frac{0.1 \text{ mol/L} \times 85\% \times 50\%}{34 \text{ min}} = 1.25 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$;

$$v(\text{苯胺}) = \frac{0.1 \text{ mol/L} \times 85\% \times 50\%}{34 \text{ min}} = 1.25 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1};$$

120min 时已达平衡, 硝基苯平衡转化率为 90%, 苯胺的选择性为 80%, 列出各物质的变化量:



则平衡时 $c(\text{C}_6\text{H}_5\text{-NHOH}) = (0.09 - 0.072) \text{ mol/L} = 0.018 \text{ mol/L}$, $c(\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_2) = 0.072 \text{ mol/L}$,

$p(\text{H}_2) = 0.18 \text{ MPa}$, $c(\text{H}_2\text{O}) = (0.09 + 0.072) \text{ mol/L} = 0.162 \text{ mol/L}$, 由于反应是在甲醇溶液中进行的, 故水等液体

均需要代入平衡常数表达式中进行计算, 则 $K = \frac{0.162 \text{ mol/L} \times 0.072 \text{ mol/L}}{0.18 \text{ MPa} \times 0.018 \text{ mol/L}} = 3.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$;

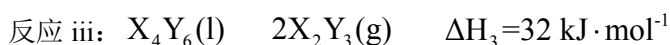
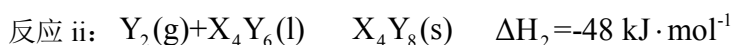
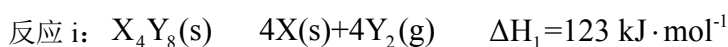
【小问 3 详解】

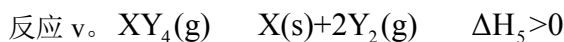
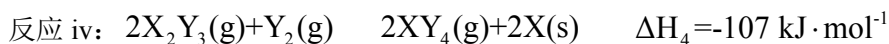
当温度为 298K 时, 增大压强, 反应 I 平衡正向移动, 硝基苯平衡转化率增大, 故曲线 m 表示等温条件下硝基苯平衡转化率随压强的变化曲线, 同理当压强保持 0.18MPa 不变时, 升高温度, 反应 I 平衡逆向移动, 硝基苯平衡转化率减小, 故图中对应等压曲线的是 n;

处于相同化学平衡状态, 说明其温度和压强是相同的, a 点的条件是 0.18Mpa、298K, 同理, d 点的条件是

0.18Mpa、320K, c 点的条件是 0.06Mpa、298K, b 点的条件是 0.18Mpa、298K, 故图中处于相同化学平衡状态的点是 a 和 b。

10. (2025 济南一模, 20) 航空航天已经成为 21 世纪最活跃和最有影响的科学技术领域之一, 标志着人类文明的最新发展, 也表征着一个国家科学技术的先进水平。某个星球上某物质在一定条件下发生如下反应:



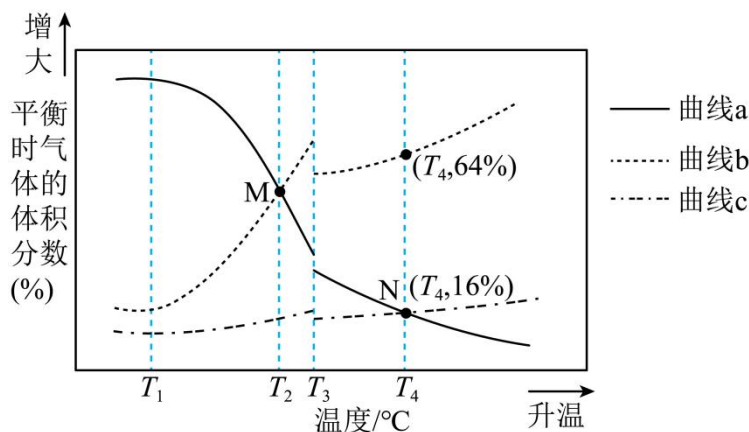


已知: $X(A) = \frac{n(A)}{\text{气体的总物质的量}} \times 100\%$ 。

回答下列问题:

(1) 则 $\Delta H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 向 2L 的刚性容器中通入 2 mol $XY_4(g)$, 发生上述反应, 测得平衡时 $Y_2(g)$ 、 $XY_4(g)$ 和 $X_2Y_3(g)$ 的体积分数 (χ) 随温度的变化如图所示, 图示温度范围内, 测得反应体系只有 X、 Y_2 、 X_4Y_6 、 X_2Y_3 和 XY_4 中的部分或全部物质, 在图示温度范围内 X 始终为固体, 忽略液体、固体体积对气体体积的影响。



①表示 $Y_2(g)$ 的体积分数随温度的变化的曲线是 曲线 b (填“曲线 a”“曲线 b”或“曲线 c”)。

② $T_3^\circ\text{C}$ 时, 三条曲线骤然变化的原因是 反应 iii 发生。

③ $T_4^\circ\text{C}$ 时, 平衡体系中含有的 X 物质的量为 $\frac{2}{3}p_0$, 此时反应体系总压强为 $p_0 \text{ kPa}$, 则反应 iii 的

$K_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kPa}$ (含 p_0 的计算式表示)。

④ $T_2^\circ\text{C}$ 时, 再充入少量 $XY_4(g)$ 和 $X(s)$, 再次达到平衡后, $\chi(Y_2)$ 将 不变 (填“增大”“减小”或“不变”), M 点将 下移 (填“上移”“下移”或“不变”)。

【答案】 (1) $75 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(2) ①. 曲线 b ②. 随着温度升高, $X_4Y_6(1)$ 转化为气体, 增大气体总的物质的量, 三种物质的体积分数不同程度下降 ③. $\frac{2}{3}p_0$ ④. $0.64p_0$ ⑤. 不变 ⑥. 不变

【解析】

【小问 1 详解】

将方程式 $\frac{1}{2}(\text{i} + \text{ii} - \text{iii} - \text{iv})$ 可得 $XY_4(g) \rightleftharpoons X(s) + 2Y_2(g)$,

$$\Delta H_5 = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3 - \Delta H_4}{2} = \frac{(+123 - 48 - 32 + 107)}{2} \text{ kJ/mol} = +75 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1};$$

【小问 2 详解】

①反应 V 为吸热反应，升高温度，平衡正向移动， $\text{Y}_2(\text{g})$ 的体积分数随温度的升高而增大，表示 $\text{Y}_2(\text{g})$ 的体积分数随温度的变化的曲线是曲线 b；

②根据图知， T_3°C 瞬间，三种气体的体积分数都减小，说明有其它状态的物质转化为气态，则 T_3°C 时，三条曲线骤然变化的原因是随温度升高， $\text{X}_4\text{Y}_6(\text{l})$ 转化为气体，增大气体总物质的量，三种物质的体积分数不同程度的下降；

③根据图知， T_4°C 时 X_4Y_6 为气体，其体积分数 $= 1 - 64\% - 16\% \times 2 = 4\%$ ，相同体积下，不同气体的体积之比等于物质的量之比，则 $n(\text{Y}_2) : n(\text{XY}_4) : n(\text{X}_2\text{Y}_3) : n(\text{X}_4\text{Y}_6) = 64\% : 16\% : 16\% : 4\% = 16 : 4 : 4 : 1$ ，设 $n(\text{X}_4\text{Y}_6) = a \text{ mol}$ ， $n(\text{X}) = b \text{ mol}$ ，

根据 X、Y 原子守恒得： $n(\text{X}) = 4a + 2 \times 4a + 4a + b = 2$ ， $n(\text{Y}) = 6a + 3 \times 4a + 4 \times 4a + 2 \times 16a = 2 \times 4$ ，解得 $a = \frac{4}{33}$ ， $b = \frac{2}{33}$ ，则平衡

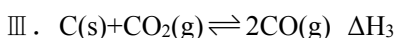
体系中含有的 X 物质的量为 $\frac{2}{33} \text{ mol}$ ，压强之比等于物质的量之比，则 $p(\text{Y}_2) : p(\text{XY}_4) : p(\text{X}_2\text{Y}_3) : p(\text{X}_4\text{Y}_6) = 16 : 4 : 4 :$

1 ， $p(\text{X}_2\text{Y}_3) : p(\text{X}_4\text{Y}_6) = 4 : 1$ ， $\frac{4}{16 + 4 + 4 + 1} \times p_0 \text{ kPa} = \frac{4}{25} p_0 \text{ kPa}$ ， $p(\text{X}_4\text{Y}_6) = \frac{1}{25} p_0 \text{ kPa}$ ，则反应 III 的

$$K_p = \frac{p^2(\text{X}_2\text{Y}_3)}{p(\text{X}_4\text{Y}_6)} = \frac{\left(\frac{4}{25} p_0\right)^2}{\frac{1}{25} p_0} = 0.64 p_0;$$

④将方程式 iv+v 得方程式 vi： $2\text{X}_2\text{Y}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{XY}_4(\text{g}) + 3\text{X}(\text{s}) + \text{Y}_2(\text{g})$ ，该反应前后气体计量数之和不变，压强不影响平衡移动， T_2°C 时，再充入少量 $\text{XY}_4(\text{g})$ 和 $\text{X}(\text{s})$ ，相当于增大压强，再次达到平衡后， XY_4 的转化率不变，所以再次达到平衡后 $\chi(\text{Y}_2)$ 将 不变，M 点将不变。

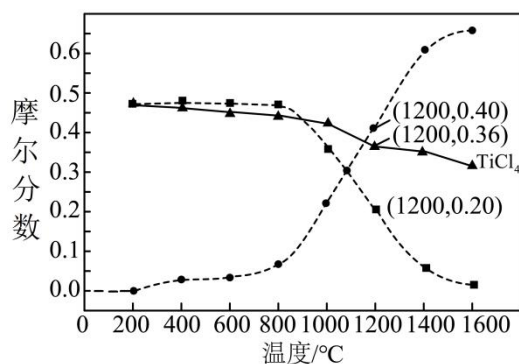
11. (2025 菏泽一模，20) TiCl_4 用于制备海绵钛和钛白粉。一定条件下，可利用金红石(TiO_2)、C 和 Cl_2 反应制得，涉及主要反应如下：



回答下列问题：

(1) $\Delta H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ/mol}$ 。

(2) 若在 100 kPa 下，足量的 TiO_2 、C 和 Cl_2 发生上述反应，达到平衡后，气相中 TiCl_4 、CO 和 CO_2 摩尔分数随温度的变化关系如图所示。



结合上图分析，实际生产中反应温度选择 800-1000℃ 的原因是_____。200℃ 时，若向平衡体系中通入少量 Cl_2 ， TiO_2 氯化反应的化学平衡将_____ (填“正向移动”、“逆向移动”或“不移动”)， Cl_2 的平衡转化率_____ (填“增大”、“减小”或“不变”)。1200℃ 时，反应 I 的平衡常数 K_p = _____ kPa。

(3) 一定条件下，若向 15L 恒容容器中加入 5mol TiO_2 与 15mol 碳粉，通入 10mol Cl_2 发生上述反应，不同时间测得混合体系内各物理量见下表：

t/min	10	20	30	40
n(Cl_2)/mol	6	2.5	1	1
n(C)/mol	12	10	9	9
p(CO): p(CO_2)	2: 1	1: 1	1: 1	1: 1

已知起始总压强为 6MPa，10min 时，体系总压强为_____；0-20min 内，用 TiCl_4 压强变化表示的化学反应速率 v = _____ MPa/min。

【答案】(1)+173

(2) 温度低于 800℃，反应速率慢，高于 1000℃， TiCl_4 的摩尔分数显著降低 正向移动 不变 3600

(3) 6.6MPa 0.1125

【详解】(1) 根据盖斯定律，反应 III = 反应 I - 反应 II， $\Delta H_3 = -49\text{kJ/mol} + 222\text{kJ/mol} = +173\text{kJ/mol}$ ；

(2) 反应 I、II 均为放热反应，升高温度，平衡逆向移动，反应 III 吸热，升温，CO 增多， CO_2 减少；实际生产中反应温度选择 800-1000℃ 的原因是：其它条件不变时，温度低于 800℃，反应速率慢，高于 1000℃， TiCl_4 的摩尔分数显著降低；200℃ 时，CO 的摩尔分数为 0，说明只发生了反应 II，若向平衡体系中通入少量 Cl_2 ， TiO_2 氯化反应的反应物浓度增大，化学平衡将正向移动，通入少量 Cl_2 ，压强增大，由于反应 II 为等体积反应，反应物中气体只有 Cl_2 ， Cl_2 自身的平衡转化率不变；根据图示，1200℃ 时， TiCl_4 的摩尔分数为 0.36，CO 的摩尔分数为 0.40， CO_2

的摩尔分数为 0.20，则 Cl_2 的摩尔分数为 0.04，反应 I 的平衡常数 $K_p = \frac{P^2(\text{CO}) \cdot P(\text{TiCl}_4)}{P^2(\text{Cl}_2)} = \frac{40^2 \times 36}{4^2} = 3600$ ；

(3) 根据碳原子守恒，10min 时消耗 3mol C，生成 CO 和 CO_2 共 3mol，消耗 4mol Cl_2 ，生成 TiCl_4 2mol，平衡时气体总的物质的量为 6mol + 3mol + 2mol = 11mol，恒温恒容，气体压强之比等于其物质的量之比，可知 10min 时，体系

总压强为 $\frac{11\text{mol}}{10\text{mol}} \times 6\text{MPa} = 6.6\text{MPa}$; 20min 时消耗 5mol C, 生成 CO 和 CO_2 共 5mol, 消耗 7.5mol Cl_2 , 生成 TiCl_4 3.75mol, 平衡时气体总的物质的量为 $2.5\text{mol} + 5\text{mol} + 3.75\text{mol} = 11.25\text{mol}$, 恒温恒容, 气体压强之比等于其物质的量之比, 可知 20min 时, 体系总压强为 $\frac{11.25\text{mol}}{10\text{mol}} \times 6\text{MPa} = 6.75\text{MPa}$, TiCl_4 分压为 $\frac{3.75\text{mol}}{11.25\text{mol}} \times 6.75\text{MPa} = 2.25\text{MPa}$, 用 TiCl_4 压强变化表示的化学反应速率 $v = \frac{2.25\text{MPa}}{20\text{min}} = 0.1125\text{MPa/min}$ 。

第五部分 物质结构与性质

一、物质结构与性质

1. (2025 菏泽一模, 2) 下列分子中, 键角最小的是

- A. CCl_4 B. NH_3 C. CS_2 D. BF_3

【答案】B

【详解】A. CCl_4 正四面体结构, 中心 C 原子为 sp^3 杂化, 键角 $\approx 109^\circ$;

B. NH_3 三角锥形结构, 中心 N 原子为 sp^3 杂化, 但存在孤电子对, 排斥作用使键角压缩至 $\approx 107^\circ$ (最小);

C. CS_2 直线型结构, 中心 C 原子为 sp 杂化, 键角 $= 180^\circ$ (最大);

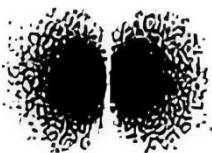
D. BF_3 平面三角形结构, 中心 B 原子为 sp^2 杂化, 键角 $= 120^\circ$;

故选 B 最小。

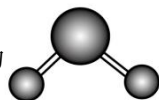
2. (2025 济南一模, 3) PbO_2 可与酸化的 MnSO_4 溶液发生反应:

$\text{PbO}_2 + \text{Mn}^{2+} + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{MnO}_4^- + \text{PbSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ (未配平)。下列化学用语或图示正确的是

A. O 原子的 2p 原子轨道示意图为



B. H_2O 的 VSEPR 模型为



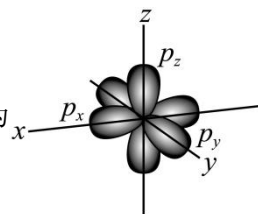
C. 基态 Mn^{2+} 价电子的空间运动状态有 5 种

D. 用浓盐酸溶解 PbO_2 的离子方程式为 $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ = \text{Pb}^{4+} + 2\text{H}_2\text{O}$

【答案】C

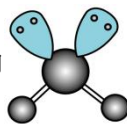
【解析】

【详解】A. p 原子轨道存在三个相互垂直的原子轨道, 2p 原子轨道示意图为



, 故 A 错误;

B. H_2O 分子中 O 原子的价层电子对数为 $2 + \frac{6 - 2 \times 1}{2} = 4$, 其 VSEPR 模型为四面体, 即



, 故 B 错误;

C. Mn 的原子序数为 25, Mn^{2+} 价电子排布式为: 3d^5 , 5 个轨道填充电子, 基态 Mn^{2+} 价电子的空间运动状态有 5 种, 故 C 正确;

D. 由题给方程式知氧化性: $\text{PbO}_2 > \text{MnO}_4^-$, 则 PbO_2 固体与浓盐酸混合共热有氯气生成, 二氧化铅被还原生成氯化铅, 反应的化学方程式为 $\text{PbO}_2 + 4\text{HCl}(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{PbCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$, 离子方程式为 $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{Cl}^- \xrightarrow{\Delta} \text{PbCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$,

故 D 错误；

故选：C。

3. (2025 聊城一模, 3) 下列有关元素单质或化合物的说法不正确的是

- A. BH_3 是由极性键构成的非极性分子
- B. 三氟乙酸的 K_a 大于三氯乙酸的 K_a
- C. 逐个断开 CH_4 中 C-H 键, 每步所需能量相同
- D. Si 和 S 的基态原子未成对电子数相等

【答案】C

【解析】

【详解】A. BH_3 中心原子为 B, 价层电子对数为 $3 + \frac{3-3 \times 1}{2} = 3$, 无孤电子对, 分子构型为平面正三角形, 正负电荷中心重合, 为非极性分子, A 正确;

B. F 的电负性大于 Cl, 三氟乙酸中羧基上 -OH 极性更强, 易电离出 H^+ 离子, 三氟乙酸的酸性更强, K_a 更大, B 正确;

C. CH_4 有四个碳氢键, 断开第一个碳氢键较容易, 需要的能量小, 断开第二、三、四个碳氢键越来越难, 需要能量越来越高, C 错误;

D. Si 的电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$, 未成对电子数为 2, S 的电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$, 未成对电子数为 2, D 正确;

答案选 C。

4. (2025 济南一模, 4) 下列物质在水中溶解度的描述与氢键无关的是

- A. 硼酸在冷水中溶解度小
- B. 溴化氢极易溶于水
- C. 甘油与水互溶
- D. 在水中溶解度, 苯胺大于甲苯的

【答案】B

【解析】

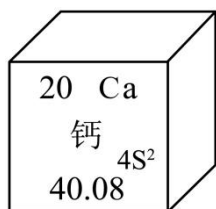
【详解】A. 硼酸分子间存在氢键, 在水中溶解度小, 故 A 不选;

B. 溴化氢分子和水分子都是极性分子, 根据“相似相溶”经验规律, 溴化氢极易溶于水, 与氢键无关, 故 B 选;

C. 甘油与水可形成分子间氢键, 甘油与水互溶, 故 C 不选;

D. 苯胺与水可形成分子间氢键, 甲苯不能与水形成分子间氢键, 故在水中溶解度, 苯胺大于甲苯的, 故 D 不选;
故选：B。

5. (2025 枣庄一模, 4) 激光操控法可从 Ca 原子束流中直接俘获 ^{41}Ca 原子, 实现了对同位素 ^{41}Ca 的灵敏检测。 ^{41}Ca 的半衰期长达 10 万年, 是 ^{14}C 的 17 倍。下列说法正确的是



- A. $^{41}_{20}\text{Ca}$ 核素的相对原子质量为 40.08
- B. 从 Ca 原子束流中直接俘获 ^{41}Ca 原子的过程属于化学变化
- C. $^{41}_{20}\text{Ca}$ 与 $^{40}_{20}\text{Ca}$ 互为同素异形体
- D. ^{41}Ca 可应用于地球科学与考古学

【答案】D

【解析】

【详解】A. 元素周期表每一小方格中下方数字表示相对原子质量，Ca 的相对原子质量是 40.08，钙元素核素平均相对原子质量为 40.08， $^{41}_{20}\text{Ca}$ 核素的相对原子质量不是 40.08，A 错误；

B. 从 Ca 原子束流中俘获 ^{41}Ca 原子的过程未涉及新物质生成，属于物理变化，B 错误；

C. 同素异形体指同种元素由于晶体结构等不同而表现出不同的单质形态， $^{41}_{20}\text{Ca}$ 与 $^{40}_{20}\text{Ca}$ 互为同位素，而不是同素异形体，C 错误；

D. ^{41}Ca 半衰期长，适合作为同位素示踪剂，用于地球科学和考古学中测定年代，D 正确；

故选 D。

6. (2025 淄博一模，4) 下列说法错误的是

- A. 沸点： $\text{CO} > \text{N}_2$
- B. 键角： $\text{NH}_4^+ < \text{NH}_3$
- C. 离子键百分数： $\text{MgO} > \text{Al}_2\text{O}_3$
- D. 稳定性： $\text{CH}_4 > \text{SiH}_4$

【答案】B

【详解】A. CO 为极性分子， N_2 为非极性分子，CO 分子间作用力大于 N_2 ，故 CO 沸点高于 N_2 ，故 A 正确；

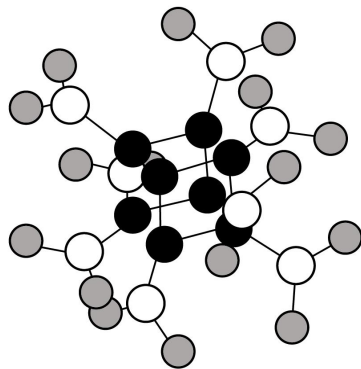
B. 铵根、氨气中心原子均为 sp^3 杂化，其孤电子对数分别为 0、1，孤电子对与成键电子对之间的斥力大于成键电子对之间的斥力，键角： $\text{NH}_4^+ > \text{NH}_3$ ，故 B 错误；

C. 金属性： $\text{Mg} > \text{Al}$ ，则离子键百分数： $\text{MgO} > \text{Al}_2\text{O}_3$ ，故 C 正确；

D. 非金属性 $\text{C} > \text{Si}$ ，非金属性越强，形成气态氢化物越稳定，故 D 正确；

故选：B。

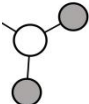
7. (2025 潍坊一模，5) “超级炸药”八硝基立方烷的结构模型如图。下列说法正确的是



- A.  代表氢原子
- B. 所有 C 原子所处的化学环境相同
- C. 键角: $-\text{NO}_2 > \text{NO}_2^+$
- D. 第一电离能: $\text{O} > \text{N} > \text{C}$

【答案】B

【解析】

【详解】A. 由八硝基立方烷的结构模型可知,  代表硝基,  代表 O 原子, A 错误;

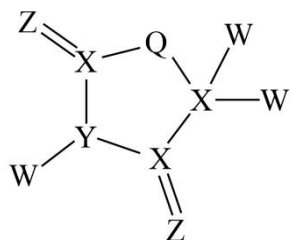
B. 八硝基立方烷是对称的结构, 所有 C 原子所处的化学环境相同, B 正确;

C. $-\text{NO}_2$ 中 N 原子价层电子对数为 $3 + \frac{1}{2} \times (5 - 2 \times 2 - 1) = 3$, 杂化类型为 sp^2 , NO_2^+ 中 N 原子价层电子对数为 $2 + \frac{1}{2} \times (5 - 1 - 2 - 2) = 2$, 杂化类型为 sp , 则键角: $-\text{NO}_2 < \text{NO}_2^+$, C 错误;

D. 同一周期元素的第一电离能随着原子序数的增大而呈增大的趋势, 但第 IIA 族和第 VA 族元素的第一电离能大于相邻元素, 则第一电离能: $\text{N} > \text{O} > \text{C}$, D 错误;

故选 B。

8. (2025 聊城一模, 6) 罗格列酮是一种重要降血糖合成药物, 它的前体由相对原子质量依次增大的 W、X、Y、Z、Q 五种短周期主族元素组成, 其结构如图所示。下列说法正确的是



- A. 第一电离能: $\text{Z} > \text{Y} > \text{X}$
- B. 该化合物中 $\text{W}-\text{Y}$ 的键长大于 $\text{W}-\text{X}$ 的键长
- C. 简单氢化物的键角: $\text{Z} > \text{Q}$
- D. W、Y、Z 三种元素形成的化合物一定不含离子键

【答案】C

【解析】

【分析】Z 与 Q 只能形成 2 个键，故 Z、Q 应为第 VIA 主族元素，且均为短周期，Q 比 Z 的相对分子质量增大，故 Q 应为 S，Z 应为 O。同理可分析出，X 可形成 4 个键，应为 C，Y 应为 N，W 应为 H。

【详解】A. 短周期同一周期元素的第一电离能随原子序数递增一般呈增大趋势，但在 N、O 或 P、S 等相邻元素间会出现“反常”现象，N 的价电子： $2s^2 2p^3$ ，半充满状态，第一电离能强于 O，故第一电离能： $N > O > C$ 即 $Y > Z > X$ ，故 A 错误；

B. 键长是构成化学键的两个原子的核间距，原子半径越小键长越短，故 H-N 键的键长（101pm）小于 H-C 键的键长（109pm），故 B 错误；

C. Z 形成的简单氢化物为 H_2O ，Q 形成的简单氢化物为 H_2S ，两者的空间构型均为 V 形，并且都有孤对电子，由于 O 的电负性大于 S，O 对孤对电子的吸引比 S 大，孤对电子对成键电子对的排斥力也更大，导致 H_2O 键角比 H_2S 大，故 C 正确；

D. 若三种元素形成的是铵盐，比如 NH_4NO_3 ， NH_4^+ 与 NO_3^- 之间就是离子键，故 D 错误；

故选 C。

9. （2025 淄博一模，7）微观结构决定物质性质，下列物质性质差异与结构因素匹配错误的是

	性质差异	结构因素
A	热稳定性： $H_2O > NH_3$	分子间氢键数目
B	硬度：金刚石 > 碳化硅	共价键键能
C	碱性： $NH_3 > NF_3$	成键元素的电负性
D	熔点： $AlF_3 > AlCl_3$	晶体类型

【答案】A

【解析】

【详解】A. 热稳定性： $H_2O > NH_3$ ，是因为 H-O 键的键能大于 H-N，氢键只影响二者的熔沸点等物理性质，不影响二者的热稳定性，A 错误；

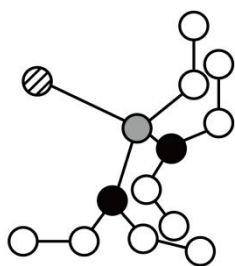
B. 金刚石、碳化硅都是共价晶体，共价晶体的熔点与共价键的强度有关，键能： $C-C > Si-C$ ，熔点：金刚石 > 碳化硅，B 正确；

C. 电负性： $F > H$ ，导致 NF_3 分子中电子偏向氟，氮原子上的孤电子对对氢离子吸引力减弱，碱性： $NH_3 > NF_3$ ，C 正确；

D. AlF_3 是离子晶体， $AlCl_3$ 是分子晶体，熔点： $AlF_3 > AlCl_3$ ，D 正确；

故选 A。

10. (2025 淄博一模, 8) 格氏试剂(RMgX)是有机合成的常用试剂, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgBr}$ 在乙醚溶液中结晶析出获得 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgBr} \cdot 2(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$, 其结构如图所示(H 原子未标出)。下列说法错误的是



- A. O 原子存在孤电子对
- B. 共价键成分: $\text{Mg}-\text{C}$ 键 $<$ $\text{Mg}-\text{O}$ 键
- C. 基态原子第一电离能: $\text{O} > \text{C} > \text{Mg}$
- D. 图中 $\bigcirc$ 代表 Mg 原子, 杂化方式为 sp^3

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 氧原子的最外层有 6 个电子, 在该化合物中氧原子形成 2 个共价键, 所以还存在 2 对孤电子对, 故 A 正确;

B. 电负性 $\text{O} > \text{C}$, $\text{Mg}-\text{O}$ 键的电负性差值大于 $\text{Mg}-\text{C}$ 键, $\text{Mg}-\text{O}$ 键的离子键成分更多, 共价键成分更少, 即共价键成分: $\text{Mg}-\text{C}$ 键 $>$ $\text{Mg}-\text{O}$ 键, 故 B 错误;

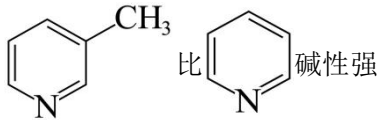
C. 同周期从左到右第一电离能呈增大趋势, 但第 II A 族、第 V A 族元素的第一电离能大于相邻元素, 所以 $\text{O} > \text{C}$; 同主族从上到下第一电离能逐渐减小, 所以 $\text{C} > \text{Mg}$, 即基态原子第一电离能 $\text{O} > \text{C} > \text{Mg}$, 故 C 正确;

D. 图中 $\bigcirc$ 代表 C 原子, 故 D 错误;

故答案为 BD。

11. (2025 泰安一模, 8) 物质结构决定物质性质, 下列性质差异用结构解释错误的是

选项	性质差异	解释
A	$\text{Mg}(\text{OH})_2$ 不溶于氨水, $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 溶于氨水	Cu^{2+} 能与 NH_3 形成配合物, Mg^{2+} 不能与 NH_3 形成配合物
B	石墨能导电, 金刚石不导电	石墨中 C 是 sp^2 杂化形成大 π 键, 金刚石是 sp^3 杂化

C	水流能被静电吸引， CCl_4 不能	水分子中有少量 H^+ 和 OH^-
D		甲基是推电子基团，使 N 电子云密度增大

A. A

B. B

C. C

D. D

【答案】C

【详解】A. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的溶解度低，溶液中 $c(\text{Mg}^{2+})$ 过低，无法有效的与 NH_3 配位，且 Mg^{2+} 没有合适的空 d 轨道来接受 NH_3 的孤电子对，导致无法形成配位键，而 Cu^{2+} 能与 NH_3 形成稳定的配合物，A 项正确；

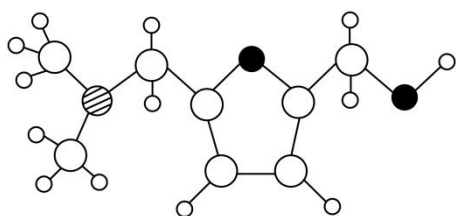
B. 石墨能导电而金刚石不能，原因在于石墨中 C 呈 sp^2 杂化，层状结构中有大 π 键可自由移动电子；金刚石中 C 为 sp^3 杂化，所有电子都局域于共价键中，B 项正确；

C. 水流能被静电吸引， CCl_4 不能，是因为水是极性分子，而 CCl_4 为典型的非极性分子，与水分子中有少量 H^+ 和 OH^- 无关，C 项错误；

D. 甲基是推电子基团，可提高吡啶中氮原子的电子云密度，使其碱性增强，D 项正确；

答案选 C。

12. (2025 淄博一模，9) 由 H、C、N、O 四种元素组成的化合物的成键结构如图所示，分子中五元环上原子共平面。下列说法错误的是



A. 图中●代表 N 原子

B. 五元环中存在的大 π 键为 π_5^6

C. 该化合物中所有碳氧键键长相等

D. 五元环上●原子的孤对电子位于 sp^2 杂化轨道

【答案】C

【详解】A. 由图可知●形成 3 条共价键数满足稳定结构，则该球最外层电子数为 5，代表 N 原子，故 A 正确；

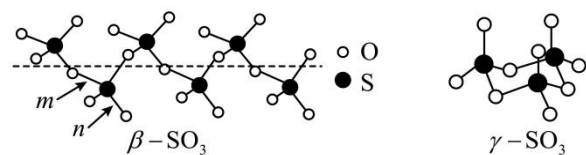
B. 五元环中每个 C 原子提供 1 个电子、O 原子提供 2 个电子参与形成大 π 键，表示为： π_5^6 ，故 B 正确；

C. 五元环中碳氧键为大 π 键，而羟基氧与碳形成的碳氧键为单键，键长不相等，故 C 错误；

D. 五元环上●原子采用 sp^2 杂化，孤对电子位于 sp^2 杂化轨道，故 D 正确；

故选 C。

13. (2025 烟台德州东营一模, 9) SO_3 固态时有无限长链形式($\beta\text{-SO}_3$)和三聚分子形式($\gamma\text{-SO}_3$), 其结构如图所示, 受热可分解生成以单分子形式存在的 $\text{SO}_3(\text{g})$ 。下列说法正确的是



- A. $\beta\text{-SO}_3$ 中键长: $m > n$
- B. 分子中 O-S-O 键角: $\text{SO}_3(\text{g}) < \gamma\text{-SO}_3$
- C. $\beta\text{-SO}_3$ 晶体中存在的作用力只有共价键
- D. $1\text{mol } \gamma\text{-SO}_3$ 分子中含共价键的数目为 $9N_A$

【答案】A

【解析】

【详解】A. 在 SO_3 中的链状结构中, 硫通过“桥氧”彼此相连, 桥键(S-O)一般比端基(S=O)的双键更长, 则键长: $m > n$, A 正确;

