

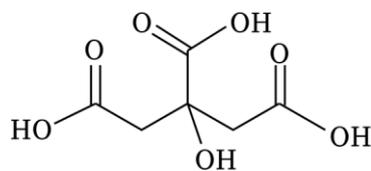
2022-2023 学年江苏省无锡市高二（下）期末化学试卷

一、单项选择题：共 14 题，每题 3 分，共 42 分。每题只有一个选项最符合题意

1. (3 分) 下列说法正确的是 ()

- A. “天问一号”探测器运载火箭使用的燃料液氢是高能清洁燃料
- B. “祝融号”火星车的太阳能电池板表面涂层须有很好的反光性
- C. “天问一号”选择使用新型 SiC 增强铝基复合材料的主要依据是其导电性好
- D. “火星快车”轨道器上的锂离子蓄电池是一次电池

2. (3 分) “神舟十三号”乘组航天员在空间站进行了三次“天宫授课”。以下实验均在太空失重环境下进行，下列说法错误的是 ()

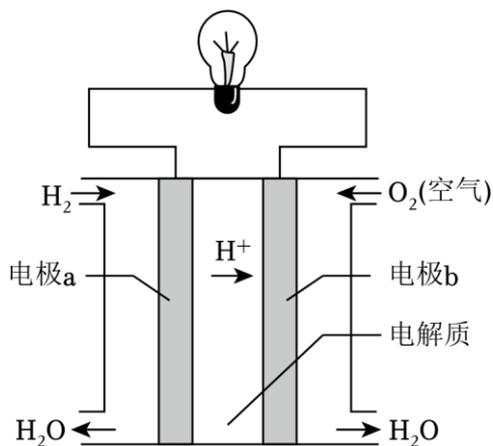


行，下列说法错误的是 ()

- A. “太空冰雪实验”中，使用的乙酸钠属于强电解质
- B. “泡腾片实验”中，柠檬酸与小苏打发生的反应属于置换反应
- C. “水油分离实验”中，饮用水与食用油摇匀后不能立即用分液漏斗直接分液
- D. “太空五环实验”中，碳酸钠溶液中滴加甲基橙溶液构成了黄色环，这利用了碳酸钠溶液水解呈碱性

性

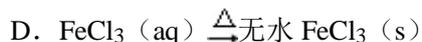
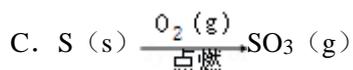
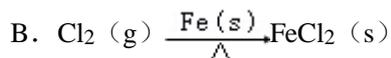
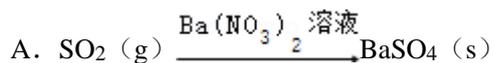
3. (3 分) 氢氧燃料电池是使用在航天领域常见的燃料电池，其反应原理，如图所示。下列说法正确的是



() H_2O

- A. 该电池工作时实现了电能转化为化学能
- B. 该电池中电极 a 是负极
- C. 电极 b 的反应式为： $\text{O}_2 - 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{O}$
- D. 当转移电子 0.2mol 时，消耗 2.24L H_2

4. (3 分) 在给定条件下，下列选项所示的物质间转化能实现的是 ()



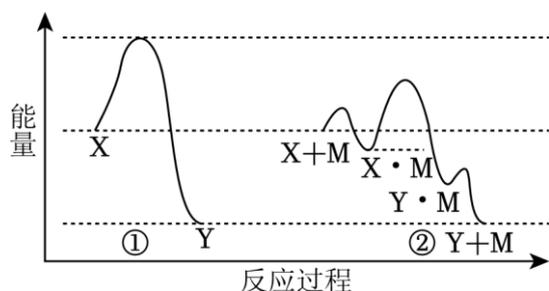
5. (3分) 下列关于物质的性质与用途具有对应关系的是 ()

- A. Cl_2 易液化, 可用于制取消毒液
- B. 次氯酸有弱酸性, 可用于制备漂白剂
- C. FeCl_3 溶液有氧化性, 可用于蚀刻制作铜电路板
- D. 浓硫酸有脱水性, 可用于干燥氯气

6. (3分) 对于反应 $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -904\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 下列说法正确的是 ()

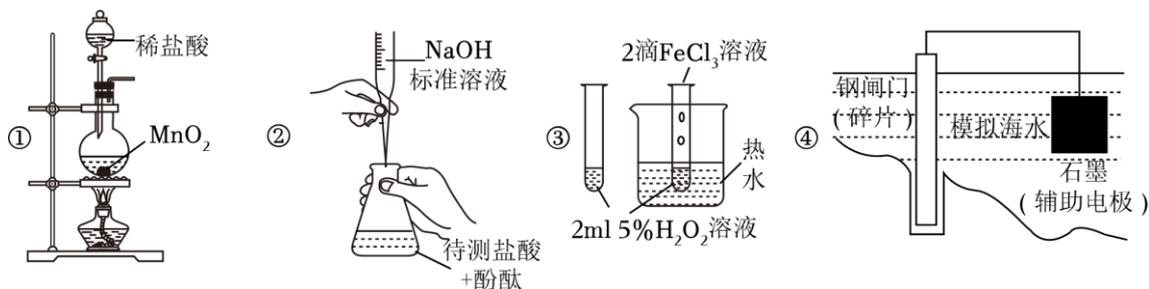
- A. 该反应 $\Delta S < 0$
- B. 升高温度, 该反应的平衡常数 K 增大
- C. 反应的 ΔH 等于生成物键能的总和减去反应物键能的总和
- D. 其他条件不变, 增大反应容器体积, 可以提高 NH_3 的转化率

7. (3分) 反应物 (X) 转化为产物 (Y) 时的能量变化与反应进程的关系如图曲线①所示, 在反应中仅改变一种外界条件, 可得到如图曲线②。下列说法正确的是 ()



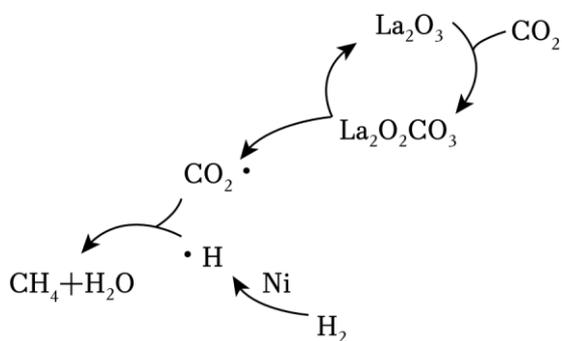
- A. 该反应是吸热反应
- B. $\text{X} \cdot \text{M}$ 为反应所加的催化剂
- C. 改变该条件后, 降低了反应的焓变
- D. 该条件的改变增大了单位体积内活化分子百分数

8. (3分) 化学是一门以实验为基础的科学, 下列有关实验装置或操作合理的是 ()



- A. 图①是实验室制备氯气
- B. 图②是测定盐酸物质的量浓度
- C. 图③是研究催化剂对化学反应速率的影响
- D. 图④是模拟保护钢闸门

9. (3分) 在光照条件下, CO_2 加氢制 CH_4 的一种催化机理如图所示, 下列说法正确的是 ()



- A. 没有 La_2O_3 的介入, CO_2 和 H_2 就不能转化为 CH_4 和 H_2O
- B. 反应过程中释放出带负电荷的 $\cdot\text{H}$
- C. 该反应的化学方程式为 $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \xrightarrow[\text{光照}]{\text{催化剂}} \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- D. $\text{La}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ 是反应的催化剂

10. (3分) 常温下, $2\text{NH}_3(\text{g}) + \text{NaClO}(\text{aq}) = \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{N}_2\text{H}_4(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 能自发进行, 可用于生产 N_2H_4 。下列说法正确的是 ()

- A. 该反应的 $\Delta H > 0$
- B. 每生成 $1\text{mol N}_2\text{H}_4$ 转移 2mol 电子
- C. 室温下, 向 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaClO}$ 溶液中加水, 溶液 pH 增大
- D. N_2H_4 、 O_2 和 KOH 溶液组成的燃料电池, 负极反应为 $\text{N}_2\text{H}_4 - 4\text{e}^- = \text{N}_2 + 4\text{H}^+$

11. (3分) 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	向盛有 NaOH 溶液 (滴有 2 滴酚酞) 的试管中通入 SO ₂ , 观察溶液颜色变化	证明 SO ₂ 具有漂白性
B	常温下, 向 10mL 0.1mol·L ⁻¹ NaCl 溶液中滴加 5 滴 0.1mol·L ⁻¹ ¹ AgNO ₃ 溶液, 充分反应后, 再滴加 5 滴 0.1mol·L ⁻¹ KI 溶液, 观察沉淀颜色变化	证明 K _{sp} (AgCl) > K _{sp} (AgI)
C	向久置氯水中滴加少量 NaHCO ₃ 溶液, 观察有无气体生成	证明 HClO 是否分解完全
D	测定等体积的盐酸和醋酸溶液的 pH, 并比较 pH 大小	证明 HCl 是强电解质

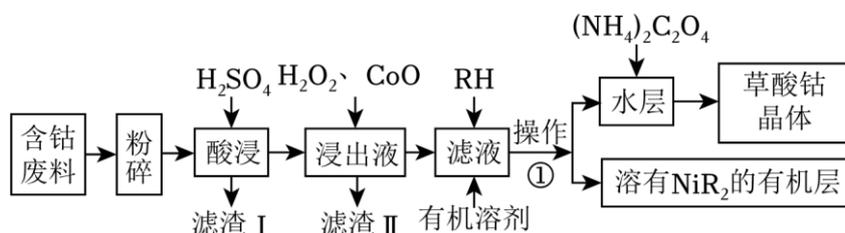
A. A

B. B

C. C

D. D

12. (3分) 用含钴废料 (主要成分为 Co, 还含有一定量的 NiO、Al₂O₃、Fe、SiO₂ 等) 制备草酸钴晶体 (CoC₂O₄·2H₂O) 的工艺流程如图:



已知: ①草酸钴晶体难溶于水; ②RH 为有机萃取剂。

下列说法错误的是 ()

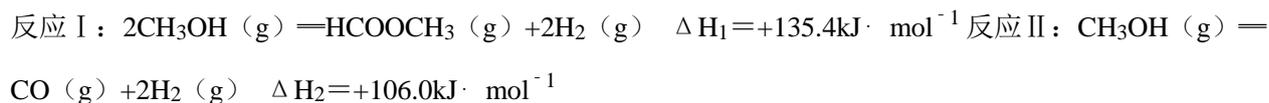
- A. “粉碎” 的目的是增大反应物接触面积, 提高酸浸速率和浸取率
- B. 加入 H₂O₂ 时发生反应的离子方程式为: 2Fe²⁺+H₂O₂+2H⁺==2Fe³⁺+2H₂O
- C. 加入 CoO 的目的是调节溶液 pH, 使 Al³⁺、Fe²⁺ 完全沉淀
- D. 加入有机溶剂的目的是溶解 NiR₂, 使之与水层分离, 便于 “操作①” 进行分液

