

# 目 录

选择题第 1 题：化学与 STSE、传统文化.....	4
选择题第 2 题：化学试剂的保存和实验安全.....	6
选择题第 3 题：高分子材料应用.....	8
选择题第 4 题：阿伏伽德罗常数 $N_A$ .....	12
选择题第 5 题：化学用语表述的分析判断.....	13
选择题第 6 题：有机物分子结构与性质.....	15
选择题第 7 题：气体的制备、收集和检验.....	18
选择题第 8 题：物质结构与性质表格型选择题.....	22
选择题第 9 题：元素周期律（表）与元素性质.....	24
选择题第 10 题：电化学原理及其应用.....	27
选择题第 11 题：晶胞结构的分析及相关计算.....	31
选择题第 12 题：催化剂与反应机理题.....	35
选择题第 13 题：表格型基础实验题.....	48
选择题第 14 题：溶液中离子平衡图像题.....	54
主观题第 15 题：实验综合题.....	57
主观题第 16 题：工艺流程题.....	64
主观题第 17 题：化学反应原理综合题.....	74
主观题第 18 题：有机化学综合题.....	80

## 编写说明


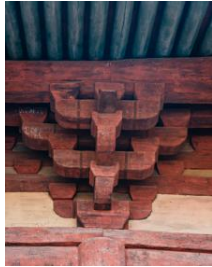


本资料适合学生整体阅读、思考；适合考前学生的自由复习；有助于教师提高对高考命题的认识及应考综合能力的提升。

本资料共编写 18 类全国各省的重点高考命题题型，综合考向共 135 个，全面细致。

- 1.根据全国各省高考的考向，编辑整理本资料。
- 2.经典重现：先给出一道高考真题，以期让学生获得必要的感悟。
- 3.考向小结：综合给出该题型的考向，考向来源全国各省的考试命题动态，具有很强的指导性。
- 4.解题指导：重点给出该类型试题的命题特点，和思考求解的一般规律。具体地给出解题的思维方法和解题方法的模型。
- 5.简答题模板：结合主观题考查的考向和试题设问特点，分类给出文字表达题的基本模型，以期高效应对高考试题的种种设问。

## 1. 经典重现

【2025 河北卷 T1】河北省古建筑数量大，历史跨度长，种类齐全，在我国建筑史上占有非常重要的地位。下列古建筑组件主要成分属于有机物的是（ ）

			
A. 基石	B. 斗拱	C. 青瓦	D. 琉璃

【答案】B

【解析】A 基石：多为青石、花岗岩，主要成分为  $\text{CaCO}_3$ 、硅酸盐

B 斗拱：木质结构，主要成分为纤维素（有机高分子化合物）

C 青瓦：黏土烧制，主要成分为铝硅酸盐

D 琉璃：硅酸盐、二氧化硅为主

## 2. 考向小结

## (1) 核心考点

①物质分类：有机物 vs 无机物的基础判断；

②化学与 STSE（科学、技术、社会、环境），结合中华传统文化、河北地域特色命题；

③常见生活/文物/建筑材料的成分识记。

## (2) 命题趋势

①情境化：每年必考传统文化、文物、古建筑、传统工艺，贴近地域文化，弘扬文化自信；

②基础性：纯基础识记，难度极低，属于送分题，稳定考查物质分类、常见物质成分。

## (3) 近三年河北卷第 1 题对照

2023：《本草纲目》制盐，考查无机盐、物质分离；

2024：河北文物/瓷器，考查合金、硅酸盐；

2025：河北古建筑，考查有机物判断。

**规律：第 1 题固定为【化学+传统文化+物质成分】，稳定不变**

### 3. 解题指导

#### (1) 第一步：抓题干关键词

- ①看到“成分、材料、物质类别”，直接锁定：判断是否含碳氢为主的有机物；
- ②有机物判断标准：绝大多数含 C、H，天然有机物多为纤维素、蛋白质、油脂；
- ③无机物：硅酸盐、碳酸盐、氧化物、合金、金属单质等。

#### (2) 第二步：快速排除法

- ①石头、瓦、陶瓷、玻璃、琉璃、玉石、青铜 → 全是无机物，直接排除；
- ②木头、布匹、毛发、油脂 → 全是有机物，直接锁定答案。

#### (3) 第三步：避坑提醒

- ① CO、CO<sub>2</sub>、碳酸盐、碳化物虽含碳，但属于无机物，极易混淆；
- ②木质材料=纤维素（有机物），陶瓷砖瓦=硅酸盐（无机物），不要凭直觉判断。

#### (4) 高频情境分类

- ①**古建筑类**：斗拱、木梁（有机）；基石、青瓦、琉璃（无机）；
- ②**文物古董类**：丝绸、竹筒（有机）；瓷器、青铜器、玉器（无机）；
- ③**传统医药/本草**：草药、油脂（有机）；矿物药（朱砂、硝石，无机）；
- ④**生活材料**：棉麻衣物（有机）；餐具陶瓷、门窗玻璃（无机）。

#### (5) 高频材料清单

- ①天然有机物：木材、棉、麻、秸秆 → **纤维素**；  
    丝绸、毛发、蚕丝、羽毛、阿胶 → **蛋白质**；  
    植物油、动物脂肪 → **油脂**。
- ②合成有机物：塑料、合成橡胶、合成纤维、涂料、胶水等。
- ③硅酸盐类：砖瓦、青瓦、陶、瓷、兵马俑、古建筑基石、琉璃、砚台、普通玻璃、水泥、黏土等(**核心成分：铝硅酸盐 / SiO<sub>2</sub>**)；
- ④碳酸盐类：大理石、石灰石、汉白玉、水垢、贝壳、钟乳石 → CaCO<sub>3</sub>
- ⑤金属及合金：青铜、黄铜、铁器、铜钱、银饰、金器 → **金属单质/合金**；
- ⑥氧化物/矿物：玉石、水晶、石英、沙子 → **SiO<sub>2</sub>**  
    赤铁矿、磁铁矿、铁锈 → **铁的氧化物**；
- ⑦传统工艺无机物：制盐（NaCl）、炼丹矿物、硝石（KNO<sub>3</sub>）、朱砂（HgS）、雄黄。

### 1. 经典重现

【2025 河北卷 T2】2. 下列不符合实验安全要求的是 ( )

- A. 酸、碱废液分别收集后直接排放
- B. 进行化学实验时需要佩戴护目镜
- C. 加热操作时选择合适的工具避免烫伤
- D. 乙醇应存放在阴凉通风处, 远离火种

【答案】A

【解析】A. 酸、碱废液需中和处理达标后才能排放, 直接排放会污染环境, 不符合安全要求, A 错误;

B. 实验时佩戴护目镜是防止化学试剂溅入眼睛的必要防护措施, B 正确;

C. 选择合适的加热工具如坩埚钳, 可避免直接接触高温物体导致烫伤, C 正确;

D. 乙醇易燃, 存放于阴凉通风处并远离火源是防止火灾的安全措施, D 正确。

### 2. 考向小结

本题考查的是化学试剂的保存和化学实验安全问题, 常考查试剂存放与取用、常见危险药品的标识、与实验有关的图标、实验安全操作、意外事故处理等。

### 3. 解题指导

(1) 试剂存放与取用 (常考):

**易燃物:** 置于阴凉通风、远离明火、密封、单独存放, 如乙醇、苯、汽油、乙醚等。

**强氧化性物质与强还原性物质:** 不能同柜存放, 如  $\text{KMnO}_4$  与苯酚。

**见光易分解的试剂:** 用棕色试剂瓶保存, 如氯水、浓硝酸、硝酸银、碘化银。

**易燃易挥发物质要封存:** 如液溴、白磷水封; 钠用煤油或石蜡密封; 强调锂用石蜡密封而不能用煤油液封。

**防腐蚀物质:** 腐蚀橡胶的物质用玻璃塞, 如有机试剂、浓硝酸、酸性高锰酸钾; 碱性溶液要用橡胶塞, 如  $\text{NaOH}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  溶液; 氢氟酸用塑料瓶而不能玻璃瓶。

**试剂取用:** 剩余药品一般不放回原瓶, 但白磷和碱金属取用完毕要将剩余的固体放回到原试剂瓶中。

(2) 常见危险药品的标识:



(3) 与实验有关的图标（常考）：护目镜 洗手 用电 排风 热烫 明火 锐器。

(4) 实验安全操作（常考）：

①**防倒吸**：固体加热试管口朝下；吸收溶解度较大的气体如 HCl、NH<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub> 时，要加防倒吸装置。

②**防爆炸**：点燃可燃性气体前要验纯；实验先后顺序为先通气后点灯。

③**防暴沸**：配制硫酸的水溶液或硫酸的酒精溶液时，要将密度大的浓硫酸缓慢倒入水或酒精中，强调 Cu 与浓硫酸反应后绿色溶液稀释也要将混合液加入水中；液液加热时要加沸石，若忘加需冷却后再补加。

④**防失火**：可燃性物质要与强氧化剂分开存放；易燃品一定要远离火源。

⑤**防中毒**：制取有毒气体时，应在通风橱中进行，并进行尾气处理。

⑥**防污染**：酸碱废液分开收集，中和达标后再排放，严禁直接倒掉；重金属、有毒废液统一回收，不直接下水道排放。

(5) 意外事故处理（常考）：

**少量浓硫酸沾皮肤**：立即大量水冲洗，然后用 3%~5%NaHCO<sub>3</sub> 溶液冲洗。

**浓碱沾皮肤**：大量水冲，再涂硼酸溶液。

**试剂溅入眼睛**：大量流水冲洗，边洗边眨眼睛。

**液溴、苯酚沾在皮肤上**：立即用酒精擦洗。

**酒精在实验台上着火**：用湿抹布或沙土盖灭。

**金属钠、钾等着火**：用沙土盖灭。

**电器着火**：不能用泡沫灭火器。

#### 4. 河北高考实验安全选择题通用解题思路

(1) 抓核心禁忌点，对标安全准则排查明显错误；

(2) 规避思维误区，不凭日常习惯判断，严格遵循化学实验规范；

(3) 反向验证，找出违背安全原则的选项即为答案。

## 1. 经典重现

【2025 河北卷 T3】

高分子材料在生产、生活中得到广泛应用。下列说法错误的是 ( )

- A. ABS 高韧性工程塑料用于制造汽车零配件
- B. 聚氯乙烯微孔薄膜用于制造饮用水分离膜
- C. 聚苯乙烯泡沫用于制造建筑工程保温材料
- D. 热固性酚醛树脂用于制造集成电路的底板

【答案】B

## 2. 考向小结

(1) 从题干内容来看：不仅 2025 年一年，近三年河北卷选择题第三题的题干内容都高度一致——“高分子材料在生产/生活中得到广泛应用”，说明命题组将此题定位为高分子材料的综合辨析题；

(2) 从考查维度来看：2025 年河北卷通过性质特征（热塑性、热固性、稳定性）、应用场景是否合理进行对高分子化合物的考查。同样的考查维度在 2023、2024 年的河北卷中也出现过，且在 2023、2024 河北卷中还有对高分子化合物合成方式（加聚、缩聚）的考查。

(3) 从设问方式来看：近三年的设问方式固定，且错误选项的设置手法一致，都是将某个正确事实与错误判断拼接。

年份	错误选项	设置手法
2023	聚丙烯可由丙烯缩聚反应合成	合成方式偷换：加聚→缩聚
2024	聚四氟乙烯受热易分解	性质偷换：耐热→易分解
2025	聚氯乙烯微孔薄膜用于制造饮用水分离膜	应用场景偷换：PVC 不适合食品接触

## 3. 解题指导 1——高分子材料“四维定位法”

(1) 维度一：合成方法

- ① 加聚反应 —— 单体含碳碳双键
- ② 缩聚反应 —— 单体含羧基、羟基、氨基等

(2) 维度二：结构类型

- ① 线型结构 —— 热塑性

② 体型结构 —— 热固性

(3) 维度三：性质特征（需要重点记忆教材中出现的高分子材料）

① 受热行为：软化、分解、不熔化等

② 化学稳定性：耐酸碱、抗氧化等

③ 特殊性质：透明、绝缘、耐腐蚀等

(4) 维度四：应用场景

① 食品级：PE、PP、PLA

② 非食品级：PVC（含氯单体）

③ 特殊用途：医用、航空、电子等

4. 解题指导 2 —— “材料、属性、用途”三角验证法

- 材料（是什么）
- 属性（有什么性质）
- 用途（能干什么）

错误选项的设置方式

错误类型	模式	举例
材料正确，属性错误	材料✓ + 属性✗ + 用途✓	聚四氟乙烯+受热易分解✗
材料正确，用途错误	材料✓ + 属性✓ + 用途✗	PVC+饮用水分离膜✗
材料正确，合成方式错误	材料✓ + 合成方式✗	聚丙烯+缩聚✗

5. 考向拓展

拓展方向 1：合成单体与聚合方式的辨析

高分子	易错点
酚醛树脂	缩聚（非加聚），单体为苯酚和甲醛
聚氨酯	缩聚（含异氰酸酯基与羟基的反应）
聚碳酸酯	缩聚（双酚 A + 光气）
丁苯橡胶	加聚（共聚物，1,3-丁二烯+苯乙烯）
ABS 树脂	加聚（共聚物，丙烯腈+丁二烯+苯乙烯）
涤纶（聚酯）	缩聚（对苯二甲酸+乙二醇）

拓展方向 2：热塑性 vs 热固性的辨析

类型	代表	特征	易错点
热塑性	聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯	线型结构,可反复加热软化	受热不是“分解”而是“软化”
热固性	酚醛树脂、环氧树脂、脲醛树脂	体型(网状)结构,一次成型不可逆	受热不熔化、不溶解

拓展方向 3：食品级/安全性的辨析

材料	安全性	易错点
聚氯乙烯 (PVC)	非食品级(增塑剂、单体氯乙烯有毒)	不能用于食品包装、饮用水接触
聚乙烯 (PE)	食品级	可用于食品包装
聚丙烯 (PP)	食品级	微波炉餐盒常用
聚乳酸 (PLA)	生物相容性好,可降解	医用缝合线、食品包装
聚碳酸酯 (PC)	争议(双酚 A 问题)	婴儿奶瓶已禁用 PC

拓展方向 4：可降解/环保性的辨析

类型	代表	降解条件
生物降解	聚乳酸 (PLA)、聚羟基脂肪酸酯 (PHA)	微生物/水解
光降解	添加光敏剂的聚乙烯	紫外线照射
不可降解	聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯	自然条件下极难降解

## 1. 经典重现

【2025 河北卷 T4】设  $N_A$  是阿伏伽德罗常数的值，下列说法错误的是 ( )

- A. 18 g  $H_2O$  晶体内氢键的数目为  $2N_A$   
 B. 1 L 1 mol/L 的 NaF 溶液中阳离子总数为  $N_A$   
 C. 28 g 环己烷和戊烯的混合物中碳原子的数目为  $2N_A$   
 D. 铅酸蓄电池负极增重 96 g，理论上转移电子数为  $2N_A$

【答案】B

【解析】A. 每个水分子在冰中形成 4 个氢键，但每个氢键被两个分子共享，故每个分子贡献 2 个氢键。18 g  $H_2O$  为 1 mol，氢键数目为  $2N_A$ ，A 正确；B. NaF 溶液中阳离子包括  $Na^+$  和  $H^+$ 。 $Na^+$  为 1 mol，根据电荷守恒： $c(Na^+) + c(H^+) = c(F^-) + c(OH^-)$ ，钠离子不会水解，并且水电离出少量氢离子，则有  $n(Na^+) + n(H^+) > 1\text{mol}$ ，所以阳离子总数大于  $N_A$ ，B 错误；C. 环己烷和戊烯的最简式均为  $CH_2$ ，28 g 混合物含 2 mol  $CH_2$  单元，对应 2 mol 碳原子，碳原子数目为  $2N_A$ ，C 正确；D. 铅酸蓄电池负极反应为  $Pb + SO_4^{2-} - 2e^- = PbSO_4$ 。增重 96 g 对应生成 1 mol  $PbSO_4$ ，转移 2 mol 电子，数目为： $2N_A$ ，D 正确；故选 B。

## 2. 考向小结

围绕阿伏伽德罗常数，常考查  $22.4\text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$  与微粒数目、电解质溶液中离子数目、氧化还原反应电子转移、物质组成与结构、有机物官能团特殊结构。

## 3. 解题指导

(1)  $22.4\text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$  与微粒数目：标况下：水、HF、 $SO_3$ 、乙醇、苯、 $CCl_4$ 、溴、 $NO_2$ 、 $N_2O_4$  均不为气体，不可用  $22.4\text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$  计算。

(2) 电解质溶液中离子数目：弱酸、弱碱、弱离子在水里一定会电离、一定会水解，粒子数量一定变少；考虑水的电离、电荷守恒和元素守恒计算比较；pH 直接算浓度，无体积无法计算离子数目；胶体粒子是抱团聚合体，不可按单个离子算，数量远远偏小。

(3) 氧化还原反应电子转移：①标变价；②找 1 mol 反应转移电子总量；③比例换算。看到可逆反应，直接记住：反应不能进行到底，粒子数、电子数全部偏少。

(4) 物质组成与结构：主要考查化学键、氢键、晶体微粒数目、中子数、电子数等。解题口诀：共价键看结构式；晶体氢键均摊法；离子晶体拆电离方程式；C、H、O 均有多种同位素，中子数不固定。

(5) 牢记 1 mol 白磷( $P_4$ )中含磷磷单键的数目为  $6 N_A$ , 1 mol 硅中含硅硅单键的数目为  $2 N_A$ , 1 mol  $SiO_2$  中含硅氧单键的数目为  $4 N_A$ , 1 mol 石墨中含碳碳单键的数目为  $1.5 N_A$ 。

(6) 有机物官能团特殊结构: 记住最简式相同的物质, 如乙烯( $C_2H_4$ )和丙烯( $C_3H_6$ )、环己烷和戊烯等,  $C_nH_{2n}$  可以是环烷烃、苯均不含双键; 聚乙烯无双键。

#### 4. 河北高考 $N_A$ 选择题通用解题步骤

(1) 先划类别: 离子/电子/化学键/晶体/同位素/有机物

(2) 直接标记陷阱:

★ 溶液: 有没有水解? 阳离子是否多种?

★ 氧化还原: 歧化/归中, 电子别算翻倍

★ 晶体: 氢键、离子均摊

★ 有机物: 环烷烃、聚乙烯无双键

(3) 反例速判: 出现“一定、全部、总数恰好”大概率错误

## 题型5 化学用语表述的分析判断

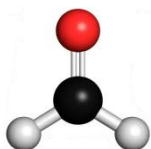
### 1. 经典重现

【2025 河北卷 T5】下列化学用语表述正确的是

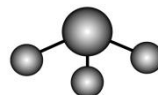
A. 中子数为 12 的氖核素:  ${}_{12}^{22}\text{Ne}$

B. 氯化镁的电子式:  $:\ddot{\text{Cl}}:\text{Mg}:\ddot{\text{Cl}}:$

C. 甲醛分子的球棍模型:



D.  $\text{CO}_3^{2-}$  的价层电子对互斥模型:



【答案】C

【解析】

A. 质子数应该为 10, A 选项错误; B. 氯化镁为离子化合物, 应该为  $[\ddot{\text{Cl}}:]^- \text{Mg}^{2+} [: \ddot{\text{Cl}}:]^-$ , B 选项错误; C. 甲醛分子的球棍模型为平面三角形, 且原子半径大小符合, C 选项正确; D.  $\text{CO}_3^{2-}$  的价层电子对互斥模型应该为平面三角形, 而不是三角锥形, D 选项错误; 故选 C

### 2. 考向小结

本题型主要考查各种化学用语, 化学用语通常分为四类:

(1) **符号**: 元素符号、核素符号、离子符号、化合价、电子式、结构式、结构简式、键线式、最简式(实验式)、化学式、分子式、电子排布式、价电子排布式、杂化类型表达式。比如:

① 氯-35 的核素符号  ${}_{17}^{35}\text{Cl}$ 、②  $\text{CH}_4$  碳原子杂化方式  $\text{sp}^3$

(2) **图示**: 原子(离子)结构示意图、轨道表示式(电子排布图)、电子式的形成过程、 $\text{s-s}$  键的形成过程、 $\text{s-p}$   $\sigma$  键的形成过程、 $\text{p-p}$   $\sigma$  键的形成过程、 $\pi$  键的形成过程、配位键的形成过程、氢键的形成过程。比如:

① 用电子式表示  $\text{K}_2\text{S}$  的形成过程:  $\text{K} \cdot + \cdot \ddot{\text{S}} \cdot + \cdot \text{K} \longrightarrow \text{K}^+ [:\ddot{\text{S}}:]^{2-} \text{K}^+$

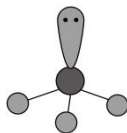
②  $\text{Cl}_2$  中  $\text{p-p}$   $\sigma$  键的形成:

(3) **模型**: 球棍模型、空间填充模型、VSEPR 模型、晶胞堆积模型、电子云轮廓图(轨道电子云形状)比如:

①氯乙烷的空间填充模型：



②NH<sub>3</sub> 分子的 VSEPR 模型：



(4) 与化学概念相关的术语：化学方程式、离子方程式、热化学方程式、电离方程式、溶解平衡表达式、氧化还原反应双线桥、氧化还原反应单线桥。比如：

①乙醇燃烧的热化学方程式  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1366 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

②用单线桥表示氧化还原反应的电子转移的式子，例如：  
$$2\text{Na} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{NaCl}$$
  
The diagram shows a single-line bridge above the reaction. The bridge starts at the Na atom and ends at the Cl atom in Cl<sub>2</sub>. Above the bridge is the label "2e<sup>-</sup>".