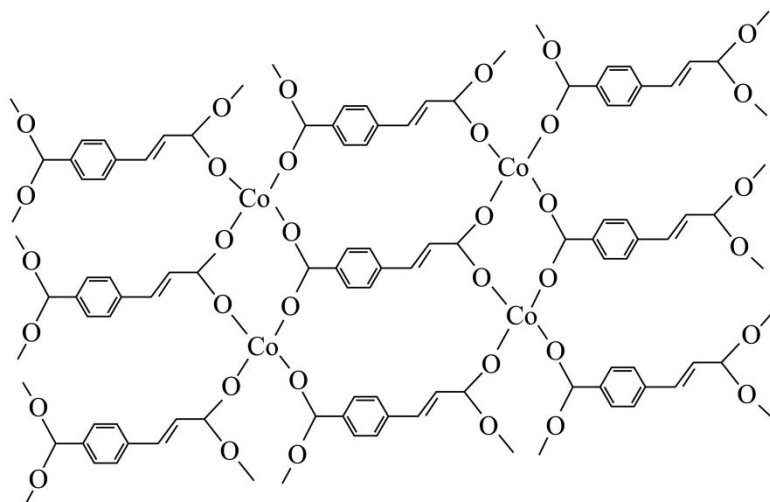
B. 气态 SO_3 的空间构型为平面正三角形结构, 中心原子为 sp^2 杂化, 键角约 120° , 而 $\gamma\text{-SO}_3$ 中 S 原子形成 4 个 σ 键, 为 sp^3 杂化, 则分子中 O-S-O 键角: $\text{SO}_3(\text{g}) > \gamma\text{-SO}_3$, B 错误;

C. $\beta\text{-SO}_3$ 为无限长链的聚合物, 链内以共价键连接, 但不同链间还存在分子间作用力, C 错误;

D. 由 $\gamma\text{-SO}_3$ 分子结构可知, 其中含有 12 个共价键, $1\text{mol } \gamma\text{-SO}_3$ 分子中含共价键的数目为 $12N_A$, D 错误;

故选 A。

14. (2025 济南一模, 9) 用 4-羧基肉桂酸钠与 Co 盐形成正方格子状的二维结构配合物, 能体现其成键结构的片段如图所示, 下列说法正确的是



已知: —COO^- 中存在共轭效应: $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{—}\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}}\text{—} \longrightarrow \text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{=}\overset{\ominus}{\text{O}}\text{—}$ 。

- A. 中心原子 Co 采用 sp^3 杂化
- B. C—O 键的键长: 配合物中的大于 4-羧基肉桂酸钠中的

C. 该配合物化学式可表示为 $\left[\text{Co}(\text{O}_2\text{CCH}=\text{CHC}_6\text{H}_4\text{CO}_2)_2\right]_n$

D. 结构中 Co 与 sp^2 杂化的 C 原子个数比为 1:8

【答案】B

【解析】

【详解】A. 4-羧基肉桂酸钠与 Co 盐形成正方格子状的二维结构配合物，可知中心原子 Co 不会采用 sp^3 杂化，因为 sp^3 杂化会形成四面体结构，故 A 错误；

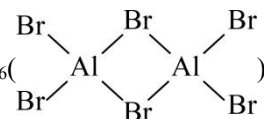
B. $-\text{COO}^-$ 中存在共轭效应，形成配位键后 C-O 键间电子云密度减小，C-O 键键长增大，故配合物中的 C-O 键键长大于 4-羧基肉桂酸钠中的，故 B 正确；

C. 由结构图可知，1 个 Co^{2+} 可与 4 个 4-羧基肉桂酸根离子形成配位键，1 个 4-羧基肉桂酸根离子可与 4 个 Co^{2+} 形成配位键，二者为 1:1，其化学式为 $[\text{Co}(\text{O}_2\text{CCH}=\text{CHC}_6\text{H}_4\text{CO}_2)]_n$ ，故 C 错误；

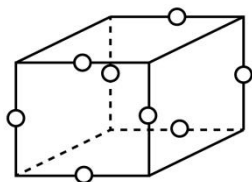
D. $[\text{O}_2\text{CCH}=\text{CHC}_6\text{H}_4\text{CO}_2]^{4-}$ 中 10 个 C 原子均为 sp^2 杂化，则结构中 Co 与 sp^2 杂化的 C 原子个数比为 1:10，故 D 错误；

故选：B。

15. (2025 菏泽一模，9) AlCl_3 、 AlBr_3 水解均可得到 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体，还可形成二聚体。



的四方晶胞如图所示(各棱长不相等，棱边夹角为 90° ， Al_2Br_6 在棱心)。下列说法错误的是



A. AlCl_3 沸点低于 AlBr_3

B. AlBr_3 分子中存在配位键

C. $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体粒子的平均直径可能是 $1 \times 10^{-6} \text{m}$

D. 晶体中与 Al_2Br_6 最近且距离相等的 Al_2Br_6 有 4 个

【答案】C

【详解】A. 二者均为分子晶体，随相对分子质量增大(由 Cl 到 Br)，分子间作用力增强，故 AlCl_3 的沸点低于 AlBr_3 ，A 正确；

B. AlBr_3 常以二聚体 Al_2Br_6 形式存在，二聚体中 Br 原子以配位键桥联两个 Al 原子，B 正确；

C. 高中阶段通常将胶体粒径范围视为约 $1 \text{nm} \sim 100 \text{nm}$ (即 $1 \times 10^{-9} \text{m} \sim 1 \times 10^{-7} \text{m}$)， $1 \times 10^{-6} \text{m}$ (即 1000nm) 已超出这一典型范围，故“可能是 $1 \times 10^{-6} \text{m}$ ”不符胶体粒径的常规定义，C 错误；

D. 由所给的晶胞示意图可知，每个 Al_2Br_6 单元在晶体中与其最近且距离相等的同类单元共有 4 个，D 正确；

故选 C。

16. （2025 枣庄一模，9）一定条件下，不同的金属盐与十八胺($C_{18}H_{37}NH_2$)体系反应可得到不同的产物。已知：单一金属盐 $Ni(NO_3)_2$ 和 $AgNO_3$ 在十八胺体系中的产物分别是 NiO 和 Ag 。相关元素电负性数据如表。下列说法错误的是

元素	Zn	Co	Ni	Ag	Pd
电负性(鲍林标度)	1.6	1.8	1.8	1.9	2.2

- A. 第一电离能大小关系为 $N>H>C$
- B. 碱性强弱关系为十八胺>氨气
- C. 以 Ag^+ 和 Co^{2+} 盐为原料时得到的产物为 $Ag-Co$ 合金
- D. 以 Co^{2+} 和 Pd^{2+} 盐为原料时得到的 $CoPd_2$ 中存在共价键

【答案】C

【解析】

【详解】A. 同周期元素从左到右第一电离能呈增大趋势，但 N 的 2p 轨道为半充满稳定结构，其第一电离能大于 O，H 的 1s 轨道为半充满稳定结构，且原子半径小，第一电离能也较大，所以第一电离能大小关系为 $N>H>C$ ，A 正确；

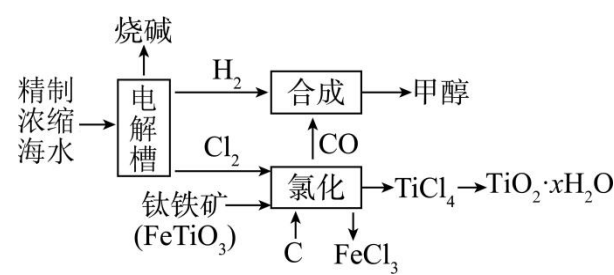
B. 长链烷基的供电子效应增强氮原子上孤对电子的能力，使十八胺碱性更强，故碱性强弱关系为十八胺>氨气，B 正确；

C. 根据题目示例， Ni^{2+} 生成 NiO （未被还原）， Ag^+ 生成 Ag （被还原）。 Ag^+ 电负性（1.9）高于 Co （1.8）， Ag^+ 优先被还原为 Ag 单质，而 Co^{2+} 因还原性较弱，可能水解生成 CoO ，而非被还原为 Co 单质，故无法形成合金，C 错误；

D. Co 的电负性为 1.8， Pd 的电负性为 2.2，二者电负性差值较小，以 Co^{2+} 和 Pd^{2+} 盐为原料时得到的 $CoPd_2$ 更倾向于形成金属键和一定的共价键，D 正确；

故选 C。

17. （2025 枣庄一模，10）为提高社会效益，钛厂、氯碱厂和甲醇厂进行联合生产，工艺流程如图。下列说法错误的是



- A. “氯化”中氧化剂与还原剂的物质的量之比为 7：8
- B. 制备 $TiO_2 \cdot xH_2O$ 的方程式： $TiCl_4+(x+2)H_2O=TiO_2 \cdot xH_2O\downarrow+4HCl$
- C. “合成”反应中原子利用率达 100%

D. 合成 192t 甲醇理论上需额外补充 H_2 5t

【答案】D

【解析】

【分析】由图知，精制浓缩海水在电解槽中发生 $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$ 反应，得到烧碱、 Cl_2 和 H_2 ，将 Cl_2 、C 和 FeTiO_3 发生绿化反应得到 FeCl_3 、 TiCl_4 和 CO ，反应的化学方程式为 $2\text{FeTiO}_3 + 7\text{Cl}_2 + 6\text{C} = 2\text{TiCl}_4 + 2\text{FeCl}_3 + 6\text{CO}$ ， CO 与 H_2 发生 $\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$ 反应合成甲醇， TiCl_4 与水发生 $\text{TiCl}_4 + (x+2)\text{H}_2\text{O} = \text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} \downarrow + 4\text{HCl}$ 反应制备 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ，据此回答。

【详解】A. 由分析知，“氯化”反应的化学方程式为 $2\text{FeTiO}_3 + 7\text{Cl}_2 + 6\text{C} = 2\text{TiCl}_4 + 2\text{FeCl}_3 + 6\text{CO}$ ，在该反应中 Cl_2 中氯元素化合价降低，作氧化剂；C 和 Fe 元素化合价升高，作还原剂，所以氧化剂与还原剂的物质的量之比为 $7:(6+2) = 7:8$ ，A 正确；

B. 根据元素守恒可知， TiCl_4 与水反应制备 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 的化学方程式为 $\text{TiCl}_4 + (x+2)\text{H}_2\text{O} = \text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} \downarrow + 4\text{HCl}$ ，B 正确；

C. “合成”反应为 $\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$ ，反应物中的原子全部转化为目标产物，原子利用率达 100%，C 正确；

D. 电解精制浓缩海水生成 Cl_2 和 H_2 ，根据 $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$ ，“氯化”中 $7\text{Cl}_2 \sim 6\text{C} \sim 6\text{CO}$ ，

CO 与 H_2 合成甲醇，192t 甲醇的物质的量为 $\frac{192 \times 10^6 \text{g}}{32 \text{g/mol}} = 6 \times 10^6 \text{mol}$ ，则需要的 CO 和 H_2 物质的量分别为 $6 \times 10^6 \text{mol}$ 、

$6 \times 10^6 \text{mol} \times 2 = 1.2 \times 10^7 \text{mol}$ ，则电解产生的氯气的物质的量=电解产生的氢气的物质的量=生成 CO 对应的 Cl_2 物质的量为 $7 \times 10^6 \text{mol}$ ，则还需额外补充 H_2 的物质的量为 $1.2 \times 10^7 \text{mol} - 7 \times 10^6 \text{mol} = 5 \times 10^6 \text{mol}$ ，质量为

$5 \times 10^6 \text{mol} \times 2 \text{g/mol} = 10 \text{t}$ ，D 错误；

故选 D。

18. (2025 枣庄一模，11) (不定项) 类比推理是一种重要的思维方法。下列由事实类推的结果正确的是

	事实	结果
A	HF 的热稳定性强于 HCl	NH_4F 的热稳定性也强于 NH_4Cl
B	$\text{N} \equiv \text{N}$ 键能大，结构稳定	$-\text{C} \equiv \text{C}-$ 键能也大，结构也稳定
C	NH_3 易与 Cu^{2+} 形成配合物	NF_3 也易与 Cu^{2+} 形成配合物
D	SO_2 分子空间构型是“V 形”	O_3 分子空间构型也是“V 形”

【答案】D

【解析】

【详解】A. HF 的热稳定性强于 HCl, 是因为 F 的非金属性强于 Cl, H - F 键能大于 H - Cl 键能, 但 NH₄F 中 F⁻ 水解显碱性, NH₄Cl 中 Cl⁻ 不水解, 且 NH₄F 受热易分解, 所以 NH₄F 的热稳定性弱于 NH₄Cl, A 错误;

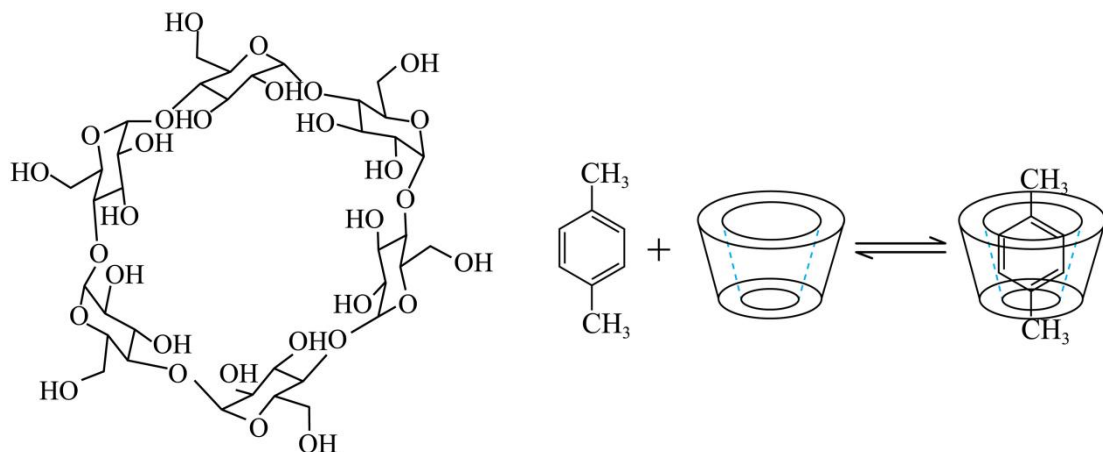
B. N≡N 键能大导致 N₂ 稳定, 但 -C≡C- 的键能虽大, 炔烃 (如乙炔) 因 π 键易断裂, 化学性质活泼, 易发生加成等反应, B 错误;

C. NH₃ 中 N 的孤对电子易与 Cu²⁺ 形成配合物, 但 NF₃ 中 F 的电负性很强, 吸引电子能力强, 使得 N 原子上的孤电子对不易给出, 所以 NF₃ 不易与 Cu²⁺ 形成配合物, C 错误;

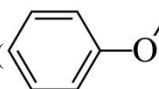
D. SO₂ 中 S 原子的价层电子对数 = $2 + \frac{6 - 2 \times 2}{2} = 3$, 含有 1 个孤电子对, 分子空间构型是 “V 形”; O₃ 中 O 原子的价层电子对数 = $2 + \frac{6 - 2 \times 2}{2} = 3$, 含有 1 个孤电子对, 分子空间构型也是 “V 形”, D 正确;

故选 D。

19. (2025 济南一模, 13) (不定项) α-环状糊精(cyclodextrin)是一种由葡萄糖分子构成的环状分子, 具有独特的空心结构, 腔外极性较大, 具有亲水型表面, 内腔极性较小, 属于疏水型内空腔, α-环状糊精结构、超分子示意图及相关应用如图所示。下列说法正确的是



- A. 葡萄糖分子通过分子间氢键形成 α-环状糊精
- B. 可用萃取和反萃取法分离对二甲苯和 α-环状糊精
- C. α-环状糊精利用非共价键识别捕获所有的芳香族化合物

D. 在水中苯甲醚()能与 HOCl 反应, 加入 α-环状糊精可加快反应速率

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 由 α-环状糊精的结构可知, 葡萄糖分子之间脱水形成 α-环状糊精, 故 A 错误;

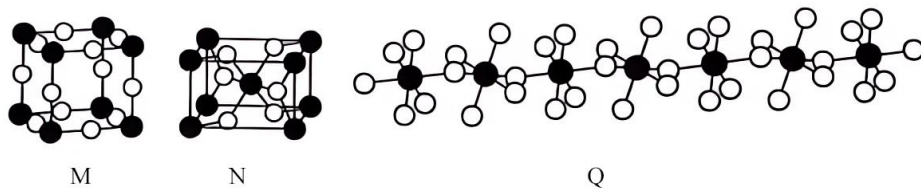
B. 二甲苯不溶于水, 而 α-环状糊精能与水分子之间形成氢键, 可以溶于水, 可用萃取和反萃取法分离对二甲苯和 α-环状糊精, 故 B 正确;

C. 由题意可知, 只有直径小于 α-环状糊精空腔的非极性分子才可能被捕捉, 故 C 错误;

D. α -环状糊精通过空腔捕捉苯甲醚，使其与 HOCl 在空腔内进行反应，从而加快反应速率，故 D 正确；

故选：BD。

20. (2025 济宁一模, 12) (不定项) 铬可形成 M、N、Q 三种氟化物，其中 Q 具有无限链状结构，M、N 的晶胞结构与 Q 的部分结构如图所示，M 与 H_2 反应可以得到 N，下列说法错误的是



- A. M 中离 F 原子最近的 F 原子数为 8
 B. M 与氢气反应生成 N，生成 1 个 N 晶胞的同时生成 1 分子 HF
 C. Q 的化学式可表示为 $(CrF_5)_n$
 D. Q 中 Cr 原子周围的 F 原子形成正八面体结构

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 铬的氟化物中铬的原子个数小于氟原子个数，结合 M 的结构可知，黑球为 Cr 元素，白球为 F 元素，M 中离 F 最近的 F 原子数为 8，A 正确；

B. M 中 Cr 的个数为 $8 \times \frac{1}{8} = 1$ ，F 的个数为 $12 \times \frac{1}{4} = 3$ ，化学式为 CrF_3 ，N 的结构中，Cr 的个数为 $1 + 8 \times \frac{1}{8} = 2$ ，F 的个数为 $2 + 4 \times \frac{1}{2} = 4$ ，化学式为 CrF_2 ，N 晶胞中有 2 个 CrF_2 ，M 与氢气反应生成 N，生成 1 个 N 晶胞的同时生成 2 分子 HF，B 错误；

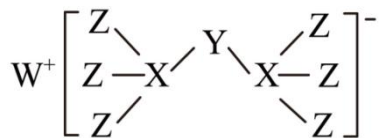
C. Q 的结构中，平均一个 Cr 原子占有 5 个 F 原子，化学式可表示为 $(CrF_5)_n$ ，C 正确；

D. Q 中 Cr 与 F 形成的共价键长度不完全相同，Cr 原子周围的 F 原子形成不是正八面体结构，D 错误；

答案选 BD。

二、元素推断题

1. (2025 烟台德州东营一模, 4) 某物质结构如图所示，W、X、Y、Z 是原子序数依次增大的同一短周期元素，Z 元素的最高正价与最低负价代数和为 6。下列说法错误的是



- A. 第一电离能： $Z > Y > X > W$
 B. 单质熔点最高的是 X
 C. 共价键极性： $X-Z > X-Y$
 D. 简单氢化物的还原性： $Z > Y$

【答案】D

【解析】

【分析】W、X、Y、Z 是原子序数依次增大的同一短周期元素，Z 元素的最高正价与最低负价代数和为 6，可知 Z

为 Cl；W 的阳离子带一个单位的正电荷，可知 W 为 Na；根据 X 与 Y 所形成的共价键的数量可知 X 为 Si，Y 为 S，综上所述 W 为 Na，X 为 Si，Y 为 S，Z 为 Cl。

【详解】A. W 为 Na，X 为 Si，Y 为 S，Z 为 Cl，同周期从左向右第一电离能呈增大趋势，故电离能大小关系为 $Z > Y > X > W$ ，A 项正确；

B. 四种单质中，熔点最高的是单质 Si，即熔点最高的单质为 X，B 项正确；

C. X 与 Z 形成 Si-Cl 键，X 与 Y 形成 Si-S 键，Cl 的电负性大于 S，吸引电子的能力更强，因而键的极性更强，即共价键极性 $X-Z > X-Y$ ，C 项正确；

D. Y 的简单氢化物为 H_2S ，Z 的氢化物为 HCl，同周期从左向右非金属性逐渐增强，氢化物的还原性逐渐减弱，故简单氢化物的还原性 $Z < Y$ ，D 项错误；

答案选 D。

2. (2025 青岛一模，4) 短周期同主族元素 X 和 Y 可形成常见化合物 M。固态 M 中主要存在环状 M_3 和链状 M_n ，结构如图。Y 原子最外层电子数是其内层的 3 倍。下列说法正确的是



A. M 中 X 和 Y 的原子个数比为 1:2

B. 简单氢化物的沸点: $X > Y$

C. 固态环状 M_3 为分子晶体、链状 M_n 为共价晶体

D. 链状 M_n 中 sp^3 杂化的 Y 原子个数为 $n-1$

【答案】D

【解析】

【分析】Y 原子最外层电子数是其内层的 3 倍，则 Y 为 O；X 和 Y 为短周期同主族元素，故 X 为 S。

【详解】A. 根据环状 M_3 和链状 M_n 的结构可知，S 和 O 形成的常见化合物 M 为 SO_3 ，原子个数比不是 1:2，A 错误；

B. 水分子间存在氢键，使其沸点远高于硫化氢，B 错误；

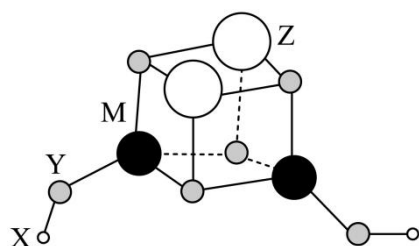
C. 固态环状 M_3 和链状 M_n ，都是三氧化硫的不同形态，三氧化硫是由分子构成的，属于分子晶体，C 错误；

D. 在链状 M_n 即 $(SO_3)_n$ 中，每个 O 原子与 S 原子形成共价键，其中，链上的氧为 sp^3 杂化，而链端的氧不杂化，因此，链状 M_n 中 sp^3 杂化的 Y 原子个数为 $n-1$ ，D 正确；

故选 D。

3. (2025 泰安一模，7) 短周期元素 X，Y，Z，M 的原子序数依次增大，他们组成一种团簇分子，结构如图所示。

X、M 的族序数等于周期数，Y 原子最外层电子数是其电子总数的 $\frac{3}{4}$ 。下列说法错误的是



- A. 其分子式为 $X_2Z_2M_2Y_6$
- B. X 和 Y 可以组成原子个数比为 2:1 和 1:1 离子化合物
- C. 工业上常电解熔融的 M_2Y_3 制取 M 单质
- D. Y、M、Z 的离子半径: $Y > Z > M$

【答案】B

【分析】短周期元素 X、Y、Z、M 的原子序数依次增大，X、M 的族序数等于周期数，则可能为 H、Be、Al 三种中的两种，由于 X 原子序数最小且只能形成一条共价键，故 X 为 H 元素，而 M 的原子序数最大且能形成 3 条共价键，故 M 为 Al 元素，Y 原子的最外层电子数是其电子总数的 $\frac{3}{4}$ ，根据最外层电子数不超过 8，则 Y 为 O 元素；Z 的原子序数: $O < Z < Al$ ，而半径大于 Al，故 Z 位于第三周期，可能为 Na 或 Mg，但根据团簇分子的结构可知，Z 与 3 个氧原子形成了 3 条共价键，故为 Mg，其中两条是 σ 键，一条是配位键，综上所述，X 为 H 元素、Y 为 O 元素、Z 为 Mg 元素、M 为 Al 元素：

【详解】A. 由团簇分子结构可知，该团簇分子的分子式为 $X_2Z_2M_2Y_6$ ，A 正确；

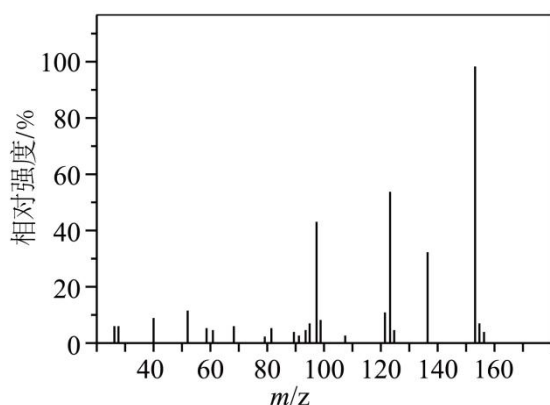
B. X 和 Y 可以组成原子个数比为 2:1 (H_2O) 和 1:1 (H_2O_2) 的化合物，两种化合物都是共价化合物，B 错误；

C. 铝性质活泼，工业上常电解熔融的 M_2Y_3 (Al_2O_3) 制取 M(Al) 单质，C 正确；

D. 由分析可知，Y 为 O、Z 为 Mg、M 为 Al，对应的离子为 O^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} ，三种离子电子层结构相同，核电荷数越大，半径越小，故对应的三种离子半径依次递减，D 正确；

故选 B。

4. (2025 潍坊一模, 7) 有机物 M 由原子序数依次增大的短周期主族非金属元素 W、X、Y、Z 组成，基态 Y 原子含有 2 个未成对电子，Z 与 Y 同主族。M 的质谱图如下。其中 $\frac{m}{z} = 139$ 时，碎片离子组成为 $X_7W_7YZ^+$ 。下列说法正确的是



- A. 原子半径: $Z > Y > X$
- B. 有机物 M 的相对分子质量是 139
- C. 最高价氧化物对应水化物的酸性: $X < Z$
- D. X、Y、Z 的最简单氢化物均为极性分子

【答案】C

【解析】

【分析】有机物 M 由原子序数依次增大的短周期主族非金属元素 W、X、Y、Z 组成, 基态 Y 原子含有 2 个未成对电子, Z 与 Y 同主族, 则 Y 电子排布为 $1s^2 2s^2 2p^2$ 或 $1s^2 2s^2 2p^4$, Y 为 C 或 O, Z 为 Si 或 S, 有机物 M 中一定含有 C 元素, $\frac{m}{z} = 139$ 时, 碎片离子组成为 $X_7W_7YZ^+$, 即 $X_7W_7YZ^+$ 的相对分子质量为 139, 则 W 为 H、X 为 C、Y 为 O、Z 为 S, $X_7W_7YZ^+$ 为: $C_7H_7OS^+$ 。

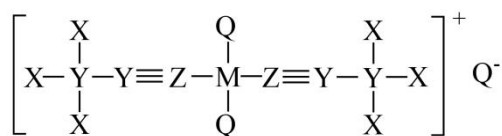
【详解】A. 原子核外电子层数越多半径越大, 电子层数相等时, 核电荷数越大, 半径越小, 则原子半径: ③ $3\text{molNa}_2\text{S}$, A 错误;

B. $C_7H_7OS^+$ 是有机物 M 形成的 1 个碎片, 有机物 M 的相对分子质量大于 139, B 错误;

C. 非金属性: $S > C$, 元素非金属性越强, 最高价氧化物对应水化物的酸性越强, 则酸性: $H_2CO_3 < H_2SO_4$, C 正确;

D. C、O、S 的最简单氢化物分别为 CH_4 、 H_2O 、 H_2S , 其中 CH_4 是非极性分子, H_2O 、 H_2S 为极性分子, D 错误; 故选 C。

5. (2025 济宁一模, 8) 已知 X、Y、Z、M、Q 为原子序数依次增大的前四周期主族元素, 其中只有 Y、Z 位于同一周期, 同周期元素中 M 的简单离子半径最小, 由以上五种元素可组成配合物 $[M(YX_3YZ)_2Q_2]Q$, 该配合物可由二聚体 M_2Q_6 溶于 YX_3YZ 形成, 其结构式如图所示。



下列说法正确的是

- A. 氢化物的沸点: $Z > Y$
- B. YX_3YZ 中 Y 原子的杂化方式为 sp 、 sp^3
- C. M_2Q_6 中所有原子均达到 $8e^-$ 稳定结构, 则分子中存在极性键、非极性键
- D. 1mol 配合物 $[M(YX_3YZ)_2Q_2]Q$ 与足量的硝酸银反应可生成 3mol 沉淀

【答案】B

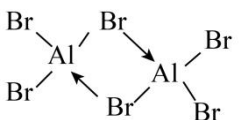
【解析】

【分析】根据 X、Y、Z、M、Q 为原子序数依次增大的前四周期主族元素, 其中只有 Y、Z 位于同一周期, 则 X 为第一周期 H 元素, Y、Z 为第二周期元素, M 为第三周期元素, 同周期元素中 M 的简单离子半径最小, M 为 Al 元素; Q 为第四周期元素, 与 Al 形成该配合物二聚体 Al_2Q_6 , Q 为 Br 元素; 在配合物结构式中, Y 形成四个共价键,

Y 为 C 元素, Z 与 C 形成三键并存在一条单键, Z 为 N 元素。

【详解】A. NH_3 分子间有氢键, 甲烷分子间没有氢键, 简单氢化物的沸点: $\text{NH}_3 > \text{CH}_4$, A 错误;

B. YX_3YZ 为 CH_3CN , Y 原子的杂化方式为 sp 、 sp^3 , B 正确;

C. M_2Q_6 中所有原子均达到 $8e^-$ 稳定结构, 结构式为:  , 则分子中存在极性键, 没有非极性键,

C 错误;

D. 配合物中, 外界的离子可以电离, 内界不能电离, 1mol 配合物 $[\text{Al}(\text{CH}_3\text{CN})_2\text{Br}_2]\text{Br}$ 与足量的硝酸银反应可生成 1mol 沉淀, D 错误;

答案选 B。

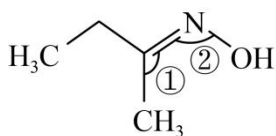
三、物质结构与性质综合题 (非选择题)

1. (2025 淄博一模, 16) 氮及其化合物应用广泛。回答下列问题:

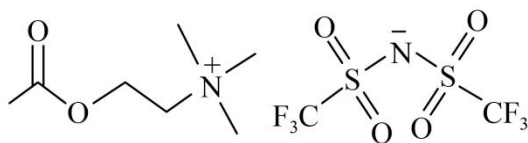
(1) 氮原子激发态的电子排布式有 _____, 其中能量较高的是 _____ (填标号)。

a. $1s^2 2s^2 2p^2 3s^1$ b. $1s^2 2s^2 2p^3 3d^1$ c. $1s^2 2s^2 2p^2$ d. $1s^2 2s^2 2p^2 3p^1$

(2) 甲乙酮肟结构简式如图, 其中氮原子采取的杂化方式为 _____, 键角① _____ ② (填“>”、“<”或“=”)。

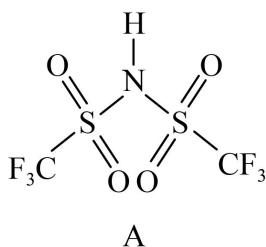


甲乙酮肟

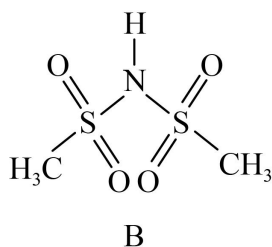


$[\text{Ach}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 的结构

(3) 一种季铵类离子液体 $[\text{Ach}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 及其制备前体 A、B 的结构如图所示, $[\text{Ach}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 熔点较低的原因是 _____。A 和 B 的水溶液酸性较强的是 _____ (填标号)。

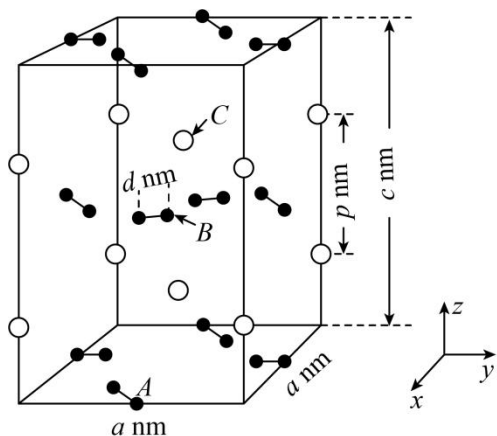


A

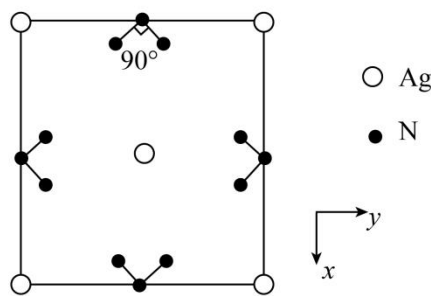


B

(4) 银氮化合物 X 属于四方晶系, 晶体中 Ag、N 原子分别形成二维层状结构, 晶胞结构如图所示 (晶胞参数 $a = b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$)。



X的四方晶胞



X沿z轴的投影图

化合物X的化学式为_____；已知A点原子的分数坐标为 $\left(1, \frac{1}{2}, 0\right)$ ，则C点原子的分数坐标为_____，晶胞中A、B间距离为_____ nm。

【答案】 (1) ①. ad ②. d

(2) ①. sp^2 ②. >

(3) ①. 阴、阳离子半径较大，离子间作用力弱 ②. A

(4) ①. AgN_3 ②. $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{c+p}{2c}\right)$ ③. $\sqrt{d^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2}$

【解析】

【小问1 详解】

a. $1s^2 2s^2 2p^2 3s^1$ 是 2p 轨道的一个电子激发到了 3s 轨道上，是激发态氮原子；

b. $1s^2 2s^2 2p^3 3d^1$ 一共有 8 个电子，不是氮原子；

c. $1s^2 2s^2 2p^2$ 一共有 6 个电子，不是氮原子；

d. $1s^2 2s^2 2p^2 3p^1$ 是 2p 轨道的一个电子激发到了 3p 轨道上，是激发态氮原子；

故氮原子激发态的电子排布式有 ad；

由于 3p 轨道的能量大于 3s，所以 $1s^2 2s^2 2p^2 3p^1$ 的能量高于 $1s^2 2s^2 2p^2 3s^1$ ；其中能量较高的是 d；