13. (3分) 室温下, 通过实验探究亚硫酸盐的性质。已知: K_{a1}(H₂SO₃) = 1.54 × 10⁻²、K_{a2}(HSO₃⁻) = 6.3 × 10⁻⁸。下列说法正确的是 ()

实验	实验操作和现象
1	向 10mL 1.0mol·L ⁻¹ NaOH 溶液中通入 SO ₂ 至溶液 pH=7
2	将等体积、等物质的量浓度的 Na ₂ SO ₃ 和 NaHSO ₃ 溶液混合, 无明显现象
3	向 10mL 1.0mol·L ⁻¹ Na ₂ SO ₃ 溶液中逐滴加入等体积等浓度盐酸, 最终溶液 pH < 7
4	向 10mL 1.0mol·L ⁻¹ NaHSO ₃ 溶液中逐滴滴加 15mL 1.0mol·L ⁻¹ NaOH 溶液后, 测得溶液 pH > 7

- A. 实验 1 所得溶液中: $c(\text{HSO}_3^-) > c(\text{SO}_3^{2-})$
- B. 实验 2 所得溶液中: $3c(\text{Na}^+) = 2[c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{SO}_3)]$
- C. 实验 3 所得溶液中: $c(\text{H}_2\text{SO}_3) > c(\text{SO}_3^{2-})$
- D. 实验 4 所得溶液中: $c(\text{Na}^+) < c(\text{HSO}_3^-) + 2c(\text{SO}_3^{2-})$

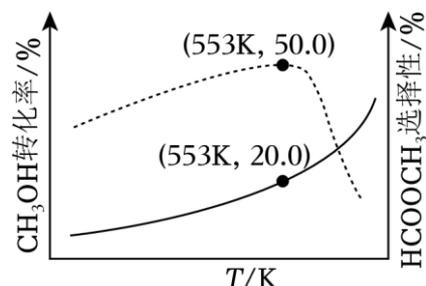
14. (3 分) 甲醇脱氢法制 HCOOCH_3 工艺过程涉及如下反应:



向容积为 10L 的恒容密闭容器中通入 1.0mol CH_3OH 气体发生上述反应, 反应相同时间, 测得 CH_3OH

的转化率和 HCOOCH_3 的选择性随温度变化如图所示。已知: HCOOCH_3 的选择性 = $\frac{2n(\text{HCOOCH}_3)}{n(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{反应}}} \times 100\%$ 。下列说法错误的是 ()

100%。下列说法错误的是 ()



- A. 虚线代表的是 HCOOCH_3 的选择性
- B. 553K 后, 升高温度, 对反应的促进程度: 反应 II > 反应 I
- C. 553K 时, HCOOCH_3 的产量为 0.25mol
- D. 553K 后, 反应混合气中 $\frac{n(\text{CO})}{n(\text{H}_2)}$ 的值在增大

二、非选择题: 共 4 题, 共 58 分。

15. (14 分) 工业上用某软锰矿 (主要成分是 MnO_2 , 还含有 Al_2O_3 、 SiO_2 等杂质) 制备 KMnO_4 的流程如

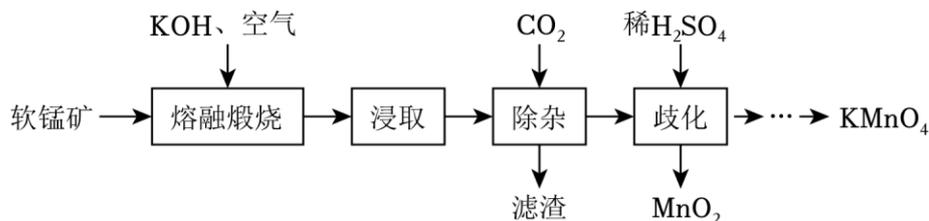


图:

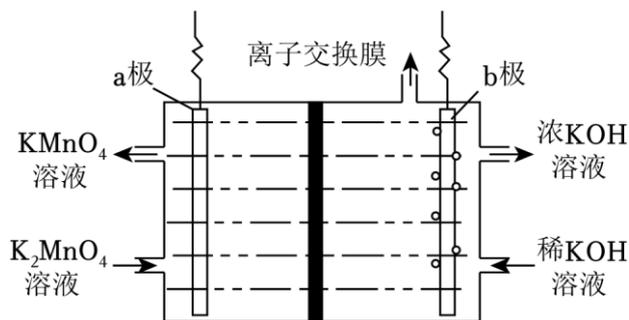
- (1) “熔融煅烧”时, MnO_2 转化为 K_2MnO_4 。该反应的化学方程式为 _____。
- (2) “除杂”包括通入 CO_2 、“过滤”等操作, 滤渣的成分为 _____ (填化学式)。

(3) “歧化”时, 不能用稀盐酸代替稀硫酸的主要原因是 _____。

(4) 工业上也可以用电解 K_2MnO_4 水溶液法制备 KMnO_4 , 同时获得高浓度的 KOH 溶液, 电解原理如题 15 图所示。

① a 极为 _____ 极 (填“阴”或“阳”, 下同), 离子交换膜允许通过的离子是 _____。

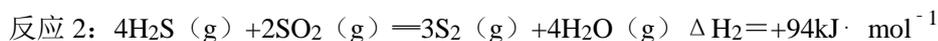
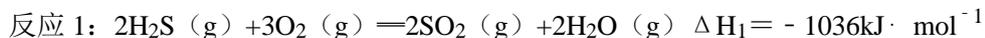
② 电解过程总反应的离子方程式为 _____。



16. (15 分) 回收利用含硫烟气有利于节约资源、保护环境。

I. 含 H_2S 的烟气回收

(1) 将一部分含 H_2S 的烟气在空气中燃烧, 将燃烧所得产物与剩余烟气混合, 冷却后可回收得到硫磺 (S_8)。该工艺中涉及反应如下:



① 反应 $8\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 4\text{O}_2(\text{g}) = \text{S}_8(\text{s}) + 8\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 $\Delta H =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

② 相同条件下需控制反应 1 与反应 2 中的烟气体积比为 1:2 的原因是 _____。

II. 含 SO_2 的烟气回收

(2) 以 $\text{FeS}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为催化剂, 用 H_2 还原 SO_2 制 S。其他条件一定, 改变起始时 H_2 与 SO_2 的比例, 反应相同时间, 测得 S 的产率随温度的变化关系如图所示。500℃, $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{SO}_2)} = 3$ 时硫的产率比 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{SO}_2)} = 2$ 时小的原因可能是 _____。

(3) 以 V_2O_5 /炭基材料为催化剂, SO_2 在炭表面被氧气催化氧化为 SO_3 , SO_3 再转化为硫酸盐等。

① V_2O_5 /炭基材料脱硫涉及反应: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{催化剂}} 2\text{SO}_3(\text{g})$, 下列关于该反应的说法正确的是 _____ (填字母序号)。

a. 通入过量空气, 可提高 SO_2 的平衡转化率

b.当 $n(\text{SO}_2):n(\text{SO}_3)=1:1$ 时,可判断反应达到平衡

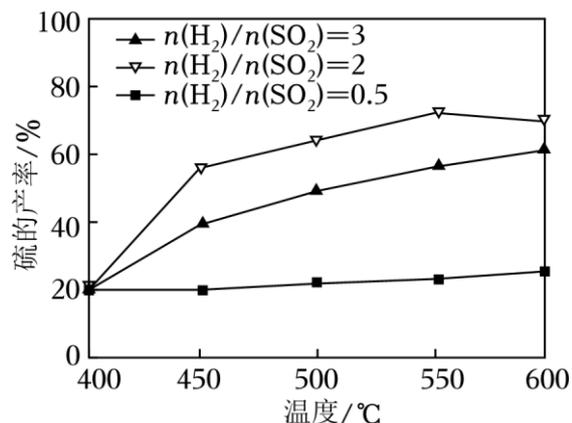
c.使 SO_3 液化从平衡体系中分离,能加快正反应速率,增大 SO_2 转化率

② 450°C 、在 V_2O_5 催化下, SO_2 和 O_2 的反应过程是按照如下两步完成的:

反应 I: _____ (快反应)

反应 II: $2\text{V}_2\text{O}_4+\text{O}_2=2\text{V}_2\text{O}_5$ (慢反应)

请补充上述反应 I 的化学方程式,决定总反应速率快慢的是反应 _____ (填“ I ”或“ II ”)。



17. (15分) ClO_2 是一种安全稳定、高效低毒的广谱型消毒剂,它易溶于水、难溶于有机溶剂,高浓度的 ClO_2 气体易爆炸。常见制备 ClO_2 的方法如下:

I.利用 NaClO_2 与纯净的 Cl_2 反应可制得 ClO_2 和 NaCl ,实验装置如图-1所示(夹持装置略)。

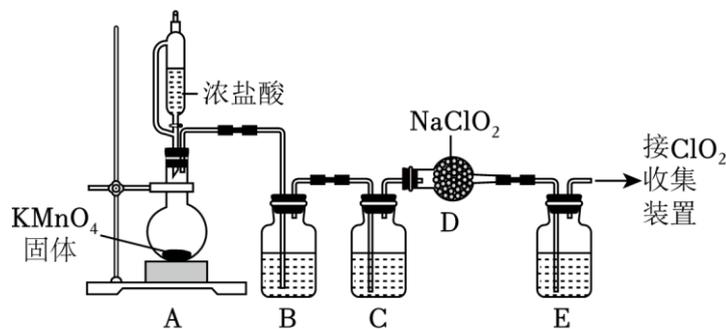


图-1

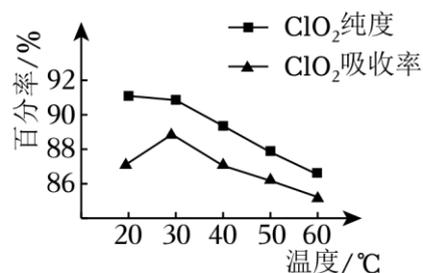


图-2

(1) 装置 B 中试剂为 _____。

(2) 装置 E 中所盛试剂是 CCl_4 , 其作用为 _____。

II.草酸 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)、氯酸钾和适当浓度的 H_2SO_4 溶液反应制取 ClO_2 , 反应中有 CO_2 气体生成。

(3) 该方法制备 ClO_2 的优点是 _____。

II.以黄铁矿 (FeS_2)、氯酸钠和硫酸溶液混合反应制备 ClO_2 , 再用水吸获得 ClO_2 溶液。在 ClO_2 的制备和吸收过程中均需要控制适宜的温度, 如图-2所示为温度对 ClO_2 纯度、吸收率的影响。

