

# 2024 年普通高中学业水平等级性考试(北京卷)

## 化学

本试卷满分 100 分，考试时间 90 分钟。

可能用到的相对原子质量：H-1 C-12 N-14 O-16

### 第一部分

本部分共 14 题，每题 3 分，共 42 分。在每题列出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。

1. 我国科研人员利用激光操控方法，从 Ca 原子束流中直接俘获  $^{41}\text{Ca}$  原子，实现了对同位素  $^{41}\text{Ca}$  的灵敏检测。 $^{41}\text{Ca}$  的半衰期(放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间)长达 10 万年，是  $^{14}\text{C}$  的 17 倍，可应用于地球科学与考古学。下列说法正确的是

20
Ca
钙
$4s^2$
40.08



- A.  $^{41}\text{Ca}$  的原子核内有 21 个中子
- B.  $^{41}\text{Ca}$  的半衰期长，说明  $^{41}\text{Ca}$  难以失去电子
- C.  $^{41}\text{Ca}$  衰变一半所需的时间小于  $^{14}\text{C}$  衰变一半所需的时间
- D. 从 Ca 原子束流中直接俘获  $^{41}\text{Ca}$  原子的过程属于化学变化

【答案】A

【解析】

【详解】A.  $^{41}\text{Ca}$  的质量数为 41，质子数为 20，所以中子数为  $41 - 20 = 21$ ，A 正确；

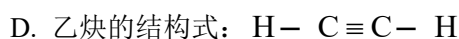
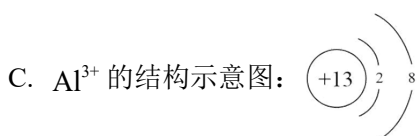
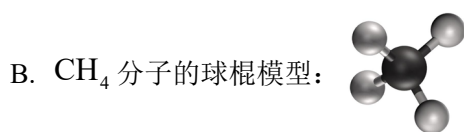
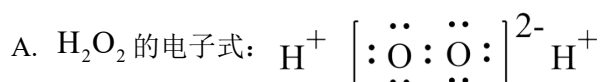
B.  $^{41}\text{Ca}$  的半衰期长短与得失电子能力没有关系，B 错误；

C. 根据题意  $^{41}\text{Ca}$  衰变一半所需的时间要大于  $^{14}\text{C}$  衰变半所需的时间，C 错误；

D. 从 Ca 原子束流中直接俘获  $^{41}\text{Ca}$  原子的过程没有新物质产生，不属于化学变化，D 错误；

本题选 A。

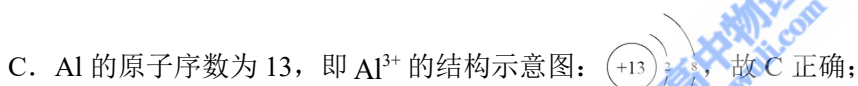
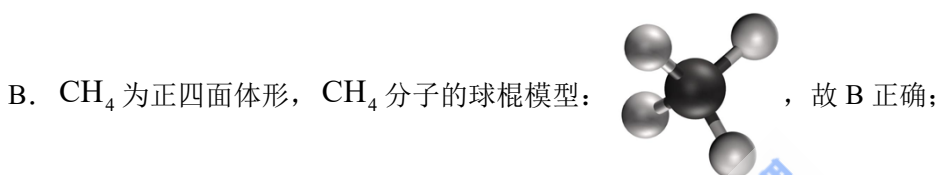
2. 下列化学用语或图示表达不正确的是



【答案】A

【解析】

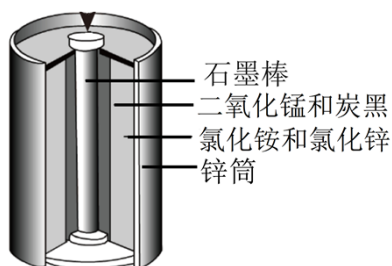
【详解】A.  $\text{H}_2\text{O}_2$  是共价化合物, 其电子式为  $\text{H}:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$ , 故 A 错误;



D. 乙炔含有碳碳三键, 结构式为:  $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ , 故 D 正确;

故选 A。

3. 酸性锌锰干电池的构造示意图如下。关于该电池及其工作原理, 下列说法正确的是



A. 石墨作电池的负极材料

B. 电池工作时,  $\text{NH}_4^+$  向负极方向移动

C.  $\text{MnO}_2$  发生氧化反应

D. 锌筒发生的电极反应为  $\text{Zn}-2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 酸性锌锰干电池, 锌筒为负极, 石墨电极为正极, 故 A 错误;

B. 原电池工作时, 阳离子向正极(石墨电极)方向移动, 故 B 错误;

C.  $\text{MnO}_2$  发生得电子的还原反应，故 C 错误；

D. 锌筒为负极，负极发生失电子的氧化反应  $\text{Zn}-2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$ ，故 D 正确；

故选 D。

4. 下列说法不正确的是

A. 葡萄糖氧化生成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  的反应是放热反应

B. 核酸可看作磷酸、戊糖和碱基通过一定方式结合而成的生物大分子

C. 由氨基乙酸形成的二肽中存在两个氨基和两个羧基

D. 向饱和的  $\text{NaCl}$  溶液中加入少量鸡蛋清溶液会发生盐析

【答案】C

【解析】

【详解】A. 葡萄糖氧化生成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  是放热反应，在人体内葡萄糖缓慢氧化成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  为人体提供能量，A 项正确；

B. 核酸是一种生物大分子，分析核酸水解的产物可知，核酸是由许多核苷酸单体形成的聚合物，核苷酸进一步水解得到磷酸和核苷，核苷进一步水解得到戊糖和碱基，故核酸可看作磷酸、戊糖和碱基通过一定方式结合而成的生物大分子，B 项正确；

C. 氨基乙酸的结构简式为  $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$ ，形成的二肽的结构简式为  $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CONHCH}_2\text{COOH}$ ，该二肽中含 1 个氨基、1 个羧基和 1 个肽键，C 项错误；

D. 鸡蛋清溶液为蛋白质溶液， $\text{NaCl}$  溶液属于轻金属盐溶液，向饱和  $\text{NaCl}$  溶液中加入少量鸡蛋清溶液，蛋白质发生盐析，D 项正确；

答案选 C。

5. 下列方程式与所给事实不相符的是

A. 海水提溴过程中，用氯气氧化苦卤得到溴单质： $2\text{Br}^- + \text{Cl}_2 = \text{Br}_2 + 2\text{Cl}^-$

B. 用绿矾( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )将酸性工业废水中的  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  转化为



C. 用 5%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液能有效除去误食的  $\text{Ba}^{2+}$ :  $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} = \text{BaSO}_4 \downarrow$

D. 用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液将水垢中的  $\text{CaSO}_4$  转化为溶于酸的  $\text{CaCO}_3$ :  $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3 \downarrow$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 氯气氧化苦卤得到溴单质，发生置换反应，离子方程式正确，A 正确；





B.  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  可以将  $\text{Fe}^{2+}$  氧化成  $\text{Fe}^{3+}$ ，离子方程式正确，B 正确；

C.  $\text{SO}_4^{2-}$  结合  $\text{Ba}^{2+}$  生成  $\text{BaSO}_4$  沉淀，可以阻止  $\text{Ba}^{2+}$  被人体吸收，离子方程式正确，C 正确；

D.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  与  $\text{CaSO}_4$  反应属于沉淀的转化， $\text{CaSO}_4$  不能拆分，正确的离子方程式为  $\text{CaSO}_4 + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$ ，D 错误；

