



2023 北京二中高二（上）第二学段段考

化 学

选择题(每小题 2 分，共 40 分)

1. 下列反应属于水解反应的是

- A. $\text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ B. $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{HClO}$
 C. $\text{HSO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_3^{2-}$ D. $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$

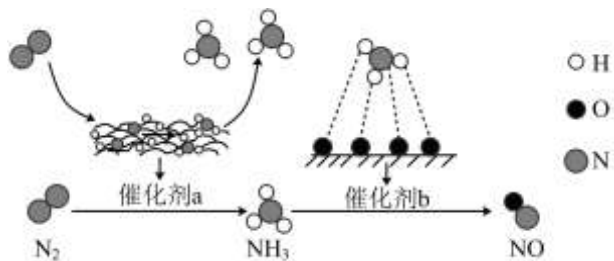
2. 常温时，能证明乙酸是弱酸的实验事实是

- A. CH_3COOH 溶液与 Fe 反应放出 H_2
 B. $0.1\text{mol/LCH}_3\text{COOH}$ 溶液的 pH 大于 1
 C. CH_3COOH 溶液与 NaHCO_3 反应生成 CO_2
 D. $0.1\text{mol/LCH}_3\text{COOH}$ 溶液可使紫色石蕊变红

3. 常温下，下列各离子组在指定溶液中能大量存在的是

- A. 由水电离出的 $c(\text{H}^+) = 10^{-14} \text{ mol/L}$ ： K^+ 、 MnO_4^- 、 Fe^{3+} 、 Cl^-
 B. $c(\text{Fe}^{3+}) = 0.1 \text{ mol/L}$ 的溶液中： H^+ 、 I^- 、 Br^- 、 SO_4^{2-}
 C. 使石蕊变蓝的溶液中： Na^+ 、 AlO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_3^{2-}
 D. 无色溶液中： Na^+ 、 Al^{3+} 、 S^{2-} 、 SO_4^{2-}

4. 氮及其化合物的转化过程如下图所示。



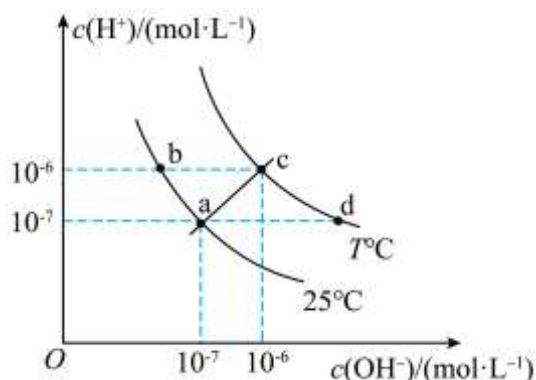
下列说法正确的是

- A. 催化剂 a 表面发生了极性共价键的断裂和形成
 B. N_2 与 H_2 反应生成 NH_3 的原子利用率为 100%
 C. 在催化剂 b 表面形成氮氧键的过程是吸热过程
 D. 催化剂 a、b 既能提高反应的速率也能提高反应的平衡转化率
5. 在一定温度下，可逆反应 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ 达到平衡的标志是
- A. NH_3 生成的速率和 NH_3 分解的速率相等
 B. N_2 、 H_2 、 NH_3 的浓度相等
 C. 单位时间内生成 $n \text{ mol N}_2$ ，同时生成 $3n \text{ mol H}_2$



D. N_2 、 H_2 、 NH_3 的分子数之比为 1: 3: 2

6. 在不同温度下, 水溶液中 $c(H^+)$ 与 $c(OH^-)$ 有如图所示关系。下列说法中不正确的是



A. 图中 $T > 25$

B. b 点溶液中的 $c(H^+)$ 比 a 点溶液中的 $c(H^+)$ 大

C. 欲实现 a 点到 b 点, 可以加入 CH_3COONa 固体

D. ac 线上任一点对应的溶液均呈中性

7. 下列有关问题与盐的水解有关的是

- ① NH_4Cl 与 $ZnCl_2$ 溶液可作焊接金属时的除锈剂;
- ② $NaHCO_3$ 与 $Al_2(SO_4)_3$ 两种溶液可作泡沫灭火剂;
- ③ 草木灰与铵态氮肥不能混合施用;
- ④ 实验室中盛放 Na_2CO_3 溶液的试剂瓶不能用磨口玻璃塞;
- ⑤ 加热蒸干 $CuCl_2$ 溶液得到 $Cu(OH)_2$ 固体;
- ⑥ 要除去 $FeCl_3$ 溶液中混有的 Fe^{2+} , 可通入 Cl_2

