

微主题1 物质的结构、性质 元素周期律

考向1 原子结构与元素性质 元素周期律/1

考向2 分子结构与性质/2

考向3 晶体结构与性质/2

考向4 化学用语/3

考向5 物质结构与性质综合/3

微主题2 物质的性质、用途与转化

考向1 物质的性质与用途对应关系/9

考向2 氧化还原反应 离子反应/10

考向3 常见无机物间的转化/10

破难点1 陌生情境下方程式的书写/16

微主题3 化学工艺流程

题型1 化学工艺流程——选择题/18

题型2 化学工艺流程——大题/18

题型3 重要无机物的转化/19

破难点2 滴定计算 热重分析计算/27

破难点3 归因解释、过程评价/31

微主题4 反应热 电化学

考向1 化学反应与能量小综合/35

考向2 盖斯定律的应用/36

考向3 原电池的工作原理及应用/36

考向4 电解池的工作原理及应用/36

微主题5 化学反应速率与化学平衡

考向1 化学反应速率与反应过程中的转化率、选择性/43

考向2 多重平衡体系分析/43

考向3 化学平衡和反应速率叠加/44

考向4 化学反应速率与化学平衡综合/45

破难点4 微观机理 多角度认识催化剂/52

微主题 6 电离平衡与盐类水解

考向 1 溶液中粒子浓度大小分析/57

题型 1 固定成分溶液中粒子浓度大小分析/57

题型 2 反应过程中粒子浓度大小分析/57

考向 2 酸碱滴定过程和分布曲线中粒子浓度分析/57

考向 3 盐类水解的综合应用/58

微主题 7 沉淀溶解平衡

考向 1 K_{sp} 的计算及综合应用/63

考向 2 沉淀的转化/63

微主题 8 有机物的结构与性质

考向 1 有机物的结构与性质/67

考向 2 有机物的官能团、反应条件及类型判断/68

考向 3 限定条件下同分异构体的书写/68

微主题 9 有机物的合成与推断

考向 1 有机物的推断/73

考向 2 有机合成路线的设计/73

微主题 10 化学实验与探究

题型 1 化学实验基础——选择题/82

题型 2 化学实验探究——大题/83

破难点 5 描述实验操作、补充实验方案/92

自主评测(另册)

保分练 微主题强化

微主题 1 物质的结构、性质 元素周期律/1

微主题 2 物质的性质、用途与转化/3

微主题 3 化学工艺流程/5

微主题 4 反应热 电化学/7

微主题 5 化学反应速率与化学平衡/9

微主题 6 电离平衡与盐类水解/11

微主题 7 沉淀溶解平衡/13

微主题 8 有机物的结构与性质/15

微主题 9 有机物的合成与推断/17

微主题 10 化学实验与探究/19

增分练 拉分点突破

拉分点 1 陌生情境下方程式的书写/21

拉分点 2 微观机理 多角度认识催化剂/23

拉分点 3 描述实验操作、补充实验方案/25

拉分点 4 归因解释、过程评价/27

拉分点 5 滴定计算 热重分析计算/29

抢分练 小卷抢分

选择题专练(8 份, 20 分钟限时练)/31

“10+2”综合小卷(8 份, 40 分钟限时练)/47

考前回归(另册)

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: 参考答案与解析(另册,《导学案》P1—27,《自主评测》P28—56)

赠: ①本书 PPT 和 word ②2025 年 3—5 月大市模拟卷(电子版)

③读者答疑

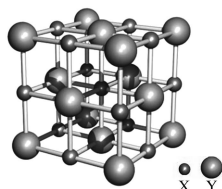
主题 1 物质结构与性质

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 Zn^{2+} 、V、 Fe^{3+} 、Cu、As 的简化电子排布式：_____；
_____；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 某晶胞如图所示。



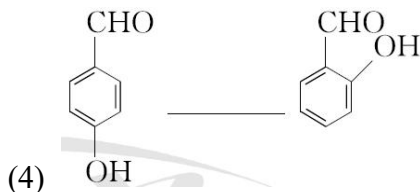
写出该物质的化学式：_____。Y 原子的配位数为_____。

- 3 比较下列物质的熔、沸点。

(1) CCl_4 _____ CH_4 。

(2) H_2O _____ H_2S 。

(3) NaCl _____ MgCl_2 。

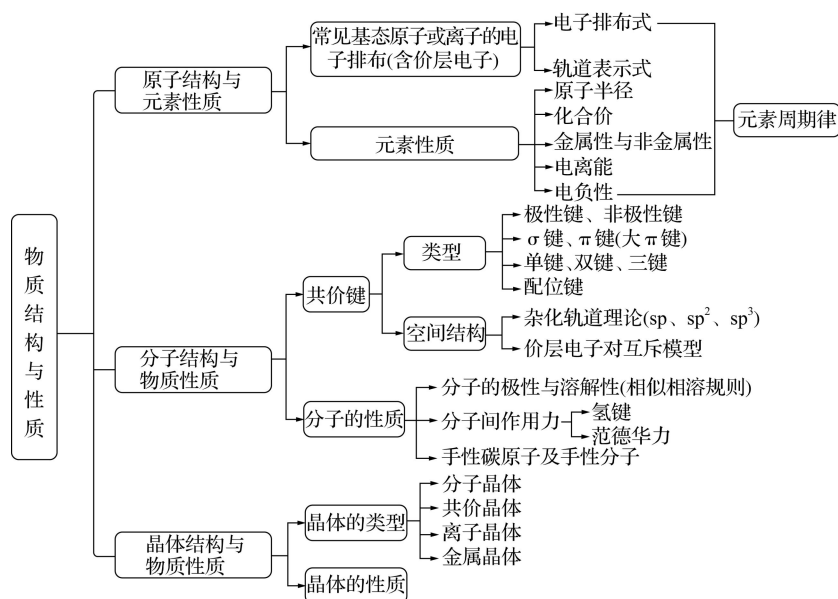


- 4 根据电负性判断 ICl 水解产物：_____。

- 5 SO_2 与 SO_3 中硫原子杂化方式分别为_____；微粒空间结构分别为_____；键角大小为_____。

体系建构

化散为整，融会贯通



3 年真题

考向 1 原子结构与元素性质 元素周期律

1 (1) [2022 江苏卷改编]基态锗原子($_{32}\text{Ge}$)的价电子排布式为_____。

(2) [2021 江苏第二次适应性考试]基态 Mn^{2+} 的电子排布式为_____。

2 (1) [2023 江苏卷改编] C 、 Si 、 Ge 位于元素周期表中ⅣA 族。原子半径大小顺序为_____；第一电离能大小顺序为_____。

(2) [2023 江苏卷]电负性大小: $\chi(\text{F})$ _____ $\chi(\text{O})$ 。

(3) [2020 江苏卷] C 、 N 、 O 元素的第一电离能大小顺序为_____。

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) [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_____。

(2) [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_____。

(3) [2022 江苏卷]  分子中碳原子的杂化轨道类型为_____。

(4) [2021 江苏卷]1 个  分子中采取 sp^2 杂化的碳原子数目是_____。

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“ σ 键”或“ π 键”)。

(2) [2021 江苏卷]1 mol  中含有_____ mol 碳氧 π 键。

(3) [2020 江苏卷]1 mol $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ 中含有 σ 键的物质的量为_____ mol。

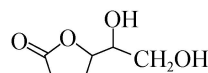
6 (1) [2022 江苏卷改编]金刚石与石墨烯中的 C—C—C 夹角大小：金刚石_____石墨烯。

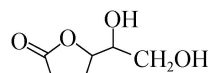
(2) [2021 江苏卷改编] NH_3 与 NH_4^+ 中的键角大小： NH_3 _____ NH_4^+ 。

(3) [2024 江苏卷改编] H_2O 的空间结构为_____。

(4) [2021 江苏卷改编] NO_3^- 的空间结构为_____。

(5) [2024 江苏卷改编] $\text{OC}_2\text{H}_5\text{OOC}$ 分子中所有碳原子_____ (填“能”或“不能”)共平面。



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

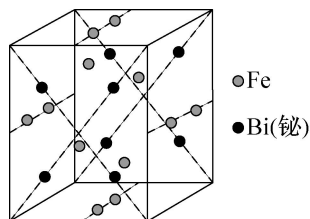
9 判断下列说法是否正确，并说明原因。

(1) [2023 江苏卷]碳单质、晶体硅、 SiC 均为共价晶体。

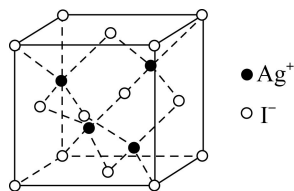
(2) [2022 江苏卷]IVA 族元素单质的晶体类型相同。

(3) [2023 江苏卷] H_2O 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。

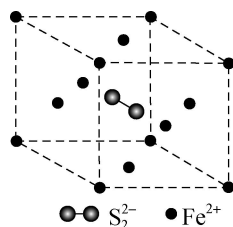
10 (1) [2024 江苏卷]铁酸铋晶胞如图所示(图中有 4 个 Fe 原子位于晶胞体对角线上，O 原子未画出)，其中原子数目比 $N(\text{Fe}) : N(\text{Bi}) =$ _____。



(2) [2021 江苏卷] AgI 晶胞(如图)中含有_____个 I^- 。

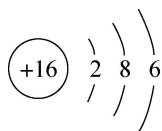


11 [2022 江苏卷] FeS_2 具有良好半导体性能。 FeS_2 的一种晶体与 NaCl 晶体的结构相似, 该 FeS_2 晶体的一个晶胞中 S_2^{2-} 的数目为_____。在 FeS_2 晶体中, 每个 S 原子与三个 Fe^{2+} 紧邻, 且 $\text{Fe}-\text{S}$ 间距相等, 如图给出了 FeS_2 晶胞中的 Fe^{2+} 和位于晶胞体心的 S_2^{2-} (S_2^{2-} 中的 $\text{S}-\text{S}$ 键位于晶胞体对角线上, 晶胞中的其他 S_2^{2-} 已省略)。如图中用 “—” 将其中一个 S 原子与紧邻的 Fe^{2+} 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. S^{2-} 的结构示意图为

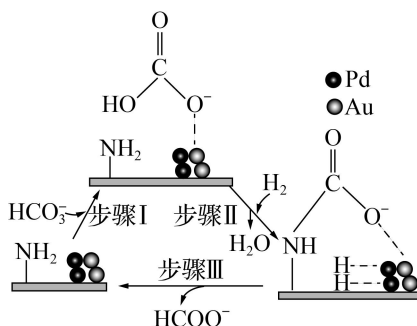
B. H_2O_2 中既含离子键又含共价键

C. SO_3^{2-} 中 S 元素的化合价为 +6

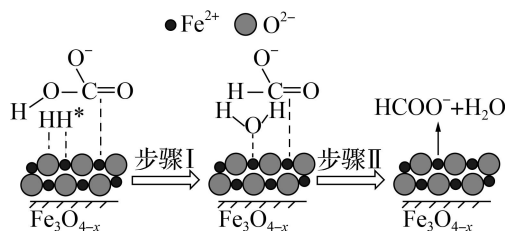
D. H_2O 的空间结构为直线形

考向 5 物质结构与性质综合

13 [2024 江苏卷] 使用含氨基物质(化学式为 $\text{CN}-\text{NH}_2$, CN 是一种碳衍生材料)联合 Pd-Au 催化剂储氢, 可能机理如图所示。氨基能将 HCO_3^- 控制在催化剂表面, 其原理是_____; 用重氢气(D_2)代替 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。



14 [2022 江苏卷改编]随着反应进行, 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 HCO_3^- 转化为 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”和“正电荷”)。

(2) Fe、O、H 电负性大小关系为_____。

在催化剂表面吸附在 O^{2-} 和 Fe^{2+} 上的氢原子分别带有_____ (填“负电荷”和“正电荷”)。

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

15 [2021 江苏卷]利用铜—铈氧化物($x\text{CuO}\cdot y\text{CeO}_2$, Ce 是活泼金属)催化氧化可除去 H_2 中少量 CO, 催化氧化过程中 Cu、Ce 的化合价均发生变化, 可能机理如图 1 所示。将 $n(\text{CO}):n(\text{O}_2):n(\text{H}_2):n(\text{N}_2)=1:1:49:49$ 的混合气体以一定流速通过装有 $x\text{CuO}\cdot y\text{CeO}_2$ 催化剂的反应器, CO 的转化率随温度变化的曲线如图 2 所示。

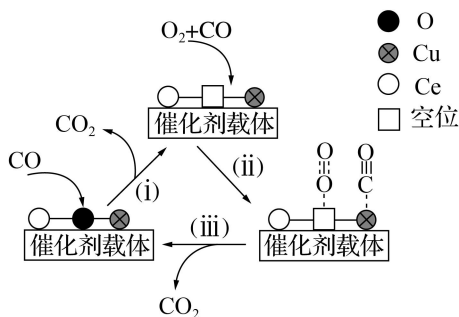


图 1

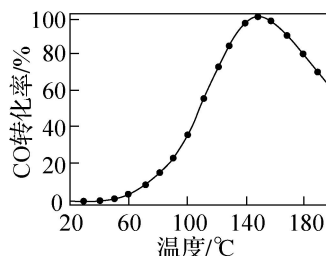


图 2

(1) 基态 Ce 原子核外电子排布式为 $[\text{Xe}]4f^15d^16s^2$, 图 2 所示机理的步骤(i)中, 元素 Cu、Ce 化合价发生的变化为_____。

(2) 当催化氧化温度超过 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 催化剂的催化活性下降, 其可能原因是_____。

3 年模拟

考向 1 原子结构与元素性质 元素周期律

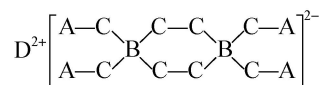
1 书写基态粒子的电子排布式(价电子排布式)。电离能、电负性大小比较。

(1) [2024 南京调研]基态 Mn^{2+} 的价电子排布式为_____。

(2) [2024 扬州期末]基态 Ga 的电子排布式为_____。

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

(4) [2022 常州前黄中学、溧阳中学联考]A、B、C、D 为短周期的四种元素，原子序数依次增大。A、B、D 三种元素分别位于不同短周期的不同主族。C、D 对应的简单离子核外电子排布相同，A、B、C、D 元素可形成一种新型漂白剂，结构如下：



四种元素电负性大小顺序为_____ (用元素符号由大到小排列)。

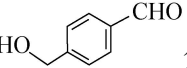
(5) [2024 南京调研改编]硼碳氮(BCN)材料可用作耐磨涂层。成分中三种元素原子半径大小顺序为_____；三种元素最高价氧化物的水化物的酸性由强到弱的顺序为_____ (用分子式表示)。

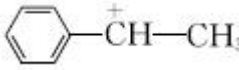
考向 2 分子结构与性质

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。

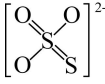
(1) [2024 苏北八市三模]1 mol SiO_2 晶体中含有 Si—O σ 键的数目为_____ mol。

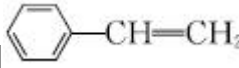
(2) [2024 苏北八市二模]  中 σ 键与 π 键数目之比为_____。

(3) [2024 苏州期初]  分子中碳原子的杂化轨道类型为_____。

(4) [2024 盐城考前模拟改编]  中有_____个碳原子采取 sp^3 杂化。

(5) [2024 南京调研] SO_4^{2-} 的空间结构为_____。

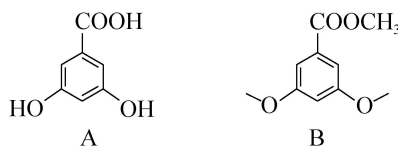
(6) [2024 苏北八市三模] $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 的结构式为 ， $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 的空间结构为_____。

(7) [2024 盐城考前模拟改编]  所有碳原子_____ (填“一定”“可能”或“一定不”) 共平面。

(8) [2023 南通二调]比较 ClO_4^- 中的键角与 CO_3^{2-} 中的键角，_____的键角大。

(9) [2023 连云港期中] H_2S 分子和 H_2O 分子中的键角更大的是_____。

(10) [2024 南京调研]室温下，在水中 A 的溶解度比 B 的_____（填“大”“小”或“无差别”）。



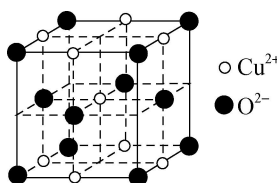
(11) [2023 南通一模] NH_3 易液化是由于_____。

(12) [2024 泰州调研] V_2O_5 具有对称结构，其结构式可表示为_____。

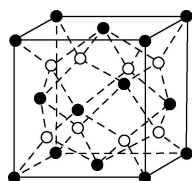
考向 3 晶体结构与性质

3 关于晶胞中原子数目、配位数及位置判断。

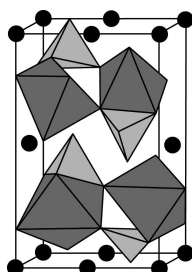
(1) [2024 南京调研]一种成分的晶胞结构如图所示，每个 O^{2-} 周围紧邻的 Cu^{2+} 的个数为_____。



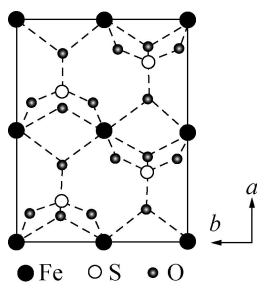
(2) [2024 苏锡常镇二模]净化时生成的 CaF_2 沉淀晶胞结构如图所示。在 CaF_2 晶胞中 F^- 周围距离最近的 Ca^{2+} 形成的空隙结构为_____。



(3) [2024 苏北八市三模]充电时， 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) [2024 南京二模] $\beta\text{-FeSO}_4$ 的晶胞沿 c 轴（ c 轴垂直于 a 、 b 轴）方向投影的平面图如图所示，其中硫原子的杂化方式为_____；已知该晶胞中 S 原子的数目为 4，试预测 Fe^{2+} 是否占据该晶胞的所有顶点、面心和体心，并说明理由：



考向 4 化学用语

4 [2024 苏州期初]反应 $\text{CaSO}_4 + 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 可制备硫酸铵晶体。下列说法正确的是()

A. 中子数为 20 的钙原子: $^{40}_{20}\text{Ca}$

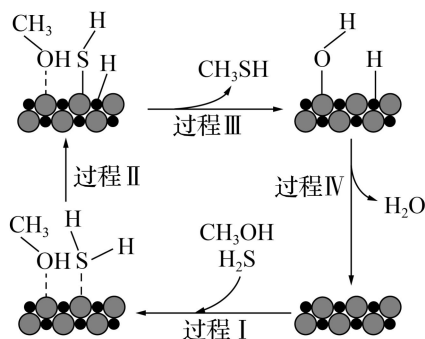
B. H_2O 的电子式为 $\text{H}^+ [\text{:}\ddot{\text{O}}\text{:}]^{2-} \text{H}^+$

C. CO_3^{2-} 的空间结构为三角锥形

D. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 仅含共价键

考向 5 物质结构与性质综合

5 [2024 苏州期末]压强 0.7 MPa、温度 370 °C 下, 化合物 WS_2 催化反应 $\text{H}_2\text{S} + \text{CH}_3\text{OH} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{SH}$ 可用于制备甲硫醇。下列说法正确的是()



A. 该反应的平衡常数 $K = \frac{c(\text{CH}_3\text{SH})}{c(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot c(\text{H}_2\text{S})}$

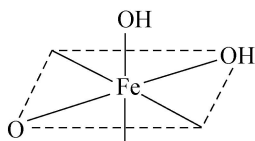
B. 过程 I 存在反应物吸附, S—H 键没有断裂

C. 图中 “●” 代表 S 原子

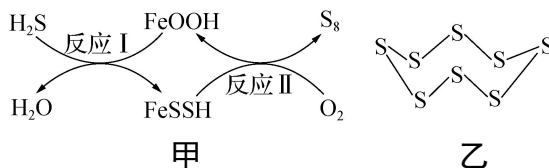
D. 若用 CH_3OD 代替 CH_3OH , 则生成 CH_3SD

6 (1) [2024 南通一模] α -FeOOH 在环境保护等领域有广泛应用。

① α -FeOOH 的结构中，每个 Fe(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。

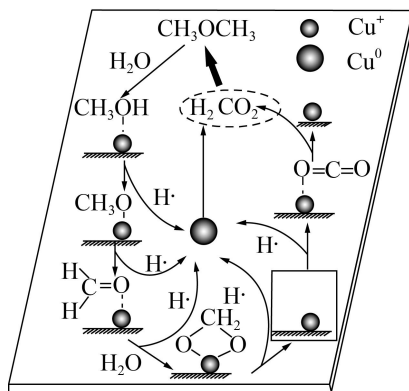


② α -FeOOH 可用于脱除烟气中的 H_2S 。脱硫、再生过程中可能的物种变化如图甲所示。生成的 S_8 (结构如图乙所示) 覆盖在 α -FeOOH 的表面。



工业可使用四氯乙烯(C_2Cl_4)溶解 S_8 并实现与 α -FeOOH 分离。四氯乙烯能溶解 S_8 的原因是_____。
部分环状分子(如苯)中由于存在大 π 键，增强了分子的稳定性。 S_8 分子中不能形成大 π 键的原因是_____。

(2) [2024 苏北七市二模]在“ Cu^0/Cu^+ 双位点”催化作用下， CH_3OH 与水反应的反应路径如图所示，画出图中方框内中间体的结构：_____。



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 ²⁺ : _____ Ge: _____ S ²⁻ : _____ 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: _____

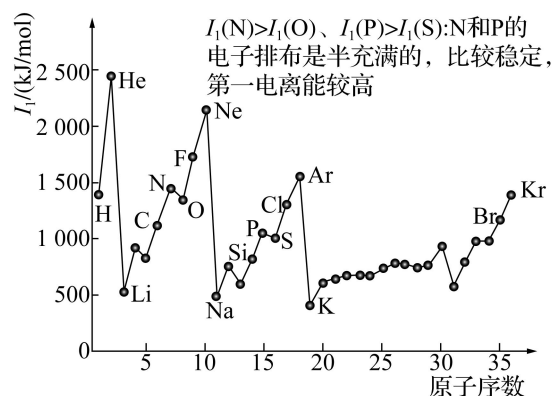
特别提醒 ①基态原子核外电子运动状态数与核外电子数相等；基态原子核外电子空间运动状态即占据的轨道数。

②能量相同的原子轨道在全满(p^6 、 d^{10} 、 f^{14})、半满(p^3 、 d^5 、 f^7)和全空(p^0 、 d^0 、 f^0)状态时，体系的能量_____。如 ^{24}Cr 的基态原子的电子排布式为_____，而不是 $1s^22s^22p^63s^23p^63d^44s^2$ 。

③金属原子失去电子时先失去最外层电子，如 Fe^{2+} 为 $1s^22s^22p^63s^23p^63d^6$ (失去 $4s$ 轨道 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

同周期元素从左到右, 第一电离能总体呈_____趋势, 但____、____两族反常, 高于相邻主族元素; 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									
¹ H 2.1		II A		III A		IV A	V A	VI A	VII A
³ Li 1.0	⁴ Be 1.5			⁵ B 2.0	⁶ C 2.5	⁷ N 3.0	⁸ O 3.5	⁹ F 4.0	
¹¹ Na 0.9	¹² Mg 1.2			¹³ Al 1.5	¹⁴ Si 1.8	¹⁵ P 2.1	¹⁶ S 2.5	¹⁷ Cl 3.0	
¹⁹ K 0.8	²⁰ Ca 1.0			³¹ Ga 1.6	³² Ge 1.8	³³ As 2.0	³⁴ Se 2.4	³⁵ Br 2.8	
³⁷ Rb 0.8	³⁸ Sr 1.0			⁴⁹ In 1.7	⁵⁰ Sn 1.8	⁵¹ Sb 1.9	⁵² Te 2.1	⁵³ I 2.5	
⁵⁵ Cs 0.7	⁵⁶ Ba 0.9			⁸¹ Tl 1.8	⁸² Pb 1.9	⁸³ Bi 1.9	⁸⁴ Po 2.0	⁸⁵ At 2.2	

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: $\text{Cl} > \text{N} > \text{H}$, NH_3 中氮为_____价, 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 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 ²	sp ³

(2) 根据分子空间结构判断

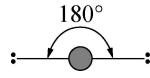

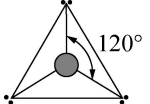

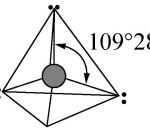

空间结构	直线形	平面三角形	四面体形
杂化类型			

(3) 特例

O_3 : 类比 SO_2 , 中心氧原子为 sp² 杂化, 为 V 形分子。

$CH_3CHCH_3^+$: 碳原子失去 1 个电子形成碳正离子, 碳正离子为 sp² 杂化。

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_m	分子或离子的空间结构
2			AB_2	_____
3			AB_3	_____
			AB_2	_____
4			AB_4	_____
			AB_3	_____
			AB_2	_____

3 键角大小的判断方法

(1) 看中心原子的杂化方式。无孤电子对时: $sp(180^\circ) > sp^2(120^\circ) > sp^3(109^\circ 28')$; 有孤电子对时: 看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: CO_2 _____ SO_3 _____ CH_4 ; NH_3 _____ NH_4^+ 。

(2) 结构相似, 中心原子不同时, 看中心原子的电负性: 中心原子的电负性越大, 成键电子对越靠近中心原子, 成键电子对排斥力_____, 键角_____。如键角: NH_3 _____ PH_3 _____ AsH_3 ; H_2O _____ H_2S _____ H_2Se 。

(3) 中心原子及孤电子对数相同，配位原子不同且结构相似——看配位原子的电负性：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：NF₃_____NCl₃_____NBr₃；NF₃_____NH₃；OF₂_____H₂O。

4★ 氢键 氢键对物质物理性质的影响

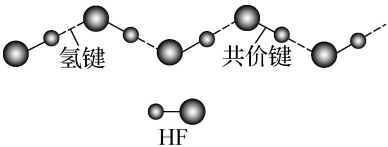
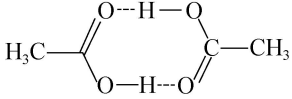
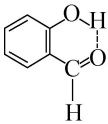
(1) 氢键形成及表示方法

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。

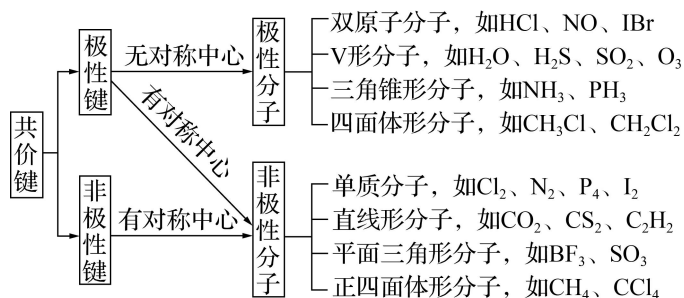


(X、Y 为 N、O、F，“—”表示共价键，“...”表示形成的氢键)

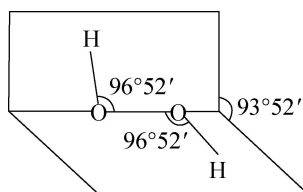
(2) 氢键对物质物理性质的影响

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 ₃ _____PH ₃ 、C ₂ H ₅ OH_____CH ₃ OCH ₃
 <p>以分子间氢键缔合而成的二聚体结构</p>	分子内氢键使物质沸点较低	沸点：CH ₃ COOH_____HNO ₃
 <p>形成分子内氢键</p>	使物质易溶于水	NH ₃ 、C ₂ H ₅ OH、H ₂ O ₂ 、CH ₃ COOH 等易溶于水
	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）。 水蒸气形成(H ₂ O) _n 相对分子质量偏大

5 极性分子与非极性分子



(1) H₂O₂ 结构中氧原子为 sp³ 杂化, 形成如图所示结构。H₂O₂ 为_____ (填“极性分子”或“非极性分子”, 下同)。



(2) O₃ 结构类似 SO₂, 中心氧原子为 sp² 杂化, 与另外 2 个氧原子形成 V 形结构分子, 为_____。

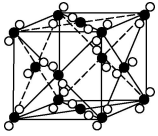
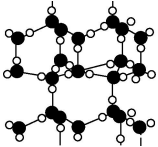
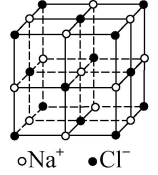
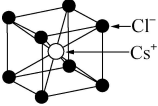
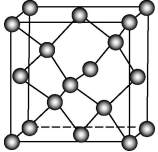
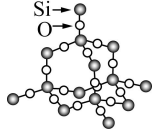
(3) 白磷(P₄)为正四面体结构, 为_____。

(4) 甲烷为正四面体结构, 为_____；CH₃Cl 为四面体 (不是正四面体) 结构, 为_____。

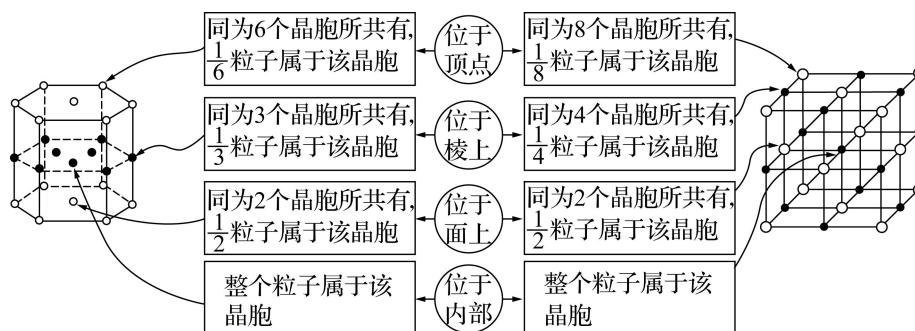
(5) 研究表明, I₃⁻ 是非极性的。请根据价层电子对互斥模型, 画出 I₃⁻ 的空间结构: _____。

核心3 晶体类型和性质

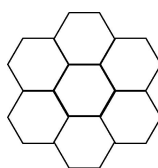
1 常见典型晶体的晶胞结构图及其主要性质

化学式	晶胞	晶体类型	微粒间作用力	熔、沸点	配位数
CO ₂				较低	
H ₂ O (冰)				较低	—
NaCl	 ○Na ⁺ ●Cl ⁻			较高	
CsCl	 ●Cl ⁻ ○Cs ⁺			较高	
C (金刚石)				很高	—
SiO ₂	 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 H_2O 、 H_2S 、 H_2Se 、 H_2Te 熔、沸点高低顺序为_____； $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 CH_3OCH_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： CO _____ 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）。

检测反馈

对点练，再提升

1 [2024 苏州期初]N、P、As 位于元素周期表中 V A 族。下列说法正确的是()

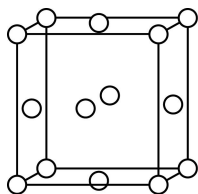
- A. 半径大小： $r(\text{N}) > r(\text{P}) > r(\text{As})$
- B. 电离能大小： $I_1(\text{N}) < I_1(\text{P}) < I_1(\text{As})$
- C. 沸点大小： $\text{NH}_3 < \text{PH}_3 < \text{AsH}_3$
- D. 酸性强弱： $\text{HNO}_3 > \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{H}_3\text{AsO}_4$

2 X、Y、Z、M、N 均为短周期主族元素，原子序数依次增大。X 是宇宙中含量最高的元素， YX_3 分子呈三角锥形，Z 的价电子排布式为 $ns^n np^{n+2}$ ，五种元素中 M 的电负性最小，N 的最高价含氧酸的酸性最强。下列说法正确的是()

- A. YZ_2 的 VSEPR 模型为 V 形
- B. 由 X、Y、Z 三种元素组成的化合物的水溶液均显酸性
- C. 同周期中第一电离能大于 Z 的元素有 3 种
- D. MN 晶体中 M 离子的配位数为 8

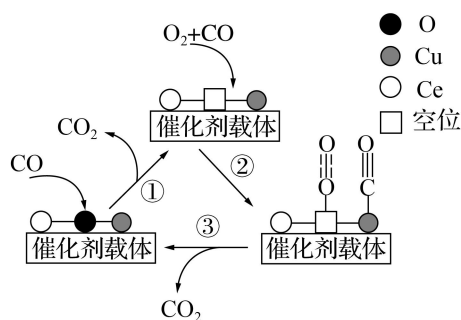
3 [2025 泰州中学调研]下列说法正确的是()

- A. 如图所示是 Cu_2S 晶胞中 S^{2-} 位置，则 1 个晶胞中含有 8 个 Cu^+



- B. 基态 Cu^+ 转化为基态 Cu 原子，得到的电子填充在 3d 轨道上
- C. H_2S 和 SO_2 的中心 S 原子都采取 sp^3 杂化
- D. SO_2 的键角比 SO_3 的键角大

4 [2024 盐城、南京期末]利用铜—铈氧化物 ($x\text{CuO}\cdot y\text{CeO}_2$, Ce 是活泼金属) 催化氧化除去 H_2 中少量 CO , 总反应为 $2\text{CO}(\text{g})+\text{O}_2(\text{g})\rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H$, 反应机理如图所示。下列说法正确的是()



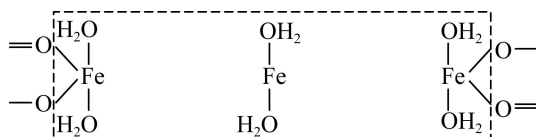
A. 总反应的平衡常数 $K=\frac{c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO})\cdot c(\text{O}_2)}$

B. 步骤①中有 2 种元素化合价发生变化

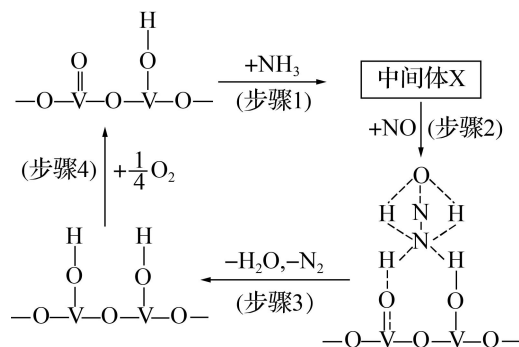
C. 步骤①③生成 CO_2 的机理相同

D. 步骤③中存在共价键的断裂和生成

5 (1) [2025 南京中华中学期初]以钛白副产品 (含 FeSO_4 及少量 TiOSO_4) 和 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 为原料制备的超微细 $\text{FeC}_2\text{O}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 可广泛用于新型电池材料、感光材料的生产。 $\text{FeC}_2\text{O}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体为片层结构, $\text{FeC}_2\text{O}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体层与层之间的作用力为_____。每层层内每个 Fe^{2+} 与 2 个 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 和 2 个 H_2O 相连, 形成 1 个铁氧八面体。在下图补全该结构。



(2) [2024 苏州期初] V_2O_5 作催化剂, NH_3 将 NO 还原为 N_2 的一种反应历程如图所示。 V_2O_5 与 H_2O 形成能提供质子的酸性位, NH_3 以“氢键”形式吸附在酸性位上生成“中间体 X”, NO 与 X 反应生成不稳定的“过渡态”物质, 随后分解生成 N_2 和 H_2O 。“中间体 X”的结构式可表示为_____。



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) FeCl_3 溶液具有酸性，可用于制作铜质印刷线路板。

_____。

(2) 酒精能使蛋白质变性，可用于医用消毒。_____

_____。

(3) 葡萄糖能与银氨溶液发生银镜反应，可用于检验糖尿病。_____

_____。

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) $\text{Cu} \xrightarrow{\text{浓硝酸}} \text{NO}$ ()

_____。

(2) $\text{S} \xrightarrow[\text{点燃}]{\text{O}_2} \text{SO}_2 \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{O}_2} \text{SO}_3 \xrightarrow[\Delta]{\text{H}_2\text{O}} \text{H}_2\text{SO}_4$ ()

_____。

(3) $\text{N}_2 \xrightarrow[\text{放电}]{\text{O}_2} \text{NO} \xrightarrow{\text{O}_2} \text{NO}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{HNO}_3$ ()

_____。

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) $\text{NaOH} \longrightarrow \text{NaHCO}_3$

_____。

4 写出 FeSO_4 溶液与 NH_4HCO_3 溶液反应生成 FeCO_3 沉淀的离子方程式：

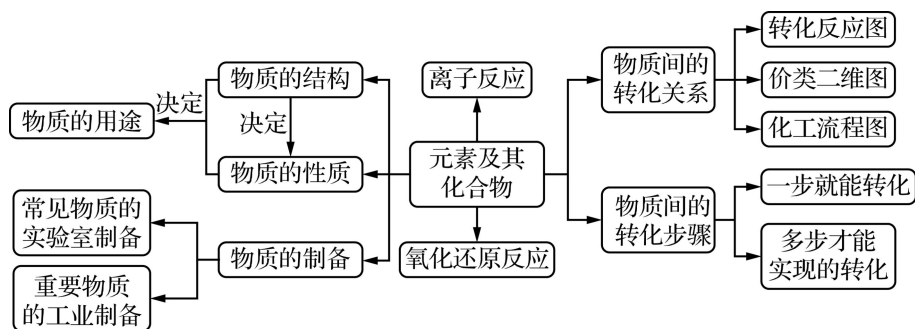
_____。

提高 NH_4HCO_3 利用率可以采用的方法为_____

_____。

发生反应的离子方程式为_____

_____。



3 年真题

考向 1 物质的性质与用途对应关系

1 [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. 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. H_2O 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. N_2H_4 中的 N 原子与 H^+ 形成配位键， N_2H_4 具有还原性

2 [2022 江苏卷]下列物质的性质与用途具有对应关系的是()

- A. 石墨能导电，可用作润滑剂
- B. 单晶硅熔点高，可用作半导体材料
- C. 青铜的熔点比纯铜低、硬度大，古代用青铜铸剑
- D. 含铅化合物颜色丰富，可用作电极材料

3 [2021 江苏卷]下列有关物质的性质与用途不具有对应关系的是()

- A. 铁粉能与 O_2 反应，可用作食品保存的吸氧剂
- B. 纳米 Fe_3O_4 能与酸反应，可用作铁磁性材料
- C. FeCl_3 具有氧化性，可用于腐蚀印刷电路板上的 Cu
- D. 聚合硫酸铁能水解并形成胶体，可用于净水

考向 2 氧化还原反应 离子反应

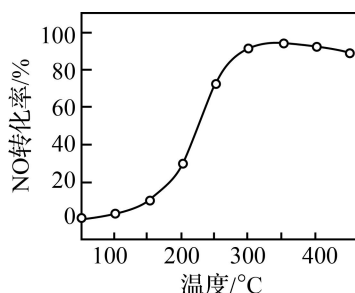
4 写出下列相关反应的化学(或离子)方程式。

(1) [2024 江苏卷]①向 NdCl_3 溶液中加入 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 溶液, 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 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 。铁将 AgCl 转化为单质 Ag 的化学方程式为_____。

(2) [2023 江苏卷]①将预先配制的一定量的 WO_3/TiO_2 粉末置于 80°C 的水中, 在搅拌下加入一定量的 NH_4VO_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 VO_3^- 水解为 H_3VO_4 沉淀的离子方程式为_____。

②将一定物质的量浓度的 NO 、 O_2 、 NH_3 (其余为 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 NO 的转化率随温度的变化如图所示。反应温度高于 380°C , NO 的转化率下降, 除因为进入反应器的 NO 被还原的量减少外, 还有_____ (用化学方程式表示)。



③在催化剂作用下 MgSO_3 被 O_2 氧化为 MgSO_4 。 O_2 氧化溶液中 SO_3^{2-} 的离子方程式为_____。

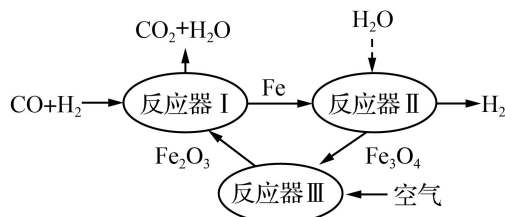
(3) [2022 江苏卷]①在弱碱性溶液中, FeS 与 CrO_4^{2-} 反应生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 和单质 S , 其离子方程式为_____。

②“酸浸”(盐酸)时, CeO_2 与 H_2O_2 反应生成 Ce^{3+} 并放出 O_2 , 该反应的离子方程式为_____。

③实验中发现, 在 300°C 时, 密闭容器中 NaHCO_3 溶液与铁粉反应, 反应初期有 FeCO_3 生成并放出 H_2 , 该反应的离子方程式为_____。

5 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 H₂ 各 1 mol 的混合气体通过该方法制氢，理论上可获得_____mol H₂。



(2) [2023 江苏卷改编]金属硫化物(M_xS_y)催化反应: CH₄(g) + 2H₂S(g) = CS₂(g) + 4H₂(g), 该反应中每消耗 1 mol H₂S, 转移电子的数目约为_____。

(3) [2022 江苏卷改编]反应为 4NH₃(g) + O₂(g) + 4NO(g) ⇌ 4N₂(g) + 6H₂O(g), 该反应中每消耗 1 mol NH₃, 转移电子的数目约为_____。

考向 3 常见无机物间的转化

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 溶液 $\xrightarrow{\text{电解}}$ H₂ 和 Cl₂ $\xrightarrow{\text{点燃}}$ HCl
- B. 金属 Mg 制备: Mg(OH)₂ $\xrightarrow{\text{盐酸}}$ MgCl₂ 溶液 $\xrightarrow{\text{电解}}$ Mg
- C. 纯碱工业: NaCl 溶液 $\xrightarrow{\text{CO}_2}$ NaHCO₃ $\xrightarrow{\Delta}$ Na₂CO₃
- D. 硫酸工业: FeS₂ $\xrightarrow[\text{高温}]{\text{O}_2}$ SO₂ $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$ H₂SO₄

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: HNO₃ (稀) $\xrightarrow{\text{Cu}}$ NO $\xrightarrow{\text{O}_2}$ NO₂
- B. 工业制硝酸过程中的物质转化: N₂ $\xrightarrow[\text{放电或高温}]{\text{O}_2}$ NO $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$ HNO₃
- C. 汽车尾气催化转化器中发生的主要反应: 2NO + 2CO $\xrightarrow{\text{催化剂}}$ N₂ + 2CO₂
- D. 实验室制备少量 NH₃ 的原理: 2NH₄Cl + Ca(OH)₂ $\xrightarrow{\Delta}$ CaCl₂ + 2NH₃ ↑ + 2H₂O

- 8 [2022 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. 自然固氮、人工固氮都是将 N_2 转化为 NH_3
- B. 侯氏制碱法以 H_2O 、 NH_3 、 CO_2 、 NaCl 为原料制备 NaHCO_3 和 NH_4Cl
- C. 工业上通过 NH_3 催化氧化等反应过程生产 HNO_3
- D. 多种形态的氮及其化合物间的转化形成了自然界的“氮循环”

—— 3 年模拟 ——

考向 1 物质的性质与用途对应关系

- 1 [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. MgCl_2 易溶于水, 可用于制作豆腐的凝固剂
- B. MgO 是碱性氧化物, 可用于吸收燃煤烟气中的 SO_2
- C. NaCl 晶体中离子间存在较强的离子键, NaCl 晶体的硬度较大
- D. HCO_3^- 通过氢键缔合成较大的酸根, NaHCO_3 的溶解度小于 Na_2CO_3
- 2 [2024 南京学情调研]下列物质结构与性质或物质性质与用途具有对应关系的是()

- A. N_2 分子中含共价三键, N_2 的沸点比 O_2 的低
- B. H_2O_2 分子之间形成氢键, 可与水以任意比例互溶
- C. O_2 具有氧化性, 可作为燃料电池的氧化剂
- D. O_3 的溶解度比 O_2 大, 可用于饮用水消毒杀菌

- 3 [2024 苏州期初]下列有关铁及其化合物的性质与用途具有对应关系的是()
- A. 铁粉遇空气放热, 可用于制作暖贴
- B. Fe_2O_3 能与酸反应, 可用于制作红色颜料
- C. FeCl_3 溶液显酸性, 可用于腐蚀印刷电路板上的铜
- D. FeS 难溶于水, 可用于去除废水中微量六价铬[Cr(VI)]

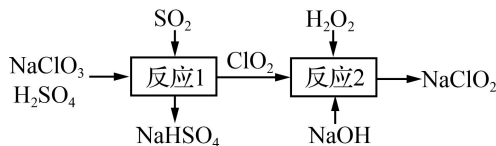
考向 2 氧化还原反应 离子反应

- 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. FeS_2 与足量稀盐酸反应: $\text{FeS}_2 + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{S} \uparrow$
- 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. Na_2O_2 吸收 SO_2 : $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{SO}_2 \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{SO}_4$
- D. 用酸性 KMnO_4 溶液吸收 SO_2 : $2\text{MnO}_4^- + 5\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$

5 写出下列相关反应的化学（或离子）方程式。

(1) [2024 南通、泰州等八市三调] Cu_2Te 与 NaOH 、 NaClO_3 反应生成 Cu_2O 、 Na_2TeO_3 、 NaCl 的离子方程式为_____。

(2) [2024 南京二模]① NaClO_2 的制备。一种制备 NaClO_2 的过程可表示如下：



“反应 2” 的化学方程式为_____。

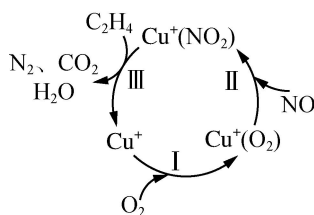
② $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 去除废水中的 Cr(VI) 经过“酸化—还原—沉淀”的过程。“还原”时， HCrO_4^- 被还原成 Cr^{3+} 的离子方程式为_____。

(3) [2024 苏州期末] $\text{NH}_2\text{COONH}_4$ 具有强还原性，生产尿素过程中，常通入适量氧气防止镍制容器表面的金属钝化膜(NiO)被破坏。 $\text{NH}_2\text{COONH}_4$ 与 NiO 反应产生 N_2 的化学方程式为_____。

6 氧化还原反应中的相关计算。

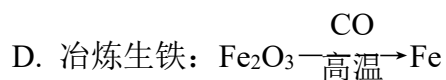
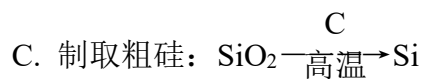
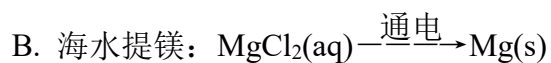
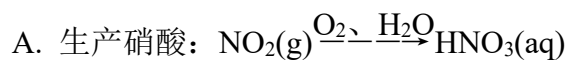
(1) [2024 苏北八市三模]反应 $2\text{CuTeO}_4 + 4\text{C} \xrightarrow{400 \sim 500^\circ\text{C}} \text{Cu}_2\text{Te} + \text{Te} + 4\text{CO}_2 \uparrow$ 中，每消耗 1 mol CuTeO_4 ，转移电子的物质的量为_____mol。

(2) [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。 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_____。

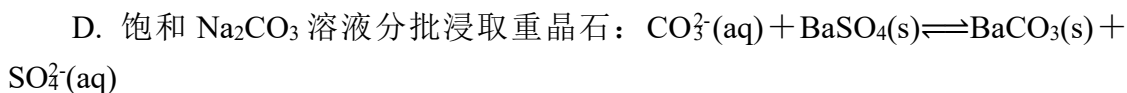
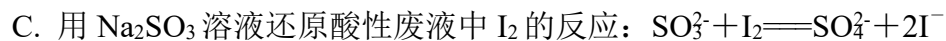
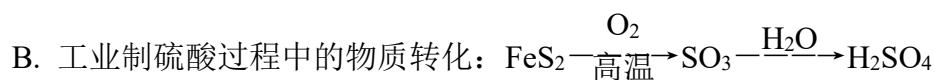
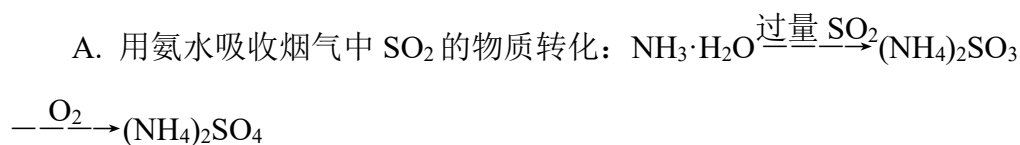


考向 3 常见无机物间的转化

7 [2024 苏锡常镇二调]在指定条件下,下列工业制备流程中涉及的物质转化关系不正确的是()



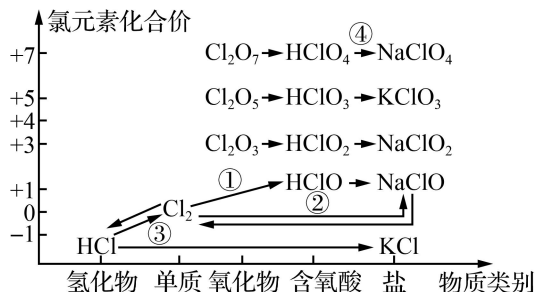
8 [2024 苏州期末]硫及其化合物的转化形态丰富。下列说法正确的是()