【小问2 详解】

根据甲乙酮肟的结构简式，氮原子的价层电子对数为 $2 + \frac{5-1-2}{2} = 3$ ，所以采取的杂化方式为 sp^2 ；键角①的中心

碳原子为 sp^2 杂化且无孤对电子，氮原子上有孤对电子，孤对电子对成键电子的排斥作用大，导致键角②变小，所以键角①>②；

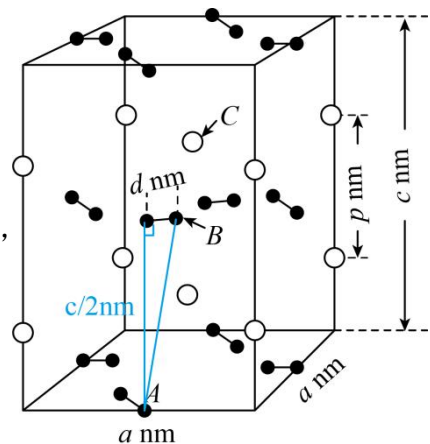
【小问3 详解】

离子液体 $[\text{Ach}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 中阴、阳离子半径较大，离子间作用力弱，所以熔点较低；F 的电负性大于 H，所以 A 中 N—H 的极性增强，更易断裂，其水溶液的酸性较强；

【小问 4 详解】

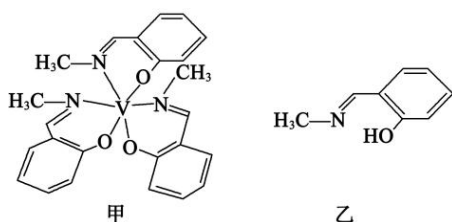
一个化合物 X 的晶胞中，含有 Ag 的个数为 $8 \times \frac{1}{4} + 2 = 4$ ，N 的个数为 $8 \times \frac{1}{4} + 12 \times \frac{1}{2} + 4 = 12$ ，所以其化学式为 AgN_3 ；

对比 A 点原子的分数坐标，可知 C 点原子的分数坐标为 $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{c+p}{2c}\right)$ ；如图所示，



所以晶胞中 A、B 间距离为 $\sqrt{d^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2}$ 。

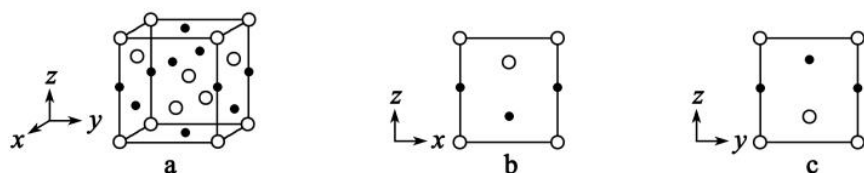
2. （2025 枣庄一模，16）氮、磷元素可形成许多结构和性质特殊的化合物。回答下列问题：



(1) 甲中钪的化合价为_____，中心离子配位数为_____；钪元素在周期表中的位置为_____。

(2) 乙中氮原子的孤电子对位于____轨道上；碳氧键键长小于甲醇中碳氧键键长，可能的原因是_____。

(3) 用●、○分别表示 K^+ 和某未知微粒，其构成的四方晶胞如图 a 所示，图 b、图 c 分别显示的是 K^+ 和该未知微粒在晶胞 xz 面、yz 面上的位置：

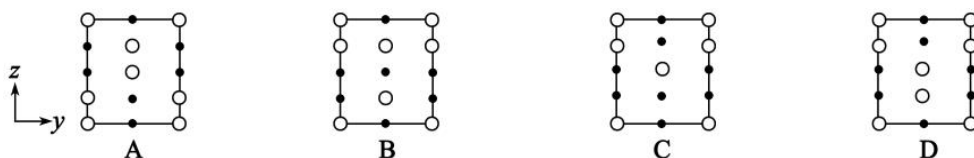


①未知微粒为____(填标号)。

A. PO_4^{3-} B. HPO_4^{2-} C. H_2PO_4^-

②若晶体的密度为 $\rho \text{ g/cm}^3$ ，晶胞高为 $c \text{ pm}$ ，阿伏加德罗常数的值为 N_A ，则晶胞正方形底边的边长为_____pm(填代数式)。

③晶胞在 x 轴方向的投影图为____(填标号)。



【答案】 (1) ①. +3 ②. 6 ③. 第四周期VB族

(2) ①. sp^2 ②. 乙中存在大 π 键, N原子与芳环的共轭效应可在一定程度上缩短碳氧原子之间的键长

(3) ①. C ②. $\sqrt{\frac{544}{\rho c N_A \times 10^{-30}}}$ ③. D

【解析】

【小问1详解】

甲中配体有3个O(-2价)和3个N(-3价), 根据化合物中各元素化合价代数和为0, 设V的化合价为x, 则 $x + 3 \times (-2) + 3 \times (-3) + 6 \times (+1) = 0$, 解得 $x = +3$; 中心离子 V^{3+} 与3个N原子和3个O原子形成配位键, 所以配位数是6; 钒元素的原子序数是23, 在周期表中的位置为第四周期VB族;

【小问2详解】

乙中氮原子形成1个双键和1个单键, 还有1对孤电子对, 价层电子对数为3, 杂化类型为 sp^2 杂化, 所以孤电子对位于 sp^2 轨道上; 由于乙中存在大 π 键, N原子与芳环的共轭效应可在一定程度上缩短碳氧原子之间的键长;

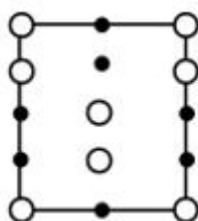
【小问3详解】

①; 根据图 a、b、c, 利用均摊法计算 K^+ 的个数: $4 \times \frac{1}{4} + 4 \times \frac{1}{2} + 1 = 4$ (棱上的 K^+ 被4个晶胞共用, 面上的 K^+ 被2个晶胞共用, 体内的 K^+ 完全属于该晶胞); 未知微粒个数: $8 \times \frac{1}{8} + 4 \times \frac{1}{2} + 1 = 4$ (顶点的未知微粒被8个晶胞共用, 面上的未知微粒被2个晶胞共用, 体内的未知微粒完全属于该晶胞)。所以 K^+ 与未知微粒的个数比为4:4=1:1, 根据化合物中正负化合价代数和为0, K为+1价, 则未知微粒带1个负电荷, 所以未知微粒为 $H_2PO_4^-$, 答案选C;

②若晶体的密度为 $\rho \text{ g/cm}^3$, 晶胞高为 $c \text{ pm}$, 阿伏加德罗常数的值为 N_A , 设晶胞正方形底边边长为 $x \text{ pm}$, 则

$$\rho = \frac{4 \times (39 + 2 + 31 + 4 \times 16)}{x^2 c N_A \times 10^{-30}} \text{ g/cm}^3, \text{ 解得晶胞正方形底边的边长为 } x = \sqrt{\frac{544}{\rho c N_A \times 10^{-30}}};$$

③由图(a)、(b)、(c)可知, 晶胞在x轴方向的投影图为



, 选D。

3. (2025 烟台德州东营一模, 16) 氮元素被称为“生命元素”, 不仅是蛋白质的重要组成元素, 还在医药、化工、农业生产等领域应用广泛。回答下列问题:

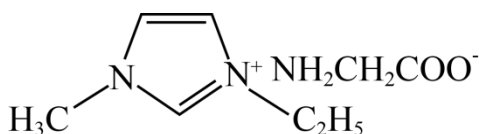
(1) 基态氮原子中两种自旋状态相反的电子数之比为_____。

(2) 亚甲基双丙烯酰胺($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(=\text{O})\text{NH}-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})\text{CH}=\text{CH}_2$)、乙胺($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$)和 2-羟基乙胺($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$)均可用于染料合成。

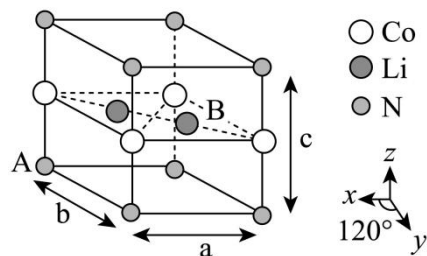
①亚甲基双丙烯酰胺属于_____分子(填“极性”或“非极性”),分子中含有的 σ 键和 π 键数目之比为_____。

②乙胺和 2-羟基乙胺的碱性随 N 原子电子云密度增大而增强,二者碱性更强的是_____(填结构简式)。

(3) 1-甲基咪唑($\text{C}_4\text{H}_5\text{N}_2$)常用于配合物的制备,在酸性环境中其配位能力会_____(填“增强”、“减弱”或“不变”)。1-甲基咪唑的某种衍生物与甘氨酸形成的离子化合物如图,常温下为液态而非固态,原因是_____。



(4) 某含氮催化剂的六方晶胞如图,晶胞参数为 $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=120^\circ$ 。其化学式为_____;若 A 点原子的分数坐标为 $(1, 0, 0)$,则 B 点原子的分数坐标为_____;1 个 N 原子周围距离相等且最近的 Li 原子数目为_____。



【答案】 (1) 2:5 或 5:2

(2) ①. 极性 ②. 5:1 ③. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$

(3) ①. 减弱 ②. 阴阳离子间距离较大,导致离子间作用力较弱,熔点较低

(4) ①. Li_2CoN ②. $(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{2})$ ③. 12

【解析】

【小问 1 详解】

氮处于周期表中第 2 周期第 V A 族,一个原子轨道中,占据一对自旋相反的电子, N 的核外电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^3$,所以基态氮原子核外两种不同自旋状态的电子数之比为 2:5 (或 5:2), 故答案为: 2:5 (或 5:2);

【小问 2 详解】

①亚甲基双丙烯酰胺可以看成甲烷分子中的两个 H 原子被两个丙烯酰胺基取代,甲烷为正四面体结构,因此亚甲基双丙烯酰胺分子重心不重叠,属于极性分子,根据结构简式可知,分子中含有的 σ 键和 π 键数目之比为 20: 4=5: 1;

②胺的碱性强弱取决于氮原子孤对电子和质子结合的难易,而氮原子接受质子的能力,又与氮原子上电子云密度大小以及氮原子上所连基团的空间阻碍有关,烃基是推电子基,羟基这里做吸电子基,乙胺和 2-羟基乙胺的碱性随 N 原子电子云密度增大而增强,二者碱性更强的是 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$;

【小问 3 详解】

在酸性条件下，1-甲基咪唑的氮原子容易与质子（ H^+ ）结合，形成质子化的 1-甲基咪唑（1-甲基咪唑- H^+ ）。质子化后，氮原子的孤对电子被占据，无法再与金属离子配位，导致配位能力下降；

1-甲基咪唑的某种衍生物与甘氨酸形成的离子化合物，阴阳离子间距离较大，导致离子间作用力较弱，熔点较低，故常温下为液态而非固态；

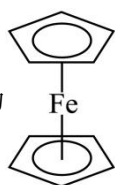
【小问 4 详解】

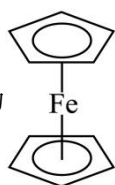
根据均摊法可知，晶胞中含有 2 个 Li， $2 \times \frac{1}{6} + 2 \times \frac{1}{3} = 1$ 个 Co， $4 \times \frac{1}{12} + 4 \times \frac{1}{6} = 1$ 个 N，故化学式为 Li_2CoN ；

若 A 点原子的分数坐标为 (1, 0, 0)，B 点在对角线的三分之二处，根据坐标可知，则 B 点原子的分数坐标为 $(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{2})$ ；

以钝角顶点的 N 原子为研究对象，其周围最近的 2 个 Li 原子位于晶胞内部，钝角顶点的 N 原子被 6 个晶胞共用，故 1 个 N 原子周围距离相等且最近的 Li 原子数目为 12。

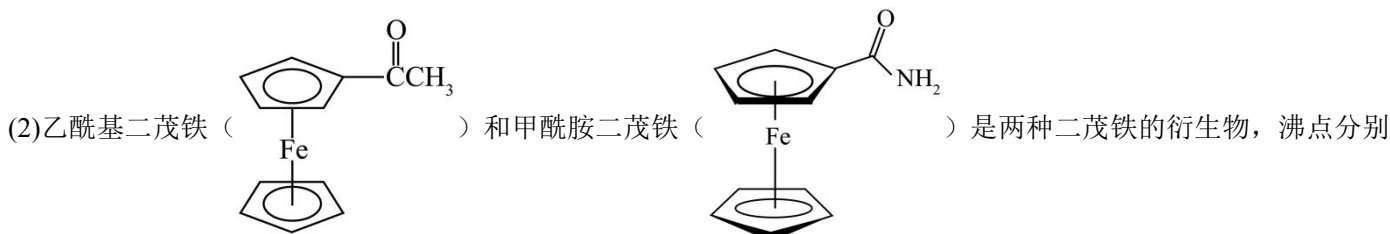
4. （2025 泰安一模，16）二茂铁 $[\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2]$ 是一种在化学，生物医学等多个领域有广泛应用的有机金属化合物，



其结构为 ，由环戊二烯负离子 (C_5H_5^-) 与 Fe^{2+} 形成。已知 C_5H_5^- 结构与苯相似，存在 Π_5^6 的大 Π 键。

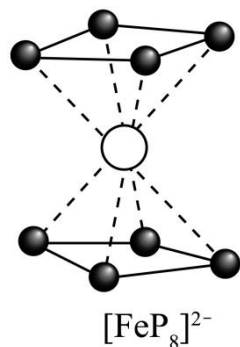
(1) Fe^{2+} 的价电子轨道表示式为_____。二茂铁中存在的作用力有_____（填标号）

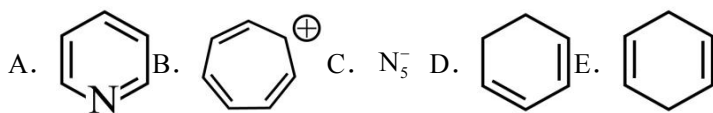
A. 氢键 B. 配位键 C. π 键 D. 离子键



为 160°C 和 249°C 。甲酰胺二茂铁中所含元素电负性由大到小的顺序为_____；二者沸点相差较大的原因是_____。

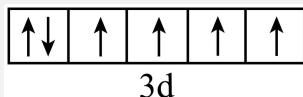
(3) 结构类似 C_5H_5^- 的微粒可与 Fe^{2+} 形成类似二茂铁结构。例如 P_4^{2-} 与 Fe^{2+} 形成类似二茂铁结构如图所示，则 P_4^{2-} 中存在的大 Π 键可表示为_____；下列可以与 Fe^{2+} 形成类似二茂铁结构的微粒有_____（填序号）。





(4) 已知以晶胞参数为单位长度建立的坐标系可以表示晶胞中原子的位置，称作原子分数坐标。铁的一种立方晶系晶体结构中，每个晶胞平均含有 2 个 Fe，Fe 原子分数坐标为 $(0,0,0)$ 和 $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ 。已知该晶体中距离最近的 Fe 原子核之间的距离为 $a \text{ pm}$ ，阿伏加德罗常数是 N_A ，则晶体的密度为 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

【答案】(1)

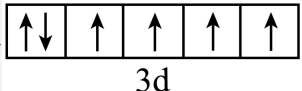


BC

(2) $\text{O} > \text{N} > \text{C} > \text{H} > \text{Fe}$ 甲酰胺二茂铁中含有 N-H 键，能形成分子间氢键

(3) Π_4^6 ABC

(4) $\frac{42\sqrt{3}}{a^3 N_A} \times 10^{30}$

【详解】(1) 铁是 26 号元素， Fe^{2+} 的价电子排布式为 $3d^6$ ，轨道表示式为 ；二茂铁中 Fe^{2+}

与环戊二烯负离子通过配位键结合，环戊二烯负离子内部含有大 π 键，故选 BC；

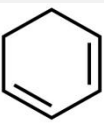
(2) 甲酰胺二茂铁中所含元素有 H、C、N、O、Fe，非金属性越强，电负性越大，金属的电负性一般小于非金属，则电负性由大到小的顺序为 $\text{O} > \text{N} > \text{C} > \text{H} > \text{Fe}$ ；甲酰胺二茂铁中含有 N-H 键，能形成分子间氢键，熔沸点高于乙酰基二茂铁；

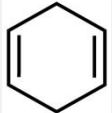
(3) C_5H_5^- 结构与苯相似，存在 Π_5^6 的大 π 键，说明每个碳原子各提供一个单电子，同时得到一个电子，形成 5 中心 6 电子的大 π 键，P 和 N 同主族，每个磷原子形成 2 条共价键和一个配位键，则 P_4^{2-} 中，每个磷原子各提供一个单电子，同时得到两个电子，形成 4 中心 6 电子的大 π 键，表示为 Π_4^6 ；

A. 氮原子杂化方式为 sp^2 ，碳、氮各提供一个单电子用于形成 6 中心 6 电子的大 π 键，即为 Π_6^6 ；可以和 Fe^{2+} 形成类似二茂铁结构，A 选；

B. 环上存在一个 C^+ ，说明该碳原子失去了一个电子，即该碳原子形成 3 条共价键，不在提供单电子形成大 π 键，其大 π 键表示为 Π_7^6 ，可以和 Fe^{2+} 形成类似二茂铁结构，B 选；

C. N_5^- 结构中，每个氮原子提供一个单电子，再得到一个电子，形成 Π_5^6 的大 π 键，可以和 Fe^{2+} 形成类似二茂铁结构，C 选；

D.  中存在 sp^3 杂化的碳原子，没有大 π 键，D 不选；

E.  中存在 sp^3 杂化的碳原子，没有大 π 键，E 不选；

故选 ABC；

(4) 每个晶胞平均含有 2 个 Fe，Fe 原子分数坐标为 $(0,0,0)$ 和 $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ ，则晶胞中铁原子分别位于 8 个顶点和体心，晶胞的质量为 $\frac{56 \times 2}{N_A} \text{ g}$ ，已知该晶体中距离最近的 Fe 原子核之间的距离为 $a \text{ pm}$ ，则晶胞的体对角线为 $2a \text{ pm}$ ，则晶胞的边长为 $\frac{2}{\sqrt{3}} a \text{ pm}$ ，体积为 $(\frac{2}{\sqrt{3}} a \times 10^{-10})^3 \text{ cm}^3$ ，则晶体的密度为 $\frac{42\sqrt{3}}{a^3 N_A} \times 10^{30} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

5. (2025 烟潍坊一模，16) 超导材料具有高载流能力和低能耗特性，应用广泛。回答下列问题：

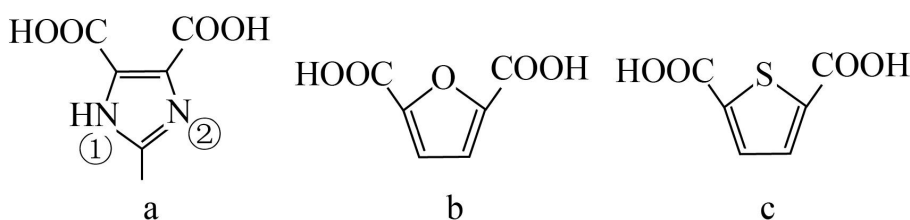
(1) 高温超导材料 YBaCu_3O_2 中有部分铜以 Cu^{3+} 形式存在。元素钇 (Y) 的价电子排布式为 $4d^1 5s^2$ ，则 Y 在周期表中的位置为第五周期____族；第四周期主族元素基态原子中，和 Cu^{3+} 未成对电子数相同的元素有____种。

(2) Hg 是第一种被发现的超导体，Hg 最外层有 2 个电子。

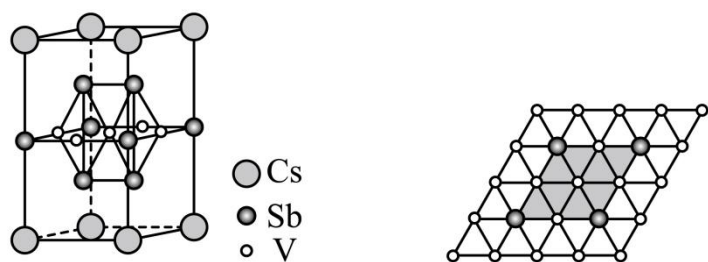
① HgCl_2 分子的空间结构为____；实验室用 $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ 鉴别 NH_4^+ ，反应生成 $[\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{O}]\text{I}$ (黄色沉淀)， $[\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{O}]^+$ 中 Hg^{2+} 的配位数为 2，画出 $[\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{O}]^+$ 的结构简式____。

② 已知阴、阳离子的电子云在离子极化作用下发生变形，离子半径越大，变形性越大，电子云重叠程度越大。稳定性 $[\text{HgI}_4]^{2-}$ ____ $[\text{HgCl}_4]^{2-}$ (填“>”“<”或“=”)，原因是____。

(3) 金属有机框架超导体 MOFs 的三种杂环基有机配体结构如下图，a 物质中存在大 π 键，其中①号氮原子的孤电子对位于____轨道；b 和 c 物质的酸性更强的是____ (填标号)。



(4) 某超导含钒铋化物的晶胞及晶体中由 V 和 Sb 组成的二维平面如图。该化合物的化学式为____，钒原子周围紧邻的铋原子数为____。



【答案】 (1) ①. IIIB 族 ②. 2



$[\text{HgI}_4]^{2-}$ 的电子云重叠程度更大更稳定

(3) ①. 2p ②. b

(4) ①. CsV_3Sb_5 ②. 6

【解析】

【小问 1 详解】

元素钇 (Y) 的价电子排布式为 $4d^1 5s^2$, 则 Y 在周期表中的位置为第五周期 IIIB 族; Cu^{3+} 的价电子排布式为 $3d^8$, 含有 2 个未成对电子, 第四周期主族元素基态原子中, 和 Cu^{3+} 未成对电子数相同的元素有 Ge 和 Se 共 2 种。

【小问 2 详解】

① HgCl_2 分子的中心原子价层电子对数为 $2 + \frac{1}{2} \times (2 - 2 \times 1) = 2$, 且不含孤电子对, 空间结构为直线形, $[\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{O}]^+$

中 Hg^{2+} 的配位数为 2, 配位原子是 N 和 O, $[\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{O}]^+$ 的结构简式为: $\left[\begin{array}{ccc} & \text{Hg} & \\ \text{H}_2\text{N} & & \text{O} \\ & \text{Hg} & \end{array} \right]^+$;

② 稳定性 $[\text{HgI}_4]^{2-} > [\text{HgCl}_4]^{2-}$, 原因是半径 $\text{I}^- > \text{Cl}^-$, 离子半径越大, 变形性越大, $[\text{HgI}_4]^{2-}$ 的电子云重叠程度更大更稳定。

【小问 3 详解】

a 物质中存在大 π 键, 则①号氮原子为 sp^2 杂化, 孤电子对位于未参与杂化的 2p 轨道; O 的电负性比 S 大, 对电子的吸引能力更强, 导致 a 中羧基中的羟基极性更大, 更加容易电离出 H^+ , 酸性更强。

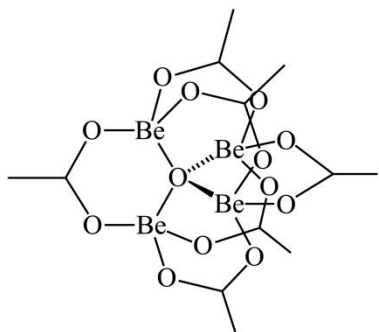
【小问 4 详解】

该晶胞中 Cs 的个数为 $4 \times \frac{1}{6} + 4 \times \frac{1}{12} = 1$, Sb 的个数为 $4 + 2 \times \frac{1}{6} + 2 \times \frac{1}{3} = 5$, V 的个数为 $1 + 4 \times \frac{1}{2} = 3$, 则该化合物的化学式为 CsV_3Sb_5 , 以位于体心的 V 原子为研究对象, 钒原子周围紧邻的锑原子数为 6。

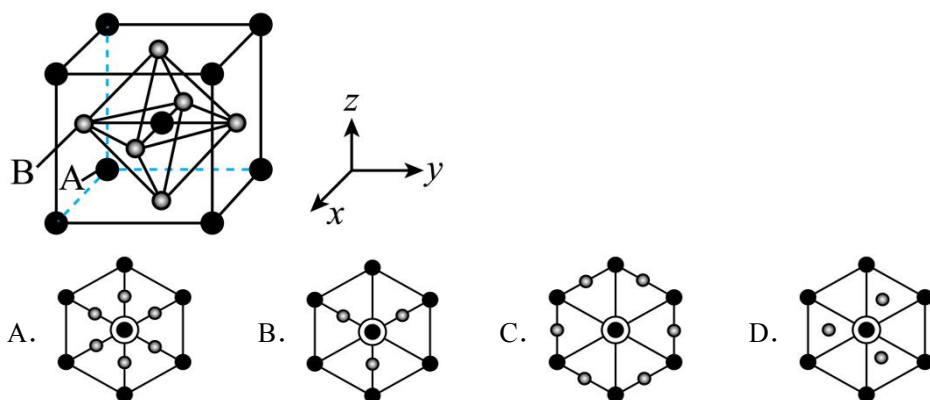
6. (2025 日照一模, 16) 碱土金属元素在生产、生活和科研中应用广泛。回答下列问题:

(1) 基态钙原子核外电子的空间运动状态有 _____ 种。

(2) 碳酸铍与乙酸反应生成配合物的结构如图所示, 该配合物的化学式为 _____, Be 的配位数为 _____, Be、C、O 电负性由大到小的顺序 _____ (用元素符号表示); 两分子乙酸之间形成两个氢键得到八元环二聚体, 该二聚体的结构简式为 _____ (以 $\text{O} \cdots \text{H}-\text{O}$ 表示氢键)。

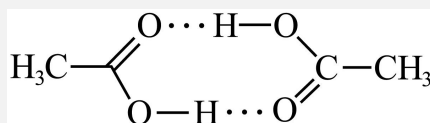


(3)某碱土金属防锈颜料的晶胞结构如图所示，晶胞参数为 a pm，A 点的原子分数坐标为 $(0, 0, 0)$ ，B 点原子分数坐标为_____，相邻 $\bullet$ 之间的最短距离为_____pm。该晶胞沿体对角线方向的投影图为_____(填标号)。



【答案】(1)10

(2) $\text{Be}_4\text{O}(\text{OOCCH}_3)_6$ 4 $\text{O} > \text{C} > \text{Be}$



(3) $(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$ $\frac{\sqrt{2}}{2}a$ A

【详解】(1) 钙核外电子排布为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 4s^2$ ，核外电子的空间运动状态有 10 种；

(2) 由结构可知该配合物的化学式为 $\text{Be}_4\text{O}(\text{OOCCH}_3)_6$ ；Be 与周围 4 个 O 原子直接相连，配位数为 4；Be、C、O 为同周期元素，从左到右电负性增大，则电负性： $\text{O} > \text{C} > \text{Be}$ ；

两分子乙酸之间形成两个氢键得到八元环二聚体，该二聚体的结构简式为 $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})\cdots\text{H}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3$ ；

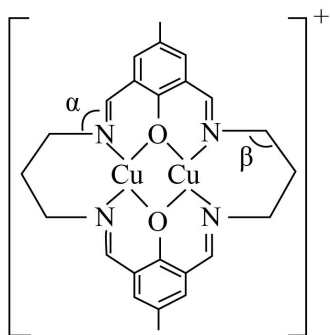
(3)

结合晶胞结构，A 点的原子分数坐标为 $(0, 0, 0)$ ，B 点原子分数坐标为 $(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$ ；相邻 $\bullet$ 之间的最短距离等于面对角线的一半，即为： $\frac{\sqrt{2}}{2}a$ pm；该晶胞沿体对角线方向的投影，对角线上的黑球投影为体心，其余黑球投影为正六边形的顶点，灰球投影到六边形的对角线的四等分点，则投影图为 A。

7. (2025 青岛一模，16) 铜元素在生命体系和超导领域研究中发挥着至关重要的作用。回答下列问题。

(1) 基态 Cu 原子价层电子排布式为_____。

双核铜物种存在于色素细胞中，某大环双核铜配合物的配离子结构如图。



(2) 该配离子中所含第二周期元素的基态原子第一电离能由大到小的顺序为_____。

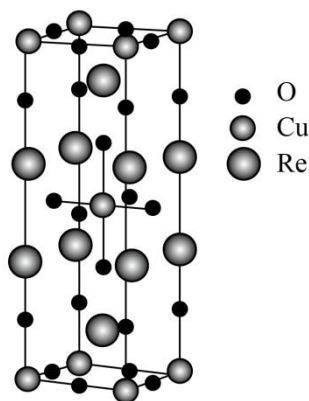
(3) Cu 的化合价为_____。

(4) 键角 α _____ β (填“>”“<”或“=”)、解释原因_____。

(5) NH_3 和氨硼烷(NH_3BH_3)均可与金属 Na 反应表现出一定的酸性。

酸性: NH_3 _____ NH_3BH_3 (填“>”“<”或“=”)。一定条件下等物质的量 Na 与 NH_3BH_3 反应的化学方程式为_____。

某电子型含铜化合物可用于超导材料, 结构如图。



(6) 该化合物的化学式为_____。

(7) Cu 的配位数为_____。

【答案】(1) $3d^{10}4s^1$

(2) $\text{N} > \text{O} > \text{C}$ (3) +1、+2

(4) ①. > ②. 中心原子 N 为 sp^2 杂化, C 为 sp^3 杂化

(5) ①. < ②. $2\text{Na} + 2\text{NH}_3\text{BH}_3 \xrightarrow{\text{一定条件}} 2\text{BH}_3\text{NH}_2\text{Na} + \text{H}_2 \uparrow$

(6) Re_2CuO_4

(7) 6

【解析】

【小问 1 详解】

基态 Cu 原子核外 29 个电子，电子排布式为 $[\text{Ar}]3\text{d}^{10}4\text{s}^1$ ，价层电子排布式为 $3\text{d}^{10}4\text{s}^1$ ，故答案为： $3\text{d}^{10}4\text{s}^1$ ；

【小问 2 详解】

该配离子中所含第二周期元素有 N、O、C，同一周期从左到右第一电离能有增大的趋势，其中第 IIA，VA 元素第一电离能大于同周期相邻元素的第一电离能，故基态原子第一电离能： $\text{N} > \text{O} > \text{C}$ ，故答案为： $\text{N} > \text{O} > \text{C}$ ；

【小问 3 详解】

配离子中心原子 Cu 与 4 个 N 形成的配位键中的电子均来自 N 原子的孤电子对和 RO 的 O 的孤电子对，离子带一个正电荷，故两个 Cu 原子 1 个为 +1 价，1 个为 +2 价，故答案为：+1、+2；

【小问 4 详解】

$\text{N}=\text{C}$ 中 N 原子采取 sp^2 杂化，饱和碳原子采取 sp^3 杂化，使得键角 $\alpha > \beta$ ，故答案为：>；中心原子 N 为 sp^2 杂化，C 为 sp^3 杂化；

【小问 5 详解】

NH_3 分子中 N 原子有一对孤电子对， NH_3BH_3 分子中 N 原子上的孤电子对与 B 原子的空轨道形成配位键，使得 NH_3BH_3 分子中的 N 原子上电子云密度变小，N-H 键极性变大，容易电离出氢离子， NH_3BH_3 酸性强于 NH_3 ；

NH_3BH_3 酸性强于 NH_3 ，一定条件下等物质的量 Na 与 NH_3BH_3 反应生成 $\text{BH}_3\text{NH}_2\text{Na}$ 和 H_2 ，反应的化学方程式为

$2\text{Na} + 2\text{NH}_3\text{BH}_3 \xrightarrow{\text{一定条件}} 2\text{BH}_3\text{NH}_2\text{Na} + \text{H}_2 \uparrow$ ，故答案为：<； $2\text{Na} + 2\text{NH}_3\text{BH}_3 \xrightarrow{\text{一定条件}} 2\text{BH}_3\text{NH}_2\text{Na} + \text{H}_2 \uparrow$ ；

【小问 6 详解】

根据晶胞图可知 1 个晶胞中 Re 棱上 8 个、体内 2 个；Cu 顶点 8 个、体内 1 个；O 棱上 16 个，体内 2，面上 4 个，含有 Re： $8 \times \frac{1}{4} + 2 = 4$ ，Cu： $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ ，O： $16 \times \frac{1}{4} + 4 \times \frac{1}{2} + 2 = 8$ ，原子个数比 Re：Cu：O = 4:2:8 = 2:1:4，化合物的化学式为 Re_2CuO_4 ，故答案为： Re_2CuO_4 ；

【小问 7 详解】

Cu 的配位数即与铜离子距离最近的阴离子氧离子个数，根据晶胞结构可知顶点处的铜与所在棱心上的氧可知铜的配位数为 6，故答案为：6。

8. （2025 聊城一模，16）开发新型储氢材料，对大规模使用氢能具有重要的意义。

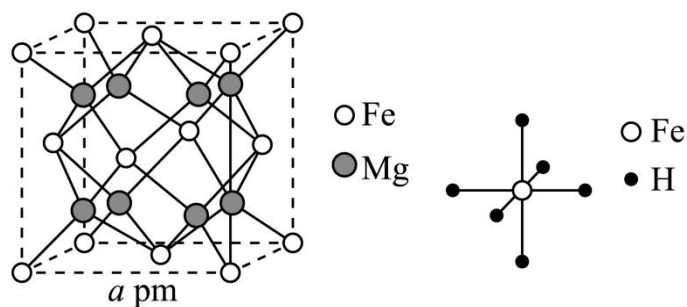
I. 氨硼烷 (H_3NBH_3) 属于配位氢化物储氢材料，具有储氢量高的特点。

(1) H_3NBH_3 分子中与 B 原子相连的 H 呈负电性，H、N、B 的电负性由大到小的顺序是_____，B 原子的杂化方式为_____。

(2) 氨硼烷在金属型催化剂 (如 Cr、Pt 等) 催化下可水解放出氢气，并产生 H_3BO_3 ，该反应的化学方程式为_____。

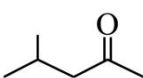
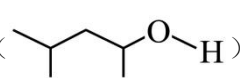
II. 铁镁合金是目前已发现的储氢密度最高的储氢材料之一，镁铁合金晶胞属立方晶系，结构如图所示，储氢后 H

原子以正八面体的配位模式有序分布在 Fe 的周围（如图），H 原子和 Fe 原子之间的最短距离等于晶胞棱长的 $1/4$ 。



(3) Fe^{2+} 价电子轨道表示式为____，同周期基态原子未成对电子数比 Fe^{2+} 多的元素是____（填元素符号）。

(4) 储氢后晶体与 Mg 配位的 H 原子个数为____，储氢后晶体的密度 $\rho =$ ____ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ （用含 N_A 的代数式表示）。

(5) 萃取法制备高纯铁红需使用甲基异丁基甲酮（），其沸点低于甲基异丁基甲醇（）的原因是_____。

【答案】 (1) ①. $\text{N} > \text{H} > \text{B}$ ②. sp^3

(2) $\text{H}_3\text{NBH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{H}_3\text{BO}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow + \text{NH}_3 \uparrow$

(3) ①.