A. ①②③

B. ②③④

C. ①④⑤

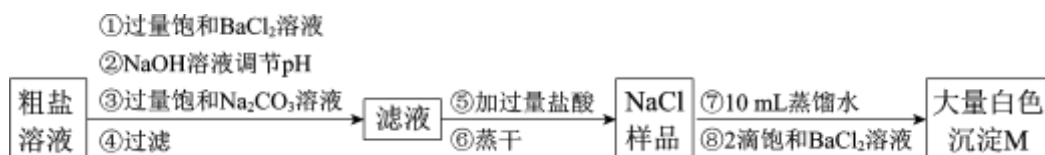
D. ①②③④⑤

8. 常温下, 关于 $pH=2$ 的盐酸, 下列说法不正确的是

- A. 溶液中 $c(H^+) = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- B. 此溶液中由水电离出的 $c(OH^-) = 1.0 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- C. 加水稀释 100 倍后, 溶液的 $pH=4$
- D. 加入等体积 $pH=12$ 的氨水, 溶液呈中性

9. 实验小组设计实验除去粗盐溶液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 并进行定性检验。

已知: $K_{sp}[Mg(OH)_2] = 5.6 \times 10^{-12}$, $K_{sp}(BaSO_4) = 1.1 \times 10^{-10}$, $K_{sp}(BaCO_3) = 2.6 \times 10^{-9}$ 。



下列说法不正确的是

- A. 调节溶液的 $pH > 12$, 可使滤液中 $c(Mg^{2+}) < 1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$
- B. 加入 Na_2CO_3 溶液发生的反应是 $Ba^{2+} + CO_3^{2-} = BaCO_3 \downarrow$ 、 $Ca^{2+} + CO_3^{2-} = CaCO_3 \downarrow$
- C. 加入盐酸发生的反应是 $2H^+ + CO_3^{2-} = CO_2 \uparrow + H_2O$ 、 $H^+ + OH^- = H_2O$

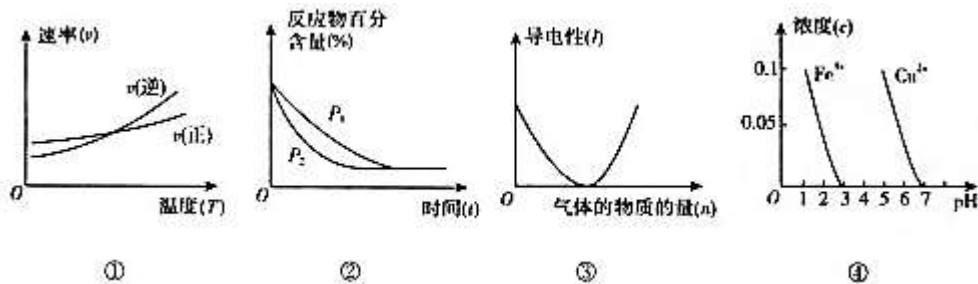


D. 若步骤①加入 BaCl₂ 溶液后进行过滤，可以避免白色沉淀 M 的生成

10. 某温度下，水的离子积常数 $K_w=1 \times 10^{-12}$ 。该温度下，将 pH=4 的 H₂SO₄ 溶液与 pH=9 的 NaOH 溶液混合并保持恒温，欲使混合溶液的 pH=7，则稀硫酸与 NaOH 溶液的体积比为()