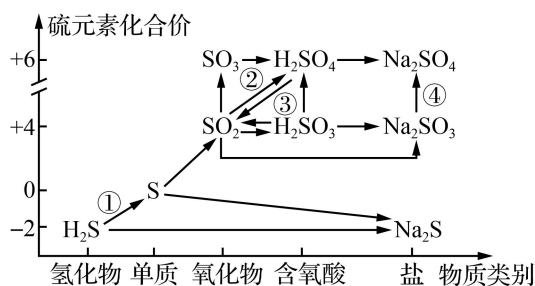
核心 1 物质之间的转化关系

1 价类二维图

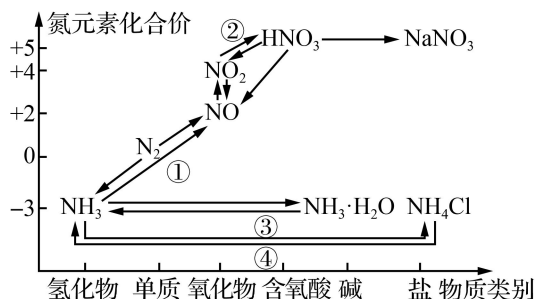
(1) 氯及其化合物： $\text{HCl} \xrightarrow{-1} \text{Cl}_2 \xrightarrow{0} \text{HClO} \xrightarrow{+1} \text{HClO}_2 \xrightarrow{+3} \text{HClO}_3 \xrightarrow{+5} \text{HClO}_4 \xrightarrow{+7}$



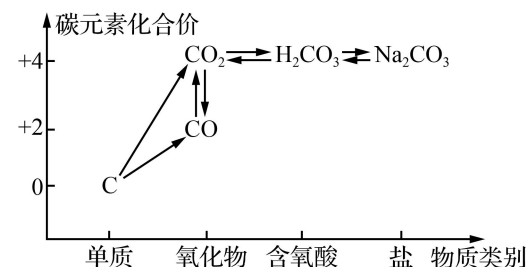
(2) 硫及其化合物： $\text{H}_2\text{S} \xrightarrow{-2} \text{S} \xrightarrow{0} \text{SO}_2 \xrightarrow{+4} \text{S} \text{O}_3 \xrightarrow{+6} (\text{H}_2\text{SO}_4)$



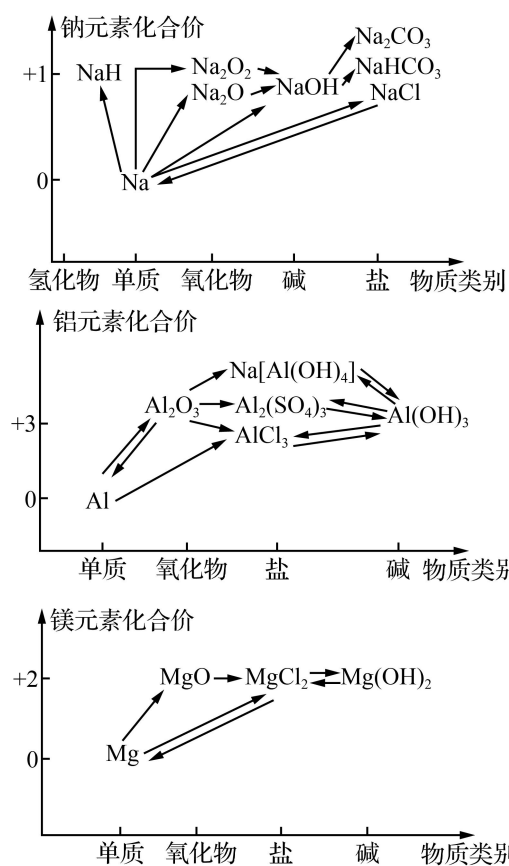
(3) 氮及其化合物： $\text{N} \text{H}_3 \xrightarrow{-3} \text{N}_2 \xrightarrow{0} \text{N}_2\text{O} \xrightarrow{+1} \text{NO} \xrightarrow{+2} \text{NO}_2 \xrightarrow{+4} \text{HNO}_3 \xrightarrow{+5}$



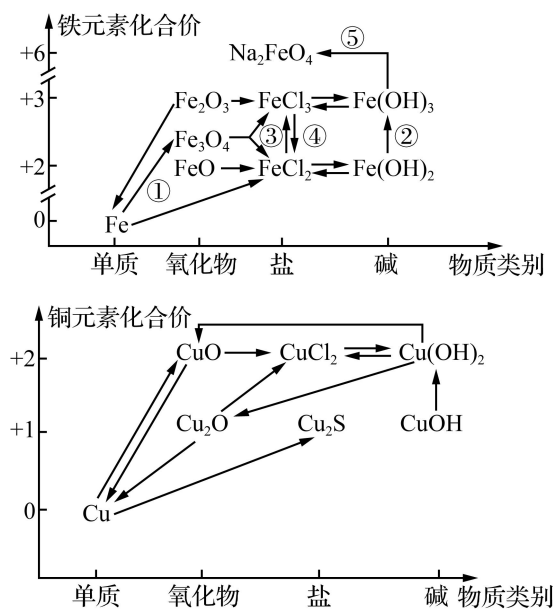
(4) 碳及其化合物： $\text{C} \text{H}_4 \xrightarrow{-4} \text{C} \xrightarrow{0} \text{CO} \xrightarrow{+2} \text{CO}_2 \xrightarrow{+4}$



(5) 钠、镁、铝及其化合物

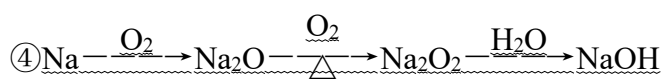
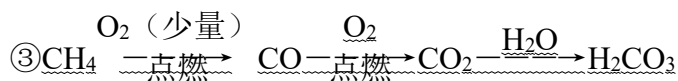
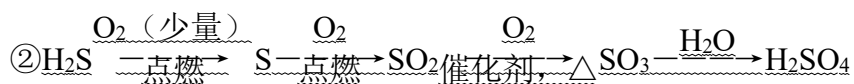
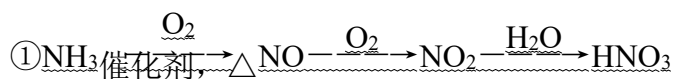
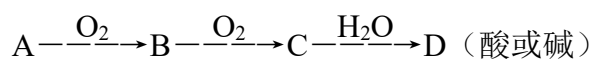


(6) 铁、铜及其化合物

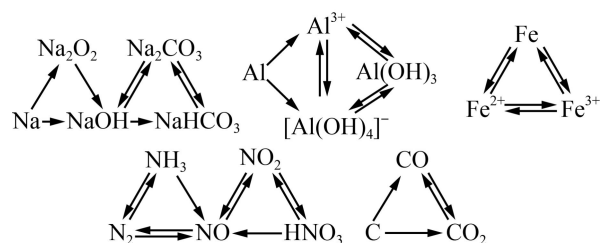


2 常见物质间转化关系

(1) 连续氧化反应（注：不一定是制备路线）

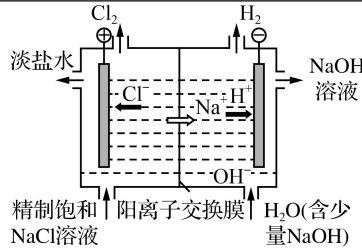
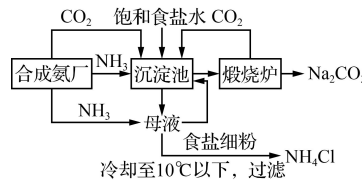
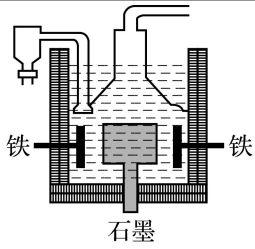


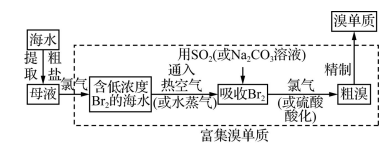
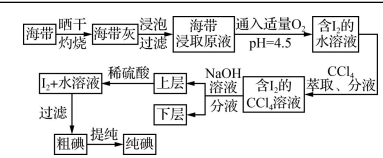
(2) 三角转化关系



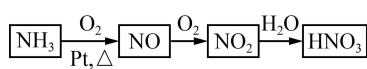
3 重要的化工生产

(1) 以海水为资源的化工生产

名称	原理（主要的离子或化学方程式）	说明
①海水晒盐及粗盐（主要含有 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 等离子）提纯	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$ $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$ $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow$ $\text{CO}_3^{2-} + \text{Ca}^{2+} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow$ $\text{CO}_3^{2-} + \text{Ba}^{2+} \rightleftharpoons \text{BaCO}_3 \downarrow$	所加除杂试剂一般要过量，且易除去。 Na_2CO_3 和 BaCl_2 加入顺序：_____； 过滤放在加盐酸前还是加盐酸后：_____
②氯碱工业	氯碱工业的化学方程式为_____	 阳离子交换膜的作用是_____； 能否使用阴离子交换膜？_____
③侯氏制碱法	$\text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NaHCO}_3 \downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$ $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$	 通入氨气和二氧化碳的顺序为_____； 母液中通入氨气发生的主要反应离子方程式为_____
④电解熔融的氯化钠制钠		 _____为阳极，_____为阴极；电解的是_____

⑤海水提溴	$\text{Cl}_2 + 2\text{Br}^- \rightleftharpoons \text{Br}_2 + 2\text{Cl}^-$ <p>用 SO_2 吸收 Br_2:</p> $\text{SO}_2 + \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{Br}^-$ <hr/> <p>或用 Na_2CO_3 溶液吸收 Br_2:</p> $3\text{Br}_2 + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons 5\text{NaBr} + \text{NaBrO}_3 + 3\text{CO}_2 \uparrow$ <p>酸化溶液生成溴单质的离子方程式为_____</p>	 <p>氧化：向母液中通入 Cl_2，将 Br^- 氧化为 Br_2。</p> <p>吹出：利用溴的_____（填物理性质），通入热空气（或水蒸气）吹出溴</p>
⑥海带提碘	<p>I^- 被氧气氧化的离子方程式为_____</p> <hr/> $3\text{I}_2 + 6\text{OH}^- \rightleftharpoons 5\text{I}^- + \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$ $5\text{I}^- + \text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 3\text{I}_2 \downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	 <p>海带要在_____中灼烧。从 I_2 的 CCl_4 溶液中分离出 I_2 不宜采用蒸馏法。因为碘易与 CCl_4 形成共沸物，且 I_2 单质易_____（填物理性质），会导致碘损失</p>

(2) 以空气为资源的化工生产

名称	原理（主要的离子或化学方程式）	说明
①合成氨	_____	从空气中获得氮气的方法：_____
②工业制硝酸	<p>主要反应有_____、_____</p> <p>_____、_____</p> <p>_____</p>	

(3) 以矿石为资源的化工生产

名称	原理（主要的化学方程式）	说明
①工业制硫酸	沸腾炉：_____ 接触室：_____ 吸收塔：_____	<p>三步反应都是_____（填“放热”或“吸热”）反应；为了充分利用能源，进入接触室的气体要净化、预热；用_____吸收 SO₃，得到发烟硫酸，再稀释成不同浓度的工业产品</p>
②冶炼铝	写出各步反应的化学方程式（右边流程）： _____ _____ _____ _____	<p>—<u>电解</u>→ Al</p>
③粗硅的提纯	$\text{SiO}_2 + 2\text{C} \xrightarrow{1\,800 \sim 2\,000\text{ }^\circ\text{C}} \text{Si} + 2\text{CO} \uparrow$ 粗硅提纯： $\text{Si} + 3\text{HCl} \xrightarrow{300\text{ }^\circ\text{C}} \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$ $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 \xrightarrow{1\,100\text{ }^\circ\text{C}} \text{Si} + 3\text{HCl}$	SiO ₂ 与 C 高温反应时，C 的氧化产物是_____

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 NaHSO₄ 溶液中滴加 Ba(OH)₂ 溶液至 SO₄²⁻ 恰好沉淀，离子方程式为 H⁺ + OH⁻ + SO₄²⁻ + Ba²⁺ = BaSO₄ ↓ + H₂O；若 Ba(OH)₂ 溶液少量，则离子方程式为 Ba²⁺ + 2OH⁻ + 2H⁺ + SO₄²⁻ = BaSO₄ ↓ + 2H₂O。

向 Ca(OH)₂ 溶液中滴加少量 NaHCO₃ 溶液，离子方程式为 HCO₃⁻ + OH⁻ + Ca²⁺ = CaCO₃ ↓ + H₂O；若 NaHCO₃ 溶液过量，则离子方程式为 Ca²⁺ + 2OH⁻ + 2HCO₃⁻ = CaCO₃ ↓ + CO₃²⁻ + 2H₂O。

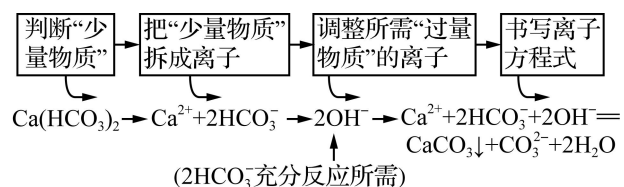
强氧化剂遇到两种还原性离子时，应注意氧化剂是否过量。如：

将少量的 Cl₂ 通入 FeBr₂ 溶液中，离子方程式为 2Fe²⁺ + Cl₂ = 2Fe³⁺ + 2Cl⁻；若 Cl₂ 过量，则离子方程式为 2Fe²⁺ + 4Br⁻ + 3Cl₂ = 2Fe³⁺ + 2Br₂ + 6Cl⁻。

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。

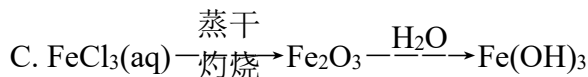
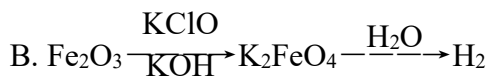
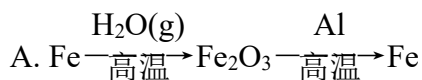
(2) “多变”就是过量的反应物离子的化学计量数根据反应实际需求量来确定，不受化学式中的比例制约。如：向 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液中加入过量 NaOH 溶液，离子方程式的书写方法如下：



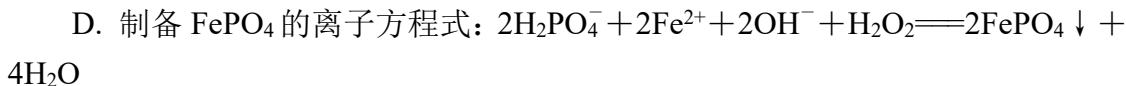
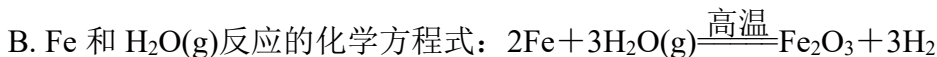
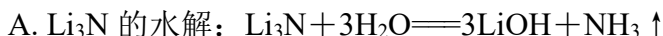
1 [2024 无锡期末]下列物质的性质与其应用不具有对应关系的是()

- 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

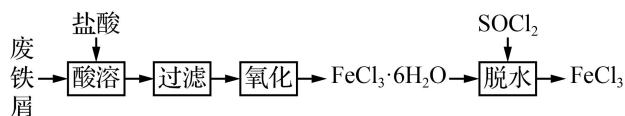
2 [2023 南通如皋适应性考试]铁的单质及许多化合物均具有重要用途。 K_2FeO_4 可用作净水剂, K_2FeO_4 在水中不稳定, 会生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体, 碱性条件下 KClO 的氧化性比 K_2FeO_4 的大。下列有关铁及其化合物的相关转化, 在指定条件下能实现的是()



3 [2024 苏州期末改编]含锂物质在能源方面有重要应用。锂在氧气中燃烧与 Mg 相似, 其燃烧热为 299 kJ/mol 。锂与氮气反应得到的 Li_3N 可用作储氢材料。锂-空气电池是一种二次电池, 放电时主要产物为 Li_2O_2 , 充电时阴极产物易形成固态枝晶, 导致电池短路。目前应用广泛的是锂离子电池, 例如, 磷酸铁锂电池充电时, 锂离子由 LiFePO_4 电极迁移至石墨电极形成 LiC_x , LiFePO_4 的前体 FePO_4 可由 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 FeSO_4 、 H_2O_2 在 $\text{pH}=2$ 的条件下反应制得。下列化学反应表示正确的是()



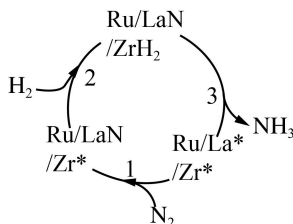
4 [2023 南京、盐城期末]无水 FeCl_3 常用作芳烃氯代反应的催化剂。以废铁屑（主要成分为 Fe ，还有少量 Fe_2O_3 、 C 和 SiO_2 ）制取无水 FeCl_3 的流程如图所示。下列说法正确的是（ ）



- A. “过滤”所得滤液中大量存在的离子有： Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 H^+ 、 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 SOCl_2 能抑制 FeCl_3 的水解，原因是 SOCl_2 与水反应生成 H_2SO_4 和 HCl

5 (1) [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 NH_4Cl 和浓氨水混合溶液、 H_2O_2 溶液，控制温度不超过 60°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_____。

(2) [2024 无锡期末]以稀有金属为催化剂（镧、钌和锆）合成氨的机理如图所示。由 N_2 和 H_2 合成 1 mol 氨气，转移电子的物质的量为_____。



破难点 1 陌生情境下方程式的书写

难点精讲

勤总结，破难点

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	NO_2
稀硝酸	NO
Cl_2 、 Br_2 、 I_2	Cl^- 、 Br^- 、 I^-
H_2O_2	碱性条件下生成 OH^- ；酸性条件下生成 H_2O （-2 价氧）
Na_2O_2	NaOH 、 Na_2CO_3 （-2 价氧）
NaClO 、 ClO^-	Cl^- 、 Cl_2
NaClO_3	Cl_2 、 ClO_2 、 Cl^-
KMnO_4	酸性条件下生成 Mn^{2+}
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ （酸性）	酸性条件下生成 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
Fe^{2+}	强酸性条件下生成 Fe^{3+} （易水解）
SO_2 、 H_2SO_3 、 SO_3^{2-}	在溶液中生成 SO_4^{2-}
S^{2-} 、 H_2S	S 、 SO_2 、 SO_3^{2-}
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	CO_2
H_2O_2	O_2
I^- 、 HI	I_2 、 IO_3^-
CO	CO_2
金属单质(Zn 、 Fe 、 Cu)	Zn^{2+} 、 Fe^{2+} （或 Fe^{3+} ）、 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	NH_4^+	NH_3
+4 价 C	CO_2	CO_3^{2-}
+4 价 S	SO_2	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）： $\text{ClO}^- + \text{Cl}^- + 2\text{H}^+ = \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ ， $\text{ClO}_3^- + 5\text{Cl}^- + 6\text{H}^+ = 3\text{Cl}_2 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$ 。

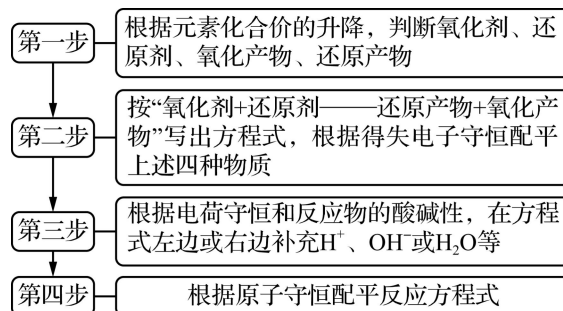
(2) NO_x 与碱液的歧化反应与归中反应。

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

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



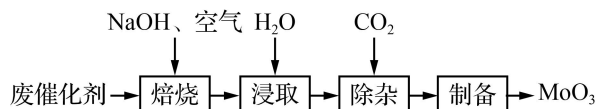
2 陌生氧化还原方程式的常考题型

(1) 陈述信息型

碱性条件下, KClO 饱和溶液与 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 饱和溶液反应可制备 K_2FeO_4 , 写出该反应的离子方程式: _____。

(2) 流程图型

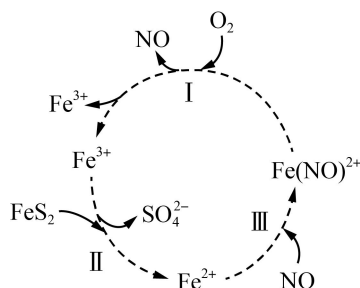
[2024 连云港、淮安一模] 以含钼(Mo)废催化剂 (含 MoS_2 , 以及 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CuO 等) 为原料制备 MoO_3 , 其过程表示如下:



焙烧时, 将废催化剂和足量 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 MoS_2 转化为 Na_2MoO_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 FeS_2) 可发生如图所示的转化。

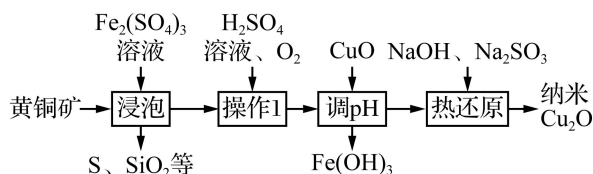


已知: 黄铁矿催化氧化的总反应方程式为 $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{催化剂}} 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ 。分别写出反应 I、II 的离子方程式: _____、_____。

1 (1) [2025 扬州开学考试] Li_2CO_3 和 Co_3O_4 混合后, 在空气中高温加热可以制备锂电池的正极材料 LiCoO_2 , 写出反应的化学方程式: _____。

(2) [2025 泰州中学开学考试] “酸浸”时, MnO_2 将 VO^+ 转化为 VO_2^+ 的离子反应方程式为 _____。

(3) [2025 南京开学考试] 氧化亚铜(Cu_2O)主要用于制造杀虫剂、分析试剂和红色玻璃等。 Cu_2O 在酸性溶液中歧化为二价铜离子和铜单质。以黄铜矿(主要成分为 CuFeS_2 , 含有杂质 SiO_2)为原料制取 Cu_2O 的一种工艺流程如图所示。写出“浸泡”时 CuFeS_2 发生反应的离子方程式: _____。



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 NO_3^- 与 NO_2^- 的物质的量之比为 1:1, 且含 N 物质最终均转化为 N_2 , 则水体中所发生的总反应的离子方程式为 _____。

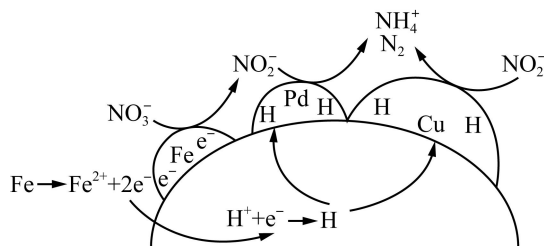


图 1

(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。 H_2O_2 在 Fe_3O_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 H_2O_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 _____。

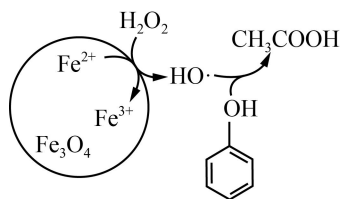
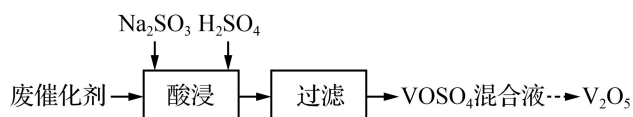


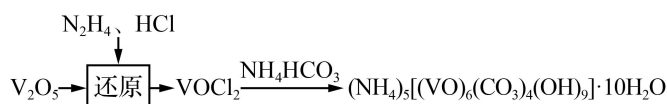
图 2

3 (1) [2024 盐城、南京期末] V_2O_5 的回收。回收 V_2O_5 的过程可表示如下：



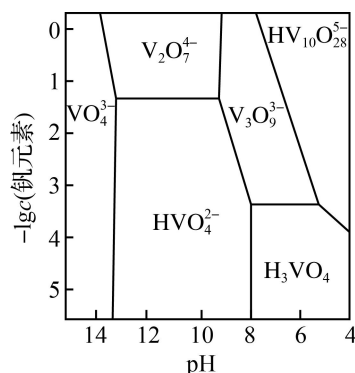
酸浸过程中, V_2O_5 转化成 VO^{2+} , 该反应的离子方程式为_____。

(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 $c(\text{OH}^-) = 0.01 \text{ mol/L}$, 反应的离子方程式为_____。

4 (1) [2023 泰州期末] 硫代硫酸钠($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)可与 Cu^{2+} 、 Ag^+ 、 Au^+ 等离子形成配合物; 也可被一定浓度的 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_____。

(2) [2023 苏州调研] 氢气是一种理想的绿色清洁能源, 氢气的制取是氢能源利用领域的研究热点。用氧缺位铁酸铜($\text{CuFe}_2\text{O}_{4-x}$)作催化剂, 利用太阳能热化学循环分解 H_2O 可制 H_2 。氧缺位铁酸铜通过两步反应分解水制氢。已知第二步反应为 $2\text{CuFe}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{CuFe}_2\text{O}_{4-x} + x\text{O}_2 \uparrow$, 则第一步反应的化学方程式为_____。

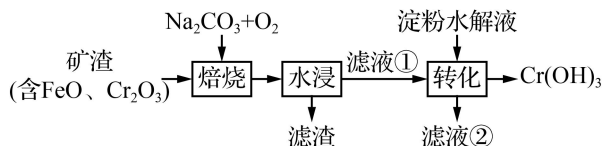
(3) [2023 盐城调研] 向 SrCl_2 溶液中加入适量 NH_4HCO_3 溶液, 微热、过滤、洗涤得到高纯度 SrCO_3 。写出沉淀过程中发生反应的化学方程式:_____。

微主题 3 化学工艺流程

基础回归

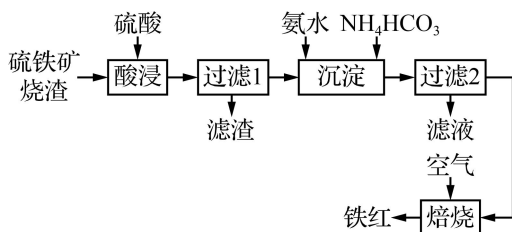
课前热身，激活思维

1 某工厂采用如下工艺制备 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ，已知焙烧后 Cr 元素以 +6 价形式存在。下列说法错误的是()



- A. “焙烧”中产生 CO_2
- B. 滤渣的主要成分为 $\text{Fe}(\text{OH})_2$
- C. 滤液①中 Cr 元素的主要存在形式为 CrO_4^{2-}
- D. 淀粉水解液中的葡萄糖起还原作用

2 铁红(Fe_2O_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 Fe_2O_3 、 Fe_3O_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：



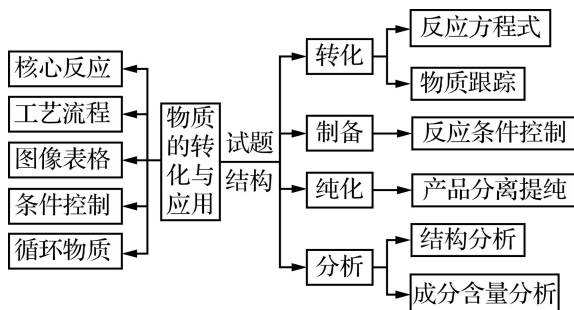
已知：某些过渡元素（如 Cu、Fe、Ag 等）的离子能与 NH_3 、 H_2O 、 OH^- 、 SCN^- 等形成可溶性配合物。

(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

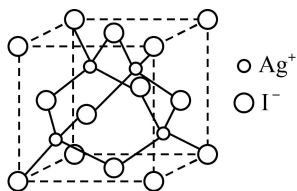
题型 1 化学工艺流程——选择题

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 。



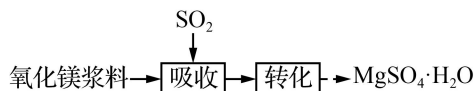
下列说法法正确的是()

- A. NaOH 溶液与 I_2 反应的离子方程式: $\text{I}_2 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{I}^- + \text{IO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$
- 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

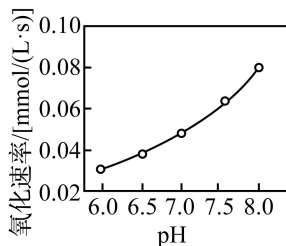
2 [2023 江苏卷]实验室模拟“镁法工业烟气脱硫”并制备 $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，其实验过程可表示如下：



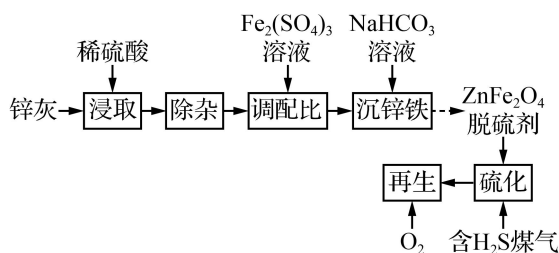
(1) 在搅拌下向氧化镁浆料中匀速缓慢通入 SO_2 气体, 生成 MgSO_3 , 反应为 $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{MgSO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$, 其平衡常数 K 与 $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{MgSO}_3)$ 、 $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{SO}_3)$ 、 $K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{SO}_3)$ 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 SO_2 效率的有 $\underline{\hspace{2cm}}$ (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 SO_2 气体的速率
D. 通过多孔球泡向氧化镁浆料中通 SO_2

(2) 在催化剂作用下 MgSO_3 被 O_2 氧化为 MgSO_4 。已知 MgSO_3 的溶解度为 $0.57 \text{ g}(20^\circ\text{C})$, O_2 氧化溶液中 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 MgSO_3 被 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 MgSO_3 的氧化速率增大，其主要原因是



3 [2021 江苏卷]以锌灰(含 ZnO 及少量 PbO 、 CuO 、 Fe_2O_3 、 SiO_2)和 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 为原料制备的 ZnFe_2O_4 脱硫剂,可用于脱除煤气中的 H_2S 。脱硫剂的制备、硫化、再生过程可表示如下:



(1) “除杂”包括加足量锌粉、过滤、加 H_2O_2 氧化等步骤。除 Pb^{2+} 和 Cu^{2+} 外,与锌粉反应的离子还有_____ (填化学式)。

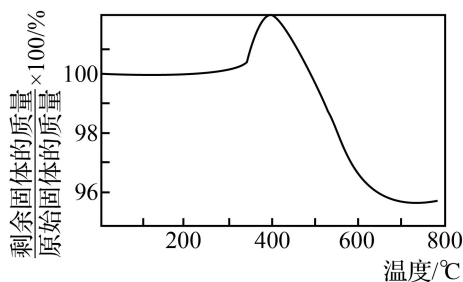
(2) “调配比”前,需测定 ZnSO_4 溶液的浓度。准确量取 2.50 mL 除去 Fe^{3+} 的 ZnSO_4 溶液于 100 mL 容量瓶中,加水稀释至刻度;准确量取 20.00 mL 稀释后的溶液于锥形瓶中,滴加氨水调节溶液 $\text{pH}=10$,用 0.015 0 mol/L EDTA($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$) 溶液滴定至终点(滴定反应为 $\text{Zn}^{2+} + \text{Y}^{4-} = \text{ZnY}^{2-}$),平行滴定 3 次,平均消耗 EDTA 溶液 25.00 mL。计算 ZnSO_4 溶液的物质的量浓度(写出计算过程)。

(3) 400°C 时,将一定比例 H_2 、 CO 、 CO_2 和 H_2S 的混合气体以一定流速通过装有 ZnFe_2O_4 脱硫剂的硫化反应器。

①硫化过程中, ZnFe_2O_4 与 H_2 、 H_2S 反应生成 ZnS 和 FeS , 其化学方程式为_____。

②硫化一段时间后,出口处检测到 COS 。研究表明 ZnS 参与了 H_2S 与 CO_2 生成 COS 的反应,反应前后 ZnS 的质量不变,该反应过程可描述为_____。

(4) 将硫化后的固体在 $\text{N}_2:\text{O}_2=95:5$ (体积比) 的混合气体中加热再生,固体质量随温度变化的曲线如图所示。在 $280\sim 400^\circ\text{C}$ 范围内,固体质量增加的主要原因是_____。



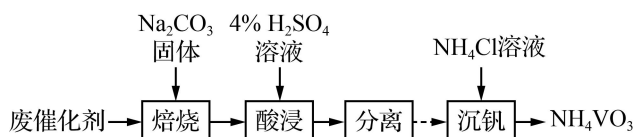
题型3 重要无机物的转化

4 [2023 江苏卷] $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$ 催化剂能催化 NH_3 脱除烟气中的 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 WO_3/TiO_2 粉末置于 $80\ ^\circ\text{C}$ 的水中, 在搅拌下加入一定量的 NH_4VO_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 NH_4VO_3 溶液而不选用 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 NH_4VO_3 的过程可表示如下:



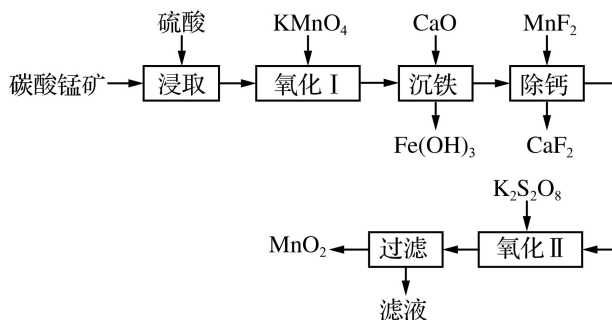
①酸浸时, 加料完成后, 以一定速率搅拌反应。提高钒元素浸出率的方法还有_____。

②向 $\text{pH}=8$ 的 NaVO_3 溶液中加入过量的 NH_4Cl 溶液, 生成 NH_4VO_3 沉淀。已知: $K_{\text{sp}}(\text{NH}_4\text{VO}_3) = 1.7 \times 10^{-3}$, 加过量 NH_4Cl 溶液的目的是_____。

3 年模拟

题型1 化学工艺流程——选择题

1 [2024 南通如皋适应性考试三] 以碳酸锰矿(含 MnCO_3 和少量 FeO 、 Fe_2O_3 、 CaO) 为原料制取 MnO_2 的流程如下:

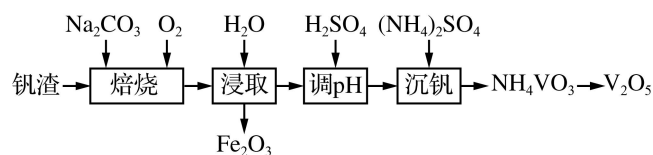


已知: $K_{\text{sp}}(\text{MnF}_2) = 5.4 \times 10^{-3}$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2) = 2.7 \times 10^{-11}$, $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 的氧化性强于 MnO_4^- , 其还原产物为 SO_4^{2-} 。

下列说法正确的是()

- A. “浸取”时, 硫酸过量越多, 对整个转化越有利
- B. “氧化 I”的目的是将 Mn^{2+} 转化为 MnO_2
- C. “除钙”后所得滤液中存在: $c(\text{Mn}^{2+}) \leq 2 \times 10^8 c(\text{Ca}^{2+})$
- D. “氧化 II”中使用过量的 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 可以提高 MnO_2 的产率

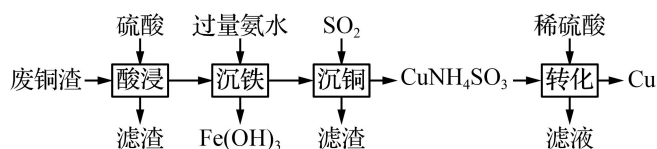
2 [2024 南通四模]工业利用钒渣（主要成分为 FeV_2O_4 ，杂质为 Al_2O_3 ）制备 V_2O_5 的工艺流程如下：



已知：“焙烧”的产物之一为 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 HCl “调 pH”的原因可能与 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 CuO ，及少量 Fe_2O_3 、 SiO_2 等杂质）制备超细铜粉的流程如下：

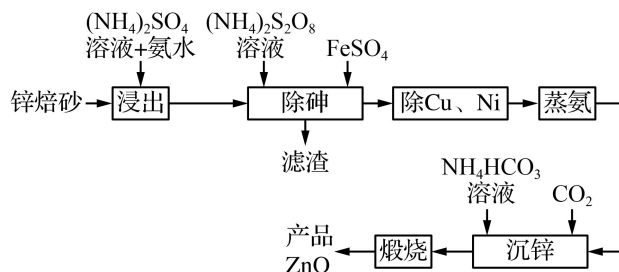


下列说法正确的是()

- A. “酸浸”所得滤渣的主要成分为 H_2SiO_3
- B. 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： NH_4^+ 、 H^+ 、 Cu^{2+}

题型2 化学工艺流程——大题

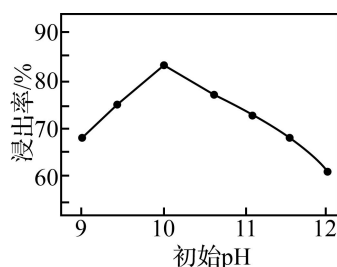
4 [2025 南通海安期初]高纯 ZnO 可用作电子元件材料。工业上利用锌焙砂(主要成分为 ZnO , 含有少量 CuO 、 As_2O_3 、 NiO 等)生产高纯 ZnO 的流程示意图如下:



(1) 浸出。用一定浓度的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液和氨水的混合液浸取锌焙砂, 得到锌氨 $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 浸出液。

① ZnO 发生反应的化学方程式为_____。

②锌元素的浸出率随浸出液初始 pH 的变化关系如图所示, 当浸出液初始 pH > 10 时, 浸出率随 pH 增大而减小的原因是_____。



(2) 除砷。

①过二硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$ 中 -1 价的O与 -2 价O的个数比为_____。

②滤渣主要成分为 FeAsO_4 (As 为 $+5$ 价)。理论上每生成 1 mol FeAsO_4 , 需要 1.5 mol $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 。其原因是_____。

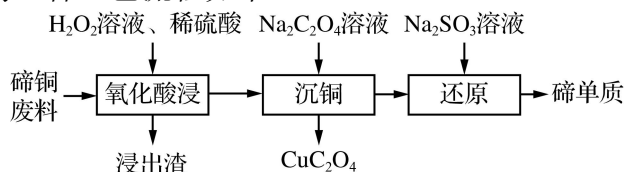
(3) 沉锌。

蒸氨后需要冷却处理才能进行“沉锌”的原因是_____。

(4) 煅烧。

280 $^{\circ}\text{C}$ 时煅烧 ZnCO_3 , 300 min 后固体残留质量占固体起始质量的 $\frac{2}{3}$, 则 ZnCO_3 的分解率为_____。

5 [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 Cu_2Te)为原料回收碲单质的一种工艺流程如下:



已知: $K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=5.0\times 10^{-2}$, $K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=1.5\times 10^{-4}$, $K_{a1}(\text{H}_2\text{TeO}_3)=1.0\times 10^{-3}$, $K_{\text{sp}}(\text{CuC}_2\text{O}_4)=2.0\times 10^{-8}$ 。

(1) “氧化酸浸”得到 CuSO_4 和 H_2TeO_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 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) CuC_2O_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 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下进行, H_2TeO_3 发生反应的离子方程式为_____。

(5) “还原”时, Na_2SO_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

6 [2025 苏州调研] MoS_2 (Mo 的化合价为 +4) 被誉为“固体润滑油王”。不溶于水, 也不溶于大多数有机溶剂, 对空气中少量的 NH_3 具有高灵敏度检测性能(气敏性), 是优良的 NH_3 传感器检测材料。

I. MoS_2 的制备

方法一: 将钼酸钠(Na_2MoO_4)和硫脲 $[\text{CS}(\text{NH}_2)_2]$ 混合溶解在去离子水中, 充分搅拌, 将混合溶液转移到密闭反应釜中。调节反应温度和反应时间, 可分别制得纳米花状、纳米片状、纳米球状的 MoS_2 晶体。已知: 反应釜内气压越大, 越有利于纳米 MoS_2 结晶。

(1) 纳米片状 MoS_2 具有类似石墨的层状结构。层与层之间的作用力为_____。

(2) 该反应同时生成 Na_2S 、 SO_2 、 CO_2 、 NH_3 , 写出反应的化学方程式:_____。

(3) 制备过程中使用硫脲作还原剂的优点是_____。

方法二：将 $(\text{NH}_4)_2\text{MoS}_4$ 在空气中加热可得 MoS_2 ，加热时所得剩余固体的质量与原始固体质量的比值与温度的关系如图1所示。

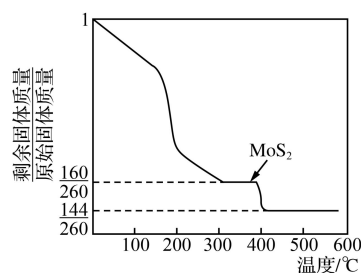


图1

(4) 450~550 °C，得到 Mo 的一种氧化物，该氧化物的化学式为_____ (Mo—96，写出计算过程)。

II. MoS_2 的应用

利用方法一制得的三种不同形状 MoS_2 作 NH_3 传感器检测材料，对 NH_3 气敏性能进行研究。传感器对 NH_3 的响应值越大，气敏性能越好。

(5) 一定氨气浓度下，响应值随时间变化如图2所示。随气体通入，400s后响应曲线急剧增加；随气体排出，响应曲线又回到基线附近。响应曲线结果表明：_____ (填形状) MoS_2 晶体具有灵敏易观察的优异性能，其原因是_____。

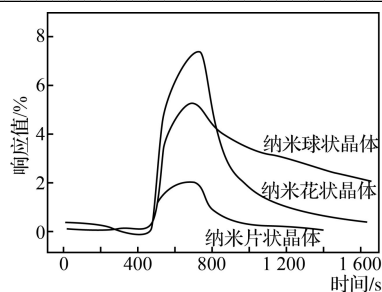


图2

(6) 为进一步探究 MoS_2 传感器的重复性、长期稳定性等性能，将传感器暴露在另一种氨气浓度中进行循环测试，4周内测试结果如图3所示，第3、4周气敏性能有所下降的可能原因是_____。

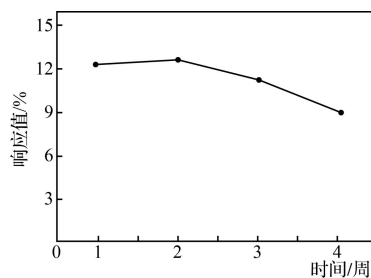


图3

7 [2024 苏锡常镇一调]高砷煤中含有砷硫铁(FeAsS)等物质。燃煤产生的烟气中含 NO 、 SO_2 、粉尘等,经过 SCR 脱硝除去 NO ,粉尘经沉降得到粉煤灰。

(1) 燃煤固硫

①燃用高砷煤时加入生石灰将大部分硫元素转化为_____ (填化学式)留在煤渣中。

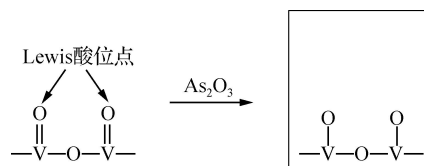
②高砷煤燃烧过程中,砷硫铁在高温下被氧化成 As_2O_3 释放到烟气中,该反应的化学方程式为_____。

(2) SCR 脱硝 (脱除烟气中的 NO)

在烟气中加入适量氨气,用钒氧化物作催化剂将 NH_3 、 NO 、 O_2 转化为 N_2 。烟气中含有的 As_2O_3 会使钒氧化物催化剂中毒。

①在 SCR 脱硝的反应中还原剂为_____ (填化学式)。

②研究发现砷中毒机理主要是 As_2O_3 分子破坏了催化剂的 Lewis 酸位点,使 $\text{V}=\text{O}$ 数量减少 (产物中 As 化合价为 +3、+5)。请补充完整产物的结构。



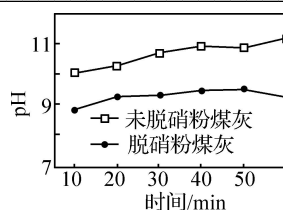
③ As_2O_5 不易使催化剂中毒。但与 As_2O_3 相比, As_2O_5 更不利于脱硝反应的进行,其原因是_____。

(3) 粉煤灰成分研究

粉煤灰可用于水泥工业,粉煤灰中的氨含量 (NH_3 或铵盐) 会影响水泥的性能。

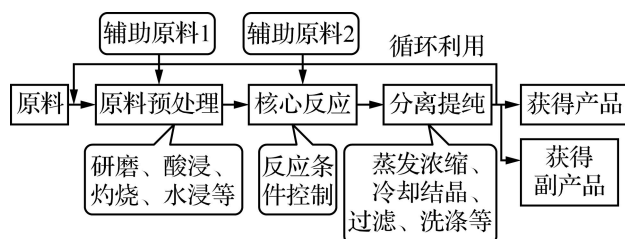
①取 50.00 g 粉煤灰加入 NaOH 蒸出 NH_3 ,用 20 mL 0.100 0 mol/L 的 H_2SO_4 溶液吸收 NH_3 ,用 0.200 0 mol/L NaOH 溶液滴定过量的 H_2SO_4 至终点,平行滴定 3 次,平均消耗 NaOH 溶液 10.00 mL,计算粉煤灰中以 NH_3 计的氨含量 (用 mg/g 表示,写出计算过程)。

②相同烟气所得脱硝粉煤灰 (经过 SCR 脱硝后获得) 与未脱硝粉煤灰 (直接沉降获得) 加水溶解后,所得浆液 pH 随时间的变化如图所示。脱硝粉煤灰 pH 始终比未脱硝粉煤灰低的原因是_____。



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_3^- 与酸的组合，则还需要氧化还原的过程。

(3) 加碱处理：

将 Al 、 Al_2O_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 等两性物质、 SiO_2 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：

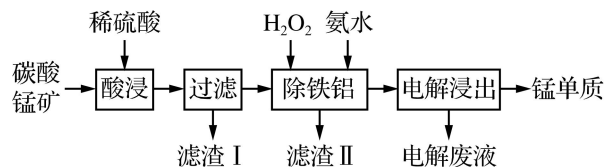
② 通氧气的情况下，可能会发生氧化还原反应；

③ 热分解。

3 常见设问

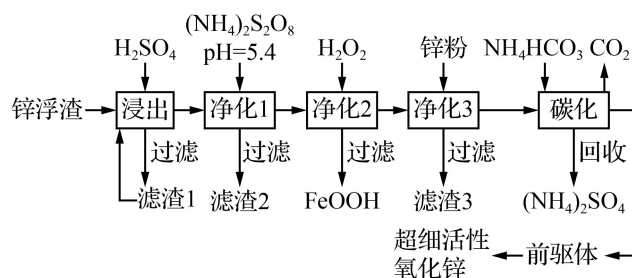
如何提高 “酸浸率”	固体粉碎的目的：减小颗粒直径，增大浸取时的反应速率，提高浸取率
	升高反应的温度，增大反应速率
	适当加大酸的浓度
	适当延长酸浸时间
分析“浸出率”图表	解释“浸出率”高低变化的因素（“浸出率”升高，一般是反应温度升高，反应速率加快；但当“浸出率”达到最大值后，温度升高“浸出率”反而下降，一般是反应试剂的分解或挥发）
	选择达到一定较高“浸出率”的时间及温度（注意：一般不止一个答案）

例 1 (1) 由碳酸锰矿（主要成分为 MnCO_3 ，还含有 FeCO_3 、 MnO_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 等）中提取金属锰的一种工艺流程如下：



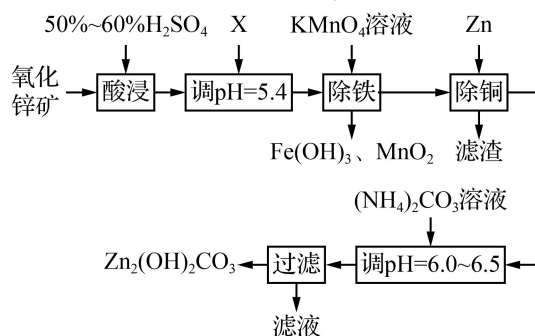
“酸浸”过程中，提高锰元素浸出率的措施有：适当提高酸的浓度、_____。

(2) 锌浮渣主要含 Zn 、 ZnO 、 SiO_2 、 Fe^{2+} 、 Cd^{2+} 、 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_____。

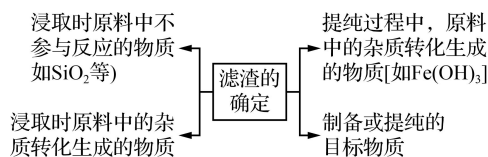
(3) 实验室用氧化锌矿粉（主要含 ZnO 、 FeCO_3 、 CuO 等）制备碱式碳酸锌 $[\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3]$ ，并将其用于合成氨工艺脱硫研究。



“酸浸”时保持 H_2SO_4 过量的目的是_____。

核心2 元素在工艺流程中的转化

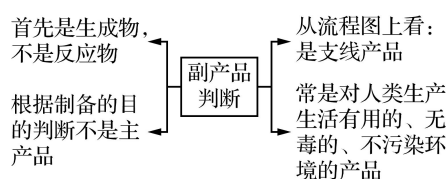
1 滤渣的确定



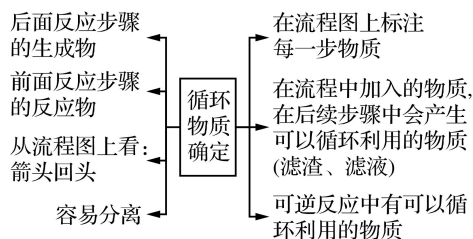
沉淀成分的判断:

- (1) 不参与反应的物质。
- (2) 过量的反应物。
- (3) 由杂质转化生成的物质。

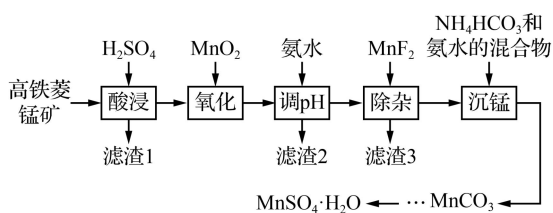
2 副产品的确定



3 循环物质的确定



例 2 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 在工业、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 MnCO_3 , 含有 FeCO_3 、 Al_2O_3 、 MgO 、 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	Mn^{2+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}	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_____。
- (2) “调 pH” 范围至 5~6, 得到滤渣 2 的主要成分除 MnO_2 外, 还有_____。
- (3) “除杂” 过程中加入 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：

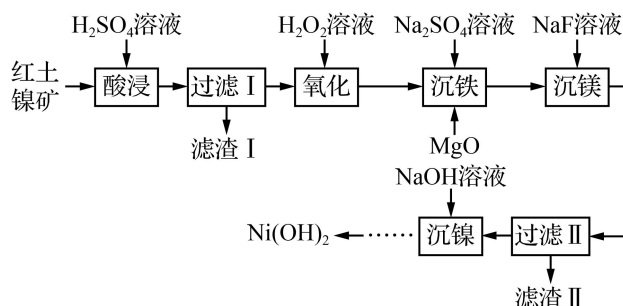
①能与 H^+ 反应，使溶液 pH 变大；

②不引入新杂质。例如，若要除去 Cu^{2+} 中混有的 Fe^{3+} ，可加入 CuO 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 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 NaOH 溶液、氨水等。

2 常见设问

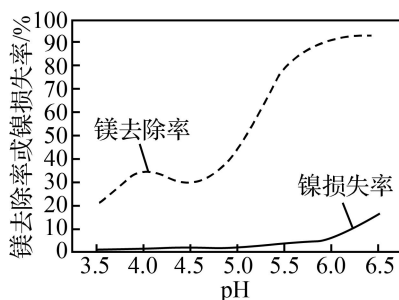
控制溶液的 pH	①调节溶液的酸碱性，使某些金属离子形成氢氧化物沉淀析出（或抑制水解）； ②“酸作用”还可除去氧化物（膜）； ③“碱作用”还可除去油污，除去铝片表面的氧化膜，溶解铝、二氧化硅等； ④特定的氧化还原反应需要的酸性条件（或碱性条件）
加过量试剂	使反应完全进行（或增大转化率、产率）等
加氧化剂	氧化某物质，生成目标产物或除去某些离子
控制温度（常用水浴、冰浴或油浴）	①防止副反应的发生； ②使化学平衡移动；控制化学反应进行的方向； ③控制固体的溶解与结晶； ④控制反应速率；使催化剂达到最大活性； ⑤升温：促进溶液中的气体逸出，使某物质达到沸点挥发； ⑥加热煮沸：促进水解，聚沉后利于过滤分离； 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 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 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： $K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2) = 7.4 \times 10^{-11}$ 。要使“沉镁”所得滤液中 $c(\text{Mg}^{2+}) \leq 7.4 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ ，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

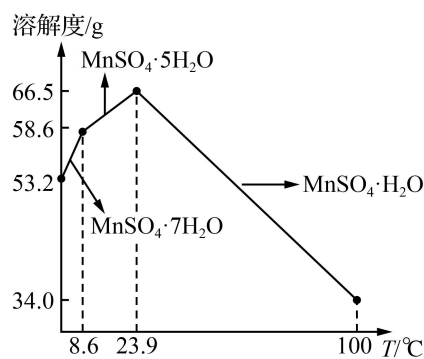
1 正确选择物质分离的“6 种”常用方法

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 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 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 KNO_3 、 FeCl_3 、 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

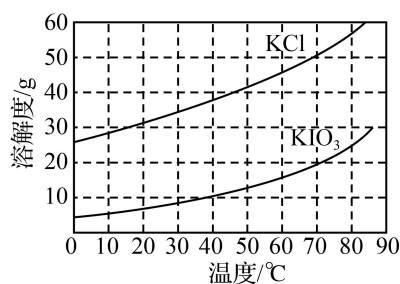
2 常见设问

结晶方法	①晶体不带结晶水，如 NaCl 、 KNO_3 等：蒸发结晶； ②晶体带结晶水，如胆矾等：将滤液蒸发浓缩、冷却结晶、过滤； 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 NaCl 中少量的 KNO_3 ； 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 KNO_3 中少量的 NaCl
从溶液中得到晶体的操作	蒸发浓缩→冷却结晶→过滤→洗涤→干燥
萃取、分液的操作	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
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 AgNO_3 溶液检验 Cl^- ，盐酸酸化的 BaCl_2 溶液检验 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

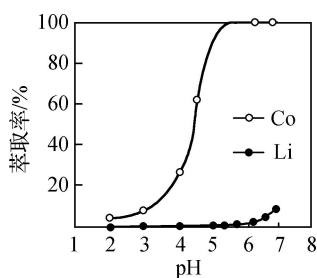
例 4 (1) MnSO_4 在水中的溶解度与温度的关系如图所示。由 MnCO_3 获得较纯净的 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶体的方法：将 MnCO_3 溶于适量的稀硫酸，控制温度在 $80 \sim 90 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间蒸发结晶，_____，得到 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶体，洗涤、烘干。晶体通常采用减压烘干的原因是_____。



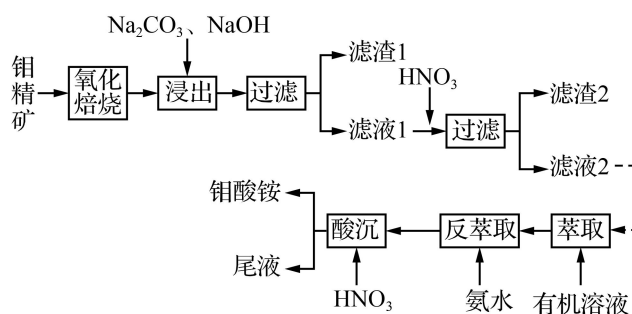
(2) KCl 、 KIO_3 的溶解度曲线如图所示。由 KIO_3 溶液得到 KIO_3 晶体的方法为_____。



(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_____。

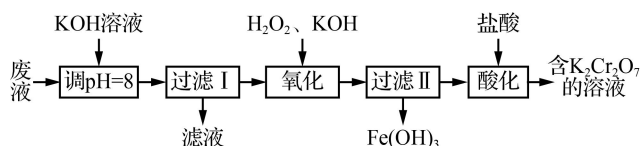


(4) 钼(Mo)是重要的过渡金属元素,具有广泛用途。由钼精矿(主要成分是 MoS₂)湿法回收钼酸铵[(NH₄)₂MoO₄]部分工艺流程如图所示。



“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_____。

1 [2024 常州一中检测] 室温时，实验室以含铬废液（主要离子含 K^+ 、 Fe^{3+} 、 Cr^{3+} 、 SO_4^{2-} ）制取含 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液的流程如下：



已知：①室温时， $K_{\text{sp}}[\text{Cr}(\text{OH})_3]=6\times 10^{-31}$ ，

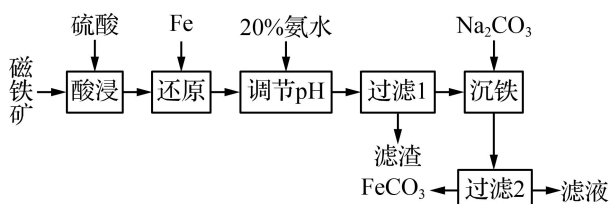
$K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]=4\times 10^{-38}$ ；

②“氧化”时 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 转化为 CrO_4^{2-} 。

下列说法正确的是()

- A. “过滤 I” 所得滤液中 $c(\text{Cr}^{3+})=6\times 10^{-7} \text{ mol/L}$
- B. “氧化” 时的离子方程式为 $4\text{OH}^-+2\text{Cr}(\text{OH})_3+3\text{H}_2\text{O}_2=2\text{CrO}_4^{2-}+8\text{H}_2\text{O}$
- C. “酸化” 时溶液 pH 越低， CrO_4^{2-} 转化为 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的比例越低
- D. 将“含 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液” 蒸干可得纯净的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 固体

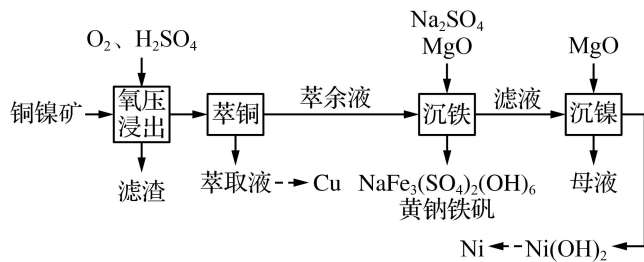
2 [2023 南通如皋期初] 用磁铁矿（主要成分为 Fe_3O_4 、含 Al_2O_3 和 SiO_2 等杂质）制取 FeCO_3 的工艺流程如图所示，部分金属离子沉淀的 pH 见下表。下列说法正确的是()



氢氧化物	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_2$
开始沉淀的 pH	1.5	4.0	6.5
完全沉淀的 pH	3.3	5.2	9.7

- A. “酸浸” 过程中加入过量硫酸能抑制金属离子水解和提高铁元素的浸出率
- B. “调节 pH” 时应控制溶液的 pH 略大于 3.3
- C. “沉铁” 时应将“过滤 1” 的滤液滴加到 Na_2CO_3 溶液中，并不断搅拌
- D. “过滤 2” 所得滤液中的溶质为 Na_2SO_4

3 [2025 镇江期初]一种从某铜镍矿（主要成分为 CuFeS_2 、 FeS_2 、 NiO 、 MgO 、 SiO_2 等）中回收 Cu 、 Ni 的流程如下：



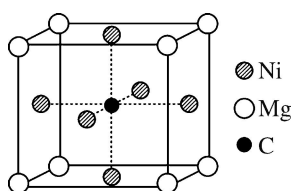
(1) 基态 Cu^{2+} 的外围电子排布为_____。

(2) “氧压浸出”过程中，加压的目的是_____。

(3) “萃铜”时发生的反应为 Cu^{2+} （水相）+ 2HR （有机相） $\rightleftharpoons \text{CuR}_2$ （有机相）+ 2H^+ （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_____。

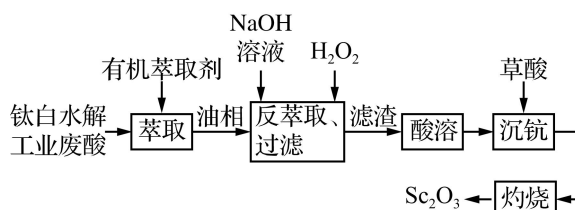
(5) 单质镍与碳、镁形成某晶体的晶胞结构如图所示，该晶体中 Mg 和 Ni 的原子个数之比为_____。



(6) “沉镍”时为确保 Ni^{2+} 沉淀完全，理论上应调节溶液 $\text{pH} \geq$ _____ [已知：25 $^{\circ}\text{C}$ 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 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： $\text{Ni}^{2+} + \text{H}_2\text{Y}^{2-} \rightleftharpoons \text{NiY}^{2-} + 2\text{H}^+$ ， $\text{Ni}—59$ ，写出计算过程）。

4[2023 徐州打靶卷]从钛白水解工业废酸(含 Sc^{3+} 、 TiO^{2+} 、 Mn^{2+} 、 H^{+} 、 SO_4^{2-} 等离子)中提取 Sc_2O_3 的一种工艺流程如下:



(1) 钛白水解工业废酸中需先加入 H_2O_2 生成难萃取的 $[\text{TiO}(\text{H}_2\text{O}_2)]^{2+}$, 再进行萃取, H_2O_2 的作用是_____ (填字母)。

- a. 作氧化剂 b. 作还原剂 c. 作配体

(2) “萃取”可采用有机磷萃取剂 $(\text{RO})_3\text{PO}$, 其中—R 代表烃基, $(\text{RO})_3\text{PO}$ 可通过以下反应制备: $3\text{ROH} + \text{POCl}_3 \rightleftharpoons (\text{RO})_3\text{PO} + 3\text{HCl}$ 。

①—R 对 $(\text{RO})_3\text{PO}$ 产率的影响如表所示。随着碳原子数增加, $(\text{RO})_3\text{PO}$ 产率降低的原因可能为_____。

—R	$(\text{RO})_3\text{PO}$ 产率/%
— CH_2CH_3	82
— $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	62
— $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	20

②钪的萃取率($E\%$)与 $\frac{O}{A}$ 值[萃取剂体积(O)和废酸液体积(A)之比]的关系如图 1 所示。采用一次萃取时, 应选择最合适的 $\frac{O}{A}$ 值为_____。

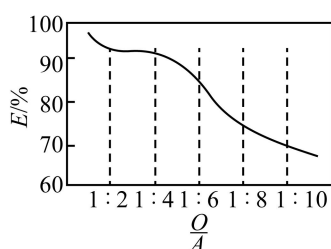


图 1

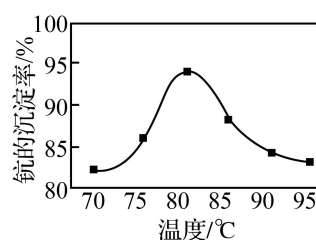


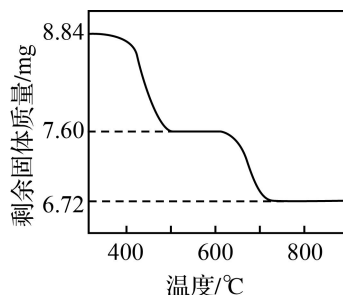
图 2

(3) “反萃取”时生成 $\text{Sc}(\text{OH})_3$ 、 MnO_2 沉淀, 生成 MnO_2 反应的离子方程式为_____。

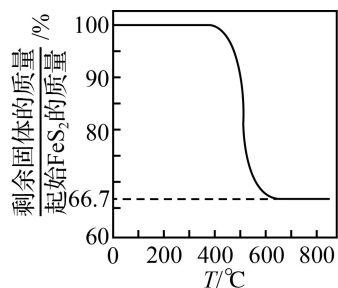
(4) “沉钪”时得到 $\text{Sc}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 沉淀。“沉钪”时测得相同时间钪的沉淀率随温度的变化如图 2 所示, 随温度升高钪的沉淀率先升高后降低的可能原因是_____。

3 年真题

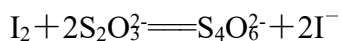
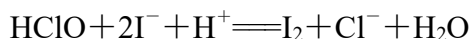
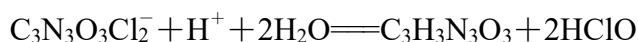
1 [2024 江苏卷]将 8.84 mg $\text{Nd}(\text{OH})\text{CO}_3$ (摩尔质量为 221 g/mol) 在氮气氛围中焙烧, 剩余固体质量随温度变化曲线如图所示。550~600 °C 时, 所得固体产物可表示为 $\text{Nd}_a\text{O}_b(\text{CO}_3)_c$, 通过以上实验数据确定该产物中 $n(\text{Nd}^{3+}) : n(\text{CO}_3^{2-})$ 的比值为_____ (Nd—144, 写出计算过程)。



2 [2022 江苏卷]硫铁化合物 (FeS 、 FeS_2 等) 应用广泛。 FeS_2 、 FeS 在空气中易被氧化, 将 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 FeS_2 的质量的比值随温度变化的曲线如图所示。800 °C 时, 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:

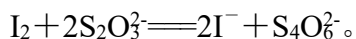
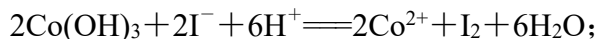
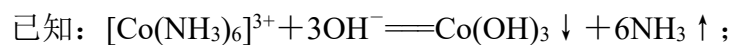


准确称取 1.120 0 g 样品,用容量瓶配成 250.0 mL 溶液;取 25.00 mL 上述溶液于碘量瓶中,加入适量稀硫酸和过量 KI 溶液,密封在暗处静置 5 min;用 0.100 0 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定至溶液呈微黄色,加入淀粉指示剂,继续滴定至终点,消耗 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液 20.00 mL。通过计算判断该样品是否为优质品。

(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 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)。



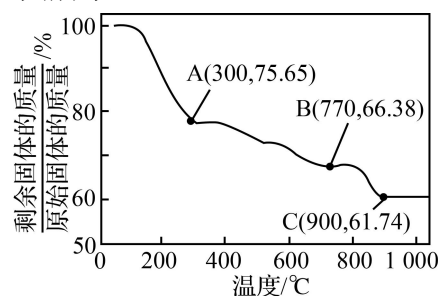
2 [2024 南通如皋适应性考试一]为测定草酸钴样品的纯度，进行如下实验：

(1) 取草酸钴样品 3.000 g，加入 100.00 mL 0.100 0 mol/L 酸性 KMnO_4 溶液，加热充分反应至不再有 CO_2 气体产生(该条件下 Co^{2+} 不被氧化，杂质不参与反应)。

(2) 将溶液冷却，加水稀释定容至 250 mL。

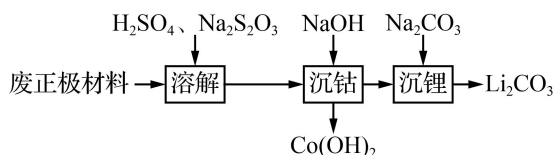
(3) 取 25.00 mL 溶液，用 0.100 0 mol/L FeSO_4 溶液滴定过量的 KMnO_4 ，恰好完全反应时消耗 18.00 mL FeSO_4 溶液。计算样品中 $\text{CoC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的质量分数：
(Co—59，写出计算过程)。

3 [2025 南通如东期初] 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。



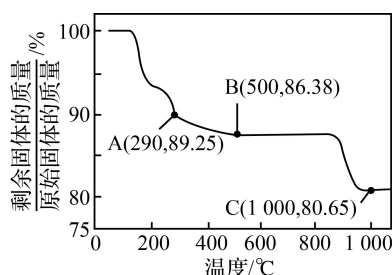
770 °C时，剩余固体中 $n(\text{Mn}) : n(\text{O})$ 为_____ (Mn—55，写出计算过程)。

4 [2025 苏州调研]LiCoO₂ 电极。从废锂电池正极材料 LiCoO₂ 回收 Li、Co 等金属路线如下:



(1) 写出“溶解”步骤发生反应的离子方程式: _____。

(2) Co(OH)₂ 在空气中加热时, 固体残留率随温度的变化如图所示。已知 290 °C 以上, Co(OH)₂ 已完全脱水, 在 350 ~ 400 °C 范围内, 剩余固体成分为 (Co—59, 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。I₂ 可作氧化剂, 能被 Sn²⁺、H₂S 等还原剂还原; I⁻ 可作还原剂, 能被 IO₃⁻、Cr₂O₇²⁻、MnO₄⁻ 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, I₂ 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 I₂, 再加入 Na₂S₂O₃ 标准溶液与 I₂ 反应, 淀粉指示剂要在接近终点时才加入, I₂ 遇淀粉溶液显蓝色, 继续滴加 Na₂S₂O₃ 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 ClO₂ 的含量, 有关的离子方程式为 2ClO₂ + 10I⁻ + 8H⁺ = 2Cl⁻ + 5I₂ + 4H₂O 和 I₂ + 2S₂O₃²⁻ = 2I⁻ + S₄O₆²⁻, 可得关系式: 2ClO₂ ~ 5I₂ ~ 10S₂O₃²⁻, 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 ₂ S ₂ O 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 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）， $\frac{m(\text{剩余})}{m(1 \text{ mol 晶体})} \times 100\% = \text{固体残留率}$ 。

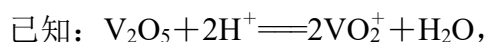
(4) 晶体中金属质量不减少，仍在 m （剩余）中。

(5) 失重最后一般为金属氧化物，由质量守恒得 $m(\text{O})$ ，由 $n(\text{金属}) : n(\text{O})$ ，即可求出失重后物质的化学式。

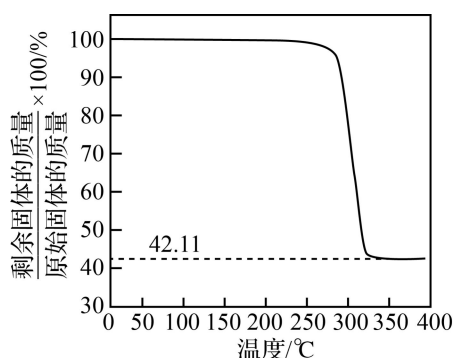
1 [2024 苏州期末]制备的 TiO_2 产品中 TiO_2 的纯度测定。

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 TiO^{2+} 还原为 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 TiO_2 的纯度：_____（Ti—48，已知： Ti^{3+} 可将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} 。写出计算过程）。

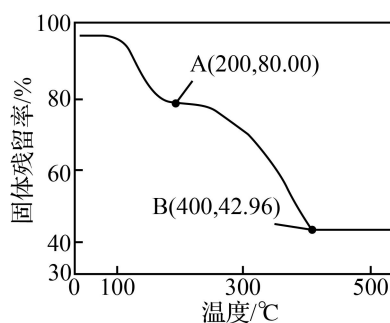
2 [2023 连云港调研]五氧化二钒(V_2O_5)是广泛用于冶金、化工等行业的催化剂。 NH_4VO_3 在空气中灼烧得 V_2O_5 。称取 0.80 g 灼烧后的产物，加入稀硫酸溶解后，向其中加入 0.200 0 mol/L $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液 25 mL，再用 0.100 0 mol/L KMnO_4 溶液滴定过量的 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液至终点，消耗 KMnO_4 溶液的体积为 4.00 mL，则产物中 V_2O_5 的质量分数为_____（V—51，写出计算过程）。



3 [2024 南京、盐城一模]将一定质量的 CuC_2O_4 置于 Ar 气中热解，测得剩余固体的质量与原始固体的质量的比值随温度变化的曲线如图所示。350~400 °C 下剩余固体的化学式为_____（写出推断过程）。



4 [2024 扬州考前模拟] $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 在氮气的氛围中加热分解。加热过程中固体残留率[固体残留率= $\frac{\text{剩余固体质量}}{\text{起始固体质量}} \times 100\%$]随温度的变化如图所示。B 点时，固体只含有一种铁的氧化物，则 AB 段发生反应的化学方程式为_____（写出推断过程）。

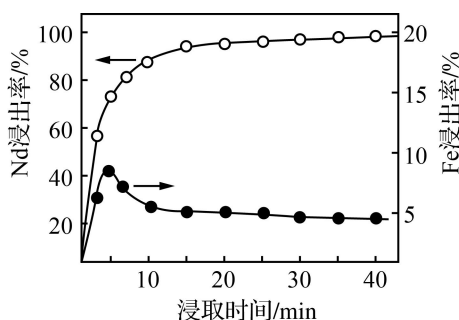


3 年真题

1 [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铋和光学材料氧化钕。

(1) 钕铁硼在空气中焙烧转化为 Nd_2O_3 、 Fe_2O_3 等(忽略硼的化合物),用 0.4 mol/L 盐酸酸浸后过滤得到 NdCl_3 溶液和含铁滤渣。 Nd 、 Fe 浸出率

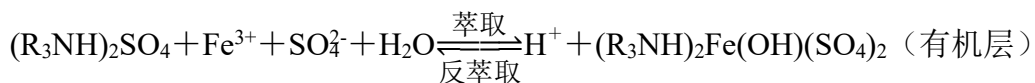
($\frac{\text{浸出液中某元素的物质的量}}{\text{某元素的总物质的量}} \times 100\%$) 随浸取时间变化如图所示。



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,用于制备铁酸铋。

用含有机胺(R_3N)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:



其他条件不变,水层初始 pH 在 $0.2 \sim 0.8$ 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_____。

2 [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 HCrO_4^- 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 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： $K_{\text{sp}}(\text{FeS})=6.5\times 10^{-18}$ ， $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2]=5.0\times 10^{-17}$ ； H_2S 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_____。

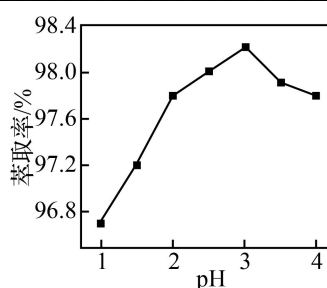
3 年模拟

[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 LaCl_3 和 CeCl_3 溶液。用有机萃取剂（简称 HA）提纯稀土离子（ M^{3+} 代表 La^{3+} 或 Ce^{3+} ），其反应原理为 M^{3+} （水层）+ 3HA （有机层） $\xrightleftharpoons[\text{反萃取}]{\text{萃取}} \text{M}(\text{A})_3$ （有机层）+ 3H^+ （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_{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 Al_{13} ）。 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 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 Al^{3+} 水解产生 $[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}$ 的离子方程式：_____。

② 使用 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) 其他条件相同时, 用 SO_2 还原浸出 $\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$ 1 h, 不同温度下砷的浸出率如图 1。随着温度升高, 砷的浸出率先增大后减小的原因是_____。

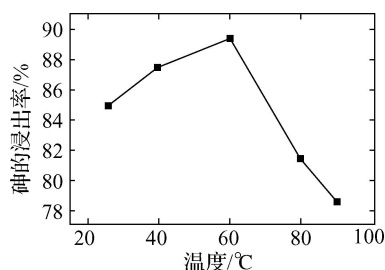


图 1

(2) “转化”后所得 LiHCO_3 溶液中含有的 Ca^{2+} 需要加入 Li_3PO_4 除去。除钙步骤中其他条件不变, 反应相同时间, 温度对除钙率和 Li_2CO_3 产率的影响如图 2。

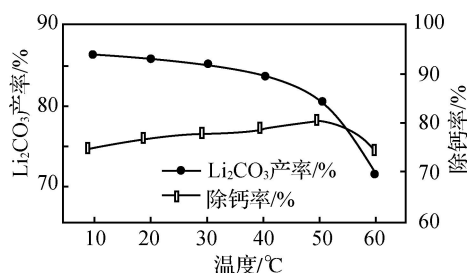


图 2

①随着温度升高, 最终 Li_2CO_3 的产率逐渐减小的原因是_____。

②当温度高于 50°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 NH_3 脱除烟气中的 NO 。

反应: $4\text{NO}(\text{g}) + 4\text{NH}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -1632.4 \text{ kJ/mol}$ 。

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 NO 的转化率随温度的变化如图 3 所示。

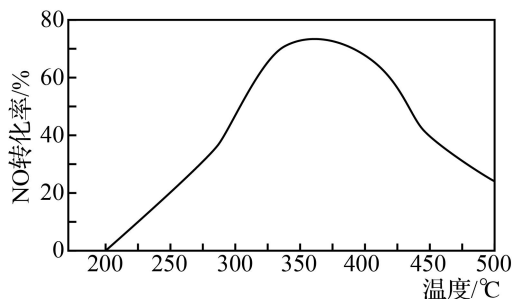


图 3

①反应温度高于 350 °C, NO 转化率下降的原因可能是_____。

②若烟气中含有 SO₂, 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) [2024 常州期末]实验室以废旧磷酸铁锂(LiFePO₄)电极粉末为原料回收 Li₂CO₃, 其实验过程如图 1。

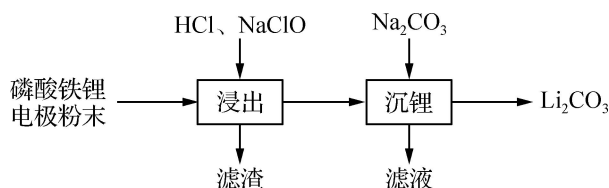


图 1

以盐酸次氯酸钠体系选择性浸出锂。将 2 g 磷酸铁锂加入三颈烧瓶中 (装置见图 2), 滴液漏斗 a 装有 0.6 mol/L 盐酸、b 中装有 0.8 mol/L NaClO 溶液。控制 25 °C, 依次将两种溶液加入三颈烧瓶, 充分反应 30 min 后, 过滤。

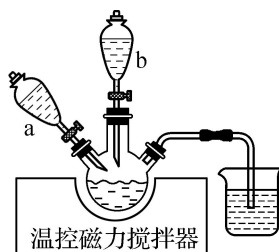


图 2

已知: 常温时, $K_{a1}(\text{H}_3\text{PO}_4)=7.5\times 10^{-3}$, $K_{a2}(\text{H}_3\text{PO}_4)=6.2\times 10^{-8}$, $K_{a3}(\text{H}_3\text{PO}_4)=2.2\times 10^{-13}$, $K_{sp}(\text{FePO}_4)=1.3\times 10^{-22}$ 。

①浸出后过滤, 所得滤渣的主要成分为 FePO₄。写出 LiFePO₄ 转化为 FePO₄ 的离子方程式:_____。

②控制原料 $n(\text{LiFePO}_4):n(\text{HCl}):n(\text{NaClO})=1:1.3:0.6$, 锂的浸出率为 95.59%。若提高盐酸用量, 可使锂浸出率达 99% 以上, 但同时可能存在的缺陷有_____。

(2) [2024 无锡期末]使用 ZnMnO₃ 脱硫剂脱除 CH₄ 或 H₂ 中的 H₂S。ZnMnO₃ 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 H₂S 的脱除。

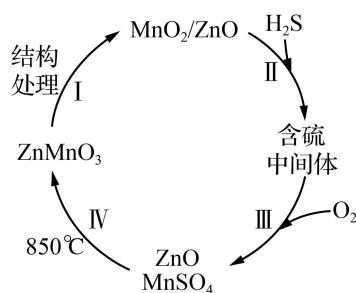


图 3

①脱除 H_2S （步骤 I、II、III，需 350°C ）的化学方程式为_____。

②中间体 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 H_2S 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 H_2O_2 、 NH_4HCO_3 、氨水、浓硝酸）或挥发（如浓硝酸、浓盐酸）或被氧化（如 Na_2SO_3 ）或促进水解（如 AlCl_3 ）。

3 冰水浴冷却的目的

(1) 使某物质液化、降低产物的溶解度。

(2) 减少其他副反应，提高产品纯度。

难点3 其他原因分析

1 浓度

(1) 根据需要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 O_2 、 H_2O ）。

(2) 抑制弱离子的水解（如 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××离子水解；防止××离子沉淀；确保××离子沉淀完全；防止××溶解等
温度不高于××℃的原因	温度过高，××物质分解（如 H_2O_2 、浓硝酸、 NH_4HCO_3 ）；××物质挥发（如浓硝酸、浓盐酸）；××物质被氧化（如 Na_2SO_3 ）；促进××物质水解（如 $AlCl_3$ ）
蒸发、反应时的气体氛围	抑制××离子的水解（如加热蒸发 $AlCl_3$ 溶液时，需在 HCl 气流中进行；加热 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 得 $MgCl_2$ 时，也需在 HCl 气流中进行）

1 [2024 南京调研]NaClO 溶液处理含氨氮废水 (pH 为 6.0~7.0)。室温下, 分别取 200 mL 预处理后的废水, 将初始 pH 调节至不同值, 加入等量 NaClO 溶液, 30 分钟后检测剩余氨氮浓度。不同初始 pH 对 NaClO 氧化脱除氨氮效果的影响如图 1 所示, 不同初始 pH 对应反应结束后的 pH 如图 2 所示。

(1) NaClO 将废水中 NH_3 氧化为无污染气体, 反应的化学方程式为 _____, 实验中 NaClO 溶液的实际投入量大于理论计算量, 其原因是 _____。

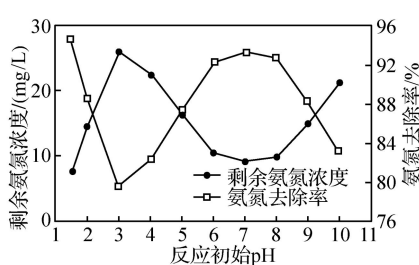


图 1

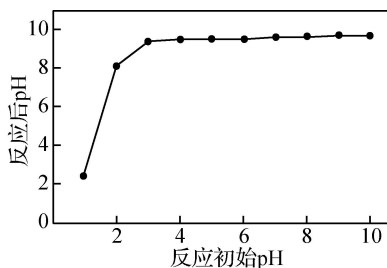


图 2

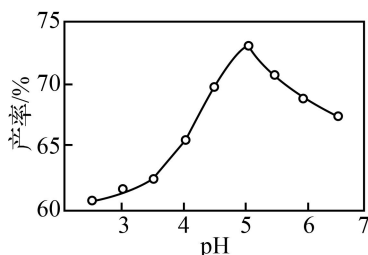
(2) 处理后的废水 pH 在 6.0~9.0 之间才能排放。NaClO 溶液处理含氨氮废水初始 pH 设置为 7.0 而不是 2.0 的原因是 _____。

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 °C 时水中的溶解度为 4.3 g。②乙二胺四乙酸 (EDTA, 用 H_4Y 表示) 是一种弱酸。

“制备 NaFeY ”, 向氧化所得的 FeCl_3 溶液中加入一定量 $\text{EDTA}(\text{H}_4\text{Y})$, 控制反应温度为 70~80 °C, 加入 NaHCO_3 溶液调节 pH 为 5, 搅拌, 直到溶液中出现少量浑浊。其中发生的反应为 $4\text{NaHCO}_3 + \text{FeCl}_3 + \text{H}_4\text{Y} \xrightarrow{70 \sim 80^\circ\text{C}} \text{NaFeY} + 3\text{NaCl} + 4\text{CO}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ 。

(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 pH 的变化如图所示。pH 过低或过高产品产率均减小的主要原因是 _____。

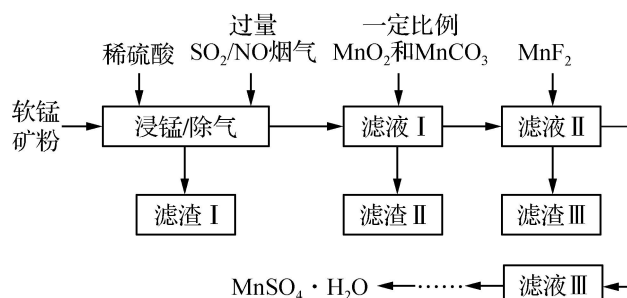


3 [2024 宿迁调研]燃煤烟气中含有大量 SO_2 和 NO 。某实验室模拟“软锰矿浆同步脱硫脱硝技术”并制备 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，部分流程如下：

已知：①软锰矿（主要成分为 MnO_2 ，另含有少量 Fe_2O_3 、 CaO 、 SiO_2 等杂质）；

② $K_{\text{sp}}(\text{MnF}_2)=1.6 \times 10^{-3}$ ； $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2)=8.0 \times 10^{-11}$ ；

③ $\text{NO} + \text{O}_3 \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{O}_2$ 。



(1) ①“浸锰”过程， SO_2 发生的主要化学方程式为_____。

②滤渣 I 的主要成分为_____（填化学式）。

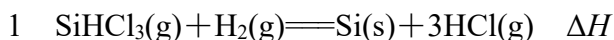
(2)“除气”过程，烟气中混入一定量 O_3 可提高 NO 脱除率，其可能的原因是_____。

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

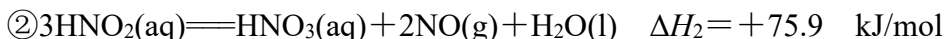


从反应前后总能量变化角度： $\Delta H =$ _____ ;

从键能的角度 (E 表示键能)： $\Delta H =$ _____。

2 $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 能在一定条件下自发进行的原因是_____。

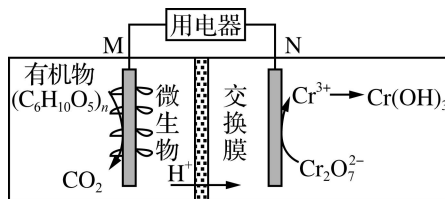
3 已知：① $2\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{HNO}_2(\text{aq}) \quad \Delta H_1 = -116.1 \text{ kJ/mol}$



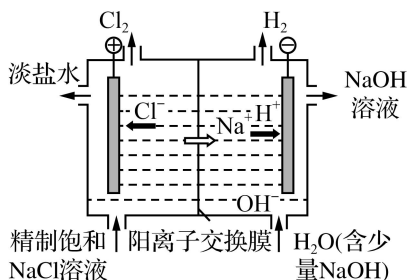
反应 $3\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NO}(\text{g})$ 的 $\Delta H =$ _____ kJ/mol 。

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 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)。

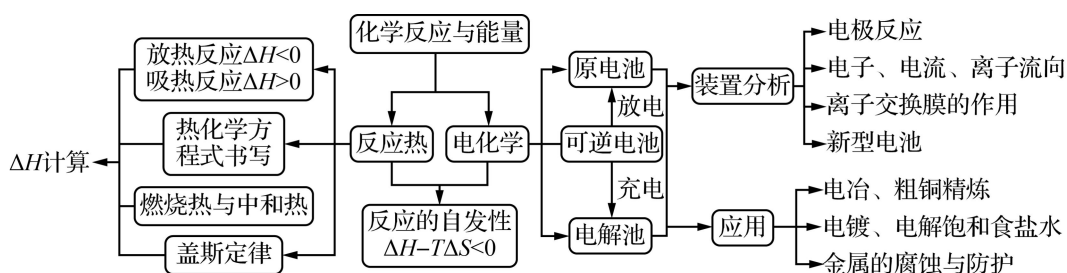


阳极：_____，

阴极：_____。

阳离子交换膜的作用：_____；_____；

_____。



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 盖斯定律的应用

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

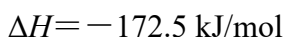
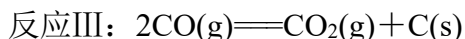
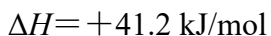
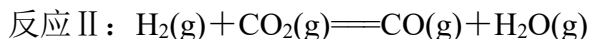
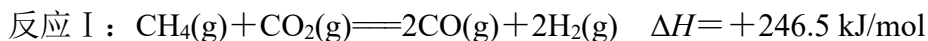
反应 IV: $2CO(g) + 2H_2O(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g) + 2H_2(g)$ $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ/mol}$

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。

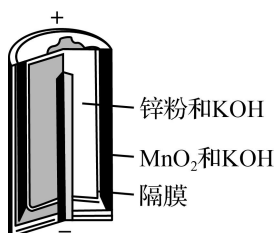
3 [2021 江苏卷] CH₄ 与 CO₂ 重整的主要反应的热化学方程式如下:



在 CH₄ 与 CO₂ 重整体系中通入适量 H₂O(g), 可减少 C(s) 的生成, 反应 $3\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{CO}(\text{g}) + 8\text{H}_2(\text{g})$ 的 ΔH = _____。

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 $\text{Zn} + 2\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{ZnO} + 2\text{MnOOH}$, 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, MnO₂ 发生氧化反应
- B. 电池工作时, 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 MnOOH, 转移电子数为 $2 \times 6.02 \times 10^{23}$

5 [2024 江苏卷] 在 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 AgCl 也能转化为 Ag 的原因是

_____。

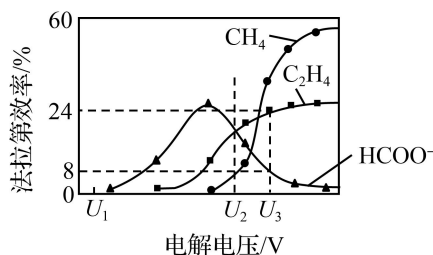
考向4 电解池的工作原理及应用

6 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： $\text{Pb}-2\text{e}^-+\text{SO}_4^{2-}=\text{PbSO}_4$

7 [2023 江苏卷]空气中 CO_2 含量的控制和 CO_2 资源利用具有重要意义。催化电解吸收 CO_2 的 KOH 溶液可将 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所示。



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

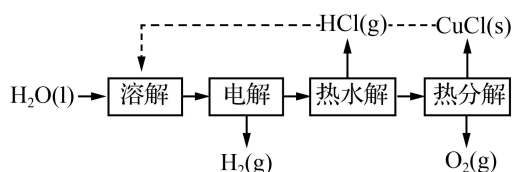
其中， $Q_X=nF$ ， n 表示电解生成还原产物 X 所转移电子的物质的量， F 表示法拉第常数。

(1) 当电解电压为 U_1 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 V 时，阴极由 HCO_3^- 生成 CH_4 的电极反应式为_____。

(3) 当电解电压为 U_3 V 时，电解生成的 C_2H_4 和 HCOO^- 的物质的量之比为多少 (写出计算过程)？

8 [2022 江苏卷]氢气是一种清洁能源,绿色环保制氢技术研究具有重要意义。“CuClH₂O 热电循环制氢”经过溶解、电解、热水解和热分解 4 个步骤,其过程如图所示。



电解在质子交换膜电解池中进行。阳极区为酸性 CuCl₂ 溶液,阴极区为盐酸,电解过程中 CuCl₂ 转化为 CuCl₄²⁻。电解时阳极发生的主要电极反应为_____ (用电极反应式表示)。

3 年模拟

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[2024 苏锡常镇一模]反应 $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ 的 $\Delta S > 0$

②C₂H₂ 的燃烧热为 1 299.6 kJ/mol。乙炔的燃烧: $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + \frac{5}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H = -1\,299.6 \text{ kJ/mol}$

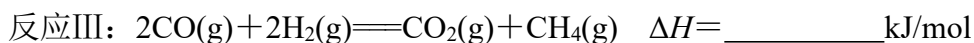
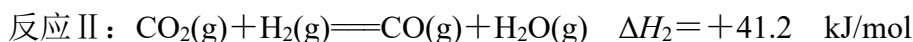
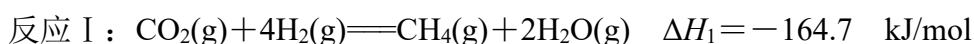
③[2024 南通六市一模]SO₂ 与 O₂ 在 400~500 °C、V₂O₅ 催化作用下反应生成 SO₃, 每生成 1 mol SO₃ 释放出 98.3 kJ 的热量, 则 $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[400\sim 500\text{ }^\circ\text{C}]{\text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3(\text{g})$ $\Delta H = -196.6 \text{ kJ/mol}$

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

2 [2024 盐城、南京期末]氨的饱和食盐水捕获 CO₂ 是 CO₂ 利用的方法之一, 反应原理如下: $\text{NaCl}(\text{aq}) + \text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NaHCO}_3(\text{s}) + \text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$ 。该反应常温下能自发进行的原因是_____。

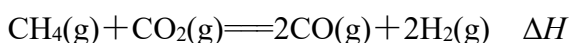
考向2 盖斯定律的应用

3 (1) [2024 苏州期初]CO₂催化加氢制CH₄是CO₂的有机资源转化途径之一。

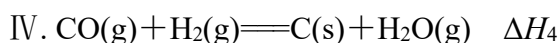
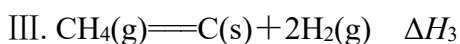
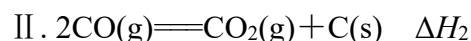
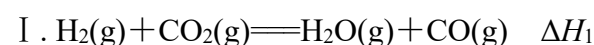


(2) [2024 南京学情调研]“碳达峰、碳中和”是我国社会发展重大战略之一。CH₄与CO₂经催化重整可制得CO和H₂,相关反应如下:

主反应:



副反应:

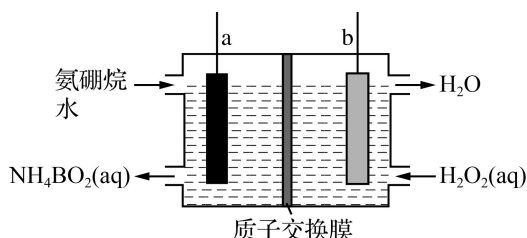


其中,副反应Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ形成的积碳易导致催化剂活性降低。

主反应的 $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

考向3 原电池的工作原理及应用

4 [2024 苏州期初]氨硼烷H₂O₂燃料电池装置如图所示,该电池在常温下即可工作,总反应为 $\text{NH}_3 \cdot \text{BH}_3 + 3\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{BO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ 。下列说法不正确的是()



A. 氨硼烷与水分子间可形成氢键,故易溶于水

B. a 电极上的反应为 $\text{NH}_3 \cdot \text{BH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{BO}_2^- + 6\text{H}^+$

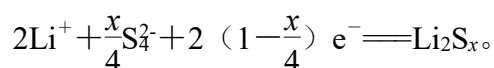
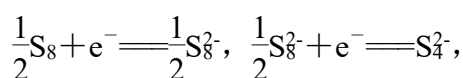
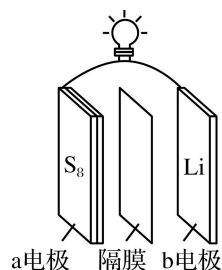
C. 放电过程中 1 mol H₂O₂ 参与反应时,转移的电子数约为 $2 \times 6.02 \times 10^{23}$

D. 其他条件不变,向H₂O₂溶液中加入适量硫酸能增大电流强度

5 [2024 南京二模]为探究铜离子浓度对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Cu²⁺浓度由0升高至15 mg/L,测得废水中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

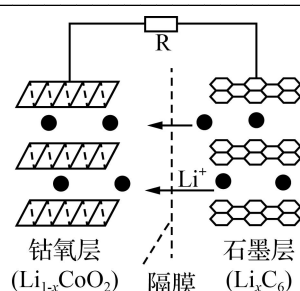
6 [2024 南京学情调研] 锂-硫电池因成本低、比能量高被寄予厚望。一种锂-硫电池的结构如图所示，硫电极采用柔性聚丙烯-石墨烯-硫复合材料。工作时，在硫电极发生反应：



下列说法正确的是()

- A. 充电时， Li^+ 从 b 电极向 a 电极迁移
- B. 放电时，外电路电子流动的方向是 a 电极 \rightarrow b 电极
- C. 放电时正极反应为 $2\text{Li}^+ + \frac{x}{8}\text{S}_8 - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}_2\text{S}_x$
- D. 石墨烯的作用是增强硫电极导电性能

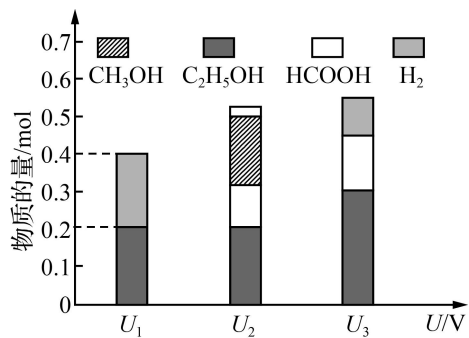
7 (1) [2024 南通、泰州等八市三模] 钴酸锂电池放电时示意图如图所示。放电时， Li^+ 从 Li_xC_6 中脱嵌。请写出放电至完全时 $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ 电极的电极反应式：_____。



(2) [2024 盐城、南京期末] 催化电解吸收 CO_2 的 KOH 溶液可将 CO_2 转化为有机物。 HCO_3^- 在阴极放电生成 CH_3COO^- 的电极反应式为_____。

(3) [2024 无锡期终调研] FeCO_3 晶体细微多孔，能集纳和释放 Li^+ ，可作为 Li^+ 电池的负极材料。以金属锂片作为阳极，将 FeCO_3 和活化剂混合压制成阴极，以 $\text{LiPF}_6/(\text{EC} + \text{DMC})$ 为电解液进行充、放电测试。放电时， FeCO_3 电极的电极反应式为_____。

8 [2024 苏州期初]电催化还原法是 CO_2 的有机资源化的研究热点。控制其他条件相同，将一定量的 CO_2 通入盛有酸性溶液的电催化装置中， CO_2 可转化为有机物，阴极所得产物及其物质的量与电压的关系如图。



- (1) 电解电压为 $U_1 \text{ V}$ 时，电解时转移电子的物质的量为_____。
- (2) 电解电压为 $U_2 \text{ V}$ 时，阴极由 CO_2 生成甲醇的电极反应式为_____。
- (3) 在实际生产中发现当 pH 过低时，有机物产率降低，可能的原因是_____。

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 ΔH 的计算

ΔH 与反应前后物质的能量	<p>放热反应</p>	<p>吸热反应</p>
	$\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$	
ΔH 与键能	$\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$	
ΔH 与活化能	$\Delta H = \text{正反应活化能} - \text{逆反应活化能}$	
ΔH 与盖斯定律	<p>$\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$</p>	

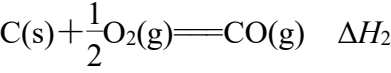
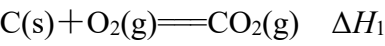
说明 1 mol 常见物质中含有的 σ 键的物质的量。

晶体硅: $\text{Si}-\text{Si}$ _____ SiO_2 : $\text{Si}-\text{O}$ _____

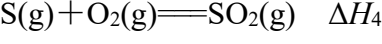
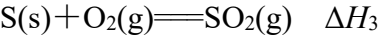
石墨: $\text{C}-\text{C}$ _____ 金刚石: $\text{C}-\text{C}$ _____