↑↓	↑	↑	↑	↑
----	---	---	---	---

 ②. Cr、Mn

(4) ①. 12 ②. $\frac{4.4 \times 10^{32}}{N_A \times a^3}$

(5) 甲基异丁基甲醇分子中含有 $-\text{OH}$ ，分子间可以形成氢键，而甲基异丁基甲酮分子间不能形成氢键

【解析】

【小问 1 详解】

①电负性是元素的原子在化合物中吸引电子的能力，N 的非金属性大于 B， H_3NBH_3 分子中与 B 原子相连的 H 呈负电性，则 H 的电负性大于 B，所以电负性由大到小的顺序是 $\text{N} > \text{H} > \text{B}$ ；

② H_3NBH_3 分子中 B 原子形成 4 个 σ 键(3 个 B-H 键，1 个 $\text{N} \rightarrow \text{B}$ 配位键)，没有孤电子对，根据价层电子对互斥理论，B 原子的杂化方式为 sp^3 ；

【小问 2 详解】

根据原子守恒，氨硼烷在金属型催化剂作用下水解的化学方程式为 $\text{H}_3\text{NBH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{H}_3\text{BO}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow + \text{NH}_3 \uparrow$ ；

【小问 3 详解】

①Fe 是 26 号元素， Fe^{2+} 的价电子排布式为 $3d^6$ ，价电子轨道表示式为

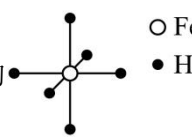
↑↓	↑	↑	↑	↑
----	---	---	---	---

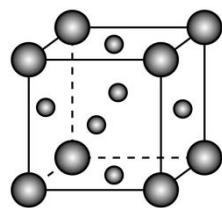
；

② Fe^{2+} 的未成对电子数是 4，同周期基态原子未成对电子数比 Fe^{2+} 多的元素是 Cr、Mn (Cr 的价电子排布式为 $3d^5 4s^1$ ，未成对电子数是 6、Mn 的价电子排布式为 $3d^5 4s^2$ ，未成对电子数是 5)；

【小问 4 详解】

① 如图所示，晶胞中有 8 个 Mg 原子，Fe 原子位于顶点、面心，晶胞中 Fe 原子数目 $= 6 \times \frac{1}{2} + 8 \times \frac{1}{8} = 4$ ，储氢后 H 原子以正八面体的配位模式有序分布在 Fe 原子的周围，则 H 原子数目为 $4 \times 6 = 24$ 个，储氢后晶体的化学式为

Mg_2FeH_6 ，根据正八面体结构  可知，若以 Mg 原子为顶点，与之配位的 H 原子位于面心，如图所示：



● Mg
● H

，每个顶点被 8 个晶胞共用，面心被两个晶胞共用，所以与 Mg 配位的 H 原子个数为

$$3 \times 8 \times \frac{1}{2} = 12 ;$$

② 晶胞化学式为： Mg_2FeH_6 ，晶胞的质量 $m = \frac{(4 \times 56 + 8 \times 24 + 24 \times 1)}{N_A} \text{g}$ ，晶胞体积 $V = (a \times 10^{-3})^3 \text{cm}^3$ ，则密度

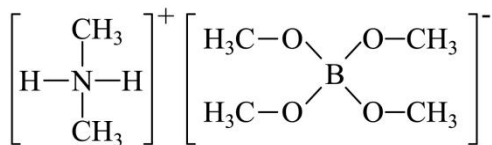
$$\rho = \frac{4 \times 56 + 8 \times 24 + 24 \times 1}{N_A \times (a \times 10^{-10})^3} \text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = \frac{4.4 \times 10^{32}}{N_A \times a^3} \text{g} \cdot \text{cm}^{-3} ;$$

【小问 5 详解】

甲基异丁基甲醇分子中含有 $-\text{OH}$ ，分子间可以形成氢键，而甲基异丁基甲酮分子间不能形成氢键，分子间氢键会使物质的沸点升高，所以甲基异丁基甲酮的沸点低于甲基异丁基甲醇。

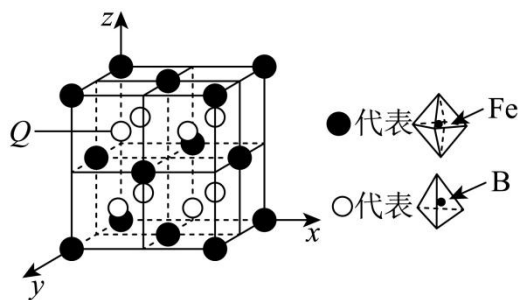
9. (2025 济宁一模，16) 氮及其化合物具有较大应用价值，回答下列问题：

(1) 二甲胺 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 常用作医药、农药等有机中间体的原料，其水溶液显碱性的原因_____ (用离子方程式解释)；二甲胺可用于制备某储氢材料 X，其结构如图，X 所含第二周期元素的第一电离能由大到小的顺序为_____；X 的阳离子中 C-N-C 的键角_____二甲胺中 C-N-C 的键角 (填“>”、“<”或“=”)；1 mol X 中含有配位键的数目为_____。



(2) 一种 N_8 分子的结构为 $\text{N} \text{---} \text{N} \text{---} \overset{\textcircled{1}}{\text{N}} \text{---} \text{N} \text{---} \text{N} \text{---} \text{N} \text{---} \text{N} \text{---} \text{N}$ ，已知该分子中 N 原子采用了 4 种不同的成键方式，则①号 N 原子的杂化方式为_____，该分子也可以形成类似烯烃结构的顺反异构体，其顺式结构分子的结构式为_____。

(3) 某种由 NH_3 作为配体形成的新型储氢材料的晶胞结构如图，其中 NH_3 为正八面体的顶点，H 为正四面体的顶点，若以晶胞参数为单位长度建立的坐标系可以表示晶胞中各原子的位置，称作原子分数坐标，则 Q 的原子分数坐标为_____；若晶胞参数为 $a \text{nm}$ ，阿伏加德罗常数的值为 N_A ，则该晶体的密度为_____ g/cm^3 。



【答案】 (1) ①. $(\text{CH}_3)_2\text{NH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+ + \text{OH}^-$ ②. $\text{N} > \text{O} > \text{C} > \text{B}$ ③. $>$ ④. $2N_A$

(2) ①. sp^3 ②. $\text{N} \equiv \text{N} - \text{N} = \text{N} - \text{N} \equiv \text{N}$

(3) ①. $\left(\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4}\right)$ ②. $\frac{7.52 \times 10^{23}}{a^3 N_A}$

【解析】

【小问 1 详解】

二甲胺 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 水溶液显碱性的原因是 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ 结合 H_2O 电离的 H^+ 生成 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+$ 和 OH^- , 离子方程式为: $(\text{CH}_3)_2\text{NH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+ + \text{OH}^-$; 由结构图可知, X 所含第二周期元素为: B、C、N、O, 同一周期主族元素从左到右, 第一电离能呈增大趋势, 但第 IIA、VA 族元素的第一电离能大于其右边相邻元素, 则第一电离能由大到小的顺序为: $\text{N} > \text{O} > \text{C} > \text{B}$; 二甲胺和 X 的阳离子中, 氮原子均采用 sp^3 杂化, 二甲胺中氮原子上含有 1 对孤电子对, X 的阳离子中氮原子上没有孤电子对, 孤电子对对成键电子对的斥力较大, 导致二甲胺中 C-N-C 的键角较小, 则 X 的阳离子中 C-N-C 的键角 $>$ 二甲胺中 C-N-C 的键角; X 的阳离子和阴离子中各含有 1 个配位键, 则 1mol X 中含有配位键的数目为 $2N_A$;

【小问 2 详解】

$\text{N} \equiv \text{N} - \overset{\textcircled{1}}{\text{N}} - \text{N} = \text{N} - \text{N} - \text{N}$ 中①号 N 原子形成 2 个 σ 键, 同时含有 2 对孤电子对, 其价层电子对数为 4, 则①号 N 原子的杂化方式为 sp^3 , 该分子中含有氮氮双键, 也可以形成类似烯烃结构的顺反异构体, 顺式结构中相同的原子或原子团位于双键的同一侧, 则其顺式结构分子的结构式为: $\text{N} \equiv \text{N} - \text{N} = \text{N} - \text{N} \equiv \text{N}$;

【小问 3 详解】

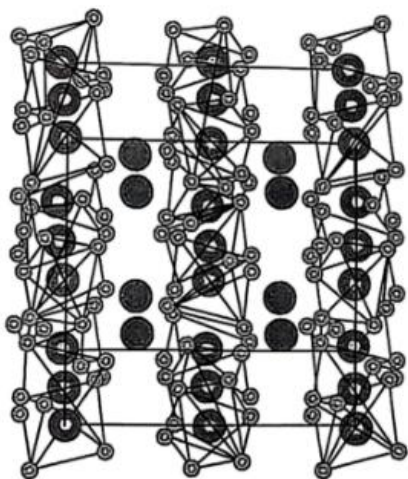
若以晶胞参数为单位长度建立的坐标系可以表示晶胞中各原子的位置, 称作原子分数坐标, 根据晶胞结构可知 Q 的原子分数坐标为 $\left(\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4}\right)$; NH_3 为正八面体的顶点, H 为正四面体的顶点, 由晶胞结构可知, BH_4 的个数为 8,

$\text{Fe}(\text{NH}_3)_6$ 的个数为 $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$, 若晶胞参数为 $a\text{nm}$, 阿伏加德罗常数的值为 N_A , 则该晶体的密度为

$$\frac{8 \times (11 + 4) + 4 \times (56 + 17 \times 6)}{N_A (a \times 10^{-7})^3} \text{g/cm}^3 = \frac{7.52 \times 10^{23}}{a^3 N_A} \text{g/cm}^3.$$

10. (2025 济南一模, 16) 六氟锑酸钠(NaSbF_6)是一种深度加工的精细化学品, 广泛应用于有机合成催化、制药

和高精尖材料制造等领域， NaSbF_6 立方晶胞结构如图所示(部分 F 原子重叠)，晶胞边长为 $a=b=c$ pm。



回答下列问题：

- (1) 锑在元素周期表中的位置是_____，基态 Sb 原子中，电子占据最高能量的轨道形状是_____。
- (2) 在晶体中，锑原子位于氟原子形成的八面体空隙中，阴离子晶胞结构和 NaCl 晶胞相似，锑原子占据 Na^+ 和 Cl^- 位置，锑原子的价层电子对数为_____，在与六氟锑酸钠(NaSbF_6)同类型的化合物中，无法捕捉到六氯锑酸钠(NaSbCl_6)的存在，原因是_____。
- (3) 在离子晶体中，正负离子的半径比决定了相应离子的配位数，若将六氟锑酸根看作一个圆球，该晶胞中 Na^+ 半径(r_+)与 SbF_6^- 半径(r_-)之比 $\left(\frac{r_+}{r_-}\right)$ 的最小值为_____，若阿伏加德罗常数值为 N_A ，则 NaSbF_6 晶体的密度为_____ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (NaSbF_6 的摩尔质量为 $M \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ；含 N_A ， a 的计算式表示)。
- (4) SbH_3 的沸点高于 NH_3 的原因是_____。

【答案】 (1) ①. 第五周期 VA 族 ②. 哑铃(纺锤)形

(2) ①. 6 ②. 氯离子半径大于氟离子半径，空间位阻效应较大，无法与锑形成八面体型化合物

(3) ①. $\sqrt{3}-1$ 或 0.732 ②. $\frac{8M}{N_A \cdot a^3} \times 10^{30}$

(4) SbH_3 的分子量远大于 NH_3 ，导致范德华力远大于 NH_3 ，故沸点高于 NH_3

【解析】

【小问 1 详解】

Sb 是 51 号元素，价层电子排布式为 $5s^2 5p^3$ ，位于第五周期第 VA 族，电子占据最高能量的轨道是 $5p$ ，为哑铃形(纺锤形)，

【小问 2 详解】

SbF_6^- 中 Sb 的价层电子对数为 $6 + \frac{5+1-6 \times 1}{2} = 6$ ；氯离子半径大于氟离子半径，空间位阻效应较大，与 Sb 采用“肩并肩”方式形成 π 键时重合程度太小，无法形成稳定的六氯锑酸钠(NaSbCl_6)；

【小问 3 详解】

在晶体中，锑原子位于氟原子形成的八面体空隙中，阴离子晶胞结构和 NaCl 晶胞相似，锑原子占据 Na^+ 和 Cl^- 位置，

可得， $a = 4r_+$ ， $\sqrt{3}a = 4(r_+ + r_-)$ ， $(\sqrt{3}-1)a = 4r_+$ ，则该晶胞中 Na^+ 半径(r_+)与 SbF_6^- 半径(r_-)之比 $\left(\frac{r_+}{r_-}\right)$ 最小值为 $\sqrt{3}-1$ ；

由图可知，晶胞中含有 8 个 Na^+ ，则晶胞质量为 $\frac{8M}{N_A} \text{g}$ ，晶胞体积为 $(a \times 10^{-10})^3 \text{cm}^3$ ，晶体密度

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\frac{8M}{N_A} \text{g}}{(a \times 10^{-10})^3 \text{cm}^3} = \frac{8M}{N_A \cdot a^3} \times 10^{30} \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}；$$

【小问 4 详解】

SbH_3 的沸点高于 NH_3 ，原因是 SbH_3 的相对分子质量大，使范德华力对沸点的影响超过 NH_3 分子间氢键。

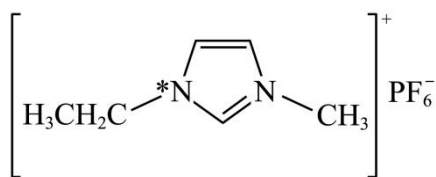
11. (2025 菏泽一模，16) 钴和锂在电池材料、超级合金等高科技领域中发挥着关键作用。回答下列问题：

(1) Co 在元素周期表中位于第_____周期_____族。下列状态的钴中，电离最外层一个电子所需能量最大的是_____ (填标号)。

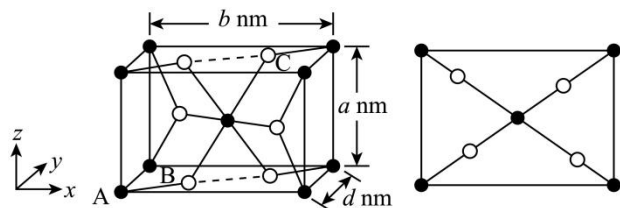
A. $[\text{Ar}]3d^7 4s^2$ B. $[\text{Ar}]3d^7 4s^1$ C. $[\text{Ar}]3d^7 4s^1 4p^1$ D. $[\text{Ar}]3d^7 4p^1$

(2) 某种离子液体可作为锂电池的电解液，其结构如图。N、F、P 三种元素电负性由大到小的顺序为_____；

PF_6^- 的空间构型为_____；1mol 该化合物中含有_____mol σ 键；该化合物中含 N 的五元杂环具有类似苯环的结构特征，标*号 N 原子采取的轨道杂化方式为_____。



(3) CoO_2 的四方晶胞及其在 xy 平面的投影如图所示，晶胞棱边夹角均为 90° 。A、B 点原子的分数坐标分别为(0, 0, 0)、(0.31, 0.31, 0)，则 C 点原子的分数坐标为_____。则该晶体密度 $\rho =$ _____ g/cm^3 (用含 N_A 的代数式表示)。



【答案】(1) 4 VIII B

(2) $F > N > P$ 正八面体形 25 sp^2

$$(3) \quad (0.69, 0.69, 1) \quad \frac{1.82 \times 10^{23}}{N_A \times abd}$$

【详解】(1) 钴在元素周期表中的位置：钴的原子序数为 27，电子排布为 $[\text{Ar}]3d^74s^2$ ，因此位于第 4 周期，VIII 族。

电离能问题：钴元素的第二电离能大于第一电离能，由题给简化电子排布式可知， $[\text{Ar}]3d^74s^2$ 和 $[\text{Ar}]3d^74s^14p^1$ 电离最外层一个电子所需能量为第一电离能， $[\text{Ar}]3d^74s^1$ 和 $[\text{Ar}]3d^74p^1$ 电离最外层一个电子所需能量为第二电离能， $[\text{Ar}]3d^74p^1$ 为离子的激发态，能量高，所以电离最外层一个电子所需能量最大的是 $[\text{Ar}]3d^74s^1$ ，故选 B；

(2) 电负性问题：非金属性越强，电负性越大，F、N、P 的电负性依次减小，因此顺序为 $F > N > P$ 。 PF_6^- 的空间构型： PF_6^- 的中心原子 P 周围有 6 个 F 原子，形成正八面体构型。 σ 键数量： PF_6^- 中每个 P-F 键都是一个 σ 键，共 6mol σ ，复杂阳离子有 19mol σ 因此 1mol 该化合物中含有 25mol σ 键。N 原子的杂化方式：N 原子在五元杂环中通常采取 sp^2 杂化，形成平面三角形结构。

(3) C 点原子的分数坐标：根据四方晶胞的对称性，C 点原子的坐标应为 $(1 - 0.31, 1 - 0.31, 1)$ ，即 $(0.69, 0.69, 1)$ 。

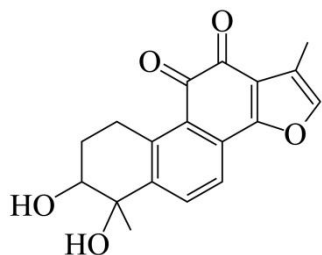
晶体密度计算：四方晶胞的体积为 $abd \times 10^{-21} \text{ cm}^3$ ，每个晶胞中含有 2 个 CoO_2 单元（每个晶胞中

$$\text{O}: 4 \times \frac{1}{2} + 2 = 4; \text{Co}: 8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2），因此密度 \rho = \frac{1.82 \times 10^{23}}{N_A \times abd} \text{ g/cm}^3。$$

第六部分 有机化学基础

一、有机物的结构与性质

1. (2025 淄博一模, 4) 丹参是《本草纲目》记载的一味中药, 丹参醇是其有效成分, 结构简式如图所示。下列关于丹参醇的说法正确的是



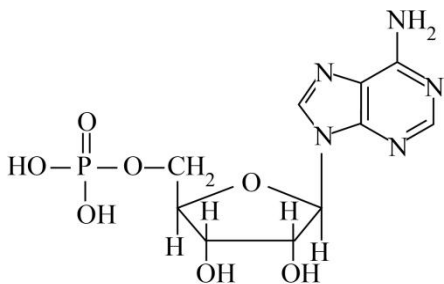
- A. 分子中含 3 个手性碳原子
- B. 消去反应产物最多有 2 种
- C. 红外光谱可鉴定有 3 种含氧官能团
- D. 1 mol 该分子最多与 5 mol H_2 发生加成反应

【答案】C

【解析】

【详解】A. 分子中与羟基相连的两个碳原子为手性碳原子, 则分子中含 2 个手性碳原子, A 错误;
B. 能发生消去反应的是醇羟基, 该分子中两个醇羟基所在碳原子的邻位碳原子上有氢原子, 且结构不对称, 消去反应产物最多有 3 种, B 错误;
C. 该分子中的含氧官能团有羟基、羰基、醚键, 共 3 种, 所以红外光谱可鉴定有 3 种含氧官能团, C 正确;
D. 该分子中含有 2 个碳碳双键、2 个羰基、1 个苯环, 所以 1 mol 该分子最多与 7 mol H_2 发生加成反应, D 错误;
故选 C。

2. (2025 济宁一模, 5) 组成核酸的基本单元是核苷酸, 腺嘌呤核苷酸的结构如图所示, 下列说法正确的是



- A. 1 mol 腺嘌呤核苷酸最多消耗 2 mol NaOH
- B. 该分子中含有 2 个手性碳原子
- C. DNA 和 RNA 结构中戊糖不同, 碱基不完全相同
- D. DNA 分子两条链上的碱基通过共价键作用配对

【答案】C

【解析】

【详解】A. 在碱性条件下，磷酸基团会发生水解，且磷酸基团中的羟基也可以与 NaOH 反应，1 个腺嘌呤核苷酸含有 1 个磷酸基团，则 1mol 腺嘌呤核苷酸最多消耗 3mol NaOH，A 错误；

B. 连有 4 个不同原子或原子团的碳原子为手性碳原子，则该分子中含有 4 个手性碳原子，如图中标注有“*”的碳

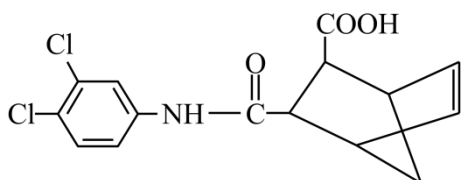


C. DNA 的戊糖为脱氧核糖，碱基为：腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶、胸腺嘧啶；RNA 的戊糖为核糖，碱基为：腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶、尿嘧啶，所以 DNA 和 RNA 结构中戊糖不同，碱基不完全相同，C 正确；

D. DNA 分子两条链上的碱基通过氢键作用配对，D 错误；

故选 C。

3. （2025 潍坊一模，6）某抗癌药物 CADD522 结构简式如图。下列关于该物质的说法错误的是



A. 可与 NaHCO_3 溶液反应

B. 含有三种官能团

C. 酸性条件下能发生水解反应

D. 分子中含有 4 个手性碳原子

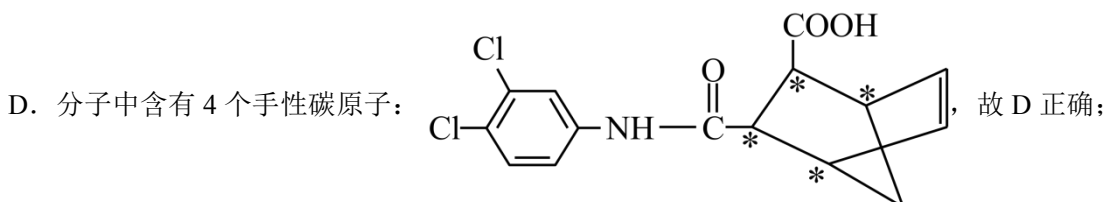
【答案】B

【解析】

【详解】A. 该分子存在羧基，可与 NaHCO_3 溶液反应，故 A 正确；

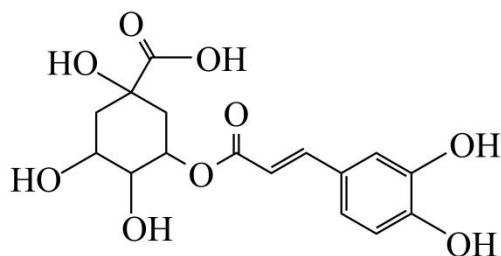
B. 该分子含有碳氯键、酰胺键、羧基、碳碳双键 4 种官能团，故 B 错误；

C. 该分子存在酰胺键，酸性条件下能发生水解反应，故 C 正确；



故答案为 B。

4. （2025 泰安一模，6）绿原酸是咖啡热水提取液的成分之一，结构简式如下：



下列关于绿原酸的判断中，正确的是

- A. 该物质在热水中溶解度很小
- B. 该物质中碳原子杂化方式有三种
- C. 该分子与足量氢气加成后生成物中有 7 个不对称碳原子
- D. 1mol 该物质分别与足量的 Na_2CO_3 ， NaHCO_3 反应，消耗二者的物质的量之比为 2:1

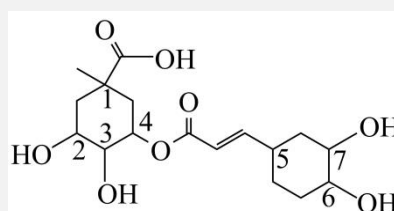
【答案】C

【详解】A. 绿原酸分子中含有多个羟基，羟基是亲水基团，能与水分子形成氢键，所以该物质在热水中溶解度较大，而不是很小，故 A 错误；

B. 该物质中苯环上的碳原子采用 sp^2 杂化，双键上的碳原子采用 sp^2 杂化，六元环上的碳原子采用 sp^3 杂化，碳原子杂化方式两种，故 B 错误；

C. 该分子与足量氢气加成后，原来的碳碳双键和苯环都发生加成反应，形成饱和的碳链结构，此时生成物中有 7

个不对称碳原子（即连有 4 个不同原子或原子团的碳原子），

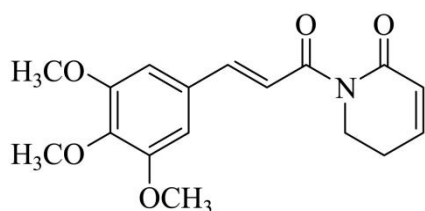


，故 C 正确；

D. 该分子中有 1 个羧基和 2 个酚羟基，1mol 该物质与足量 Na_2CO_3 反应，2mol 酚羟基消耗 2mol Na_2CO_3 ，1mol 羧基消耗 0.5mol Na_2CO_3 ，共消耗 2.5mol Na_2CO_3 ；1mol 该物质与足量 NaHCO_3 反应，只有 1mol 羧基反应，消耗 1mol NaHCO_3 ，所以消耗二者的物质的量之比为 5:2，故 D 错误；

故答案为 C。

5. （2025 聊城一模，7）茛菪酰胺是从中药茛菪中提取的一种有抗癌活性的天然生物碱，结构如下图所示。下列说法不正确的是



- A. 含有 3 种含氧官能团
- B. 存在顺反异构
- C. 核磁共振氢谱有 9 组峰
- D. 1mol 该化合物最多与 2mol NaOH 反应

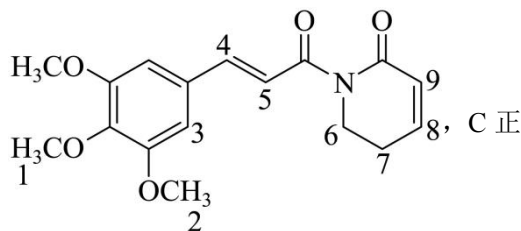
【答案】A

【解析】

【详解】A. 由图知，分子中含有醚键、碳碳双键、酰胺键三种官能团，其中含氧官能团只有 2 种，A 错误；

B. 由图知，该分子中的碳链上的碳碳双键上的碳原子均连接不同基团，则存在顺反异构，B 正确；

C. 存在 9 种不同环境的氢原子，则核磁共振氢谱有 9 组峰，如图所示：

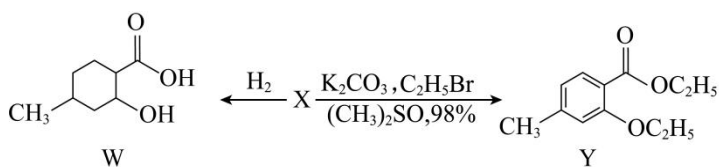


确；

D. 酰胺基能和氢氧化钠溶液反应，1mol 该化合物含有 2mol 酰胺基，最多消耗 2molNaOH，D 正确；

故选 A。

6. （2025 枣庄一模，7）下列关于 X 的反应说法错误的是



A. W 的分子式为 $C_8H_{14}O_3$

B. 有机物 X 能通过缩聚反应合成高分子化合物

C. Y 与足量 H_2 反应生成的有机物中含 3 个不对称碳原子

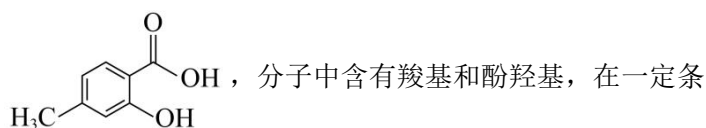
D. 等物质的量的 W、X、Y 分别与足量 NaOH 溶液反应消耗 NaOH 的物质的量之比为 1：2：2

【答案】D

【解析】

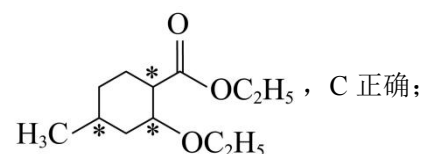
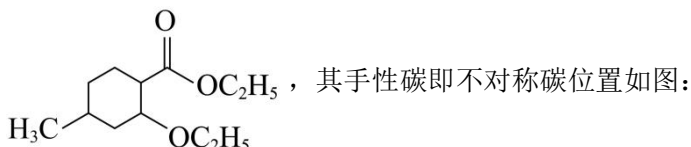
【详解】A. 根据 W 的结构可知，其分子式为 $C_8H_{14}O_3$ ，A 正确；

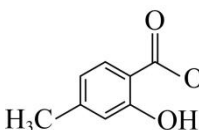
B. 有机物 X 是 Y 物质水解生成的产物，X 结构式为：



条件下可以发生缩聚反应合成高分子化合物，B 正确；

C. Y 与足量 H_2 反应生成的有机物是

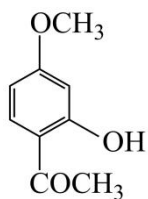


D. 若三种物质均为 1mol ，W 含有一个羧基，可以消耗 1molNaOH ；X 的结构为 ，含有一个

羧基和一个酚羟基，消耗 2molNaOH ；Y 物质含有一个酯基，水解生成羧酸钠和乙醇，只消耗 1molNaOH ，醚键在碱性情况下不水解，不消耗氢氧化钠，所以消耗 NaOH 的物质的量之比为 $1:2:1$ ，D 错误；

故选 D。

7. (2025 菏泽一模，7) 从牡丹中提取的丹皮酚可缓解骨关节引起的疼痛，其结构简式如图所示。下列关于丹皮酚的说法错误的是



- A. 所有碳原子可能共平面 B. 可与溴水发生取代反应
C. 可与 Na_2CO_3 溶液反应产生 CO_2 D. 可形成分子内氢键和分子间氢键

【答案】C

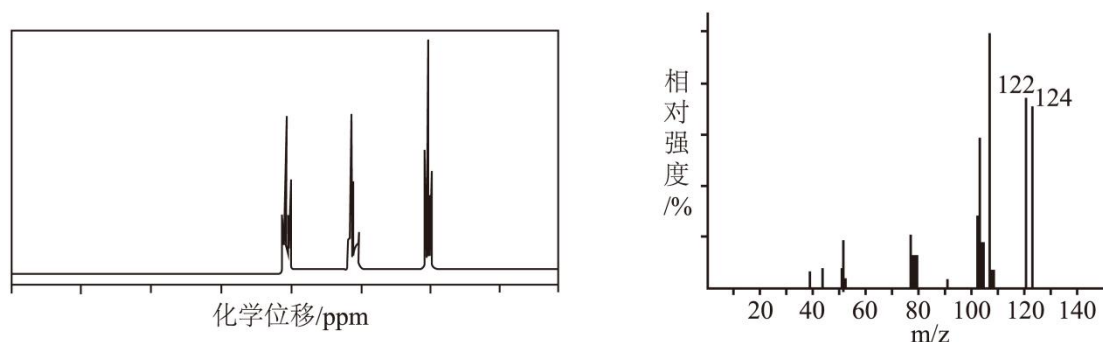
【详解】A. 苯环及其带有的酮基 ($-\text{COCH}_3$) 均为平面结构，甲氧基 ($-\text{OCH}_3$) 所带的那个碳尽管为 sp^3 杂化，但在高中化学层面通常认为整个分子骨架的碳原子可以近似共平面，故 A 正确；

B. 酚羟基使苯环邻、对位活化，能够与溴水发生取代反应，B 正确；

C. 从结构看，丹皮酚为酚类化合物，酚羟基虽有一定酸性，但一般“酚”并不足以将碳酸盐中的 CO_2 置换出来（只有酸性比 H_2CO_3 更强的酸才能与 Na_2CO_3 反应放出 CO_2 ），C 错误；

D. 丹皮酚分子中酚羟基与酮羰基在邻位，可形成分子内氢键，同时酚羟基还能与其它分子间形成氢键，D 正确；
故选 C。

8. (2025 济南一模，7) 某有机物 M 含 3 种元素，核磁共振氢谱图和质谱图如图所示，常见有机物中部分元素同位素的天然丰度如表所示。



常见有机物中部分元素同位素的天然丰度

核素	天然丰度	核素	天然丰度

^{32}S	95%	^{34}S	0.204%
^{35}Cl	75.8%	^{37}Cl	24.2%
^{79}Br	50.54%	^{81}Br	49.46%