(4) 已知: 黄铁矿中的硫元素在酸性条件下被 ClO_3^- 氧化成 SO_4^{2-} , 写出该法制备 ClO_2 气体的离子方程

式：_____，由图可知，反应时采取的适宜措施是_____。

(5) 某校化学学习小组拟以“ $\frac{m(\text{ClO}_2)}{m(\text{NaClO}_3)} \times 100\%$ ”作为衡量 ClO_2 产率的指标。取 NaClO_3 样品质

量 6.000g，通过反应和吸收可得 400.00mL ClO_2 溶液，取出 20.00mL，加入 37.00mL $0.5000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 溶液充分反应，过量 Fe^{2+} 再用 $0.05000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 标准溶液滴定至终点，消耗 20.00mL。反应原理如下（未配平）：

$\text{H}^+ + \text{ClO}_2 + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Cl}^- + \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$ ； $\text{H}^+ + \text{Fe}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$ 。试计算 ClO_2 的产率

（写出计算过程）。

18. (14 分) 氨氮废水可通过沉淀或氧化处理，使水中氨氮达到国家规定的排放标准后才可以排放。已知水溶液中氨氮的存在形式主要由 pH 决定。当 $\text{pH} < 9$ 时， NH_4^+ 是主要存在形式；当 $\text{pH} > 9$ 时， NH_3 是主要存在形式。

I. 沉淀法

向酸性废水中加入一定比例的 MgCl_2 和 Na_2HPO_4 ，将氨氮转化为 $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 沉淀除去。已知 25℃ 时磷酸电离平衡常数： $K_{a1} = 7.5 \times 10^{-3}$ 、 $K_{a2} = 6.2 \times 10^{-8}$ 、 $K_{a3} = 2.2 \times 10^{-13}$ 。

(1) 写出生成 $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 沉淀的离子方程式_____。

(2) Na_2HPO_4 溶液中： $c(\text{PO}_4^{3-})$ _____ $c(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$ （填“>”、“<”或“=”）。

II. 氧化法

臭氧是一种相对安全的氧化剂，已被广泛应用于水处理中。已知臭氧很不稳定，在常温常压下即可分解为 O_2 ，在水中比在空气中更易分解。利用臭氧处理氨氮废水，实验跟踪监测 O_3 氧化氨氮情况如图 - 1 所示，反应条件：温度 10℃，初始 pH 不同的 $50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{Cl}$ 溶液（模拟氨氮废水）各 250mL，4.56mg

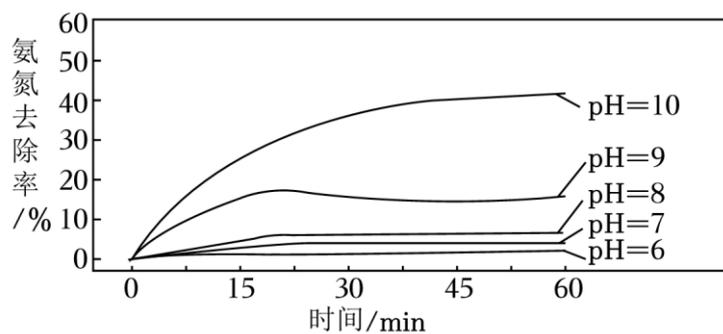


图-1 初始pH对臭氧氧化氨氮的影响

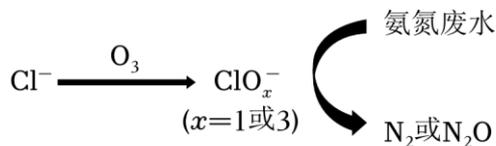


图-2

$\cdot \text{L}^{-1} \text{O}_3$ ，接触时间 60min。

(3) $\text{pH} > 9$ ，相同时间内氨氮去除率显著增大的可能原因是 _____。

(4) 若温度升高，相同时间内氨氮去除率降低，可能原因是 _____。

(5) 在弱酸性环境下，当废水中含有大量 Cl^- 时， O_3 氧化氨氮废水的过程如图 - 2 所示，该过程可描述为 _____。

2022-2023 学年江苏省无锡市高二（下）期末化学试卷

参考答案与试题解析

一、单项选择题：共 14 题，每题 3 分，共 42 分。每题只有一个选项最符合题意

1. (3 分) 下列说法正确的是 ()

- A. “天问一号”探测器运载火箭使用的燃料液氢是高能清洁燃料
- B. “祝融号”火星车的太阳能电池板表面涂层须有很好的反光性
- C. “天问一号”选择使用新型 SiC 增强铝基复合材料的主要依据是其导电性好
- D. “火星快车”轨道器上的锂离子蓄电池是一次电池

【答案】A

【分析】A. 液氢燃烧无污染；

B. 太阳能电池需要吸收阳光；

C. 复合材料，兼具单一金属不具备的综合优越性能；

D. 锂离子电池是可充电电池。

【解答】解：A. 液氢燃烧无污染，燃烧热值大，是高能清洁燃料，故 A 正确；

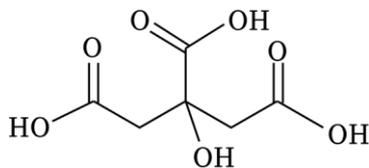
B. 太阳能电池需要吸收阳光，所以表面涂层须有很好的吸光性，故 B 错误；

C. “天问一号”的外壳采用的 SiC 增强铝基复合材料是一种颗粒增强金属基复合材料，采用 Al 合金作基体，按设计要求，以一定形式、比例和分布状态，用 SiC 颗粒作增强体，构成有明显界面的多组相复合材料，兼具单一金属不具备的综合优越性能，具有优异的耐高温、抗氧化性能，故 C 错误；

D. 锂离子电池是可充电电池，属于二次电池，故 D 错误；

故选：A。

2. (3 分) “神舟十三号”乘组航天员在空间站进行了三次“天宫授课”。以下实验均在太空失重环境下进行，下列说法错误的是 ()



行，下列说法错误的是 ()

- A. “太空冰雪实验”中，使用的乙酸钠属于强电解质
- B. “泡腾片实验”中，柠檬酸与小苏打发生的反应属于置换反应
- C. “水油分离实验”中，饮用水与食用油摇匀后不能立即用分液漏斗直接分液
- D. “太空五环实验”中，碳酸钠溶液中滴加甲基橙溶液构成了黄色环，这利用了碳酸钠溶液水解呈碱

性

【答案】B

【分析】A. 水溶液中或熔融状态下完全电离的电解质为强电解质；

B. 柠檬酸与小苏打反应时，发生的是复分解反应；

C. 饮用水与食用油摇匀后应静置分层；

D. 碳酸钠溶液水解呈碱性。

【解答】解：A. 乙酸钠是强碱弱酸盐，溶于水完全电离，是强电解质，故 A 正确；

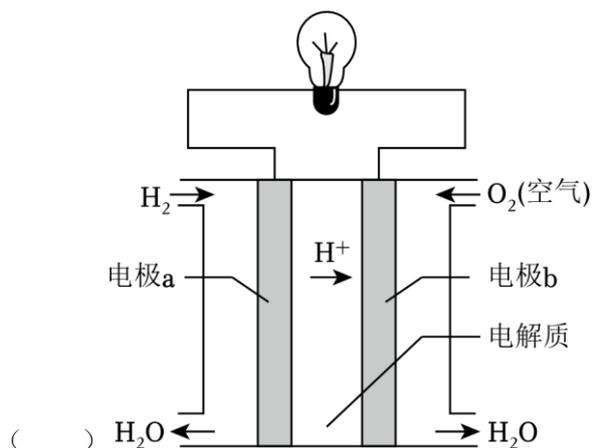
B. 柠檬酸与小苏打反应时，发生的是复分解反应，故 B 错误；

C. 饮用水与食用油摇匀后应静置分层，不能立即用分液漏斗直接分液，故 C 正确；

D. 碳酸钠溶液水解呈碱性，故碳酸钠溶液中滴加甲基橙溶液呈黄色，故 D 正确；

故选：B。

3. (3 分) 氢氧燃料电池是使用在航天领域常见的燃料电池，其反应原理，如图所示。下列说法正确的是



A. 该电池工作时实现了电能转化为化学能

B. 该电池中电极 a 是负极

C. 电极 b 的反应式为： $\text{O}_2 - 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{O}$

D. 当转移电子 0.2mol 时，消耗 2.24L H_2

【答案】B

【分析】该燃料电池为氢氧燃料电池，电解质溶液呈酸性，燃料电池中通入燃料的电极是负极、通入氧化剂的电极是正极，负极反应式为 $\text{H}_2 - 2\text{e}^- = 2\text{H}^+$ 、正极反应式为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{O}$ ，放电时，质子从原电池负极通过交换膜流向正极，据此分析解答。

【解答】解：A. 燃料电池工作时实现了化学能转化为电能，故 A 错误；

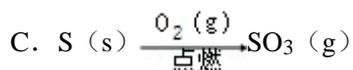
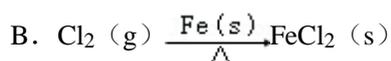
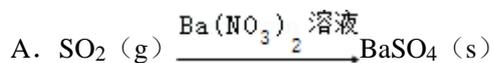
B. 燃料电池中通入燃料的电极是负极，电池的负极是 a 极，故 B 正确；

C. 正极发生还原反应，电极反应式为 $O_2 + 4e^- + 4H^+ = 2H_2O$ ，故 C 错误；

D. 未指明标准状况，不能计算消耗 H_2 的物质的量，故 D 错误；

故选：B。

4. (3分) 在给定条件下，下列选项所示的物质间转化能实现的是 ()



【答案】A

【分析】A. 二氧化硫和硝酸钡溶液发生氧化还原反应；

B. 氯气与铁反应生成氯化铁；

C. 硫与氧气点燃不能得到三氧化硫；

D. 氯化铁溶液加热蒸发得到氢氧化铁。

【解答】解：A. 二氧化硫通入硝酸钡溶液中发生氧化还原反应生成 $BaSO_4$ 沉淀、NO 和 H_2O ，离子方程式为 $3SO_2 + 2NO_3^- + 3Ba^{2+} + 2H_2O = 3BaSO_4 \downarrow + 2NO \uparrow + 4H^+$ ，物质间转化能实现，故 A 正确；

B. 氯气与铁反应生成氯化铁，得不到 $FeCl_2$ ，则物质间转化不能一步实现，故 B 错误；

C. 硫与氧气点燃生成二氧化硫，不能得到三氧化硫，则物质间转化能一步实现，故 C 错误；

D. 因加热促进氯化铁水解，生成盐酸易挥发，氯化铁溶液加热蒸发得到氢氧化铁，灼烧得到氧化铁，得不到无水氯化铁，故 D 错误；

故选：A。

5. (3分) 下列关于物质的性质与用途具有对应关系的是 ()