本题选 D。

6. 下列实验的对应操作中，不合理的是

 <p>眼睛注视锥形瓶中溶液</p>	 <p>浓硫酸 蒸馏水</p>
A. 用 HCl 标准溶液滴定 NaOH 溶液	B. 稀释浓硫酸
	 <p>蒸馏水 液面离刻度线约 1 cm</p>
C. 从提纯后的 NaCl 溶液获得 NaCl 晶体	D. 配制一定物质的量浓度的 KCl 溶液

A. A

B. B

C. C

D. D

【答案】D

【解析】

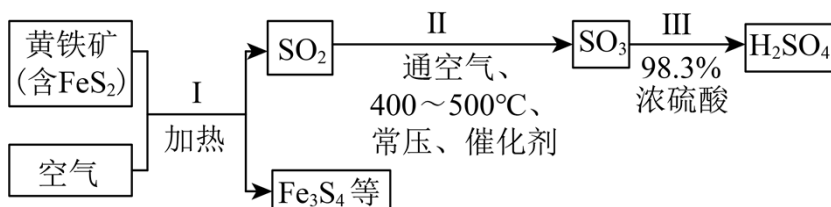
【详解】A. 用 HCl 标准溶液滴定 NaOH 溶液时，眼睛应注视锥形瓶中溶液，以便观察溶液颜色的变化从而判断滴定终点，A 项合理；

B. 浓硫酸的密度比水的密度大，浓硫酸溶于水放热，故稀释浓硫酸时应将浓硫酸沿烧杯内壁缓慢倒入盛水的烧杯中，并用玻璃棒不断搅拌，B 项合理；

- C. NaCl 的溶解度随温度升高变化不明显，从 NaCl 溶液中获得 NaCl 晶体采用蒸发结晶的方法，C 项合理；  
 D. 配制一定物质的量浓度的溶液时，玻璃棒引流低端应该在容量瓶刻度线以下；定容阶段，当液面在刻度线以下约 1cm 时，应改用胶头滴管滴加蒸馏水，D 项不合理；

答案选 D。

7. 硫酸是重要化工原料，工业生产制取硫酸的原理示意图如下。



下列说法不正确的是

- A. I 的化学方程式： $3\text{FeS}_2 + 8\text{O}_2 \triangleq \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{SO}_2$   
 B. II 中的反应条件都是为了提高  $\text{SO}_2$  平衡转化率  
 C. 将黄铁和换成硫黄可以减少废渣的产生  
 D. 生产过程中产生的尾气可用碱液吸收

【答案】B

【解析】

【分析】黄铁矿和空气中的  $\text{O}_2$  在加热条件下发生反应，生成  $\text{SO}_2$  和  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ， $\text{SO}_2$  和空气中的  $\text{O}_2$  在  $400\sim 500^\circ\text{C}$ 、常压、催化剂的作用下发生反应得到  $\text{SO}_3$ ，用 98.3% 的浓硫酸吸收  $\text{SO}_3$ ，得到  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 。

【详解】A. 反应 I 是黄铁矿和空气中的  $\text{O}_2$  在加热条件下发生反应，生成  $\text{SO}_2$  和  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，化学方程式：

$3\text{FeS}_2 + 8\text{O}_2 \triangleq \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{SO}_2$ ，故 A 正确；

B. 反应 II 条件要兼顾平衡转化率和反应速率，还要考虑生产成本，如 II 中“常压、催化剂”不是为了提高  $\text{SO}_2$  平衡转化率，故 B 错误；

C. 将黄铁矿换成硫黄，则不再产生  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，即可以减少废渣产生，故 C 正确；

D. 硫酸工业产生的尾气为  $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$ ，可以用碱液吸收，故 D 正确；

故选 B。

8. 关于  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  和  $\text{NaHCO}_3$  的下列说法中，不正确的是

- A. 两种物质的溶液中，所含微粒的种类相同  
 B. 可用 NaOH 溶液使  $\text{NaHCO}_3$  转化为  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

- C. 利用二者热稳定性差异，可从它们的固体混合物中除去  $\text{NaHCO}_3$
- D. 室温下，二者饱和溶液的  $\text{pH}$  差约为 4，主要是由于它们的溶解度差异

【答案】D

【解析】

- 【详解】A.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  和  $\text{NaHCO}_3$  的溶液中均存在  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ ，A 正确；
- B.  $\text{NaHCO}_3$  加入  $\text{NaOH}$  溶液会发生反应： $\text{NaOH} + \text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ，B 正确；
- C.  $\text{NaHCO}_3$  受热易分解，可转化为  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，而  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  热稳定性较强，利用二者热稳定性差异，可从它们的固体混合物中除去  $\text{NaHCO}_3$ ，C 正确；
- D. 室温下  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  和  $\text{NaHCO}_3$  饱和溶液  $\text{pH}$  相差较大的主要原因是  $\text{CO}_3^{2-}$  的水解程度远大于  $\text{HCO}_3^-$ ，D 错误；
- 故选 D。

9. 氘代氨( $\text{ND}_3$ )可用于反应机理研究。下列两种方法均可得到  $\text{ND}_3$ ：①  $\text{Mg}_3\text{N}_2$  与  $\text{D}_2\text{O}$  的水解反应；②

$\text{NH}_3$  与  $\text{D}_2\text{O}$  反应。下列说法不正确的是

- A.  $\text{NH}_3$  和  $\text{ND}_3$  可用质谱法区分
- B.  $\text{NH}_3$  和  $\text{ND}_3$  均为极性分子
- C. 方法①的化学方程式是  $\text{Mg}_3\text{N}_2 + 6\text{D}_2\text{O} = 3\text{Mg}(\text{OD})_2 + 2\text{ND}_3 \uparrow$
- D. 方法②得到的产品纯度比方法①的高

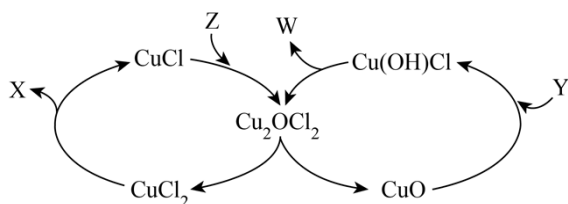
【答案】D

【解析】

- 【详解】A.  $\text{NH}_3$  和  $\text{ND}_3$  的相对分子质量不同，可以用质谱法区分，A 正确；
- B.  $\text{NH}_3$  和  $\text{ND}_3$  的 H 原子不同，但空间构型均为三角锥形，是极性分子，B 正确；
- C.  $\text{Mg}_3\text{N}_2$  与  $\text{D}_2\text{O}$  发生水解生成  $\text{Mg}(\text{OD})_2$  和  $\text{ND}_3$ ，反应方法①的化学方程式书写正确，C 正确；
- D. 方法②是通过  $\text{D}_2\text{O}$  中 D 原子代替  $\text{NH}_3$  中 H 原子的方式得到  $\text{ND}_3$ ，代换的个数不同，产物会不同，纯度低，D 错误；
- 故选 D。

10. 可采用 Deacon 催化氧化法将工业副产物 HCl 制成 Cl<sub>2</sub>，实现氯资源的再利用。反应的热化学方程

式： $4\text{HCl}(\text{g})+\text{O}_2(\text{g})\xrightarrow{\text{CuO}}2\text{Cl}_2(\text{g})+2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta\text{H}=-114.4\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。下图所示为该法的一种催化机理。



下列说法不正确的是

- A. Y 为反应物 HCl，W 为生成物 H<sub>2</sub>O
- B. 反应制得 1mol Cl<sub>2</sub>，须投入 2mol CuO
- C. 升高反应温度，HCl 被 O<sub>2</sub> 氧化制 Cl<sub>2</sub> 的反应平衡常数减小
- D. 图中转化涉及的反应中有两个属于氧化还原反应