已知：质谱中与同位素离子相对应的峰称为同位素离子峰，其强度通常与对应同位素的相对丰度成正比；同位素离子峰可鉴定分子中含有的 Cl、Br、S 等原子。下列关于 M 的说法正确的是

- A. M 含有 C、H、S 三种元素
- B. M 在浓硫酸作用下，消去后的有机产物有一种
- C. M 经消去、加成、取代后的产物，一定不能用于制备有机高分子化合物
- D. 在加热条件下，用发烟硝酸和 AgNO_3 定量检测 M 中的官能团

【答案】D

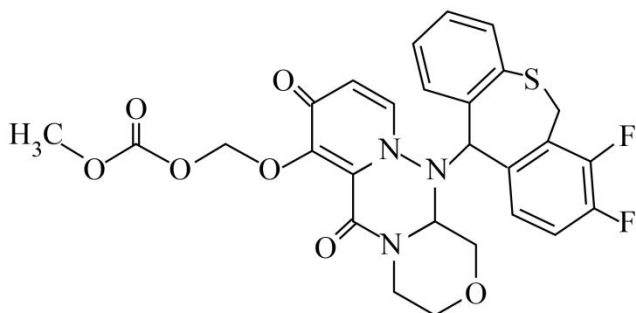
【解析】

【分析】根据核磁共振氢谱图知，含有三种氢原子且氢原子个数之比为 2:2:3，同位素离子峰的强度通常与对应同位素的相对丰度成正比，相对强度知，同位素的质量数相差 2，且相对强度相差较小，根据表中数据知，有机物 M 中含有的元素为 C、H、Br，相对分子质量为 124 时，只能含有 1 个 ^{81}Br ，结合核磁共振氢谱图知，结构简式为 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ ；

【详解】A. 通过以上分析知，M 中含有 C、H、Br 三种元素，故 A 错误；
 B. M 发生消去反应需要的条件是 NaOH 的醇溶液、加热，在浓硫酸作用下不能发生消去反应，故 B 错误；
 C. M 发生消去反应生成 $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$ ， $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$ 和溴发生加成反应生成 $\text{BrCH}_2\text{CHBrCH}_3$ ， $\text{BrCH}_2\text{CHBrCH}_3$ 发生水解反应(也是取代反应)生成 $\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ， $\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ 能和多元羧酸发生缩聚反应生成高分子化合物，所以 M 经消去、加成、取代后的产物，能用于制备有机高分子化合物，故 C 错误；
 D. 发烟硝酸和 M 反应生成 HBr，HBr 能和 AgNO_3 溶液反应生成 AgBr 淡黄色沉淀，所以在加热条件下，用发烟硝酸和 AgNO_3 定量检测 M 中的官能团，故 D 正确；

答案选 D。

9. (2025 淄博一模，8) 药物巴洛沙韦的主要成分 M 的结构如图所示。下列说法错误的是



- A. 可与酸性 KMnO_4 溶液反应
- B. 含有 4 种含氧官能团
- C. 可发生加成反应和取代反应
- D. 在酸性条件下水解的有机产物有 3 种

【答案】D

【详解】A. 该有机物结构中含有的碳碳双键和羟基都可以被酸性 KMnO_4 溶液氧化，因此 M 可与酸性 KMnO_4 溶液反应，A 正确；

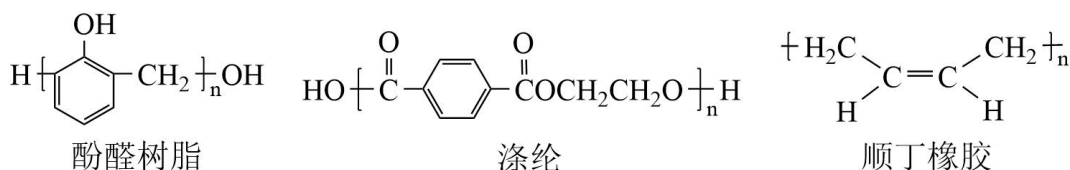
B. 从结构中可知，M 中的含氧官能团有酰胺基、羰基、醚键、酯基 4 种，B 正确；

C. M 结构中含有碳碳双键，可以发生加成反应，同时，结构中有羟基和酯基，可以发生取代反应，C 正确；

D. M 结构中含有酯基，在酸性条件下水解，生成物为 CH_3OH 、 H_2CO_3 和另一种醇，有机产物有 2 种，D 错误；

答案选 D。

10. (2025 菏泽一模，8) 关于下列三种常见高分子材料的说法正确的是



A. 通过红外光谱法测定酚醛树脂的平均相对分子质量，可得其链节数

B. 涤纶是对苯二甲酸和乙二醇通过缩聚反应得到的

C. 顺丁橡胶的单体与反-2-丁烯互为同分异构体

D. 顺丁橡胶、涤纶和酚醛树脂都属于天然高分子材料

【答案】B

【详解】A. 红外光谱能够测定有机分子的化学键或官能团，红外光谱无法测定酚醛树脂的平均相对分子质量，故 A 错误；

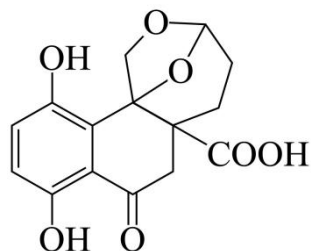
B. 由涤纶的结构可知，其单体为对苯二甲酸和乙二醇，两者通过酯化反应缩聚成涤纶，故 B 正确；

C. 顺丁橡胶的单体为 1,3-丁二烯，分子式为 C_4H_6 ，反-2-丁烯分子式为 C_4H_8 ，两者分子式不同，不是同分异构体，故 C 错误；

D. 顺丁橡胶、涤纶和酚醛树脂都属于人工合成高分子材料，故 D 错误；

故答案为 B。

11. (2025 青岛一模，9) 灵芝提取物 M 具有重要医用价值，其结构简式如图所示。下列关于 M 说法错误的是



A. 可形成分子内氢键和分子间氢键

B. 分子式为 $\text{C}_{15}\text{H}_{14}\text{O}_7$

C. 分子中含 3 个手性碳原子

D. 1mol M 最多能与 3mol NaHCO_3 反应

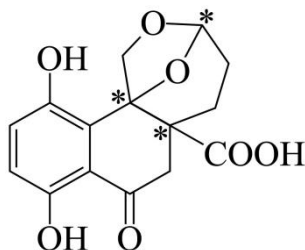
【答案】D

【解析】

【详解】A. 该分子含有氧原子，具有孤电子对，分子中的羟基和羧基能够与氧原子形成分子内氢键和分子间氢键，故 A 正确；

B. 根据分子结构可知分子式为 $C_{15}H_{14}O_7$ ，故 B 正确；

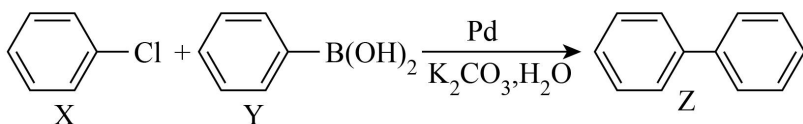
C. 分子中具有 3 个手性碳原子：(*标记)，故 C 正确；



D. 只有羧基可以和碳酸氢钠反应，因此 1mol M 最多能与 1mol NaHCO_3 反应，故 D 错误；

故答案为 D。

12. (2025 济宁一模, 11) (不定项) 某心脑血管药物合成的过程中存在以下重要步骤。以下说法错误的是



A. 实验室可用苯与氯水、铁粉制备 X

B. Y 中 B 原子的杂化方式为 sp^2

C. Z 中所有原子可共平面

D. Z 的二氯代物有 12 种

【答案】A

【解析】

【详解】A. 氯苯用氯气与苯在铁粉催化剂作用下反应生成，不能用氯水，A 错误；

B. Y 中 B 原子的成键电子对为 3，B 原子最外层有 3 个价电子，全部成键，没有孤电子对，杂化方式为 sp^2 ，B 正确；

C. Z 结构中苯环上所有原子可以共面，单键可以旋转，所有原子可共平面，C 正确；

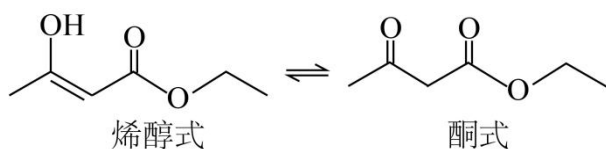
D. Z 的二氯代物有： 共 $7+4+1=12$ 种，

D 正确；

答案选 A。

二、有机反应

1. (2025 淄博一模, 7) 乙酰乙酸乙酯(K)的酮式与烯醇式互变异构过程如图所示：



下列说法错误的是

- A. 通过质谱可测定 K 分子的相对分子质量
- B. 通过红外光谱可测定 K 分子的分子式
- C. 通过紫外光谱可测定 K 分子中有无共轭结构
- D. 通过核磁共振氢谱可测定 K 分子中有几种化学环境的氢原子

【答案】B

【详解】A. 质谱仪通过质荷比的数值可以确定有机化合物的相对分子质量，通过质谱图最右边的分子离子峰推测待测物质的相对分子质量，A 正确；

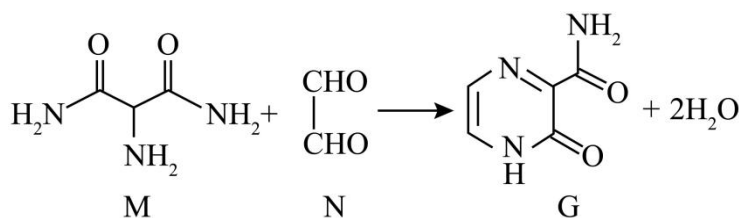
B. 有机物的红外光谱图可以获得分子中所含化学键和官能团的信息，不能确定分子式，B 错误；

C. 通过紫外光谱可以测知有机物所含的共轭结构，C 正确；

D. 核磁共振氢谱吸收峰的数目等于有机物分子中 H 原子种类，H 原子数目之比等于对应峰的面积之比，可以推知有机物分子中有几种不同类型的氢原子及它们的数目，D 正确；

故选：B。

2. (2025 烟台德州东营一模，8) M 与 N 反应可合成某种药物中间体 G。下列说法正确的是



- A. 该反应类型是消去反应
- B. N 分子可形成分子间氢键
- C. 一定条件下，G 完全水解可得到 M 和 N
- D. 1mol G 与足量的 NaOH 溶液反应，最多反应 2mol NaOH

【答案】D

【解析】

【详解】A. 消去反应在一定条件下有机化合物脱去小分子并形成不饱和键，该反应类型不是消去反应，A 错误；

B. N 分子含醛基，氢原子与碳原子相连，不可形成分子间氢键，B 错误；

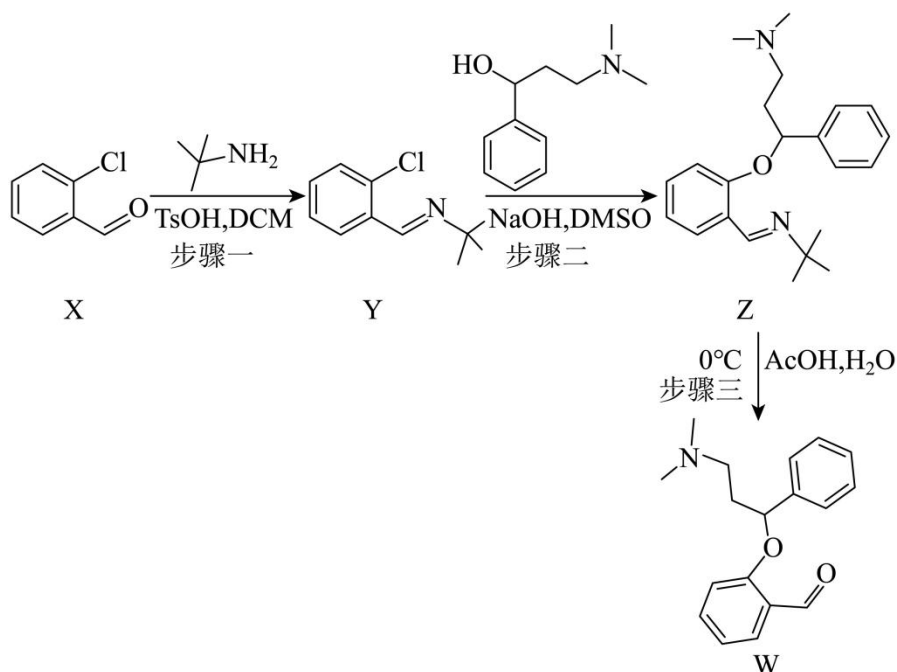
C. 一定条件下，G 水解可得到 N 和 M，M 可以继续水解，故 G 完全水解得不到 M，C 错误；

D. G 有两个酰胺键，水解后得到 2 个羧基，1mol G 与足量的 NaOH 溶液反应，最多反应 2mol NaOH，D 正确；

故选 D。

3. (2025 济南一模，8) 席夫碱指含有亚胺或甲亚胺特性基团($\begin{array}{c} \text{—C=N—} \\ | \\ \text{R} \end{array}$)的一类有机化合物。下图是一种席夫

碱合成及应用，下列说法错误的是



- A. 步骤一先发生加成再发生消去反应得 Y
- B. 用紫外和可见光谱可判断 Y 分子结构中共轭程度的大小
- C. Z 与足量 H_2 反应，产物中含有 3 个手性碳原子
- D. W 分子中除 H 原子外其他原子可能共平面

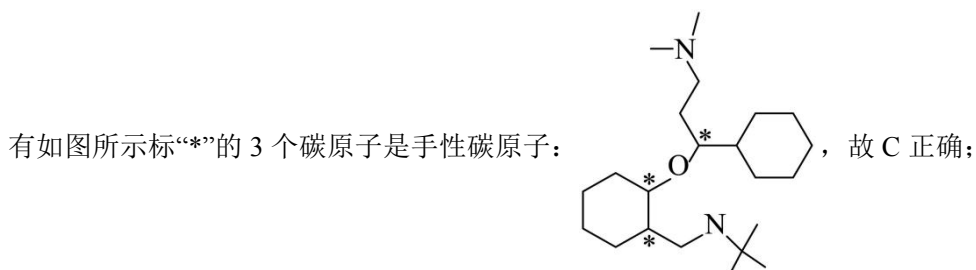
【答案】D

【解析】

【详解】A. 对比结构可知，氨基与醛基之间先发生加成反应，然后生成的羟基再脱水形成碳碳双键，即发生消去反应，故 A 正确；

B. 用紫外和可见光谱可判断分子结构中共轭程度的大小，故 B 正确；

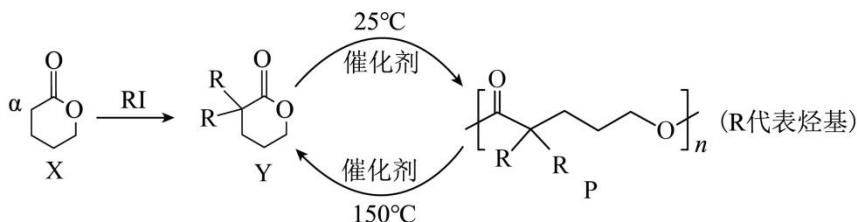
C. 分子中苯环、碳氮双键能与氢气发生加成反应，而连接 4 个不同原子或基团的碳原子是手性碳原子，加成产物



D. 分子中存在 $\begin{array}{c} \text{N} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \quad \text{C} \quad \text{C} \end{array}$ 结构，其空间构型为三角锥形，N 原子及其连接的 3 个碳原子一定不共平面，故 D 错误；

故选：D。

4. （2025 淄博一模，12）（不定项）我国科学家开发出具有优异物理性能的新一代可循环聚酯塑料 P，其合成路线如下。下列说法错误的是



- A. $X \rightarrow Y$ 的反应属于加成反应
- B. X 中的官能团提高了 $\alpha-H$ 的活泼性
- C. 25°C 时 Y 缩聚为 P, 150°C 时 P 水解为 Y
- D. 调控烃基链的长度可影响聚酯塑料的物理性能

【答案】AC

【解析】

【详解】A. 由 X、Y 的结构可知, $X \rightarrow Y$ 的反应为 -R 取代了 X 中的 2 个 $\alpha-H$ 原子, 属于取代反应, A 错误;

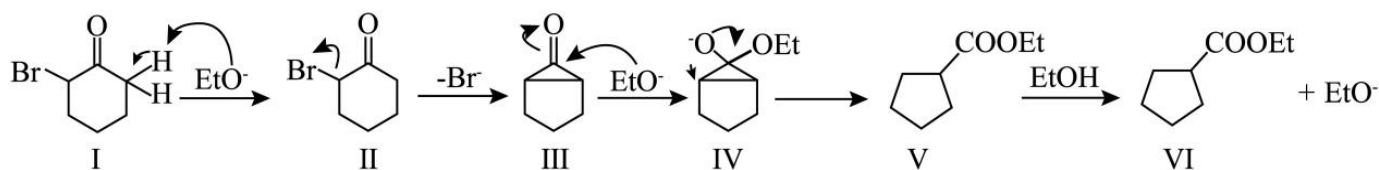
B. X 中的官能团(酯基)对相邻位置的 $\alpha-H$ 的活泼性有影响, 提高了 $\alpha-H$ 的活泼性, B 正确;

C. 由图可知, 25°C 时 Y 聚合为 P, 150°C 时 P 水解先生成 $\text{HO}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}(\text{R})_2-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$, 再发生酯化反应生成 Y, C 错误;

D. 在聚合物中, 调控烃基链的长度, 可以改变聚酯塑料的相对分子质量, 影响分子间的作用力等性质, 从而影响聚酯塑料的物理性能, 如柔韧性、硬度等, D 正确;

故选 AC。

5. (2025 烟台德州东营一模, 12) (不定项) Favorskii 重排是 α -卤代酮在醇钠的醇溶液中加热重排生成含相同碳原子数羧酸酯的反应, 若为环状 α -卤代酮, 则导致环缩小, 历程如图(-Et 代表乙基)。下列说法错误的是



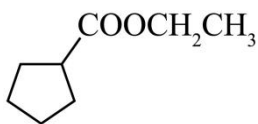
- A. 物质 I 可发生消去、取代、还原反应
- B. 物质 VI 含有 4 种不同化学环境的氢原子
- C. 根据红外光谱可区分 I 和 VI

D. 和 发生上述反应生成的产物一定不同

【答案】BD

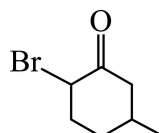
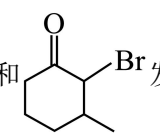
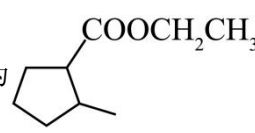
【解析】

【详解】A. 物质 I 中含有羰基, 可以和 H_2 发生还原反应, 含有溴原子且与溴原子相连碳原子的相邻碳原子上连有氢原子, 可以发生消去和取代反应, A 正确;

B.  是对称的结构，物质 VI 含有 5 种不同化学环境的氢原子，B 错误；

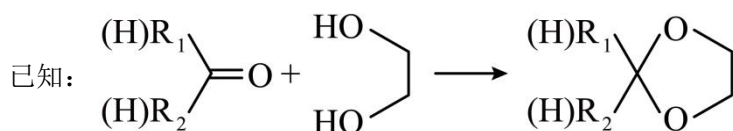
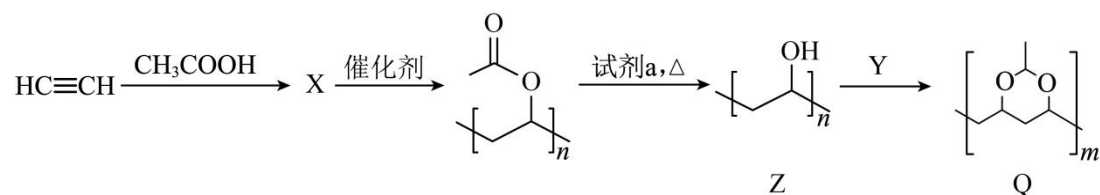
C. I 为酮，VI 为酯，二者含有不同的官能团，在红外光谱中峰位置明显不同，根据红外光谱可区分 I 和 VI，C 正确；

D. Favorskii 重排是 α -卤代酮在醇钠的醇溶液中加热重排生成含相同碳原子数羧酸酯的反应，若为环状 α -卤代酮，

则导致环缩小， 和  发生上述反应生成的产物可能相同为 ，D 错误；

故选 BD。

6. (2025 潍坊一模, 12) (不定项) 高分子材料 Q 的一种合成路线如下：



下列说法正确的是

A. 生成 X 的反应类型为加成反应

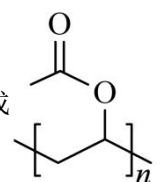
B. Y 是 CH_3COCH_3

C. X 分子中最多有 10 个原子共平面

D. 生成 Q 的反应中 Z 与 Y 的物质的量之比为 2:1

【答案】AC

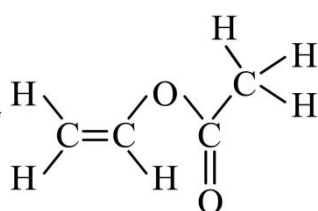
【解析】

【分析】合成路线中乙炔和乙酸反应生成 X，X 在催化剂的作用下生成 ，则 X 为乙炔和乙酸发生加成

反应生成的 $\text{CH}_2=\text{CHOOCCH}_3$ ，Z 和 Y 生成 Q，结合已知中所给信息及 Q 的结构知，Y 为 CH_3CHO (乙醛)。

【详解】A. 结合分析知，乙炔和乙酸加成生成 X: $\text{CH}_2=\text{CHOOCCH}_3$ ，即反应类型为加成反应，A 正确；

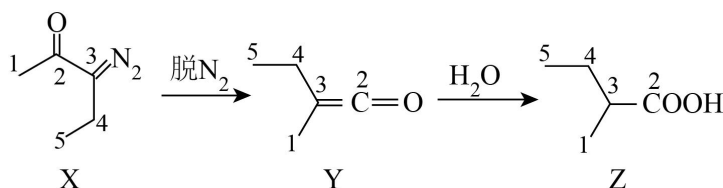
B. 由分析知，Y 为 CH_3CHO (乙醛)，B 错误；

C. X 为 $\text{CH}_2=\text{CHOOCCH}_3$ ，其结构式为 ，除去甲基($-\text{CH}_3$)中的 2 个 H，剩余的 10 个原子均可能共平面，C 正确；

D. 1 个 Z 中含有 n 个羟基(-OH)，每 2 个羟基和 1 个乙醛生成 Q 中的 1 个环，则生成 Q 的反应中单体 Z 与 Y(乙醛)的物质的量之比为 2: n，D 错误；

故选 AC。

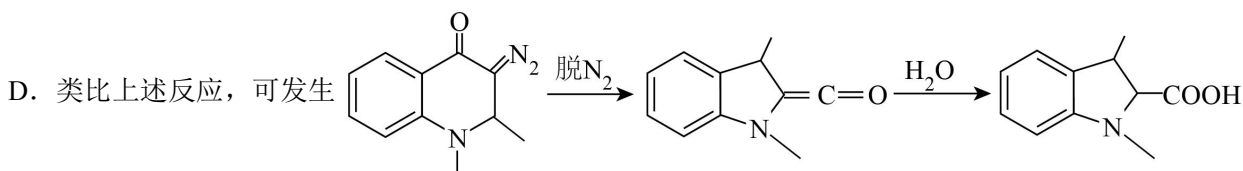
7. (2025 青岛一模, 12) (不定项) 有机物 $X \rightarrow Y \rightarrow Z$ 的转化反应如图所示, 下列说法错误的是



A. X 中 sp^2 与 sp^3 杂化的碳原子数之比为 1:3

B. 除氢原子外, Y 中其他原子可能共平面

C. 利用质谱可测定 Z 的相对分子质量



【答案】AD

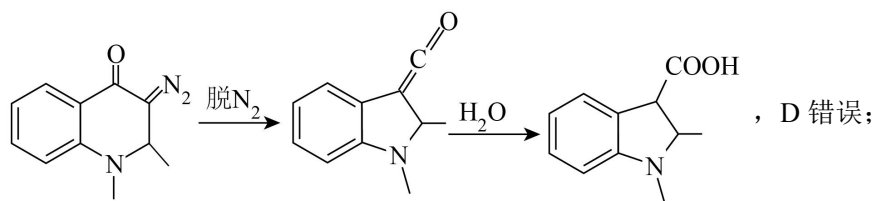
【解析】

【详解】A. X 中形成双键的碳原子为 sp^2 杂化, 共 2 个, 其余碳原子为 sp^3 杂化, 共 3 个, 故 sp^2 与 sp^3 杂化的碳原子数之比为 2:3, A 错误;

B. Y 中 2 号碳原子、3 号碳原子与氧原子通过双键连接而共面, 1, 4, 5 号碳原子均为饱和碳原子, 单键可以旋转到同一平面, 因此 Y 中除氢原子外其他原子可能共面, B 正确;

C. 质谱可测定有机物分子的相对分子质量, 故利用质谱可测定 Z 的相对分子质量, C 正确;

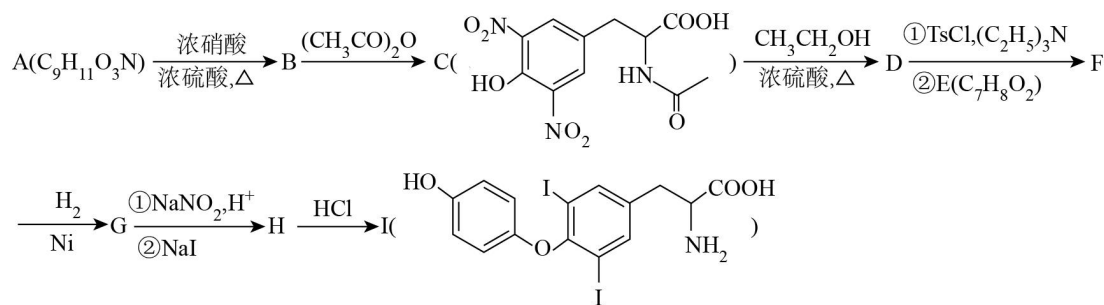
D. 类比上述反应, 反应物先脱去氮气, 再与水反应生成羧基, 可发生



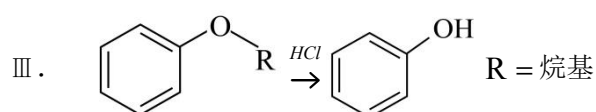
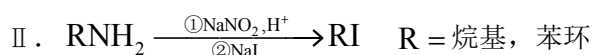
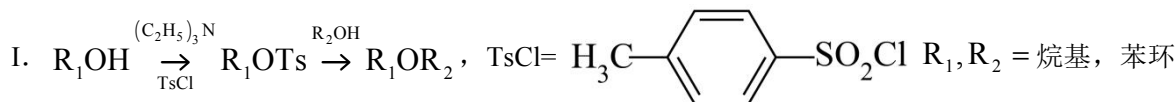
故选 AD。

三、有机推断题 (非选择题)

1. (2025 淄博一模, 18) 激素类药物左旋甲状腺素中间体(I)的合成路线如下:



已知：



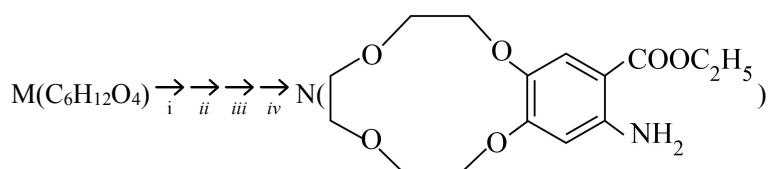
回答下列问题：

(1) A 的结构简式为_____；A 的一种芳香族同分异构体含硝基和 3 种不同化学环境的氢原子(个数比为 6:3:2)，其结构简式为_____ (任写一种)。

(2) $B \rightarrow C$ 的化学方程式为_____；该反应的目的是_____。

(3) $D \rightarrow F$ 加入 $(C_2H_5)_3N$ 作用是_____；E 中含氧官能团名称是_____； $F \rightarrow G$ 反应类型为_____。

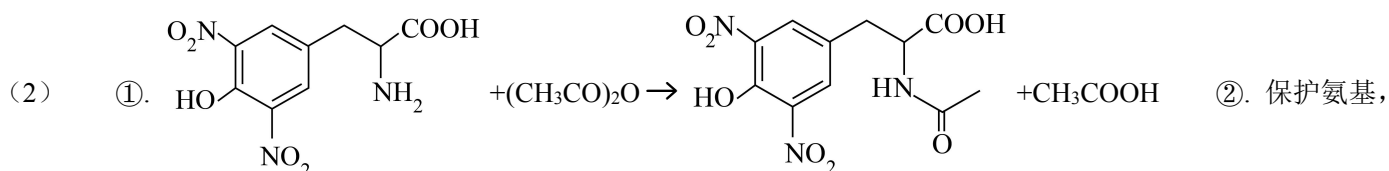
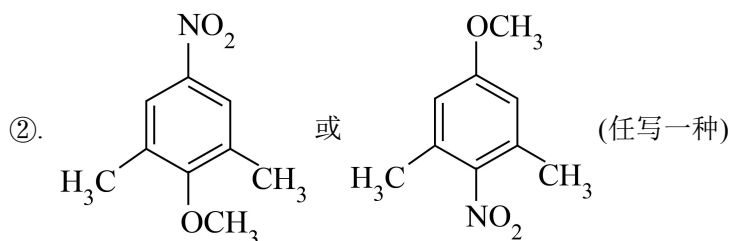
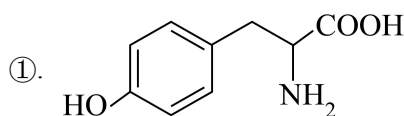
(4) 参考上述路线，化合物 $M(C_6H_{12}O_4) \rightarrow N$ 的合成路线设计如下：



四步反应所需试剂、反应条件为① H_2 / Ni ② 化合物 $X(C_9H_{10}O_4)$ ③ 浓 HNO_3 / 浓 H_2SO_4 、加热 ④ $TsCl$ 、

$(C_2H_5)_3N$ ，则正确的顺序依次为_____ (填标号)。

【答案】(1)

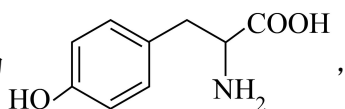


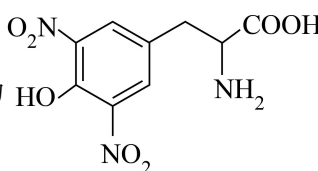
防止被碘取代

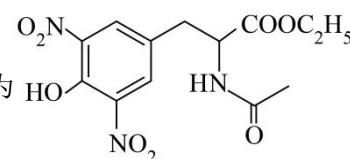
(3) ①. 消耗生成的 HCl, 促进反应正向进行 ②. 醚键、酚羟基 ③. 还原反应

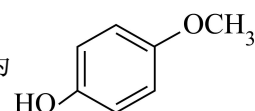
(4) ④②③①

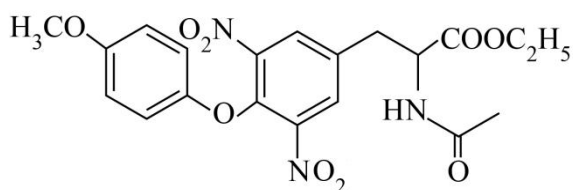
【解析】

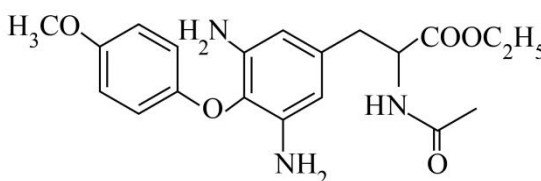
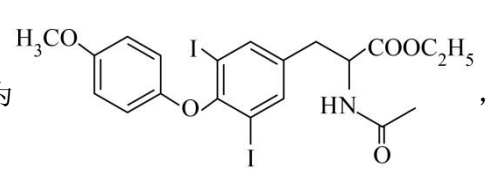
【分析】A 发生硝化反应生成 B, 结合 C 的结构简式和 A 的分子式可知, A 的结构简式为 ,

B 的结构简式为 , B→C 生成酰胺基, C 和乙醇发生酯化反应生成 D, 则 D 的结构简式

为 , D 和 E(C₇H₈O₂)在 (C₂H₅)₃N, TsCl 作用下生成 F, 结合 I 的结构简式, 以及信息

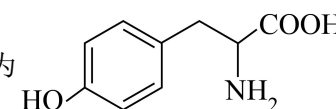
Ⅲ, E 的结构简式为 , 结合已知信息 I, F 的结构简式为

, F 发生还原反应生成 G, G 的结构简式为

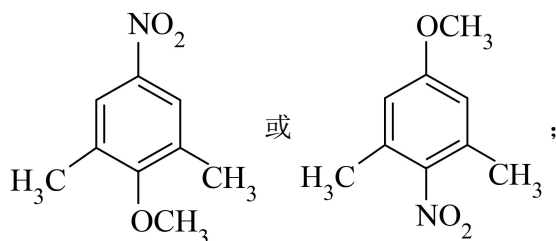
, G 发生信息 II 的反应生成 H 为 ,

H 发生信息 III 的反应, 以及酯基的水解、酰胺基的水解反应生成 I, 据此分析解题。

【小问 1 详解】

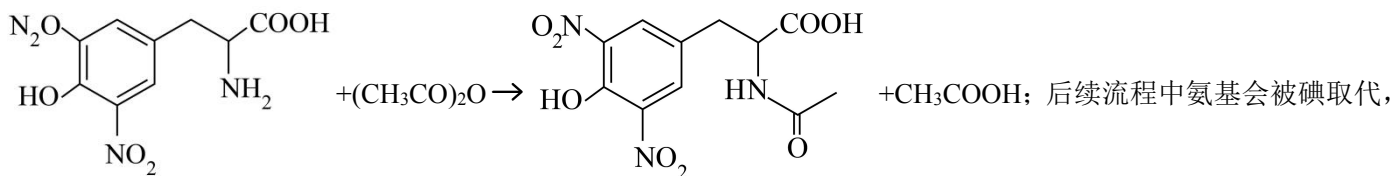
由分析可知, A 的结构简式为 , A 的一种芳香族同分异构体含硝基和 3 种不同化学环境