A. Cl_2 易液化，可用于制取消毒液

B. 次氯酸有弱酸性，可用于制备漂白剂

C. $FeCl_3$ 溶液有氧化性，可用于蚀刻制作铜电路板

D. 浓硫酸有脱水性，可用于干燥氯气

【答案】C

【分析】A. Cl_2 能与碱反应生成次氯酸盐，次氯酸盐具有漂白性；

B. 次氯酸有强氧化性，可用于制备漂白剂；

C. FeCl_3 具有较强氧化性，能与 Cu 等物质反应；

D. 浓硫酸有吸水性，可作干燥剂。

【解答】解：A. Cl_2 能与 NaOH 反应生成 NaClO ， NaClO 具有强氧化性、漂白性，可作漂白剂，与 Cl_2 易液化无关，故 A 错误；

B. 次氯酸有强氧化性，可用于制备漂白剂，与次氯酸有弱酸性无关，故 B 错误；

C. FeCl_3 具有较强氧化性，能与铜反应生成可溶性的 CuCl_2 ，可用于蚀刻制作铜电路板，故 C 正确；

D. 浓硫酸有吸水性，可用于干燥氯气，与脱水性无关，故 D 错误；

故选：C。

6. (3分) 对于反应 $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H = -904\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，下列说法正确的是 ()

A. 该反应 $\Delta S < 0$

B. 升高温度，该反应的平衡常数 K 增大

C. 反应的 ΔH 等于生成物键能的总和减去反应物键能的总和

D. 其他条件不变，增大反应容器体积，可以提高 NH_3 的转化率

【答案】D

【分析】A. 熵是体系混乱度的度量，体系越混乱熵值越大，气体分子数增多，熵值增大；

B. 吸热反应，升温，平衡正向移动，平衡常数增大，放热反应，升温，平衡逆向移动，平衡常数减小；

C. ΔH 等于反应物键能的总和减去生成物键能的总和；

D. 减小压强，平衡向气体分子数增大的方向移动，增大压强，平衡向气体分子数减小的方向移动。

【解答】解：A. 由于该反应的正反应是气体分子数增大的反应，故 $\Delta S > 0$ ，故 A 错误；

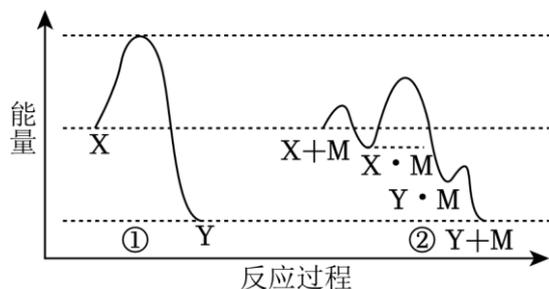
B. 该反应是放热反应，升高温度，平衡逆向移动，平衡常数减小，故 B 错误；

C. ΔH 等于反应物键能的总和减去生成物键能的总和，故 C 错误；

D. 其他条件不变，增大反应容器体积，相当于减小压强，减小压强，平衡向气体分子数增大的方向移动，即该反应正向移动， NH_3 的转化率提高，故 D 正确；

故选：D。

7. (3分) 反应物 (X) 转化为产物 (Y) 时的能量变化与反应进程的关系如图曲线①所示，在反应中仅改变一种外界条件，可得到如图曲线②。下列说法正确的是 ()



- A. 该反应是吸热反应
 B. $X \cdot M$ 为反应所加的催化剂
 C. 改变该条件后，降低了反应的焓变
 D. 该条件的改变增大了单位体积内活化分子百分数

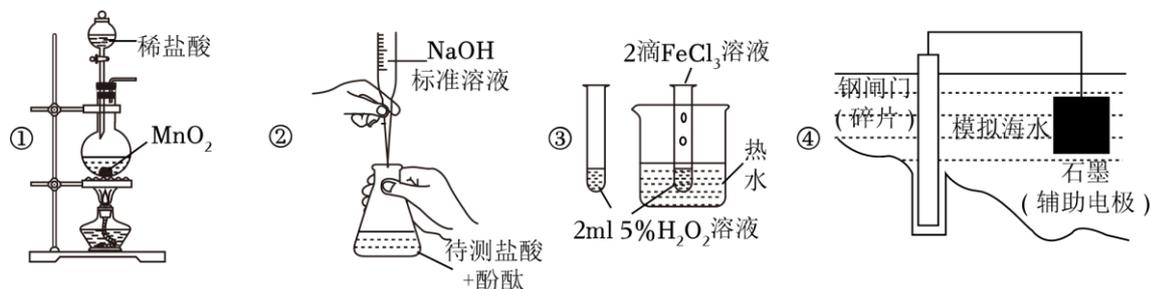
【答案】D

- 【分析】A. 由于反应物的总能量高于生成物的总能量，所以反应过程中释放能量；
 B. 参与反应过程，改变化学反应速率，本身质量和化学性质保持不变的物质为反应的催化剂；
 C. 催化剂降低反应的活化能，焓变与反应物和生成物所具有的总能量有关；
 D. 使用催化剂，降低活化能，活化分子百分数增大。

- 【解答】解：A. 由于反应物的总能量高于生成物的总能量，因而该反应是放热反应，故 A 错误；
 B. 由图可知， $X \cdot M$ 是中间产物而不是催化剂，故 B 错误；
 C. 催化剂加快反应速率，降低反应的活化能，不改变反应的焓变，故 C 错误；
 D. 使用催化剂，降低活化能，活化分子数目增加，活化分子百分数增大，单位体积单位时间内有效碰撞几率增加，反应速率增大，故 D 正确；

故选：D。

8. (3分) 化学是一门以实验为基础的科学，下列有关实验装置或操作合理的是 ()



- A. 图①是实验室制备氯气
 B. 图②是测定盐酸物质的量浓度
 C. 图③是研究催化剂对化学反应速率的影响
 D. 图④是模拟保护钢闸门

【答案】B

【分析】A. 稀盐酸与二氧化锰不反应；

B. 图中为碱滴定酸；

C. 右侧试管中热水加热，且加入催化剂；

D. 图中构成原电池，钢闸门作负极。

【解答】解：A. 稀盐酸与二氧化锰不反应，应选浓盐酸，故 A 错误；

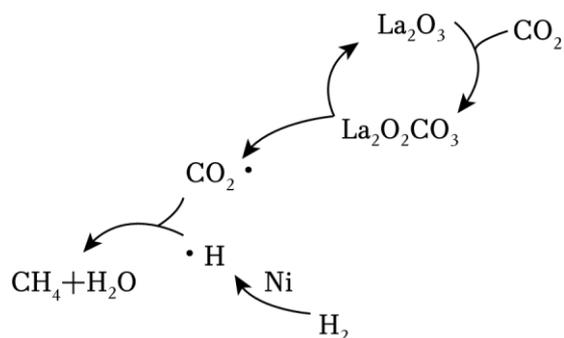
B. 图中为碱滴定酸，可选酚酞作指示剂，操作合理，故 B 正确；

C. 右侧试管中热水加热，且加入催化剂，两个变量，不能研究催化剂对化学反应速率的影响，故 C 错误；

D. 图中构成原电池，钢闸门作负极，可加快腐蚀，不能保护钢闸门，故 D 错误；

故选：B。

9. (3分) 在光照条件下， CO_2 加氢制 CH_4 的一种催化机理如图所示，下列说法正确的是 ()



A. 没有 La_2O_3 的介入， CO_2 和 H_2 就不能转化为 CH_4 和 H_2O

B. 反应过程中释放出带负电荷的 $\cdot\text{H}$

C. 该反应的化学方程式为 $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \xrightarrow[\text{光照}]{\text{催化剂}} \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

D. $\text{La}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ 是反应的催化剂

【答案】C

【分析】A. 催化剂参与反应过程，能加快反应速率；

B. $\text{H}\cdot$ 是电中性的；

C. 由图可知，该反应为 CO_2 加氢制 CH_4 ；

D. 参与反应过程，改变化学反应速率，本身质量和化学性质保持不变的物质为反应的催化剂。

【解答】解：A. 催化剂参与反应过程，能加快反应速率，不改变反应的反应热，没有催化剂 La_2O_3 的介入， CO_2 和 H_2 仍能转化为 CH_4 和 H_2O ，故 A 错误；

B. H_2 经过 Ni 活性中心裂解产生电中性的 H；故 B 错误；

C. 由图可知，该反应的催化剂是 La_2O_3 ， $La_2O_2CO_3$ 可为中间产物，则该历程的化学反应方程式为：



D. 由 CO_2 加氢制 CH_4 的催化机理可知，催化过程使用的催化剂为 La_2O_3 ， $La_2O_2CO_3$ 为中间产物，故 D 错误；

故选：C。

10. (3 分) 常温下， $2NH_3(g) + NaClO(aq) = NaCl(aq) + N_2H_4(aq) + H_2O(l)$ 能自发进行，可用于生产 N_2H_4 。下列说法正确的是 ()

A. 该反应的 $\Delta H > 0$

B. 每生成 $1\text{mol} N_2H_4$ 转移 2mol 电子

C. 室温下，向 $0.1\text{mol} \cdot L^{-1} NaClO$ 溶液中加水，溶液 pH 增大

D. N_2H_4 、 O_2 和 KOH 溶液组成的燃料电池，负极反应为 $N_2H_4 - 4e^- = N_2 + 4H^+$

【答案】B

【分析】A. $\Delta H - T\Delta S < 0$ 的反应可自发进行；

B. 根据 $2NH_3(g) + NaClO(aq) = NaCl(aq) + N_2H_4(aq) + H_2O(l)$ 反应中氮元素化合价由 -3 升高到 -2 计算；

C. 加水，溶液体积增大，碱性减弱；

D. N_2H_4 在碱性溶液中失电子生成氮气和水。

【解答】解：A. $2NH_3(g) + NaClO(aq) = NaCl(aq) + N_2H_4(aq) + H_2O(l)$ ， $\Delta S < 0$ ，又 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 的反应可自发进行，则该反应 $\Delta H < 0$ ，故 A 错误；

B. $2NH_3(g) + NaClO(aq) = NaCl(aq) + N_2H_4(aq) + H_2O(l)$ 反应中氮元素化合价由 -3 升高到 -2，则每生成 $1\text{mol} N_2H_4$ 转移 2mol 电子，故 B 正确；