白磷(P_4): $\text{P}-\text{P}$ _____

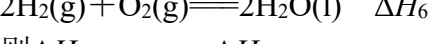
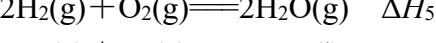
2 比较焓变的大小



则 ΔH_1 _____ ΔH_2 。

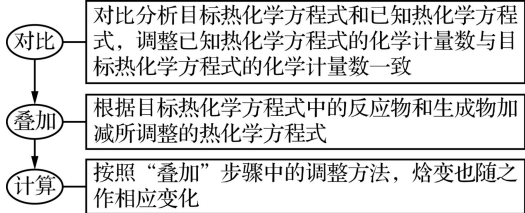


则 ΔH_3 _____ ΔH_4 。



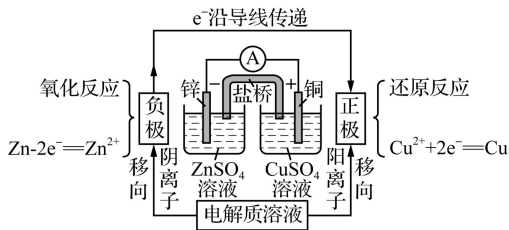
则 ΔH_5 _____ ΔH_6 。

3 根据盖斯定律计算 ΔH 的步骤和方法



核心 2 原电池原理与应用

1 原电池工作原理——以 Cu-Zn 原电池为例



2 燃料电池电极反应式的书写（以 CH₃OH 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 ⁺	总反应	2CH ₃ OH+3O ₂ =2CO ₂ +4H ₂ O
		负极反应	_____
		正极反应	_____
碱性燃料电池	OH ⁻	总反应	2CH ₃ OH+3O ₂ +4OH ⁻ =2CO ₃ ²⁻ +6H ₂ O
		负极反应	_____
		正极反应	_____
熔融碳酸盐燃料电池	CO ₃ ²⁻	总反应	2CH ₃ OH+3O ₂ =2CO ₂ +4H ₂ O
		负极反应	_____
		正极反应	_____
固态氧化物燃料电池	O ²⁻	总反应	2CH ₃ OH+3O ₂ =2CO ₂ +4H ₂ 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_2 (M: Co、Ni、Mn 等)、 LiM_2O_4 (M: Co、Ni、Mn 等)、 LiMPO_4 (M: Fe 等)

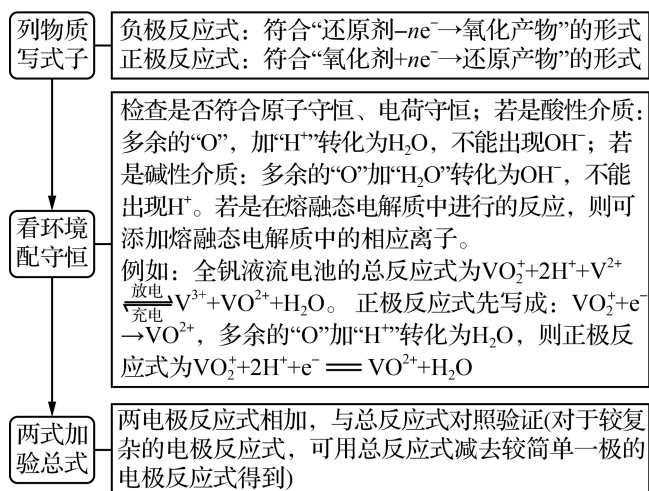
负极材料：石墨（能吸附锂原子）

总反应式： $\text{Li}_{1-x}\text{MO}_2 + \text{Li}_x\text{C}_n \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} n\text{C} + \text{LiMO}_2$

负极反应式：_____

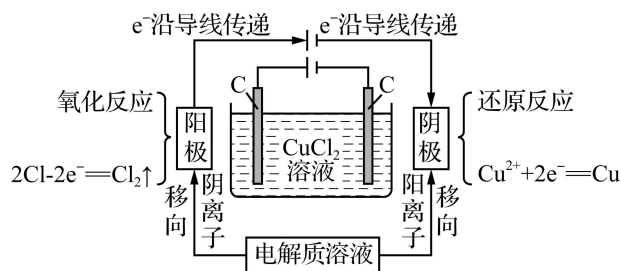
正极反应式：_____

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_2 溶液为例



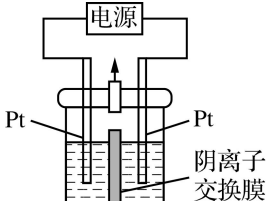
2★ 电解池电极反应式的书写

(1) 提取“信息”书写电极反应式

铝为阳极，在 H_2SO_4 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_3 溶液作电解液进行电解，生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$	阳极	_____
	阴极	_____
用惰性电极电解 K_2MnO_4 溶液得到 KMnO_4	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_2Cl_7^- 和 AlCl_4^- 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($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)、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_4 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： $3\text{I}_2 + 6\text{OH}^- = \text{IO}_3^- + 5\text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ 。

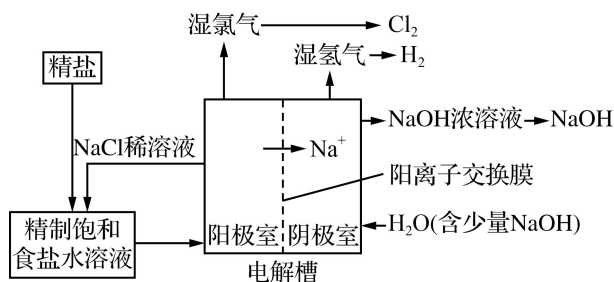
	阳极	_____
	阴极	_____

②可用氨水作为吸收液吸收工业废气中的 SO_2 ，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： $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$ 、

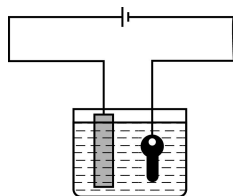
$\text{Ni} - 2\text{e}^- = \text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Cu} - 2\text{e}^- = \text{Cu}^{2+}$

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。



镀件作阴极，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 金属的电化学防护

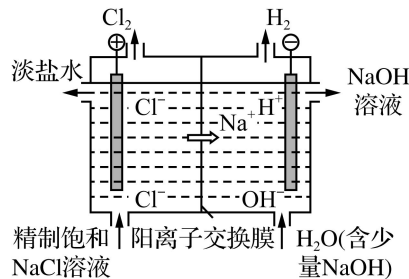
牺牲阳极法（原电池原理）：被保护金属作_____，比被保护的金属活泼的金属作_____。

外加电流法（电解原理）：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

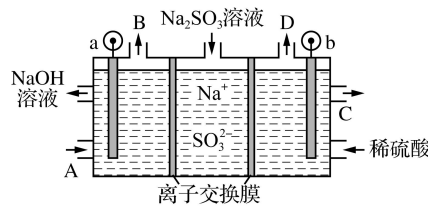
- (1) 可平衡左、右两侧电荷，得到稳定电流
- (2) 能将两极区隔离，阻止两极区产生的物质接触，防止发生化学反应



阳离子交换膜只允许 Na^+ 通过，阻止阴离子 (Cl^-) 和气体 (Cl_2) 通过。这样既防止了两极产生的 H_2 和 Cl_2 混合爆炸，又避免了 Cl_2 和阴极产生的 NaOH 反应生成 NaClO 而影响烧碱的质量。

(3) 制备某些特定产品

用 NaOH 溶液吸收烟气中的 SO_2 ，将所得的 Na_2SO_3 溶液进行电解，可循环再生 NaOH ，同时得到 H_2SO_4 ，其原理如图所示。



Na^+ (阳离子) 穿过阳离子交换膜向左池移动，左池为阴极室，a 为阴极； SO_3^{2-} (阴离子) 穿过阴离子交换膜向右池移动，右池为阳极室，b 为阳极，左池中阴极反应式为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$ ，导致阴极区域 $c(\text{OH}^-)$ 增大，阳离子交换膜可允许 Na^+ 向阴极定向移动，从而产生高浓度的 NaOH 溶液。右池中阳极反应式为 $\text{SO}_3^{2-} - 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ ，阴离子交换膜可允许 SO_3^{2-} 向阳极定向移动，在阳极区生成高浓度的硫酸。

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 NaOH 溶液吸收烟气中的 SO_2)

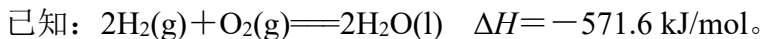
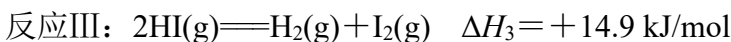
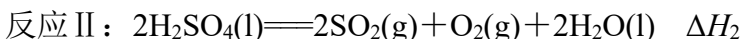
阳极室	$\text{HSO}_3^- - 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}^+$ 或 $\text{SO}_3^{2-} - 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$
吸收液 (或污水)	Na^+ 穿过阳离子交换膜进入阴极室 (左室); HSO_3^- 和 SO_3^{2-} 穿过阴离子交换膜进入阳极室 (右室)
阴极室	
产品	阳极室: 较浓硫酸; 阴极室: _____

1 下列说法不正确的是_____ (填序号)。

①[2023 南京、盐城二模]反应 $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g})$ $\Delta H < 0$, 在任何温度下都能自发进行

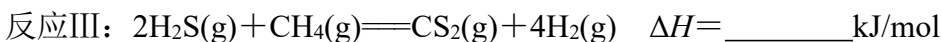
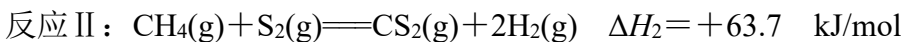
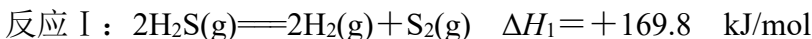
②[2024 南京、盐城一模改编]反应 $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 $\Delta S < 0$

2 (1) [2023 南通海安期末] 热化学硫碘循环分解水是一种高效、无污染的制氢方法。其反应过程如下:

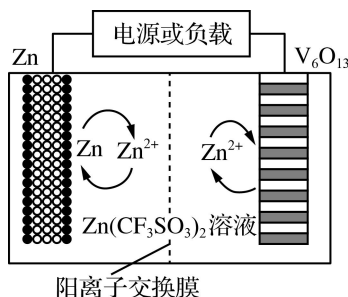


则反应 II 的 $\Delta H_2 =$ _____ kJ/mol 。

(2) [2024 苏锡常镇一调] 采用热分解法脱除沼气中的 H_2S 过程中涉及的主要反应如下:

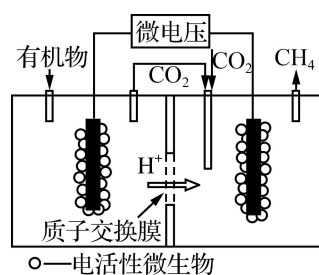


3 [2024 南京、盐城一模] 一种以钒基氧化物(V_6O_{13})为正极材料的水系锌离子电池的工作原理如图所示。通过使用孔径大小合适且分布均匀的新型离子交换膜, 可提高离子传输通量的均匀性, 从而保持电池的稳定性。下列说法正确的是()



- A. 放电过程中, Zn^{2+} 向 Zn 极一侧移动
- B. 放电过程中, 电子由 Zn 极经电解质溶液向 V_6O_{13} 极移动
- C. 充电时, V_6O_{13} 极与外接直流电源正极相连
- D. 充电时, 阳极发生的电极反应可能为 $\text{V}_6\text{O}_{13} + x\text{Zn}^{2+} + 2\text{xe}^- \rightleftharpoons \text{Zn}_x\text{V}_6\text{O}_{13}$

4 [2023 常州期末]近年来,生物电催化技术运用微生物电解池实现了 CO_2 的甲烷化,其工作原理如图所示。



(1) 阴极反应式为_____。

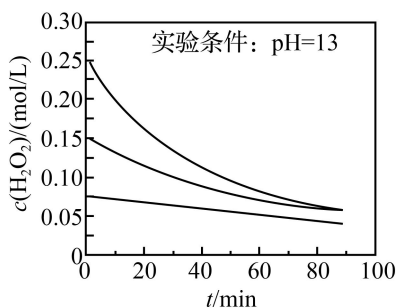
(2) 如果处理有机物 $[(\text{CH}_2\text{O})_n]$ 产生标准状况下 112 m^3 的 CH_4 , 则理论上导线中通过的电子的物质的量为_____。

微主题 5 化学反应速率与化学平衡

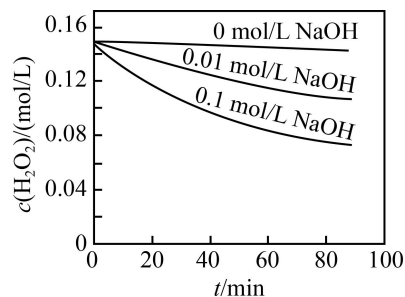
基础回归

课前热身，激活思维

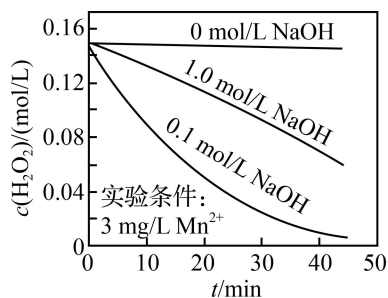
1 H_2O_2 分解速率受多种因素影响。实验测得 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 时不同条件下 H_2O_2 浓度随时间的变化如图所示。下列说法正确的是()



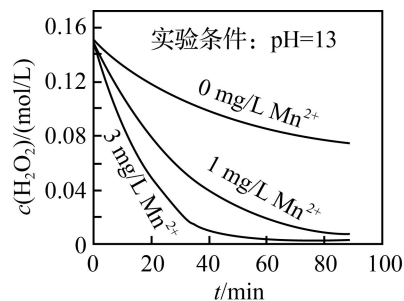
甲



乙



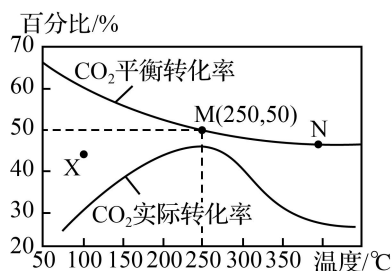
丙



丁

- A. 图甲表明，其他条件相同时， H_2O_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， H_2O_2 分解速率越快
- C. 图丙表明，少量 Mn^{2+} 存在时，溶液碱性越强， H_2O_2 分解速率越快
- D. 图丙和图丁表明，碱性溶液中， Mn^{2+} 对 H_2O_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 CO_2 平衡转化率和 CO_2 实际转化率的影响关系如图所示。



(1) 相同温度下， CO_2 实际转化率为什么小于平衡转化率？ CO_2 实际转化率受哪些因素影响？

(2) 250 °C 时， CO_2 实际转化率达到最高，反应_____（填“已”或“未”）达到平衡。

(3) CO_2 实际转化率随温度升高先升高后降低的原因是_____

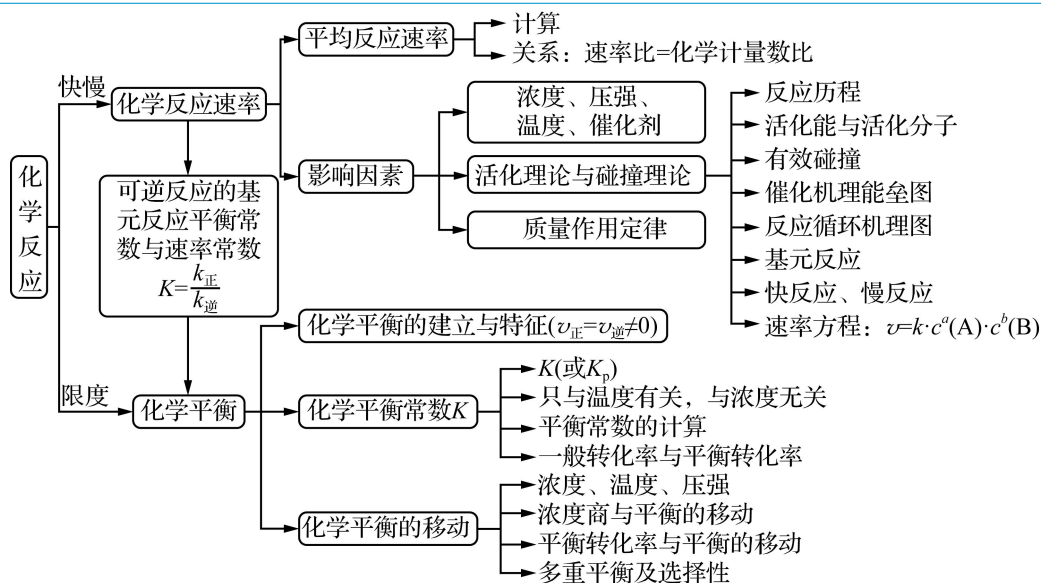
_____。

(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 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

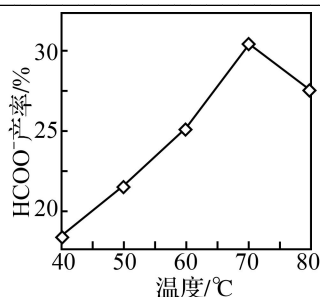
化散为整，融会贯通



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

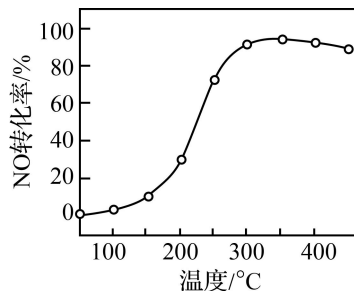
1 [2024 江苏卷] 反应 $\text{H}_2 + \text{HCO}_3^- \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{HCOO}^- + \text{H}_2\text{O}$ 可用于储氢。密闭容器中，其他条件不变，向含有催化剂的 $0.1 \text{ mol/L NaHCO}_3$ 溶液中通入 H_2 ， HCOO^- 产率随温度变化如图所示。温度高于 70°C ， HCOO^- 产率下降的可能原因是_____。



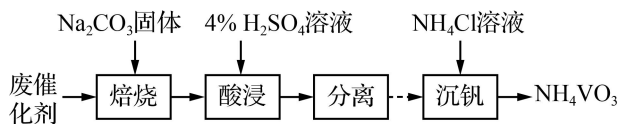
2 [2023 江苏卷] $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$ 催化剂能催化 NH_3 脱除烟气中 NO ，反应为 $4\text{NH}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{NO}(\text{g}) = 4\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H = -1\,632.4 \text{ kJ/mol}$ 。

(1) 催化剂的应用。将一定物质的量浓度的 NO 、 O_2 、 NH_3 （其余为 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 NO 的转化率随温度的变化如图所示。反应温度在 $320\sim 360^\circ\text{C}$ 内， NO 转化率随温度变化不明显的原因是_____；

反应温度高于 380°C ， NO 转化率下降，除因为进入反应器的 NO 被还原的量减少外，还有_____（用化学方程式表示）。

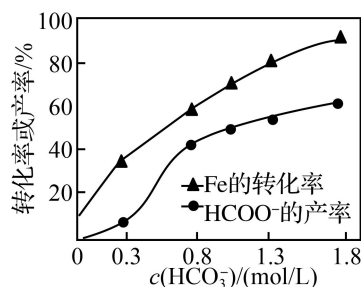


(2) 废催化剂的回收。回收 $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$ 废催化剂并制备 NH_4VO_3 的过程可表示如图：

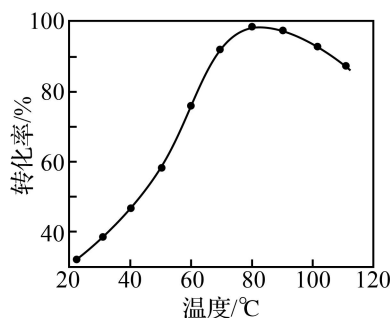


酸浸时，加料完成后，以一定速率搅拌反应。提高钒元素浸出率的方法还有_____。

3 [2022 江苏卷]氢气是一种清洁能源，绿色环保制氢技术研究具有重要意义。“Fe-HCO₃⁻-H₂O 热循环制氢和甲酸”的原理：在密闭容器中，铁粉与吸收 CO₂ 制得的 NaHCO₃ 溶液反应，生成 H₂、HCOONa 和 Fe₃O₄；Fe₃O₄ 再经生物柴油副产品转化为 Fe。反应初期有 FeCO₃ 生成并放出 H₂，随着反应进行，FeCO₃ 迅速转化为活性 Fe₃O_{4-x}，活性 Fe₃O_{4-x} 是 HCO₃⁻ 转化为 HCOO⁻ 的催化剂。在其他条件相同时，测得 Fe 的转化率、HCOO⁻ 的产率随 $c(\text{HCO}_3^-)$ 变化如图所示。HCOO⁻ 的产率随 $c(\text{HCO}_3^-)$ 增加而增大的可能原因是_____。

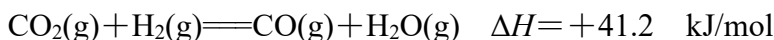
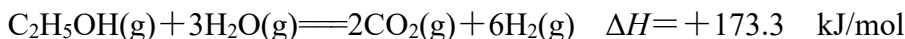


4 [2020 江苏卷]CO₂/HCOOH 循环在氢能的贮存/释放、燃料电池等方面具有重要应用。在密闭容器中，向含有催化剂的 KHCO₃ 溶液（CO₂ 与 KOH 溶液反应制得）中通入 H₂ 生成 HCOO⁻，其离子方程式：_____；其他条件不变，HCO₃⁻ 转化为 HCOO⁻ 的转化率随温度的变化如图所示。反应温度在 40~80 °C 内，HCO₃⁻ 催化加氢的转化率迅速上升，其主要原因是_____。

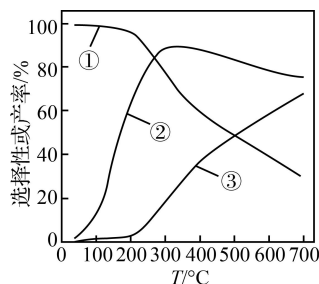


考向2 多重平衡体系分析

5 [2022 江苏卷]乙醇水催化重整可获得 H_2 。其主要反应如下:



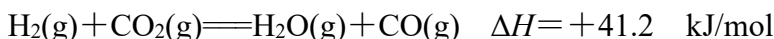
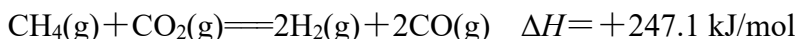
在 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $n_{\text{始}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) : n_{\text{始}}(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 3$ 时,若仅考虑上述反应,平衡时 CO_2 和 CO 的选择性及 H_2 的产率随温度的变化如图所示。



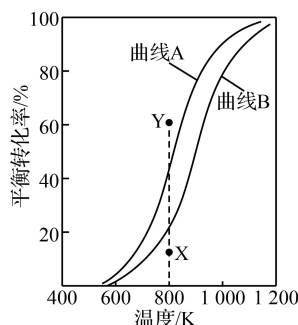
CO 的选择性 = $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CO})}{n_{\text{生成}}(\text{CO}_2) + n_{\text{生成}}(\text{CO})} \times 100\%$ 。下列说法正确的是()

- A. 图中曲线①表示平衡时 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 H_2 产率

6 [2020 江苏卷改编] CH_4 与 CO_2 重整生成 H_2 和 CO 的过程中主要发生下列反应:



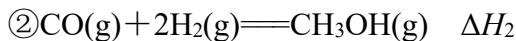
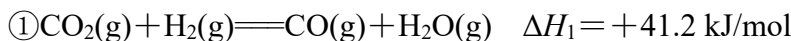
在恒压、反应物起始物质的量比 $n(\text{CH}_4) : n(\text{CO}_2) = 1 : 1$ 条件下, CH_4 和 CO_2 的平衡转化率随温度变化的曲线如图所示。下列有关说法正确的是()



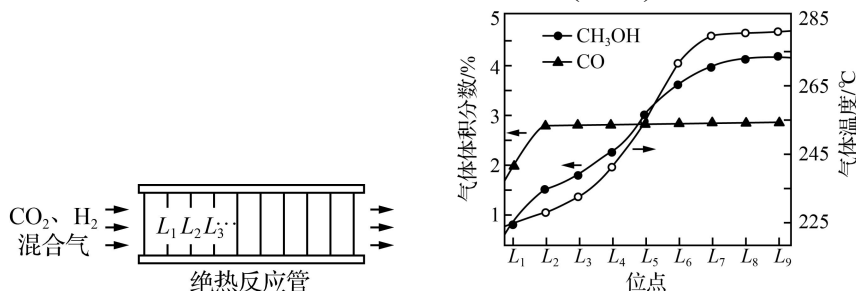
- A. 升高温度、增大压强均有利于提高 CH_4 的平衡转化率
- B. 曲线 A 表示 CH_4 的平衡转化率随温度的变化
- C. 相同条件下,改用高效催化剂能使曲线 A 和曲线 B 相重叠
- D. 恒压、800 K、 $n(\text{CH}_4) : n(\text{CO}_2) = 1 : 1$ 条件下,反应至 CH_4 转化率达到 X 点的值,改变除温度外的特定条件继续反应, CH_4 转化率能达到 Y 点的值

考向3 化学平衡和反应速率叠加

7 [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:



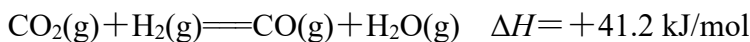
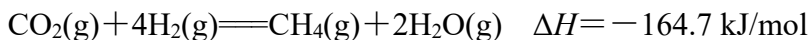
225 °C、 $8 \times 10^6 \text{ Pa}$ 下, 将一定比例 CO_2 、 H_2 混合气匀速通过装有催化剂的绝热反应管。装置及 L_1 、 L_2 、 $L_3 \cdots$ 位点处(相邻位点距离相同)的气体温度、 CO 和 CH_3OH 的体积分数如图所示。下列说法正确的是()



(容器内与外界没有热量交换)

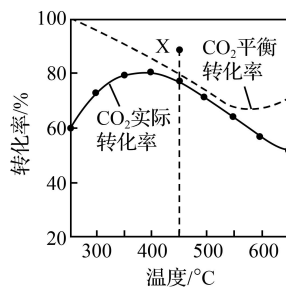
- A. L_4 处与 L_5 处反应①的平衡常数 K 相等
- B. 反应②的焓变 $\Delta H_2 > 0$
- C. L_6 处的 H_2O 的体积分数大于 L_5 处
- D. 混合气从起始到通过 L_1 处, CO 的生成速率小于 CH_3OH 的生成速率

8 [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, CO_2 平衡转化率、在催化剂作用下反应相同时间所测得的 CO_2 实际转化率随温度的变化如图所示。

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()



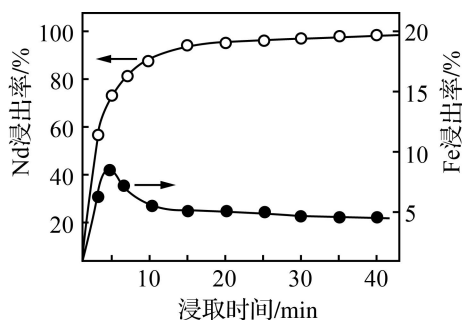
- A. 反应 $2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{CH}_4(\text{g})$ 的 $\Delta H = -205.9 \text{ kJ/mol}$
- B. CH_4 的平衡选择性随着温度的升高而增大
- C. 用该催化剂催化二氧化碳反应的最佳温度范围约为 480~530 °C
- D. 450 °C 时, 提高 $\frac{n_{\text{起始}}(\text{H}_2)}{n_{\text{起始}}(\text{CO}_2)}$ 的值或增大压强, 均能使 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

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钕和光学材料氧化钕。

(1) 钕铁硼在空气中焙烧转化为 Nd_2O_3 、 Fe_2O_3 等(忽略硼的化合物),用 0.4 mol/L 盐酸酸浸后过滤得到 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。

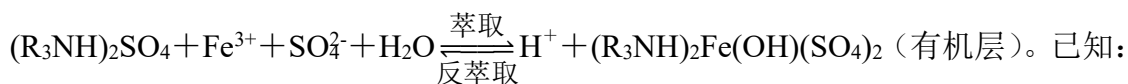


①含铁滤渣的主要成分为_____ (填化学式)。

②浸出初期 Fe 浸出率先上升后下降的原因是_____

_____。

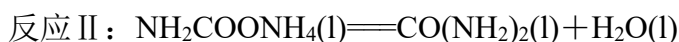
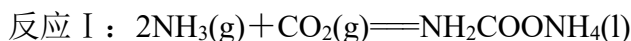
(2) 含铁滤渣用硫酸溶解,经萃取、反萃取提纯后,用于制备铁酸钕。用含有机胺(R_3N)的有机溶剂作为萃取剂提纯一定浓度的 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液,原理为



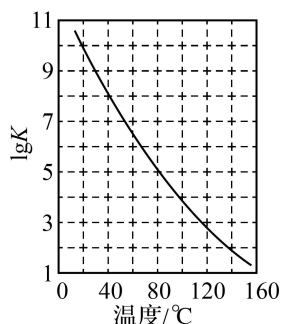
已知: $(\text{R}_3\text{NH})_2\text{SO}_4 + \text{H}^+ + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons 2(\text{R}_3\text{NH} \cdot \text{HSO}_4)$ 。其他条件不变,水层初始 pH 在 $0.2 \sim 0.8$ 内,随水层 pH 增大,有机层中 Fe 元素含量迅速增多的原因是_____

_____。

10 [2023 江苏卷]合成尿素[CO(NH₂)₂]是利用 CO₂ 的途径之一。尿素合成主要通过下列反应实现:

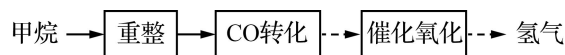


(1) 密闭体系中反应 I 的平衡常数 K 与温度的关系如图, 反应 I 的 ΔH (填 “=” “>” 或 “<”) 0。

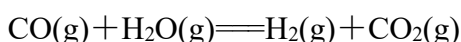
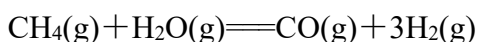


(2) 反应体系中除发生反应 I、反应 II 外, 还发生尿素水解、尿素缩合生成缩二脲[(NH₂CO)₂NH]和尿素转化为氰酸铵(NH₄OCN)等副反应。尿素生产中实际投入 NH₃ 和 CO₂ 的物质的量之比为 $n(\text{NH}_3):n(\text{CO}_2)=4:1$, 其实际投料比值远大于理论值的原因是_____。

11 [2021 江苏卷]甲烷是重要的资源, 通过下列过程可实现由甲烷到氢气的转化。



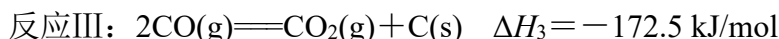
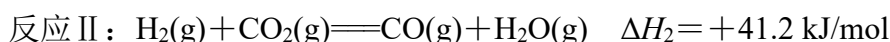
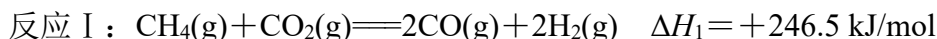
(1) 500 °C 时, CH₄ 与 H₂O 重整主要发生下列反应:



已知: $\text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s}) \quad \Delta H = -178.8 \text{ kJ/mol}$ 。

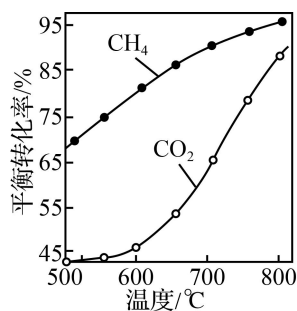
向重整反应体系中加入适量多孔 CaO, 其优点是_____。

(2) CH₄ 与 CO₂ 重整的主要反应如下:



1.01 × 10⁵ Pa 下, 将 $\frac{n_{\text{起始}}(\text{CO}_2)}{n_{\text{起始}}(\text{CH}_4)} = 1$ 的混合气体置于密闭容器中, 不同温度下重

整体系中 CH₄ 和 CO₂ 的平衡转化率如图所示。800 °C 下 CO₂ 平衡转化率远大于 600 °C 下 CO₂ 平衡转化率, 其原因是_____。



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 (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， NH_3 的浓度越高，缩二脲生成速率越慢，其原因是_____。

(2) [2024 南通、泰州等八市三模] 将废旧锂离子电池（外壳为铁，电芯含铝）置于不同浓度的 Na_2S 和 NaCl 溶液中使电池充分放电是电池回收工艺的首要步骤。电池在不同溶液中放电的残余电压随时间的变化如图 1 所示。对浸泡液中沉淀物热处理后，得到 XRD 示意图谱如图 2 所示。

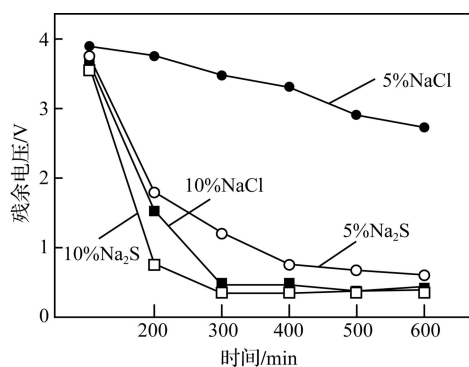


图 1

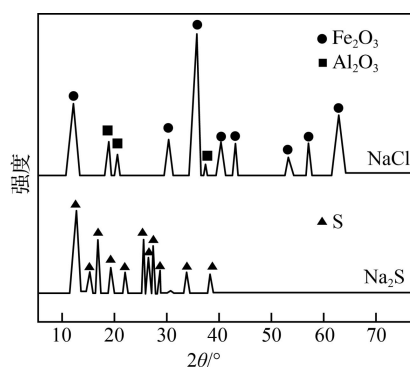
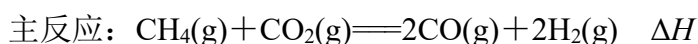


图 2

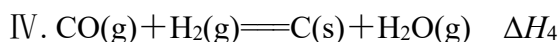
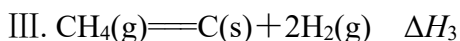
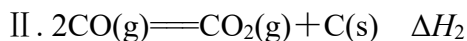
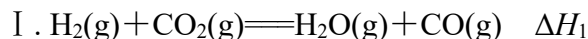
① 电池在 5% Na_2S 溶液中比在 5% NaCl 溶液中放电速率更大，其原因是_____。

② 与 Na_2S 溶液相比， NaCl 溶液的溶质质量分数由 5% 增大至 10% 时，电池残余电压降低速率更快。依据图 2 XRD 图谱，分析其主要原因：_____。

2 [2024 南京调研] “碳达峰、碳中和”是我国社会发展重大战略之一。 CH_4 与 CO_2 经催化重整可制得 CO 和 H_2 ，相关反应如下：



副反应：



其中，副反应 II、III、IV 形成的积碳易导致催化剂活性降低。

(1) CH_4 的还原能力(R)可衡量 CO_2 转化效率， $R = \frac{\Delta n(\text{CO}_2)}{\Delta n(\text{CH}_4)}$ （同一时段内 CO_2 与 CH_4 的物质的量变化量之比）。常压下，将 CH_4 和 CO_2 按物质的量之比 1:3 投料，反应相同时间， CH_4 和 CO_2 的转化率随温度变化如图 1 所示。

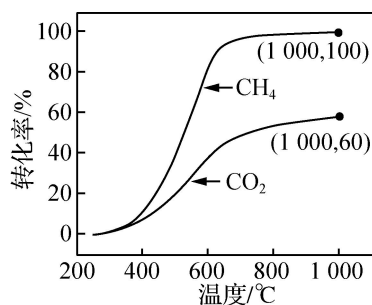


图 1

① CH_4 的转化率在 800 °C 时远大于 400 °C 时的原因是_____。

② 400~600 °C 时， R 值的变化情况为_____。

③ 1000 °C 时 R 值为_____（写出计算过程）。

(2) CH_4 在 PtNi 合金或 SnNi 合金催化下脱氢反应历程与相对能量关系如图 2 所示（*表示吸附在催化剂表面的物质）。从化学反应速率角度分析，脱氢反应选择的催化剂为_____（填“PtNi 合金”或“SnNi 合金”），理由是_____。

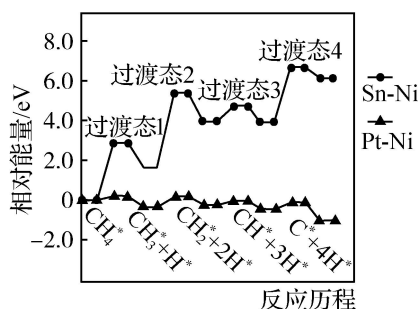
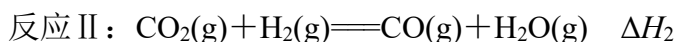
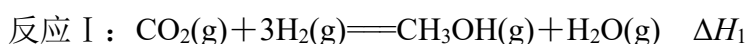


图 2

考向 2 多重平衡体系分析

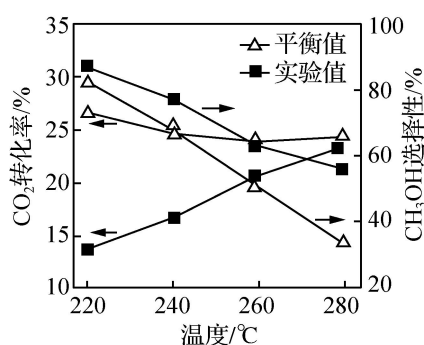
3 [2024 盐城考前模拟] CO_2 催化加氢合成 CH_3OH 能实现碳的循环利用。一定压强下, 1 mol CO_2 与 3 mol H_2 在密闭容器中发生的主要反应如下:



反应相同时间, 测得不同温度下 CO_2 转化率和 CH_3OH 选择性如图实验值所示。图中平衡值表示在相同条件下达到平衡状态时 CO_2 转化率和 CH_3OH 选择性

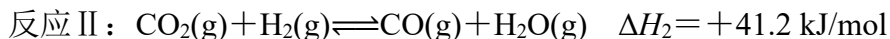
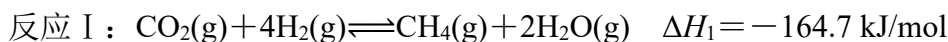
随温度的变化 [CH_3OH 选择性 = $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CH}_3\text{OH})}{n_{\text{消耗}}(\text{CO}_2)} \times 100\%$]。下列说法不正确的是

()

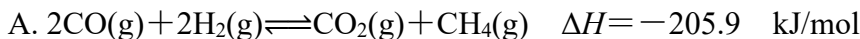
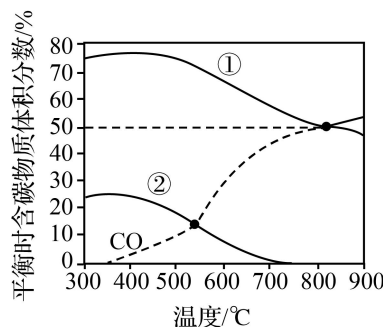


- A. 该测定实验体系未达到化学平衡状态
- B. 相同条件下, 压缩容器容积能提高 CO_2 转化率的实验值
- C. 相同温度下, CH_3OH 选择性的实验值大于平衡值, 说明反应 I 的速率大于反应 II
- D. 260~280 °C, CO_2 转化率平衡值随温度升高而增大, 说明随温度升高反应 I 平衡正向移动的程度大于反应 II 平衡逆向移动的程度

4 [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()



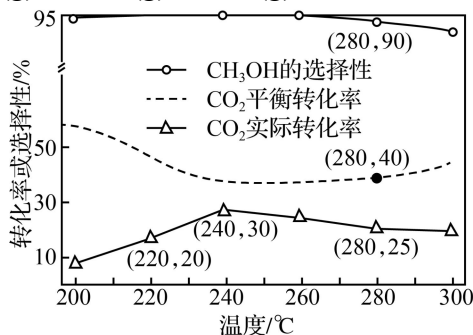
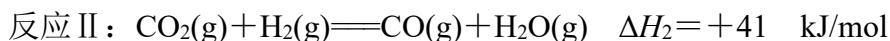
B. 曲线①表示平衡时 CH_4 的体积分数随温度的变化

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 $200 \sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$ 时， CO_2 在平衡体系中的分压保持不变

考向 3 化学平衡和反应速率叠加

5 [2024 南通、泰州等八市三模] CH_3OH 是一种液体燃料。利用 CO_2 和 H_2 合成 CH_3OH 的主要反应为



在密闭容器中， $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $n_{\text{起始}}(\text{CO}_2) : n_{\text{起始}}(\text{H}_2) = 1 : 2$ 时， CO_2 平衡转化率、在催化剂作用下反应 $t \text{ min}$ 所测得的 CO_2 实际转化率及 CH_3OH 的选择性随温度的变化如图所示。

CH_3OH 的选择性可表示为 $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CH}_3\text{OH})}{n_{\text{生成}}(\text{CH}_3\text{OH}) + n_{\text{生成}}(\text{CO})} \times 100\%$ 。

下列说法不正确的是()

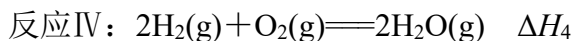
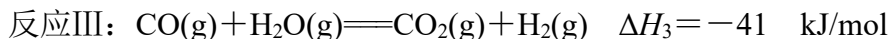
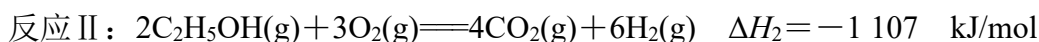
A. $0 \sim t \text{ min}$ 内， $240 \text{ }^\circ\text{C}$ 下反应 I 的速率比在 $280 \text{ }^\circ\text{C}$ 下的大

B. 从 $220 \sim 280 \text{ }^\circ\text{C}$ ， H_2O 的平衡产率先增大后缓慢减小

C. $280 \text{ }^\circ\text{C}$ 时增大压强， CO_2 的转化率可能大于 40%

D. 需研发低温下 CO_2 转化率高和 CH_3OH 选择性高的催化剂

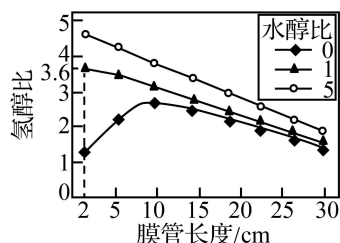
6 [2024 南京二模]利用管状透氧膜反应器实现乙醇水重整制氢,具有无需额外热源、氧气可协助消除积碳等优点。其主要反应如下:



一定温度下,将一定比例的 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 H_2O 、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 cm 后,氢醇比下降的原因可能为 O_2 氧化 H_2

C. 水醇比为 1、管长度为 2 cm,若 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 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

7 [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 PdC_2N 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 C_3H_8)。

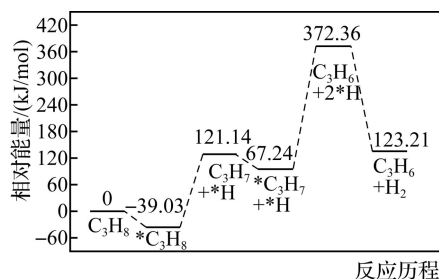


图 1

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 PdC_2N 催化剂外,还需控制反应温度在 $480\text{ }^\circ\text{C}$ 。选择温度为 $480\text{ }^\circ\text{C}$ 的原因是_____。

(2) CO_2 氧化丙烷脱氢

$600\text{ }^\circ\text{C}$ 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 C_3H_8 转化率和 C_3H_6 选择性 [C_3H_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。

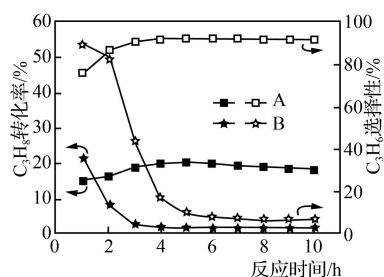
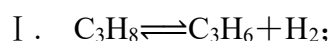


图 2

①随着反应的进行,4 h 前 A 组分原料气中 C_3H_8 转化率和 C_3H_6 选择性均有所提升,且在反应床出口检测到 CO 。研究表明, 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_____

_____。

8 [2024 盐城考前模拟]氢能是应用前景广阔的新能源。

(1) 储氢。研究发现,使用 Ru 系催化剂时, N_2 在催化剂表面的吸附活化是整个反应过程的控速步骤,实际工业生产时,将 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{N}_2)}$ 控制在 1.8~2.2 之间,比理论值 3 小,其原因是_____。

(2) 释氢。 MgH_2 可通过热分解和水解两种方法制得 H_2 。相较于热分解,从物质转化和能量利用的角度分析, MgH_2 水解释氢方法的优点有_____。

(3) 储氢物质 NH_3 的运用。 NH_3 常用于烟气(主要成分 NO 、 NO_2)脱硝。以 N_2 为载气,将含一定量 NO 、 NH_3 及 O_2 的模拟烟气以一定流速通过装有催化剂 CeO_2 的反应管,研究温度、 $\text{SO}_2(\text{g})$ 、 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 对脱硝反应的影响。

①如图 1 所示,温度高于 350 $^\circ\text{C}$ 时, NO 转化率下降,推测原因是_____。

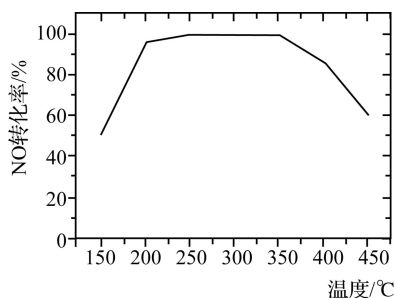


图 1

②如图 2 所示,温度高于 350 $^\circ\text{C}$ 时,和不含水蒸气的烟气相比,含 10%水蒸气的烟气的 NO 转化率更高,其原因是_____。

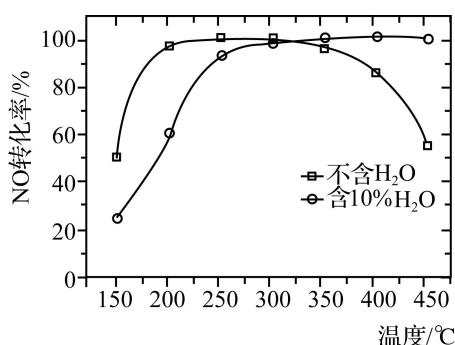


图 2

③实验证明,烟气中含 SO_2 会导致催化剂不可逆的中毒(Ce^{4+} 氧化 SO_2 生成 SO_4 覆盖在生成的 Ce^{3+} 表面,阻止了 O_2 氧化 Ce^{3+})。而添加 CuO 后抗硫能力显著增强,请结合图 3 机理,说明抗硫能力增强的原因:_____。

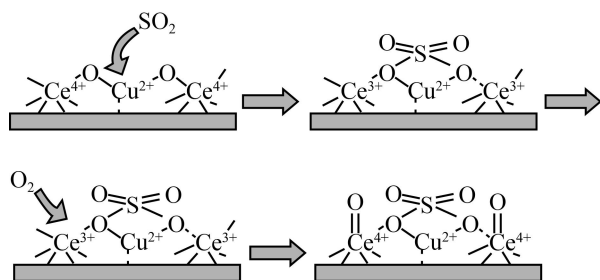


图 3

核心串讲

勤总结，抓重点

核心 1 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
	降低温度		向放热反应方向移动
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。

平衡正向移动： $Q < K$ ；达到平衡状态： $Q = K$ ；平衡逆向移动： $Q > K$ 。

核心 2 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 H^+ 和 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 H^+ 反应，金属离子与 OH^- 反应等。

例 1

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 HCrO_4^- 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 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

①pH 越大，溶液中 H^+ 浓度_____（填“减小”或“增大”，下同）， OH^- 浓度_____。

②由溶液中 H^+ 浓度和 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， OH^- 浓度增大会竞争吸附，导致含铬微粒吸附量变少。

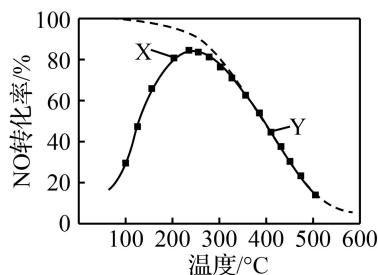
b. Cr(VI) 主要以 HCrO_4^- 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 CrO_4^{2-} 形式存在，存在反应 $\text{HCrO}_4^- \rightleftharpoons \text{CrO}_4^{2-} + \text{H}^+$ 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ 。pH 增大，两反应均正向进行， CrO_4^{2-} 浓度变大。带相同电荷时， CrO_4^{2-} 中 Cr 含量_____（填“高于”或“低于”）其他两种微粒（ 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：_____。

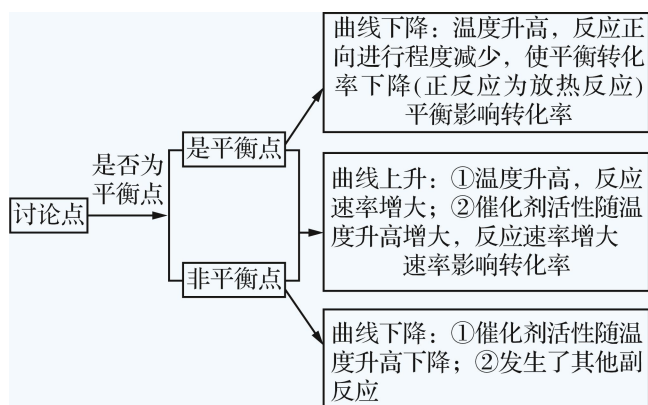
2 温度、浓度对去除率的影响

例 2 在恒压、 NO 和 O_2 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_2 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_____。