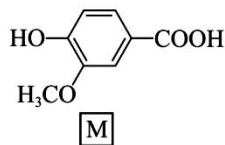
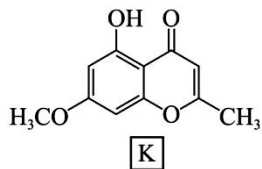
### 3. 解题指导

**考查要求：**熟练掌握各种化学用语，弄清各种化学用语真实含义，对于相似易混的化学用语要对比分析记忆，对于抽象的化学用语要理解后加强记忆，对于常考的化学用语要多次重点强化训练。

**解题思路：**抓住常考化学用语的易错点和设错点进行查错排除。比如：近几年河北高考题多次考查离子化合物和共价化合物电子式，应该看是否标注中括号和电荷进行排除；球棍模型、空间填充模型看原子半径大小是否正确或原子空间排布方式是否正确进行排除；VSEPR 模型看是否应该存在孤电子对进行排除；热化学方程式看是否标有物质的状态进行排除等。

### 1. 经典重现

【2025 河北卷 T6】丁香挥发油中含丁香色原酮(K)、香草酸(M)，其结构简式如下：



下列说法正确的是 ( )

- A. K 中含手性碳原子  
 B. M 中碳原子都是  $sp^2$  杂化  
 C. K、M 均能与  $NaHCO_3$  反应  
 D. K、M 共有四种含氧官能团

【答案】D

【解析】

A. 由图知，K 中环上碳原子均为  $sp^2$  杂化，饱和碳原子均为甲基碳原子，所以不含手性碳原子，A 错误；

B. M 中环上碳原子和羧基上的碳原子均为  $sp^2$  杂化，甲基碳原子为  $sp^3$  杂化，B 错误；

C. 由于酸性：羧酸  $>$  碳酸  $>$  苯酚  $>$   $HCO_3^-$ ，所以 K 中的酚羟基不能与  $NaHCO_3$  溶液反应，K 中不含能与  $NaHCO_3$  溶液反应的官能团，M 中羧基可与  $NaHCO_3$  溶液反应，C 错误；

D. K、M 中共有羟基、醚键、羰基、羧基四种含氧官能团，D 正确；

故选 D。

### 2. 考向小结

围绕有机物的结构和性质进行考查。通常考查分子式书写，官能团（或含氧官能团）识别和性质，手性碳原子识别，同分异构体（顺反异构体）识别，分子中原子共面共线判断，原子杂化方式，化学键与键参数（极性键、非极性键、大派键、氢键、分子间作用力）。

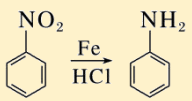
### 3. 解题指导

#### (1) 分子式书写判断

注意有机物分子的不饱和度（区分环、苯环），键线式尽量补充写成结构简式，以免漏掉碳氢等原子数目。

#### (2) 官能团的性质

### ※常见官能团性质总结

官能团(或基团)	常见的特征反应及其性质
烷烃基	取代反应：在光照条件下与卤素单质反应
碳碳双键、 碳碳三键	①加成反应：使溴水（碘水）褪色 ②氧化反应：能使高锰酸钾溶液褪色
苯环	①取代反应：①在 $\text{FeBr}_3$ 催化下与液溴反应；②在浓硫酸催化下与浓硝酸反应 ②加成反应：在一定条件下与 $\text{H}_2$ 反应 注意：苯与溴水、酸性高锰酸钾溶液都不反应
碳卤键 (卤代烃)	①水解反应：卤代烃在 $\text{NaOH}$ 水溶液中加热生成醇 ②消去反应：(部分)卤代烃与 $\text{NaOH}$ 醇溶液共热生成不饱和烃
醇羟基	①与活泼金属( $\text{Na}$ )反应放出 $\text{H}_2$ ②催化氧化：部分在铜或银催化下被氧化成醛基或酮羰基 ③与羧酸发生酯化反应生成酯
酚羟基	①弱酸性：能与 $\text{NaOH}$ 溶液反应 ②显色反应：遇 $\text{FeCl}_3$ 溶液显紫色 ③取代反应：与浓溴水反应生成白色沉淀
醛基	(1) 氧化反应：①与银氨溶液反应产生光亮的银镜； ②与新制的 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 共热产生砖红色沉淀 (2) 还原反应：与 $\text{H}_2$ 加成生成醇
羧基	①使紫色石蕊溶液变红 ②与 $\text{NaHCO}_3$ 溶液反应产生 $\text{CO}_2$ ③与羟基发生酯化反应
酯基	水解反应：①酸性条件下水解生成羧酸和醇； ②碱性条件下水解生成羧酸盐和醇
酰胺基	在强酸、强碱条件下均能发生水解反应
硝基	还原反应：如 

### ※有机反应中的几个定量关系

① 1 mol  $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$  加成需要 1 mol  $\text{H}_2$  或 1 mol  $\text{X}_2$  ( $\text{X}=\text{Cl}$ 、 $\text{Br}$ .....)。

② 1 mol 苯完全加成需要 3 mol  $\text{H}_2$ 。

③ 1 mol  $-\text{COOH}$  与  $\text{NaHCO}_3$  反应生成 1 mol  $\text{CO}_2$  气体。

④ 1 mol  $-\text{COOH}$  与  $\text{Na}$  反应生成 0.5 mol  $\text{H}_2$ ; 1 mol  $-\text{OH}$  与  $\text{Na}$  反应生成 0.5 mol  $\text{H}_2$ 。

⑤ 与  $\text{NaOH}$  反应, 1 mol  $-\text{COOH}$  消耗 1 mol  $\text{NaOH}$ ; 1 mol  $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{O}-\text{R}' \end{array}$  ( $\text{R}$ 、 $\text{R}'$  为烃基) 消耗 1 mol  $\text{NaOH}$ , 若  $\text{R}'$  为苯环, 则最多消耗 2 mol  $\text{NaOH}$ 。

### (3) 手性碳原子

① 碳原子必须是饱和碳 ( $\text{sp}^3$  杂化) ② 连接四个不同的原子或原子

★ 环状有机物手性碳原子判断, 可以这样判断: 以环中某碳为中心顺时针和逆时针查看有机物原子或基团的连接顺序和种类相同则不是手性碳原子; 也可以找环的对称面, 若有对称面, 则不是手性碳原子。

### (4) 顺反异构

① 通常含有碳碳双键;

② 每个碳原子必须连接两个不同的原子或原子团, 则物质存在顺反异构。若某一碳原子上连接两个相同的基团, 则不存在顺反异构。

(5) 共线共面: 苯环、双键共面, 苯环对称轴、三键直线。

(6) 碳原子杂化方式: 饱和碳 ( $\text{sp}^3$  杂化), 双键、苯环 ( $\text{sp}^2$  杂化), 三键 ( $\text{sp}$  杂化)

(7) 氢键形成: 含有羟基 ( $-\text{OH}$ )、羧基 ( $-\text{COOH}$  羟基部分)、氨基 ( $-\text{NH}_2$ )、亚氨基 ( $-\text{NH}-$ )、酰胺键 ( $-\text{CONH}-$ 、 $-\text{CONH}_2$ ) 的有机物分子自身之间能形成氢键, 也能和水形成氢键, 致使有机物分子的熔沸点较高, 在水中溶解度较高。

### ★注意:

① 只含有醚键 ( $-\text{O}-$ )、羰基 ( $\text{C}=\text{O}$ )、醛基 ( $-\text{CHO}$ ) 硝基 ( $-\text{NO}_2$ ) 有机物分子只能做氢键的受体, 不能自身形成氢键。

② 五元环、六元环 (苯环) 上若有两个官能团

★ 邻位若含有两个能形成氢键的基团, 则分子内部形成氢键, 使熔沸点降低, 水溶性变差, 若有酸性则酸性增强 (酸性: 邻羟基苯甲酸 > 对羟基苯甲酸)。

★ 间位、对位若含有两个能形成氢键的基团, 则通常分子之间形成氢键, 使熔沸点升高。

### 4. 河北高考有机物结构和性质选择题通用解题步骤

(1) 观察结构简式, 找出所有官能团;

(2) 根据官能团, 先研究定性的选项;

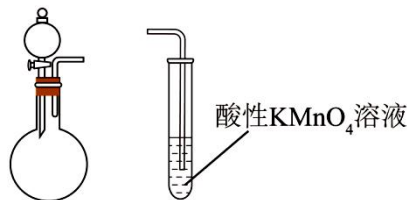
(3) 根据官能团的性质, 研究定量选项;

(4) 对于不饱和度、手性碳、顺反异构、原子杂化类型等选项, 具体问题具体分析。

### 1. 经典重现

【2025 河北卷 T7】如图所示装置(加热、除杂和尾气处理装置任选)不能完成相应气体的制备和检验的是 ( )

- A. 电石与饱和 NaCl 溶液
- B. Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 固体与 70%的浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- C. 大理石与稀 HCl
- D. Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 固体与水



【答案】C

【解析】

电石与饱和 NaCl 溶液反应制备乙炔，乙炔含碳碳三键，乙炔可与酸性高锰酸钾发生氧化还原反应而使酸性 KMnO<sub>4</sub> 溶液褪色，A 不符合题意；

Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 固体与 70%的浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 反应制备 SO<sub>2</sub>，SO<sub>2</sub> 具有还原性，SO<sub>2</sub> 可与酸性高锰酸钾发生氧化还原反应而使酸性 KMnO<sub>4</sub> 溶液褪色，B 不符合题意；

大理石与稀 HCl 反应制备 CO<sub>2</sub>，CO<sub>2</sub> 不能使酸性 KMnO<sub>4</sub> 溶液褪色，C 符合题意；

Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 固体遇水发生水解反应生成 Al(OH)<sub>3</sub> 和 H<sub>2</sub>S，H<sub>2</sub>S 具有还原性，H<sub>2</sub>S 可与酸性高锰酸钾发生氧化还原反应而使酸性 KMnO<sub>4</sub> 溶液褪色，D 不符合题意。

### 2. 考向小结

出题方式：四选项分别一套小型实验，判断整套方案能否达到实验目的。

(1) 气体制备“三要素”正误判断：试剂选择是否正确、反应条件是否正确、发生装置是否匹配（加热/不加热）。

(2) 气体性质与检验试剂、除杂、尾气处理试剂的匹配关系。

(3) 实验装置功能评价

制气（是否需加热、温度计水银球位置、试管口的倾斜方向等）、除杂（试剂种类、导管进出等）、收集（收集方法、导管进出等）、尾气处理（试剂种类、是否需要防倒吸）装置的使用规范、适配性。

(4) 强隐蔽性杂质干扰成为核心难点

副反应干扰：如电石制乙炔会生成 H<sub>2</sub>S、PH<sub>3</sub> 等杂质，是否影响后续检验；乙醇与浓硫酸反应制乙烯会混有乙醇、二氧化硫、二氧化碳等，需考虑除杂对检验的影响。

### 3. 解题指导

【思维模型】按以下顺序逐一判断

第一步：判制备（能不能造出目标气体）

第二步：判除杂（杂质会不会干扰检验）

第三步：判断检验或收集（现象能不能唯一证明气体、收集方法或装置是否适合）

第四步：判装置与安全（装置适配、尾气、防倒吸）

【解题方法】

以夯实基础知识为核心，精准掌握常见气体的制备、除杂、性质检验及尾气处理方法为关键。

常见气体的实验室制备方法、所含杂质、除杂试剂、检验试剂、尾气处理方法等。

#### ①Cl<sub>2</sub>

制备方法	$\text{MnO}_2 + 4\text{HCl}(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>① 可用氧化性更强的 <math>\text{KMnO}_4</math>（常温）、<math>\text{KClO}_3</math>、<math>\text{Ca}(\text{ClO})_2</math> 等代替 <math>\text{MnO}_2</math></p> <p>②工业制法：电解饱和食盐水</p>
除杂方法	$\text{Cl}_2$ （ $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ ）→ 饱和 $\text{NaCl}$ 溶液（除 $\text{HCl}$ ） → 浓 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 或无水 $\text{CaCl}_2$ 或 $\text{P}_2\text{O}_5$ 等（除水）
尾气处理	$\text{NaOH}$ 溶液

#### ②HCl

制备方法	$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{NaHSO}_4 + \text{HCl}\uparrow$ $\text{NaCl} + \text{NaHSO}_4 \xrightarrow{\text{强热}} \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}\uparrow$ $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) + 2\text{NaCl} \xrightarrow{\text{强热}} \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}\uparrow$ <p>快速制法：浓硫酸+浓盐酸</p>
尾气处理	水（注意防倒吸）

## ③HF

制备方法	$\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{CaSO}_4 + 2\text{HF}\uparrow$ (产物腐蚀玻璃仪器)
------	---

④O<sub>2</sub>

制备方法	$2\text{KClO}_3 \xrightarrow[\Delta]{\text{MnO}_2} 2\text{KCl} + 3\text{O}_2\uparrow$ $2\text{KMnO}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{O}_2\uparrow$ $2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{MnO}_2} 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2\uparrow$
------	--

⑤SO<sub>2</sub>

制备方法	$\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ <p>① 不能用 HNO<sub>3</sub> (会氧化 SO<sub>2</sub>)</p> <p>② 若 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>浓度过低, SO<sub>2</sub>易溶于水, 不利于逸出</p> $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>工业制法: 煅烧黄铁矿</p>
尾气处理	NaOH 溶液

⑥H<sub>2</sub>S

制备方法	$\text{FeS} + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S}\uparrow$ (用稀盐酸/稀硫酸, 不能用浓硫酸、硝酸)
除杂方法	H <sub>2</sub> S (HCl、H <sub>2</sub> O) → 饱和 NaHS 溶液 (除 HCl) → 能用中性或弱酸性干燥剂 (如无水 CaCl <sub>2</sub> 、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (不能用浓硫酸, 会氧化 H <sub>2</sub> S)
尾气处理	NaOH 溶液

⑦NH<sub>3</sub>

制备方法	$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\Delta} \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>快速制法: ①浓氨水 + 生石灰 ②浓氨水 + NaOH 固体</p> <p>工业制法: N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> 合成氨</p>
除杂方法	NH <sub>3</sub> (H <sub>2</sub> O) → 碱石灰 (除水)

	不能用浓硫酸、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 等酸性干燥剂， 不能用无水 CaCl <sub>2</sub> （会形成 CaCl <sub>2</sub> ·8NH <sub>3</sub> 络合物）。
尾气处理	水（注意防倒吸）

⑧NO<sub>x</sub>

制备方法	$3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3(\text{稀}) = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3(\text{浓}) = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
收集方法	NO 易与 O <sub>2</sub> 反应，只能用排水法收集； NO <sub>2</sub> 能与水反应，只能用向上排空气法收集。
尾气处理	NO <sub>2</sub> 、NO 和 NO <sub>2</sub> 混合气用 NaOH 溶液吸收 $2\text{NaOH} + 2\text{NO}_2 = \text{NaNO}_2 + \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ $2\text{NaOH} + \text{NO}_2 + \text{NO} = 2\text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

⑨CO<sub>2</sub>

制备方法	$\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 不能用稀 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> （CaSO <sub>4</sub> 微溶，会附着在大理石表面阻止反应持续进行，因此只能用稀盐酸。）
除杂方法	$\text{CO}_2(\text{HCl}, \text{H}_2\text{O}) \rightarrow$ 饱和 NaHCO <sub>3</sub> 溶液（除 HCl） $\rightarrow$ 浓硫酸或无水 CaCl <sub>2</sub> 或 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 等（除水）
尾气处理	不必处理

⑩九、有机气体

制备方法	制备： $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow[170^\circ\text{C}]{\text{浓硫酸}} \text{CH}_2=\text{CH}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 制备 C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ： $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2\uparrow$ （用饱和食盐水代替水，减缓反应速率）
除杂方法	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{CO}_2, \text{SO}_2) \rightarrow$ NaOH 溶液 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{H}_2\text{S}) \rightarrow$ CuSO <sub>4</sub> 溶液或 NaOH 溶液

### 1. 经典重现

【2025 河北卷 T8】化学研究应当注重宏观与微观相结合。下列宏观现象与微观解释不符的是 ( )

选项	宏观现象	微观解释
A	氮气稳定存在于自然界中	氮分子中存在氮氮三键，断开该共价键需要较多的能量
B	苯不能使溴的 $\text{CCl}_4$ 溶液褪色	苯分子中碳原子形成了稳定的大 $\pi$ 键
C	天然水晶呈现多面体外形	原子在三维空间里呈周期性有序排列
D	氯化钠晶体熔点高于氯化铝晶体	离子晶体中离子所带电荷数越少，离子半径越大，离子晶体熔点越低

【答案】D

【解析】 $\text{N}_2$  分子中存在氮氮三键，键能较大，断开该共价键需要较多的能量，所以  $\text{N}_2$  可稳定存在于自然界中，A 正确；苯分子中碳原子形成了稳定的大  $\pi$  键，没有单双键交替的结构，故苯不能与溴发生加成反应而使溴的  $\text{CCl}_4$  溶液褪色，B 正确；水晶的主要成分为  $\text{SiO}_2$ ，属于共价晶体，由 Si 和 O 通过共价键在三维空间里周期性有序排列而成，故呈现规则的多面体外形，C 正确； $\text{NaCl}$  为离子晶体，含有离子键，而  $\text{AlCl}_3$  为分子晶体，分子间为范德华力，故熔点： $\text{NaCl} > \text{AlCl}_3$ ，D 错误。

### 2. 考向小结

考查物质性质和结构的对应关系，一般选出不符合的一项。本题给出的实例是正确的，需要判断的是微观解释是否正确是否符合。主要围绕物质稳定性、熔沸点、配位键、键角、微粒间作用力等角度考查。

### 3. 解题指导

(1) 物质的稳定性：这是化学性质，要从物质或微粒的原子结构或分子结构解释。

稀有气体，电子已达饱和，稳定。

$\text{N}_2$  分子中存在氮氮三键，键能大，稳定。

稳定性： $\text{Fe}^{3+}(3d^5) > \text{Fe}^{2+}(3d^6)$        $\text{Cu}^+(3d^{10}) > \text{Cu}^{2+}(3d^9)$

(2) 物质熔沸点：这是物理性质。先判断晶体类型，再比较规律。

不同晶体：共价晶体 > 离子晶体 > 分子晶体

同种晶体，共价晶体（原子半径大，共价键键能小）：金刚石 > SiC > 晶体硅。

离子晶体（离子半径小，电荷数大，离子键键能大）：MgO > NaCl

分子晶体（氢键 → 摩尔质量 → 支链 → 状态）：

HF > HCl；HBr > HCl；正丁烷 > 异丁烷；H<sub>2</sub>O > NH<sub>3</sub>。

(3) 键角大小比较：中心原子杂化类型 → 孤电子对数 → 中心原子、配原子电负性；

CS<sub>2</sub>(SP) > H<sub>2</sub>O(SP<sup>3</sup>)；CH<sub>4</sub> > NH<sub>3</sub> > H<sub>2</sub>O；NH<sub>3</sub> > PH<sub>3</sub>，NCl<sub>3</sub> > PCl<sub>3</sub>。

(4) 微粒间作用力：配位键和物质的稳定性，[Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> 稳定性 > [Cu(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>；

配位键的配位能力，NH<sub>3</sub> 配位能力 > NF<sub>3</sub>（F 电负性抑制给电子）；共价键的饱和性，N 原子价层有 4 个轨道不易形成 NF<sub>5</sub>；

π键不是双键，苯不能使溴水褪色。

\* (5) 酸碱性强弱的比较：主要分析相邻基团的电负性的影响。

酸性，CF<sub>3</sub>COOH > CH<sub>3</sub>COOH > CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>COOH（F 吸电子；烷基推电子）

碱性 CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub> > NH<sub>3</sub>（甲基推电子增强 N 电子云密度）。

(6) 超分子的应用：冠醚 (18 - 冠 - 6) 识别 K<sup>+</sup>，增大 KMnO<sub>4</sub> 在有机溶剂中的溶解度；

杯酚分离 C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub>；超分子自组装特性。

#### 4. 解题思路

(1) 核对解释是否对应实例。

熔沸点：物理性质，看微粒间作用力；

稳定性：化学性质，看化学键。

(2) 检查微观解释的原理是否正确。

(3) 警惕跨类型乱用规律。

AlCl<sub>3</sub> 晶体：分子晶体、熔融不导电。



全程考查微观电子排布→元素种类→宏观物质性质的递进关系，是新高考物质结构选择题最典型的命题模型，后续会持续围绕电子排布稳定性、晶体类型、周期律或反常现象命题，如不同晶体类型（分子晶体、原子晶体、离子晶体、金属晶体）的熔沸点、硬度比较；晶体中微粒间作用力的区分。

#### （4）氢化物专项考向

高频考查短周期简单氢化物的稳定性、热分解温度、还原性、水溶液酸碱性、熔沸点反常；核心陷阱：氢化物稳定性由共价键键能决定、沸点由分子间作用力 / 氢键决定，二者无关联；重点考查  $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{NH}_3$  氢键反常特例。

#### （5）化学键与化合物类型考向

电子式（形成过程）、结构式、结构简式的正误判断；综合判断离子化合物、共价化合物类型；极性共价键、非极性共价键、配位键的区分；考查过氧化物、金属氢化物、非金属互化物的特殊成键方式，结合元素推断判断物质成键类型及化学键对物质性质的影响。

#### （6）离子与含氧酸性质考向

依托周期律考查简单阳离子氧化性、简单阴离子还原性递变；最高价非金属含氧酸酸性强弱对比；结合元素位置判断离子能否水解、微粒稳定性强弱。

#### （7）氧化还原与化合价考向

根据价电子排布判断元素常见最高正价、最低负价；对比同周期同主族单质、简单离子的氧化还原性递变规律，结合基础转化考查元素化学性质。

#### （8）微观结构细节考向

结合洪特规则、泡利原理、全满半满全空稳定特例，解释电离能、元素性质反常；考查价电子排布、未成对电子数、轨道能量高低，作为元素推断的核心隐藏条件。

#### （9）原子杂化方式、VSEPR 模型与空间结构考向

有机物（烷烃/烯烃/炔烃/苯）、无机物（ $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{BF}_3$ ）中中心原子的杂化类型判断；杂化方式与键角、分子空间结构、价层电子对计算、VSEPR 模型的判断；等电子体的结构相似性应用。

### 3. 解题指导

#### （1）整体解题思路

**圈信息：**圈出短周期、非金属、能级、未成对电子、同族、相邻、对角线。

**推元素：**从电子排布最明确的元素入手，推出后验证是否冲突。

**定四性：**围绕电离能、半径、熔沸点、电负性四大周期律判断。

**避陷阱：**优先看电子排布稳定性、晶体类型、物质状态、递变方向。

(2) 分步解题思路 (标准四步法, 通用所有同类题)

**第一步: 元素定位——精准推断元素 (破题核心)**

①提取题干线索: 最高能级电子、未成对电子、能级排布、周期/主族、对角线规则、同族关系、最高/最低化合价。

②多情况试探推断: 出现模糊条件时列出 2~3 种可能元素, 用选项性质反向排除矛盾元素。

③锁定唯一元素: 优先排除重复、冲突、不符合周期律的元素, 最终确定短周期元素。

思维提醒: 题干不直接给位置, 全靠电子排布特征推断, 是新高考固定套路。

**第二步: 建立性质对比标尺 (所有选项通用判断依据)**

拿到元素后, 立刻在脑中建立 4 条固定判断链:

①半径: 电子层数 > 核电荷数 (原子、离子通用)

②电离能: 全满、半满 > 常规排布; 阳离子 > 原子 > 阴离子; 多级电离能看突变

③熔沸点: 共价晶体 > 离子晶体 > 分子晶体; 分子晶体看范德华力, 氢键优先反常

④电负性/非金属性: 同周期从左→右增大, 同主族上→下减小

**第三步: 逐项拆解选项, 分层比对**

①电离能类选项

先写目标微粒电子排布 (尤其+1、+2 价阳离子)

找全满、半满、全空稳定结构, 稳定结构电离能更高

警惕: 第二、第三电离能远大于第一电离能; 同族、同周期反常比较

②半径类选项

先看电子层数: 层数多半径大

层数相同看核电荷数: 核电荷越大, 半径越小

离子半径统一规律: 电子层相同, 序大径小; 等电子离子直接排序

跨周期+同周期混合比较, 严格按两步走, 不凭感觉

③熔沸点类选项

第一步: 先判晶体类型, 优先级: 共价晶体 > 离子晶体 > 分子晶体

第二步: 分子晶体先找有没有氢键 ( $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{NH}_3$ ), 有氢键直接沸点反常高

第三步: 无氢键再用相对分子质量→范德华力→沸点

④电负性、非金属性、氢化物、含氧酸

电负性=非金属性强弱标尺

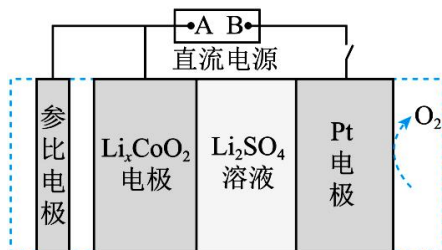
氢化物稳定性看共价键键能 (非金属性越强越稳)

氢化物沸点看分子间作用力/氢键, 稳定性≠沸点

最高价含氧酸酸性随非金属性增强而增强

### 1. 经典重现

【2025 河北卷 10】科研工作者设计了一种用于废弃电极材料  $\text{Li}_x\text{CoO}_2(x < 1)$  再锂化的电化学装置，其示意图如下：



已知：参比电极的作用是确定  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  再锂化为  $\text{LiCoO}_2$  的最优条件，不干扰电极反应。

下列说法正确的是 ( )

- A.  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  电极上发生的反应： $\text{Li}_x\text{CoO}_2 + x\text{e}^- + x\text{Li}^+ = \text{LiCoO}_2$
- B. 产生标准状况下 5.6 L  $\text{O}_2$  时，理论上可转化  $\frac{1}{1-x}$  mol 的  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$
- C. 再锂化过程中， $\text{SO}_4^{2-}$  向  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  电极迁移
- D. 电解过程中，阳极附近溶液 pH 升高

【答案】B

### 2. 考向小结

#### (1) 情境考向

电化学选择题以工业应用、前沿储能、资源回收为命题背景，借助多室隔膜装置构建复杂模型。解题重在逻辑推演，拆解电极反应、离子迁移等微观过程，分析体系 pH 动态变化，依托电子守恒完成定量计算，综合思辨破解考题。

#### (2) 核心知识考向

- ① 精准区分放电正负极、充电阴阳极，熟练完成两类电极名称相互推导；
- ② 判断充放电过程电极反应正误，书写陌生电极反应方程式；
- ③ 判断充放电状态下电子、电流、阴阳离子的移动方向；
- ④ 分析电极区域、电解质体系酸碱性变化与微粒浓度变化；
- ⑤ 依托电子守恒完成电极质量变化、反应物与生成物物质的量的相关计算；
- ⑥ 考查电解液选择、电极材料作用、电池使用注意事项与实际应用限制。

### 3. 解题指导

#### 第一步：定状态、辨电极

面对陌生的电化学装置图，第一步是快速剥离其“科技外衣”，还原其化学本质。

先判类型（原电池、电解池还是二次电池）

**思维路径：**扫视装置图，寻找是否有外接直流电源，结合选项是否有充放电过程。

**判断依据：**有外接电源的为电解池（如 2025 年河北卷的锂回收装置）；选项中有充电过程放电过程为二次电池（如 2023 年、2024 年河北卷的各类新型电池）。

锁定电极名称（阴阳极或正负极）

**思维路径：**依据题中所给条件、物质化合价的变化或电子/电流流向进行判断。

**判断依据：**原电池：失电子、化合价升高、发生氧化反应的一极为负极；得电子、化合价降低、发生还原反应的一极为正极。

电解池：与电源正极相连（或发生失电子氧化反应）的为阳极；与电源负极相连（或发生得电子还原反应）的为阴极。

二次电池：负极与阴极相互转换，正极与阳极相互转换。

实战应用：例如在 2025 年河北卷中，铂电极上生成氧气（氧元素由-2 价变为 0 价，失电子），即可迅速锁定该极为阳极，进而推断出另一极为阴极。

## 第二步：析反应、写方程

通过“定物质→算电子→配电荷→平原子”的四步正向逻辑，即可精准写出电极反应式。

### （1）定物质（找准反应物与产物）：

结合装置图中的箭头方向或题干信息，明确该电极上是哪种物质在反应，生成了什么新物质。例如，2025 年河北卷中废弃电极材料再锂化时， $\text{Li}_x\text{CoO}_2(x<1)$  电极上  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  转化为  $\text{LiCoO}_2$ ；或者如新型锌铁液流电池中，负极区的  $\text{Zn}$  转化为  $\text{Zn(OH)}_4^{2-}$ 。