【答案】B

【解析】

【分析】由该反应的热化学方程式可知，该反应涉及的主要物质有 HCl、O<sub>2</sub>、CuO、Cl<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O；CuO 与 Y 反应生成 Cu(OH)Cl，则 Y 为 HCl；Cu(OH)Cl 分解生成 W 和 Cu<sub>2</sub>OCl<sub>2</sub>，则 W 为 H<sub>2</sub>O；CuCl<sub>2</sub> 分解为 X 和 CuCl，则 X 为 Cl<sub>2</sub>；CuCl 和 Z 反应生成 Cu<sub>2</sub>OCl<sub>2</sub>，则 Z 为 O<sub>2</sub>；综上所述，X、Y、Z、W 依次是 Cl<sub>2</sub>、HCl、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O。

【详解】A. 由分析可知，Y 为反应物 HCl，W 为生成物 H<sub>2</sub>O，A 正确；

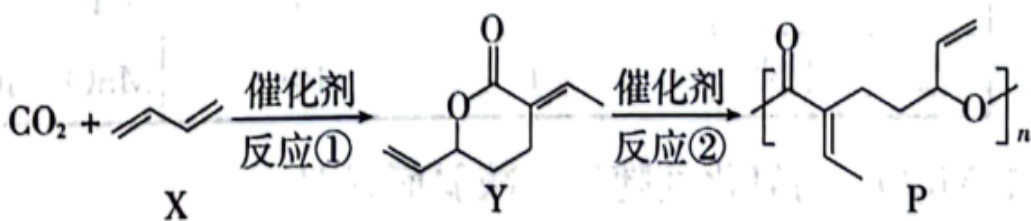
B. CuO 在反应中作催化剂，会不断循环，适量即可，B 错误；

C. 总反应为放热反应，其他条件一定，升温平衡逆向移动，平衡常数减小，C 正确；

D. 图中涉及的两个氧化还原反应是  $\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{CuCl}$  和  $\text{CuCl} \rightarrow \text{Cu}_2\text{OCl}_2$ ，D 正确；

故选 B。

11. CO<sub>2</sub> 的资源化利用有利于实现“碳中和”。利用 CO<sub>2</sub> 为原料可以合成新型可降解高分子 P，其合成路线如下。



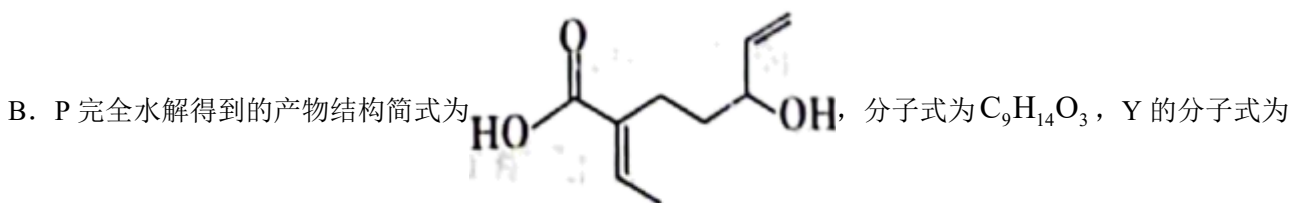
已知：反应①中无其他产物生成。下列说法不正确的是

- A.  $\text{CO}_2$  与 X 的化学计量比为 1:2
- B. P 完全水解得到的产物的分子式和 Y 的分子式相同
- C. P 可以利用碳碳双键进一步交联形成网状结构
- D. Y 通过碳碳双键的加聚反应生成的高分子难以降解

【答案】B

【解析】

【详解】A. 结合已知信息，通过对比 X、Y 的结构可知  $\text{CO}_2$  与 X 的化学计量比为 1:2，A 正确；



$\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}_2$ ，二者分子式不相同，B 错误；

C. P 的支链上有碳碳双键，可进一步交联形成网状结构，C 正确；

D. Y 形成的聚酯类高分子主链上含有大量酯基，易水解，而 Y 通过碳碳双键加聚得到的高分子主链主要为长碳链，与聚酯类高分子相比难以降解，D 正确；

故选 B。

12. 下列依据相关数据作出的推断中，不正确的是

- A. 依据相同温度下可逆反应的 Q 与 K 大小的比较，可推断反应进行的方向
- B. 依据一元弱酸的  $K_a$ ，可推断它们同温度同浓度稀溶液的 pH 大小
- C. 依据第二周期主族元素电负性依次增大，可推断它们的第一电离能依次增大
- D. 依据 F、Cl、Br、I 的氢化物分子中氢卤键的键能，可推断它们的热稳定性强弱

【答案】C

【解析】

【详解】A. 对于可逆反应的 Q 与 K 的关系： $Q > K$ ，反应向逆反应方向进行； $Q < K$ ，反应向正反应方向进

行； $Q=K$ ，反应处于平衡状态，故依据相同温度下可逆反应的  $Q$  与  $K$  大小的比较，可推断反应进行的方向，A 正确；

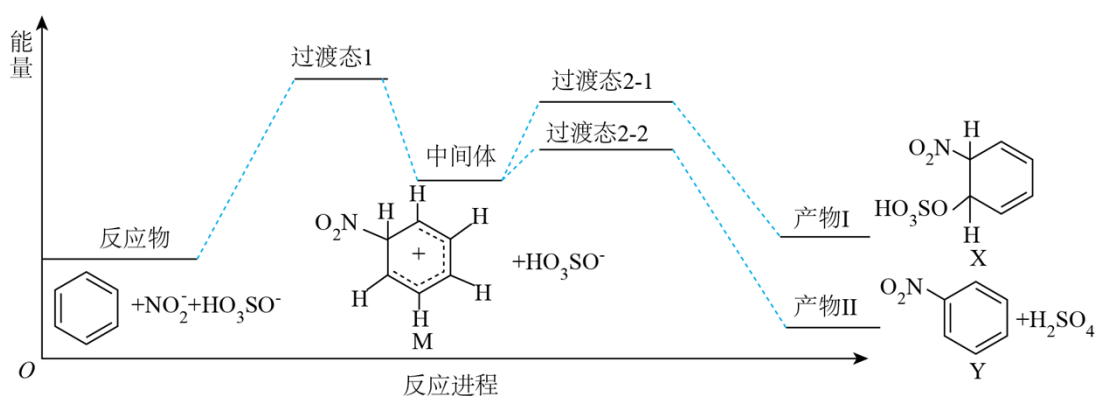
B. 一元弱酸的  $K_a$  越大，同温度同浓度稀溶液的酸性越强，电离出的  $H^+$  越多， $pH$  越小，B 正确；

C. 同一周期从左到右，第一电离能是增大的趋势，但是 IIA 大于 IIIA，VA 大于 VIA，C 不正确；

D. F、Cl、Br、I 的氢化物分子中氢卤键的键能越大，氢化物的热稳定性越强，D 正确；

故选 C。

13. 苯在浓  $HNO_3$  和浓  $H_2SO_4$  作用下，反应过程中能量变化示意图如下。下列说法不正确的是



A. 从中间体到产物，无论从产物稳定性还是反应速率的角度均有利于产物II

B. X 为苯的加成产物，Y 为苯的取代产物

C. 由苯得到 M 时，苯中的大  $\pi$  键没有变化

D. 对于生成 Y 的反应，浓  $H_2SO_4$  作催化剂

【答案】C

【解析】

【详解】A. 生成产物II的反应的活化能更低，反应速率更快，且产物II的能量更低即产物II更稳定，以上2个角度均有利于产物II，故 A 正确；

B. 根据前后结构对照，X 为苯的加成产物，Y 为苯的取代产物，故 B 正确；

C. M 的六元环中与  $-NO_2$  相连的 C 为  $sp^3$  杂化，苯中大  $\pi$  键发生改变，故 C 错误；

D. 苯的硝化反应中浓  $H_2SO_4$  作催化剂，故 D 正确；

故选 C。

14. 不同条件下，当  $KMnO_4$  与  $KI$  按照反应①②的化学计量比恰好反应，结果如下。

反应序	起始酸碱	KI	$KMnO_4$	还原产	氧化产

号	性	物质的量 /mol	物质的量 /mol	物	物
①	酸性	0.001	n	Mn <sup>2+</sup>	I <sub>2</sub>
②	中性	0.001	10n	MnO <sub>2</sub>	IO <sub>x</sub> <sup>-</sup>