的氢原子(个数比为 6:3:2), 说明含有两个对称的甲基, 满足条件的同分异构体的结构简式为:



【小问 2 详解】

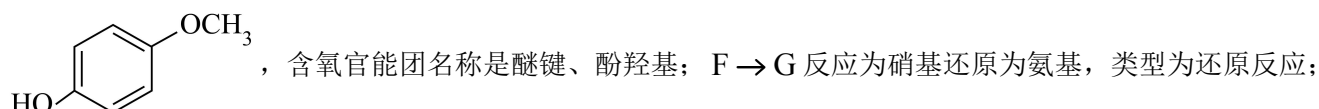
B→C 的反应为氨基和乙酸酐的取代反应生成酰胺基, 化学方程式为



故此步骤的目的是保护氨基；

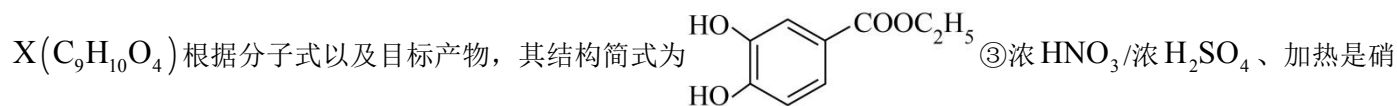
【小问 3 详解】

$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$ 中氮原子有孤对电子，能结合质子， $\text{D} \rightarrow \text{F}$ 第一步发生反应信息 I 的反应 $\text{R}_1\text{OH} \xrightarrow[\text{TsCl}]{(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}} \text{R}_1\text{OTs}$ ，该反应会生成 HCl ，故加入 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$ 作用是消耗生成的 HCl ，促进反应正向进行；有分析可知，E 的结构简式为

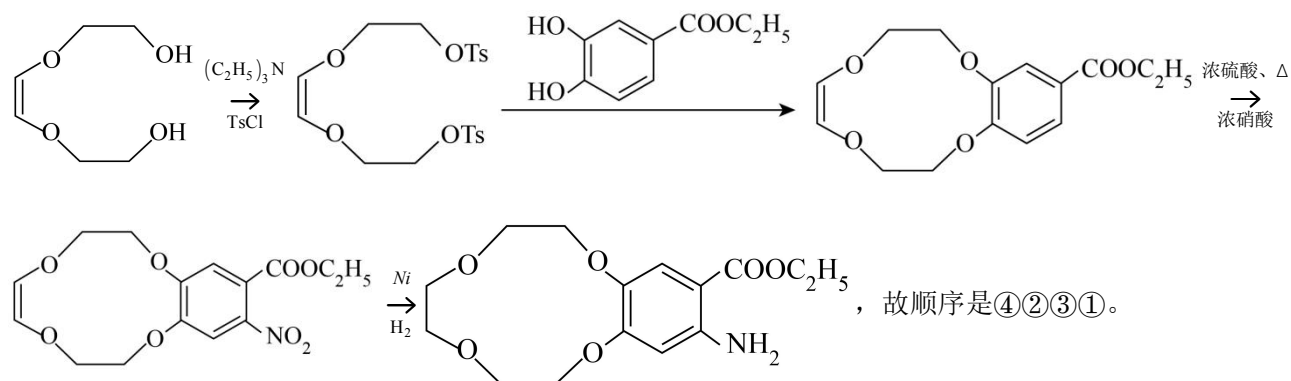
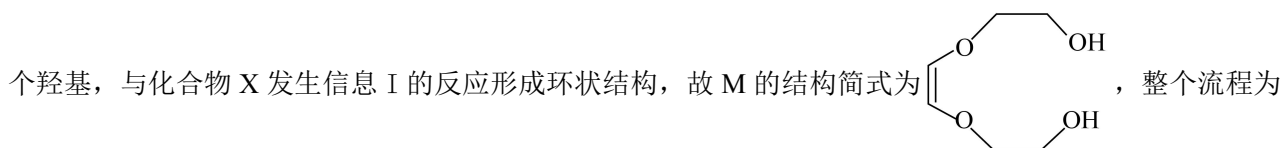


【小问 4 详解】

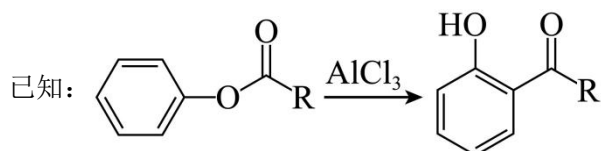
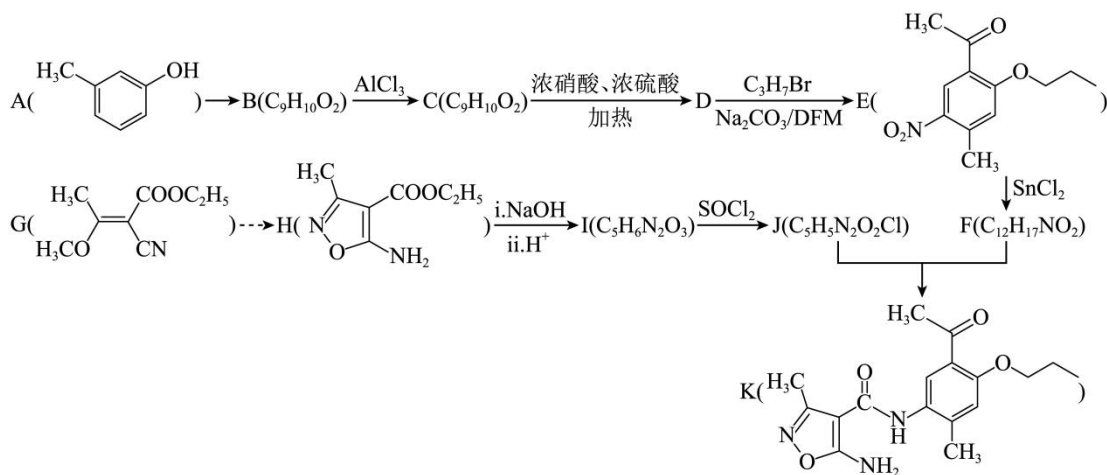
结合已知条件，化合物 $\text{M}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_4)$ ，不饱和度为 1，反应条件为① H_2 / Ni 是还原反应的条件，② 化合物



化反应的条件，④ TsCl 、 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$ 是已知信息 I 两个羟基脱水的条件，故化合物 M 不饱和度为 1，其应含有两



2. (2025 枣庄一模, 19) 化合物 M 是制备某药物的中间体，其合成路线如图所示。回答下列问题：



(1) A 的名称为_____；B→C 过程中有副产物 C'(HO-C₆H₄-C(=O)R)，分离 C 与 C' 的操作为_____，从物质结构角度分析，原因是_____。

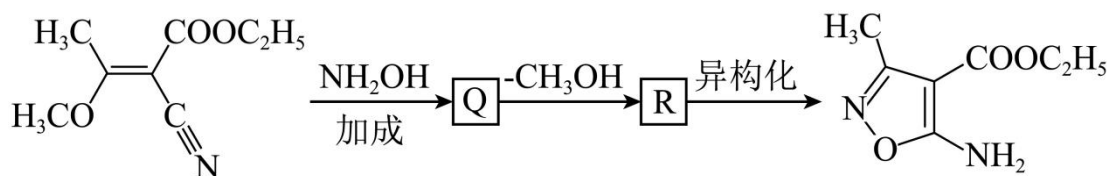
(2) E→F 过程中，Sn²⁺ 转化为 Sn³⁺，n(氧化剂)与 n(还原剂)之比为_____。

(3) J+F→K 的反应方程式_____。

(4) 符合下列条件的 C 的同分异构体有_____种(不考虑立体异构)。

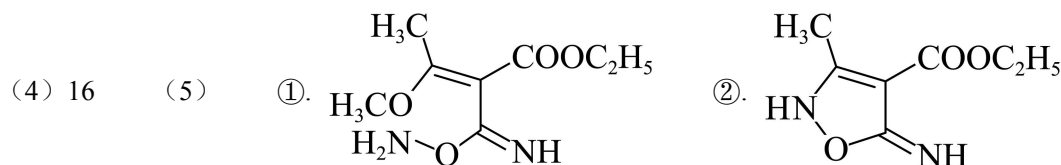
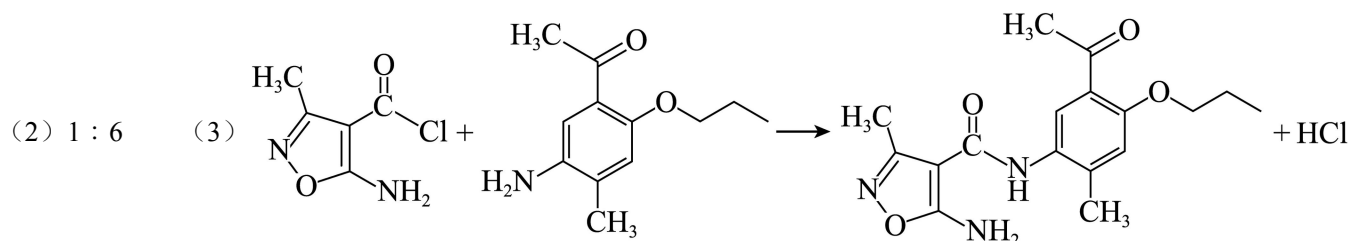
①含不对称碳的芳香族化合物；②能发生银镜反应；

(5) 已知 $\text{—C}(\text{NH}_2)=\text{CH—} \xrightleftharpoons{\text{异构化}} \text{—C}(\text{NH})=\text{CH}_2\text{—}$ 。由 G 经三步转化到 H，路线如下：

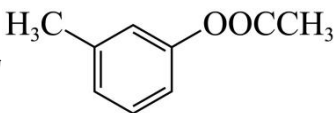


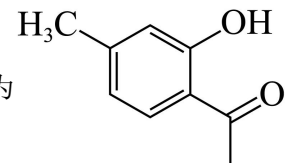
其中第一步 NH₂OH 只断裂氧氢键，中间产物 Q、R 的结构简式分别为_____、_____。

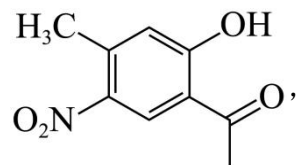
【答案】 (1) ①. 3-甲基苯酚 ②. 蒸馏 ③. C 能形成分子内氢键，C' 能形成分子间氢键，不能形成分子内氢键，沸点相差较大

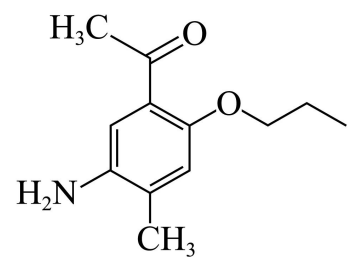
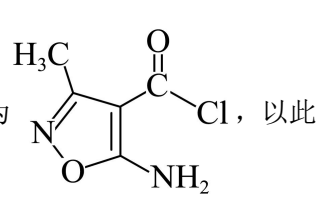


【解析】

【分析】结合 A 的结构简式，B 的分子式可知，A→B 为 A 和乙醇的酯化反应，B 为 ，

根据已知信息，结合 E 的结构简式可知，C 为 ，C→D 为硝化反应，结合 E 的结构简式可知 D

为，，D→E 为 D 中酚羟基上的氢和 1—溴丁烷的取代反应，结合 F 的分子式和 K 的结构简

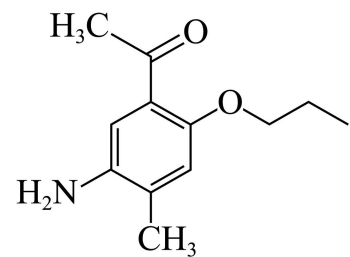
式可知，F 为：，结合 J 的分子式和 K 的结构简式可知，J 为 ，以此

解题。

【小问 1 详解】

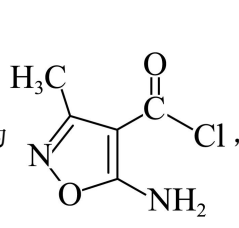
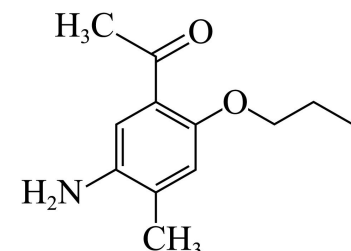
结合 A 的结构简式可知，A 的名称为：3-甲基苯酚；根据 C' 的结构简式可知，其可以形成分子间氢键，根据 C 的结构简式可知，其可以形成分子内氢键，则 C' 沸点较高，故分离 C 与 C' 的操作为：蒸馏；原因是：C 能形成分子内氢键，C' 能形成分子间氢键，不能形成分子内氢键，沸点相差较大；

【小问 2 详解】

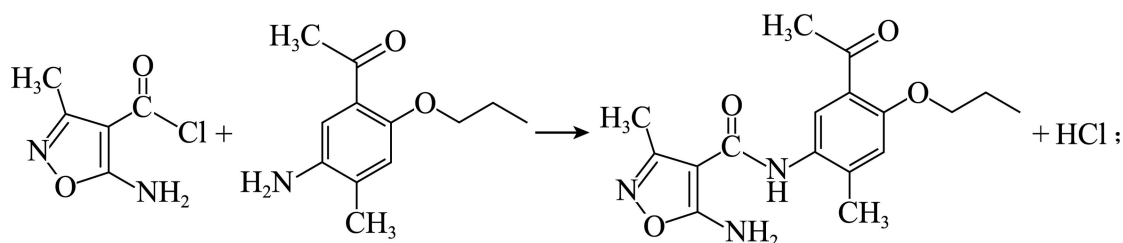
F 的结构简式为：，则 E→F 变化时，E 中的硝基变为 F 中的氨基，其中 N 的化合价降

低 6，此时 E 为氧化剂， Sn^{2+} 为还原剂， Sn^{2+} 转化为 Sn^{3+} 失去 1 个电子，根据得失电子守恒可知，E→F 过程中， Sn^{2+} 转化为 Sn^{3+} ，n(氧化剂)与 n(还原剂)之比为 1 : 6；

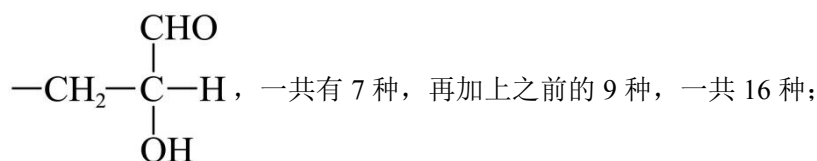
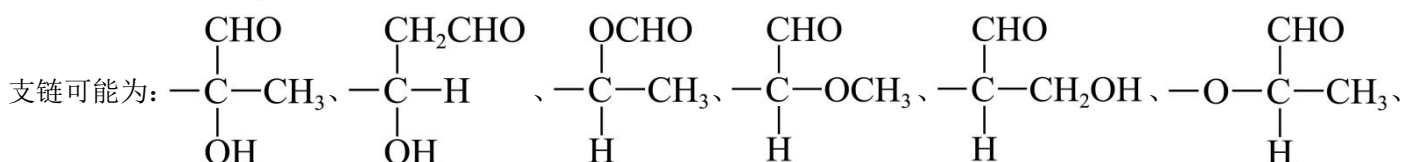
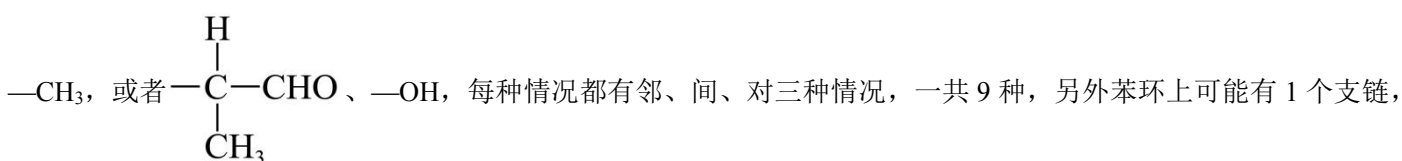
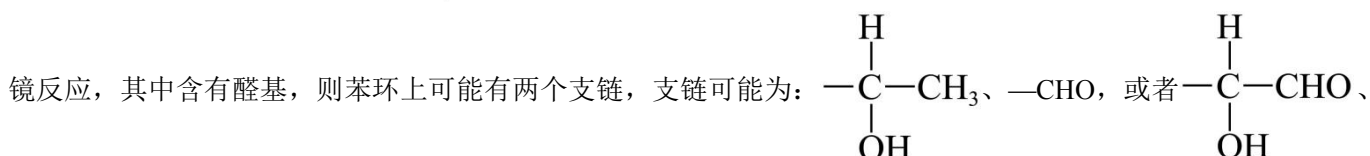
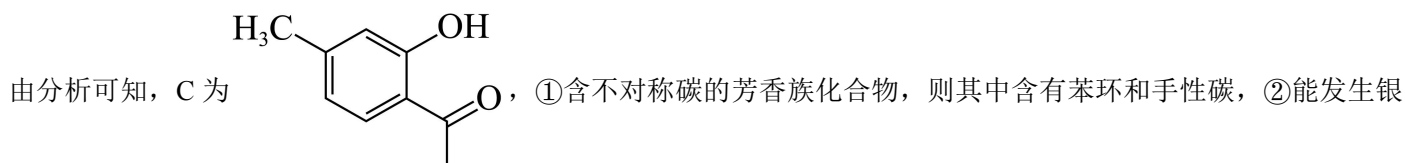
【小问 3 详解】

由分析可知，J 为 ，F 为：，J+F→K 为 J 中酰氯上的氯和 F 中氨基上

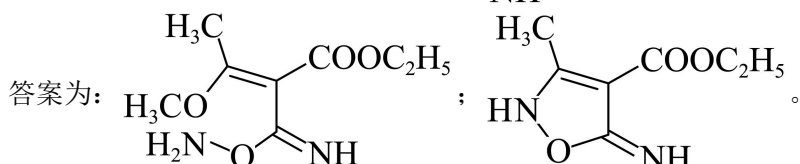
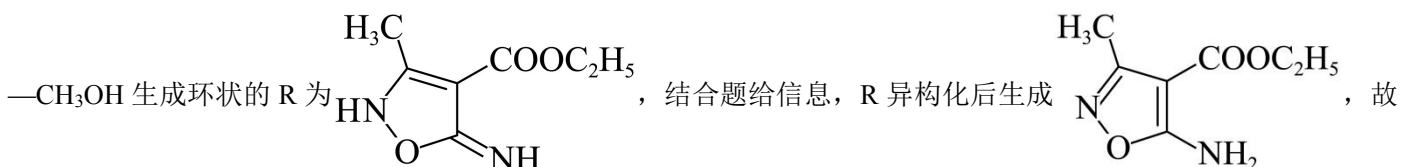
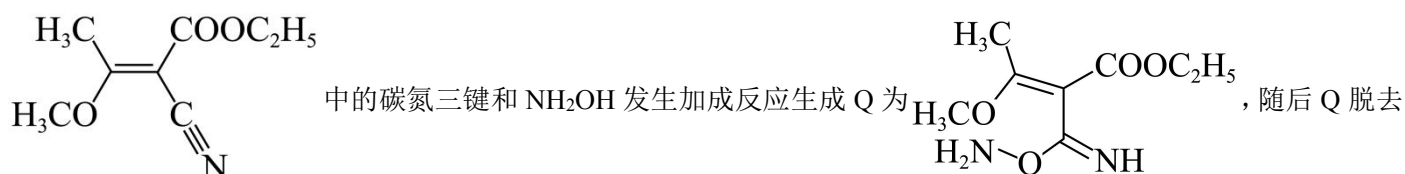
的氢发生的取代反应，方程式为：



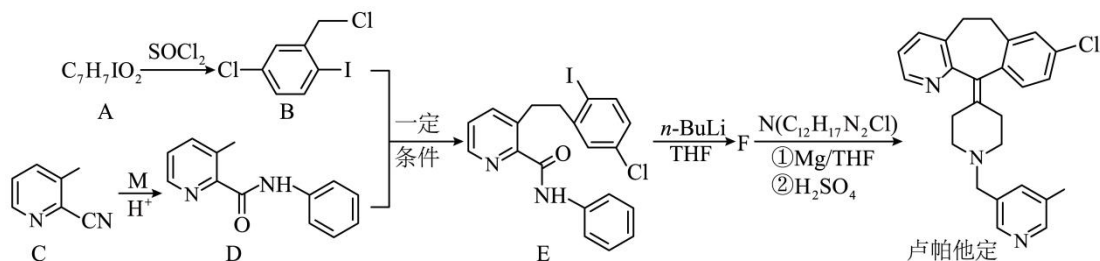
【小问 4 详解】



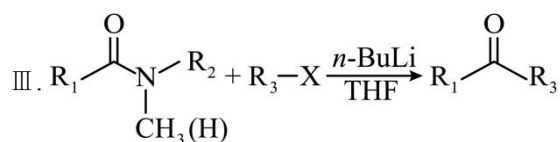
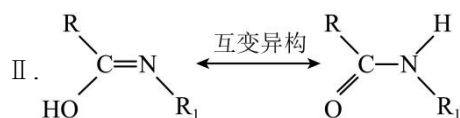
【小问 5 详解】



3. （2025 烟台德州东营一模，18）抗过敏药卢帕他定的一种合成路线如下：



已知：I. $\text{ROH} \xrightarrow{\text{SOCl}_2} \text{RCl}$;

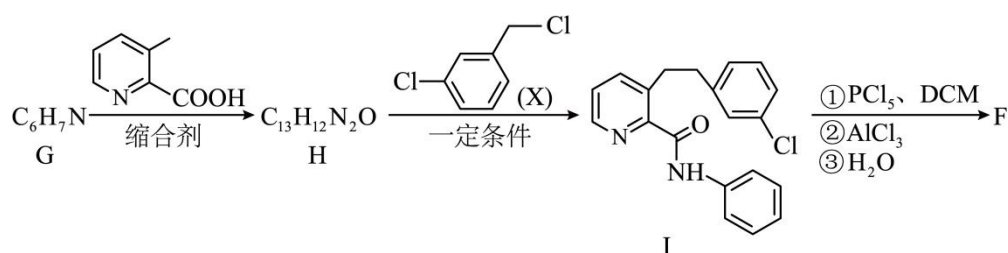


回答下列问题：

(1) A 中碳原子的杂化方式为_____，M 的名称为_____，C→D 发生了_____ (填反应类型)、互变异构的转化。

(2) E→F 的化学方程式为_____，N 的结构简式为_____。

(3) 化合物 G(C₆H₇N)也可用于合成中间体 F，合成路线如下：



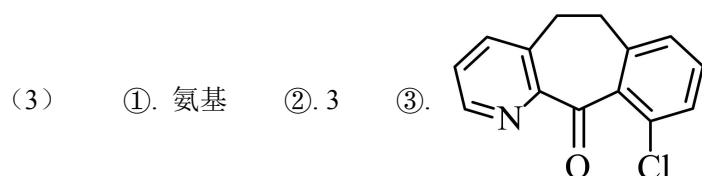
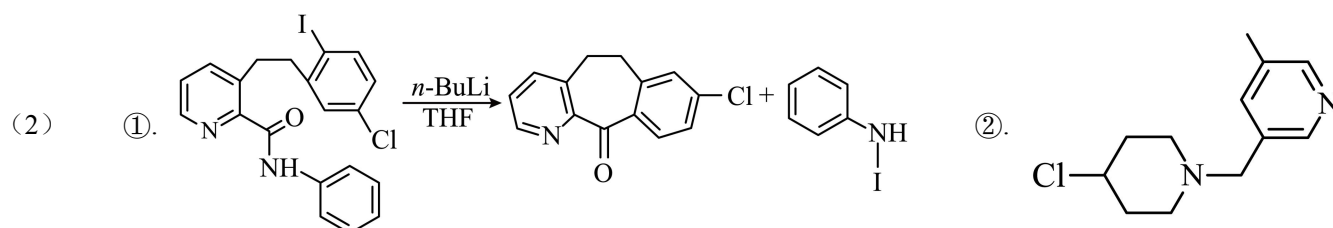
①G 中官能团的名称为_____。

②X 经一系列反应后得到 Y(分子式为 C₇H₈O₂)，符合下列条件 Y 的同分异构体有_____种。

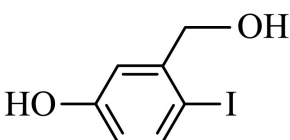
i. 能使 FeCl₃ 溶液显紫色； ii. 核磁共振谱有 4 组峰且峰面积比为 3: 2: 2: 1。

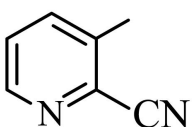
③I→F 中除生成 F 和 G 外，还能生成一种含有七元环的副产物 K，其结构简式为_____。

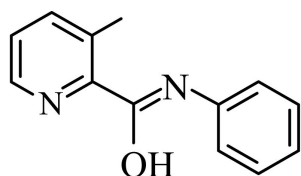
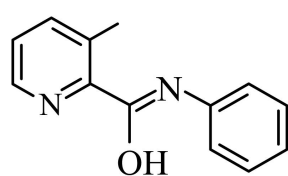
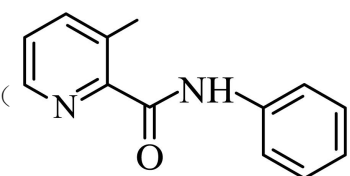
【答案】 (1) ①. sp²、sp³ ②. 苯酚 ③. 加成反应



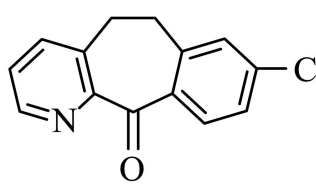
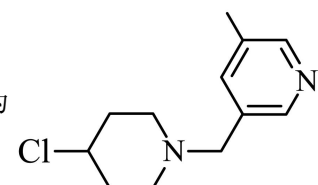
【解析】

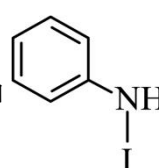
【分析】根据信息 I 和化合物 B 的结构可知 A 为 ，A 与 SOCl_2 发生取代反应生成 B；根据

信息 II 和 C、D 的结构为可知 $\text{C} \rightarrow \text{D}$ 的反应为：C () 首先与苯酚发生加成反应生成

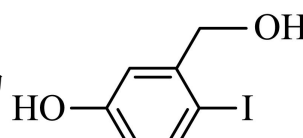
，然后  发生互变异构生成 D ()；B

和 D 在一定条件下发生取代反应生成 E 和 HCl ；根据目标产物的结构及 N 的分子式可知，F 为

，N 为 ，则 E 在 $n\text{-BuLi}$ (正丁基锂) 的作用下发生分子内的

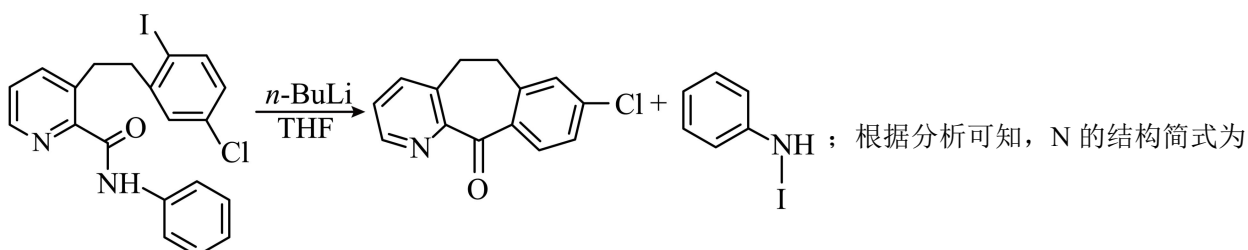
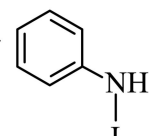
取代反应生成 F 和 ，F 与 N 发生取代反应生成目标产物卢帕他定。据此解答：

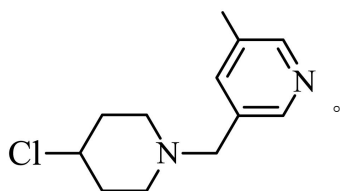
【小问 1 详解】

根据分析，A 为 ，其碳原子的杂化方式为 sp^2 、 sp^3 ，C 与苯酚反应得到 D，因此 M 为的名称为苯酚， $\text{C} \rightarrow \text{D}$ 发生了加成反应、互变异构的转化。

【小问 2 详解】

根据信息 III 可知， $-\text{CO}-\text{NH}-$ 与 $\text{C}-\text{X}(\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I})$ 在 $n\text{-BuLi}$ (正丁基锂) 的作用下生成 $-\text{CO}-\text{C}-$ 和 $-\text{NH}-\text{X}$ ，根据分析可知， $\text{E} \rightarrow \text{F}$ 在 $n\text{-BuLi}$ (正丁基锂) 的作用下发生分子内的取代反应，则化学方程式为

；根据分析可知，N 的结构简式为 



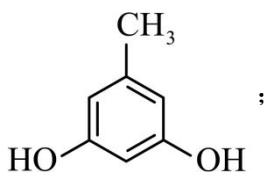
【小问 3 详解】

根据 I 的结构以及 $G \rightarrow H \rightarrow I$ 反应中试剂的结构可推测 G 为苯胺，其中官能团的名称为氨基；

X 的分子式为 $C_7H_6Cl_2$ ，Y 的分子式为 $C_7H_8O_2$ ，可知 $X \rightarrow Y$ 为 2 个 Cl 被 2 个 OH 取代，产物 Y 为 。

Y 的同分异构体能使 $FeCl_3$ 溶液显紫色，且核磁共振谱有 4 组峰且峰面积比为 3:2:2:1，则含有甲基和酚羟基，

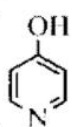
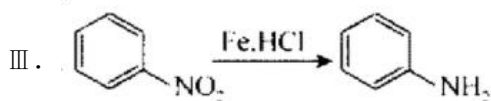
且具有对称结构，因此满足条件的 Y 的同分异构体共有 3 种：、、



苯环上有氯取代基后再发生反应易发生在氯的邻、对位， $I \rightarrow F+G$ 为 I 中 Cl 的对位发生取代反应，因此另一种含有

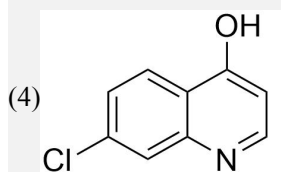
七元环的副产物 K 的生成反应为 Cl 的邻位发生取代反应，故 K 的结构简式为 。

4. （2025 泰安一模，20）一种抗病毒药物的合成路线如下：


$$\text{II. } \textcircled{1} \text{CH}_3\text{COOH} \xrightarrow[\Delta]{\text{NaOH, CaO}} \text{CH}_4 \quad \textcircled{2} \text{ROH} \xrightarrow[95-105^\circ\text{C, 4h}]{\text{POCl}_3, \text{PhMe}} \text{RCl}$$


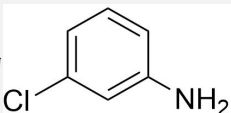
(5)符合下列条件的 F 的同分异构体有_____种。

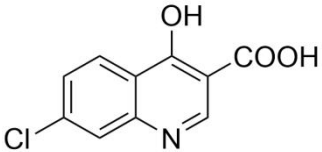
(3) 

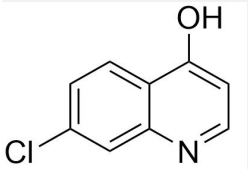


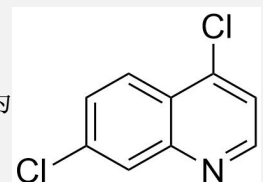
(5)20

【分析】A 的分子式为 C_6H_6NCl ，结合 B 的结构简式可知，A 的两个取代基分别为 $-Cl$ 、 $-NH_2$ ，且处于间位，则 A

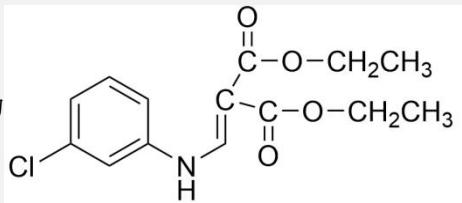
的结构简式为 ，D 在氢氧化钠溶液中发生酯基的水解反应，再酸化得到 E 为

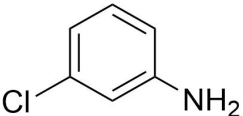
，E 在 $NaOH \cdot CaO$ 加热条件下生成 F，结合已知信息 II，则 F 的结构简式为：

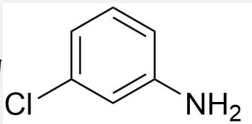
，结合已知信息 II 可知，F 当中羟基被氯原子取代生成 G，则 G 的结构简式为



