

## 主题 1 物质结构与性质

### 微主题 1 物质的结构、性质 元素周期律/1

基础回归/1

体系建构/1

名卷优选/2

3年真题

3年模拟

考向 1 原子结构与元素性质 元素周期律	P2	P4
考向 2 分子结构与性质	P2	P4
考向 3 晶体结构与性质	P3	P5
考向 4 化学用语	P3	P6
考向 5 物质结构与性质综合	P3	P6
核心串讲/7	检测反馈/12	

## 主题 2 无机物转化与应用

### 微主题 2 物质的性质、用途与转化/13

基础回归/13

体系建构/13

名卷优选/13

3年真题

3年模拟

考向 1 物质的性质与用途对应关系	P13	P15
考向 2 氧化还原反应 离子反应	P14	P15
考向 3 常见无机物间的转化	P14	P16
核心串讲/16	检测反馈/19	
●破难点 1 陌生情境下方程式的书写/20		

### 微主题 3 化学工艺流程/23

基础回归/23

体系建构/23

名卷优选/23

3年真题

3年模拟

题型 1 化学工艺流程——选择题	P23	P25
题型 2 化学工艺流程——大题	P24	P25
题型 3 重要无机物的转化	P24	P25
核心串讲/26	检测反馈/29	
●破难点 2 滴定计算 热重分析计算/31		
●破难点 3 归因解释、过程评价/35		

### 主题3 反应原理与规律

#### 微主题4 反应热 电化学/40

基础回归/40 体系建构/40

名卷优选/40

3年真题

3年模拟

考向1 化学反应与能量小综合	P40	P42
考向2 $\Delta H$ 计算及盖斯定律的应用	P41	P42
考向3 原电池的工作原理及应用	P41	P43
考向4 电解池的工作原理及应用	P42	P43
核心串讲/44	检测反馈/47	

#### 微主题5 化学反应速率与化学平衡/49

基础回归/49 体系建构/49

名卷优选/50

3年真题

3年模拟

考向1 化学反应速率与反应过程中的转化率、选择性	P50	P52
考向2 多重平衡体系分析	P50	P53
考向3 化学平衡与反应速率叠加	P51	P54
考向4 化学反应速率与化学平衡综合	P51	P54
核心串讲/55	检测反馈/59	

#### ●破难点4 微观机理 多角度认识催化剂/60

#### 微主题6 电离平衡与盐类水解/65

基础回归/65 体系建构/65

名卷优选/66

3年真题

3年模拟

考向1 溶液中粒子浓度分析	P66	P68
题型1 固定成分溶液中粒子浓度分析	P66	P68
题型2 反应过程中粒子浓度分析	P66	P68
考向2 酸碱滴定过程和分布曲线中粒子浓度分析	P66	P69
考向3 电离平衡常数的计算及应用	P67	P69
考向4 盐类水解的综合应用	P67	P69
核心串讲/70	检测反馈/73	



## 微主题 7 沉淀溶解平衡/74

基础回归/74                      体系建构/74

名卷优选/74

3年真题

3年模拟

考向 1  $K_{sp}$  的计算及综合应用

P74

P75

考向 2 沉淀的转化

P75

P75

核心串讲/76

检测反馈/78

## 主题 4 有机物转化与应用

### 微主题 8 有机物的结构与性质/79

基础回归/79                      体系建构/79

名卷优选/79

3年真题

3年模拟

考向 1 有机物的结构与性质

P79

P80

考向 2 有机物的官能团、反应条件及类型判断

P80

P81

考向 3 限定条件下同分异构体的书写

P80

P82

核心串讲/82

检测反馈/84

### 微主题 9 有机物的合成与推断/85

基础回归/85                      体系建构/85

名卷优选/85

3年真题

3年模拟

考向 1 有机物的推断

P85

P87

考向 2 有机合成路线的设计

P86

P88

核心串讲/89

检测反馈/93

## 主题 5 实验探究与实践

### 微主题 10 化学实验与探究/94

基础回归/94                      体系建构/95

名卷优选/95

3年真题

3年模拟

题型 1 化学实验基础——选择题

P95

P97

题型 2 化学实验探究——大题

P96

P98

核心串讲/102

检测反馈/107

●破难点 5 描述实验操作、补充实验方案/108

## 自主评测

### 保分练 微主题强化

#### 主题1 物质结构与性质

微主题1 物质的结构、性质 元素周期律/113

#### 主题2 无机物转化与应用

微主题2 物质的性质、用途与转化/115

微主题3 化学工艺流程/117

#### 主题3 反应原理与规律

微主题4 反应热 电化学/119

微主题5 化学反应速率与化学平衡/121

微主题6 电离平衡与盐类水解/123

微主题7 沉淀溶解平衡/125

#### 主题4 有机物转化与应用

微主题8 有机物的结构与性质/127

微主题9 有机物的合成与推断/129

#### 主题5 实验探究与实践

微主题10 化学实验与探究/131

### 增分练 拉分点突破

拉分点1 陌生情境下方程式的书写/133

拉分点2 滴定计算 热重分析计算/135

拉分点3 归因解释、过程评价/137

拉分点4 微观机理 多角度认识催化剂/139

拉分点5 描述实验操作、补充实验方案/141

### 抢分练 小卷抢分

选择题专练(8份, 20分钟限时练)/143

“10+2”综合小卷(8份, 40分钟限时练)/159

赠：考前回归

上篇 回归教材重点、易忽视点

- 回归 1 物质的分类和计量/1
- 回归 2 元素及其重要化合物/2
- 回归 3 化学反应原理/7
- 回归 4 物质结构与性质/14
- 回归 5 有机化学基础/20

下篇 回归教材经典实验

- 类型 1 化学实验基础/25
- 类型 2 非金属及其化合物/26
- 类型 3 金属及其化合物/28
- 类型 4 化学反应原理实验/29
- 类型 5 有机化学实验/31

配：参考答案与详解

赠：①本书 PPT 和 word

②2026 年 3—5 月大市模拟卷(电子版)

③读者答疑

## 主题 1 物质结构与性质

### 微主题 1 物质的结构、性质 元素周期律

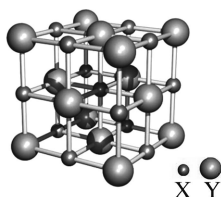
#### 基础回归

课前热身，激活思维

1 分别写出基态 Mn、Cu、 $\text{Zn}^{2+}$  的简化电子排布式：\_\_\_\_\_；  
写出基态 As、 $\text{Fe}^{3+}$  的价电子排布式：\_\_\_\_\_；写出基态 C 的轨道表示式：\_\_\_\_\_；写出基态 Cu 的价电子轨道表示式：\_\_\_\_\_。

2 基态 S 原子的电子运动状态有\_\_\_\_\_种，电子空间运动状态有\_\_\_\_\_种，有\_\_\_\_\_种能量不同的电子。

3 某晶胞如图所示。该物质的化学式为\_\_\_\_\_。Y 原子的配位数为\_\_\_\_\_。

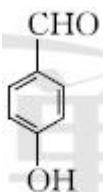
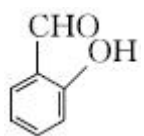


4 比较下列物质的熔、沸点。

(1)  $\text{CCl}_4$  \_\_\_\_\_  $\text{CH}_4$ 。

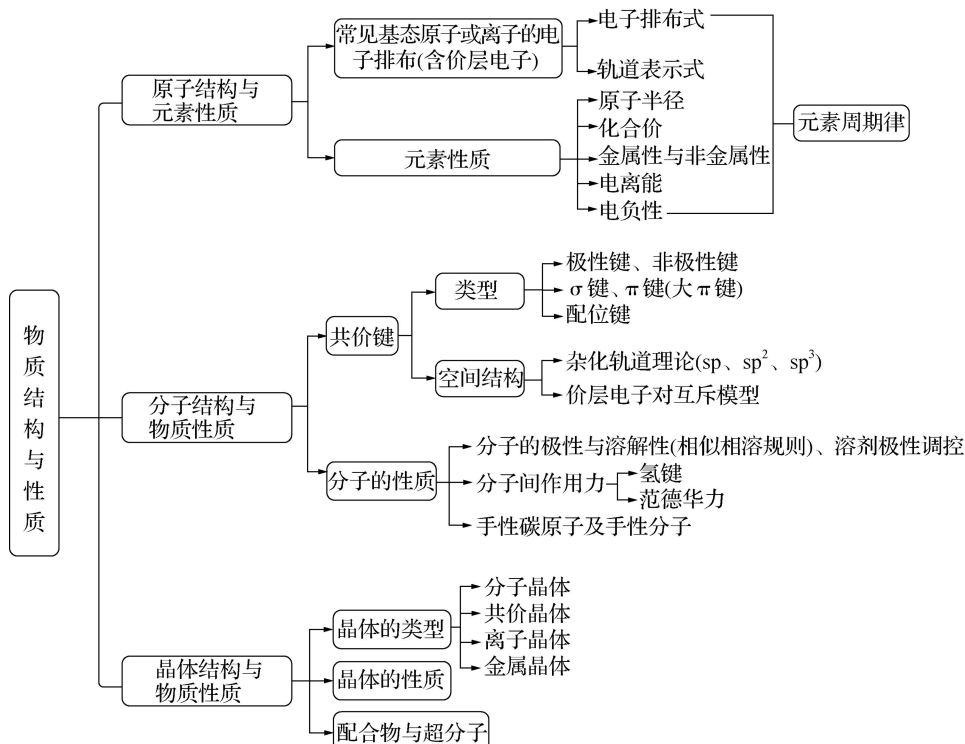
(2)  $\text{H}_2\text{O}$  \_\_\_\_\_  $\text{H}_2\text{S}$ 。

(3)  $\text{NaCl}$  \_\_\_\_\_  $\text{MgCl}_2$ 。

(4)  \_\_\_\_\_  。

5 根据电负性判断  $\text{ICl}$  水解产物：\_\_\_\_\_。

6  $\text{SO}_2$  与  $\text{SO}_3$  中硫原子杂化方式分别为\_\_\_\_\_；VSEPR 模型分别为\_\_\_\_\_；键角大小为\_\_\_\_\_。



### 3 年真题

考向 1 原子结构与元素性质 元素周期律

- 1 (1) [2025 江苏卷]基态  $\text{Li}$  的核外电子排布式为\_\_\_\_\_。
- (2) [2022 江苏卷改编]基态锗原子( $_{32}\text{Ge}$ )的价电子排布式为\_\_\_\_\_。
- (3) [2021 江苏第二次适应性考试]基态  $\text{Mn}^{2+}$  的电子排布式为\_\_\_\_\_。

2 (1) [2025 江苏卷]电负性:  $\chi(\text{F})$  \_\_\_\_\_  $\chi(\text{Cl})$ ; 离子半径:  $r(\text{F}^-)$  \_\_\_\_\_  $r(\text{Na}^+)$ 。


(2) [2023 江苏卷改编] $\text{C}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{Ge}$  位于元素周期表中ⅣA 族。原子半径: \_\_\_\_\_; 第一电离能: \_\_\_\_\_。

(3) [2023 江苏卷]电负性:  $\chi(\text{F})$  \_\_\_\_\_  $\chi(\text{O})$ 。

3 [2021 江苏卷]前 4 周期主族元素 X、Y、Z、W 的原子序数依次增大, X 是空气中含量最多的元素, Y 的周期序数与族序数相等, 基态时 Z 原子 3p 原子轨道上有 5 个电子, W 与 Z 处于同一主族。下列说法正确的是( )

- A. 原子半径:  $r(\text{X}) < r(\text{Y}) < r(\text{Z}) < r(\text{W})$
- B. X 的第一电离能比同周期相邻元素的大
- C. Y 的最高价氧化物对应的水化物的酸性比 Z 的强
- D. Z 的简单气态氢化物的热稳定性比 W 的弱

## 考向2 分子结构与性质

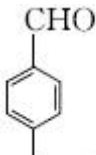
4 (1) [2025 江苏卷]  分子中  $sp^3$  和  $sp^2$  杂化的碳原子数目比为\_\_\_\_\_。

(2) [2024 江苏卷改编]石墨转化为金刚石,碳原子轨道的杂化类型变化为\_\_\_\_\_。

(3) [2023 江苏卷改编] $NH_4^+$ 和  $H_2O$  的中心原子轨道杂化类型分别为\_\_\_\_\_。

(4) [2022 江苏卷]  分子中碳原子的杂化轨道类型为\_\_\_\_\_。

5 (1) [2024 江苏卷改编]丁烷催化裂化为乙烷和乙烯,丁烷断裂\_\_\_\_\_(填“ $\sigma$ 键”或“ $\pi$ 键”)。

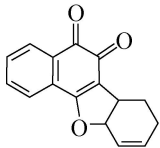
(2) [2021 江苏卷]  1 mol  $CH_2OH$  中含有\_\_\_\_\_mol 碳氧 $\pi$ 键。

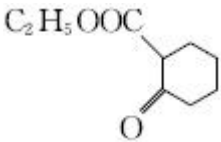
(3) [2020 江苏卷] 1 mol  $[Zn(NH_3)_4]Cl_2$  中含有 $\sigma$ 键的物质的量为\_\_\_\_\_mol。

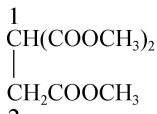
6 (1) [2025 江苏卷] $NH_3$  分子中  $H-N-H$  键角\_\_\_\_\_  $CH_4$  分子中  $H-C-H$  键角。

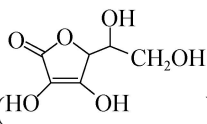
(2) [2022 江苏卷改编]金刚石与石墨烯中的  $C-C-C$  夹角大小: 金刚石\_\_\_\_\_石墨烯。

(3) [2024 江苏卷改编] $H_2O$  的空间结构为\_\_\_\_\_。

(4) [2025 江苏卷]  分子中所有碳原子\_\_\_\_\_(填“能”或“不能”)共平面。

(5) [2024 江苏卷]  分子中所有碳原子\_\_\_\_\_(填“能”或“不能”)共平面。

(6) [2025 江苏卷]  分子中,与 2 号碳相比,1 号碳的  $C-H$  极性相对\_\_\_\_\_(填“较大”或“较小”)。

7 (1) [2019 江苏卷]推测抗坏血酸()在水中的溶解度:\_\_\_\_\_(填“难溶于水”或“易溶于水”)。

(2) [2017 江苏卷]乙醇的沸点高于丙酮,这是因为\_\_\_\_\_。

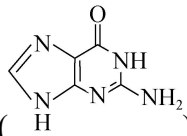
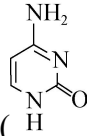
8 [2023 江苏卷]已知  $\text{H}_4\text{V}_4\text{O}_{12}$  具有八元环结构, 其结构式可表示为

考向 3 晶体结构与性质

9 判断下列说法是否正确, 并说明原因。

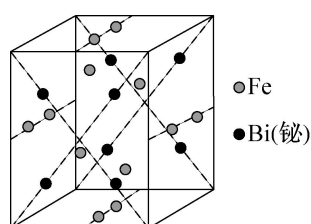
(1) [2023 江苏卷]碳单质、晶体硅、SiC 均为共价晶体。

(2) [2022 江苏卷]IVA 族元素单质的晶体类型相同。

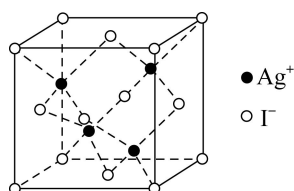
(3) [2025 江苏卷]DNA 双链中鸟嘌呤()与胞嘧啶()通过氢键互补配对。

(4) [2023 江苏卷] $\text{H}_2\text{O}$  分子之间形成氢键, 得出  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的热稳定性比  $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$  的高。

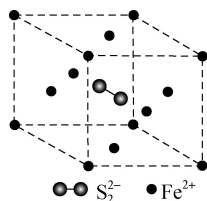
10 (1) [2024 江苏卷]铁酸铋晶胞如图所示(图中有 4 个 Fe 原子位于晶胞体对角线上, O 原子未画出), 其中原子数目比  $N(\text{Fe}) : N(\text{Bi}) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



(2) [2021 江苏卷]AgI 晶胞(如图)中含有\_\_\_\_\_个  $\text{I}^-$ 。

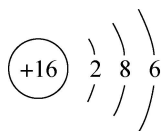


11 [2022 江苏卷]  $\text{FeS}_2$  具有良好半导体性能。 $\text{FeS}_2$  的一种晶体与  $\text{NaCl}$  晶体的结构相似, 该  $\text{FeS}_2$  晶体的一个晶胞中  $\text{S}_2^{2-}$  的数目为\_\_\_\_\_。在  $\text{FeS}_2$  晶体中, 每个 S 原子与三个  $\text{Fe}^{2+}$  紧邻, 且  $\text{Fe}-\text{S}$  间距相等, 如图给出了  $\text{FeS}_2$  晶胞中的  $\text{Fe}^{2+}$  和位于晶胞体心的  $\text{S}_2^{2-}$  ( $\text{S}_2^{2-}$  中的 S—S 位于晶胞体对角线上, 晶胞中的其他  $\text{S}_2^{2-}$  已省略)。如图中用 “—” 将其中一个 S 原子与紧邻的  $\text{Fe}^{2+}$  连接起来。



#### 考向 4 化学用语

12 [2024 江苏卷] 反应  $\text{PbS} + 4\text{H}_2\text{O}_2 = \text{PbSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$  可用于壁画修复。下列说法正确的是( )



A.  $\text{S}^{2-}$  的结构示意图为

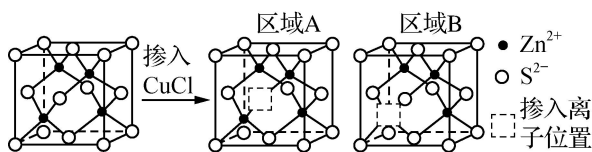
B.  $\text{H}_2\text{O}_2$  中既含离子键又含共价键

C.  $\text{SO}_4^{2-}$  中 S 元素的化合价为 +6

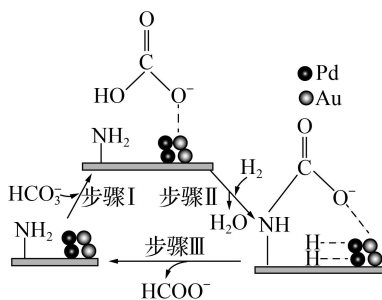
D.  $\text{H}_2\text{O}$  的空间结构为直线形

#### 考向 5 物质结构与性质综合

13 [2025 江苏卷] 制备光学材料。如图所示,  $\text{ZnS}$  晶体中掺入少量  $\text{CuCl}$  后, 会出现能量不同的 “正电” 区域、 “负电” 区域, 光照下发出特定波长的光。区域 A “□” 中的离子为 \_\_\_\_\_ (填离子符号), 区域 B 带 \_\_\_\_\_ (填 “正电” 或 “负电”)。

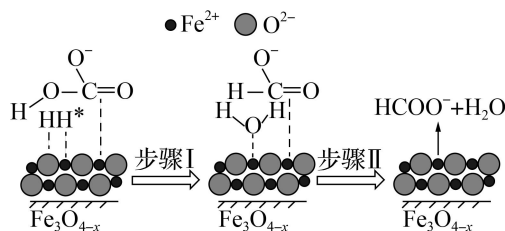


14 [2024 江苏卷] 使用含氨基物质 (化学式为  $\text{CN}-\text{NH}_2$ ,  $\text{CN}$  是一种碳衍生材料) 联合  $\text{Pd-Au}$  催化剂储氢, 可能机理如图所示。氨基能将  $\text{HCO}_3^-$  控制在催化剂表面, 其原理是 \_\_\_\_\_; 用重氢气 ( $\text{D}_2$ ) 代替  $\text{H}_2$ , 通过检测是否存在 \_\_\_\_\_ (填化学式) 确认反应过程中的加氢方式。





15 [2022 江苏卷改编]随着反应进行,  $\text{FeCO}_3$  迅速转化为活性  $\text{Fe}_3\text{O}_{4-x}$ , 活性  $\text{Fe}_3\text{O}_{4-x}$  是  $\text{HCO}_3^-$  转化为  $\text{HCOO}^-$  的催化剂, 其可能反应机理如图所示。



(1) 电负性不同的元素形成共用电子对, 电负性强的元素带\_\_\_\_\_ (填“负电荷”或“正电荷”)。

(2) Fe、O、H 电负性大小关系为\_\_\_\_\_。在催化剂表面吸附在  $\text{O}^{2-}$  和  $\text{Fe}^{2+}$  上的氢原子分别带有\_\_\_\_\_ (填“负电荷”或“正电荷”)。

(3)  $\text{Fe}^{2+}$  上的氢原子用“ $\text{H}^*$ ”表示, 则生成水和甲酸根的化学式分别为\_\_\_\_\_。

### 3 年模拟

考向 1 原子结构与元素性质 元素周期律

1 书写基态粒子的电子排布式(价电子排布式)。电离能、电负性大小比较。

(1) [2025 苏州期初]基态 As 原子核外电子排布式为\_\_\_\_\_。

(2) [2025 苏北四市期末]基态  $\text{Co}^{2+}$  的核外电子排布式为\_\_\_\_\_。

(3) [2023 南通通州月考]比较 B、C、Al 的第一电离能: \_\_\_\_\_。

(4) [2025 南通如皋适应性二]嫦娥石发现于“嫦娥五号”采回的月壤中, 是新发现矿物, 属于磷钠镁钙石。成分中 Mg、P、Ca 的电负性大小顺序为\_\_\_\_\_, Na、Mg、P 的第一电离能大小顺序为\_\_\_\_\_。

(5) [2024 南京调研改编]硼碳氮(BCN)材料可用作耐磨涂层。成分中三种元素原子半径大小顺序为\_\_\_\_\_; 三种元素最高价氧化物的水化物的酸性由强到弱的顺序为\_\_\_\_\_ (用分子式表示)。

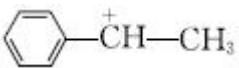
考向 2 分子结构与性质

2 关于共价键类型和数目判断, 分子空间结构判断, 分子性质对溶解性、熔沸点影响的考查。

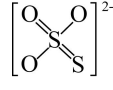
(1) [2025 苏北四市期末]1 mol  $\text{Be}_2\text{Cl}_4$  ( $\text{Cl}-\text{Be} \begin{array}{c} \diagup \text{Cl} \\ \diagdown \text{Cl} \end{array} \text{Be}-\text{Cl}$ ) 气体含  $\sigma$  键的物质的量为\_\_\_\_\_。

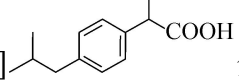
(2) [2024 苏北八市二模]  中  $\sigma$  键与  $\pi$  键数目之比为\_\_\_\_\_。

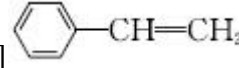
(3) [2025 苏锡常镇二调]  分子中采取  $\text{sp}^2$  杂化和  $\text{sp}^3$  杂化的碳原子个数比为\_\_\_\_\_。

(4) [2024 盐城考前模拟]  中有\_\_\_\_\_个碳原子采取  $sp^3$  杂化。

(5) [2025 南京二模] $NF_3$  的空间结构为\_\_\_\_\_。

(6) [2024 苏北八市三模] $S_2O_3^{2-}$  的结构式为  ,  $S_2O_3^{2-}$  的空间结构为\_\_\_\_\_。

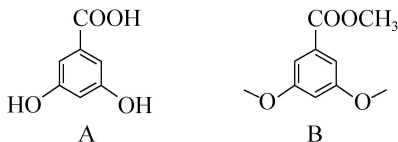
(7) [2025 苏州期初]  分子中所有碳原子\_\_\_\_\_ (填“一定”“可能”或“一定不”) 共平面。

(8) [2024 盐城考前模拟]  分子中所有碳原子\_\_\_\_\_ (填“一定”“可能”或“一定不”) 共平面。

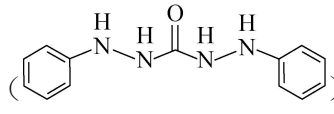
(9) [2025 南通如皋适应性二] $NH_3$  中所含键角\_\_\_\_\_ (填“大于”“小于”或“等于”)  $H_2O$  中所含键角。

(10) [2025 苏北四市期末] $NH_3$  的键角\_\_\_\_\_ (填“大于”“小于”或“等于”)  $NH_4^+$  的键角。

(11) [2024 南京调研]室温下, A 在水中的溶解度比 B\_\_\_\_\_ (填“大”“小”或“无差别”)。



(12) [2025 南京、盐城一模] $HOCH_2CH_2NH_2$  (乙醇胺) 也能捕集  $CO_2$ 。乙醇胺的沸点高于氨的原因是\_\_\_\_\_。

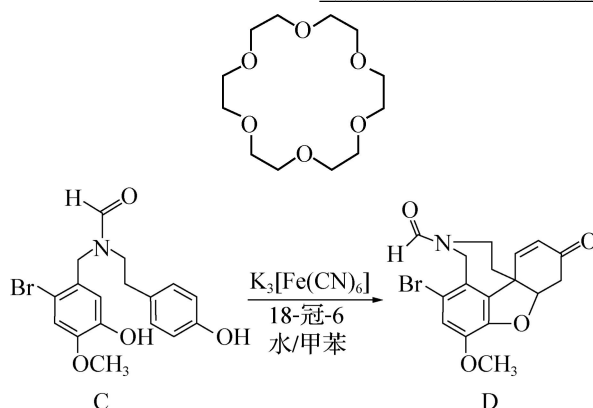
(13) [2025 苏锡常镇二调]二苯偶氮碳酰肼 ( ) 分子中的 N 原子与  $Hg^{2+}$  通过配位键形成含有五元环的紫红色物质, 画出该物质的结构简式: \_\_\_\_\_ (须标出配位键)。

(14) [2024 泰州调研] $V_2O_5$  具有对称结构, 其结构式可表示为\_\_\_\_\_。

### 3 溶剂极性、超分子对溶质溶解度的影响。

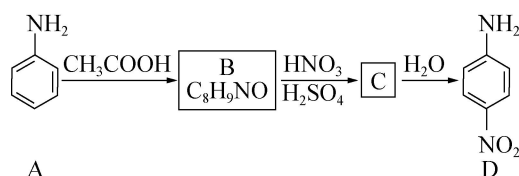
(1) [2025 南京、盐城一模]向  $[Cu(NH_3)_4]SO_4$  溶液中加入乙醇, 增大溶剂极性, 析出深蓝色晶体。该说法是否正确, 并说明理由: \_\_\_\_\_。

(2) [2025 南京、盐城一模] 已知 C 难溶于水，而 18-冠-6（结构如图所示）可溶于水和甲苯，且分子空腔直径与  $K^+$  相当。C→D 的过程中使用 18-冠-6 可提升  $K_3[Fe(CN)_6]$  水溶液氧化 C 的效率，其原因为\_\_\_\_\_。



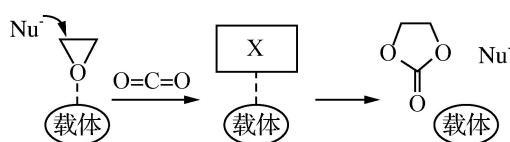
4 分子中基团的位阻对物质性质的影响。

(1) [2025 常州期末] 对硝基苯的合成如下：



未直接使用“A→D”合成，而使用“A→B→C→D”三步的原因是\_\_\_\_\_。

(2) [2025 南京、盐城一模]  $CO_2$  制环状碳酸酯。 $CO_2$  与环氧乙烷 ( $\triangle$ ) 转化为环状碳酸酯的一种可能机理如图所示，图中  $Nu^-$  表示催化剂。

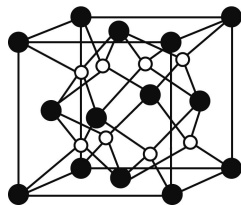


若用  $^{18}O$  代替环氧乙烷，相同条件下，生成 的产率远大于 ，其原因是\_\_\_\_\_。

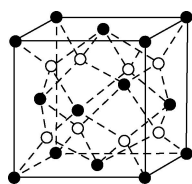
### 考向3 晶体结构与性质

#### 5 关于晶胞中原子数目、配位数及位置判断。

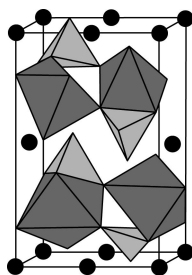
(1) [2025 苏锡常镇二调]  $\text{CeO}_2$  晶体晶胞如图所示。晶胞中与每个  $\text{Ce}^{4+}$  距离最近的  $\text{Ce}^{4+}$  的个数为\_\_\_\_\_。



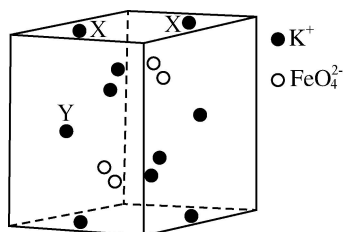
(2) [2024 苏锡常镇二模] 净化时生成的  $\text{CaF}_2$  沉淀晶胞结构如图所示。在  $\text{CaF}_2$  晶胞中  $\text{F}^-$  周围距离最近的  $\text{Ca}^{2+}$  形成的空隙结构为\_\_\_\_\_。



(3) [2024 苏北八市三模] 充电时,  $\text{Li}^+$  脱嵌形成  $\text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4 (0 < x \leq 1)$ 。  $\text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4$  晶胞中 O 围绕 Fe 和 P 分别形成正八面体和正四面体, 它们通过共顶点、共棱形成空间链结构 (如图所示)。  $x =$ \_\_\_\_\_。



(4) [2025 南京、盐城一模]  $\text{K}_2\text{FeO}_4$  的晶胞如图所示 (氧原子已全部省略)。X 处  $\text{K}^+$  位于晶胞表面,  $\text{FeO}_4^{2-}$  全部位于晶胞内部, Y 处  $\text{K}^+$  位于晶胞\_\_\_\_\_ (填“表面”或“内部”)。



#### 6 通过生成配离子调控反应速率。

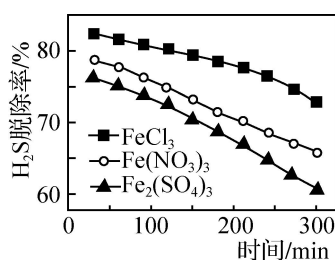
(1) 回收 Ag。在通风橱中用 10% 的氨水溶解  $\text{AgCl}$  沉淀, 再加入  $2 \text{ mol/L}$  的  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  溶液, 充分反应后, 过滤、洗涤、干燥得到 Ag。  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  可将  $\text{AgCl}$  还原为 Ag。实验中将  $\text{AgCl}$  先用氨水溶解再还原, 而不直接用  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  还原  $\text{AgCl}$ , 可能的原因有为了增强  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  还原性, 还有\_\_\_\_\_。

\_\_\_\_\_。

(2) [2025 淮安期末]实验室用甘氨酸和  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  制备顺式甘氨酸铜。 $\text{Cu}(\text{OH})_2$  的制备有两种方案：①用 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 溶液和  $\text{NaOH}$  溶液反应；②用  $\text{CuSO}_4$  溶液和  $\text{NaOH}$  溶液反应。在等物质的量浓度的条件下，方案①制备的  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  更纯净的原因是\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_（已知：沉淀反应速率太快时，沉淀会包裹溶液中的离子共沉淀）。

(3) [2025 苏州期末]已知： $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 均可与  $\text{Fe}^{3+}$ 配位。用  $c(\text{Fe}^{3+})$ 相等的三种溶液净化燃气， $\text{H}_2\text{S}$  脱除率随时间变化如图。相同时间内， $\text{H}_2\text{S}$  的脱除率按  $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  递减的原因是\_\_\_\_\_。



#### 考向 4 化学用语

7 [2025 扬州期末] $\text{Mg}_3\text{N}_2$  能与水发生反应  $\text{Mg}_3\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow$ 。下列说法正确的是( )

A.  $\text{Mg}^{2+}$  的结构示意图为

B.  $\text{NH}_3$  的电子式为

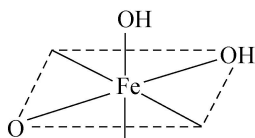
C.  $\text{H}_2\text{O}$  分子中含有非极性键

D.  $\text{Mg}_3\text{N}_2$  中只含离子键

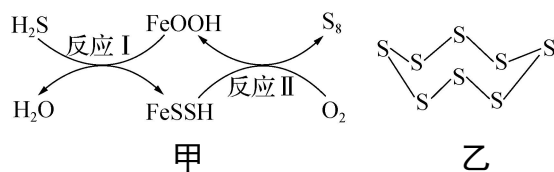
#### 考向 5 物质结构与性质综合

8 [2024 南通一模] $\alpha\text{-FeOOH}$  在环境保护等领域有广泛应用。

(1)  $\alpha\text{-FeOOH}$  的结构中，每个  $\text{Fe}(\text{III})$  与羟基氧和非羟基氧构成了  $\text{FeO}_3(\text{OH})_3$  八面体，相同环境的氧原子之间构成正三角形。请补充完整该八面体的结构。



(2)  $\alpha\text{-FeOOH}$  可用于脱除烟气中的  $\text{H}_2\text{S}$ 。脱硫、再生过程中可能的物种变化如图甲所示。生成的  $\text{S}_8$ （结构如图乙所示）覆盖在  $\alpha\text{-FeOOH}$  的表面。

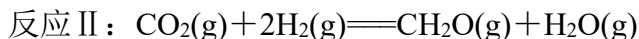
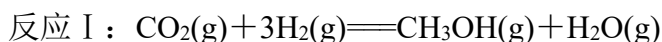


工业可使用四氯乙烯( $\text{C}_2\text{Cl}_4$ )溶解  $\text{S}_8$  并实现与 $\alpha\text{-FeOOH}$  分离。四氯乙烯能溶解  $\text{S}_8$  的原因是\_\_\_\_\_。

部分环状分子(如苯)中由于存在大 $\pi$ 键,增强了分子的稳定性。 $\text{S}_8$  分子中不能形成大 $\pi$ 键的原因是\_\_\_\_\_。

9 [2025 南通如皋适应性一] $\text{CO}_2$  的转化是实现“碳中和”的有效途径。

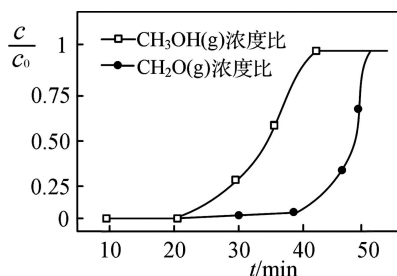
(1)  $\text{CO}_2$  催化加氢合成甲醇(反应 I)中伴随反应 II 的发生:



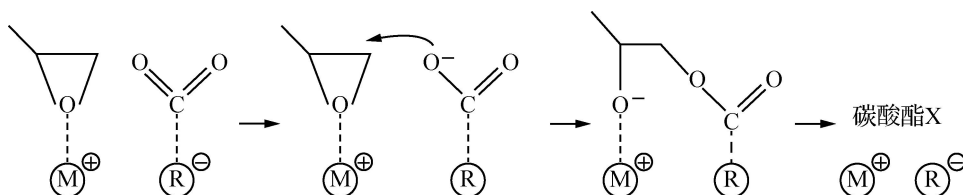
恒压时,  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  起始量一定的条件下, 在分子筛膜反应器中反应, 该分子筛膜能选择性分离出  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。

①使用分子筛膜的目的是\_\_\_\_\_。

②将反应后的气体以一定流速通过含  $\text{Cu}^+$  修饰的吸附剂, 分离其中的  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$  和  $\text{CH}_2\text{O}(\text{g})$ ,  $\text{Cu}^+$  能与 $\pi$ 键电子形成作用力较强的配位键。测得两种气体的出口浓度( $c$ )与进口浓度( $c_0$ )之比随时间变化关系如图所示。20~40 min,  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$  浓度比增大而  $\text{CH}_2\text{O}(\text{g})$  浓度比几乎为 0 的原因是\_\_\_\_\_。



(2) 一种金属氧化物(用  $\text{MR}$  表示)催化  $\text{CO}_2$  与环氧丙烷( ) 反应制碳酸酯 X 的反应机理如图。已知  $\text{CO}_2$  中的碳氧键可以被催化剂中具有较强给电子能力的活性中心的电子进攻而活化断裂。



①碳酸酯 X 的结构简式为\_\_\_\_\_。

②MgO 活化催化 CO<sub>2</sub> 的能力强于 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的原因是\_\_\_\_\_。

## 核心串讲

勤总结，抓重点

### 核心 1 物质的结构、性质 元素周期律

#### 1 几种基态原子或离子常见的表示方法

表示方法	举例
电子排布式	Co <sup>2+</sup> : _____ Ge: _____ S <sup>2-</sup> : _____ Cu: _____
价电子排布式	Fe: _____ Ge: _____
电子排布图 (或轨道表示式)	O: _____
价电子排布图	Fe: _____

#### 特别提醒

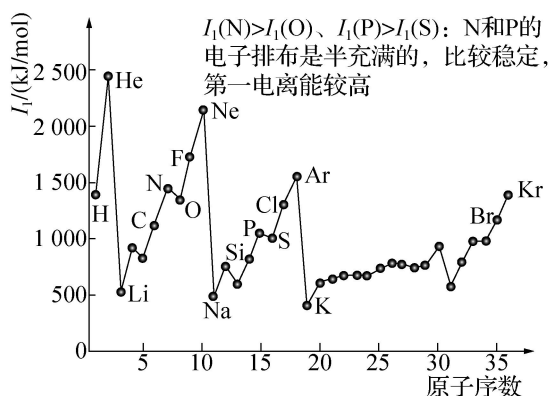
①基态原子核外电子运动状态数与核外电子数相等；基态原子核外电子空间运动状态即占据的轨道数。

②能量相同的原子轨道在全满(p<sup>6</sup>、d<sup>10</sup>、f<sup>14</sup>)、半满(p<sup>3</sup>、d<sup>5</sup>、f<sup>7</sup>)和全空(p<sup>0</sup>、d<sup>0</sup>、f<sup>0</sup>)状态时，体系的能量\_\_\_\_\_。如 <sup>24</sup>Cr 的基态原子的电子排布式为\_\_\_\_\_，而不是 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>6</sup>3d<sup>4</sup>4s<sup>2</sup>。

③金属原子失去电子时先失去最外层电子，如 Fe<sup>2+</sup>为 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>6</sup>3d<sup>6</sup>（失去 4s 轨道上的 2 个电子）。

## 2 元素周期律

### (1) 第一电离能



1~36 号元素的第一电离能

同周期主族元素从左到右, 第一电离能总体呈\_\_\_\_\_趋势, 但\_\_\_\_\_, 两族反常, 第一电离能高于同周期相邻元素; 如第三周期 Si、P、S 元素第一电离能大小为\_\_\_\_\_。

### (2) 电负性 (苏教版教材)

IA		元素电负性差值 > 1.7 时, 一般形成离子键, 当 < 1.7 时, 一般形成共价键				
1	2	3	4	5	6	7
H 2.1	Be 1.5	B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0
Li 1.0	Mg 1.2	Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0
Na 0.9	K 0.8	Ga 1.6	Ge 1.8	As 2.0	Se 2.4	Br 2.8
Ca 1.0	Rb 0.8	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5
Sr 1.0	Cs 0.7	Tl 1.8	Pb 1.9	Bi 1.9	Po 2.0	At 2.2
Ba 0.9						

主族元素的电负性

两种元素形成共价键时, 电负性强的带负电荷, 显负价; 电负性弱的带正电荷, 显正价; 反之亦成立。如电负性:  $\text{Cl} > \text{N} > \text{H}$ ,  $\text{NH}_3$  中氮为\_\_\_\_\_价,  $\text{NCl}_3$  中氮为\_\_\_\_\_价。

### 核心 2 分子空间结构与性质

#### 1 杂化与分子结构判断

##### (1) 根据中心原子价层电子对数 (杂化轨道数目) 判断

对于  $\text{AB}_m$  型分子 (A 是中心原子, B 是配位原子), 分子的价电子对数可以通过下式确定:

$$n = \frac{\text{中心原子的价电子数} + \text{每个配位原子提供的价电子数} \times m}{2}$$

其中, 中心原子的价电子数等于中心原子的最外层电子数, 配位原子中卤素



原子、氢原子提供 1 个价电子，氧原子和硫原子按不提供价电子计算。

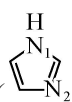
价层电子对数	2	3	4
杂化类型	sp	sp <sup>2</sup>	sp <sup>3</sup>

(2) 根据分子空间结构判断

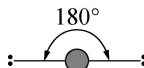

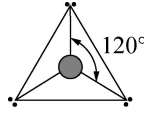

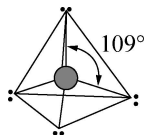

空间结构	直线形	平面三角形	四面体形
杂化类型			

(3)\* 特例

$\text{CH}_3\text{CHCH}_3^+$ : 碳原子失去 1 个电子形成碳正离子，碳正离子为 sp<sup>2</sup> 杂化。简单烷基碳负离子为 sp<sup>3</sup> 杂化。

咪唑 () 与苯性质相似，所有原子共平面，咪唑分子中采取 sp<sup>2</sup> 杂化的原子共有\_\_\_\_\_个，咪唑具有较强碱性，一般通过\_\_\_\_\_号 N 原子体现。

2 价层电子对互斥模型判断分子或离子的空间结构

价层电子对数	电子对的排列方式	VSEPR 模型	分子类型 AB <sub>m</sub>	分子或离子的空间结构
2			AB <sub>2</sub>	_____
3			AB <sub>3</sub>	_____
			AB <sub>2</sub>	_____
4			AB <sub>4</sub>	_____
			AB <sub>3</sub>	_____
			AB <sub>2</sub>	_____

3\* (1) 中心原子杂化方式对键角的决定性影响

影响键角大小的首要因素是中心原子采用的杂化方式，杂化方式与键角关系：  
sp > sp<sup>2</sup> > sp<sup>3</sup>。如键角：H<sub>2</sub>O\_\_\_\_\_CO<sub>2</sub>；CO<sub>2</sub>\_\_\_\_\_SO<sub>2</sub>；CH<sub>3</sub><sup>+</sup>\_\_\_\_\_CH<sub>3</sub><sup>-</sup>。

(2) 中心原子孤电子对数目对键角的影响

当中心原子杂化方式相同时，需要比较中心原子的孤电子对数，中心原子孤电子对数越多，对成键电子对的排斥力\_\_\_\_\_，键角\_\_\_\_\_。如键角：SO<sub>3</sub>\_\_\_\_\_SO<sub>2</sub>；NH<sub>3</sub>\_\_\_\_\_NH<sub>4</sub><sup>+</sup>。

(3) 中心原子电负性对键角的影响

当中心原子杂化类型和孤电子对数均相同时，由于中心原子的电负性大，对成键电子对吸引力增大，成键电子对越靠近中心原子，成键电子对之间的电子云密度增加，相互之间的排斥力增大，键角变大。如键角：NH<sub>3</sub>\_\_\_\_\_PH<sub>3</sub>\_\_\_\_\_AsH<sub>3</sub>；H<sub>2</sub>O\_\_\_\_\_H<sub>2</sub>S\_\_\_\_\_H<sub>2</sub>Se。

#### (4) 配位原子电负性对键角的影响

当中心原子种类相同，杂化类型也相同时，配原子电负性不同，键角不同。配位原子电负性越大，成键电子对越偏离中心原子，成键电子对排斥力\_\_\_\_\_，键角\_\_\_\_\_。如键角：NF<sub>3</sub>\_\_\_\_\_NCl<sub>3</sub>\_\_\_\_\_NBr<sub>3</sub>；NF<sub>3</sub>\_\_\_\_\_NH<sub>3</sub>；OF<sub>2</sub>\_\_\_\_\_H<sub>2</sub>O。

#### 4 氢键、氢键对物质性质的影响

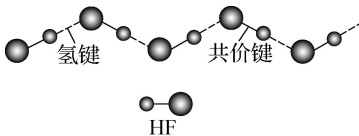
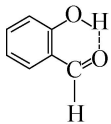
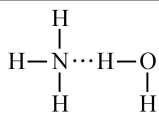
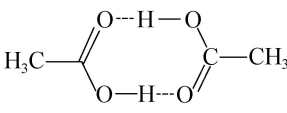
##### (1) 氢键形成及表示方法

氢键是除范德华力之外的另一种分子间作用力，它是由已经与电负性很大的原子形成共价键的氢原子与另一个电负性很大的原子之间形成的作用力。

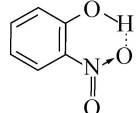


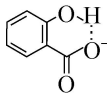
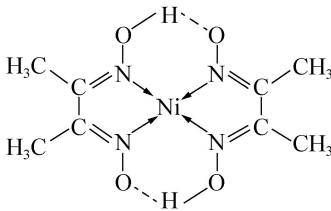
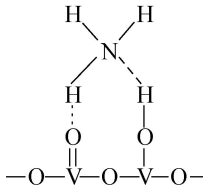
(X、Y 为 N、O、F，“—”表示共价键，“...”表示形成的氢键)

##### (2) 氢键对物质物理性质的影响

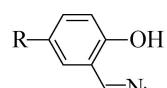
图示氢键	对物质物理性质的影响	举例
 <p>HF 分子间的氢键</p>	分子间氢键使物质沸点较高	沸点：NH <sub>3</sub> _____PH <sub>3</sub> 、 C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH_____CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>
 <p>形成分子内氢键</p>	分子内氢键使物质沸点较低	沸点：CH <sub>3</sub> COOH_____HNO <sub>3</sub>
 <p>NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 的结构式</p>	与水分子形成的氢键使物质易溶于水	NH <sub>3</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 、CH <sub>3</sub> COOH 等易溶于水
 <p>以分子间氢键缔合而成的二聚体结构</p>	解释一些特殊现象	水结冰后，体积膨胀并漂浮在水面上(水分子间形成氢键，体积变大，密度变小)。 水蒸气缔合成(H <sub>2</sub> O) <sub>n</sub> 相对分子质量偏大

##### (3) 氢键对物质化学性质的影响

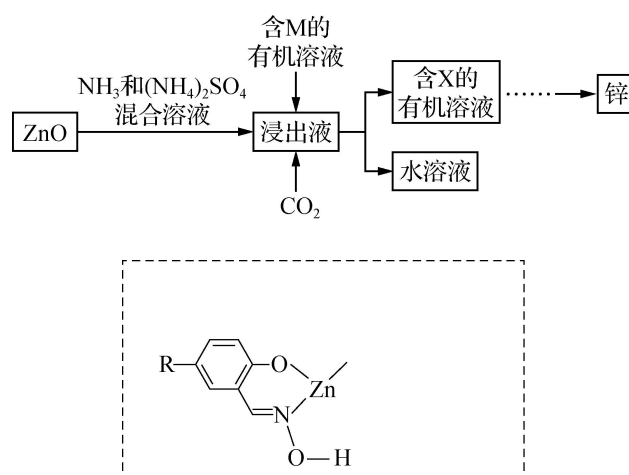
类型	典例	图示氢键	解释
影响酸性	减弱酸性：邻硝基苯酚(pK <sub>a</sub> =7.22)酸性弱于对硝基苯酚(pK <sub>a</sub> =7.15)		邻硝基苯酚形成分子内氢键，一定程度上稳定了分子结构，抑制 H <sup>+</sup> 电离，导致酸性弱于

			对硝基苯酚
	增强酸性：邻羟基苯甲酸( $pK_a=2.98$ )酸性强于间羟基苯甲酸( $pK_a=4.08$ )和对羟基苯甲酸( $pK_a=4.57$ )		$H^+$ 解离后的羧酸根离子与邻位羟基形成了分子内氢键，稳定了负离子，酸性明显增强
调控络合物稳定性	丁二酮肟可与多种金属离子形成稳定络合物		丁二酮肟通过氢键辅助螯合金属离子，增强络合物稳定性
参与稳定过渡态或中间体	多个弱相互作用位点（如多个氢键）协同作用，显著提高结合强度和特异性		氢键通过预组织、电荷稳定、构型选择及协同作用，从能量和动力学层面优化反应路径
$HF_2^-$ 中的强氢键	$HF_2^-$ 中，氢原子与2个氟原子之间形成了强氢键，其性质介于传统氢键和共价键之间	$[F-H\cdots F]^-$	强氢键（键能约 $100\sim 200\text{ kJ/mol}$ ）使其稳定性远超普通氢键体系，用于氟化物溶剂或催化反应

**例 1** 实验室中可用氨浸法从含有杂质的  $ZnO$  中提锌，并制备硫酸锌。M



的结构简式为  $R-C_6H_4(OH)-CH=N-OH$ ，R 为  $-C_9H_{19}$ ，两个羟基中酚羟基酸性较强。M 能与  $Zn^{2+}$  形成稳定的配合物 X，相关反应为  $2M + Zn^{2+} \rightleftharpoons 2H^+ + X$ 。补全图中 X 的结构并用“ $\cdots$ ”标出氢键。X 中形成氢键有利于  $Zn^{2+}$  的萃取，原因可能是\_\_\_\_\_。



## 5★ 键的极性

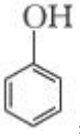
### (1) 键的极性对分子性质的影响

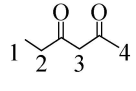
推电子（供电子）基团：在化学反应中提供电子对的基团，即给出电子，使相连原子电子云密度升高。体系越富电子，碱性越强。

常见的推电子基团：烷基（ $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{C}_2\text{H}_5$  等，烷基越大推电子能力越强）、羟基（ $-\text{OH}$ ）、氨基（ $-\text{NH}_2$ ）（通过共轭效应推电子）、烷氧基（ $-\text{OR}$ ）、酰胺基（ $-\text{NHCOCH}_3$ ）。

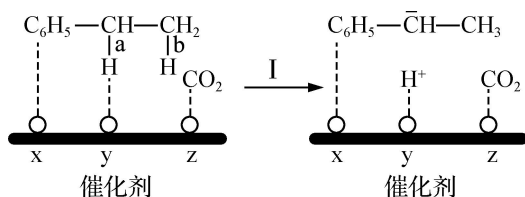
吸电子基团：在化学反应中接受电子对的基团。即吸引电子，使相连原子电子云密度降低。体系越缺电子，酸性越强。

常见的吸电子基团：苯环、卤素（ $-\text{F}$ 、 $-\text{Cl}$ ）、硝基（ $-\text{NO}_2$ ）、氰基（ $-\text{CN}$ ）、

羧基（ $-\text{COOH}$ ）、酯基（ $-\text{COOR}$ ）、醛基（ $-\text{CHO}$ ）、羰基（ $-\text{C}=\text{O}$ ）。如 ，苯环为吸电子基团，使得羟基氧电子云偏向苯环， $\text{O}-\text{H}$  极性变强，容易断开，体现酸性。

**例 2** ①有机物  中，\_\_\_\_\_（填数字）号碳原子上的氢原子容易发生取代反应。

②利用  $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2\text{CH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$  可制备苯乙烯，反应可能的机理如下（ $x$ 、 $y$ 、 $z$  表示催化剂的活性位点）。受苯环影响， $a$  处  $\text{C}-\text{H}$  比  $b$  处更\_\_\_\_\_（填“易”或“难”）断裂。



### (2) 键的极性与空间位阻

分子中的原子或基团并非无限靠近，其固有体积会占据一定空间。当反应位点周围存在较大基团（如叔丁基）时，其他分子或基团难以接近，就像“拥挤的房间里难以握手”，从而减慢反应速率甚至改变反应路径。例如，酯水解时，酯基旁大基团会阻碍试剂（如  $\text{OH}^-$ ）的进攻，使反应更难进行。

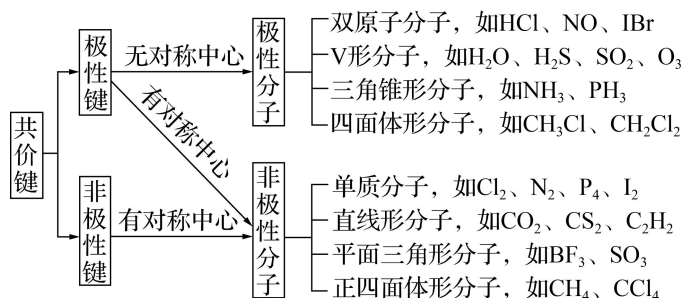
位阻导致反应选择性变化。反应中，位阻大的试剂会优先攻击空间开阔的位点。例如， $\text{C}_2\text{H}_5\text{MgBr}$ （位阻小试剂）可能进攻多个位点，而  $(\text{CH}_3)_3\text{CMgBr}$ （位阻大试剂）只选择位阻最小的位点反应。

位阻是空间体积导致的物理阻碍，电子效应是电子云密度的影响。如碱性：二甲胺  $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}] >$  甲胺  $(\text{CH}_3\text{NH}_2) >$  三甲胺  $[(\text{CH}_3)_3\text{N}]$ ，理论上甲基的推电子效应使

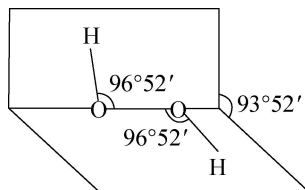
得甲胺、二甲胺、三甲胺的碱性依次增强，但实际上三甲胺碱性最弱，显然此时是空间位阻的作用对其碱性的影响大于增多的甲基的推电子效应的影响。

它是调控化学反应的“隐形之手”，通过设计分子中基团的大小和位置，可控制反应是否发生、生成何种产物。在药物合成中，利用位阻优化分子结构，能提高目标产物纯度，减少副反应。理解空间位阻，能更精准地预测和设计有机反应。

## 6 极性分子与非极性分子



(1)  $\text{H}_2\text{O}_2$  结构中氧原子为  $\text{sp}^3$  杂化，形成如图所示结构。 $\text{H}_2\text{O}_2$  为\_\_\_\_\_（填“极性”或“非极性”，下同）分子。



(2)  $\text{O}_3$  分子中的共价键是\_\_\_\_\_键，结构类似  $\text{SO}_2$ ，中心氧原子为  $\text{sp}^2$  杂化，与另外 2 个氧原子形成 V 形分子，为\_\_\_\_\_分子。

(3) 白磷( $\text{P}_4$ )为正四面体结构，为\_\_\_\_\_分子。

(4) 甲烷为正四面体结构，为\_\_\_\_\_分子； $\text{CH}_3\text{Cl}$  为四面体结构，为\_\_\_\_\_分子。

(5)  $\text{I}_2$  难溶于水，将其与  $\text{KI}$  反应生成  $\text{I}_3^-$ ，以增大其在水中的溶解度，但研究表明， $\text{I}_3^-$  是非极性的（苏教版教材）。请根据价层电子对互斥模型，画出  $\text{I}_3^-$  的空间结构：\_\_\_\_\_。

## 7★ 溶剂的极性

(1) 溶剂的极性对物质溶解性的影响，可通过“相似相溶”原理来理解。

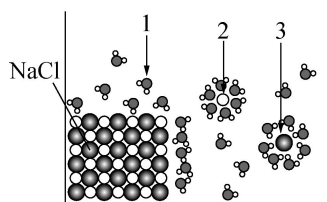
部分物质虽为极性分子，但若含较大非极性基团（如高级醇），在水中溶解性会下降（因非极性部分占比高）。混合极性溶剂与非极性溶剂，可调节整体极性，溶解兼具极性结构与非极性结构的物质（如某些有机物）。

(2) 离子化合物的溶解度与溶剂极性的关系，本质上由离子化合物的解离特性和溶剂的极性相互作用决定。

① 极性溶剂对离子化合物的溶解有促进作用；

② 非极性溶剂中离子化合物的溶解度极低。

**典型案例：**食盐( $\text{NaCl}$ )在水中易溶，而在非极性溶剂（如苯）中几乎不溶，因水的强极性能有效“包围” $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ ，而苯无法提供足够的相互作用。



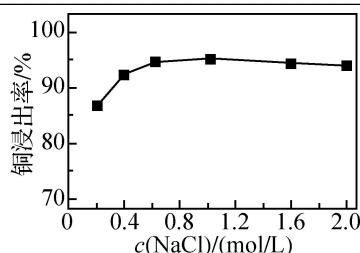
指出 1、2、3 分别对应的微粒：\_\_\_\_\_。

### (3) 溶剂极性的调控

在实验中通常通过改变溶剂极性来增大或降低溶质的溶解性，溶剂极性的调控通常采用混合溶剂法（两种不同极性的溶剂混合，形成中等极性溶剂）和添加电解质法（向溶剂中添加某些电解质，形成高极性溶剂）。

**例 3**

(1) 氧化浸取辉铜矿( $\text{Cu}_2\text{S}$ )时，控制温度为  $80\text{ }^\circ\text{C}$ ，空气流速一定，加入  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  与  $\text{NaCl}$  协同浸取。其他条件相同时，铜浸出率与  $c(\text{NaCl})$  的关系如图所示。 $\text{Cl}^-$  破坏硫覆盖层，但  $c(\text{NaCl}) > 1.0\text{ mol/L}$  时，铜浸出率下降，原因可能是\_\_\_\_\_。

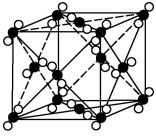
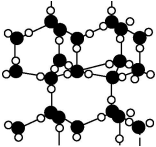
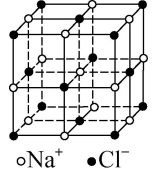
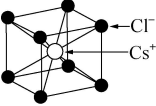
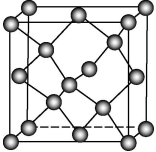
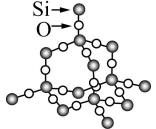


(2)  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  晶体制备。 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  晶体易溶于热水和稀盐酸中，在冰水、浓盐酸、无水乙醇中溶解度较小。请补充完整实验方案：在通风橱中将制得的  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$  溶液加热至  $55\text{ }^\circ\text{C}$  左右，边搅拌边加入适量  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ，再加入\_\_\_\_\_。

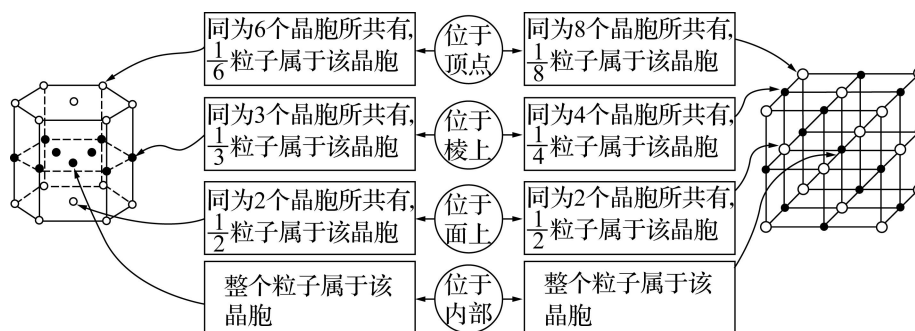
低温烘干，得到  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  晶体。（实验中须使用：4%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液、红色石蕊试纸、冰水、浓盐酸、无水乙醇）

### 核心3 晶体类型和性质

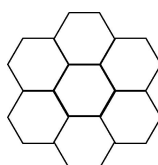
#### 1 常见典型晶体的晶胞结构图及其主要性质

化学式	晶胞	晶体类型	微粒间作用力	熔、沸点	配位数
CO <sub>2</sub>				较低	
H <sub>2</sub> O (冰)				较低	—
NaCl	 ○Na <sup>+</sup> ●Cl <sup>-</sup>			较高	
CsCl	 ●Cl <sup>-</sup> ○Cs <sup>+</sup>			较高	
C (金刚石)				很高	—
SiO <sub>2</sub>	 Si → O →			高	—

#### 2 晶胞中微粒数目的计算方法——均摊法



石墨晶胞每一层内碳原子排成六边形，其顶点（1个碳原子）被三个六边形共有，每个六边形占\_\_\_\_\_个碳原子。



### 3 分子晶体熔、沸点的比较

(1) 组成和结构相似的分子晶体，分子间作用力越大，物质的熔、沸点越高。具有分子间氢键的分子晶体，熔、沸点反常地高。如  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{H}_2\text{Se}$ 、 $\text{H}_2\text{Te}$  熔、沸点高低顺序为\_\_\_\_\_； $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  熔、沸点高低顺序为\_\_\_\_\_；烃、卤代烃、醇、醛、羧酸等有机物一般随着分子里碳原子数增加，熔、沸点\_\_\_\_\_。

(2) 组成和结构不相似的物质（相对分子质量相近），分子极性\_\_\_\_\_，其熔、沸点就\_\_\_\_\_。如熔、沸点： $\text{CO}$  \_\_\_\_\_  $\text{N}_2$ 。

(3) 同分异构体：链烃及其衍生物的同分异构体随着支链\_\_\_\_\_，熔、沸点\_\_\_\_\_。如  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$ （正戊烷）\_\_\_\_\_  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ （异戊烷） $(\text{CH}_3)_4\text{C}$ （新戊烷）。

### 核心 4★ 配合物与超分子

#### 1 配离子对反应速率的影响

已知：沉淀的生成速率越快，颗粒越小，呈凝乳状胶体，不易过滤。在制备超细粉末时，通常以配离子为反应物控制反应速率。

##### (1) 通过形成配离子减慢反应速率

如  $\text{AgNO}_3$  溶液转化成配离子  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ，降低溶液中  $\text{Ag}^+$  的浓度，且  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  的氧化性弱于  $\text{Ag}^+$ ，使生成单质  $\text{Ag}$  的反应速率减慢。

##### (2) 通过形成配离子加快反应速率

如  $\text{AgCl}$  沉淀转化成配离子  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ，与还原剂  $\text{N}_2\text{H}_4$  充分接触，使生成单质  $\text{Ag}$  的反应速率加快，同时避免生成的  $\text{Ag}$  单质中混有  $\text{AgCl}$ ， $\text{Ag}$  的回收率和纯度下降。

##### (3) 通过形成配离子影响金属离子得失电子能力

如易被氧化的  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{CN}^-$  形成  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  后，稳定性增强，更难被氧化； $\text{Co}^{2+}$  的还原性相对较弱，但  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  易被氧化为  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ 。

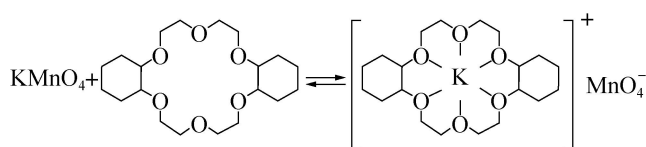
#### 2 超分子与相转移

相转移是指物质在不同相（如液相液相、液相固相、液相气相等）之间发生的转移过程，常见于化学合成、分离提纯等领域。其核心是解决不同相态中物质难以接触反应或分离的问题。

通过加入相转移催化剂，如冠醚，冠醚与试剂中阳离子络合，使该阳离子进入有机溶剂中，通过静电作用将阴离子也带入有机溶剂中，从而可帮助离子型物质从水相转移到有机相，或让有机物质进入水相，使反应物在同一相中接触并反应，从而加速反应进行。



**例 4** 冠醚是由多个二元醇分子之间失水形成的环状化合物，它们能与碱金属离子作用并随着环的大小不同而与不同金属离子作用。由于烯烃难溶于水，故  $\text{KMnO}_4$  水溶液氧化烯烃的效果较差。若在烯烃中溶入某冠醚，与  $\text{KMnO}_4$  发生如图所示的变化后，氧化效果明显提升。加入该冠醚后，烯烃的氧化效果明显提升的原因是\_\_\_\_\_。



### 检测反馈

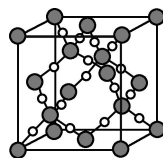
对点练，再提升

1 [2025 苏锡常镇一调] 电解熔融  $\text{Al}_2\text{O}_3$  制  $\text{Al}$  时常添加少量  $\text{CaF}_2$  和  $\text{MgF}_2$  以提高导电性。下列说法正确的是( )

- A. 半径:  $r(\text{Al}^{3+}) > r(\text{O}^{2-})$
- B. 电负性:  $\chi(\text{O}) > \chi(\text{F})$
- C. 第一电离能:  $I_1(\text{Al}) > I_1(\text{Mg})$
- D. 碱性:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 > \text{Mg}(\text{OH})_2$

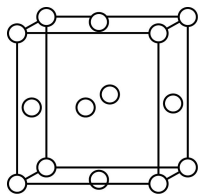
2 [2025 南通、泰州等八市二调] 下列说法正确的是( )

- A. 基态 Ge 核外电子排布式:  $[\text{Ar}]4s^24p^2$
- B.  $\text{H}_2\text{S}$  中心原子的杂化方式为  $\text{sp}^3$
- C.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  是一种高强度耐高温材料,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  为分子晶体
- D. 1 mol  $\text{SiO}_2$  (晶胞如图) 含 2 mol  $\sigma$  键



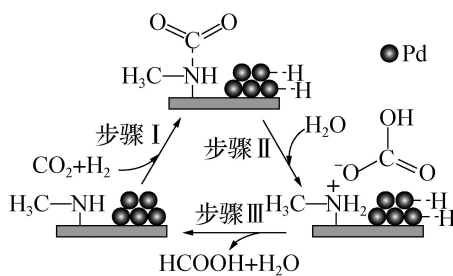
3 [2025 泰州中学调研] 下列说法正确的是( )

- A. 如图所示是  $\text{Cu}_2\text{S}$  晶胞中  $\text{S}^{2-}$  位置, 则 1 个晶胞中含有 8 个  $\text{Cu}^+$



- B. 基态  $\text{Cu}^+$  转化为基态  $\text{Cu}$  原子, 得到的电子填充在 3d 轨道上
- C.  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{SO}_2$  的中心 S 原子都采取  $\text{sp}^3$  杂化
- D.  $\text{SO}_2$  的键角比  $\text{SO}_3$  的键角大

4 [2025 南京、盐城一模]反应  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{HCOOH}(\text{l})$  可用于储氢,可能机理如图所示。下列说法正确的是( )



- A. 该反应的  $\Delta S > 0$
- B. 步骤 I 中  $\text{CO}_2$  带正电荷的 C 与催化剂中的 N 之间作用
- C. 步骤 III 中存在非极性键的断裂和形成
- D. 反应中每消耗 1 mol  $\text{CO}_2$ , 转移电子数约为  $4 \times 6.02 \times 10^{23}$

## 主题2 无机物转化与应用

### 微主题2 物质的性质、用途与转化

#### 基础回归

课前热身，激活思维

1 判断下列物质的性质和用途是否有对应关系，若无对应关系，需简要说明理由。

(1) 氨气易溶于水，可用作制冷剂。

\_\_\_\_\_。

(2) 浓硫酸具有脱水性，可用于气体的干燥。

\_\_\_\_\_。

(3)  $\text{Al}(\text{OH})_3$  具有弱碱性，可用于制作胃酸中和剂。

\_\_\_\_\_。

2 判断下列物质在指定条件下的转化是否正确，错误的请改正。

(1)  $\text{N}_2(\text{g}) \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{H}_2(\text{g})}$   $\text{NH}_3(\text{g}) \xrightarrow[\text{NaCl}(\text{aq})]{\text{CO}_2(\text{g})}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})$  ( )

\_\_\_\_\_。

(2)  $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) \xrightarrow[\text{高温}]{\text{Al}(\text{s})}$   $\text{Fe}(\text{s}) \xrightarrow[\text{HNO}_3(\text{aq})]{} \text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$  ( )

\_\_\_\_\_。

(3)  $\text{Ca}(\text{ClO})_2(\text{aq}) \xrightarrow{\text{CO}_2(\text{g})}$   $\text{HClO}(\text{aq}) \xrightarrow{\text{光照}}$   $\text{Cl}_2(\text{g})$  ( )

\_\_\_\_\_。

3 指出下列物质转化的条件。

(1)  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{MgCl}_2$

\_\_\_\_\_。

(2)  $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$

\_\_\_\_\_。

(3)  $\text{FeS}_2 \longrightarrow \text{SO}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

\_\_\_\_\_。

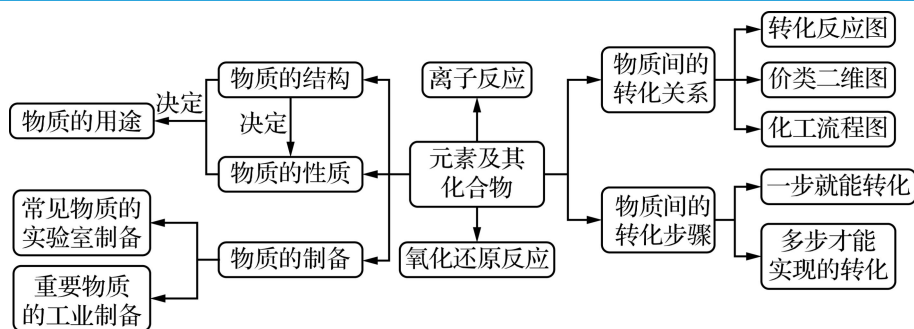
4 写出  $\text{FeSO}_4$  溶液与  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液反应生成  $\text{FeCO}_3$  沉淀的离子方程式：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_。提高  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  利用率可以采用的方法为\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_。发生反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

## 体系建构

化散为整，融会贯通



## 名卷优选

研好题，悟方法

### 3 年真题

考向 1 物质的性质与用途对应关系

1 [2025 江苏卷]下列物质组成或性质与分离提纯方法对应关系正确的是 ( )

- A. 蛋白质能水解，可用饱和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液提纯蛋白质
- B. 乙醚与青蒿素( $\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_5$ )组成元素相同，可用乙醚提取青蒿素
- C.  $\text{CCl}_4$ 难溶于水、比水易溶解  $\text{I}_2$ ，可用  $\text{CCl}_4$  萃取碘水中的  $\text{I}_2$
- D. 不同的烃密度不同，可通过分馏从石油中获得汽油、柴油

2 [2023 江苏卷]下列物质的结构与性质或物质的性质与用途具有对应关系的是 ( )

- A.  $\text{H}_2$  具有还原性，可作为氢氧燃料电池的燃料
- B. 氨极易溶于水，液氨可用作制冷剂
- C.  $\text{H}_2\text{O}$  分子之间形成氢键， $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的热稳定性比  $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$  的高
- D.  $\text{N}_2\text{H}_4$  中的 N 原子与  $\text{H}^+$  形成配位键， $\text{N}_2\text{H}_4$  具有还原性

考向 2 氧化还原反应 离子反应

3 写出下列相关反应的化学(或离子)方程式。

(1) [2025 江苏卷]①用  $\text{ZnS}$  去除酸性废液中的三价砷 $[\text{As}(\text{III})]$ ，并回收生成的  $\text{As}_2\text{S}_3$  沉淀。

已知：溶液中  $\text{As}(\text{III})$  主要以弱酸  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  形式存在， $\text{As}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_3\text{AsO}_3 + 3\text{H}_2\text{S}$ 。

60  $^\circ\text{C}$  时，按  $n(\text{S}) : n(\text{As}) = 7 : 1$  向酸性废液中加入  $\text{ZnS}$ 。写出  $\text{ZnS}$  与  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  反应生成  $\text{As}_2\text{S}_3$  的离子方程式：\_\_\_\_\_。

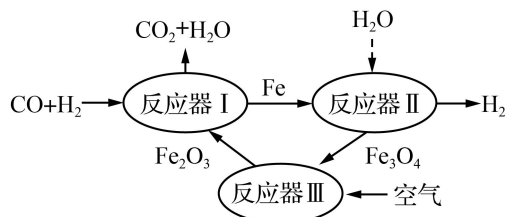
②无氧环境中，文物中的  $\text{Fe}$  与海水中的  $\text{SO}_4^{2-}$  在细菌作用下形成  $\text{FeS}$  等含铁凝结物。写出  $\text{Fe}$  与  $\text{SO}_4^{2-}$  反应生成  $\text{FeS}$  和  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  的离子方程式：\_\_\_\_\_。