- A. 1 : 10 B. 9 : 1 C. 1 : 9 D. 99 : 21

11. 对下列图像的描述正确的是



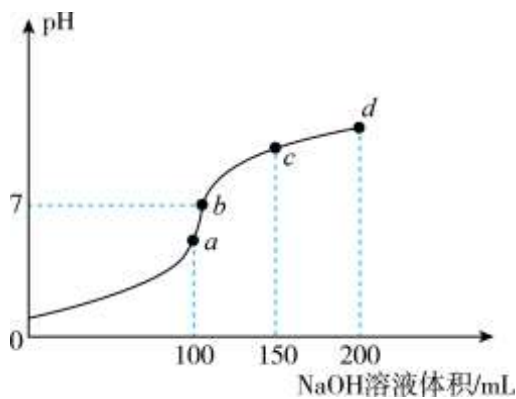
- A. 根据图①可判断反应 $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$ 的 $\Delta H > 0$
 B. 图②可表示压强 (P) 对反应 $2A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 3C(g) + D(s)$ 的影响
 C. 图③可表示向醋酸溶液通入氨气时，溶液导电性随氨气量的变化
 D. 根据图④，除去 CuSO₄ 溶液中的 Fe³⁺，可加入 CuO 调节 pH 至 3~5

12. 向一容积可变密闭容器中充入等物质的量的 A、B，发生反应： $2A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 3C(s) + 4D(g)$ 在不同压强下，该反应平衡常数随温度变化如表所示。下列判断正确的是

压强 Mpa			
平衡常数	1.0	1.5	2.0
温度/°C			
300	a	b	16
516	c	64	d
800	160	f	g

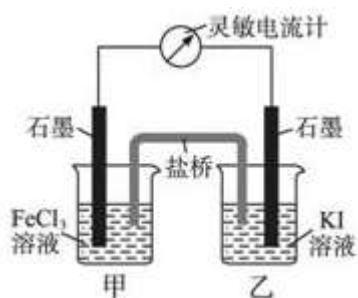
- A. $c > a$, $g > f$ B. 正反应是放热反应
 C. 2.0MPa、800°C 时，A 的转化率最小 D. 1.5MPa、300°C 时，B 的转化率为 50%

13. 室温时，向 100mL 0.1mol·L⁻¹ NH₄HSO₄ 溶液中滴加 0.1mol·L⁻¹ NaOH 溶液，溶液 pH 随 NaOH 溶液体积的变化如图所示。下列说法正确的是



- A. a 点处存在 $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- B. b 点处存在 $c(\text{Na}^+) > c(\text{SO}_4^{2-}) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$
- C. 由 b 到 c 发生反应的离子方程式为 $\text{H}^+ + \text{NH}_4^+ + 2\text{OH}^- = \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
- D. 图中 a、b、c、d 四个点，水的电离程度最大的是 d 点

14. 将反应 $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{I}^- \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{2+} + \text{I}_2$ 设计成如下图所示的原电池。

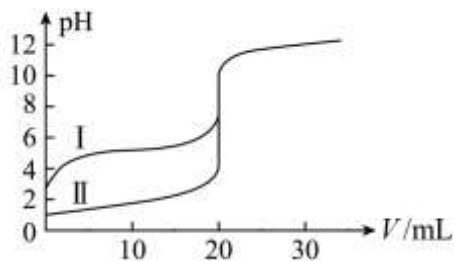


下列说法不正确的是

- A. 盐桥中的 K^+ 移向 FeCl_3 溶液
- B. 反应开始时，乙中石墨电极上发生氧化反应
- C. 电流计读数为零时，反应达到化学平衡状态
- D. 电流计读数为零后，在甲中溶入 FeCl_2 固体，乙中石墨电极为负极

15. 室温下，用 0.100 mol/L NaOH 溶液分别滴定 20.00 mL 0.100 mol/L 的盐酸和醋酸，滴定曲线如图所示。

下列说法正确的是



- A. II 表示的是滴定醋酸的曲线
- B. $\text{pH}=7$ 时，滴定醋酸消耗的 $V(\text{NaOH})$ 小于 20 mL
- C. $V(\text{NaOH}) = 20.00 \text{ mL}$ 时，两份溶液中 $c(\text{Cl}^-) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$
- D. $V(\text{NaOH}) = 10.00 \text{ mL}$ 时，醋酸溶液中 $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$