### （2）算电子（确定得失电子数）：

根据反应前后核心元素的化合价变化，直接计算出失去或得到了几个电子（ $ne^-$ ）。例如， $\text{Li}_x\text{CoO}_2(x<1)$  转化为  $\text{LiCoO}_2$  可看成  $\text{Co}$  由  $4-x$  价变成 +3 价得到  $1-x$  个电子；或者如新型锌铁液流电池中，负极区的  $\text{Zn}$  转化为  $\text{Zn(OH)}_4^{2-}$  失去 2 个电子。

### （3）配电荷（引入环境离子平衡电荷）：

这是最关键的一步，必须严格依据电解质溶液的酸碱性来选取配平离子，确保方程式左右两边电荷总数相等。

**酸性环境：**使用  $\text{H}^+$  来配平电荷（缺正电荷补  $\text{H}^+$ ）。

**碱性环境：**使用  $\text{OH}^-$  来配平电荷（缺负电荷补  $\text{OH}^-$ ）。

**熔融盐/固体氧化物：**通常使用  $\text{O}^{2-}$  或其他特定传导离子（如  $\text{Li}^+$ ）来配平。

**避坑提醒：**酸性溶液中绝对不能出现  $\text{OH}^-$ ，碱性溶液中绝对不能出现  $\text{H}^+$ 。

### （4）平原子（补水配平 H、O 原子）：

在电荷守恒的基础上，观察方程式两边的氢、氧原子数量，通过在缺项一侧添加  $\text{H}_2\text{O}$  来使原子个数守恒。

**二次电池技巧：**对于可充电电池（如 2024 年河北卷 Mg-CO<sub>2</sub> 电池），放电时的负极反应与充电时的阴极反应互为逆过程；放电时的正极反应与充电时的阳极反应互为逆过程。抓住这一点可以大大降低书写难度。

**判断反应正误：**严格遵循三大守恒（质量、电荷、得失电子），并检查反应环境（酸性无 OH<sup>-</sup>，碱性无 H<sup>+</sup>）。

### 第三步：判流向、理回路

微观粒子的移动方向是闭合回路形成的关键，也是高频易错点。

**外电路（导线）：**电子（e<sup>-</sup>）只在外电路流动，永远从失电子的一极（负极/阳极）流向得电子的一极（正极/阴极）；电流方向与之相反。

**内电路（电解质）：**离子定向移动平衡电荷。

**阳离子：**奔向得电子的一极（原电池的正极、电解池的阴极）。

**阴离子：**奔向失电子的一极（原电池的负极、电解池的阳极）。

**隔膜核心作用：**分隔两极电解液，避免两极反应物直接接触发生副反应；允许特定离子通过，导通内电路维持电荷平衡；阻挡气体、固体微粒跨区扩散，保障产物纯度。

### 常见隔膜类型及：

阳离子交换膜（阳膜）：只允许阳离子（如 Na<sup>+</sup>、H<sup>+</sup>、Li<sup>+</sup>）通过，阻挡阴离子。

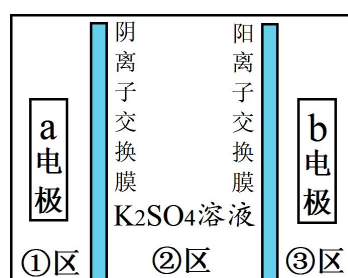
阴离子交换膜（阴膜）：只允许阴离子（如 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、OH<sup>-</sup>）通过，阻挡阳离子。

质子交换膜：属于特殊的阳膜，仅允许 H<sup>+</sup>（质子）通过。

双极膜：在直流电作用下，膜中间层的水分子解离成 H<sup>+</sup> 和 OH<sup>-</sup>，分别向两侧迁移，常作为 H<sup>+</sup> 和 OH<sup>-</sup> 的“发生器”。

在综合判定离子交换膜或离子移动时需结合电极反应、电荷平衡、产物提纯需求判定。

例如 23 年河北卷 13 题



已知放电时，电极材料  $\text{KO}-\text{C}_{10}\text{H}_6-\text{OK}$  转化为  $\text{O}=\text{C}_{10}\text{H}_6=\text{O}$ ，同时释放 K<sup>+</sup>，结合②区电解质

溶液为 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液，右侧为阳离子交换膜，判定 K<sup>+</sup> 在 b 电极生成，透过阳离子交换膜移动到②区，①区 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 则透过阴离子交换膜移动到②区平衡电荷，同时增大 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液浓度。

#### 第四步：看环境、析变化

结合写出的电极反应式，动态分析局部微环境的变化。

**酸碱性 (pH) 变化：**判断某一区域的 pH 变化，不能仅盯着电极反应看，必须将“电极反应的直接产物”、“离子的定向迁移”以及“水的生成或消耗对浓度的影响”三者结合起来进行全盘推演。例如 25 年河北卷 D 选项，由阳极电极反应式知，阳极产生  $H^+$  且消耗水，判断阳极区 pH 减小。

**微粒浓度变化：**结合离子迁移方向分析。例如，某室不断生成阳离子且该离子无法迁出，则该区域盐浓度增大；若离子通过交换膜迁出，则需计算迁入/迁出的量来判断最终浓度走势。

#### 第五步：抓守恒、精计算

定量计算是压轴选项的常客，核心在于建立等量关系。

**电子守恒定律：**串联电路中各电极转移的电子数相等。以此为桥梁，建立“反应物/生成物的物质的量”与“转移电子数”的关系式（如  $O_2 \sim 4e^-$ ， $Ag \sim 1e^-$ ）。

#### 质量与浓度计算：

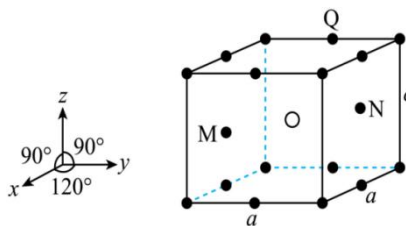
**电极质量变化：**考虑析出金属的质量以及嵌入/脱嵌离子的质量。

**溶液质量变化：**运用“进出账单法”，即  $\Delta m(\text{溶液}) = m(\text{进入体系的物质}) - m(\text{离开体系的物质}) \pm m(\text{迁移离子的质量})$ 。

### 一、经典重现

【2025·河北·高考 T11】 $\text{SmCo}_k(k > 1)$  是一种具有优异磁性能的稀土永磁材料，在航空航天等领域中获得重要应用。 $\text{SmCo}_k$  的六方晶胞示意图如下，晶胞参数  $a = 500\text{pm}$ 、 $c = 400\text{pm}$ ，M、N 原子的分数坐标分别为  $(\frac{5}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{2})$ 、 $(\frac{1}{6}, \frac{5}{6}, \frac{1}{2})$ 。设  $N_A$  是阿伏加德罗常数的值。下列说法错误的是 ( )

- A. 该物质的化学式为  $\text{SmCo}_5$
- B. 体心原子的分数坐标为  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$
- C. 晶体的密度为  $\frac{890\sqrt{3}}{3N_A \times 10^{-22}} \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
- D. 原子 Q 到体心的距离为  $100\sqrt{41}\text{pm}$



【答案】选 D。

【解析】A. 由晶胞图知，白球位于体心，晶胞中数目为 1，黑球位于顶角、棱心、体内，六方晶胞上下表面中一个角  $60^\circ$ ，一个角为  $120^\circ$ ，晶胞中数目为

$$4 \times \frac{1}{12} + 4 \times \frac{1}{6} + 2 + 8 \times \frac{1}{4} = 5, \text{ 结合题意知, 白球为 Sm、黑球为 Co, 该物质化学式为 } \text{SmCo}_5,$$

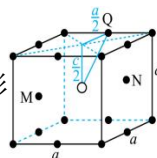
A 正确;

B. 体心原子位于晶胞的中心，其分数坐标为  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ ，B 正确;

C. 每个晶胞中含有 1 个“ $\text{SmCo}_5$ ”，晶胞底面为菱形，晶胞体积为  $\frac{\sqrt{3}}{2}a^2c$ ，则晶体密度

$$\text{为 } \rho = \frac{\frac{1}{N_A} \times (150 + 59 \times 5) \text{g}}{\frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c \text{ cm}^3} = \frac{890\sqrt{3}}{3N_A \times 10^{-22}} \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}, \text{ C 正确;}$$

D. 原子 Q 的分数坐标为  $(0, \frac{1}{2}, 1)$ ，由体心原子向上底面作垂线，垂足为上底面面心，连接该面心与原子 Q、体心与原子 Q 可得直角三角形



，则原子 Q 到体心的距离

$$= \sqrt{250^2 + 200^2} \text{ pm} = 50\sqrt{41} \text{ pm}, \text{ D 错误;}$$

### 二、考向小结

#### 1. 2025 年全国 19 份高考真题调查

考点	晶体类型	熔沸点(溶解度)	化学式(微粒数)	配位数	分数坐标	原子间距离	密度相关计算	投影
频次	5+1次	11+3次	13次	13次	1次	6次	11次	2次

## 2. 高考预测

高考对晶体结构的考查以基础辨析与定量计算为主，侧重晶胞模型、配位数、密度及空间利用率；命题常以常见晶体（离子、分子、原子、金属）为载体，结合新结构材料设问，注重识图与公式应用；选择题必考晶胞密度、边长、原子半径、阿伏伽德罗常数换算。计算核心围绕晶胞粒子数均摊法，密度公式；易错点集中在粒子分摊、配位数判断、单位换算及原子坐标；命题难度稳定，重基础轻复杂推导，建议熟练掌握均摊法、密度公式及四类典型晶胞结构，规范计算步骤即可高效得分。

(1) 晶胞粒子数及其化学式的确定

(2) 晶胞密度计算

(3) 微粒配位数

(4) 原子分数坐标

(5) 微粒间的距离计算

(6) 面心立方晶胞的空隙问题

(7) 微粒投影问题

## 三、解题指导

### 考点 1. 晶胞粒子数及化学式的确定（常用均摊法）

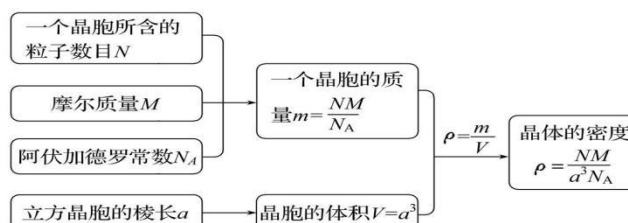
(1) 计算一个晶胞中微粒的数目

非平行六面体形晶胞中微粒数目的计算同样可用均摊法，**关键**是确定一个微粒为几个晶胞所共有。

(2) 计算化学式：  
运用“均摊法”计算出一个晶胞中的微粒数目  $\Rightarrow$  求出不同粒子的比值  $\Rightarrow$  得出化学式

### 考点 2. 晶胞密度计算和微粒间距离的计算

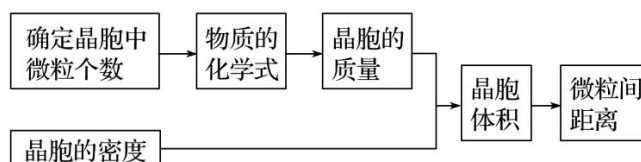
(1) 计算晶体密度的方法计算：



**关键点：**①晶胞粒子数的计算

②单位换算：1pm =  $10^{-12}$ m =  $10^{-10}$ cm    1nm =  $10^{-9}$ m =  $10^{-7}$ cm

(2) 计算晶胞中微粒间的距离或晶胞参数



**注意：**金属晶体中体心立方、面心立方堆积中的几组公式(晶胞参数为  $a$ )

①面对角线长： $\sqrt{2}a$

②体对角线长： $\sqrt{3}a$

③体心立方堆积： $4r = \sqrt{3}a$  ( $r$  为粒子半径)

④面心立方堆积： $4r = \sqrt{2}a$  ( $r$  为粒子半径)

立方晶胞参数  $a = \sqrt[3]{\frac{N \cdot M}{N_A \cdot \rho}}$

**考点 3.配位数问题：关键：**距离最近且相等的粒子的数目

离子晶体：相反电荷微粒的个数

其他晶体：相同微粒的个数

**考点 4.空间利用率问题（配位数越多空间利用率越高）**

$$\frac{\text{微粒的总体积}}{\text{晶胞体积}} \times 100\% = \frac{Z \times \frac{4\pi r^3}{3}}{V} \times 100\%$$

**考点 5.原子分数坐标**

**方法：**(1) 依据已知原子的坐标确定坐标系取向。

(2) 一般以坐标轴所在六面体的棱长为 1 个单位。

(3) 从原子所在位置分别向  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴作垂线或平行线，所得坐标轴上的截距即为该原子的分数坐标原子的分数坐标用来表示晶胞内部各原子的相对位置。

**注意：**在确定各原子的坐标时，要注意  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴的参数标准不一定相同。

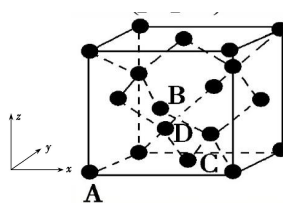
顶点： $(0,0,0)$

面心： $(1/2, 0, 1/2)$   $xz$  面

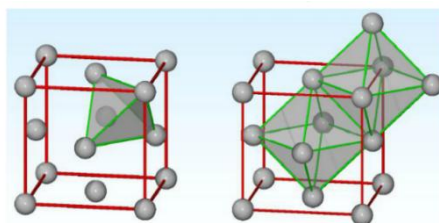
体心： $(1/2, 1/2, 1/2)$

棱心： $(1/2, 0, 0)$   $x$  轴

体对角线  $1/4$  或  $3/4$ ： $(1/4, 3/4, 1/4)$  D 点



**考点 6.面心立方晶胞的空隙问题**



8 个四面体空隙    4 个八面体空隙

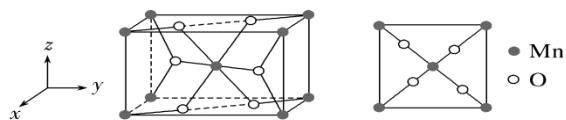
### 考点 7: 晶胞投影

方法: 大珠小珠落玉盘, 三维变二维

(1) 沿坐标轴投影, 去掉该轴坐标即可。

(2) 沿对角线投影: 先确定投影面, 再给原子编号, 确定部分顶点的投影, 最后由共线、共面、平行、等距、对称等关系确定其他。

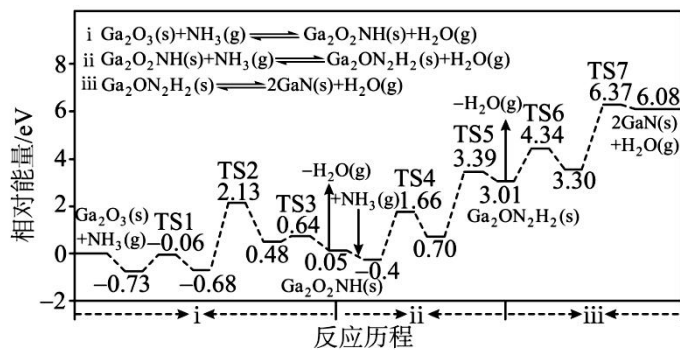
【2024·山东卷】



考点 8: 空位问题 关键: 正负化合价代数和为 0 的原则

1. 经典重现

【2025 河北卷 T1】氮化镓(GaN)是一种重要的半导体材料，广泛应用于光电信息材料等领域，可利用反应  $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{GaN}(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  制备。反应历程(TS 代表过渡态)如下：



下列说法错误的是 ( )

- A. 反应 i 是吸热过程      B. 反应 ii 中  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  脱去步骤的活化能为 2.69 eV  
 C. 反应 iii 包含 2 个基元反应      D. 总反应的速控步包含在反应 ii 中

【答案】D

【解析】A. 生成物能量大于反应物为吸热反应；

B. 先找到反应 ii，再找到脱水步， $3.39 - 0.70 = 2.69$ ；

C. 反应 iii 含有两个过渡态即 2 个基元反应；

D. 总反应速控步=最大能垒（爬坡）= $6.37 - 3.30 = 3.07$  包含在反应 iii 中。

2. 考向小结

(1) 河北 23-25 年反应机理题考向小结

序号	常考考点	对应常考选项	解题指导
1	反应热：判断反应吸放热	25-12-A	只看反应物和产物
2	活化能：由能垒判断	25-12-B	该历程中最大能垒(坡)的高度
3	基元反应：几步	25-12-C、	①确定哪个历程②等于该历程中的过渡态数目/产物数目
4	速控步判断	25-12-D、 24-14-BD、	该历程中能垒(爬坡)最大的那步

序号	常考考点	对应常考选项	解题指导
5	反应物生成物判断, 反应方程式书写	24-14-ACD	进去的是反应物、出来的是产物、写出对应反应方程式
6	催化剂催化活性	23-17-(3)-③	活化能小==速率快=催化活性高
7	优先路径/主要产物	24-14-B	产物①活化能小的②能量低的

(2) 25 年各省份反应机理题考向小结

序号	常考考点	对应常考选项	解题指导
1	反应热	7D、12B、9A、25-12-A	①判断反应吸放热：看反应物、产物 ② $\Delta H$ 只与反应物生成物有关、与反应路径无关、与催化剂无关
2	稳定性	9C	能量越低越稳定
3	能垒	8B	爬坡是能垒，能垒小=易发生=速率快
4	活化能	25-12-B、5B、7C、8A、9D	①该历程中多个能垒中最大能垒(爬坡)的高度； ②活化能大=速率慢，活化能小=速率快 ③慢反应=活化能大的=决速步
5	优势/主要产物；最优/主要路径	24-14-B	活化能小=优势/主要产物=最优/主要路径； 注：优势产物=活化能小或产物能量低(具体看题设)
6	催化剂作用	2D、9B、11D	催化剂改变：降低活化能、加快反应速率、缩短反应时间； 催化剂不改变： $\Delta H$ 、 $K$ 、平衡转化率、不能让平衡移动
7	催化剂判断	1A、3D、4A、5A、6A、7A	①确定第一个反应，②催化剂在反应物之前、产物之后
8	催化剂选择	8C	不同产物对应不同催化剂；活化能小=催化剂活性高
9	产物判断：识图、原子守恒；同位素标记；	1B、3A、8D、10D、12D	审题：看图、看哪里发生变化

序号	常考考点	对应常考选项	解题指导
10	键的断裂与生成	7B、6B、11B、2B	①A-A 非极性键、A-B 极性键(如 C=C); ②看图、看哪里发生变化
11	化合价变化	6C、10C	看键的数目、电负性大小、电子得失
12	反应方程式书写	1D、2A、12A	方程式书写: ①找出反应物生成物②配平③检查守恒否④利用; pH 变化看 H <sup>+</sup> 和 OH <sup>-</sup> 浓度的变化, 注意膜上电荷迁移和水的生成
13	pH 变化	3C	
14	电极反应、迁移电荷、质量变化	5C	
15	反应物生成物物质的量关系	10B	
16	原子利用率	2C、6D、10A	产物只有一种=原子利用率 100%
17	信息型问题: 基团迁移能力比较、中间产物结构	4C、11C	根据已知题意
17	基本原理: 得失电子守恒、反应类型判断、还原性比较、氧化剂判断	5D、11A、3B、12C	根据相应知识
28	结构: 碳原子杂化方式等	1C	
29	有机: 同分异构体、反应类型	4B、4D	

### 3. 例题展示

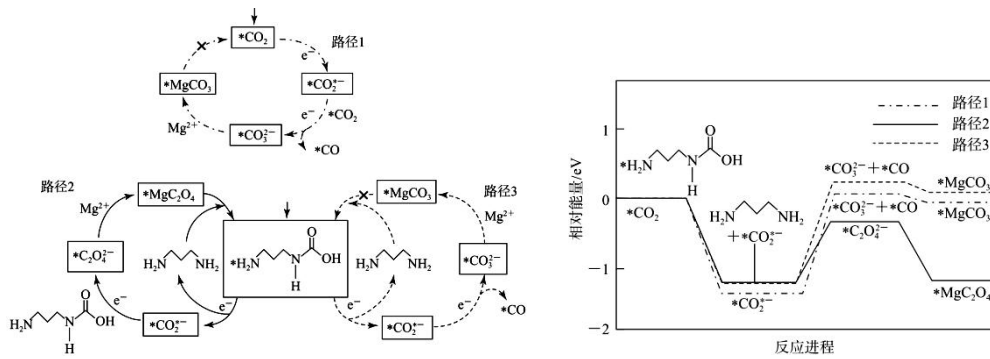
#### (一) 河北高考题

##### 24-14

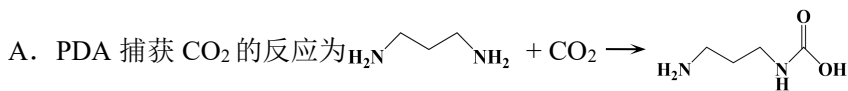
我国科技工作者设计了如图所示的可充电 Mg-CO<sub>2</sub> 电池, 以 Mg(TFSI)<sub>2</sub> 为电解质, 电解液中加入 1, 3-丙二胺(PDA) 以捕获 CO<sub>2</sub>, 使放电时 CO<sub>2</sub> 还原产物为 MgC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>。该设计克服了 MgCO<sub>3</sub> 导电性差和释放 CO<sub>2</sub> 能力差的障碍, 同时改善了 Mg<sup>2+</sup> 的溶剂化环境, 提高了电池充放电循环性能。

对上述电池放电时 CO<sub>2</sub> 的捕获和转化过程开展了进一步研究, 电极上 CO<sub>2</sub> 转化的三种可能

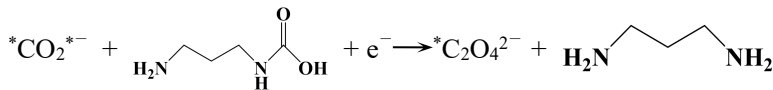
反应路径及相对能量变化如图(\*表示吸附态)。



下列说法错误的是 ( )



B. 路径 2 是优先路径，速控步骤反应式为



C. 路径 1、3 经历不同的反应步骤但产物相同；路径 2、3 起始物相同但产物不同

D. 三个路径速控步骤均涉及  $*\text{CO}_2^{*-}$  转化，路径 2、3 的速控步骤均伴有 PDA 再生

【解析】A. 找到 1, 3-丙二胺(PDA)和  $\text{CO}_2$  即路径 1，产物为  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$  配平。

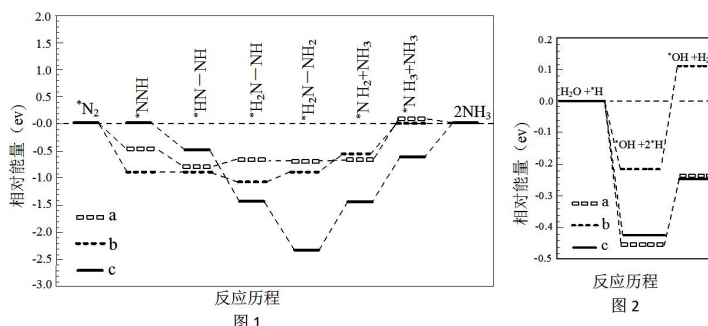
B. 看右图路径 2 活化能最小是优先步骤，爬坡步为  $*\text{CO}_2^{*-} + \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})\text{OH} + e^- \longrightarrow *C_2O_4^{2-} + \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$  即速控步；

C. 从左图看。

D. 看右图三个路径的速控步骤中  $*\text{CO}_2^{*-}$  都参与了反应；看左图路径 2 的速控步骤伴有 PDA 再生，但路径 3 的速控步骤为  $*\text{CO}_2^{*-}$  得电子转化为  $*\text{CO}$  和  $*\text{CO}_3^{2-}$ ，没有 PDA 的生成。

### 23-17-(3)-③

我国科学家研究了水溶液中三种催化剂(a、b、c)上  $\text{N}_2$  电还原为  $\text{NH}_3$ (图 1)和  $\text{H}_2\text{O}$  电还原为  $\text{H}_2$ (图 2)反应历程中的能量变化，则三种催化剂对  $\text{N}_2$  电还原为  $\text{NH}_3$  的催化活性由强到弱的顺序为\_\_\_\_\_ (用字母 a、b、c 排序)。