C. $NaClO$ 溶液由于次氯酸跟水解显碱性，则室温下，向 $0.1\text{mol/L} NaClO$ 溶液中加水，溶液体积增大，碱性减弱，pH 减小，故 C 错误；

D. N_2H_4 、 O_2 和 KOH 溶液组成的燃料电池， N_2H_4 在碱性溶液中失电子生成氮气和水，负极反应为 $N_2H_4 - 4e^- + 4OH^- = N_2 + 4H_2O$ ，故 D 错误；

故选：B。

11. (3 分) 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	向盛有 NaOH 溶液（滴有 2 滴酚酞）的试管中通入 SO ₂ ，观察溶液颜色变化	证明 SO ₂ 具有漂白性
B	常温下，向 10mL 0.1mol·L ⁻¹ NaCl 溶液中滴加 5 滴 0.1mol·L ⁻¹ AgNO ₃ 溶液，充分反应后，再滴加 5 滴 0.1mol·L ⁻¹ KI 溶液，观察沉淀颜色变化	证明 K _{sp} (AgCl) > K _{sp} (AgI)
C	向久置氯水中滴加少量 NaHCO ₃ 溶液，观察有无气体生成	证明 HClO 是否分解完全
D	测定等体积的盐酸和醋酸溶液的 pH，并比较 pH 大小	证明 HCl 是强电解质

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

【答案】B

【分析】A. 二氧化硫与 NaOH 溶液反应生成盐和水；

B. AgNO₃ 溶液不足，生成的 AgCl 可转化为更难溶的 AgI 沉淀；

C. 氯水中含盐酸；

D. 盐酸和醋酸溶液的浓度未知。

【解答】解：A. 二氧化硫与 NaOH 溶液反应生成盐和水，溶液的碱性减弱，则红色变浅或消失，与漂白性无关。故 A 错误；

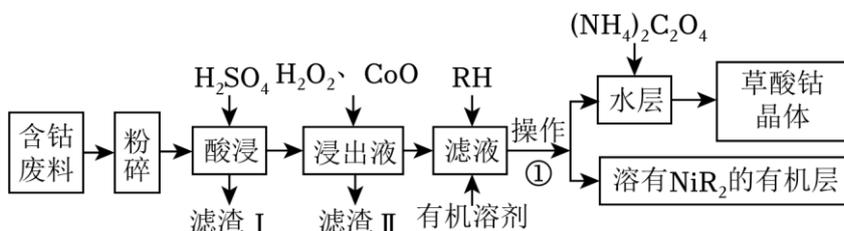
B. AgNO₃ 溶液不足，生成的 AgCl 可转化为更难溶的 AgI 沉淀，由实验操作和现象可知 K_{sp}(AgCl) > K_{sp}(AgI)，故 B 正确；

C. 氯水中含盐酸，与碳酸氢钠溶液反应生成气体，不能说明 HClO 是否分解，故 C 错误；

D. 盐酸和醋酸溶液的浓度未知，应测定等浓度的盐酸和醋酸溶液的 pH，并比较 pH 大小，然后判断 HCl 为强电解质，故 D 错误；

故选：B。

12. (3 分)用含钴废料(主要成分为 Co, 还含有一定量的 NiO、Al₂O₃、Fe、SiO₂ 等)制备草酸钴晶体(CoC₂O₄·2H₂O)的工艺流程如图:



已知：①草酸钴晶体难溶于水；②RH 为有机萃取剂。

下列说法错误的是 ()

- A. “粉碎”的目的是增大反应物接触面积，提高酸浸速率和浸取率
- B. 加入 H_2O_2 时发生反应的离子方程式为： $2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$
- C. 加入 CoO 的目的是调节溶液 pH，使 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 完全沉淀
- D. 加入有机溶剂的目的是溶解 NiR_2 ，使之与水层分离，便于“操作①”进行分液

【答案】 C

【分析】 废料粉碎后加入稀硫酸酸浸，Co、NiO、 Al_2O_3 、Fe 都和稀硫酸反应生成相应的盐， SiO_2 不溶于稀硫酸，滤渣 I 为 SiO_2 ，浸出液中加入双氧水和 CoO ，双氧水氧化 Fe^{2+} 生成 Fe^{3+} ， CoO 和稀硫酸反应生成 CoSO_4 而增大溶液 pH 值，使 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 分别转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀，则滤渣 II 为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，向滤液中加入 RH ，萃取后得到的水层中含有 CoSO_4 ，有机层中含有 NiR_2 ，向水层中加入草酸铵得到草酸钴晶体。

- 【解答】** 解：A. 将块状含钴废料粉碎，可以增大反应物间的接触面积，酸浸时反应速率会大大加快，故 A 正确；
- B. 浸出液中加入 H_2O_2 ，双氧水具有氧化性，能氧化具有还原性的亚铁离子生成铁离子，离子方程式为 $2\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ ，故 B 正确；
- C. 双氧水氧化 Fe^{2+} 生成 Fe^{3+} ， CoO 能和稀硫酸反应生成水而调节溶液的 pH 值，使 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 分别转化为沉淀而除去杂质离子，故 C 错误；
- D. 由图可知，加入有机溶剂后得到水层和溶有 NiR_2 的有机层，故目的是溶解 NiR_2 ，使之与水层分离，便于“操作①”进行分液，故 D 正确；
- 故选：C。

13. (3分) 室温下，通过实验探究亚硫酸盐的性质。已知： $K_{a1}(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1.54 \times 10^{-2}$ 、 $K_{a2}(\text{HSO}_3^-) = 6.3 \times 10^{-8}$ 。下列说法正确的是 ()

实验	实验操作和现象
1	向 $10\text{mL} 1.0\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 溶液中通入 SO_2 至溶液 $\text{pH}=7$
2	将等体积、等物质的量浓度的 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 溶液混合，无明显现象
3	向 $10\text{mL} 1.0\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{SO}_3$ 溶液中逐滴加入等体积等浓度盐酸，最终溶液 $\text{pH}<7$
4	向 $10\text{mL} 1.0\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHSO}_3$ 溶液中逐滴滴加 $15\text{mL} 1.0\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 溶液后，测得溶液 $\text{pH}>7$

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

- B. 实验 2 所得溶液中: $3c(\text{Na}^+) = 2[c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{SO}_3)]$
- C. 实验 3 所得溶液中: $c(\text{H}_2\text{SO}_3) > c(\text{SO}_3^{2-})$
- D. 实验 4 所得溶液中: $c(\text{Na}^+) < c(\text{HSO}_3^-) + 2c(\text{SO}_3^{2-})$

【答案】A

【分析】A. 实验 1 所得溶液中 $\text{pH}=7$, $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) = 10^{-7} \text{mol/L}$, 结合 $K_{a2}(\text{H}_2\text{SO}_3) = \frac{c(\text{SO}_3^{2-})}{c(\text{HSO}_3^-)}$

$\times c(\text{H}^+)$ 分析判断;

- B. 实验 2 所得溶液中 $c(\text{Na}_2\text{SO}_3) = c(\text{NaHSO}_3)$, 结合物料守恒关系分析判断;
- C. 实验 3 所得溶液中物质为 NaCl 和 NaHSO_3 , 溶液呈酸性, 说明 HSO_3^- 的电离程度大于其水解程度;
- D. 实验 4 所得溶液呈碱性, $c(\text{H}^+) < c(\text{OH}^-)$, 结合电荷守恒关系分析判断。

【解答】解: A. 实验 1 所得溶液中 $\text{pH}=7$, $c(\text{H}^+) = 10^{-7} \text{mol/L}$, $K_{a2}(\text{H}_2\text{SO}_3) = \frac{c(\text{SO}_3^{2-})}{c(\text{HSO}_3^-)} \times c(\text{H}^+)$

$$= \frac{c(\text{SO}_3^{2-})}{c(\text{HSO}_3^-)} \times 10^{-7} = 6.3 \times 10^{-8}$$

, 则 $c(\text{HSO}_3^-) > c(\text{SO}_3^{2-})$, 故 A 正确;

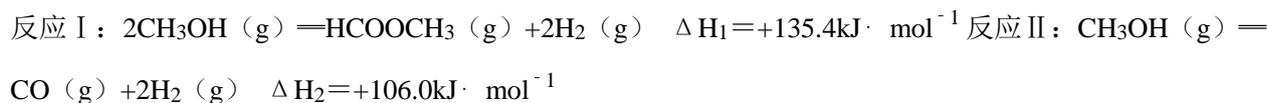
B. 实验 2 所得溶液中 $c(\text{Na}_2\text{SO}_3) = c(\text{NaHSO}_3)$, 物料守恒关系为 $2c(\text{Na}^+) = 3[c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{SO}_3)]$, 故 B 错误;

C. 实验 3 所得溶液中物质为 NaCl 和 NaHSO_3 , 溶液呈酸性, 说明 HSO_3^- 的电离程度大于其水解程度, 则 $c(\text{H}_2\text{SO}_3) < c(\text{SO}_3^{2-})$, 故 C 错误;

D. 实验 4 所得溶液呈碱性, $c(\text{H}^+) < c(\text{OH}^-)$, 电荷守恒关系为 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{HSO}_3^-) + 2c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{OH}^-)$, 则 $c(\text{Na}^+) > c(\text{HSO}_3^-) + 2c(\text{SO}_3^{2-})$, 故 D 错误;

故选: A。

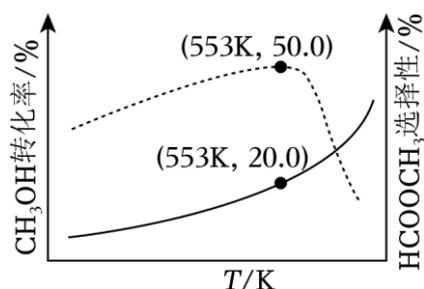
14. (3 分) 甲醇脱氢法制 HCOOCH_3 工艺过程涉及如下反应:



向容积为 10L 的恒容密闭容器中通入 1.0mol CH_3OH 气体发生上述反应, 反应相同时间, 测得 CH_3OH

的转化率和 HCOOCH_3 的选择性随温度变化如图所示。已知: HCOOCH_3 的选择性 = $\frac{2n(\text{HCOOCH}_3)}{n(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{反应}}} \times$

100%。下列说法错误的是（ ）



- A. 虚线代表的是 HCOOCH₃ 的选择性
 B. 553K 后，升高温度，对反应的促进程度：反应 II > 反应 I
 C. 553K 时，HCOOCH₃ 的产量为 0.25mol
 D. 553K 后，反应混合气中 $\frac{n(\text{CO})}{n(\text{H}_2)}$ 的值在增大