已知：MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>的氧化性随酸性减弱而减弱。

下列说法正确的是

- A. 反应①， $n(\text{Mn}^{2+}) : n(\text{I}_2) = 1 : 5$
- B. 对比反应①和②， $x=3$
- C. 对比反应①和②，I<sup>-</sup>的还原性随酸性减弱而减弱
- D. 随反应进行，体系pH变化：①增大，②不变

【答案】B

【解析】

【详解】A. 反应①中Mn元素的化合价由+7价降至+2价，I元素的化合价由-1价升至0价，根据得失电子守恒、原子守恒和电荷守恒，反应①的离子方程式是： $10\text{I}^- + 2\text{MnO}_4^- + 16\text{H}^+ = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{I}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$ ，故 $n(\text{Mn}^{2+}) : n(\text{I}_2) = 2 : 5$ ，A项错误；

B. 根据反应①可得关系式 $10\text{I}^- \sim 2\text{MnO}_4^-$ ，可以求得 $n=0.0002$ ，则反应②的 $n(\text{I}^-) : n(\text{MnO}_4^-) = 0.001 : (10 \times 0.0002) = 1 : 2$ ，反应②中Mn元素的化合价由+7价降至+4价，反应②对应的关系式为 $\text{I}^- \sim 2\text{MnO}_4^- \sim \text{MnO}_2 \sim \text{IO}_x^- \sim 6e^-$ ，IO<sub>x</sub><sup>-</sup>中I元素的化合价为+5价，根据离子所带电荷数等于正负化合价的代数和知 $x=3$ ，反应②的离子方程式是： $\text{I}^- + 2\text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{O} = 2\text{MnO}_2 \downarrow + \text{IO}_3^- + 2\text{OH}^-$ ，B项正确；

C. 已知MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>的氧化性随酸性减弱而减弱，对比反应①和②的产物，I<sup>-</sup>的还原性随酸性减弱而增强，C项错误；

D. 根据反应①和②的离子方程式知，反应①消耗H<sup>+</sup>、产生水、pH增大，反应②产生OH<sup>-</sup>、消耗水、pH增大，D项错误；

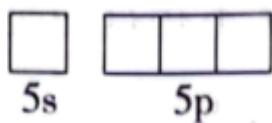
答案选B。

## 第二部分

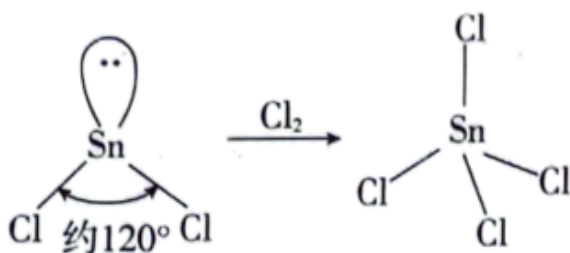
本部分共5题，共58分。

15. 锡(Sn)是现代“五金”之一，广泛应用于合金、半导体工业等。

(1) Sn 位于元素周期表的第 5 周期第 IVA 族。将 Sn 的基态原子最外层轨道表示式补充完整：\_\_\_\_\_。



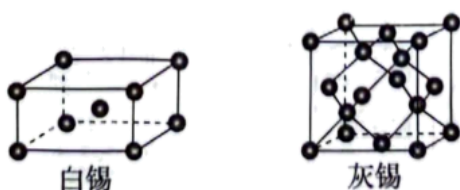
(2)  $\text{SnCl}_2$  和  $\text{SnCl}_4$  是锡的常见氯化物， $\text{SnCl}_2$  可被氧化得到。



①  $\text{SnCl}_2$  分子的 VSEPR 模型名称是\_\_\_\_\_。

②  $\text{SnCl}_4$  的 Sn—Cl 键是由锡的\_\_\_\_\_轨道与氯的 3p 轨道重叠形成  $\sigma$  键。

(3) 白锡和灰锡是单质 Sn 的常见同素异形体。二者晶胞如图：白锡具有体心四方结构；灰锡具有立方金刚石结构。



① 灰锡中每个 Sn 原子周围与它最近且距离相等的 Sn 原子有\_\_\_\_\_个。

② 若白锡和灰锡的晶胞体积分别为  $v_1 \text{ nm}^3$  和  $v_2 \text{ nm}^3$ ，则白锡和灰锡晶体的密度之比是\_\_\_\_\_。

(4) 单质 Sn 的制备：将  $\text{SnO}_2$  与焦炭充分混合后，于惰性气氛中加热至  $800^\circ\text{C}$ ，由于固体之间反应慢，未明显发生反应。若通入空气在  $800^\circ\text{C}$  下， $\text{SnO}_2$  能迅速被还原为单质 Sn，通入空气的作用是\_\_\_\_\_。

【答案】(1) (2) ①. 平面三角形 ②.  $\text{sp}^3$  杂化

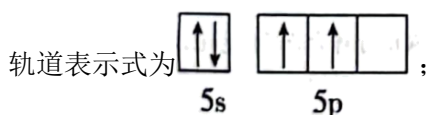
(3) ①. 4 ②.  $\frac{v_2}{4v_1}$

(4) 与焦炭在高温下反应生成 CO，CO 将  $\text{SnO}_2$  还原为单质 Sn

【解析】

【小问 1 详解】

Sn 位于元素周期表的第 5 周期 IVA 族，基态 Sn 原子的最外层电子排布式为  $5s^25p^2$ ，Sn 的基态原子最外层



【小问 2 详解】

①  $\text{SnCl}_2$  中 Sn 的价层电子对数为  $2 + \frac{1}{2} \times (4 - 2 \times 1) = 3$ ，故  $\text{SnCl}_2$  分子的 VSEPR 模型名称是平面三角形；

②  $\text{SnCl}_4$  中 Sn 的价层电子对数为  $4 + \frac{1}{2} \times (4 - 4 \times 1) = 4$ ，有 4 个  $\sigma$  键、无孤电子对，故 Sn 采取  $sp^3$  杂化，则  $\text{SnCl}_4$  的 Sn—Cl 键是由锡的  $sp^3$  杂化轨道与氯的 3p 轨道重叠形成  $\sigma$  键；

【小问 3 详解】

① 灰锡具有立方金刚石结构，金刚石中每个碳原子以单键与其他 4 个碳原子相连，此 5 碳原子在空间构成正四面体，且该碳原子在正四面体的体心，所以灰锡中每个 Sn 原子周围与它最近且距离相等的 Sn 原子有 4 个；

② 根据均摊法，白锡晶胞中含 Sn 原子数为  $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ ，灰锡晶胞中含 Sn 原子数为  $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} + 4 = 8$ ，所以

$$\text{白锡与灰锡的密度之比为 } \frac{2M}{N_A V_1} : \frac{8M}{N_A V_2} = \frac{V_2}{4V_1} ;$$