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_x 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 3 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。

(1) 若主反应的生成物又与主反应的某一反应物发生另一个可逆反应, 则该反应物的平衡转化率就会增大。

(2) 在一定温度下, 特定的混合体系, 多重平衡选择性为定值, 催化剂不能提高某一物质的平衡转化率, 也不能提高某一物质的平衡选择性。

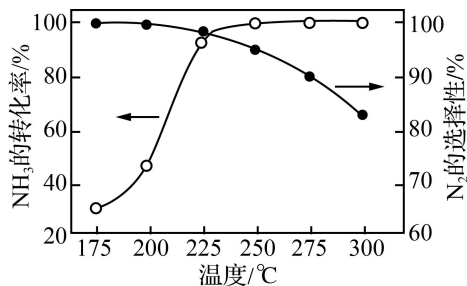
(3) 若在同一条件下, 两种物质同时可以发生几个可逆反应, 则温度、浓度、催化剂等的选用就可以通过改变某一个反应的速率, 从而使该反应的选择性提高或降低。

(4) 多重平衡体系中, 若两种物质的选择性之和等于 100%, 则二者的选择性变化曲线呈镜像对称, 反之亦成立。

例 3 [2021 江苏卷] NH_3 与 O_2 作用分别生成 N_2 、 NO 、 N_2O 的反应均为放热反应。工业尾气中的 NH_3 可通过催化氧化为 N_2 除去。将一定比例 NH_3 、 O_2 和 N_2 的混合气体以一定流速通过装有催化剂的反应管, NH_3 的转化率、 N_2 的选择性

$$\left[\frac{2n_{\text{生成}}(\text{N}_2)}{n_{\text{总转化}}(\text{NH}_3)} \times 100\% \right]$$

与温度的关系如图。



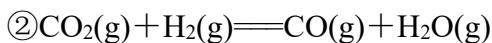
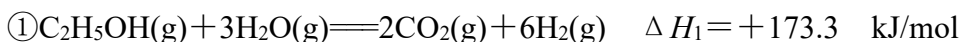
思维建模

①上图实际是两个图的叠加。图中纵坐标的转化率不是平衡转化率。 NH_3 与 O_2 作用分别生成 N_2 、 NO 、 N_2O 的三个反应均为放热反应。达到平衡之前, 升高温度, NH_3 的转化率增大。当达到平衡之后, 升高温度, 反应正向进行的程度减小, NH_3 的平衡转化率减小。

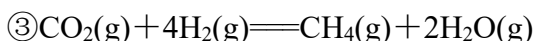
②由图可知, 其他条件不变, 在 $175 \sim 300\text{ }^\circ\text{C}$ 内, 随温度的升高, N_2 的选择性减小。

③由图可知, 低温下 NH_3 的转化率较低, N_2 的选择性较高。若要高效除去尾气中的 NH_3 , 则需研发低温下 NH_3 转化率高和 N_2 选择性高的催化剂。

1 [2024 盐城、南京期末]乙醇水催化重整可获得 H_2 。其主要反应如下：

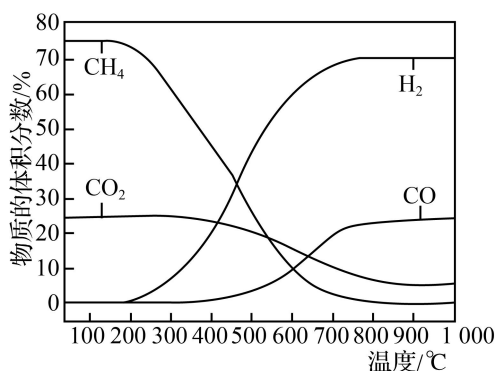


$\Delta H_2 = +41.2 \text{ kJ/mol}$



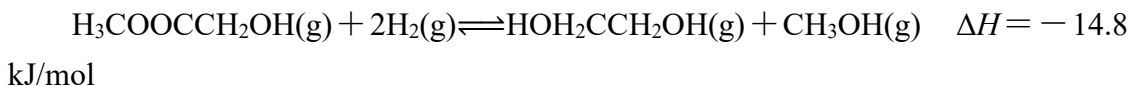
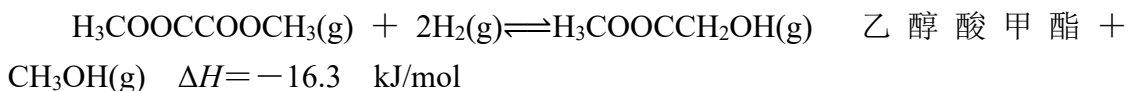
$\Delta H_3 = -164.7 \text{ kJ/mol}$

在密闭容器中， $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、起始 $\frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{H}_2\text{O})} = 1:3$ 时，若仅考虑上述反应，平衡时 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2 的体积分数随温度的变化如图所示。下列说法正确的是()

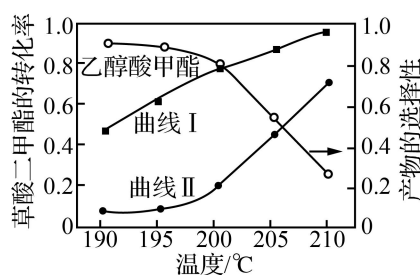


- A. 一定温度下，增大 $\frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{H}_2\text{O})}$ 可提高乙醇平衡转化率
- B. 反应 $\text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 $\Delta H = -123.5 \text{ kJ/mol}$
- C. 研发高效催化剂可提高 H_2 的平衡产率
- D. 控制反应的最佳温度约为 800°C

2 [2023 苏锡常镇二调]用 $\text{H}_3\text{COOCCOOCH}_3$ (草酸二甲酯) 和氢气为原料制备乙二醇的反应原理如下:



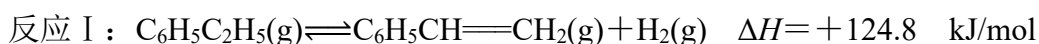
在 2 MPa 条件下, 将氢气和草酸二甲酯体积比 (氢酯比) 为 80:1 的混合气体以一定流速通过装有催化剂的反应管, 草酸二甲酯的转化率、产物的选择性与温度的关系如图所示。产物的选择性 = $\frac{n_{\text{生成}}(\text{乙醇酸甲酯或乙二醇})}{n_{\text{反应}}(\text{草酸二甲酯})} \times 100\%$ 。下列说法正确的是()



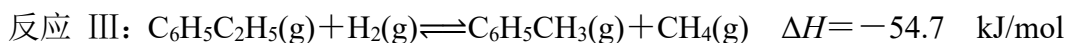
- A. 曲线 I 表示乙二醇的选择性随温度的变化
- B. 其他条件不变, 增大压强或升高温度, 草酸二甲酯的平衡转化率均增大
- C. 其他条件不变, 在 190~195 °C 内, 随着温度升高, 出口处乙醇酸甲酯的量不断减小

D. 其他条件不变, 在 190~210 °C 内, 随着温度升高, 出口处甲醇和乙二醇的物质的量之比 $\left[\frac{n(\text{CH}_3\text{OH})}{n(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH})} \right]$ 减小

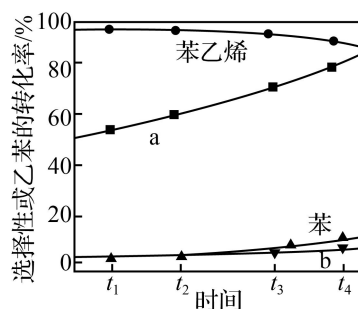
3 [2024 南通如皋适应性考试二] 苯乙烯是制备高分子的原料。乙苯脱氢制苯乙烯的反应如下：



制备过程中会发生如下两个副反应：



在 913 K、100 kPa 下，将质量比为 1 : 1.3 的水蒸气和乙苯在催化剂作用下反应，测得乙苯的转化率和苯乙烯、苯、甲苯的选择性与时间的关系如图所示。



$$\text{苯乙烯的选择性} = \frac{n(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2)}{n_{\text{转化}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5)} \times 100\%$$

$$\text{苯的选择性} = \frac{n(\text{C}_6\text{H}_6)}{n_{\text{转化}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5)} \times 100\%$$

$$\text{甲苯的选择性} = \frac{n(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3)}{n_{\text{转化}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5)} \times 100\%$$

下列说法不正确的是()

- A. 曲线 a 表示乙苯的转化率
- B. $t_1 \sim t_4$ 时，所得 H_2 的物质的量逐渐减少
- C. 其他条件不变，增大水蒸气与乙苯的质量比，可以提高乙苯的平衡转化率
- D. $t_1 \sim t_4$ 时，苯乙烯选择性下降的原因之一是反应 I 生成的 H_2 促进了反应 III 的进行

4 [2024 南通如皋适应性考试二]沸石分子筛的结构为相邻的硅氧四面体和铝氧四面体相互连接形成的笼状结构，沸石分子筛的结构示意图及部分平面结构分别如图 1、2 所示。沸石分子筛中存在一定大小的空隙，其中的 Na^+ 可与其他阳离子发生交换。

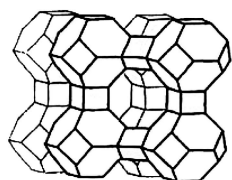


图 1

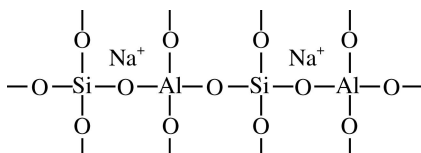


图 2

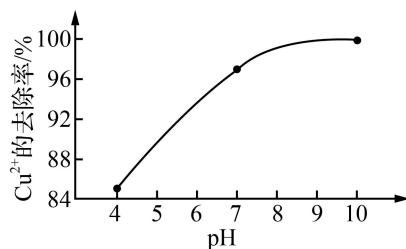
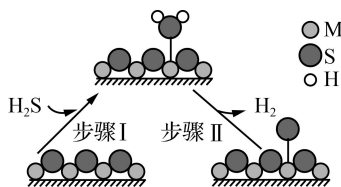


图 3

沸石分子筛对 Cu^{2+} 去除率随溶液 pH 的关系如图 3 所示。pH 越大， Cu^{2+} 去除率越高的原因是_____

3 年真题

1 [2023 江苏卷]金属硫化物(M_xS_y)催化反应 $CH_4(g) + 2H_2S(g) \rightleftharpoons CS_2(g) + 4H_2(g)$, 既可以除去天然气中的 H_2S , 又可以获得 H_2 。下列说法正确的是()



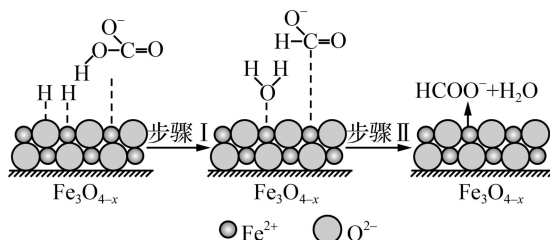
A. 该反应的 $\Delta S < 0$

B. 该反应的平衡常数 $K = \frac{c(CH_4) \cdot c^2(H_2S)}{c(CS_2) \cdot c^4(H_2)}$

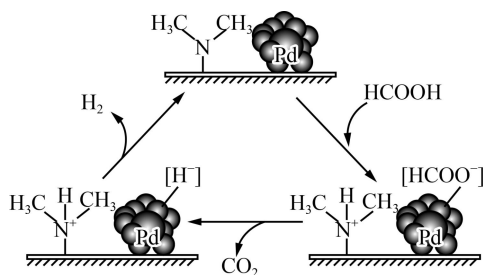
C. 题图所示的反应机理中, 步骤 I 可理解为 H_2S 中带部分负电荷的 S 与催化剂中的 M 之间发生作用

D. 该反应中每消耗 1 mol H_2S , 转移电子的数目约为 $2 \times 6.02 \times 10^{23}$

2 [2022 江苏卷]随着反应进行, $FeCO_3$ 迅速转化为活性 Fe_3O_{4-x} , 活性 Fe_3O_{4-x} 是 HCO_3^- 转化为 $HCOO^-$ 的催化剂, 其可能反应机理如图所示。根据元素电负性的变化规律。如图所示的反应步骤 I 可描述为_____。



3 [2020 江苏卷] $HCOOH$ 催化释氢。在催化剂作用下, $HCOOH$ 分解生成 CO_2 和 H_2 可能的反应机理如图。

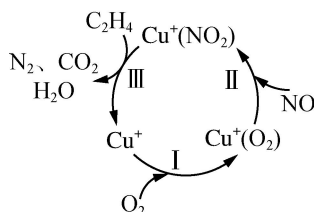


(1) $HCOOH$ 催化释氢反应除生成 CO_2 外, 还生成_____ (填化学式)。

(2) 研究发现: 其他条件不变时, 以 $HCOOK$ 溶液代替 $HCOOH$ 催化释氢的效果更佳, 其具体优点是_____。

3 年模拟

1 [2024 南通、泰州等六市调研] 反应 $2\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + 6\text{NO}(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 3\text{N}_2(\text{g})$ 可用于去除氮氧化物。 Cu^+ 催化该反应的过程如图所示。下列说法正确的是()



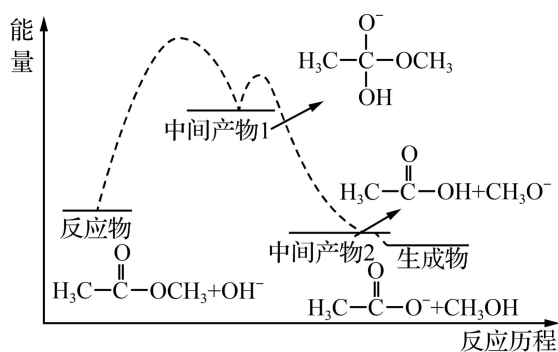
A. 反应过程中, Cu^+ 参与反应, 降低了反应的焓变

B. 该反应的平衡常数 $K = \frac{c^4(\text{CO}_2) \cdot c^3(\text{N}_2)}{c^2(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot c^6(\text{NO}) \cdot c^3(\text{O}_2)}$

C. 其他条件不变时, 增大 $\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{NO})}$, NO 的平衡转化率下降

D. 步骤 III 中每消耗 1 mol $\text{Cu}^+(\text{NO}_2)$, 转移电子数目为 $4 \times 6.02 \times 10^{23}$

2 [2023 南通如皋调研] 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 $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-^{18}\text{O}^-$

3 [2023 苏北四市调研]铝系金属复合材料能有效还原去除水体中的硝酸盐污染。铝粉表面复合金属的组分和含量会影响硝酸盐的去除效果。

(1) 在相同实验条件下,分别使用纯铝粉和 Cu 负载量为 3%、4%、5%的 Al/Cu 二元金属复合材料对硝酸盐的去除效果如图 1 所示。

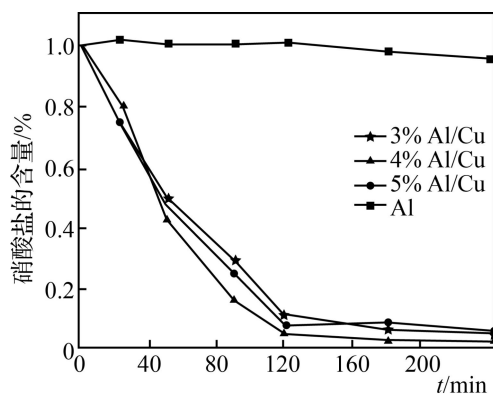


图 1

①由图 1 可知,用 Al/Cu 二元金属复合材料去除水体中硝酸盐效果明显优于铝粉,可能原因是_____。

②实验发现 Al/Cu 二元金属复合材料中 Cu 负载量过高也不利于硝酸盐的去除,可能原因是_____。

(2) 在 Al/Cu 二元金属复合材料基础上引入 Pd 形成三元金属复合材料,其去除水体中硝酸盐机理如图 2 所示。

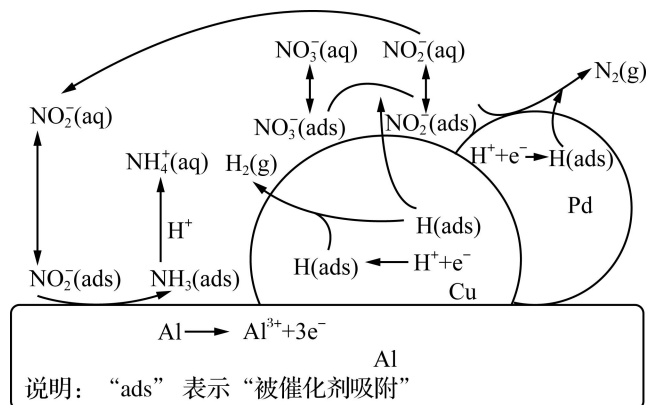


图 2

①引入 Pd 的 Al/Cu/Pd 三元金属复合材料,硝酸盐转化为 N_2 选择性明显提高,可能原因是_____。

②其他条件相同时, Al/Cu/Pd 三元金属复合材料去除水体中硝酸盐的效果与溶液 pH 关系如图 3 所示。水体 pH 在 4~6 范围内,随 pH 增大硝酸盐去除率降

低的可能原因是_____，
水体 pH 在 8.5 至 10 范围内，随 pH 增大硝酸盐去除率升高的可能原因是_____。

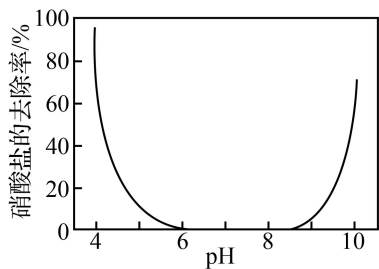
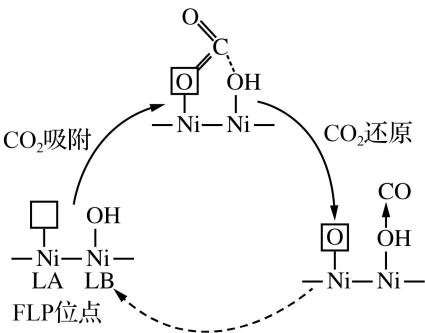


图 3

4 [2024 苏州期末](1) 含结晶水的 $\text{Ni}_3(\text{BO}_3)_2$ 晶体表面存在结构
“ $\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\ | \quad | \\ \text{—Ni—Ni—} \end{array}$ ”，用加热后的 $\text{Ni}_3(\text{BO}_3)_2$ 晶体作催化剂，以 CO_2 、 N_2 为原料，电解 KHCO_3 溶液可获得尿素。加热后的 $\text{Ni}_3(\text{BO}_3)_2$ 晶体表面会产生 LA 位点，LA 位点与 LB 位点共同形成 FLP 位点，其催化机理（部分）如图所示。实验表明，在 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 下加热 $\text{Ni}_3(\text{BO}_3)_2$ 晶体得到的催化剂催化效果最好，温度过高或过低催化效果会降低的原因是_____。



(2) 电解质溶液中若存在 SCN^- 会极大地降低催化剂的活性，原因是_____。

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 $A_2 + B \rightleftharpoons A_2B$ 的历程，分两个基元步骤完成。

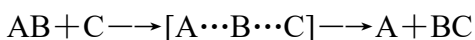
第一步： $A_2 \rightarrow 2A$ （慢反应）

第二步： $2A + B \rightarrow A_2B$ （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。

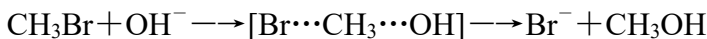
2 基元反应过渡状态理论

(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

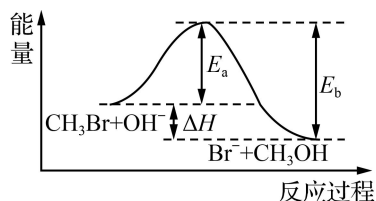
(2) 过渡态是处在反应过程中具有最高能量的一种分子结构，过渡态的能量与反应物的平均能量的差值相当于活化能，活化能（能垒）越高，此步基元反应越慢。如一溴甲烷与 NaOH 溶液反应的历程可以表示如下：



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

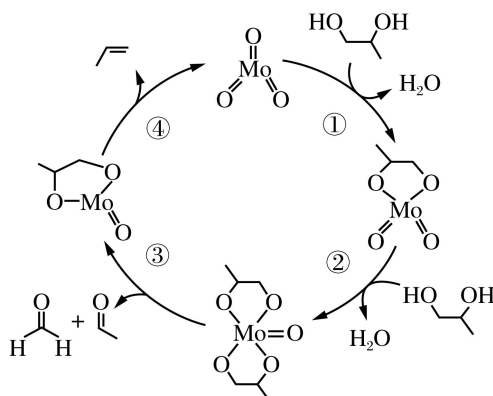
1 催化剂与中间产物

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：在连续反应中为第一步的产物，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: $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{I}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{IO}^-$ (慢), $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{IO}^- \longrightarrow \text{O}_2 + \text{I}^- + \text{H}_2\text{O}$ (快)。在该反应中 _____ 为催化剂, _____ 为中间产物。

在机理图中, 先找到确定的反应物, 反应物一般是通过一个箭头进入整个历程的物质 (产物一般多是通过一个箭头最终脱离这个历程的物质), 与之同时反应的就是催化剂, 并且经过一个完整循环之后又会生成; 中间产物可位于这个循环中的任何一个环节。如图所示, MoO_3 是该反应的催化剂, 环上剩余的三种物质均为中间产物。



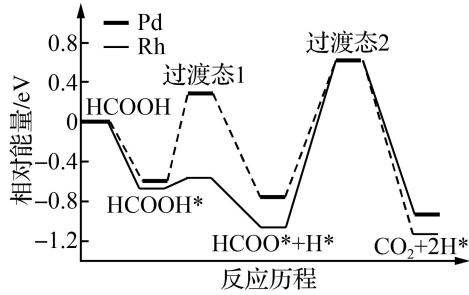
1, 2-丙二醇脱氧脱水反应的催化循环机理

2 有、无催化剂的反应历程能量对照图

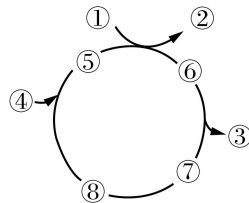
图像	解读
	<p>(1) 在无催化剂的情况下: E_1 为正反应的活化能; E_2 为逆反应的活化能; $E_1 - E_2$ 为此反应的焓变(ΔH)。</p> <p>(2) 有催化剂时, 总反应分成了两个反应步骤 (也可能为多个), 反应①为吸热反应, 产物为总反应的中间产物, 反应②为放热反应, 总反应为放热反应。</p> <p>(3) 催化剂的作用: <u>降低正、逆反应所需的活化能, 但不影响 ΔH</u>, 反应是放热反应还是吸热反应取决于起点 (反应物) 能量和终点 (生成物) 能量的相对大小</p>

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($\text{HCOOH}^* + \text{H}^*$)到过渡态 2 的能垒最大，故基元反应 $\text{HCOOH}^* + \text{H}^* = \text{CO}_2 + 2\text{H}^*$ 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



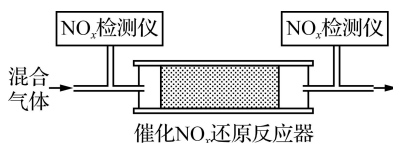
对于“环式”反应过程图像，需先由题给情境信息，找出催化剂、反应物、生成物、中间体，再结合每一设计的问题逐项分析判断，选出正确答案。

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中的主线上	
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是反应物，如①和④
	生成物	通过一个箭头最终脱离整个历程的物质一般多是产物，如②和③
	中间体	通过两个箭头位于“环上”的物质是中间体，如⑤⑥⑦和⑧

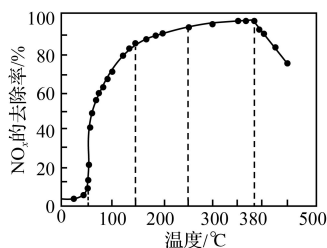
难点 5 催化剂活性与反应温度

图像	解读
	<p>(1) 温度低于 T_1，催化剂活性随温度升高增大</p> <p>(2) 温度在 $T_1 \sim T_2$ 时，催化剂活性基本不变</p> <p>(3) 温度高于 T_2，催化剂失活</p>

例 1 在有氧条件下，新型催化剂 M 能催化 NH_3 与 NO_x 反应生成 N_2 。将一定比例的 O_2 、 NH_3 和 NO_x 的混合气体匀速通入装有催化剂 M 的反应器中反应。



反应相同时间， NO_x 的去除率随反应温度的变化曲线如图所示。



(1) 在 $50 \sim 150^\circ\text{C}$ 内随着温度的升高， NO_x 的去除率迅速上升主要原因是

_____。

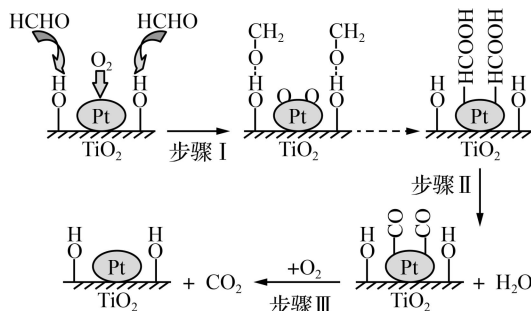
(2) 在 $150 \sim 380^\circ\text{C}$ 内随着温度的升高， NO_x 的去除率后上升缓慢的主要原因是_____。

(3) 当反应温度高于 380°C 时， 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] NaOH 活化过的 Pt/TiO_2 催化剂对甲醛氧化为 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()

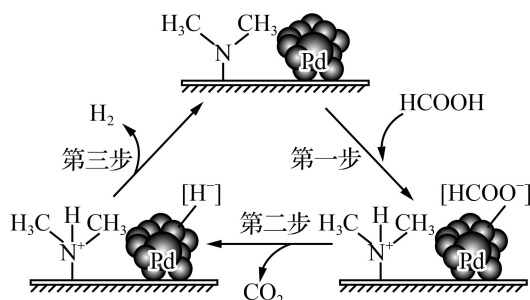


A. 步骤 I 中存在非极性键的断裂
B. 步骤 I 可理解为 HCHO 中带部分负电荷的 O 与催化剂表面的一OH 发生作用

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 HCHO 的催化氧化效果

2 [2023 苏州考前模拟]在催化剂作用下, HCOOH 分解生成 CO_2 和 H_2 可能的反应机理如图所示。下列说法不正确的是()



- A. 若用 HCOOD 催化释氢, 则反应除生成 CO_2 外, 还生成 HD
- B. 第一步转化中 N 与 H 之间形成配位键
- C. 若用 HCOOK 溶液代替 HCOOH , 则释氢的速率加快
- D. 若用 HCOOK 溶液代替 HCOOH , 则最终所得气体中 H_2 的纯度会降低

3 (1) [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 CO , 其反应机理如图 1 所示。

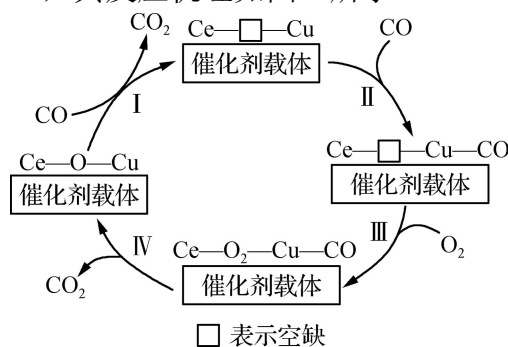


图 1

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}O 的有 _____ 种。

(2) [2024 盐城考前模拟] 部分 H_2 和 Mg 一定条件下化合生成 MgH_2 以储氢; 部分 H_2 和 N_2 在催化剂表面合成氨以储氢, 其反应机理的部分过程如图 2 所示。请在 “□” 中画出中间体 X 的结构。

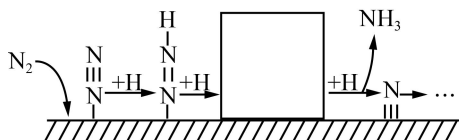
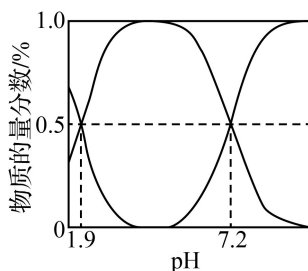


图 2

1 室温下, 下列说法不能说明 CH_3COOH 的酸性弱于盐酸的是()

- A. 相同浓度的 CH_3COOH 和盐酸, 前者 pH 大
- B. 相同 pH 的 CH_3COOH 和盐酸, 导电能力后者强
- C. 相同浓度的 CH_3COONa 溶液和 NaCl 溶液, 前者 pH 大
- D. pH=2 的 CH_3COOH 和盐酸, 加水稀释 100 倍, 前者变化小于后者

2 25 °C 时, 向 20 mL 0.1 mol/L H_2SO_3 溶液中滴加 0.1 mol/L NaOH 溶液, 所得 H_2SO_3 、 SO_3^{2-} 和 HSO_3^- 的物质的量分数随 pH 的变化如图所示。下列说法正确的是()



A. 向 pH=7.2 的溶液滴加 NaOH 溶液, 反应的离子方程式: $\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HSO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

B. 当溶液的 pH=2.9 时, 溶液中存在: $\frac{c(\text{HSO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{SO}_3)} = 10$

C. 当溶液的 pH=7 时, 溶液中存在: $c(\text{Na}^+) = c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{SO}_3^{2-})$

D. 当滴加 NaOH 溶液的体积为 10 mL 时, 所得溶液呈碱性

3 铁矿石用稀硫酸溶解时, 稀硫酸要过量的原因是_____。

4 工业中常用 Na_2CO_3 溶液浸泡金属, 从而去除金属表面的油污。

(1) Na_2CO_3 溶液除油污是由于其溶液呈碱性, 呈碱性的原因是_____ (用方程式表示)。

(2) Na_2CO_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 Na_2CO_3 溶液中的三守恒。

电荷守恒: _____。

元素守恒: _____。

质子守恒: _____。

5 实验室中用 FeSO_4 溶液和 NaHCO_3 溶液制备 FeCO_3 沉淀。

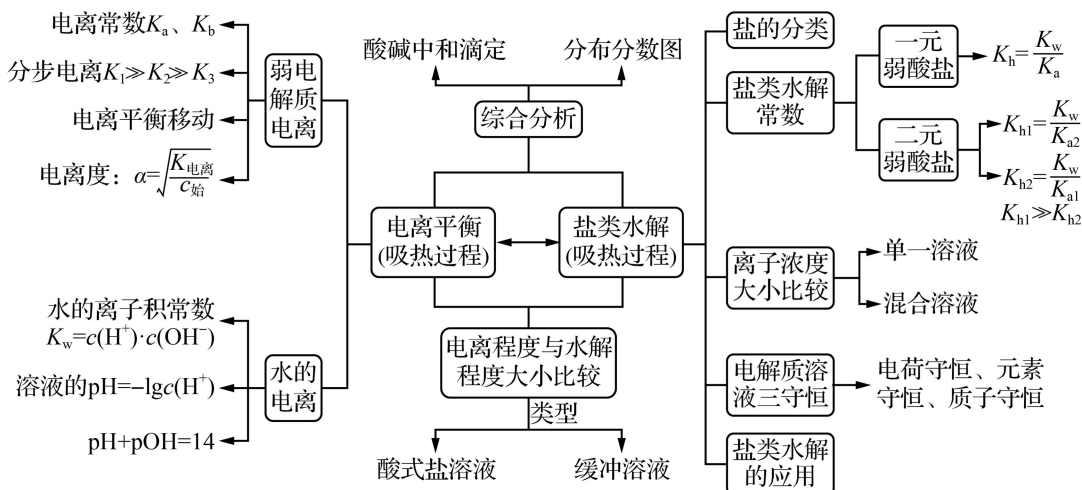
(1) NaHCO_3 溶液中产生 CO_3^{2-} 的原因是_____ (用方程式表示)。

(2) 实验室制备 FeCO_3 沉淀, 不采用 Na_2CO_3 溶液原因是_____。

(3) 制备较纯净的 FeCO_3 沉淀, FeSO_4 溶液和 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 溶液中粒子浓度大小分析

题型 1 固定成分溶液中粒子浓度大小分析

1 判断下列说法是否正确。

(1) [2023 江苏卷] $0.1 \text{ mol/L NaHCO}_3$ 溶液中: $c(\text{CO}_3^{2-}) = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{CO}_3) - c(\text{OH}^-)$ ()

(2) [2023 江苏卷] 0.1 mol/L NaF 溶液中: $c(\text{F}^-) = c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+)$ ()

(3) [2022 江苏卷] KOH 完全转化为 K_2CO_3 时, 溶液中: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ ()

(4) [2020 江苏卷] 浓度均为 $0.1 \text{ mol/L NaHCO}_3\text{Na}_2\text{CO}_3$ 混合溶液 ($\text{pH} = 10.30$): $c(\text{Na}^+) > c(\text{HCO}_3^-) > c(\text{CO}_3^{2-}) > c(\text{OH}^-)$ ()

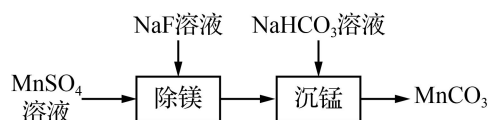
(5) [2020 江苏卷] 浓度均为 0.1 mol/L 氨水 NH_4Cl 混合溶液 ($\text{pH} = 9.25$): $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) + c(\text{OH}^-)$ ()

题型2 反应过程中粒子浓度大小分析

[工业流程中粒子浓度大小关系]

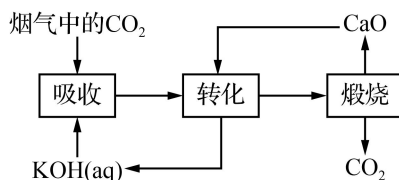
2 判断下列粒子浓度关系是否正确。

(1) [2023 江苏卷]室温下,用含少量 Mg^{2+} 的 MnSO_4 溶液制备 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: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-})$ ()

(2) [2022 江苏卷]一种捕集烟气中 CO_2 的过程如图所示。室温下以 0.1 mol/L KOH 溶液吸收 CO_2 , 若通入 CO_2 所引起的溶液体积变化和 H_2O 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: H_2CO_3 电离常数分别为 $K_{\text{a1}}=4.4\times 10^{-7}$ 、 $K_{\text{a2}}=4.4\times 10^{-11}$ 。



① KOH 吸收 CO_2 所得到的溶液中: $c(\text{H}_2\text{CO}_3) > c(\text{HCO}_3^-)$ ()

② KOH 溶液吸收 CO_2 , $c_{\text{总}}=0.1 \text{ mol/L}$ 溶液中: $c(\text{H}_2\text{CO}_3) > c(\text{CO}_3^{2-})$ ()

[实验过程中粒子浓度分析]

3 [2024 江苏卷]室温下,通过下列实验探究 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 SO_2 气体通入水中,测得溶液 $\text{pH}=3$ 。

实验 2: 将 SO_2 气体通入 0.1 mol/L NaOH 溶液中,当溶液 $\text{pH}=4$ 时停止通气。

实验 3: 将 SO_2 气体通入 0.1 mol/L 酸性 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()

A. 实验 1 所得溶液中: $c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{SO}_3^{2-}) > c(\text{H}^+)$

B. 实验 2 所得溶液中: $c(\text{SO}_3^{2-}) > c(\text{HSO}_3^-)$

C. 实验 2 所得溶液经蒸干、灼烧制得 NaHSO_3 固体

D. 实验 3 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

4 [2018 江苏卷改编] $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 为二元弱酸, $K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5.4 \times 10^{-2}$, $K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5.4 \times 10^{-5}$, 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 NaOH 溶液滴定 $25.00 \text{ mL } 0.1000 \text{ mol/L } \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 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()

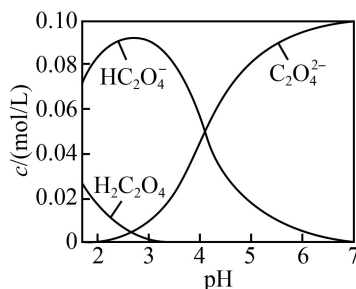
A. $0.1000 \text{ mol/L } \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液: $c(\text{H}^+) > c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{OH}^-) + 0.1000 \text{ mol/L} - c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$

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: $c(\text{Na}^+) = 0.1000 \text{ mol/L} + c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) - c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$

D. $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{总})$ 的溶液: $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = 2c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$

5 [2016 江苏卷改编] $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 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 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. $\text{pH} = 2.5$ 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. $\text{pH} = 7$ 的溶液中: $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$

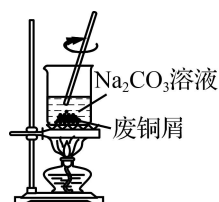
考向3 盐类水解的综合应用

6 判断下列说法是否正确。

(1) [2023 江苏卷] 向 $2 \text{ mL } \text{FeSO}_4$ 溶液中滴加 2~3 滴酚酞试液, 观察溶液颜色变化判断 Fe^{2+} 是否水解()

(2) [2024 江苏卷] 用 pH 试纸分别测定 CH_3COONa 溶液和 NaNO_2 溶液 pH , CH_3COONa 溶液 pH 大, 故结合 H^+ 能力: $\text{CH}_3\text{COO}^- > \text{NO}_2^-$ ()

(3) [2021 江苏卷] 用如图所示的装置除去废铜屑表面的油污()



7 [2023 江苏卷]催化剂的制备。将预先制备的一定量的 WO_3/TiO_2 粉末置于 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 的水中,在搅拌下加入一定量的 NH_4VO_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 VO_3^- 水解为 H_3VO_4 沉淀的离子方程式为_____。
反应选用 NH_4VO_3 溶液而不选用 NaVO_3 溶液的原因是_____。

3 年模拟

考向 1 溶液中粒子浓度大小分析

题型 1 固定成分溶液中粒子浓度大小分析

1 判断下列说法是否正确。

(1) [2024 苏州期末] 0.1 mol/L $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液中: $c(\text{NH}_4^+) > 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + 2c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 2c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ ()

(2) [2024 无锡期末] 0.1 mol/L 碳酸钠溶液中: $c(\text{CO}_3^{2-}) = c(\text{Na}^+) - c(\text{HCO}_3^-) - c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ ()

(3) [2024 南通、泰州等六市一调] NaClO 溶液中: $c(\text{Na}^+) = c(\text{ClO}^-) + c(\text{OH}^-)$ ()

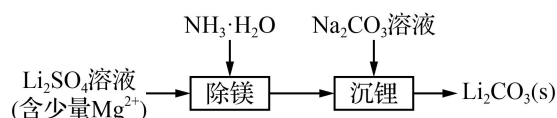
(4) [2024 南通、泰州等六市一调] NH_4HCO_3 溶液中: $c(\text{OH}^-) + c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{CO}_3) + c(\text{CO}_3^{2-})$ ()

题型 2 反应过程中粒子浓度大小分析

[工业流程中粒子浓度大小关系]

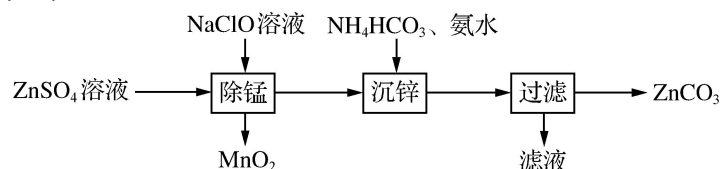
2 判断下列情境下粒子浓度关系式是否正确。

(1) [2024 无锡期末] 室温下,用含有少量 Mg^{2+} 的 Li_2SO_4 溶液(模拟盐湖水)制备 Li_2CO_3 的过程如图所示。



沉锂后的溶液中: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = 2c(\text{SO}_4^{2-}) + c(\text{OH}^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-)$ ()

(2) [2024 南通、泰州等六市一调] 室温下,用含有少量 Mn^{2+} 的 ZnSO_4 溶液制备 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 [2023 泰州期末]室温下,某兴趣小组通过下列实验制备少量 NaHCO_3 并探究其性质。

实验 1: 测得 100 mL 14 mol/L 氨水的 pH 约为 12;

实验 2: 向上述氨水中加 NaCl 粉末至饱和,通入足量 CO_2 后析出晶体;

实验 3: 将所得混合物静置后过滤、洗涤、干燥,得到 NaHCO_3 ;

实验 4: 配制 100 mL 一定浓度的 NaHCO_3 溶液,测得 pH 为 8.0。

下列说法正确的是()

A. 依据实验 1 推测 $K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$ 约为 7×10^{-26}

B. 依据实验 2 推测溶解度: $\text{NaHCO}_3 > \text{NaCl}$

C. 实验 3 所得滤液中: $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{Cl}^-) + c(\text{OH}^-)$

D. 实验 4 的溶液中: $c(\text{H}_2\text{CO}_3) - c(\text{CO}_3^{2-}) = 9.9 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$

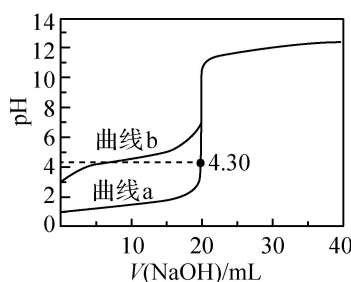
4 [2023 扬州一模]合成环氧氯丙烷时产生了盐酸和醋酸(HAc)的混合液,为研究混合溶液的定量分析方法,进行以下实验。

实验 1: 向 20 mL 0.1 mol/L HCl 溶液中滴加 0.1 mol/L NaOH 溶液;

实验 2: 向 20 mL 0.1 mol/L HAc 溶液中滴加 0.1 mol/L NaOH 溶液;

实验 3: 向 20 mL 某浓度 HCl 与 HAc 混合溶液中滴加 0.1 mol/L NaOH 溶液。

测得实验 1、2 中溶液 pH 的变化如图所示。下列说法正确的是()



A. 实验 1 所测得的 pH 变化为曲线 b

B. 实验 2 中加入 10 mL NaOH 时,溶液中存在: $c(\text{H}^+) + c(\text{HAc}) = c(\text{Ac}^-) + c(\text{OH}^-)$

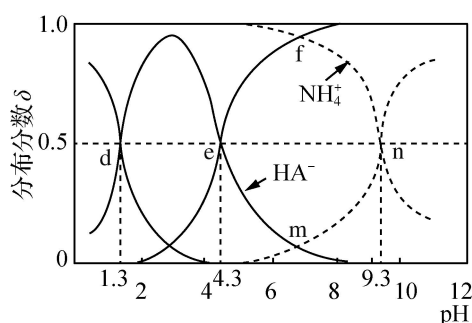
C. 实验 3 溶液中 Ac^- 的物质的量分数: $\frac{c(\text{Ac}^-)}{c(\text{HAc}) + c(\text{Ac}^-)} = \frac{K_a(\text{HAc})}{c(\text{H}^+) + K_a(\text{HAc})}$

D. 实验 3 中根据 pH 约为 4.30 时所消耗的 $V(\text{NaOH})$, 可计算混合溶液中的 $n(\text{HCl})$

考向 2 酸碱滴定过程和分布曲线中粒子浓度分析

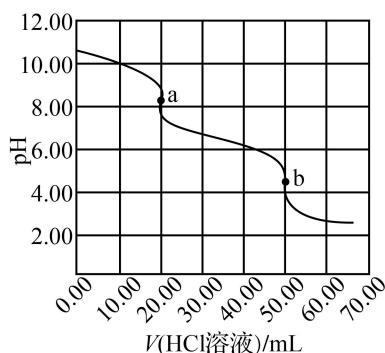
5 [2023 盐城期末] 乙二酸(用 H_2A 表示)为二元弱酸。25 °C 时, 向 0.1 mol/L NH_4HA 溶液中滴加适量的盐酸或 NaOH 溶液, 溶液中各含氮(或 A) 微粒的分布分数 δ 与溶液 pH 的关系如图所示(不考虑溶液中的 NH_3 分子)。例如, 溶液中

H_2A 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. NH_4HA 溶液中: $c(\text{HA}^-) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$
- B. 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. NH_4HA 溶液中滴加少量 NaOH 溶液的主要反应的离子方程式: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

6 [2023 常州期末] 某水样中含一定浓度的 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 和其他不与酸、碱反应的离子。取 10.00 mL 水样, 用 0.010 00 mol/L HCl 溶液进行滴定, 溶液 pH 随滴加 HCl 溶液体积 V (HCl 溶液) 的变化关系如图所示(混合后溶液体积变化忽略不计)。下列说法不正确的是()



- A. 该水样中 $c(\text{CO}_3^{2-}) : c(\text{HCO}_3^-) = 2 : 1$
- B. a 点处: $c(\text{H}_2\text{CO}_3) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{CO}_3^{2-})$
- C. 当 $V(\text{HCl 溶液}) \leq 20.00 \text{ mL}$ 时, 溶液中 $c(\text{HCO}_3^-)$ 随 $V(\text{HCl 溶液})$ 的增加基本保持不变
- D. 根据实验结果可以推知: $K_{a1}(\text{H}_2\text{CO}_3) \cdot K_{a2}(\text{H}_2\text{CO}_3) > K_w$

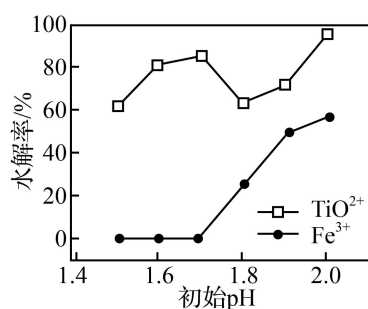
考向3 盐类水解的综合应用

7 判断下列说法是否正确。

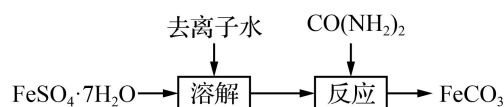
- (1) [2024 苏州期初]室温下,用 pH 计测量浓度均为 0.1 mol/L CH_3COONa 溶液和 NaCN 溶液的 pH,比较溶液 pH 大小,可得酸性: $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{HCN}$ ()
- (2) [2024 苏州期初]用如图所示装置蒸干溶液获得 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ()



- (3) [2024 盐城、南京期末]用干燥、洁净的玻璃棒蘸取 0.1 mol/L NaHCO_3 溶液,点在干燥的 pH 试纸上,测出溶液的 pH,由此判 HCO_3^- 是否发生水解 ()
- (4) [2024 南通、泰州等六市一调] Na_2SO_3 溶液呈碱性的原因实验设计:向 Na_2SO_3 溶液中先滴加酚酞,再滴加 BaCl_2 溶液至过量,观察溶液颜色变化 ()
- 8 [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,初始溶液 pH 对含 Fe^{3+} 的 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, TiO^{2+} 水解率下降的原因是_____。



- 9 [2024 无锡期末]以 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 为原料制备 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 Na_2CO_3 的原因是_____。



- 10 [2024 苏州期末改编]已知: $K_a(\text{HF}) = 6.3 \times 10^{-4} > K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.8 \times 10^{-5}$ 。0.1 mol/L NH_4F 溶液呈_____ (填“酸”或“碱”)性,溶液中 $c(\text{NH}_4^+)$ _____ (填“大于”“小于”或“等于”) $c(\text{F}^-)$ 。

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

(1) 常见的弱电解质有弱酸、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; 常用弱电解质 K_a 比较酸性强弱、粒子或粒子浓度比的变化及粒子浓度的大小比较。

① K_a 越小, 酸性_____。

② 醋酸 $K_a = 1.75 \times 10^{-5}$, pH=5 时 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ _____ (填 “>” “<” 或 “=”) $c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 。

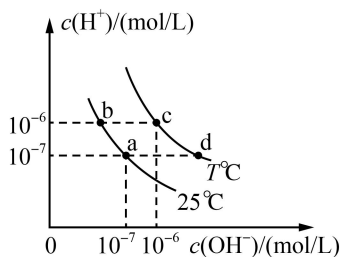
③ 醋酸溶液加水稀释过程中, $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$ _____ (填 “增大” “不变” 或 “减小”)。

(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 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_____。

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

以 CH_3COOH 为例：

①测定 0.1 mol/L CH_3COOH 溶液的 pH，pH_____（填“>”或“<”，下同）1，说明 CH_3COOH 为弱电解质。

②测定 CH_3COONa 溶液的 pH，pH_____7，说明 CH_3COOH 为弱电解质。

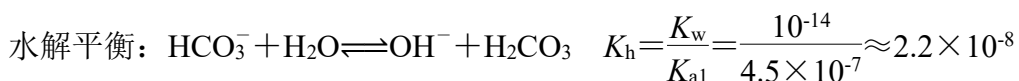
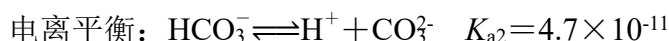
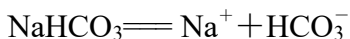
③相同温度、相同浓度的盐酸的导电性_____醋酸的导电性，说明 CH_3COOH 是弱电解质。

④取 pH=3 的 CH_3COOH 溶液 1 mL，用水稀释到 100 mL，pH_____5，说明 CH_3COOH 为弱电解质。

⑤向 0.1 mol/L CH_3COOH 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 CH_3COOH 为弱电解质。