(2) [2024 江苏卷]①向  $\text{NdCl}_3$  溶液中加入  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  溶液， $\text{Nd}^{3+}$  可转化为  $\text{Nd}(\text{OH})\text{CO}_3$  沉淀。该反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

②在  $\text{AgCl}$  沉淀中埋入铁圈并压实，加入足量 0.5 mol/L 盐酸后静置，充分反应得到  $\text{Ag}$ 。铁将  $\text{AgCl}$  转化为单质  $\text{Ag}$  的化学方程式为\_\_\_\_\_。

#### 4 氧化还原反应中的相关计算。

(1) [2024 江苏卷]利用铁及其氧化物循环制氢，原理如图所示。反应器 I 中化合价发生改变的元素有\_\_\_\_\_；含 CO 和 H<sub>2</sub> 各 1 mol 的混合气体通过该方法制氢，理论上可获得\_\_\_\_\_mol H<sub>2</sub>。



(2) [2023 江苏卷改编]金属硫化物( $M_xS_y$ )催化反应： $CH_4(g) + 2H_2S(g) \rightleftharpoons CS_2(g) + 4H_2(g)$ ，该反应中每消耗 1 mol H<sub>2</sub>S，转移电子的数目约为\_\_\_\_\_。

(3) [2022 江苏卷改编]反应为  $4NH_3(g) + O_2(g) + 4NO(g) \rightleftharpoons 4N_2(g) + 6H_2O(g)$ ，该反应中每消耗 1 mol NH<sub>3</sub>，转移电子的数目约为\_\_\_\_\_。

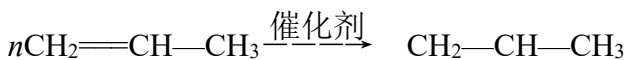
#### 考向 3 常见无机物间的转化

5 [2025 江苏卷]下列化学反应表示正确的是( )

A. 黑火药爆炸： $2KNO_3 + C + 3S \rightleftharpoons K_2CO_3 + N_2 \uparrow + 3SO_2 \uparrow$

B. 电解饱和 NaCl 溶液制 NaOH： $Cl^- + 2H_2O \xrightarrow{\text{通电}} 2OH^- + H_2 \uparrow + ClO^-$

C. 重油裂解获得的丙烯制聚丙烯：



D. 向饱和氨盐水中通入过量 CO<sub>2</sub>： $NaCl + NH_3 + H_2O + CO_2 \rightleftharpoons NaHCO_3 \downarrow + NH_4Cl$

6 [2024 江苏卷]在给定条件下，下列制备过程涉及的物质转化均可实现的是( )

A. HCl 制备： $NaCl \text{ 溶液} \xrightarrow{\text{电解}} H_2 \text{ 和 } Cl_2 \xrightarrow{\text{点燃}} HCl$

B. 金属 Mg 制备： $Mg(OH)_2 \xrightarrow{\text{盐酸}} MgCl_2 \text{ 溶液} \xrightarrow{\text{电解}} Mg$

C. 纯碱工业： $NaCl \text{ 溶液} \xrightarrow{CO_2} NaHCO_3 \xrightarrow{\Delta} Na_2CO_3$

D. 硫酸工业： $FeS_2 \xrightarrow[高温]{O_2} SO_2 \xrightarrow{H_2O} H_2SO_4$

7 [2023 江苏卷]氮及其化合物的转化具有重要应用。下列说法不正确的是( )

A. 实验室探究稀硝酸与铜反应的气态产物:  $\text{HNO}_3(\text{稀}) \xrightarrow{\text{Cu}} \text{NO} \xrightarrow{\text{O}_2} \text{NO}_2$

B. 工业制硝酸过程中的物质转化:  $\text{N}_2 \xrightarrow[\text{放电或高温}]{\text{O}_2} \text{NO} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{HNO}_3$

C. 汽车尾气催化转化器中发生的主要反应:  $2\text{NO} + 2\text{CO} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{N}_2 + 2\text{CO}_2$

D. 实验室制备少量  $\text{NH}_3$  的原理:  $2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\Delta} \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

### 3 年模拟

考向 1 物质的性质与用途对应关系

1 [2025 苏州考前模拟]下列物质结构与性质或性质与用途具有对应关系的是( )

- A. 金刚石难溶于水, 可用于切割玻璃
- B. 晶体硅熔点高, 可用作半导体材料
- C.  $\text{CH}_4$  为非极性分子,  $\text{CH}_4$  具有较大的燃烧热
- D.  $\text{Pb}^{2+}$  与  $\text{Cl}^-$  能形成配位键,  $\text{PbCl}_2$  在盐酸中溶解度比在水中的大

2 [2024 南京二模]下列物质结构与性质或性质与用途不具有对应关系的是( )

- A.  $\text{MgCl}_2$  易溶于水, 可用于制作豆腐的凝固剂
- B.  $\text{MgO}$  是碱性氧化物, 可用于吸收燃煤烟气中的  $\text{SO}_2$
- C.  $\text{NaCl}$  晶体中离子间存在较强的离子键,  $\text{NaCl}$  晶体的硬度较大
- D.  $\text{HCO}_3^-$  通过氢键缔合成较大的酸根,  $\text{NaHCO}_3$  的溶解度小于  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

3 [2025 无锡期末]下列物质的性质与用途具有对应关系的是( )

- A.  $\text{SO}_2$  有还原性, 可用于漂白草编织物
- B. 浓硫酸有脱水性, 可用于干燥某些气体
- C.  $\text{KIO}_3$  受热可分解, 可用作食盐的碘添加剂
- D.  $\text{ClO}_2$  有强氧化性, 可用作水体杀菌消毒剂

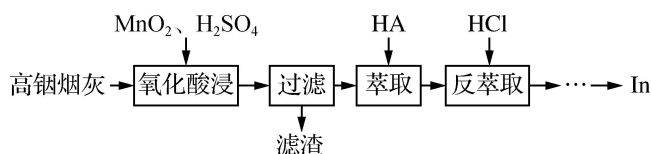
考向 2 氧化还原反应 离子反应

4 [2024 南通、泰州等六市一调改编]下列化学反应表示不正确的是( )

- A.  $\text{FeS}_2$  与足量稀盐酸反应:  $\text{FeS}_2 + 4\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{S} \uparrow$
- B. 黄铁矿与空气在高温下反应:  $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$
- C.  $\text{Na}_2\text{O}_2$  吸收  $\text{SO}_2$ :  $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{SO}_2 = \text{Na}_2\text{SO}_4$
- D. 用酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液吸收  $\text{SO}_2$ :  $2\text{MnO}_4^- + 5\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$

5 写出下列相关反应的化学（或离子）方程式。

(1) [2025 苏北四市期末]从高铟烟灰中（主要含  $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{In}_2\text{S}_3$ 、 $\text{PbO}$ 、 $\text{SiO}_2$  等）提取铟的过程如下：

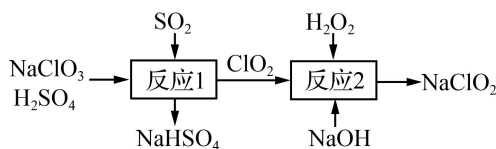


氧化酸浸：向高铟烟灰中加入  $\text{MnO}_2$  和稀硫酸充分反应，硫元素被氧化为  $\text{SO}_4^{2-}$ 。

①写出  $\text{In}_2\text{S}_3$  反应的离子方程式：\_\_\_\_\_。

②过滤所得滤渣含  $\text{MnO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$  和\_\_\_\_\_（填化学式）。

(2) [2024 南京二模]① $\text{NaClO}_2$  的制备。一种制备  $\text{NaClO}_2$  的过程可表示如下：



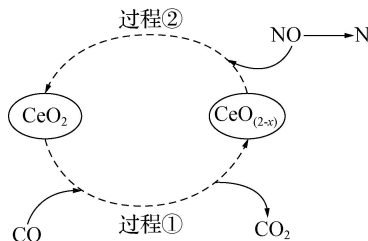
“反应 2” 的化学方程式为\_\_\_\_\_。

② $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  去除废水中的  $\text{Cr(VI)}$  经过“酸化还原沉淀”的过程。“还原”时， $\text{HCrO}_4^-$  被还原成  $\text{Cr}^{3+}$  的离子方程式为\_\_\_\_\_。

(3) [2025 南通如皋适应性二]  $\text{I}_2$  与  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  在碱性条件下反应可生成  $\text{CHI}_3$  沉淀、 $\text{CH}_3\text{COO}^-$ 、 $\text{I}^-$  和水。写出该反应的离子方程式：\_\_\_\_\_。

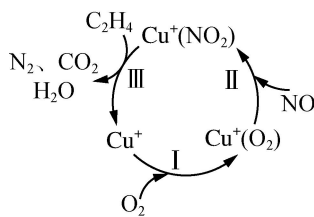
6 氧化还原反应中的相关计算。

(1) [2025 盐城、南京期末] $\text{CeO}_2$  催化脱硝的反应机理如图所示。“过程①”部分  $\text{Ce}^{4+}$  转化成  $\text{Ce}^{3+}$ 。当 1 mol  $\text{CeO}_2$  氧化标准状况下 2.24 L  $\text{CO}$  时，生成的  $\text{CeO}_{2-x}$  中  $n(\text{Ce}^{3+}) : n(\text{Ce}^{4+}) =$ \_\_\_\_\_。



(2) [2024 苏北八市三模]反应  $2\text{CuTeO}_4 + 4\text{C} \xrightarrow{400 \sim 500^\circ\text{C}} \text{Cu}_2\text{Te} + \text{Te} + 4\text{CO}_2 \uparrow$  中，每消耗 1 mol  $\text{CuTeO}_4$ ，转移电子的物质的量为\_\_\_\_\_mol。

(3) [2024 南通等六市一调改编]反应  $2\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + 6\text{NO}(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) = 4\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 3\text{N}_2(\text{g})$  可用于去除氮氧化物。 $\text{Cu}^+$  催化该反应的过程如图所示。步骤 III 中每消耗 1 mol  $\text{Cu}^+(\text{NO}_2)$ ，转移电子数目为\_\_\_\_\_。



### 考向3 常见无机物间的转化

7 [2025 泰州调研]在给定条件下,下列选项所示的物质间转化均能实现的是 ( )

- A.  $\text{Ca}(\text{ClO})_2(\text{aq}) \xrightarrow{\text{CO}_2} \text{HClO}(\text{aq}) \xrightarrow{\text{光照}} \text{O}_2(\text{g})$
- B.  $\text{Na} \xrightarrow{\text{O}_2} \text{Na}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{NaOH}$
- C.  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) \xrightarrow{\text{盐酸}} \text{AlCl}_3(\text{aq}) \xrightarrow{\Delta} \text{无水 AlCl}_3(\text{s})$
- D.  $\text{NH}_3(\text{g}) \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{O}_2} \text{NO}(\text{g}) \xrightarrow[\Delta]{\text{H}_2\text{O}} \text{HNO}_3(\text{aq})$

8 [2025 南通四模]在给定条件下,下列过程涉及的物质转化均能实现的是 ( )

- A. 制漂白粉: 饱和食盐水  $\xrightarrow{\text{电解}}$   $\text{Cl}_2$   $\xrightarrow{\text{石灰乳}}$   $\text{Ca}(\text{ClO})_2$
- B. 海水提溴:  $\text{Br}_2 \xrightarrow{\text{SO}_2, \text{H}_2\text{O}} \text{HBr}(\text{aq}) \xrightarrow{\text{I}_2} \text{Br}_2$
- C. 冶炼铝:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \xrightarrow{\text{HCl}(\text{aq})} \text{AlCl}_3(\text{aq}) \xrightarrow{\text{电解}} \text{Al}$
- D. 硫酸工业:  $\text{FeS}_2 \xrightarrow[\text{高温}]{\text{O}_2} \text{SO}_3 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}_2\text{SO}_4$

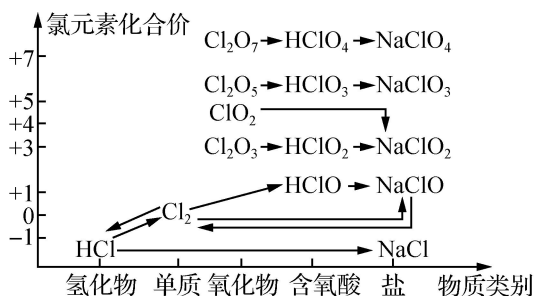
## 核心串讲

勤总结,抓重点

### 核心1 物质之间的转化关系

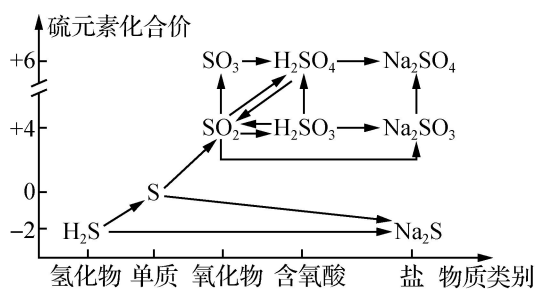
#### 1 价类二维图

(1) 氯及其化合物:  $\text{HCl} \xrightarrow{-1} \text{Cl}_2 \xrightarrow{0} \text{HClO} \xrightarrow{+1} \text{HClO}_2 \xrightarrow{+3} \text{HClO}_3 \xrightarrow{+5} \text{HClO}_4 \xrightarrow{+7}$

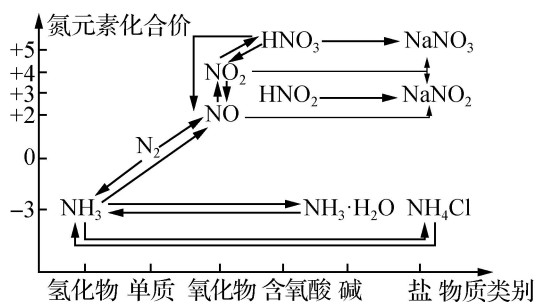




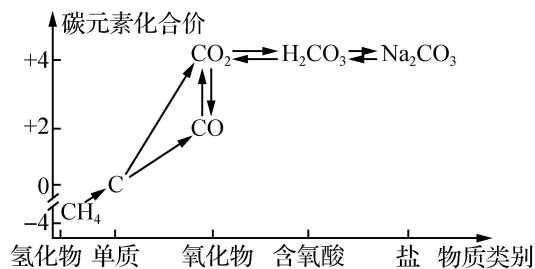
(2) 硫及其化合物:  $\text{H}_2\text{S} \xrightarrow{-2} \text{S} \xrightarrow{0} \text{SO}_2 \xrightarrow{+4} \text{S} \xrightarrow{+6} \text{O}_3 \text{ (H}_2\text{SO}_4\text{)}$



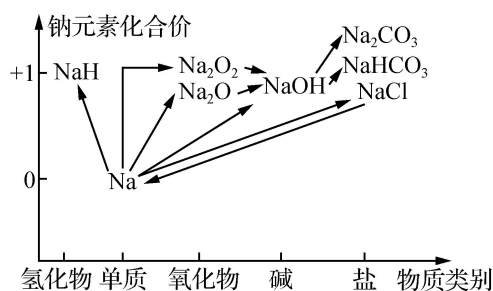
(3) 氮及其化合物:  $\text{N} \xrightarrow{-3} \text{H}_3 \xrightarrow{0} \text{N}_2 \xrightarrow{+1} \text{N}_2\text{O} \xrightarrow{+2} \text{NO} \xrightarrow{+4} \text{NO}_2 \xrightarrow{+5} \text{HNO}_3$



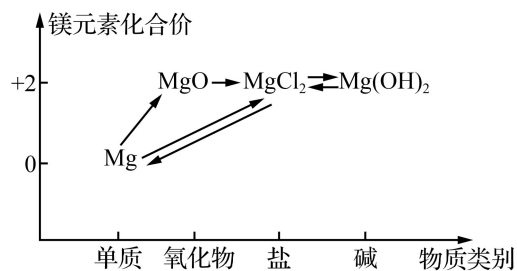
(4) 碳及其化合物:  $\text{CH}_4 \xrightarrow{-4} \text{C} \xrightarrow{0} \text{CO} \xrightarrow{+2} \text{CO}_2$



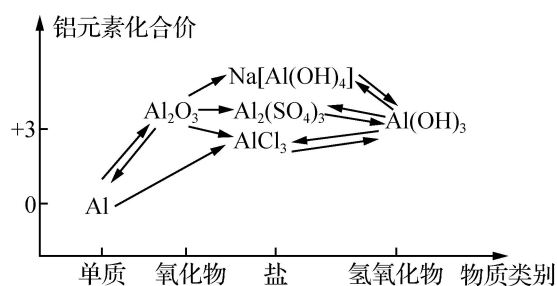
(5) 钠及其化合物



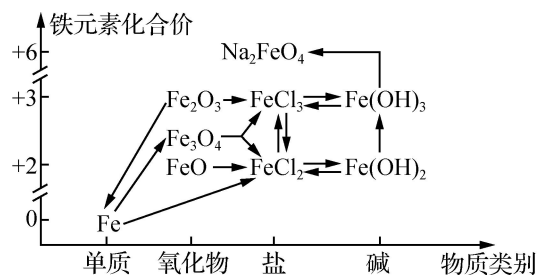
(6) 镁及其化合物



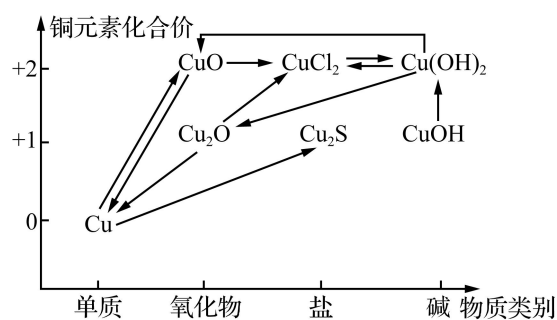
## (7) 铝及其化合物



## (8) 铁及其化合物

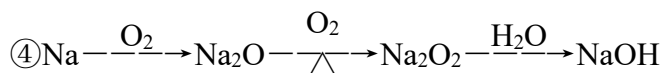
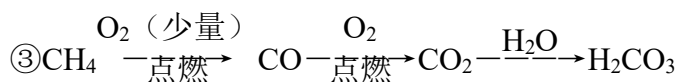
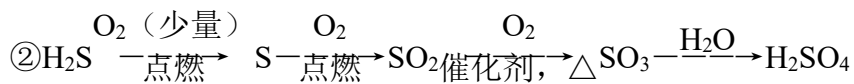
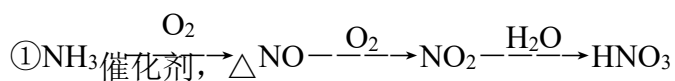
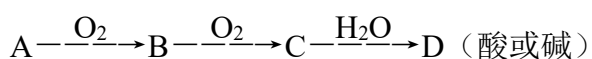


## (9) 铜及其化合物

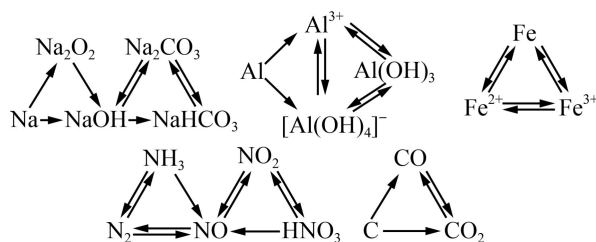


## 2 常见物质间转化关系

### (1) 连续氧化反应 (注: 不一定是制备路线)



## (2) 三角转化关系



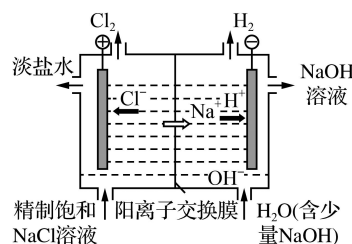
## 3 重要的化工生产

### (1) 氯碱工业

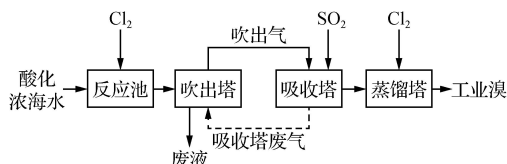
①除去粗盐中杂质离子 ( $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ )，加入的药品顺序不正确的是 (填字母)。

- a.  $\text{BaCl}_2$  溶液  $\rightarrow$   $\text{NaOH}$  溶液  $\rightarrow$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液  $\rightarrow$  过滤后加盐酸
- b.  $\text{NaOH}$  溶液  $\rightarrow$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液  $\rightarrow$   $\text{BaCl}_2$  溶液  $\rightarrow$  过滤后加盐酸
- c.  $\text{NaOH}$  溶液  $\rightarrow$   $\text{BaCl}_2$  溶液  $\rightarrow$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液  $\rightarrow$  过滤后加盐酸

②工业上用电解饱和食盐水制  $\text{Cl}_2$ ，其化学方程式为\_\_\_\_\_。  
阳离子交换膜的作用是\_\_\_\_\_。



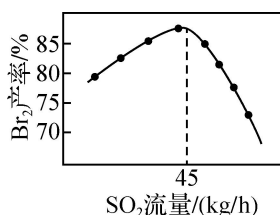
(2) 从浓海水中提取溴的工艺如下图所示。



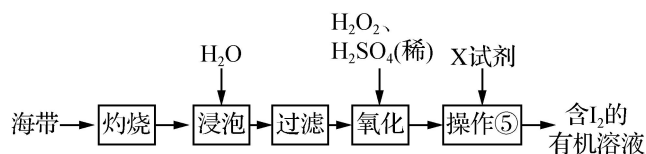
①吸收塔中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{Br}_2$  与  $\text{H}_2\text{O}$  反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

②在反应池中，海水中的  $\text{Br}^-$  已转化为  $\text{Br}_2$ 。设计后续步骤将  $\text{Br}_2$  先转化为  $\text{Br}^-$  又转化为  $\text{Br}_2$ ，目的是\_\_\_\_\_。

③通入吸收塔的  $\text{SO}_2$  流量与  $\text{Br}_2$  产率关系如图所示。当  $\text{SO}_2$  流量高于 45 kg/h 后， $\text{Br}_2$  产率下降，原因是\_\_\_\_\_。



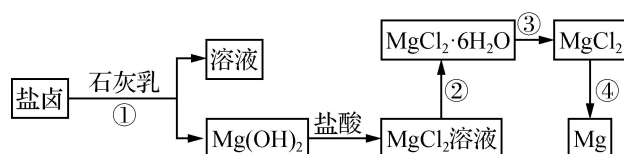
(3) 海带中的碘元素灼烧后通常以  $I^-$  的形式存在，从海带中提取单质碘的流程如下：



①灼烧海带所用仪器名称：酒精灯、三脚架、泥三角、\_\_\_\_\_。X 试剂的名称是\_\_\_\_\_，操作⑤的名称为\_\_\_\_\_。

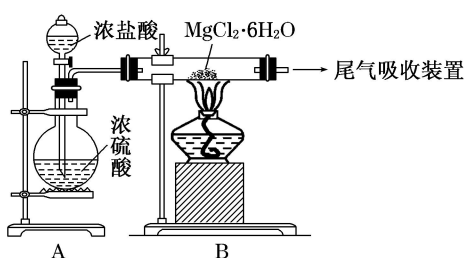
②写出氧化时发生反应的离子方程式：\_\_\_\_\_。

(4) 某学校课外兴趣小组从海水晒盐后的盐卤（主要含  $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Cl^-$ 、 $Br^-$  等）中模拟工业生产来提取镁，主要过程如下：



①工业上从盐卤中获取  $Mg(OH)_2$  用石灰乳而不用  $NaOH$  溶液的原因是\_\_\_\_\_。

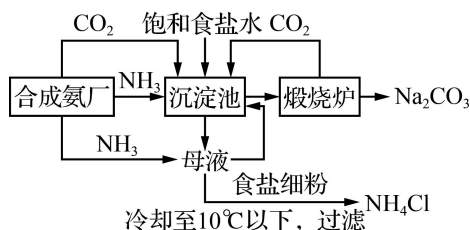
②下图是该兴趣小组设计进行过程③的实验装置图。



其中装置 A 的作用是\_\_\_\_\_。

③写出过程④中发生反应的化学方程式：\_\_\_\_\_。

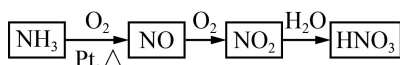
(5) 侯氏制碱法



①通入氨气和二氧化碳的顺序为\_\_\_\_\_。

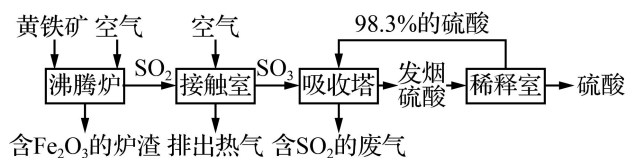
②沉淀池中发生反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

(6) 工业制硝酸



以上转化中涉及的化学方程式为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。

### (7) 工业制硫酸



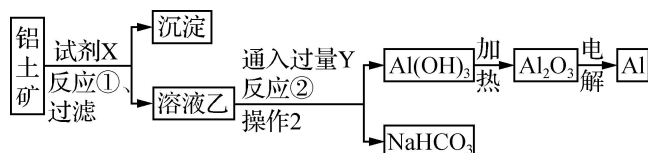
写出下列设备中发生反应的化学方程式。沸腾炉：\_\_\_\_\_

接触室：\_\_\_\_\_；

吸收塔：\_\_\_\_\_。

### (8) 工业冶炼铝

工业上用铝土矿（主要成分为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  杂质）为原料冶炼铝的工艺流程如下：



①试剂 X 应选择\_\_\_\_\_（填“烧碱溶液”或“盐酸”），反应①的离子方程式为\_\_\_\_\_。

②反应②的化学方程式为\_\_\_\_\_。

③电解熔融氧化铝制得金属铝的化学方程式为\_\_\_\_\_。

### 核心 2 离子方程式书写

#### 1 审清题意“三注意”

(1) 反应环境：如介质的酸碱性。

(2) 试剂滴加顺序，不同的滴加顺序，过程中先后可能会发生不同的反应。

(3) 反应过程中反应物之间量的关系，不同的比例关系可能会发生不同的反应。如：

向  $\text{NaHSO}_4$  溶液中滴加  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液至  $\text{SO}_4^{2-}$  恰好沉淀，离子方程式为  $\text{H}^+ + \text{OH}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} = \text{BaSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ；若  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液少量，则离子方程式为  $\text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^- + 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

向  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶液中滴加少量  $\text{NaHCO}_3$  溶液，离子方程式为  $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- + \text{Ca}^{2+} = \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ；若  $\text{NaHCO}_3$  溶液过量，则离子方程式为  $\text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- + 2\text{HCO}_3^- = \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

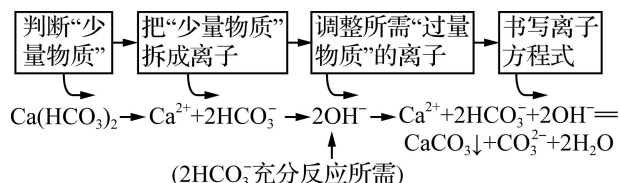
强氧化剂遇到两种还原性离子时，应注意氧化剂是否过量。如：

将少量的  $\text{Cl}_2$  通入  $\text{FeBr}_2$  溶液中，离子方程式为  $2\text{Fe}^{2+} + \text{Cl}_2 = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cl}^-$ ；若  $\text{Cl}_2$  过量，则离子方程式为  $2\text{Fe}^{2+} + 4\text{Br}^- + 3\text{Cl}_2 = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Br}_2 + 6\text{Cl}^-$ 。

## 2 \*与量有关的离子方程式书写方法——“少定多变”法

(1) “少定”就是把相对量较少的物质定为“1 mol”，若少量物质有两种或两种以上离子参加反应，则参加反应的离子的物质的量之比与原物质组成比相符。

(2) “多变”就是过量的反应物离子的化学计量数根据反应实际需求量来确定，不受化学式中的比例制约。如：向  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  溶液中加入过量  $\text{NaOH}$  溶液，离子方程式的书写方法如下：



## 检测反馈

对点练，再提升

1 [2024 无锡期末]下列物质的性质与其应用不具有对应关系的是( )

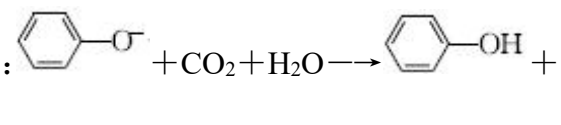
- A. 锂的容量密度(mAh/g)高：用作电池负极材料
- B. 甲烷的热值(J/kg)高：用于工业制备炭黑
- C. 葡萄糖具有还原性：用于玻璃等材料表面化学覆银
- D. 氢气在高温下具有还原性：用于工业绿色化炼铁

2 [2025 盐城、南京期末]在给定条件下，下列选项所示的物质间转化均能实现的是( )

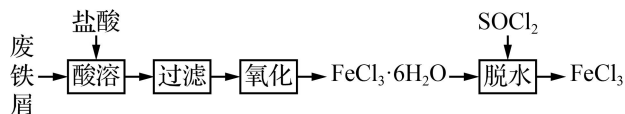
- A. 制漂白粉：浓盐酸  $\xrightarrow[\Delta]{\text{MnO}_2}$   $\text{Cl}_2$   $\xrightarrow{\text{澄清石灰水}}$  漂白粉
- B. 硝酸工业： $\text{NH}_3 \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{O}_2} \text{NO}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{HNO}_3$
- C. 硫酸工业： $\text{FeS}_2 \xrightarrow[\text{高温}]{\text{O}_2} \text{SO}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}_2\text{SO}_4$
- D. HCl 制备：NaCl 溶液  $\xrightarrow{\text{电解}}$   $\text{H}_2$  和  $\text{Cl}_2$   $\xrightarrow{\text{点燃}}$  HCl

3 [2025 徐州考前模拟]常见  $\text{CO}_2$  化学吸收剂有金属氧化物(如  $\text{MgO}$ )、碳酸盐溶液、氨溶液、胺( $\text{RNH}_2$ )溶液、离子液体等。胺溶液吸收  $\text{CO}_2$  后可生成氨基甲酸盐。下列说法不正确的是( )

- A.  $\text{MgO}$  吸收  $\text{CO}_2$  的反应： $\text{MgO} + \text{CO}_2 = \text{MgCO}_3$
- B. 足量氨水吸收  $\text{CO}_2$  的反应： $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^-$
- C. 甲胺溶液吸收  $\text{CO}_2$  的反应： $2\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{CO}_2 = \text{CH}_3\text{NHCOO}^- + \text{CH}_3\text{NH}_3^+$

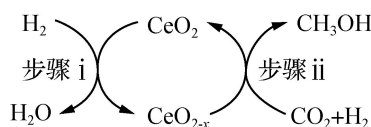
D. 苯酚钠溶液吸收少量  $\text{CO}_2$  的反应：

4 [2023 南京、盐城期末]无水  $\text{FeCl}_3$  常用作芳烃氯代反应的催化剂。以废铁屑（主要成分为  $\text{Fe}$ ，还有少量  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{C}$  和  $\text{SiO}_2$ ）制取无水  $\text{FeCl}_3$  的流程如图所示。下列说法正确的是（ ）



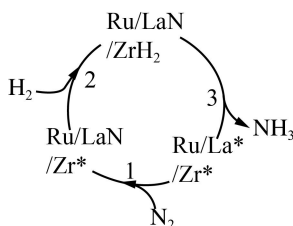
- A. “过滤”所得滤液中大量存在的离子： $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{Cl}^-$   
 B. “氧化”时可使用新制氯水作氧化剂  
 C. 将“氧化”后的溶液蒸干可获得  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
 D. “脱水”时加入  $\text{SOCl}_2$  能抑制  $\text{FeCl}_3$  的水解，原因是  $\text{SOCl}_2$  与水反应生成  $\text{H}_2\text{SO}_4$  和  $\text{HCl}$

5 (1) [2026 南京期初] $\text{CeO}_2$  催化  $\text{CO}_2$  加氢制  $\text{CH}_3\text{OH}$  依次经历步骤 i、ii，如图所示。Ce 正价有 +3 和 +4。 $x=0.2$  时，催化剂中  $\frac{n[\text{Ce(IV)}]}{n[\text{Ce(III)}]} = \underline{\hspace{2cm}}$ ，写出  $n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2) = 1 : 2$  参与“步骤 ii”反应的化学方程式： $\underline{\hspace{4cm}}$ 。



(2) [2024 连云港期末]将  $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  和活性炭（催化剂）加入三颈瓶中，然后再依次通过滴液漏斗缓慢滴加  $\text{NH}_4\text{Cl}$  和浓氨水混合溶液、 $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液，控制温度不超过  $60^\circ\text{C}$  充分反应，冷却后过滤。三颈瓶中制得  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  的离子方程式为  $\underline{\hspace{4cm}}$ 。

(3) [2024 无锡期末]以稀有金属为催化剂（钌、钆和锆）合成氨的机理如图所示。由  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  合成 1 mol 氨气，转移电子的物质的量为  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。



## 破难点 1 陌生情境下方程式的书写

名卷优选

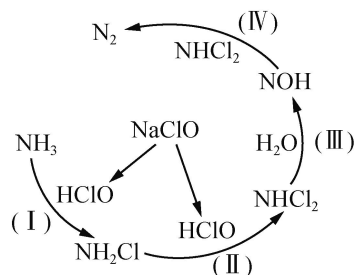
研好题，悟方法

### 3 年真题

- 1 [2025 江苏卷改编]酸性条件下，电催化  $\text{CO}_2$  与  $\text{NO}_3^-$  反应生成  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  的离子方程式为\_\_\_\_\_。
- 2 [2024 江苏卷改编] $\text{PbS}$  与  $\text{H}_2\text{O}_2$  的反应可用于壁画修复，发生反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。
- 3 [2024 江苏卷改编]催化反应广泛存在，如豆科植物固氮、石墨制金刚石、 $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  制  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5$  催化氧化  $\text{SO}_2$  等。高温、高压、催化剂条件下， $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  合成  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  的化学方程式为\_\_\_\_\_。
- 4 [2024 江苏卷] $\text{CH}_3\text{COO}[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]$  和氨水的混合溶液能吸收  $\text{CO}$  生成  $\text{CH}_3\text{COO}[\text{Cu}(\text{NH}_3)_3\text{CO}]$ ，该反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

### 3 年模拟

- 1 [2025 苏锡常镇一调]联合  $\text{NaClO}$  解决除硝转氨问题的机理如图所示。



$\text{NaClO}$  与  $\text{NH}_3$  在溶液中反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

- 2 [2025 常州期末]磷矿脱镁废液中主要含  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  及少量  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{Al}^{3+}$ 。向废液中加入  $\text{NaOH}$  溶液调节  $\text{pH}$  为 4.5，可达到  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{Al}^{3+}$  的最佳沉淀效果。其中  $\text{Ca}^{2+}$  转化为  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  的离子方程式为\_\_\_\_\_。



## 难点 1 常见氧化剂、还原剂及其产物的预测与判断

### 1 常见的氧化剂及还原产物预测

氧化剂	还原产物预测
浓硝酸	$\text{NO}_2$
稀硝酸	$\text{NO}$
$\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{I}_2$	$\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{I}^-$
$\text{H}_2\text{O}_2$	碱性条件下生成 $\text{OH}^-$ ； 酸性条件下生成 $\text{H}_2\text{O}$ （-2 价氧）
$\text{Na}_2\text{O}_2$	$\text{NaOH}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ （-2 价氧）
$\text{NaClO}$ 、 $\text{ClO}^-$	$\text{Cl}^-$ 、 $\text{Cl}_2$
$\text{NaClO}_3$	$\text{Cl}_2$ 、 $\text{ClO}_2$ 、 $\text{Cl}^-$
$\text{KMnO}_4$	酸性条件下生成 $\text{Mn}^{2+}$
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ （酸性）	酸性条件下生成 $\text{Cr}^{3+}$

### 2 常见的还原剂及氧化产物预测

还原剂	氧化产物预测
$\text{Fe}^{2+}$	强酸性条件下生成 $\text{Fe}^{3+}$ （易水解）
$\text{SO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$	在溶液中生成 $\text{SO}_4^{2-}$
$\text{S}^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$	$\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$\text{CO}_2$
$\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{O}_2$
$\text{I}^-$ 、 $\text{HI}$	$\text{I}_2$ 、 $\text{IO}_3^-$
$\text{CO}$	$\text{CO}_2$
金属单质( $\text{Zn}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Cu}$ )	$\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ （或 $\text{Fe}^{3+}$ ）、 $\text{Cu}^{2+}$

### 3 根据酸碱性环境预测反应物和产物的存在形式

元素价态	酸性环境	碱性环境
-3 价 N	$\text{NH}_4^+$	$\text{NH}_3$
+4 价 C	$\text{CO}_2$	$\text{CO}_3^{2-}$
+4 价 S	$\text{SO}_2$	$\text{SO}_3^{2-}$

### 4 歧化反应与归中反应

(1) 卤素单质“碱性歧化，酸性归中”。

歧化反应（碱性）： $\text{Cl}_2 + 2\text{OH}^- = \text{ClO}^- + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ ， $3\text{Cl}_2 + 6\text{OH}^- \xrightarrow{\Delta} \text{ClO}_3^- + 5\text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ 。

归中反应（酸性）： $\text{ClO}^- + \text{Cl}^- + 2\text{H}^+ = \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ ， $\text{ClO}_3^- + 5\text{Cl}^- + 6\text{H}^+ = 3\text{Cl}_2 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$ 。

(2)  $\text{NO}_x$  与碱液的歧化反应与归中反应。

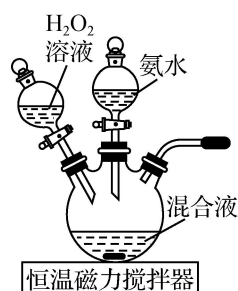
歧化反应 ( $\text{NO}$  与碱不反应):  $2\text{NO}_2 + 2\text{OH}^- = \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ 。

归中反应:  $\text{NO} + \text{NO}_2 + 2\text{OH}^- = 2\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ 。

## 5 同一元素不同粒子的氧化性或还原性比较

如  $\text{NH}_3$  比  $\text{NH}_4^+$  的还原性强;  $\text{Co}^{2+}$  不易被氧化,  $\text{Co}^{3+}$  具有强氧化性;  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  具有较强还原性,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  性质稳定; 酸性增强能增加含氧型氧化剂的氧化性等。

**典型案例:**  $\text{CoCl}_2$  溶液中加入少量  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液, 加入活性炭作催化剂, 组成混合液。先向三颈烧瓶滴加过量氨水、 $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液中的一种, 充分反应, 再向混合溶液中滴加另一种溶液, 加热( $50\sim 60\text{ }^\circ\text{C}$ ), 充分搅拌, 生成的  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  吸附在活性炭上。

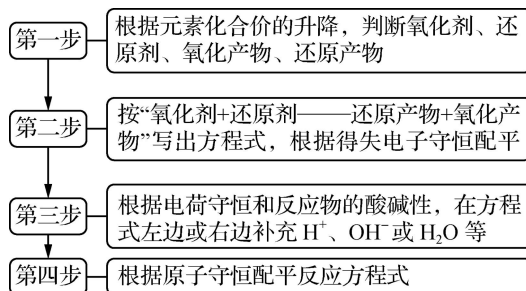


(1) 另一种溶液是\_\_\_\_\_。

(2) 加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液时发生反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

## 难点2 陌生氧化还原反应化学(或离子)方程式的书写

### 1 陌生氧化还原方程式的书写步骤



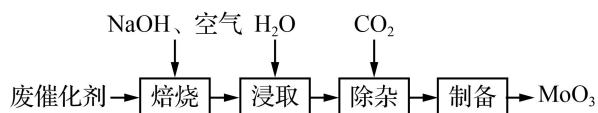
### 2 陌生氧化还原方程式的常考题型

#### (1) 陈述信息型

[2025 盐城、南京期末]生产印刷电路板所用的蚀刻液成分为  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  等。蚀刻反应原理为  $\text{Cu} + [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 = 2[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ 。蚀刻过程中  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  浓度下降, 蚀刻能力降低。当通入空气后, 即可恢复其蚀刻能力, 反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

#### (2) 流程图型

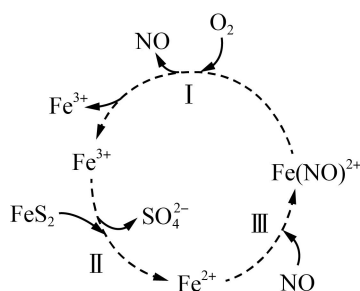
以含钼( $\text{Mo}$ )废催化剂(含  $\text{MoS}_2$ , 以及  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CuO}$  等)为原料制备  $\text{MoO}_3$ , 其过程表示如下:



焙烧时，将废催化剂和足量  $\text{NaOH}$  固体置于焙烧炉中，通入足量空气加热至  $750\text{ }^\circ\text{C}$  充分反应。焙烧过程中  $\text{MoS}_2$  转化为  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  的化学方程式为\_\_\_\_\_。

### (3) 反应机理图型

在酸性和催化剂的作用下，黄铁矿（主要成分为  $\text{FeS}_2$ ）可发生如图所示的转化。



已知：黄铁矿催化氧化的总反应方程式为  $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{催化剂}} 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ 。分别写出反应 I、II 的离子方程式：\_\_\_\_\_。

### 3 价态归零法

有些氧化还原反应方程式，由于某种物质中有关元素的化合价不太好确定，给配平带来一定的困难。这时，我们可以把该物质中所有元素的化合价一律看作零（尽管事实上不是这样），这样整个分子中化合价的代数和仍为 0。然后，以这些元素由零价变到生成物中的价态为基础进行配平。

(1) 配平：\_\_\_\_\_  $\text{Fe}_3\text{C}$  + \_\_\_\_\_  $\text{HNO}_3$  = \_\_\_\_\_  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  + \_\_\_\_\_  $\text{NO} \uparrow$  + \_\_\_\_\_  $\text{CO}_2 \uparrow$  + \_\_\_\_\_  $\text{H}_2\text{O}$

**思路分析** 令  $\text{Fe}_3\text{C}$  中铁元素和碳元素的化合价均为 0。

(2) 配平：\_\_\_\_\_  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$  + \_\_\_\_\_  $\text{KMnO}_4$  + \_\_\_\_\_  $\text{H}_2\text{SO}_4$  = \_\_\_\_\_  $\text{MnSO}_4$  + \_\_\_\_\_  $\text{K}_2\text{SO}_4$  + \_\_\_\_\_  $\text{CO}_2 \uparrow$  + \_\_\_\_\_  $\text{H}_2\text{O}$

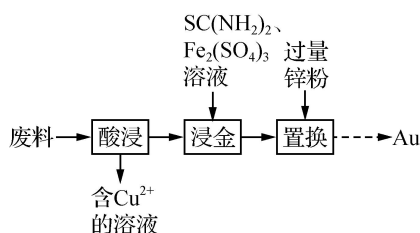
**思路分析** 将  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$  的化学计量数暂定为 1，并将其改写成  $\text{C}_6\text{H}_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_5$  形

式，前部分  $\text{C}_6\text{H}_2$  中 C 和 H 的化合价假设为 0，后部分水可以认为没有参与反应，故不作考虑。

1 (1) [2025 扬州开学考] $\text{Li}_2\text{CO}_3$  和  $\text{Co}_3\text{O}_4$  混合后, 在空气中高温加热可以制备锂电池的正极材料  $\text{LiCoO}_2$ , 写出反应的化学方程式: \_\_\_\_\_。

(2) [2025 无锡期末]黄铜矿(主要成分有  $\text{CuFeS}_2$ ) 浸取法制取硫酸铜: 在酸性、有氧条件下, 某种细菌能催化  $\text{CuFeS}_2$  转化成硫酸盐的反应。该反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_, 生成的  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  又可将  $\text{CuFeS}_2$  氧化。

(3) [2025 扬州考前模拟]电子元件废料中金(Au)和 Cu 以单质存在, 以其为原料回收 Au、Cu 单质的方法如下图所示(其他杂质不参与反应)。



已知: 硫脲 $[\text{SC}(\text{NH}_2)_2]$ 可被缓慢氧化, 最终生成单质硫。

“浸金”时, 溶液中生成 $[\text{AuSC}(\text{NH}_2)_2]^+$ 和  $\text{Fe}^{2+}$ , 该反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_。

2 [2025 南通如皋中学期初]根据信息书写化学(或离子)方程式。

(1) 纳米零价铁与 Cu/Pd 联合作用可去除水体中的硝态氮, 其反应机理如图 1 所示。若水体中的  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NO}_2^-$  的物质的量之比为 1:1, 且含 N 物质最终均转化为  $\text{N}_2$ , 则水体中所发生的总反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_。

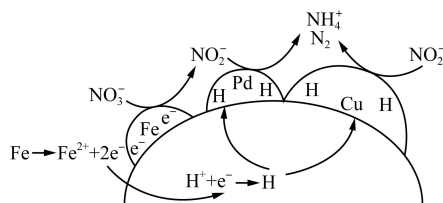


图 1

(2) 活性自由基  $\text{HO}\cdot$  可有效除去废水中的苯酚等有机污染物。 $\text{H}_2\text{O}_2$  在  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  表面产生  $\text{HO}\cdot$  除去废水中的苯酚的原理如图 2 所示。酸性条件下产生  $\text{HO}\cdot$  的反应(1 分子  $\text{H}_2\text{O}_2$  产生 1 个  $\text{HO}\cdot$ )的离子方程式为 \_\_\_\_\_。  
 $\text{HO}\cdot$  除去苯酚反应的化学方程式为 \_\_\_\_\_。

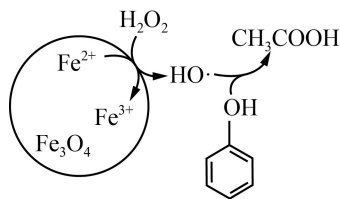
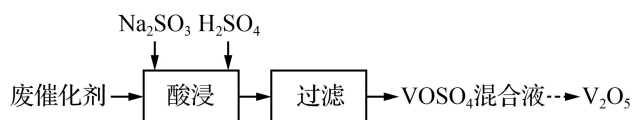


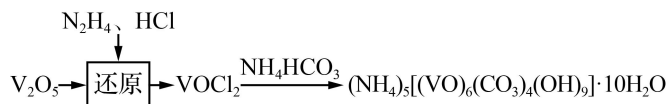
图 2

3 (1) [2024 盐城、南京期末]回收  $V_2O_5$  的过程如下:



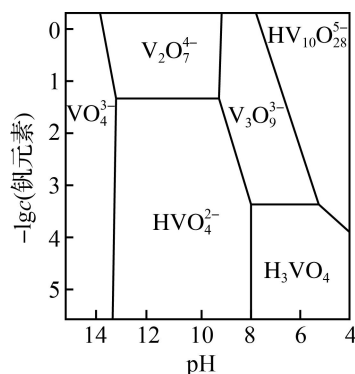
酸浸过程中,  $V_2O_5$  转化成  $VO^{2+}$  的离子方程式为\_\_\_\_\_。

(2) [2024 泰州期末] 实验室制备氧钒(IV)碱式碳酸铵晶体, 过程如下:



① “还原”步骤中生成  $N_2$ , 反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

②  $V_2O_5$  可溶于强酸强碱。常温下, 不同 pH、不同钒元素浓度时, +5 价 V 存在形态如图所示。



将 0.01 mol  $V_2O_5$  溶解在 200 mL 烧碱溶液中, 剩余溶液的  $c(\text{OH}^-) = 0.01$  mol/L, 反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

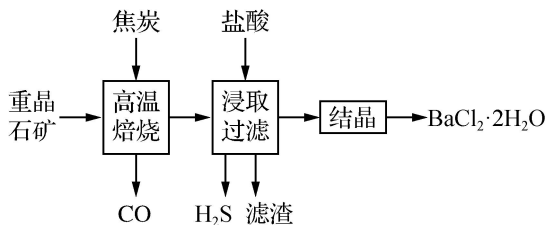
(3) [2023 泰州期末] 硫代硫酸钠( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )可与  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Au}^+$  等离子形成配合物; 也可被一定浓度的  $\text{Cu}^{2+}$  氧化, 反应为  $2\text{Cu}^{2+} + 6\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 。在空气中,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液与 Au 反应生成  $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ , 离子方程式为\_\_\_\_\_。

## 微主题3 化学工艺流程

### 基础回归

课前热身，激活思维

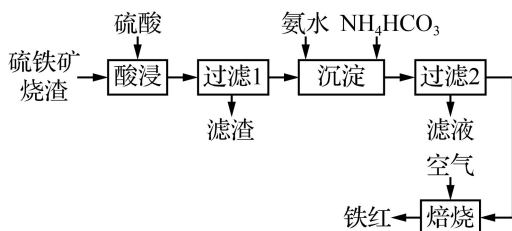
1 由重晶石矿（主要成分是  $\text{BaSO}_4$ ，还含有  $\text{SiO}_2$  等杂质）可制得氯化钡晶体，某兴趣小组设计实验流程如下：



下列说法正确的是( )

- A. 为提高原料的利用率，“高温焙烧”前原料需经研磨处理
- B. “高温焙烧”和“结晶”两处操作均需用到蒸发皿
- C. 在“高温焙烧”焦炭和  $\text{BaSO}_4$  的反应中，氧化剂与还原剂的物质的量之比为 4：1
- D. 因盐酸具有挥发性，上述流程中须用硫酸代替盐酸进行浸取

2 铁红( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )常用于油漆、油墨及橡胶工业。工业上以一定质量的硫铁矿烧渣（主要成分为  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，另含少量难溶杂质）为主要原料制备铁红的一种工艺流程如下：



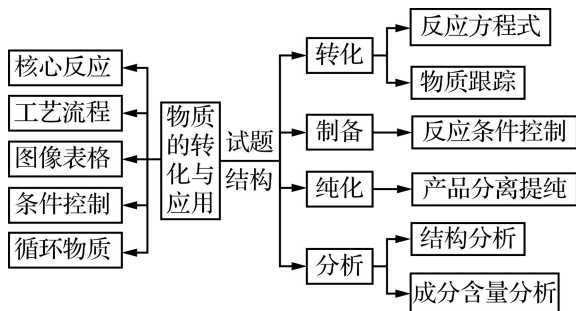
已知：某些过渡元素（如  $\text{Cu}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Ag}$  等）的离子能与  $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{SCN}^-$  等形成可溶性配合物。

(1) 工业常将硫铁矿烧渣经过粉碎后再进行“酸浸”，其目的是\_\_\_\_\_。

(2) “酸浸”时加入的硫酸不宜过量太多的原因是\_\_\_\_\_。

### 体系建构

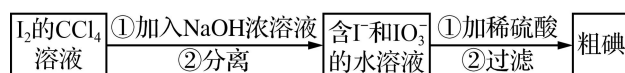
化散为整，融会贯通



### 3 年真题

#### 题型 1 化学工艺流程——选择题

1 [2021 江苏卷]通过下列实验可从  $I_2$  的  $CCl_4$  溶液中回收  $I_2$ 。

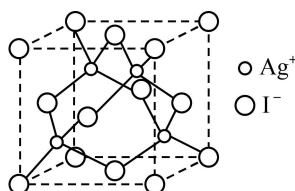


下列说法正确的是( )

A.  $NaOH$  溶液与  $I_2$  反应的离子方程式:  $I_2 + 2OH^- \rightleftharpoons I^- + IO_3^- + H_2O$

B. 通过过滤可将水溶液与  $CCl_4$  分离

C. 向加酸后的上层清液中滴加  $AgNO_3$  溶液生成  $AgI$  沉淀, 1 个  $AgI$  晶胞(见下图)中含 14 个  $I^-$

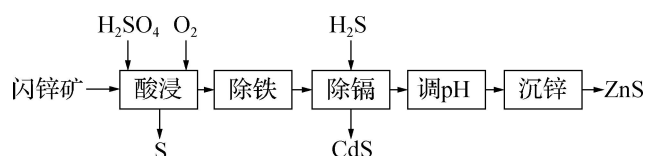


D. 回收的粗碘可通过升华进行纯化

#### 题型 2 化学工艺流程——大题

2 [2025 江苏卷] $ZnS$  可用于制备光学材料和回收砷。

(1) 制备  $ZnS$ 。由闪锌矿[含  $ZnS$ 、 $FeS$  及少量硫化镉( $CdS$ )等]制备  $ZnS$  的过程如下:



已知:  $K_{sp}(ZnS) = 1.6 \times 10^{-24}$ ,  $K_{sp}(CdS) = 8.0 \times 10^{-27}$ ,  $K_{a1}(H_2S) = 1.0 \times 10^{-7}$ ,  $K_{a2}(H_2S) = 1.2 \times 10^{-13}$ 。当离子浓度小于  $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  时, 认为离子沉淀完全。

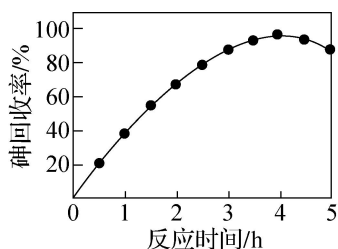
①酸浸时通入  $O_2$  可提高  $Zn^{2+}$  浸出率的原因是\_\_\_\_\_。

②沉锌前调节溶液的 pH 至 4~5, 加入的氧化物为\_\_\_\_\_ (填化学式)。

(2) 回收砷。用  $ZnS$  去除酸性废液中的三价砷[As(III)], 并回收生成的  $As_2S_3$  沉淀。

已知: 溶液中 As(III) 主要以弱酸  $H_3AsO_3$  形式存在,  $As_2S_3 + 6H_2O \rightleftharpoons 2H_3AsO_3 + 3H_2S$ 。

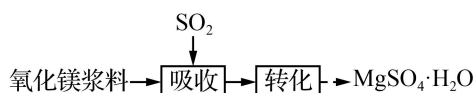
60  $^{\circ}C$  时, 按  $n(S) : n(As) = 7 : 1$  向酸性废液中加入  $ZnS$ , 砷回收率随反应时间的变化如图所示。



①写出  $\text{ZnS}$  与  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  反应生成  $\text{As}_2\text{S}_3$  的离子方程式：\_\_\_\_\_。

②反应 4 h 后，砷回收率下降的原因有\_\_\_\_\_。

3 [2023 江苏卷]实验室模拟“镁法工业烟气脱硫”并制备  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，其实验过程可表示如下：

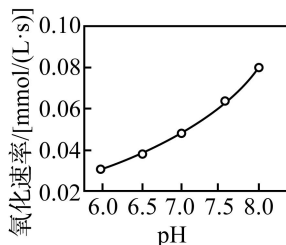


(1) 在搅拌下向氧化镁浆料中匀速缓慢通入  $\text{SO}_2$  气体，生成  $\text{MgSO}_3$ ，反应为  $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{MgSO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ ，其平衡常数  $K$  与  $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{MgSO}_3)$ 、 $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{SO}_3)$ 、 $K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{SO}_3)$  的代数关系式为  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ ；  
下列实验操作一定能提高氧化镁浆料吸收  $\text{SO}_2$  效率的有\_\_\_\_\_（填字母）。

- A. 水浴加热氧化镁浆料
- B. 加快搅拌速率
- C. 降低通入  $\text{SO}_2$  气体的速率
- D. 通过多孔球泡向氧化镁浆料中通  $\text{SO}_2$

(2) 在催化剂作用下  $\text{MgSO}_3$  被  $\text{O}_2$  氧化为  $\text{MgSO}_4$ 。已知： $\text{MgSO}_3$  的溶解度为 0.57 g(20 °C)， $\text{O}_2$  氧化溶液中  $\text{SO}_3^{2-}$  的离子方程式为\_\_\_\_\_；

在其他条件相同时，以负载钴的分子筛为催化剂，浆料中  $\text{MgSO}_3$  被  $\text{O}_2$  氧化的速率随 pH 的变化如图所示。在  $\text{pH} = 6 \sim 8$  内，pH 增大，浆料中  $\text{MgSO}_3$  的氧化速率增大，其主要原因是\_\_\_\_\_。



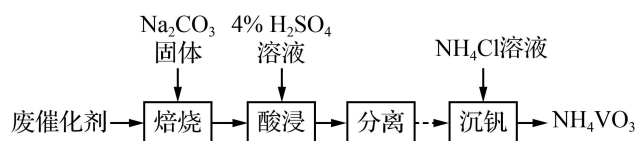


### 题型3 重要无机物的转化

4 [2023 江苏卷]  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$  催化剂能催化  $\text{NH}_3$  脱除烟气中的  $\text{NO}$ , 反应为  $4\text{NH}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{NO}(\text{g}) = 4\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$   $\Delta H = -1\,632.4\text{ kJ/mol}$ 。

(1) 催化剂的制备。将预先制备的一定量的  $\text{WO}_3/\text{TiO}_2$  粉末置于  $80\text{ }^\circ\text{C}$  的水中, 在搅拌下加入一定量的  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  溶液, 经蒸发、焙烧等工序得到颗粒状  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$  催化剂。反应选用  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  溶液而不选用  $\text{NaVO}_3$  溶液的原因是

(2) 废催化剂的回收。回收  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$  废催化剂并制备  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  的过程可表示如下:



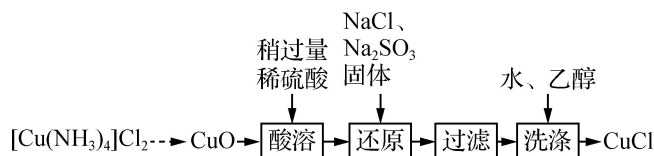
①酸浸时, 加料完成后, 以一定速率搅拌反应。提高钒元素浸出率的方法还有

②向  $\text{pH}=8$  的  $\text{NaVO}_3$  溶液中加入过量的  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液, 生成  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  沉淀。已知:  $K_{\text{sp}}(\text{NH}_4\text{VO}_3) = 1.7 \times 10^{-3}$ , 加过量  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液的目的是

### 3 年模拟

#### 题型1 化学工艺流程——选择题

1 [2025 扬州期末]  $\text{CuCl}$  难溶于水和乙醇, 在潮湿空气中易被氧化。以碱性蚀刻废液中的  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  为原料制备  $\text{CuCl}$  的部分流程如下。下列说法正确的是( )



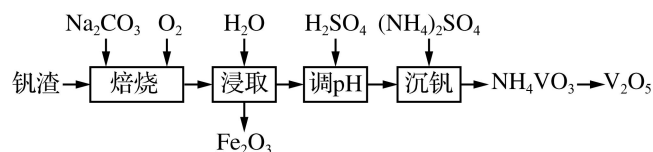
A.  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  溶于水所得溶液中  $c(\text{NH}_3) : c(\text{Cl}^-) = 2 : 1$

B. “酸溶”时不用稀硝酸的主要原因是硝酸易挥发

C. “还原”后溶液的  $\text{pH}$  增大

D. “洗涤”时先用水再用乙醇可提高产品的纯度

2 [2024 南通四模] 工业利用钒渣 (主要成分为  $\text{FeV}_2\text{O}_4$ , 杂质为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 制备  $\text{V}_2\text{O}_5$  的工艺流程如下:



已知: “焙烧”的产物之一为  $\text{NaVO}_3$ 。下列说法不正确的是( )

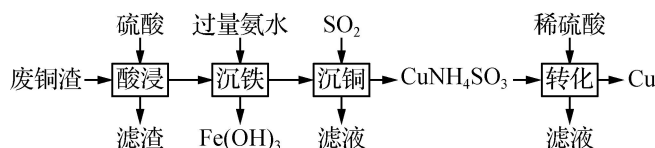
A. “焙烧”时,  $n(\text{氧化剂}) : n(\text{还原剂}) = 5 : 4$

B. “调 pH” 的目的是将溶液中的铝元素转化为  $\text{Al}(\text{OH})_3$  而除去

C. 不选用  $\text{HCl}$  “调 pH” 的原因可能与  $\text{VO}_3^-$  的氧化性较强有关

D. “沉钒” 后的溶液中:  $c(\text{VO}_3^-) \cdot c(\text{NH}_4^+) < K_{\text{sp}}(\text{NH}_4\text{VO}_3)$

3 [2024 淮安考前模拟] 一种利用废铜渣(主要成分为  $\text{CuO}$ , 及少量  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  等杂质) 制备超细铜粉的流程如下:



下列说法正确的是( )

A. “酸浸” 所得滤渣的主要成分为  $\text{H}_2\text{SiO}_3$

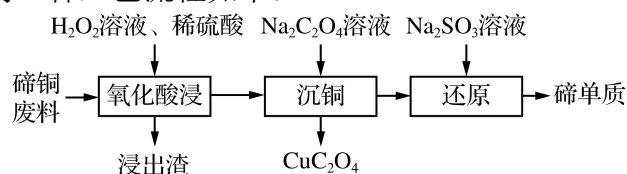
B. 若向“沉铁” 后所得滤液中加入乙醇, 析出的深蓝色晶体为  $\text{Cu}(\text{OH})_2$

C. “沉铜” 发生的反应为复分解反应

D. “转化” 后所得滤液中含有的主要阳离子:  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$

题型 2 化学工艺流程——大题

4 [2024 南京、盐城一模] 碲广泛应用于冶金工业。以碲铜废料(主要含  $\text{Cu}_2\text{Te}$ ) 为原料回收碲单质的一种工艺流程如下:



已知:  $K_{\text{a}1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5.0 \times 10^{-2}$ ,  $K_{\text{a}2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 1.5 \times 10^{-4}$ ,  $K_{\text{a}1}(\text{H}_2\text{TeO}_3) = 1.0 \times 10^{-3}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{CuC}_2\text{O}_4) = 2.0 \times 10^{-8}$ 。

(1) “氧化酸浸” 得到  $\text{CuSO}_4$  和  $\text{H}_2\text{TeO}_3$ , 该反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

(2) “沉铜” 时  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  过多会导致  $\text{Cu}^{2+}$  与  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  生成环状结构的配离子  $[\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$ , 该配离子的结构式为\_\_\_\_\_ (不考虑立体异构)。

(3)  $\text{CuC}_2\text{O}_4$  可溶于  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , 反应  $\text{CuC}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-} + 2\text{H}^+$  的平衡常数为\_\_\_\_\_。已知: 反应  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$  的平衡常数  $K = 1.8 \times 10^{10}$ 。

(4) “还原” 在  $50^\circ\text{C}$  条件下进行,  $\text{H}_2\text{TeO}_3$  发生反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

(5) “还原” 时,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  的实际投入量大于理论量, 其可能的原因为\_\_\_\_\_。

### 题型3 重要无机物的转化

5 [2025 扬州期末]钪(Sc)是一种重要稀土元素。由含钪矿渣制备  $\text{ScCl}_3$ ，再电解  $\text{ScCl}_3$  可制得 Sc。

(1) 矿渣酸浸所得  $\text{Sc}^{3+}$  可被萃取剂 X (结构如图 1 所示) 萃取。

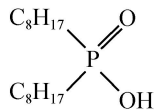


图 1

① 萃取原理是  $\text{Sc}^{3+}$  与萃取剂进行离子交换，萃取完成后水相的 pH (填“增大”“减小”或“不变”)。

② 两分子萃取剂易形成含 2 个氢键的二聚体，在图 2 中补全该二聚体的结构。

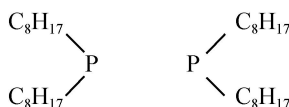


图 2

(2) 萃取液经系列工序制得  $\text{ScCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  晶体，将其与  $\text{NH}_4\text{Cl}$  混合，加热脱水制备无水  $\text{ScCl}_3$ ，再电解熔融  $\text{ScCl}_3$  获得 Sc。若不加  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ，加热脱水时  $\text{Sc}^{3+}$  易水解生成  $\text{ScOCl}$ 。 $\text{ScOCl}$  难溶于水、易溶于盐酸。

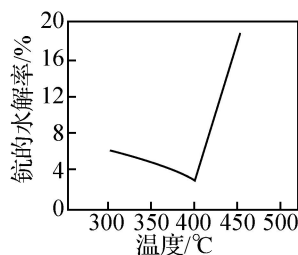


图 3

① 加热脱水时， $\text{ScCl}_3$  水解生成  $\text{ScOCl}$  的化学方程式为\_\_\_\_\_。

② 电解熔融  $\text{ScCl}_3$  时，常加入  $\text{NaCl}$ 、 $\text{KCl}$ ，其主要目的是通过降低熔点、\_\_\_\_\_，从而提高 Sc 的回收率、降低成本。

③ 其他条件相同，钪的水解率[钪的水解率 =  $\frac{n(\text{ScOCl})}{n(\text{ScOCl}) + n(\text{ScCl}_3)} \times 100\%$ ]随脱

水温度的变化如图 3 所示。低于 400 °C，随着温度升高钪的水解率减小的原因是\_\_\_\_\_。

(3) 测定钪的水解率：取 0.500 0 g 制得的无水  $\text{ScCl}_3$ ，加水溶解，过滤，滤液中加入指示剂后，用 0.040 00 mol/L EDTA( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ )溶液滴定至终点(反应为  $\text{Sc}^{3+} + \text{Y}^{4-} = \text{ScY}^-$ )，平行滴定 3 次，平均消耗 EDTA 溶液 23.00 mL。另取 0.500 0 g 制得的无水  $\text{ScCl}_3$ ，加浓盐酸溶解，并滴加氨水调节 pH，加指示剂后，用 0.040 00

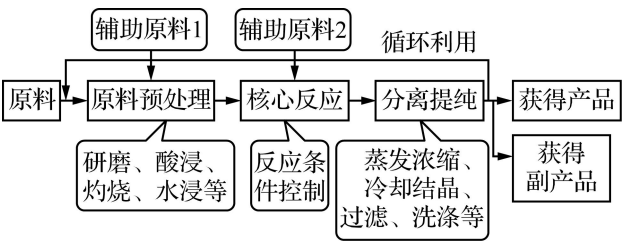
mol/L EDTA 溶液滴定至终点，平行滴定 3 次，平均消耗 EDTA 溶液 25.00 mL。计算钪的水解率（写出计算过程）。

核心串讲

勤总结，抓重点

核心 1 工业流程与原料处理

1 基本流程图



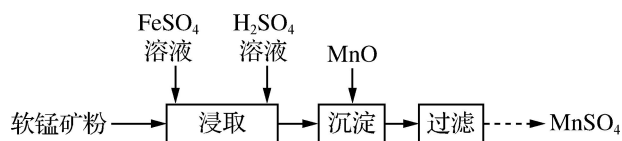
2 原料预处理

- (1) 提高反应速率的措施：粉碎、逆流、雾化（增大接触面积）；增大浓度、升温。
- (2) 加酸处理：将氢前金属单质、金属氧化物、难溶碳酸盐溶解，如有硝酸或者 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>与酸的组合，则还需要氧化还原的过程。
- (3) 加碱处理：将 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al(OH)<sub>3</sub> 等两性物质、Al、SiO<sub>2</sub> 溶解，且经常将金属变成高价态物质。
- (4) 有机物：溶解有机物或萃取易溶于有机物的无机物。
- (5) 灼烧/焙烧/煅烧：①除去碳及有机物；②通氧气的情况下，可能会发生氧化还原反应；③热分解。

3 常见设问

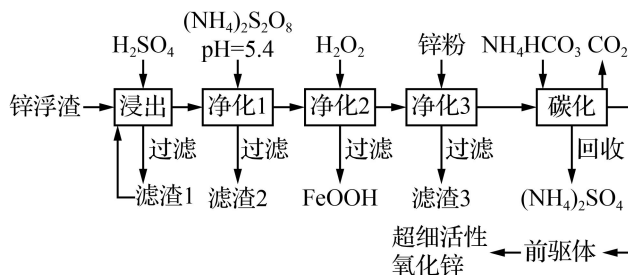
如何提高“酸浸率”	固体粉碎的目的：减小颗粒直径，增大浸取时的反应速率，提高浸取率
	升高反应的温度，增大反应速率
	适当加大酸的浓度
	适当延长酸浸时间
	搅拌
分析“浸出率”图表	解释“浸出率”高低变化的因素（“浸出率”升高，一般是反应温度升高，反应速率加快；但当“浸出率”达到最大值后，温度升高“浸出率”反而下降，一般是反应试剂的分解或挥发）
	选择达到一定较高“浸出率”的时间及温度（注意：一般不止一个答案）

**例 1** (1) [2024 南京学情调研]由软锰矿粉（主要成分为  $\text{MnO}_2$ ，含少量  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ ）制备  $\text{MnSO}_4$  的过程可表示如下：



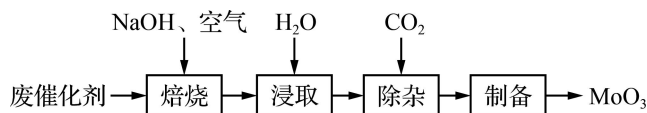
保持温度、各物质投料量及浓度不变，能提高  $\text{Mn}^{2+}$  浸出率的措施有\_\_\_\_\_。

(2) 锌浮渣主要含  $\text{Zn}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ ，工业上可通过控制条件逐一除去杂质以制备超细活性氧化锌，其工艺流程如下：



锌浮渣利用硫酸浸出后，将滤渣 1 进行再次浸出，其目的是\_\_\_\_\_。

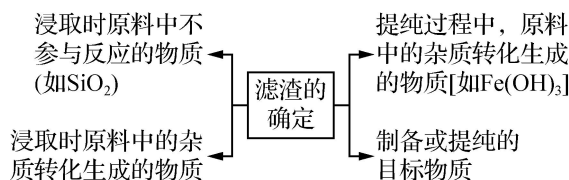
(3) [2024 连云港一调]以含钼(Mo)废催化剂（含  $\text{MoS}_2$ ，以及  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CuO}$  等）为原料制备  $\text{MoO}_3$ ，其过程表示如下：



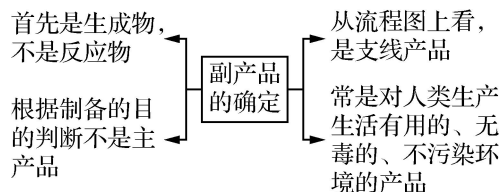
将焙烧所得固体加水浸泡，然后过滤、洗涤。过滤后所得滤液中存在的阴离子有  $\text{OH}^-$ 、 $\text{MoO}_4^{2-}$ 、\_\_\_\_\_。欲提高单位时间内钼的浸取率，可以采取的措施有\_\_\_\_\_（任写一点）。

## 核心 2 元素在工艺流程中的转化

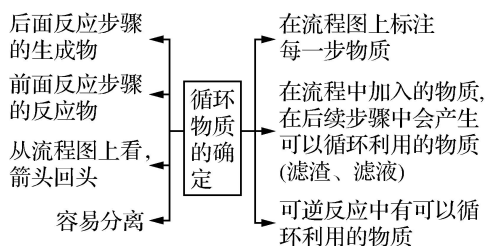
### 1 滤渣的确定



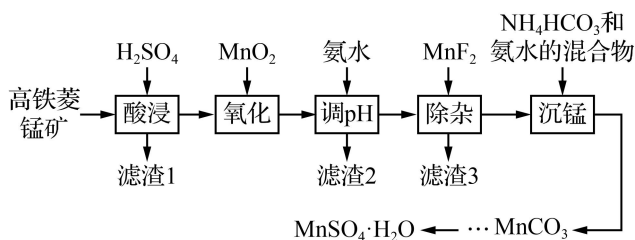
### 2 副产品的确定



### 3 循环物质的确定



**例 2**  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  在工、农业等方面有广泛的应用, 工业上可由高铁菱锰矿(主要成分为  $\text{MnCO}_3$ , 含有  $\text{FeCO}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2$  等杂质)制备, 部分工艺流程如下:



相关金属离子生成氢氧化物沉淀的 pH 如下表(开始沉淀的 pH 按离子浓度为 0.1 mol/L 计算):

金属离子	$\text{Mn}^{2+}$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Al}^{3+}$	$\text{Mg}^{2+}$
开始沉淀的 pH	8.1	6.3	1.5	3.4	8.9
沉淀完全的 pH	10.1	8.3	2.8	4.7	10.9

- (1) “滤渣 1”的主要成分是\_\_\_\_\_。
- (2) “调 pH”范围至 5~6, 得到滤渣 2 的主要成分除  $\text{MnO}_2$  外, 还有\_\_\_\_\_。
- (3) “除杂”过程中加入  $\text{MnF}_2$  的目的是\_\_\_\_\_。

核心 3 制备过程中反应条件的控制

#### 1 常用方法

看方法	想目的
调节溶液的 pH	常用于使某些金属离子形成氢氧化物沉淀
控制温度	根据需要升温或降温, 改变反应速率或使平衡向需要的方向移动
控制压强	改变速率, 影响平衡
使用合适的催化剂	改变反应速率, 控制达到平衡所需要的时间

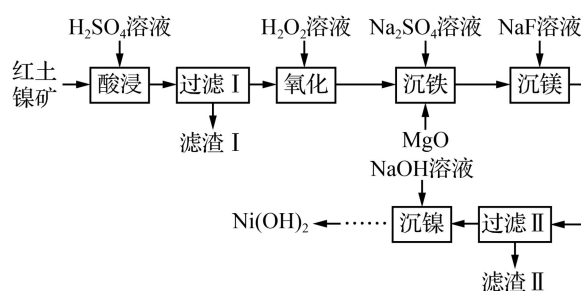
**注意** 调节 pH 所需的物质一般应满足两点:

- ①能与  $\text{H}^+$  或  $\text{OH}^-$  反应, 使溶液 pH 变大或变小;
- ②不引入新杂质。例如, 若要除去  $\text{Cu}^{2+}$  中混有的  $\text{Fe}^{3+}$ , 可加入  $\text{CuO}$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{CuCO}_3$  或  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  等物质来调节溶液的 pH, 不可加入  $\text{NaOH}$  溶液、氨水等。

## 2 常见设问

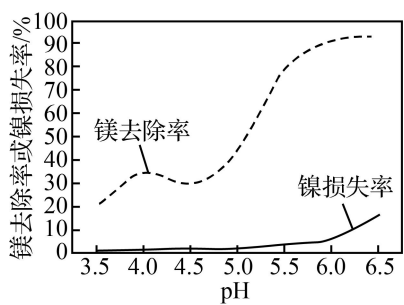
控制溶液的 pH	①调节溶液的酸碱性，使某些金属离子形成氢氧化物沉淀析出（或抑制水解）； ②“酸作用”还可除去氧化物（膜）； ③“碱作用”还可除去油污，除去铝片表面的氧化膜，溶解铝、二氧化硅等； ④特定的氧化还原反应需要的酸性条件（或碱性条件）
加过量试剂	使反应完全进行（或增大转化率、产率）等
加氧化剂	氧化某物质，生成目标产物或除去某些离子
控制温度（常用水浴、冰浴或油浴）	①防止副反应的发生； ②使化学平衡移动；控制化学反应进行的方向； ③控制固体的溶解与结晶； ④控制反应速率；使催化剂达到最大活性； ⑤升温：促进溶液中的气体逸出，使某物质达到沸点挥发； ⑥加热煮沸：促进水解，聚沉后利于过滤分离； ⑦趁热过滤：减少因降温而析出的溶质的量； ⑧降温：防止物质高温分解或挥发；降温（或减压）可以减少能源成本，降低对设备的要求
提高原子利用率	绿色化学（物质的循环利用、废物处理、原子利用率、能量的充分利用）
在空气中或在其他气体中进行的反应或操作	要考虑 $O_2$ 、 $H_2O$ 、 $CO_2$ 或其他气体是否参与反应或能否隔绝空气，达到防氧化、水解、潮解等目的

**例 3** 以红土镍矿（含  $NiO$  及铁、镁、硅的氧化物等）为原料制备  $Ni(OH)_2$  的工艺流程如下：



(1) “酸浸”时， $H_2SO_4$  稍过量的目的是\_\_\_\_\_。

(2) “沉镁”时，需综合考虑镁去除率和镍损失率。不同 pH 下镁去除率和镍损失率如图所示。



①应控制反应体系的 pH 约为\_\_\_\_\_（填字母）。

- A. 5.0                  B. 6.0                  C. 6.5

②已知： $K_{sp}(\text{MgF}_2)=7.4\times 10^{-11}$ 。要使“沉镁”所得滤液中  $c(\text{Mg}^{2+})\leq 7.4\times 10^{-7}$  mol/L，则应控制滤液中  $c(\text{F}^-)$  不低于\_\_\_\_\_。

(3) “沉镍”所得滤液中，可循环使用的主要溶质为\_\_\_\_\_（填化学式）。

核心 4 物质的分离与提纯

1 正确选择物质分离的“6 种”常用方法

看目的	选方法
分离难溶物质和易溶物质，根据特殊需要采用趁热过滤或抽滤等方法	过滤（热滤或抽滤）
利用溶质在互不相溶的溶剂里的溶解度不同提取分离物质，如用 $\text{CCl}_4$ 或苯萃取溴水中的溴	萃取和分液
提取溶解度随温度变化不大的溶质，如 $\text{NaCl}$	蒸发结晶
提取溶解度随温度变化较大的溶质，易水解的溶质或结晶水合物。如 $\text{KNO}_3$ 、 $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{CuCl}_2$ 、 $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 等	冷却结晶
分离沸点不同且互溶的液体混合物，如分离乙醇和甘油	蒸馏与分馏
利用气体易液化的特点分离气体，如合成氨工业采用冷却法分离氨气与氮气、氢气	冷却法

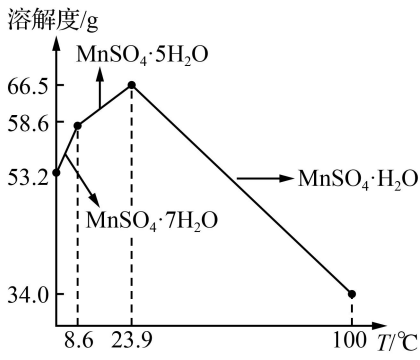
2 常见设问

结晶方法	<p>①晶体不带结晶水，如 <math>\text{NaCl}</math>、<math>\text{KNO}_3</math> 等：蒸发结晶。</p> <p>②晶体带结晶水，如胆矾等：将滤液蒸发浓缩、冷却结晶、过滤。</p> <p>③要得到溶解度受温度影响小的溶质：蒸发浓缩、结晶，趁热过滤。如除去 <math>\text{NaCl}</math> 中少量的 <math>\text{KNO}_3</math>。</p> <p>④要得到溶解度受温度影响大的溶质：蒸发浓缩、冷却结晶，过滤。如除去 <math>\text{KNO}_3</math> 中少量的 <math>\text{NaCl}</math></p>
从溶液中得到晶体的操作	<p>蒸发浓缩→冷却结晶→过滤→洗涤→干燥</p> <p>[若溶质（如 <math>\text{AlI}_3</math>）在空气中受热易被氧化，则浓缩时不能等到出现晶膜才停止]</p>
萃取、分液的操作	<p>实验在分液漏斗中进行，下层液体从下口放出，上层液体从上口倒出。其他条件不变（不添加试剂），为提高萃取率可采取的操作：充分振荡、多次萃取。振荡或搅拌时，注意速率不能过大，防止有机溶剂乳化</p>

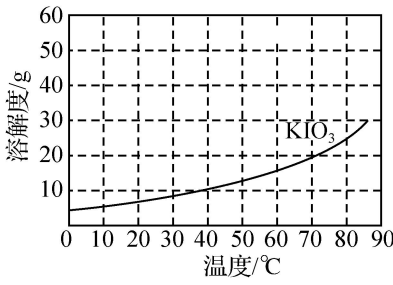


反萃取	在溶剂萃取分离过程中，当完成萃取操作后，为进一步纯化目标产物或便于下一步分离操作的实施，往往需要将目标产物转移到水相。这种调节水相条件，将目标产物从有机相转入水相的萃取操作称为反萃取，为萃取的逆过程
晶体的洗涤	用乙醇等有机溶剂洗涤晶体的目的：可以除去晶体表面可溶性的杂质和水分，乙醇的易挥发性有利于晶体快速干燥
洗涤沉淀的操作	将过滤后的晶体留在过滤器中，加入洗涤剂至浸没晶体，让洗涤液自然流下，重复操作 2~3 次
检验沉淀是否洗涤干净	取最后一次洗涤滤液，滴加试剂（如硝酸酸化的 $\text{AgNO}_3$ 溶液检验 $\text{Cl}^-$ ，盐酸酸化的 $\text{BaCl}_2$ 溶液检验 $\text{SO}_4^{2-}$ ），若无沉淀产生，则证明已洗涤干净，反之，则未洗涤干净

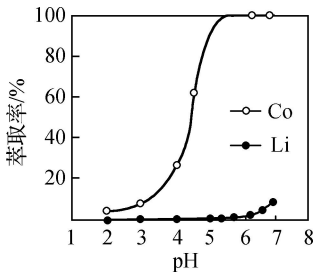
**例 4** (1)  $\text{MnSO}_4$  在水中的溶解度与温度的关系如图所示。由  $\text{MnCO}_3$  获得较纯净的  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  晶体的方法：将  $\text{MnCO}_3$  溶于适量的稀硫酸，控制温度在  $80 \sim 90^\circ\text{C}$  之间蒸发结晶，\_\_\_\_\_，得到  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  晶体，洗涤、烘干。晶体通常采用减压烘干的原因是\_\_\_\_\_。



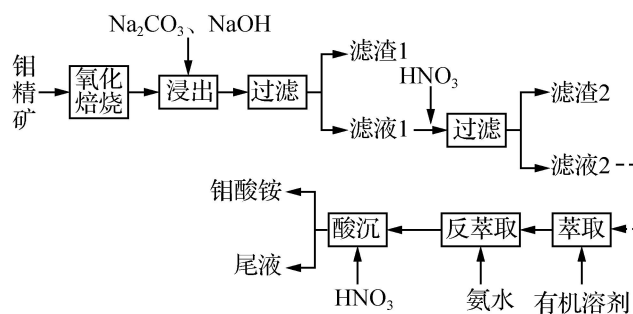
(2)  $\text{KIO}_3$  的溶解度曲线如图所示。由  $\text{KIO}_3$  溶液得到  $\text{KIO}_3$  晶体的方法为\_\_\_\_\_。



(3) “萃取分离”溶液中钴、锂的萃取率与平衡时溶液 pH 的关系如图所示。pH 一般选择 5 左右，理由是\_\_\_\_\_。



(4) 钼(Mo)是重要的过渡金属元素，具有广泛用途。由钼精矿（主要成分是  $\text{MoS}_2$ ）湿法回收钼酸铵  $[(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4]$  部分工艺流程如图所示。

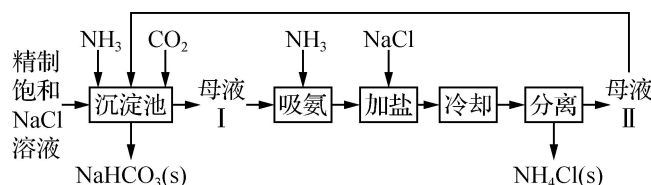


“滤液 2”先加入有机溶剂“萃取”，再加氨水“反萃取”，进行“萃取”和“反萃取”操作的目的是\_\_\_\_\_。

## 检测反馈

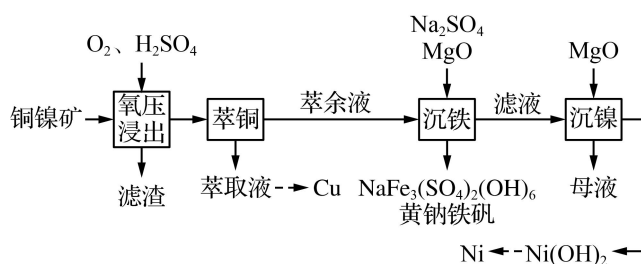
对点练，再提升

1 [2025 南通如皋学情调研一]1943 年，侯德榜团队成功研发了联合制碱法，提高了食盐利用率。其主要流程如下。下列说法错误的是( )



- 沉淀池中发生的反应为  $\text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NaHCO}_3 \downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$
- “沉淀池”中开始反应时，应先通入  $\text{CO}_2$  至饱和，再通入  $\text{NH}_3$
- “吸氨”“加盐”时分别通过增加溶液中  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{Cl}^-$  浓度，从而析出  $\text{NH}_4\text{Cl}$
- “母液 II”循环利用可提高钠元素的利用率

2 [2025 镇江期初]一种从某铜镍矿（主要成分为  $\text{CuFeS}_2$ 、 $\text{FeS}_2$ 、 $\text{NiO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2$  等）中回收 Cu、Ni 的流程如下：



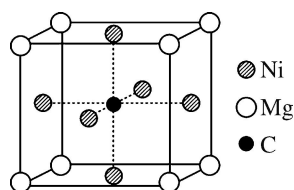
(1) 基态  $\text{Cu}^{2+}$  的外围电子排布为\_\_\_\_\_。

(2) “氧压浸出”过程中，加压的目的是\_\_\_\_\_。

(3) “萃铜”时发生的反应为  $\text{Cu}^{2+}(\text{水相}) + 2\text{HR}(\text{有机相}) \rightleftharpoons \text{CuR}_2(\text{有机相}) + 2\text{H}^+(\text{水相})$ ，适当增大溶液 pH 有利于铜的萃取，其原因是\_\_\_\_\_。

(4) “沉铁”过程生成黄钠铁矾沉淀的离子方程式为\_\_\_\_\_。

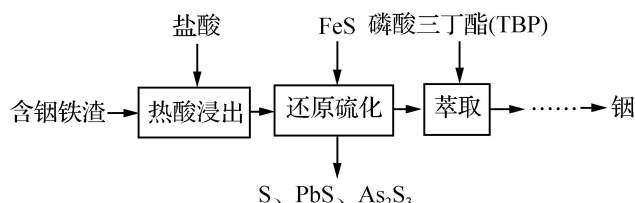
(5) 单质镍与碳、镁形成某晶体的晶胞结构如图所示，该晶体中 Mg 和 Ni 的原子个数之比为\_\_\_\_\_。



(6) “沉镍”时为确保  $\text{Ni}^{2+}$  沉淀完全，理论上应调节溶液  $\text{pH} \geq$  \_\_\_\_\_ {已知：25 °C 时， $K_{\text{sp}}[\text{Ni}(\text{OH})_2] = 4 \times 10^{-15}$ ； $\lg 2 = 0.3$ ；当溶液中  $c(\text{Ni}^{2+}) \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  时，可认为  $\text{Ni}^{2+}$  沉淀完全}。

(7) 测定  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  粗品的纯度。取 3.000 g  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  粗品溶于水（滴加几滴稀硫酸）配成 100.0 mL 溶液，取 25.00 mL 溶液于锥形瓶中，滴入几滴指示剂，用 0.050 00 mol/L  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$  标准溶液滴定，平均消耗标准溶液 50.00 mL。计算确定粗品中  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  的纯度（已知： $\text{Ni}^{2+} + \text{H}_2\text{Y}^{2-} \rightleftharpoons \text{NiY}^{2-} + 2\text{H}^+$ ，Ni—59，写出计算过程）。

3[2025 泰州调研] 钢及其化合物应用广泛。工业上用含钢铁渣（含  $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ 、 $\text{PbSO}_4$ 、 $\text{As}_2\text{O}_3$  等）提取钢的流程如下：



已知：①该实验条件下， $\text{PbCl}_2$  微溶于水， $\text{PbCl}_2 + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons [\text{PbCl}_4]^{2-}$ ；

②TBP 易与  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{In}^{3+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  配位或与  $\text{H}^+$  结合实现萃取，对  $\text{Fe}^{2+}$  萃取率较低。

(1) 热酸浸出。一定温度下，控制盐酸用量为理论值的 2 倍，反应 2 h、过滤得酸浸液。

①写出  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  溶于盐酸的离子方程式：\_\_\_\_\_。

②酸浸液中，As 元素以  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  形式存在，已知  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  的核磁共振氢谱只有一个峰，其结构式为\_\_\_\_\_。

③向反应体系中加入水，测得液固体积质量比对铅浸出率的影响如图 1 所示。  
液固体积质量比大于 4.5 mL/g 时，铅浸出率降低的原因为\_\_\_\_\_

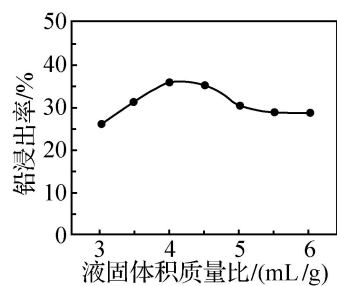


图 1

(2) 还原硫化。在搅拌下，向酸浸液中加入 FeS，充分反应后过滤。

①加入 FeS 的目的是\_\_\_\_\_

②FeS 晶胞及  $z$  轴方向投影如图 2 所示， $\text{Fe}^{2+}$  配位数为\_\_\_\_\_。

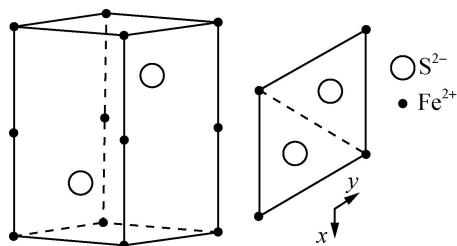
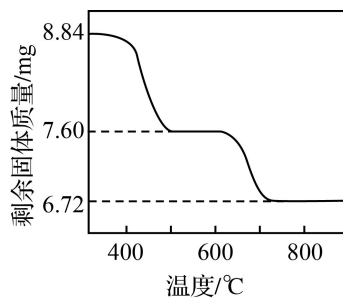


图 2

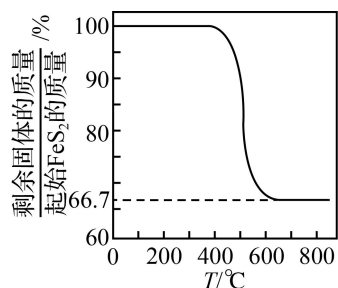
(3) 萃取。萃取时，pH 过大或过小都不利于  $\text{In}^{3+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  的萃取，原因是\_\_\_\_\_

## 3 年真题

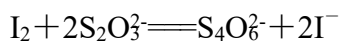
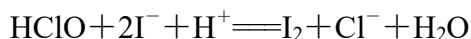
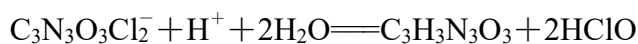
1 [2024 江苏卷]将 8.84 mg  $\text{Nd}(\text{OH})\text{CO}_3$  (摩尔质量为 221 g/mol) 在氮气氛围中焙烧, 剩余固体质量随温度变化曲线如图所示。550~600 °C 时, 所得固体产物可表示为  $\text{Nd}_a\text{O}_b(\text{CO}_3)_c$ , 通过以上实验数据确定该产物中  $n(\text{Nd}^{3+}) : n(\text{CO}_3^{2-})$  的比值为\_\_\_\_\_ (Nd—144, 写出计算过程)。



2 [2022 江苏卷]硫铁化合物 ( $\text{FeS}$ 、 $\text{FeS}_2$  等) 应用广泛。 $\text{FeS}_2$ 、 $\text{FeS}$  在空气中易被氧化, 将  $\text{FeS}_2$  在空气中氧化, 测得氧化过程中剩余固体的质量与起始  $\text{FeS}_2$  的质量的比值随温度变化的曲线如图所示。800 °C 时,  $\text{FeS}_2$  氧化成含有两种元素的固体产物为\_\_\_\_\_ (填化学式, 写出计算过程)。



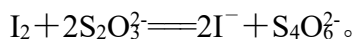
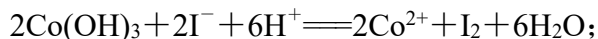
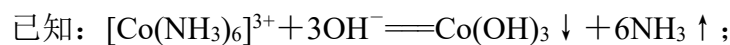
3 [2020 江苏卷]二氯异氰尿酸钠( $\text{C}_3\text{N}_3\text{O}_3\text{Cl}_2\text{Na}$ )是常用的杀菌消毒剂。二氯异氰尿酸钠优质品要求有效氯大于 60%。通过下列实验检测二氯异氰尿酸钠样品是否达到优质品标准。实验检测原理如下:



准确称取 1.120 0 g 样品,用容量瓶配成 250.0 mL 溶液;取 25.00 mL 上述溶液于碘量瓶中,加入适量稀硫酸和过量 KI 溶液,密封在暗处静置 5 min;用 0.100 0 mol/L  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  标准溶液滴定至溶液呈微黄色,加入淀粉指示剂,继续滴定至终点,消耗  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液 20.00 mL。通过计算判断该样品是否为优质品 (Cl—35.5, 写出计算过程,该样品的有效氯= $\frac{\text{测定中转化为 HClO 的氯元素质量} \times 2}{\text{样品质量}} \times 100\%$ )。

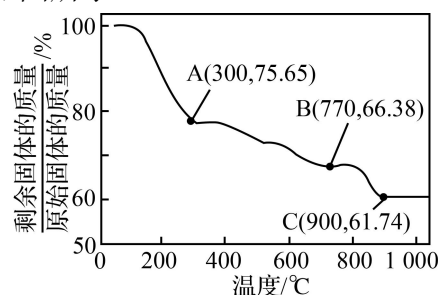
### 3 年模拟

1 [2024 连云港期末]测定制得的 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 样品中 Co 含量。准确称取 7.080 0 g 样品于烧杯中,加入足量 NaOH 溶液充分反应,微沸加热至无  $\text{NH}_3$  放出。冷却至室温后,加入过量的 KI 固体和盐酸,充分摇荡。将所得溶液定容至 250 mL,然后取出 25.00 mL 溶液放入锥形瓶中,滴加少量淀粉溶液,用 0.1 mol/L  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液滴定至终点,消耗  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液的体积为 24.00 mL。计算样品中钴元素的质量分数: \_\_\_\_\_ (Co—59, 写出计算过程)。



2 [2025 盐城期中] $\text{CuCl}$  纯度测定：称取所制备的氯化亚铜成品 2.50 g，置于预先放有 50 粒玻璃球和 10 mL 0.5 mol/L  $\text{FeCl}_3$  溶液（过量）的 250 mL 锥形瓶中。不断摇动，待试样溶解，充分反应后，加入适量稀硫酸，配成 250 mL 溶液。移取 25.00 mL 溶液于锥形瓶中，用 0.020 0 mol/L 的  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  溶液滴定至终点，再重复滴定 2 次，三次平均消耗  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  溶液 20.00 mL（反应过程中，杂质不参与反应，滴定过程中  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  转化为  $\text{Cr}^{3+}$ ， $\text{Cl}^-$  不反应），则成品中  $\text{CuCl}$  的质量分数为\_\_\_\_\_（写出计算过程）。

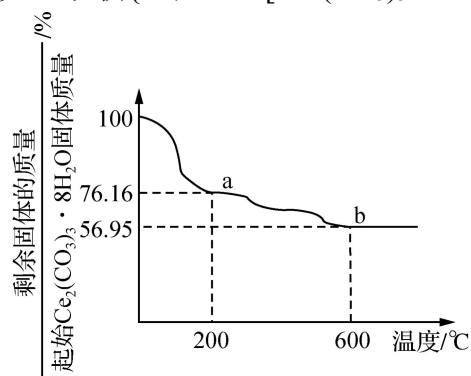
3 [2025 南通如东期初] $\text{MnCO}_3$  在空气流中热解得到不同价态锰的氧化物，其固体残留率随温度的变化如图所示。



770 °C时，剩余固体中  $n(\text{Mn}) : n(\text{O})$  为\_\_\_\_\_（Mn—55，写出计算过程）。

4 [2025 苏锡常镇二调]灼烧  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  制备  $\text{CeO}_2$ 。

在空气中灼烧  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ，测得灼烧过程中剩余固体质量与起始固体质量的比值随温度变化曲线如图所示。已知 a 到 b 过程中产生的气体不能使无水  $\text{CuSO}_4$  变蓝，但能被碱液完全吸收{已知： $M[\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}] = 604 \text{ g/mol}$ }。



a 点固体产物为\_\_\_\_\_（填化学式，写出计算过程）。



### 难点1 实验测定方法——滴定法

#### 1 分类

定量实验中的滴定方法包括：酸碱中和滴定、沉淀滴定、氧化还原滴定、配位滴定等，主要是根据滴定过程中标准溶液的消耗量来计算待测溶液的浓度。

(1) 连续滴定法：第一步滴定反应生成的产物，还可以继续参加第二步的滴定。根据第二步滴定的消耗量，可计算出第一步滴定的反应物的量。

(2) 返滴定法：第一步用的滴定剂是过量的，第二步再用另一物质返滴定过量的物质。用第一步加入的量减去第二步中过量的量，即可得出第一步所求物质的物质的量。

(3) 碘量法测定：碘量法是氧化还原滴定中应用较为广泛的一种方法。 $I_2$  可作氧化剂，能被  $Sn^{2+}$ 、 $H_2S$  等还原剂还原； $I^-$  可作还原剂，能被  $IO_3^-$ 、 $Cr_2O_7^{2-}$ 、 $MnO_4^-$  等氧化剂氧化。碘量法分为直接碘量法和间接碘量法，直接碘量法是用碘滴定液直接滴定还原性物质的方法，在滴定过程中， $I_2$  被还原为  $I^-$ ；间接碘量法（又称滴定碘法），它是利用  $I^-$  的还原性与氧化性物质反应产生  $I_2$ ，再加入  $Na_2S_2O_3$  标准溶液与  $I_2$  反应，淀粉指示剂要在接近终点时才加入， $I_2$  遇淀粉溶液显蓝色，继续滴加  $Na_2S_2O_3$  标准溶液，滴定终点的现象为蓝色消失且半分钟内不变色，从而测出氧化性物质的含量。如：用间接碘量法测定混合气中  $ClO_2$  的含量，有关的离子方程式为  $2ClO_2 + 10I^- + 8H^+ = 2Cl^- + 5I_2 + 4H_2O$  和  $I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$ ，可得关系式： $2ClO_2 \sim 5I_2 \sim 10S_2O_3^{2-}$ ，然后根据已知条件进行计算。

#### 2 指示剂的选择和终点现象

定量实验方法	举例	指示剂的选择	终点现象
酸碱中和滴定	盐酸标准溶液滴定 NaOH 溶液	酚酞试液	当滴入最后半滴标准液，溶液由红色变为无色，且半分钟内不变色
		甲基橙溶液	当滴入最后半滴标准液，溶液由黄色变为橙色，且半分钟内不变色
氧化还原滴定	$KMnO_4$ 标准溶液滴定草酸溶液	$KMnO_4$ 溶液	当滴入最后半滴标准液，溶液由无色变为浅红色，且半分钟内不变色
	$Na_2S_2O_3$ 标准溶液滴定 $I_2$ 溶液	淀粉溶液	当滴入最后半滴标准液，溶液蓝色褪去，且半分钟内不变色
氧化还原滴定	用标准碘溶液滴定溶有 $SO_2$ 的水溶液，以测定水中 $SO_2$ 的含量	淀粉溶液	当滴入最后半滴标准液，溶液由无色变为蓝色，且半分钟内不变色
	用标准 KI 溶液滴定含有 $Fe^{3+}$ 的溶液	KSCN 溶液	当滴入最后半滴标准 KI 溶液，溶液的红色褪去，且半分钟内不变色
沉淀滴定	$AgNO_3$ 标准溶液滴定 NaCl 溶液	—	—

配位滴定	EDTA 标准溶液滴定含 $\text{Zn}^{2+}$ 的溶液	—	—
------	-----------------------------------	---	---

## 难点 2 热重分析

热重分析是利用某些物质（通常是结晶水合物）受热分解后残留固体的质量变化，通过分析计算，从而确定分解反应产物的一类题型，这类题通常提供热重曲线，曲线的横坐标为温度，纵坐标为质量变化或固体残留率。解题时，可以从质量变化或质量变化率入手，找出质量关系，通过列式计算确定产物成分。

一般认为加热结晶水合盐反应可分三步进行：

第一步，脱去部分水；

第二步，生成碱式盐或含水盐；

第三步，生成金属氧化物。

如果热重实验的气氛为空气，则加热过程中可能被氧化，反应将变得更复杂一些。基于这些，中学化学热重曲线试题可分为两类：第一类，试样发生分解反应，以脱水、分解等方式失重，气氛物质不参加反应；第二类，试样发生氧化还原反应，以氧化还原等方式失重，气氛物质可参加反应，如被氧气氧化等。

解析热重曲线试题的关键：应以 1 mol 物质为研究对象，抓住失重时减少的质量，结合摩尔质量，即可快速求得结果。

具体步骤：

(1) 设晶体为 1 mol。

(2) 失重一般是先失水，再失非金属氧化物。

(3) 计算每步的  $m$ （剩余）， $\frac{m(\text{剩余})}{m(1 \text{ mol 晶体})} \times 100\% = \text{固体残留率}$ 。

(4) 金属元素质量一般不减小，若存在升华现象（如  $\text{WO}_3$  在 1 000 °C 下会升华），则会导致  $m$ （剩余）中金属元素质量减小。

(5) 失重最后一般为金属氧化物，依据  $n(\text{金属}) : n(\text{O})$  可求出失重后物质的化学式。

## 检测反馈

对点练，再提升

1 [2024 苏州期末]制备的  $\text{TiO}_2$  产品中  $\text{TiO}_2$  的纯度测定。

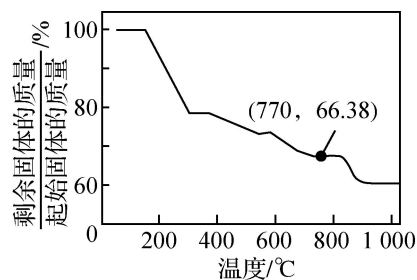
准确称取 0.200 0 g 样品，加入适量浓硫酸，加热至样品完全溶解，冷却后用水稀释，冷却至室温后再加入铝片将  $\text{TiO}^{2+}$  还原为  $\text{Ti}^{3+}$ ，用 0.100 0 mol/L  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  溶液滴定至终点，平行滴定 3 次，平均消耗  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  溶液 18.00 mL。计算样品中  $\text{TiO}_2$  的纯度：\_\_\_\_\_（Ti—48，已知： $\text{Ti}^{3+}$  可将  $\text{Fe}^{3+}$  还原为  $\text{Fe}^{2+}$ 。写出计算过程）。

2 [2025 无锡调研] $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  可用于测定水体的 COD (COD 是指每升水样中还原性物质被氧化所需要  $\text{O}_2$  的质量)。现有某水样 100.00 mL, 酸化后加入 0.100 0 mol/L 的  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  溶液 10.00 mL, 使水样中的还原性物质完全被氧化, 再用 0.200 0 mol/L 的  $\text{FeSO}_4$  溶液滴定剩余的  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  被还原为  $\text{Cr}^{3+}$ , 消耗  $\text{FeSO}_4$  溶液 25.00 mL, 则该水样的 COD 为\_\_\_\_\_mg/L (写出计算过程)。

3 [2025 泰州考前]纳米  $\text{MnO}_x$  可脱除烟气中的  $\text{SO}_2$ 。向  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$  溶液加入沉淀剂  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  或  $\text{NaOH}$ , 再经“过滤→洗涤→干燥→煅烧”等操作可制得纳米  $\text{MnO}_x$  烟气脱硫剂。

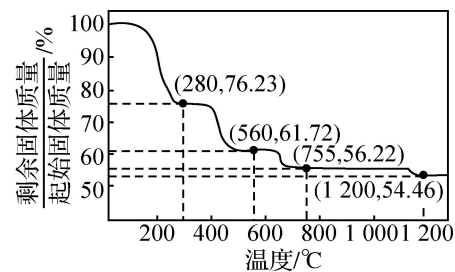
(1) 研究表明, 与  $\text{NaOH}$  相比, 用  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  作沉淀剂制得的脱硫剂脱硫效率更高, 原因是\_\_\_\_\_。

(2)  $\text{MnCO}_3$  在空气中加热时, 其固体残留率随温度的变化如图所示。若在 770  $^\circ\text{C}$  下煅烧, 计算制得的脱硫剂中  $x$  的值: \_\_\_\_\_ (Mn—55, 写出计算过程, 结果保留至小数点后 2 位)。



4 [2025 无锡期末] $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  的制备。

将  $\text{Pr}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  置于空气中灼烧，测得剩余固体质量与起始固体质量的比值随温度变化的曲线如图所示。制备  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  最适宜的温度为\_\_\_\_\_（Pr—141，写出计算过程）。



## 3 年真题

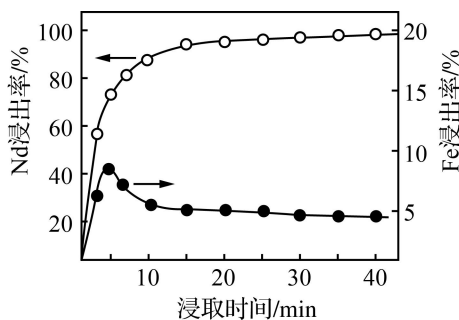
1 [2025 江苏卷]合成气经“变换”“脱碳”获得纯  $\text{H}_2$ 。

(1) 合成气变换。向绝热反应器中通入  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$  和过量的  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ： $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightarrow[\text{约 } 230\text{ }^\circ\text{C}、3\text{ MPa}]{\text{低温型催化剂}} \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 。催化作用受接触面积和温度等因素影响， $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的比热容较大。 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  过量能有效防止催化剂活性下降，其原因有\_\_\_\_\_。

(2) 脱碳在钢制吸收塔中进行，吸收液成分：质量分数 30% 的  $\text{K}_2\text{CO}_3$  吸收剂、 $\text{K}_2\text{CrO}_4$  (Cr 正价有 +3、+6) 缓蚀剂等。 $\text{K}_2\text{CO}_3$  溶液浓度偏高会堵塞设备，导致堵塞的物质是\_\_\_\_\_ (填化学式)。 $\text{K}_2\text{CrO}_4$  减缓设备腐蚀的原理是\_\_\_\_\_。

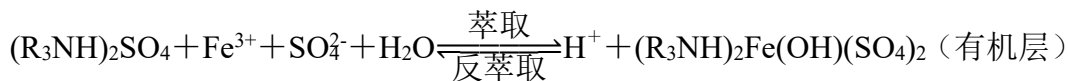
2 [2024 江苏卷]回收磁性合金钕铁硼( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ )可制备半导体材料铁酸铈和光学材料氧化钕。

(1) 钕铁硼在空气中焙烧转化为  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等 (忽略硼的化合物)，用 0.4 mol/L 盐酸酸浸后过滤得到  $\text{NdCl}_3$  溶液和含铁滤渣。Nd、Fe 浸出率 ( $\frac{\text{浸出液中某元素的物质的量}}{\text{某元素的总物质的量}} \times 100\%$ ) 随浸取时间变化如图所示。



浸出初期 Fe 浸出率先上升后下降的原因是\_\_\_\_\_。

(2) 含铁滤渣用硫酸溶解，经萃取、反萃取提纯后，用于制备铁酸铈。用含有机胺( $\text{R}_3\text{N}$ )的有机溶剂作为萃取剂提纯一定浓度的  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  溶液，原理如下：



已知： $(\text{R}_3\text{NH})_2\text{SO}_4 + \text{H}^+ + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons 2(\text{R}_3\text{NH} \cdot \text{HSO}_4)$ 。

其他条件不变,水层初始 pH 在 0.2~0.8 范围内,随水层 pH 增大,有机层中 Fe 元素含量迅速增多的原因是\_\_\_\_\_

3 [2022 江苏卷]纳米 FeS 可去除水中微量六价铬[Cr(VI)]。在 pH=4~7 的水溶液中,纳米 FeS 颗粒表面带正电荷,Cr(VI)主要以  $\text{HCrO}_4^-$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 $\text{CrO}_4^{2-}$  等形式存在,纳米 FeS 去除水中 Cr(VI)主要经过“吸附→反应→沉淀”的过程。已知: $K_{\text{sp}}(\text{FeS})=6.5\times 10^{-18}$ , $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2]=5.0\times 10^{-17}$ ;  $\text{H}_2\text{S}$  电离常数分别为  $K_{\text{a1}}=1.1\times 10^{-7}$ 、 $K_{\text{a2}}=1.3\times 10^{-13}$ 。在 pH=4~7 溶液中,pH 越大,FeS 去除水中 Cr(VI)的速率越小,原因是\_\_\_\_\_

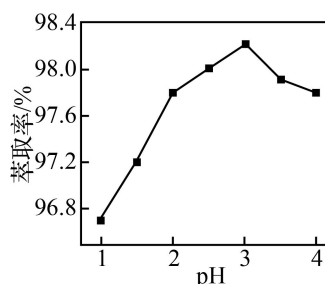
### 3 年模拟

#### [pH 的影响]

1 (1) [2025 南京调研]酸浸液经萃取、反萃取提纯后可获得较纯的  $\text{LaCl}_3$  和  $\text{CeCl}_3$  溶液。用有机萃取剂(简称 HA)提纯稀土离子( $\text{M}^{3+}$ 代表  $\text{La}^{3+}$ 或  $\text{Ce}^{3+}$ ),其反应原理为  $\text{M}^{3+}$ (水层) +  $3\text{HA}$ (有机层)  $\xrightleftharpoons[\text{反萃取}]{\text{萃取}} \text{M}(\text{A})_3$ (有机层) +  $3\text{H}^+$ (水层)。

①一种萃取剂的结构可表示为  $\text{RO}-\text{P}(\text{OH})_2$  (R 为烷基),其  $K_{\text{a}}$  \_\_\_\_\_ (填“>”“<”或“=”)  $K_{\text{a1}}(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 。

②其他条件不变,La 元素萃取率( $\frac{\text{有机层中某元素的物质的量}}{\text{某元素的总物质的量}} \times 100\%$ )随水层初始 pH 的变化如图所示。随水层初始 pH 增大,La 元素萃取率先上升后下降的原因是\_\_\_\_\_



(2) [2024 常州期末]聚合氯化铝(PAC)水解过程中会产生聚合稳定态物质  $[\text{AlO}_4\text{Al}_{12}(\text{OH})_{24}(\text{H}_2\text{O})_{12}]^{7+}$  (简称  $\text{Al}_{13}$ )。  $\text{Al}_{13}$  对水中胶体和颗粒物具有高度电中和桥联作用,是净水过程中的重要物质。

① $\text{Al}^{3+}$ 在水解过程中会产生 $[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})_2]^+$ 等产物。写出 $\text{Al}^{3+}$ 水解产生 $[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}$ 的离子方程式：\_\_\_\_\_。

②使用 $\text{Al}^{3+}$ 净水时应控制 pH 在 6.80~8.02 之间，否则净水效果不佳。在强酸性和强碱性环境时净水效果差的原因是\_\_\_\_\_。

### [温度的影响]

2 (1) [2025 苏州考前模拟] $\text{ClO}_2$ 可用于饮用水消毒，常通过 $\text{CaO}_2$ 与 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 酸化的 $\text{NaClO}_3$ 反应制备。制备 $\text{ClO}_2$ 反应的化学方程式为 $2\text{NaClO}_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaO}_2 = 2\text{ClO}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaSO}_4 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

已知： $\text{NaClO}_3$ 受热分解温度约为 $300^\circ\text{C}$ ，其他条件不变，研究温度对 $\text{NaClO}_3$ 转化率、 $\text{ClO}_2$ 收率的影响，结果如图 1 所示。

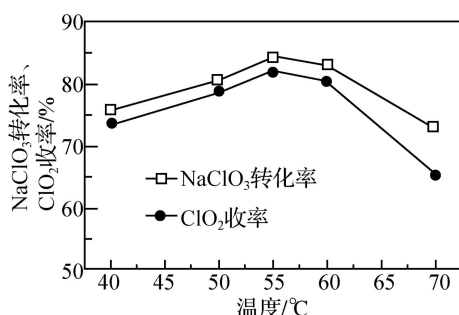
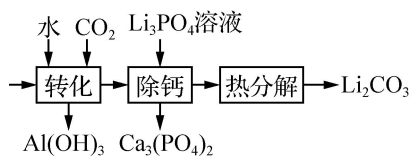


图 1

①当温度高于 $55^\circ\text{C}$ ，随着温度升高， $\text{NaClO}_3$ 转化率下降的原因是\_\_\_\_\_。

②当温度高于 $60^\circ\text{C}$ ，随着温度升高， $\text{NaClO}_3$ 转化率与 $\text{ClO}_2$ 收率之间的差值有增大趋势的原因是\_\_\_\_\_。

(2) “转化”后所得 $\text{LiHCO}_3$ 溶液中含有的 $\text{Ca}^{2+}$ 需要加入 $\text{Li}_3\text{PO}_4$ 溶液除去(部分流程如下)。



“除钙”步骤中其他条件不变，反应相同时间，温度对除钙率和 $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 产率的影响如图 2。

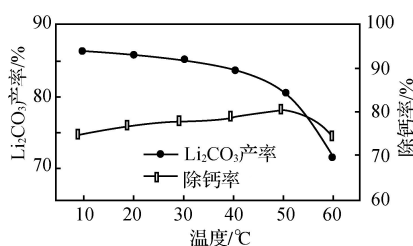


图 2

①随着温度升高,最终  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  的产率逐渐减小的原因是\_\_\_\_\_。

②当温度高于  $50\text{ }^\circ\text{C}$  时,除钙率下降的原因可能是\_\_\_\_\_。

(3) [2024 南京、盐城期末]  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$  催化剂可以催化  $\text{NH}_3$  脱除烟气中的  $\text{NO}$ 。

反应:  $4\text{NO}(\text{g}) + 4\text{NH}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 4\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$   $\Delta H = -1\,632.4\text{ kJ/mol}$ 。

将模拟烟气以一定流速通过装有  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$  催化剂的反应管,反应相同时间,测得  $\text{NO}$  转化率随温度的变化如图 3 所示。

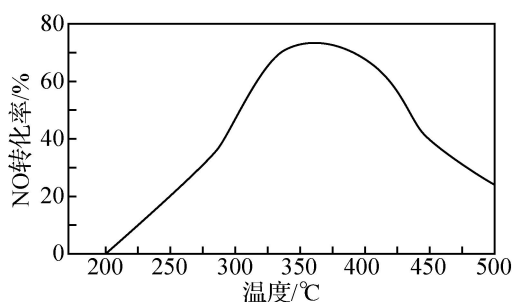


图 3

①反应温度高于  $350\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{NO}$  转化率下降的原因可能是\_\_\_\_\_。

②若烟气中含有  $\text{SO}_2$ , 则会导致催化剂失活, 原因可能是\_\_\_\_\_。

#### [物质性质与反应的影响]

3 (1) [2025 南通阶段考] 从高铝粉煤灰 (含  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和少量  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  等) 中提取镓的过程如下:

高铝粉煤灰  $\rightarrow$  焙烧  $\rightarrow$  浸取  $\rightarrow$  除硅铝  $\rightarrow$  富集镓  $\rightarrow$  电解  $\rightarrow$  镓

已知粉煤灰中  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  存在形式有两种: 一种存在于非晶质中, 易与酸或碱反应; 一种存在于由  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  组成的玻璃体结构中, 该玻璃体结构难与酸或碱反应。

①焙烧。向高铝粉煤灰中加入  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  焙烧, 得到  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 、 $\text{NaAlO}_2$ 、 $\text{NaGaO}_2$  等。焙烧过程中加入  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的作用除与  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  反应外, 还有\_\_\_\_\_。

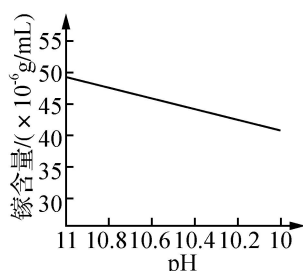
②浸取。向焙烧所得固体中加入  $\text{NaOH}$  溶液可浸取镓元素。浸取时选用  $\text{NaOH}$  溶液而不用水的原因是\_\_\_\_\_。

③除硅铝。先除去浸取液中的硅, 得到主要含  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$  和  $\text{Na}[\text{Ga}(\text{OH})_4]$  的溶液, 向其中通入  $\text{CO}_2$  至  $\text{pH}=10$ , 过滤。溶液中镓元素含量随  $\text{pH}$  变化如图所



示。pH 由 11 降到 10 的过程中，溶液中镓元素含量降低的原因是\_\_\_\_\_

[已知：pH=11 时，溶液中开始析出  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，pH=10 时，开始析出  $\text{Ga}(\text{OH})_3$ ]。



(2) [2025 扬州期末]单质硫有  $\text{S}_2$ 、 $\text{S}_4$ 、 $\text{S}_6$ 、 $\text{S}_8$  等同素异形体，可由闪锌矿（主要含  $\text{ZnS}$ 、 $\text{FeS}$ ）制备。已知：低于  $112\text{ }^\circ\text{C}$  时， $\text{S}_8$  在水溶液中呈固态，高于  $150\text{ }^\circ\text{C}$  易分解，易溶于  $\text{CCl}_4$ 。

将闪锌矿置于敞口容器中，加入硫酸浸取，边搅拌边通入  $\text{O}_2$ 。部分浸取过程如图 1 所示。

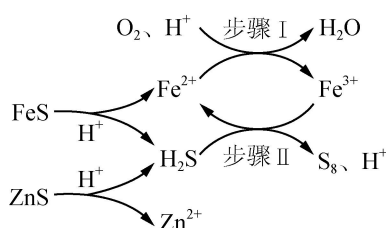


图 1

①步骤 II 反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

②高于  $112\text{ }^\circ\text{C}$  时，锌的浸出率更高，除反应速率加快外，主要原因是\_\_\_\_\_

③相同条件下，锌的浸出率和硫的氧化率随初始酸浓度的变化如图 2 所示，初始酸浓度大于  $1.6\text{ mol/L}$  时，硫的氧化率随酸浓度的增加而下降，主要原因是\_\_\_\_\_

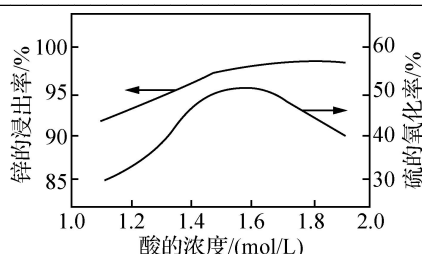


图 2

(3) [2024 无锡期末]使用  $\text{ZnMnO}_3$  脱硫剂脱除  $\text{CH}_4$  或  $\text{H}_2$  中的  $\text{H}_2\text{S}$ 。 $\text{ZnMnO}_3$  脱硫和再生的过程如图 3 所示（部分产物已省略），在脱硫过程中脱硫剂表面形成羟基，有利于  $\text{H}_2\text{S}$  的脱除。

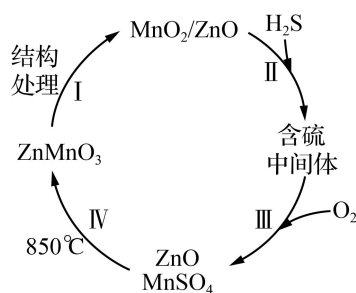


图 3

①脱除  $\text{H}_2\text{S}$  (步骤 I、II、III, 需  $350^\circ\text{C}$ ) 的化学方程式为\_\_\_\_\_。

②中间体  $\text{MnSO}_4$  对脱硫剂的再生起关键作用, 原因是\_\_\_\_\_。

③天然气中少量的水蒸气加快了  $\text{H}_2\text{S}$  的脱除, 原因是\_\_\_\_\_。

## 难点精讲

勤总结, 破难点

### 难点 1 化工生产适宜条件选择的一般原则

条件	原则
从化学反应速率分析	既不能过大, 又不能过小
从化学平衡移动分析	既要注意外界条件对速率和平衡影响的一致性, 又要注意二者影响的矛盾性
从原料的利用率分析	增加易得廉价原料, 提高难得高价原料的利用率, 从而降低生产成本
从实际生产能力分析	如设备承受高温、高压能力等
从催化剂的使用活性分析	注意催化剂的活性对温度的限制

### 难点 2★ 温度控制

#### 1 控制温度的目的

提高反应速率、提高产率和转化率、减少副反应、提高产品纯度; 加热可增大反应速率或促进反应的某个方向 (一般是有利于生成物生成的方向) 反应程度更大。

#### 2 在一定范围内控制温度的目的

(1) 若温度过低, 则反应速率 (或溶解速率) 较小。

(2) 若温度过高, 某些物质会分解 (如  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、氨水、浓硝酸、铵盐) 或挥发 (如浓硝酸、浓盐酸) 或被氧化 (如  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) 或促进水解 (如  $\text{AlCl}_3$ )。

#### 3 与温度相关的操作及目的。

(1) 加热: 增大化学反应速率或使化学平衡向某方向移动。

(2) 冷却: 防止某物质在高温时分解或使化学平衡向某方向移动。

(3) 区间内控温：若温度过低，则反应速率（或溶解速率）较小；若温度过高，则某物质（如  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、氨水、草酸、浓硝酸、铵盐）会分解或挥发。

(4) 水浴加热：受热均匀，温度可控，且温度不超过  $100\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(5) 冰水浴冷却：防止某物质分解或挥发。

(6) 趁热过滤：防止温度降低后某物质析出。

(7) 减压蒸发：降低蒸发温度，防止某物质分解（如浓缩  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液）。

### 难点 3 其他原因分析

#### 1 浓度

(1) 根据需要进行选择适宜的浓度或投料比，不仅可控制一定的反应速率，还可使反应更有利于目标产物的生成。

(2) 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，但对后续操作也会产生影响。

2 压强：改变反应速率，使平衡向需要的方向移动。

3 催化剂：选择合适的催化剂，能增大反应速率。

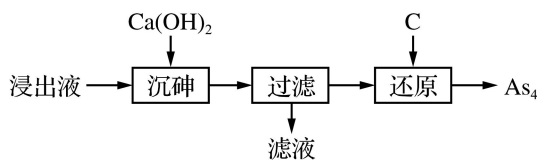
4 使用保护气：(1) 隔绝空气（主要是隔绝  $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ ）。

(2) 抑制弱离子的水解（如  $\text{HCl}$  氛围）。

#### 5 其他归因列举

目的或原因	思考方向
沉淀（晶体）洗涤的目的	若滤渣是所需的物质，洗涤的目的是除去晶体表面的可溶性杂质，得到更纯净的沉淀物
	若滤液是所需的物质，洗涤的目的是洗涤过滤所得到的滤渣，把有用的物质（如目标产物）尽可能洗出来
沉淀（晶体）用冰水洗涤的目的	既能洗去晶体表面的杂质离子，又能减少晶体在洗涤过程中的溶解损耗
沉淀（晶体）用有机溶剂（酒精、丙酮等）洗涤的目的	既能洗去晶体表面的杂质离子，又能减少晶体在洗涤过程中的溶解损耗，此外又利用有机溶剂的挥发性，除去固体表面的有机溶剂，产品易干燥
控制溶液 pH 的目的	防止 $\times\times$ 离子水解；防止 $\times\times$ 离子沉淀；确保 $\times\times$ 离子沉淀完全；防止 $\times\times$ 溶解等
温度不高于 $\times\times\text{ }^\circ\text{C}$ 的原因	温度过高， $\times\times$ 物质分解（如 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、浓硝酸、 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ）； $\times\times$ 物质挥发（如浓硝酸、浓盐酸）； $\times\times$ 物质被氧化（如 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ）；促进 $\times\times$ 物质水解（如 $\text{AlCl}_3$ ）
蒸发、反应时的气体氛围	抑制 $\times\times$ 离子水解（如加热蒸发 $\text{AlCl}_3$ 溶液时，需在 $\text{HCl}$ 气流中进行；加热 $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 得 $\text{MgCl}_2$ 时，也需在 $\text{HCl}$ 气流中进行）

1 [2025 南通如皋适应性二]某含砷废渣经水浸后, 得浸出液和滤渣, 其中浸出液中主要含  $\text{Na}_3\text{AsO}_4$ , 滤渣中含雄黄( $\text{As}_4\text{S}_4$ )。通过如下过程可分离制取单质砷( $\text{As}_4$ ):



已知:  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  是一种三元弱酸; 温度为  $25\text{ }^\circ\text{C}$  时,  $K_{\text{sp}}[\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2] = 6.8 \times 10^{-19}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{FeAsO}_4] = 5.7 \times 10^{-21}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 5.5 \times 10^{-6}$ 。

(1) 雄黄( $\text{As}_4\text{S}_4$ )在加热的条件下会被氧气氧化。1 mol  $\text{As}_4\text{S}_4$  氧化生成  $\text{As}_2\text{O}_3$  和  $\text{SO}_2$ , 转移电子的物质的量为\_\_\_\_\_mol。

(2) “沉砷”时, 控制所加  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  与溶液中  $\text{AsO}_4^{3-}$  的物质的量之比为 6, 调节起始溶液的 pH 不同, 常温反应 24 小时, 测得溶液中砷的去除率与起始 pH 的关系如图 1 所示。pH 大于 12 时, pH 越大, 溶液中砷的去除率越低的原因是\_\_\_\_\_。

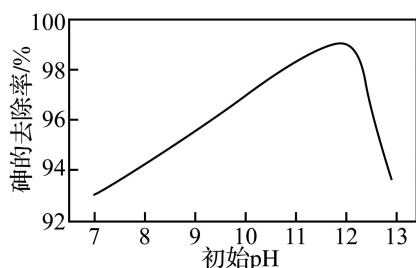


图 1

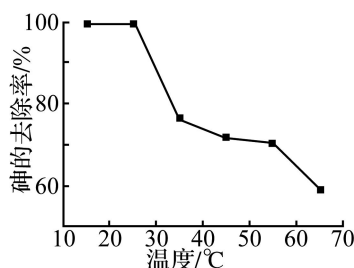


图 2

(3) “沉砷”时, 控制所加  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  与溶液中  $\text{AsO}_4^{3-}$  的物质的量之比为 6, 调节起始溶液的 pH=12, 反应 24 小时。

①溶液中砷的去除率与温度的关系如图 2 所示。温度越高, 溶液中砷的去除率越低的原因是\_\_\_\_\_。

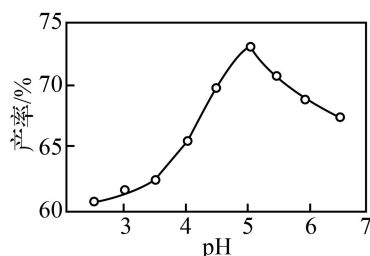
②其他条件一定, 若同时加入少量  $\text{FeCl}_3$  溶液, 所得溶液中砷的去除率将进一步增大, 原因除生成  $\text{FeAsO}_4$  沉淀进一步减小  $\text{AsO}_4^{3-}$  浓度外, 还有\_\_\_\_\_。

(4) “还原”时反应在高温条件进行, 所得产物除  $\text{As}_4$  外, 还有  $\text{CO}$  和  $\text{CaO}$ , 写出该反应的化学方程式:\_\_\_\_\_。

2 [2024 苏州调研]已知：① $\text{NaFeY} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  是一种配合物，微溶于乙醇， $20\text{ }^\circ\text{C}$  时水中的溶解度为  $4.3\text{ g}$ 。②乙二胺四乙酸（EDTA，用  $\text{H}_4\text{Y}$  表示）是一种弱酸。“制备  $\text{NaFeY}$ ”，向氧化所得的  $\text{FeCl}_3$  溶液中加入一定量  $\text{EDTA}(\text{H}_4\text{Y})$ ，控制反应温度为  $70\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ ，加入  $\text{NaHCO}_3$  溶液调节  $\text{pH}$  为 5，搅拌，直到溶液中出现少量浑浊。其中发生的反应为  $4\text{NaHCO}_3 + \text{FeCl}_3 + \text{H}_4\text{Y} \xrightarrow{70\sim 80\text{ }^\circ\text{C}} \text{NaFeY} + 3\text{NaCl} + 4\text{CO}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ 。

(1) 从反应后的混合物中获得较高产率的  $\text{NaFeY} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  粗品的实验操作是\_\_\_\_\_，过滤，水洗，干燥。检验  $\text{NaFeY} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  是否洗净的试剂是\_\_\_\_\_。

(2) 保持其他条件不变，乙二胺四乙酸铁钠的产率随反应液  $\text{pH}$  的变化如图所示。 $\text{pH}$  过低或过高产品产率均减小的主要原因是\_\_\_\_\_。



3 [2025 苏锡常镇一调]活性炭(AC)负载 Fe、Ni 材料联合  $\text{NaClO}$  可去除废水中的硝态氮。

测试性能：保持材料中碳质量不变，改变铁的质量得到铁炭质量比与  $\text{NO}_3^-$  去除率的关系如图 1 所示。不同废水初始  $\text{pH}$  对 AC-Fe/Ni 去除  $\text{NO}_3^-$  的产物选择性的影响如图 2 所示。

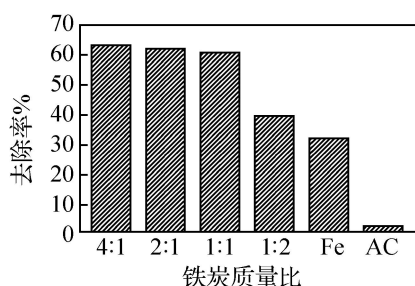


图 1

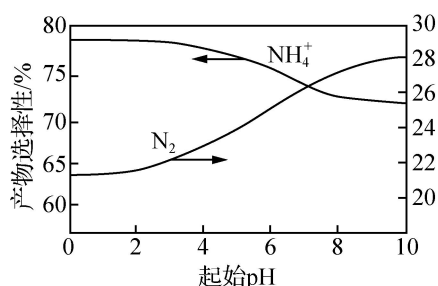


图 2

(1)  $\text{pH}=2$  时 Fe 主要转化为  $\text{Fe}^{2+}$ ，去除  $\text{NO}_3^-$  的主要反应离子方程式为\_\_\_\_\_。

(2) 铁炭质量比减小导致  $\text{NO}_3^-$  去除率减小的原因是\_\_\_\_\_。

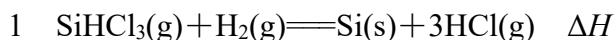
(3) 保持铁炭质量比不变，增加镍的质量， $\text{NO}_3^-$  去除率逐渐增加的原因是\_\_\_\_\_。

### 主题3 反应原理与规律

#### 微主题4 反应热 电化学

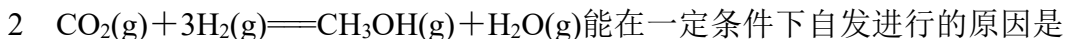
#### 基础回归

课前热身，激活思维



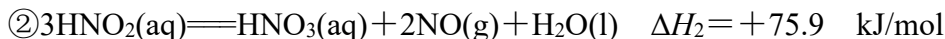
从反应前后总能量变化角度： $\Delta H =$  \_\_\_\_\_；

从键能的角度( $E$ 表示键能)： $\Delta H =$  \_\_\_\_\_。



\_\_\_\_\_。

3 已知：①  $2\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{HNO}_2(\text{aq}) \quad \Delta H_1 = -116.1 \text{ kJ/mol}$



反应  $3\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NO}(\text{g})$  的  $\Delta H =$  \_\_\_\_\_ kJ/mol。

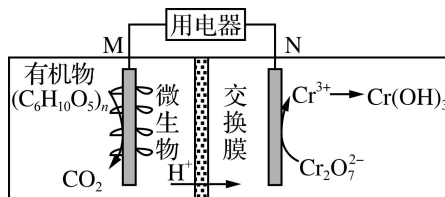
4 如图为某微生物燃料电池净化水的原理。下列说法正确的是( )

A. N极为负极，发生氧化反应

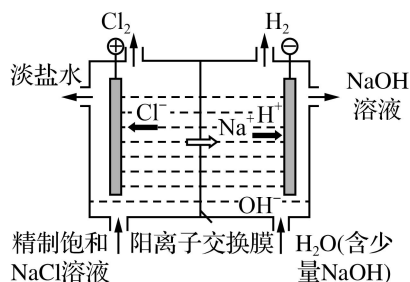
B. 电池工作时，N极附近溶液pH减小

C. M极发生的电极反应为  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n - 24ne^- + 7n\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 6n\text{CO}_2 \uparrow + 24n\text{H}^+$

D. 处理  $0.1 \text{ mol Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  时，有  $1.4 \text{ mol H}^+$  从交换膜左侧向右侧迁移



5 电解饱和食盐水(氯碱工业)。



阳极反应式：\_\_\_\_\_，

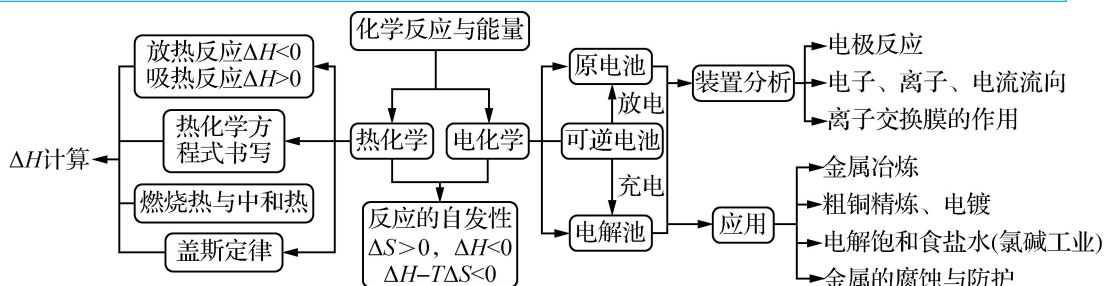
阴极反应式：\_\_\_\_\_。

阳离子交换膜的作用：\_\_\_\_\_；\_\_\_\_\_；

\_\_\_\_\_。

## 体系建构

化散为整，融会贯通



## 名卷优选

研好题，悟方法

### 3 年真题

#### 考向 1 化学反应与能量小综合

1 下列说法正确的是\_\_\_\_\_ (填序号)。

①[2023 江苏卷改编]金属硫化物( $M_xS_y$ )催化反应  $CH_4(g) + 2H_2S(g) \rightleftharpoons CS_2(g) + 4H_2(g)$ , 该反应的  $\Delta S < 0$

②[2022 江苏卷改编]用尿素水解生成的  $NH_3$  催化还原  $NO$ , 是柴油机车尾气净化的主要方法。反应为  $4NH_3(g) + O_2(g) + 4NO(g) \rightleftharpoons 4N_2(g) + 6H_2O(g)$ , 反应  $\Delta S < 0$

③[2021 江苏卷改编]对于反应  $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ , 该反应的  $\Delta H < 0$ ,  $\Delta S < 0$

④[2020 江苏卷改编]反应  $SiCl_4(g) + 2H_2(g) \xrightarrow{\text{高温}} Si(s) + 4HCl(g)$  可用于纯硅的制备, 用  $E$  表示键能, 该反应  $\Delta H = 4E(Si-Cl) + 2E(H-H) - 4E(H-Cl)$

⑤[2024 江苏卷改编] $SO_2$  与  $O_2$  反应生成  $SO_3$ , 催化剂  $V_2O_5$  能减小该反应的焓变

⑥[2023 江苏卷改编] $H_2O(g)$  与足量  $C(s)$  反应生成 1 mol  $H_2(g)$  和 1 mol  $CO(g)$  吸收 131.3 kJ 的热量。则有  $C(s) + H_2O(g) \rightleftharpoons H_2(g) + CO(g)$   $\Delta H = -131.3 \text{ kJ/mol}$

⑦[2022 江苏卷改编]甲烷具有较大的燃烧热(890.3 kJ/mol), 则甲烷的燃烧:  $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + 2H_2O(g)$   $\Delta H = -890.3 \text{ kJ/mol}$

#### 考向 2 $\Delta H$ 计算及盖斯定律的应用

2 [2025 江苏卷]合成气制备甲醇:  $CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$ 。CO 的结构式为  $C \equiv O$ , 估算该反应的  $\Delta H$  需要\_\_\_\_\_ (填数字) 种化学键的键能数据。

3 [2023 江苏卷改编]二氧化碳加氢制甲烷过程中的主要反应如下:

反应 I:  $CO_2(g) + 4H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + 2H_2O(g)$   $\Delta H = -164.7 \text{ kJ/mol}$

反应 II:  $CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$   $\Delta H = +41.2 \text{ kJ/mol}$

问题 1:

反应 III:  $2CO_2(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g) + 2H_2O(g)$   $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ/mol}$

反应 IV:  $2CO(g) + 2H_2O(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g) + 2H_2(g)$   $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ/mol}$

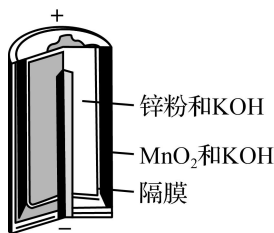
反应 V:  $2CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + CH_4(g)$   $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ/mol}$

问题 2:

根据反应 I、II 与反应 V 的关系, 找准反应物和生成物, 注意计量数; 把反应 V 没有出现的物质计量数对应约掉。反应 V = \_\_\_\_\_  
或反应 I + 反应 IV。ΔH 计算同化学方程式。

考向 3 原电池的工作原理及应用

4 [2024 江苏卷] 碱性锌锰电池的总反应为  $\text{Zn} + 2\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{ZnO} + 2\text{MnOOH}$ , 电池构造示意图如图所示。下列有关说法正确的是( )



- A. 电池工作时,  $\text{MnO}_2$  发生氧化反应
- B. 电池工作时,  $\text{OH}^-$  通过隔膜向正极移动
- C. 环境温度过低, 不利于电池放电
- D. 反应中每生成 1 mol  $\text{MnOOH}$ , 转移电子数为  $2 \times 6.02 \times 10^{23}$

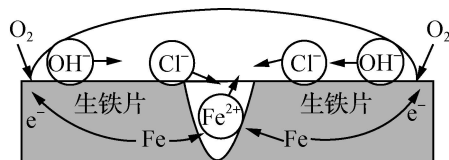
5 [2024 江苏卷] 在  $\text{AgCl}$  沉淀中埋入铁圈并压实, 加入足量 0.5 mol/L 盐酸后静置, 充分反应得到 Ag。不与铁圈直接接触的  $\text{AgCl}$  也能转化为 Ag 的原因是 \_\_\_\_\_。

6 [2025 江苏卷] 海洋出水铁质文物表面有凝结物, 研究其形成原理和脱氯方法对保护文物意义重大。

(1) 文物出水清淤后, 须尽快浸泡在  $\text{NaOH}$  稀溶液或  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中进行现场保护。文物浸泡在碱性溶液中比暴露在空气中能减缓吸氧腐蚀, 其原因有 \_\_\_\_\_。

(2) 有氧环境中, 海水中的铁质文物表面形成  $\text{FeOOH}$  等凝结物。

① 铁在盐水中腐蚀的可能原理如图所示。依据原理设计如下实验: 向  $\text{NaCl}$  溶液中加入  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  溶液 (能与  $\text{Fe}^{2+}$  形成蓝色沉淀) 和酚酞, 将混合液滴到生铁片上。预测该实验的现象为 \_\_\_\_\_。

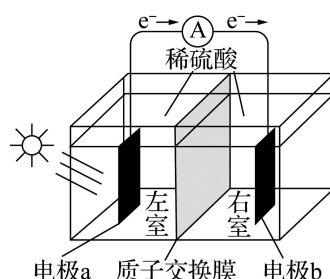


② 铁的氢氧化物吸附某些阳离子形成带正电的胶粒, 是凝结物富集  $\text{Cl}^-$  的可能原因。该胶粒的形成过程中, 参与的主要阳离子有 \_\_\_\_\_ (填离子符号)。



考向 4 电解池的工作原理及应用

7 [2025 江苏卷]以稀硫酸为电解质溶液的光解水装置如图所示,总反应为

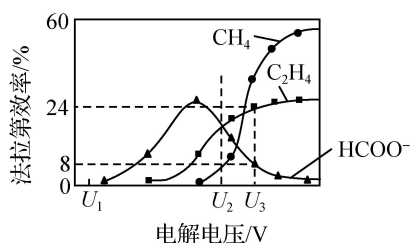


- A. 电极 a 上发生氧化反应生成  $\text{O}_2$   
 B.  $\text{H}^+$  通过质子交换膜从右室移向左室  
 C. 光解前后,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液的 pH 不变  
 D. 外电路每通过  $0.01 \text{ mol}$  电子, 电极 b 上产生  $0.01 \text{ mol H}_2$

8 下列说法不正确的是\_\_\_\_\_ (填序号)。

- ①[2023 江苏卷改编]电解水制氢的阳极反应:  $2\text{H}_2\text{O} - 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$   
 ②[2022 江苏卷改编]铅酸蓄电池放电时的正极反应:  $\text{Pb} - 2\text{e}^- + \text{SO}_4^{2-} = \text{PbSO}_4$

9 [2023 江苏卷]空气中  $\text{CO}_2$  含量的控制和  $\text{CO}_2$  资源利用具有重要意义。催化电解吸收  $\text{CO}_2$  的  $\text{KOH}$  溶液可将  $\text{CO}_2$  转化为有机物。在相同条件下, 恒定通过电解池的电量, 电解得到的部分还原产物的法拉第效率( $FE\%$ )随电解电压的变化如图。



$$FE\% = \frac{Q_X (\text{生成还原产物 X 所需要的电量})}{Q_{\text{总}} (\text{电解过程中通过的总电量})} \times 100\%。$$
 其中,  $Q_X = nF$ ,  $n$  表

示电解生成还原产物 X 所转移电子的物质的量,  $F$  表示法拉第常数。

(1) 当电解电压为  $U_1 \text{ V}$  时, 电解过程中含碳还原产物的  $FE\%$  为 0, 阴极主要还原产物为\_\_\_\_\_ (填化学式)。

(2) 当电解电压为  $U_2 \text{ V}$  时, 阴极由  $\text{HCO}_3^-$  生成  $\text{CH}_4$  的电极反应式为\_\_\_\_\_。

(3) 当电解电压为  $U_3 \text{ V}$  时, 电解生成的  $\text{C}_2\text{H}_4$  和  $\text{HCOO}^-$  物质的量之比为多少 (写出计算过程)?