【答案】C

【分析】反应 I 和反应 II 均为吸热反应，升高温度，平衡均向正反应方向移动，甲醇的转化率增大，则实线代表的是甲醇的转化率，虚代表的是甲酸甲酯的选择性。

【解答】解：A.由分析可知，虚线代表的是甲酸甲酯的选择性，故 A 正确；

B.由图可知，温度高于 553 K 时，甲酸甲酯的选择性降低，说明反应以反应 II 为主，温度升高，反应 II 的速率大于反应 I 的速率，故 B 正确；

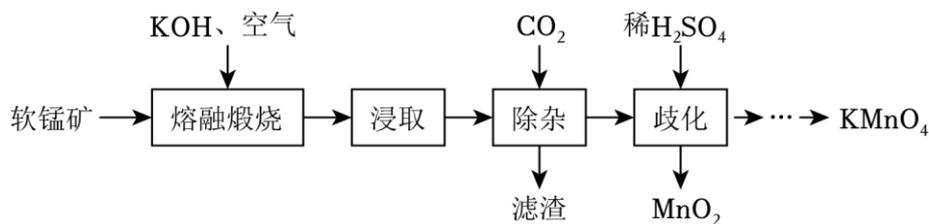
C.由图可知，553 K 时，甲醇的转化率为 20%，甲酸甲酯的选择性为 50%，则甲酸甲酯的物质的量为 $1.0 \text{ mol} \times 20.0\% \times 50.0\% \times \frac{1}{2} = 0.05 \text{ mol}$ ，故 C 错误；

D.由图可知，温度高于 553 K 时，甲酸甲酯的选择性降低，说明反应以反应 II 为主，温度升高，CO 的量增加，故反应混合气中 $\frac{n(\text{CO})}{n(\text{H}_2)}$ 的值在增大，故 D 正确；

故选：C。

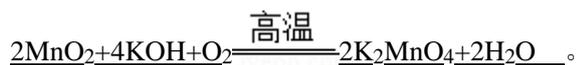
二、非选择题：共 4 题，共 58 分。

15.（14 分）工业上用某软锰矿（主要成分是 MnO₂，还含有 Al₂O₃、SiO₂ 等杂质）制备 KMnO₄ 的流程如



图：

（1）“熔融煅烧”时，MnO₂ 转化为 K₂MnO₄。该反应的化学方程式为



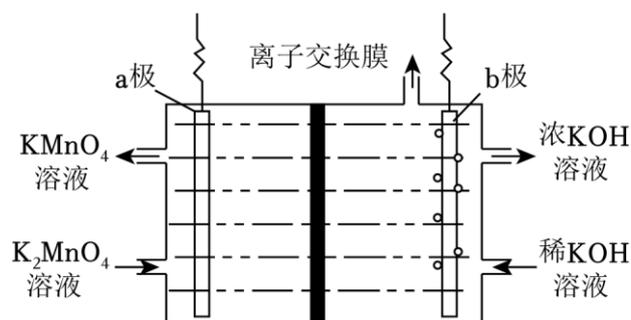
(2) “除杂”包括通入 CO_2 、“过滤”等操作，滤渣的成分为 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 H_2SiO_3 （填化学式）。

(3) “歧化”时，不能用稀盐酸代替稀硫酸的主要原因是 酸性条件下， Cl^- 会被 KMnO_4 氧化，产生有毒气体 Cl_2 ，降低 KMnO_4 产率。

(4) 工业上也可以用电解 K_2MnO_4 水溶液法制备 KMnO_4 ，同时获得高浓度的 KOH 溶液，电解原理如题 15 图所示。

① a 极为 阳 极（填“阴”或“阳”，下同），离子交换膜允许通过的离子是 K^+ 。

② 电解过程总反应的离子方程式为 $2\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^- + 2\text{MnO}_4^-$ 。



【答案】(1) $2\text{MnO}_2 + 4\text{KOH} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$;

(2) $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 H_2SiO_3 ;

(3) 酸性条件下， Cl^- 会被 KMnO_4 氧化，产生有毒气体 Cl_2 ，降低 KMnO_4 产率；

(4) ① 阳； K^+ ；

② $2\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^- + 2\text{MnO}_4^-$ 。

【分析】软锰矿（主要成分为 MnO_2 ，还含有 Al_2O_3 、 SiO_2 等杂质）与 KOH 在空气中熔融煅烧，主要的反应为： $2\text{MnO}_2 + 4\text{KOH} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ， Al_2O_3 、 SiO_2 得到 KAlO_2 和 K_2SiO_3 ，冷却浸取，向浸取液中通入 CO_2 调节其 pH， KAlO_2 和 K_2SiO_3 转化为 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 H_2SiO_3 ，过滤，滤渣主要为 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 H_2SiO_3 ，溶液主要含有 K_2MnO_4 ，加入稀硫酸歧化，促进平衡 $3\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{MnO}_4^- + \text{MnO}_2 \downarrow + 4\text{OH}^-$ 右移，过滤，滤渣为 MnO_2 ，滤液为高锰酸钾溶液，结晶得到产品，以此解答该题。

【解答】解：(1) “熔融煅烧”时， MnO_2 转化为 K_2MnO_4 。该反应的化学方程式为 $2\text{MnO}_2 + 4\text{KOH} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ，

故答案为: $2\text{MnO}_2 + 4\text{KOH} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$;

(2) 滤渣的成分为 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 H_2SiO_3 ,

故答案为: $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 H_2SiO_3 ;

(3) 酸性条件下, Cl^- 会被 KMnO_4 氧化, 产生有毒气体 Cl_2 , 降低 KMnO_4 产率, 故“歧化”时, 不能用稀盐酸代替稀硫酸,

故答案为: 酸性条件下, Cl^- 会被 KMnO_4 氧化, 产生有毒气体 Cl_2 , 降低 KMnO_4 产率;

(4) 根据电解装置: a 极: $\text{MnO}_4^{2-} - e^- = \text{MnO}_4^-$, 部分 K^+ 通过阳离子交换膜进入阴极区, 阳极区生成 KMnO_4 , a 为阳极; b 极: $2\text{H}_2\text{O} + e^- = \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$, 部分 K^+ 通过阳离子交换膜进入阴极区, 阴极区生成浓的 KOH 溶液, b 为阴极, 该电解方法用阳离子交换膜可防止 MnO_4^- 、 MnO_4^{2-} 在阴极被还原, 离子膜为阳离子膜;

① a 极为阳极, 离子交换膜允许通过的离子是 K^+ ,

故答案为: 阳; K^+ ;

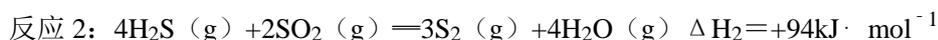
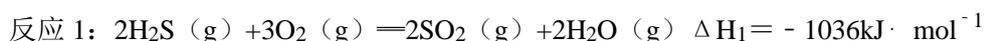
② 根据阴阳极反应, 电解过程总反应的离子方程式为 $2\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^- + 2\text{MnO}_4^-$,

故答案为: $2\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^- + 2\text{MnO}_4^-$ 。

16. (15 分) 回收利用含硫烟气有利于节约资源、保护环境。

I. 含 H_2S 的烟气回收

(1) 将一部分含 H_2S 的烟气在空气中燃烧, 将燃烧所得产物与剩余烟气混合, 冷却后可回收得到硫磺 (S_8)。该工艺中涉及反应如下:



① 反应 $8\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 4\text{O}_2(\text{g}) = \text{S}_8(\text{s}) + 8\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 $\Delta H = \underline{\quad -1768 \quad} \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

② 相同条件下需控制反应 1 与反应 2 中的烟气体积比为 1: 2 的原因是 若体积比大于 1: 2, 则排放气体中残留 SO_2 污染空气; 若体积比小于 1: 2, 则排放气体中残留 H_2S 污染空气。

II. 含 SO_2 的烟气回收

(2) 以 $\text{FeS}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为催化剂, 用 H_2 还原 SO_2 制 S 。其他条件一定, 改变起始时 H_2 与 SO_2 的比例, 反应相同时间, 测得 S 的产率随温度的变化关系如图所示。500℃, $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{SO}_2)} = 3$ 时硫的产率比 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{SO}_2)}$

=2 时小的原因可能是 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{SO}_2)}=3$ 时, H_2 过量, H_2 进一步将 S 还原成 H_2S , 导致硫的产率减小。

(3) 以 V_2O_5 /炭基材料为催化剂, SO_2 在炭表面被氧气催化氧化为 SO_3 , SO_3 再转化为硫酸盐等。

① V_2O_5 /炭基材料脱硫涉及反应: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{催化剂}} 2\text{SO}_3(\text{g})$, 下列关于该反应的说法正确的是 a (填字母序号)。

a. 通入过量空气, 可提高 SO_2 的平衡转化率

b. 当 $n(\text{SO}_2): n(\text{SO}_3) = 1: 1$ 时, 可判断反应达到平衡

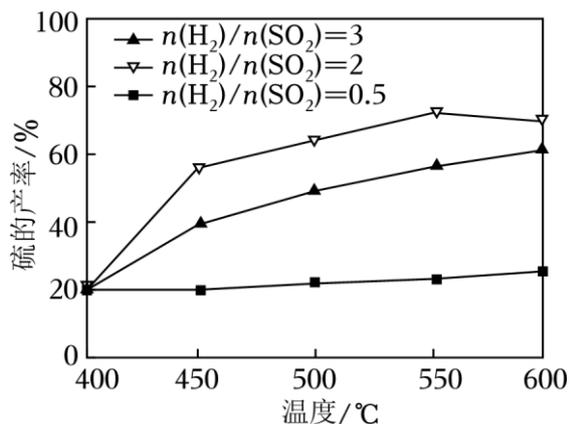
c. 使 SO_3 液化从平衡体系中分离, 能加快正反应速率, 增大 SO_2 转化率

② 450°C 、在 V_2O_5 催化下, SO_2 和 O_2 的反应过程是按照如下两步完成的:

反应 I: $\text{V}_2\text{O}_5 + \text{SO}_2 = \text{V}_2\text{O}_4 + \text{SO}_3$ (快反应)

反应 II: $2\text{V}_2\text{O}_4 + \text{O}_2 = 2\text{V}_2\text{O}_5$ (慢反应)

请补充上述反应 I 的化学方程式, 决定总反应速率快慢的是反应 II (填“ I ”或“ II ”)。



【答案】见试题解答内容

【分析】(1) ①根据盖斯定律: (反应 1+反应 2) $\times \frac{4}{3}$ + 反应 3 计算反应 $8\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 4\text{O}_2(\text{g}) = \text{S}_8(\text{s})$

+ $8\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 ΔH ;

②反应 1 中 $2\text{molH}_2\text{S}(\text{g})$ 和 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 $2\text{molSO}_2(\text{g})$, 反应 2 中 $2\text{molSO}_2(\text{g})$ 恰好与 $4\text{molH}_2\text{S}(\text{g})$ 反应生成 $\text{S}_2(\text{g})$, 即烟气体积比为 1: 2 恰好反应, 若烟气体积比不是 1: 2, 会使 H_2S 或 SO_2 过量, 均会造成环境污染;