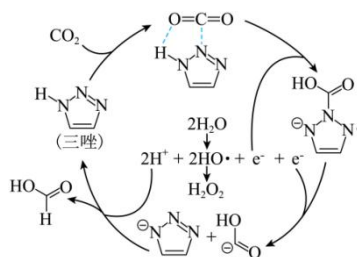


解析：三种催化剂对  $\text{N}_2$  电还原为  $\text{NH}_3$  的催化活性看左图，催化活性高=活化能低，活化能： $b < a < c$ ，催化活性  $b > a > c$ 。

## (二) 25 年其他省份高考机理题汇总

1. (2025·全国卷·高考真题) 研究发现水微滴表面有强电场，能引发反应

$\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{HO}\cdot + \text{e}^-$ 。三唑水溶液微滴表面接触  $\text{CO}_2$  发生反应，可能的反应机理如图所示。



根据上述反应机理，下列叙述错误的是

- A. 三唑在反应循环中起催化作用      B.  $\text{CO}_2$  换成  $\text{C}^{18}\text{O}_2$ ，可生成  $\text{H}_2^{18}\text{O}_2$
- C. 碳原子轨道的杂化存在从  $\text{sp}$  到  $\text{sp}^2$  的转变      D. 总反应为  $2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCOOH}$

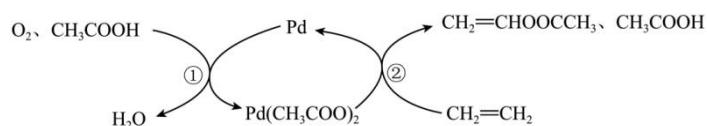
解析：A.  $\text{CO}_2$  是反应物， $\text{HCOOH}$  是产物，三唑位于反应物前产物后，是催化剂；

B. 如图  $\text{H}_2\text{O}_2$  由  $\text{H}_2\text{O}$  产生， $\text{CO}_2$  换成  $\text{C}^{18}\text{O}_2$ ，并不会生成  $\text{H}_2^{18}\text{O}_2$ ；

C.  $\text{CO}_2$  中 C 碳原子杂化方式为  $\text{sp}$ 、 $\text{HCOOH}$  中 C 成键一双二单为  $\text{sp}^2$  杂化；

D. 反应物、产物正确，配平正确，D 正确。

2. (2025·北京·高考真题) 乙烯、醋酸和氧气在钯(Pd)催化下高效合成醋酸乙烯酯 ( $\text{CH}_2=\text{CHOOCCH}_3$ ) 的过程示意图如下。



下列说法不正确的是

- A. ①中反应为  $4\text{CH}_3\text{COOH} + \text{O}_2 + 2\text{Pd} \rightarrow 2\text{Pd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

B. ②中生成  $\text{CH}_2=\text{CHOOCCH}_3$  的过程中, 有  $\sigma$  键断裂与形成

C. 生成  $\text{CH}_2=\text{CHOOCCH}_3$  总反应的原子利用率为 100%

D. Pd 催化剂通过参与反应改变反应历程, 提高反应速率

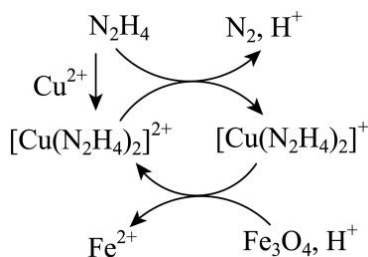
解析: A. 反应物、生成物正确, 配平正确, A 正确;

B. 举例: ②中断裂了  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  的一根 C-H, 生成物  $\text{CH}_3\text{COOH}$  中生成了一根 O-H;

C. 产物不止  $\text{CH}_2=\text{CHOOCCH}_3$  一种, 原子利用率小于 100%;

D. Pd 是催化剂 (位于反应物前产物后), 催化剂作用: 可改变反应历程加快反应速率。

3. (2025·山东·高考真题) 用肼 ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) 的水溶液处理核冷却系统内壁上的铁氧化物时, 通常加入少量  $\text{CuSO}_4$ , 反应原理如图所示。下列说法正确的是



A.  $\text{N}_2$  是还原反应的产物

B. 还原性:  $\text{N}_2\text{H}_4 < \text{Fe}^{2+}$

C. 处理后溶液的 pH 增大

D. 图示反应过程中起催化作用的是  $\text{Cu}^{2+}$

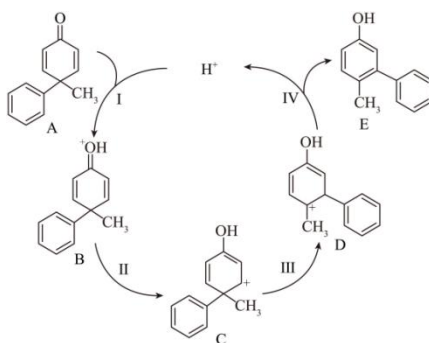
解析: A.  $\text{N}_2\text{H}_4$  (N 为 -2 价) 升价产生  $\text{N}_2$  (N 为 0 价),  $\text{N}_2$  是氧化产物;

B. 总反应是  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{N}_2 + \text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$  是还原剂,  $\text{Fe}^{2+}$  是还原产物, 还原性: 剂 > 产物 即  $\text{N}_2\text{H}_4 > \text{Fe}^{2+}$ ;

C. 配平  $12\text{H}^+ + \text{N}_2\text{H}_4 + 2\text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{N}_2 + 6\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O}$ , 消耗  $\text{H}^+$ ,  $c(\text{H}^+)$  减小, pH 增大;

D.  $\text{Cu}^{2+}$  只消耗未生成不是催化剂。

4. (2025·浙江·高考真题) 化合物 A 在一定条件下可转变为酚 E 及少量副产物, 该反应的主要途径如下:



下列说法不正确的是

- A.  $H^+$  为该反应的催化剂  
 B. 化合物 A 的一溴代物有 7 种  
 C. 步骤 III, 苯基迁移能力强于甲基  
 D. 化合物 E 可发生氧化、加成和取代反应

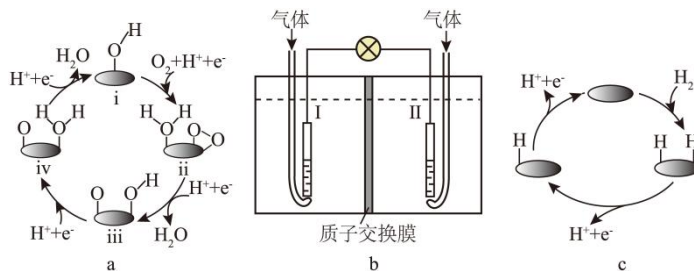
解析: A.  $H^+$  第一个反应反应物之前、生成物之后, 是该反应催化剂;

B. A 有 6 种等效氢, 所以一溴代物有 7 种;

C. 由图 C 到 D 可看出苯基由 -OH 的对位迁移至 -OH 间位, 甲基并未移动, 所以苯基迁移能力强于甲基;

D. E 可燃烧即可发生氧化反应、苯环可与氢气加成、苯环和甲基上 H 可发生取代反应。

5. (2025·广东·高考真题) 某理论研究认为: 燃料电池(图 b)的电极 I 和 II 上所发生反应的催化机理示意图分别如图 a 和图 c, 其中  $O_2$  获得第一个电子的过程最慢。由此可知, 理论上



- A. 负极反应的催化剂是 i  
 B. 图 a 中, i 到 ii 过程的活化能一定最低  
 C. 电池工作过程中, 负极室的溶液质量保持不变  
 D. 相同时间内, 电极 I 和电极 II 上的催化循环完成次数相同

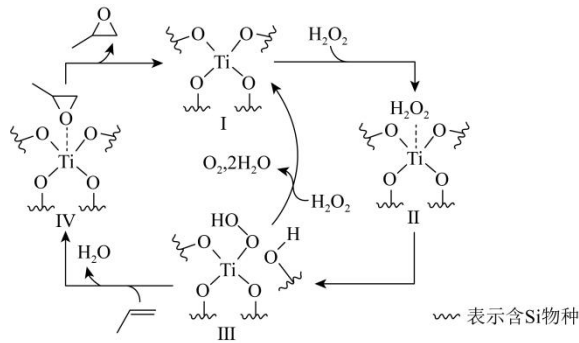
解析: A. 燃料电池燃料  $H_2$  通入负极,  $O_2$  通入正极, 所以 a 历程是正极反应不是负极反应;

B. 已知“其中  $O_2$  获得第一个电子的过程最慢”所以活化能最大;

C. 负极电极反应式  $H_2 - 2e^- = 2H^+$ , 电池中有质子交换膜, 转移电子数=迁移电荷数, 所以负极室质量保持不变;

D. 电极 I 循环完成一次得 4 个电子, 电极 II 循环完成一次失 2 个电子, 根据得失电子数相等, 两极完成循环次数不同。

6. (2025·湖南·高考真题) 环氧化合物是重要的有机合成中间体。以钛掺杂沸石为催化剂, 由丙烯( $CH_2=CH-CH_3$ )为原料生产环氧丙烷( $CH_2-CH(O)-CH_3$ )的反应机理如图所示。下列说法正确的是



- A. 过程中II是催化剂  
 B. 过程中有极性键和非极性键的断裂和形成  
 C. 过程中Ti元素的化合价发生了变化  
 D. 丙烯与双氧水反应生成环氧丙烷的原子利用率为 100%

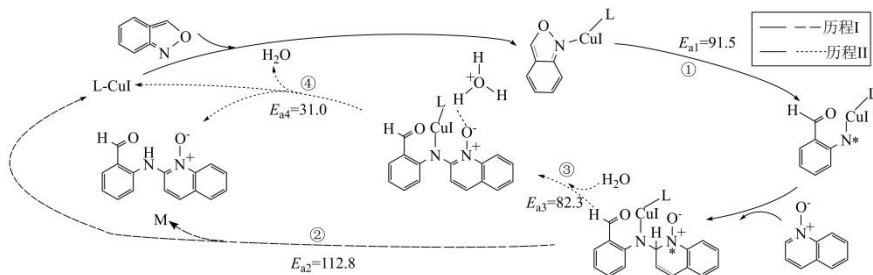
解析: A.  $\text{H}_2\text{O}_2$  是反应物, 是产物, 催化剂位于反应物前产物之后, 所以 I 是催化剂;

B. 过程中存在  $\text{H}_2\text{O}_2$  中 O-O 非极性键断裂及中  $\text{O}_2$  非极性键生成, 还存在 O-H 极性键的断裂及 C-O 极性键的生成;

C. 过程中 Ti 的化学键 (Ti-O) 键始终是 4 个, 所以化合价不变;

D. 产物不止一种, 所以原子利用率小于 100%。

7. (2025·广西·高考真题) 某种氨基喹啉衍生物(M)合成反应的可能历程如图,  $E_a$  表示活化能 ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )。下列说法错误的是



- A. L-CuI 是反应的催化剂  
 B. 步骤①发生了 N-O 键断裂  
 C. 反应速率: 历程 II > 历程 I  
 D. 反应热: 历程 II > 历程 I

解析: A. M 为产物, L-CuI 在产物之后是反应的催化剂;

B. 如图所示;

C. ①反应历程活化能越小速率越快, ②反应历程 I 的活化能  $E_{a2}=112.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、反应历程 II 的活化能  $E_{a1}=91.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  (某一历程的活化能等于最大那步);

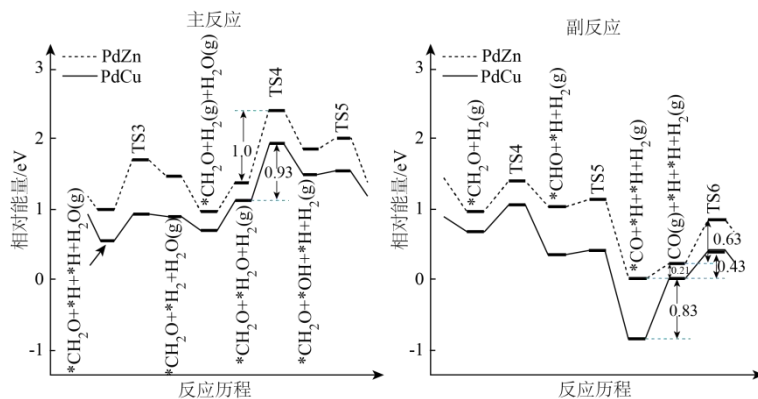
D. 反应热与反应历程无关, 只与反应物产物有关, 历程 I 和历程 II 反应物产物相同所以

反应热相同。

8. (2025·贵州·高考真题) 用 PdCu 和 PdZn 催化甲醇重整制氢的反应有



部分反应机理如图(TS 表示过渡态, \*表示吸附态)。



依据图示信息, 下列说法正确的是

- A.  $\text{H}_2\text{O}$  在 PdZn 催化剂表面解离的速率更快
- B. 在 PdCu 催化剂表面的 \*CO 更容易脱附
- C. 消耗相同质量的  $\text{CH}_3\text{OH}$ , 选择 PdZn 催化剂有利于生成更多  $\text{H}_2$
- D. 若原料更换为  $\text{CD}_3\text{OH}$ , 经历 TS3 后可生成 \*HD**

解析: A.  $\text{H}_2\text{O}$  参加的主反应看左图, 能垒越小解离速率越快,  $\text{H}_2\text{O}$  在 PdZn 催化剂表面解离能垒 (1.0 eV) 大于  $\text{H}_2\text{O}$  在 PdCu 表面解离能垒 (0.93 eV), 所以  $\text{H}_2\text{O}$  在 PdCu 催化剂表面解离的速率更快;

B. \*CO 参加副反应看右图, 能垒越小越容易脱附, \*CO 在 PdCu 表面脱附能垒 (0.83 eV) 大于在 PdZn 催化剂表面脱附能垒 (0.21 eV);

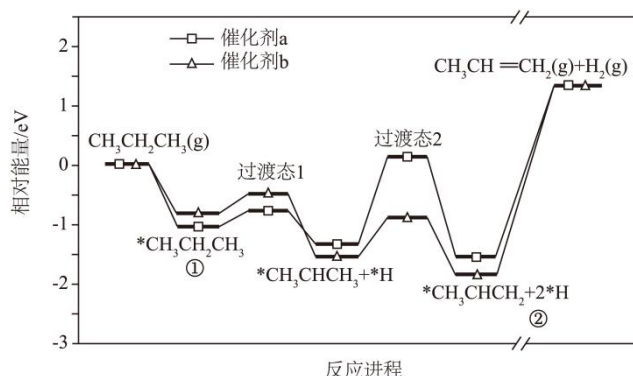
C. 两个反应都不是可逆反应, 由左图可知, 主反应决速步  $\text{H}_2\text{O}$  的解离在 PdCu (活化能=0.93 eV) 表面比在 PdZn (活化能=1.0) 表面更快, \*CO 的脱附在 PdCu (能垒=0.83 eV) 表面比在 PdZn (能垒=0.21 eV) 更难进行, 综合考虑 PdCu 更有利于主反应、有利于生成更多  $\text{H}_2$ ;

D. 由左图可知  $\text{CH}_3\text{OH}$  吸附后转化为  $\text{CH}_3\text{O} + \text{H} + \text{H}$ , 经 TS3 转化为  $\text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2$ ; 同理  $\text{CD}_3\text{OH}$  吸附后转化为  $\text{CD}_3\text{O} + \text{H} + \text{D}$ , 经 TS3 转化为  $\text{CD}_2\text{O} + \text{HD}$ 。

9. (2025·河南·高考真题) 在催化剂 a 或催化剂 b 作用下, 丙烷发生脱氢反应制备丙烯,

总反应的化学方程式为  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ , 反应进程中的相对能量

变化如图所示(\*表示吸附态,  $^*CH_3CHCH_2 + 2^*H \rightarrow CH_3CH=CH_2(g) + H_2(g)$  中部分进程已省略)。



下列说法正确的是

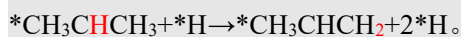
- A. 总反应是放热反应
- B. 两种不同催化剂作用下总反应的化学平衡常数不同
- C. 和催化剂 b 相比, 丙烷被催化剂 a 吸附得到的吸附态更稳定
- D. ①转化为②的进程中, 决速步骤为  $^*CH_3CH_2CH_3 \rightarrow ^*CH_3CHCH_3 + ^*H$

解析: A. 如图反应物相对能量低于产物, 吸热反应;

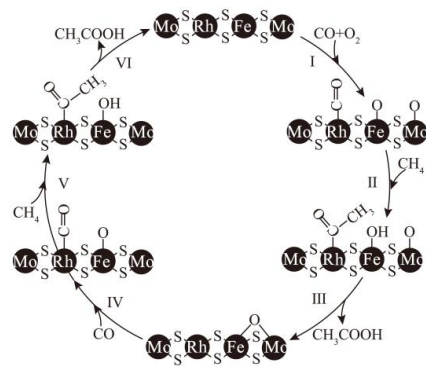
B. 催化剂不改变平衡常数, 所以不同催化剂化学平衡常数相同;

C. 先找到丙烷吸附态即①, 能量越低越稳定, 所以被催化剂 a 吸附得到的吸附态更稳定;

D. ①转化为②经历 2 个能垒, 能垒大的那步是决速步为



10. (2025·河南·高考真题) 在  $MoS_2$  负载的 Rh-Fe 催化剂作用下,  $CH_4$  可在室温下高效转化为  $CH_3COOH$ , 其可能的反应机理如图所示。



下列说法错误的是

- A. 该反应的原子利用率为100%

B. 每消耗 1 mol O<sub>2</sub> 可生成 1 mol CH<sub>3</sub>COOH

C. 反应过程中, Rh 和 Fe 的化合价均发生变化

D. 若以 CD<sub>4</sub> 为原料, 用 H<sub>2</sub>O 吸收产物可得到 CD<sub>3</sub>COOH

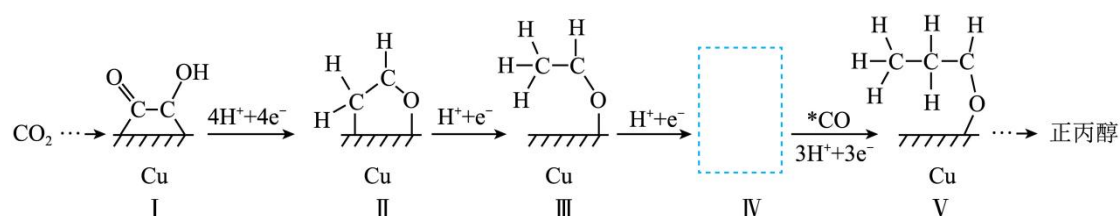
解析: A. 写出反应物生成物:  $\text{CO} + \text{O}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$ , 产物只有一种, 所以原子利用率 100%;

B. 如图 1 mol O<sub>2</sub> 可生成 2 mol CH<sub>3</sub>COOH;

C. 反应过程中, Rh 和 Fe 的成键数目发生变化, 所以化合价也会变化;

D. 以 CD<sub>4</sub> 为原料, 按照图中反应应生成 CD<sub>3</sub>COOD, CD<sub>3</sub>COOD 存在电离平衡  $\text{CD}_3\text{COOD} \rightleftharpoons \text{CD}_3\text{COO}^- + \text{D}^+$ , CD<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> 可与 H<sub>2</sub>O 电离出的 H<sup>+</sup> 结合生成 CD<sub>3</sub>COOH。

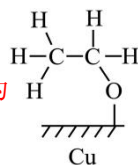
11. (2025·云南·高考真题) 铜催化下, 由 CO<sub>2</sub> 电合成正丙醇的关键步骤如图。下列说法正确的是



A. I到II的过程中发生氧化反应

B. II到III的过程中有非极性键生成

C. IV的示意图为



D. 催化剂 Cu 可降低反应热

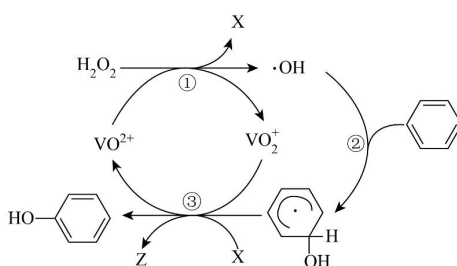
解析: I到II的过程中 “+4e<sup>-</sup>” 发生还原反应;

B. II到III的过程中生成了 C-H 键, 为极性键;

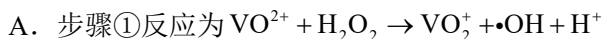
C. 如图所示;

D. 催化剂不能改变反应物产物, 所以不能改变反应热。

12. (2025·四川·高考真题) 钒催化剂对 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 氧化苯制备苯酚的反应具有良好的催化活性, 反应机理如图所示, 其中步骤③为放热反应。



下列说法错误的是



B. 步骤③正、逆反应的活化能关系为  $E_{\text{正}} < E_{\text{逆}}$

C.  $\text{VO}_2^+$ 在催化循环中起氧化作用

D. 步骤③生成的物质 Z 是  $\text{H}_2$

解析：如图所示①反应为  $\text{VO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{VO}_2^+ + \cdot\text{OH} + \text{X}$ ，结合原子守恒和电荷守恒 X 为  $\text{H}^+$ ；

B. 已知“步骤③为放热反应”即  $\Delta H < 0$ ， $\Delta H = E_{\text{正}} - E_{\text{逆}} < 0$ ，所以  $E_{\text{正}} < E_{\text{逆}}$ ；

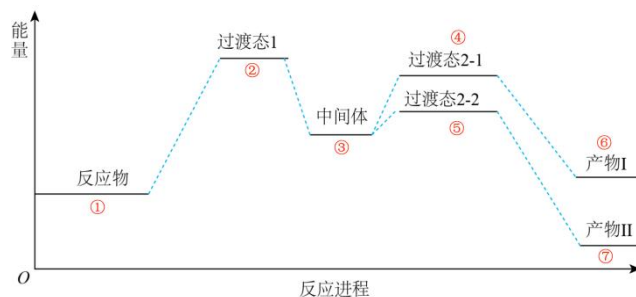
C.  $\text{VO}_2^+$ 在催化循环中变为  $\text{VO}_2^{2+}$ (V 由+5 价变为+4 价)，化合价降低起氧化作用；

D. 如图看步骤③反应物和产物，已知 X 为  $\text{H}^+$ ，根据原子守恒和电荷守恒可知 Z 应该为  $\text{H}_2\text{O}$ 。

#### 4. 解题指导

第一步：认真阅读文字信息，圈画所给情境的目的和重要已知信息，明确横纵坐标信息及反应物生成物等信息，做到方向明确、把握整体。

##### (一) 能量反应历程图



(1) 始态①是反应物，终态⑥、⑦是产物，所以该进程有两条路径两种产物；

(2) 两谷之间的“峰顶”是过渡态如②④⑤；“谷底”是中间产物/中间体如③；

(3) 一般从“谷底”越过“峰顶”再到另一“谷底”是一个基元反应，以生成产物 I 为例共经历 2 个基元反应；

(4) 能垒是“爬坡”，以生成产物 I 为例，①与②的能量差是正向第一个基元反应的能垒，③与④的能量差是正向第二个基元反应的能垒；某历程的活化能等于该历程中所有能垒中最大能垒；活化能越大反应速率越慢，慢反应决定整个历程的速率，所以决速步=慢反应=最大能垒。

## (二) 物质转化关系图

(1) “一剂三物”只进不出(向内箭头)的是**反应物**；只出不进(向外箭头)的是**产物**；循环的是**催化剂**和中间体，催化剂在第一个反应之前就有、随产物生成，所以判断催化剂的关键是主要反应物之前、产物之后；余下是**中间体**。

(2) 图中一般都包含定性变化、关注是否有定量关系。

### 第二步：基础设问迅速排查对错

(1) 物质**稳定性**：能量越低越稳定。

(2) 计算**反应热**和反应吸放热判断只看该反应的反应物和产物， $\Delta H = \text{反应物总能量} - \text{生成物总能量}$ ， $\Delta H = \text{正反应活化能} - \text{逆反应活化能}$ ， $\Delta H$ 与反应历程和催化剂无关。

(3) 反应**原子利用率 100%**=产物只有一种。

(4) 催化剂作用：**催化剂改变**：改变反应历程、**降低活化能**、**加快反应速率**、**缩短反应时间**；**催化剂不改变**： $\Delta H$ 、 $K$ 、**平衡转化率**，不能让平衡移动。

### 第三步：认真审题、仔细分析

审题时一定要明确问的是哪一种物质，经过的是哪一步，考的是哪一个点。比如问反应II的决速步和总反应的决速步可能不同。

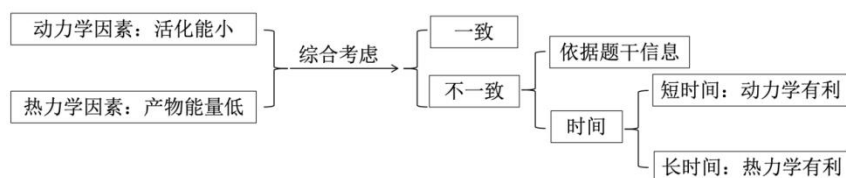
(1) 考查化学键的变化、共价键的断裂和生成需要①明确基本定义：如A-B是**极性键**、A-A是**非极性键**、只要有键就有且只有一根 **$\sigma$ 键**余下为 **$\pi$ 键**（一般不饱和物质中含有 $\pi$ 键）。②仔细分析图示物质断裂了什么键、生成了什么键，关注物质变化过程中哪儿变了哪儿没变。