(2) 酸式盐溶液电离程度和水解程度的比较

以 NaHCO_3 为例：



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“大于”或“小于”） $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 。

(3) 混合溶液电离程度和水解程度的比较

以 0.1 mol/L CH_3COOH 和 0.1 mol/L CH_3COONa 等体积混合的溶液为例：



由于 $K_a > K_h$ ，故电离程度_____（填“大于”或“小于”）水解程度，溶液显_____性， $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ _____（填“>”或“<”） $c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 。

核心2 电解质溶液中“三个守恒和一个比较”

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 Na_2S 溶液中： $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = 2c(\text{S}^{2-}) + c(\text{HS}^-) + c(\text{OH}^-)$ 。

2 元素守恒

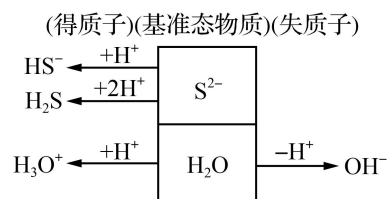
在电解质溶液中，由于某些离子发生水解或电离，离子的存在形式发生了变化，变成了其他离子或分子，使离子的种类增多，但却不能使离子或分子中某种特定元素原子的数目发生变化，其质量在反应前后是守恒的，始终遵循原子守恒，如 Na_2S 溶液中： $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{S}^{2-}) + 2c(\text{HS}^-) + 2c(\text{H}_2\text{S})$ 。

3 质子守恒

以 Na_2S 溶液为例：

(1) 方法1：可以由电荷守恒与元素守恒推导出来， $c(\text{H}^+) + 2c(\text{H}_2\text{S}) + c(\text{HS}^-) = c(\text{OH}^-)$ 。

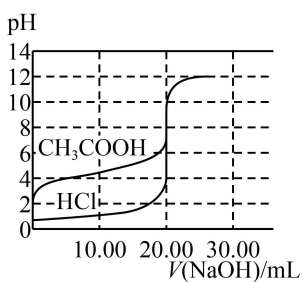
(2) 方法2：可利用下图进行快速书写。



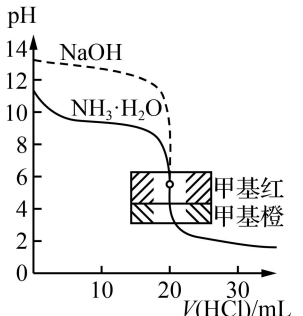
质子守恒： $c(\text{H}^+) + 2c(\text{H}_2\text{S}) + c(\text{HS}^-) = c(\text{OH}^-)$ 。

核心3 酸碱滴定反应图像

1 强碱滴定一元强酸、一元弱酸

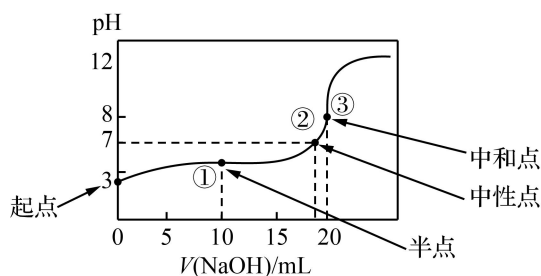
氢氧化钠滴定等浓度等体积的盐酸、醋酸的滴定曲线	
	<p>①曲线起点不同：强碱滴定强酸、弱酸的曲线中，强酸起点低</p> <p>②突跃点变化范围不同：强碱与强酸反应的突跃点变化范围大于强碱与弱酸反应</p> <p>③室温下 $\text{pH}=7$ 不一定是终点：强碱与强酸反应时，终点的 $\text{pH}=7$；强碱与弱酸反应时，终点的 $\text{pH}\neq 7$，而是 $\text{pH}>7$</p>

2 强酸滴定一元强碱、一元弱碱

盐酸滴定等浓度等体积的氢氧化钠溶液、氨水的滴定曲线	
	<p>①曲线起点不同：强酸滴定强碱、弱碱的曲线，强碱起点高</p> <p>②突跃点变化范围不同：强酸与强碱反应的突跃点变化范围大于强酸与弱碱反应</p> <p>③室温下 $\text{pH}=7$ 时不一定是终点：强酸与强碱反应时，终点的 $\text{pH}=7$；强酸与弱碱反应时，终点的 $\text{pH}\neq 7$，而是 $\text{pH}<7$</p>

3★ 滴定曲线上特殊点的分析

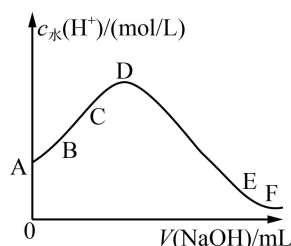
常温下，用 0.1000 mol/L NaOH 溶液滴定 20.00 mL 0.1000 mol/L CH_3COOH 溶液，所得滴定曲线如图所示。



(1) pH- V 图像中各特殊点对水电离程度的影响（表中 HAc 为 CH_3COOH ）。

	点	溶质	水的电离情况
	A		
	B		
	C		
	D		
	E		
	F		

根据图中 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。

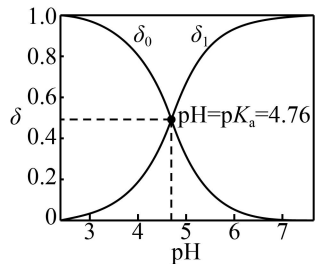
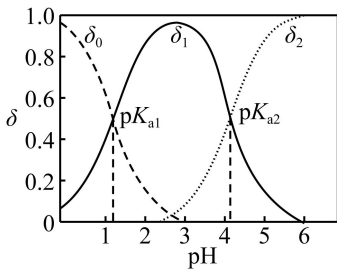


(2) pH- V 图像中各特殊点离子浓度大小比较及变化趋势。

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

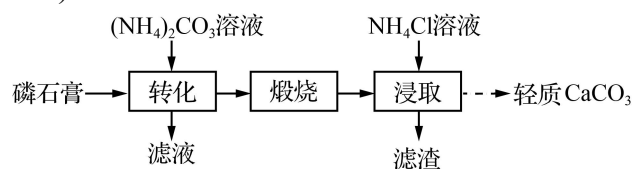
分布分数图是指以 pH 为横坐标、分布分数（即组分的平衡浓度占总浓度的分数）为纵坐标的关系图。★分布分数图及分析

一元弱酸（以 CH_3COOH 为例）	二元酸（以草酸 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 为例）
 <p>注：$\text{p}K_a$ 为电离常数的负对数</p>	
δ_0 为 CH_3COOH 分布分数， δ_1 为 CH_3COO^- 分布分数	δ_0 为 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 分布分数、 δ_1 为 HC_2O_4^- 分布分数、 δ_2 为 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 分布分数
交点可以计算 K 值， $K_a = \frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})} = c(\text{H}^+) [c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = c(\text{CH}_3\text{COOH})]$	
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 KMnO_4 发生反应的离子方程式为_____	

检测反馈

对点练，再提升

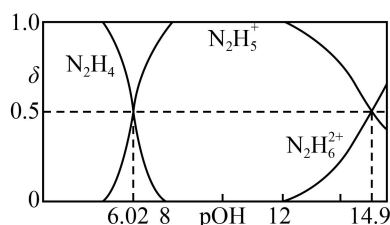
1 [2024 南京二模] 以磷石膏（含 CaSO_4 和少量 SiO_2 等）为原料制备轻质 CaCO_3 的部分流程如图所示。室温下， $K_{a1}(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4.5 \times 10^{-7}$ ， $K_{a2}(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4.7 \times 10^{-11}$ ， $K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.8 \times 10^{-5}$ 。



下列说法不正确的是()

- A. $0.1 \text{ mol/L } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 溶液中： $2c(\text{CO}_3^{2-}) < c(\text{NH}_4^+)$
- B. 室温下，pH=6 的 NH_4Cl 溶液中： $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 9.9 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$
- C. “转化”后的清液中一定存在 $\frac{K_{sp}(\text{CaCO}_3)}{c(\text{CO}_3^{2-})} \geq \frac{K_{sp}(\text{CaSO}_4)}{c(\text{SO}_4^{2-})}$
- D. “浸取”发生反应 $\text{CaO} + 2\text{NH}_4^+ = \text{Ca}^{2+} + 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

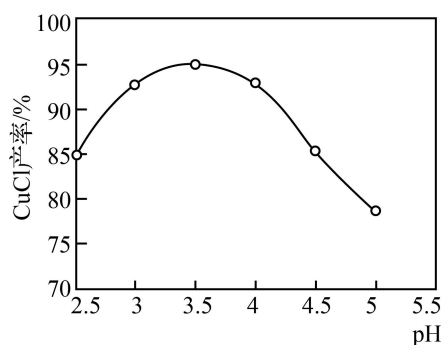
2 [2023 南通、泰州等七市三调]常温下,肼(N_2H_4)的水溶液显碱性,存在如下平衡: $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_5^+ + \text{OH}^-$; $\text{N}_2\text{H}_5^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_6^{2+} + \text{OH}^-$ 。平衡时溶液中含氮微粒的分布分数 δ [如 $\delta(\text{N}_2\text{H}_4) = \frac{c(\text{N}_2\text{H}_4)}{c(\text{N}_2\text{H}_4) + c(\text{N}_2\text{H}_5^+) + c(\text{N}_2\text{H}_6^{2+})}$]与溶液 pOH [$\text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-)$] 的关系如图所示。



向 10.00 mL 0.01 mol/L N_2H_4 的水溶液中逐滴滴加 0.005 mol/L 稀硫酸, 下列说法正确的是()

- A. N_2H_4 的电子式: $\text{H} \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{N}}} \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{N}}} \text{H}$
- 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: $c(\text{SO}_4^{2-}) = c(\text{N}_2\text{H}_5^+) + c(\text{N}_2\text{H}_4) + c(\text{N}_2\text{H}_6^{2+})$

3 [2024 盐城考前模拟](1) 氯化亚铜(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 NaCl 粉末、 CuSO_4 溶液、 Na_2SO_3 溶液反应制取 CuCl 晶体。反应完成时溶液 pH 对 CuCl 产率的影响如图所示。当 pH 大于 3.5 时, 随溶液 pH 升高, CuCl 产率降低的原因是_____。



(2) 向 MnSO_4 溶液中滴加 NH_4HCO_3 溶液至沉淀完全, 过滤、洗涤、干燥, 得 MnCO_3 固体。不使用 Na_2CO_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 MgCl_2 溶液中加入 NaF 溶液, 过滤除去 MgF_2 沉淀后的溶液中: $K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2)$ $c(\text{Mg}^{2+}) \cdot c^2(\text{F}^-)$ 。

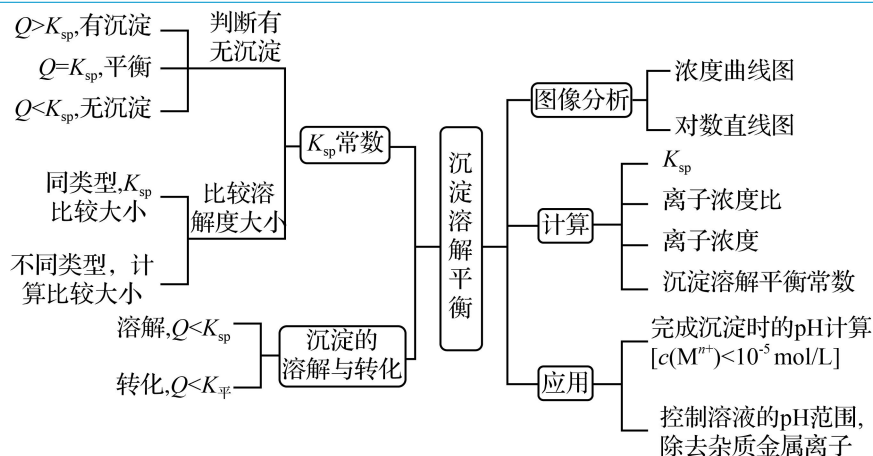
2 尝试设计实验证明 $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) < K_{\text{sp}}(\text{AgI})$: _____。

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 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_{sp} 的计算及综合应用

1 [2023 江苏卷] 在搅拌下向氧化镁浆料中匀速缓慢通入 SO_2 气体, 生成 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] 硫铁化合物 (FeS 、 FeS_2 等) 应用广泛。纳米 FeS 可去除水中微量六价铬 [$\text{Cr}(\text{VI})$]。在 $\text{pH} = 4 \sim 7$ 的水溶液中, 纳米 FeS 颗粒表面带正电荷, $\text{Cr}(\text{VI})$ 主要以 HCrO_4^- 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 CrO_4^{2-} 等形式存在, 纳米 FeS 去除水中 $\text{Cr}(\text{VI})$ 主要经过“吸附→反应→沉淀”的过程。已知: $K_{\text{sp}}(\text{FeS}) = 6.5 \times 10^{-18}$, $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2] = 5.0 \times 10^{-17}$; H_2S 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_____。

3 [2024 江苏卷]在高氯水样中加入 K_2CrO_4 使 CrO_4^{2-} 浓度约为 $5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ ，当滴加 AgNO_3 溶液至开始产生 Ag_2CrO_4 沉淀（忽略滴加过程的体积增加），此时溶液中 Cl^- 浓度约为_____mol/L。[已知： $K_{\text{sp}}(\text{AgCl})=1.8 \times 10^{-10}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)=2.0 \times 10^{-12}$]

4 [2021 江苏卷]向已经除去 Fe、Al、Si 的 MnSO_4 溶液（pH 约为 5）中加入 NH_4F 溶液，溶液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 形成氟化物沉淀。若沉淀后上层清液中 $c(\text{F}^-)=0.05 \text{ mol/L}$ ，则 $\frac{c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{Mg}^{2+})}$ =_____。[$K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2)=5 \times 10^{-11}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2)=5 \times 10^{-9}$]

考向 2 沉淀的转化

5 判断下列说法是否正确。

(1) [2023 江苏卷]室温下，用 NaF 溶液除去 MnSO_4 溶液中的少量 Mg^{2+} （生成 MgF_2 沉淀）。“除镁”得到的上层清液中存在： $c(\text{Mg}^{2+})=\frac{K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2)}{c(\text{F}^-)}$ ()

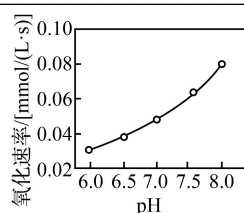
(2) [2024 江苏卷]向 2 mL 浓度均为 0.1 mol/L 的 CaCl_2 和 BaCl_2 混合溶液中滴加少量 0.1 mol/L Na_2CO_3 溶液，振荡，产生白色沉淀。则溶度积常数： $\text{CaCO}_3 > \text{BaCO}_3$ ()

(3) [2021 江苏卷]室温下，用 0.5 mol/L Na_2CO_3 溶液浸泡 CaSO_4 粉末，一段时间后过滤，向滤渣中加稀醋酸，产生气泡。已知 $K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)=5 \times 10^{-5}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)=3 \times 10^{-9}$ 。

① 反应 $\text{CaSO}_4 + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$ 正向进行，需满足 $\frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} > \frac{5}{3} \times 10^4$ ()

② 过滤后所得清液中一定存在： $c(\text{Ca}^{2+})=\frac{K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)}{c(\text{CO}_3^{2-})}$ 且 $c(\text{Ca}^{2+}) \leq \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)}{c(\text{SO}_4^{2-})}$ ()

6 [2023 江苏卷]在催化剂作用下， MgSO_3 被 O_2 氧化为 MgSO_4 。已知 MgSO_3 的溶解度为 0.57 g(20 °C)， O_2 氧化溶液中 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 MgSO_3 被 O_2 氧化的速率随 pH 的变化如图所示。在 pH=6~8 范围内，pH 增大，浆料中 MgSO_3 的氧化速率增大，其主要原因是_____。



考向 1 K_{sp} 的计算及综合应用

1 (1) [2024 南京、盐城期末] $\text{Mn}(\text{OH})_2$ 在工业上可用于去除溶液中 HS^- , 反应为 $\text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{HS}^- \rightleftharpoons \text{MnS} + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$, 其平衡常数 $K =$ _____。

已知: $K_{sp}(\text{MnS}) = 2.6 \times 10^{-13}$ 、 $K_{sp}[\text{Mn}(\text{OH})_2] = 2.0 \times 10^{-13}$ 、 H_2S 电离常数 $K_{a1} = 1.1 \times 10^{-7}$ 、 $K_{a2} = 1.3 \times 10^{-13}$ 。

(2) [2024 南京、盐城一模] 已知: $K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5.0 \times 10^{-2}$, $K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 1.5 \times 10^{-4}$, $K_{a1}(\text{H}_2\text{TeO}_3) = 1.0 \times 10^{-3}$, $K_{sp}(\text{CuC}_2\text{O}_4) = 2.0 \times 10^{-8}$, 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 $K = 1.8 \times 10^{10}$ 。 CuC_2O_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 K_1 为 _____。

2 [2024 苏锡常镇二调] 过滤脱硫后的软锰矿浆液, 用 NaF 沉淀除去所得滤液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} (浓度小于 $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$)。此时应控制溶液中 $c(\text{F}^-)$ 略大于 _____ mol/L 。 [已知: $K_{sp}(\text{MnF}_2) = 6.0 \times 10^{-3}$ 、 $K_{sp}(\text{CaF}_2) = 4.9 \times 10^{-9}$ 、 $K_{sp}(\text{MgF}_2) = 5.0 \times 10^{-11}$]

3 [2024 南京调研] 室温下, 浸取后溶液中 Mn^{2+} 浓度为 0.1 mol/L , 欲使溶液中 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 的浓度均小于 $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$, 则需加入 MnO 调节 pH 的范围为 _____。

25 °C 时, 相关物质的 K_{sp} 见下表。

物质	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Mn}(\text{OH})_2$
K_{sp}	8.0×10^{-16}	3.0×10^{-39}	1.0×10^{-33}	1.0×10^{-13}

考向 2 沉淀的转化

4 判断下列说法是否正确。

(1) [2024 苏锡常镇二调] 分别向等浓度的 FeSO_4 和 CuSO_4 溶液中通入 H_2S 气体至饱和, 前者无明显现象, 后者出现黑色沉淀, 则 $K_{sp}(\text{FeS}) > K_{sp}(\text{CuS})$ ()

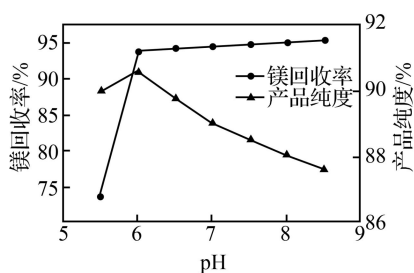
(2) [2024 南通、泰州等六市一调] 室温下, ZnSO_4 溶液加氨水和 NH_4HCO_3 混合液产生 ZnCO_3 沉淀, 过滤所得滤液中: $\frac{c(\text{CO}_3^{2-})}{c^2(\text{OH}^-)} \geq \frac{K_{sp}(\text{ZnCO}_3)}{K_{sp}[\text{Zn}(\text{OH})_2]}$ ()

(3) [2024 南京二模] 以磷石膏 (含 CaSO_4 和少量 SiO_2 等) 加入 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 溶液转化为 CaCO_3 。 “转化” 后的清液中一定存在: $\frac{K_{sp}(\text{CaCO}_3)}{c(\text{CO}_3^{2-})} \geq \frac{K_{sp}(\text{CaSO}_4)}{c(\text{SO}_4^{2-})}$ ()

5 [2024 苏锡常镇二调] 磷矿脱镁废液中主要含 H_2PO_4^- 及少量 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 和 SO_4^{2-} 。

(1) 向废液中加入 NaOH 溶液调节 pH 为 4.5, 可达到 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Al^{3+} 的最佳沉淀效果。其中 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 MgO 浆液搅拌即可获得 MgHPO_4 固体。实验测得镁回收率、产品纯度与反应后溶液 pH 关系如图所示。 $\text{pH} < 6$ 时, 随着 pH 增大, 镁回收率上升, 其原因是_____。



(3) $\text{pH} > 6$ 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

例 1 向起始浓度均为 0.5 mol/L 的 NaI 、 NaCl 混合溶液中滴加少量 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 AgNO_3 溶液”; ③ AgI 、 AgCl 分别为黄色沉淀和白色沉淀。先生成沉淀的 K_{sp} 较小, 则 $K_{\text{sp}}(\text{AgI}) < K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$ 。

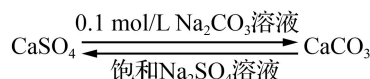
2 判断沉淀转化平衡移动的方向

$Q > K_{\text{sp}}$: 溶液过饱和, 有_____;

$Q = K_{\text{sp}}$: 溶液饱和, 处于_____;

$Q < K_{\text{sp}}$: 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 $\text{A} \rightleftharpoons$ 沉淀 B。

[结论] 无法推出 $K_{\text{sp}}(\text{B}) < K_{\text{sp}}(\text{A})$ 。

核心2 K_{sp} 的相关计算

1 计算沉淀转化的平衡常数及其完全转化时所需浓度

依据沉淀的转化反应和 K_{sp} , 计算该反应的平衡常数, K 值越大, 转化反应越易进行, 转化程度越大。

如: 对于反应 $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{ZnS}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CuS}(\text{s}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$, 该反应的平衡常数 $K = \frac{c(\text{Zn}^{2+})}{c(\text{Cu}^{2+})} = \frac{c(\text{Zn}^{2+}) \cdot c(\text{S}^{2-})}{c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c(\text{S}^{2-})} = \frac{K_{sp}(\text{ZnS})}{K_{sp}(\text{CuS})}$ 。

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 AgCl 的 $K_{sp} = a$, 则饱和 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 AgCl 的 $K_{sp} = a$, 在 0.1 mol/L 的 NaCl 溶液中加入过量的 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 2

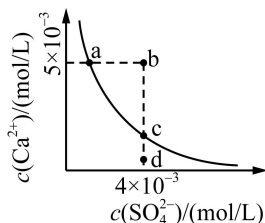
(1) 向滤液中滴加 NaOH 溶液, 调节 pH 进行除杂。若溶液中 $c(\text{Co}^{2+}) = 0.2 \text{ mol/L}$, 欲使溶液中 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 的浓度均小于 $1 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$, 需控制的 pH 范围为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。已知: 室温下, $K_{sp}[\text{Al}(\text{OH})_3] = 1 \times 10^{-33}$, $K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 3 \times 10^{-39}$, $K_{sp}[\text{Co}(\text{OH})_2] = 2 \times 10^{-15}$ 。

(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 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 L)。

核心3 K_{sp} 平衡常数曲线

1 阳离子—阴离子单曲线图。

常温下, CaSO_4 在水中的沉淀溶解平衡曲线如图所示 ($K_{sp} = 9 \times 10^{-6}$)。



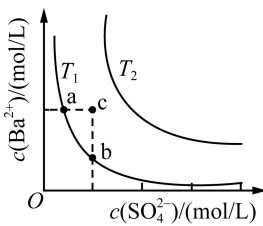
(1) a、c 点在曲线上, $a \rightarrow c$ 的变化为增大 $c(\text{SO}_4^{2-})$, 如加入 Na_2SO_4 固体, 但 K_{sp} $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) b 点在曲线的上方, $Q > K_{sp}$, 将会有 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(3) d 点在曲线的下方, $Q < K_{sp}$, 则为不饱和溶液, 还能继续溶解 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。

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>T_1 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>T_2 对应的曲线：a、b、c 点都表示不饱和溶液</p> <p>②计算 K_{sp}：由 a 点或 b 点可以计算出 T_1 温度下的 K_{sp}。</p> <p>③比较 T_1 和 T_2 大小：由沉淀溶解平衡大部分为吸热过程可知，T_1_____T_2</p>

检测反馈

对点练，再提升

1 判断下列说法是否正确。

(1) [2024 南京二模]制备光电子功能材料 ZnS 可通过自发反应 $\text{ZnO(s)} + \text{H}_2\text{S(g)} \rightleftharpoons \text{ZnS(s)} + \text{H}_2\text{O(g)}$ ，其他条件相同，缩小容器容积，达到新平衡时， $\frac{c(\text{H}_2\text{S})}{c(\text{H}_2\text{O})}$ 减小()

(2) [2024 苏州期初]向盛有 3 mL 0.1 mol/L AgNO_3 溶液的试管中滴加 2 滴 0.1 mol/L 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 KI 溶液，有黄色沉淀生成。结论： $K_{sp}(\text{AgI}) < K_{sp}(\text{AgCl})$ ()

(3) [2024 南通、泰州等八市三调] 已知：室温下， $K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 1 \times 10^{-36}$ ， $K_{sp}[\text{Ni}(\text{OH})_2] = 2 \times 10^{-15}$ 。向含少量 Fe^{3+} 的 NiCl_2 酸性溶液加 Na_2CO_3 溶液调 pH，生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 除去 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]用含少量 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的 CoCl_2 溶液加入 NH_4F 除 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 。已知：室温下， $K_{sp}(\text{MgF}_2) = 5 \times 10^{-11}$ ， $K_{sp}(\text{CaF}_2) = 5 \times 10^{-9}$ 。“沉钙镁”后的溶液中： $\frac{c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{Mg}^{2+})} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

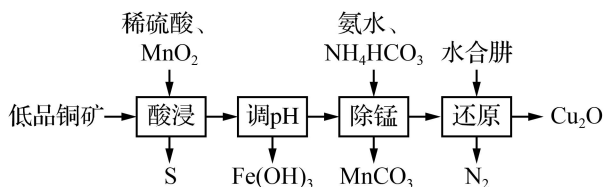
(2) [2024 苏州期末]水解反应 $\text{TiO}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{TiO}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{H}^+$ 的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。已知：该温度下， $K_w = 1 \times 10^{-12}$ ， $K_{sp}[\text{TiO}(\text{OH})_2] = 1 \times 10^{-29}$ 。

(3) [2024 如东中学、如东一高等四校学情调研]“镍钴分离”后溶液中 $c(\text{Ni}^{2+}) = 1.0 \text{ mol/L}$ ，若沉镍后的“滤液 1”中 $c(\text{CO}_3^{2-}) = 10^{-5} \text{ mol/L}$ ，则沉镍率 = $\frac{\text{因沉淀减少的 } c(\text{Ni}^{2+})}{\text{初始 } c(\text{Ni}^{2+})} \times 100\%$ [已知： $K_{sp}(\text{NiCO}_3) = 1.0 \times 10^{-7}$ ，沉镍率 = $\frac{\text{因沉淀减少的 } c(\text{Ni}^{2+})}{\text{初始 } c(\text{Ni}^{2+})} \times 100\%$]

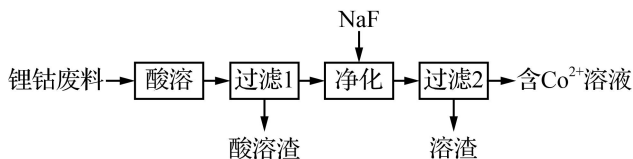
铬铁合金 $\xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4}$ 酸溶 $\xrightarrow{\text{Na}_2\text{S}}$ 除钴镍 $\xrightarrow{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ 沉铁 $\xrightarrow{\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}$ 粗品 $\rightarrow \text{LiFePO}_4$

滤液 $\rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3$

(2) [2023 无锡调研]用低品铜矿（主要含 CuS 、 FeO ）制备 Cu_2O 的一种工艺流程如图所示。



(3) [2024 镇江名校期初]从锂钴废料（主要成分为 LiCoO_2 ）分离 Co^{2+} ，流程如图所示。“净化”时，加 NaF 固体的目的是将 Li^+ 转化为沉淀，“净化”后溶液中 $c(\text{F}^-)=4.0\times 10^{-2}\text{ mol/L}$ ，若“过滤 1”后溶液中 Li^+ 浓度为 1.0 mol/L ，则“净化”后 $c(\text{Na}^+)=$ _____ [溶液体积变化忽略不计，不考虑其他离子影响。25℃时 $K_{\text{sp}}(\text{LiF})=2.0\times 10^{-3}$]。

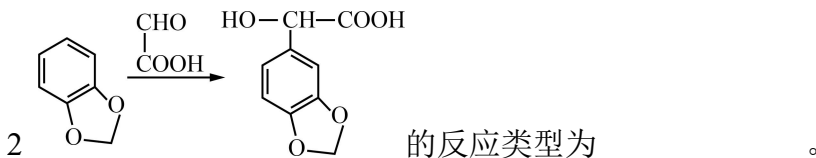
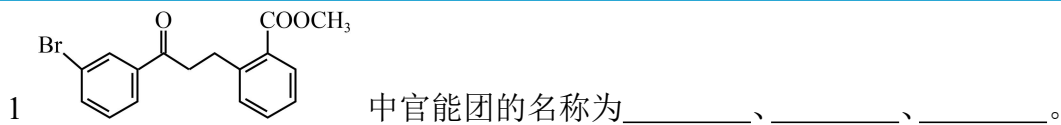


主题4 有机物转化与应用

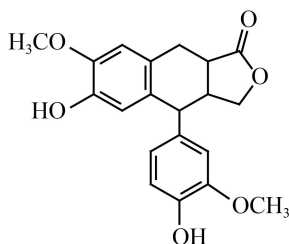
微主题8 有机物的结构与性质

基础回归

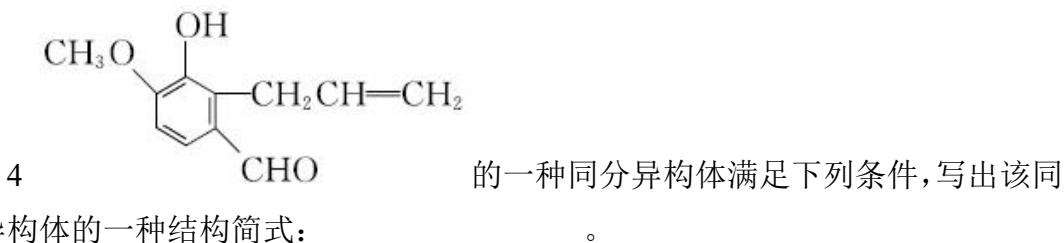
课前热身，激活思维



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。



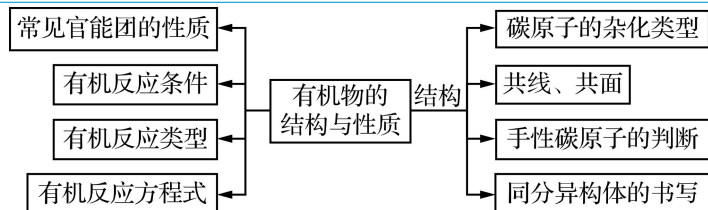
- (1) 分子中有_____个手性碳原子。
- (2) 1 mol 铁杉脂素与足量 NaOH 溶液反应时，最多能消耗_____mol NaOH。
- (3) 1 mol 铁杉脂素与足量 H₂ 发生反应，最多能消耗_____mol H₂。
- (4) 1 mol 铁杉脂素与浓溴水发生取代反应，最多消耗_____mol Br₂。



- ①有 5 种不同化学环境的氢原子且苯环上的一溴代物只有 2 种；
- ②既能发生银镜反应，又能与 NaHCO₃ 溶液反应放出 CO₂。

体系建构

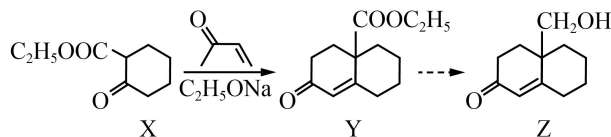
化散为整，融会贯通



3 年真题

考向 1 有机物的结构与性质

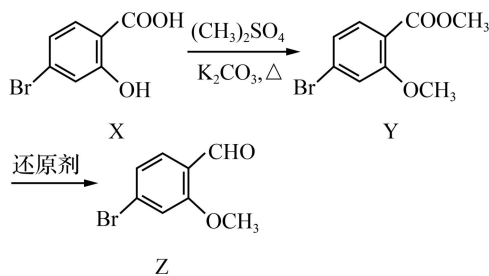
1 [2024 江苏卷] 化合物 Z 是一种药物的重要中间体, 部分合成路线如下:



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

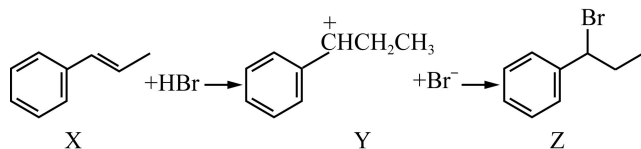
2 [2023 江苏卷] 化合物 Z 是合成药物非奈利酮的重要中间体, 其合成路线如下:



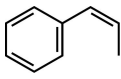
下列说法正确的是()

- A. X 不能与 $FeCl_3$ 溶液发生显色反应
- B. Y 中的含氧官能团分别是酯基、羧基
- C. 1 mol Z 最多能与 3 mol H_2 发生加成反应
- D. X、Y、Z 可用饱和 $NaHCO_3$ 溶液和 2% 银氨溶液进行鉴别

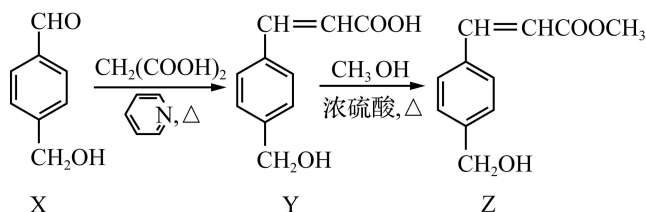
3 [2022 江苏卷] 精细化学品 Z 是 X 与 HBr 反应的主产物, $X \rightarrow Z$ 的反应机理如下:



下列说法不正确的是()

- A. X 与  互为顺反异构体
- B. X 能使溴的 CCl_4 溶液褪色
- C. X 与 HBr 反应有副产物生成
- D. Z 分子中含有 2 个手性碳原子

4 [2021 江苏卷] 化合物 Z 是合成抗多发性骨髓瘤药物帕比司他的重要中间体, 可由下列反应制得。

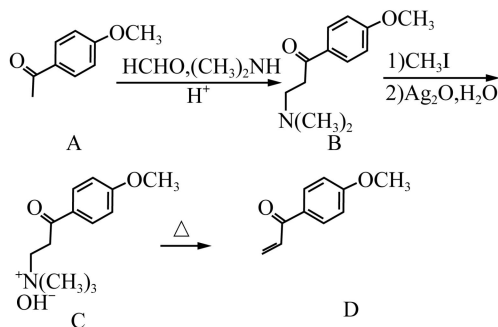


下列有关 X、Y、Z 的说法正确的是()

- A. 1 mol X 中含有 2 mol 碳氧 π 键
- B. X、Y、Z 分别与足量酸性 KMnO_4 溶液反应所得的芳香族化合物相同
- C. Z 在水中的溶解度比 Y 在水中的溶解度大
- D. Y 与足量 HBr 反应生成的有机化合物中不含手性碳原子

考向 2 有机物的官能团、反应条件及类型判断

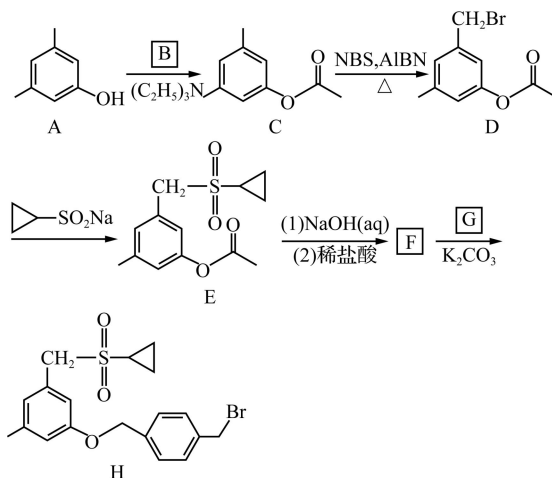
5 [2024 江苏卷] 部分有机合成路线如下:



(1) A 分子中的含氧官能团名称为醚键和_____。

(2) $\text{C} \rightarrow \text{D}$ 的反应类型为_____; C 转化为 D 时还生成 H_2O 和_____ (填结构简式)。

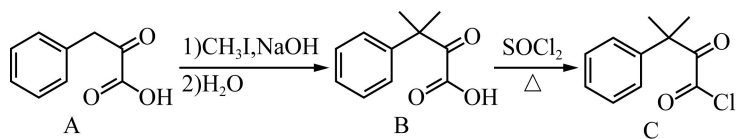
6 [2023 江苏卷] 部分有机合成路线如下:



(1) A 的酸性比环己醇的_____ (填“强”“弱”或“无差别”)。

(2) G 的分子式为 $\text{C}_8\text{H}_8\text{Br}_2$, $\text{F} \rightarrow \text{H}$ 的反应类型为_____。

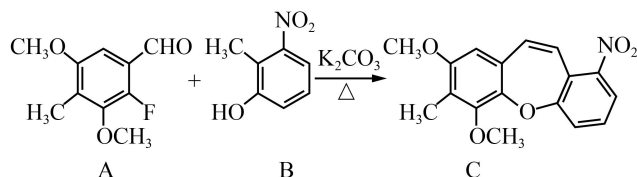
7 [2022 江苏卷]部分有机合成路线如下:



(1) A 分子中碳原子的杂化轨道类型为_____。

(2) B→C 的反应类型为_____。

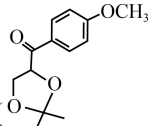
8 [2021 江苏卷]部分有机合成路线如下:



(1) A 分子中采取 sp^2 杂化的碳原子数目是_____。

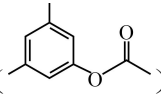
(2) $A + B \rightarrow C$ 需经历 $A + B \rightarrow X \rightarrow C$ 的过程, 中间体 X 的分子式为 $C_{17}H_{17}NO_6$ 。X→C 的反应类型为_____。

考向 3 限定条件下同分异构体的书写

9 [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: _____。

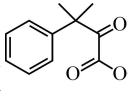
①碱性条件下水解后酸化, 生成 X、Y 和 Z 三种有机产物, X 分子中含有 1 个手性碳原子;

②Y、Z 分子中均有 2 种不同化学环境的氢原子, Y 能与 $FeCl_3$ 溶液发生显色反应, Z 不能被银氨溶液氧化。

10 [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: _____。

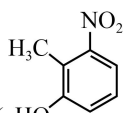
①碱性条件水解后酸化生成两种产物, 产物之一的分子中碳原子轨道杂化类型相同且室温下不能使 2%酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色;

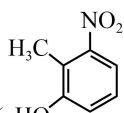
②加热条件下, 铜催化另一产物与氧气反应, 所得有机产物的核磁共振氢谱中只有 1 个峰。

11 [2022 江苏卷]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分子中含有 4 种不同化学环境的氢原子;

②碱性条件下水解, 酸化后得 2 种产物, 其中一种含苯环且有 2 种含氧官能团, 2 种产物均能被银氨溶液氧化。



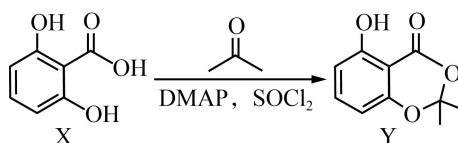
12 [2021 江苏卷]B () 的一种同分异构体同时满足下列条件, 写出该同分异构体的结构简式: _____。

- ①分子中不同化学环境的氢原子个数比是 2 : 2 : 2 : 1;
- ②苯环上有 4 个取代基, 且有 2 种含氧官能团。

3 年模拟

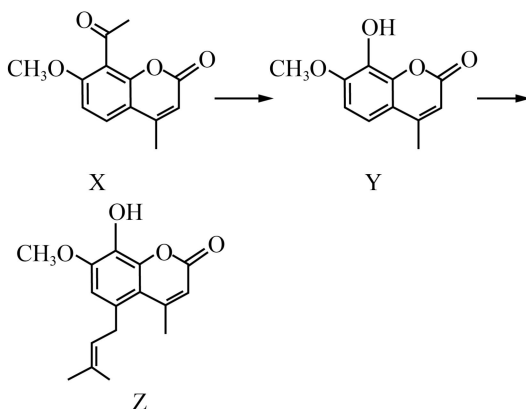
考向 1 有机物的结构与性质

1 [2024 泰州调研] 药物沃塞洛托的重要中间体 Y 的合成路线如图所示。下列说法不正确的是()



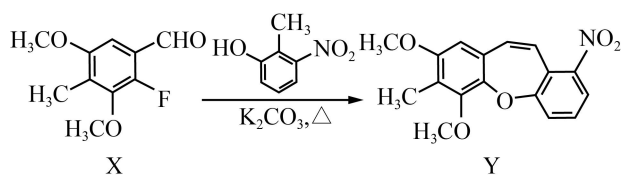
- A. 1 mol X 最多能与 3 mol NaOH 反应
- B. Y 分子中所有原子有可能共平面
- C. X、Y 的分子组成相差 C_3H_4
- D. 用红外光谱可确证 X、Y 存在不同的官能团

2 [2024 南通、泰州等七市二调] 化合物 Z 是一种药物合成中间体, 其合成路线如下:



- 下列说法正确的是()
- A. X 分子中只含有酮羰基、醚键两种含氧官能团
- B. 1 mol Y 与足量 NaOH 溶液反应, 最多能消耗 2 mol NaOH
- C. Z 分子不存在顺反异构体
- D. Z 可与 HCHO 在一定条件下发生缩聚反应

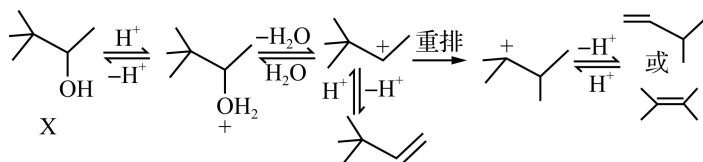
3 [2024 南通四模] 化合物 Y 是合成药物的重要中间体，其合成路线如下：



下列说法正确的是()

- A. X 分子中的含氧官能团为醛基和酮羰基
- B. Y 分子存在顺反异构体
- C. 可用酸性 KMnO_4 溶液鉴别 X 与 Y
- D. X 与足量 H_2 加成后的产物中含有 5 个手性碳原子

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

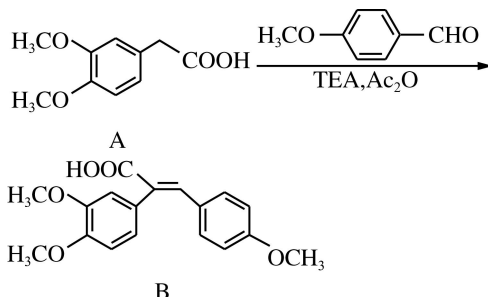
- B. 重排产物 中碳原子杂化方式均为 sp^3

- C. 发生酸催化分子内脱水反应时可得到 3 种有机产物

- 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

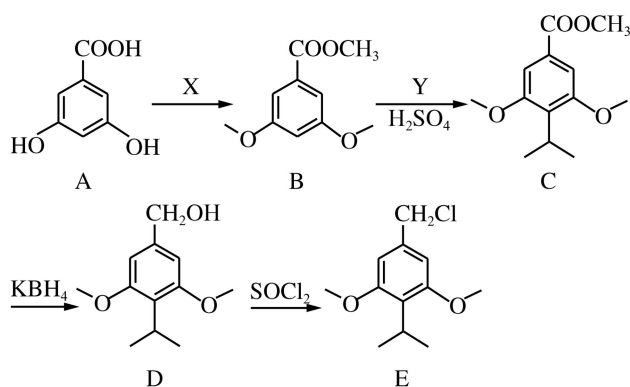
5 [2025 南通如东期初] 部分有机合成路线如下：



(1) A 中含氧官能团的名称为_____。

(2) $\text{A} \rightarrow \text{B}$ 反应需经历 $\text{A} \rightarrow \text{X} \rightarrow \text{B}$ 的过程，已知 X 的分子式为 $\text{C}_{18}\text{H}_{20}\text{O}_6$ ， $\text{A} \rightarrow \text{X}$ 的反应类型为_____。

6 [2025 南京学情调研]部分有机合成路线如下:

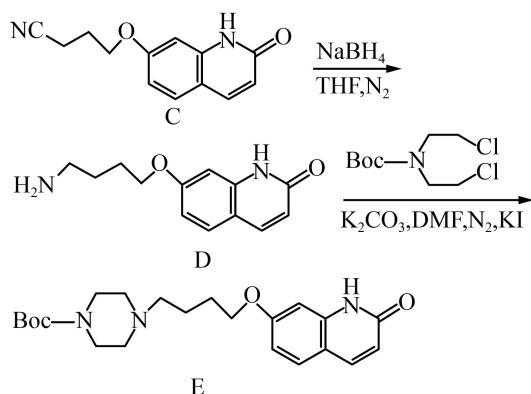


(1) 室温下, 在水中 A 的溶解度比 B 的_____ (填“大”或“小”或“无差别”)。

(2) Y 的分子式为 C_3H_8O , $B \rightarrow C$ 的反应类型为_____。

(3) D 与 $SOCl_2$ 等物质的量反应时会产生污染性气体为_____ (填化学式)。

7 [2024 南京、盐城期末]部分有机合成路线如下:

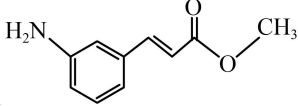


已知: Boc—的结构简式为 $(CH_3)_3C-O-C(=O)-$ 。

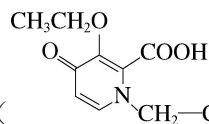
(1) C 分子中采取 sp^3 杂化的碳原子数目是_____。

(2) $D \rightarrow E$ 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

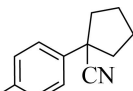
8 [2024 无锡调研]写出满足下列条件的 X () 的一种同分异构体的结构简式:_____。

①属于芳香族化合物; ②能水解生成 2 种产物, 2 种水解产物均能发生银镜反应; ③分子中含有 5 种化学环境不同的 H 原子。



9 [2024 如皋适应性考试一] 写出满足下列条件的 D () 的一种同分异构体的结构简式: _____。

①能与 FeCl_3 溶液发生显色反应; ②水解后可得到 3 种有机产物, 其中 1 种是最简单的 α -氨基酸, 另 1 种产物酸化后均只含 2 种化学环境不同的氢原子。



10 [2024 泰州调研] 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苯环上有 4 个取代基, 能与 FeCl_3 溶液发生显色反应; ②核磁共振氢谱图中有 3 个峰。

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 NaOH 溶液反应 (最多消耗): ①卤代烃, 1 mol 卤素原子消耗 1 mol NaOH (1 mol 与苯环直接相连的卤素原子若水解, 则消耗 2 mol NaOH); ②酯, 1 mol 酯基消耗 1 mol NaOH (1 mol 酚酯或碳酸酯反应消耗 2 mol NaOH); ③羧酸, 1 mol 羧基消耗 1 mol NaOH ; ④酚, 1 mol 酚羟基消耗 1 mol NaOH ; ⑤蛋白质或多肽。

2 能与 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 H_2 ; ②碳碳三键, 1 mol 碳碳三键消耗 2 mol H_2 ; ③苯环, 1 mol 苯环消耗 3 mol H_2 ; ④醛或酮中碳氧双键, 1 mol 碳氧双键消耗 1 mol H_2 (羧基、酯、酰胺基中的碳氧双键不与 H_2 加成)。

3 能与溴水或溴的 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 Br_2 ; ②碳碳三键, 1 mol 碳碳三键消耗 2 mol 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 Na_2CO_3 溶液反应 (最多消耗): ①酚, 酚与 Na_2CO_3 反应只生成 NaHCO_3 , 1 mol 酚羟基消耗 1 mol Na_2CO_3 ; ②羧基, 1 mol $-\text{COOH}$ 可消耗 1 mol Na_2CO_3 (生成 NaHCO_3) 或消耗 0.5 mol Na_2CO_3 (生成 CO_2)。能与 Na_2CO_3 反应生成 CO_2 的有机物一般含有 $-\text{COOH}$ 。

5 能与 NaHCO_3 溶液反应 (最多消耗): 羧基, 1 mol $-\text{COOH}$ 消耗 1 mol NaHCO_3 。

6 能与 KMnO_4 溶液反应: 碳碳双键、碳碳三键、苯的同系物、醇(α -H)、酚、醛。

7 能与 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 NaOH 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。