考向 1 化学反应与能量小综合

1 下列说法正确的是\_\_\_\_\_ (填序号)。

①[2025 南京调研]乙醛催化加氢反应中,  $\text{H}_2$  在催化剂 Ni 表面吸附过程的  $\Delta S > 0$

②[2025 苏州期初]肼( $\text{N}_2\text{H}_4$ )常温下为液态, 燃烧热为  $642 \text{ kJ/mol}$ , 肼的燃烧:  
 $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -642 \text{ kJ/mol}$

③[2024 南通六市一模] $\text{SO}_2$  与  $\text{O}_2$  在  $400 \sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5$  催化作用下反应生成  $\text{SO}_3$ , 每生成  $1 \text{ mol SO}_3$  释放出  $98.3 \text{ kJ}$  的热量, 则  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[400 \sim 500 \text{ }^\circ\text{C}]{\text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -196.6 \text{ kJ/mol}$

④[2024 南京江宁期末]已知  $4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -116 \text{ kJ/mol}$ , 则  $4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H < -116 \text{ kJ/mol}$

2 [2024 盐城、南京期末]氨的饱和食盐水捕获  $\text{CO}_2$  是  $\text{CO}_2$  利用的方法之一, 反应原理如下:  $\text{NaCl}(\text{aq}) + \text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{NaHCO}_3(\text{s}) + \text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$ 。该反应常温下能自发进行的原因是\_\_\_\_\_。

考向 2  $\Delta H$  计算及盖斯定律的应用

3 (1) [2025 南京二模] $\text{CH}_4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 重整制氢过程中的主要反应(忽略其他副反应)如下:

① $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +206 \text{ kJ/mol}$

② $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -41 \text{ kJ/mol}$

反应  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g})$  的  $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ/mol}$

(2) [2024 南京学情调研]“碳达峰、碳中和”是我国社会发展重大战略之一。 $\text{CH}_4$  与  $\text{CO}_2$  经催化重整可制得  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$ , 相关反应如下:

主反应:

$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H$

副反应:

I.  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H_1$

II.  $2\text{CO}(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s}) \quad \Delta H_2$

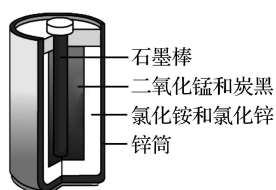
III.  $\text{CH}_4(\text{g}) = \text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H_3$

IV.  $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = \text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_4$

其中, 副反应 II、III、IV 形成的积碳易导致催化剂活性降低。主反应的  $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

### 考向3 原电池的工作原理及应用

4 [2025 苏州期初]普通锌锰干电池的构造如图所示。关于该电池及其工作原理,下列说法正确的是( )

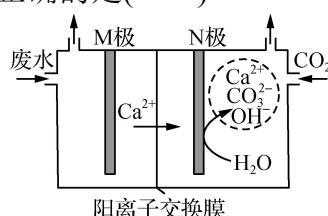


- A. 石墨作电池的负极材料
- B. 电池工作时,  $\text{NH}_4^+$  向负极方向移动
- C. 电池工作时,  $\text{MnO}_2$  发生氧化反应
- D. 环境温度过低, 不利于电池放电

5 [2024 南京二模]绿矾( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )还原法和铁粉还原法均可用于处理废水中的  $\text{Cr(VI)}$ 。为探究铜离子浓度对  $\text{Cr(VI)}$  去除率的影响, 向 1 000 mL 某浓度酸性废水中加入 2.0 g 铁粉, 随着  $\text{Cu}^{2+}$  浓度由 0 升高至 15 mg/L, 测得废水中  $\text{Cr(VI)}$  的去除率增大, 其可能原因为\_\_\_\_\_。

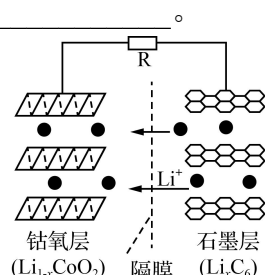
### 考向4 电解池的工作原理及应用

6 [2025 苏州期末]冶金废水(主要含  $\text{CaCl}_2$ )通过“电解-碳化”制备  $\text{CaCO}_3$  的装置如图所示。下列说法不正确的是( )



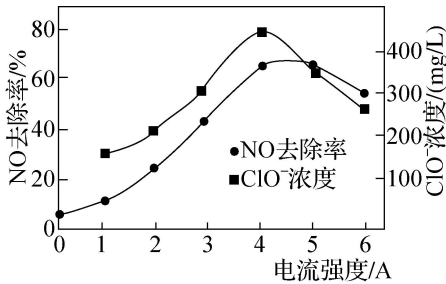
- A. M 极上产生黄绿色气体
- B. 电解前后, N 极区溶液的 pH 基本不变
- C. 电解总反应为  $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \xrightarrow{\text{通电}} \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$
- D. 1 mol  $\text{Ca}^{2+}$  通过阳离子交换膜时, 理论上共产生 44.8 L 的气体

7 (1) [2024 南通、泰州等八市三模]钴酸锂电池放电时示意图如图所示。放电时,  $\text{Li}^+$  从  $\text{Li}_x\text{C}_6$  中脱嵌。请写出放电至完全时  $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$  电极的电极反应式:



(2) [2024 盐城、南京期末] 催化电解吸收  $\text{CO}_2$  的  $\text{KOH}$  溶液可将  $\text{CO}_2$  转化为有机物。 $\text{HCO}_3^-$  在阴极放电生成  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  的电极反应式为\_\_\_\_\_。

(3) [2025 盐城、南京期末] 电解食盐水，利用生成的  $\text{ClO}^-$  将废气中  $\text{NO}$  氧化为  $\text{NO}_3^-$ 。电解  $0.1 \text{ mol/L NaCl}$  溶液， $\text{NO}$  去除率、溶液中  $\text{ClO}^-$  浓度与电流强度的关系如图所示。当电流强度大于  $4 \text{ A}$  时，随着电流强度的增大， $\text{NO}$  去除率降低的可能原因是\_\_\_\_\_。



核心串讲

勤总结，抓重点

核心 1 反应热 热化学方程式

1 焓变  $\Delta H$  的计算

$\Delta H$ 与反应前后物质的能量	<p>放热反应</p>	<p>吸热反应</p>
	$\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$	
$\Delta H$ 与键能	$\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$	
$\Delta H$ 与活化能	$\Delta H = \text{正反应活化能} - \text{逆反应活化能}$	
$\Delta H$ 与盖斯定律	<p><math>\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}</math></p>	
$\Delta H$ 与燃烧热	<p>已知 、<math>\text{H}_2</math>、 的燃烧热依次为 <math>\Delta H_1</math>、<math>\Delta H_2</math>、<math>\Delta H_3</math>，则反应  (g) + <math>3\text{H}_2(\text{g}) = \text{img alt{cyclohexane ring structure}}(\text{g})</math> 的 <math>\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}</math></p>	

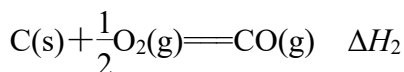
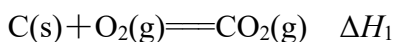
说明 1 mol 常见物质中含有的  $\sigma$  键的物质的量。

晶体硅： $\text{Si}-\text{Si}$ \_\_\_\_\_  $\text{SiO}_2$ ： $\text{Si}-\text{O}$ \_\_\_\_\_

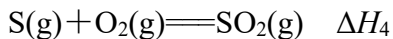
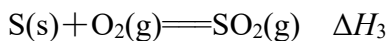
石墨： $\text{C}-\text{C}$ \_\_\_\_\_ 金刚石： $\text{C}-\text{C}$ \_\_\_\_\_

白磷( $\text{P}_4$ )： $\text{P}-\text{P}$ \_\_\_\_\_

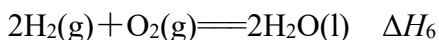
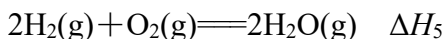
## 2 比较焓变的大小



则 $\Delta H_1$ \_\_\_\_\_ $\Delta H_2$ 。

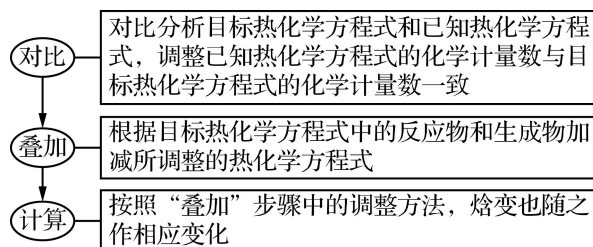


则 $\Delta H_3$ \_\_\_\_\_ $\Delta H_4$ 。



则 $\Delta H_5$ \_\_\_\_\_ $\Delta H_6$ 。

## 3 根据盖斯定律计算 $\Delta H$ 的步骤和方法



## 4\* 键能与反应

化学反应的本质是\_\_\_\_\_。反应物键能越高，断键时需要\_\_\_\_\_的能量越多，反应的活化能可能随之升高，导致反应更难发生。但反应中并不是所有化学键均断裂，这样会使反应变得容易。如 $\text{N}_2$ 在部分加成反应或配位反应中， $\text{N}\equiv\text{N}$ 可能仅发生部分断裂[在特定催化剂作用下， $\text{N}_2$ 可能先断裂一个键（形成 $\text{N}=\text{N}$ ），逐步加氢生成中间产物（形成 $\text{N}-\text{N}$ ），最终才完全断裂]，甚至保持三键但通过配位作用参与反应（如某些固氮酶中的 $\text{N}_2$ 金属配合物）。\_\_\_\_（填“反应物”或“产物”，下同）键能高通常使反应更难启动，\_\_\_\_\_键能高则促进反应进行。实际中需结合活化能、反应条件等因素，不能仅凭键能单一指标判断反应难易。

**例 1** (1) 从共价键类型及键能角度分析， $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$  分子为什么易发生加成反应：\_\_\_\_\_。

(2)  $\text{N}\equiv\text{N}$  的键能很高，在催化剂表面吸附解离的活化能高，为合成氨反应的决速步骤，需要更多的催化活性中心支持，所以占比大，选择投料比 $\frac{n(\text{N}_2)}{n(\text{H}_2)}=$ \_\_\_\_\_（填字母）。

A. 1 : 3

B. 1 : 2.8

C. 1 : 3.2

**例 2** (1) CO 与 N<sub>2</sub> 分子中电子总数相等，结构与物理性质相似。结合事实判断 CO 和 N<sub>2</sub> 中化学性质更活泼的是\_\_\_\_\_，试用下表中的键能数据解释其相对更活泼的原因：\_\_\_\_\_。

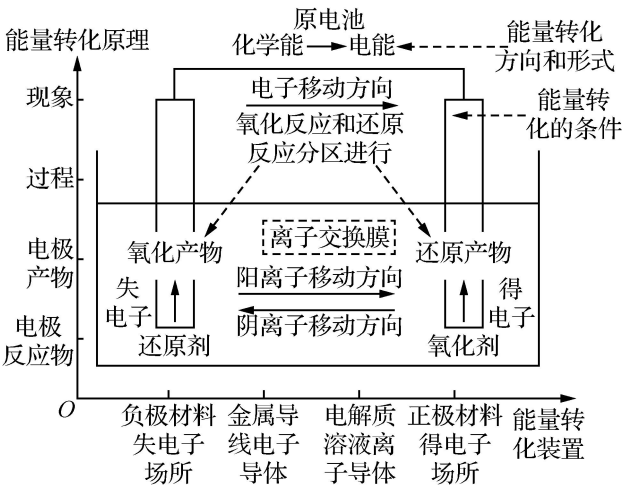
化学键	C—O	C=O	C≡O
键能/(kJ/mol)	351	745	1 072
化学键	N—N	N=N	N≡N
键能/(kJ/mol)	159	418	946

(2) CO<sub>2</sub> 氧化 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 脱氢制 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 的热化学方程式为 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(g)+CO<sub>2</sub>(g)====C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(g)+CO(g)+H<sub>2</sub>O(g) Δ*H*。几种化学键的键能数据如下，结合键能数据分析该技术的难点：\_\_\_\_\_。

化学键	C—C	C—H	C=O
键能/(kJ/mol)	347.7	413.4	745

核心 2 原电池原理与应用

1 原电池工作原理



2 燃料电池电极反应式的书写（以 CH<sub>3</sub>OH 燃料电池为例，体会不同介质对电极反应的影响）

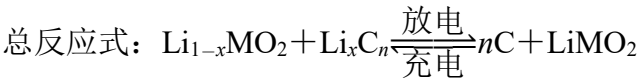
电池类型	导电介质	反应式	
酸性燃料电池	H <sup>+</sup>	总反应	2CH <sub>3</sub> OH+3O <sub>2</sub> ====2CO <sub>2</sub> +4H <sub>2</sub> O
		负极反应	_____
		正极反应	_____
碱性燃料电池	OH <sup>-</sup>	总反应	2CH <sub>3</sub> OH+3O <sub>2</sub> +4OH <sup>-</sup> ====2CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +6H <sub>2</sub> O
		负极反应	_____
		正极反应	_____
熔融碳酸盐燃料电池	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	总反应	2CH <sub>3</sub> OH+3O <sub>2</sub> ====2CO <sub>2</sub> +4H <sub>2</sub> O
		负极反应	_____

		正极反应	_____
固态氧化物 燃料电池	O <sup>2-</sup>	总反应	2CH <sub>3</sub> OH + 3O <sub>2</sub> = 2CO <sub>2</sub> + 4H <sub>2</sub> O
		负极反应	_____
		正极反应	_____

### 3 锂离子电池充、放电分析

正极材料：LiMO<sub>2</sub> (M: Co、Ni、Mn 等)、LiM<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M: Co、Ni、Mn 等)、LiMPO<sub>4</sub> (M: Fe 等)

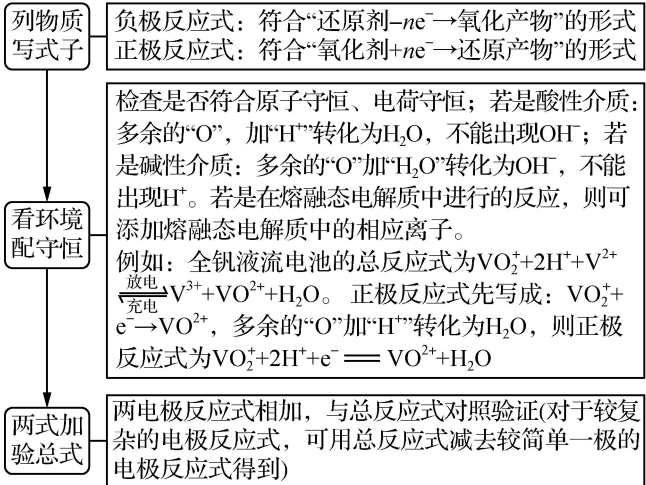
负极材料：石墨（能吸附锂原子）



负极反应式：\_\_\_\_\_

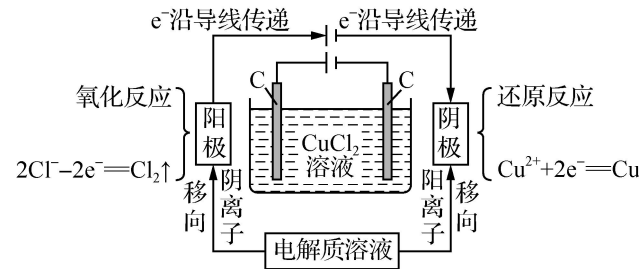
正极反应式：\_\_\_\_\_

### 4 新型化学电源电极反应式的书写



### 核心 3 电解原理与应用

#### 1 电解池模型——以惰性电极电解 CuCl<sub>2</sub> 溶液为例



#### 2 电解池电极反应式的书写

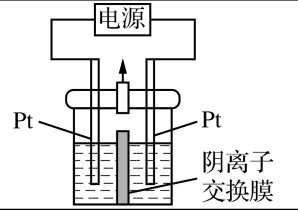
##### (1) 提取“信息”书写电极反应式

铝为阳极，在 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液中电解， 铝表面形成氧化膜	总反应	$2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$
	阳极	_____
	阴极	_____

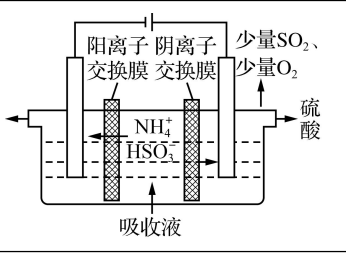
用 Al 单质作阳极，石墨作阴极， NaHCO <sub>3</sub> 溶液作电解液进行电解， 生成 Al(OH) <sub>3</sub>	阳极	_____
	阴极	_____
用惰性电极电解 K <sub>2</sub> MnO <sub>4</sub> 溶液得 到 KMnO <sub>4</sub>	总反应	_____
	阳极	_____
	阴极	_____
离子液体是一种室温熔融盐，为非 水体系。有机阳离子、Al <sub>2</sub> Cl <sub>7</sub> <sup>-</sup> 和 AlCl <sub>4</sub> <sup>-</sup> 组成的离子液体作电解液 时，可在钢制品上电镀铝	阳极	_____
	阴极	_____
将一定浓度的磷酸二氢铵 (NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )、氯化锂混合液作为电 解液，以铁棒作阳极，石墨作阴极， 电解析出 LiFePO <sub>4</sub> 沉淀	阳极	_____
	阴极	_____

(2) 根据“交换膜”利用“信息”书写电极反应式

①电解装置如图，电解槽内装有 KI 及淀粉溶液，中间用阴离子交换膜隔开。在一定的电压下通电，发现左侧溶液变蓝色，一段时间后，蓝色逐渐变浅。已知：  
 $3\text{I}_2 + 6\text{OH}^- = \text{IO}_3^- + 5\text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ 。

	阳极	_____
	阴极	_____

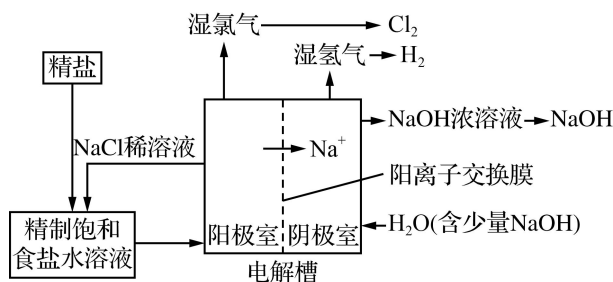
②可用氨水作为吸收液吸收工业废气中的 SO<sub>2</sub>，当吸收液失去吸收能力时，可通过电解法使吸收液再生而循环利用（电极均为石墨电极），并生成化工原料硫酸。其工作示意图如下：

	阳极 (主反应)	_____
	阴极	_____



### 3 电解原理的应用

#### (1) 电解饱和食盐水（氯碱工业）



阳极反应式：\_\_\_\_\_

阴极反应式：\_\_\_\_\_

总化学方程式：\_\_\_\_\_

#### (2) 电解精炼铜

电极材料：粗铜作\_\_\_\_\_；纯铜作\_\_\_\_\_。

电解质溶液：\_\_\_\_\_。

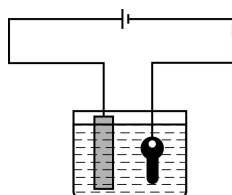
阳极反应式： $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Ni} - 2\text{e}^- = \text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Cu} - 2\text{e}^- = \text{Cu}^{2+}$

阴极反应式：\_\_\_\_\_

阳极泥的形成：在电解过程中，活动性位于铜之后的银、金等杂质，难以在阳极失去电子变成阳离子而溶解，它们以金属单质的形式沉积在电解槽底部，形成阳极泥。

#### (3) 电镀

如图为金属表面镀银的工作示意图。



镀件作\_\_\_\_\_，镀层金属银作\_\_\_\_\_。电解质溶液是\_\_\_\_\_。

阳极反应式：\_\_\_\_\_

阴极反应式：\_\_\_\_\_

特点：阳极溶解，阴极沉积，电镀液的浓度\_\_\_\_\_（填“变大”“变小”或“不变”）。

#### 4★ 电极竞争放电

电极竞争放电是指在电解池或原电池中，多个可能发生的电极反应（氧化或还原反应）同时存在时，因反应难易程度不同而出现的优先放电现象。竞争放电的本质是不同反应争夺电子的过程。

##### (1) 常见放电顺序（以水溶液电解为例）

阴极（还原反应，阳离子得电子）：

金属活动性顺序逆序（部分）： $\text{Ag}^+ > \text{Hg}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{H}^+$ （酸中） $> \text{Pb}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{H}^+$ （水中） $> \text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ 等。如电解含  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{H}^+$  的溶液时，阴极产物为\_\_\_\_\_。

阳极（氧化反应，阴离子失电子或电极本身氧化）：

若阳极为活性电极（如  $\text{Cu}$ 、 $\text{Fe}$  等）：电极本身优先失电子被氧化。若阳极为惰性电极（如石墨、 $\text{Pt}$ ）：放电顺序为  $\text{S}^{2-} > \text{I}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{OH}^- > \text{含氧酸根}$ （如  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ ）。如电解含  $\text{Cl}^-$  和  $\text{OH}^-$  的溶液时，\_\_\_\_\_优先在阳极放电。

(2) 竞争放电的顺序受离子浓度等因素影响（电极上产生的气体会阻碍离子吸附）

电解食盐水时， $\text{Cl}^-$  浓度高时（常温下饱和氯化钠溶液浓度为 26.4%）在阳极失电子生成  $\text{Cl}_2$ ；当  $\text{Cl}^-$  浓度低于 15% 时， $\text{OH}^-$  竞争放电产生  $\text{O}_2$ ，而且  $\text{Cl}^-$  浓度越低， $\text{O}_2$  产量越高， $\text{Cl}_2$  产量降低。

**例 3** (1) 电解含  $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  的溶液可获得铁。为提高阴极的电解效率，可加入少量具有还原性的弱酸盐柠檬酸钠，其作用是\_\_\_\_\_。

(2) 实验室利用铁基催化剂进行电催化硝酸盐还原合成氨的装置如图 1。电解时， $\text{NO}_3^-$  先吸附到催化剂表面放电产生  $\text{NH}_4^+$ 。控制其他条件不变， $\text{NH}_4^+$  的产率和法拉第效率( $FE\%$ )随 pH 变化如图 2。pH 从 5 变化到 3 时， $\text{NH}_4^+$  的产率逐渐减小的原因可能为\_\_\_\_\_。

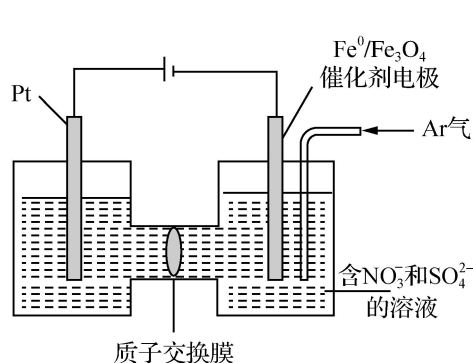


图 1

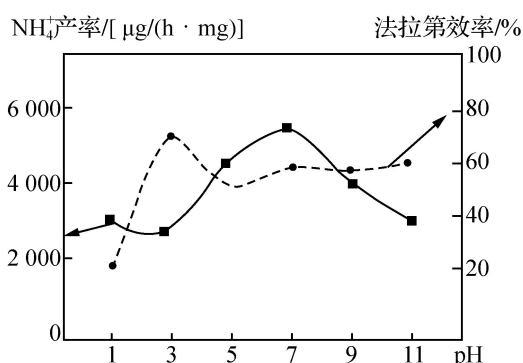


图 2

## 5 金属的电化学防护

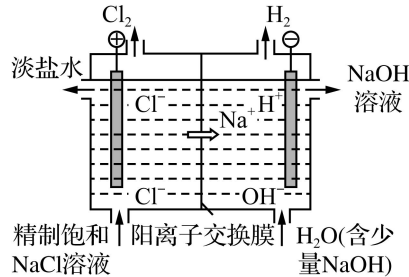
牺牲阳极法（原电池原理）：被保护的金属作\_\_\_\_\_，比被保护的金属活泼的金属作\_\_\_\_\_。

外加电流法（电解池原理）：被保护的金属作\_\_\_\_\_，惰性电极作\_\_\_\_\_。

核心 4 离子交换膜

1 离子交换膜的作用

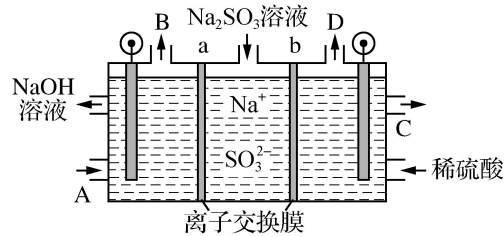
- (1) 可平衡左、右两侧电荷，得到稳定电流。
- (2) 能将两极区隔离，阻止两极区产生的物质接触，防止发生化学反应。



阳离子交换膜只允许  $\text{Na}^+$  通过，阻止阴离子( $\text{Cl}^-$ )和气体( $\text{Cl}_2$ )通过。这样既防止了两极产生的  $\text{H}_2$  和  $\text{Cl}_2$  混合爆炸，又避免了  $\text{Cl}_2$  和阴极产生的\_\_\_\_\_反应生成  $\text{NaClO}$  而影响烧碱的质量。

- (3) 制备某些特定产品。

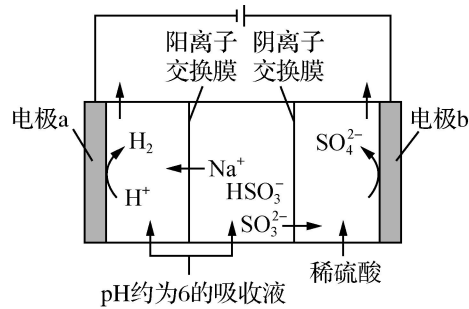
用  $\text{NaOH}$  溶液吸收烟气中的  $\text{SO}_2$ ，将所得的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液进行电解，可循环再生  $\text{NaOH}$ ，同时得到  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，其原理如图所示。



- ①A 为\_\_\_\_\_；C 为\_\_\_\_\_。
- ②a 为\_\_\_\_\_（填“阴离子”或“阳离子”，下同）交换膜；b 为\_\_\_\_\_交换膜。

2 多膜电解池中电极反应式的书写及分析

双膜三室电解技术处理吸收液（用  $\text{NaOH}$  溶液吸收烟气中的  $\text{SO}_2$ ）



阳极反应式	$\text{HSO}_3^- - 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}^+$ 或 $\text{SO}_3^{2-} - 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$
吸收液 (或污水)	$\text{Na}^+$ 穿过阳离子交换膜进入阴极室（左室）； $\text{HSO}_3^-$ 和 $\text{SO}_3^{2-}$ 穿过阴离子交换膜进入阳极室（右室）
产品	阳极室：较浓硫酸；阴极室：_____

1 [2025 苏州期末]下列有关反应  $\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的说法正确的是( )

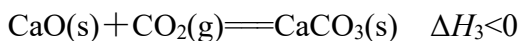
A. 反应的  $\Delta S > 0$

B. 该反应的平衡常数表达式为  $K = \frac{c(\text{CH}_4) \cdot c^2(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c^4(\text{H}_2)}$

C. 反应的  $\Delta H = 4E(\text{C}-\text{H}) + 4E(\text{O}-\text{H}) - 2E(\text{C}=\text{O}) - 4E(\text{H}-\text{H})$  ( $E$  表示键能)

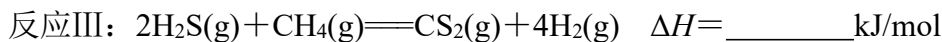
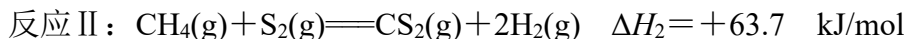
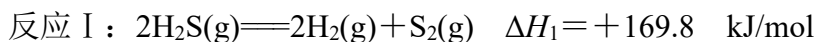
D. 反应在高温、高压和催化剂条件下进行可提高  $\text{H}_2$  的平衡转化率

2 (1) [2025 常州期末] $\text{CaO}$  用于  $\text{CH}_2\text{O}$  体系制  $\text{H}_2$  工艺的主要反应(忽略其他副反应)如下:

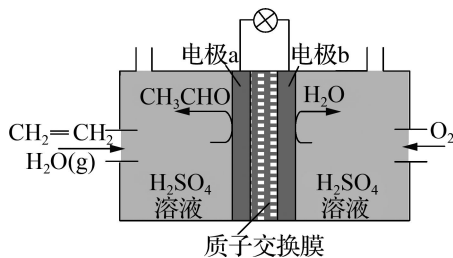


反应  $\text{C}(\text{s}) + \text{CaO}(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g})$  的焓变  $\Delta H =$  \_\_\_\_\_。

(2) [2024 苏锡常镇一调]采用热分解法脱除沼气中的  $\text{H}_2\text{S}$  过程中涉及的主要反应如下:



3 [2025 南通、泰州、镇江一调]某乙烯燃料电池的工作原理如图所示。下列说法正确的是( )



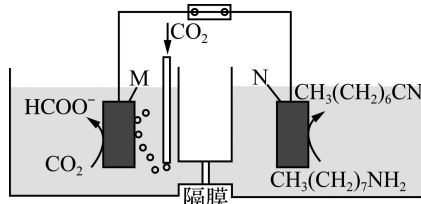
A. 放电时, 电子由电极 b 经外电路流向电极 a

B. 电极 a 的电极反应式为  $\text{CH}_2=\text{CH}_2 - 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CHO} + 2\text{H}^+$

C. 当有  $0.2 \text{ mol H}^+$  通过质子交换膜时, 电极 b 表面理论上消耗  $\text{O}_2$  的体积为  $1.12 \text{ L}$

D. 验证生成  $\text{CH}_3\text{CHO}$  的操作: 取反应后的左室溶液, 加入新制  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , 加热, 观察现象

4 [2025 南通、泰州等七市二调]一种以 NaOH 为介质电催化还原  $\text{CO}_2$  的工作原理如下图所示。下列说法正确的是( )



- A. 电解池工作时,  $\text{OH}^-$  由右室通过隔膜向左室移动  
 B. M 为电解池的阳极  
 C. N 电极上发生的反应:  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{NH}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{OH}^- = \text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CN} + 4\text{H}_2\text{O}$   
 D. 电路中通过  $2\text{ mol e}^-$  时, 理论上有  $1\text{ mol CO}_2$  被还原

5 (1) [2026 南京期初] $\text{MnO}_2$  可用于制造电池, 从锌阳极泥(主要成分为  $\text{MnO}_2$ 、 $\text{PbO}_2$ 、 $\text{PbO}$ ) 中可回收  $\text{MnO}_2$ 。将一定质量硫脲[ $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ ]溶于  $2\text{ mol/L}$  硫酸溶液中制得酸浸液, 将一定量锌阳极泥与酸浸液反应一段时间后过滤, 得到酸浸渣和滤液[硫脲参与反应生成  $\text{MnSO}_4$  和  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ]。取一定体积滤液, 以石墨片作阴、阳极, 电解获得  $\text{MnO}_2$ 。

①写出阳极反应式: \_\_\_\_\_。

②电解效率  $[\eta(\text{X}) = \frac{n(\text{生成 X 所用电子})}{n(\text{通过电极电子})} \times 100\%]$  是衡量电解过程中能量转

换和物质产出效率的关键指标。电解前期  $\eta(\text{MnO}_2)$  较低, 其可能原因是\_\_\_\_\_。

电解后获得  $3\text{ g}$  含  $95.7\% \text{ MnO}_2$  的阳极产物, 若电解过程中共转移  $0.1\text{ mol}$  电子, 则  $\eta(\text{MnO}_2) = \underline{\hspace{2cm}}$  ( $\text{Mn} - 55$ )。

(2) [2025 南京、盐城一模]一种双阴极室隔膜电解  $\text{KOH}$  溶液制备  $\text{K}_2\text{FeO}_4$  的装置如图 1 所示。电解时, 阳极的电极反应式为\_\_\_\_\_。

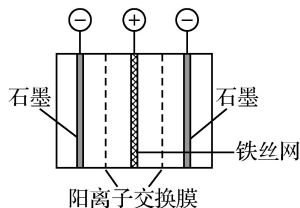


图 1

(3) [2025 扬州宝应、高邮期末]电解水制氢。有研究认为, 碱性条件下电解水的过程中, 气泡在电极上产生和脱离对电解效率具有重要影响, 某电极上发生的变化如图 2 所示。

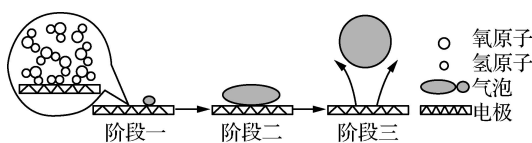


图 2

①该电极附近溶液 pH\_\_\_\_\_（填“增大”或“减小”）。

②相同条件下，若电极表面的气泡难以脱离，则不利于电解氢气的产生。原因是\_\_\_\_\_。

③在上述实验条件和 20 kHz、100%振幅超声波下，气泡直径分布的百分数如图 3 所示。超声波振动能够提高电解效率的原因是\_\_\_\_\_。

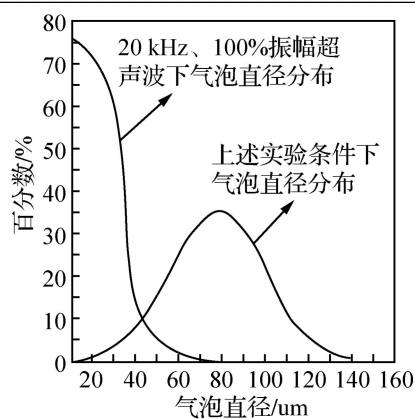


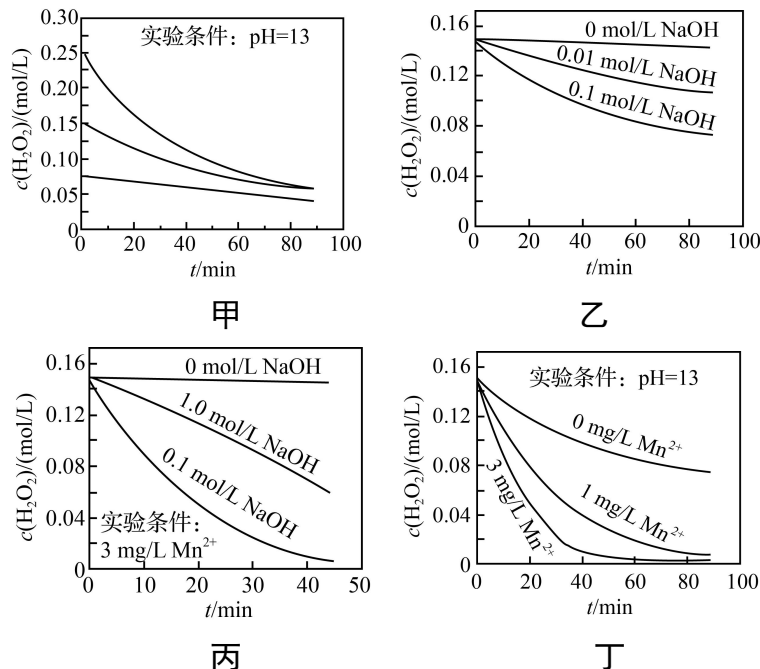
图 3

## 微主题 5 化学反应速率与化学平衡

### 基础回归

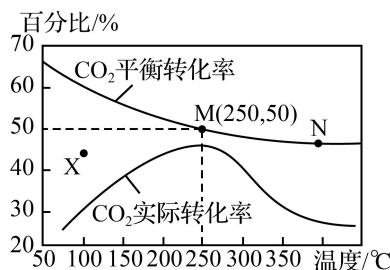
课前热身，激活思维

1  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解速率受多种因素影响。实验测得  $70^\circ\text{C}$  时不同条件下  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度随时间的变化如图所示。下列说法正确的是( )



- A. 图甲表明, 其他条件相同时,  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度越小, 其分解速率越快  
 B. 图乙表明, 其他条件相同时, 溶液 pH 越小,  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解速率越快  
 C. 图丙表明, 少量  $\text{Mn}^{2+}$  存在时, 溶液碱性越强,  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解速率越快  
 D. 图丙和图丁表明, 碱性溶液中,  $\text{Mn}^{2+}$  对  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解速率的影响大

2 已知反应  $6\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_2=\text{CH}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ , 一定条件下, 温度对  $\text{CO}_2$  平衡转化率和  $\text{CO}_2$  实际转化率的影响关系如图所示。



(1) 相同温度下,  $\text{CO}_2$  实际转化率为什么小于平衡转化率?  $\text{CO}_2$  实际转化率受哪些因素影响?

(2)  $250^\circ\text{C}$  时,  $\text{CO}_2$  实际转化率达到最高, 反应\_\_\_\_\_ (填“已”或“未”) 达到平衡。

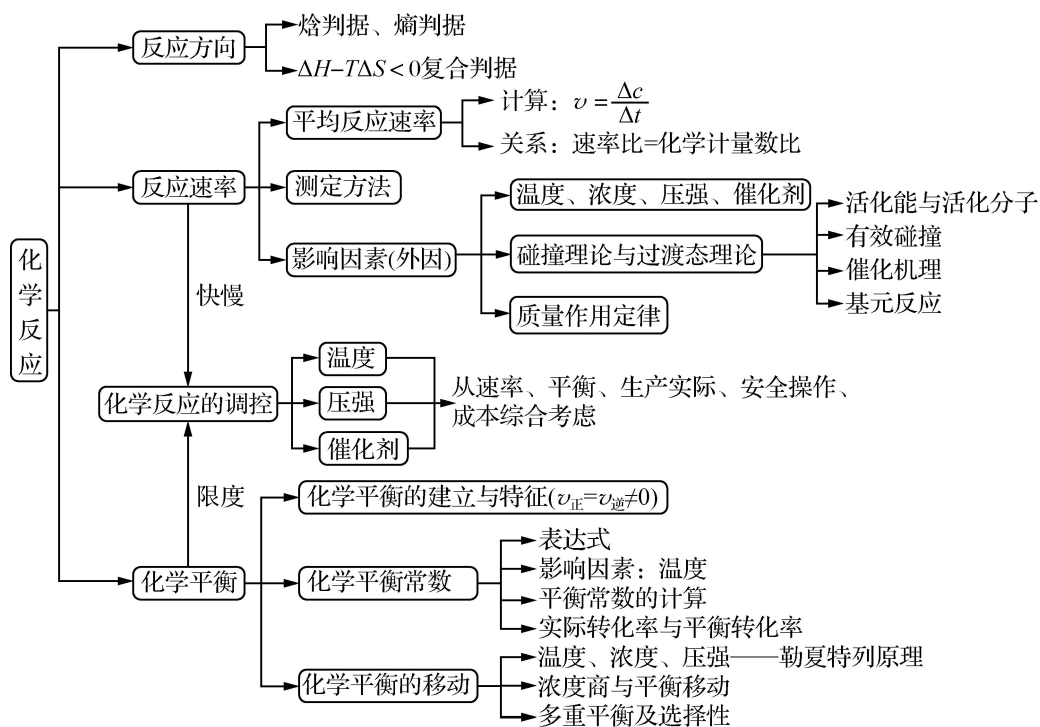
(3)  $\text{CO}_2$  实际转化率随温度升高先升高后降低的原因是\_\_\_\_\_。

(4) 反应为\_\_\_\_\_（填“吸热”或“放热”）反应。

(5) M、N 点反应的  $K$ :  $K_M$ \_\_\_\_\_（填“>”“<”或“=”） $K_N$ ; 100 °C 时, 使该反应  $\text{CO}_2$  转化率达到 X 点可以采用的方法有\_\_\_\_\_（任写一种）。

## 体系建构

化散为整, 融会贯通



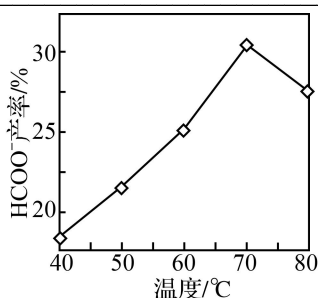


## 3 年真题

考向 1 化学反应速率与反应过程中的转化率、选择性

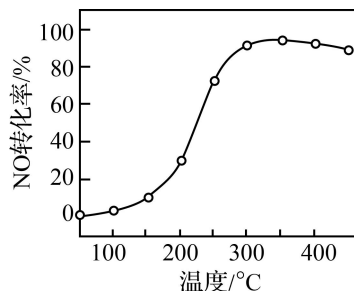
1 [2025 江苏卷]工业中脱除  $\text{CO}_2$  在钢制吸收塔中进行，吸收液成分：质量分数 30% 的  $\text{K}_2\text{CO}_3$  吸收剂、 $\text{K}_2\text{CrO}_4$  (Cr 正价有 +3、+6) 缓蚀剂等。 $\text{K}_2\text{CO}_3$  溶液浓度偏高会堵塞设备，导致堵塞的物质是\_\_\_\_\_ (填化学式)。 $\text{K}_2\text{CrO}_4$  减缓设备腐蚀的原理是\_\_\_\_\_。

2 [2024 江苏卷]反应  $\text{H}_2 + \text{HCO}_3^- \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{HCOO}^- + \text{H}_2\text{O}$  可用于储氢。密闭容器中，其他条件不变，向含有催化剂的 0.1 mol/L  $\text{NaHCO}_3$  溶液中通入  $\text{H}_2$ ， $\text{HCOO}^-$  产率随温度变化如图所示。温度高于 70  $^\circ\text{C}$ ， $\text{HCOO}^-$  产率下降的可能原因是\_\_\_\_\_。



3 [2023 江苏卷] $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$  催化剂能催化  $\text{NH}_3$  脱除烟气中  $\text{NO}$ ，反应为  $4\text{NH}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{NO}(\text{g}) = 4\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$   $\Delta H = -1\,632.4 \text{ kJ/mol}$ 。

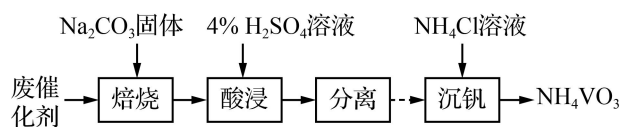
(1) 催化剂的应用。将一定物质的量浓度的  $\text{NO}$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{NH}_3$  (其余为  $\text{N}_2$ ) 气体匀速通过装有  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$  催化剂的反应器，测得  $\text{NO}$  转化率随温度的变化如图所示。



反应温度在 320~360  $^\circ\text{C}$  内， $\text{NO}$  转化率随温度变化不明显的原因是\_\_\_\_\_。

反应温度高于 380  $^\circ\text{C}$ ， $\text{NO}$  转化率下降，除因为进入反应器的  $\text{NO}$  被还原的量减少外，还有\_\_\_\_\_ (用化学方程式表示)。

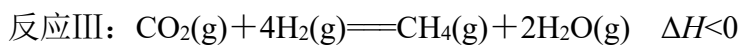
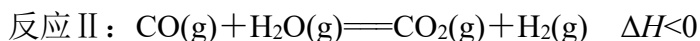
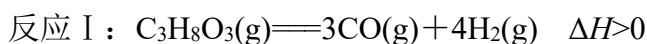
(2) 废催化剂的回收。回收  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$  废催化剂并制备  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  的过程可表示如图：



酸浸时，加料完成后，以一定速率搅拌反应。提高钒元素浸出率的方法还有

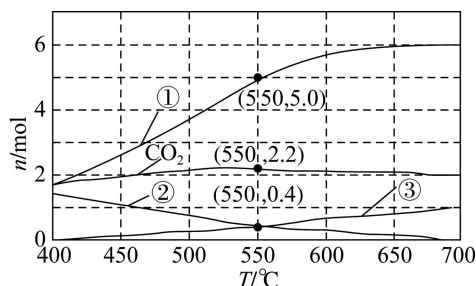
## 考向 2 多重平衡体系分析

4 [2025 江苏卷]甘油( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ )水蒸气重整获得  $\text{H}_2$  过程中的主要反应：



$1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  条件下， $1 \text{ mol C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  和  $9 \text{ mol H}_2\text{O}$  发生上述反应达平衡状态时，体系中  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  的物质的量随温度变化的理论计算结果如图所示。

下列说法正确的是( )



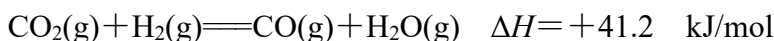
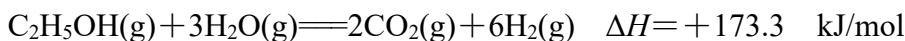
A.  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  时， $\text{H}_2\text{O}$  的平衡转化率为 20%

B.  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  反应达平衡状态时， $n(\text{CO}_2) : n(\text{CO}) = 11 : 25$

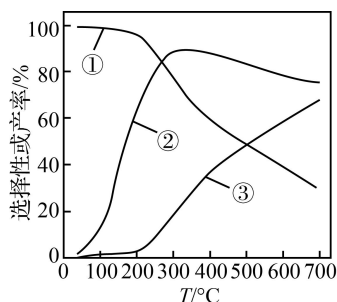
C. 其他条件不变，在  $400 \sim 550 \text{ }^\circ\text{C}$  范围，平衡时  $\text{H}_2\text{O}$  的物质的量随温度升高而增大

D. 其他条件不变，加压有利于增大平衡时  $\text{H}_2$  的物质的量

5 [2022 江苏卷]乙醇水催化重整可获得  $\text{H}_2$ 。其主要反应如下：



在  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $n_{\text{始}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) : n_{\text{始}}(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 3$  时，若仅考虑上述反应，平衡时  $\text{CO}_2$  和  $\text{CO}$  的选择性及  $\text{H}_2$  的产率随温度的变化如图所示。

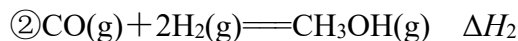
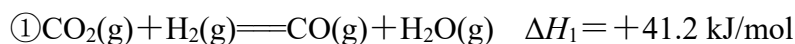


CO 的选择性 =  $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CO})}{n_{\text{生成}}(\text{CO}_2) + n_{\text{生成}}(\text{CO})} \times 100\%$ 。下列说法正确的是( )

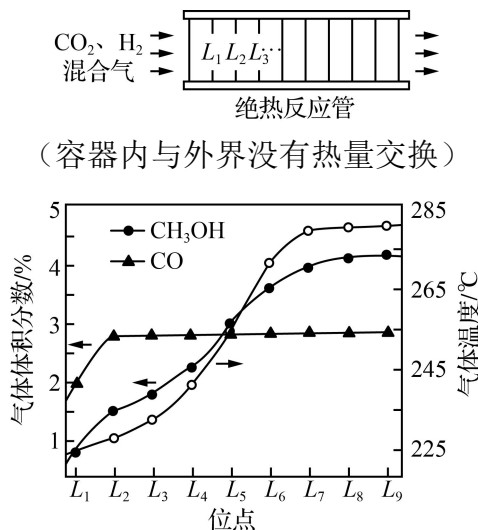
- A. 图中曲线①表示平衡时  $\text{H}_2$  产率随温度的变化
- B. 升高温度, 平衡时 CO 的选择性增大
- C. 一定温度下, 增大  $\frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{H}_2\text{O})}$  可提高乙醇平衡转化率
- D. 一定温度下, 加入  $\text{CaO}(\text{s})$  或选用高效催化剂, 均能提高平衡时  $\text{H}_2$  产率

考向 3 化学平衡与反应速率叠加

6 [2024 江苏卷] 二氧化碳加氢制甲醇的过程中的主要反应(忽略其他副反应)如下:

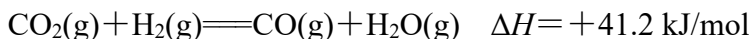
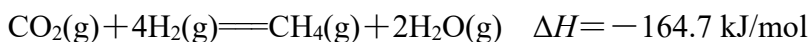


225  $^\circ\text{C}$ 、 $8 \times 10^6 \text{ Pa}$  下, 将一定比例  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$  混合气匀速通过装有催化剂的绝热反应管。装置及  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3 \cdots$  位点处(相邻位点距离相同)的气体温度、CO 和  $\text{CH}_3\text{OH}$  的体积分数如图所示。下列说法正确的是( )



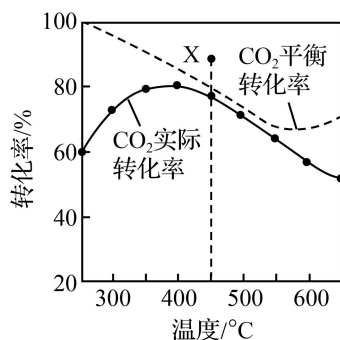
- A.  $L_4$  处与  $L_5$  处反应①的平衡常数  $K$  相等
- B. 反应②的焓变  $\Delta H_2 > 0$
- C.  $L_6$  处的  $\text{H}_2\text{O}$  的体积分数大于  $L_5$  处
- D. 混合气从起始到通过  $L_1$  处, CO 的生成速率小于  $\text{CH}_3\text{OH}$  的生成速率

7 [2023 江苏卷]二氧化碳加氢制甲烷过程中的主要反应如下:



在密闭容器中,  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $n_{\text{起始}}(\text{CO}_2) : n_{\text{起始}}(\text{H}_2) = 1 : 4$  时,  $\text{CO}_2$  平衡转化率、在催化剂作用下反应相同时间所测得的  $\text{CO}_2$  实际转化率随温度的变化如图所示。

$\text{CH}_4$  的选择性可表示为  $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CH}_4)}{n_{\text{反应}}(\text{CO}_2)} \times 100\%$ 。下列说法正确的是( )



A. 反应  $2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{CH}_4(\text{g})$  的  $\Delta H = -205.9 \text{ kJ/mol}$

B.  $\text{CH}_4$  的平衡选择性随着温度的升高而增大

C. 用该催化剂催化二氧化碳反应的最佳温度范围约为  $480 \sim 530 \text{ } ^\circ\text{C}$

D.  $450 \text{ } ^\circ\text{C}$  时, 提高  $\frac{n_{\text{起始}}(\text{H}_2)}{n_{\text{起始}}(\text{CO}_2)}$  的值或增大压强, 均能使  $\text{CO}_2$  平衡转化率达到 X 点的值

点的值

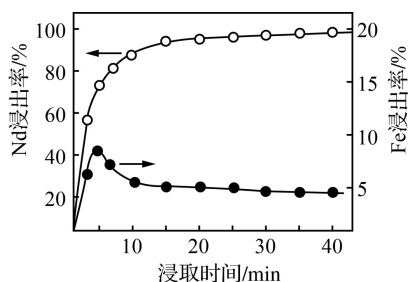
考向 4 化学反应速率与化学平衡综合

8 [2025 江苏卷]由闪锌矿[含  $\text{ZnS}$ 、 $\text{FeS}$  及少量硫化镉( $\text{CdS}$ )等]用稀硫酸浸取  $\text{Zn}^{2+}$ 。酸浸时通入  $\text{O}_2$  可提高  $\text{Zn}^{2+}$  浸出率的原因: \_\_\_\_\_。

9 [2024 江苏卷]回收磁性合金钕铁硼( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ )可制备半导体材料铁酸铈和光学材料氧化钕。

(1) 钕铁硼在空气中焙烧转化为  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等(忽略硼的化合物),用  $0.4 \text{ mol/L}$  盐酸酸浸后过滤得到  $\text{NdCl}_3$  溶液和含铁滤渣。 $\text{Nd}$ 、 $\text{Fe}$  浸出率

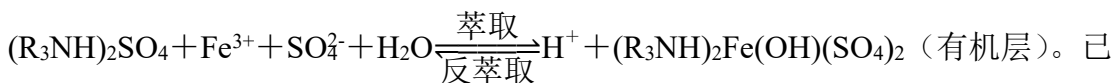
( $\frac{\text{浸出液中某元素的物质的量}}{\text{某元素的总物质的量}} \times 100\%$ ) 随浸取时间变化如图所示。



①含铁滤渣的主要成分为\_\_\_\_\_ (填化学式)。

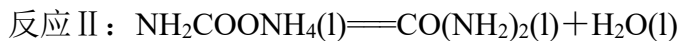
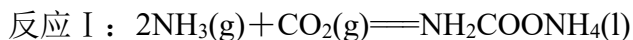
②浸出初期  $\text{Fe}$  浸出率先上升后下降的原因是\_\_\_\_\_。

(2) 含铁滤渣用硫酸溶解,经萃取、反萃取提纯后,用于制备铁酸铈。用含有有机胺( $\text{R}_3\text{N}$ )的有机溶剂作为萃取剂提纯一定浓度的  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  溶液,原理为

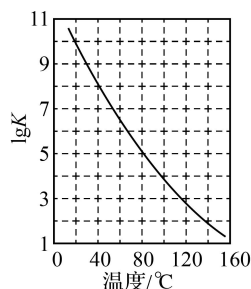


已知:  $(\text{R}_3\text{NH})_2\text{SO}_4 + \text{H}^+ + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons 2(\text{R}_3\text{NH} \cdot \text{HSO}_4)$ 。其他条件不变,水层初始  $\text{pH}$  在  $0.2 \sim 0.8$  内,随水层  $\text{pH}$  增大,有机层中  $\text{Fe}$  元素含量迅速增多的原因是\_\_\_\_\_。

10 [2023 江苏卷]合成尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 是利用  $\text{CO}_2$  的途径之一。尿素合成主要通过下列反应实现:



(1) 密闭体系中反应 I 的平衡常数  $K$  与温度的关系如图,反应 I 的  $\Delta H$  \_\_\_\_\_ (填 “=” “>”或“<”) 0。



(2) 反应体系中除发生反应 I、反应 II 外, 还发生尿素水解、尿素缩合生成缩二脲 $[(\text{NH}_2\text{CO})_2\text{NH}]$ 和尿素转化为氰酸铵 $(\text{NH}_4\text{OCN})$ 等副反应。尿素生产中实际投入  $\text{NH}_3$  和  $\text{CO}_2$  的物质的量之比为  $n(\text{NH}_3):n(\text{CO}_2)=4:1$ , 其实际投料比值远大于理论值的原因是\_\_\_\_\_。

### 3 年模拟

考向 1 化学反应速率与反应过程中的转化率、选择性

1 [2024 苏州学业质量调研] 尿素在结晶过程中主要副反应是尿素发生脱氨反应。其反应历程如下:

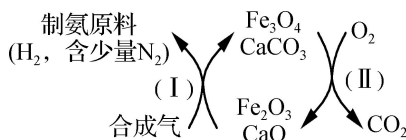
反应 1:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HNCO}(\text{g}) + \text{NH}_3(\text{g})$  (快反应)

反应 2:  $\text{HNCO}(\text{g}) + \text{CO}(\text{NH}_2)_2(\text{l}) \rightleftharpoons (\text{H}_2\text{NCO})_2\text{NH}(\text{l})$  (慢反应)

在尿素结晶过程中, 反应 1 可视为处于平衡状态。实验表明, 在合成尿素的体系中,  $\text{NH}_3$  的浓度越高, 缩二脲生成速率越慢, 其原因是\_\_\_\_\_。

2 [2025 南通如皋适应性三] 氨气既是化工原料, 也是清洁能源, 研究氨气的合成具有重要意义。

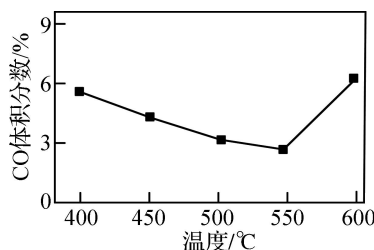
(1) 一种合成气 (含体积分数为 54% 的  $\text{H}_2$ 、35% 的  $\text{CO}$ 、7% 的  $\text{CO}_2$  和 4% 的  $\text{N}_2$ ) 可通过如图甲所示转化制取合成氨的原料。



甲

①实际进行转化 I 反应时, 合成气中需添加一定量的水蒸气。添加水蒸气的目的是\_\_\_\_\_。

②其他条件一定, 将添加了水蒸气的合成气通过装有  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{CaO}$  的反应管, 测得出口处  $\text{CO}$  的体积分数与反应温度的关系如图乙所示。

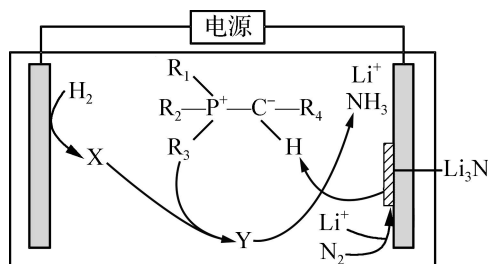


乙

I. 400~550 ℃, 温度越高, 出口处  $\text{CO}$  体积分数越低的原因是\_\_\_\_\_。

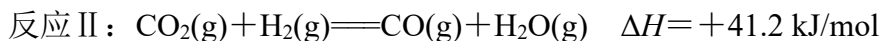
II. 高于 550 ℃, 出口处  $\text{CO}$  体积分数随温度升高增大的原因是\_\_\_\_\_。

(2) 一种  $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$  可持续电催化合成氨的原理如图丙所示 ( $\text{R}_1$ 、 $\text{R}_2$ 、 $\text{R}_3$ 、 $\text{R}_4$  表示烃基)。与  $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$  直接合成氨的工艺相比, 该方法的优点除产氨效率高外, 还有\_\_\_\_\_ (任写一点)。



丙

3 [2025 南京、盐城一模]  $\text{CO}_2$  催化加氢制甲醇。经过“吸附→反应→脱附”等过程, 主要反应如下:



3.0 MPa 时, 将  $n_{\text{起始}}(\text{CO}_2) : n_{\text{起始}}(\text{H}_2) = 1 : 3$  的原料气匀速通过装有催化剂的反应管, 测得  $\text{CH}_3\text{OH}$  产率随温度的变化如图 1 所示。

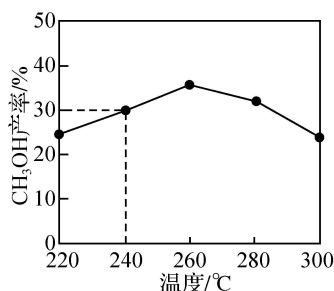


图 1

(1) 240 °C 时, 若  $n_{\text{起始}}(\text{CO}_2) = 1 \text{ mol}$ , 反应管出口处检测到 0.68 mol  $\text{CO}_2$ , 则

$\text{CH}_3\text{OH}$  的选择性 = \_\_\_\_\_ [ $\text{CH}_3\text{OH}$  的选择性 =  $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CH}_3\text{OH})}{n_{\text{总转化}}(\text{CO}_2)} \times 100\%$ ].

(2) 温度高于 260 °C,  $\text{CH}_3\text{OH}$  产率下降的可能原因是\_\_\_\_\_。

(3) 研究发现,  $\text{CH}_3\text{OH}$  可由  $\text{HCOO}^*$  (吸附在催化剂表面的物种用\*标注) 转化生成,  $\text{CO}_2^*$  与  $\text{H}^*$  或  $\text{OH}^*$  作用生成  $\text{HCOO}^*$  的相对能量变化如图 2 所示。在催化剂表面修饰羟基的优点是\_\_\_\_\_。

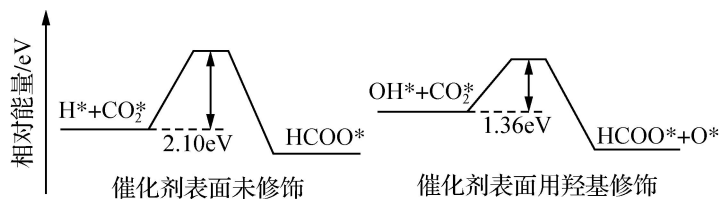
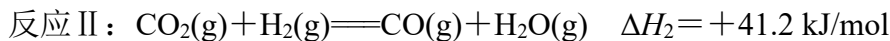
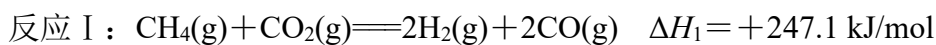


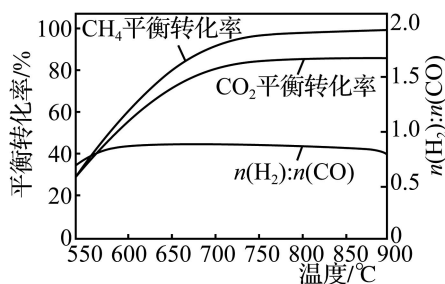
图 2

## 考向2 多重平衡体系分析

4 [2025 苏州期初]  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  联合重整能减少温室气体的排放。重整时发生如下反应:



其他条件相同,  $n(\text{CH}_4):n(\text{CO}_2)$  投料比为 1:1.5 时,  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的平衡转化率与温度变化关系如图所示。下列说法不正确的是( )



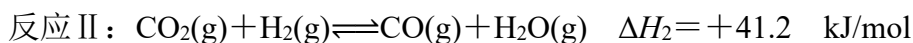
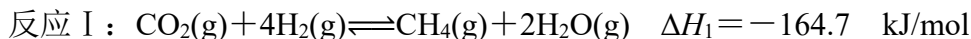
A. 其他条件不变,  $n(\text{CH}_4):n(\text{CO}_2)$  投料比为 1:1, 则平衡时  $\text{CO}_2$  转化率一定高于  $\text{CH}_4$

B. 一定条件下, 使用高效催化剂可以提高单位时间内氢气的产量

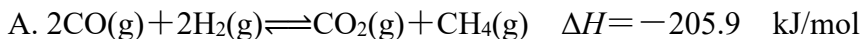
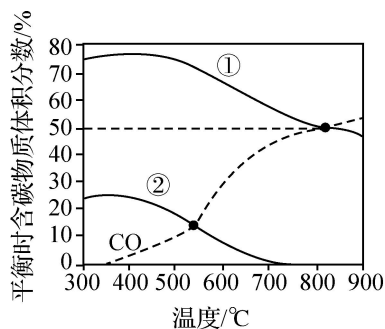
C.  $n(\text{H}_2):n(\text{CO})$  始终低于 1.0, 是因为发生了反应 II

D. 其他条件不变, 550~650 °C, 升高温度更有利于反应 II 进行

5 [2024 盐城考前模拟] 二氧化碳加氢制甲烷过程中的主要反应如下:



在  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  恒压条件下, 按  $n_{\text{起始}}(\text{CO}_2):n_{\text{起始}}(\text{H}_2)=1:1$  投料比进行反应, 平衡时含碳物质体积分数随温度的变化如图所示。下列说法正确的是( )



B. 曲线①表示平衡时  $\text{CH}_4$  的体积分数随温度的变化

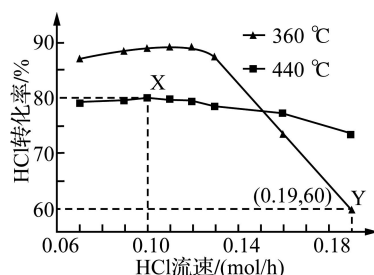
C. 一定温度下, 选用高效催化剂能提高平衡时甲烷的产率

D. 温度在 200~300 °C 时,  $\text{CO}_2$  在平衡体系中的分压保持不变



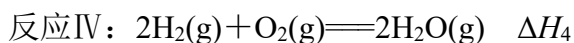
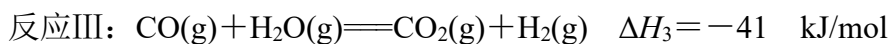
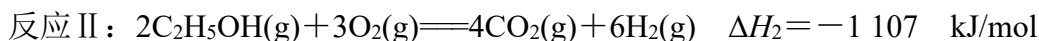
### 考向3 化学平衡与反应速率叠加

6 [2025 南京期初]反应  $4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H$ , 可将工业废气中的  $\text{HCl}$  转化为  $\text{Cl}_2$ , 实现氯资源的循环利用。在  $n_{\text{起始}}(\text{HCl}) : n_{\text{起始}}(\text{O}_2) = 1 : 1$  时, 将  $\text{HCl}$ 、 $\text{O}_2$  混合气分别以不同流速通过装有催化剂的反应管, 不同温度下出口处  $\text{HCl}$  转化率与  $\text{HCl}$  流速的关系如图所示。流速低于  $0.12 \text{ mol/h}$  时  $\text{HCl}$  转化率可近似为平衡转化率。若仅考虑该反应, 下列说法正确的是( )



- A.  $\Delta H > 0$
- B. 减小  $\frac{n(\text{HCl})}{n(\text{O}_2)}$  或选用更高效的催化剂, 均能提高 X 点  $\text{HCl}$  的平衡转化率
- C.  $\text{HCl}$  流速高于  $0.12 \text{ mol/h}$  时, 流速越大, 反应速率越快
- D.  $360 \text{ }^\circ\text{C}$  时, 当  $\text{HCl}$  流速为  $0.19 \text{ mol/h}$  时, 每小时约获得  $4 \text{ g Cl}_2$

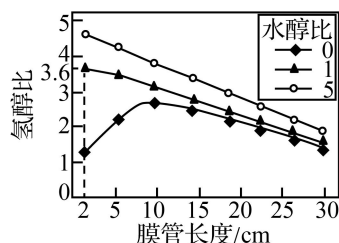
7 [2024 南京二模]利用管状透氧膜反应器实现乙醇水重整制氢, 具有无需额外热源、氧气可协助消除积碳等优点。其主要反应如下:



一定温度下, 将一定比例的  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Ar}$  气体通过装有催化剂的管状透氧膜反应器。经计算机仿真模拟, 控制  $n_{\text{投料}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 1 \text{ mol}$ , 平衡时氢醇比

$\left[ \frac{n_{\text{生成}}(\text{H}_2)}{n_{\text{投料}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} \right]$  随水醇比  $\left[ \frac{n_{\text{投料}}(\text{H}_2\text{O})}{n_{\text{投料}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} \right]$ 、膜管长度的变化如图所示。若仅考虑上

述反应, 下列说法正确的是( )



A.  $\Delta H_4 = \frac{1}{3}(2\Delta H_1 - \Delta H_2 + 4\Delta H_3)$

B. 水醇比为 0 时, 管长度超过  $10 \text{ cm}$  后, 氢醇比下降的原因可能为  $\text{O}_2$  氧化  $\text{H}_2$

C. 水醇比为 1、管长度为 2 cm, 若  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 $\text{O}_2$  转化率为 100%且  $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CO})}{n_{\text{生成}}(\text{CO}_2)}$

=9, 则管状透氧膜透过氧气 0.1 mol

D. 实际生产中, 水醇比越大、管长度越短, 氢气产率越高

考向 4 化学反应速率与化学平衡综合

8 [2024 苏锡常镇二调]丙烷脱氢制丙烯是较为理想的丙烯生产渠道。

(1) 丙烷直接催化脱氢

在  $\text{Pd-C}_2\text{N}$  催化剂作用下, 丙烷直接脱氢制丙烯反应历程中的相对能量变化如图 1 所示(\*表示催化剂表面吸附位点, 如  $\text{C}_3\text{H}_8^*$  表示吸附在催化剂表面的  $\text{C}_3\text{H}_8$ )。

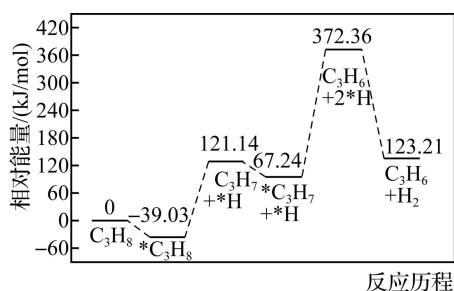


图 1

①丙烷直接催化脱氢制丙烯反应  $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$  的  $\Delta H =$  \_\_\_\_\_ kJ/mol。

②该反应历程共分五步, 其中速率控制步骤为第\_\_\_\_\_步。

③研究表明, 实际生产中除使用  $\text{Pd-C}_2\text{N}$  催化剂外, 还需控制反应温度在  $480^\circ\text{C}$ 。选择温度为  $480^\circ\text{C}$  的原因是\_\_\_\_\_。

(2)  $\text{CO}_2$  氧化丙烷脱氢

$600^\circ\text{C}$  下, 将不同组分的原料混合气以相同流速通过装有催化剂的反应床,

测得  $\text{C}_3\text{H}_8$  转化率和  $\text{C}_3\text{H}_6$  选择性 [ $\text{C}_3\text{H}_6$  选择性  $= \frac{n_{\text{生成}}(\text{C}_3\text{H}_6)}{n_{\text{反应}}(\text{C}_3\text{H}_8)} \times 100\%$ ] 随时间的变化

关系如图 2 所示, 图中 A、B 分别代表  $n(\text{C}_3\text{H}_8) : n(\text{CO}_2) : n(\text{N}_2) = 1 : 2 : 7$ 、 $n(\text{C}_3\text{H}_8) : n(\text{N}_2) = 1 : 9$  的两种原料气。

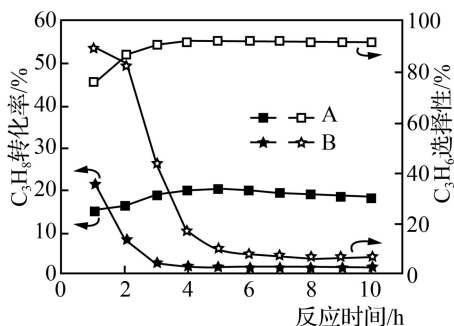
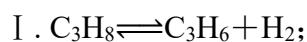


图 2

①随着反应的进行, 4 h 前 A 组分原料气中  $\text{C}_3\text{H}_8$  转化率和  $\text{C}_3\text{H}_6$  选择性均有所提升, 且在反应床出口检测到  $\text{CO}$ 。研究表明,  $\text{CO}_2$  氧化丙烷脱氢经历了以下两个反应:

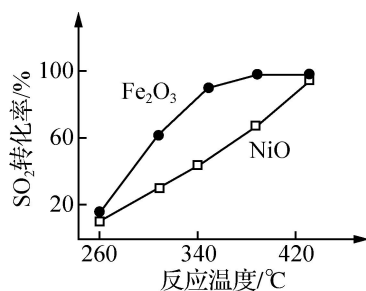


II. \_\_\_\_\_ (填化学方程式)。

②反应进行至 4 h 后, B 组分原料气的反应几乎无法进行, 而 A 组分原料气的反应仍保持相对优异的稳定性, 其可能原因是 \_\_\_\_\_

9 [2025 苏锡常镇一调]工业脱硫是环境保护、促进社会可持续发展的重要课题。脱除工业烟气中的  $\text{SO}_2$  有多种方法。

一氧化碳还原。反应原理:  $2\text{CO}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{l}) \quad \Delta H = -270 \text{ kJ/mol}$ 。其他条件相同, 分别选取  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{NiO}$  作上述反应的催化剂时,  $\text{SO}_2$  的转化率随反应温度的变化如图所示。



(1) 与  $\text{NiO}$  相比, 选择  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  作催化剂的优点是 \_\_\_\_\_

(2) 已知: 硫的沸点约为  $445^\circ\text{C}$ 。反应温度高于  $445^\circ\text{C}$  时,  $\text{SO}_2$  的平衡转化率增大, 其原因是 \_\_\_\_\_

## 核心串讲

勤总结, 抓重点

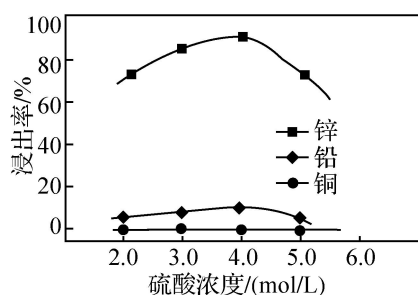
核心 1 影响化学反应速率的因素分析

1 内因——反应物本身的性质是决定性因素

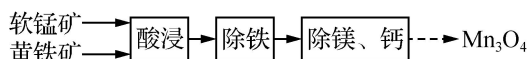
例 1

(1) 工业上用锌铜合金灰 (含有  $\text{Cu}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Pb}$  及其氧化物) 提取单质  $\text{Cu}$  和  $\text{ZnO}$ 。锌铜合金灰在空气中焙烧得到烧渣, 主要成分为  $\text{CuO}$ 、 $\text{ZnO}$  及少量  $\text{PbO}$  等, 用硫酸酸浸后过滤得到  $\text{ZnSO}_4$  溶液和含铜滤渣。 $\text{Zn}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Pb}$  浸出率随硫酸浓度变化如图。用  $4 \text{ mol/L}$  稀硫酸溶解时,  $\text{Zn}$  浸出率远高于  $\text{Cu}$ 、 $\text{Pb}$  浸出率的原因是 \_\_\_\_\_