(2) 考查中心原子等的化合价变化需要关注成键数目变化、电荷数变化和电子数变化。

(3) 考查优先路径或主要产物时，先判断**反应是否可逆**：

①不可逆反应：(动力学因素)活化能小→优先路径/主要产物。

②可逆反应：



总的来说解答机理题：基础知识是必备、认真审题是首要、耐心分析是关键。

### 1. 经典重现

【2025 河北卷 T13】下列实验操作及现象能得出相应结论的是 ( )

选项	实验操作及现象	结论
A	向盛有 NO <sub>2</sub> 与 N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 的恒压密闭容器中通入一定体积的 N <sub>2</sub> , 最终气体颜色变浅	化学平衡向 NO <sub>2</sub> 减少的方向移动
B	以 K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 为指示剂, 用 AgNO <sub>3</sub> 标准溶液滴定溶液中的 Cl <sup>-</sup> , 先出现白色沉淀, 后出现砖红色沉淀	$K_{sp}(\text{AgCl}) < K_{sp}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)$
C	向盛有 2 mL FeCl <sub>3</sub> 溶液的试管中加入过量铁粉, 充分反应后静置, 滴加 KSCN 溶液无明显变化; 静置, 取上层清液滴加几滴氯水, 溶液变红	Fe <sup>2+</sup> 具有还原性
D	向盛有 2 mL 饱和 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液的试管中滴加鸡蛋清溶液, 振荡, 有沉淀析出; 加蒸馏水稀释, 再振荡, 沉淀溶解	蛋白质沉淀后活性改变

【答案】C

### 2. 考向小结

结合2023、2024、2025三年河北高考化学真题, 表格实验题为必考单选题, 命题规律稳定、陷阱固定、综合性逐年增强, 具体考向如下:

#### (1) 强弱规律验证为核心主线

连续三年考查物质性质强弱对比, 包含酸性强弱、碱性强弱、氧化性与还原性强弱、金属性与非金属性强弱判断, 依托“强制弱”化学反应规律命题, 是该题型最核心考点。

#### (2) 化学平衡与溶度积微型实验高频考查

近两年新增平衡体系辨析, 涵盖二氧化氮与四氧化二氮转化平衡、铬酸根与重铬酸根平衡、沉淀溶解平衡 $K_{sp}$ 大小比较, 重点考查平衡移动条件、平衡逻辑误区辨析。

#### (3) 离子检验与实验干扰判断常年设错

常规离子的检验为基础必考考点, 命题陷阱集中: 未排除干扰离子、试剂酸化方式错误、实验操作顺序颠倒等, 侧重考查实验严谨性。

#### (4) 无机基础反应与物质特征性质辨析

考查钠、铁、镁、铝金属单质及化合物特殊反应, 包含金属与盐溶液反应、金属氢氧

化物碱性、氢氧化铝两性、氧化还原特征反应，侧重考查学生对元素周期律的理解与应用及特殊反应特例的记忆（如二氧化硫的漂白性）。

### （5）有机基础实验轮查命题

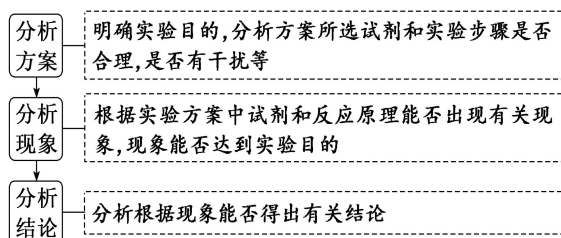
涉及蛋白质盐析与变性鉴别，混淆盐析与变性的可逆性差异。

### （6）拓展预测（2026 年高考潜在考向）

控制变量法探究速率与平衡；电化学微型实验现象分析；物质除杂与提纯实验评价；定量滴定误差分析；有机物官能团检验实验的干扰因素判断实验；胶体、配位反应、氧化还原隐性干扰实验辨析；安全与绿色化学评价等。

## 3. 解题指导

### （1）表格实验方案的设计与评价解题流程



### （2）核心思维模型：四维闭环验证模型

模型核心公式：操作规范＋现象真实＋无干扰因素＋因果唯一＝实验正确

①操作维度：聚焦细节陷阱，重点排查条件缺失、试剂误用、顺序错误、用量不当四类不规范操作。

②现象维度：依托特征反应，区分常规反应与特殊特例反应，杜绝主观臆造实验现象。

③干扰维度：全面排查体系内共存离子干扰、空气中水和二氧化碳干扰、副反应干扰、反应残余物干扰。

④逻辑维度：坚守唯一原则，一种现象仅能对应一种结论，存在多种合理解释时，结论错误。

### （3）常考知识点归类

类型	实验目的、操作及现象	实验结论	正误原因及分析
离子的检验	用铂丝蘸取某溶液进行焰色反应，火焰呈黄色	一定是钠盐，该溶液中一定不含 $K^+$	×NaOH 焰色反应火焰也是黄色，检验钾元素要透过蓝色钴玻璃，透过蓝色钴玻璃火焰呈紫色说明含有钾元素，否则不含有

	向溶液 X 中滴加 NaOH 稀溶液, 将湿润的红色石蕊试纸置于试管口, 试纸不变蓝	溶液 X 中无 $\text{NH}_4^+$	$\times$ $\text{NH}_3$ 极易溶于水, 在溶液中加入稀 NaOH 溶液, 生成的氨水浓度小, 不加热时 $\text{NH}_3$ 不会挥发出来
	向溶液 Y 中滴加硝酸, 再滴加 $\text{BaCl}_2$ 溶液, 有白色沉淀生成	Y 中一定含有 $\text{SO}_4^{2-}$	$\times$ 若溶液 Y 中含有 $\text{SO}_3^{2-}$ , 滴加硝酸时能被氧化成 $\text{SO}_4^{2-}$ , 加入 $\text{BaCl}_2$ 也会有白色沉淀产生
	向某溶液中滴加 KSCN 溶液, 溶液不变色, 滴加氯水后溶液显红色	该溶液中一定含 $\text{Fe}^{2+}$	$\checkmark$ $\text{Fe}^{2+}$ 的检验方法正确
气体的检验	向乙醇中加入浓硫酸, 加热, 溶液变黑, 将产生的气体通入酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液, 溶液褪色	该气体是乙烯	$\times$ 未反应的乙醇、生成的乙烯、 $\text{SO}_2$ 都能使酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液褪色
	用湿润的淀粉碘化钾试纸检验气体 Y, 试纸变蓝	该气体是 $\text{Cl}_2$	$\times$ 淀粉碘化钾试纸检验的是具有强氧化性的气体, Y 可能是 $\text{Cl}_2$ , 也可能是 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_2$ 等气体
	将某气体通入品红溶液中, 品红溶液褪色	该气体一定是 $\text{SO}_2$	$\times$ $\text{O}_3$ 、 $\text{Cl}_2$ 也能使品红溶液褪色
氧化性和还原性	将 $\text{SO}_2$ 气体通入 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液中, 生成白色沉淀	此沉淀是 $\text{BaSO}_3$	$\times$ $\text{H}_2\text{SO}_3$ 是中强酸, 电离出的 $\text{H}^+$ 与溶液中的 $\text{NO}_3^-$ 能将 $\text{SO}_3^{2-}$ 化成 $\text{SO}_4^{2-}$ , 故该白色沉淀是 $\text{BaSO}_4$
	$\text{SO}_2$ 通入溴水(或碘水或酸性高锰酸钾溶液)中, 溴水褪色	$\text{SO}_2$ 有漂白性	$\times$ $\text{SO}_2$ 在反应中作还原剂, 体现的是还原性而不是漂白性
	将 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 样品溶于稀硫酸后, 滴加 KSCN 溶液, 溶液变红	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 晶体已氧化变质	$\times$ 在 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 中加入稀硫酸后, $\text{Fe}^{2+}$ 能被 $\text{H}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ (两者同时存在相当于 $\text{HNO}_3$ ) 氧化成 $\text{Fe}^{3+}$ 而干扰实验
	向久置的 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 溶液中加入足量 $\text{BaCl}_2$ 溶液, 出现白色沉淀; 再加入足量稀盐酸, 部分沉淀溶解	部分 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 被氧化	$\checkmark$ 沉淀部分溶解说明沉淀中含有亚硫酸钡和硫酸钡, 则部分亚硫酸钠被氧化
	向某黄色溶液中加入淀粉—KI 溶液, 溶液呈蓝色	溶液中含 $\text{Br}_2$	$\times$ 黄色溶液中加入淀粉—KI 溶液变蓝, 说明含有能氧化 $\text{I}^-$ 的物质, 可能是 $\text{Br}_2$ 也可能是 $\text{Fe}^{3+}$ 等氧化性

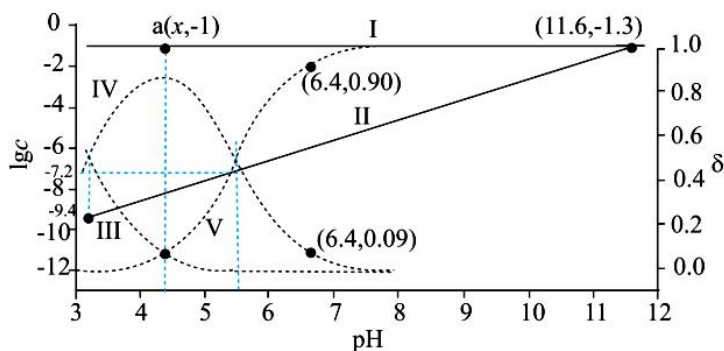
			粒子
	将硫酸酸化的 $\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液滴入 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 溶液中, 溶液变黄色	证明 $\text{H}_2\text{O}_2$ 的氧化性比 $\text{Fe}^{3+}$ 强	×硫酸酸化, $\text{H}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ (两者同时存在相当于 $\text{HNO}_3$ )也能将 $\text{Fe}^{2+}$ 氧化成 $\text{Fe}^{3+}$ , 干扰实验
	向 $\text{FeCl}_2$ 溶液(含少量 $\text{FeBr}_2$ 杂质)中加入适量氯水	除去 $\text{FeCl}_2$ 溶液中的 $\text{FeBr}_2$	× $\text{Fe}^{2+}$ 的还原性强于 $\text{Br}^-$ 的还原性, 加入氯水先把 $\text{Fe}^{2+}$ 氧化, 之后氧化 $\text{Br}^-$ , 引入 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Br}_2$ 杂质
水解、变性	在淀粉溶液中加入适量稀硫酸微热, 向水解后的溶液中加入新制 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 悬浊液并加热, 无砖红色沉淀	说明淀粉未水解	×稀硫酸在淀粉水解中作催化剂, 在未中和硫酸的情况下加入的新制 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 悬浊液会与硫酸反应生成 $\text{CuSO}_4$ , 在加热时得不到沉淀, 应该先加氢氧化钠中和硫酸后再加新制 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 悬浊液
	溴乙烷与 $\text{NaOH}$ 溶液共热后, 滴加 $\text{AgNO}_3$ 溶液, 未出现淡黄色沉淀	溴乙烷未发生水解	× $\text{NaOH}$ 与 $\text{AgNO}_3$ 溶液反应生成的 $\text{AgOH}$ 极不稳定, 分解生成黄褐色的氧化银, 干扰溴离子的检验, 应该先加 $\text{HNO}_3$ 溶液中和后再加 $\text{AgNO}_3$ 溶液
	向两份蛋白质溶液中分别滴加饱和 $\text{NaCl}$ 溶液和 $\text{CuSO}_4$ 溶液, 均有固体析出	蛋白质均发生变性	×向蛋白质溶液中加入饱和氯化钠溶液, 发生盐析
	$0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$ 溶液与 $0.3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 溶液等体积混合	有 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体生成	×应将饱和的 $\text{FeCl}_3$ 溶液滴入沸水中, 继续煮沸至液体呈透明的红褐色, 即得到 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体
酸性	向 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液中加入冰醋酸, 将产生的气体直接通入苯酚钠溶液中, 产生白色浑浊	酸性: 醋酸>碳酸>苯酚	×因醋酸具有挥发性, 生成的 $\text{CO}_2$ 气体中混有挥发出的 $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 变浑浊可能是因为 $\text{CO}_2$ , 也可能是因为 $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 无法比较碳酸与苯酚的酸性强弱
	将 $\text{SO}_2$ 通入滴有酚酞的 $\text{NaOH}$ 溶液中, 溶液红色褪去	$\text{SO}_2$ 具有漂白性	×二氧化硫是酸性氧化物, 能与碱反应生成盐和水, 与漂白性无关
	向某溶液中加入稀盐酸, 产生的气体通入澄清石灰水	该溶液一定是碳酸盐溶液	×碳酸氢盐、亚硫酸盐、亚硫酸氢盐溶液也有相同现象

	中, 石灰水变浑浊		
溶解性	在硫酸钡沉淀中加入浓碳酸钠溶液充分搅拌后, 取沉淀(洗净)放入盐酸中, 有气泡产生	说明 $K_{sp}(\text{BaCO}_3) < K_{sp}(\text{BaSO}_4)$	×溶解度大的物质容易向溶解度小的转化; 但 $K_{sp}$ 相近时, 溶解度小的物质也能向溶解度大的转化, 如 $K_{sp}(\text{BaSO}_4) < K_{sp}(\text{BaCO}_3)$ , 但 $\text{BaSO}_4$ 可转化为 $\text{BaCO}_3$
	分离乙酸和乙酸乙酯	用分液法	×乙酸与乙酸乙酯互溶, 不能用分液的方法分离
	向苯酚溶液中滴加少量浓溴水、振荡, 无白色沉淀	苯酚浓度小	×苯酚与浓溴水生成 2, 4, 6-三溴苯酚溶于苯酚中, 看不到沉淀
挥发性	蘸有浓氨水的玻璃棒靠近溶液 X, 有白烟产生	X 一定是浓盐酸	×只要是挥发性的浓酸遇蘸有浓氨水的玻璃棒都能产生白烟, 浓盐酸、浓硝酸都符合
熔点	用坩埚钳夹住一小块用砂纸仔细打磨过的铝箔在酒精灯上加热, 铝箔熔化但不滴落	氧化铝的熔点高于铝单质	√氧化铝的熔点高, 像网兜一样包裹在 Al 的外面, 铝箔熔化但不滴落
反应原理	向 0.1 mol/L $\text{MgSO}_4$ 溶液滴入 NaOH 溶液至不再有沉淀产生, 再滴加 0.1 mol/L $\text{CuSO}_4$ 溶液, 先有白色沉淀生成后变为浅蓝色沉淀	$K_{sp}[\text{Cu}(\text{OH})_2] < K_{sp}[\text{Mg}(\text{OH})_2]$	√发生沉淀的转化, 则 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 的溶度积比 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的小
	向 10 mL 0.2 mol/L NaOH 溶液中滴入 2 滴 0.1 mol/L $\text{MgCl}_2$ 溶液, 产生白色沉淀, 再滴加 2 滴 0.1 mol/L $\text{FeCl}_3$ 溶液, 有红褐色沉淀生成	$K_{sp}[\text{Mg}(\text{OH})_2] > K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3]$	×NaOH 过量, 与 $\text{FeCl}_3$ 反应生成沉淀, 不能判断两者 $K_{sp}$ 的大小
	室温下, 向浓度均为 0.1 mol/L 的 $\text{BaCl}_2$ 和 $\text{CaCl}_2$ 混合溶液中滴加 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液, 出现白色沉淀	$K_{sp}(\text{BaSO}_4) < K_{sp}(\text{CaSO}_4)$	×白色沉淀可能为硫酸钡或硫酸钙, 不能比较 $K_{sp}(\text{BaSO}_4)$ 、 $K_{sp}(\text{CaSO}_4)$ 的大小
	向 NaCl 和 NaI 稀溶液中滴加少量 $\text{AgNO}_3$ 溶液, 先出现黄色沉淀	$K_{sp}(\text{AgCl}) > K_{sp}(\text{AgI})$	×NaCl 和 NaI 溶液的浓度未知, 无法比较 $K_{sp}$ 大小

	<p>平衡体系</p> $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ <p>加入氢溴酸，橙色加深</p>	<p>证明增大生成物浓度，平衡逆向移动</p>	<p>×氢溴酸除了有酸性还有还原性，<math>\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}</math>有强氧化性，会发生氧化还原反应</p>
	<p>先将硫代硫酸钠与硫酸两种溶液混合后再用水浴加热，观察出现浑浊所用的时间</p>	<p>探究温度对化学反应速率的影响</p>	<p>×探究温度对化学反应速率的影响，要先将混合液加热到所需要的温度后再混合，若先混合则会发生反应，影响实验的判断</p>
	<p>向 2 支盛有 2 mL 不同浓度 <math>\text{Na}_2\text{SO}_3</math> 溶液的试管中同时加入 1 mL 2% <math>\text{H}_2\text{O}_2</math> 溶液，观察</p>	<p>可得出浓度对反应速率的影响</p>	<p>×<math>\text{Na}_2\text{SO}_3</math> 溶液与 <math>\text{H}_2\text{O}_2</math> 溶液反应并没有明显的实验现象，不能得出浓度对反应速率的影响</p>

一、经典重现

【2025 河北卷 T14】已知  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{L}^{3-}$  结合形成两种配离子  $[\text{CuL}]^-$  和  $[\text{CuL}_2]^{4-}$ ，常温下，0.100 mol/L 的  $\text{H}_3\text{L}$  和 0.002 mol/L 的  $\text{CuSO}_4$  混合溶液中， $\text{HL}^{2-}$  和  $\text{L}^{3-}$  的浓度对数  $\lg c$  (实线)、含铜微粒的分布系数  $\delta$  (虚线) [例如  $\delta(\text{Cu}^{2+}) = \frac{c(\text{Cu}^{2+})}{c(\text{Cu}^{2+}) + c([\text{CuL}]^-) + c([\text{CuL}_2]^{4-})}$ ] 与溶液 pH 的关系如图所示：



下列说法错误的是 ( )

- A.  $\text{Cu}^{2+} + \text{L}^{3-} \rightleftharpoons [\text{CuL}]^- \quad K=10^{9.4}$
- B.  $\text{HL}^{2-} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{L}^{3-} \quad K=10^{-11.6}$
- C. 图中 a 点对应的  $\text{pH}=4.2$
- D. 当  $\text{pH}=6.4$  时，体系中  $c(\text{HL}^{2-}) > c([\text{CuL}_2]^{4-}) > c([\text{CuL}]^-) > c(\text{L}^{3-})$

【答案】C

【解析】A 项：反应  $\text{Cu}^{2+} + \text{L}^{3-} \rightleftharpoons [\text{CuL}]^-$  的平衡常数  $K = \frac{c([\text{CuL}]^-)}{c(\text{Cu}^{2+})c(\text{L}^{3-})}$ 。选取曲线 III 和 IV 的交点，此时  $c(\text{Cu}^{2+}) = c([\text{CuL}]^-)$ ，公式简化为  $K = \frac{1}{c(\text{L}^{3-})}$ 。该交点处  $\lg c(\text{L}^{3-}) = -9.4$ ，

即  $c([\text{CuL}]^-) = 10^{-9.4}$ ，则  $K = 10^{9.4}$ ，A 项正确。

B 项：反应  $\text{HL}^{2-} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{L}^{3-}$  的电离常数  $K = \frac{c(\text{H}^+) \times c(\text{L}^{3-})}{c(\text{HL}^{2-})}$ 。选取曲线 I 和 II 的交点，则  $c(\text{HL}^{2-}) = c(\text{L}^{3-})$ ，公式简化为  $K = c(\text{H}^+)$ 。该点对应 pH 为 11.6，即  $c(\text{H}^+) = 10^{-11.6}$ ，则  $K = 10^{-11.6}$ ，B 项正确。

C 项：a 点是曲线 III ( $\text{Cu}^{2+}$ ) 和曲线 V ( $[\text{CuL}_2]^{4-}$ ) 的交点。此时  $c(\text{Cu}^{2+}) = c([\text{CuL}_2]^{4-})$ ，对应于总反应  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{L}^{3-} \rightleftharpoons [\text{CuL}_2]^{4-}$ ，平衡常数  $K_{\text{总}} = K_A \times K_{A2} = 10^{16.6}$ 。此时  $K_{\text{总}}$

$=\frac{1}{c^2(L^{3-})}$ ，解得  $c(L^{3-})=10^{-8.3}$ 。代入电离平衡常数公式，结合 a 点  $c(HL^{2-})=0.1\text{mol/L}$ ，计

算得  $c(H^+)=10^{-4.3}$ ，因此 pH 应为 4.3 而不是 4.2，C 项错误。

D 项：在 pH=6.4 时， $HL^{2-}$  浓度最高（接近初始浓度 0.1 mol/L）；铜元素总量为 0.002 mol/L，从曲线 V 和 IV 读出分布系数分别约为 0.9 和 0.09，可得  $c([CuL_2]^{4-})\approx 1.8\times 10^{-3}$ ， $c([CuL]^-)\approx 1.8\times 10^{-4}$ ；而  $L^{3-}$  浓度极低（约  $10^{-6}$  量级）。因此离子浓度排序确实为  $c(HL^{2-})>c([CuL_2]^{4-})>c([CuL]^-)>c(L^{3-})$ ，D 项正确。

综上所述，说法错误的是 C 选项。

## 二、考向小结及解题指导

这道题的 5 条曲线混杂在一起，考查的本质是三个平衡体系的高度融合：

### 1. 配位平衡（核心反应）

分级配位： $Cu^{2+}$  与  $L^{3-}$  分两步结合，生成  $[CuL]^-$  和  $[CuL_2]^{4-}$ 。

平衡常数计算：利用图像中的特殊交点（如曲线交点）来求算。这要求我们理解分布系数  $\delta$  的含铜物种曲线交点的化学意义——当  $\delta([CuL]^-)=\delta(Cu^{2+})$  时，代表  $c([CuL]^-)=c(Cu^{2+})$ ，此时平衡常数  $K_1$  恰好等于  $\frac{1}{c^2(L^{3-})}$ ，这是解 A 项的关键。

### 2. 酸碱平衡（辅助体系）

$L^{3-}$  作为路易斯碱，会参与水解，形成  $HL^{2-}$ 、 $H_2L^-$ 、 $H_3L$  等型体。

酸常数计算：利用酸碱组分曲线交点，即  $c(HL^{2-})=c(L^{3-})$  时， $K_{a3}=c(H^+)$ ，对应 pH 即  $pK_{a3}$ 。B 项的就考查是这个点。

### 3. 物料守恒与综合分析

C 项的难点在于 a 点不是简单的组分相等，而是  $Cu^{2+}$  与最终产物  $[CuL_2]^{4-}$  的跨级相等。这需要我们联立两步配位平衡常数和酸碱平衡常数，进行跨体系计算。这超越了简单的“交点读数”，考察的是对平衡常数的综合运用。

D 项则要求在特定 pH 下，综合图像中所有实线（浓度对数）和虚线（分布系数）信息，对溶液中多种微粒的浓度进行排序。需要你清晰地将“分布系数  $\delta$ ”转化为“实际浓度  $c$ ”，并快速比较数量级。

## 三、考向模型方法总结

这道题背后，其实隐藏着一个高考压轴题常见的“三元体系”考向模型：“金属离子( $M^{n+}$ ) + 配体( $L^{m-}$ ) + pH”三元体系图像题

这个模型的特点和解题方法可以总结如下：

核心图像特征：图中通常会出现两类曲线。一条线常为浓度对数( $\lg c$ )曲线，用于配体( $L^{3-}$ )的酸碱形态，因为其浓度跨越多个数量级。另一条线常为分布系数( $\delta$ )曲线，用于含金属离子的物种，因为其总量固定，方便直观看出比例。

“四点”解题法：整个解题过程就是找准图像中的四个关键点：

1. 酸常数点：酸碱形态曲线的交点。
2. 配位常数点：相邻含金属物种分布系数曲线的交点。
3. 跨级反应点：如本题 C 项的 a 点，是跨越多级反应的特殊点。
4. 任意 pH 点：如本题 D 项，综合分析各组分浓度。

必备核心公式：

1. 平衡常数计算：如上所述，利用特殊交点时的简化公式。
2. 分布系数与浓度的换算： $c(\text{某含铜物种}) = \text{总铜浓度} \times \delta(\text{该物种})$ 。
3. 多重平衡的联立：总反应平衡常数等于分步反应平衡常数的乘积。