【小问 4 详解】

将  $\text{SnO}_2$  与焦炭充分混合后，于惰性气氛中加热至  $800^\circ\text{C}$ ，由于固体之间反应慢，未发生明显反应；若通入空气在  $800^\circ\text{C}$  下， $\text{SnO}_2$  能迅速被还原为单质 Sn，通入空气的作用是：与焦炭在高温下反应生成 CO，CO

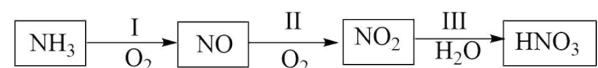
将  $\text{SnO}_2$  还原为单质 Sn，有关反应的化学方程式为  $2\text{C} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{CO}$ 、 $2\text{CO} + \text{SnO}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{Sn} + 2\text{CO}_2$ 。

16.  $\text{HNO}_3$  是一种重要的工业原料。可采用不同的氮源制备  $\text{HNO}_3$ 。

(1) 方法一：早期以硝石(含  $\text{NaNO}_3$ )为氮源制备  $\text{HNO}_3$ ，反应的化学方程式为：

$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) + \text{NaNO}_3 = \text{NaHSO}_4 + \text{HNO}_3 \uparrow$ 。该反应利用了浓硫酸的性质是酸性和\_\_\_\_\_。

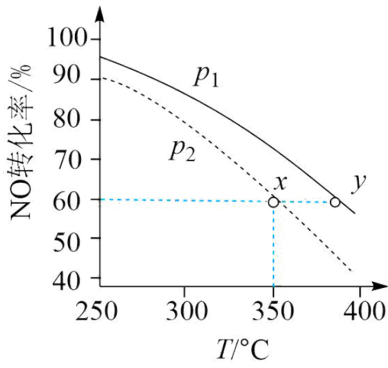
(2) 方法二：以  $\text{NH}_3$  为氮源催化氧化制备  $\text{HNO}_3$ ，反应原理分三步进行。



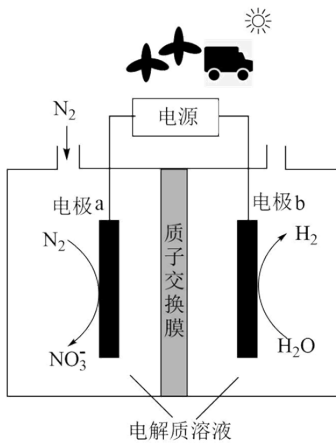
① 第 I 步反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

② 针对第 II 步反应进行研究：在容积可变的密闭容器中，充入  $2n \text{ mol NO}$  和  $n \text{ mol O}_2$  进行反应。在不同压强下( $p_1$ 、 $p_2$ )，反应达到平衡时，测得 NO 转化率随温度的变化如图所示。解释 y 点的容器容积小于 x 点

的容器容积的原因\_\_\_\_\_。



(3) 方法三：研究表明可以用电解法以  $N_2$  为氮源直接制备  $HNO_3$ ，其原理示意图如下。



① 电极 a 表面生成  $NO_3^-$  的电极反应式：\_\_\_\_\_。

② 研究发现： $N_2$  转化可能的途径为  $N_2 \xrightarrow{i} NO \xrightarrow{ii} NO_3^-$ 。电极 a 表面还发生 iii.  $H_2O \rightarrow O_2$ 。iii 的存在，有利于途径 ii，原因是\_\_\_\_\_。

(4) 人工固氮是高能耗的过程，结合  $N_2$  分子结构解释原因\_\_\_\_\_。方法三为  $N_2$  的直接利用提供了一种新的思路。

【答案】(1) 难挥发性

(2) ①.  $4NH_3 + 5O_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} 4NO + 6H_2O$  ②.  $2NO + O_2 \rightleftharpoons 2NO_2$ ，该反应正向气体分子总数

减小，同温时， $p_1$  条件下 NO 转化率高于  $p_2$ ，故  $p_1 > p_2$ ，x、y 点转化率相同，此时压强对容积的影响大于温度对容积的影响

(3) ①.  $N_2 - 10e^- + 6H_2O = 2NO_3^- + 12H^+$  ②. 反应 iii 生成  $O_2$ ， $O_2$  将 NO 氧化成  $NO_2$ ， $NO_2$  更易转化成  $NO_3^-$

(4)  $N_2$  中存在氮氮三键，键能高，断键时需要较大的能量，故人工固氮是高能耗的过程

【解析】

【小问 1 详解】

浓硫酸难挥发，产物  $\text{HNO}_3$  为气体，有利于复分解反应进行，体现了浓硫酸的难挥发性和酸性。

【小问 2 详解】

①第 I 步反应为氨气的催化氧化，化学方程式为  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ ；

②  $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ ，该反应正向气体分子总数减小，同温时， $p_1$  条件下  $\text{NO}$  转化率高于  $p_2$ ，故  $p_1 > p_2$ ，根据  $V = nR\frac{T}{p}$ ，x、y 点转化率相同，则 n 相同，此时压强对容积的影响大于温度对容积的影响，故 y 点的容器容积小于 x 点的容器容积。

【小问 3 详解】

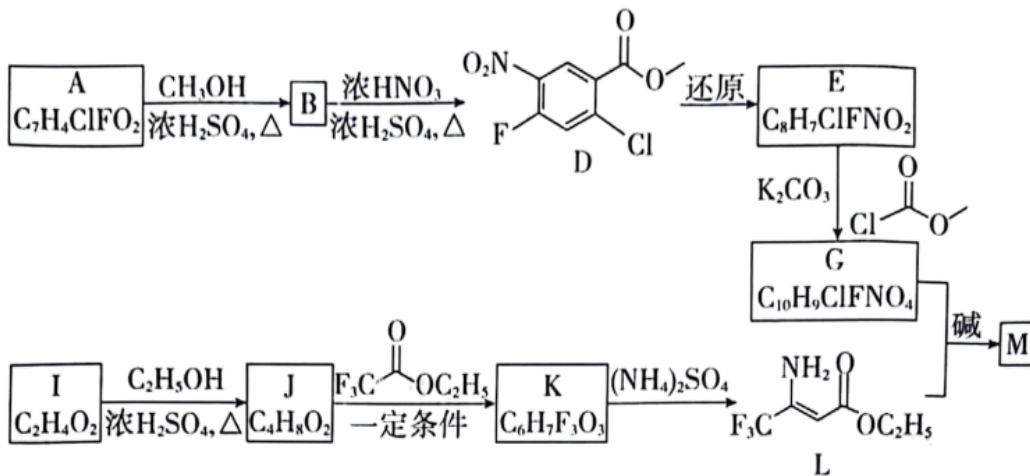
①由电极 a 上的物质转化可知，氮元素化合价升高，发生氧化反应，电极 a 为阳极，电极反应式为  $\text{N}_2 - 10\text{e}^- + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+$ ；

②反应 iii 生成  $\text{O}_2$ ， $\text{O}_2$  将  $\text{NO}$  氧化成  $\text{NO}_2$ ， $\text{NO}_2$  更易转化成  $\text{NO}_3^-$ 。