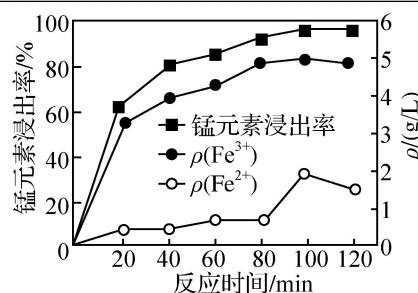
使用  $2 \text{ mol/L}$  和  $5 \text{ mol/L}$  硫酸溶解时, 所得滤渣成分的不同之处为 \_\_\_\_\_



(2) 一种以软锰矿（主要含  $\text{MnO}_2$  和少量  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  等）和黄铁矿（主要成分为  $\text{FeS}_2$ ）为原料制备  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  的流程如下：



酸浸。将软锰矿、黄铁矿与  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液混合搅拌，反应过程中铁元素的变化为  $\text{FeS}_2 \xrightarrow{\text{H}^+} \text{Fe}^{2+} \xrightarrow{\text{MnO}_2} \text{Fe}^{3+}$ 。90 °C 下酸浸，锰元素浸出率及  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  的  $\rho$ （质量浓度）随时间的变化如图。0~20 min 内， $\rho(\text{Fe}^{2+})$  逐渐增大的原因是\_\_\_\_\_。



2 外因——外界因素中温度、浓度、浸取时间、固液比、催化剂、接触面积等均能影响反应速率

(1) 增大反应速率的措施：\_\_\_\_\_。

增大接触面积的措施：\_\_\_\_\_。

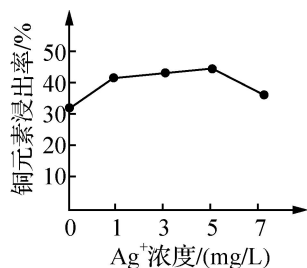
(2) 对于具体反应体系中常会有多种因素共同影响，有协同、有相逆。表达时“协同”要指明具体因素的协同；“相逆”时要分析各种因素的强弱关系，指明主要的影响因素。

**例 2**

[2025 无锡期末]在酸性、有氧条件下，某种细菌能催化  $\text{CuFeS}_2$  转化成硫酸盐的反应。

(1) 该反应的离子方程式为\_\_\_\_\_，生成的  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  又可将  $\text{CuFeS}_2$  氧化。

(2)  $\text{Ag}^+$  对上述过程有催化作用。其他条件相同，浸出时间为 15 天，不同  $\text{Ag}^+$  浓度对铜元素浸出率的影响如图所示， $\text{Ag}^+$  浓度从 5 mg/L 上升到 7 mg/L 阶段铜元素浸出率下降的原因是\_\_\_\_\_。



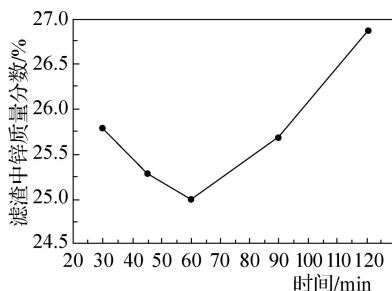
### 3★ 覆盖对反应的影响

在水溶液或气态反应体系中，有固体（包括固态反应物和固态催化剂）参与的反应，生成的物质聚集覆盖在反应物（或催化剂）表面，从而隔离了反应物导致反应速率变慢直至停止。

①生成沉淀覆盖。如稀硫酸和大理石反应，生成的微溶物质  $\text{CaSO}_4$  覆盖在大理石表面，阻碍反应进一步进行，故不能用此反应制备  $\text{CO}_2$ 。

②直接生成致密的保护膜。如金属铝、镁等不易锈蚀的原因是在金属表面生成了致密的保护膜；常温下铁、铝与浓硫酸、浓硝酸反应生成致密氧化膜（钝化），故铁、铝能盛放浓硫酸、浓硝酸。

**例 3** [2025 盐城、南京期末]高铁锌焙烧矿渣主要含  $\text{ZnO}$ 、 $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ 、 $\text{SiO}_2$ 。工业上用稀硫酸浸取制备  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。酸浸时，控制反应温度  $65^\circ\text{C}$ 、硫酸初始酸度  $50\text{ g/L}$ ，滤渣中锌元素的质量分数随时间变化的关系如图所示。当浸出时间超过  $60\text{ min}$  后，滤渣中锌元素的质量分数反而升高的原因是\_\_\_\_\_



### 核心 2 影响化学平衡的外界因素分析

条件的改变（其他条件不变）			化学平衡的移动
浓度	增大反应物浓度或减小生成物浓度		向正反应方向移动
	减小反应物浓度或增大生成物浓度		向逆反应方向移动
压强（对有气体存在的反应）	反应前后气体分子数改变	增大压强	向气体分子数减小的方向移动
		减小压强	向气体分子数增大的方向移动
	反应前后气体分子数不变	改变压强	平衡不移动
温度	升高温度		向吸热反应方向移动，反应正向进行的程度增大（或减小）

	降低温度	向放热反应方向移动，反应正向进行的程度增大（或减小）
催化剂	使用催化剂	平衡不移动

(1) 恒压条件下充入“惰性气体”，同等程度地改变反应混合物中各气体物质的浓度时（如稀释），视为减小压强。

(2) 同时改变反应物和产物，则需要通过浓度商( $Q$ )和平衡常数  $K$  比较判断。

$Q < K$ : \_\_\_\_\_;  $Q = K$ : \_\_\_\_\_;  $Q > K$ : \_\_\_\_\_。

(3) 多重反应中温度对平衡的影响——竞争与协同

根据体系中每一个反应的热效应判断温度变化时该反应的移动方向，再结合图像等相关信息判断主要反应及影响结果。

**例 4**

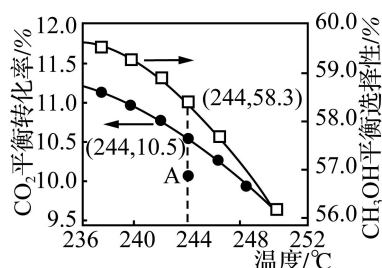
[2025 苏州期初]  $\text{CO}_2$  催化加氢制甲醇。 $\text{CO}_2$  催化加氢制甲醇过程中的主要反应如下：

反应 I:  $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -49.2 \text{ kJ/mol}$

反应 II:  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = +41.2 \text{ kJ/mol}$

在恒压、 $n(\text{CO}_2):n(\text{H}_2)$  投料比为 1:3 时， $\text{CO}_2$  平衡转化率和  $\text{CH}_3\text{OH}$  平衡选

择性随温度的变化如图[ $\text{CH}_3\text{OH}$  选择性 =  $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CH}_3\text{OH})}{n_{\text{消耗}}(\text{CO}_2)} \times 100\%$ ]



(1) 236~250 °C 范围内， $\text{CO}_2$  平衡转化率随温度升高而下降的原因是\_\_\_\_\_。

(2) 244 °C 时，反应一段时间后，测得  $\text{CH}_3\text{OH}$  选择性为 56.8%（图中 A 点）。不改变反应时间和温度，一定能提高  $\text{CH}_3\text{OH}$  选择性的措施有\_\_\_\_\_。

### 思维建模

- 条件：温度升高，反应 I 的  $\Delta H < 0$ ，反应 II 的  $\Delta H > 0$
- 变化：温度升高，反应 I 逆向移动，反应 II 正向移动
- 信息：图中  $\text{CH}_3\text{OH}$  平衡选择性下降， $\text{CO}_2$  的平衡转化率下降
- 比较：反应 I 逆向移动的程度超过反应 II 正向移动的程度

核心 3\* 温度、催化剂等反应条件之间竞争,对转化率等产生影响

### 1 pH 的改变对反应物转化率的影响

溶液中 pH 的变化直接影响溶液中  $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$  浓度的变化,然后通过具体反应影响反应速率和平衡,如弱酸的酸根离子与  $\text{H}^+$  反应,金属离子与  $\text{OH}^-$  反应等。

**例 5** 纳米 FeS 可去除水中微量六价铬[Cr(VI)]。在  $\text{pH}=4\sim 7$  的水溶液中,纳米 FeS 颗粒表面带正电荷, Cr(VI)主要以  $\text{HCrO}_4^-$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 $\text{CrO}_4^{2-}$  形式存在,纳米 FeS 去除水中 Cr(VI)主要经过“吸附→反应→沉淀”的过程。已知:在弱酸性溶液中,存在反应:  $\text{FeS} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + \text{HS}^-$ 。在  $\text{pH}=4\sim 7$  溶液中, pH 越大, FeS 去除水中 Cr(VI)的速率越慢,原因是\_\_\_\_\_。

### 思维建模

① pH 增大,溶液中  $\text{H}^+$  浓度\_\_\_\_\_ (填“减小”或“增大”,下同),  $\text{OH}^-$  浓度\_\_\_\_\_。

② 由溶液中  $\text{H}^+$  浓度和  $\text{OH}^-$  浓度变化引发的反应,根据情境推断变化:

a. 纳米 FeS 颗粒表面带正电荷,  $\text{OH}^-$  浓度增大会竞争吸附,导致含铬微粒吸附量变少。

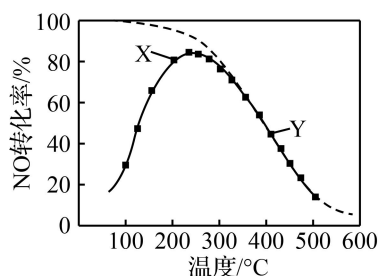
b. Cr(VI)主要以  $\text{HCrO}_4^-$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 $\text{CrO}_4^{2-}$  形式存在,存在反应  $\text{HCrO}_4^- \rightleftharpoons \text{CrO}_4^{2-} + \text{H}^+$  和  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ 。pH 增大,两反应均正向进行,  $\text{CrO}_4^{2-}$  浓度变大。带相同电荷时,  $\text{CrO}_4^{2-}$  中 Cr 含量\_\_\_\_\_ (填“高于”或“低于”)其他两种微粒 ( $\text{HCrO}_4^-$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ )。

c. 根据已知信息,在溶液中一般是离子间反应,故应该考虑 FeS 溶解:  $\text{FeS} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + \text{HS}^-$ 。pH 增大,该平衡逆向移动,\_\_\_\_\_。

③ 综合分析完成答案。

## 2 温度、浓度对去除率的影响

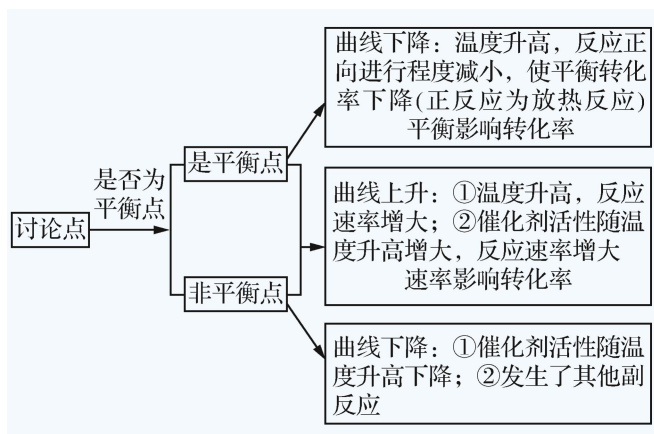
**例 6** 在恒压、NO 和 O<sub>2</sub> 的起始浓度一定的条件下，催化反应相同时间，测得不同温度下 NO 转化为 NO<sub>2</sub> 的转化率如图中实线所示（图中虚线表示相同条件下 NO 的平衡转化率随温度的变化）。



250 °C 前 NO 的转化率随温度升高而升高的原因是\_\_\_\_\_。

250 °C 后 NO 的转化率随温度升高而降低的原因是\_\_\_\_\_。

### 思维建模



250 °C 时反应为非平衡状态，则从反应速率角度理解，即 250 °C 前 NO 的转化率随温度升高而升高的原因：催化剂活性随温度升高增大与温度升高共同使反应速率增大；250 °C 后，两条曲线没有立即重叠，故既要讨论非平衡点又要讨论平衡点，则 250 °C 后 NO 的转化率随温度升高而降低的原因：催化剂活性下降，反应速率减小；反应的  $\Delta H < 0$ ，温度升高使 NO 的平衡转化率降低（或温度升高使反应正向进行程度减小）。



**总结** ①条件变化对反应物转化率的影响，需弄清：是讨论反应速率还是讨论平衡；

②转化率（或去除率）受多个因素影响；

③先分析每个因素对转化率的影响（一般是相反的影响）；

④再根据结论推断哪个因素对反应起决定作用，还是共同作用。

**核心 4★** 有关多重平衡及选择性的问题

在多重平衡中，几个可逆反应是相互影响的。

**连串反应：**通式可表示为  $A \rightarrow B \rightarrow C$ ，中间产物 B 生成又被消耗。反应物 A 的消耗速率由慢反应（即活化能大的反应）来决定。

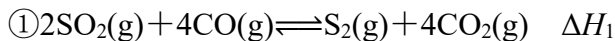
**平行反应：**通式可表示为  $A \rightarrow B$ 、 $A \rightarrow C$ 、 $A \rightarrow \dots$ ，反应物能同时平行地进行两个或两个以上的不同反应，得到不同的产物。反应物 A 的消耗速率由快反应（即活化能小的反应）来决定。

**催化剂：**其他条件一定，使用催化剂不能改变平衡转化率，也不能改变平衡选择性，但可以在反应达到平衡之前改变某个特定反应的速率，从而改变某物质的转化率或选择性。

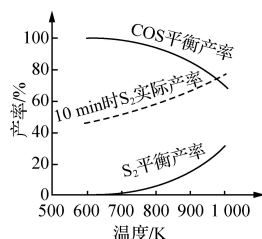
**选择性：** $n(\text{产物}) = n(\text{反应物}) \times \text{转化率} \times \text{选择性}$ 。多重平衡体系中，某些特定产物的选择性之和为 100%；若某反应物只转化为 2 种特定产物，则二者的选择性变化曲线呈镜面对称。选择性减小不代表产物的量减少，同样，选择性增大也不代表产物的量增多，要综合考虑转化率和选择性。

**反常现象：**某放热反应的反应物平衡转化率随温度升高而升高。可能原因：高于一定温度后，物质状态发生改变(s→g)，由放热反应转化为吸热反应；也可能是多重平衡体系中，反应物浓度改变对平衡的影响超过温度改变对平衡的影响。

**例 7** [2025 无锡期末]工业尾气中含有 CO 和 SO<sub>2</sub>，可将尾气通过催化剂进行处理，发生以下反应：



600~1 000 K 范围内，SO<sub>2</sub> 平衡转化率接近 100%。其他条件相同，不同温度下，S<sub>2</sub>、COS 平衡产率和 10 min 时 S<sub>2</sub> 实际产率如图所示。下列说法正确的是( )



A. 一定存在 $\Delta H_1 > 0$

B. 升高温度,  $S_2$  平衡产率上升的可能原因是反应物浓度增大对平衡的影响超过温度升高的影响

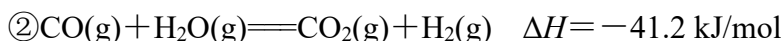
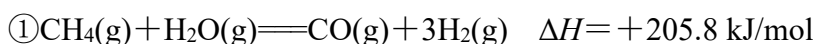
C. 900 K, 10 min 后继续反应足够长时间,  $S_2$  实际产率的变化趋势可能为先增大后保持不变

D. 用该方法处理工业尾气回收单质硫( $S_2$ ), 反应的温度越高越好

## 检测反馈

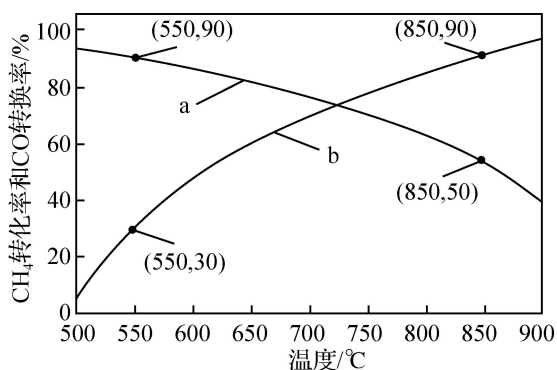
对点练, 再提升

1 [2025 扬州期末] 甲烷和水蒸气催化重整制氢过程中的主要反应如下:



在装有催化剂的密闭容器中,  $4.3 \times 10^6 \text{ Pa}$ 、 $n(CH_4) : n(H_2O) = 1 : 6$  时, 若仅考虑上述反应, 平衡时  $CH_4$  转化率和  $CO$  转换率随温度的变化如图所示。CO 转

换率 =  $\frac{n(CO_2)}{n(CO) + n(CO_2)} \times 100\%$ 。下列说法正确的是( )



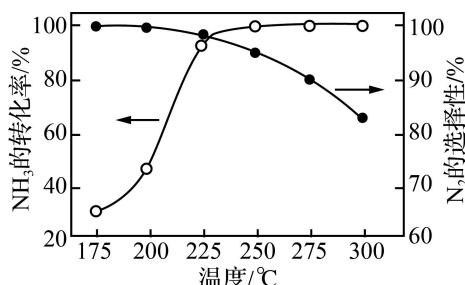
A. 反应  $CH_4(g) + 2H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + 4H_2(g)$  的  $\Delta H = +247.0 \text{ kJ/mol}$

B. 曲线 a 表示平衡时  $CH_4$  转化率随温度的变化

C. 850 °C 平衡时生成的  $CO_2$  比 550 °C 平衡时生成的多

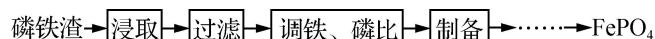
D. 相同条件下,  $CH_4$  和  $H_2O$  总物质的量不变,  $\frac{n(H_2O)}{n(CH_4)}$  越大,  $H_2$  产量越高

2 [2025 南京六校联合体期末]  $\text{NH}_3$  与  $\text{O}_2$  作用分别生成  $\text{N}_2$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  的反应均为放热反应。工业尾气中的  $\text{NH}_3$  可通过催化氧化为  $\text{N}_2$  除去。将一定比例  $\text{NH}_3$ 、 $\text{O}_2$  和  $\text{N}_2$  的混合气体以一定流速通过装有催化剂的反应管,  $\text{NH}_3$  的转化率、 $\text{N}_2$  的选择性 $[\frac{2n_{\text{生成}}(\text{N}_2)}{n_{\text{总转化}}(\text{NH}_3)} \times 100\%]$ 与温度的关系如图。下列说法正确的是( )



- A. 其他条件不变, 升高温度,  $\text{NH}_3$  的平衡转化率增大  
 B. 其他条件不变, 在 175~300 °C 范围, 随温度的升高, 出口处  $\text{N}_2$  和氮氧化物的量均不断增大  
 C. 催化氧化除去尾气中的  $\text{NH}_3$  应选择反应温度高于 250 °C  
 D. 高效除去尾气中的  $\text{NH}_3$ , 需研发低温下  $\text{NH}_3$  转化率高和  $\text{N}_2$  选择性高的催化剂

3 [2026 无锡期中] 利用磷铁渣 (含  $\text{FeP}$ 、 $\text{Fe}_2\text{P}$ , 杂质忽略不计) 制备  $\text{FePO}_4$  的流程如下:

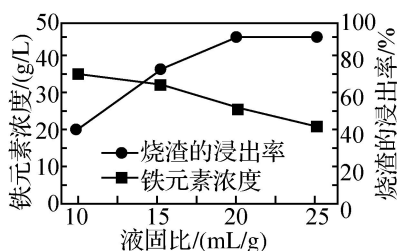


(1) 将磷铁渣在空气中煅烧, 生成  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{P}_2\text{O}_5$ 。若生成  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{P}_2\text{O}_5$  的物质的量之比为 1:1:2, 则反应的  $\text{FeP}$  和  $\text{Fe}_2\text{P}$  物质的量之比为\_\_\_\_\_。

(2) 将煅烧所得烧渣用硫酸浸出。控制其他条件一定, 测得烧渣的浸出率和浸出液中铁元素浓度与液固比的关系如图。已知: 常温下,  $K_{a2}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10^{-2}$ ;

$$\text{HSO}_4^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \quad \Delta H < 0; \text{烧渣的浸出率} = \frac{m(\text{溶解的烧渣})}{m(\text{原烧渣})} \times 100\%,$$

$$\text{液固比} = \frac{V(\text{盐酸的体积})}{m(\text{原烧渣})}.$$



①研究表明酸浸初始阶段溶液的 pH 迅速上升, 其原因是\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_。

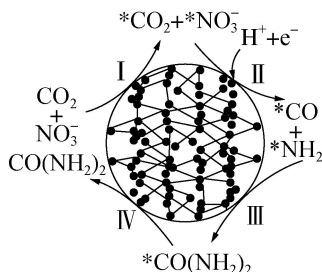
②当液固比大于 20 mL/g 时, 所得浸出液中铁元素浓度降低的原因是\_\_\_\_\_

---

。

## 3 年真题

1 [2025 江苏卷]  $\text{CO}_2$  与  $\text{NO}_3^-$  通过电催化反应生成  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , 可能的反应机理如图所示(图中吸附在催化剂表面的物种用“\*”标注)。下列说法正确的是( )



A. 过程 II 和过程 III 都有极性共价键形成

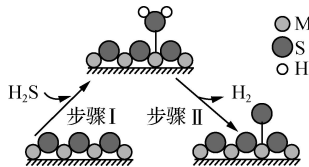
B. 过程 II 中  $\text{NO}_3^-$  发生了氧化反应

C. 电催化  $\text{CO}_2$  与  $\text{NO}_3^-$  生成  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  的反应:  $\text{CO}_2 + 2\text{NO}_3^- + 18\text{H}^+$

$\xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{通电}}$   $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 7\text{H}_2\text{O}$

D. 常温常压、无催化剂条件下,  $\text{CO}_2$  与  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  反应可生成  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

2 [2023 江苏卷] 金属硫化物( $\text{M}_x\text{S}_y$ )催化反应  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CS}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g})$ , 既可以除去天然气中的  $\text{H}_2\text{S}$ , 又可以获得  $\text{H}_2$ 。下列说法正确的是( )



A. 该反应的  $\Delta S < 0$

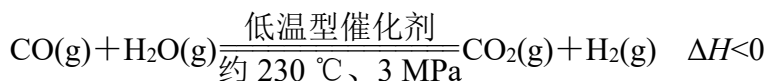
B. 该反应的平衡常数  $K = \frac{c(\text{CH}_4) \cdot c^2(\text{H}_2\text{S})}{c(\text{CS}_2) \cdot c^4(\text{H}_2)}$

C. 题图所示的反应机理中, 步骤 I 可理解为  $\text{H}_2\text{S}$  中带部分负电荷的 S 与催化剂中的 M 之间发生作用

D. 该反应中每消耗 1 mol  $\text{H}_2\text{S}$ , 转移电子的数目约为  $2 \times 6.02 \times 10^{23}$

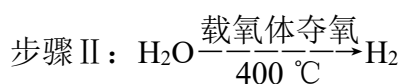
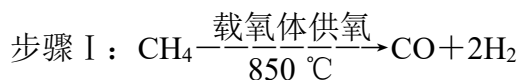
3 [2025 江苏卷] 合成气( $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$ ) 是重要的工业原料气。

(1) 合成气经“变换”“脱碳”获得纯  $\text{H}_2$ 。向绝热反应器中通入  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$  和过量的  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ :



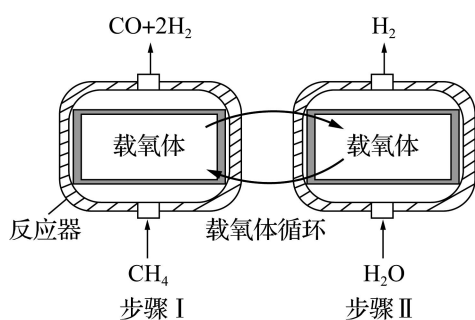
催化作用受接触面积和温度等因素影响,  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的比热容较大。 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  过量能有效防止催化剂活性下降, 其原因有\_\_\_\_\_。

(2) 研究  $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  与不同配比的铁铈载氧体  $[\frac{x}{2}\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (1-x)\text{CeO}_2]$ ,  $0 \leq x \leq 1$ , Ce 是活泼金属, 正价有 +3、+4] 反应, 气体分步制备原理示意如图甲。相同条件下, 先后以一定流速通入固定体积的  $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ , 依次发生的主要反应如下:

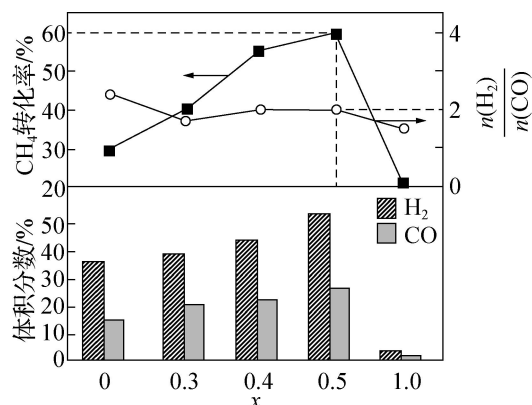


步骤 I 中, 产物气体积分数、 $\text{CH}_4$  转化率,  $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO})}$  与  $x$  的关系如图乙所示。  $x=0$  时,  $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO})}$  大于理论值 2 的可能原因是 \_\_\_\_\_

$x=0.5$  时, 通入标准状况下 300 mL 的  $\text{CH}_4$  至反应结束,  $\text{CO}$  的选择性 =  $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CO})}{n_{\text{转化}}(\text{CH}_4)} \times 100\% = 80\%$ , 则生成标准状况下  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$  的总体积为 \_\_\_\_\_ mL。

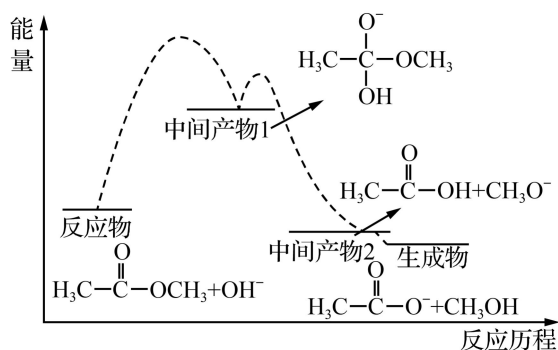


甲



乙

1 [2025 宿迁泗阳期中] 乙酸甲酯在 NaOH 溶液中发生水解时物质和能量的变化如图所示。下列说法正确的是( )

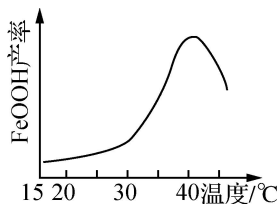


- A. 总反应为吸热反应  
B. 决定总反应速率快慢的是反应物  $\rightarrow$  中间产物 1 的反应  
C. 反应过程中碳原子的轨道杂化方式不发生变化

D. 若反应物使用  $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-^{18}\text{OCH}_3$ , 则产物中存在  $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-^{18}\text{O}^-$  2 [2025 苏州期初]  $\text{FeSO}_4$  精制液与  $\text{NaNO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{O}_2$  反应生成铁黄( $\text{FeOOH}$ ), 再由铁黄制取铁红。

(1)  $\text{NaNO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  产生的  $\text{NO}_x$  作催化剂, 使精制  $\text{FeSO}_4$  溶液被  $\text{O}_2$  氧化为铁黄。其中  $\text{NO}$  作催化剂时分两步进行: 第一步反应为  $\text{Fe}^{2+} + \text{NO} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{NO})^{2+}$ , 第二步反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

(2) 实验测得铁黄产率随反应液温度变化情况如图所示。当温度高于  $40^\circ\text{C}$  时, 铁黄产率下降的原因可能是\_\_\_\_\_。



3 [2025 苏北四市期末]把  $\text{ZnZrO}_x$  附着在分子筛 SSZ-13 上,可催化  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$  生成  $\text{CH}_3\text{OH}$  及碳氢化合物,部分反应机理如图 1 所示。催化剂中  $\frac{n(\text{Zn})}{n(\text{Zr})}$ 、 $\text{CO}$  转化率、烃的选择性关系如图 2 所示。

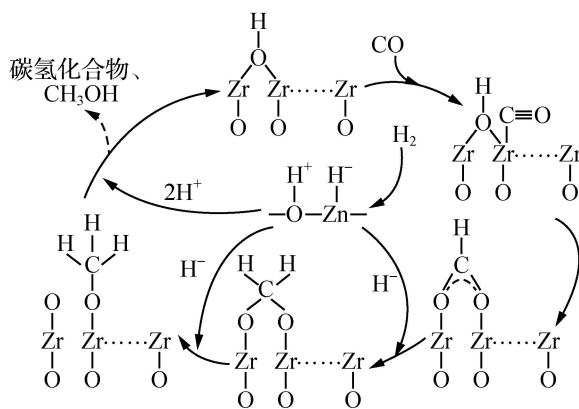


图 1

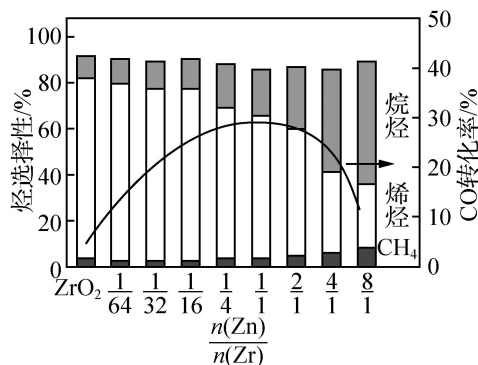


图 2

- (1)  $\frac{n(\text{Zn})}{n(\text{Zr})}$  大于 1 后,  $\text{CO}$  转化率降低的可能原因为\_\_\_\_\_。
- (2) 随  $\frac{n(\text{Zn})}{n(\text{Zr})}$  增加, 烯烃选择性减小, 烷烃选择性增大的可能原因为\_\_\_\_\_。

## 难点精讲

勤总结, 破难点

### 难点 1 基元反应与反应历程

反应机理是化学中用来描述某一化学变化所经由的全部基元反应, 机理详细描述了每一步转化的过程, 包括过渡态的形成, 键的断裂和生成, 以及各步的相对速率大小等。化学反应机理试题以图示的形式来描述某一化学变化所经由的全部反应, 就是把一个复杂反应分解成若干个反应, 然后按照一定规律组合起来, 从而达到阐述复杂反应的内在联系的目的。

1 许多化学反应都不是基元反应, 而是由两个或多个基元步骤完成的, 其中每一步反应都称为基元反应。如: 反应  $\text{A}_2 + \text{B} \longrightarrow \text{A}_2\text{B}$  的历程, 分两个基元步骤完成。



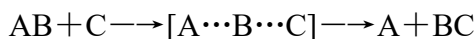
第一步： $A_2 \longrightarrow 2A$ （慢反应）

第二步： $2A + B \longrightarrow A_2B$ （快反应）

决定反应速率的步骤是最慢的一个基元步骤。基元反应发生的先决条件：反应物的分子必须发生碰撞，但并不是每一次分子碰撞都能发生化学反应，必须有合适的取向和足够高的能量。

## 2 基元反应过渡状态理论

(1) 基元反应过渡状态理论认为，基元反应在从反应物到产物的变化过程中要经历一个中间状态，这个状态称为过渡态。

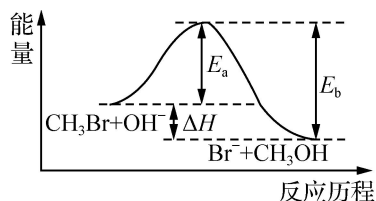


反应物          过渡态          产物

(2) 过渡态是反应过程中具有最高能量的一种分子结构，过渡态的能量与反应物的平均能量的差值相当于活化能，活化能（能垒）越高，此步基元反应越慢。如一溴甲烷与 NaOH 溶液反应的历程可以表示如下：



反应物          过渡态          产物



此反应的活化能（能垒）为  $E_a$  kJ/mol,  $\Delta H = (E_a - E_b)$  kJ/mol。

## 难点 2★ 催化剂与反应机理

### 1 催化剂与中间产物

催化剂：在连续反应中从一开始就参与了反应，在最后又再次生成。仅从结果上来看，催化剂似乎并没有发生变化，实则是消耗多少，后续又生成多少。

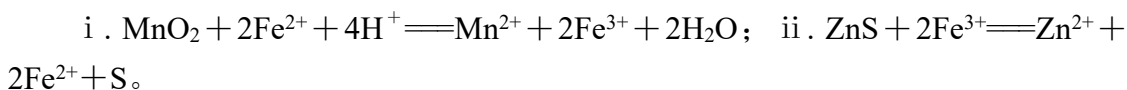
中间产物：在连续反应中为前一步的产物，在后续反应中又作为反应物被消耗。仅从结果上来看，中间产物似乎并没有生成，实则是生成多少，后续又消耗多少。

**思考** 在含少量  $I^-$  的溶液中， $H_2O_2$  分解的机理： $H_2O_2 + I^- \longrightarrow H_2O + IO^-$ （慢），

$H_2O_2 + IO^- \longrightarrow O_2 + I^- + H_2O$ （快）。在该反应中\_\_\_\_\_为催化剂，\_\_\_\_\_为中间

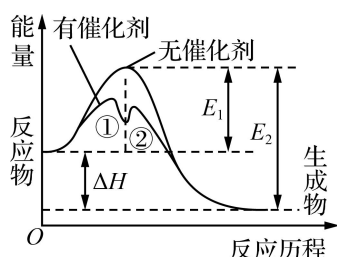
产物。

**例 1** [2025 天一中学、海安中学、金陵中学联考]工业浸锌：向闪锌矿（主要成分为难溶性  $\text{ZnS}$ ）中加入稀硫酸与软锰矿（主要成分为  $\text{MnO}_2$ ）可得到  $\text{ZnSO}_4$  与  $\text{MnSO}_4$  混合溶液和单质  $\text{S}$ 。工业浸锌时加入  $\text{FeSO}_4$  能“催化”  $\text{ZnS}$  的浸出，其过程可表示如下：



为验证上述“催化”过程。补充完整实验方案：取酸化的  $\text{FeSO}_4$  溶液，\_\_\_\_\_

## 2 有、无催化剂的反应历程能量对照图

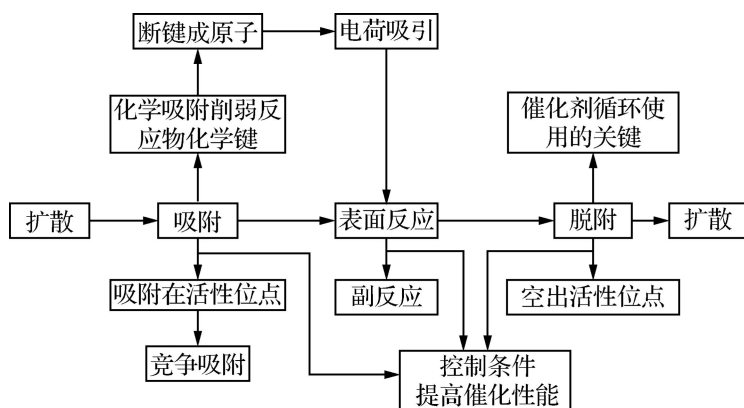


(1) 在无催化剂的情况下： $E_1$  为正反应活化能； $E_2$  为逆反应活化能； $E_1 - E_2$  为此反应的焓变( $\Delta H$ )。

(2) 有催化剂时，总反应分成两个步骤（也可能为多个），反应①为吸热反应，产物为总反应的中间产物，反应②为放热反应，总反应为放热反应。

(3) 催化剂的作用：降低正、逆反应所需的活化能，但不影响 $\Delta H$ ，反应是放热反应还是吸热反应取决于起点（反应物）能量和终点（生成物）能量的相对大小。

## 3 催化剂催化机理的认识模型



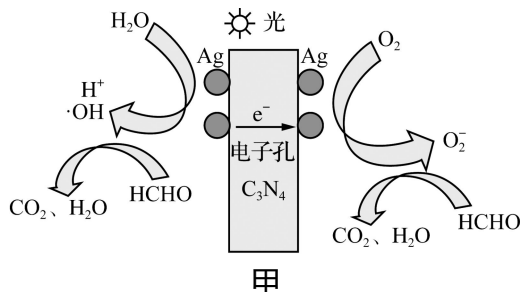
固态催化剂的催化反应需要在催化剂表面反应。静电作用、多孔（表面积大）、氢键（分子间作用力）等会导致反应物吸附在催化剂表面。可以通过采用多孔催化剂和载体（增大接触面积）、含有活性氢（可形成氢键）、带有电荷等方面调控催化剂的吸附，还可以通过改变反应物浓度调控反应的吸附（竞争吸附）。

例 2

[2025 南通如皋适应性二] 甲醛是室内装修常见的污染物, 可通过光

触媒氧化法和催化氧化法等多种方法去除。

(1) 一种以  $\text{Ag-C}_3\text{N}_4$  为催化剂、多孔  $\text{SiO}_2$  为催化剂载体, 去除空气中甲醛的机理如图甲所示。

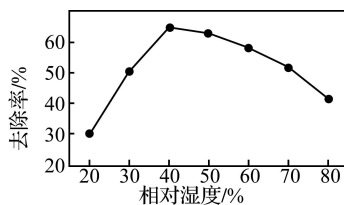


①该催化剂去除甲醛的机理可描述为\_\_\_\_\_。

②写出酸性条件下,  $\text{O}_2\cdot^-$  与  $\text{HCHO}$  反应的离子方程式: \_\_\_\_\_。

③空气湿度会影响甲醛去除率, 其他条件一定, 测得甲醛去除率与相对湿度的关系如图乙所示。相对湿度的计算方式如下:

$$\frac{\text{单位体积空气中含有水蒸气的实际质量}}{\text{单位体积空气中含有水蒸气达饱和时的质量}} \times 100\%$$

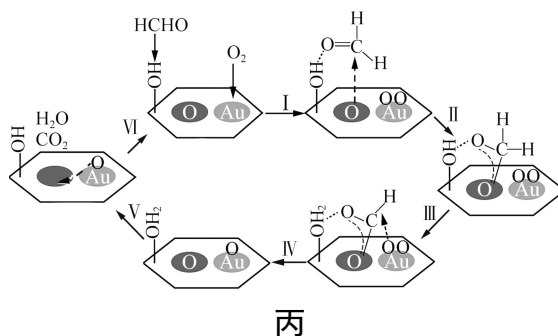


乙

I. 相对湿度从 20% 增大到 40%, 甲醛的去除率增大的主要原因是\_\_\_\_\_。

II. 相对湿度从 40% 增大到 80%, 甲醛的去除率减小的主要原因是\_\_\_\_\_。

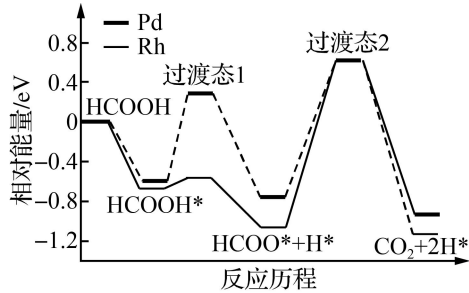
(2) 一种  $\text{Au}$  氧化物催化去除甲醛的机理如图丙所示。根据信息将图中第四步生成物所缺部分补全。



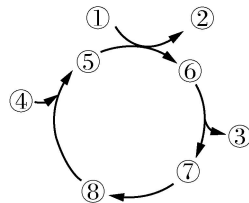
丙

难点 3 反应历程中的能垒图

反应历程中的能量变化图中，从左往右进行时，每一个爬坡就是一个基元反应的能垒，坡最高的基元反应，能垒最高，反应速率最小，为该反应的决速步骤。下图中，从第一个中间态( $\text{HCOO}^* + \text{H}^*$ )到过渡态 2 的能垒最大，故基元反应  $\text{HCOO}^* + \text{H}^* = \text{CO}_2 + 2\text{H}^*$  是在 Rh 作催化剂时该历程的决速步骤（图中的“\*”表示物质吸附在催化剂表面）。



难点 4 循环转化机理图



对于“环式”反应过程图像，需先由题给情境信息，找出催化剂、反应物、生成物、中间体，再结合每一设计的问题逐项分析判断，选出正确答案。

一“剂”指催化剂	催化剂位于环上，参与反应，在机理图中多数是以完整的循环出现的，以催化剂粒子为主体的多个物种一定在机理图的主线上	
三“物”指反应物、生成物、中间物种（或中间体）	反应物	通过一个箭头进入整个历程的物质（如①④）是反应物
	生成物	通过一个箭头最终脱离整个历程的物质（如②③）一般多是产物
	中间体	通过两个箭头位于“环上”的物质（如⑤⑥⑦⑧）一般多是中间体

难点 5 催化剂活性与反应温度

图像	解读
	<p>(1) 温度低于 <math>T_1</math>，催化剂活性随温度升高增大</p> <p>(2) 温度在 <math>T_1 \sim T_2</math> 时，催化剂活性基本不变</p> <p>(3) 温度高于 <math>T_2</math>，催化剂失活</p>

★催化剂失活

固态催化剂一般由载体和催化剂两个部分组成，催化剂的细小颗粒附着在载体上增大与反应物的接触面积，加快反应速率。

(1) 载体变化导致催化剂失活

①温度升高导致载体孔洞熔融；产物等堵塞载体孔洞。

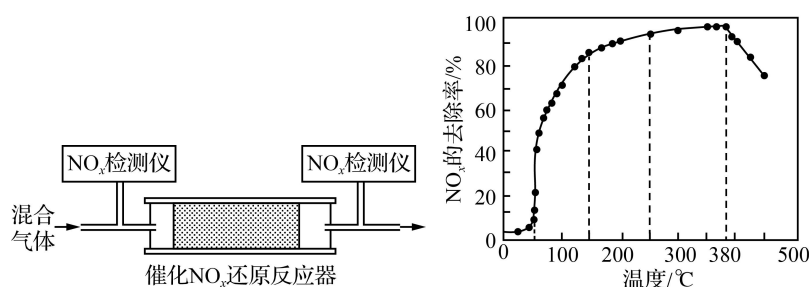
②溶液环境使载体溶解。如氧化铝载体在强酸强碱环境中因溶解而导致催化效率降低。

(2) 催化剂变化导致催化剂失活

①催化剂发生反应导致失活。如在氢气氛围中，催化剂  $\text{CuO}$  被还原为  $\text{Cu}$ 。

②催化剂被覆盖导致催化剂失活。如含碳物质在高温下的反应均可以产生固体碳单质覆盖在催化剂表面。

**例 3** 在有氧条件下，新型催化剂  $\text{M}$  能催化  $\text{NH}_3$  与  $\text{NO}_x$  反应生成  $\text{N}_2$ 。将一定比例的  $\text{O}_2$ 、 $\text{NH}_3$  和  $\text{NO}_x$  的混合气体匀速通入装有催化剂  $\text{M}$  的反应器中反应。反应相同时间， $\text{NO}_x$  的去除率随反应温度的变化曲线如右图所示。



(1) 在  $50\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$  内随着温度的升高， $\text{NO}_x$  的去除率迅速上升主要原因是

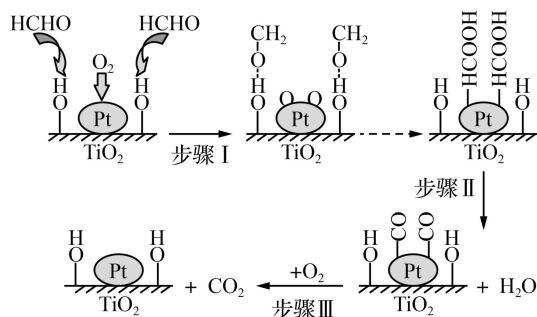
(2) 在  $150\sim 380\text{ }^{\circ}\text{C}$  内随着温度的升高， $\text{NO}_x$  的去除率上升缓慢的主要原因是

(3) 当反应温度高于  $380\text{ }^{\circ}\text{C}$  时， $\text{NO}_x$  的去除率迅速下降的原因可能是

## 检测反馈

对点练，再提升

1 [2024 南通、泰州等八市三模]  $\text{NaOH}$  活化过的  $\text{Pt}/\text{TiO}_2$  催化剂对甲醛氧化为  $\text{CO}_2$  具有较好的催化效果，有学者提出该催化反应的机理如图所示。下列说法不正确的是( )



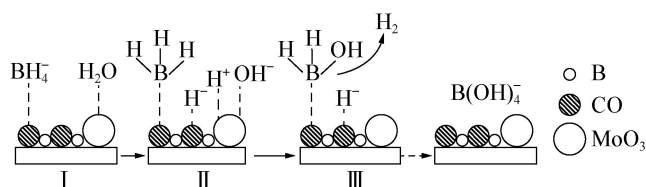
A. 步骤 I 中存在非极性键的断裂

B. 步骤 I 可理解为  $\text{HCHO}$  中带部分负电荷的  $\text{O}$  与催化剂表面的  $\text{—OH}$  发生作用

C. 步骤 II 中发生的反应可表示为  $\text{HCOOH} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$

D. 该催化剂对苯的催化氧化效果优于对  $\text{HCHO}$  的催化氧化效果

2 [2025 盐城期末]  $\text{NaBH}_4$  是一种储氢材料。Co-B 催化剂催化  $\text{NaBH}_4$  释氢原理是  $\text{OH}^-$  使催化剂表面的  $\text{BH}_4^-$  释放  $\text{H}^-$ ，催化剂表面的  $\text{H}^-$  与  $\text{H}^+$  结合生成  $\text{H}_2$  (Co 容易吸附阴离子)。在 Co-B 催化剂中掺有  $\text{MoO}_3$  会提高  $\text{NaBH}_4$  释氢速率，其部分机理如图所示。下列说法不正确的是( )



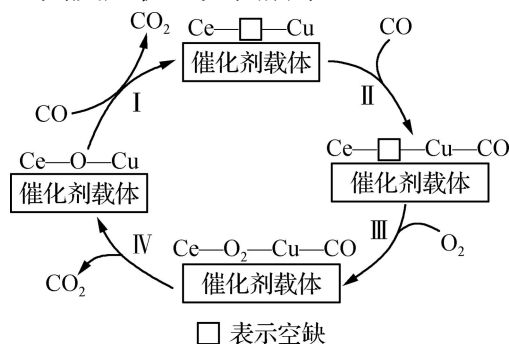
A.  $\text{H}^-$  与  $\text{H}^+$  结合生成  $\text{H}_2$  时放出热量

B.  $\text{MoO}_3$  促进了  $\text{H}_2\text{O}$  电离产生  $\text{H}^+$  与  $\text{OH}^-$

C. 用  $\text{D}_2\text{O}$  代替  $\text{H}_2\text{O}$ ，产生的气体中一定不含  $\text{HD}$

D. 释氢反应的离子方程式:  $\text{BH}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} = \text{B(OH)}_4^- + 4\text{H}_2 \uparrow$

3 [2024 宿迁调研] 铜铈氧化物 ( $x\text{CuO}_y\text{CeO}_2$ ，其中 O 均为  $-2$  价) 可催化氧化除去氢气中少量  $\text{CO}$ ，其反应机理如图所示。



(1) 反应 I 中 Ce 的化合价变化为\_\_\_\_\_ (已知反应 I 中 Cu、Ce 的化合价均发生变化)。

(2) 若反应 III 中通入  $^{18}\text{O}_2$ ，检测反应 IV 的产物，其中含有  $^{18}\text{O}$  的有\_\_\_\_\_种。

1 室温下, 下列说法不能说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的酸性弱于盐酸的是( )

- A. 相同浓度的醋酸溶液和盐酸, 前者 pH 大
- B. 相同 pH 的醋酸溶液和盐酸, 导电能力后者强
- C. 相同浓度的  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液和  $\text{NaCl}$  溶液, 前者 pH 大
- D. pH=2 的醋酸溶液和盐酸, 加水稀释 100 倍, 前者变化小于后者

2 铁矿石用稀硫酸溶解时, 稀硫酸要过量的原因是\_\_\_\_\_。

3 工业中常用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液浸泡金属, 从而去除金属表面的油污。

(1)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液除油污是由于其溶液呈碱性, 呈碱性的原因是\_\_\_\_\_ (用离子方程式表示)。

(2)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中存在多种微粒。

①比较大小:  $c(\text{HCO}_3^-)$  \_\_\_\_\_  $c(\text{OH}^-)$ 。

②写出  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中的三守恒。

电荷守恒: \_\_\_\_\_。

元素守恒: \_\_\_\_\_。

质子守恒: \_\_\_\_\_。

4 判断下列说法是否正确。

(1) 与 pH 相关。

①室温下, pH=6 的  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液中:  $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 9.9 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  ( )

②已知:  $\text{H}_2\text{SO}_3$  的  $K_{a1} = 1.3 \times 10^{-2}$ 、 $K_{a2} = 6.2 \times 10^{-8}$ 。室温下, 将  $\text{SO}_2$  气体通入 0.1 mol/L  $\text{NaOH}$  溶液中, 当溶液 pH=3 时停止通气, 则  $c(\text{SO}_3^{2-}) > c(\text{HSO}_3^-)$  ( )

③已知:  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  的  $K_{a1} = 5.6 \times 10^{-2}$ 、 $K_{a2} = 1.5 \times 10^{-4}$ 。室温下, 向  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液中加入酸调节 pH=2 时溶液中存在:  $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) > c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$  ( )

(2) 与  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液相关。

①已知:  $\text{H}_2\text{S}$  的  $K_{a1} = 1.1 \times 10^{-7}$ 、 $K_{a2} = 1.3 \times 10^{-13}$ , 则室温下, 0.01 mol/L  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液中:  $c(\text{HS}^-) > c(\text{S}^{2-})$  ( )

②室温下, 用 pH 计测量 0.1 mol/L  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液的 pH, 测得 pH 为 12.65, 则  $c(\text{S}^{2-}) < c(\text{HS}^-)$  ( )

5 实验室中用  $\text{FeSO}_4$  溶液和  $\text{NaHCO}_3$  溶液制备  $\text{FeCO}_3$  沉淀。

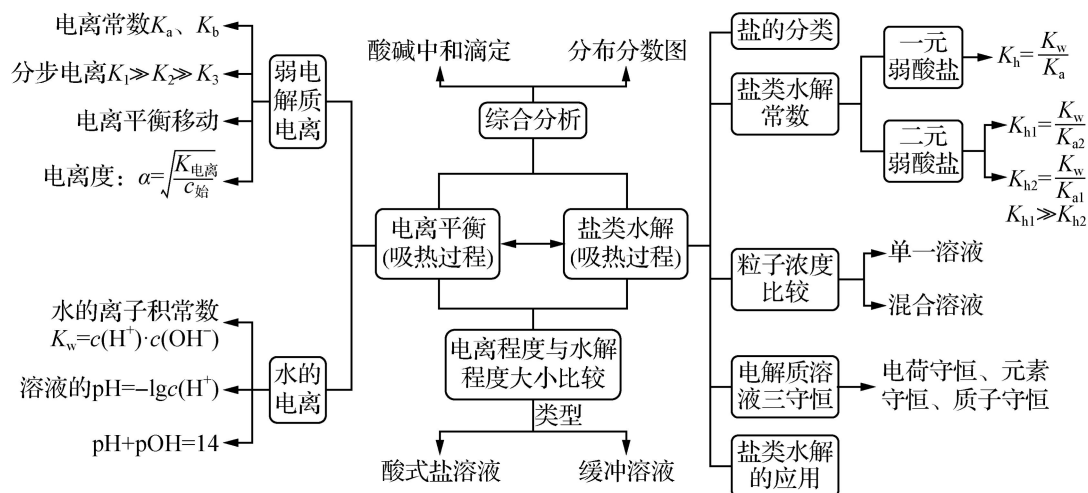
(1)  $\text{NaHCO}_3$  溶液中产生  $\text{CO}_3^{2-}$  的原因是\_\_\_\_\_ (用离子方程式表示)。

(2) 实验室制备  $\text{FeCO}_3$  沉淀, 不采用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液原因是\_\_\_\_\_。

(3) 制备较纯净的  $\text{FeCO}_3$  沉淀,  $\text{FeSO}_4$  溶液和  $\text{NaHCO}_3$  溶液加入顺序为\_\_\_\_\_。

## 体系建构

化散为整，融会贯通



## 名卷优选

研好题，悟方法

### 3 年真题

#### 考向 1 溶液中粒子浓度分析

##### 题型 1 固定成分溶液中粒子浓度分析

1 判断下列说法是否正确。

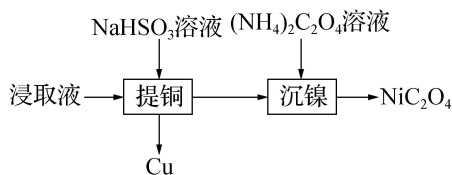
- (1) [2025 江苏卷] 已知:  $K_a(\text{HSO}_4^-) = 1.2 \times 10^{-2}$ , 较浓硫酸溶液中:  $c(\text{H}^+) = 2c(\text{SO}_4^{2-}) + c(\text{OH}^-)$  ( )
- (2) [2025 江苏卷]  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液中:  $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) + c(\text{OH}^-) = c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{H}^+)$  ( )
- (3) [2023 江苏卷]  $0.1 \text{ mol/L NaHCO}_3$  溶液中:  $c(\text{CO}_3^{2-}) = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{CO}_3) - c(\text{OH}^-)$  ( )
- (4) [2023 江苏卷]  $0.1 \text{ mol/L NaF}$  溶液中:  $c(\text{F}^-) = c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+)$  ( )
- (5) [2022 江苏卷]  $\text{KOH}$  完全转化为  $\text{K}_2\text{CO}_3$  时, 溶液中:  $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{CO}_3)$  ( )

##### 题型 2 反应过程中粒子浓度分析

##### [工业流程中粒子浓度关系]

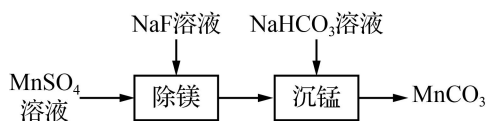
2 判断下列粒子浓度关系是否正确。

- (1) [2025 江苏卷] 室温下, 有色金属冶炼废渣 (含  $\text{Cu}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Si}$  等的氧化物) 用过量的较浓硫酸溶液酸浸后, 提取铜和镍的过程如图所示。“提铜”和“沉镍”后的两份滤液中:  $c_{\text{提铜}}(\text{Na}^+) = c_{\text{沉镍}}(\text{Na}^+)$  ( )





(2) [2023 江苏卷]室温下,用含少量  $\text{Mg}^{2+}$  的  $\text{MnSO}_4$  溶液制备  $\text{MnCO}_3$  的过程如图所示。已知:  $K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2)=5.2\times 10^{-11}$ ,  $K_{\text{a}}(\text{HF})=6.3\times 10^{-4}$ 。



“沉锰”后的滤液中:  $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-})$   
( )

[实验过程中粒子浓度分析]

3 [2025 江苏卷]探究含铜化合物性质的实验如下:

步骤 I: 取一定量 5%  $\text{CuSO}_4$  溶液, 加入适量浓氨水, 产生蓝色沉淀。

步骤 II: 将沉淀分成两等份, 分别加入相同体积的浓氨水、稀盐酸, 沉淀均完全溶解, 溶液分别呈现深蓝色、蓝色。

步骤 II 的两份溶液中:  $c_{\text{深蓝色}}(\text{Cu}^{2+})$  \_\_\_\_\_  $c_{\text{蓝色}}(\text{Cu}^{2+})$ 。

4 [2024 江苏卷]室温下, 通过下列实验探究  $\text{SO}_2$  的性质。已知:  $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{SO}_3)=1.3\times 10^{-2}$ ,  $K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{SO}_3)=6.2\times 10^{-8}$ 。

实验 1: 将  $\text{SO}_2$  气体通入水中, 测得溶液  $\text{pH}=3$ 。

实验 2: 将  $\text{SO}_2$  气体通入 0.1 mol/L 酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液中, 当溶液恰好褪色时停止通气。

下列说法正确的是 \_\_\_\_\_ (填序号)。

①实验 1 所得溶液中:  $c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{SO}_3^{2-}) > c(\text{H}^+)$

②实验 2 所得溶液中:  $c(\text{SO}_4^{2-}) > c(\text{Mn}^{2+})$

考向 2 酸碱滴定过程和分布曲线中粒子浓度分析

5 [2018 江苏卷] $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  为二元弱酸,  $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=5.4\times 10^{-2}$ ,  $K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=5.4\times 10^{-5}$ , 设  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液中  $c(\text{总})=c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)+c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)+c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ 。室温下, 用  $\text{NaOH}$  溶液滴定 25.00 mL 0.100 0 mol/L  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液至终点。滴定过程得到的下列溶液中微粒的物质的量浓度关系一定正确的是( )

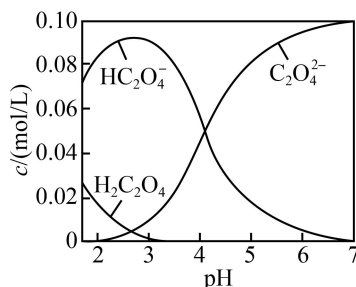
A. 0.100 0 mol/L  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液:  $c(\text{H}^+) > c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{OH}^-) + 0.100 0 \text{ mol/L} - c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$

B.  $c(\text{Na}^+) = c(\text{总})$  的溶液:  $c(\text{Na}^+) > c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) > c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) > c(\text{H}^+)$

C.  $\text{pH}=7$  的溶液:  $c(\text{Na}^+) = 0.100 0 \text{ mol/L} + c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) - c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$

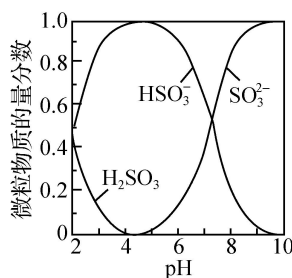
D.  $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{总})$  的溶液:  $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = 2c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$

6 [2016 江苏卷]  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  为二元弱酸。20 °C 时, 配制一组  $c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = 0.100 \text{ mol/L}$  的  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  和  $\text{NaOH}$  混合溶液, 溶液中部分微粒的物质的量浓度随 pH 的变化曲线如图所示。下列指定溶液中微粒的物质的量浓度关系一定正确的是( )



- A. pH=2.5 的溶液中:  $c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) > c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$   
 B.  $c(\text{Na}^+) = 0.100 \text{ mol/L}$  的溶液中:  $c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = c(\text{OH}^-) + c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$   
 C.  $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) = c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$  的溶液中:  $c(\text{Na}^+) > 0.100 \text{ mol/L} + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$   
 D. pH=7 的溶液中:  $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$

7 [2020 江苏卷] 吸收工厂烟气中的  $\text{SO}_2$  能有效减少  $\text{SO}_2$  对空气的污染。氨水吸收烟气中  $\text{SO}_2$  后经  $\text{O}_2$  催化氧化, 可得到硫酸盐。已知: 溶液中  $\text{H}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{HSO}_3^-$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$  的物质的量分数随 pH 的分布如图所示。



(1) 当通入  $\text{SO}_2$  至溶液 pH=6 时, 溶液中浓度最大的阴离子是\_\_\_\_\_ (填离子符号)。

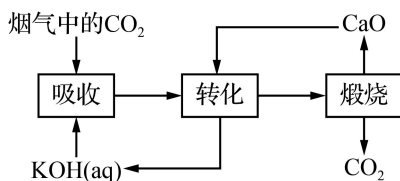
(2)  $\text{O}_2$  催化氧化。其他条件相同时, 调节吸收  $\text{SO}_2$  得到溶液的 pH 在 4.5~6.5 范围内, pH 越低  $\text{SO}_3^{2-}$  生成速率越大, 其主要原因是\_\_\_\_\_。

考向 3 电离平衡常数的计算及应用

8 [2025 江苏卷] 已知:  $K_{a1}(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1.2 \times 10^{-2}$ ,  $K_{a2}(\text{H}_2\text{SO}_3) = 6.0 \times 10^{-8}$ 。 $\text{NaHSO}_3$  溶液中:  $2\text{HSO}_3^- \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{SO}_3$  的平衡常数  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

9 (1) [2024 江苏卷] 已知  $K_{a1}(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1.3 \times 10^{-2}$ ,  $K_{a2}(\text{H}_2\text{SO}_3) = 6.2 \times 10^{-8}$ 。将  $\text{SO}_2$  气体通入 0.1 mol/L  $\text{NaOH}$  溶液中, 当溶液 pH=4 时停止通气, 溶液中  $c(\text{SO}_3^{2-})$  \_\_\_\_\_ (填“>”“<”或“=”, 下同)  $c(\text{HSO}_3^-)$ 。

(2) [2022 江苏卷] 一种捕集烟气中  $\text{CO}_2$  的过程如图。室温下以 0.1 mol/L  $\text{KOH}$  溶液吸收  $\text{CO}_2$ , 若通入  $\text{CO}_2$  所引起的溶液体积变化和  $\text{H}_2\text{O}$  的挥发可忽略, 溶液中含碳物种的浓度  $c_{\text{总}} = c(\text{H}_2\text{CO}_3) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{CO}_3^{2-})$ 。已知:  $\text{H}_2\text{CO}_3$  电离常数分别为  $K_{a1} = 4.4 \times 10^{-7}$ 、 $K_{a2} = 4.4 \times 10^{-11}$ 。



①KOH 吸收  $\text{CO}_2$  所得到的溶液中:  $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$  \_\_\_\_\_  $c(\text{HCO}_3^-)$ 。

②KOH 溶液吸收  $\text{CO}_2$ ,  $c_{\text{总}}=0.1 \text{ mol/L}$  溶液中:  $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$  \_\_\_\_\_  $c(\text{CO}_3^{2-})$ 。

(3) [2021 江苏卷]用 pH 试纸测量  $0.1 \text{ mol/L NaHCO}_3$  溶液的 pH, 测得 pH 约为 8。由实验可得出:  $K_{a2}$  \_\_\_\_\_  $\frac{K_w}{K_{a1}(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ 。

考向 4 盐类水解的综合应用

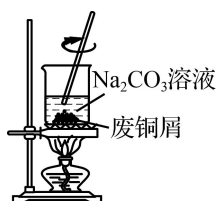
10 判断下列说法是否正确。

(1) [2025 扬州期末]用 pH 计测定  $\text{NH}_4\text{HSO}_3$  溶液的 pH,  $\text{pH}<7$ , 说明  $\text{HSO}_3^-$  的电离程度大于水解程度( )

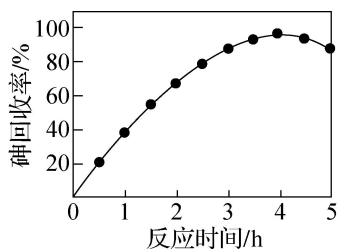
(2) [2023 江苏卷]向  $2 \text{ mL FeSO}_4$  溶液中滴加 2~3 滴酚酞试液, 观察溶液颜色变化判断  $\text{Fe}^{2+}$  是否水解( )

(3) [2024 江苏卷]用 pH 试纸分别测定  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液和  $\text{NaNO}_2$  溶液 pH,  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液 pH 大, 故结合  $\text{H}^+$  能力:  $\text{CH}_3\text{COO}^- > \text{NO}_2^-$  ( )

(4) [2021 江苏卷]用如图所示的装置除去废铜屑表面的油污( )



11 [2025 江苏卷]用  $\text{ZnS}$  去除酸性废液中的三价砷[As(III)], 并回收生成的  $\text{As}_2\text{S}_3$  沉淀。已知: 溶液中 As(III) 主要以弱酸  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  形式存在,  $\text{As}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_3\text{AsO}_3 + 3\text{H}_2\text{S}$ 。60 °C 时, 按  $n(\text{S}):n(\text{As})=7:1$  向酸性废液中加入  $\text{ZnS}$ , 砷回收率随反应时间的变化如图所示。



(1) 写出  $\text{ZnS}$  与  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  反应生成  $\text{As}_2\text{S}_3$  的离子方程式: \_\_\_\_\_。

(2) 反应 4 h 后, 砷回收率下降的原因是 \_\_\_\_\_。

12 [2023 江苏卷]催化剂的制备。将预先制备的一定量的  $\text{WO}_3/\text{TiO}_2$  粉末置于  $80^\circ\text{C}$  的水中,在搅拌下加入一定量的  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  溶液,经蒸发、焙烧等工序得到颗粒状  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$  催化剂。在水溶液中  $\text{VO}_3^-$  水解为  $\text{H}_3\text{VO}_4$  沉淀的离子方程式为\_\_\_\_\_。反应选用  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  溶液而不选用  $\text{NaVO}_3$  溶液的原因是\_\_\_\_\_。

### 3 年模拟

#### 考向 1 溶液中粒子浓度分析

##### 题型 1 固定成分溶液中粒子浓度分析

1 判断下列说法是否正确。

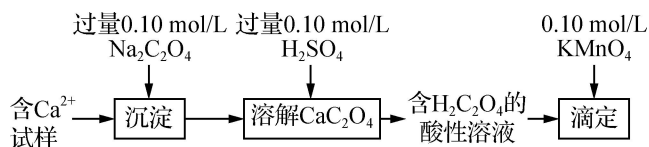
- (1) [2025 苏州期初]  $0.01\text{ mol/L Na}_2\text{S}$  溶液中:  $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HS}^-) + c(\text{H}_2\text{S})$  ( )
- (2) [2025 南通、泰州、镇江一调]  $\text{NH}_4\text{HSO}_3$  溶液中:  $c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{SO}_3) = c(\text{OH}^-) + c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})$  ( )
- (3) [2025 南京、盐城一模]  $0.1\text{ mol/L NaHCO}_3$  溶液的 pH 约为 8:  $c(\text{H}_2\text{CO}_3) > c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{OH}^-)$  ( )
- (4) [2024 苏州期末]  $0.1\text{ mol/L (NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液中:  $c(\text{NH}_4^+) > 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + 2c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 2c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$  ( )

##### 题型 2 反应过程中粒子浓度分析

##### [工业流程中粒子浓度关系]

2 判断下列情境下粒子浓度关系是否正确。

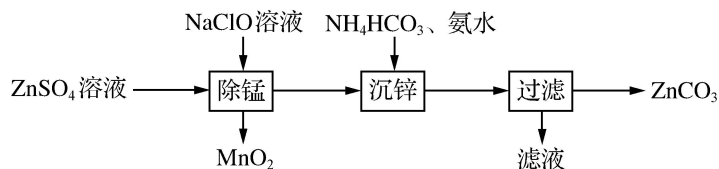
(1) [2025 苏州期末]室温下,测定溶液中  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的流程如下:



①溶解得到的酸性溶液中:  $2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{OH}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-}) = c(\text{H}^+)$  ( )

②滴定终点时的溶液中:  $c(\text{MnO}_4^-) > c(\text{Mn}^{2+})$  ( )

(2) [2024 南通、泰州等六市一调]室温下,用含有少量  $\text{Mn}^{2+}$  的  $\text{ZnSO}_4$  溶液制备  $\text{ZnCO}_3$  的过程如下:



“过滤”所得滤液中:  $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}) > c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{CO}_3) + c(\text{CO}_3^{2-})$  ( )

### [实验过程中粒子浓度分析]

3 [2025 南京期初]室温下,通过下列实验探究  $K_2C_2O_4$  与  $KHC_2O_4$  的性质(忽略溶液混合时的体积变化)。

实验 1: 向  $0.1 \text{ mol/L KHC}_2\text{O}_4$  溶液中滴加少量等浓度  $\text{NaOH}$  溶液,无明显现象。

实验 2: 向酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液中滴加  $0.1 \text{ mol/L KHC}_2\text{O}_4$  溶液至溶液紫红色恰好褪去。

判断下列说法是否正确。

(1) 实验 1 所得溶液中:  $c(\text{K}^+) = c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$  ( )

(2) 实验 2 所得溶液中:  $\frac{c(\text{K}^+)}{c(\text{Mn}^{2+})} > 2.5$  ( )

4 [2025 无锡期末]室温下,通过下列实验制备少量  $\text{NaHCO}_3$  并探究其性质。

实验 1: 测得  $100 \text{ mL } 14 \text{ mol/L}$  氨水的  $\text{pH}$  约为  $12.0$ ;

实验 2: 向上述氨水中加入  $\text{NaCl}$  至饱和,通入足量  $\text{CO}_2$ ,经过滤、洗涤、干燥得到  $\text{NaHCO}_3$  固体;

实验 3: 配制  $100 \text{ mL } 0.1 \text{ mol/L NaHCO}_3$  溶液,测得溶液  $\text{pH}$  为  $8.0$ ;

实验 4: 向  $2 \text{ mL } 0.1 \text{ mol/L NaHCO}_3$  溶液中滴加几滴  $0.1 \text{ mol/L Ba(OH)}_2$  溶液,产生白色沉淀。

下列说法正确的是( )

A. 依据实验 1 推测:  $K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) \approx 7 \times 10^{-26}$

B. 实验 2 所得滤液中存在:  $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{H}^+) + c(\text{Na}^+) = c(\text{Cl}^-) + c(\text{OH}^-)$

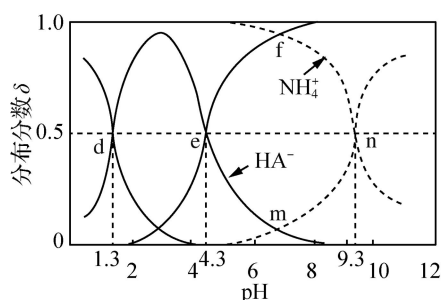
C. 实验 3 的溶液中存在:  $c(\text{CO}_3^{2-}) - c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 9.9 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$

D. 实验 4 发生反应的离子方程式:  $2\text{HCO}_3^- + \text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{BaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

考向 2 酸碱滴定过程和分布曲线中粒子浓度分析

5 [2023 盐城期末]乙二酸(用  $\text{H}_2\text{A}$  表示)为二元弱酸。 $25^\circ\text{C}$  时,向  $0.1 \text{ mol/L NH}_4\text{HA}$  溶液中滴加适量的盐酸或  $\text{NaOH}$  溶液,溶液中各含氮(或 A)微粒的分布分数  $\delta$  与溶液  $\text{pH}$  的关系如图所示(不考虑溶液中的  $\text{NH}_3$  分子)。例如,溶液中

$\text{H}_2\text{A}$  的分布分数  $\delta(\text{H}_2\text{A}) = \frac{c(\text{H}_2\text{A})}{c(\text{H}_2\text{A}) + c(\text{HA}^-) + c(\text{A}^{2-})}$ 。下列说法正确的是( )



A.  $\text{NH}_4\text{HA}$  溶液中:  $c(\text{HA}^-) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$

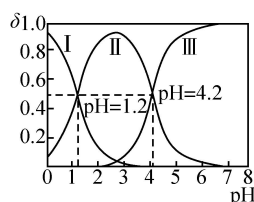
B.  $\text{pH}=8$  的溶液中:  $c(\text{A}^{2-}) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) > c(\text{HA}^-)$