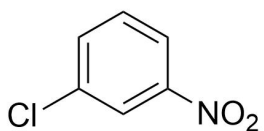
据此解答。

【详解】(1) C 的结构简式为 ，含氧官能团的名称为酯基；A 的结构简式为

，与苯环相连的原子共面，氨基上的一个氢原子可以和苯环共面，故最多可以有 13 个原子共面，

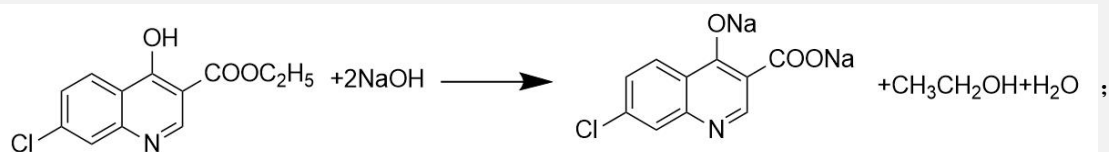
结合 B、C 的结构简式，以及反应条件，可以推断另一种产物为 ，名称为，间氯苯胺或 3-氯苯胺；

(2) 已知 $-Cl$ 和 $-NH_2$ 为邻对位定位基，则若想引入苯环间位取代基，则首先苯环在浓硫酸作催化剂作用下和浓硝酸发生硝化反应，生成硝基苯(硝基是间位取代基)，则 X 为硝基苯，硝基苯在 $FeCl_3$ 作用下发生取代反应生成

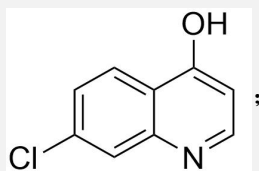
，再发生已知信息 III 的还原反应生成 A，故第一步反应所需无机试剂为浓硝酸、浓硫酸， $Y \rightarrow A$

的反应类型为还原反应；

(3) D $\rightarrow$ E 中反应①是酯基在碱性环境下的水解反应，方程式为

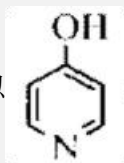


(4) 由分析可知，F 的结构简式为：



(5) F 的分子式为 C_9H_6NOCl ，不饱和度为 7；

①遇 $FeCl_3$ 溶液显色，则含有酚羟基或含有类似

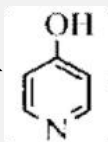


结构中的羟基；

②在酸性条件下水解生成羧酸且羧基直接与苯环相连，则应含有苯甲酸形成的酯基，但 F 中含有唯一一个氧原子，

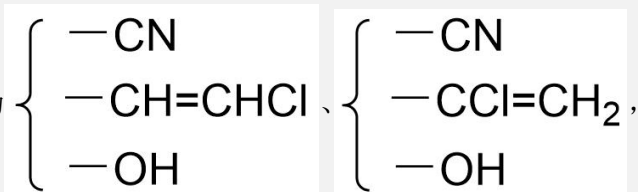
已经被酚羟基占用，所以此处不可能含有酯基，则可以联想到此类反应： $R-C \equiv N \xrightarrow[H^+]{H_2O} R-COOH$ ，则苯环上含有 $-CN$ ，

则其环的结构不可能含有



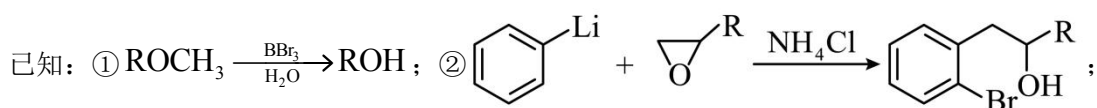
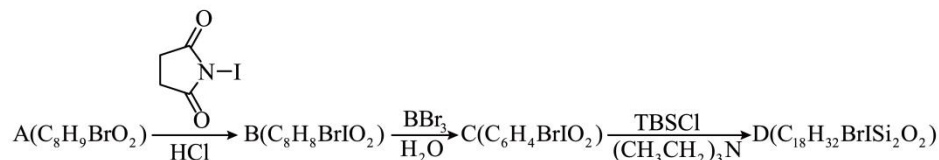
的结构；

③苯环有三个取代基，结合上述分析，苯环的三个取代基分别为



苯环上三个不同的取代基共有 10 种情况，所以一共有 20 种同分异构体。

5. (2025 烟台一模, 17) 中草药大叶仙茅的活性成分仙茅内酯实现了人工合成，其关键中间体 R 的合成路线如下：



回答下列问题：

(1) A 中含氧官能团的名称为_____， $B \rightarrow C$ 的反应类型为_____，C 的结构简式为_____。

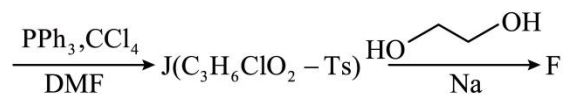
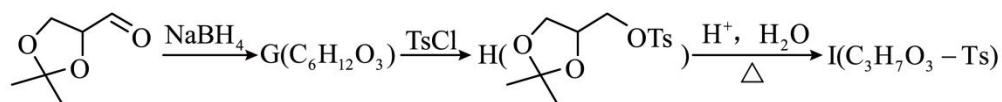
(2) $(CH_3CH_2)_3N$ 具有碱性，由 C 生成 D 的反应中， $(CH_3CH_2)_3N$ 的作用为_____。

(3) $E + F \rightarrow R$ 的反应过程中有 NH_3 生成，反应的化学方程式为_____。

(4) B 的同分异构体中符合下列条件的共有_____种。

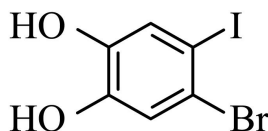
①苯环上有四个取代基，两个相同的取代基处于间位；②与B具有相同的官能团。

(5) 物质F的一种合成路线如下：

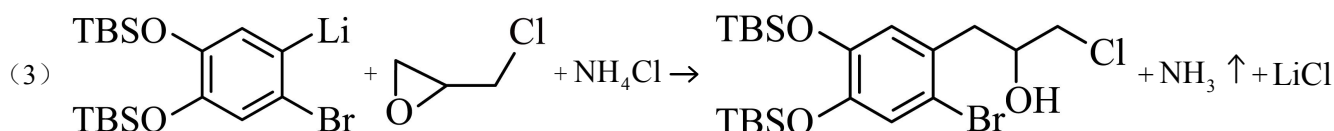


G中有_____种化学环境的氢原子，I的结构简式为_____。

【答案】 (1) ①. 醚键 ②. 取代反应 ③.



(2) $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}$ 具有碱性，消耗产物HCl，增大反应物C的转化率



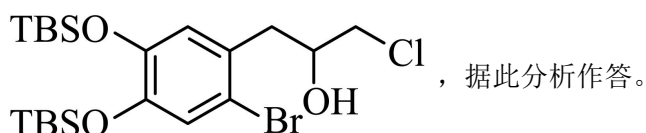
(4) 7 (5) ①. 5 ②.

【解析】

【分析】路线中，D在BuLi和THF的作用下，生成E为 ，可知D为 ；

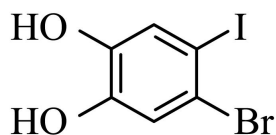
C在 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}$ 和 TBSCl 的作用下，生成D，可知C为 ；B到C发生已知反应①，则B

为 ；通过A和B的分子式可知，A为 ；E发生已知反应②，生成R为

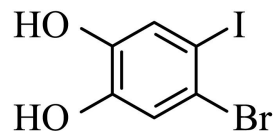


【小问1详解】

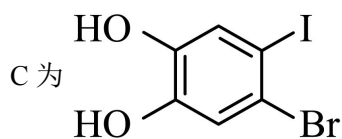
A为 ，则其含氧官能团的名称为醚键；B为 发生已知反应①生成C为



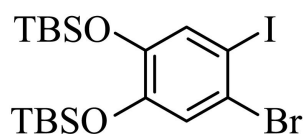
，则该反应类型为取代反应，故答案为：醚键；取代反应；



【小问 2 详解】



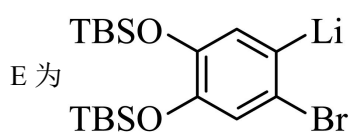
与 TBSCl 发生取代反应，生成 D



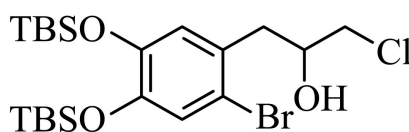
和 HCl, $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}$ 具

有碱性，消耗产物 HCl，增大反应物 C 的转化率，故答案为： $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}$ 具有碱性，消耗产物 HCl，增大反应物 C 的转化率。

【小问 3 详解】

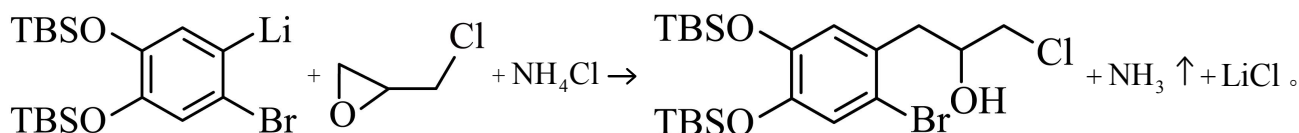
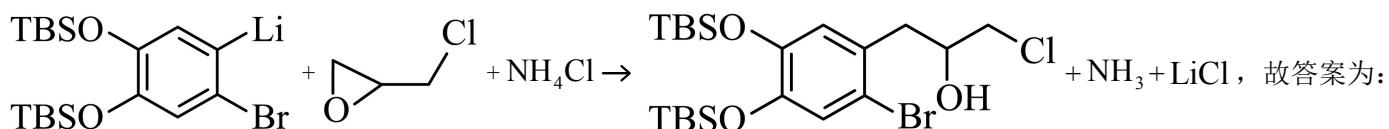


发生已知反应②，生成 R 为

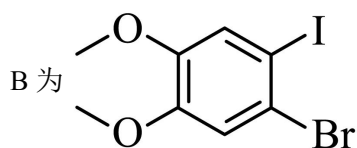


，该过程中有 NH_3 生成，

结合 F 的分子式，可知其为 ，则该化学方程式为

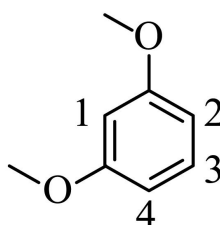


【小问 4 详解】



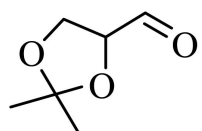
，B 的同分异构体中符合：①苯环上有四个取代基，两个相同的取代基处于间位；②

与 B 具有相同的官能团，可以确定已知位置如下

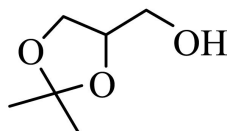


则 Br 可在 2 和 3 号位；如果 2 号位 I 原子，则 Br 可在 1、3 和 4 号位；如果 3 号位 I 原子，则 Br 可在 1 和 2 号位，总计 7 种，故答案为：7。

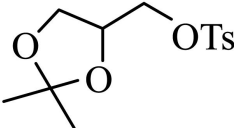
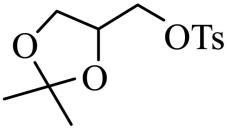
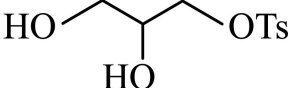
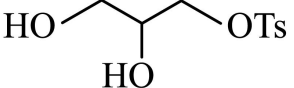
【小问 5 详解】



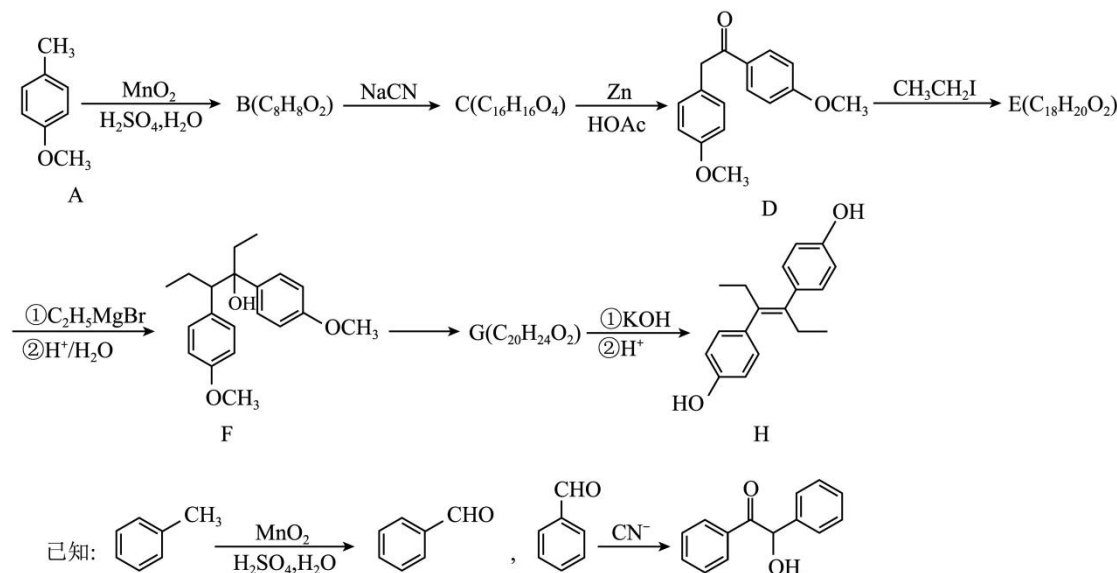
与 NaBH_4 反应，生成 G 为



，由 G 的结构可知，存在 5 种化学环境的氢原子；

与 TsCl 反应, 生成 H 为  ;  在酸性加热的条件下, 生成 I 为  , 故答案为: 5;  。

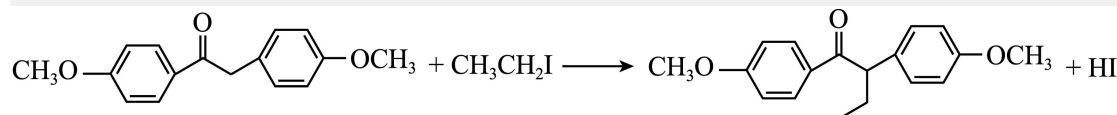
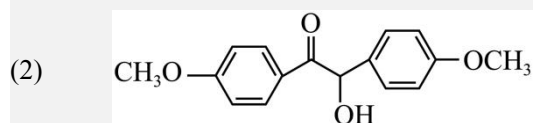
6. (2025 日照一模, 17) 乙烯雌酚(H)是一种人工合成激素。合成路线如图所示(部分反应条件略)。



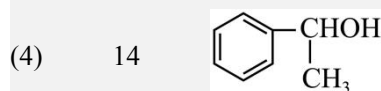
回答下列问题:

- (1) B 中官能团名称为 _____, F→G 的反应类型为 _____。
- (2) C 的结构简式为 _____, D→E 反应的化学方程式为 _____。
- (3) H 与足量的氢气完全加成后的产物中共有 _____ 个手性碳原子。
- (4) 含有羟基的 A 的芳香族同分异构体共 _____ 种(不考虑立体异构), 其中能被催化氧化为酮的化合物的结构简式为 _____。

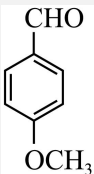
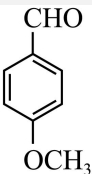
【答案】(1) 醛基、醚键 消去反应

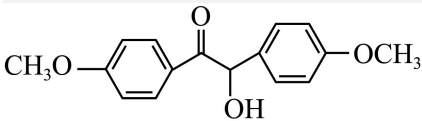


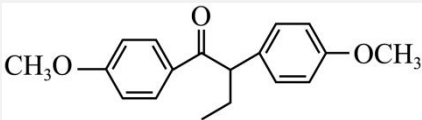
(3) 2

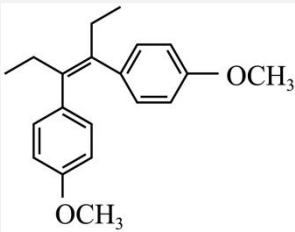


【分析】

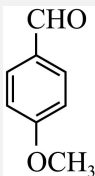
A 发生已知的反应得到 B, B 的结构简式为  , B  与 NaCN 发生已知反应得到 C, C 的结构简式为:

 , C 还原得到 D, D 与 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{I}$ 发生取代反应得到 E, 由 F 的结构简式可知 E 的

结构简式为:  , E 到 F 发生羰基上加成再取代的反应, 得到 F, F 到 G 发生消去

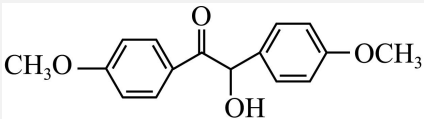
反应生成 G, G 的结构简式为:  , G 在 KOH 作用下反应后再酸化得到 H, 以此分析。

【详解】 (1)

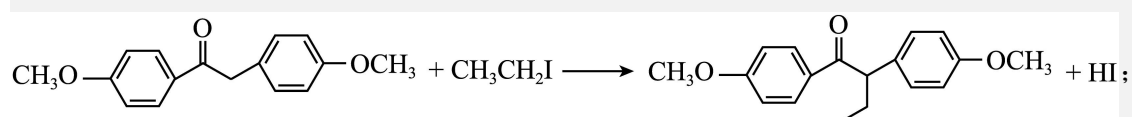
B 的结构简式为:  , 官能团名称为醛基和醚键; F 到 G 发生醇的消去反应生成碳碳双键, 反应类型为消去

反应;

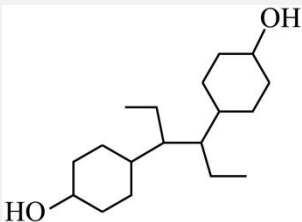
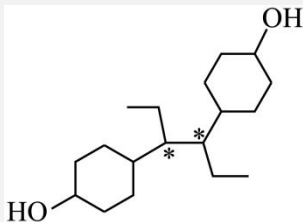
(2)

由分析可知, C 的结构简式为:  ;

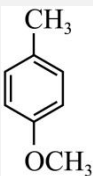
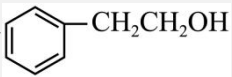
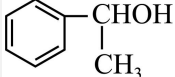
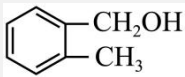
D 到 E 发生取代反应, 得到 E 和 HI, 反应的化学方程式为:

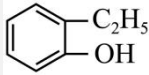
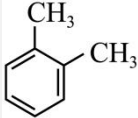
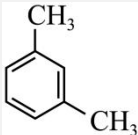


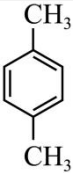
(3)

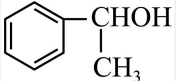
H 与足量的氢气反应后得到产物为:  , 手性碳原子为两个:  ;

(4)

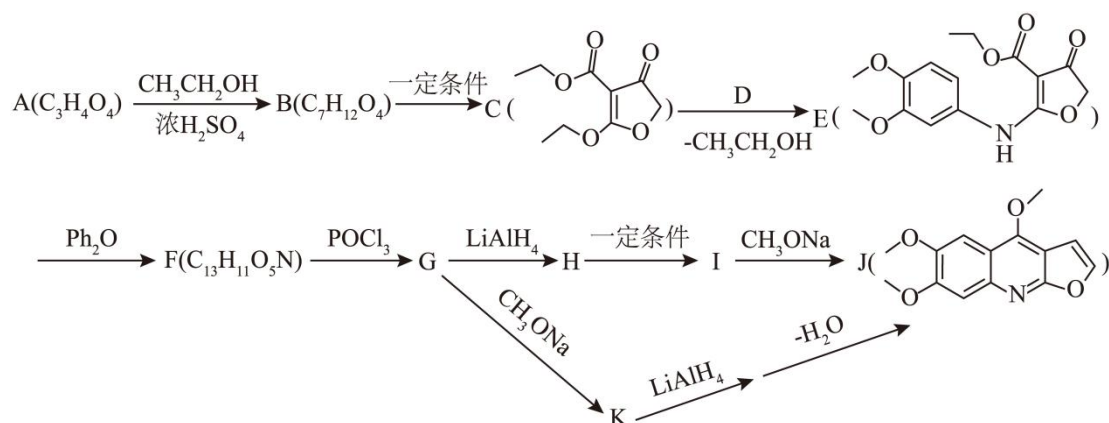
A 为  , 含羟基的 A 的芳香族同分异构体有  、  、  (邻、间、

对 3 种)、 (邻、间、对 3 种)、 (羟基在苯环上有 2 种)、 (羟基在苯环上有 3 种)、

 (羟基在苯环上有 1 种), 共 $1+1+3+3+2+3+1=14$ 种;

能被催化氧化为酮的化合物的结构简式为 。

7. (2025 青岛一模, 19) 抗肿瘤药物香叶木宁(J)的两条合成路线如下:



已知: ① $CH_3OH \xrightarrow{POCl_3} CH_3Cl$

② $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—} \xrightarrow{LiAlH_4} \text{—}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{—}$

③ $R-Cl \xrightarrow{CH_3ONa} R-OCH_3$

回答下列问题。

(1) B 的名称为_____。K 中含氧官能团的名称为_____。

(2) 写出 $E \rightarrow F$ 的方程式_____。

(3) H 的结构简式为_____。

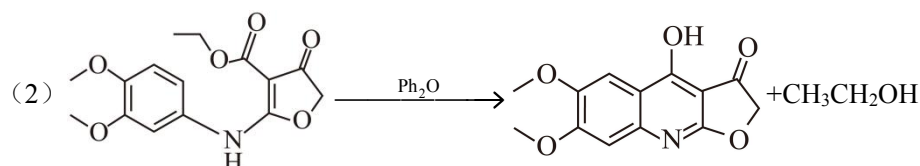
(4) $H \rightarrow I$ 的反应类型是_____。

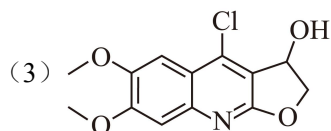
(5) 符合下列条件 D 的同分异构体有_____种(不考虑立体异构)。

① 只含有一个环状结构  ② 环上含有三个取代基, 其中一个是 $-NH_2$

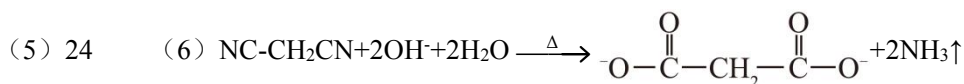
(6) 丙二腈 $[CH_2(CN)_2]$ 可用于制备 A, 写出丙二腈与氢氧化钠溶液在加热条件下水解的离子方程式_____。

【答案】 (1) ①. 丙二酸二乙酯 ②. 醚键、酮羰基





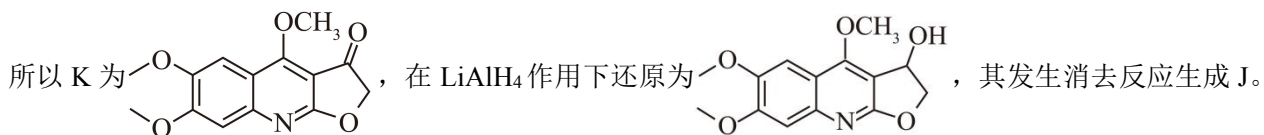
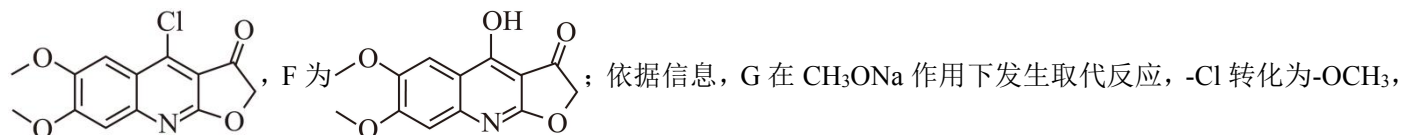
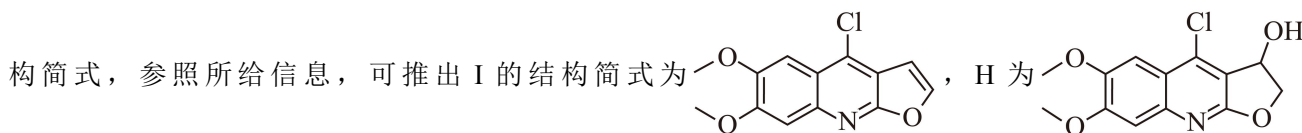
(4) 消去反应



【解析】

【分析】由 C 的结构简式和 A 的分子式，可确定 A 为 $\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$ ，A 与 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 在浓 H_2SO_4 的催化作用下发生反应，生成 B 为 $\text{H}_5\text{C}_2\text{OOCCH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5$ ；比较 C、E 的结构简式，可确定 D 为

；由 J 的结构简式，参照所给信息，可推出 I 的结构简式为



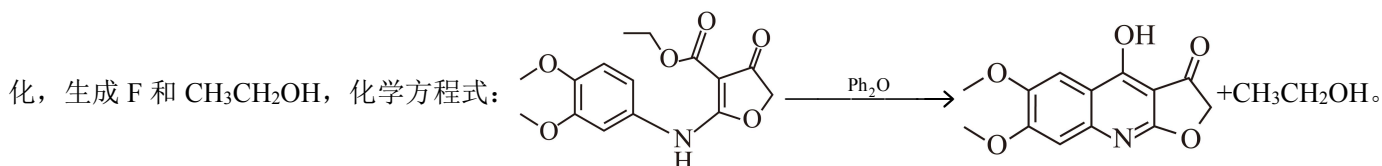
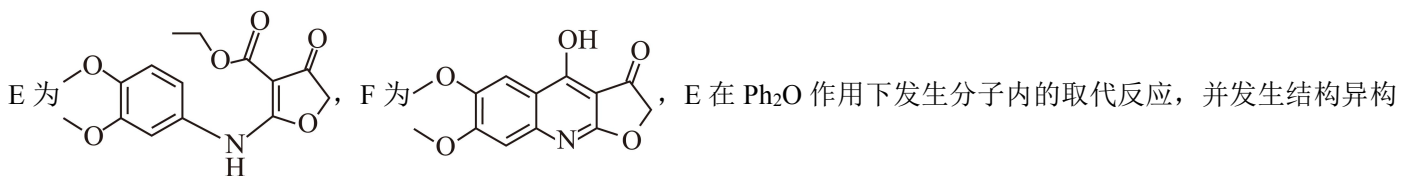
依据信息，G 在 CH_3ONa 作用下发生取代反应， $-\text{Cl}$ 转化为 $-\text{OCH}_3$ ，所以 K 为

【小问 1 详解】

B 为 $\text{H}_5\text{C}_2\text{OOCCH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5$ ，名称为：丙二酸二乙酯。K 为

羰基。

【小问 2 详解】

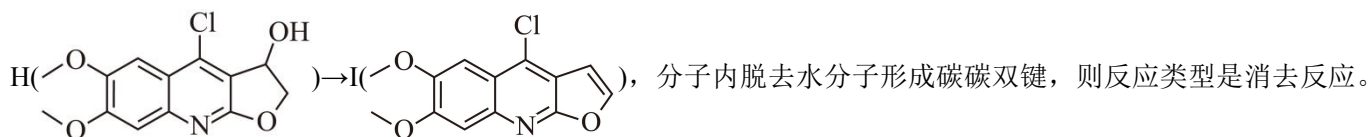


E 在 Ph_2O 作用下发生分子内的取代反应，并发生结构异构化，生成 F 和 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ，化学方程式：

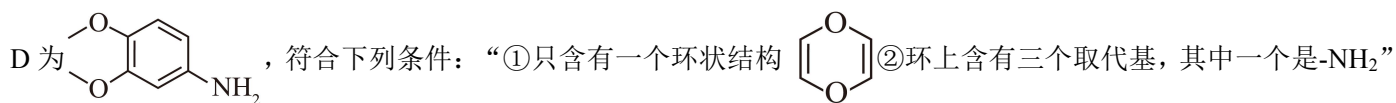
【小问 3 详解】

由分析可知，H 的结构简式为

【小问 4 详解】



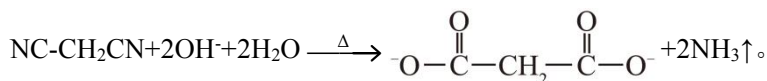
【小问 5 详解】



的 D 的同分异构体分子中, 含有 , 取代基为 -NH₂、-CH₃、-CH=CHCH₃, 或 -NH₂、-CH₃、-CH₂CH=CH₂, 或 -NH₂、-CH₃、-C(CH₃)=CH₂, 或 -NH₂、-CH₂CH₃、-CH=CH₂, 每种可能取代基组合都有 6 种可能结构, 则异构体共有 4×6=24 种(不考虑立体异构)。

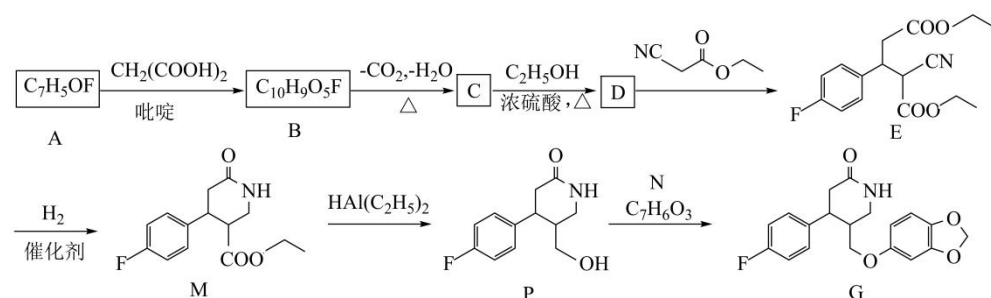
【小问 6 详解】

丙二腈[CH₂(CN)₂]可用于制备 A(HOOCCH₂COOH), 则丙二腈与氢氧化钠溶液在加热条件下水解, 生成 NaOOCCH₂COONa 和 NH₃, 依据电荷守恒和质量守恒, 可得出发生反应的离子方程式为



【点睛】推断有机物时, 可采用逆推法。

8. (2025 聊城一模, 17) 化合物 G 是一种重要的药物中间体, 其合成路线如图所示。



回答下列问题:

(1) A 的化学名称为____, B 的含氧官能团名称是____。

(2) D → E 的化学方程式为____。

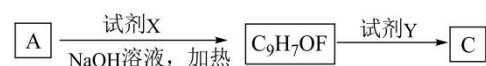
(3) P → G 的反应类型为____, P 中手性碳原子有____个。

(4) N 的同分异构体有多种, 写出符合下列条件的结构简式____。

①不能水解, 能发生银镜反应

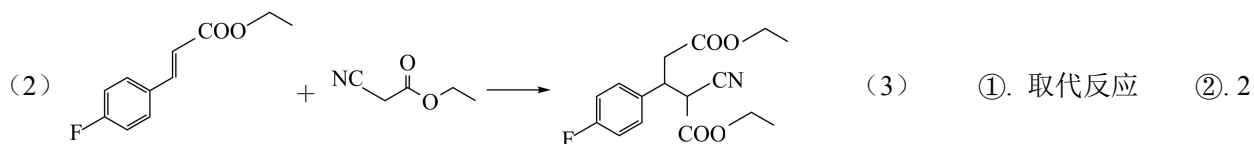
②核磁共振氢谱显示有 4 组峰, 峰面积比为 1:2:2:1

(5) A → C 另一合成路线设计如下:

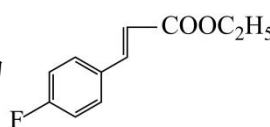


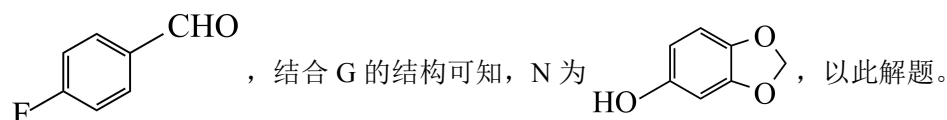
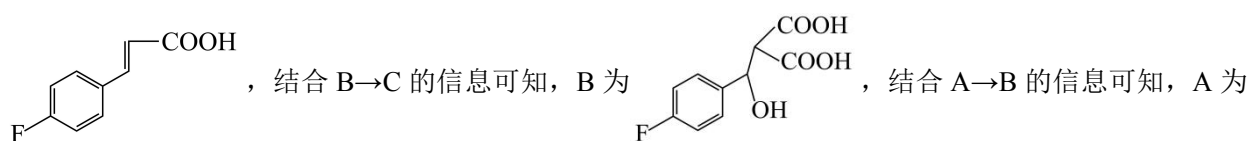
试剂 X 为____ (填结构简式), 试剂 Y 不能选用 KMnO₄ 的原因是____。

【答案】 (1) ①. 对氟苯甲醛(或 4-氟苯甲醛) ②. 羟基、羧基

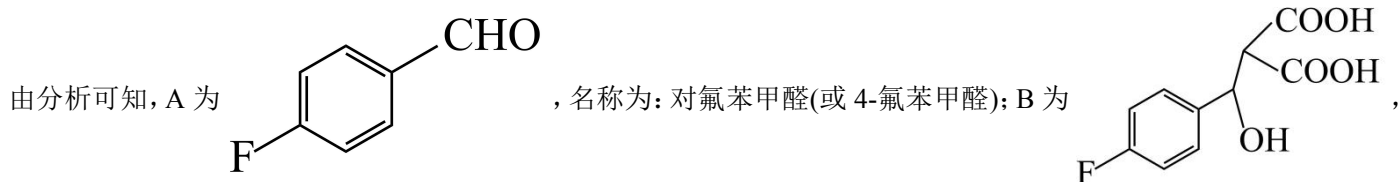


【解析】

【分析】结合 E 的结构简式和 $\text{D} \rightarrow \text{E}$ 的条件可知，D 为 ，结合 $\text{C} \rightarrow \text{D}$ 的信息可知，C 为