#### 四、考向的变式与拓展预测

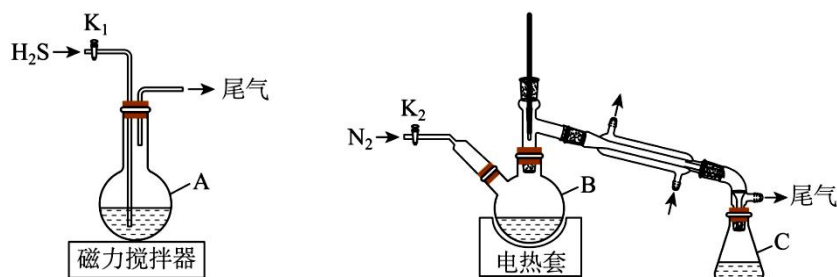
掌握以上模型后，我们可以预测几个可能的拓展方向：

1. 改变变量，考查多级配位常数，可能直接让你从“峰高”或“峰面积”等信息，求算逐级稳定常数  $K_1$  和  $K_2$ 。这是对当前考法的直接深化。
2. 引入“多核络合物”或“羟合配离子”
3. 与氧化还原反应结合
4. 计算类设问的强化

总结一下，这道题代表的高考压轴题趋势是：从单一平衡走向多重平衡的耦合，从定性看图走向定量或半定量的计算，从静态读图走向动态分析。理解这个“三元体系”的模型，并熟练运用“四点法”，是攻克这类难题的关键。

1. 经典重现

【2025 河北卷 T15】(15 分) 氢碘酸常用于合成碘化物。某化学兴趣小组用如图装置(夹持装置等略)制备氢碘酸。



步骤如下:

- i. 在 A 中加入 150 mL  $\text{H}_2\text{O}$  和 127 g  $\text{I}_2$ , 快速搅拌, 打开  $\text{K}_1$  通入  $\text{H}_2\text{S}$ , 反应完成后, 关闭  $\text{K}_1$ , 静置、过滤得滤液;
- ii. 将滤液转移至 B 中, 打开  $\text{K}_2$  通入  $\text{N}_2$ , 接通冷凝水, 加热保持微沸, 直至  $\text{H}_2\text{S}$  除尽;
- iii. 继续加热蒸馏, C 中收集沸点为  $125\sim 127^\circ\text{C}$  间的馏分, 得到 117 mL 氢碘酸(密度为  $1.7\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , HI 质量分数为 57%)。

请回答下列问题:

- (1) 仪器 A 的名称\_\_\_\_\_, 通入  $\text{H}_2\text{S}$  发生反应的化学方程式\_\_\_\_\_。
- (2) 步骤i中快速搅拌的目的\_\_\_\_\_(填序号)
  - a. 便于产物分离
  - b. 防止暴沸
  - c. 防止固体产物包覆碘
- (3) 步骤i中随着反应的进行, 促进碘溶解的原因\_\_\_\_\_(用离子方程式表示)。
- (4) 步骤ii中的尾气常用\_\_\_\_\_(填化学式)溶液吸收。
- (5) 步骤ii实验开始时的操作顺序: 先通入  $\text{N}_2$ , 再加热; 步骤iii实验结束时相对应的操作顺序: \_\_\_\_\_。
- (6) 列出本实验产率的计算表达式\_\_\_\_\_。
- (7) 氢碘酸见光易分解, 易被空气氧化, 应保存在\_\_\_\_\_。

【答案】

- (1) 圆底烧瓶  $\text{I}_2 + \text{H}_2\text{S} = \text{S} + 2\text{HI}$
- (2) c
- (3)  $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_3^-$

(4) NaOH

(5) 先停止加热，再通一段时间的  $N_2$  后关闭  $K_2$

(6)  $\frac{117 \times 1.7 \times 57}{128} \%$

(7) 密封的棕色细口瓶中，并放在避光阴凉处

**【解析】**  $I_2$  的氧化性比 S 强，A 中发生  $I_2 + H_2S = S \downarrow + 2HI$ ，过滤除去 S，得到含  $H_2S$  的 HI 滤液；将滤液转移到 B 中，先通氮气、加热保持微沸除去  $H_2S$ ，升高温度，收集沸点为  $125^\circ C \sim 127^\circ C$  间的馏分，得到 117 mL 密度为 1.7 g/mL，质量分数为 57% 的 HI 溶液。

(1) 仪器 A 的名称为圆底烧瓶； $I_2$  的氧化性比 S 强，通入  $H_2S$  发生反应的化学方程式为  $I_2 + H_2S = S \downarrow + 2HI$ ；

(2)  $I_2$  在水中的溶解度较小，生成的 S 可能包裹在其表面阻止反应的继续进行，故步骤 i 中快速搅拌的目的是防止固体产物包覆碘，选 c；

(3)  $I_2$  和  $I^-$  会发生反应： $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$ ，步骤 i 中随着反应的进行，生成的 HI 电离出的  $I^-$  与  $I_2$  反应促进  $I_2$  的溶解，本空答案为  $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$ ；

(4) 步骤 ii 中的尾气为  $H_2S$ ，有毒，是酸性气体，常用 NaOH 溶液吸收；

(5) 为确保蒸馏装置内的 HI 全部进入 C 中，步骤 iii 实验结束时相对应的操作顺序为：先停止加热，再通一段时间的  $N_2$  后关闭  $K_2$ ；

(6) 127 g  $I_2$  的物质的量为 0.5 mol， $n_{\text{理论}}(HI) = 2 \times 0.5 \text{ mol} = 1 \text{ mol}$ ， $m_{\text{理论}}(HI) = 1 \text{ mol} \times 128 \text{ g/mol} = 128 \text{ g}$ 、

$m_{\text{实际}}(HI) = 117 \text{ mL} \times 1.7 \text{ g/mL} \times 57\%$ ，

故 HI 的产率 =  $\frac{117 \text{ mL} \times 1.7 \text{ g/mL} \times 57\%}{128 \text{ g}} \times 100\% = \frac{117 \times 1.7 \times 57\%}{128} \times 100\% = \frac{117 \times 1.7 \times 57}{128} \%$ ；

(7) 氢碘酸见光易分解，易被空气氧化，应保存在密封的棕色细口瓶中，并放在避光低温处。

## 2. 考向小结

近三年命题结构：无机物制备实验为主，定量实验必考，探究性逐年增强。

(1) 考查仪器名称：蒸馏烧瓶、直行冷凝管、蒸发皿、分液漏斗

(2) 考查装置、试剂作用

① 某洗气瓶中试剂的作用是什么；

② 实验开始前通入  $N_2$ /稀有气体的目的；

③蒸馏水、乙醚洗涤的目的；

④尾气吸收试剂的选择；

⑤试剂的保存。

### (3) 考查实验基本操作

①分液漏斗的规范操作；

②趁热过滤操作；

③焰色实验的操作；

④实验操作先后顺序（先通气还是先加热）。

### (4) 考查实验原理：化学方程式或离子方程式的书写

### (5) 考查定量计算（每年必考）：

①利用氧化还原计算产品纯度、质量分数、产率

②多步连续反应，利用得失电子守恒列关系式计算

#### 【综合分析】

(1) 多为物质制备实验，以无机化合物的制备实验考查居多，但也可能出现不同类型的综合考查题型，有机化合物的制备和定量分析、物质制备和性质探究实验。

(2) 试题情境为物质制备与纯化情境或定性定量分析情境。关注教材中的物质制备原理和实验操作，选择性必修2为配合物的制备提供了很好的素材。

(3) 隐含信息的获取，实验装置和实验步骤中隐含大量的信息，涉及试剂、仪器、操作、反应过程等。要认真阅读实验步骤，联想熟悉的实验操作，在细节上多下功夫，例如加热的先后顺序、开关打开和关闭的先后顺序、通入气体的先后顺序等。

### (4) 高频考点

①仪器类：仪器的名称、仪器的选择、仪器的使用、仪器的作用、仪器的连接

②操作类：操作名称、操作步骤、操作要求、操作目的、操作理由、实验步骤的补充

③试剂类：试剂名称、试剂的作用、选择试剂的目的

④描述类：实验现象描述、判断反应的发生和停止的描述、实验安全和实验条件的控制描述

⑤评价类：优缺点、改进方案、设计方案、误差分析

⑥计算类：物质组成、物质含量和纯度的计算

## 3. 解题指导

### 【解题模型】

### ①锁定实验目的

物质制备实验 性质探究实验 定量测定实验

### ②明确三段式的实验流程

反应发生装置→除杂（排除干扰）→提纯处理并计算纯度或是产率。

发生装置：反应原理（离子或化学方程式）、反应条件（加热、控温）、反应物的状态。

除杂干燥：杂质来源（反应物的挥发、副反应、溶液中的水蒸气、空气带入），除杂试剂的选择和杂质除去的先后顺序。

纯度或是产率计算：根据方程式或关系式进行相关计算并进行误差分析。

误差来源：反应物的挥发或未完全反应、产物的溶解、分解、被氧化、读数、装置残留气体、空气干扰等。

### ③利用守恒法书写陌生方程式

### ④掌握实验题中的高频考点答题模板

## 4. 2026 年高考化学实验大题预测考向

考向 1：主干题型仍为【无机物制备综合实验】小概率为【有机物制备综合实验】

重点备考物质：

(1) 非金属化合物：硫代硫酸盐、亚硫酸盐、过氧化物、氮的含氧酸盐、卤素化合物

(2) 过渡金属盐：亚铁盐、铁盐、铜盐、锰盐、钴盐晶体制备

命题结构：制备→除杂→结晶提纯→滴定测纯度。

考向 2：氧化还原滴定依然是定量实验核心

(1) 重点： $\text{KMnO}_4$ 滴定、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ - $\text{I}_2$ 滴定体系

(2) 强化：多步反应电子守恒关系式计算

(3) 考查：误差分析

考向 3：分离提纯考查

重点考查：减压过滤、趁热过滤、重结晶、冰水洗涤、乙醇洗涤、低温干燥。

考向 4：实验简答题

从单纯考操作，转向反应机理解释、副反应成因分析、条件控制的微观原因（水解、氧化、平衡移动）、杂质检验与定性探究结合

考向 5：气体实验“三防”继续考

(1) 防氧化（通惰性气体）；

(2) 防空气中水蒸气、 $\text{CO}_2$ 干扰；

(3) 防倒吸、尾气无害化处理。

### 5. 简答题答题模板

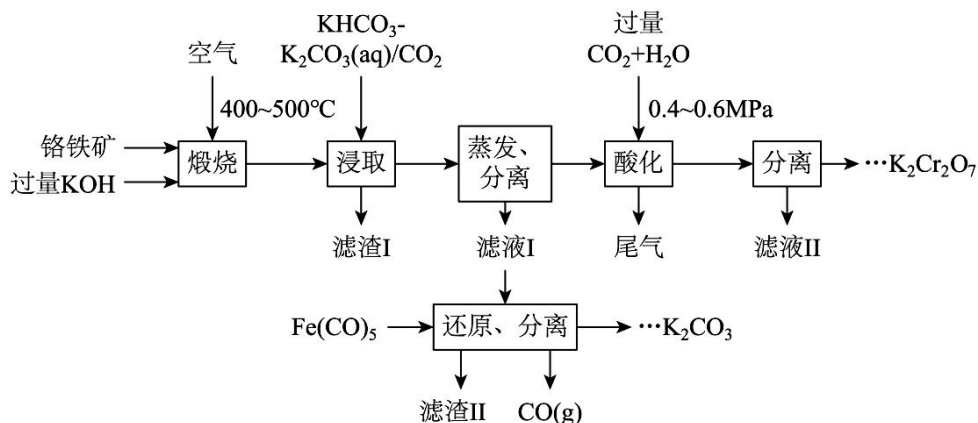
实验操作目的或原因	规范描述
通入 N <sub>2</sub> 或惰性气体的目的	①反应前：除去装置内的氧气、水蒸气、二氧化碳等杂质。 ②反应中：稀释气体，降低反应物或生成物的浓度，避免剧烈反应或局部过热；搅拌与混合，促进反应物之间的接触。 ③反应后：将装置残留的气体全部赶到吸收装置中；防止倒吸；防止空气进入装置中将产物氧化。
末端连接碱石灰干燥管的目的	①吸收尾气，防止污染环境。 ②防止空气中的 CO <sub>2</sub> 和水蒸气对实验的干扰
冷凝回流操作的目的	防止反应物的蒸气逸出脱离反应体系，从而提高反应物的转化率
减压蒸馏的目的	①减小压强，使液体沸点降低，更易分离出某种液体。 ②防止加热时某些物质(如 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )的分解。如浓缩双氧水需减压蒸馏 恒压滴液漏斗中支管的作用：平衡气压，使恒压滴液漏斗中的液体顺利滴下
调节溶液 pH 的目的	①分离除杂：使杂质充分沉淀或溶解，提高纯度。 ②调控反应：使溶液呈酸性，提高氧化性，或使溶液呈碱性，控制反应的发生
沉淀的洗涤目的	①水洗：除去晶体表面水溶性的杂质；②“冰水洗涤”：能洗去晶体表面的杂质离子，同时防止晶体在洗涤过程中的溶解损耗；③用特定有机试剂清洗晶体：洗去晶体表面的杂质，降低晶体的溶解度、有利于析出，减少损耗等
“趁热过滤”的目的	防止降温过程中杂质析出，提高产品的纯度
证明沉淀完全的操作	静置，在上层清液中继续加入××试剂(沉淀剂)，若没有沉淀生成，说明沉淀完全
洗涤沉淀的操作	沿玻璃棒向过滤器中的沉淀上加蒸馏水至没过沉淀，静置使其全部滤出，重复操作 2~3 次
检验沉淀是否洗涤干净的操作	取最后一次洗涤液，加入××试剂(根据沉淀可能吸附的杂质离子，选择合适的检验试剂)，若没有××(特征现象)出现，证明沉淀已洗涤干净
温度不高于××°C的原因	温度过低反应速率较慢，温度过高××物质(如 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 、浓硝酸、NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> 等)分解或××物质(如浓硝酸、浓盐酸)挥发或××物质(如 Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 等)氧化或促进××物质(如 AlCl <sub>3</sub> 等)水解。
蒸发、反应时的气体氛围	抑制××离子的水解(如蒸发 AlCl <sub>3</sub> 溶液得无水 AlCl <sub>3</sub> 时需在 HCl 气流中进行，加热 MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O 得 MgCl <sub>2</sub> 时需在 HCl 气流中进行等)
配制某溶液时事先煮沸水的原因	除去溶解在水中的氧气，防止某物质被氧化
反应容器中和大气相通的玻璃管的作用	平衡压强，避免反应容器中压强过大，或防堵塞

有机物制备装置中长导管(或冷凝管)的作用	冷凝回流、导气
有机物分离过程中加无水氯化钙的作用	干燥(吸收水)
恒压漏斗上的支管的作用	平衡压强, 使恒压漏斗内的液体顺利滴下
有关溶液的现象描述	a. 颜色由×××变成×××; b. 液面上升或下降(形成液面差); c. 溶液变浑浊或生成(产生).....(颜色)沉淀; d. 溶液发生倒吸; e. 产生大量气泡(或有气体从溶液中逸出)等
有关固体物质的现象描述	a. ....(固体)表面产生大量气泡; b. ....(固体)逐渐溶解; c. ....(固体)体积逐渐变小(变细); d. ....(固体)颜色由.....变成.....
有关气体的现象描述	a. 生成.....色(味)气体; b. 气体由.....色变成.....色; c. 气体先变.....后.....(加深、变浅、褪色等)
$\text{SO}_4^{2-}$ 的检验	取少量溶液于试管中, 加入足量稀盐酸, 无明显现象, 再加入 $\text{BaCl}_2$ 溶液, 若有白色沉淀产生, 则证明有 $\text{SO}_4^{2-}$
检验某溶液中既含有 $\text{Fe}^{2+}$ 又含有 $\text{Fe}^{3+}$ 的方法	分别取少量溶液于两支试管中, 向其中一支试管中滴加几滴 $\text{KSCN}$ 溶液, 溶液显血红色, 则证明溶液中含有 $\text{Fe}^{3+}$ , 再向另一支试管中滴加几滴铁氰化钾 $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液, 有蓝色沉淀生成, 则证明溶液中含有 $\text{Fe}^{2+}$
从溶液中结晶实验操作	①溶解度受温度影响小的: 蒸发结晶→趁热过滤 ②溶解度受温度影响较大或带结晶水的: 加热浓缩→冷却结晶→过滤, 洗涤, 干燥
从溶液中得到无水 $\text{MgCl}_2$ 等易水解的挥发性强酸盐	在氯化氢气流中加热蒸发
尾气吸收	吸收.....气体, 防止污染空气
滴定管读数应注意	滴定管垂直放置; 装液和放液后需要等一会儿, 待液面上下不发生变化时才能读数; 读数时要平视, 视线与凹液面最低点相平; 读数应精确到 0.01 mL
用 pH 试纸测定溶液 pH 的操作方法	将一小片 pH 试纸放到表面皿(或玻璃片)上, 用玻璃棒蘸取溶液, 点到试纸的中央, 等试纸变色后, 再跟标准比色卡对比读数。
滴定操作	左手控制滴定管, 右手不停摇动锥形瓶, 眼睛注视锥形瓶内溶液颜色的变化。
加热操作先后顺序的选择	若气体制备实验需加热, 应先加热气体发生装置, 待产生的气体排尽装置中的空气后, 再给实验中其他需要加热的装置加热。
滴定终点的判断	滴入最后半滴×××的标准溶液, 溶液变为×××, 且半分钟内不褪色
若开始忘加沸石(或碎瓷片)	停止加热, 冷却至室温后补加

采用油浴而不使用热水浴的原因	加热温度接近或高于水的沸点时，油浴更易控制温度
逐步（分批）加入 ×× 物质的目的	反应放热，防止升温太快；防止反应速率过大；控制反应体系 pH 等
判断反应完全的现象	溶液中不再有气泡（或沉淀）产生；溶液的颜色不再变化；×× 中的液面不再发生变化（或液面高度保持不变），则反应完全

1. 经典重现

【2025 河北卷 T16】(14 分) 铬盐产品广泛应用于化工、医药、印染等领域。通过闭环生产工艺将铬铁矿转化为重铬酸钾同时回收利用钾资源，可实现绿色化学的目标。过程如下：



已知：铬铁矿主要成分是  $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{CrO}_2)_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$

请回答下列问题：

- (1) 基态铬原子的价层电子排布式\_\_\_\_\_。
- (2) 煅烧工序中  $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$  反应生成  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  的化学方程式\_\_\_\_\_。
- (3) 浸取工序中滤渣 I 的主要成分： $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ (填化学式)。
- (4) 酸化工序中需加压的原因\_\_\_\_\_。
- (5) 滤液 II 的主要成分\_\_\_\_\_ (填化学式)。
- (6) 补全还原、分离工序中发生反应的化学方程式。  

$$\text{Fe}(\text{CO})_5 + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} \text{CO}$$
- (7) 滤渣 II 可返回\_\_\_\_\_工序。(填工序名称)

【答案】

- (1)  $3d^54s^1$       (2)  $4\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + 7\text{O}_2 + 16\text{KOH} \xrightarrow{400\sim 500^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{K}_2\text{CrO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$
- (3)  $\text{Al}(\text{OH})_3$      $\text{MgO}$
- (4) 增大  $\text{CO}_2$  的溶解度，保证酸化反应充分进行
- (5)  $\text{KHCO}_3$
- (6)  $\text{Fe}(\text{CO})_5 + \text{K}_2\text{CrO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 2\text{KOH} + 5\text{CO}\uparrow$
- (7) 煅烧

【分析】

铬铁矿主要成分是  $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{CrO}_2)_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ ，与过量  $\text{KOH}$  在空气中煅烧，生成  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{KAlO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{SiO}_3$ 。

通入  $\text{KHCO}_3$ - $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{CO}_2$  浸取， $\text{KAlO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{SiO}_3$  生成  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{H}_2\text{SiO}_3$  而  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  不反应；故滤渣I为： $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ ，通过蒸发浓缩、冷却结晶、过滤分离出  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  固体，滤液I中含有  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ；将  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  加水溶解，并通入过量  $\text{CO}_2$  酸化，将  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  转化为  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ，同时副产物  $\text{KHCO}_3$  生成，将  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  与  $\text{KHCO}_3$  分离，滤液II的主要溶质为  $\text{KHCO}_3$ ； $\text{Fe}(\text{CO})_5$  做还原剂，将滤液I中剩余的  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  还原为  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ， $\text{Fe}(\text{CO})_5$  自身转化为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  进入滤渣II， $\text{KOH}$  进一步处理得  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ，循环使用。

### 【闭环循环】

#### 关于闭环循环的解释

在化工生产中，闭环循环是指将生产过程中未反应的原料、溶剂、催化剂以及能量等，回收、再生后重新送回系统前端继续使用，形成一个闭合的回路，而不是直接排放到环境中。

#### 化工生产中常见的闭环循环例子

(1) 合成氨/合成甲醇的循环气：氮气和氢气反应生成氨，单程转化率不高。出反应塔的气体经冷却分离出液氨后，重新送回反应塔，气体几乎全在系统内循环。

(2) 溶剂闭环回收：在医药、涂料生产中，大量使用有机溶剂。通过蒸馏或膜分离，把使用过的溶剂提纯，再打回前端溶解物料，溶剂形成一个封闭的循环回路。

(3) 催化剂原位再生循环：催化裂化中，催化剂在反应器和再生器之间连续循环——在反应器内反应结焦，到再生器烧焦恢复活性，再返回反应器，形成催化剂闭环。

#### 闭环循环的考查在工艺流程题中的地位

(1) 考查信息处理能力：闭环循环的信息背景，可以使之前单一连贯的流程线更新为双线操作，这就要求考生具有双线信息的处理能力，同时驾驭固相和液相或有机相和水相，甚至双线信息，具有不同的反应条件和适用范围，思维容量大，在信息获取与加工上对学生能力产生更高的要求。

(2) 体现工艺流程的思维线索：循环线。

(3) 体现绿色化学的要求。

(4) 近几年河北卷反复出现，但考生表现不佳，这个问题始终没有解决。

## 2. 考向小结

### (1) 物质结构与性质综合考查

基态原子离子价电子排布、轨道表示式、晶胞参数与密度计算、配位数、杂化类型、分子键角比较、晶体类型判断。

### (2) 原料预处理与工艺条件调控

涵盖矿石粉碎、焙烧、酸浸碱浸、搅拌、升温、冰浴、逆流操作；工艺中控温、控压、调 pH、惰性氛围、浓度调控、加压酸化等。核心考查提高浸出率、加快反应速率、防氧化、防水解、抑制副反应、增大气体溶解度。

### (3) 流程物料推断与循环物质判断

推断滤渣、滤液核心成分，判断流程中可循环利用的试剂、母液、尾气及盐类物料。依托金属离子沉淀规律、氧化物与硅酸盐不溶性、首尾物料复用逻辑命题，属于基础必得分题型。

### (4) 工艺流程陌生方程式书写

包含浸出、焙烧、氧化还原、沉淀转化、盐类水解、配位络合、热分解、电解等陌生情境化学方程式、离子方程式书写配平；是工艺流程分值最高、区分度最大的核心考点，各卷年年必考。

### (5) 溶度积 $K_{sp}$ 与离子沉淀规律

考查难溶电解质溶度积相关计算、金属离子沉淀先后顺序、沉淀完全临界 pH 计算、同离子效应调控沉淀，以基础计算和区间判断为主。

### (6) 物质分离提纯操作与原理

涉及萃取分液、蒸馏、蒸发浓缩、冷却结晶、趁热过滤、沉淀洗涤、晶体纯化操作；结合溶解度曲线、物质沸点差异、萃取配位原理考查操作选择与目的。

### (7) 化学平衡与反应速率应用

利用沉淀溶解平衡、水解平衡、氧化还原平衡移动解释工艺现象；分析温度、pH、浓度对反应速率、浸出率、沉淀率的影响，侧重文字原因规范表述，适配简答类设问。

### (8) 配合物结构与萃取作用机理

考查配位键形成、配合物结构特点、烷基疏水性、分子间氢键、选择性萃取分离原理；解释金属离子进入有机相、络合浸出、分离除杂的原因。

### (9) 电化学综合应用

包含电解池装置辨析、阴阳极判断、电极反应式书写、电解制备金属与氧化物、电解液循环再生、电解除杂工艺。

### (10) 定量计算与绿色化学工艺评价

定量层面包括浸出率、产率、产品纯度、氧化还原滴定、元素守恒相关计算；评价层面包括绿色化学思想、闭环循环、固废尾气无害化处理、新旧工艺优劣对比、低能耗低污染工业评析。

### 3. 解题指导

#### (1) 信息获取与加工

①明确流程目的，找到核心反应：判断核心反应是氧化还原反应还是复分解反应，其余反应类型会有充足的信息，这两种反应类型信息量偏少，对于氧化还原反应，需要自己分析化合价，寻找氧化剂、还原剂、氧化产物和还原产物，对于复分解反应，重点观察离子的去留并结合复分解反应的机理。