C. d 点溶液中:  $c(\text{H}_2\text{A}) + c(\text{HA}^-) + c(\text{A}^{2-}) = 0.1 \text{ mol/L}$

D.  $\text{NH}_4\text{HA}$  溶液中滴加少量  $\text{NaOH}$  溶液的主要反应的离子方程式:  $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- = \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

6 [2025 苏锡常镇二调] 室温下,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液中含碳微粒的分布系数与  $\text{pH}$  的关系如图。已知:  $\delta(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = \frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}$ 。下列说法

正确的是( )



A.  $\text{pH}=3.0$  时:  $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) > c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) > c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$

B. 浓度均为  $0.1 \text{ mol/L}$   $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  和  $\text{NaHC}_2\text{O}_4$  的混合液中:  $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) > c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$

C. 向  $0.1 \text{ mol/L}$   $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液中滴加氨水至  $\text{pH}=7$ , 溶液中:  $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) > c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$

D. 向  $0.1 \text{ mol/L}$   $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液中加入  $\text{NaOH}$  溶液至  $\text{pH}=4.2$  的反应:  $3\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 5\text{OH}^- = \text{HC}_2\text{O}_4^- + 2\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 5\text{H}_2\text{O}$

考向 3 电离平衡常数的计算及应用

7 判断下列说法是否正确。

(1) [2025 南通、泰州、镇江一调]  $K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.8 \times 10^{-5}$ 。  $0.1 \text{ mol/L}$  的氨水:  $10 < \text{pH} < 11$  ( )

(2) [2025 苏州期初] 已知  $K_{a1}(\text{H}_2\text{S}) = 10^{-6.97}$ 、 $K_{a2}(\text{HS}^-) = 10^{-12.90}$ 。  $0.01 \text{ mol/L}$   $\text{Na}_2\text{S}$  溶液中:  $c(\text{Na}^+) > c(\text{S}^{2-}) > c(\text{OH}^-) > c(\text{HS}^-)$  ( )

(3) [2025 南通、泰州、镇江一调] 向吸收了足量  $\text{SO}_2$  的溶液中通  $\text{O}_2$ , 反应过程中  $\frac{c(\text{HSO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{SO}_3)}$  的值增大 ( )

(4) [2025 南京期初] 已知:  $K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5.6 \times 10^{-2}$ 、 $K_{a2}(\text{HC}_2\text{O}_4^-) = 1.5 \times 10^{-4}$ 。  $0.1 \text{ mol/L}$   $\text{KHC}_2\text{O}_4$  溶液中:  $c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) < c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$  ( )

考向 4 盐类水解的综合应用

8 判断下列说法是否正确。

(1) [2025 苏州期末] 分别向  $\text{CH}_3\text{COONa}$  和  $\text{NaCN}$  溶液中滴加几滴酚酞试液, 观察溶液颜色, 判断  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  和  $\text{CN}^-$  结合  $\text{H}^+$  能力的强弱 ( )

(2) [2025 南通、泰州等七市二调] 向含酚酞的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中加入少量  $\text{BaCl}_2$  固体, 观察溶液颜色变化, 判断  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中存在水解平衡 ( )

(3) [2026 连云港期中]用 pH 试纸测量  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  溶液的 pH, 测得  $\text{pH} < 7$ , 判断  $\text{Fe}^{2+}$  能发生水解( )

(4) [2025 苏锡常镇二调]用 pH 计分别测定浓度均为  $0.1 \text{ mol/L}$  的  $\text{NaClO}$  溶液和  $\text{NaNO}_2$  溶液的 pH, 比较读数大小, 判断  $\text{HClO}$  和  $\text{HNO}_2$  的酸性强弱( )

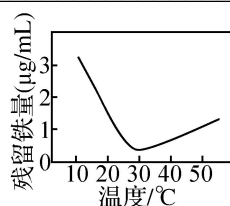
(5) [2026 泰兴期中]用 pH 试纸测相同浓度的  $\text{NaClO}$ 、 $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液的 pH, 判断  $\text{ClO}^-$  与  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  的水解程度大小( )

(6) [2026 镇江、南京联盟校联考]用 pH 计分别测定  $\text{NaClO}$  和  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$  溶液的 pH, 前者 pH 大, 判断结合  $\text{H}^+$  的能力:  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^- > \text{ClO}^-$  ( )

9 [2026 扬州七校联考]特制  $\text{MnO}_2$  粉末可除去水中微量  $\text{Fe}^{2+}$ 。控制溶液 pH 约为 6.5,  $\text{Fe}^{2+}$  被吸附至  $\text{MnO}_2$  表面, 在  $\text{MnO}_2$  催化下被溶解氧快速氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ , 最终形成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体后与  $\text{MnO}_2$  共沉淀。

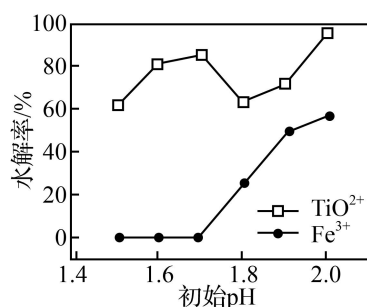
(1)  $\text{Fe}^{2+}$  转化为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体总反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

(2) 溶液中残留铁量与温度关系如图。温度高于  $30^\circ\text{C}$ , 溶液残留铁量增多的原因是\_\_\_\_\_。

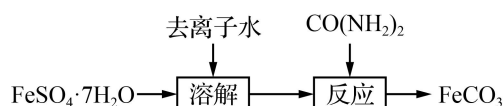


(3) 除铁时, 溶液 pH 不宜过低, 可能原因是\_\_\_\_\_。

10 (1) [2024 苏州期末]已知:  $\text{TiO}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{TiO}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{H}^+$ 。其他条件不变, 溶液初始 pH 对含  $\text{Fe}^{3+}$  的  $\text{TiO}^{2+}$  溶液水解率的影响如图所示, pH 在 1.7~1.8 内, 随着 pH 增大,  $\text{TiO}^{2+}$  水解率下降的原因是\_\_\_\_\_。



(2) [2024 无锡期末]以  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  为原料制备  $\text{FeCO}_3$  的实验流程如图所示。沉淀剂使用尿素  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ , 不使用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的原因是\_\_\_\_\_。



核心 1 电离平衡常数 ( $K_{\text{电离}}$ )、水的离子积常数( $K_w$ )与盐类水解常数( $K_h$ )

### 1 电离平衡常数 ( $K_{\text{电离}}$ )

(1) 常见的弱电解质: 弱酸、弱碱和水, 弱电解质在溶液中存在电离平衡。弱电解质的电离是吸热过程, 升高温度, 可促进其电离。常引用常数  $K$  比较酸碱性强弱、比较粒子浓度大小或判断粒子浓度比的变化。

①  $K_a$  越小, 酸性\_\_\_\_\_。

② 醋酸  $K_a = 1.75 \times 10^{-5}$ ,  $\text{pH} = 5$  时  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  \_\_\_\_\_ (填“>”“<”或“=”)  $c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 。

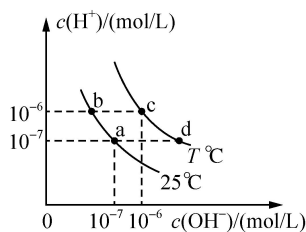
③ 醋酸溶液加水稀释过程中,  $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$  \_\_\_\_\_ (填“增大”“不变”或“减小”)。

(2) 多元弱酸(或弱碱)的电离是分步进行的, 一般  $K_1 \gg K_2 \gg K_3$ 。因此计算多元弱酸溶液的  $c(\text{H}^+)$  或比较多元弱酸酸性相对强弱时, 通常只考虑第一步电离。

① 可以通过比较弱酸一级电离平衡常数的大小来比较它们电离程度的大小, 也可比较酸性强弱。如酸性:  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 > \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_2\text{CO}_3$ 。

② 多元弱酸酸根水解或与酸反应时分步进行。如  $\text{CO}_3^{2-}$  水解分为两步:  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-$ 、 $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}_2\text{CO}_3$ ; 与酸反应也分为两步:  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$ 、 $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ , 若是向碳酸盐中加入稀盐酸, 则会依次生成\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。

### 2 水的电离[25 °C时, 水的离子积常数 $K_w = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 10^{-14}$ ]



图中曲线表示不同温度下, 水溶液中  $c(\text{H}^+)$  与  $c(\text{OH}^-)$  的关系。由于水的电离是吸热过程, 升高温度可促进水电离, 水的离子积常数增大, 曲线  $cd$  对应的温度高于 25 °C, 故  $T > 25$ 。

一定温度下, 水溶液中  $c(\text{H}^+)$  与  $c(\text{OH}^-)$  的关系是一个定值, 但水的电离程度不一定相同。在酸或碱溶液中, 水的电离受到\_\_\_\_\_; 电离程度\_\_\_\_\_ (填“变大”“变小”或“不变”)。

### 3 盐类水解常数( $K_h$ )

$K_h = \frac{K_w}{K_{\text{电离}}}$ 。电解质越弱, 其盐的水解常数越\_\_\_\_\_ (填“大”或“小”,

下同), 水解程度越\_\_\_\_\_。



#### 4 综合应用（没有特殊说明时，使用的数据均在室温下）

##### (1) 证明弱电解质的方法

###### I. 从平衡及平衡移动判断

以  $\text{CH}_3\text{COOH}$  为例：

①测定  $0.1 \text{ mol/L CH}_3\text{COOH}$  溶液的 pH，pH\_\_\_\_\_（填“>”或“<”，下同）1，说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  为弱电解质。

②测定  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液的 pH，pH\_\_\_\_\_7，说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  为弱电解质。

③取 pH=3 的  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液 1 mL，用水稀释到 100 mL，pH\_\_\_\_\_5，说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  为弱电解质。

④向  $0.1 \text{ mol/L CH}_3\text{COOH}$  溶液中加入少量  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ （水溶液呈中性）固体（溶液体积变化忽略不计），pH\_\_\_\_\_（填“变大”或“变小”），说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  为弱电解质。

###### II. 从与强酸（如盐酸）比较判断

##### ①相同浓度的盐酸和 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 比较

A. 测定溶液的 pH，溶液 pH：盐酸\_\_\_\_\_醋酸，说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  为弱电解质。

B. 与活泼金属、碳酸盐等反应，反应的剧烈程度：盐酸\_\_\_\_\_醋酸，说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  为弱电解质。

C. 相同温度、相同浓度的盐酸的导电性\_\_\_\_\_醋酸的导电性，说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  是弱电解质。

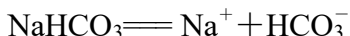
##### ②相同 pH 的盐酸和 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 比较

A. 与活泼金属、碳酸盐等反应，反应过程中的剧烈程度：盐酸\_\_\_\_\_醋酸，说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  为弱电解质。

B. 加水稀释相同的倍数，溶液 pH：盐酸\_\_\_\_\_醋酸，说明  $\text{CH}_3\text{COOH}$  为弱电解质。

##### (2) 酸式盐溶液电离程度和水解程度的比较

以  $\text{NaHCO}_3$  为例：



已知： $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$   $K_{a1} = 4.5 \times 10^{-7}$

电离平衡： $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$   $K_{a2} = 4.7 \times 10^{-11}$

水解平衡： $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}_2\text{CO}_3$

$$K_h = \frac{K_w}{K_{a1}} = \frac{10^{-14}}{4.5 \times 10^{-7}} \approx 2.2 \times 10^{-8}$$

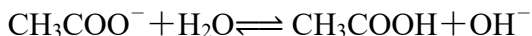
比较结果： $K_{a2} < K_h$

**思考** ①溶液显\_\_\_\_\_性；②溶液中  $c(\text{CO}_3^{2-})$  \_\_\_\_\_（填“>”或“<”）

$c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 。

### (3) 混合溶液电离程度和水解程度的比较

以 0.1 mol/L  $\text{CH}_3\text{COOH}$  和 0.1 mol/L  $\text{CH}_3\text{COONa}$  等体积混合的溶液为例：



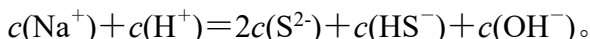
$$K_h = \frac{10^{-14}}{1.75 \times 10^{-5}}$$

由于  $K_a > K_h$ ，故电离程度\_\_\_\_\_（填“>”或“<”，下同）水解程度，溶液显性， $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ \_\_\_\_\_ $c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 。

### 核心 2 电解质溶液中“三个守恒”

#### 1 电荷守恒

电解质溶液中，无论存在多少种离子，溶液都呈电中性，即电解质溶液中阳离子所带的电荷总数与\_\_\_\_\_相等，如  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液中：



#### 2 元素守恒

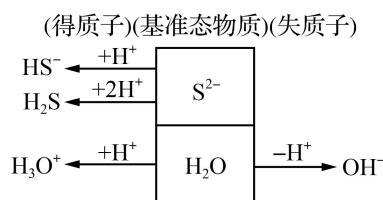
在电解质溶液中，由于某些离子发生水解或电离，离子的存在形式发生了变化，变成了其他离子或分子，使粒子的种类增多，但却不能使离子或分子中某种特定元素原子或原子团的总数目发生变化，其总数目在反应前后是守恒的，始终遵循原子守恒。如  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液中： $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{S}^{2-}) + 2c(\text{HS}^-) + 2c(\text{H}_2\text{S})$ 。

#### 3 质子守恒

以  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液为例：

(1) 方法 1：可以由电荷守恒与元素守恒推导出来， $c(\text{H}^+) + 2c(\text{H}_2\text{S}) + c(\text{HS}^-) = c(\text{OH}^-)$ 。

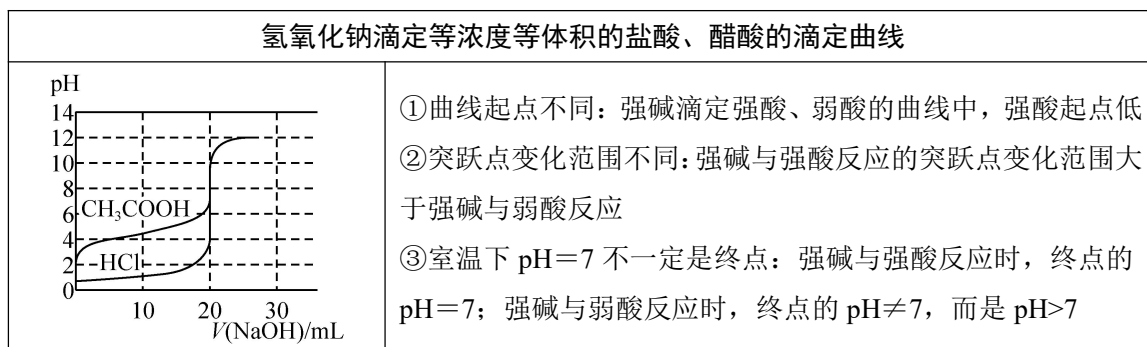
(2) 方法 2：可以利用下图进行快速书写。



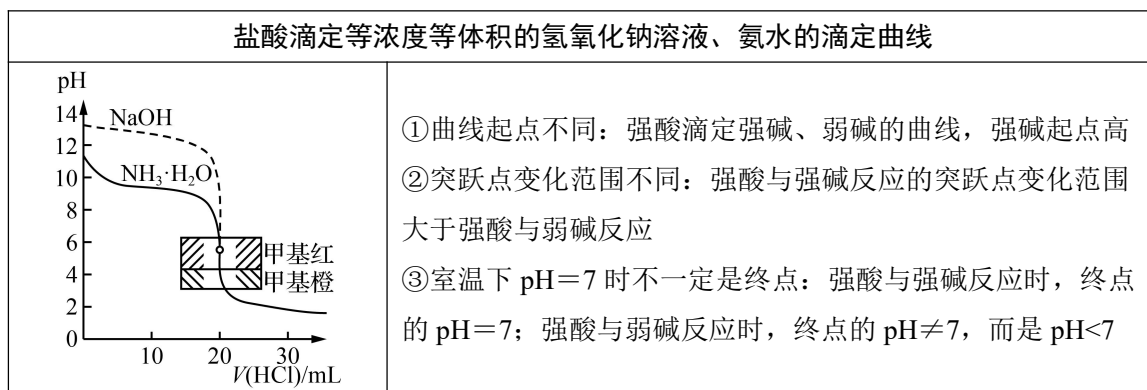
质子守恒： $c(\text{H}^+) + 2c(\text{H}_2\text{S}) + c(\text{HS}^-) = c(\text{OH}^-)$ 。

### 核心3 酸碱滴定反应图像

#### 1 强碱滴定一元强酸、一元弱酸

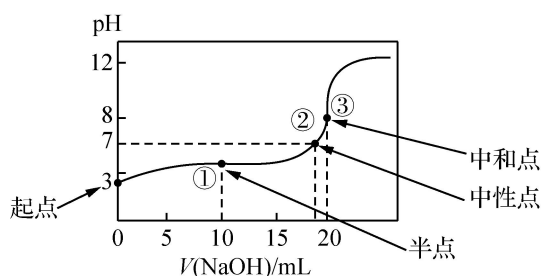


#### 2 强酸滴定一元强碱、一元弱碱

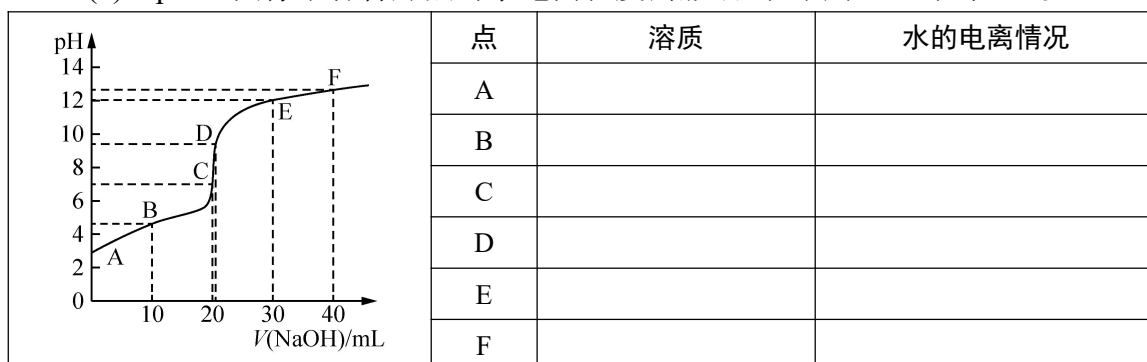


#### 3\* 滴定曲线上特殊点的分析

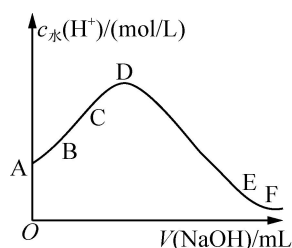
常温下，用  $0.1000 \text{ mol/L}$   $\text{NaOH}$  溶液滴定  $20.00 \text{ mL}$   $0.1000 \text{ mol/L}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液，所得滴定曲线如图所示。



#### (1) $\text{pH}-V$ 图像中各特殊点对水电离程度的影响(表中用 $\text{HAc}$ 表示 $\text{CH}_3\text{COOH}$ )



根据图中  $\text{pH}$  数据，图中 A、B、C、D、E、F 各点对应的溶液中水的电离程度大小顺序如图所示。



(2) pH- $V$  图像中各特殊点离子浓度大小比较及变化趋势（表中 HAc 为  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ）

点	溶质	离子浓度大小比较
A	HAc	$c(\text{H}^+) > c(\text{Ac}^-) > c(\text{OH}^-)$
B(1 : 1)	HAc、NaAc	$c(\text{Ac}^-) > c(\text{Na}^+) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$
C(pH=7)	HAc、NaAc	$c(\text{Ac}^-) = c(\text{Na}^+) > c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$
D	NaAc	$c(\text{Na}^+) > c(\text{Ac}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$
E(2 : 1)	NaAc、NaOH	$c(\text{Na}^+) > c(\text{Ac}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$
F(1 : 1)	NaAc、NaOH	$c(\text{Na}^+) > c(\text{OH}^-) > c(\text{Ac}^-) > c(\text{H}^+)$

#### 核心 4 弱电解质分布分数图

分布分数图是指以 pH 为横坐标、分布分数（即组分的平衡浓度占总浓度的分数）为纵坐标的关系图。

#### ★分布分数图及分析

一元弱酸（以 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 为例）	二元弱酸（以草酸 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 为例）
<p>注：<math>\text{p}K_a</math> 为电离常数的负对数</p>	
$\delta_0$ 为 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 分布分数、 $\delta_1$ 为 $\text{CH}_3\text{COO}^-$ 分布分数	$\delta_0$ 为 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 分布分数、 $\delta_1$ 为 $\text{HC}_2\text{O}_4^-$ 分布分数、 $\delta_2$ 为 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 分布分数
交点可以计算 $K$ 值，如 $K_a = \frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})} = c(\text{H}^+) [c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = c(\text{CH}_3\text{COOH})]$	
同一 pH 条件下可以存在多种溶质微粒。根据一定 pH 下的微粒分布分数和酸的浓度，就可以计算各成分在该 pH 下的平衡浓度	
书写一定 pH 条件下的离子方程式时，要判断溶液中存在的主要微粒。	
如 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ，向溶液中滴加 NaOH 使溶液 pH 由 3 到 6 时的离子方程式为_____；pH=1.2 时，溶液中加入 $\text{KMnO}_4$ 发生反应的离子方程式为_____	

1 判断下列说法是否正确。

(1) [2025 南通如皋适应性一]向  $\text{pH}=10$  的  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液中加入少量  $\text{NaCl}$  固体, 充分溶解后测定  $\text{pH}$ , 验证  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液中存在水解平衡( )

(2) [2025 无锡天一中学、南通海安中学等联考]向盛有  $0.1 \text{ mol/L NaHCO}_3$  的溶液中滴入几滴  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$  溶液, 产生白色沉淀, 无气体产生, 则结合  $\text{H}^+$  能力:  $\text{CO}_3^{2-} < [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  ( )

(3) [2024 苏州期初]用如图所示装置蒸干溶液获得  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ( )



2 [2025 泰州调研] 室温下, 通过下列实验探究  $\text{NaHSO}_3$  溶液的性质。已知  $K_{a1}(\text{H}_2\text{SO}_3)=1.4 \times 10^{-2}$ ,  $K_{a2}(\text{HSO}_3^-)=6.0 \times 10^{-8}$ 。

实验 1: 向  $0.1 \text{ mol/L NaHSO}_3$  溶液中滴入少量氯水, 测得溶液  $\text{pH}$  减小。

实验 2: 将浓度均为  $0.02 \text{ mol/L NaHSO}_3$  和  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液等体积混合, 有沉淀产生。

下列说法正确的是( )

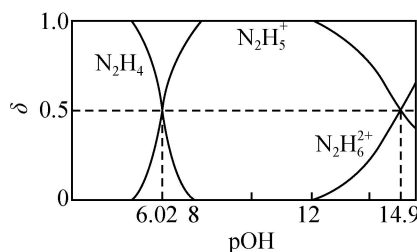
A.  $0.1 \text{ mol/L NaHSO}_3$  溶液中:  $c(\text{H}_2\text{SO}_3) + c(\text{OH}^-) > c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{H}^+)$

B. 实验 1 所得溶液中:  $c(\text{Na}^+) = c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{SO}_3)$

C. 实验 2 中发生反应:  $\text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-} + \text{Ba}^{2+} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{BaSO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$

D. 实验 2 所得上层清液中:  $c(\text{SO}_3^{2-}) > c(\text{HSO}_3^-)$

3 [2023 南通、泰州等七市三调]常温下, 肼( $\text{N}_2\text{H}_4$ )的水溶液显碱性, 存在如下平衡:  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_5^+ + \text{OH}^-$ ;  $\text{N}_2\text{H}_5^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_6^{2+} + \text{OH}^-$ 。平衡时溶液中含氮微粒的分布分数  $\delta$  [如  $\delta(\text{N}_2\text{H}_4) = \frac{c(\text{N}_2\text{H}_4)}{c(\text{N}_2\text{H}_4) + c(\text{N}_2\text{H}_5^+) + c(\text{N}_2\text{H}_6^{2+})}$ ] 与溶液  $\text{pOH}$  [ $\text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-)$ ] 的关系如图所示。



向  $10.00 \text{ mL } 0.01 \text{ mol/L N}_2\text{H}_4$  的水溶液中逐滴滴加  $0.005 \text{ mol/L}$  稀硫酸, 下列说法正确的是( )

A.  $\text{N}_2\text{H}_4$  的电子式:  $\text{H} \begin{array}{c} \text{H} \\ \vdots \\ \text{N} \end{array} \vdots \begin{array}{c} \text{H} \\ \vdots \\ \text{N} \end{array} \text{H}$

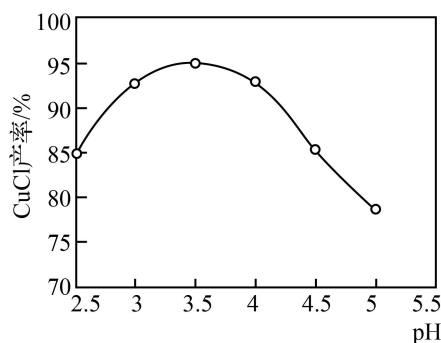
B.  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{N}_2\text{H}_6^{2+} \rightleftharpoons 2\text{N}_2\text{H}_5^+$  的平衡常数为  $10^{8.88}$

C. 当加入 5.00 mL 稀硫酸时, 溶液中:  $c(\text{N}_2\text{H}_4) > c(\text{N}_2\text{H}_5^+)$

D. 当加入 10.00 mL 稀硫酸时, 溶液中:  $c(\text{SO}_4^{2-}) = c(\text{N}_2\text{H}_5^+) + c(\text{N}_2\text{H}_4) + c(\text{N}_2\text{H}_6^{2+})$

4 (1) [2025 苏州期初] “除钛”时, 利用  $\text{TiOSO}_4$  电离出的  $\text{TiO}^{2+}$  水解, 生成  $\text{H}_2\text{TiO}_3$  沉淀。 $\text{TiO}^{2+}$  水解的离子方程式为 \_\_\_\_\_。  
水解时加入铁粉的作用是 \_\_\_\_\_。

(2) [2024 盐城考前模拟] ①氯化亚铜( $\text{CuCl}$ )是一种白色固体, 难溶于乙醇, 微溶于水, 易水解, 在空气中易被氧化。实验室利用  $\text{NaCl}$  粉末、 $\text{CuSO}_4$  溶液、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液反应制取  $\text{CuCl}$  晶体。反应完成时溶液 pH 对  $\text{CuCl}$  产率的影响如图所示。当 pH 大于 3.5 时, 随溶液 pH 升高,  $\text{CuCl}$  产率降低的原因是 \_\_\_\_\_。



②向  $\text{MnSO}_4$  溶液中滴加  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液至沉淀完全, 过滤、洗涤、干燥, 得  $\text{MnCO}_3$  固体。不使用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液作沉淀剂的原因是 \_\_\_\_\_。

## 微主题 7 沉淀溶解平衡

### 基础回归

课前热身，激活思维

1 向  $\text{MgCl}_2$  溶液中加入  $\text{NaF}$  溶液, 过滤除去  $\text{MgF}_2$  沉淀后的溶液中:  $K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2) \cdot c(\text{Mg}^{2+}) \cdot c^2(\text{F}^-)$ 。

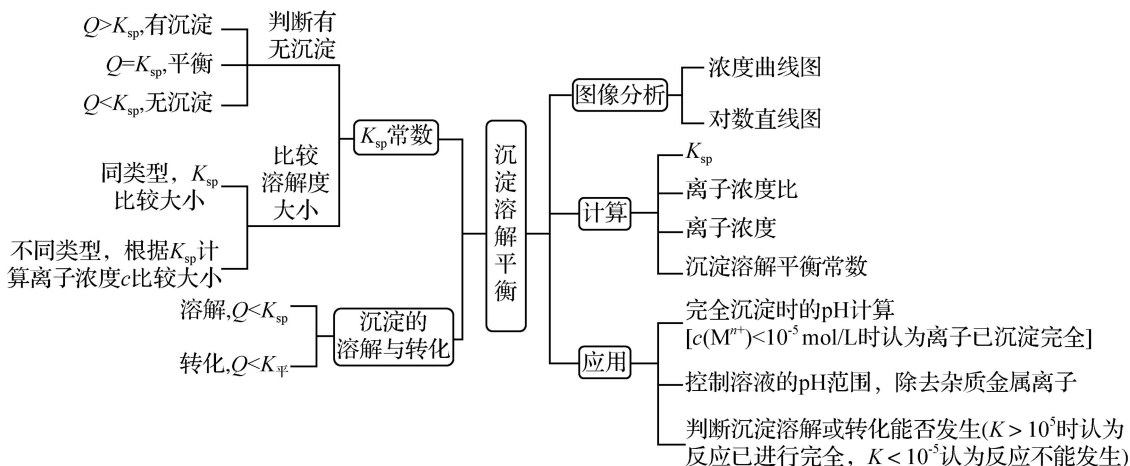
2 尝试设计实验证明  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$ : \_\_\_\_\_。

3 已知: 室温下,  $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 1.0 \times 10^{-38}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3] = 1.0 \times 10^{-33}$ , 离子浓度小于  $1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  时除杂干净。除去  $0.001 \text{ mol/L Al}^{3+}$  溶液中  $\text{Fe}^{3+}$ , 需要控制的 pH 范围为\_\_\_\_\_。

4 室温下, 反应  $\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$  达到平衡, 则溶液中  $\frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。已知:  $K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4) = 4.8 \times 10^{-5}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3) = 3 \times 10^{-9}$ 。

### 体系建构

化散为整，融会贯通



### 名卷优选

研好题，悟方法

#### 3 年真题

考向 1  $K_{\text{sp}}$  的计算及综合应用

1 计算  $K$  值。

(1) [2023 江苏卷] 在搅拌下向氧化镁浆料中匀速缓慢通入  $\text{SO}_2$  气体, 生成  $\text{MgSO}_3$ , 反应为  $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{MgSO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ , 其平衡常数  $K$  与  $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{MgSO}_3)$ 、 $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{SO}_3)$ 、 $K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{SO}_3)$  的代数关系式为  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) [2022 江苏卷] 已知:  $K_{\text{sp}}(\text{FeS}) = 6.5 \times 10^{-18}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2] = 5.0 \times 10^{-17}$ ;  $\text{H}_2\text{S}$  电离常数分别为  $K_{\text{a1}} = 1.1 \times 10^{-7}$ 、 $K_{\text{a2}} = 1.3 \times 10^{-13}$ 。在弱酸性溶液中, 反应  $\text{FeS} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + \text{HS}^-$  的平衡常数  $K$  的数值为\_\_\_\_\_。

## 2 计算微粒浓度。

(1) [2025 江苏卷]已知:  $K_{sp}(\text{ZnS})=1.6 \times 10^{-24}$ ,  $K_{sp}(\text{CdS})=8.0 \times 10^{-27}$ ,  $K_{a1}(\text{H}_2\text{S})=1.0 \times 10^{-7}$ ,  $K_{a2}(\text{HS}^-)=1.2 \times 10^{-13}$ 。当离子浓度小于  $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  时, 认为离子沉淀完全。向含有  $\text{Cd}^{2+}$  的溶液中通入  $\text{H}_2\text{S}$  除镉。通过计算判断当溶液  $\text{pH}=0$ 、 $c(\text{H}_2\text{S})=0.01 \text{ mol/L}$  时,  $\text{Cd}^{2+}$  是否沉淀完全 (写出计算过程)。

(2) [2024 江苏卷]在高氯水样中加入  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  使  $\text{CrO}_4^{2-}$  浓度约为  $5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ , 当滴加  $\text{AgNO}_3$  溶液至开始产生  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  沉淀 (忽略滴加过程的体积增加), 此时溶液中  $\text{Cl}^-$  浓度约为 \_\_\_\_\_  $\text{mol/L}$ 。[已知:  $K_{sp}(\text{AgCl})=1.8 \times 10^{-10}$ ,  $K_{sp}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)=2.0 \times 10^{-12}$ ]

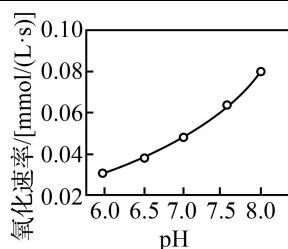
## 考向 2 沉淀的转化

### 3 判断下列说法是否正确。

(1) [2023 江苏卷]室温下, 用  $\text{NaF}$  溶液除去  $\text{MnSO}_4$  溶液中的少量  $\text{Mg}^{2+}$  (生成  $\text{MgF}_2$  沉淀)。“除镁”得到的上层清液中存在:  $c(\text{Mg}^{2+})=\frac{K_{sp}(\text{MgF}_2)}{c(\text{F}^-)}$  ( )

(2) [2024 江苏卷]向 2 mL 浓度均为  $0.1 \text{ mol/L}$  的  $\text{CaCl}_2$  和  $\text{BaCl}_2$  混合溶液中滴加少量  $0.1 \text{ mol/L}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液, 振荡, 产生白色沉淀。则溶度积常数:  $\text{CaCO}_3 > \text{BaCO}_3$  ( )

4 [2023 江苏卷]在催化剂作用下,  $\text{MgSO}_3$  被  $\text{O}_2$  氧化为  $\text{MgSO}_4$ 。已知  $\text{MgSO}_3$  的溶解度为  $0.57 \text{ g}(20^\circ\text{C})$ ,  $\text{O}_2$  氧化溶液中  $\text{SO}_3^{2-}$  的离子方程式为 \_\_\_\_\_; 在其他条件相同时, 以负载钴的分子筛为催化剂, 浆料中  $\text{MgSO}_3$  被  $\text{O}_2$  氧化的速率随  $\text{pH}$  的变化如图所示。在  $\text{pH}=6\sim 8$  范围内,  $\text{pH}$  增大, 浆料中  $\text{MgSO}_3$  的氧化速率增大, 其主要原因是 \_\_\_\_\_。



3 年模拟

## 考向 1 $K_{sp}$ 的计算及综合应用

1 (1) [2025 苏州期初]“除镁钙”时, 当溶液中  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  沉淀完全时, 溶液中  $\text{F}^-$  浓度最小值为 \_\_\_\_\_  $\text{mol/L}$ 。[已知:  $K_{sp}(\text{CaF}_2)=1 \times 10^{-10}$ 、 $K_{sp}(\text{MgF}_2)=7.5 \times 10^{-11}$ ; 当离子浓度  $\leq 10^{-5} \text{ mol/L}$  认为沉淀完全]

(2) [2025 无锡期末]硫酸铜溶液与草酸反应可制备  $\text{CuC}_2\text{O}_4$ , 反应的离子方程式为  $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 = \text{CuC}_2\text{O}_4 \downarrow + 2\text{H}^+$ , 常温下该反应的平衡常数是 300, 则  $K_{sp}(\text{CuC}_2\text{O}_4) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。[已知: 常温下,  $K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=5.6 \times 10^{-2}$ ,  $K_{a2}(\text{HC}_2\text{O}_4^-)=1.5 \times 10^{-4}$ ]



(3) [2025 南通、泰州、镇江一调]“沉铂”原理为  $[\text{PtCl}_6]^{2-} + 2\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons (\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6] \downarrow$ ,  $K_{\text{sp}}\{(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]\} = 1.6 \times 10^{-6}$ 。向  $c([\text{PtCl}_6]^{2-}) = 0.1 \text{ mol/L}$  的溶液中加入等体积的  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液, 为使  $c([\text{PtCl}_6]^{2-}) < 10^{-5} \text{ mol/L}$ , 所加  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液浓度最小为 \_\_\_\_\_  $\text{mol/L}$  (忽略混合时溶液的体积变化)。

2 [2025 南京、盐城一模]向含有  $\text{Mg}^{2+}$  的  $\text{ZnSO}_4$  溶液中加入  $\text{ZnF}_2$  可除去  $\text{Mg}^{2+}$ , 用数据说明加入  $\text{ZnF}_2$  可除去  $\text{Mg}^{2+}$  的原因: \_\_\_\_\_。  
[已知:  $K_{\text{sp}}(\text{ZnF}_2) = 3.0 \times 10^{-2}$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2) = 5.0 \times 10^{-11}$ ]

考向 2 沉淀的转化

3 判断下列说法是否正确。

(1) [2025 南京期初]向盛有 2 mL 0.1 mol/L  $\text{NaCl}$  溶液的试管中滴加 2 滴 0.1 mol/L  $\text{AgNO}_3$  溶液, 振荡试管, 然后向其中滴加 4 滴 0.1 mol/L  $\text{KI}$  溶液, 观察现象, 探究  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$  和  $K_{\text{sp}}(\text{AgI})$  的大小( )

(2) [2025 苏州期末]向 2 mL 浓度均为 0.1 mol/L 的  $\text{NaCl}$  和  $\text{NaI}$  混合溶液中滴加 2 滴 0.1 mol/L 的  $\text{AgNO}_3$  溶液, 观察产生沉淀的颜色, 判断  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$  与  $K_{\text{sp}}(\text{AgI})$  的大小( )

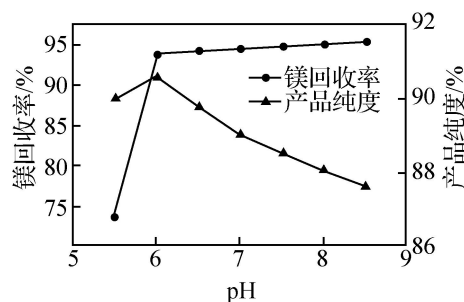
(3) [2025 无锡期末]向 2 mL 0.1 mol/L  $\text{AgNO}_3$  溶液中先滴加 4 滴 0.1 mol/L  $\text{KCl}$  溶液, 再滴加 4 滴 0.1 mol/L  $\text{KI}$  溶液, 先产生白色沉淀, 后产生黄色沉淀, 则  $K_{\text{sp}}(\text{AgI}) < K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$  ( )

(4) [2025 苏州期初]已知 25 °C 时,  $K_{\text{sp}}(\text{FeS}) = 10^{-17.20}$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{CdS}) = 10^{-26.10}$ 。反应  $\text{FeS} + \text{Cd}^{2+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + \text{CdS}$  正向进行, 需满足  $\frac{c(\text{Fe}^{2+})}{c(\text{Cd}^{2+})} > 10^{8.9}$  ( )

4 [2024 苏锡常镇二调]磷矿脱镁废液中主要含  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  及少量  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ 。

(1) 向废液中加入  $\text{NaOH}$  溶液调节 pH 为 4.5, 可达到  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{Al}^{3+}$  的最佳沉淀效果。其中  $\text{Ca}^{2+}$  转化为  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  的离子方程式为 \_\_\_\_\_。

(2) 将除杂净化后的清液控制在一定温度, 加入  $\text{MgO}$  浆液搅拌即可获得  $\text{MgHPO}_4$  固体。实验测得镁回收率、产品纯度与反应后溶液 pH 关系如图。



pH < 6 时, 随着 pH 增大, 镁回收率上升, 其原因是 \_\_\_\_\_。

(3) pH>6 时, 随着 pH 增大, 产品纯度逐渐下降, 其可能原因是\_\_\_\_\_。

## 核心串讲

勤总结, 抓重点

### 核心 1 $K_{sp}$ 与沉淀转化

#### 1 根据实验现象判断 $K_{sp}$ 的大小

向起始浓度均为 0.5 mol/L 的 NaI、NaCl 混合溶液中滴加少量  $\text{AgNO}_3$  溶液, 有黄色沉淀生成, 判断 AgI、AgCl 的  $K_{sp}$  大小关系。

[关键分析] 关键点①“浓度均为 0.5 mol/L”, 此处 NaI 浓度小于 0.5 mol/L 也可; ②“少量  $\text{AgNO}_3$  溶液”; ③AgI、AgCl 分别为黄色沉淀和白色沉淀, 先生成沉淀的  $K_{sp}$  较小。

[结论]  $K_{sp}(\text{AgI}) < K_{sp}(\text{AgCl})$ 。

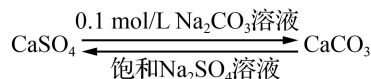
#### 2 判断沉淀转化平衡移动的方向

$Q > K_{sp}$ : 溶液过饱和, 有\_\_\_\_\_;

$Q = K_{sp}$ : 溶液饱和, 处于\_\_\_\_\_;

$Q < K_{sp}$ : 溶液\_\_\_\_\_, 无沉淀析出。

沉淀之间的转化与  $K_{sp}$  大小没有必然联系, 一般情况下结构相似的物质, 总是向  $K_{sp}$  更小的物质转化; 但若  $K_{sp}$  相差不大 (100 倍以内), 可以通过改变反应物离子浓度实现逆向转化。



#### [关键分析]

①沉淀 A、B 结构类型相同;

②加入溶液浓度——饱和溶液或浓溶液;

③发生转化: 沉淀  $\text{A} \rightleftharpoons \text{沉淀 B}$ 。

[结论] 无法推出  $K_{sp}(\text{B}) < K_{sp}(\text{A})$ 。

### 核心 2\* $K_{sp}$ 的相关计算

#### 1 计算沉淀转化的平衡常数

已知反应  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{ZnS}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CuS}(\text{s}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ , 计算该反应的平衡常数。

方法 1: 拼凑法计算平衡常数  $K$

根据已有的微粒浓度在分子、分母上同时添加某些离子浓度使之向某一个已知  $K$  的表达式转化。

$$K = \frac{c(\text{Zn}^{2+})}{c(\text{Cu}^{2+})} = \frac{c(\text{Zn}^{2+}) \cdot c(\text{S}^{2-})}{c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c(\text{S}^{2-})} = \frac{K_{sp}(\text{ZnS})}{K_{sp}(\text{CuS})}。$$

方法 2: 分解法计算平衡常数  $K$

$$K = \frac{K^a(\text{反应物}) \cdot K^b(\text{反应物})}{K^c(\text{生成物}) \cdot K^d(\text{生成物})}$$

表达式中  $K$  为电离平衡常数, 如酸碱盐的电离、沉淀溶解平衡等。 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  为反应中该物质的化学计量数。反应  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{ZnS}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CuS}(\text{s}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ , 反应物有  $\text{ZnS}$  电离( $K_{\text{sp}}$ ), 产物有  $\text{CuS}$  电离( $K_{\text{sp}}$ ), 故有  $K = \frac{K_{\text{sp}}(\text{ZnS})}{K_{\text{sp}}(\text{CuS})}$ 。

### [注意]

(1) 观察反应物和产物的电离是否完全, 只用电离部分的计量数。如  $\text{NaHSO}_3$  溶液中:  $2\text{HSO}_3^- \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{SO}_3$  的平衡常数  $K = \frac{K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{SO}_3)}{K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{SO}_3)}$ , 此题中  $\text{HSO}_3^-$  仅有一半电离, 另外一半  $\text{HSO}_3^-$  是  $\text{H}_2\text{SO}_3$  的电离产物。

(2) 只考虑反应物和产物的电离, 若给出其他形式, 要转换为电离形式。如已知:  $K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2] = 10^{-14.23}$ ,  $\text{Co}^{2+} + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  的平衡常数  $K_1 = 10^{5.11}$ 。则反应  $\text{Co}(\text{OH})_2 + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 2\text{OH}^-$  的平衡常数  $K = K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2] \times K_1 = 10^{-14.23} \times 10^{5.11} = 10^{-9.12}$ 。此题中产物  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  的电离常数  $K$  为  $\frac{1}{K_1}$ 。

(3) 若多元弱酸完全电离, 则多步电离常数应该相乘。如反应  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{FeC}_2\text{O}_4$  的平衡常数  $K = \frac{K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \cdot K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{FeC}_2\text{O}_4)}$ 。

## 2 由溶度积计算溶液中某离子的浓度

(1) 已知溶度积, 求溶液中某种离子的浓度。

如: 某温度下  $\text{AgCl}$  的  $K_{\text{sp}} = a$ , 则饱和  $\text{AgCl}$  溶液中,  $c(\text{Ag}^+) = \underline{\hspace{2cm}} \text{mol/L}$ 。

(2) 已知溶度积、溶液中某离子的浓度, 求溶液中的另一种离子的浓度。

如: 某温度下  $\text{AgCl}$  的  $K_{\text{sp}} = a$ , 在  $0.1 \text{ mol/L}$  的  $\text{NaCl}$  溶液中加入过量的  $\text{AgCl}$  固体, 达到平衡后  $c(\text{Ag}^+) = \underline{\hspace{2cm}} \text{mol/L}$ 。

## 3 调 pH 除杂——计算 pH 范围

pH 控制的范围: 杂质离子完全沉淀时 pH ~ 主要离子开始沉淀时 pH

注意端点取值是否等于, 形式一般为  $a < \text{pH} < b$ 。

### 例 1

(1) 向滤液中滴加  $\text{NaOH}$  溶液, 调节 pH 进行除杂。若溶液中  $c(\text{Co}^{2+}) = 0.2 \text{ mol/L}$ , 欲使溶液中  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  的浓度均小于  $1 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ , 需控制的 pH 范围为  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。已知: 室温下,  $K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3] = 1 \times 10^{-33}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 3 \times 10^{-39}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2] = 2 \times 10^{-15}$ 。

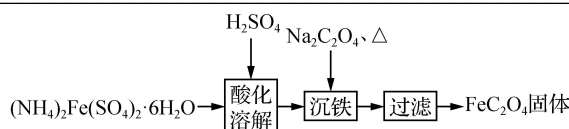
(2) [2024 南通海门二调] 已知: 当一个反应的  $K$  大于  $10^5$  时, 可以认为该反应进行完全。用  $\text{NaOH}$  溶液调节 pH, 实验过程中若要使  $0.0003 \text{ mol MgHPO}_4$  沉淀完全转化为  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  沉淀, 溶液的 pH 至少要调节至  $\underline{\hspace{2cm}}$  (设溶液体积为  $1 \text{ L}$ )。

## 4 判断反应进行程度

通常, 平衡常数越大, 反应进行的程度越大。一般来说, 当  $K > 10^5$  时, 可认为反应基本进行完全; 当  $K < 10^{-5}$  时, 可认为反应基本不发生。

**例 2** (1) [2025 泰州调研]制备 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 溶液。用  $\text{FeCl}_3$  溶液浸取铜蓝矿（主要成分为  $\text{CuS}$ ），除去其中含铁离子后，再通入  $\text{NH}_3$  制取。已知： $\text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$   $K_f = 1.2 \times 10^9$ ； $K_{\text{sp}}(\text{CuS}) = 1.2 \times 10^{-36}$ 。不采用氨水直接浸取铜蓝矿的原因为\_\_\_\_\_。

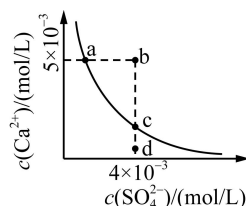
(2) [2025 南师附中期中]草酸亚铁( $\text{FeC}_2\text{O}_4$ )是生产磷酸铁锂电池的原料，实验室可通过如下反应制取。已知室温时， $K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5.6 \times 10^{-2}$ ， $K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 1.5 \times 10^{-4}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{FeC}_2\text{O}_4) = 2.1 \times 10^{-7}$ 。室温时， $\text{Fe}^{2+}$ 能否与  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  反应生成  $\text{FeC}_2\text{O}_4$  沉淀：\_\_\_\_\_。



### 核心 3 $K_{\text{sp}}$ 平衡常数曲线

#### 1 阳离子阴离子单曲线图

常温下， $\text{CaSO}_4$  在水中的沉淀溶解平衡曲线如图所示( $K_{\text{sp}} = 9 \times 10^{-6}$ )。



(1) a、c 点在曲线上，a→c 的变化为增大  $c(\text{SO}_4^{2-})$ ，如加入  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  固体，但  $K_{\text{sp}}$ \_\_\_\_\_。

(2) b 点在曲线的上方， $Q > K_{\text{sp}}$ ，将会有\_\_\_\_\_。

(3) d 点在曲线的下方， $Q < K_{\text{sp}}$ ，则为不饱和溶液，还能继续溶解  $\text{CaSO}_4$ 。

#### 2 阴、阳离子浓度温度双曲线图

横、纵坐标分别为阳离子或阴离子，两条曲线为不同温度。

$\text{BaSO}_4$	曲线可知信息
	<p>①曲线上各点的意义：每条曲线上任一点都表示_____溶液，曲线上方的任一点均表示_____溶液，此时有沉淀析出，曲线下方的任一点均表示_____溶液。</p> <p><math>T_1</math> 对应的曲线：a、b 点都表示饱和溶液，c 点表示过饱和溶液。</p> <p><math>T_2</math> 对应的曲线：a、b、c 点都表示不饱和溶液</p> <p>②计算 <math>K_{\text{sp}}</math>：由 a 点或 b 点可以计算出 <math>T_1</math> 温度下的 <math>K_{\text{sp}}</math>。</p> <p>③比较 <math>T_1</math> 和 <math>T_2</math> 大小：由沉淀溶解平衡大部分为吸热过程可知，<math>T_1</math>_____ <math>T_2</math></p>

1 判断下列说法是否正确。

(1) [2025 淮安期末]用饱和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液浸泡  $\text{BaSO}_4$  一段时间后过滤洗涤, 向所得的滤渣上滴加稀盐酸, 观察是否有气泡, 可比较  $K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)$  和  $K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)$  的相对大小( )

(2) [2024 苏州期初]向盛有 3 mL 0.1 mol/L  $\text{AgNO}_3$  溶液的试管中滴加 2 滴 0.1 mol/L  $\text{NaCl}$  溶液, 振荡试管, 有白色沉淀生成, 再向试管中滴加 2 滴 0.1 mol/L  $\text{KI}$  溶液, 有黄色沉淀生成。结论:  $K_{\text{sp}}(\text{AgI}) < K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$ ( )

(3) [2024 南通、泰州等八市三调] 已知: 室温下,  $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 1 \times 10^{-36}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Ni}(\text{OH})_2] = 2 \times 10^{-15}$ 。向含少量  $\text{Fe}^{3+}$  的  $\text{NiCl}_2$  酸性溶液中加入  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液调 pH, 生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  除去  $\text{Fe}^{3+}$ 。“调 pH”得到的上层清液中:  $\frac{c^2(\text{Fe}^{3+})}{c^3(\text{Ni}^{2+})} > 10^{-28}$ ( )

2 (1) [2024 苏州期末]在含少量  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的  $\text{CoCl}_2$  溶液中加入  $\text{NH}_4\text{F}$  除  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 。已知: 室温下,  $K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2) = 5 \times 10^{-11}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2) = 5 \times 10^{-9}$ 。“沉钙镁”后的溶液中:  $\frac{c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{Mg}^{2+})} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

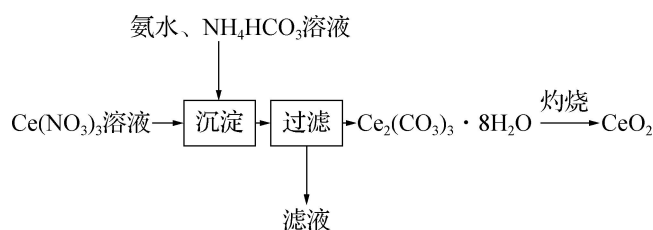
(2) [2025 南师附中、天一中学等联考]  $\text{AgCl}$  与  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  发生反应  $\text{AgCl}(\text{s}) + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}(\text{aq}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq})$ ; 已知:  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$ 、 $\text{Ag}^{+} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$   
 $K = 2.8 \times 10^{13}$ ; 该反应的平衡常数为  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(3) [2025 南通如皋适应三] 向含  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{H}^{+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  的溶液中加入足量  $\text{Ni}$  粉, 充分反应后过滤, 调节滤液的 pH, 向滤液中加入  $\text{NaF}$  溶液将  $\text{Ca}^{2+}$  沉淀除去 { 溶液中  $c(\text{Ni}^{2+}) = 1 \text{ mol/L}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2] = 1 \times 10^{-20}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Ni}(\text{OH})_2] = 1 \times 10^{-15}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2) = 1.6 \times 10^{-10}$ , 离子浓度  $\leq 10^{-5} \text{ mol/L}$  沉淀完全 }。

①加入  $\text{Ni}$  粉的目的是除去溶液中的  $\text{Cu}^{2+}$ 。不选择用调节 pH 的方法除去  $\text{Cu}^{2+}$  的原因是  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

②实际消耗  $\text{Ni}$  粉的量大于理论用量, 原因是  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

3 [2025 苏锡常镇二调]稀土元素  $\text{Ce}$  是重要的战略资源, 其氧化物  $\text{CeO}_2$  是一种重要的催化剂。一种沉淀法制备  $\text{CeO}_2$  的过程如下:

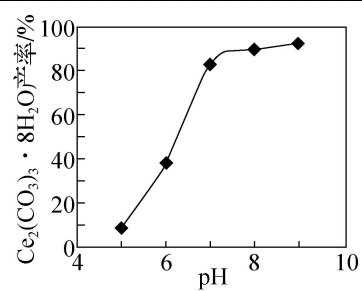


制备  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  沉淀:

(1) 配制  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  溶液时,需滴加适量稀硝酸调节酸度,其原因是\_\_\_\_\_

(2) 生成  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  沉淀的化学方程式为\_\_\_\_\_

(3) 溶液 pH 与  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  沉淀产率的关系如图所示。滴加  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液(弱碱性)前,先加氨水调节溶液 pH 约为 6 的原因是\_\_\_\_\_

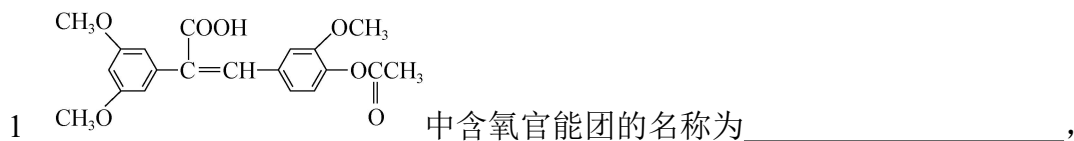


## 主题4 有机物转化与应用

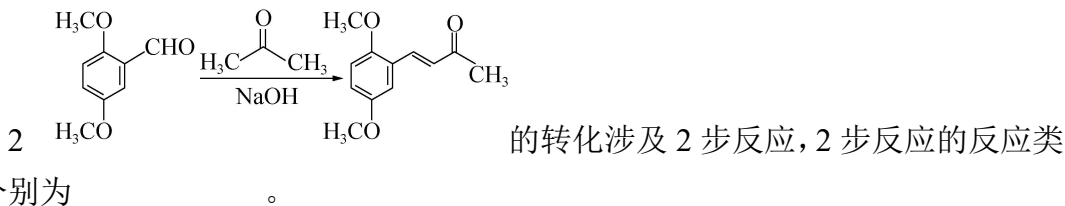
### 微主题8 有机物的结构与性质

#### 基础回归

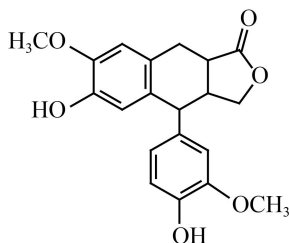
课前热身，激活思维



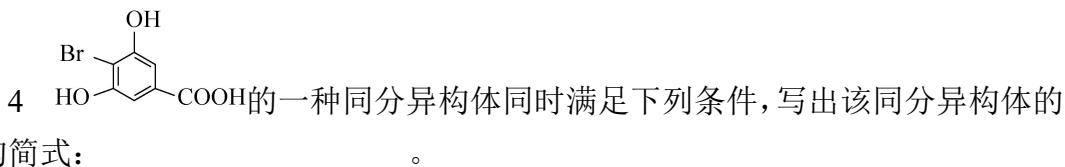
分子中  $sp^2$  杂化碳原子与  $sp^3$  杂化碳原子数之比为\_\_\_\_\_。



3 铁杉脂素是重要的木脂素类化合物，其结构简式如图所示。



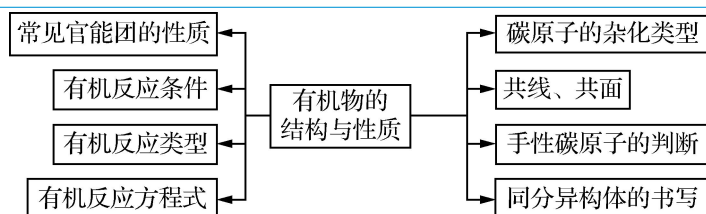
- (1) 分子中有\_\_\_\_\_个手性碳原子。
- (2) 1 mol 铁杉脂素与足量 NaOH 溶液反应时，最多能消耗\_\_\_\_\_mol NaOH。
- (3) 1 mol 铁杉脂素与足量  $H_2$  发生反应，最多能消耗\_\_\_\_\_mol  $H_2$ 。
- (4) 1 mol 铁杉脂素与浓溴水发生取代反应，最多消耗\_\_\_\_\_mol  $Br_2$ 。
- (5) 铁杉脂素\_\_\_\_\_（填“能”或“否”）与 HCHO 发生缩聚反应。



①能发生银镜反应；②在一定条件下完全水解后酸化，含苯环的产物分子中不同化学环境的氢原子数目比为 1：2。

#### 体系建构

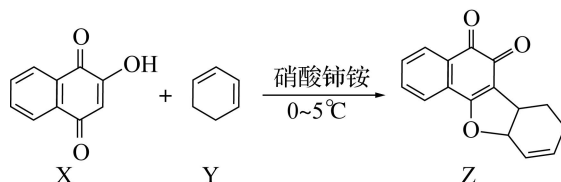
化散为整，融会贯通



### 3 年真题

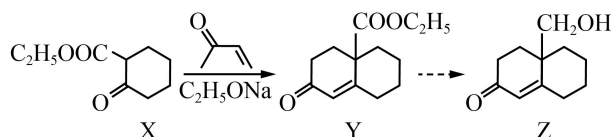
考向 1 有机物的结构与性质

1 [2025 江苏卷] 化合物 Z 是一种具有生理活性的多环呋喃类化合物，部分合成路线如下。下列说法正确的是( )



- A. 1 mol X 最多能和 4 mol  $H_2$  发生加成反应
- B. Y 分子中  $sp^3$  和  $sp^2$  杂化的碳原子数目比为 1 : 2
- C. Z 分子中所有碳原子均在同一个平面上
- D. Z 不能使  $Br_2$  的  $CCl_4$  溶液褪色

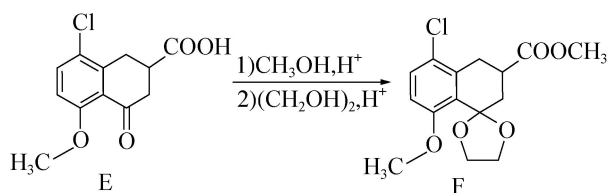
2 [2024 江苏卷] 化合物 Z 是一种药物的重要中间体，部分合成路线如下：



- 下列说法正确的是( )
- A. X 分子中所有碳原子共平面
  - B. 1 mol Y 最多能与 1 mol  $H_2$  发生加成反应
  - C. Z 不能与  $Br_2$  的  $CCl_4$  溶液反应
  - D. Y、Z 均能使酸性  $KMnO_4$  溶液褪色

考向 2 有机物的官能团、反应条件及类型判断

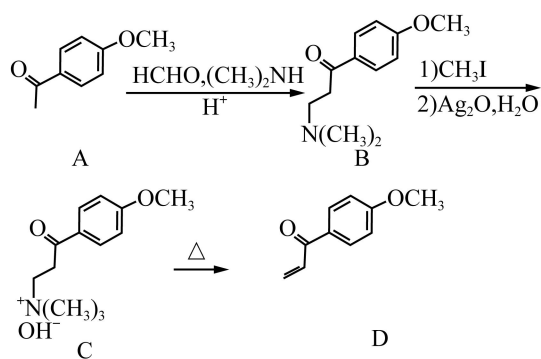
3 [2025 江苏卷] 部分有机合成路线如下：



E 分子中含氧官能团名称为醚键、羰基和\_\_\_\_\_，F 分子中手性碳原子数目为\_\_\_\_\_。



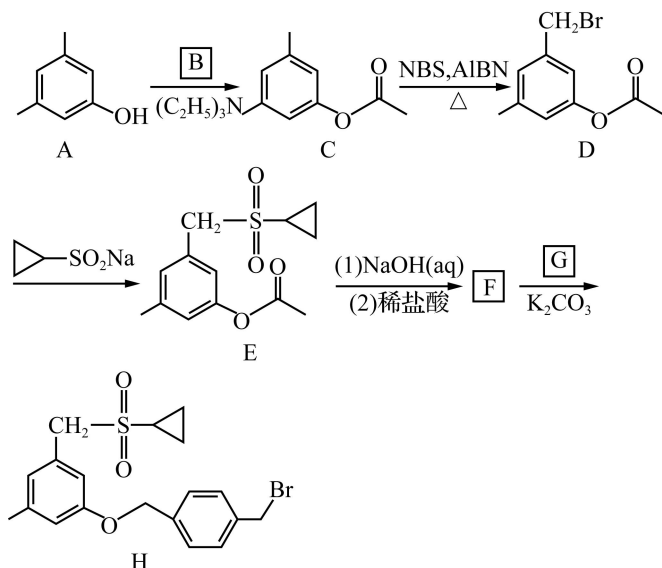
4 [2024 江苏卷]部分有机合成路线如下:



(1) A 分子中的含氧官能团名称为醚键和\_\_\_\_\_。

(2) C→D 的反应类型为\_\_\_\_\_；C 转化为 D 时还生成 H<sub>2</sub>O 和\_\_\_\_\_ (填结构简式)。

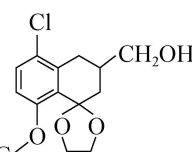
5 [2023 江苏卷]部分有机合成路线如下:



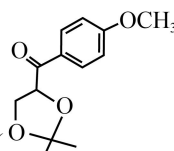
(1) A 的酸性比环己醇的\_\_\_\_\_ (填“强”“弱”或“无差别”)。

(2) G 的分子式为 C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>Br<sub>2</sub>, F→H 的反应类型为\_\_\_\_\_。

考向 3 限定条件下同分异构体的书写

6 [2025 江苏卷] 写出同时满足下列条件的 G (  ) 的一种同分异构体的结构简式: \_\_\_\_\_。

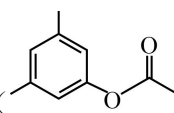
①含有 3 种不同化学环境的氢原子；②碱性条件下水解后酸化，生成 X 和 Y 两种有机产物， $n(\text{X}):n(\text{Y})=2:1$ , X 的相对分子质量为 60, Y 含苯环且能与 FeCl<sub>3</sub> 溶液发生显色反应。



7 [2024 江苏卷]写出同时满足下列条件的 F ( ) 的一种芳香族同分异构体的结构简式: \_\_\_\_\_。

①碱性条件下水解后酸化, 生成 X、Y 和 Z 三种有机产物, X 分子中含有 1 个手性碳原子;

②Y、Z 分子中均有 2 种不同化学环境的氢原子, Y 能与  $\text{FeCl}_3$  溶液发生显色反应, Z 不能被银氨溶液氧化。



8 [2023 江苏卷]写出同时满足下列条件的 C ( ) 的一种同分异构体的结构简式: \_\_\_\_\_。

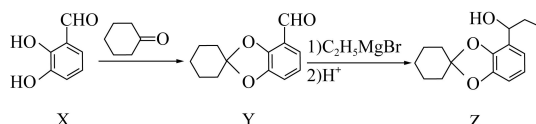
①碱性条件水解后酸化生成两种产物, 产物之一的分子中碳原子轨道杂化类型相同且室温下不能使 2% 酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液褪色;

②加热条件下, 铜催化另一产物与氧气反应, 所得有机产物的核磁共振氢谱中只有 1 个峰。

### 3 年模拟

#### 考向 1 有机物的结构与性质

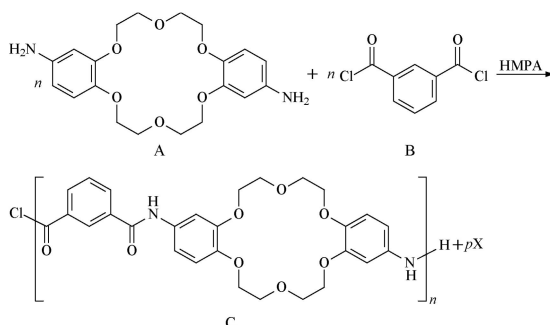
1 [2025 扬州四模]有机物 Z 是一种重要的药物中间体, 其部分合成路线如下:



下列说法正确的是( )

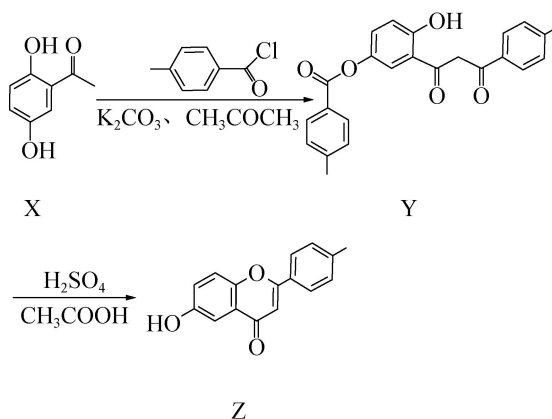
- A. X 与足量  $\text{H}_2$  加成的产物分子中含有 3 个手性碳原子
- B. Y 分子中所有碳原子在同一平面上
- C. Z 可以发生取代、消去和缩聚反应
- D. 可以用酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液鉴别物质 Y 和 Z

2 [2025 无锡天一中学、海安中学、金陵中学联考]冠醚可应用于碱金属离子的分离、富集以及作相转移催化反应的催化剂。以下是合成一种高分子冠醚 C 的反应原理。下列说法正确的是( )



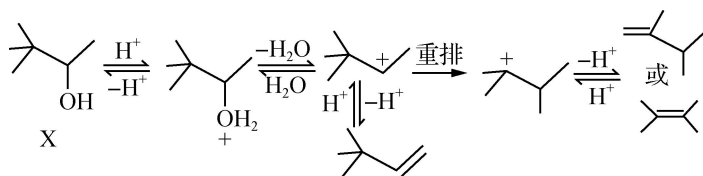
- A. 冠醚 A 属于超分子  
 B. B 分子中最多 12 个原子共平面  
 C. 1 mol C 最多能与 9 mol  $H_2$  发生加成反应  
 D. X 为 HCl

3 [2025 南通四模] 化合物 Z 是合成某抗肿瘤药物的中间体，其合成路线如下：



- 下列说法正确的是( )
- A. X 与足量  $H_2$  加成后的产物分子中含有 5 个手性碳原子  
 B. Y 不能使酸性高锰酸钾溶液褪色  
 C. 1 mol Y 最多能与 2 mol NaOH 发生反应  
 D. 一定条件下，Z 能与甲醛发生缩聚反应

4 [2024 淮安考前模拟] 醇羟基碳原子与三级碳原子或二级碳原子相连时，在酸催化脱水时生成更稳定的  $C^+$  (碳正离子) 发生重排，以下是某醇 X 在一定条件下的重排反应及重排产物。



- 下列说法正确的是( )
- A. X 的系统名称为 2, 2-二甲基-3-丁醇

B. 重排产物 中碳原子杂化方式均为  $sp^3$

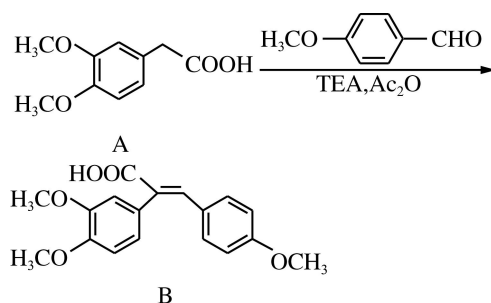
C. 发生酸催化分子内脱水反应时可得到 3 种有机产物

物

D. 重排产物和非重排产物的分子式不同

考向 2 有机物的官能团、反应条件及类型判断

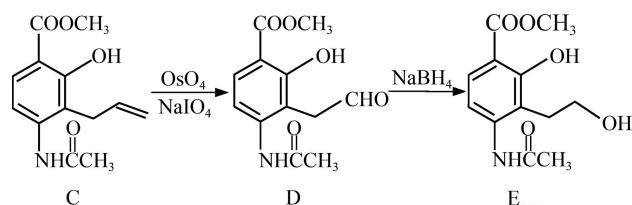
5 [2025 南通如东期初]部分有机合成路线如下:



(1) A 中含氧官能团的名称为\_\_\_\_\_。

(2) A→B 反应需经历 A→X→B 的过程, 已知 X 的分子式为  $C_{18}H_{20}O_6$ , A→X 的反应类型为\_\_\_\_\_。

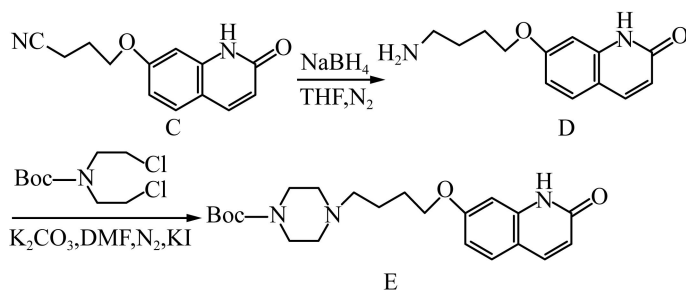
6 [2025 南通、泰州等一调]部分有机合成路线如下:



(1) C 中含氧官能团的名称为羟基、\_\_\_\_\_。

(2) D→E 的反应类型为\_\_\_\_\_。

7 [2024 南京、盐城期末]部分有机合成路线如下:



已知: Boc—的结构简式为  $(CH_3)_3C-O-C(=O)-$ 。

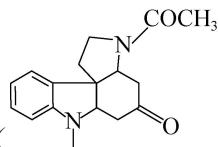
(1) C 分子中采取  $sp^3$  杂化的碳原子数目是\_\_\_\_\_。

(2) D→E 过程中\_\_\_\_\_ (填“能”或“不能”) 用 KOH 替换  $K_2CO_3$ 。

考向 3 限定条件下同分异构体的书写

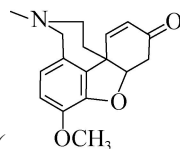
8 [2025 泰州四调]写出同时满足下列条件的 G ( ) 的一种同分异构体的结构简式: \_\_\_\_\_。

①分子中存在 1 个六元碳环, 只含有 4 种不同化学环境的氢原子; ②能使  $Br_2$  的  $CCl_4$  溶液褪色, 不能与金属钠反应。



9 [2025 无锡调研]写出同时满足下列条件的 D ( ) 的一种同分异构体的结构简式: \_\_\_\_\_。

①该化合物只含有一个苯环;②碱性条件下水解后酸化,生成两种有机产物,均含有 4 种不同化学环境的氢原子,其中一种有机产物能与  $\text{FeCl}_3$  溶液发生显色反应。



10 [2025 南京、盐城一模]写出同时满足下列条件的 ( ) G 的一种同分异构体的结构简式: \_\_\_\_\_。

①碱性条件下水解后酸化,生成 X 和 Y 两种芳香族化合物。X 是一种  $\alpha$  氨基酸,分子中不含甲基。②Y 的核磁共振氢谱中有三组峰,且峰面积之比为 1:2:2。