(2) 加热条件下 S 单质能与 H_2 反应生成 H_2S 气体;

(3) ①a. 通入过量空气, 可使平衡正向移动;

b. 反应达到平衡状态时, 正逆反应速率相等, 各物质的浓度、含量不变, 以及由此衍生的一些量也不发生变化;

c.使 SO_3 液化从平衡体系中分离，能增大 SO_2 转化率，但正逆反应速率均降低；

② V_2O_5 是 SO_2 和 O_2 反应的催化剂，即 V_2O_5 是反应 I 的反应物，是反应 II 的生成物， V_2O_4 是中间产物， V_2O_4 是反应 I 的生成物，反应 II 的反应物，结合反应 II 可知， V_2O_5 、 SO_2 是反应 I 的反应物，生成物是 V_2O_4 、 SO_3 ，决定总反应速率快慢的是慢反应。

【解答】解：（1）①根据盖斯定律：（反应 1+反应 2） $\times \frac{4}{3}$ +反应 3 计算反应 $8\text{H}_2\text{S}(\text{g})+4\text{O}_2(\text{g})=\text{S}_8(\text{s})+8\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 $\Delta H=[-1036\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}+(+94\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})]\times\frac{4}{3}+(-512\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})=-1768\text{kJ/mol}$

故答案为：-1768；

②反应 1 中 $2\text{molH}_2\text{S}(\text{g})$ 和 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 $2\text{molSO}_2(\text{g})$ ，反应 2 中 $2\text{molSO}_2(\text{g})$ 恰好与 $4\text{molH}_2\text{S}(\text{g})$ 反应生成 $\text{S}_2(\text{g})$ ，即烟气体积比为 1:2 恰好反应，若体积比大于 1:2，则排放气体中残留 SO_2 污染空气；若体积比小于 1:2，则排放气体中残留 H_2S 污染空气，

故答案为：若体积比大于 1:2，则排放气体中残留 SO_2 污染空气；若体积比小于 1:2，则排放气体中残留 H_2S 污染空气；

（2） $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{SO}_2)}=2$ 时反应为 $2\text{H}_2+\text{SO}_2=\text{S}\downarrow+2\text{H}_2\text{O}$ ，若 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{SO}_2)}=3$ ，则 H_2 过量，加热条件下 S 单质

能与 H_2 反应生成 H_2S 气体，会使硫的产率减小，

故答案为： $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{SO}_2)}=3$ 时， H_2 过量， H_2 进一步将 S 还原成 H_2S ，导致硫的产率减小；

（3）①a.通入过量空气，氧气的浓度增大，平衡正向移动， SO_2 的平衡转化率增大，故 a 正确；

b.反应达到平衡状态时同一种物质的正逆反应速率相等，各物质的物质的量不变，但不一定相等，则 $n(\text{SO}_2):n(\text{SO}_3)=1:1$ 即 $n(\text{SO}_2)=n(\text{SO}_3)$ 的状态不能判断反应达到平衡，与起始量、转化率有关，故 b 错误；

c.使 SO_3 液化从平衡体系中分离，能使平衡正向移动，增大 SO_2 转化率，但一段时间后正逆反应速率均降低，故 c 错误；

故答案为：a；

② V_2O_5 是 SO_2 和 O_2 反应的催化剂，即 V_2O_5 是反应 I 的反应物，是反应 II 的生成物， V_2O_4 是中间产物，是反应 I 的生成物，反应 II 的反应物，结合反应 II 可知，反应 I 的化学方程式为 $\text{V}_2\text{O}_5+\text{SO}_2=\text{V}_2\text{O}_4+\text{SO}_3$ ，决定总反应速率快慢的是慢反应，反应 II 是慢反应，所以决定总反应速率快慢的是反应 II，

故答案为： $\text{V}_2\text{O}_5+\text{SO}_2=\text{V}_2\text{O}_4+\text{SO}_3$ ；II。

17.（15 分） ClO_2 是一种安全稳定、高效低毒的广谱型消毒剂，它易溶于水、难溶于有机溶剂，高浓度的

ClO₂ 气体易爆炸。常见制备 ClO₂ 的方法如下:

I. 利用 NaClO₂ 与纯净的 Cl₂ 反应可制得 ClO₂ 和 NaCl, 实验装置如图 - 1 所示 (夹持装置略)。

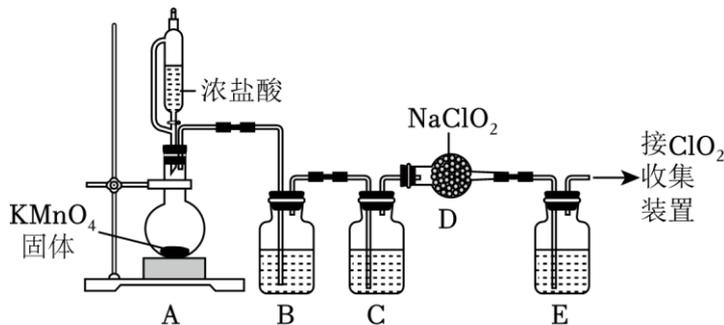


图-1

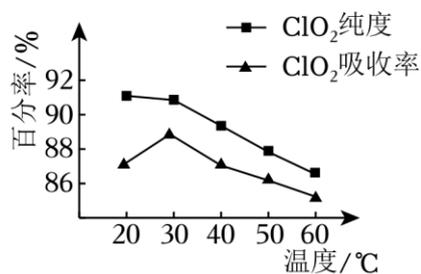


图-2

(1) 装置 B 中试剂为 饱和食盐水。

(2) 装置 E 中所盛试剂是 CCl₄, 其作用为 用于除去 ClO₂ 中的未反应的 Cl₂。

II. 草酸 (H₂C₂O₄)、氯酸钾和适当浓度的 H₂SO₄ 溶液反应制取 ClO₂, 反应中有 CO₂ 气体生成。

(3) 该方法制备 ClO₂ 的优点是 生成的 CO₂ 起稀释 ClO₂ 的作用, 防止高浓度的 ClO₂ 爆炸, 提高生产、储存和运输的安全性。

II. 以黄铁矿 (FeS₂)、氯酸钠和硫酸溶液混合反应制备 ClO₂, 再用水吸获得 ClO₂ 溶液。在 ClO₂ 的制备和吸收过程中均需要控制适宜的温度, 如图 - 2 所示为温度对 ClO₂ 纯度、吸收率的影响。

(4) 已知: 黄铁矿中的硫元素在酸性条件下被 ClO₃⁻ 氧化成 SO₄²⁻, 写出该法制备 ClO₂ 气体的离子方程式: 15 ClO₃⁻ + FeS₂ + 14H⁺ = 15ClO₂ ↑ + Fe³⁺ + 7H₂O + 2 SO₄²⁻, 由图可知, 反应时采取的适宜措施是 30°C 水浴加热。

(5) 某校化学学习小组拟以 “ $\frac{m(\text{ClO}_2)}{m(\text{NaClO}_3)} \times 100\%$ ” 作为衡量 ClO₂ 产率的指标。取 NaClO₃ 样品质量 6.000g, 通过反应和吸收可得 400.00mL ClO₂ 溶液, 取出 20.00mL, 加入 37.00mL 0.5000mol · L⁻¹(NH₄)₂Fe(SO₄)₂ 溶液充分反应, 过量 Fe²⁺ 再用 0.05000mol · L⁻¹K₂Cr₂O₇ 标准溶液滴定至终点, 消耗 20.00mL。

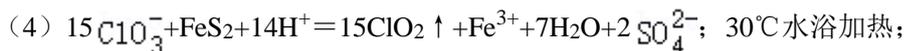
反应原理如下 (未配平):

H⁺ + ClO₂ + Fe²⁺ → Cl⁻ + Fe³⁺ + H₂O; H⁺ + Fe²⁺ + Cr₂O₇²⁻ → Cr³⁺ + Fe³⁺ + H₂O。试计算 ClO₂ 的产率 56.2% (写出计算过程)。

【答案】 (1) 饱和食盐水;

(2) 用于除去 ClO₂ 中的未反应的 Cl₂;

(3) 生成的 CO₂ 起稀释 ClO₂ 的作用, 防止高浓度的 ClO₂ 爆炸, 提高生产、储存和运输的安全性;



(5) 56.25%。

【分析】I. 浓盐酸和 MnO_2 在加热条件下反应制备 Cl_2 , 反应为 $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl}(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$, 装置 B 中盛装饱和食盐水, 用于除去 HCl 气体, 装置 C 中盛装浓硫酸, 用于干燥 Cl_2 , 经除杂、干燥后的 Cl_2 在 D 中与 NaClO_2 固体反应生成 ClO_2 , Cl_2 易溶于 CCl_4 液体, 可用 CCl_4 液体除去 ClO_2 气体中混有的 Cl_2 , 据此解答 (1)、(2);

II. (3) 草酸 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)、氯酸钾和适当浓度的 H_2SO_4 溶液反应制取 ClO_2 的反应中有 CO_2 气体生成, 可用于稀释 ClO_2 气体, 防止 ClO_2 气体浓度过高发生爆炸;

(4) 黄铁矿 (FeS_2)、氯酸钠和硫酸溶液混合反应制备 ClO_2 时生成 $\text{Na}_2\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, 结合电子守恒、电荷守恒写出反应的离子方程式; 由图 - 2 可知, 温度为 30℃时 ClO_2 纯度、吸收率达到最高, 可采用水浴加热控制温度为 30℃;

(5) 滴定过程中发生的反应为 $4\text{H}^+ + \text{ClO}_2 + 5\text{Fe}^{2+} = \text{Cl}^- + 5\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$, $12\text{H}^+ + 6\text{Fe}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} = 2\text{Cr}^{3+} + 6\text{Fe}^{3+} + 6\text{H}_2\text{O}$, 根据电子守恒可知, 20.00mL 样品溶液中 $5n(\text{ClO}_2) + 6n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = n[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$, 即 $5n(\text{ClO}_2) + 6 \times 0.05000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.02\text{L} = 0.5000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.037\text{L}$, 解得 20.00mL 样品溶液中 $n(\text{ClO}_2) = 0.002500\text{mol}$, 反应和吸收所得 400.00mL ClO_2 溶液中 $n(\text{ClO}_2) = 0.002500\text{mol} \times \frac{400.00\text{mL}}{20.00\text{mL}} = 0.05000\text{mol}$ 。

【解答】解: (1) 浓盐酸具有挥发性, 浓盐酸和 MnO_2 反应制得 Cl_2 中混有 HCl 气体, 可用饱和食盐水吸收除去,

故答案为: 饱和食盐水;