【小问 4 详解】

$\text{N}_2$  中存在氮氮三键，键能高，断键时需要较大的能量，故人工固氮是高能耗的过程。

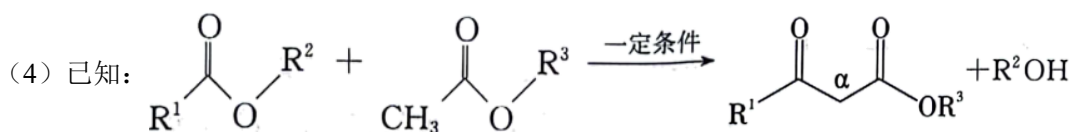
17. 除草剂苯嘧磺草胺的中间体 M 合成路线如下。



- (1) D 中含氧官能团的名称是\_\_\_\_\_。
- (2) A→B 的化学方程式是\_\_\_\_\_。
- (3) I→J 的制备过程中，下列说法正确的是\_\_\_\_\_(填序号)。

a. 依据平衡移动原理，加入过量的乙醇或将 J 蒸出，都有利于提高 I 的转化率

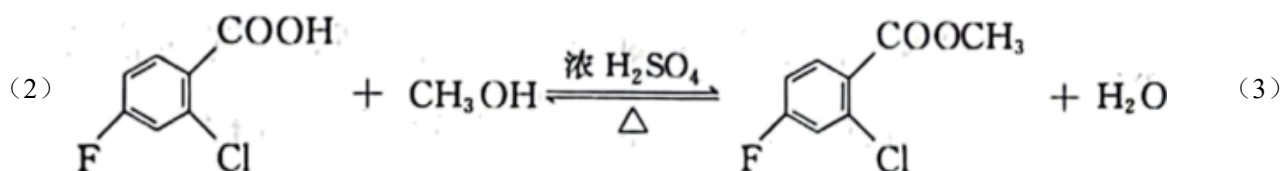
- b. 利用饱和碳酸钠溶液可吸收蒸出的 I 和乙醇  
 c. 若反应温度过高, 可能生成副产物乙醚或者乙烯



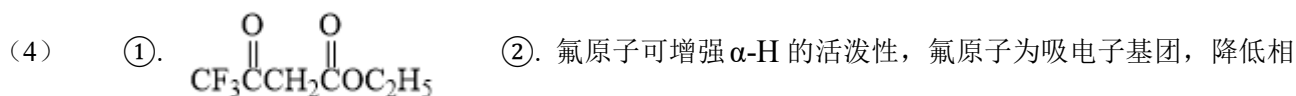
- ① K 的结构简式是\_\_\_\_\_。  
 ② 判断并解释 K 中氟原子对  $\alpha$ -H 的活泼性的影响\_\_\_\_\_。

(5) M 的分子式为  $C_{13}H_7ClF_4N_2O_4$ 。除苯环外, M 分子中还有个含两个氮原子的六元环, 在合成 M 的同时还生成产物甲醇和乙醇。由此可知, 在生成 M 时, L 分子和 G 分子断裂的化学键均为 C—O 键和\_\_\_\_\_键, M 的结构简式是\_\_\_\_\_。

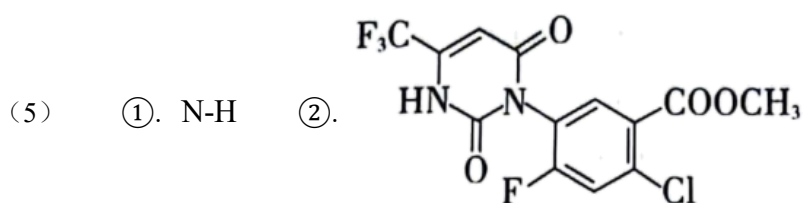
【答案】(1) 硝基、酯基



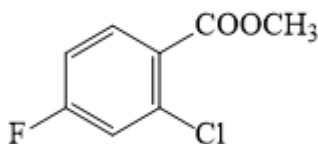
abc

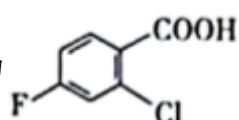


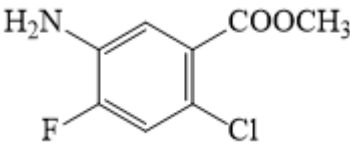
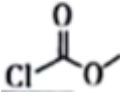
连碳原子的电子云密度, 使得碳原子的正电性增加, 有利于增强  $\alpha$ -H 的活泼性

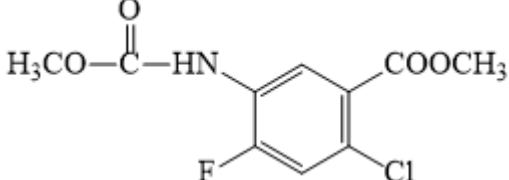


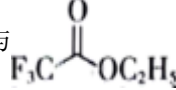
【解析】

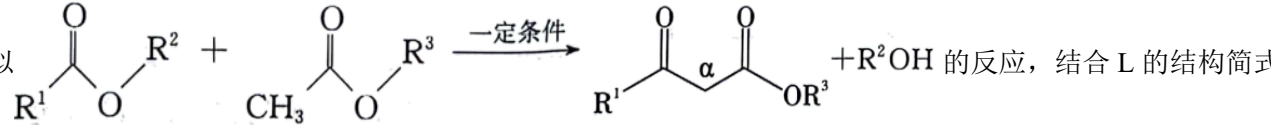
【分析】B 发生硝化反应得到 D, 即 B 为 , A 与  $CH_3OH$  发生酯化反应生成

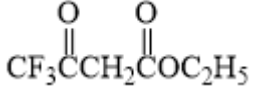
B, 即 A 为 , D 发生还原反应得到 E, 结合 E 的分子式可知, D 硝基被还原为氨基, E

为  , E 在  $K_2CO_3$  的作用下与  发生反应得到 G, 结合 G 的分子式

可知, G 为  , I 与  $C_2H_5OH$  在浓硫酸加热的条件下生成 J, 结合 I

与 J 的分子式可知, I 为  $CH_3COOH$ , J 为  $CH_3COOC_2H_5$ , J 与  在一定条件下生成 K, 发生类

似  的反应, 结合 L 的结构简式

和 K 的分子式可知, K 为  , G 和 L 在碱的作用下生成 M, M 的分子式为

$C_{13}H_7ClF_4N_2O_4$ , 除苯环外, M 分子中还有个含两个氮原子的六元环, 在合成 M 的同时还生成产物甲醇和乙醇, 可推测为 G 与 L 中 N-H 键与酯基分别发生反应, 形成酰胺基, 所以断裂的化学键均为 C-O 键

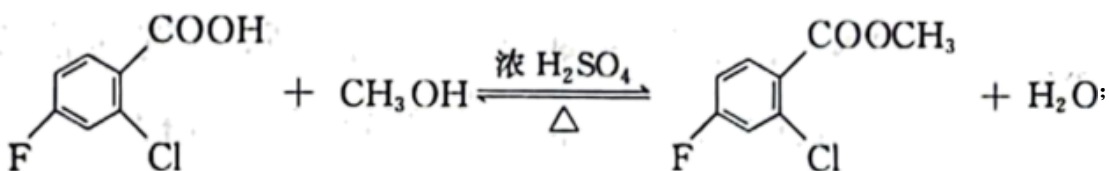
和 N-H 键, M 的结构简式为 

### 【小问 1 详解】

由 D 的结构简式可知, D 中含氧官能团为硝基、酯基;

### 【小问 2 详解】

A→B 的过程为 A 中羧基与甲醇中羟基发生酯化反应, 化学方程式为:



### 【小问 3 详解】

I→J 的制备过程为乙酸与乙醇的酯化过程,

- 依据平衡移动原理, 加入过量的乙醇或将乙酸乙酯蒸出, 都有利于提高乙酸的转化率, a 正确;
- 饱和碳酸钠溶液可与蒸出的乙酸反应并溶解乙醇, b 正确;

c. 反应温度过高，乙醇在浓硫酸的作用下发生分子间脱水生成乙醚，发生分子内消去反应生成乙烯，c 正确；

故选 abc；

【小问 4 详解】

①根据已知反应可知，酯基的  $\alpha$ -H 与另一分子的酯基发生取代反应， $F_3CCOOC_2H_5$  中左侧不存在  $\alpha$ -H，

所以产物 K 的结构简式为  $CF_3C(=O)CH_2C(=O)OC_2H_5$ ：

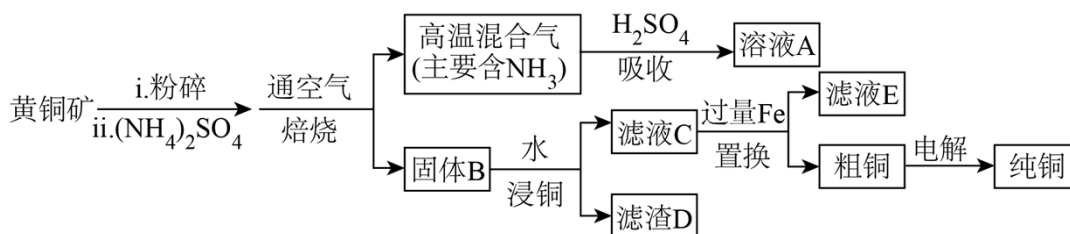
②氟原子可增强  $\alpha$ -H 的活泼性，氟原子为吸电子基团，降低相连碳原子的电子云密度，使得碳原子的正电性增加，有利于增强  $\alpha$ -H 的活泼性；

【小问 5 详解】

M 分子中除苯环外还有一个含两个氮原子的六元环，在合成 M 的同时还生成产物甲醇和乙醇，再结合其分子式，可推测为 G 与 L 中 N-H 键与酯基分别发生反应，形成酰胺基，所以断裂的化学键均为 C-O 键



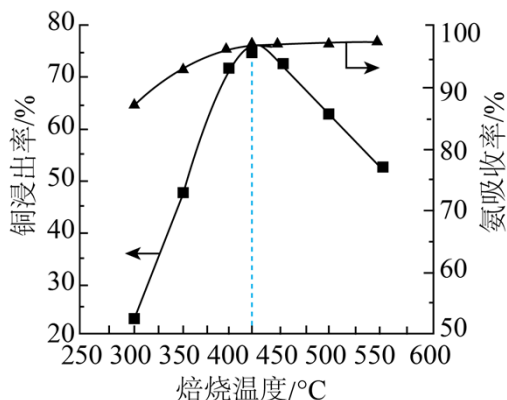
18. 利用黄铜矿(主要成分为  $CuFeS_2$ ，含有  $SiO_2$  等杂质)生产纯铜，流程示意图如下。



(1) 矿石在焙烧前需粉碎，其作用是\_\_\_\_\_。

(2)  $(NH_4)_2SO_4$  的作用是利用其分解产生的  $SO_3$  使矿石中的铜元素转化为  $CuSO_4$ 。 $(NH_4)_2SO_4$  发生热分解的化学方程式是\_\_\_\_\_。

(3) 矿石和过量  $(NH_4)_2SO_4$  按一定比例混合，取相同质量，在不同温度下焙烧相同时间，测得：“吸收”过程氨吸收率和“浸铜”过程铜浸出率变化如图； $400^\circ C$  和  $500^\circ C$  时，固体 B 中所含铜、铁的主要物质如表。



温度 /°C	B中所含铜、铁的主要物质
400	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{CuFeS}_2$
500	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{CuO}$

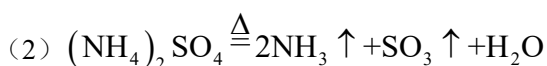
①温度低于  $425^\circ\text{C}$ ，随焙烧温度升高，铜浸出率显著增大的原因是\_\_\_\_\_。

②温度高于  $425^\circ\text{C}$ ，根据焙烧时可能发生的反应，解释铜浸出率随焙烧温度升高而降低的原因是\_\_\_\_\_。

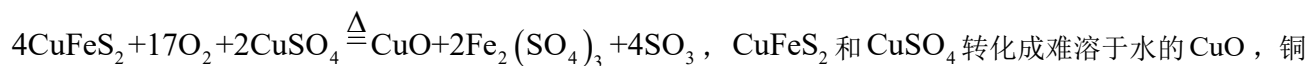
(4) 用离子方程式表示置换过程中加入 Fe 的目的\_\_\_\_\_。

(5) 粗铜经酸浸处理，再进行电解精炼；电解时用酸化的  $\text{CuSO}_4$  溶液做电解液，并维持一定的  $c(\text{H}^+)$  和  $c(\text{Cu}^{2+})$ 。粗铜若未经酸浸处理，消耗相同电量时，会降低得到纯铜的量，原因是\_\_\_\_\_。

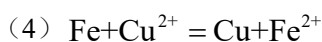
**【答案】** (1) 增大接触面积，加快反应速率，使反应更充分



(3) ①. 温度低于  $425^\circ\text{C}$ ，随焙烧温度升高， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  分解产生的  $\text{SO}_3$  增多，可溶物  $\text{CuSO}_4$  含量增加，故铜浸出率显著增加 ②. 温度高于  $425^\circ\text{C}$ ，随焙烧温度升高发生反应：



浸出率降低



(5) 粗铜若未经酸浸处理，其中杂质 Fe 会参与放电，则消耗相同电量时，会降低得到纯铜的量

**【解析】**

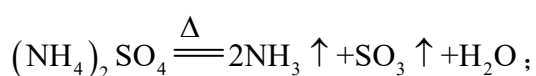
【分析】黄铜矿(主要成分为  $\text{CuFeS}_2$ ，含有  $\text{SiO}_2$  等杂质)粉碎后加入硫酸铵通入空气焙烧，黄铜矿在硫酸铵生成的  $\text{SO}_3$  作用下，转化成  $\text{CuSO}_4$ ，得到的混合气体中主要含  $\text{NH}_3$ ，用硫酸吸收，得到硫酸铵，是溶液 A 的主要溶质，可以循环利用，固体 B 为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CuSO}_4$  及含铁的化合物，加水分离，主要形成含硫酸铜的滤液和含  $\text{SiO}_2$  的滤渣，分别为滤液 C 和滤渣 D，向硫酸铜溶液中加入过量的铁，置换得到粗铜和  $\text{FeSO}_4$ ，粗铜再精炼可以得到纯铜。

【小问 1 详解】

黄铜矿的矿石在焙烧前需粉碎，是为了增大反应物的接触面积，加快反应速率，使反应更充分；

【小问 2 详解】

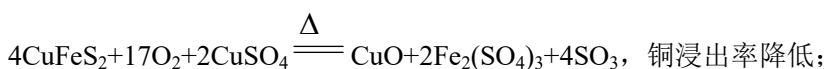
铵盐不稳定，易分解， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  分解为非氧化还原反应，产物中有  $\text{NH}_3$  和  $\text{SO}_3$ ，故化学方程式为



【小问 3 详解】

①由图，温度低于  $425^\circ\text{C}$ ，随焙烧温度升高，铜浸出率显著增大，是因为温度低于  $425^\circ\text{C}$ ，随焙烧温度升高， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  分解产生的  $\text{SO}_3$  增多，可溶物  $\text{CuSO}_4$  含量增加，故铜浸出率显著增加；

②温度高于  $425^\circ\text{C}$ ，随焙烧温度升高， $\text{CuFeS}_2$  和  $\text{CuSO}_4$  转化成难溶于水的  $\text{CuO}$ ，发生反应