### 核心串讲

勤总结,抓重点

#### 核心 1 重要的反应及反应归纳

1 能与  $\text{NaOH}$  溶液反应 (最多消耗): ①卤代烃, 1 mol 卤素原子消耗 1 mol  $\text{NaOH}$  (1 mol 与苯环直接相连的卤素原子若水解, 则消耗 2 mol  $\text{NaOH}$ ); ②酯, 1 mol 酯基消耗 1 mol  $\text{NaOH}$  (1 mol 酚酯或碳酸酯反应消耗 2 mol  $\text{NaOH}$ ); ③羧酸, 1 mol 羧基消耗 1 mol  $\text{NaOH}$ ; ④酚, 1 mol 酚羟基消耗 1 mol  $\text{NaOH}$ ; ⑤蛋白质或多肽。

2 能与  $\text{H}_2$  在一定条件下反应 (最多消耗): ①碳碳双键, 1 mol 碳碳双键消耗 1 mol  $\text{H}_2$ ; ②碳碳三键, 1 mol 碳碳三键消耗 2 mol  $\text{H}_2$ ; ③苯环, 1 mol 苯环消耗 3 mol  $\text{H}_2$ ; ④醛或酮中碳氧双键, 1 mol 碳氧双键消耗 1 mol  $\text{H}_2$  (羧基、酯、酰胺基中的碳氧双键不与  $\text{H}_2$  加成)。

3 能与溴水或溴的  $\text{CCl}_4$  溶液反应 (最多消耗): ①碳碳双键, 1 mol 碳碳双键消耗 1 mol  $\text{Br}_2$ ; ②碳碳三键, 1 mol 碳碳三键消耗 2 mol  $\text{Br}_2$ ; ③酚, 苯环上酚羟基的邻、对位氢原子均可被溴原子取代; ④醛, 含醛基的物质能被溴水氧化。

4 能与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液反应 (最多消耗): ①酚, 酚与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  反应只生成  $\text{NaHCO}_3$ , 1 mol 酚羟基消耗 1 mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; ②羧基, 1 mol  $-\text{COOH}$  可消耗 1 mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (生成  $\text{NaHCO}_3$ ) 或消耗 0.5 mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (生成  $\text{CO}_2$ )。能与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  反应生成  $\text{CO}_2$  的有机物一般含有  $-\text{COOH}$ 。

5 能与  $\text{NaHCO}_3$  溶液反应 (最多消耗): 羧基, 1 mol  $-\text{COOH}$  消耗 1 mol  $\text{NaHCO}_3$ 。

6 能与  $\text{KMnO}_4$  溶液反应: 碳碳双键、碳碳三键、苯的同系物 (含  $\alpha$ -H)、醇 (含  $\alpha$ -H)、酚、醛。

7 能与  $\text{FeCl}_3$  溶液反应: 酚类, 可以用来鉴别酚。

8 能发生银镜反应的有机物：醛、甲酸、甲酸盐、甲酸酯、还原性糖（葡萄糖、麦芽糖等）。

9 能与新制  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  反应：羧酸（中和）、甲酸[先中和，但  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  仍过量，后氧化]、醛、还原性糖（葡萄糖、麦芽糖）、甘油等多羟基化合物。

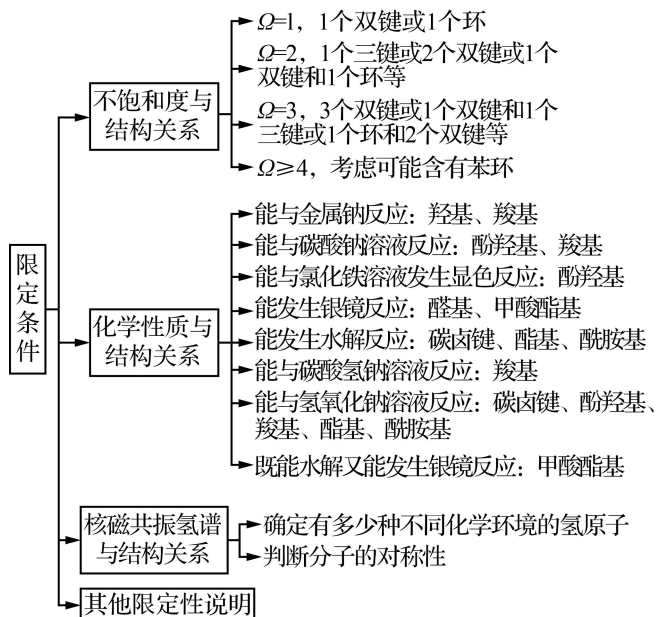
核心 2 依据反应条件判断有机反应类型

反应条件	反应类型和可能的官能团（或基团）
浓硫酸、 $\Delta$	①醇（含 $\beta\text{-H}$ ）的消去（醇羟基）； ②酯化反应（羟基或羧基）
稀硫酸、 $\Delta$	①酯的水解（酯基）； ②糖类的水解反应
$\text{NaOH}/\text{水}$ 、 $\Delta$	①卤代烃（X 连接饱和 C）的水解（ $\text{-X}$ ）； ②酯的水解（酯基）
$\text{NaOH}/\text{醇}$ 、 $\Delta$	卤代烃（含 $\beta\text{-H}$ ）的消去（ $\text{-X}$ ）
$\text{H}_2/\text{催化剂}$ ， $\Delta$	加成（碳碳双键、碳碳三键、碳氮三键、醛基、羰基、苯环）
$\text{O}_2/\text{Cu}$ （或 $\text{Ag}$ ）， $\Delta$	醇羟基（含 $\alpha\text{-H}$ ）催化氧化
$\text{X}_2/\text{FeX}_3$	苯环上的取代反应
$\text{X}_2/\text{光照}$	①烷烃的取代反应； ②苯环上烷基的取代反应

核心 3\* 限定条件下同分异构体的书写方法

1 限定条件下同分异构体书写的规律及思维流程

- (1) 根据结构简式确定除苯环外含有的 C、O、N 等原子的数目和不饱和度。
- (2) 根据限定条件确定含有的官能团种类及数目。
- (3) 结合含有不同化学环境的氢原子数、不饱和度有序书写。
- (4) 检查删除重复的、不符合限定条件的结构简式。



## 2 常见限定条件

序号	题给叙述	推断结论
(1)	属于芳香族化合物	含有苯环
(2)	能与 $\text{FeCl}_3$ 溶液发生显色反应	含有酚羟基
(3)	不能与 $\text{FeCl}_3$ 溶液发生显色反应，但水解产物之一能发生此反应	含有酚酯基
(4)	能发生银镜反应	含有醛基或甲酸酯基
(5)	只含有一个官能团，既能发生银镜反应，又能发生水解反应	含有甲酸酯基
(6)	能与饱和 $\text{NaHCO}_3$ 溶液反应产生气体	含有羧基
(7)	$0.5 \text{ mol}$ 某有机酸与足量碳酸氢钠溶液反应生成 $44 \text{ g CO}_2$	该有机酸是二元羧酸，分子中含有 2 个 $-\text{COOH}$
(8)	核磁共振氢谱中有 4 组峰，且峰面积之比为 $6:2:2:1$	有 4 种不同化学环境的氢原子，且氢原子的个数之比为 $6:2:2:1$
(9)	某气态有机物的密度是同温同压下 $\text{H}_2$ 密度的 28 倍	该气态有机物的相对分子质量为 56

## 3 根据特征产物推断碳骨架结构和官能团的位置

(1) 由消去反应的产物可确定  $-\text{OH}$  或  $-\text{X}$  的大致位置。

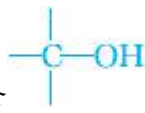
(2) 由取代产物的种类可确定碳骨架结构。

(3) 醇的氧化。

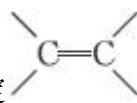
①若醇能被氧化为醛或羧酸：含  $-\text{CH}_2\text{OH}$  结构；



②若醇能被氧化为酮：含



③若醇不能被催化氧化：含



(4) 由加氢或加溴后的碳骨架结构可确定

或  $-\text{C}\equiv\text{C}-$  的位置。

(5) 由有机物发生酯化反应能生成环酯或高聚酯，可确定该有机物中含  $-\text{OH}$  和  $-\text{COOH}$ ，并根据酯环的大小确定  $-\text{OH}$  与  $-\text{COOH}$  的相对位置。

## 4 根据特殊的转化关系推断有机物结构特点与可能官能团

(1)  $\text{A} \xrightarrow{\text{氧化}} \text{B} \xrightarrow{\text{氧化}} \text{C}$ ，此转化关系中，A、B、C 一般分别代表醇、醛、羧酸。

(2)  $\text{A}(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2) \xrightarrow{\text{无机酸或碱}} \begin{array}{l} \text{A} \\ \text{B} \end{array}$ ，符合此转化关系的有机物 A 为酯。



(3) 有机三角 $A \rightleftharpoons B$ ，由此转化关系可推知，三种有机物分别是烯烃、卤代烃、醇。核心 4 书写同分异构体时对称性的操作方法

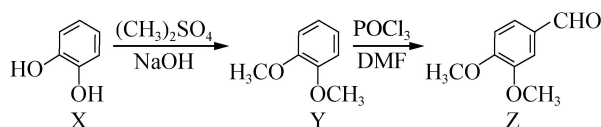
含苯环类同分异构体书写，当根据限制条件确定了基团后，根据不同化学环境氢原子的种类，结合苯环的对称性进行组合。

等效 H	举例
2 种	
3 种	
4 种	

## 检测反馈

对点练，再提升

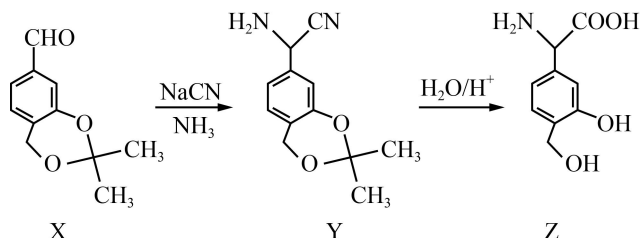
1 [2025 南京考前指导] 化合物 Z 是一种药物的重要中间体，部分合成路线如下：



下列说法正确的是( )

- A. X 不能与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液发生反应
- B. Y 中所有碳原子一定共平面
- C. 1 mol Z 最多能与 3 mol  $\text{H}_2$  发生加成反应
- D. X、Y、Z 可以用  $\text{FeCl}_3$  溶液和新制  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  进行鉴别

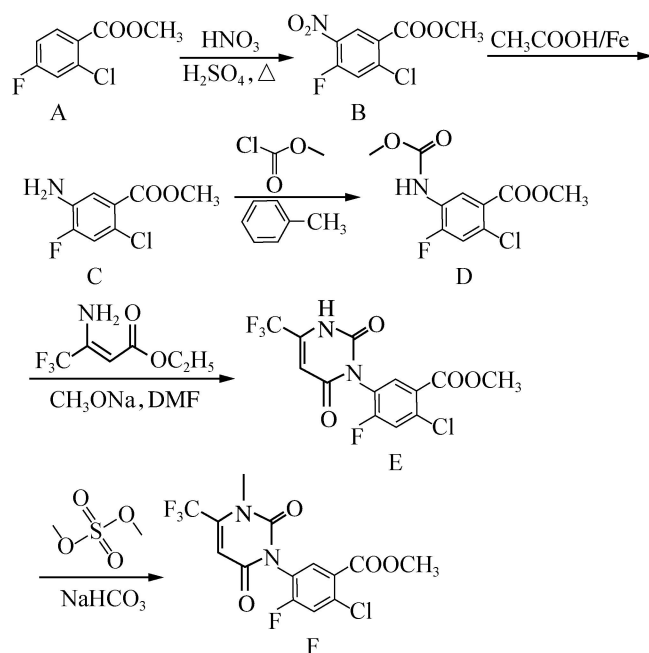
2 [2024 南通如皋适应性考试二] 药品 Z 是一种免疫调节剂，其合成路线如图所示。下列说法正确的是( )



- A. Y 分子中含有 2 个手性碳原子
- B. 可用酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液检验 Y 中是否含有 X
- C. 1 mol Z 最多能与 1 mol  $\text{NaHCO}_3$  反应
- D. Y $\rightarrow$ Z 的反应类型为水解反应，产物之一为  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$



3 [2025 盐城考前指导]药物苯嘧磺草胺中间体，合成路线如下：



(1) B 中含氧官能团的名称为\_\_\_\_\_。

(2) E→F 的反应类型为\_\_\_\_\_。

(3) D 的一种同分异构体同时满足下列条件，写出该同分异构体的结构简式：

\_\_\_\_\_。

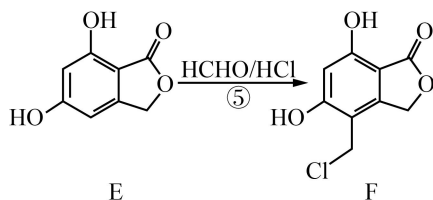
①苯环上有 3 个取代基；②酸性条件下能水解，水解产物之一能与  $\text{FeCl}_3$  溶液发生显色反应；③核磁共振氢谱有 3 组峰，峰面积之比为 6 : 2 : 1。

## 微主题 9 有机物的合成与推断

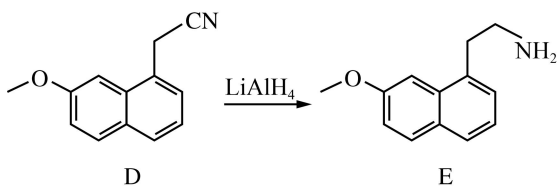
### 基础回归

课前热身，激活思维

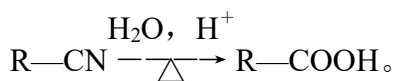
1 步骤⑤可得到副产品 J, J 和 F 互为同分异构体, 写出 J 的结构简式: \_\_\_\_\_。



2 D→E 的反应中, 氰基( $-\text{C}\equiv\text{N}$ )被还原可生成副产物 X(分子式为  $\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{ON}$ ), 写出 X 的结构简式: \_\_\_\_\_。

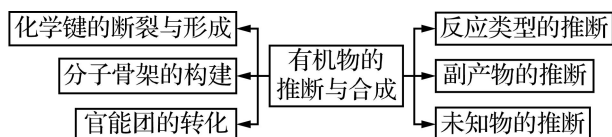


3 请以苯甲醛和乙醇为原料设计制备苯乙酸乙酯( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ )的合成路线流程图(注明反应条件)。提示:  $\text{R}-\text{Br} + \text{NaCN} \longrightarrow \text{R}-\text{CN} + \text{NaBr}$ ;



### 体系建构

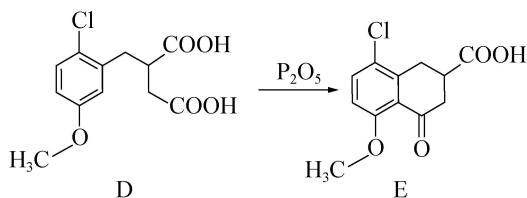
化散为整，融会贯通



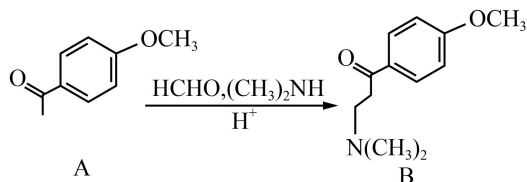
### 3 年真题

考向 1 有机物的推断

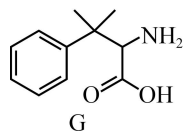
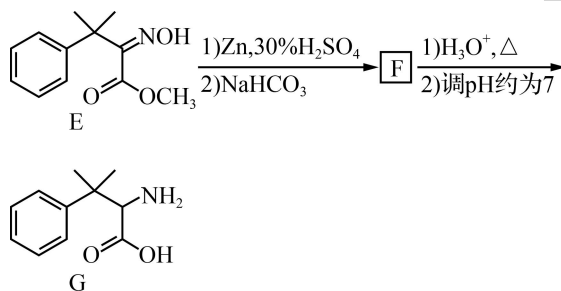
1 (1) [2025 江苏卷]D→E 会产生与 E 互为同分异构体且含五元环的副产物，其结构简式为\_\_\_\_\_。



(2) [2024 江苏卷]A→B 中有副产物  $C_{15}H_{24}N_2O_2$  生成，该副产物的结构简式为\_\_\_\_\_。

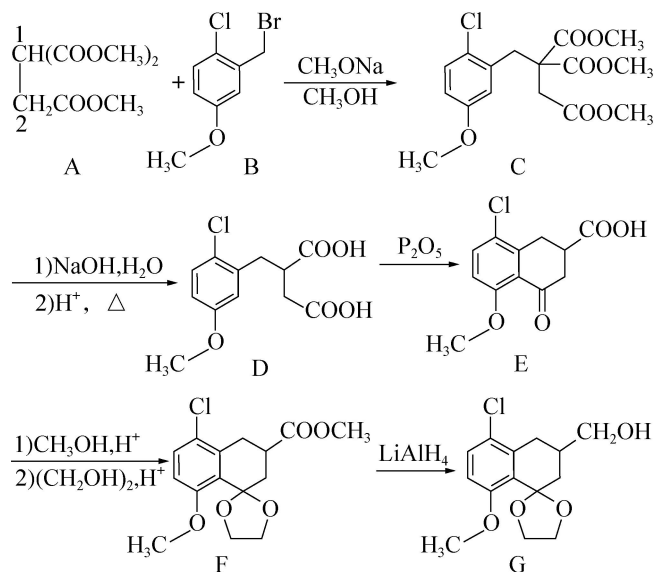


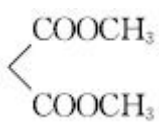
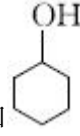
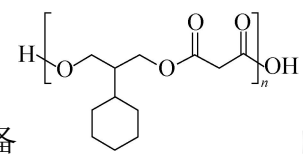
(3) [2022 江苏卷]F 的分子式为  $C_{12}H_{17}NO_2$ ，其结构简式为\_\_\_\_\_。



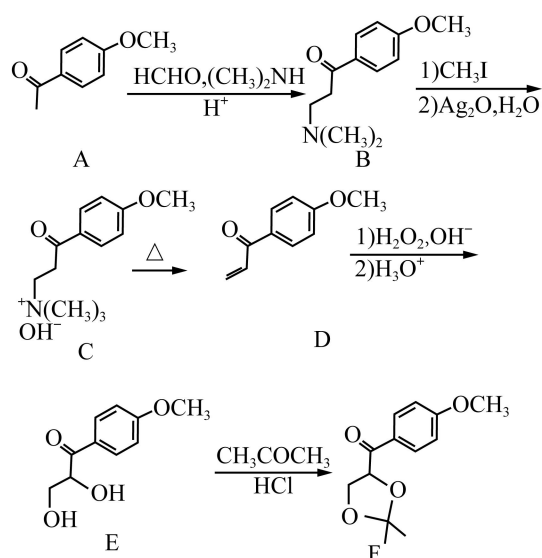
考向 2 有机合成路线的设计

2 [2025 江苏卷]G 是一种四环素类药物合成中间体，其合成路线如下：



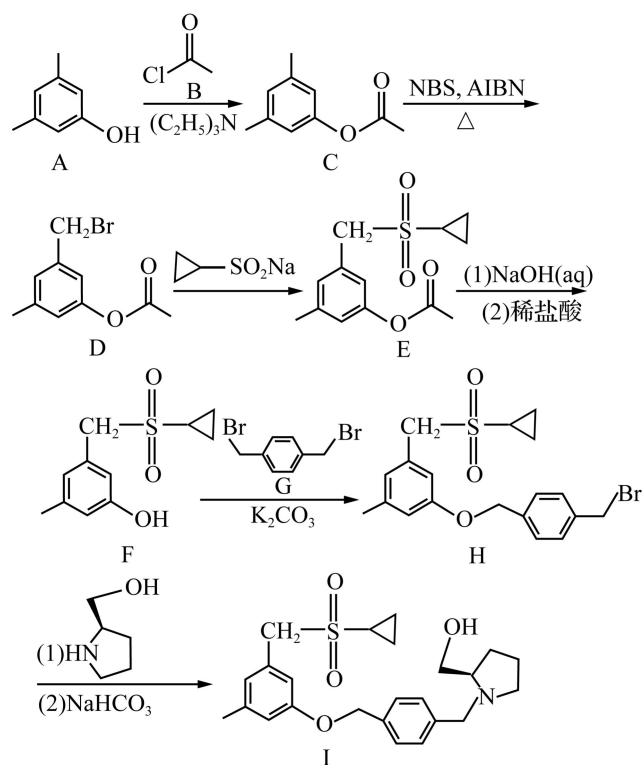
写出以  和  为原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和两碳以下的有机试剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

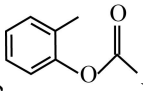

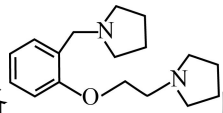
3 [2024 江苏卷] F 是合成含松柏基化合物的中间体，其合成路线如下：



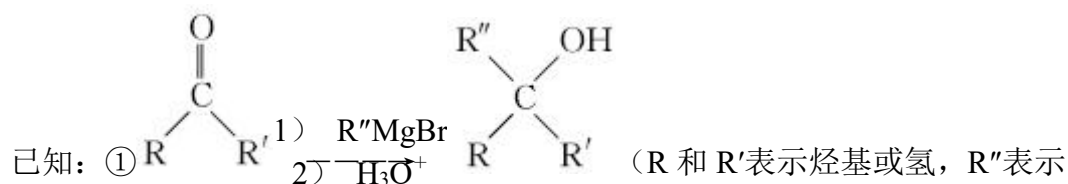
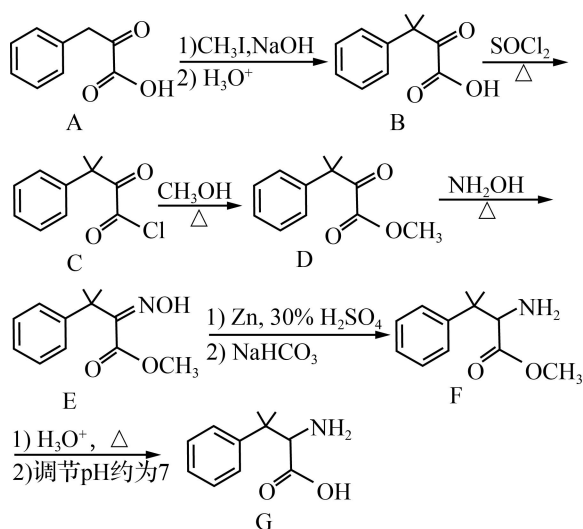
已知： $\text{HSCH}_2\text{CH}_2\text{SH}$  与  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  性质相似。写出以 - $\text{CH}(\text{Br})\text{CH}_3$ 、、 $\text{HSCH}_2\text{CH}_2\text{SH}$  和  $\text{HCHO}$  为原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

4 [2023 江苏卷] 化合物 I 是鞘氨醇激酶抑制剂，其合成路线如下：

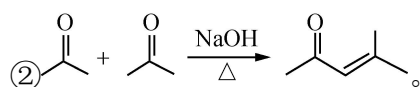


写出以 、 和  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  为原料制备  的合成路线流程图（须用 NBS 和 AIBN，无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

5 [2022 江苏卷] 化合物 G 可用于药用多肽的结构修饰, 其人工合成路线如下:



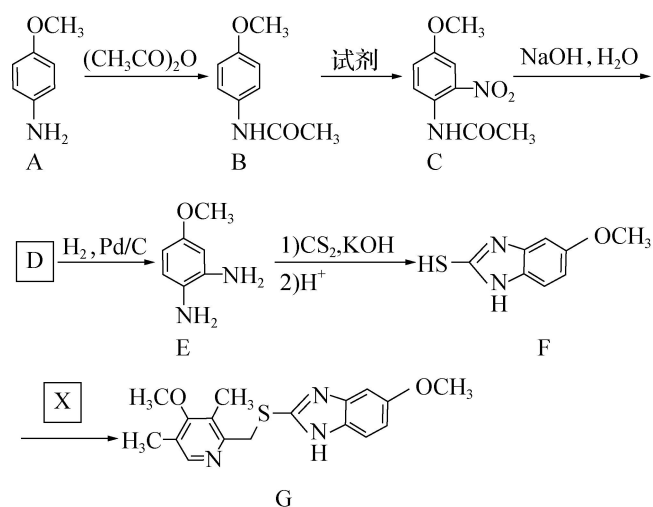
烃基);



写出以  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$  和  $\text{CH}_3\text{MgBr}$  为原料制备 的合成路线流程图 (无机试剂和有机溶剂任用, 合成路线流程图示例见本题题干)。

## 考向 1 有机物的推断

1 [2025 扬州四模]G 是合成苯并咪唑类化合物的中间体, 其合成路线如下:

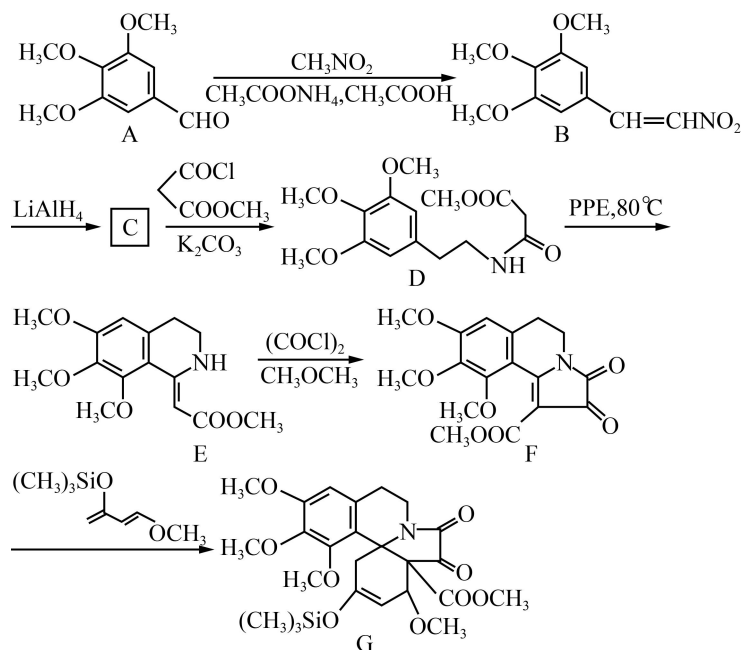


(1) B→C 所需的试剂为\_\_\_\_\_。

(2) D→E 的反应类型为\_\_\_\_\_。

(3) X 的分子式为  $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{NOCl}$ , X 的结构简式为\_\_\_\_\_。

2[2024 南通如皋适应性考试二]化合物 G 是制备一种生物碱的中间体, 其合成路线如下:



(1) A→B 反应分为 A→X→B 两步, 第二步是消去反应。X 的结构简式为\_\_\_\_\_。

(2) C 的分子式为  $\text{C}_{11}\text{H}_{17}\text{NO}_3$ , C 的结构简式为\_\_\_\_\_。

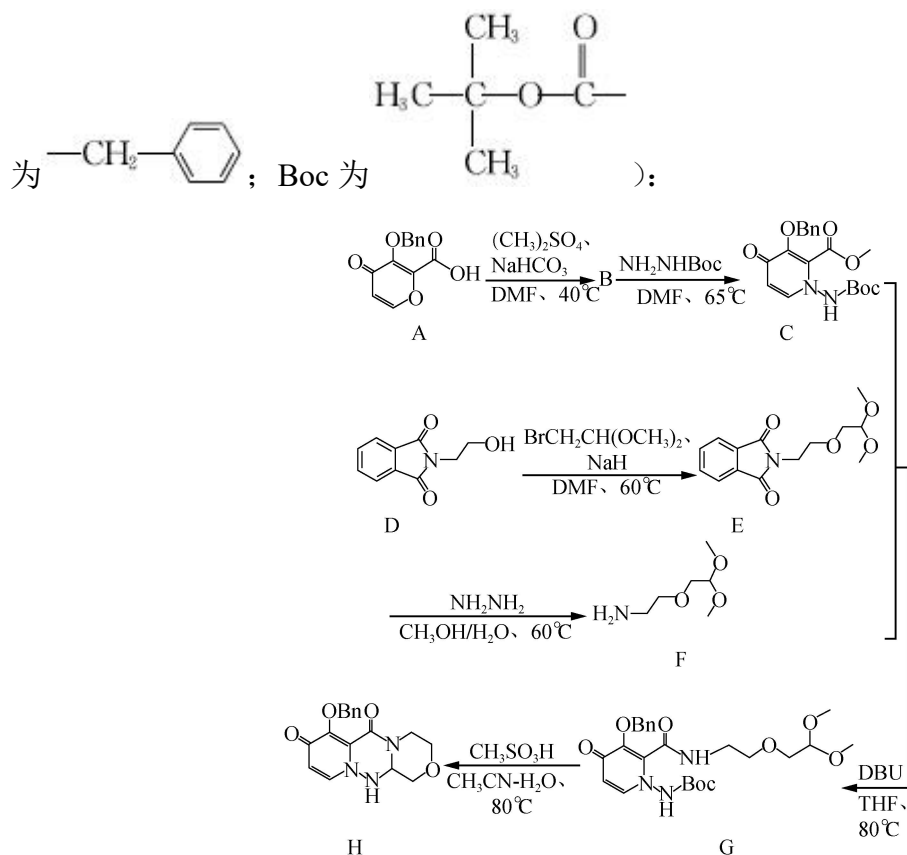
(3)  $\text{LiAlH}_4$  须在无水环境中使用, 不能与水或酸接触, 原因是\_\_\_\_\_。

(4) F→G 时会生成一种与 G 互为同分异构体的副产物，该副产物的结构简式为\_\_\_\_\_。

考向 2 有机合成路线的设计

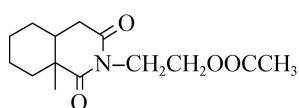
[成环合成]

3 [2025 南通、泰州等七市二调] 玛巴洛沙韦片是一种治疗甲型或乙型流感病毒的特效药，H 是合成玛巴洛沙韦的一种重要中间体，其合成路线如下（注：Bn



已知： $\text{R}_1-\text{C}(=\text{O})-\text{R}_2$  1)  $\text{R}_3\text{CH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5/\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}$  2)  $\text{H}_2/\text{催化剂}$   $\text{R}_1\text{CH}-\text{CH}(\text{R}_3)\text{COOC}_2\text{H}_5$ 。设计

以  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{OH}$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ 、 $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$  为原料制备

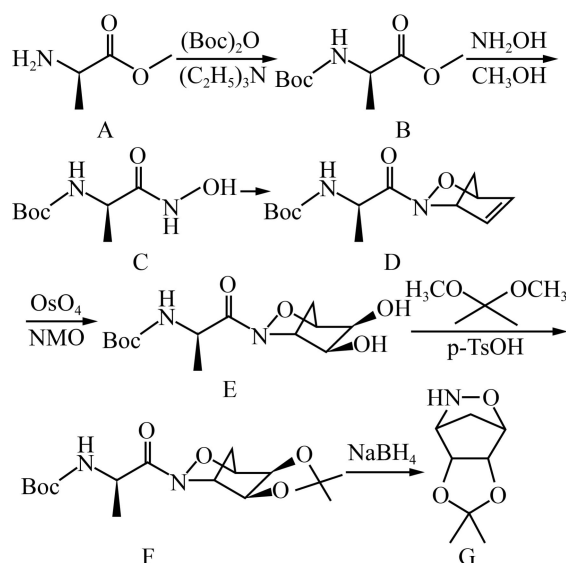


的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

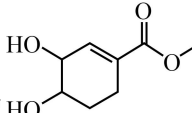
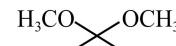



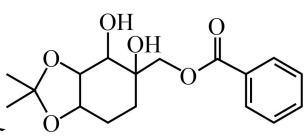
[官能团保护]

4 [2024 扬州考前模拟] 化合物 G 是新型小分子抗凝剂的关键中间体，其合成路线如下：



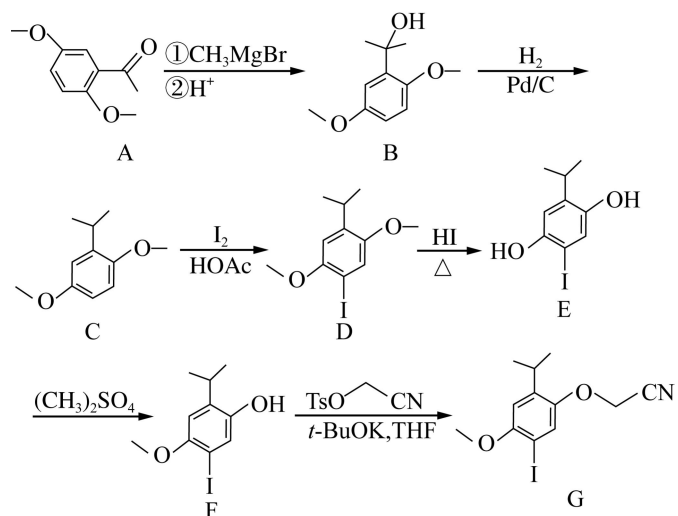
其中“—Boc”为基团“—COOC(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>”的缩写。

已知： $\text{R}-\text{COOR}' \xrightarrow[\text{AlCl}_3]{\text{LiAlH}_4} \text{R}-\text{CH}_2\text{OH}$ 。写出以 、 和

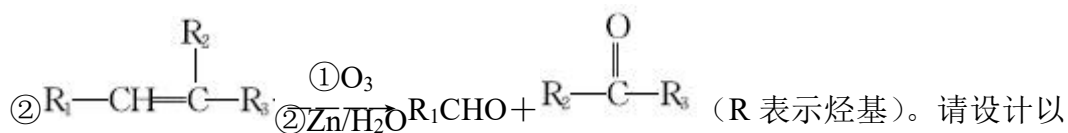
 为原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用）。

[信息解读与应用]

5 [2025 南通如皋适应性二]化合物 G 的一种合成路线如下:



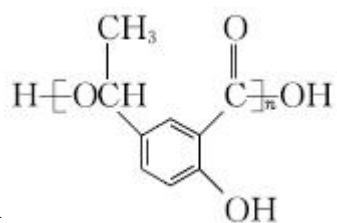
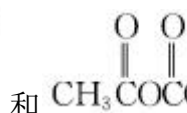
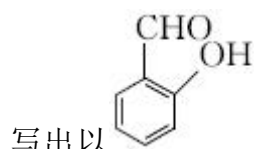
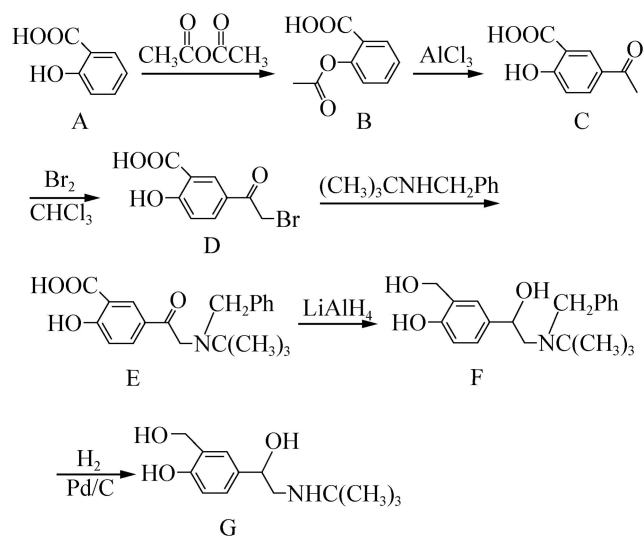
已知: ①  $\text{RBr} + \text{Mg} \xrightarrow{\text{乙醚}} \text{RMgBr}$ ;



为原料制备 的合成路线(无机试剂和流程图中的有机试剂任用, 合成路线流程图示例见本题题干)。

[合成高聚物]

6 [2025 南京考前指导]沙丁胺醇(G)可用于治疗哮喘,其合成路线如下(—Ph代表苯基):



成路线流程图(无机试剂和有机溶剂任用,合成路线流程图示例见本题题干)。

## 核心 1 有机推断的解题要点

## 1 有机反应类型的推断

对比结构变化→判断基团转化（如反应条件、双键的产生或消失）→常见反应类型（取代、加成、消去、氧化、还原）。

## 2 流程中未知物的判断

(1) 圈出前后两种物质的相同点与不同点。

(2) 分析反应条件可能给予的暗示。

(3) 结合其他所给已知条件（如分子式、性质等）推断。

(4) 试写该物质的结构简式，最后用所有已知信息（如分子式是否正确等）验证。

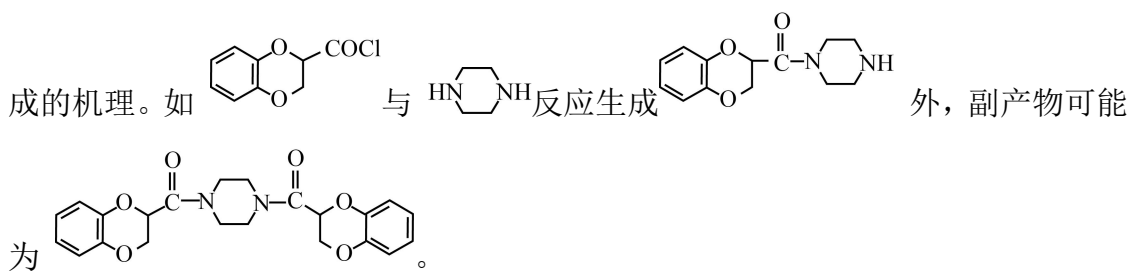
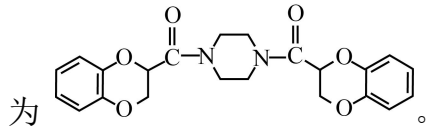
## 思维建模

对比找差异（前后结构上的差异判断官能团的变化），性质巧推断（结合不饱和度和、有机物性质及反应条件，推断结构），信息再验证（通过题目提供的分子式来验证猜想，检验结果）。

## 3 副产物的判断

(1) 按“流程中未知物”方法判断。

(2) 在物质旧键断裂的过程中，断键的部位和数量可能不同，这是产生副产物的重要途径，在分析流程的每一步时，特别是判断副产物时，要弄清主产物生

成的机理。如  外，副产物可能为 .

**归纳提升** 整个推断的思路就是对比结构差异，弄清反应机理，结合反应机理，依据题目提供的分子式，判断副产物的结构。

## 核心2 有机合成路线的设计

### 1 官能团的引入

#### (1) 引入碳碳双键

醇的消去反应	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow[170^\circ\text{C}]{\text{浓硫酸}} \text{CH}_2=\text{CH}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
卤代烃的消去反应	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br} + \text{NaOH} \xrightarrow[\Delta]{\text{乙醇}} \text{CH}_2=\text{CH}_2 \uparrow + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{O}$
炔烃与 $\text{H}_2$ 、 $\text{HX}$ 、 $\text{X}_2$ 的不完全加成	$\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{H}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_2=\text{CH}_2$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CHBr}=\text{CHBr}$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{HCl} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_2=\text{CHCl}$

#### (2) 引入碳卤键

烷烃、苯及其同系物与卤素单质发生取代反应	$\text{CH}_3\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl} + \text{HCl}$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{FeBr}_3} \text{Br-C}_6\text{H}_4\text{CH}_3 + \text{HBr}$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光照}} \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl} + \text{HCl}$
不饱和烃与卤素单质、卤化氢加成	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CHBrCH}_3$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{HCl} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_2=\text{CHCl}$ $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{HBr} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3-\text{CHBrCH}_3$
醇与氢溴酸的取代反应	$\text{R-OH} + \text{HBr} \xrightarrow[\Delta]{\text{浓硫酸}} \text{R-Br} + \text{H}_2\text{O}$

#### (3) 引入羟基

烯烃与水加成	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\Delta, \text{加压}]{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
卤代烃水解	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br} + \text{NaOH} \xrightarrow[\Delta]{\text{水}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{NaBr}$
醛或酮与氢气加成	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\overset{\parallel}{\text{C}}}-\text{CH}_3 + \text{H}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\overset{\parallel}{\text{C}}}-\text{CH}_3 + \text{H}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3-\overset{\text{OH}}{\underset{ }{\text{CH}}}-\text{CH}_3$
酯水解	$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{稀硫酸}} \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$

#### (4) 引入碳氧双键（醛基或羰基）

醇催化氧化	$2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{O}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{Cu}} 2\text{CH}_3\text{CHO} + 2\text{H}_2\text{O}$ $2\text{CH}_3-\overset{\text{OH}}{\underset{ }{\text{CH}}}-\text{CH}_3 + \text{O}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{Cu}} 2\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{  }{\text{C}}}-\text{CH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
连在同一个碳上的两个羟基脱水	$\begin{array}{c} \text{OH} \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array} \xrightarrow{-\text{H}_2\text{O}} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{H} \end{array}$
含碳碳三键的物质与水加成	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$

#### (5) 引入羧基

醛基氧化	$2\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} 2\text{CH}_3\text{COOH}$
酯、肽、蛋白质、羧酸盐的水解	$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{稀硫酸}} \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$

### 2 官能团的消除

(1) 通过加成反应可以消除不饱和键（碳碳双键、碳碳三键、苯环等）。如  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  在加热、催化剂作用下与  $\text{H}_2$  发生加成反应。

(2) 通过消去反应、氧化反应或酯化反应等消除羟基。如  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  发生消去反应生成  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ， $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  被氧化生成  $\text{CH}_3\text{CHO}$ 。

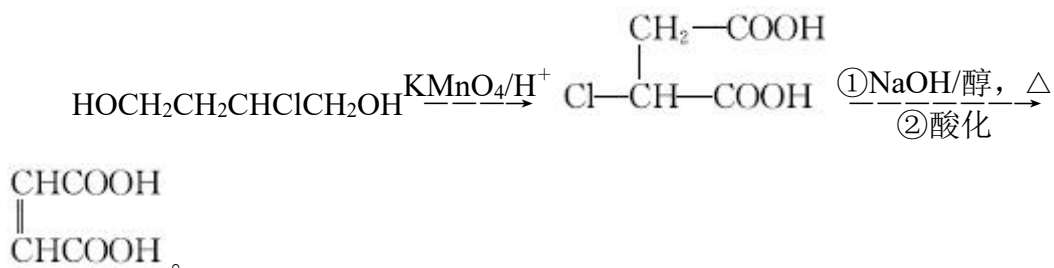
(3) 通过还原（或加成）或氧化反应等消除醛基。如  $\text{CH}_3\text{CHO}$  被氧化生成  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ， $\text{CH}_3\text{CHO}$  被  $\text{H}_2$  还原生成  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 。

(4) 通过水解反应消除酯基（ $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ -\text{C}-\text{O}-\text{R} \end{array}$ ）、酰胺基、卤素原子。如  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$  在酸性条件下水解生成  $\text{CH}_3\text{COOH}$  和  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 。

(5) 通过消去反应或水解反应消除卤素原子。如  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$  在  $\text{NaOH}$  醇溶液中发生消去反应转化成乙烯，在  $\text{NaOH}$  水溶液中发生水解反应转化成乙醇。

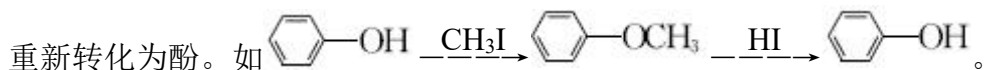
### 3 官能团的保护与恢复

(1) 碳碳双键：易与卤素单质加成，易被氧气、臭氧、双氧水、酸性高锰酸钾溶液氧化。在氧化其他基团前可以利用其与  $\text{HCl}$  等的加成反应将其保护起来，再利用消去反应转变为碳碳双键。如  $\text{HOCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{OH} \xrightarrow[\text{HCl}]{\text{催化剂}, \Delta}$



(2) 酚羟基：易被氧气、臭氧、双氧水、酸性高锰酸钾溶液氧化。

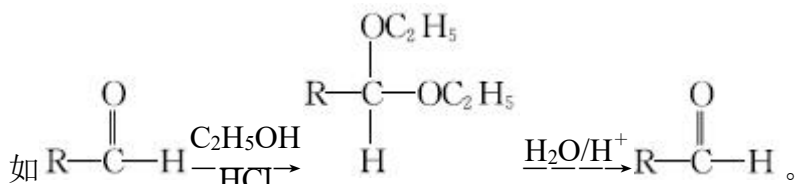
方法 1：在氧化其他基团前用碘甲烷( $\text{CH}_3\text{I}$ )先转化为苯甲醚，后用氢碘酸酸化



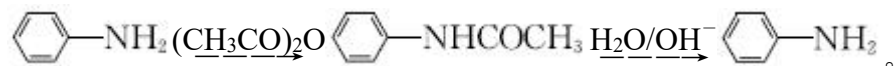
方法 2：在氧化其他基团前用  $\text{NaOH}$  溶液先转化为酚钠，后酸化重新转化为



(3) 醛基：易被氧化。在氧化其他基团前可以用乙醇（或乙二醇）加成保护。

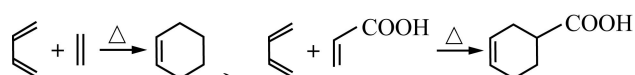


(4) 氨基：易被氧气、臭氧、双氧水、酸性高锰酸钾溶液氧化。在氧化其他基团前可以用醋酸酐将氨基转化为酰胺，然后再水解转化为氨基。如

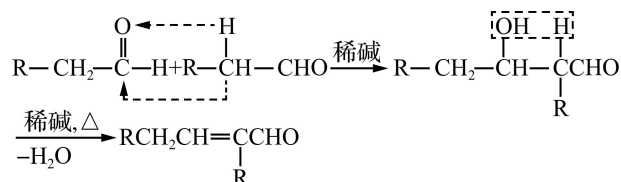


#### 4★常考有机反应信息

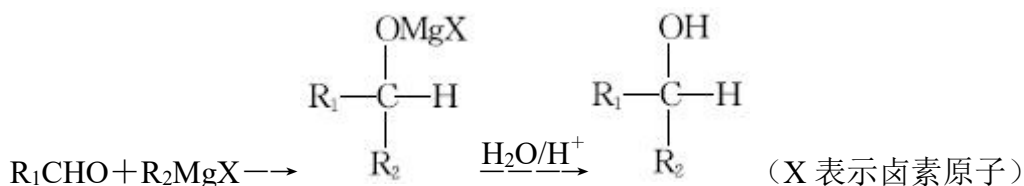
(1) Diels-Alder 反应：共轭二烯烃可以和某些具有碳碳双键的不饱和化合物进行 1, 4-加成反应，生成环状化合物，这个反应也叫双烯合成。



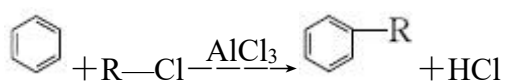
(2) 羟醛缩合：有  $\alpha\text{-H}$  的醛在稀碱(10%  $\text{NaOH}$ )溶液中能和另一分子醛相互作用，生成 $\beta$ -羟基醛。



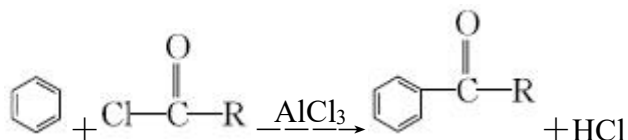
(3) 醛或酮与格氏试剂( $\text{RMgX}$ )发生加成反应，所得产物经水解可得到醇。



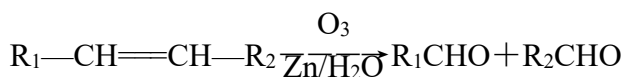
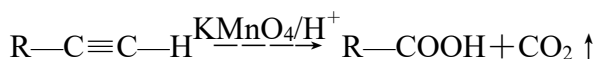
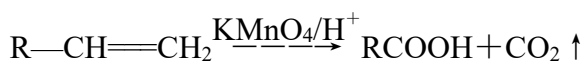
(4) 苯环与卤代烃反应（傅克反应）：



(5) 苯环与酰卤反应（傅克反应）：



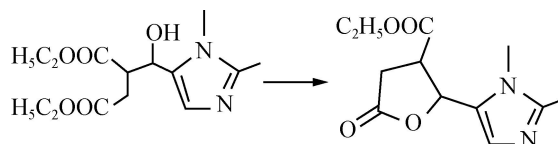
(6) 氧化反应：



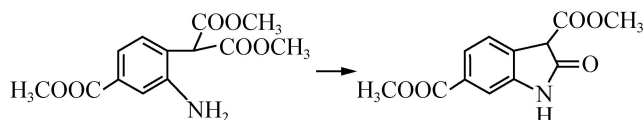
核心 3<sup>★</sup> 合成路线设计中的成环反应

除教材讲解的成环反应（环状酯、环醚、双烯合成）外，常考的成环反应有：酯交换反应、胺解反应、傅克酰基化等。

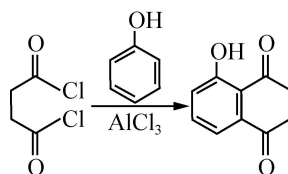
1 酯交换反应



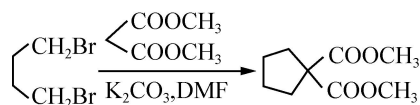
2 胺解反应



3 傅克酰基化

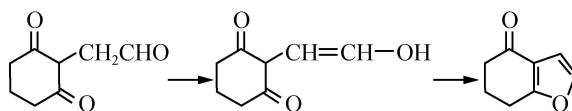



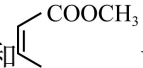
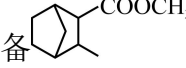
4 活泼亚甲基烷基化



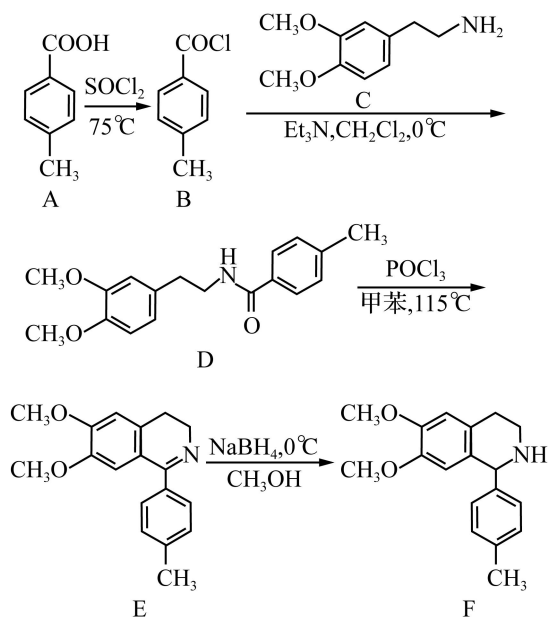


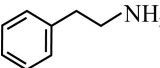
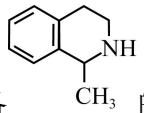
5 烯醇异构、羰基与羟基 H 先加成后消去



**例 1** [2018 江苏卷]已知： $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{CH}_2=\text{CH}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{Cyclohexane}$ 。写出以  和  为原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和乙醇任用）。

**例 2** 部分有机合成路线如下：

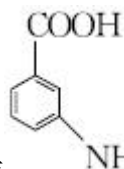


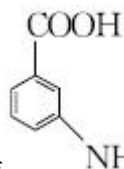
写出以  $\text{CH}_3\text{CHO}$  和  为原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

#### 核心 4★ 合成路线顺序的选择

合成路线顺序的选择：①氧化还原时，先氧化还是先还原，若先还原，还原反应后的基团在氧化步骤中是否被氧化；若先氧化，需要考虑除指定基团外，是否还有基团被氧化。②先反应还是先引入新基团，需要考虑引入的基团是否影响后续基团的反应；③考虑基团相互影响，苯环上原有的取代基对新引入的取代基进入苯环的位置有显著影响（引入“邻、对位”或“间位”）。

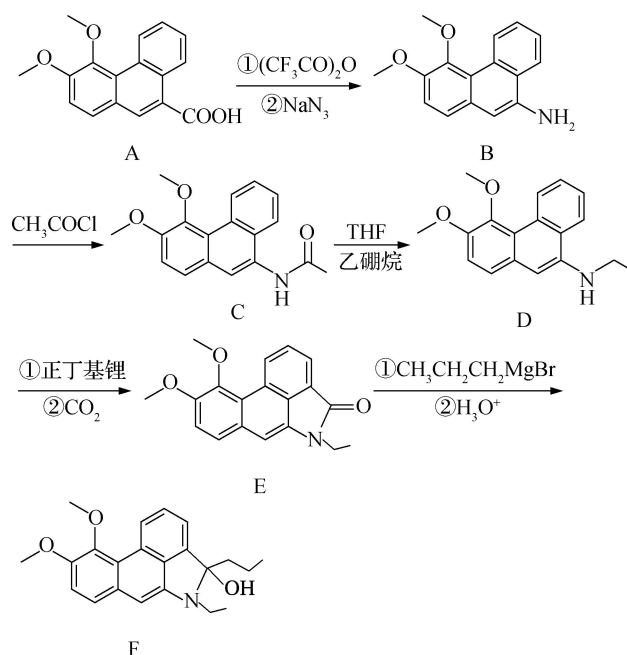
1 已知：①苯与  $\text{CH}_3\text{Cl}$  在催化剂条件下反应生成甲苯，羧基为间位定位基；

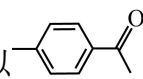
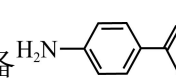


②  $\text{R}-\text{NO}_2 \xrightarrow[\text{HCl}]{\text{Fe}} \text{R}-\text{NH}_2$ 。设计由苯合成  的合成路线流程图。

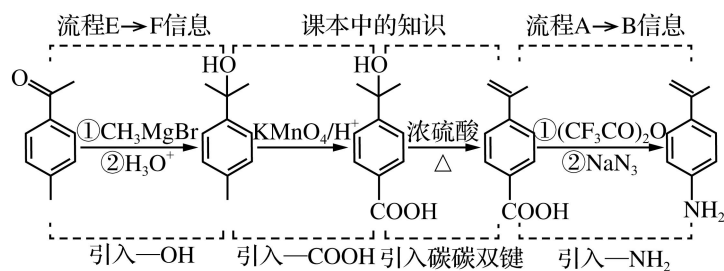
【分析】对比苯与产物的结构可知合成路线：一是引入甲基再氧化为羧基；二是引入硝基再还原为氨基。(1) 先引入甲基并氧化为羧基，因为氨基在羧基的间位，且羧基为间位定位基。(2) 后在间位引入硝基并还原为氨基。

2 部分有机合成路线如下：



已知：格氏试剂 ( $\text{RMgBr}$ ,  $\text{R}$  为烃基) 能与水、羟基、羧基、氨基等发生反应。写出以 、 $\text{CH}_3\text{MgBr}$  为原料制备  的合成路线流程图。

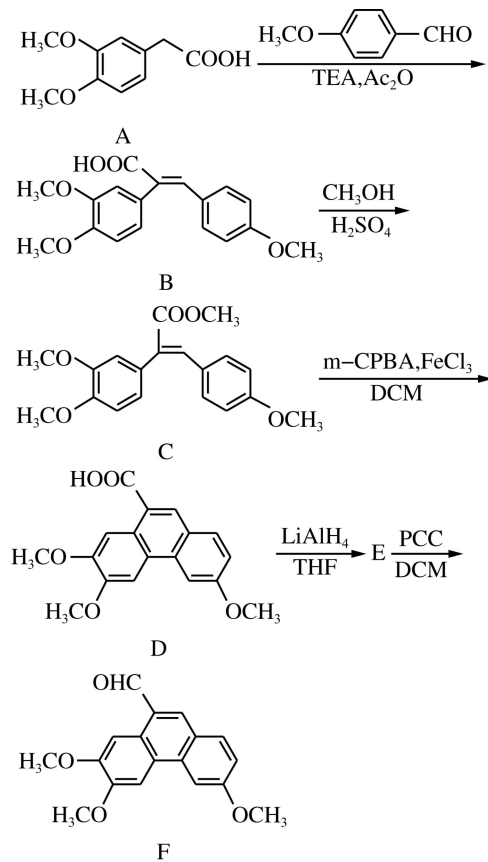
【分析】(1) 先与格氏试剂反应后氧化甲基，因为羧基也能和格氏试剂反应。(2) 先氧化甲基后消去羟基，因为碳碳双键也能被  $\text{KMnO}_4/\text{H}^+$  氧化。(3) 利用  $\text{A} \rightarrow \text{B}$  反应将羧基转化为氨基。



## 检测反馈

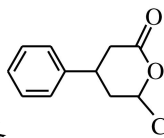
对点练，再提升

1 [2025 南通如东期初]化合物 F 可以用于治疗哮喘、支气管炎、风湿等疾病。其一种合成路线如下：



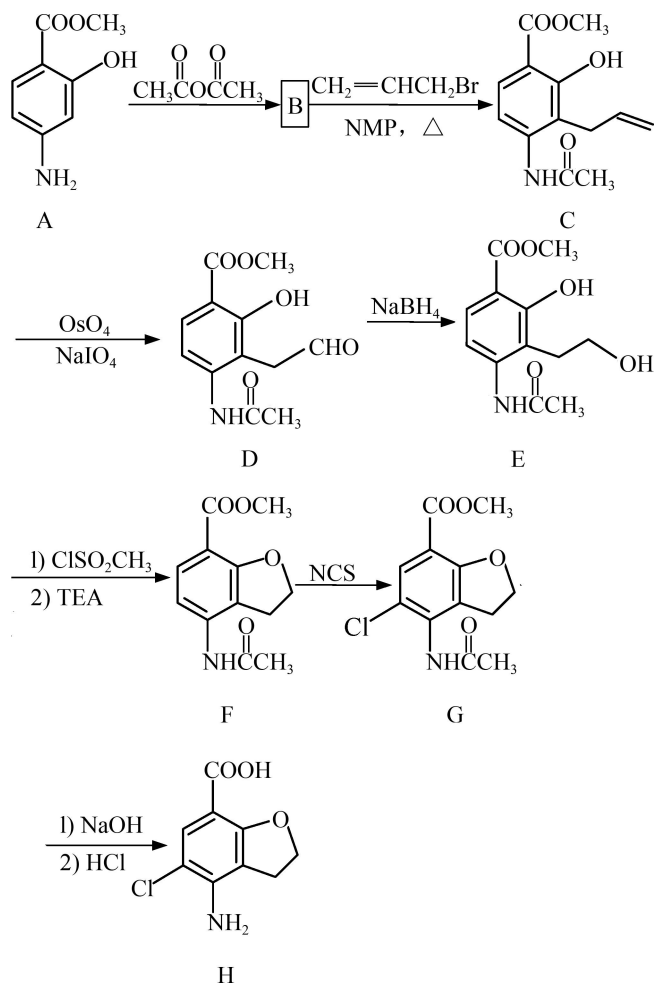
(1) E 的分子式为  $C_{18}H_{18}O_4$ ，则 E 的结构简式为\_\_\_\_\_。

(2) 已知：
$$\begin{matrix} R_1 \\ | \\ R_2-C=CH_2 \end{matrix} \xrightarrow[2) Zn/H_2O]{1) O_3} \begin{matrix} R_1 \\ | \\ R_2-C=O \end{matrix} + HCHO$$
。试写出以 为主要原料制备

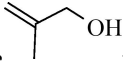
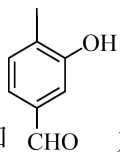


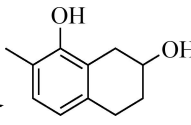
料制备 的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

2 [2025 南通、泰州等一调] 化合物 H 是一种治疗胃肠道疾病药物的中间体，其合成路线如下：



(1) 化合物 B 的分子式为  $C_{10}H_{11}NO_4$ ，其结构简式为\_\_\_\_\_。

(2) 已知： $2CH_3CHO \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} CH_3CH=CHCHO$ 。写出以  和  为

原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

## 主题5 实验探究与实践

### 微主题10 化学实验与探究

#### 基础回归

课前热身，激活思维

1 下列实验设计合理的是( )

A. 除去  $\text{Cl}_2$  中的  $\text{HCl}$

B. 制备少量  $\text{NO}$  避免其被氧化

C. 用乙醇萃取  $\text{CS}_2$  中的  $\text{S}$

D. 制作简易氢氧燃料电池

2 用下列装置进行相应实验，能达到实验目的的是( )

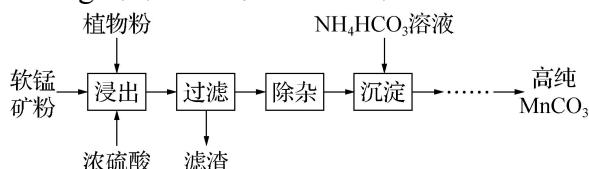
甲 乙 丙 丁

- A. 用装置甲验证浓硫酸的脱水性和强氧化性
- B. 用装置乙验证浓硝酸的强氧化性
- C. 用装置丙制备  $\text{SO}_2$  气体
- D. 用装置丁验证镁片与稀盐酸反应放热

3 由一种阳离子和两种酸根离子组成的盐称混盐。下列关于混盐  $\text{Na}_4\text{S}_2\text{O}_3$  的判断不正确的是( )

- A. 向溶液中加入酚酞溶液变红，说明该混盐水溶液呈碱性
- B. 向该混盐中加入稀硫酸可以产生使品红褪色的气体
- C. 该混盐在酸性条件下可以产生淡黄色浑浊
- D. 用玻璃棒蘸取该混盐溶液灼烧，火焰呈黄色，说明溶液中含有  $\text{Na}^+$

4 高纯碳酸锰在电子工业中有重要的应用，湿法浸出软锰矿（主要成分为  $\text{MnO}_2$ ，含少量  $\text{Fe}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Mg}$  等杂质元素）制备高纯碳酸锰的实验过程如下：



(1) 浸出：浸出时温度控制在  $90\sim 95\text{ }^\circ\text{C}$ ，并且要连续搅拌 3 小时的目的是\_\_\_\_\_，植物粉的作用是\_\_\_\_\_。

(2) 除杂：①向浸出液中加入一定量的碳酸锰矿，调节浸出液的  $\text{pH}$  为  $3.5\sim 5.5$ ；

②再加入一定量的软锰矿和双氧水，过滤；

③……

操作①中使用碳酸锰调 pH 的优势是\_\_\_\_\_；操作②中加入双氧水不仅能将  $\text{Fe}^{2+}$  氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ ，而且能提高软锰矿的浸出率。写出双氧水提高软锰矿浸出率的离子方程式：\_\_\_\_\_。

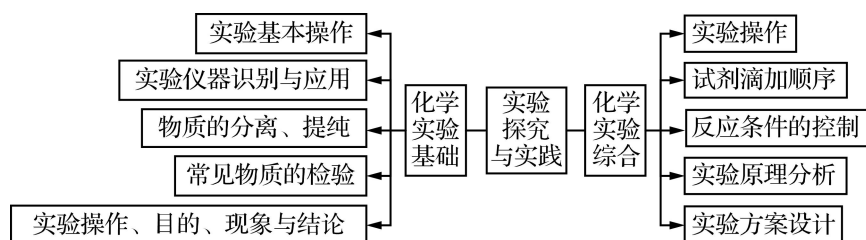
(3) 制备：在  $30 \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  下，将碳酸氢铵溶液滴加到硫酸锰净化液中，控制反应液的最终 pH 在  $6.5 \sim 7.0$ ，得到  $\text{MnCO}_3$  沉淀。温度控制  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下的原因是\_\_\_\_\_；该反应的化学方程式为\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_；  
生成的  $\text{MnCO}_3$  沉淀需经充分洗涤，检验洗涤是否完全的方法是\_\_\_\_\_。

(4) 计算：室温下， $K_{\text{sp}}(\text{MnCO}_3)=1.8 \times 10^{-11}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{MgCO}_3)=2.6 \times 10^{-5}$ ，已知离子浓度小于  $1.0 \times 10^{-5}\text{ mol/L}$  时，表示该离子沉淀完全。若净化液中的  $c(\text{Mg}^{2+})=10^{-2}\text{ mol/L}$ ，试计算说明  $\text{Mg}^{2+}$  的存在是否会影响  $\text{MnCO}_3$  的纯度。

## 体系建构

化散为整，融会贯通

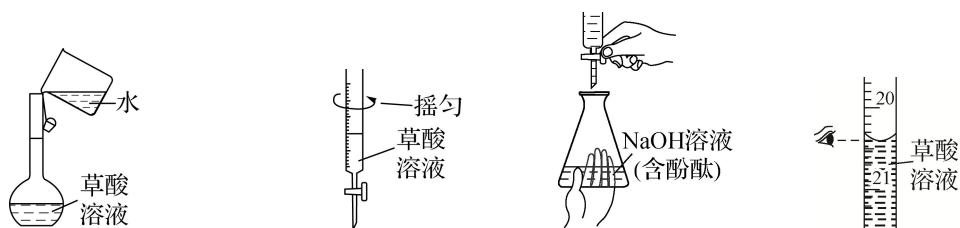


3 年真题

题型 1 化学实验基础——选择题

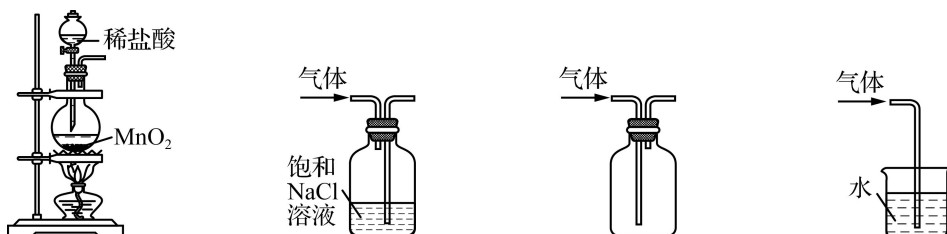
[物质的制备与实验装置]

1 [2025 江苏卷] 用  $0.050\ 00\ \text{mol/L}$  草酸( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ )溶液滴定未知浓度的  $\text{NaOH}$  溶液。下列实验操作规范的是( )



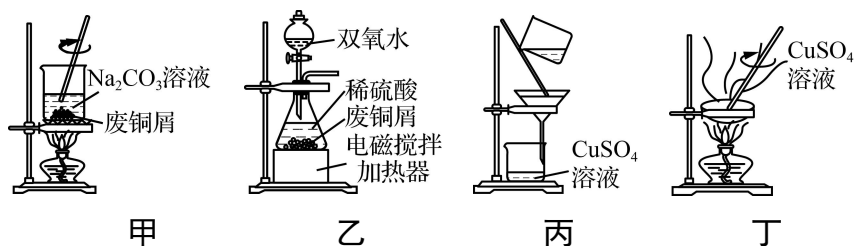
- A. 配制草酸溶液      B. 润洗滴定管      C. 滴定      D. 读数

2 [2023 江苏卷] 实验室制取  $\text{Cl}_2$  的实验原理及装置均正确的是( )



- A. 制取  $\text{Cl}_2$       B. 除去  $\text{Cl}_2$  中  $\text{HCl}$       C. 收集  $\text{Cl}_2$       D. 吸收尾气中  $\text{Cl}_2$

3 [2021 江苏卷] 下列由废铜屑制取  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  的实验原理与装置不能达到实验目的的是( )



- A. 用装置甲除去废铜屑表面的油污  
B. 用装置乙在加热的条件下溶解废铜屑  
C. 用装置丙过滤得到  $\text{CuSO}_4$  溶液  
D. 用装置丁蒸干溶液获得  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

[物质性质探究与实验装置]

4 [2025 江苏卷] 探究含铜化合物性质的实验如下:

步骤 I: 取一定量 5%  $\text{CuSO}_4$  溶液, 加入适量浓氨水, 产生蓝色沉淀。

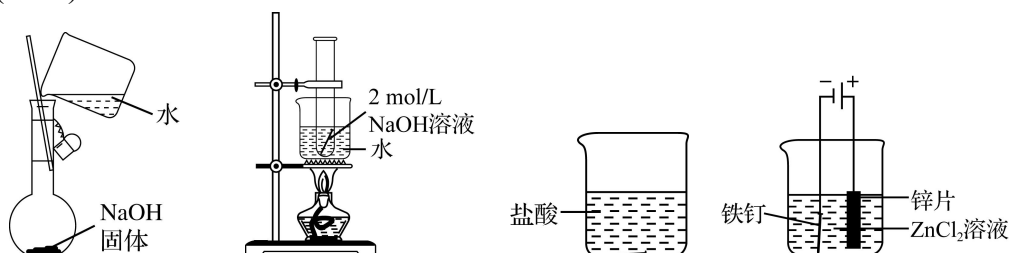
步骤 II: 将沉淀分成两等份, 分别加入相同体积的浓氨水、稀盐酸, 沉淀均完全溶解, 溶液分别呈现深蓝色、蓝色。

步骤 III: 向步骤 II 所得的深蓝色溶液中插入一根打磨过的铁钉, 无明显现象; 继续加入稀盐酸, 振荡后静置, 产生少量气泡, 铁钉表面出现红色物质。

下列说法正确的是( )

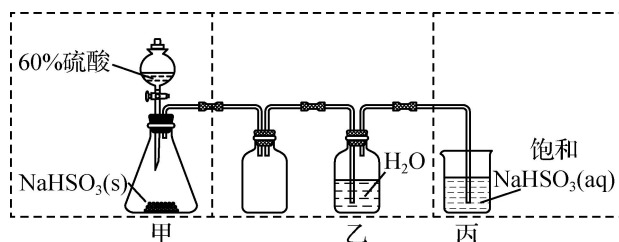
- A. 步骤 I 产生的蓝色沉淀为  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$
- B. 步骤 II 的两份溶液中:  $c_{\text{深蓝色}}(\text{Cu}^{2+}) < c_{\text{蓝色}}(\text{Cu}^{2+})$
- C. 步骤 III 中无明显现象是由于铁钉遇深蓝色溶液迅速钝化
- D. 步骤 III 中产生气体、析出红色物质的反应为  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + \text{Fe} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{Fe}^{2+} + 4\text{NH}_3 \uparrow$

5 [2024 江苏卷] 实验室进行铁钉镀锌实验。下列相关原理、装置及操作不正确的是( )



- A. 配制 NaOH 溶液
- B. 铁钉除油污
- C. 铁钉除锈
- D. 铁钉镀锌

6 [2022 江苏卷] 实验室制取少量  $\text{SO}_2$  水溶液并探究其酸性。下列实验装置和操作不能达到实验目的的是( )



- A. 用装置甲制取  $\text{SO}_2$  气体
- B. 用装置乙制取  $\text{SO}_2$  水溶液
- C. 用装置丙吸收尾气中的  $\text{SO}_2$
- D. 用干燥的 pH 试纸检验  $\text{SO}_2$  水溶液的酸性



[实验操作、现象与结论]

7 [2024 江苏卷]室温下, 根据下列实验过程及现象, 能验证相应实验结论的是( )