②明确信息在题目中的地位：是直接应用在设问当中，还是用于分析流程。

#### (2) 元素守恒，亦称杂质线和产品线

盯住每个元素的去向，尤其是目标元素无损失。用一句话概括工艺流程题的思维模型——目的引领下的元素守恒和分离提纯。

将预处理阶段涉及的物质分类为酸性、碱性、两性、氧化性、还原性。结合酸溶或碱溶方案书写产物，如  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  在氧气条件下与  $\text{NaOH}$  共熔后， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  可与偏铝酸盐、硅酸盐分道扬镳。

#### (3) 分离提纯的思维模型，与条件控制合成操作线

①能否实现固液分离？

a. 通过调 pH 得到氢氧化物沉淀，一般涉及高价金属阳离子，比如  $\text{Al}^{3+}$  和  $\text{Fe}^{3+}$ 。

细化：控制溶液的酸碱性(pH)的目的：增强物质的氧化性（主要）、还原性,调节离子的水解程度。

通过控制溶液的 pH 可以除去某些金属离子。

若要除去溶液中含有的  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ ,可调节溶液的 pH 使之转变为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀。

[若有  $\text{Fe}^{2+}$ ,通常需先用氧化剂( $\text{H}_2\text{O}_2$  等)把  $\text{Fe}^{2+}$  氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ ]

调节 pH 所利用的物质一般应满足能与  $\text{H}^+$  反应,使溶液 pH 增大和不引入新杂质两点需求。例如:若除去  $\text{Cu}^{2+}$  中混有的  $\text{Fe}^{3+}$ ,可加入  $\text{CuO}$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{CuCO}_3$ 、 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  等物质来调节溶液的 pH。

b. 通过复分解反应得到盐类沉淀,主流是生成二价阳离子的沉淀： $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{PbSO}_4$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{MgF}_2$ 、 $\text{CuS}$  等。

c. 通过置换反应得到金属单质：如向硫酸四氨合铜的溶液中加入过量锌粉，滤渣为  $\text{Cu}$ 、

Zn。

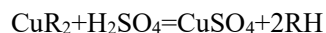
d.通过结晶手段实现固液分离。

②能否实现油水分离（有机相和水相的分离）？

a.加入常规萃取剂，依据相似相溶原理。

b.加入信息萃取剂，依据流程目的和元素去向。

c.有机相和水相的分离也可通过化学反应实现，比如萃取-反萃取： $2RH+Cu^{2+}=CuR_2+2H^+$ 、



③对于仍然存在的杂质，题干信息是否有独特的除杂方法？

（4）检索物质性质，明确物质作用，亦称试剂线。

附：2021-2025 各地高考工艺流程题的物质性质

## 一、酸性物质

无机酸

★HCl：溶解 SrO、FeO、CuO、PbO；抑制 Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup>、Sn<sup>4+</sup>水解；络合 Au<sup>3+</sup>、Ag<sup>+</sup>、Pb<sup>2+</sup>；酸化作用（HCl：强酸、挥发性酸、浓盐酸具还原性、Cl<sup>-</sup>可作配体）

★H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>：溶解 ZnO、FeO、CoO、NiO、MnO；抑制 Mn<sup>2+</sup>、Co<sup>2+</sup>、Ni<sup>2+</sup>水解；反萃取 Co<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Be<sup>2+</sup>；（H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>：强酸、难挥发性酸、浓硫酸有吸水性、脱水性、强氧化性）

HNO<sub>3</sub>：氧化酸浸 Sn、Cu、Fe、Bi；溶解金属（HNO<sub>3</sub>：强酸、强氧化性、易挥发、易分解、还原产物与浓度有关）

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>：沉淀 Mg<sup>2+</sup>生成 MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>；提供 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>制备 LiFePO<sub>4</sub>（H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>：中强酸、难挥发性、黏稠、三元弱酸、非氧化性酸）

★HF：腐蚀 SiO<sub>2</sub>；溶解硅酸盐矿物（HF：弱酸、能与 SiO<sub>2</sub>反应、有毒、腐蚀性、络合剂、沉淀剂）

★H<sub>2</sub>S：沉淀 As<sup>3+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Pb<sup>2+</sup>生成 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>、CuS、PbS（H<sub>2</sub>S：二元弱酸、强还原性、有毒、水溶液易被氧化）

酸性氧化物

★SiO<sub>2</sub>：不溶于稀酸的惰性滤渣（SiO<sub>2</sub>：酸性氧化物、不溶于水、共价晶体、无机非金属材料）

★SO<sub>2</sub>：还原 MnO<sub>2</sub>、Fe<sup>3+</sup>、Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>；被氧化为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（SO<sub>2</sub>：酸性氧化物、还原性、可逆漂白性、有毒、水溶液为亚硫酸）

As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 升温升华分离、回收砷元素

SO<sub>3</sub>: 与水化合生成 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 制酸原料 (SO<sub>3</sub>: 酸性氧化物、易溶于水、与水剧烈放热)

弱酸 / 酸性盐

★NH<sub>4</sub>Cl: 盐浸转化 SrSO<sub>4</sub>→SrCl<sub>2</sub>; 抑制 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 电离; 沉淀 VO<sub>3</sub><sup>-</sup>生成 NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub> (NH<sub>4</sub>Cl: 强酸弱碱盐、溶液呈酸性、受热易分解、铵盐通性)

★(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 焙烧转化 TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为硫酸盐。

NaHSO<sub>3</sub>: 还原 CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、VO<sub>2</sub><sup>+</sup>; 调节体系酸度 (NaHSO<sub>3</sub>: 水溶液呈酸性、强还原性、弱酸

的酸式盐) H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: 沉淀 Ca<sup>2+</sup>、Ba<sup>2+</sup>生成草酸盐 (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: 二元弱酸、中强酸、还原性、可沉淀碱土金属离子、受热分解)

## 二、碱性物质

强碱

★NaOH: 调节 pH; 碱溶 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、BeO、SiO<sub>2</sub>; 固相合成 NaF (NaOH: 强碱、易潮解、强腐蚀性、与酸、酸性氧化物、两性物质反应)

弱碱

★NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O: 调节 pH ; 络合剂 (NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O: 一元弱碱、易挥发、可提供 NH<sub>3</sub>作配体、部分电离)

★NH<sub>3</sub>: 络合剂; 液氨作反应溶剂 ; 调节碱性沉淀某些离子 (NH<sub>3</sub>: 碱性气体、极易溶于水、易液化、可作配体、还原性)

碱性氧化物 / 碱性盐

★CaO: 调 pH 沉淀某些离子; 沉淀 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>为 CaSO<sub>4</sub> (CaO: 碱性氧化物、与水剧烈放热、可作干燥剂、与酸反应、与酸性氧化物反应)

★Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: 沉淀 Li<sup>+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Pb<sup>2+</sup>为碳酸盐; 焙烧助熔 (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: 强碱弱酸盐、水溶液呈碱性、热稳定性强、水解显碱性)

★NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>: 沉淀 Co<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Ce<sup>3+</sup>为碳酸盐 (NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>: 弱酸弱碱盐、水溶液弱碱性、受热易分解、双水解)

Ca(OH)<sub>2</sub>: 调节 pH [Ca(OH)<sub>2</sub>: 微溶强碱、廉价沉淀剂、与酸、CO<sub>2</sub>反应]

## 三、氧化剂

★O<sub>2</sub>: 氧化 Fe<sup>2+</sup>→Fe<sup>3+</sup>、Mn<sup>2+</sup>→MnO<sub>2</sub>、S<sup>2-</sup>→SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; 焙烧氧化 Fe(CrO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (O<sub>2</sub>: 常见氧化剂、助燃、可氧化多数金属、非金属)

$\text{H}_2\text{O}_2$ : 氧化  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  ( $\text{H}_2\text{O}_2$ : 既有氧化性又有还原性、不稳定易分解、绿色氧化剂、漂白性)

$\text{KMnO}_4$ : 氧化  $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ ; 根据题意可生成  $\text{MnO}_2$  ( $\text{KMnO}_4$ : 强氧化剂、紫色、酸性条件还原为  $\text{Mn}^{2+}$ 、氧化性随 pH 改变)

$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ : 氧化  $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  生成高价态 ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ : 含过氧键、强氧化性、可将  $\text{Mn}^{2+}$  氧化为  $\text{MnO}_4^-$ )

★ $\text{MnO}_2$ : 氧化  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ; 氧化  $\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2$ ; 矿物氧化剂 ( $\text{MnO}_2$ : 强氧化剂、催化剂、不溶于水、与浓盐酸加热制  $\text{Cl}_2$ )

$\text{Cl}_2$ : 氧化  $\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2$ 、 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  ( $\text{Cl}_2$ : 强氧化剂、黄绿色有毒气体、与水、碱反应、漂白性)

$\text{NaClO}$ : 氧化  $\text{Au}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Ag}$  ( $\text{NaClO}$ : 强氧化性、水解显碱性、漂白性、84 消毒液有效成分)

$\text{NaClO}_3$ : 酸性条件氧化  $\text{Au}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Fe}$  ( $\text{NaClO}_3$ : 强氧化剂、受热易分解)

★ $\text{Fe}^{3+}$ : 氧化  $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{PbS}$ 、 $\text{I}^-$ ; 与  $\text{SCN}^-$  络合显血红色; 水解显酸性; 沉淀为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ( $\text{Fe}^{3+}$ : 强氧化性、黄色、可发生络合反应、水解显酸性、易沉淀、可被还原为  $\text{Fe}^{2+}$ )

$\text{CrO}_4^{2-}$  [2025 河北]、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  [2025 河北]: 铬酸盐与重铬酸盐相互转化 ( $\text{CrO}_4^{2-}/\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ : 强氧化性、黄色 / 橙色、pH 改变相互转化)

#### 四、还原剂

$\text{Zn}$ : 还原  $\text{Au}^{3+}$ 、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Pt}^{4+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ ; 置换贵金属 ( $\text{Zn}$ : 活泼、强还原剂、两性、可与酸、强碱反应)

$\text{Fe}$ : 还原  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Ag}$ 、 $\text{Au}^{3+} \rightarrow \text{Au}$  ( $\text{Fe}$ : 常见还原剂、可被氧化为  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 、与酸反应)

$\text{Al}$ : 还原  $\text{VOCl}_3 \rightarrow \text{VOCl}_2$ ; 铝热还原金属氧化物 ( $\text{Al}$ : 强还原剂、两性金属、铝热剂、与酸、强碱反应)

★ $\text{C}$ : 高温还原  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ ; 焙烧还原助剂 ( $\text{C}$ : 高温还原剂、还原性、可燃性、可作吸附剂)

★ $\text{CO}$ : 还原  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{PbO}$  等金属氧化物 ( $\text{CO}$ : 有毒、强还原性、可燃性、不成盐氧化物)

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ : 还原  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$  ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ : 水溶液酸性、强还原性、焦亚硫酸盐)

$\text{SnCl}_2$ : 还原  $\text{Rh}^{3+}$ 、 $\text{Pt}^{4+}$ ; 制备低价配离子 ( $\text{SnCl}_2$ : 强还原性、易被空气氧化、水解显酸性)

★ $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ : 还原  $[\text{AuCl}_4]^- \rightarrow \text{Au}$ ; 兼作络合剂 ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ : 强还原性、易被氧化为  $\text{SO}_4^{2-}$ 、与  $\text{Ag}^+$  络合、遇酸分解)

$\text{H}_2$ : 高温还原  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Rh}_2\text{O}_3$ ; 提供还原气氛 ( $\text{H}_2$ : 可燃性、强还原剂、最轻气体、可燃烧)

## 五、络合剂

DETA: 络合  $\text{Rh}^{3+}$

NaCN: 络合 Au、Ag 的离子生成氰络合物, 降低其还原电势 (NaCN: 剧毒、强配体)

## 六、沉淀剂

$(\text{NH}_4)_2\text{S}$ : 沉淀  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  为硫化物

$\text{H}_3\text{PO}_4$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ : 沉淀  $\text{Mg}^{2+}$  生成  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$

BaS: 沉淀  $\text{Ni}^{2+}$  为  $\text{NiS}$ ; 同步除去  $\text{SO}_4^{2-}$  为  $\text{BaSO}_4$

## 七、萃取 / 反萃取 / 离子交换

煤油 (HA): 萃取  $\text{Be}^{2+}$  进入有机相

★ $\text{H}_2\text{SO}_4$ : 反萃取  $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Be}^{2+}$  回水相

R-N  $(\text{CH}_3)_3\text{Cl}$  树脂: 吸附  $\text{VO}_3^-$ 、分离钒

HR 萃取剂: 萃取  $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$

## 八、两性物质

$\text{Al}_2\text{O}_3$ : 溶于强酸、强碱 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 两性氧化物、熔点高、耐火材料、溶于强酸强碱)

★ $\text{Al}(\text{OH})_3$ : 溶于强酸、强碱 ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ : 两性氢氧化物、胶体、医用胃酸中和剂)

$\text{V}_2\text{O}_5$ 、 $\text{BeO}$ 、 $\text{Be}(\text{OH})_2$ : 酸碱均可反应

## 4. 简答题答题模板

### (1) 原料预处理类

- ①粉碎或研磨: 减小固体的颗粒粒度, 增大固体与液体、气体间的接触面积, 增大反应速率, 提高金属元素浸出率。
- ②灼烧、焙烧、煅烧: 除去可燃性杂质; 使原料初步转化为下一步可溶解的物质 (氧化物等)。
- ③水浸: 与水接触反应或溶解, 分离可溶物与难溶物。
- ④酸浸: 与酸反应或溶解, 使可溶性金属离子进入溶液, 不溶物通过过滤除去。
- ⑤碱浸: 除去油污; 溶解铝 (氧化铝)、二氧化硅; 调节 pH 促进水解 (金属离子的沉淀)。
- ⑥氨浸/盐浸等: 使某些物质溶解, 通过过滤除去不溶物。
- ⑦提高浸速率方法: 粉碎原料、适当升高温度、适当增大浸取试剂浓度、充分搅拌、延长浸取时间。
- ⑧升温浸出率增大: 升高温度, 活化分子百分数增大, 有效碰撞频次提高, 反应速率加快, 浸出平衡正向移动, 浸出率提升。

⑨浸出率先升后降：低温升温加快反应速率，浸出率上升；温度过高，铵盐 / 氨水挥发、试剂分解、副反应加剧、胶体生成，导致浸出率下降。

⑩加压作用：增大气体溶解度，提高浓度，促使平衡正向移动，提高金属浸出率或物质转化率。

## (2) 温度控制类

①温度为什么不能低于某值？

答：反应速率或溶解速率过慢，生产效率低 / 主反应是吸热反应，平衡逆向移动，反应物转化率（原料利用率）、生成物产率下降 / 大部分固态物质的溶解度下降。

②温度为什么不能高于某值？

答：可能造成物质的水解、分解、挥发或升华 / 平衡逆向移动，原料利用率、生成物产率下降 / 气体溶解度下降 / 催化剂活性降低 / 发生副反应 / 会使某些固态或液态物质的溶解度降低

③焙烧温度选择：该温度下目标物质稳定、杂质充分分解；兼顾分离效果与生产能耗，避免温度过高原料烧结。

## (3) 调节 pH 类

①调 pH 除杂：调节溶液 pH，使  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  水解生成氢氧化物沉淀析出，目标金属离子不沉淀，实现分离除杂。

②pH 不能过低： $\text{H}^+$  浓度大，抑制金属阳离子水解，杂质离子无法完全沉淀。

③pH 不能过高：目标金属离子生成氢氧化物沉淀损失；或生成胶体难过滤；或产生副盐杂质。

④pH 过高无轻质沉淀：pH 过大，直接生成致密  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  等沉淀，无法分解形成疏松轻质碳酸盐。

## (4) 调节反应物的浓度

①通过控制反应物的浓度,控制反应的类型,有利于目标反应的进行。

②根据需要选择适宜浓度,控制一定的反应速率,使平衡向利于目标产物生成的方向进行。

③反应物过量,能保证反应的完全发生或提高其他物质的转化率。(但对后续操作带来除杂问题)

## (5) 氧化还原/工艺优势类

① $\text{H}_2\text{O}_2$  优点：还原产物为水，不引入新杂质、无污染、绿色环保，反应条件温和。

②细菌氧化优势：无需高温、节约能耗；不产生有毒废气废渣；设备无需耐高温，工艺更环保。

#### （6）循环利用和绿色化学类

①可循环依据：流程前端消耗该物质，后续工序又重新生成，可返回前端重复使用，降低原料成本、减少废弃物排放。

②绿色化学体现：工艺流程无有毒废气、废渣或废液的排放；原料的利用率高；物质可闭环循环；能耗低、无污染。

#### （7）操作或工艺作用类

①真空干燥：防止产品被氧化、潮解、受热分解等。

②趁热过滤：防止温度降低目标溶质结晶析出造成损失，同时除去难溶性杂质。

③煮沸作用：赶走溶解气体、破坏胶体、使杂质离子完全沉淀。

④絮凝剂：吸附胶体悬浮颗粒，聚沉为大颗粒，加快固液分离速率。

⑤分散剂：防止晶体颗粒团聚，生成粒径均匀晶体，提升产品纯度。



数。M、N 两点对应的体系， $K_x(M)$ \_\_\_\_\_  $K_x(N)$  (填“>”“<”或“=”)，D 点对应体系的  $K_x$  的值为\_\_\_\_\_。

④ 已知：反应  $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons yY(g) + zZ(g)$ ， $K_p = \frac{p^y(Y)p^z(Z)}{p^a(A)p^b(B)}$ ， $p$  为组分的分压。

调整进料比为  $n(\text{CO}):n(\text{H}_2)=m:3$ ，系统压强维持  $p_0\text{MPa}$ ，使  $\alpha(\text{H}_2)=0.75$ ，此时  $K_p=$ \_\_\_\_\_  $\text{MPa}^{-4}$  (用含有  $m$  和  $p_0$  的代数式表示)。

【答案】(1) ①0.05      ②cd

(2) ① $L_1$       该反应为气体体积减小的反应，温度相同时，增大压强，平衡正向移动，

平衡转化率增大    ②<      ③=、12      ④  $\frac{1}{\left(\frac{m-1.5}{m}p_0\text{MPa}\right)^2 \left(\frac{0.75}{m}p_0\text{MPa}\right)^2}$

解析：

(1) ①环氧乙烷 (EO) 30 min 时完全转化，则  $v_{\text{总}}(\text{EO}) = \frac{1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{30 \text{ min}} = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

②由于主反应  $\Delta H < 0$ ，放热，则生成物总能量低于反应物总能量，则 a 不正确。

由于环氧乙烷 (EO) 同时发生了两个反应，则 0~30 min 内， $v_{\text{总}}(\text{EO}) \neq v_{\text{总}}(\text{EG})$ ，则 b 不正确。30 min 时，产物中  $n(\text{EG}):n(\text{DEG}) = 10:1$ 。设此时  $\text{DEG}(\text{aq})$  的浓度为 1，则副反应消耗的  $\text{EO}(\text{aq})$  和  $\text{EG}(\text{aq})$  浓度均为 1，主反应生成的  $\text{EG}(\text{aq})$  的浓度为 11。则 0~30 min 内， $v_{\text{主}}(\text{EG}):v_{\text{副}}(\text{DEG}) = 11:1$  正确。

两个反应均为完全的反应，选择适当的催化剂，可以提高主反应的选择性，进而提高乙二醇的最终产率，d 正确。

故本题答案为 cd。

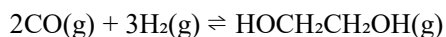
(2) ①该合成反应正向是气体分子总数减小的反应，增大压强平衡正向移动，平衡转化率增大。读图，温度相同时， $L_1$  的压强最大，其平衡转化率是最大的 0.6。所以，本题答案为  $L_1$ 。

②读图，当压强相同时， $L_1$  对应的温度最低且转化率最大，说明温度降低平衡正向移动，则反应放热，则  $\Delta H < 0$ 。

③N 两点均在  $L_1$  上，平衡转化率相等，则各组分对应的物质的量分数相等，由  $K_x$  表达式可判断  $K_x(M) = K_x(N)$ 。

D 点在  $L_2$  上，平衡转化率  $\alpha = 0.5$ ，设初始投料为  $n(\text{CO}) = 2 \text{ mol}$ ， $n(\text{H}_2\text{O}) = 3 \text{ mol}$ ，列三段式如下：

)


 $n_{\text{初始/mol}}: 2 \quad 3 \quad 0$ 
 $n_{\text{转化/mol}}: 2 \times 0.5 \quad 3 \times 0.5 \quad 0.5$ 
 $n_{\text{平衡/mol}}: 1 \quad 1.5 \quad 0.5$ 

平衡时  $x(\text{CO}) = \frac{1 \text{ mol}}{(1+1.5+0.5)\text{mol}} = \frac{1}{3}$ , 同理,  $x(\text{H}_2) = 0.5$ ,  $x(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{1}{6}$ ,

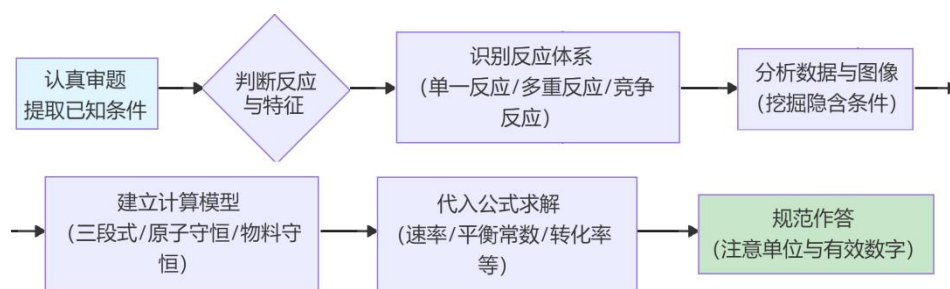
$$\text{则 } K_x = \frac{\frac{1}{6}}{\left(\frac{1}{3}\right)^2 \times 0.5^3} = 12$$

## 2.考向小结

考向特点	考查内容及设问方式
(1) 热化学基础	盖斯定律计算反应焓变；吸热、放热反应判断；物质键能与反应热换算；能量图像分析活化能、反应热大小；热化学方程式规范书写。
(2) 化学反应速率	化学反应速率定量计算；浓度、温度、压强、催化剂、接触面积对反应速率的影响；速率比较；反应速率图像趋势分析；反应机理；图像或表格中的活化能数据判断竞争反应的速率、“能垒”、“决速步”等。
(3) 速率方程。	考查对复杂数据处理和公式变形能力。
(4) 化学平衡基础	平衡状态判定；温度、压强、浓度改变对平衡移动方向的影响；平衡常数 K 表达式书写、数值计算；转化率、产率计算与变化判断；平衡图像（c-t、转化率-T/p、速率-t 图等）分析解读。
(5) 多重平衡。	要求学生面对复杂多重反应时，能基于原子守恒、物料守恒巧妙列式，精准定位各组分，并结合相关计算。
(6) 工业实际应用拓展	结合化工生产选择适宜温度、压强、催化剂等反应条件；分析条件选择的经济效益、反应限度、反应速率综合因素；副反应对平衡体系的干扰分析。
(7) 图表数据处理	图像分析是必考项，表格数据提取对比、拐点交点含义判断；多变量图像综合分析；依据数据规律推导反应变化趋势。
(8) 电化学综合拓展	原电池、电解池电极判断；电极反应方程式书写；电子、离子移动方向分析；电解产物判断；电化学相关定量计算。

### 3. 解题指导

#### 解题思维流程图



#### 第一步：拆解题干信息，锁定核心反应

快速抓取题干可逆反应方程式、已知热化学方程式、图像表格数据，明确研究体系，区分单一反应、连锁反应、竞争反应。

#### 第二步：热化学部分分析

依据盖斯定律叠加方程式计算焓变；对照能量示意图、键能数据、燃烧热数据等，区分正（逆）反应活化能，判断吸（放）热，完成定量运算。

常见设问形式：根据已知热化学方程式，计算目标反应焓变；判断反应吸热或放热以及反应自发条件。

解题思路：方程式同向相加、逆向相减，系数同步缩放，焓变同步对应变化计算。结合自由能变公式判断反应自发条件。

#### 第三步：速率与平衡部分分析

区分条件改变对反应速率、平衡的瞬时影响，以及依据勒夏特列原理判断平衡移动方向；区分速率变化与平衡移动两个不同概念。

**常见设问形式 1：**计算某物质反应速率；分析条件改变对反应速率的影响。

解题思路：套用  $v = \frac{\Delta c}{t}$  公式计算；温度、浓度、压强越大速率越快，催化剂加快反应速率。

**常见设问形式 2：**判断体系是否达到化学平衡状态。

解题思路：变量不变即为平衡，始终不变的物理量不能作为平衡标志。

**常见设问形式 3：**改变条件，判断平衡移动方向、反应物转化率变化。

解题思路：运用勒夏特列原理，减弱不抵消。

**常见设问形式 4：**书写平衡常数表达式、计算  $K$  值、判断  $K$  随温度变化趋势。

解题思路：应用“三段式”。固体、纯液体不写入表达式；一般平衡常数只与温度相关，

吸热升温  $K$  增大，放热升温  $K$  减小。

#### 第四步：图表数形结合推导

横坐标、纵坐标对应物理量，认准起点、拐点、平衡点、终点（平衡点）。

常见设问形式：分析图像变化原因，判断温度、压强大小关系

解题思路：先定变量，再定平衡趋势，遵循先拐先平数值大；升温向吸热方向移动，加压向气体分子数减小方向移动。

#### 第五步：结合生产实际择优条件

常见设问形式：说明选择该温度、压强、催化剂的原因

解题思路：从反应速率、平衡转化率、能耗成本、催化剂活性（重要因素）四个维度综合作答。综合分析工业最优反应条件。

#### 第六步：电化学部分分析

判断电池类型与电极属性，结合介质环境书写电极反应。

**常见设问形式：**书写电极方程式；判断电子、离子移动方向

解题思路：负极阳极失电子氧化反应，正极阴极得电子还原反应；结合环境（酸碱等介质）配平方程式。

#### 特别提醒：

##### （1）建模“三段式”

这是解决所有平衡计算题的基础，也是解决该题的核心步骤。一定要清晰地列出起始量、转化量、平衡量，注意要统一以物质的量（或浓度）为计算基准。

##### （2）驾驭“五大平衡理论”

- ①勒夏特列原理：应对温度、压强、浓度变化对平衡移动的影响类问题；
- ②盖斯定律：计算新反应的焓变（ $\Delta H$ ）；
- ③阿伦尼乌斯公式衍生结论：分析温度对速率常数的影响，通常正反应的 $\Delta H$ 越大，其速率常数  $k$  随温度升高增大的幅度越大；
- ④速率方程：利用速率方程判断速率与浓度的关系。
- ⑤平衡常数：熟练运用  $K_p$  与  $K_c$  的各种变形计算；