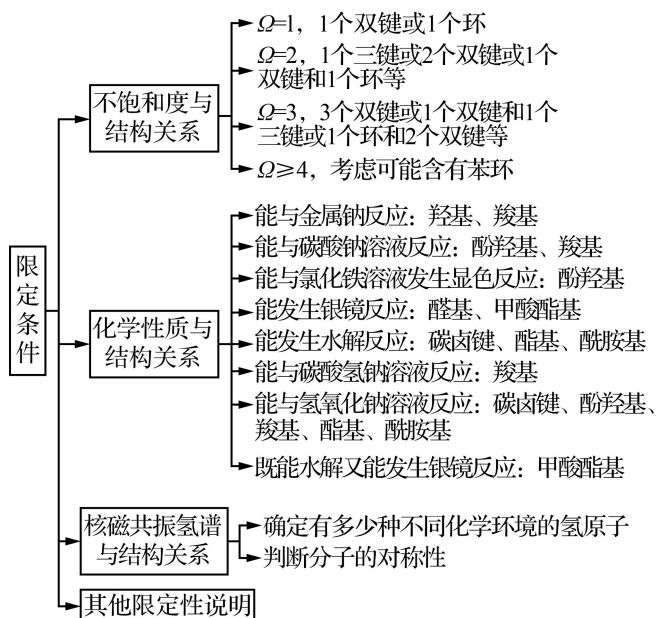
核心 2 依据反应条件判断有机反应类型

反应条件	反应类型和可能的官能团（或基团）
浓硫酸、 Δ	①醇的消去（醇羟基）； ②酯化反应（羟基或羧基）
稀硫酸、 Δ	①酯的水解（酯基）； ②糖类的水解反应
NaOH/水、 Δ	①卤代烃的水解（—X）； ②酯的水解（酯基）
NaOH/醇、 Δ	卤代烃的消去（—X）
H_2 /催化剂	加成（碳碳双键、碳碳三键、碳氮三键、醛基、羰基、苯环）
O_2 /Cu（或 Ag）、 Δ	醇羟基催化氧化
X_2/FeX_3	苯环上的取代反应
X_2 /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、H 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 FeCl_3 溶液发生显色反应	含有酚羟基
(3)	不能与 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 NaHCO_3 溶液反应产生气体	含有羧基
(7)	0.5 mol 某有机酸与足量碳酸氢钠溶液反应生成 44 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 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;

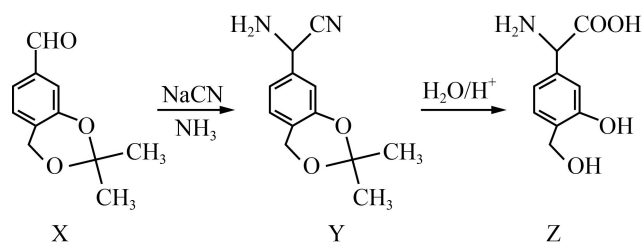
②若醇能被氧化为酮: 含 $\begin{array}{c} -\text{CHOH} \\ | \end{array}$ 结构;

③若醇不能被催化氧化: 含 $\begin{array}{c} | \\ -\text{C}-\text{OH} \\ | \end{array}$ 结构。

(4) 由加氢或加溴后的碳骨架结构可确定 $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$ 或 $-\text{C}\equiv\text{C}-$ 的位置。

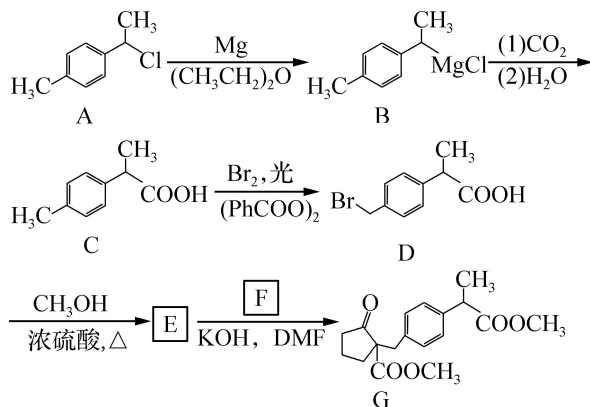
(5) 由有机物发生酯化反应能生成环酯或高聚酯, 可确定该有机物中含 $-\text{OH}$ 和 $-\text{COOH}$, 并根据酯环的大小确定 $-\text{OH}$ 与 $-\text{COOH}$ 的相对位置。

2 [2024 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 KMnO_4 溶液检验 Y 中是否含有 X
 C. 1 mol Z 最多能与 1 mol 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 [2024 宿迁调研] 部分有机合成路线如下:



(1) A 的水溶性比 C 的_____ (填“大”“小”或“无差别”)。

(2) B 与 CO_2 的反应过程中, CO_2 分子中碳原子杂化类型的变化为_____。

(3) F 的分子式为 $\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3$, 其结构简式为_____。

(4) C 的一种同分异构体同时满足下列条件, 其结构简式为_____。

①在碱性条件水解, 酸化得 2 种产物;

②一种产物为芳香族化合物且能与 NaHCO_3 溶液反应, 其有 4 种不同化学环境的氢原子;

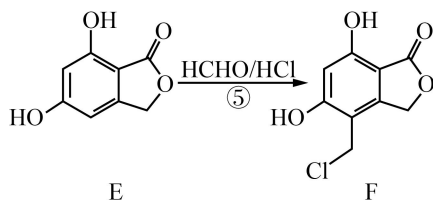
③另一种产物在铜催化条件下与氧气反应, 所得有机产物不能发生银镜反应。

微主题 9 有机物的合成与推断

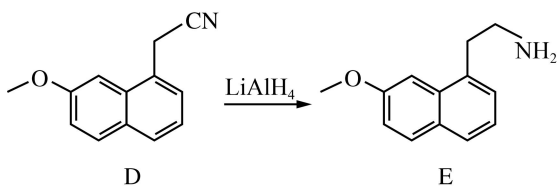
基础回归

课前热身，激活思维

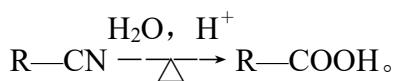
1 步骤⑤可得到副产品 J, J 和 F 互为同分异构体, 写出 J 的结构简式: _____。



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: _____。

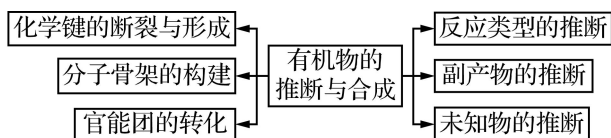


3 请以苯甲醛和乙醇为原料设计制备苯乙酸乙酯(c1ccccc1CC(=O)OCC)的合成路线流程图(注明反应条件)。提示: $\text{R}-\text{Br} + \text{NaCN} \longrightarrow \text{R}-\text{CN} + \text{NaBr}$;



体系建构

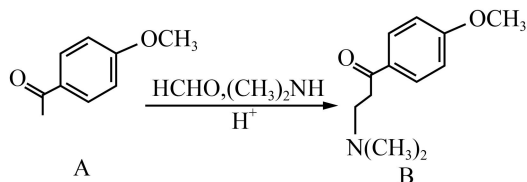
化散为整，融会贯通



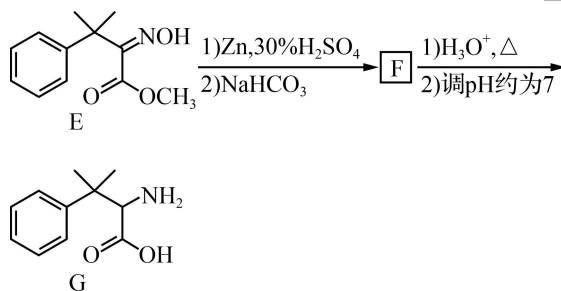
3 年真题

考向 1 有机物的推断

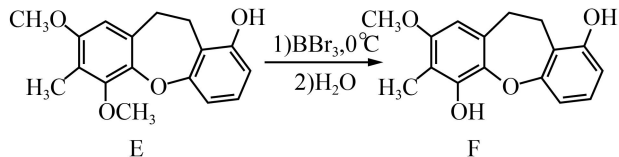
1 (1) [2024 江苏卷] $A \rightarrow B$ 中有副产物 $C_{15}H_{24}N_2O_2$ 生成, 该副产物的结构简式为_____。



(2) [2022 江苏卷] F 的分子式为 $C_{12}H_{17}NO_2$, 其结构简式为_____。



(3) [2021 江苏卷] $E \rightarrow F$ 中有分子式为 $C_{15}H_{14}O_4$ 的副产物生成, 该副产物的结构简式为_____。

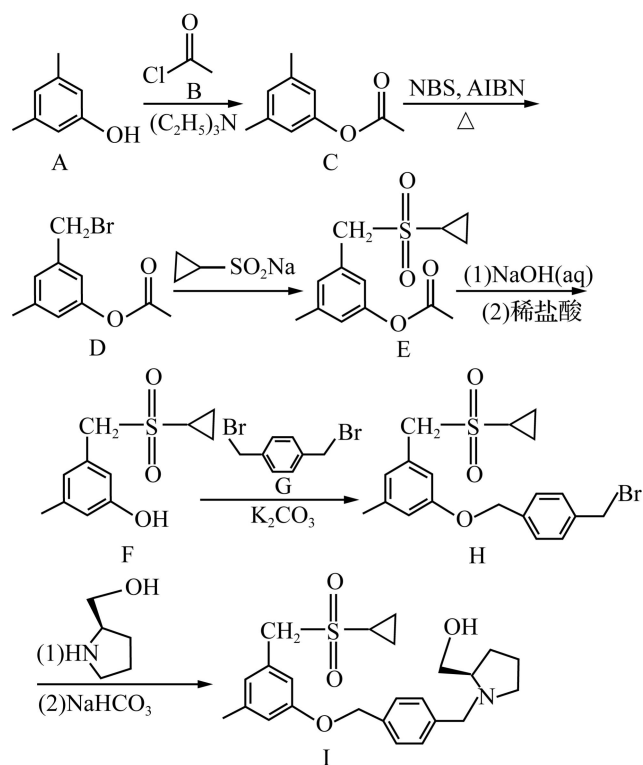


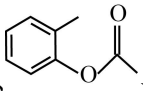

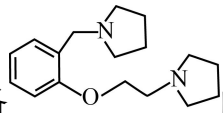
2 [2024 江苏卷] F 是合成含松柏基化合物的中间体, 其合成路线如下:



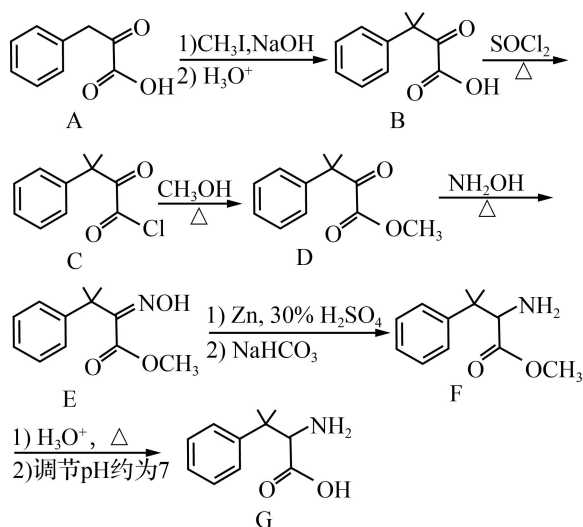
HSCH₂CH₂SH 和 HCHO 为原料制备  的合成路线流程图(无机试剂和有机溶剂任用, 合成路线示例见本题题干)。

3 [2023 江苏卷] 化合物 I 是鞘氨醇激酶抑制剂，其合成路线如下：

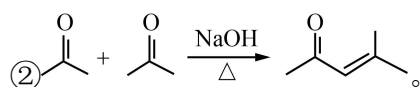


写出以 、 和 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ 为原料制备  的合成路线流程图（须用 NBS 和 AIBN，无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

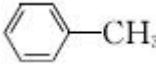
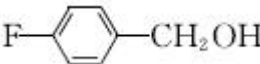
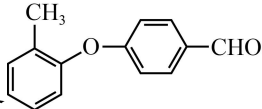
4 [2022 江苏卷] 化合物 G 可用于药用多肽的结构修饰, 其人工合成路线如下:

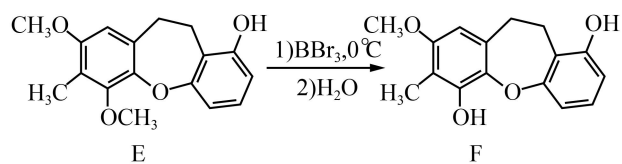




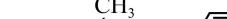
烃基);



写出以 $\begin{array}{c} \text{CHO} \\ | \\ \text{CH}_2 \\ | \\ \text{CH}_2 \\ | \\ \text{CHO} \end{array}$ 和 CH_3MgBr 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)。

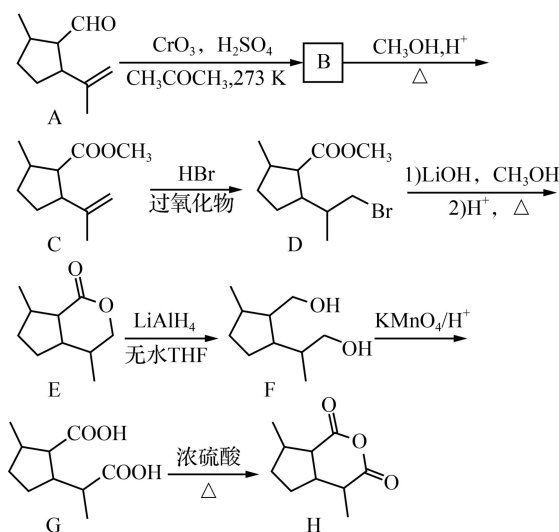
写出以  和  为原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。



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）。

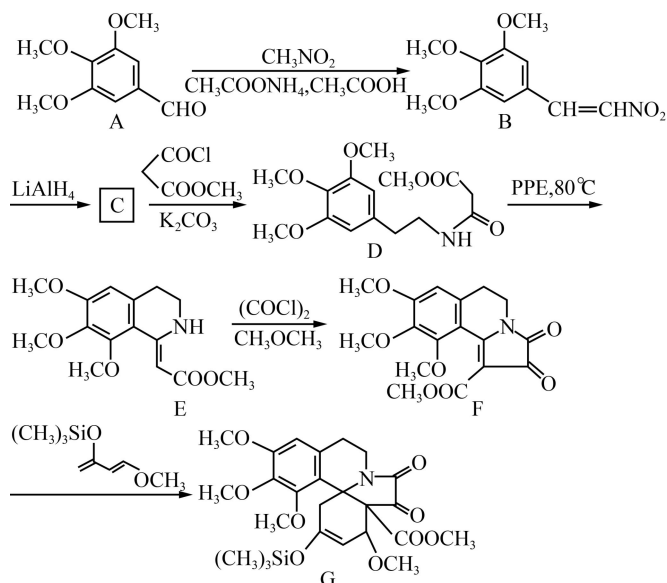
考向 1 有机物的推断

1[2024 苏州期末]二氢荆芥内酯(H)可用作驱虫剂,其人工合成路线如下:



- (1) D 中官能团的名称为_____。
- (2) G 中 sp^3 、 sp^2 杂化的碳原子数目之比为_____。
- (3) B 的结构简式为_____。

2[2024 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:

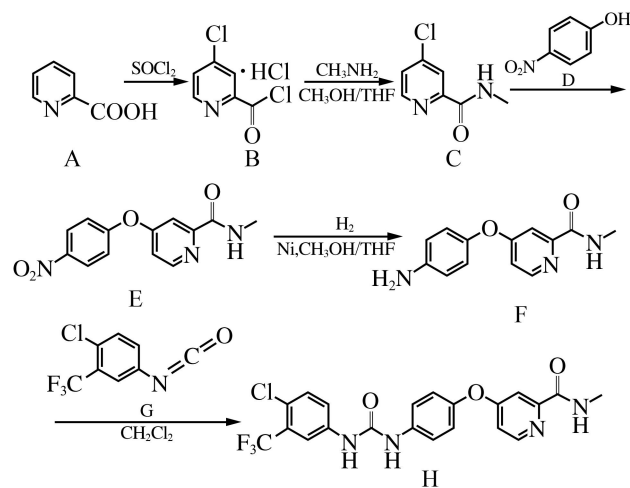



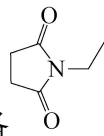
- (1) $A \rightarrow B$ 反应分为 $A \rightarrow X \rightarrow B$ 两步,第二步是消去反应。X 的结构简式为_____。
- (2) C 的分子式为 $C_{11}H_{17}NO_3$, C 的结构简式为_____。
- (3) $LiAlH_4$ 须在无水环境中使用,不能与水或酸接触,原因是_____。
- (4) $F \rightarrow G$ 时会生成一种与 G 互为同分异构体的副产物,该副产物的结构简式为_____。

考向 2 有机合成路线的设计

[成环合成]

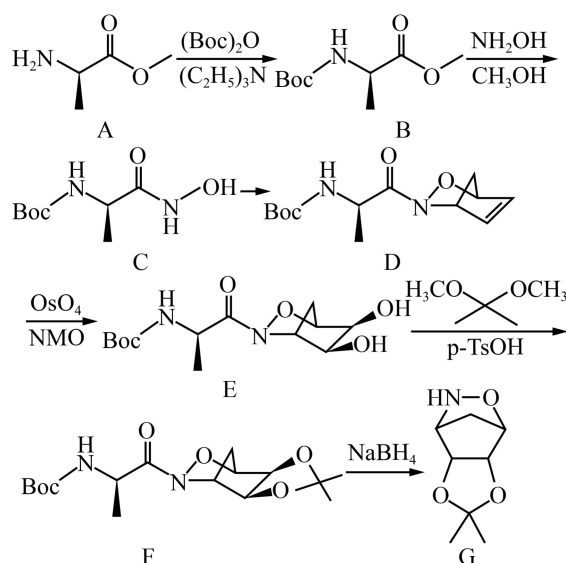
3[2024 南京、盐城一模]索拉非尼(H)可用于肝癌的治疗, 其一种合成路线如下:



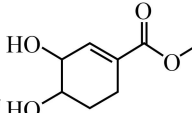
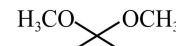
请设计以  和 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ 为原料制备  的合成路线 (无机试剂和有机溶剂任用, 合成路线流程图示例见本题题干)。


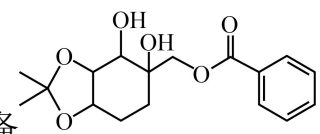
[官能团保护]

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：



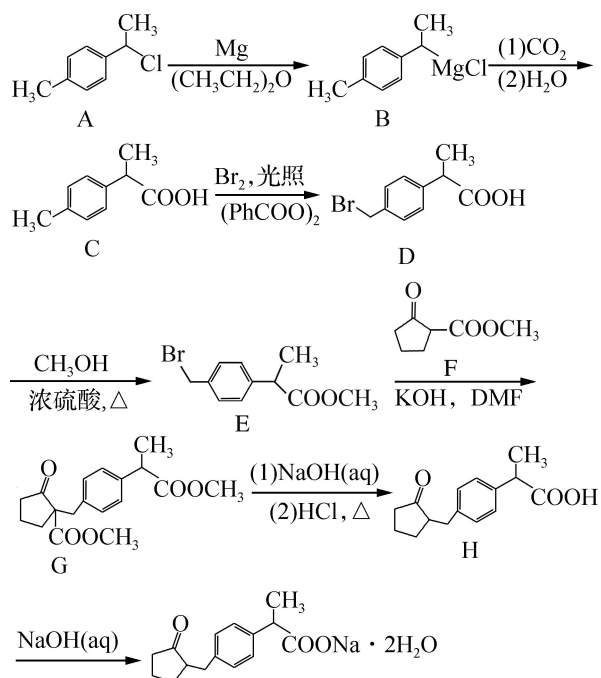
其中“—Boc”为基团“—COOC(CH₃)₃”的缩写。

已知： $\text{R}-\text{COOR}' \xrightarrow[\text{AlCl}_3]{\text{LiAlH}_4} \text{R}-\text{CH}_2\text{OH}$ 。写出以 、 和

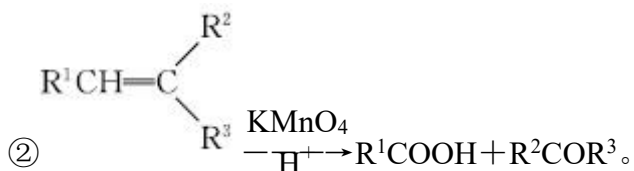
 为原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用）。

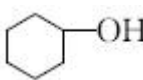

[信息解读与应用]

5 [2024 宿迁调研] 化合物 I 是一种非甾体类抗炎药，其合成路线如下：



已知：① $\text{R}^1\text{COOR}^2 \xrightarrow[\text{EtONa}]{\text{R}^3\text{CH}_2\text{COOR}^4} \begin{array}{c} \text{R}^1\text{COCHCOOR}^4 \\ | \\ \text{R}^3 \end{array}$ (R^1 、 R^2 、 R^3 、 R^4 指烃基，下同)；



写出以 、 CH_3OH 、 CH_3Cl 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 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

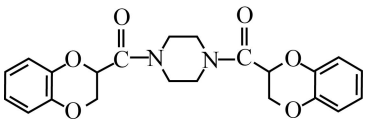
对比找差异（前后结构上的差异判断官能团的变化），性质巧推断（结合不饱和度、有机物性质及反应条件，推断结构），相对分子质量来验证（通过题目提供的分子式来验证猜想，检验结果）。

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  与  反应生成  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，依据相对分子质量，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	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow[170^\circ]{\text{浓硫酸}} \text{CH}_2=\text{CH}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
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 H_2 、 HX 、 X_2 的不完全加成	$\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{H}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{Ni}} \text{CH}_2=\text{CH}_2$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CHBr}=\text{CHBr}$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{HCl} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_2=\text{CHCl}$

(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	$\text{CH}_3\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光}} \text{HCl} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{FeBr}_3} \text{C}_6\text{H}_4(\text{Br})\text{CH}_3 + \text{HBr}$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光照}} \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl} + \text{HCl}$
不饱和烃与卤素单质、卤化氢加成	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CHBrCH}_3$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{HCl} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{CH}_2=\text{CHCl}$ $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{HBr} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{CH}_3-\text{CHBrCH}_3$
醇与氢溴酸的取代反应	$\text{R}-\text{OH} + \text{HBr} \xrightarrow[\Delta]{\text{浓硫酸}} \text{R}-\text{Br} + \text{H}_2\text{O}$

(3) 引入羟基

烯烃与水加成	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{加热、加压}]{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
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	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{H} + \text{H}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{CH}_3 + \text{H}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3-\overset{\text{OH}}{\underset{ }{\text{CH}}}-\text{CH}_3$
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	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} \xrightarrow{-\text{H}_2\text{O}} \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{H}$
含碳碳三键的物质与水加成	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{CH}_3$

(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 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 CH_3CHO 。

(3) 通过还原（或加成）或氧化反应等消除醛基。如 CH_3CHO 被氧化生成 CH_3COOH ， CH_3CHO 被 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（ $\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{||}{\text{C}}}\text{—O—R}$ ）、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 CH_3COOH 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 NaOH 醇溶液中发生消去反应转化成乙烯，在 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

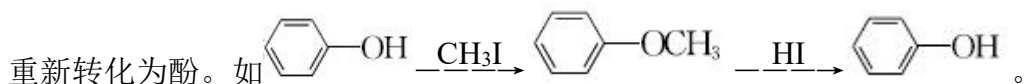
(1) 碳碳双键：易与卤素单质加成，易被氧气、臭氧、双氧水、酸性高锰酸钾溶液氧化，在氧化其他基团前可以利用其与 HCl 等的加成反应将其保护起来，

再利用消去反应转变为碳碳双键。如 $\text{HOCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{OH} \xrightarrow[\Delta]{\text{HCl, 催化剂}} \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

$$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CHClCH}_2\text{OH} \xrightarrow{\text{KMnO}_4/\text{H}^+} \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{COOH} \\ | \\ \text{Cl}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array} \xrightarrow[\text{②酸化}]{\text{①NaOH/醇, } \Delta} \begin{array}{c} \text{CHCOOH} \\ || \\ \text{CHCOOH} \end{array}$$

(2) 酚羟基：易被氧气、臭氧、双氧水、酸性高锰酸钾溶液氧化。

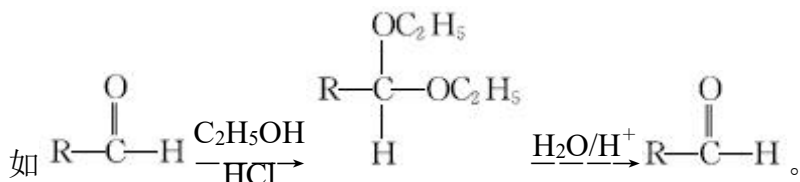
方法 1: 在氧化其他基团前用碘甲烷(CH_3I)先转化为苯甲醚, 后用氢碘酸酸化



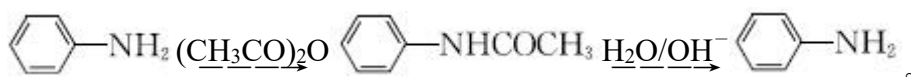
方法 2: 在氧化其他基团前用 NaOH 溶液先转化为酚钠, 后酸化重新转化为



(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。

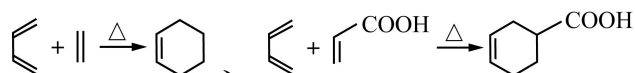


(4) 氨基: 易被氧气、臭氧、双氧水、酸性高锰酸钾溶液氧化, 在氧化其他基团前可以用醋酸酐将氨基转化为酰胺, 然后再水解转化为氨基。如

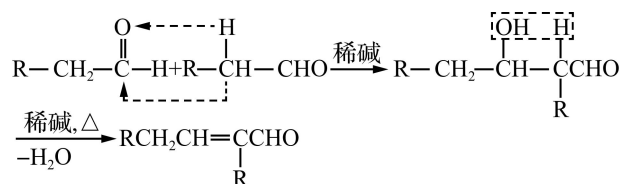


4*常考有机反应信息

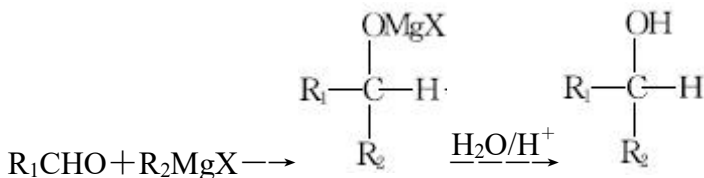
(1) Diels-Alder 反应: 共轭二烯烃可以和某些具有碳碳双键的不饱和化合物进行 1, 4-加成反应, 生成环状化合物, 这个反应叫双烯合成。



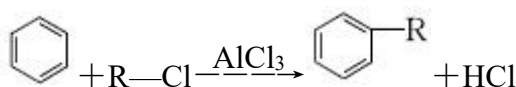
(2) 羟醛缩合: 有 $\alpha\text{-H}$ 的醛在稀碱(10% NaOH)溶液中能和另一分子醛相互作用, 生成 $\beta\text{-羟基醛}$ 。



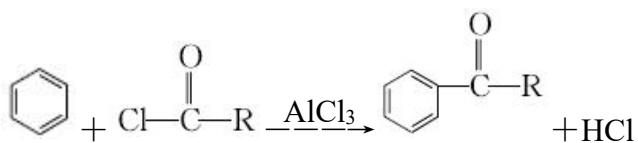
(3) 醛或酮与格氏试剂(RMgX)发生加成反应, 所得产物经水解可得到醇。



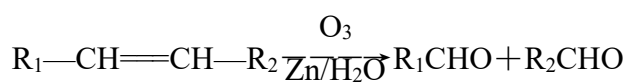
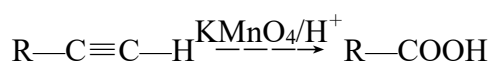
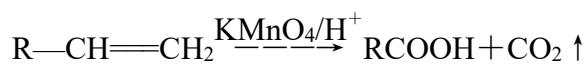
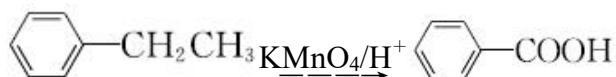
(4) 苯环与卤代烃反应 (傅克反应):



(5) 苯环与酰卤反应（傅克反应）：

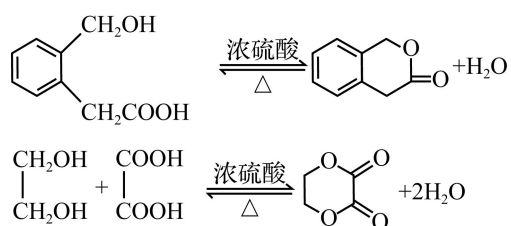


(6) 氧化反应：



核心 3* 合成路线设计中的成环反应

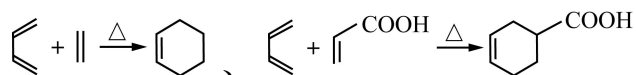
1 酯化反应成环



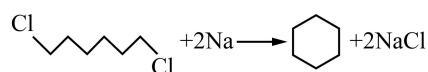
2 生成环醚



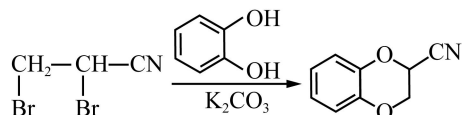
3 Diels-Alder 反应


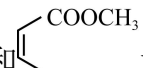
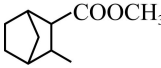


4 二氯代烃与 Na 成环

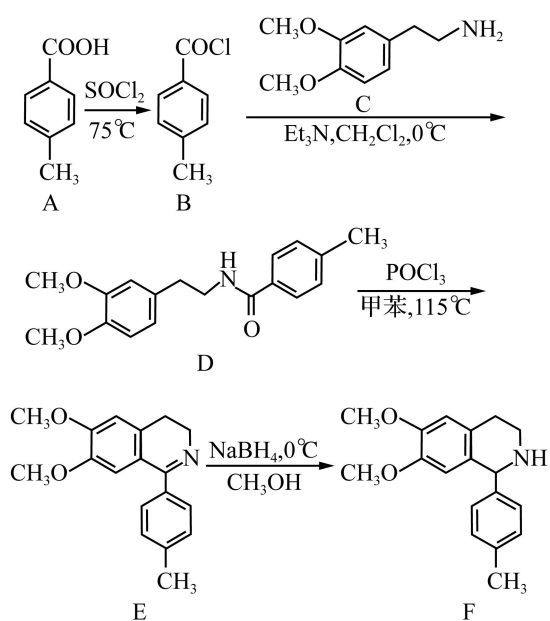


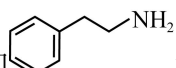
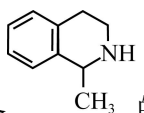
5 形成杂环化合物



例 1 [2018 江苏卷]已知： $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ 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：

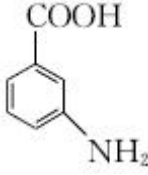


写出以 CH_3CHO 和  为原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

核心 4★ 合成路线顺序的选择

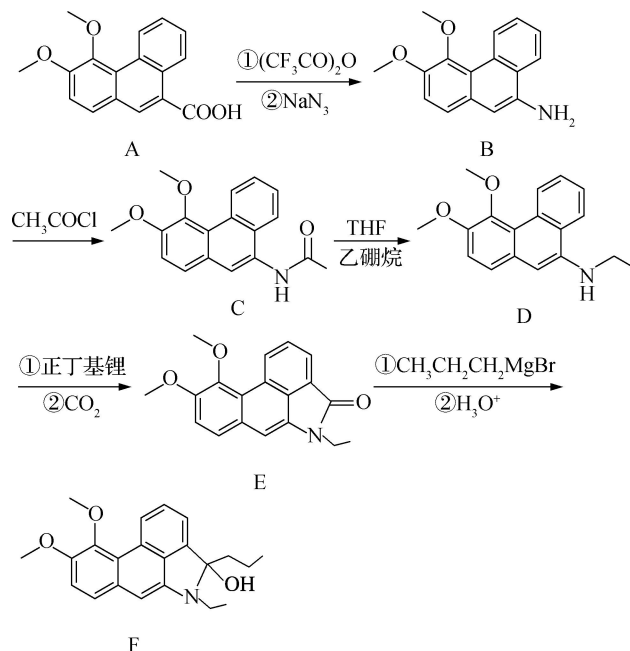
合成路线顺序的选择：一是氧化还原时，先氧化还是先还原，若先还原，还原反应后的基团在氧化步骤中是否被氧化；若先氧化，需要考虑除指定基团外，是否还有基团被氧化。二是先反应还是先引入新基团，需要考虑引入的基团是否影响后续基团的反应；三是考虑基团相互影响，苯环上原有的取代基对新引入的取代基进入苯环的位置有显著影响（引入“邻、对位”或“间位”）。

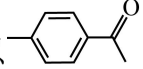
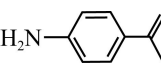
例 3 已知：①苯与 CH_3Cl 在催化剂条件下反应生成甲苯，羧基为间位定位基；

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。

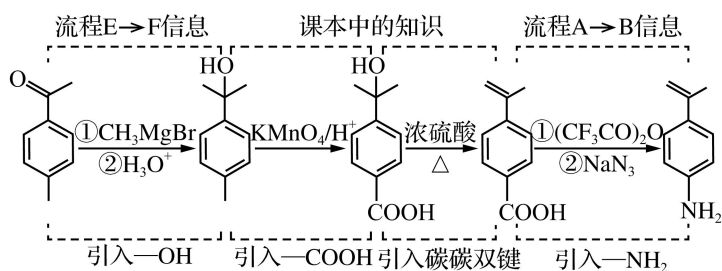
【分析】对比苯与产物的结构可知合成路线：一是引入甲基再氧化为羧基；二是引入硝基再还原为氨基。(1) 先引入甲基并氧化为羧基，因为氨基在羧基的间位，且羧基为间位定位基。(2) 后在间位引入硝基并还原为氨基。

例 4 部分有机合成路线如下：

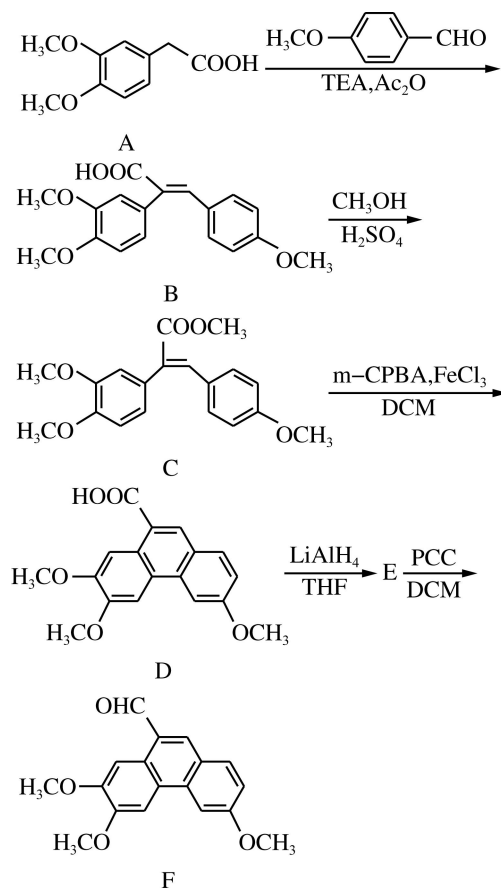


已知：格氏试剂（ RMgBr ， R 为烃基）能与水、羟基、羧基、氨基等发生反应。写出以 、 CH_3MgBr 为原料制备  的合成路线流程图（无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）。

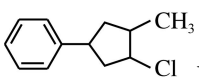
【分析】 (1) 先与格氏试剂反应后氧化甲基，因为羧基也能和格氏试剂反应。(2) 先氧化甲基后消去羟基，因为碳碳双键也能被 KMnO_4/H^+ 氧化。(3) 利用 $\text{A} \rightarrow \text{B}$ 反应将羧基转化为氨基。

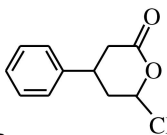


1 [2025 如东期初] 化合物 F 可以用于治疗哮喘、支气管炎、风湿等疾病。其一种合成路线如下:

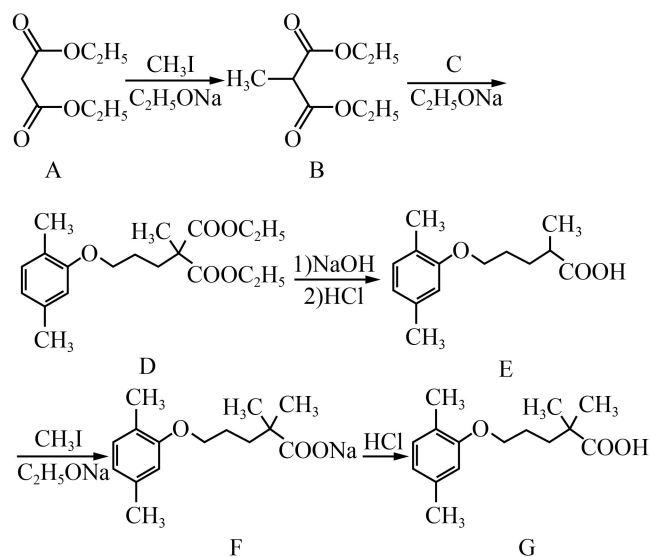


(1) E 的分子式为 $C_{18}H_{18}O_4$, 则 E 的结构简式为_____。

(2) 已知: $\begin{matrix} R_1 \\ R_2 \end{matrix} C=CH_2 \xrightarrow[2) Zn/H_2O]{1) O_3} \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \end{matrix} C=O + HCHO$ 。试写出以  为主要原料制备

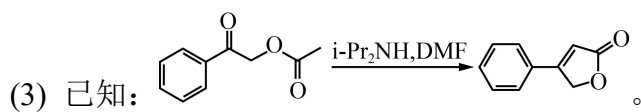
料制备  的合成路线流程图 (无机试剂和有机溶剂任用, 合成路线流程图示例见本题题干)。


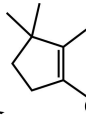
2 [2024 南外、金中等三校联考]某降血脂药物吉非罗齐(G)的一种合成路线如下:



(1) 已知C的分子式为 $C_{11}H_{15}BrO$, C的结构简式为_____。

(2) E \rightarrow F的反应需经历E \rightarrow X \rightarrow F的过程, 中间产物X和G互为同分异构体, 写出该中间产物X的结构简式: _____。



写出以 、乙醇为原料制备  的合成路线图 (须使用 $i\text{-Pr}_2\text{NH}$ 、DMF, 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)。

合成路线流程图示例见本题题干)。

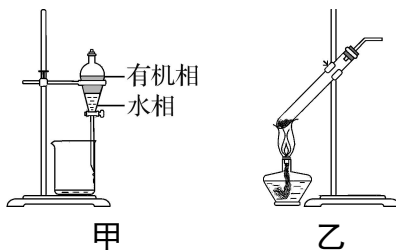
主题5 实验探究与实践

微主题10 化学实验与探究

基础回归

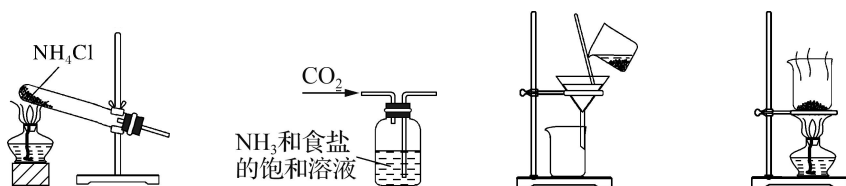
课前热身，激活思维

1 下列实验操作正确的是()



- A. 用玻璃棒蘸取 CH_3COOH 溶液点在用水湿润的 pH 试纸上,测定该溶液的 pH
- B. 中和滴定时,滴定管用所盛装的反应液润洗 2~3 次
- C. 用装置甲分液,放出水相后再从分液漏斗下口放出有机相
- D. 用装置乙加热分解 NaHCO_3 固体

2 根据侯氏制碱原理制备少量 NaHCO_3 , 经过制取氨气、制取 NaHCO_3 、分离 NaHCO_3 、干燥 NaHCO_3 四个步骤, 下列图示装置和原理能达到实验目的的是()

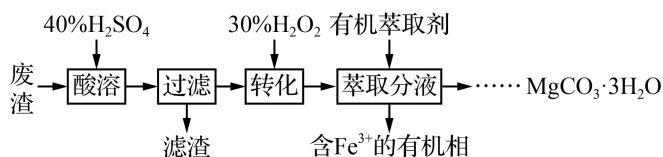


- A. 制取氨气 B. 制取 NaHCO_3 C. 分离 NaHCO_3 D. 干燥 NaHCO_3

3 根据下列实验操作和现象所得出的结论正确的是()

选项	实验操作和现象	结论
A	向苯酚浊液中滴加 Na_2CO_3 溶液, 浊液变澄清	苯酚的酸性强于 H_2CO_3 的酸性
B	向碘水中加入等体积 CCl_4 , 振荡后静置, 上层接近无色, 下层显紫红色	I_2 在 CCl_4 中的溶解度大于在水中的溶解度
C	向 CuSO_4 溶液中加入铁粉, 有红色固体析出	Fe^{2+} 的氧化性强于 Cu^{2+}
D	向 NaCl 、 NaI 的混合稀溶液中滴入少量 AgNO_3 稀溶液, 有黄色沉淀生成	$K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$

4 实验室以一种工业废渣（主要成分为 MgCO_3 、 Mg_2SiO_4 和少量 Fe、Al 的氧化物）为原料制备 $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。实验过程如下：



(1) 酸溶过程中主要反应的热化学方程式如下：

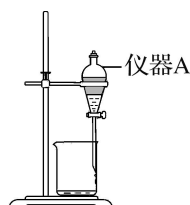


酸溶需加热的目的是_____；

所加 H_2SO_4 不宜过量太多的原因是_____。

(2) 加入 H_2O_2 氧化时发生反应的离子方程式为_____。

(3) 用如图所示的实验装置进行萃取分液，以除去溶液中的 Fe^{3+} 。



① 仪器 A 的名称为_____。

② 为使 Fe^{3+} 尽可能多地从水相转移至有机相，采取的操作：向装有水溶液的仪器 A 中加入一定量的有机萃取剂，_____、静置、分液，并重复多次。

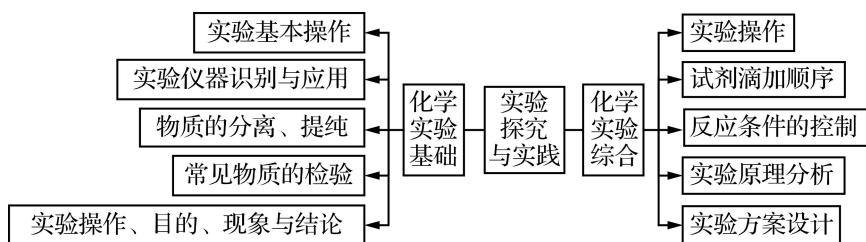
(4) 请补充完整由萃取后得到的水溶液制备 $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的实验方案：边搅拌边向溶液中滴加氨水，_____。

过滤、用水洗涤固体 2~3 次，在 50°C 下干燥，得到 $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。

[已知该溶液中 $\text{pH}=8.5$ 时 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 开始沉淀； $\text{pH}=5.0$ 时 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀完全]

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

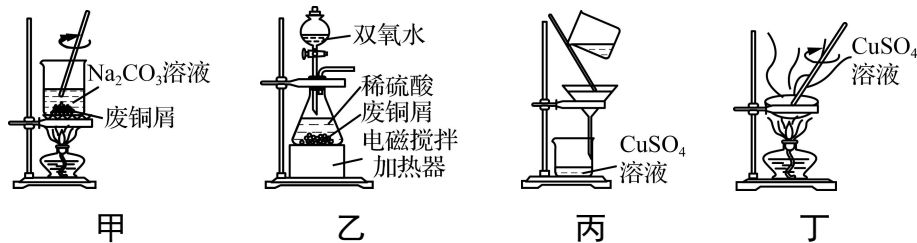
[物质的制备与实验装置]

1 [2023 江苏卷]实验室制取 Cl_2 的实验原理及装置均正确的是()



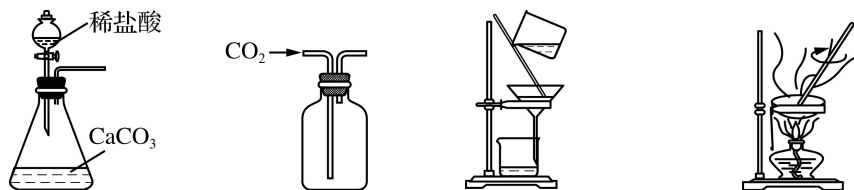
A. 制取 Cl_2 B. 除去 Cl_2 中 HCl C. 收集 Cl_2 D. 吸收尾气中 Cl_2

2 [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 CuSO_4 溶液
D. 用装置丁蒸干溶液获得 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

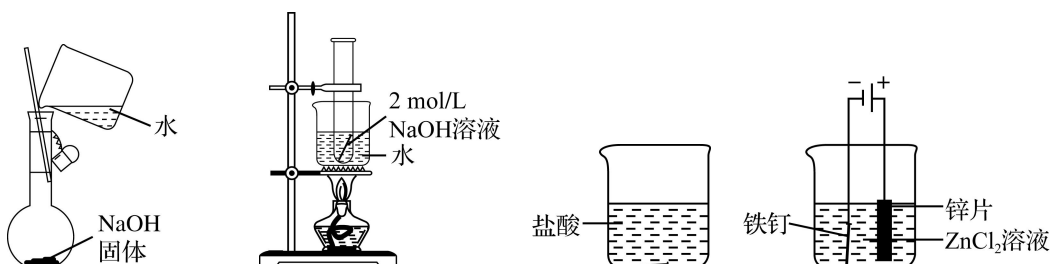
3 [2020 江苏卷]实验室以 CaCO_3 为原料，制备 CO_2 并获得 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体。下列图示装置和原理不能达到实验目的的是()



A. 制备 CO_2 B. 收集 CO_2 C. 滤去 CaCO_3 D. 制得 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

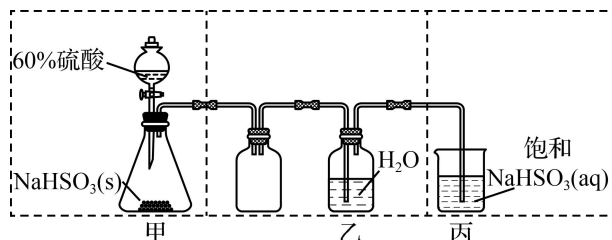
[物质性质探究与实验装置]

4 [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

5 [2022 江苏卷]实验室制取少量 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 SO_2 气体
B. 用装置乙制取 SO_2 水溶液
C. 用装置丙吸收尾气中的 SO_2
D. 用干燥的 pH 试纸检验 SO_2 水溶液的酸性

[实验操作、现象与结论]

6 [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 H_2SO_4 溶液和 0.1 mol/L CH_3COOH 溶液, H_2SO_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 Na_2S 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 CaCl_2 和 BaCl_2 混合溶液中滴加少量 0.1 mol/L Na_2CO_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 CH_3COONa 溶液和 NaNO_2 溶液的 pH, CH_3COONa 溶液的 pH 大	结合 H^+ 能力: $\text{CH}_3\text{COO}^- > \text{NO}_2^-$

7 [2023 江苏卷]室温下, 探究 0.1 mol/L 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 Fe^{3+}	向 2 mL 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	Fe^{2+} 是否有还原性	向 2 mL FeSO_4 溶液中滴加几滴酸性 KMnO_4 溶液, 观察溶液颜色变化
C	Fe^{2+} 是否水解	向 2 mL FeSO_4 溶液中滴加 2~3 滴酚酞试液, 观察溶液颜色变化
D	Fe^{2+} 能否催化 H_2O_2 分解	向 2 mL 5% H_2O_2 溶液中滴加几滴 FeSO_4 溶液, 观察气泡产生情况

8 [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()

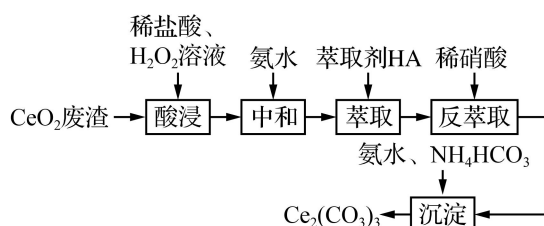
选项	探究方案	探究目的
A	向盛有 FeSO_4 溶液的试管中滴加几滴 KSCN 溶液, 振荡, 再滴加几滴新制氯水, 观察溶液颜色变化	Fe^{2+} 具有还原性
B	向盛有 SO_2 水溶液的试管中滴加几滴品红溶液, 振荡, 加热试管, 观察溶液颜色变化	SO_2 具有漂白性
C	向盛有淀粉碘化钾溶液的试管中滴加几滴溴水, 振荡, 观察溶液颜色变化	Br_2 的氧化性比 I_2 强
D	用 pH 计测量醋酸、盐酸的 pH, 比较溶液 pH 大小	CH_3COOH 是弱电解质

9 [2020 江苏卷]根据下列实验操作和现象所得到的结论正确的是()

选项	实验操作和现象	结论
A	向淀粉溶液中加入适量 20% H_2SO_4 溶液, 加热, 冷却后加 NaOH 溶液至中性, 再滴加少量碘水, 溶液变蓝	淀粉未水解
B	室温下, 向 0.1 mol/L HCl 溶液中加入少量镁粉, 产生大量气泡, 测得溶液温度上升	镁与盐酸反应放热
C	室温下, 向浓度均为 0.1 mol/L 的 BaCl_2 和 CaCl_2 混合溶液中加入 Na_2CO_3 溶液, 出现白色沉淀	白色沉淀是 BaCO_3
D	向 0.1 mol/L H_2O_2 溶液中滴加 0.1 mol/L KMnO_4 溶液, 溶液褪色	H_2O_2 具有氧化性