(2) Cl_2 易溶于 CCl_4 , ClO_2 难溶于 CCl_4 , 可用 CCl_4 液体吸收 ClO_2 中的未反应的 Cl_2 ,

故答案为: 用于除去 ClO_2 中的未反应的 Cl_2 ;

(3) 由题给信息可知, 高浓度的 ClO_2 气体易爆炸, 草酸 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)、氯酸钾和 H_2SO_4 溶液反应制取 ClO_2 时还生成 CO_2 气体, 可用于稀释 ClO_2 气体, 提高生产、储存和运输的安全性,

故答案为: 生成的 CO_2 起稀释 ClO_2 的作用, 防止高浓度的 ClO_2 爆炸, 提高生产、储存和运输的安全性;

(4) 黄铁矿 (FeS_2)、氯酸钠和硫酸溶液混合反应生成 ClO_2 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, 反应的离子方程式为 $15\text{ClO}_3^- + \text{FeS}_2 + 14\text{H}^+ = 15\text{ClO}_2 \uparrow + \text{Fe}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_4^{2-}$, 由图 - 2 可知, 温度为 30℃时 ClO_2 纯度、

吸收率达到最高, 可采用水浴加热控制温度为 30℃,

故答案为: $15\text{ClO}_3^- + \text{FeS}_2 + 14\text{H}^+ = 15\text{ClO}_2 \uparrow + \text{Fe}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_4^{2-}$; 30℃水浴加热;

(5) 滴定过程中发生的反应为 $4\text{H}^+ + \text{ClO}_2 + 5\text{Fe}^{2+} = \text{Cl}^- + 5\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$, $12\text{H}^+ + 6\text{Fe}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} = 2\text{Cr}^{3+} + 6\text{Fe}^{3+} + 6\text{H}_2\text{O}$, 根据电子守恒可知, 20.00mL 样品溶液中 $5n(\text{ClO}_2) + 6n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = n[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$, 即 $5n(\text{ClO}_2) + 6 \times 0.05000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.02\text{L} = 0.5000\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.037\text{L}$, 解得 20.00mL 样品溶液中 $n(\text{ClO}_2) = 0.002500\text{mol}$, 反应和吸收所得 400.00mL ClO_2 溶液中 $n(\text{ClO}_2) = 0.002500\text{mol} \times \frac{400.00\text{mL}}{20.00\text{mL}} = 0.05000\text{mol}$, 则 ClO_2 的产率 = $\frac{0.05000\text{mol} \times 67.5\text{g/mol}}{6.000\text{g}} \times 100\% = 56.2\%$,

故答案为: 56.25%。

18. (14 分) 氨氮废水可通过沉淀或氧化处理, 使水中氨氮达到国家规定的排放标准后才可以排放。已知水溶液中氨氮的存在形式主要由 pH 决定。当 $\text{pH} < 9$ 时, NH_4^+ 是主要存在形式; 当 $\text{pH} > 9$ 时, NH_3 是主要存在形式。

I. 沉淀法

向酸性废水中加入一定比例的 MgCl_2 和 Na_2HPO_4 , 将氨氮转化为 $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 沉淀除去。已知 25℃时磷酸电离平衡常数: $K_{a1} = 7.5 \times 10^{-3}$ 、 $K_{a2} = 6.2 \times 10^{-8}$ 、 $K_{a3} = 2.2 \times 10^{-13}$ 。

(1) 写出生成 $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 沉淀的离子方程式 $\text{NH}_4^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\text{PO}_4^- + 6\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \downarrow + \text{H}^+$ 。

(2) Na_2HPO_4 溶液中: $c(\text{PO}_4^{3-})$ < $c(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$ (填“>”、“<”或“=”)。

II. 氧化法

臭氧是一种相对安全的氧化剂, 已被广泛应用于水处理中。已知臭氧很不稳定, 在常温常压下即可分解为 O_2 , 在水中比在空气中更易分解。利用臭氧处理氨氮废水, 实验跟踪监测 O_3 氧化氨氮情况如图 - 1 所示, 反应条件: 温度 10℃, 初始 pH 不同的 $50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{Cl}$ 溶液 (模拟氨氮废水) 各 250mL, 4.56mg

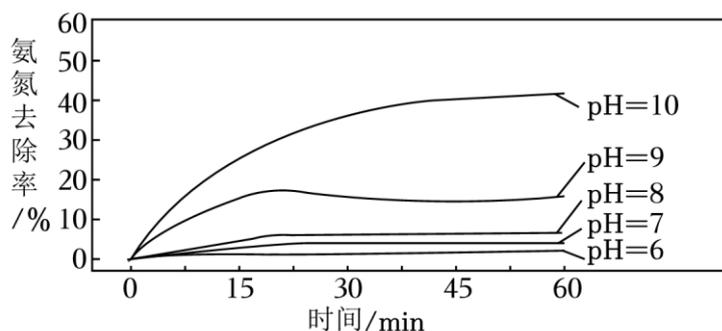


图-1 初始pH对臭氧氧化氨氮的影响

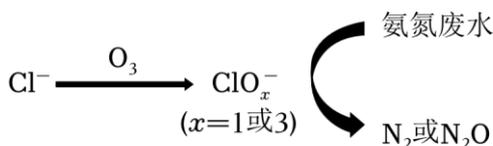


图-2

· L⁻¹O₃, 接触时间 60min。

(3) pH>9, 相同时间内氨氮去除率显著增大的可能原因是 pH>9 时, 氨氮主要存在形式为 NH₃, 臭氧氧化 NH₃ 的速度大于氧化 NH₄⁺ 的速率 (或碱性条件下, O₃ 氧化能力增强, 更易氧化 NH₃, 提高了氨氮去除率)。

(4) 若温度升高, 相同时间内氨氮去除率降低, 可能原因是 温度升高, O₃ 分解速率加快, 且 O₃ 在溶液中的溶解度降低, 导致溶液中 O₃ 浓度下降。

(5) 在弱酸性环境下, 当废水中含有大量 Cl⁻ 时, O₃ 氧化氨氮废水的过程如图 - 2 所示, 该过程可描述为 弱酸性环境下, 氨氮主要存在形式为 NH₄⁺, 大量的 Cl⁻ 与 O₃ 反应生成 ClO_x⁻ (x=1 或 3), ClO_x⁻ (x=1 或 3) 将 NH₄⁺ 氧化为 N₂ 或 N₂O。

【答案】(1) $\text{NH}_4^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\text{PO}_4^- + 6\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \downarrow + \text{H}^+$;

(2) <;

(3) pH>9 时, 氨氮主要存在形式为 NH₃, 臭氧氧化 NH₃ 的速度大于氧化 NH₄⁺ 的速率 (或碱性条件下, O₃ 氧化能力增强, 更易氧化 NH₃, 提高了氨氮去除率);

(4) 温度升高, O₃ 分解速率加快, 且 O₃ 在溶液中的溶解度降低, 导致溶液中 O₃ 浓度下降;

(5) 弱酸性环境下, 氨氮主要存在形式为 NH₄⁺, 大量的 Cl⁻ 与 O₃ 反应生成 ClO_x⁻ (x=1 或 3), ClO_x⁻ (x=1 或 3) 将 NH₄⁺ 氧化为 N₂ 或 N₂O。

【分析】(1) 向酸性废水中加入一定比例的 MgCl₂ 和 Na₂HPO₄, 将氨氮转化为 NH₄MgPO₄·6H₂O 沉淀;

(2) Na₂HPO₄ 溶液中计算水解平衡常数 $K_h = \frac{c(\text{OH}^-) \times c(\text{H}_2\text{PO}_4^-)}{c(\text{HPO}_4^{2-})} = \frac{c(\text{OH}^-) \times c(\text{H}_2\text{PO}_4^-)}{c(\text{HPO}_4^{2-})} \times$

$\frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{H}^+)} = \frac{K_w}{K_{a2}}$ 和 $K_{a3} = 2.2 \times 10^{-13}$ 比较判断水解程度和电离程度确定离子浓度大小：

(3) $\text{pH} > 9$ 时，氨氮主要存在形式为 NH_3 ，臭氧氧化 NH_3 的速度大于氧化 NH_4^+ 的速率；

(4) 温度升高， O_3 分解速率加快，溶解度减小；

(5) 弱酸性环境下，氨氮主要存在形式为 NH_4^+ ，被 ClO_x^- 氧化为 N_2 或 N_2O 。

【解答】解：(1) 生成 $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 沉淀的离子方程式： $\text{NH}_4^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\text{PO}_4^- + 6\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \downarrow + \text{H}^+$ ，

故答案为： $\text{NH}_4^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\text{PO}_4^- + 6\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \downarrow + \text{H}^+$ ；

(2) Na_2HPO_4 溶液中计算水解平衡常数 $K_h = \frac{K_w}{K_{a2}} = \frac{10^{-14}}{6.2 \times 10^{-8}} \approx 1.6 \times 10^{-7} > K_{a3} = 2.2 \times 10^{-13}$ ，水解

程度大于其电离程度， Na_2HPO_4 溶液中： $c(\text{PO}_4^{3-}) < c(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$ ，

故答案为：<；

(3) $\text{pH} > 9$ ，相同时间内氨氮去除率显著增大的可能原因是： $\text{pH} > 9$ 时，氨氮主要存在形式为 NH_3 ，臭氧氧化 NH_3 的速度大于氧化 NH_4^+ 的速率（或碱性条件下， O_3 氧化能力增强，更易氧化 NH_3 ，提高了氨氮去除率），

故答案为： $\text{pH} > 9$ 时，氨氮主要存在形式为 NH_3 ，臭氧氧化 NH_3 的速度大于氧化 NH_4^+ 的速率（或碱性条件下， O_3 氧化能力增强，更易氧化 NH_3 ，提高了氨氮去除率）；

(4) 若温度升高，相同时间内氨氮去除率降低，可能原因是：温度升高， O_3 分解速率加快，且 O_3 在溶液中的溶解度降低，导致溶液中 O_3 浓度下降，

故答案为：温度升高， O_3 分解速率加快，且 O_3 在溶液中的溶解度降低，导致溶液中 O_3 浓度下降；

(5) 在弱酸性环境下，当废水中含有大量 Cl^- 时， O_3 氧化氨氮废水的过程如图 - 2 所示，该过程可描述为：弱酸性环境下，氨氮主要存在形式为 NH_4^+ ，大量的 Cl^- 与 O_3 反应生成 ClO_x^- ($x=1$ 或 3)， ClO_x^-

($x=1$ 或 3) 将 NH_4^+ 氧化为 N_2 或 N_2O ，

故答案为：弱酸性环境下，氨氮主要存在形式为 NH_4^+ ，大量的 Cl^- 与 O_3 反应生成 ClO_x^- ($x=1$ 或 3)， ClO_x^-

($x=1$ 或 3) 将 NH_4^+ 氧化为 N_2 或 N_2O 。