##### （3）巧用“三大守恒”

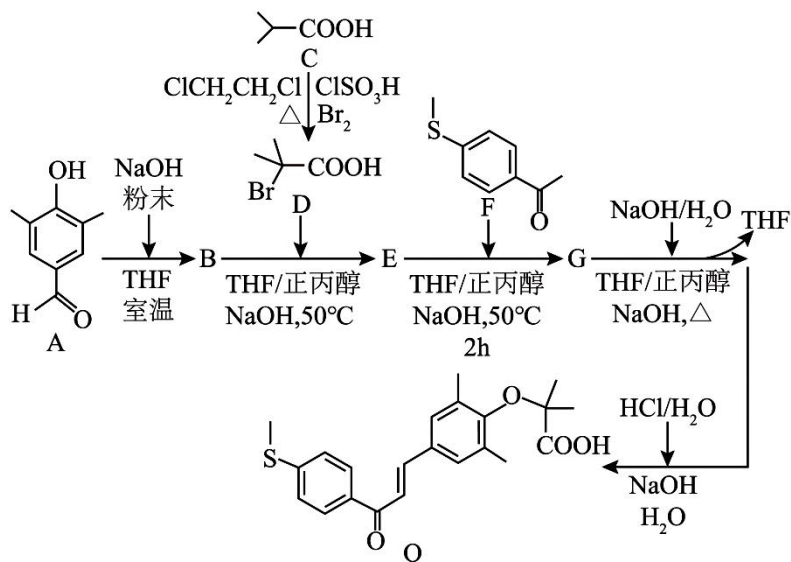
#### 4.简答题答题模板

学生在简答题上失分，很多情况是因为表述不规范。需要明确高频设问及对应的答题模板。

设问方式	简答模板
(1) 判断平衡移动方向模板	增大 XX 浓度/升高温度/增大压强，平衡向 XX 方向移动。
(2) 转化率变化答题模板	平衡正向移动，反应物转化率提高；平衡逆向移动，反应物转化率降低
(3) 催化剂作用答题模板	催化剂降低反应活化能，加快化学反应速率，不影响化学平衡（反应物平衡转化率）。
(4) 活化能与反应速率关系模板	反应活化能越小，反应越容易发生，化学反应反应速率越快。
(5) 平衡常数变化模板	该反应正反应吸热（放热），升高温度，平衡正向（逆向）移动，平衡常数增大（减小）。
(6) 选择适宜温度原因模板（结合反应实际）	温度过低，反应速率太慢；温度过高，催化剂活性降低（平衡逆向移动），使得原料转化率下降。
(7) 选择适宜压强原因模板（结合反应实际）	增大压强，反应速率加快，平衡正向移动，原料转化率提升；压强过大，设备成本与能耗大幅增加。

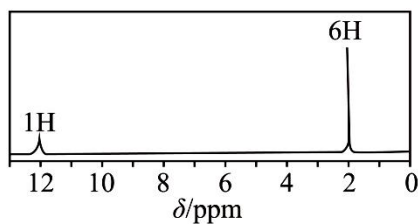
1. 经典重现

【2025 河北卷 T18】依拉雷诺(Q)是一种用于治疗非酒精性脂肪性肝炎的药物，其“一锅法”合成路线如下：

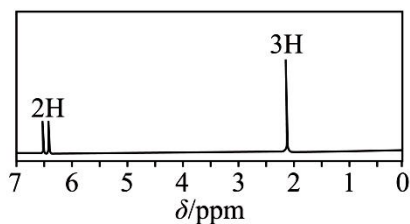


请回答下列问题：

- Q 中含氧官能团的名称\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
- A→B 的反应类型\_\_\_\_\_。
- C 的名称\_\_\_\_\_。
- C→D 反应中，在加热条件下滴加溴时，滴液漏斗末端位于液面以下的目的\_\_\_\_\_。
- “一锅法”合成中，在 NaOH 作用下，B 与 D 反应生成中间体 E，该中间体的结构简式\_\_\_\_\_。
- 合成过程中，D 也可与 NaOH 发生副反应生成 M，图甲、图乙分别为 D 和 M 的核磁共振氢谱，推断 M 的结构，写出该反应的化学方程式\_\_\_\_\_。



甲



乙

- 写出满足下列条件 A 的芳香族同分异构体的结构简式\_\_\_\_\_。

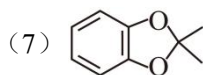
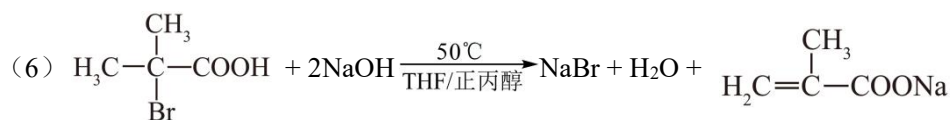
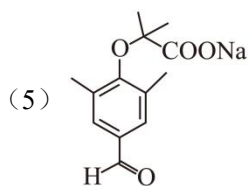
- (a) 不与  $\text{FeCl}_3$  溶液发生显色反应；  
 (b) 红外光谱表明分子中不含  $\text{C}=\text{O}$  键；  
 (c) 核磁共振氢谱有三组峰，峰面积比为 1:1:3；  
 (d) 芳香环的一取代物有两种。

【答案】(1) 羰基、醚键、羧基

(2) 取代反应

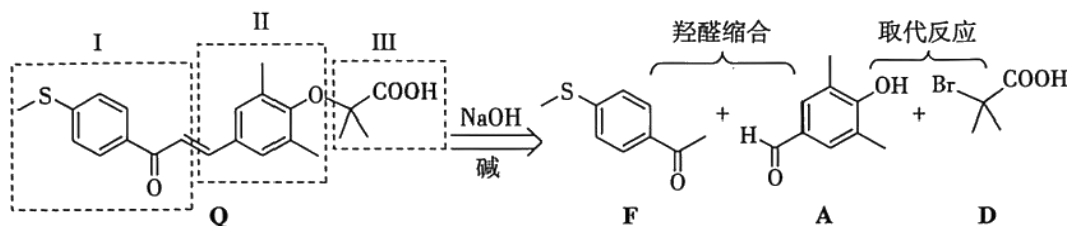
(3) 异丁酸 (或 2-甲基丙酸)

(4) 溴易挥发，减少损失，提高利用率

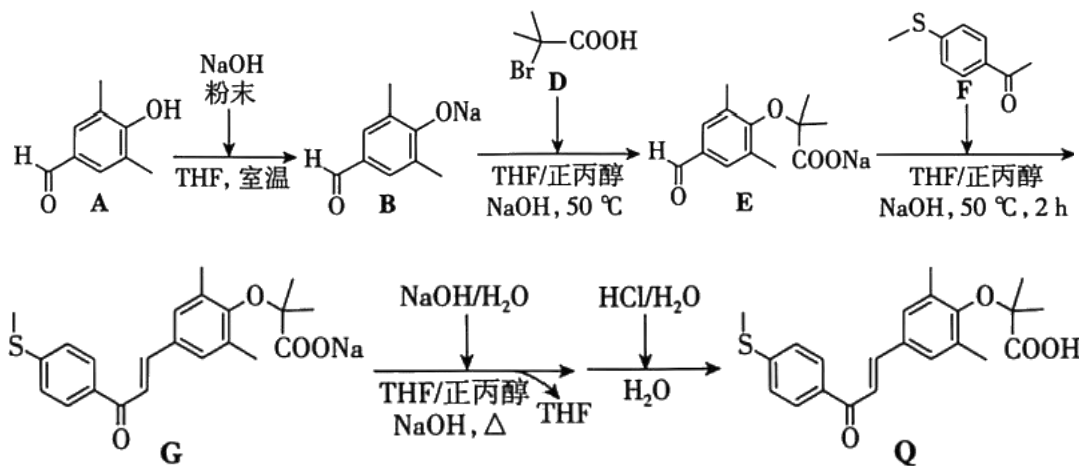


【解析】“一锅法”是一种在有机合成中广泛应用的高效方法，通过在单一反应体系中连续进行多个反应步骤，避免了传统多步合成中频繁的中间产物的分离和纯化。该方法不仅反应效率高、合成成本低，而且减少了副产物的生成，符合“绿色化学”的理念。

根据逆合成分析，Q 应由 I、II 和 III 三个结构单元组成。



其中，A 含有(酚)羟基和醛基，分别与 D、F 连接构成产物分子 Q 的结构，即利用 A 中的羟基与溴代异丁酸 D 的取代反应形成醚键；利用 A 中的醛基与对甲硫基苯乙酮 F 经羟醛缩合反应构建碳碳双键，从而得到产物 Q。在碱性条件下，A、D、F 之间只发生上述两种反应，因此可利用“一锅法”实现 Q 的高效合成。综上分析，依拉雷诺(Q)的合成路线如下：



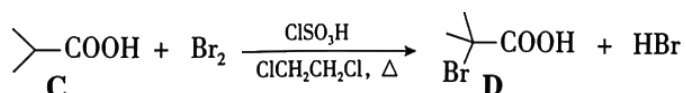
(1)考查考生对有机化合物结构简式、常见官能团类型及其名称的掌握。由化合物 Q 的结构简式可知，Q 中存在(酮)羰基、醚键和羧基三种含氧官能团。

(2)考查考生对有机化合物的性质、反应类型及其本质的掌握。A→B 的反应步骤中只给出了反应物的结构简式及反应条件，未给出产物的结构信息，需要依据反应物的结构预测其性质，并判断反应物在该条件下发生的化学反应。由化合物 A 的结构简式可以看出，分子中存在醛基和酚羟基。酚羟基具有弱酸性，因此化合物 A 可与 NaOH 发生酸碱中和反应生成酚钠。

(3)考查考生对简单有机化合物的结构辨析及其命名的掌握。由 C 的结构简式可以看出，C 中只存在羧基官能团，属于羧酸类化合物。根据有机化合物的命名原则，选择包含羧基在内的最长碳链作为母体，编号从羧基碳原子开始。母体 2 号碳上存在一个甲基，因此 C 名称应为 2-甲基丙酸。依据习惯命名法，C 为含四个碳原子的饱和酸，应为丁酸，对于碳链末端第 2 位有一个甲基

时(具有  $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}- \\ | \\ \text{COOH} \end{array}$  结构)，在名称前加前缀“异”，因此，按习惯命名法，C 的名称为异丁酸。故 C 的名称为 2-甲基丙酸或异丁酸。

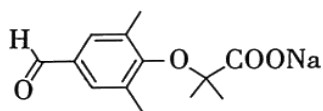
(4)考查考生对有机化学实验规范操作的正确理解与掌握。引导学生根据试剂性质、反应条件和实验要求，选择合适的实验仪器、装置，采取正确的实验操作，并理解其理论依据，培养辩证思维。C→D 是异丁酸的 $\alpha$ -溴代反应，该反应通常在特定条件下进行。



该反应需要控制在一定的温度下进行，由于溴易挥发，在加热条件下滴加溴时，滴液漏斗末端须浸入液面以下，以防止滴入的溴在反应容器中直接挥发，有利于溴与反应液中的异丁酸充分混合。

(5)考查考生运用类比迁移的方法学习并理解有机化合物性质的能力，以及依据反应

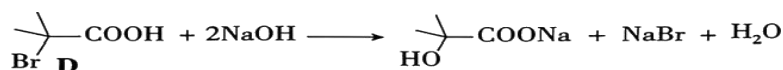
信息综合分析推断反应物(或产物)结构及正确书写其结构简式的能力。解题的关键是卤代烃化学性质的理解与运用。酚氧负离子与 NaOH 中的氢氧根负离子相似,考生可将卤代烃与 NaOH 的取代反应,类比迁移到卤代烃与酚钠的取代反应,从而构建醚键官能团。D (溴代异丁酸)为双官能团化合物,含有羧基和溴原子两种官能团,具备羧酸和卤代烃的双重性质。在反应体系中,D 与 NaOH 反应生成溴代异丁酸钠,进一步与 B 发生取代反应生成含醚键的中间体 E。综上分析,E 的结构简式为:



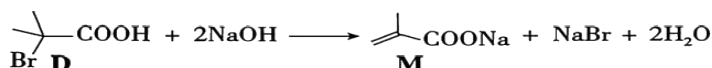
(6)考查考生基于官能团和化学键的特点及有机反应规律,并结合现代仪器分析方法,推理、判断有机化学反应及正确书写化学方程式的能力。

卤代烃可以发生取代反应和消去反应,反应产物与卤代烃中烃基结构、溶剂种类及反应温度有关。D (溴代异丁酸)属于卤代羧酸,在碱性条件下首先转化为卤代羧酸盐(溴代异丁酸钠)。溴代异丁酸钠作为卤代烃衍生物存在进一步发生取代反应和消去反应的两种可能。如:

与体系中的 NaOH 发生取代反应:



在碱性条件下发生消去反应:

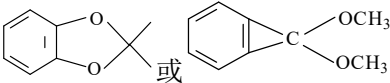


原料 D 和副产物 M 的核磁共振氢谱在图 1 和图 2 中已提供。D 中的氢有两组峰,峰面积比为 6:1, M 的核磁共振氢谱也呈现为两组峰,峰面积比为 3:2。利用核磁共振氢谱( $^1\text{H NMR}$ )的相关知识分析可知,取代反应产物 2-甲基-2-羟基丙酸钠的 $^1\text{H NMR}$  应有两组峰,峰面积比为 6:1,这与 M 核磁共振氢谱中 3:2 的峰面积比明显不符,因此,2-甲基-2-羟基丙酸钠不是题目所要求的副产物。消去反应产物甲基丙烯酸钠的 $^1\text{H NMR}$  有两组峰,且峰面积为 3:2,与 M 的核磁共振氢谱一致,表明 M 为甲基丙烯酸钠。综上分析可知,副产物 M 是 D 在 NaOH 作用下经中和反应和消去反应得到的。

(7)考查考生分析与推测、归纳与论证的化学学科关键能力。需要考生在充分理解实验信息和限定条件的基础上,运用有机化学基础知识,分层次逐步分析推理,快速厘清同分异构体并确定

其结构。

根据已知信息，该同分异构体是芳香族化合物，与 A 的差别在于苯环上的取代基不同。根据 (a)和(b)，可知分子中不含酚羟基和碳氧双键，对应于 A 中醛基的 1 个不饱和度，分子中可能含有一个碳碳双键或一个环状结构单元。结合 (d)中芳香环的一取代物有两种的信息，可确定该同分异构体应为邻位二取代的芳香烃衍生物。因此，分子中不可能存在碳碳双键，只能是具有苯并环状结构骨架的物质。此外，由 A 的结构简式可知该同分异构体的分子式应为  $C_9H_{10}O_2$ ，结合(c)中提供的核磁共振氢谱中峰面积比为 1:1:3 的三组峰的信息，推测该同分异构体分子中的 10 个氢原子可分为三类，个数比为 2:2:6，其结构应具有高度对称性，6 个氢原子的化学环境相同，对应于两个

-CH<sub>3</sub>，其他 4 个为芳香环上的氢原子。因此，其结构简式如下：

## 2. 考向小结

**(1) 有机物的命名与结构简式的推断。**考查根据分子式、性质、光谱信息或转化关系推断有机物的结构简式，并对某些有机物进行命名（尤其关注酯、酸和含苯环的简单有机物等常见有机物的命名）。有机物的命名一般在前两问，结构简式的推断一般在题目中间的设问。

**(2) 官能团的结构与性质。**考查识别有机物分子中的官能团（如羰基、醚键、羧基、酰胺基、酯基、氨基等），并掌握各官能团的特征反应。

**(3) 反应类型的判断。**考查对有机反应基本类型的识别，主要包括：取代反应（酯化、水解、硝化、卤代）、加成反应（碳碳双键的加成、羰基的加成等）、消去反应、氧化反应、还原反应（硝基还原为氨基）等。要求考生根据反应物与生成物的结构变化推断反应类型。

**(4) 有机化学方程式的书写。**考查对指定转化的有机化学方程式的正确书写，包括条件、配平、产物结构等要素。需注意酯化反应、水解反应（酯基的水解和卤代烃的水解）、硝化反应等常见反应方程式的书写规范，且要关注在水解反应中，需要考虑所有与碱反应的官能团。

**(5) 同分异构体的数目与结构。**考查有限条件下同分异构体的数目判断和特定结构的书写。条件通常涉及：核磁共振氢谱的峰组数及峰面积比、红外光谱的特征吸收峰（如硝基、苯环等）、不饱和度的计算、能否与氯化铁溶液显色等。近几年所考查的同分异构体数目问题均涉及苯环结构，2025 年还出现了双环结构。该类题目对学生的空间想象能力和逻辑推理能力要求较高，一般设置在最后两问。

**(6) 有机合成路线的设计与评价。**考查运用题目所给合成路线，同时结合所学化学知识设计合理的合成路线（通常 2-4 步）。要求考生熟悉常见官能团的引入与转化方法，以及绿色化学思想在路线设计中的应用。

**(7) 信息迁移与应用。**考查对题目所给陌生反应信息的读取、理解与迁移应用能力。题目常以“已知”形式给出课本未出现但逻辑可循的陌生反应，要求考生根据信息推断结构或书写方程式，考查现场学习能力。这是区分度最高的考查点，体现了新高考“考能力”的导向。

此外，2025 年河北卷 18 题以“依拉雷诺的药物合成”为情境，该物质是临床上治疗非酒精性脂肪性肝炎的药物。从 2023 年至 2025 年的命题趋势来看，河北卷有机推断题的情境选材始终聚焦于药物、新材料、生物活性分子等领域的合成，合成步骤一般为 5-10 步转化，最终合成具有实际应用价值的化学物质。预测 2026 年高考仍将延续这一命题思路，以药物或功能材料的合成为载体，综合考查有机化学核心素养。

### 3. 解题指导

#### (1) 解题思路

有机推断与合成综合题的解题可按照以下四个步骤展开：

##### 第一步：扫题眼，定方向

拿到题目后，首先通读整个合成路线，标注已知结构、反应条件和新物质。重点关注以下几类“题眼”：①分子式（计算不饱和度，初步判断结构特征）；②反应条件（浓  $\text{H}_2\text{SO}_4/\Delta$  为酯化或消去， $\text{NaOH}/\text{H}_2\text{O}$  为水解， $\text{Fe}/\text{HCl}$  为硝基还原等）；③信息反应（“已知”中的陌生反应）。通过快速定位题眼，确定推断的方向和突破口。

##### 第二步：推结构，建链条

采用“正向推导+逆向倒推”相结合的方法，利用反应条件、官能团转化规律和信息反应，逐步确定流程中各物质的结构简式。常见的推断策略：

正向推导：从已知起始物出发，根据反应条件推断后续产物的结构。

逆向倒推：从目标产物 M 倒推其直接前体，分析断键部位与成键方式，逆推至 A 的完全确认。

残基分析法：当某步反应的反应物与产物结构已知时，分析“多出的原子”或“少去的原子”，从而推断试剂的参与。

##### 第三步：分类答，规范写

依次解决题目中的各类设问（命名、官能团、反应类型、方程式、同分异构体、合成路

线等)，分门别类作答。注意各类设问的答题规范（详见第四部分答题模板）。

#### 第四步：回头看，堵漏洞

完成全部作答后，回头验证整个合成路线的逻辑自洽性——每一步转化是否符合官能团转化规律？反应条件是否匹配？不确定的结构是否可通过不饱和度计算或分子式验算确认？同时检查书写的化学方程式是否配平、结构简式是否准确。

#### (2) 思维模型

①“结构对比法”是有机推断的核心思维模型，其基本逻辑为：对比相邻两步有机物在结构上的“差异”，结合反应条件确定反应过程中发生了什么官能团转化。

将该模型具体化为以下三种对比模式：

对比模式	操作方法	推断目标
前后对比	比较同一物质在反应前后的结构差异	确定反应类型及断键成键位置
相似结构对比	比较合成路线中相似结构的中间体	推断某些反应的选择性规律
信息对比	将题目所给信息反应应用于未知转化	实现信息迁移与陌生反应应用

#### ②结构推断的常用方法

##### a. 由反应条件推断

条件	浓 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /△	稀 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /△	NaOH/ H <sub>2</sub> O/△	NaOH/醇/△	Fe/HCl	浓 HNO <sub>3</sub> / 浓 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	O <sub>2</sub> /Cu/△	H <sub>2</sub> /催化剂
反应	酯化反应或消去反应	酯的水解、糖类水解	卤代烃水解、酯的水解	卤代烃消去	硝基还原为氨基	苯环硝化	醇的催化氧化	碳碳双键、苯环、羰基、硝基的加成或还原

##### b. 由分子式推断不饱和度

##### c. 由核磁共振氢谱推断

峰组数 = 不同化学环境的氢原子种类数

峰面积比 = 各类氢原子数目比

结合分子式和不饱和度，推测氢原子的分布与连接方式

#### (3) 解题方法模型

观察反应物与生成物结构 → 找出变化的原子/基团 → 确定是何种官能团转化 → 结合反应条件确认反应类型 → 推断未知物质结构

#### 4. 简答题答题模板

##### (1) 有机物命名、官能团识别与分子式确定

设问类型	答题模板
有机物系统命名	“含官能团的最长碳链为主链，从靠近官能团的一端编号，取代基位次和最小，将官能团位次标在母体前，如丙烯酸、对苯二甲酸、2-甲基-1,3-丁二烯等”
官能团名称	碳碳双键、碳碳三键、羟基、醛基、羧基、酯基、醚键、羰基、氨基、酰胺基、硝基、磺酸基（注意：“苯环”不是官能团）
分子式的书写	按 C→H→O→N→X（卤素）的顺序书写，如 C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> 、C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>
含氧官能团识别	问“含氧官能团”时只答含氧的官能团，排除碳碳双键、碳碳三键等

##### (2) 反应类型判断

常见反应	反应类型
酯化、硝化、卤代、水解	取代反应
加 H <sub>2</sub> 、加 X <sub>2</sub> 、加 HX	加成反应（注意：苯环与 H <sub>2</sub> 的加成属于加成反应）
醇→烯、卤代烃→烯	消去反应
醇→醛、醛→酸	氧化反应
醛→醇、硝基→氨基、烯→烷	还原反应（或加成反应）

##### (3) 有机化学方程式的书写规范

要素	要求
反应物与生成物	结构简式必须书写正确，碳原子、氢原子数守恒
反应条件及连接符	必须按需注明：浓 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 、△、催化剂、光照等，用→或⇌连接
配平	必须配平，检查原子个数守恒
生成物	小分子（H <sub>2</sub> O、HX 等）不能遗漏

)

#### (4) 熔沸点、酸性等性质比较

设问类型	答题模板
熔沸点比较	“H 中含有羟基，可以形成分子间氢键，导致 H 分子间作用力更强，熔沸点更高”
酸性比较	“酸性：羧酸 > 碳酸 > 酚 > 醇。（含羧基）酸性强于（含酚羟基），因为_____”
溶解度比较	“羟基为亲水基团，含有羟基的有机物在水中溶解度更大”
稳定性比较	“_____中含有碳碳双键，易被氧化”

#### (5) 合成路线设计

- ①书写形式：反应物→中间体→…→最终产物；
- ②箭头上需注明反应条件与其他反应物；
- ③尽量选择题目中所给的路线中的条件或课本中学习过的条件完成有机物结构的转化。

。