【小问 4 详解】

加入 Fe 置换硫酸铜溶液中的铜，反应的离子方程式为  $\text{Fe} + \text{Cu}^{2+} = \text{Cu} + \text{Fe}^{2+}$ ；

【小问 5 详解】

粗铜中含有 Fe 杂质，加酸可以除 Fe，但粗铜若未经酸浸处理，其中杂质 Fe 会参与放电，则消耗相同电量时，会降低得到纯铜的量。

19. 某小组同学向  $\text{pH}=1$  的  $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{FeCl}_3$  溶液中分别加入过量的 Cu 粉、Zn 粉和 Mg 粉，探究溶液中氧化剂的微粒及其还原产物。

(1) 理论分析

依据金属活动性顺序，Cu、Zn、Mg 中可将  $\text{Fe}^{3+}$  还原为 Fe 的金属是\_\_\_\_\_。

(2) 实验验证

实验	金属	操作、现象及产物

I	过量 Cu	一段时间后，溶液逐渐变为蓝绿色，固体中未检测到Fe单质
II	过量 Zn	一段时间后有气泡产生，反应缓慢，pH逐渐增大，产生了大量红褐色沉淀后，无气泡冒出，此时溶液pH为3~4，取出固体，固体中未检测到Fe单质
III	过量 Mg	有大量气泡产生，反应剧烈，pH逐渐增大，产生了大量红褐色沉淀后，持续产生大量气泡，当溶液pH为3~4时，取出固体，固体中检测到Fe单质

①分别取实验I、II、III中的少量溶液，滴加 $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液，证明都有 $Fe^{2+}$ 生成，依据的现象是\_\_\_\_\_。

②实验II、III都有红褐色沉淀生成，用平衡移动原理解释原因\_\_\_\_\_。

③对实验II未检测到Fe单质进行分析及探究。

i. a. 甲认为实验II中，当 $Fe^{3+}$ 、 $H^+$ 浓度较大时，即使Zn与 $Fe^{2+}$ 反应置换出少量Fe，Fe也会被 $Fe^{3+}$ 、 $H^+$ 消耗。写出Fe与 $Fe^{3+}$ 、 $H^+$ 反应的离子方程式\_\_\_\_\_。

b. 乙认为在pH为3~4的溶液中即便生成Fe也会被 $H^+$ 消耗。设计实验\_\_\_\_\_ (填实验操作和现象)。证实了此条件下可忽略 $H^+$ 对Fe的消耗。

c. 丙认为产生的红褐色沉淀包裹在Zn粉上，阻碍了Zn与 $Fe^{2+}$ 的反应。实验证实了Zn粉被包裹。

ii. 查阅资料： $0.5mol \cdot L^{-1} Fe^{3+}$ 开始沉淀的pH约为1.2，完全沉淀的pH约为3。

结合a、b和c，重新做实验II，当溶液pH为3~4时，不取出固体，向固-液混合物中持续加入盐酸，控制 $pH < 1.2$ ，\_\_\_\_\_ (填实验操作和现象)，待pH为3~4时，取出固体，固体中检测到Fe单质。

(3) 对比实验II和III，解释实验III的固体中检测到Fe单质的原因\_\_\_\_\_。

【答案】(1) Mg、Zn

(2) ①. 产生蓝色沉淀 ②.  $Fe^{3+}$ 水解方程式为 $Fe^{3+} + 3H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 3H^+$ ，加入的Mg或Zn会消耗 $H^+$ ，促进 $Fe^{3+}$ 水解平衡正向移动，使其转化为 $Fe(OH)_3$ 沉淀 ③.  $2Fe^{3+} + 2Fe + 2H^+ = 4Fe^{2+} + H_2 \uparrow$  或  $2Fe^{3+} + Fe = 3Fe^{2+}$ 、 $2H^+ + Fe = Fe^{2+} + H_2 \uparrow$  ④. 向pH为3~4的稀盐酸中加铁粉，一段时间后取出少量溶液，滴加 $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液，不产生蓝色沉淀 ⑤. 加入几滴

KSCN 溶液，待溶液红色消失后，停止加入盐酸

(3) 加入镁粉后产生大量气泡，使镁粉不容易被  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀包裹

### 【解析】

【分析】实验I中，加入过量的  $\text{Cu}$ ， $\text{Cu}$  与  $\text{Fe}^{3+}$  发生反应  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Cu} = \text{Cu}^{2+} + 2\text{Fe}^{2+}$ ，一段时间后，溶液逐渐变为蓝绿色，固体中未检测到  $\text{Fe}$  单质；实验II中，加入过量的  $\text{Zn}$ ，发生反应

$\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$ ，有气泡产生， $\text{pH}$  逐渐增大，使得  $\text{Fe}^{3+}$  转化为红褐色沉淀  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，固体中未

检测到  $\text{Fe}$  单质，原因可能是  $\text{Fe}^{3+}$  的干扰以及  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀对锌粉的包裹；实验III中，加入过量  $\text{Mg}$ ，发生反应  $\text{Mg} + 2\text{H}^+ = \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$ ，由于  $\text{Mg}$  很活泼，该反应非常剧烈， $\text{pH}$  逐渐增大，产生了大量红褐色沉淀后，持续产生大量气泡，当溶液  $\text{pH}$  为 3~4 时，取出固体，固体中检测到  $\text{Fe}$  单质，对比实验II和III，加入镁粉后产生大量气泡，使镁粉不容易被  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀包裹，实验III的固体中检测到  $\text{Fe}$  单质。

### 【小问 1 详解】

在金属活动性顺序表中， $\text{Mg}$ 、 $\text{Zn}$  排在  $\text{Fe}$  之前， $\text{Cu}$  排在  $\text{Fe}$  之后，因此  $\text{Mg}$ 、 $\text{Zn}$  可将  $\text{Fe}^{3+}$  还原为  $\text{Fe}$ ；

### 【小问 2 详解】

①  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  会生成蓝色的  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  沉淀；

②  $\text{Fe}^{3+}$  水解方程式为  $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ ，加入的  $\text{Mg}$  或  $\text{Zn}$  会消耗  $\text{H}^+$ ，促进  $\text{Fe}^{3+}$  水解平衡正向移动，使其转化为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀；

③i. a.  $\text{Fe}$  与  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{H}^+$  反应的离子方程式为： $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Fe} + 2\text{H}^+ = 4\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$  或  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$ 、 $2\text{H}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$ ；

b. 要证实  $\text{pH}$  为 3~4 的溶液中可忽略  $\text{H}^+$  对  $\text{Fe}$  的消耗，可向  $\text{pH}$  为 3~4 的稀盐酸中加铁粉，一段时间后取出少量溶液，滴加  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  溶液，不产生蓝色沉淀，即说明此条件下  $\text{Fe}$  未与  $\text{H}^+$  反应生成  $\text{Fe}^{2+}$ ；

ii. 结合 a, b 和 c 可知，实验II未检测到  $\text{Fe}$  单质的原因可能是  $\text{Fe}^{3+}$  的干扰以及  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀对锌粉的包裹，因此可控制反应条件，在未生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀时将  $\text{Fe}^{3+}$  还原，即可排除两个干扰因素，具体操作为：重新做实验II，当溶液  $\text{pH}$  为 3~4 时，不取出固体，向固-液混合物中持续加入盐酸，控制  $\text{pH} < 1.2$ ，加入几滴  $\text{KSCN}$  溶液，待溶液红色消失后，停止加入盐酸，待  $\text{pH}$  为 3~4 时，取出固体，固体中检测到  $\text{Fe}$  单质；

**【小问 3 详解】**

对比实验II和III，加入镁粉后产生大量气泡，使镁粉不容易被  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀包裹，实验III的固体中检测到 Fe 单质。