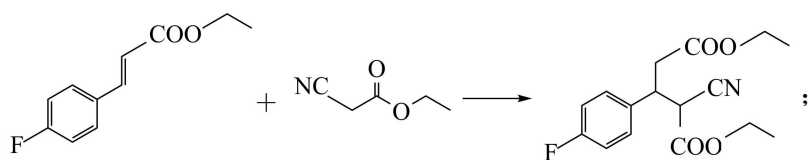
【小问 1 详解】



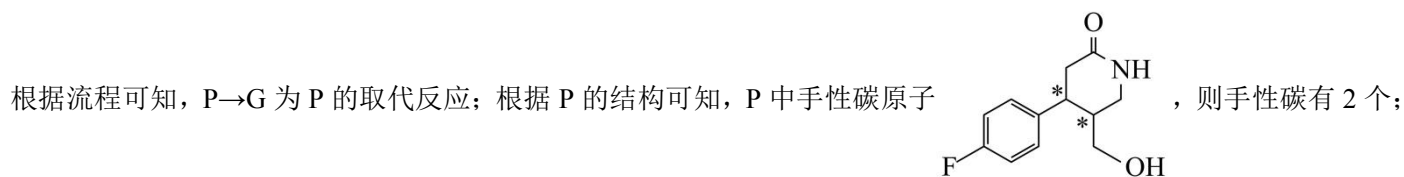
B 的含氧官能团名称是羟基、羧基；

【小问 2 详解】

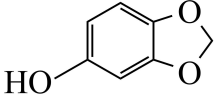
$\text{D} \rightarrow \text{E}$ 为 D 中碳碳双键和 $\text{NC}-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{OEt}$ 的加成反应，方程式为：



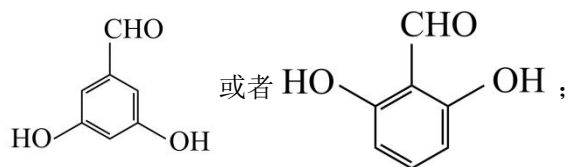
【小问 3 详解】



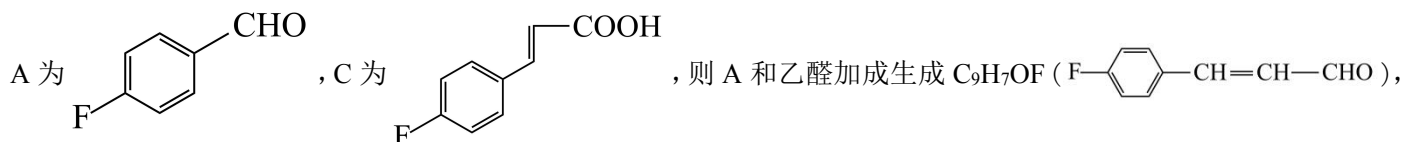
【小问 4 详解】

由分析可知，N 为 ，其同分异构体①不能水解，能发生银镜反应，说明其中含有醛基，不含有酯

基，②核磁共振氢谱显示有 4 组峰，峰面积比为 1：2：2：1，则应该找对称结构，符合要求的同分异构体为：

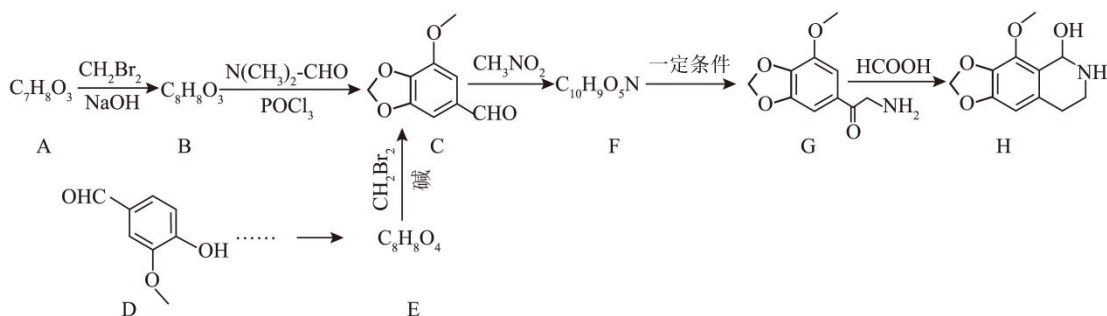


【小问 5 详解】



故 X 为 CH_3CHO ，C 中含有碳碳双键，可以被酸性高锰酸钾氧化，则试剂 Y 不能选用 $KMnO_4$ ，原因是 $KMnO_4$ 能氧化碳碳双键。

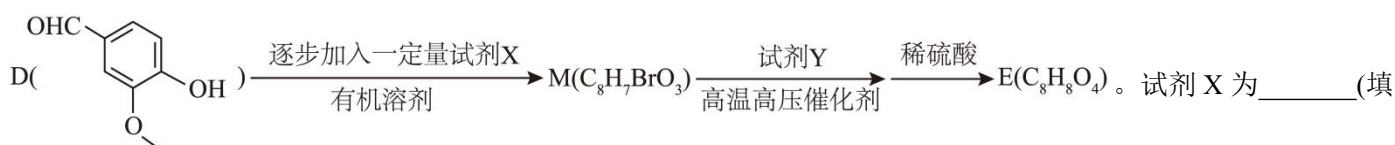
9. (2025 济宁一模，17) 那可丁是世界范围内使用的经典镇咳药物，也是一种抗肿瘤活性高且毒副作用小的新型抗肿瘤药物，中间体 H 的两条合成路线如下：



回答下列问题：

- (1) A 生成 B 试剂 NaOH 的作用为_____。
- (2) A 中官能团的名称为_____，E 的结构简式_____。
- (3) 写出 $C \rightarrow F$ 的化学方程式_____。
- (4) 满足下列条件化合物 D 的所有同分异构体有_____种。
 - 可以与活泼金属 Na 反应生成氢气，但不与 $NaHCO_3$ 溶液反应
 - 分子中含有酯基
 - 含有苯环，且有两个取代基

(5) D→E 的合成路线设计如下：

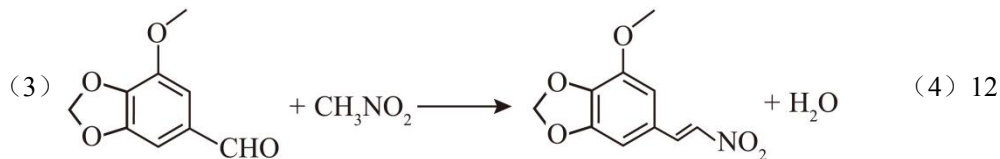
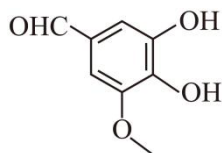


化学名称)；试剂 Y 为_____ (填化学名称)。

【答案】 (1) 消耗生成的 HBr, 促进反应正向进行

(2) ①. 醚键、羟基

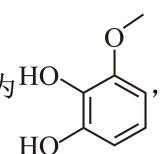
②.

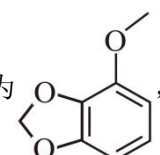


(5) ①. 液溴 ②. 氢氧化钠水溶液

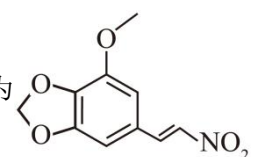
【解析】

【分析】A 的分子式为 $C_7H_8O_3$, 不饱和度为 4, 结合后续 C 的结构简式可知, A 中含有苯环, 且除了苯环外, 不

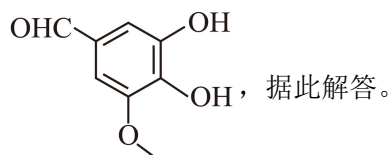
含有双键或环的结构, 结合 C 中取代基的位置可知, A 的结构简式为 , A 与 CH_2Br_2 发生取代反应形

成左侧的环, 则 B 的结构简式为 , B 中苯环的 H 被醛基取代生成 C, C 与 CH_3NO_2 发生反应生成 F, 结

合 F 的分子式可知, F 的不饱和度为 7, 说明 $C \rightarrow F$ 过程中引入了一个硝基, 则可推断 C 中醛基先发生加成反应生

成了羟基, 羟基再发生消去反应生成了碳碳双键, 则 F 的结构简式为 ; $E \rightarrow C$ 的过程和 $A \rightarrow B$ 类

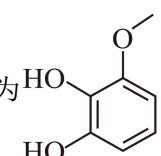
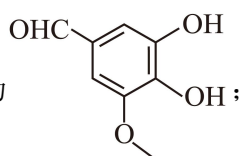
似, 则可推断 E 中含有两个相邻的酚羟基, 即 $D \rightarrow E$ 的过程在酚羟基的邻位引入了一个酚羟基, 则 E 的结构简式为



【小问 1 详解】

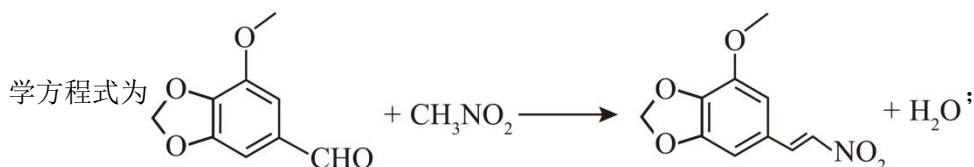
A 生成 B 发生取代反应, 同时会生成 2 分子 HBr, 则试剂 NaOH 的作用为消耗生成的 HBr, 促进反应正向进行;

【小问 2 详解】

结合分析, A 的结构简式为 , 官能团为醚键、羟基; E 的结构简式为 .

【小问 3 详解】

C 中醛基先发生加成反应生成了羟基, 羟基再发生消去反应生成了碳碳双键, 则会脱去 1 分子的水, 故 $C \rightarrow F$ 的化



【小问 4 详解】

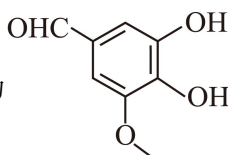
化合物 D 除了苯环外还剩 1 个不饱和度，满足下列条件化合物 D 的所有同分异构体：a. 可以与活泼金属 Na 反应生成氢气，但不与 NaHCO_3 溶液反应，说明不含有羧基，而含有羟基；

b. 分子中含有酯基，酯基占用 1 个不饱和度，说明其他取代基均为饱和结构；

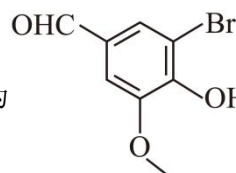
c. 含有苯环，且有两个取代基，则两个取代基分别为 $\left\{ \begin{matrix} \text{CH}_3\text{COO}- \\ -\text{OH} \end{matrix} \right.$ 、 $\left\{ \begin{matrix} \text{CH}_3\text{OOC}- \\ -\text{OH} \end{matrix} \right.$ 、 $\left\{ \begin{matrix} \text{HCOOCH}_2- \\ -\text{OH} \end{matrix} \right.$ 、 $\left\{ \begin{matrix} \text{HCOO}- \\ -\text{CH}_2\text{OH} \end{matrix} \right.$ ，

每种组合有邻、间、对三种，共计 12 种同分异构体；

【小问 5 详解】

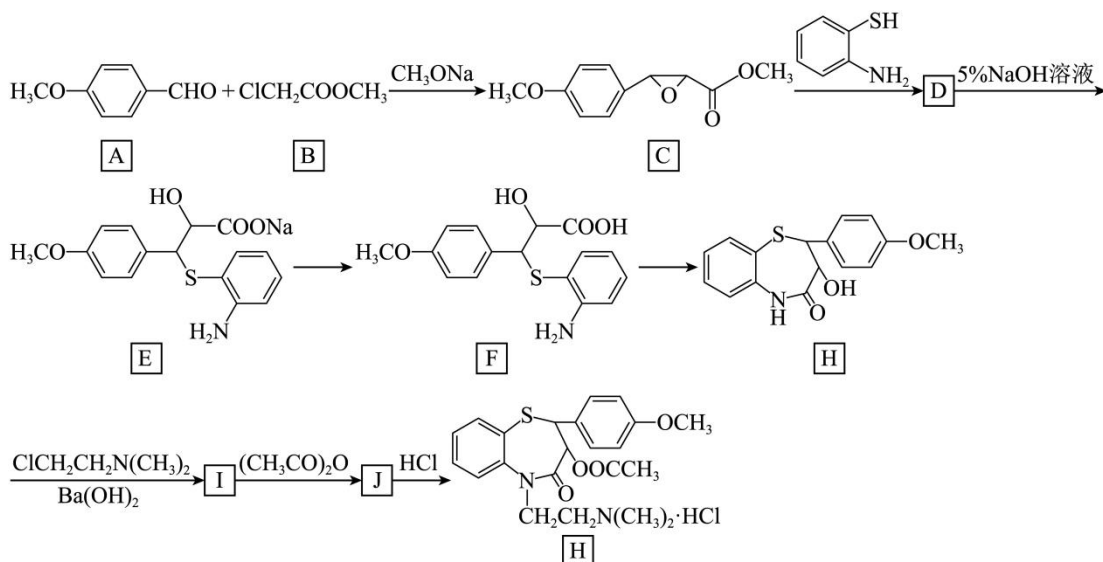
化合物 E 为 ，结合 D 的结构可知，需要在羟基的邻为引入取代基，结合 M 的分子式，可知该过

程首先在酚羟基的邻位引入一个溴原子，则 M 的结构简式为



环的溴原子水解生成羟基，该过程需要两步反应，即 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{Br} \xrightarrow[\text{NaOH 溶液}]{\text{高温、高压、催化剂}} \text{C}_6\text{H}_5-\text{ONa} \xrightarrow{\text{稀硫酸}} \text{C}_6\text{H}_5-\text{OH}$ ，则试剂 Y 为氢氧化钠水溶液。

10. (2025 济南一模, 17) 研究表明，地尔硫卓具有新冠防治药物的潜力。下图是盐酸地尔硫卓的一种合成路线：



已知：
$$\text{R}-\text{CH}_2-\overset{\text{OH}}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{COOR}' \xrightarrow{\Delta} \text{R}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOR}'$$

回答下列问题：

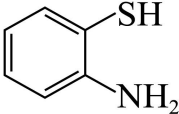
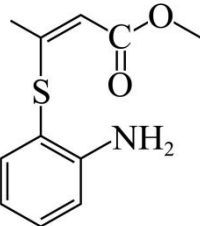
(1) B 的化学名称为_____，D 的结构简式为_____。

(2) H 中的含氧官能团有羟基、_____，H→I 过程中 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 的作用是_____。

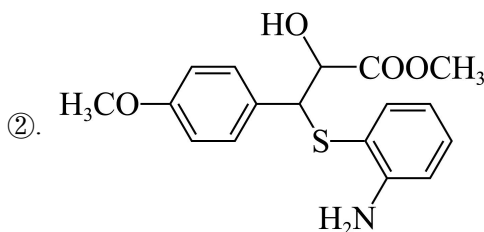
(3) 写出“I→J”的化学方程式_____。

(4) A 的芳香同分异构体中, 符合下列条件的有_____种。其中含有手性碳原子同分异构体的结构简式为_____。

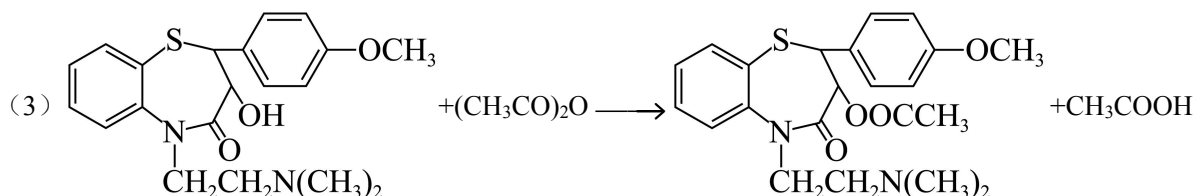
①与 Na 反应生成 H_2 ②能发生银镜反应

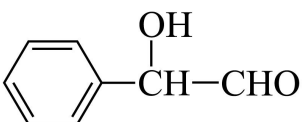
(5) 以乙醛、 $ClCH_2COOCH_3$ 和  为原料, 设计制备  合成路线_____ (其他试剂任选)。

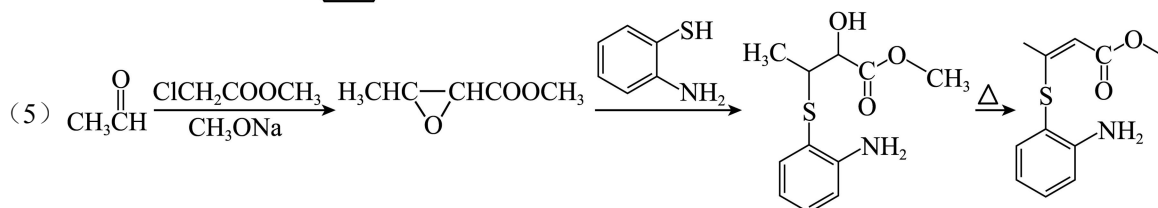
【答案】 (1) ①. 氯乙酸甲酯(2-氯乙酸甲酯)



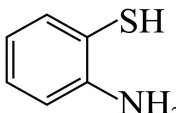
(2) ①. 醚键、酰胺基 ②. 消耗 HCl, 有利于反应正向进行



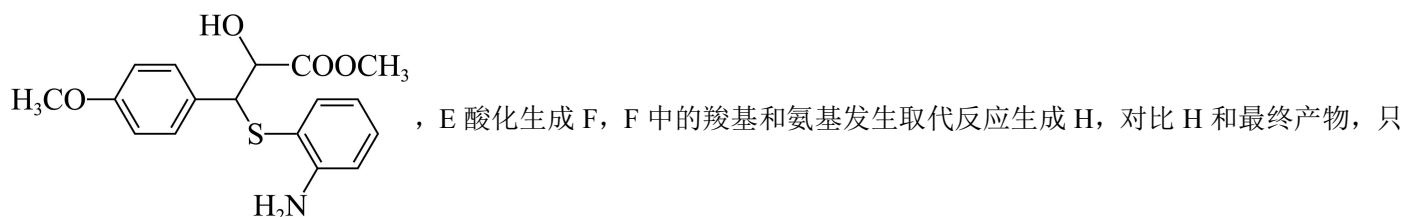
(4) ①. 17 ②. 



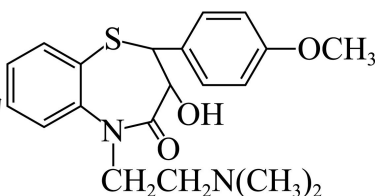
【解析】

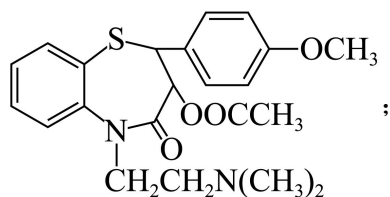
【分析】A 与 B 在 CH_3ONa 作用下发生成环的反应生成 C, C 与  发生反应生成 D, D 与 5% $NaOH$

溶液反应生成 E, 结合 E 的结构简式, 可知 D→E 发生的是酯基的水解反应, 则 D 的结构简式为



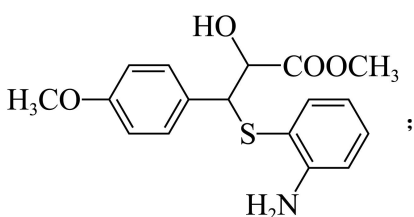
有羟基和氨基发生变化, 根据反应流程的条件可知, H→I 发生的是氨基的取代反应, I→J 发生的是羟基的取代反应,

J 与盐酸生成最终产物，故 I 的结构简式为 ，J 的结构简式为



【小问 1 详解】

B 的结构简式为 $\text{ClCH}_2\text{COOCH}_3$ ，是 ClCH_2COOH 与 CH_3OH 生成的酯，化学名称为氯乙酸甲酯(2-氯乙酸甲酯)；

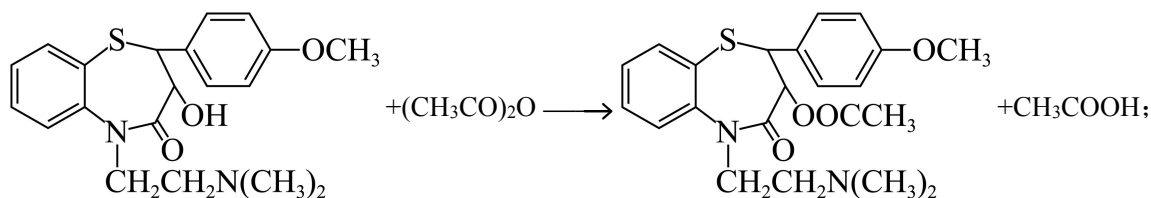
由分析可知，D 的结构简式为：

【小问 2 详解】

由 H 的结构简式可知，其含氧官能团有羟基、醚键、酰胺基；H→I 过程中发生取代反应，会生成 HCl ， $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 的作用是消耗 HCl ，有利于反应正向进行；

【小问 3 详解】

由分析中 I 和 J 的结构简式可知，该反应的化学方程式为：



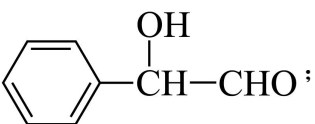
【小问 4 详解】

A 中除了苯环外，还含有 2 个碳原子，2 个氧原子，1 个不饱和度，①与 Na 反应生成 H_2 ，说明含有羟基或羧基，②能发生银镜反应，说明含有醛基或甲酸酯基，则同时满足条件的同分异构体中需要同时含有羟基和醛基；若分子中存在一个取代基，则取代基为 $-\text{CH}(\text{CHO})\text{OH}$ ，只有 1 种；

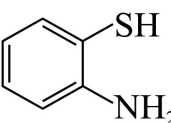
若分子中存在两个取代基，可以为 $\begin{cases} -\text{CHO} \\ -\text{CH}_2\text{OH} \end{cases}$ 、 $\begin{cases} -\text{CH}_2\text{CHO} \\ -\text{OH} \end{cases}$ ，每种组合有邻、间、对三种，共计 6 种；



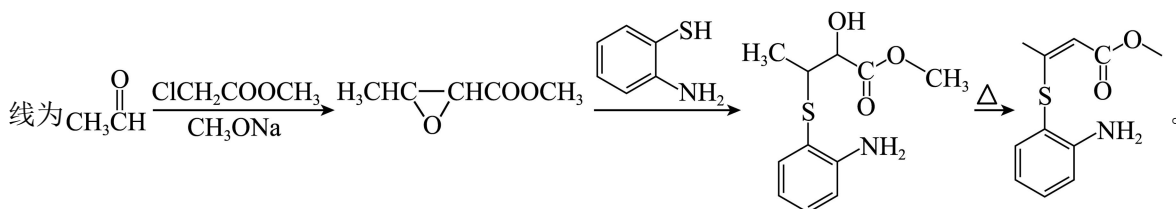
若分子中存在三个取代基，可以为 $\begin{cases} -\text{OH} \\ -\text{CHO} \end{cases}$ ，三个不同的取代基在苯环上有 10 种同分异构体；共计 17 种同分异构体；

连接 4 个不同基团的碳原子是手性碳原子,其中含有手性碳原子同分异构体的结构简式为 :

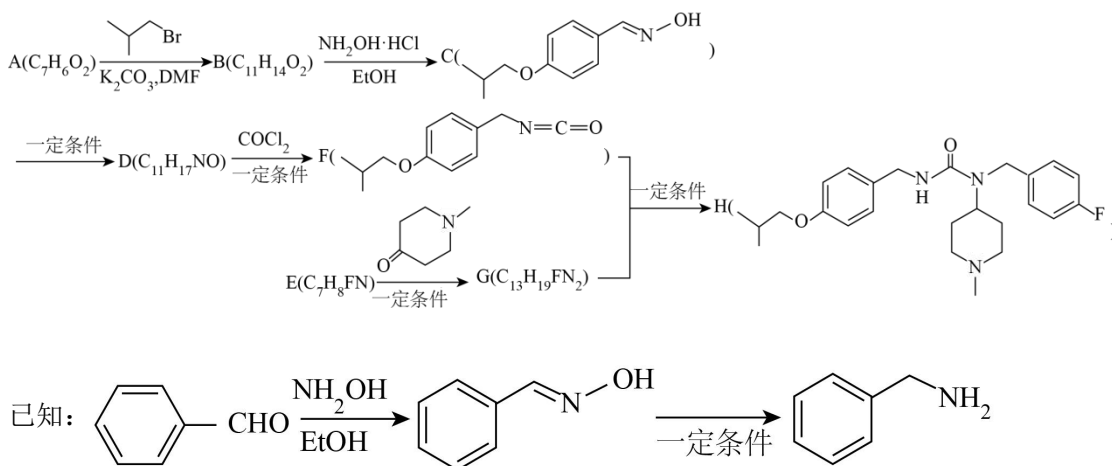
【小问 5 详解】

仿照 $C +$  生成 D 的反应能实现 $-S-$ 化学键的连接,则需要构建一个含 O 的三元环,再由 A+B 在

CH_3ONa 作用下可以生成一个含 O 的三元环,可知乙醛可以和 $ClCH_2COOCH_3$ 也能发生类似的反应,故合成路



11. (2025 菏泽一模, 19) 匹莫范色林是一种治疗帕金森病的药物,在耐受性和安全性方面都表现良好,因而有很大的市场前景。匹莫范色林(H)的一种合成路线如下:



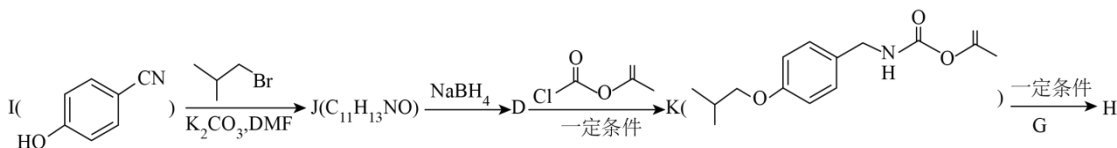
回答下列问题:

(1) A 的结构简式为 _____; D 中官能团的名称为 _____。

(2) $E \rightarrow G$ 反应经历了加成、消去和还原过程,写出加成过程的化学反应方程式 _____。

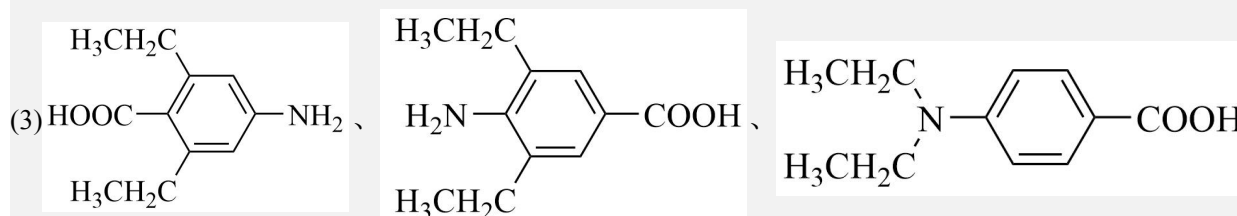
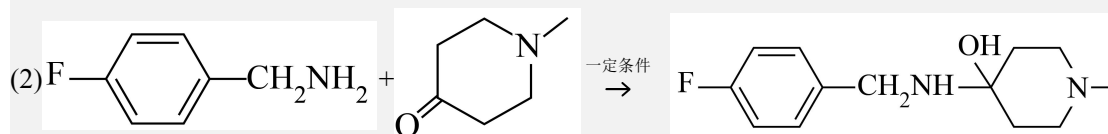
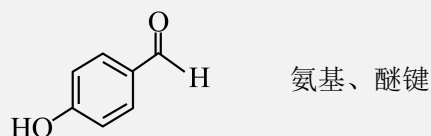
(3) C 的同分异构体含有 5 种不同化学环境的氢原子(个数比为 6: 4: 2: 2: 1)、羧基和苯环结构,其结构简式为 _____ (任写两种)。

(4) 上述合成路线涉及有毒性的光气($COCl_2$),不利于环境保护。以下为优化后的合成路线,操作简单,绿色环保,产品纯度高。



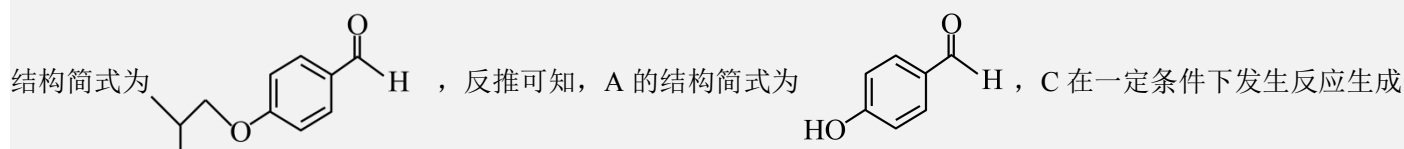
J 中碳原子的轨道杂化方式有 _____ 种。D $\rightarrow$ K 的反应类型为 _____。

【答案】(1)

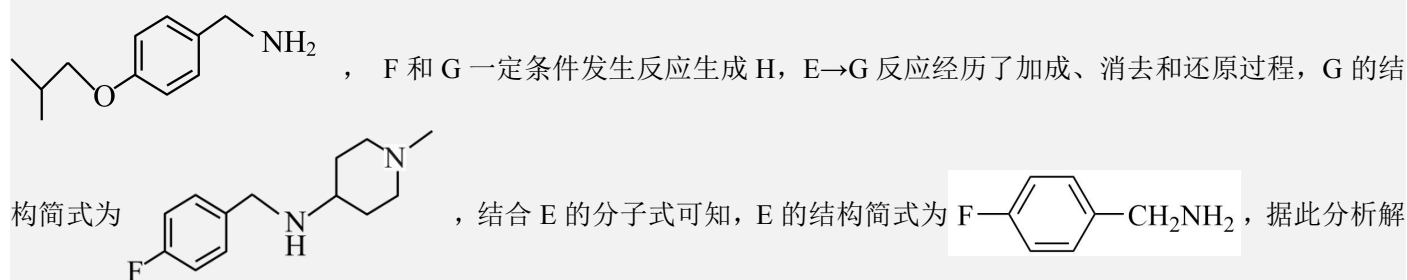


(4) 3 取代反应

【分析】结合反应条件中的碳酸钾可知，A 与异丁基溴发生取代反应生成 B，B 发生信息中的反应生成 C，则 B 的

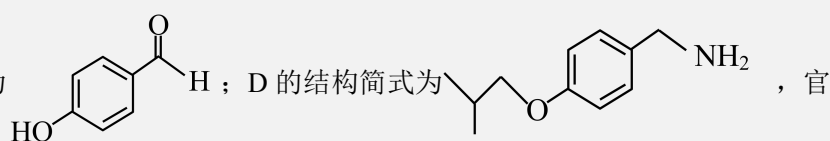


D，D 与 COCl_2 发生取代反应生成 F，结合 F 的结构简式可知，C 发生还原反应可以得到 D 物质，D 的结构简式：



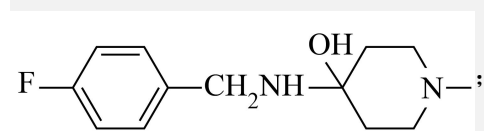
题。

【详解】(1) 结合分析可知，A 的结构简式为



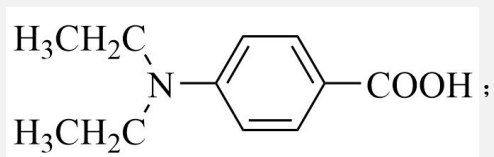
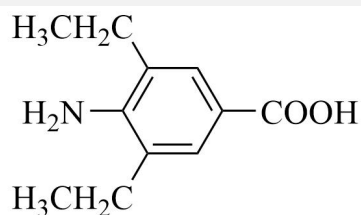
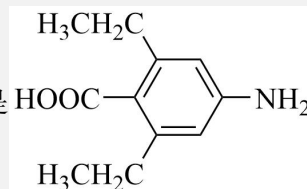
能团名称为氨基、醚键；

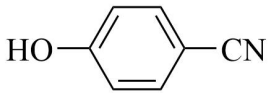
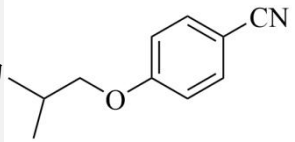
(2) E→G 反应经历了加成、消去和还原过程，则加成反应为酮羰基的加成，消去反应为羟基的消去反应形成双键，

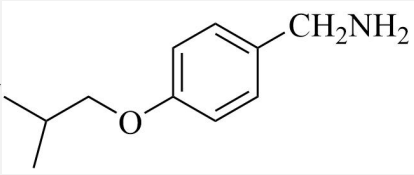
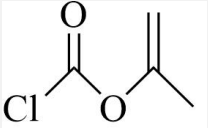


(3) C 除了苯环之外还有 5 个碳原子，1 个不饱和度，羧基占了 1 个不饱和度，则剩余碳原子为饱和碳原子，结合

氢原子个数比可知，其含有对称的两个乙基，则可能的结构简式是



(4)  与异丁基溴发生类似 $A \rightarrow B$ 的反应，生成 J 的结构简式为 ，J 在

还原剂 $NaBH_4$ 作用下发生还原反应生成 D 为 ，D 与  发生取代反

应生成 K，K 和 G 一定条件生成 H，结合 J 的结构简式可知，饱和碳原子采取 sp^3 杂化，苯环上碳原子采取 sp^2 杂化，

氰基碳原子采取 sp 杂化，故杂化方式有 3 种；

结合分析可知，D $\rightarrow$ K 的反应中会生成小分子的 HCl，反应类型为取代反应。