题型2 化学实验探究——大题

10 [2022 江苏卷]实验室以二氧化铈(CeO_2)废渣为原料制备 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 CeO_2 与 H_2O_2 反应生成 Ce^{3+} 并放出 O_2 , 该反应的离子方程式为_____。

(2) pH 约为 7 的 CeCl_3 溶液与 NH_4HCO_3 溶液反应可生成 $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$ 沉淀, 该沉淀中 Cl^- 含量与加料方式有关。得到含 Cl^- 量较少的 $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$ 的加料方式为 (填字母)。

- A. 将 NH_4HCO_3 溶液滴加到 CeCl_3 溶液中
- B. 将 CeCl_3 溶液滴加到 NH_4HCO_3 溶液中

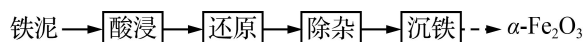
(3) 通过中和、萃取、反萃取、沉淀等过程, 可制备 Cl^- 含量少的 $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$ 。已知 Ce^{3+} 能被有机萃取剂 (简称 HA) 萃取, 其萃取原理可表示为 Ce^{3+} (水层) + 3HA (有机层) $\rightleftharpoons \text{Ce}(\text{A})_3$ (有机层) + 3H^+ (水层)。

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 Ce^{3+} 转移到水层。使 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_____ (填化学式)。

11 [2020 江苏卷]实验室由炼钢污泥 (简称铁泥, 主要成分为铁的氧化物) 制备软磁性材料 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 。其主要实验流程如下:



(1) 酸浸: 用一定浓度的 H_2SO_4 溶液浸取铁泥中的铁元素。若其他条件不变, 下列措施能提高铁元素浸出率的有_____ (填字母)。

- A. 适当升高酸浸温度
- B. 适当加快搅拌速率
- C. 适当缩短酸浸时间

(2) 还原: 向“酸浸”后的滤液中加入过量铁粉, 使 Fe^{3+} 完全转化为 Fe^{2+} 。“还原”过程中除生成 Fe^{2+} 外, 还会生成_____ (填化学式); 检验 Fe^{3+} 是否还原完全的实验操作是_____。

(3) 除杂：向“还原”后的滤液中加入 NH_4F 溶液，使 Ca^{2+} 转化为 CaF_2 沉淀除去。若溶液的 pH 偏低，将会导致 CaF_2 沉淀不完全，其原因是_____

[已知： $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2)=5.3\times 10^{-9}$ ， $K_{\text{a}}(\text{HF})=6.3\times 10^{-4}$]。

(4) 沉铁：将提纯后的 FeSO_4 溶液与 NH_4HCO_3 氨水混合溶液反应，生成 FeCO_3 沉淀。

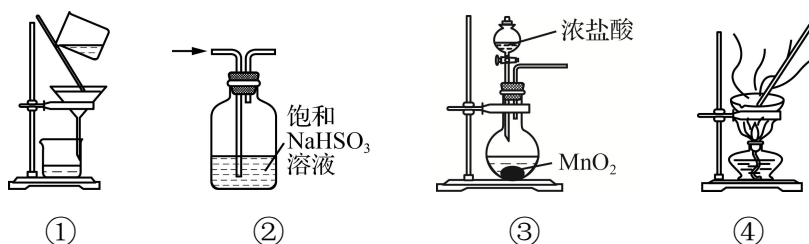
①写出生成 FeCO_3 沉淀的离子方程式：_____。

②设计以 FeSO_4 溶液、氨水 NH_4HCO_3 混合溶液为原料，制备 FeCO_3 的实验方案：_____

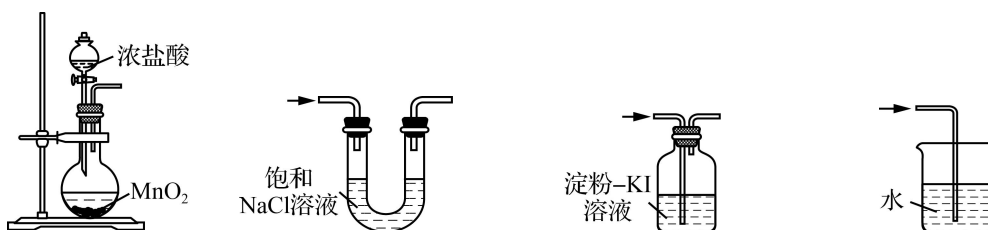
[FeCO_3 沉淀需“洗涤完全”， $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 开始沉淀的 $\text{pH}=6.5$]。

题型 1 化学实验基础——选择题

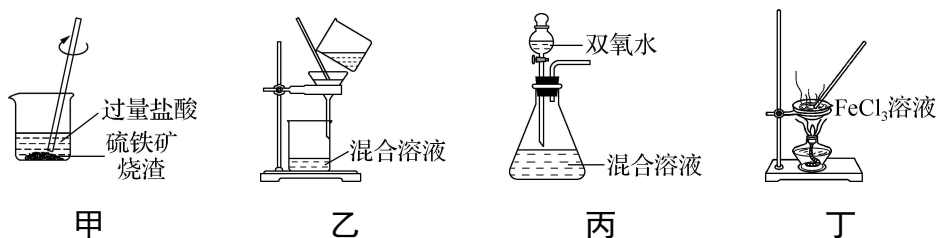
1 [2025 淮安期初]下列实验原理、装置及操作能达到实验目的的是()



- A. 用装置①分离 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体中的 NaCl
 B. 用装置②除去 SO_2 中的 SO_3
 C. 用装置③制取 Cl_2
 D. 用装置④蒸干 FeCl_3 溶液获得 FeCl_3 固体

2 [2024 苏州期末]下列制取、净化 Cl_2 、验证其氧化性并进行尾气吸收的装置和原理能达到实验目的的是()

- A. 制取 Cl_2 B. 除去 HCl C. 验证 Cl_2 的氧化性 D. 吸收尾气

3 [2024 苏锡常镇一调]实验室由硫铁矿烧渣(含 FeO 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 等)制取无水氯化铁的实验原理和装置不能达到实验目的的是()

- A. 用装置甲溶解硫铁矿烧渣
 B. 用装置乙过滤得到含 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 混合溶液
 C. 用装置丙氧化得到 FeCl_3 溶液
 D. 用装置丁蒸干溶液获得无水 FeCl_3

4 [2024 如皋适应性考试一]室温下,下列实验方案能达到探究目的的是()

选项	探究方案	探究目的
A	测定等体积 CH_3COONa 和 NaNO_2 溶液的 pH	比较 CH_3COOH 和 HNO_2 的酸性强弱
B	将石油裂解产生的气体通入 Br_2 的 CCl_4 溶液, 观察溶液颜色变化	验证石油裂解产物中是否含乙烯
C	向 Na_2S 溶液中通入 SO_2 至过量, 观察是否有沉淀生成	SO_2 是否具有氧化性
D	将卤代烃与 NaOH 水溶液混合加热, 待冷却后加入硝酸银溶液, 观察沉淀颜色	确定卤代烃中卤素原子种类

5 [2024 宿迁调研]室温下,探究 0.1 mol/L FeCl_3 溶液的性质, 下列实验方案能达到探究目的的是()

选项	探究方案	探究目的
A	向两支试管中分别加入 $5\text{ mL } 5\%$ 的 H_2O_2 溶液, 再向两支试管中滴入 3 滴浓度均为 0.1 mol/L 的 FeCl_3 溶液和 CuSO_4 溶液, 观察产生气体的速率	比较 Fe^{3+} 和 Cu^{2+} 的催化效率
B	向 $2\text{ mL } 0.1\text{ mol/L FeCl}_3$ 溶液中加入 $1\text{ mL } 0.1\text{ mol/L KI}$ 溶液, 充分振荡后滴加 KSCN 溶液, 观察颜色变化	$2\text{Fe}^{3+} + 2\text{I}^- \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{2+} + \text{I}_2$ 是否为可逆反应
C	向苯酚溶液中滴加几滴 0.1 mol/L FeCl_3 溶液, 溶液呈紫色	FeCl_3 与苯酚发生氧化还原反应
D	将 $5\text{ mL } 0.1\text{ mol/L FeCl}_3$ 溶液和 $15\text{ mL } 0.1\text{ mol/L NaHCO}_3$ 溶液混合, 生成红褐色沉淀和气体	Fe^{3+} 与 HCO_3^- 发生相互促进的水解反应

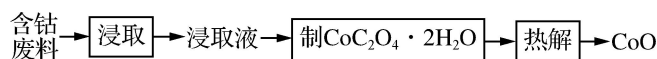
6 [2024 泰州调研]室温下, 下列实验探究方案能够达到探究目的的是()

选项	探究方案	探究目的
A	将 1-溴丁烷与 NaOH 的乙醇溶液混合后加热, 生成的气体通入 Br_2 的 CCl_4 溶液中, 观察现象	1-溴丁烷能否发生消去反应生成烯烃
B	将 SO_2 气体通入紫色石蕊溶液中, 观察溶液颜色变化	SO_2 是否具有漂白性
C	向饱和 Na_2CO_3 溶液中通入足量 CO_2 气体, 观察现象	比较 Na_2CO_3 与 NaHCO_3 在水中溶解度的大小
D	向 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液中滴加淀粉, 再通入 HI 气体, 观察现象	比较 Fe^{3+} 与 I_2 氧化性的强弱

题型2 化学实验探究——大题

[试剂的选用及滴加顺序]

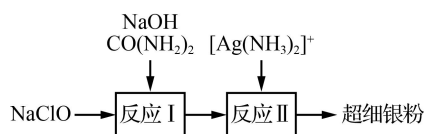
7 (1) [2024 南通如皋适应性考试]①CoO 可用于制取催化剂,可以由含钴废料(主要成分为 Co_2O_3 , 还含有少量 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 和 MgO) 经过如图过程进行制取。制取 $\text{CoC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 时使用 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液而不是 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液的原因是



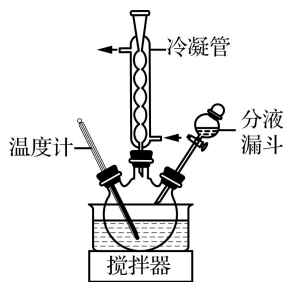
②“浸取”时含钴废料(主要成分为 Co_2O_3 , 还含有少量 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 和 MgO)、硫酸和 Na_2SO_3 溶液混合的方式为

(2) [2023 盐城三模]制备超细银粉: 在水合肼溶液中逐滴加入新制的银氨溶液, 控制 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 充分反应。水合肼还原银氨溶液的离子方程式为 $4[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + 4\text{OH}^- + \text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{20\text{ }^\circ\text{C}} 4\text{Ag} \downarrow + \text{N}_2 \uparrow + 8\text{NH}_3 + 5\text{H}_2\text{O}$ 。水合肼直接与 AgNO_3 溶液反应也能生成 Ag, 用银氨溶液代替 AgNO_3 溶液的原因是

(3) [2023 盐城三模]水合肼($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)易溶于水、有强还原性, 一般被氧化为 N_2 。 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 处理碱性银氨 $\{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+\}$ 溶液获得超细银粉的工艺流程如图甲。合成水合肼: 将一定量的 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 和 NaOH 混合溶液, $40\text{ }^\circ\text{C}$ 以下利用图乙装置与 NaClO 溶液反应, 再迅速升温至 $110\text{ }^\circ\text{C}$ 继续反应。



甲

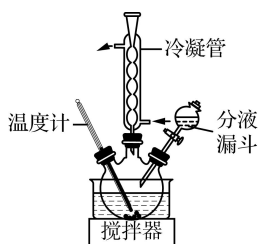


乙

①分液漏斗中盛装试剂为。

②反应 I 制备水合肼的化学方程式为

(4) [2024 南京、盐城期末]制取 MnCO_3 。在如图所示的实验装置中, 搅拌下使一定量的 MnSO_4 溶液与氨水 NH_4HCO_3 混合溶液充分反应。

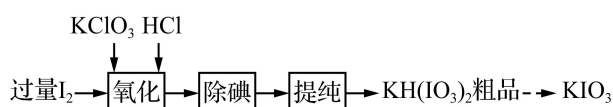


①分液漏斗中添加的药品是_____。

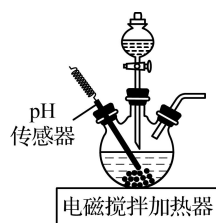
②混合溶液中氨水的作用是_____。

[实验基本操作]

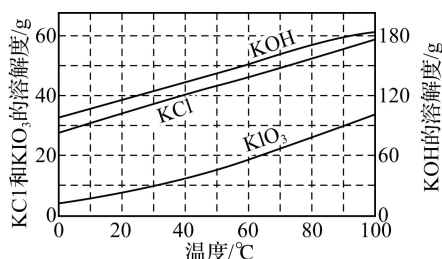
8 (1) [2023 南通期末] KIO_3 是重要的食品添加剂。实验室模拟工业制备 KIO_3 的部分实验流程如下：



“氧化”反应在如图甲所示装置中进行。先将 KClO_3 与 I_2 混合后放入气密性良好的三颈烧瓶中，加水充分溶解，在 90°C 下边搅拌边滴加 $20\text{ mL } 1\text{ mol/L}$ 盐酸引发反应，停止滴加盐酸后持续搅拌 40 min 以上，得到热的 $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 溶液。



甲



乙

已知： $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 不溶于有机溶剂。几种物质的溶解度随温度的变化如图乙所示。

①用 12 mol/L 盐酸配制 $100\text{ mL } 1.00\text{ mol/L}$ 盐酸须使用的玻璃仪器有烧杯、玻璃棒、酸式滴定管、_____。

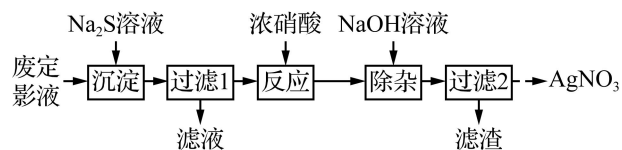
②检查图甲所示装置气密性的操作为_____。

③“氧化”过程中有少量黄绿色的气态副产物产生。用热的 KOH 溶液可吸收该气体并实现原料的循环利用。写出该吸收过程中发生反应的化学方程式：_____。

④能说明反应已经进行完全的标志是_____。

⑤实际工业进行“氧化”反应时，需要在反应设备上连接冷凝回流装置，其目的是_____。

(2) 废定影液的主要成分为 $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ ，用废定影液为原料制备 AgNO_3 的实验流程如下：

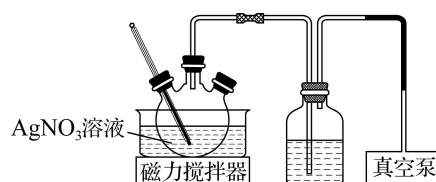


① “沉淀”步骤中生成 Ag_2S 沉淀，检验沉淀完全的操作是_____。

② “反应”步骤中会生成淡黄色固体，该反应的化学方程式为_____。

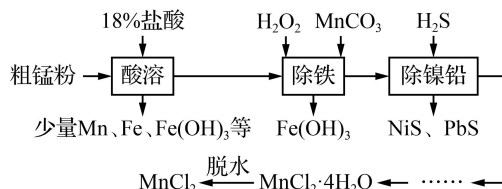
③ “除杂”需调节溶液 pH 至 6。测定溶液 pH 的操作是_____。

④ 蒸发浓缩 AgNO_3 溶液的装置如图所示。使用真空泵的目的是_____；判断蒸发浓缩完成的标志是_____。



[实验条件控制与分析]

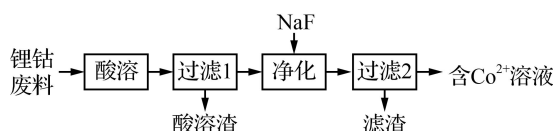
9 (1) [2023 泰州期末] MnCl_2 极易吸水潮解，易溶于水和醋酸，不溶于苯；金属活动性： $\text{Mn} > \text{Fe}$ 。某科研小组由粗锰粉（含 Mn 及少量 Fe 、 Ni 、 Pb 等单质）为原料制备 MnCl_2 ，部分实验过程如下：



① “酸溶”时，盐酸要缓慢滴加的原因是_____。

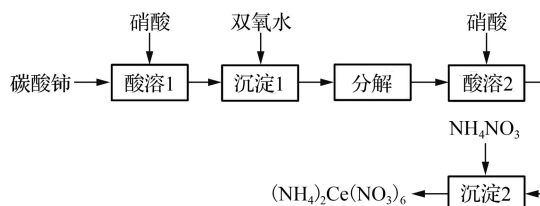
② 酸溶过程中溶液中 Fe^{2+} 的浓度先增大后略有减小，减少的原因是_____。

(2) [2023 南通海安期末] 钴及其化合物在工业生产中有着广阔的应用前景。已知： Co^{2+} 不易被氧化， 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。从锂钴废料（主要成分为 LiCoO_2 ）分离 Co^{2+} 。



“酸溶”时不同浸出剂对应钴元素浸出率：a. HCl 98.4%；b. $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 98.0%。则“酸溶”时最佳的浸出剂应该选择_____（填“a”或“b”），并说明理由：_____。

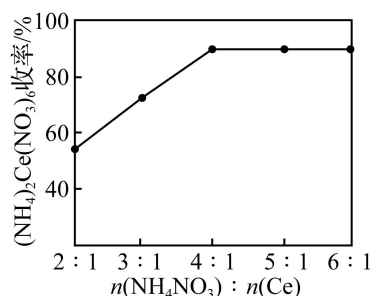
(3) [2023 如皋期末] 硝酸铈铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6]$ 是常见的强氧化剂，可以 $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$ 为原料进行制取。



① “沉淀 1”时，溶液中 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 转化为 $\text{Ce}(\text{OH})_3(\text{HO}_2)$ 沉淀。写出沉淀 1 反应的化学方程式：_____。

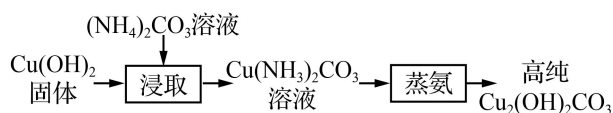
② “酸溶 2”时，控制反应温度为 80°C ，硝酸与 $\text{Ce}(\text{OH})_3(\text{HO}_2)$ 分解产生的 $\text{Ce}(\text{OH})_4$ 反应生成 $\text{H}_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ ，反应过程中有少量红棕色气体逸出。“酸溶 2”时需控制硝酸的温度为 80°C ，同时将 $\text{Ce}(\text{OH})_4$ 分批加入硝酸中，原因是_____。

③ “沉淀 2” 时，控制其他条件一定，改变加入 NH_4NO_3 固体的量，测得 $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ 沉淀的收率如图所示。“沉淀 2” 时，不是采用反应计量数之比，而是控制加入 $n(\text{NH}_4\text{NO}_3) : n(\text{Ce}) = 4 : 1$ 的目的是_____。



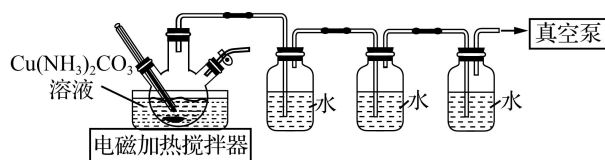
[实验原理与过程分析]

10 [2024 南京二模] 实验室以 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 和 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 为原料制备高纯 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 的方法如下：



(1) “浸取” 时，加料完成后，保持反应温度不变，提高铜元素浸出率的方法有_____（答两点）。

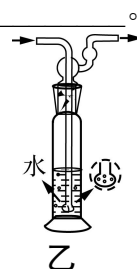
(2) “蒸氨” 在如图甲所示的实验装置中进行。



甲

① 三颈烧瓶中发生反应的化学方程式为_____。

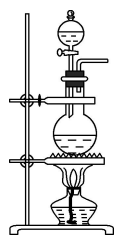
② 实验采用三个盛有水的洗气瓶吸收尾气的目的为_____；与图甲所示洗气瓶相比，采用三个图乙所示装置的优点为_____。



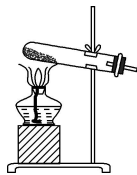
③ 实验采用真空泵持续抽气，稳定的气流有利于真空泵的使用。实验中控制反应温度由 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 升高至 $95\text{ }^\circ\text{C}$ ，采用变温加热操作的原因为_____。

核心 1 常见气体的制备及性质探究

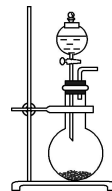
1 常见气体的实验室制法



A



B



C

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 ₂	(典型) 浓盐酸与 MnO ₂ 、加热	A	稀盐酸和 MnO ₂ ，加热；或浓盐酸、MnO ₂ ，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 ₄	C	—					
NH ₃	(典型) NH ₄ Cl 与 Ca(OH) ₂ 、加热	B	直接加热 NH ₄ 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 ₂ 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 ₃ ·H ₂ O、加热	A	—					
	(拓展) NH ₃ ·H ₂ O、CaO 固体	C	—					
SO ₂	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 ₂ SO ₃ 固体、较浓硫酸	C	Na ₂ SO ₃ 溶液或稀硫酸					
CO ₂	CaCO ₃ 、稀盐酸	C	稀硫酸	HCl	NaHCO ₃ 溶液	向上排空气法	澄清石灰水	—

2 常见气体的净化与干燥

需净化的气体（杂质气体）	净化方法（除杂和干燥）	常见错误
CO ₂ (SO ₂ 、HCl)	饱和 NaHCO ₃ 溶液	饱和 Na ₂ CO ₃ 溶液或 NaOH 溶液
SO ₂ (SO ₃ 、HCl)	饱和 NaHSO ₃ 溶液	饱和 Na ₂ SO ₃ 溶液或 NaOH 溶液
NO(NO ₂)	H ₂ O 除杂，浓硫酸干燥	NaOH 溶液
NH ₃ (H ₂ O)	碱石灰除杂、干燥	浓硫酸或无水氯化钙
CH ₄ (C ₂ H ₄)	稀溴水除杂、浓硫酸或碱石灰干燥	酸性 KMnO ₄ 溶液
C ₂ H ₄ (SO ₂)	NaOH 溶液除杂，碱石灰除杂干燥	酸性 KMnO ₄ 溶液或 NaHCO ₃ 溶液
CO ₂ (CO)	灼热的 CuO 除杂	直接燃烧

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
滴定操作	滴定时，左手控制滴定管活塞，右手振荡锥形瓶，眼睛注视锥形瓶内溶液颜色的变化
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_2O_2 、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 $100\text{ }^\circ\text{C}$
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_2 、 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_2 、 CO_2 作用的物质，排空气的目的是防止反应物与空气中的 O_2 、 CO_2 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，品红褪色	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 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 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	HS^- 水解程度大于电离程度		
(2)	向盛有 KI_3 溶液的两试管中分别加入淀粉溶液和 AgNO_3 溶液, 前者溶液变蓝色, 后者有黄色沉淀生成	KI_3 溶液中存在: $\text{I}_3^- \rightleftharpoons \text{I}_2 + \text{I}^-$ 平衡		
(3)	向含酚酞的氢氧化钠稀溶液中加入少量 30% H_2O_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	H_2O_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 NaHCO_3 溶液, 产生白色沉淀	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 结合 H^+ 的能力比 CO_3^{2-} 强		
(5)	测定浓度均为 0.1 mol/L CH_3COONa 与 HCOONa 溶液	酸性: $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{HCOOH}$		

	的 pH, CH ₃ COONa 溶液的 pH 较大			
(6)	向 Na ₂ 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: Cl>Si		
(7)	向滴有甲基橙的 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 BaSO ₄ 沉淀中加入 Na ₂ 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	$K_{sp}(\text{BaCO}_3) < K_{sp}(\text{BaSO}_4)$		
(9)	向 Ag ₂ CO ₃ 白色悬浊液中加入 Na ₂ S 溶液, 沉淀变为黑色	$K_{sp}(\text{Ag}_2\text{S}) > K_{sp}(\text{Ag}_2\text{CO}_3)$		
(10)	向浓度均为 0.1 mol/L 的 MgCl ₂ 、CuCl ₂ 混合溶液中逐滴加入氨水, 先出现蓝色沉淀	$K_{sp}[\text{Mg}(\text{OH})_2] > K_{sp}[\text{Cu}(\text{OH})_2]$		

3 常见有机物性质的探究


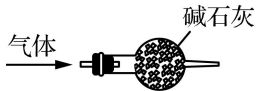
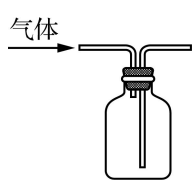
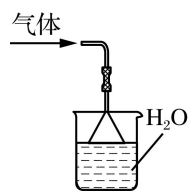
序号	实验操作及现象	结论	判断	解释
(1)	向乙醇中加入浓硫酸, 加热, 溶液变黑, 将产生的气体通入酸性 KMnO ₄ 溶液中, 溶液褪色	该气体是乙烯		
(2)	在淀粉溶液中加入适量稀硫酸微热, 向水解后的溶液中加入新制 Cu(OH) ₂ 并加热, 无红色沉淀	说明淀粉未水解		
(3)	溴乙烷与 NaOH 溶液共热后, 滴加 AgNO ₃ 溶液, 未出现淡黄色沉淀	溴乙烷未发生水解		
(4)	向苯酚溶液中滴加少量浓溴水、振荡, 无白色沉淀	苯酚浓度小		
(5)	向两份蛋白质溶液中分别滴加饱和 NaCl 溶液和 CuSO ₄	蛋白质均发生变性		

	溶液，均有固体析出			
(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	Na 能置换出醇羟基中的氢		

检测反馈

对点练，再提升

1 [2024 扬州期末] PH_3 气体微溶于水，有强还原性，可由反应 $\text{P}_4 + 3\text{KOH} + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{PH}_3 \uparrow + 3\text{KH}_2\text{PO}_2$ 制得。实验室制取少量 PH_3 的原理及装置均正确的是 ()

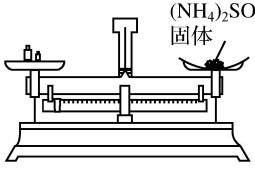
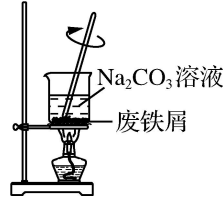
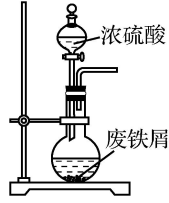
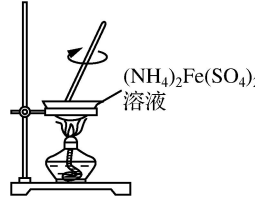





A. 制取 PH_3 B. 干燥 PH_3 C. 收集 PH_3 D. 吸收尾气中的 PH_3

2 [2023 南通通州质量监测] 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 2 mL 0.1 mol/L NaCl 溶液中滴加 2 滴 0.1 mol/L AgNO_3 溶液，观察现象。振荡试管，再滴加 4 滴 0.1 mol/L KI 溶液，观察现象	$K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$
B	将 pH 相同的 HNO_2 溶液和 CH_3COOH 溶液均稀释 10 倍后，用 pH 计测量，比较溶液 pH 大小	$K_{\text{a}}(\text{HNO}_2) > K_{\text{a}}(\text{CH}_3\text{COOH})$
C	170 $^{\circ}\text{C}$ 下，加热乙醇与浓硫酸的混合溶液，将产生的气体直接通入酸性 KMnO_4 溶液中，观察溶液颜色变化	乙醇脱水后生成乙烯
D	将 Fe_2O_3 加入足量 HI 溶液中，充分溶解后，滴入 CCl_4 后振荡、静置，观察 CCl_4 层颜色变化	氧化性: $\text{Fe}^{3+} > \text{I}_2$

3 [2024 南京、盐城一模] 下列由废铁屑制取 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的实验装置与操作能达到实验目的的是 ()

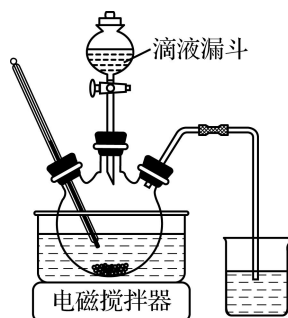





甲 乙 丙 丁

- A. 用装置甲称取一定质量的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 固体
 B. 用装置乙除去废铁屑表面的油污
 C. 用装置丙将废铁屑充分溶解
 D. 用装置丁蒸干溶液得到 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体

4 [2024 苏州期初]实验室利用钴渣[含 $\text{Co}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 等]制备磁性材料 Co_3O_4 。

(1) 浸取。将一定量的钴渣粉与 Na_2SO_3 、 H_2SO_4 溶液中的一种配成悬浊液，加入三颈烧瓶中（装置如图），70 °C 下通过滴液漏斗缓慢滴加另一种溶液，充分反应，过滤，滴液漏斗中的溶液是_____； $\text{Co}(\text{OH})_3$ 转化为 Co^{2+} 的离子方程式为_____。



(2) 沉钴。Co(II)盐溶液可以 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 、 CoCO_3 和 CoC_2O_4 等多种形式沉淀。已知： $K_{\text{sp}}(\text{CoCO}_3)=1.4\times 10^{-13}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{CoC}_2\text{O}_4)=6.3\times 10^{-8}$ ， $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 的电离常数分别为 $K_{\text{a}1}=5.4\times 10^{-2}$ 、 $K_{\text{a}2}=5.6\times 10^{-5}$ ， $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 的电离常数为 $K_{\text{b}}=1.8\times 10^{-5}$ 。

①向除杂后含 0.100 mol/L CoSO_4 溶液中滴加 NaOH 溶液调节 pH，pH=7 时开始出现 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 沉淀，继续滴加 NaOH 溶液至 pH=_____时， Co^{2+} 沉淀完全 [$c(\text{Co}^{2+})\leq 10^{-5} \text{ mol/L}$]。

②向除杂后 CoSO_4 溶液中加入 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液或 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液作沉淀剂，可得到 CoC_2O_4 。反应 $\text{Co}^{2+} + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons \text{CoC}_2\text{O}_4 \downarrow + 2\text{H}^+$ 的平衡常数 K 的数值为_____；不能用同浓度的 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液代替 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液的原因是_____。

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

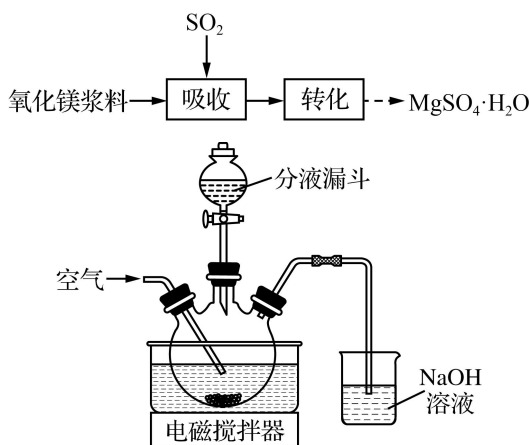
3 年真题

1 [2024 江苏卷] 贵金属银应用广泛。 Ag 与稀硝酸制得 AgNO_3 ，常用于循环处理高氯废水。还原 AgCl 。在 AgCl 沉淀中埋入铁圈并压实，加入足量 0.5mol/L 盐酸后静置，充分反应得到 Ag 。

为判断 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、 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：

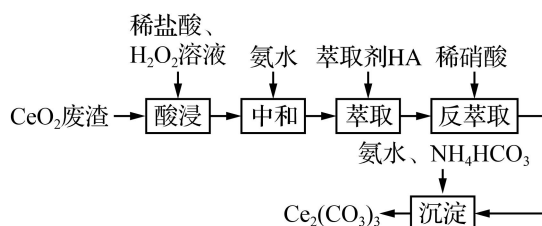


制取 $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶体。在如图所示的实验装置中，搅拌下，使一定量的 MgSO_3 浆料与 H_2SO_4 溶液充分反应。 MgSO_3 浆料与 H_2SO_4 溶液的加料方式是_____；

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 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 的 MgSO_4 溶液中_____

（已知： Fe^{3+} 、 Al^{3+} 在 $\text{pH} \geq 5$ 时完全转化为氢氧化物沉淀；室温下从 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 $150 \sim 170\text{ }^\circ\text{C}$ 下干燥得到 $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，实验中使用 MgO 粉末）。

3 [2022 江苏卷]实验室以二氧化铈(CeO_2)废渣为原料制备 Cl^- 含量少的 $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$ ，其部分实验过程如下：

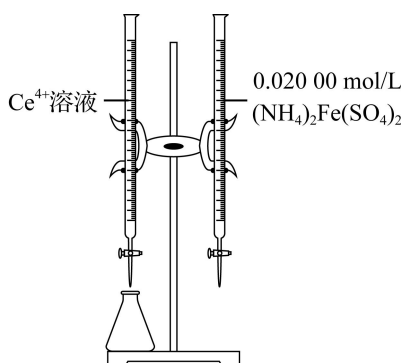


实验中需要测定溶液中 Ce^{3+} 的含量。已知水溶液中 Ce^{4+} 可用准确浓度的 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 溶液滴定。以苯代邻氨基苯甲酸为指示剂，滴定终点时溶液由紫红色变为亮黄色，滴定反应为 $\text{Fe}^{2+} + \text{Ce}^{4+} = \text{Fe}^{3+} + \text{Ce}^{3+}$ 。请补充完整实验方案：

①准确量取 25.00 mL Ce^{3+} 溶液 [$c(\text{Ce}^{3+})$ 约为 0.2 mol/L]，加氧化剂将 Ce^{3+} 完全氧化并去除多余氧化剂后，用稀硫酸酸化，将溶液完全转移到 250 mL 容量瓶中定容；

②按规定操作分别将 0.020 00 mol/L $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 和待测 Ce^{4+} 溶液装入如图所示的滴定管中； ③_____

_____。



3 年模拟

1 (1) [2024 南通四模]补充完整用含铬污泥[含 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 及不溶于酸的杂质]制备 $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体的实验方案：向含铬污泥中缓慢加入盐酸使固体充分反应，过滤，_____

_____，

抽滤，干燥，得到 $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体。[已知： $2\text{CrCl}_3 + 3\text{Fe} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{FeCl}_2 + 3\text{H}_2 \uparrow$ 。实验中须使用的试剂：铁粉、盐酸、硝酸酸化的硝酸银溶液、蒸馏水、乙醚]

(2) [2024 南京、盐城期末]制取 Mn_3O_4 。固定其他条件不变，反应物物质的量浓度比值、温度、空气流量对 MnSO_4 溶液制取 Mn_3O_4 纯度的影响如图 1、图 2、图 3 所示。

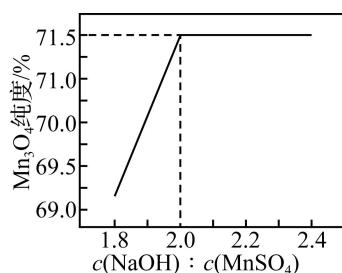


图 1

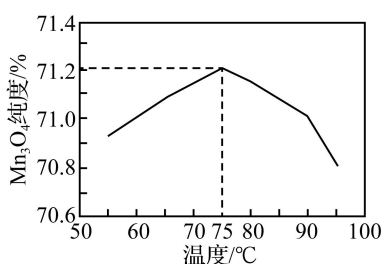


图 2

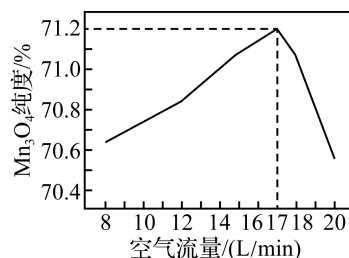
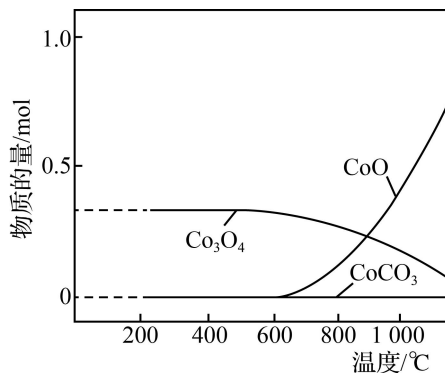


图 3

补充完整制取纯净 Mn_3O_4 的实验方案：取 50 mL 0.7 mol/L MnSO_4 溶液，
 _____，
 控制搅拌速率 500 r/min 反应 8 h，
 _____，
 110 °C 干燥 2 h，得到纯净的 Mn_3O_4 (须使用的试剂：1.4 mol/L NaOH 溶液、1.0 mol/L BaCl_2 溶液)。

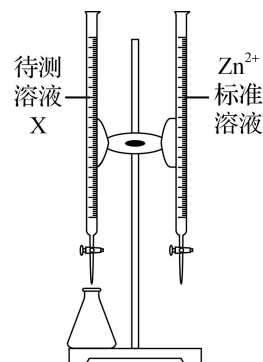
(3) [2024 苏州期初]制备 Co_3O_4 。以 CoCl_2 为原料先制得 CoCO_3 ；然后再制备 Co_3O_4 。

已知：①尿素水溶液呈弱碱性，70 °C 以上能缓慢水解产生 CO_3^{2-} ，pH 为 1~3 时水解速率对生成 CoCO_3 沉淀较为适宜。②取 1 mol CoCO_3 在空气中加热，反应温度对反应产物的影响如图所示。



请补充完整以 CoCl_2 溶液、尿素、盐酸为原料，制备 Co_3O_4 的实验方案：取一定体积 CoCl_2 溶液，
 _____，
 充分反应，
 _____，
 反应至固体质量不再变化，即可制得 Co_3O_4 。

2 (1) [2024 苏州检测]乙二胺四乙酸铁钠（化学式 $\text{NaFeY} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ）是一种重要补铁剂。测定产品($\text{NaFeY} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)的纯度。样品中乙二胺四乙酸铁钠纯度可用 Zn^{2+} 标准溶液滴定。原理是在 pH 为 5~6 发生反应： $\text{Zn}^{2+} + \text{Y}^{4-} \rightleftharpoons \text{ZnY}^{2-}$ ，二甲酚橙作指示剂，滴定终点时溶液由紫红色变黄色。补充完整实验方案：准确称取 4.500 0 g 样品，溶于一定量的蒸馏水，加入掩蔽剂排除 Fe^{3+} 干扰，得到待测溶液 X，将溶液 X 完全转移到 250 mL 容量瓶中定容；按规定操作分别将 0.010 00 mol/L Zn^{2+} 标准溶液和待测溶液 X 装入如图所示的滴定管中：



(2) [2024 无锡期末]检测产品中 FeCO_3 的质量分数。

①热分解。称量 0.800 0 g 的样品，在 500 °C 加热 2 h，转移至干燥器中冷却，称量，重复操作至恒重，质量为 0.506 0 g。（假定样品中杂质不含铁，且杂质在 500 °C 时不分解）

②测 Fe(II) 。称取热解后的试样 0.253 0 g 放入锥形瓶中，加入 6 mol/L 盐酸 5 mL、1 mol/L 硫酸—磷酸混合酸 10 mL，滴入 4 滴二苯胺磺酸钠指示剂，用 0.010 00 mol/L $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 标准溶液滴定至紫色稳定半分钟，消耗标准液 16.67 mL。

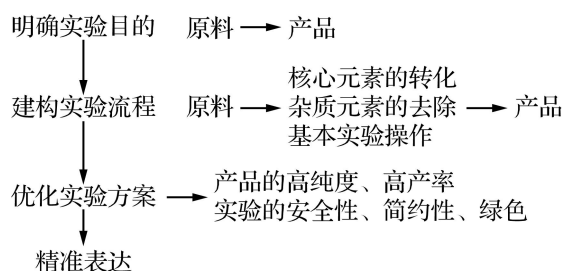
③测 Fe(III) 。另取热解后的试样 0.253 0 g 放入锥形瓶中，

消耗 0.100 0 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液 20.00 mL。

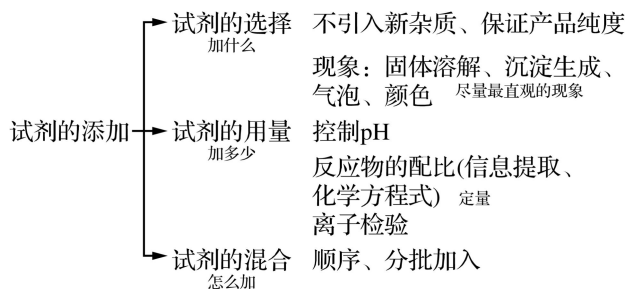
（供选药品：5 g/L 淀粉溶液、6 mol/L 盐酸、KI 固体、0.100 0 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液、蒸馏水。已知： $2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 = \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 + 2\text{NaI}$ ）

难点 1 物质制备实验方案设计

1 解题策略模型



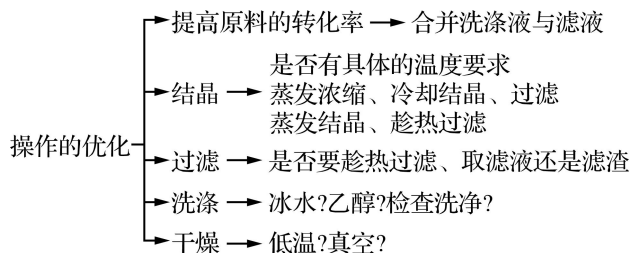
2 试剂的添加



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

边搅拌加向溶液中滴加（“适量”或“过量”或“少量”）某试剂，充分反应，至 pH 在某范围，（过滤），蒸馏浓缩（“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。

例 1 [2021 江苏适应性考试一]焙烧过的铜精炼炉渣（主要成分为 CuO 、 SiO_2 ，少量 Fe_2O_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，_____

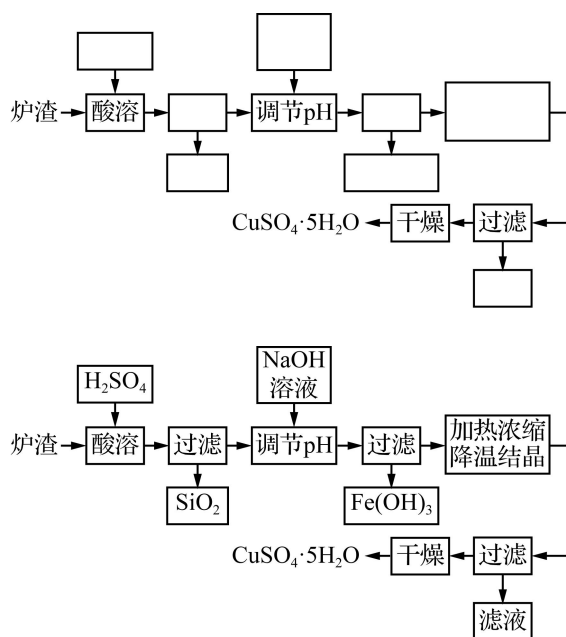
_____，加热浓缩、冷却结晶、过滤、晾干，得到 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 晶体。

已知：①该实验中 $\text{pH}=3.2$ 时， Fe^{3+} 完全沉淀； $\text{pH}=4.7$ 时， Cu^{2+} 开始沉淀；②实验中可选用的试剂：1.0 mol/L H_2SO_4 、1.0 mol/L HCl 、1.0 mol/L NaOH 。

【分析】 原料： CuO ，杂质： SiO_2 及少量 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow$ 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 H_2SO_4 ，至固体不再溶解，过滤，边搅拌边向滤液中滴加 1.0 mol/L 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、淀粉碘化钾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 $\xrightarrow{\text{酒精灯灼烧}}$ 无色 $\xrightarrow{\text{灼烧}}$ 待测物 $\xrightarrow{\text{酒精灯灼烧}}$ 观察火焰颜色

用盐酸洗涤 \rightarrow 铂丝 $\xrightarrow{\text{酒精灯灼烧}}$ 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 H_2O_2 、浓硝酸、 NH_4HCO_3 ）分解或××物质（如浓硝酸、浓盐酸）挥发或促进××物质（如 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 H_2O_2 、浓硝酸、 NH_4HCO_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 AlCl_3 溶液获得无水 AlCl_3 时，需在 HCl 气流中进行；加热 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 获得 MgCl_2 时，需在 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。

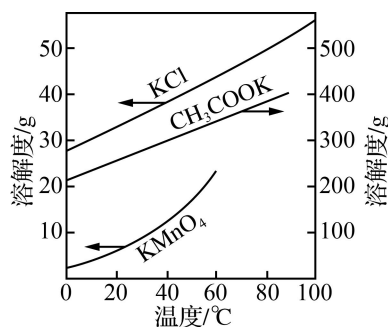
1 [2024 淮安考前模拟]将一定量的 KClO_3 与稍过量 KOH 混合熔融，再分批加入一定量 MnO_2 。在加热条件下迅速搅拌制得墨绿色 K_2MnO_4 。已知：向 K_2MnO_4 碱性溶液中加入酸会生成 MnO_2 和 KMnO_4 ，在 $\text{pH}=9.5\sim 10.5$ 时，反应趋于完全。

(1) KClO_3 、 KOH 混合熔融时不能选用瓷坩埚的原因是_____。

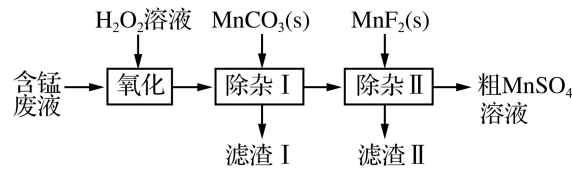
(2) 分批加入一定量 MnO_2 的原因是_____。

(3) 请补充完整制取 KMnO_4 晶体的实验方案：将墨绿色固体混合物加水溶解，

得 KMnO_4 晶体（实验中可选用试剂：6 mol/L 盐酸、6 mol/L CH_3COOH 、冰水。实验中须使用的实验仪器有：砂芯漏斗、pH 计。部分物质溶解度曲线如图所示）。



2 [2023 南通调研]实验室以含锰废液为原料可以制取 MnSO_4 ，部分实验过程如下：



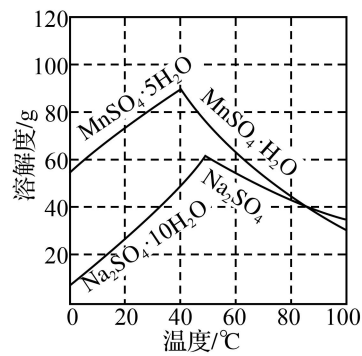
已知：室温下，部分难溶电解质的溶度积常数如表所示。

难溶电解质	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	MnF_2	CaF_2	MgF_2
K_{sp}	4.0×10^{-38}	4×10^{-14}	1.2×10^{-3}	1.6×10^{-10}	6.4×10^{-9}

(1) MnSO_4 和 Na_2SO_4 的溶解度如图甲所示。请补充完整由粗 MnSO_4 溶液制取 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶体的实验方案：取实验所得粗 MnSO_4 溶液，_____

_____，

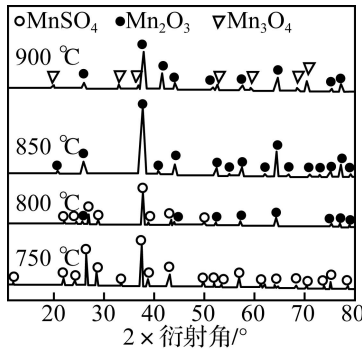
得到 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶体（可选用的试剂：1 mol/L NaHCO_3 溶液、1 mol/L H_2SO_4 溶液、1 mol/L 盐酸）。



甲

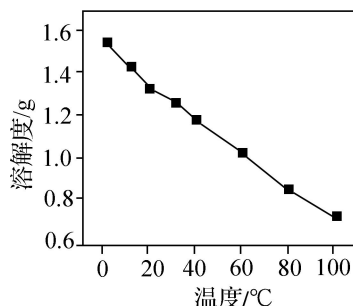
(2) 图乙为不同温度下硫酸锰焙烧 2 小时后残留固体的 X 射线衍射图。由 MnSO_4 固体制取活性 Mn_2O_3 的方案：将 MnSO_4 固体置于可控温度的反应管中，_____，

将 Mn_2O_3 冷却、研磨、密封包装。（可选用的试剂：1 mol/L BaCl_2 溶液、1 mol/L NaOH 溶液）



乙

3 [2024 常州调研]盐湖提盐后的浓缩卤水（含 Na^+ 、 Li^+ 、 Cl^- 和少量 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} ）也常用作制备 Li_2CO_3 的重要原料。已知：常温时， Li_2SO_4 的溶解度为 34.8 g， $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)=2.8\times 10^{-9}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)=9.1\times 10^{-6}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{Li}_2\text{CO}_3)=2.5\times 10^{-2}$ ， Li_2CO_3 的溶解度曲线如图所示。



为获得较高产率和纯度的 Li_2CO_3 ，请补充完整实验方案：向浓缩卤水中边搅拌边缓慢添加石灰乳，_____

_____，

洗涤，低温烘干[$\text{Mg}(\text{OH})_2$ 完全沉淀 $\text{pH}=10.9$ ，可选用的试剂：饱和 Na_2SO_4 溶液、饱和 Na_2CO_3 溶液、 Na_2CO_3 固体、蒸馏水]。

4 [2024 南京二模] 已知：① $K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2] = 1\times 10^{-20}$ ；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 mol/L NaOH 溶液、0.1 mol/L BaCl_2 溶液、蒸馏水）