选项	实验过程及现象	实验结论
A	用 0.1 mol/L NaOH 溶液分别中和等体积的 0.1 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液和 0.1 mol/L $\text{CH}_3\text{COOH}$ 溶液, $\text{H}_2\text{SO}_4$ 消耗的 NaOH 溶液多	酸性: $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{CH}_3\text{COOH}$
B	向 2 mL 0.1 mol/L $\text{Na}_2\text{S}$ 溶液中滴加几滴溴水, 振荡, 产生淡黄色沉淀	氧化性: $\text{Br}_2 > \text{S}$
C	向 2 mL 浓度均为 0.1 mol/L 的 $\text{CaCl}_2$ 和 $\text{BaCl}_2$ 混合溶液中滴加少量 0.1 mol/L $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液, 振荡, 产生白色沉淀	溶度积常数: $\text{CaCO}_3 > \text{BaCO}_3$
D	用 pH 试纸分别测定 $\text{CH}_3\text{COONa}$ 溶液和 $\text{NaNO}_2$ 溶液的 pH, $\text{CH}_3\text{COONa}$ 溶液的 pH 大	结合 $\text{H}^+$ 能力: $\text{CH}_3\text{COO}^- > \text{NO}_2^-$

8 [2023 江苏卷]室温下, 探究 0.1 mol/L  $\text{FeSO}_4$  溶液的性质。下列实验方案能达到探究目的的是( )

选项	探究目的	实验方案
A	溶液中是否含有 $\text{Fe}^{3+}$	向 2 mL $\text{FeSO}_4$ 溶液中滴加几滴新制氯水, 再滴加 KSCN 溶液, 观察溶液颜色变化
B	$\text{Fe}^{2+}$ 是否有还原性	向 2 mL $\text{FeSO}_4$ 溶液中滴加几滴酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液, 观察溶液颜色变化
C	$\text{Fe}^{2+}$ 是否水解	向 2 mL $\text{FeSO}_4$ 溶液中滴加 2~3 滴酚酞试液, 观察溶液颜色变化
D	$\text{Fe}^{2+}$ 能否催化 $\text{H}_2\text{O}_2$ 分解	向 2 mL 5% $\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液中滴加几滴 $\text{FeSO}_4$ 溶液, 观察气泡产生情况

9 [2022 江苏卷]室温下, 下列实验探究方案不能达到探究目的的是( )

选项	探究方案	探究目的
A	向盛有 $\text{FeSO}_4$ 溶液的试管中滴加几滴 KSCN 溶液, 振荡, 再滴加几滴新制氯水, 观察溶液颜色变化	$\text{Fe}^{2+}$ 具有还原性
B	向盛有 $\text{SO}_2$ 水溶液的试管中滴加几滴品红溶液, 振荡, 加热试管, 观察溶液颜色变化	$\text{SO}_2$ 具有漂白性
C	向盛有淀粉-KI 溶液的试管中滴加几滴溴水, 振荡, 观察溶液颜色变化	$\text{Br}_2$ 的氧化性比 $\text{I}_2$ 强
D	用 pH 计测量醋酸、盐酸的 pH, 比较溶液 pH 大小	$\text{CH}_3\text{COOH}$ 是弱电解质

## 题型2 化学实验探究——大题

10 [2025 江苏卷]海洋出水铁质文物表面有凝结物,研究其形成原理和脱氯方法对保护文物意义重大。

(1) 文物出水清淤后,须尽快浸泡在 NaOH 稀溶液或  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中进行现场保护。

①玻璃中的  $\text{SiO}_2$  能与 NaOH 反应生成\_\_\_\_\_ (填化学式),故不能使用带磨口玻璃塞的试剂瓶盛放 NaOH 溶液。

②文物浸泡在碱性溶液中比暴露在空气中能减缓吸氧腐蚀,其原因有\_\_\_\_\_。

(2) 文物表面凝结物种类受文物材质和海洋环境等因素的影响。

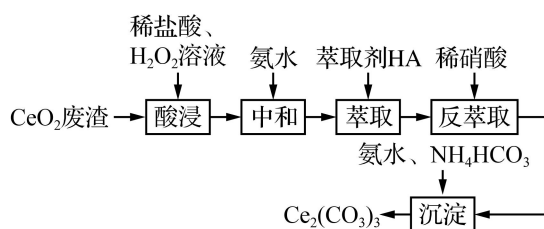
①无氧环境中,文物中的 Fe 与海水中的  $\text{SO}_4^{2-}$  在细菌作用下形成 FeS 等含铁凝结物。写出 Fe 与  $\text{SO}_4^{2-}$  反应生成 FeS 和  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  的离子方程式:\_\_\_\_\_。

②有氧环境中,海水中的铁质文物表面形成  $\text{FeOOH}$  等凝结物。铁的氢氧化物吸附某些阳离子形成带正电的胶粒,是凝结物富集  $\text{Cl}^-$  的可能原因。

(3) 为比较含氯  $\text{FeOOH}$  在 NaOH 溶液与蒸馏水中浸泡的脱氯效果,请补充实验方案;取一定量含氯  $\text{FeOOH}$  模拟样品,将其分为两等份,\_\_\_\_\_。

比较滴加  $\text{AgNO}_3$  溶液体积 [ $K_{\text{sp}}(\text{AgCl})=1.8\times 10^{-10}$ 。实验须遵循节约试剂用量的原则,必须使用的试剂:蒸馏水、0.5 mol/L NaOH 溶液、0.5 mol/L  $\text{HNO}_3$  溶液、0.05 mol/L  $\text{AgNO}_3$  溶液]。

11 [2022 江苏卷]实验室以二氧化铈( $\text{CeO}_2$ )废渣为原料制备  $\text{Cl}^-$  含量少的  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$ ,其部分实验过程如下:



(1) “酸浸”时  $\text{CeO}_2$  与  $\text{H}_2\text{O}_2$  反应生成  $\text{Ce}^{3+}$  并放出  $\text{O}_2$ , 该反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

(2) pH 约为 7 的  $\text{CeCl}_3$  溶液与  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液反应可生成  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$  沉淀,该沉淀中  $\text{Cl}^-$  含量与加料方式有关。得到含  $\text{Cl}^-$  量较少的  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$  的加料方式为\_\_\_\_\_ (填字母)。

A. 将  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液滴加到  $\text{CeCl}_3$  溶液中

B. 将  $\text{CeCl}_3$  溶液滴加到  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液中

(3) 通过中和、萃取、反萃取、沉淀等过程,可制备  $\text{Cl}^-$  含量少的  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$ 。

已知  $\text{Ce}^{3+}$  能被有机萃取剂（简称 HA）萃取，其萃取原理可表示为  $\text{Ce}^{3+}$ （水层） $+3\text{HA}$ （有机层） $\rightleftharpoons\text{Ce}(\text{A})_3$ （有机层） $+3\text{H}^+$ （水层）。

①加氨水“中和”去除过量盐酸，使溶液接近中性。去除过量盐酸的目的是\_\_\_\_\_。

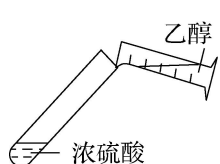
②反萃取的目的是将有机层  $\text{Ce}^{3+}$  转移到水层。使  $\text{Ce}^{3+}$  尽可能多地发生上述转移，应选择的实验条件或采取的实验操作有\_\_\_\_\_（填两项）。

③与“反萃取”得到的水溶液比较，过滤  $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$  溶液的滤液中，物质的量减小的离子有\_\_\_\_\_（填离子符号）。

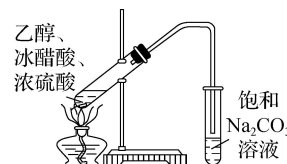
### 3 年模拟

#### 题型 1 化学实验基础——选择题

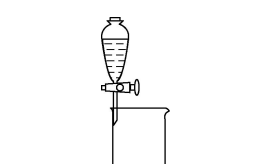
1 [2026 苏州学情调研]实验室制取并分离得到乙酸乙酯，下列实验装置或原理能达到实验目的的是( )




A. 混合乙醇和浓硫酸



B. 制取乙酸乙酯

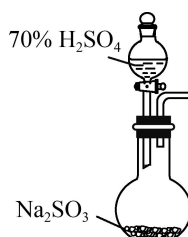


C. 分液漏斗下口分离出乙酸乙酯

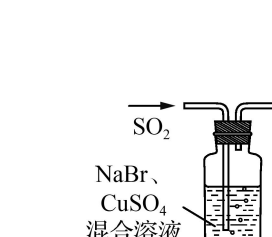


D. 干燥乙酸乙酯

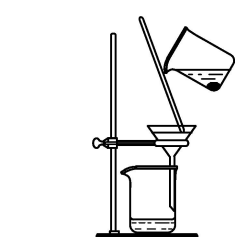
2 [2025 南通一调]实验室利用  $\text{SO}_2 + 2\text{CuSO}_4 + 2\text{NaBr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CuBr} \downarrow + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4$  制备  $\text{CuBr}$ 。潮湿的  $\text{CuBr}$  受热易分解。用下列装置进行实验，不能达到实验目的的是( )



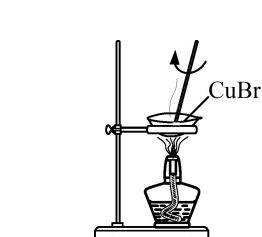
A. 制取  $\text{SO}_2$



B. 制取  $\text{CuBr}$



C. 分离出  $\text{CuBr}$



D. 干燥  $\text{CuBr}$

3 [2026 镇江期初]电石（主要含  $\text{CaC}_2$ ，还含有  $\text{CaS}$  等杂质）与水制乙炔反应剧烈及探究其性质实验如下：

步骤 1：取一定量的电石，滴加饱和食盐水，有气泡产生。

步骤 2：将产生的气体通入足量  $\text{CuSO}_4$  溶液。

步骤 3：将步骤 2 所得气体通入酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液。

步骤 4：将步骤 2 所得气体干燥后通入  $\text{Br}_2$  的  $\text{CCl}_4$  溶液。

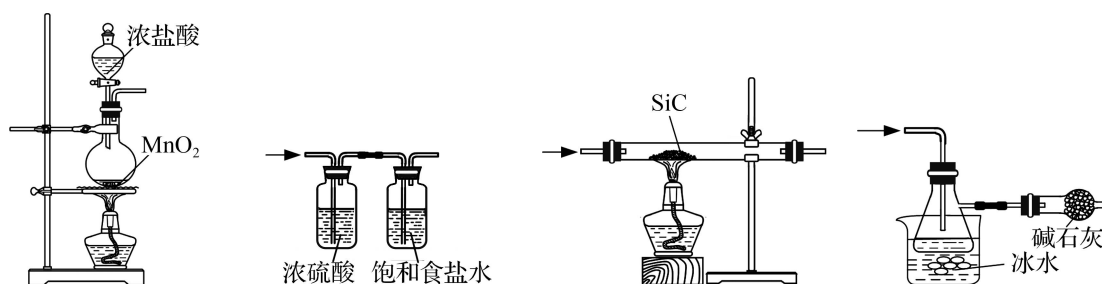
下列说法不正确的是( )

- A. 滴加饱和食盐水的目的是减缓  $\text{CaC}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  反应的速率
- B. 步骤 2 中  $\text{CuSO}_4$  溶液的作用是除去  $\text{H}_2\text{S}$

C. 乙炔与酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液反应： $\text{CH}\equiv\text{CH} + 2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$

D. 步骤 4 中的反应只有  $\pi$  键的断裂

4 [2025 南通如皋适应性考试二] 实验室可用  $\text{SiC}$  与  $\text{Cl}_2$  反应 ( $\text{SiC} + 2\text{Cl}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{SiCl}_4 + \text{C}$ ) 制取少量  $\text{SiCl}_4$  (沸点为  $57.6^\circ\text{C}$ , 易水解)。下列实验原理和装置不能达到实验目的的是( )



- A. 制取氯气      B. 得到纯净干燥的  $\text{Cl}_2$       C. 制取四氯化硅      D. 收集四氯化硅并吸收尾气

5 [2025 苏锡常镇二调] 室温下, 下列实验探究方案能达到探究目的的是( )

选项	探究方案	探究目的
A	用 pH 计分别测定浓度均为 $0.1 \text{ mol/L}$ 的 $\text{NaClO}$ 溶液和 $\text{NaNO}_2$ 溶液的 pH, 比较读数大小	$\text{HClO}$ 和 $\text{HNO}_2$ 的酸性强弱
B	在一支干燥的试管里加入 $2 \text{ mL}$ 无水乙醇, 溶解适量苯酚, 振荡。再加入绿豆大小的吸干煤油的金属钠, 观察是否产生气泡	苯酚能否与钠反应
C	某卤代烃与 $\text{NaOH}$ 水溶液共热后, 滴入 $\text{AgNO}_3$ 溶液, 观察沉淀颜色	该卤代烃中含有卤素的种类
D	向 $\text{Na}_2\text{S}$ 溶液中滴加 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 溶液无明显现象, 再向其中加入稀硫酸, 观察是否有黄色沉淀生成	该反应中硫酸作氧化剂

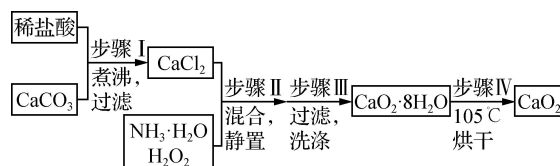
6 [2025 南通四模] 室温下, 探究  $0.1 \text{ mol/L}$   $\text{NaHSO}_3$  溶液的性质, 下列实验方案能达到探究目的的是( )

选项	探究目的	实验方案
A	检验溶液是否变质	向 $2 \text{ mL}$ 溶液中滴加几滴稀硝酸, 再滴加 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液, 观察是否产生沉淀
B	比较 $\text{HSO}_3^-$ 水解平衡常数和电离平衡常数大小	用 pH 计测定溶液的 pH, 比较溶液 pH 与 7 的大小
C	溶液是否具有漂白性	向 $2 \text{ mL}$ 溶液中滴加几滴酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液, 观察溶液颜色变化
D	比较 $\text{HSO}_3^-$ 与 $\text{Fe}^{2+}$ 还原性强弱	向 $2 \text{ mL}$ 溶液中加入过量 $\text{FeCl}_3$ 溶液, 充分反应后, 滴加几滴 $\text{KSCN}$ 溶液, 观察溶液颜色变化

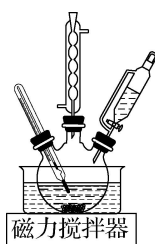
## 题型2 化学实验探究——大题

### [试剂的选用及滴加顺序]

7 (1) [2026 南京期初]已知： $\text{CaO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  微溶于水，能溶于酸，在碱性溶液中能稳定存在。实验室由  $\text{CaCl}_2$  制备  $\text{CaO}_2$  的流程如下：

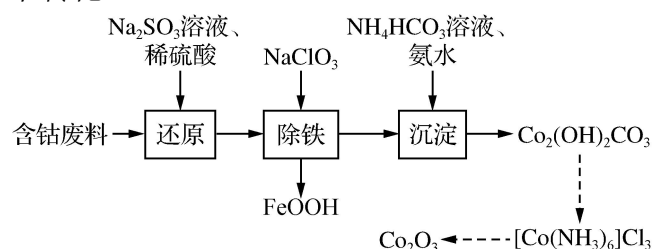


步骤 II 在如图所示装置中完成，滴液漏斗中应盛有的试剂是\_\_\_\_\_（填字母）。

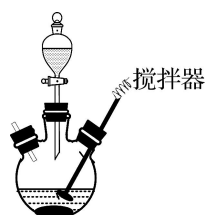


A.  $\text{CaCl}_2$  溶液      B.  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  的混合溶液

(2) [2025 南通如皋适应性考试一] 含钴废料(主要含  $\text{CoO}$ , 还含少量  $\text{Co}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 可以进行如下转化：

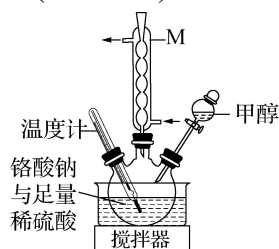


“还原”时的实验装置如图所示，分液漏斗中盛装的溶液是\_\_\_\_\_（填“ $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液”或“稀硫酸”）。



(3) [2025 徐州考前打靶卷]将  $\text{FeSO}_4$  溶液与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液混合，充分反应，制备  $\text{FeCO}_3$  悬浊液。将  $\text{FeSO}_4$  溶液与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液混合的加料方式为\_\_\_\_\_。

(4) [2026 镇江期初]由铬酸钠( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ )制备  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，实验装置如图所示。



- I. 将铬酸钠、足量的稀硫酸依次加入三颈烧瓶；  
II. 向三颈烧瓶滴加甲醇，升温至 100 °C 继续反应 3 小时；  
III. 待反应液冷却后，用 NaOH 溶液调节 pH，得  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  沉淀；  
IV. 将所得沉淀经系列操作后，得  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  晶体。

①仪器 M 的名称是\_\_\_\_\_。

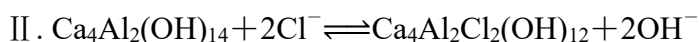
②步骤 II 中有  $\text{CO}_2$  生成，写出该反应的离子方程式：\_\_\_\_\_。

③步骤 II 中选用甲醇作还原剂而不用乙醇的原因是\_\_\_\_\_。

(5) [2025 无锡调研]搅拌下，将一定量的  $\text{PrCl}_3$  溶液与沉淀剂  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液充分反应，过滤得到  $\text{Pr}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  沉淀，发生反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

沉淀剂用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液比用  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液得到的沉淀颗粒更加致密，可能的原因是\_\_\_\_\_。

(6) [2025 苏锡常镇二调]超高石灰铝工艺处理高氯( $\text{Cl}^-$ )废水，操作简单，成本低。涉及的主要反应如下：



$\text{Cl}^-$  转化为弗氏盐  $[\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Cl}_2(\text{OH})_{12}]$  沉淀而除去。已知：溶液中  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{I}^-$  等离子也能发生类似反应 II 而除去； $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  在碱性较强情况下还会生成  $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$  沉淀。

①一定体积的高氯废水中加入石灰乳和  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$  溶液，与废水中  $\text{Cl}^-$  反应生成弗氏盐的离子方程式为\_\_\_\_\_。

②投入的原料选用  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ ，而不选用  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  的原因为\_\_\_\_\_。

### [实验基本操作]

8 (1) 向盛有 30 mL 12 mol/L 浓盐酸的烧杯中加入 10 mL 14 mol/L 浓硝酸制得王水。配制过程中溶液温度升高。

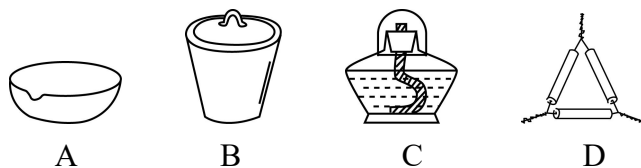
①配制过程中的操作正确的是\_\_\_\_\_（填字母）。

- A. 在通风橱中进行      B. 戴上护目镜和手套  
C. 边加边搅拌          D. 将烧杯置于热水浴中

②部分  $\text{HCl}$  与  $\text{HNO}_3$  反应生成  $\text{Cl}_2$  和  $\text{NOCl}$ 。写出该反应的化学方程式：\_\_\_\_\_。

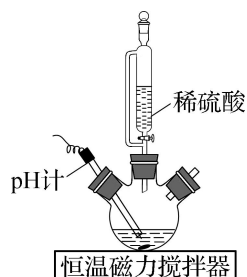
(2) [2025 南京学情调研]将干海带灼烧成灰烬，转移至烧杯中，加水煮沸，过滤得含  $\text{I}^-$  的溶液。

①灼烧时不会用到下列仪器中的\_\_\_\_\_（填字母）。



②灼烧海带时用酒精浸润海带的目的是\_\_\_\_\_。

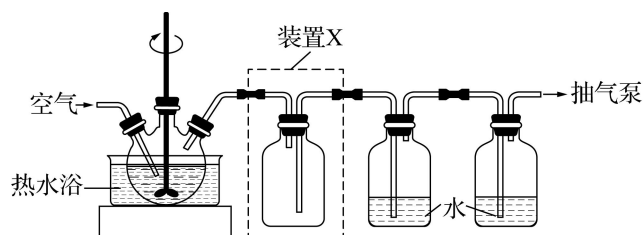
(3) [2025 南通如皋适应性考试三]将煅烧得到的固体(含  $\text{CuO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Ni}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{CaSiO}_3$ )加入三颈瓶中,通过恒压滴液漏斗缓慢滴加稍过量的稀硫酸,充分反应。



①反应后所得溶液中含  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ , 写出酸浸时  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  发生反应的化学方程式:\_\_\_\_\_。

②如何判断“酸浸”反应已经完成:\_\_\_\_\_。

(4) [2025 盐城、南京期末]生产印刷电路板所用的蚀刻液成分为  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  等。蚀刻反应原理为  $\text{Cu} + [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 = 2[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ 。利用蚀刻废液可制备  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 。取一定量蚀刻废液和稍过量的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液加入如图所示实验装置的三颈瓶中,在搅拌下加热并通入空气,待产生大量沉淀时停止加热,冷却、过滤、洗涤,得到  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  固体。



①向反应液中通入空气,除了使  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$  被氧化,另一个作用是\_\_\_\_\_。

②图中装置 X 的作用是\_\_\_\_\_。

③检验  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  固体是否洗涤干净的实验操作是\_\_\_\_\_。

[实验条件控制与分析]

9 (1) [2026 苏州期初]一种层状镁铝氢氧化物处理剂可表示为 $[\text{Mg}_{(1-x)}\text{Al}_x(\text{OH})_2](\text{CO}_3)_{0.5x} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，溶液中的阴离子可以与处理剂层间的 $\text{CO}_3^{2-}$ 发生离子交换，从而实现 $\text{Cr}(\text{VI})$ 的去除。已知：废水中 $\text{Cr}(\text{VI})$ 总浓度为 $0.20 \text{ mol/L}$ ，含铬物种浓度随 $\text{pH}$ 的分布如图1所示， $\text{Cr}(\text{VI})$ 的去除率随 $\text{pH}$ 的变化如图2所示。

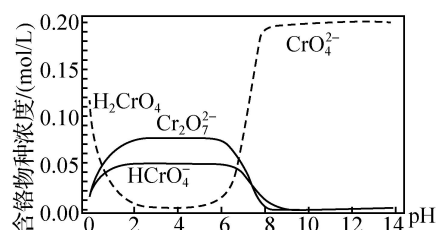


图1

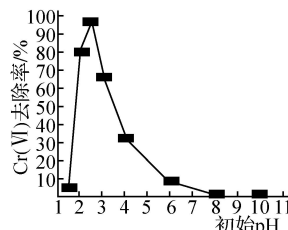
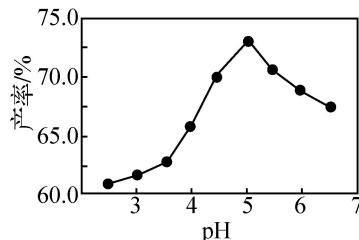


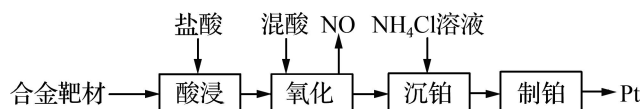
图2

$\text{pH} < 2.5$  时，随着废水 $\text{pH}$ 的减小， $\text{Cr}(\text{VI})$ 去除率减小，原因可能是\_\_\_\_\_。

(2) [2025 徐州考前打靶卷]将高活性 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶于乙二胺四乙酸二钠( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ )溶液中制备 $\text{NaFeY} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。其他条件不变， $\text{NaFeY} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的产率随溶液 $\text{pH}$ 变化关系如图所示， $\text{pH} < 5$  时，随 $\text{pH}$ 降低产率减小的可能原因是\_\_\_\_\_。



(3) [2025 南通一调]利用废弃的铂镍合金靶材回收金属铂的部分实验过程如下：



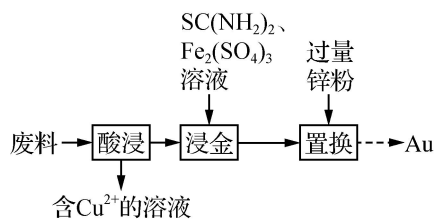
将“酸浸”后的固体充分洗涤后加至浓硝酸和浓盐酸的混酸中发生氧化反应，得到含 $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ 的溶液。

①写出 $\text{Pt}$ 发生反应的化学方程式：\_\_\_\_\_。

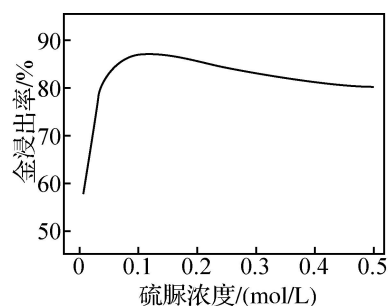
②该过程需控制在 $40^\circ\text{C}$ 左右的原因是\_\_\_\_\_。

(4) [2025 扬州四模]电子元件废料中金( $\text{Au}$ )和 $\text{Cu}$ 以单质存在，以其为原料回收 $\text{Au}$ 、 $\text{Cu}$ 单质的方法如下图所示(其他杂质不参与反应)。已知：硫脲 $[\text{SC}(\text{NH}_2)_2]$ 可被缓慢氧化，最终生成单质硫。

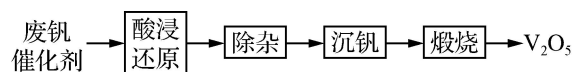




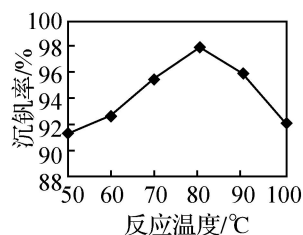
硫脲浓度对金的浸出率的影响如图，其他条件相同时，硫脲浓度大于 0.1 mol/L 时，金浸出率下降的原因是\_\_\_\_\_。



(5) [2026 连云港期中]以废钒催化剂（主要含有  $\text{V}_2\text{O}_5$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$  等）为原料制备  $\text{V}_2\text{O}_5$  的流程如图所示。



沉钒。向所得  $\text{NaVO}_3$  溶液中加入一定量  $\text{NH}_4\text{Cl}$  固体，充分反应后得到  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  沉淀。沉钒率（沉淀中钒的质量与原料中钒的总质量之比）随温度的变化如图所示。

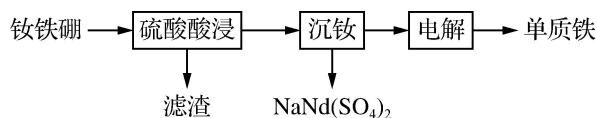


①温度高于 80 °C，沉钒率随温度升高而减小的可能原因有\_\_\_\_\_。

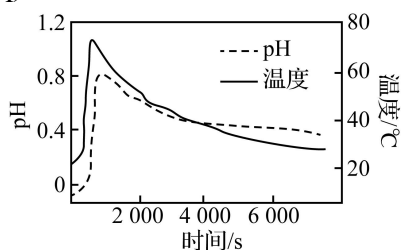
②反应过程中加入一定量的醇类溶剂可以提高沉钒率，原理是\_\_\_\_\_。

# [实验原理与过程分析]

10 (1) [2025 苏州期末]通过处理废旧磁性合金钕铁硼( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ )可回收钕与铁。



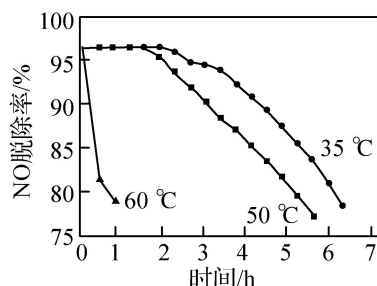
向钕铁硼中加入硫酸，钕、铁分别转化为  $\text{Nd}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  进入滤液。酸浸过程中溶液温度、pH 随时间变化如图所示。已知：常温下， $K_{a2}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10^{-2}$ ； $\text{HSO}_4^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \quad \Delta H < 0$ 。



①常温下，pH=1.0 的硫酸中  $\frac{c(\text{HSO}_4^-)}{c(\text{SO}_4^{2-})} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

②酸浸初始阶段溶液的 pH 迅速上升的原因是\_\_\_\_\_。

(2) [2025 苏北四市一调]已知： $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  对 NO 吸收能力很强，而  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  对 NO 的吸收能力极低；脱除 NO 气体总反应式为  $4[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 2\text{NO} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + 2\text{OH}^- + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ 。

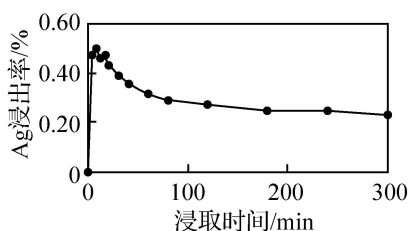


①实验得到 NO 脱除率与温度、时间变化如图所示，NO 脱除率随温度、时间变化的原因为\_\_\_\_\_。

②钴氨溶液经过多次循环吸收 NO 后，其吸收 NO 的能力会降低，向钴氨溶液中加入 KI 溶液可恢复其吸收 NO 的能力，写出该反应的离子方程式：\_\_\_\_\_。

(3) [2025 南师附中、天一中学等四校联考]实验室可用多种方法分离铜阳极泥（主要成分为  $\text{Cu}_2\text{S}$ 、 $\text{AgCl}$  等）中的 Ag。

①硫代硫酸盐法浸出法。用足量的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  与 NaOH 混合液浸出阳极泥，加热、搅拌。定时取样检测，测得 Ag 浸出率如图甲所示。



甲

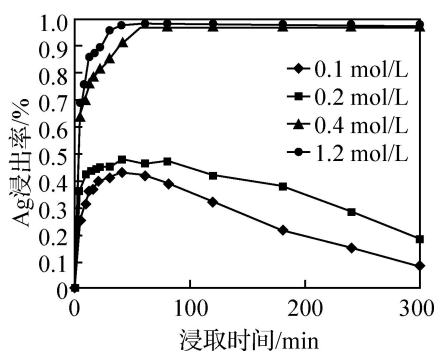
I. 为使反应液受热均匀, 可采用的加热方式是\_\_\_\_\_。

II. 浸出时,  $\text{AgCl}$  与  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  发生反应:  $\text{AgCl(s)} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ 。

已知:  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$ 。  $\text{Ag}^+ + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$   $K = 2.8 \times 10^{13}$ 。  
该反应的平衡常数为\_\_\_\_\_。

III. 浸出过程中  $\text{Ag}$  浸出率先上升后下降的原因是\_\_\_\_\_。

②  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  也可用于浸出阳极泥中的  $\text{Ag}$ 。碱性环境下,  $\text{SO}_3^{2-}$  在溶液中能与  $\text{Ag}^+$  形成较为稳定的  $[\text{Ag}(\text{SO}_3)_2]^{3-}$ 。其他条件相同,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液初始浓度与  $\text{Ag}$  浸出率的关系如图乙所示。初始浓度越低, 随着反应进行  $\text{Ag}$  浸出率下降程度越大, 原因可能是\_\_\_\_\_。



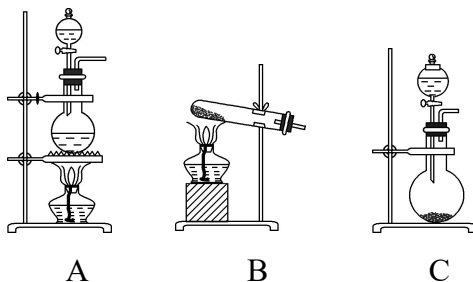
乙

## 核心串讲

勤总结, 抓重点

### 核心 1 常见气体的制备及性质探究

#### 常见气体的实验室制法



气体	反应试剂	装置	常见错误	杂质气体	净化试剂	收集方法	检验试剂或用品	尾气处理
Cl <sub>2</sub>	(典型) 浓盐酸与 MnO <sub>2</sub> 、加热	A	稀盐酸和 MnO <sub>2</sub> ，加热；或浓盐酸、MnO <sub>2</sub> ，未加热	HCl、水蒸气	饱和食盐水/浓硫酸。不能用碱石灰干燥	向上排空气法或排饱和食盐水法	湿润的淀粉-KI 试纸	NaOH 溶液
	(拓展) 浓盐酸与 KMnO <sub>4</sub>	C	—					
NH <sub>3</sub>	(典型) NH <sub>4</sub> Cl 与 Ca(OH) <sub>2</sub> 、加热	B	直接加热 NH <sub>4</sub> Cl 或试管口向上倾斜	水蒸气	碱石灰。不能用浓硫酸干燥，也不能用无水 CaCl <sub>2</sub> 干燥	向下排空气法	湿润的红色石蕊试纸	水，注意防倒吸
	(拓展) NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O、加热	A	—					
	(拓展) NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O、CaO 固体	C	—					
SO <sub>2</sub>	Cu、浓硫酸、加热	A	稀硫酸或不加热	水蒸气	浓硫酸。不能用碱石灰干燥	向上排空气法	品红溶液（加热后恢复原色）	NaOH 溶液，注意防倒吸
	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 固体、较浓硫酸	C	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 溶液或稀硫酸					
CO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> 、稀盐酸	C	稀硫酸	HCl	NaHCO <sub>3</sub> 溶液	向上排空气法	澄清石灰水	—

## 核心 2 化学实验基础

常见设问	思考方向
从溶液中得到晶体的操作	蒸发浓缩→冷却结晶→过滤→洗涤（包括水洗、冰水洗、热水洗、乙醇洗等）→干燥
测溶液 pH 的操作	取一小块 pH 试纸放在表面皿或玻璃片上，用蘸有待测液的玻璃棒点在（或用胶头滴管吸取待测液滴在）pH 试纸中部，观察试纸颜色变化，并与标准比色卡对比
证明沉淀完全的操作	静置，向上层清液中继续加入少量××试剂（沉淀剂），若无沉淀生成，说明沉淀完全
洗涤沉淀的操作	沿玻璃棒向漏斗（或过滤器）中的沉淀上加××至没过沉淀，静置待其自然流出，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
沉淀水洗的目的	除去××（可溶于水）杂质
沉淀用乙醇洗涤的目的	a.减少固体的溶解损耗；b.除去固体表面吸附的杂质；c.乙醇挥发带走水分，使固体快速干燥
冷凝回流的作用及目的	防止××蒸气逸出脱离反应体系，提高××物质的转化率

## 核心 3\* 实验条件控制的操作与目的

### 1 化学实验中温度控制的目的

操作	目的
加热	增大化学反应速率或使化学平衡向某个方向移动
降温	防止某物质在高温时分解或使化学平衡向某个方向移动
控制温度在一定范围	若温度过低，则反应速率（或溶解速率）较小；若温度过高，则某物质（如 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 、氨水、草酸、浓硝酸、铵盐等）会分解或挥发
水浴加热	受热均匀，温度可控，且温度不超过 100 °C
冰水浴冷却	防止某物质分解或挥发
趁热过滤	保持过滤温度，防止温度降低后某物质析出
减压蒸发	降低蒸发温度，可以防止某物质分解（如浓缩双氧水时，需减压蒸发）

### 2 实验前排空气的目的

①涉及可燃性气体(H<sub>2</sub>、CO)的性质验证时，排空气的目的是防止可燃性气体与空气混合加热爆炸。

②涉及与空气中 O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 作用的物质，排空气的目的是防止反应物与空气中的 O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 反应。

### 核心 4★ 重要实验操作、现象及结论的正误判断

#### 1 物质的制备、性质探究与检验

序号	实验操作及现象	结论	判断	解释
(1)	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 $K^+$		
(2)	向溶液 Y 中滴加硝酸，再滴加 $BaCl_2$ 溶液，有白色沉淀生成	溶液 Y 中一定含有 $SO_4^{2-}$		
(3)	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 $Fe^{2+}$		
(4)	向废 $FeCl_3$ 蚀刻液 X 中加入少量铁粉，振荡，得到澄清溶液	X 中一定不含 $Cu^{2+}$		
(5)	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 $NH_4^+$		
(6)	将某气体通入品红溶液中，溶液褪色	该气体一定是 $SO_2$		
(7)	蘸有浓氨水的玻璃棒靠近溶液 X，有白烟产生	溶液 X 一定是浓盐酸		
(8)	将 $SO_2$ 气体通入 $Ba(NO_3)_2$ 溶液中，生成白色沉淀	该沉淀是 $BaSO_3$		
(9)	向某溶液中加入稀盐酸，将产生的气体通入澄清石灰水中，澄清石灰水变浑浊	该溶液一定是碳酸盐溶液		
(10)	向溶有 $SO_2$ 的 $BaCl_2$ 溶液中通入气体 X，产生白色沉淀	气体 X 一定是 $Cl_2$		
(11)	向久置的 $Na_2SO_3$ 溶液中加入足量 $BaCl_2$ 溶液，出现白色沉淀；再加入足量稀盐酸，沉淀部分溶解	部分 $Na_2SO_3$ 被氧化		
(12)	$SO_2$ 通入溴水（或碘水或酸性高锰酸钾溶液）中，溴水褪色	$SO_2$ 具有漂白性		
(13)	取少量食盐溶于水，加稀硫酸酸化，再滴入淀粉溶液，溶液未呈蓝色	该食盐中不含有碘酸钾		
(14)	在 $CuSO_4$ 溶液中加入 $KI$ 溶液，再加入苯，振荡、静置，有白色沉淀生成，苯层呈紫色	白色沉淀可能为 $CuI$		

## 2 化学反应原理的探究

序号	实验操作及现象	结论	判断	解释
(1)	向 NaHS 溶液中滴入酚酞，溶液变红色	$\text{HS}^-$ 水解程度大于电离程度		
(2)	向盛有 $\text{KI}_3$ 溶液的两试管中分别加入淀粉溶液和 $\text{AgNO}_3$ 溶液，前者溶液变蓝色，后者有黄色沉淀生成	$\text{KI}_3$ 溶液中存在： $\text{I}_3^- \rightleftharpoons \text{I}_2 + \text{I}^-$		
(3)	向含酚酞的氢氧化钠稀溶液中加入少量 30% $\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液，红色褪去，向褪色后的溶液再补加 NaOH 溶液，仍不显红色	$\text{H}_2\text{O}_2$ 因显酸性而使溶液褪色		
(4)	向 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ 溶液中滴入 $\text{NaHCO}_3$ 溶液，产生白色沉淀	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 结合 $\text{H}^+$ 的能力比 $\text{CO}_3^{2-}$ 强		
(5)	测定浓度均为 0.1 mol/L $\text{CH}_3\text{COONa}$ 与 $\text{HCOONa}$ 溶液的 pH， $\text{CH}_3\text{COONa}$ 溶液的 pH 较大	酸性： $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{HCOOH}$		
(6)	向 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 溶液中滴加 1 滴酚酞，然后逐滴加入稀盐酸至红色褪去，2 min 后，试管里出现凝胶	非金属性： $\text{Cl} > \text{Si}$		
(7)	向滴有甲基橙的 $\text{AgNO}_3$ 溶液中滴加 KCl 溶液，溶液由红色变为黄色	KCl 溶液具有碱性		
(8)	在 $\text{BaSO}_4$ 沉淀中加入 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 浓溶液，充分搅拌后，取沉淀（洗净）放入盐酸中，有气泡产生	$K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3) < K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)$		
(9)	向 $\text{Ag}_2\text{CO}_3$ 白色悬浊液中加入 $\text{Na}_2\text{S}$ 溶液，沉淀变为黑色	$K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{S}) > K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CO}_3)$		
(10)	向浓度均为 0.1 mol/L 的 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{CuCl}_2$ 混合溶液中逐滴加入氨水，先出现蓝色沉淀	$K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2] > K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2]$		

### 3 常见有机物性质的探究

序号	实验操作及现象	结论	判断	解释
(1)	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 $\text{KMnO}_4$ 溶液中，溶液褪色	该气体是乙烯		
(2)	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 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 并加热，无红色沉淀	说明淀粉未水解		
(3)	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		
(4)	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		
(5)	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		
(6)	从煤油中取出一小块钠，用滤纸擦净表面的煤油，放入无水乙醇中，产生气泡	$\text{Na}$ 能置换出醇羟基中的氢		

### 核心 5★ 特殊实验装置的分析应用

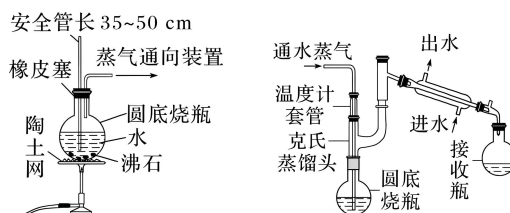
#### 1 水蒸气蒸馏

##### (1) 原理

许多不溶于水或微溶于水的有机化合物，无论是固体还是液体，只要在  $100\text{ }^\circ\text{C}$  左右具有一定的蒸气压，即有一定的挥发性时，若与水在一起加热就能与水同时蒸馏出来，这就称为水蒸气蒸馏。利用水蒸气蒸馏可把这些化合物同其他挥发性更低的物质分开而达到分离提纯的目的。水蒸气蒸馏也是从动植物中提取芳香油等天然产物最常用的方法之一。

##### (2) 装置

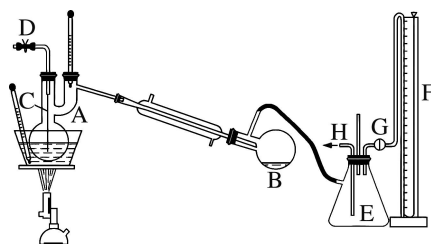
水蒸气蒸馏的装置一般由蒸气发生器和蒸馏装置两部分组成。这两部分在连接部分要尽可能紧凑，以防蒸气在通过长的导管后部分冷凝成水而影响水蒸气蒸馏的效率。



#### 2 减压蒸馏

可在较低温度下得到高沸点物质。一些有机物加热到其正常沸点附近时，会由于温度过高而发生氧化、分解或聚合等反应，使其无法在常压下蒸馏，减压蒸馏是分离和提纯有机化合物的常用方法之一。减压蒸馏装置主要由蒸馏、抽气（减压）、安全保护和测压四部分组成。





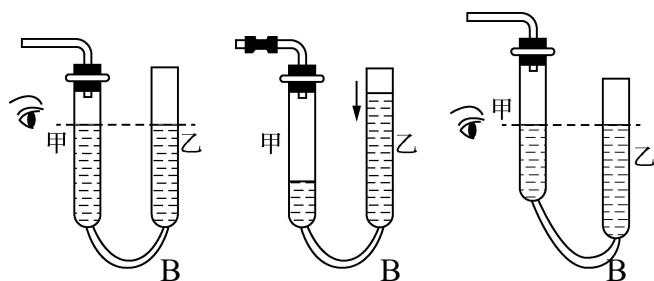
简易减压蒸馏装置

A—克氏蒸馏烧瓶；B—接收器；C—毛细管；D—螺旋夹；E—缓冲用的吸滤瓶；F—水银压力计；G—二通旋塞；H—导管

### 3 量气管

#### (1) 量气管的读数

水准管和量气管液面相平，说明两边液面上的压强一致，管内气体体积即为当时大气压下的体积。



第一次读数： $V_1$

第二次读数： $V_2$

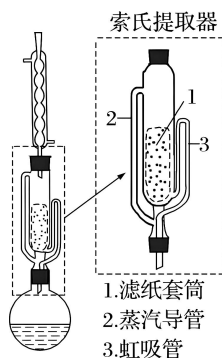
气体体积： $V_2 - V_1$

**操作方法：**①调节左右两管的液面相平，读数并记录刻度；②反应停止后，待反应体系恢复至室温；③再次调节左右两管的液面相平，读数并记录刻度；④重复上述操作进行多次实验。

#### (2) 气密性检验

**操作方法：**关闭分液漏斗的活塞，将水准管上提，使水准管的液面高于量气管的液面，静置，若液面差不变，说明装置不漏气；反之，则装置漏气。

### 4 索氏提取器



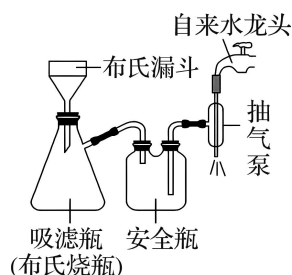
该装置常作为有机物的萃取装置，其优点是使用溶剂少，可连续萃取（萃取效率高），加热前还要加几粒沸石。

## 5 减压过滤

也称抽滤，可加速过滤，并使沉淀抽吸得较干燥，但不宜过滤胶状沉淀和颗粒太小的沉淀。

### 【注意】

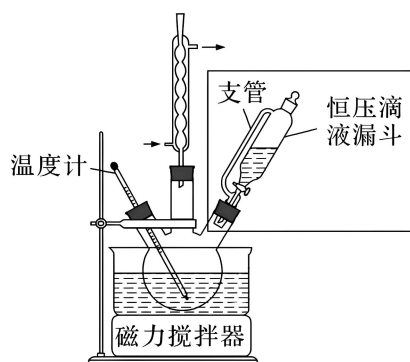
当停止抽滤时，需先拔掉连接吸滤瓶和泵的橡胶管，再关泵，以防倒吸。为了防止倒吸现象的发生，一般在吸滤瓶和泵之间装上一个安全瓶。



## 6 恒压滴液漏斗

### (1) 操作原理

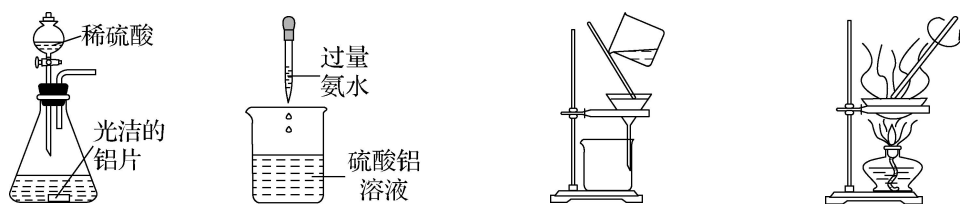
通过支管保证液面上下的压强一致，从而使得液体能够顺利流下。一般的漏斗流下液体时，如果下方容器是封闭的，流出的液体会挤占原有气体的空间，导致容器内的压强不断增加，压强作用在漏斗内的液体上会提供向上的推力，使得液体不能流下。因此一般的（长颈、分液）漏斗容易导致液体难以流出（堵塞）。



### (2) 使用对象

一般在封闭体系中用恒压漏斗，如绝大部分的有机合成实验，因其有机溶剂易挥发、需要隔绝空气（氧气）等。恒压滴液漏斗在上述实验中与烧瓶（或其他反应容器）紧密连接（一般都为标准磨口），漏斗也要用塞子密封。此外，因恒压滴液漏斗是合成实验的常规仪器，均为标准磨口，连接方便，一些不需要封闭或条件宽松的滴加过程（如滴加水），也常用恒压滴液漏斗。

1 [2026 南通海安期初]下列制取硫酸铝、氢氧化铝, 获得氧化铝的原理或装置不能达到实验目的的是( )



A. 制备硫酸铝 B. 制备氢氧化铝 C. 过滤氢氧化铝 D. 灼烧制备氧化铝

2 [2026 苏州期初]室温下, 根据下列实验过程和现象, 能得出相应实验结论的是( )

选项	实验操作和现象	实验结论
A	将溴乙烷、乙醇和烧碱的混合物加热, 产生的气体经水洗后, 再通入酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液中, 溶液褪色	溴乙烷发生了消去反应
B	将干燥的氯气通入装有红色鲜花的集气瓶中, 鲜花红色褪去	干燥的氯气有漂白性
C	向 20% 蔗糖溶液中加入少量稀硫酸, 加热, 再加入银氨溶液, 未出现银镜	蔗糖未水解
D	向 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 溶液中逐滴加入稀盐酸, 出现白色浑浊	非金属性: $\text{Cl} > \text{Si}$

3 [2025 泰州四模]室温下, 根据下列实验操作及现象, 能得出相应实验结论的是( )

选项	实验操作及现象	实验结论
A	向浓度均为 $0.1 \text{ mol/L}$ 的 $\text{FeCl}_3$ 和 $\text{CuCl}_2$ 混合溶液中加入少量铁粉, 反应结束后无固体剩余	氧化性: $\text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+}$
B	向苯酚溶液中滴加足量浓溴水, 产生白色沉淀	苯环活化了 $\text{H}-\text{O}$
C	向淀粉溶液中加入少量稀硫酸, 加热水解一段时间后, 冷却, 取少量水解液, 用 $\text{NaOH}$ 溶液调至碱性, 再加入少量碘水, 溶液不变蓝色	淀粉已经完全水解
D	用 pH 计分别测定 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 溶液和 $\text{CCl}_3\text{COOH}$ 溶液 pH, $\text{CCl}_3\text{COOH}$ 溶液 pH 小	极性: $-\text{CCl}_3 > -\text{CH}_3$

4 [2026 南通通州调研]醋酸亚铬 $[\text{Cr}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 难溶于冷水和乙醚。实验室用铬铁矿(主要成分为 $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ )制备醋酸亚铬。

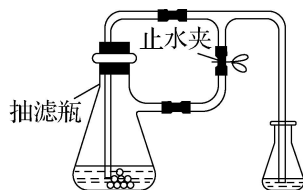
已知： $\text{CrO}_4^{2-}$ 有剧毒，其水溶液呈黄色， $\text{Cr}^{3+}$ 的水溶液呈绿色， $\text{Cr}^{2+}$ 的水溶液呈蓝色； $\text{Cr}^{2+}$ 在水溶液中不稳定，极易被氧气氧化。

(1) 焙烧。将铬铁矿、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 混合均匀置于空气中焙烧生成 $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，该反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

(2) 水浸。将焙烧得到的固体冷却后加水充分溶解、过滤、洗涤，将洗涤滤液与滤液合并。洗涤滤渣的目的是\_\_\_\_\_。

(3) 还原。向滤液中加入 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 和 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ，充分反应后得到 $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ，不使用其他任何试剂或仪器，判断反应已完全的方法是\_\_\_\_\_。

(4) 制备。用如图所示装置制备醋酸亚铬。检查该装置气密性的实验操作是\_\_\_\_\_。



## 破难点 5 描述实验操作、补充实验方案

### 名卷优选

研好题，悟方法

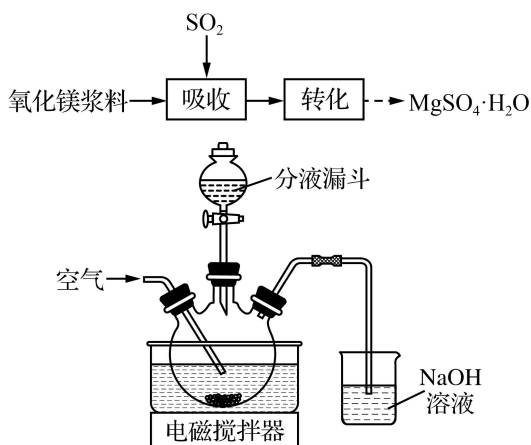
#### 3 年真题

1 [2024 江苏卷] 贵金属银应用广泛。 $\text{Ag}$  与稀硝酸制得  $\text{AgNO}_3$ ，常用于循环处理高氯废水。还原  $\text{AgCl}$ 。在  $\text{AgCl}$  沉淀中埋入铁圈并压实，加入足量  $0.5 \text{ mol/L}$  盐酸后静置，充分反应得到  $\text{Ag}$ 。

为判断  $\text{AgCl}$  是否完全转化，补充完整实验方案：取出铁圈，搅拌均匀，取少量混合物过滤，

(实验中必须使用的试剂和设备：稀硝酸、 $\text{AgNO}_3$  溶液，通风设备)。

2 [2023 江苏卷] 实验室模拟“镁法工业烟气脱硫”并制备  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，其实验过程可表示如下：



制取  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  晶体。在如图所示的实验装置中，搅拌下，使一定量的  $\text{MgSO}_3$  浆料与  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液充分反应。 $\text{MgSO}_3$  浆料与  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液的加料方式是

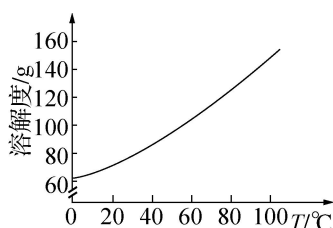
补充完整制取  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  晶体的实验方案：向含有少量  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  的  $\text{MgSO}_4$  溶液中

(已知： $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  在  $\text{pH} \geq 5$  时完全转化为氢氧化物沉淀；室温下从  $\text{MgSO}_4$  饱和溶液中结晶出  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  在  $150 \sim 170^\circ\text{C}$  下干燥得到  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，实验中需要使用  $\text{MgO}$  粉末)。

### 3 年模拟

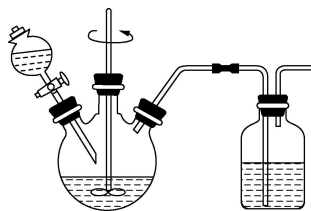
1 (1) [2025 南通四模]蚀刻废液中含较多  $\text{CuCl}_2$ 、 $\text{HCl}$  和氯亚铜酸( $\text{HCuCl}_2$ )，可通过多种途径加以利用。利用蚀刻废液制备  $\text{CuCl}_2$ 。 $\text{CuCl}_2$  的溶解度曲线如图所示， $\text{CuCl}_2$  溶液在不同温度下结晶会析出带不同数目结晶水的晶体， $15^\circ\text{C}$  以下析出  $\text{CuCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 。设计从蚀刻废液获得无水  $\text{CuCl}_2$  的实验方案：\_\_\_\_\_

得到无水  $\text{CuCl}_2$  (实验须使用  $\text{O}_2$ 、高压  $\text{HCl}$  气体)。



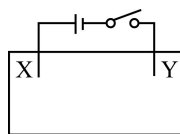
(2) [2025 扬州考前模拟]电子元件废料中金( $\text{Au}$ )和  $\text{Cu}$  以单质形式存在。请补充从电子元件废料中回收  $\text{Cu}$  单质的实验方案，酸浸实验装置如图所示。取一定量的电子元件废料加入三颈烧瓶，\_\_\_\_\_

关闭电源，收集阴极生成的铜 (必须使用：浓硝酸， $0.1 \text{ mol/L}$   $\text{NaOH}$  溶液，直流电源，铜电极，石墨电极)。

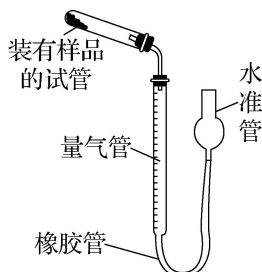


(3) [2025 南通、泰州等七市二调]已知：焦磷酸铜盐、柠檬酸铜盐是工业常用的铜电镀液，以酸性  $\text{CuSO}_4$  溶液作电镀液时，镀铜效果不佳。在塑料件上镀铜时需要首先对塑料件进行预处理，使其表面覆盖一层铜膜。涉及反应： $\text{HCHO} + \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HCOO}^- + \text{Cu} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。补充完整在塑料件上镀铜的实验方案：向装有塑料片的烧杯中加入  $\text{CuSO}_4$  溶液，\_\_\_\_\_

将预处理后的塑料片从烧杯中取出并洗净后，将待镀塑料片\_\_\_\_\_，通电一段时间 (实验中须使用的试剂和设备： $\text{NaOH}$  溶液、 $\text{HCHO}$  溶液， $\text{K}_6[\text{Cu}(\text{P}_2\text{O}_7)_2]$  溶液、 $\text{Cu}$  片；如图所示电解池)。



2 (1) [2026 南京期初]采用量气法可测定  $\text{CaO}_2$  的纯度（假设杂质不产生气体），装置如图所示（部分装置已略去）。



①在  $25\text{ }^\circ\text{C}$  和  $101\text{ kPa}$  条件下，气体摩尔体积  $V_m$ \_\_\_\_\_（填“>”“<”或“=”） $22.4\text{ L/mol}$ 。

②请补充完整实验方案：在  $25\text{ }^\circ\text{C}$  和  $101\text{ kPa}$  条件下，准确称取  $m\text{ g}$   $\text{CaO}_2$  样品，按图示装配好药品和装置，确认气密性良好后，\_\_\_\_\_，

计算气体体积的平均值  $V$ ，代入公式  $\frac{V}{V_m} \times 2 \times M(\text{CaO}_2)$   
 $m$   
 $\times 100\%$  计算样品纯度（实验须使用的仪器：酒精灯）。

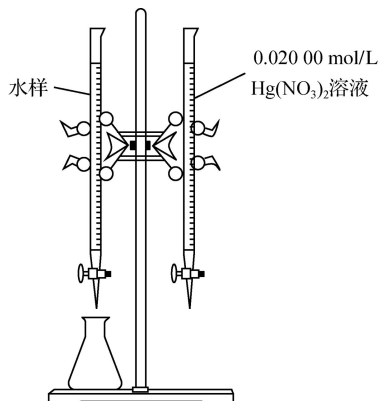
(2) [2025 苏锡常镇二调]已知水溶液中  $\text{Cl}^-$  可用精确浓度的  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  溶液滴定，以二苯偶氮碳酰肼为指示剂，滴定终点时溶液出现紫红色。滴定反应为  $\text{Hg}^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{HgCl}_2 \downarrow$ （白色），滴定装置如图所示。补充完整实验方案：准确量取  $25.00\text{ mL}$  水样（水样中  $\text{Cl}^-$  浓度约为  $0.040\text{ }0\text{ mol/L}$ ）于锥形瓶中，调节  $\text{pH}$  为  $2.5 \sim 3.5$ ，将  $0.020\text{ }00\text{ mol/L}$   $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  溶液装入酸式滴定管中，调整管中液面至“0”刻度，

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

（必须使用的试剂：二苯偶氮碳酰肼）。



(3) [2025 南京、盐城一模] 测定  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  含量。测定含量前需用  $\text{Zn}^{2+}$  标准溶液标定  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$  溶液的浓度。请补充完整配制 250 mL 0.200 0 mol/L  $\text{Zn}^{2+}$  标准溶液的实验步骤：\_\_\_\_\_

轻轻摇动容量瓶，使溶液混合均匀，继续加入蒸馏水至液面离刻度线 1~2 cm 时，改用胶头滴管滴加至液面与刻度线相切，盖好瓶塞，摇匀，装瓶，贴标签[Zn 相对原子质量为 65.38。实验中必须使用的试剂和仪器：纯锌、6.0 mol/L 盐酸、精确度为 0.000 1 g 的分析天平（如图所示）]。

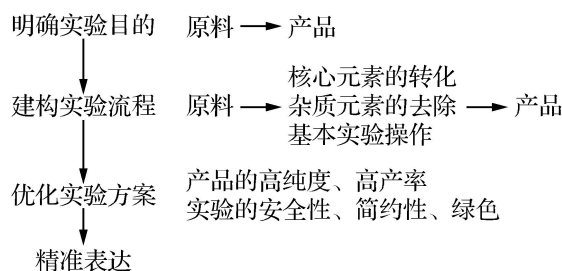


## 难点精讲

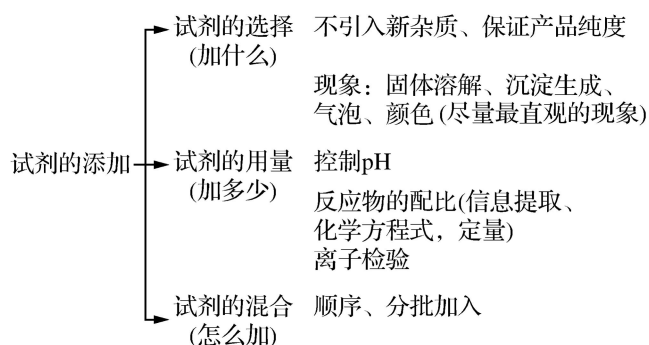
勤总结，破难点

### 难点 1 物质制备实验方案设计

#### 1 解题策略模型



#### 2 试剂的添加

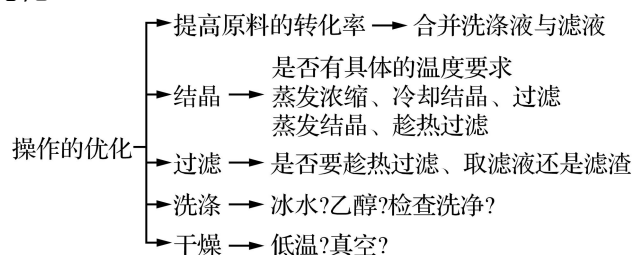


#### 3 反应条件的控制

条件的控制 → 酸碱性、温度、浓度等  
(文字、图表、计算等信息提取)



## 4 实验操作的优化



## 5 规范答题

边搅拌边向溶液中滴加（“适量”或“过量”或“少量”）某试剂，充分反应，至 pH 在某范围，（过滤），蒸发浓缩（“至有大量晶体析出，在某温度下趁热过滤”或“冷却结晶，过滤”），（“冰水”或“乙醇”等试剂）洗涤，干燥。

**典型案例：**焙烧过的铜精炼炉渣（主要成分为  $\text{CuO}$ 、 $\text{SiO}_2$ ，少量  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）为原料制备  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  晶体时，请补充完整相应的实验方案：取一定量焙烧过的铜精炼炉渣，\_\_\_\_\_

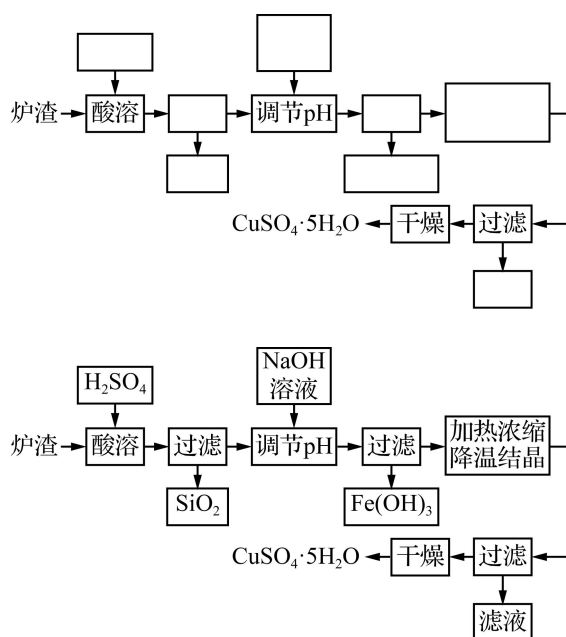
\_\_\_\_\_，  
加热浓缩、冷却结晶、过滤、晾干，得到  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  晶体。

已知：①该实验中  $\text{pH}=3.2$  时， $\text{Fe}^{3+}$  完全沉淀； $\text{pH}=4.7$  时， $\text{Cu}^{2+}$  开始沉淀。  
②实验中可选用的试剂：1.0 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、1.0 mol/L  $\text{HCl}$ 、1.0 mol/L  $\text{NaOH}$ 。

**【分析】** 原料： $\text{CuO}$ ，杂质： $\text{SiO}_2$  及少量  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  → 产品： $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。

**【思考】** ①固体制取溶液需要溶解，用什么试剂？②有杂质，如何除去？③每步设计的信息来源在哪？

### 搭建框架、补充细节



**【规范表达】**边搅拌边加入稍过量 1.0 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，至固体不再溶解，过滤，边搅拌边向滤液中滴加 1.0 mol/L  $\text{NaOH}$  溶液，调节溶液 pH 在 3.2~4.7 之间，过滤

## 难点 2 描述“实验现象”的答题规范

### 1 现象描述的答题模板

有关溶液的现象描述（五大类）	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（四大类）	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（三大类）	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）

### 2 现象描述时的注意事项

(1) 现象描述要准确。如：A 试管中……，B 处观察到……

(2) 不能以结论代替现象。如铁丝在氧气中燃烧的实验现象是“火星四射，放出大量的热，生成黑色固体”，而不能用结论“生成四氧化三铁”代替“生成黑色固体”。

## 难点 3 描述“操作或措施”的答题规范

1 从溶液中得到晶体的操作：蒸发浓缩→冷却结晶→过滤→洗涤（包括水洗、冰水洗、热水洗、乙醇洗等）→干燥。

2 蒸发结晶的操作：将溶液转移到蒸发皿中，加热并用玻璃棒不断搅拌，待有大量晶体出现时停止加热，利用余热将剩余水分蒸干。

3 检验溶液 pH：取一小块试纸放在玻璃片或表面皿上，用玻璃棒蘸取液体，点在试纸中部，观察试纸的颜色变化，等 pH 试纸变色后，与标准比色卡对照。

检验气体：用石蕊试纸、淀粉 KI 试纸检验气体性质时，先用蒸馏水把试纸润湿，粘在玻璃棒的一端，放在集气瓶口或导管口处，观察试纸的颜色变化。

注意 a. pH 试纸不能测漂白性物质的 pH（如氯水、次氯酸盐、浓硝酸），pH 试纸不能测脱水性物质的 pH（如浓硫酸）；

b. 使用 pH 试纸测溶液 pH 时，pH 试纸不能事先用蒸馏水润湿；

c. 测定溶液 pH 时，若将试纸润湿，则相当于稀释溶液，但不一定产生误差，如中性溶液 pH 的测定。

4 证明沉淀剂已过量的操作：静置，取上层清液少许于试管中，向其中加入少量与沉淀剂作用能产生沉淀的试剂，若有沉淀生成，则说明沉淀剂已过量。

5 洗涤沉淀的操作：沿玻璃棒向漏斗（过滤器）中加蒸馏水至浸没沉淀，待水自然流下后，重复 2~3 次。

6 滴定终点溶液颜色变化的判断：当滴入最后半滴××标准溶液后，溶液由××色变成××色（或溶液××色褪去），且半分钟内不变色。

7 焰色试验操作：铂丝 $\xrightarrow{\text{酒精灯}}$ 无色 $\xrightarrow{\text{灼烧}}$ 待测物 $\xrightarrow{\text{酒精灯}}$ 观察火焰颜色

用盐酸 $\xrightarrow{\text{酒精灯}}$ 铂丝 $\xrightarrow{\text{灼烧}}$ 无色。

难点 4★ 实验中常见操作的目的、作用或原因

1 沉淀水洗的目的：除去××杂质（可溶于水）。

2 沉淀用乙醇洗涤的目的：(1) 减少固体的溶解损失。(2) 除去固体表面吸附的杂质。(3) 乙醇挥发带走水分，使固体快速干燥。

3 冷凝回流的作用及目的：防止××蒸气逸出而脱离反应体系，提高××物质的转化率。

4 控制溶液 pH 的目的：防止××离子水解；防止××离子沉淀；确保××离子沉淀完全；防止××物质溶解等。

5 “趁热过滤”后，有时先向滤液中加入少量水，加热至沸腾，然后再“冷却结晶”出目标产物的原因：稀释溶液，防止降温过程中杂质析出，提高产品的纯度。

6 温度不高于××℃的原因：温度过低，反应速率较小，温度过高，××物质（如  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、浓硝酸、 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ）分解或××物质（如浓硝酸、浓盐酸）挥发或促进××物质（如  $\text{AlCl}_3$ ）水解。

7 减压蒸馏（减压蒸发）的原因：减小压强，使液体沸点降低，防止××物质（如  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、浓硝酸、 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ）受热分解。

8 蒸发、反应时的气体氛围：抑制××离子的水解（如蒸发  $\text{AlCl}_3$  溶液获得无水  $\text{AlCl}_3$  时，需在  $\text{HCl}$  气流中进行；加热  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  获得  $\text{MgCl}_2$  时，需在  $\text{HCl}$  气流中进行）。

9 配制某溶液时，事先煮沸蒸馏水的原因：除去溶解在水中的氧气，防止某物质被氧化。

10 反应容器中，和大气相通的玻璃管的作用：平衡压强或指示容器中压强大小，避免反应容器中压强过大。

11 加热的目的：增大反应速率或促进平衡向某个方向（一般是有利于生成目标产物的方向）移动。

12 用平衡移动原理解释某现象的原因：溶液中存在××平衡，该平衡是××（平衡反应的特点），××（条件改变）使平衡向××方向移动，产生××现象。

## 检测反馈

对点练，再提升

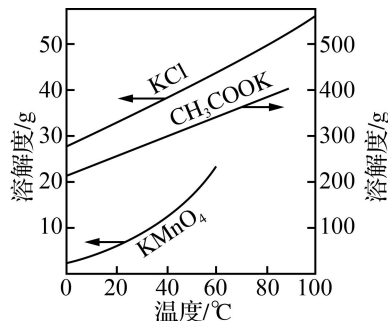
1 [2024 淮安考前模拟]将一定量的  $\text{KClO}_3$  与稍过量  $\text{KOH}$  混合熔融，再分批加入一定量  $\text{MnO}_2$ 。在加热条件下迅速搅拌制得墨绿色  $\text{K}_2\text{MnO}_4$ 。已知：向  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  碱性溶液中加入酸会生成  $\text{MnO}_2$  和  $\text{KMnO}_4$ ，在  $\text{pH}=9.5\sim 10.5$  时，反应趋于完全。

(1)  $\text{KClO}_3$ 、 $\text{KOH}$  混合熔融时不能选用瓷坩埚的原因是\_\_\_\_\_。

(2) 分批加入一定量  $\text{MnO}_2$  的原因是\_\_\_\_\_。

(3) 请补充完整制取  $\text{KMnO}_4$  晶体的实验方案：将墨绿色固体混合物加水溶解，\_\_\_\_\_，

得  $\text{KMnO}_4$  晶体（实验中可选用试剂：6 mol/L 盐酸、6 mol/L  $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、冰水。实验中须使用的实验仪器：砂芯漏斗、pH 计。部分物质溶解度曲线如图所示）。



2 [2025 南通如皋适应性考试二] 实验室常用滴定法测定  $\text{AlI}_3$  样品的纯度（杂质不参与反应）。

(1) 补充完整测定的实验方案：称取一定质量样品，加水溶解后定容至 100 mL，取 25.00 mL 于锥形瓶中，加入 10 mL 0.010 0 mol/L  $\text{AgNO}_3$  溶液（过量），充分反应后静置，\_\_\_\_\_，

读数，计算，\_\_\_\_\_。

[已知  $K_{\text{sp}}(\text{AgSCN}, \text{白色}) = 1.0 \times 10^{-12}$ 。实验中须使用的试剂： $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  溶液、0.010 0 mol/L  $\text{NH}_4\text{SCN}$  标准液]。

(2) 终点读数时，若俯视装有  $\text{NH}_4\text{SCN}$  标准液的滴定管，则最终所测样品的纯度将\_\_\_\_\_（填“偏大”“偏小”或“无影响”）。

3 [2025 南京二模]电解  $\text{CuSO}_4$  溶液可用于测定阿伏加德罗常数( $N_A$ ), 计算

公式为  $N_A = \frac{I \times t \times M(\text{Cu})}{2 \times e \times \Delta m}$ 。  $I$  为电解电流,  $t$  为电解时间,  $e$  取  $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $\Delta m$

为铜电极减少的质量,  $M(\text{Cu})$  为铜的摩尔质量。

(1) 请补充完整实验方案: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_。

重复上述操作 2~3 次, 按公式进行数据处理[实验中必须使用的试剂和仪器: 纯铜片、铂丝、 $\text{CuSO}_4$  溶液、秒表、分析天平、直流电源 (本实验过程中电流恒为  $1 \text{ A}$ ) ]。

(2) 本实验中不采用铂电极增加的质量来测定  $N_A$ , 其原因是 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_。

4 [2024 南京二模] 已知: ①  $K_{sp}[\text{Cu}(\text{OH})_2] = 1 \times 10^{-20}$ ; ②  $\text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$   $K = 2 \times 10^{13}$ ; ③ 沉淀速率过快时,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  絮状沉淀易裹挟杂质。

以  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  固体为原料, 补充完整制备纯净  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  的实验方案: 取一定质量的  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  固体分批加入蒸馏水中, 搅拌至完全溶解, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ,

低温烘干 (须使用的试剂: 浓氨水、 $1 \text{ mol/L NaOH}$  溶液、 $0.1 \text{ mol/L BaCl}_2$  溶液、蒸馏水)。