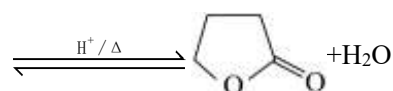
16. 室温下, 用 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液和蒸馏水进行如下表所示的 5 个实验, 分别测量浑浊度随时间的变化。

编号	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液	H_2SO_4 溶液	蒸馏水	浑浊度随时间变化的曲线
	V/mL	V/mL	V/mL	
①	1.5	3.5	10	
②	2.5	3.5	9	
③	3.5	3.5	x	
④	3.5	2.5	9	
⑤	3.5	1.5	10	

下列说法不正确的是

- A. 实验③中 $x = 8$
- B. 实验①②③或③④⑤均可说明其他条件相同时, 增大反应物浓度可增大该反应速率
- C. 降低 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液浓度比降低 H_2SO_4 溶液浓度对该反应化学反应速率影响程度更大
- D. 将装有实验②的试剂的试管浸泡在热水中一段时间后再混合, 其浑浊度曲线应为 a

17. 298 K 时, $0.180\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ γ -羟基丁酸水溶液发生如下反应, 生成 γ -丁内酯: $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$



不同时刻测得 γ -丁内酯的浓度如下表。

t / min	20	50	80	100	120	160	220	∞
c/(mol·L ⁻¹)	0.024	0.050	0.071	0.081	0.090	0.104	0.116	0.132

注: 该条件下副反应、溶液体积变化忽略不计。下列分析正确的是

- A. 增大 γ -羟基丁酸的浓度可提高 γ -丁内酯的产率
- B. 298 K 时, 该反应的平衡常数为 2.75
- C. 反应至 120 min 时, γ -羟基丁酸的转化率 $< 50\%$
- D. 80~120 min 的平均反应速率: $v(\gamma\text{-丁内酯}) > 1.2 \times 10^{-3}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

18. 已知溶液中存在平衡: $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq}) \quad \Delta H < 0$, 下列有关该平衡体系的说法正确的是

- ①升高温度, 平衡逆向移动
- ②向溶液中加入少量碳酸钠粉末能增大钙离子的浓度



③除去氯化钠溶液中混有的少量钙离子，可以向溶液中加入适量的 NaOH 溶液

④恒温下，向悬浊液中加入 CaO，溶液的 $c(\text{Ca}^{2+})$ 变大

⑤给溶液加热，溶液的 pH 升高

⑥向溶液中加入 Na_2CO_3 溶液，其中固体质量增加⑦向溶液中加入少量 NaOH 固体， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 固体质量不变

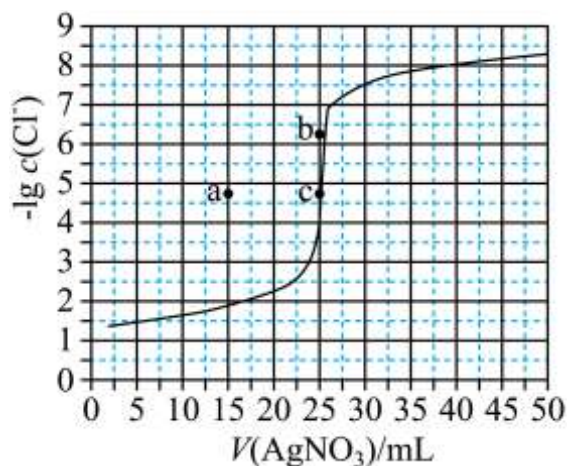
A. ①⑥

B. ①⑥⑦

C. ②③④⑥

D. ①②⑥⑦

19. 用 $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$ 滴定 $50.0 \text{ mL } 0.0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Cl}^-$ 溶液的滴定曲线如图所示。下列有关描述错误的是



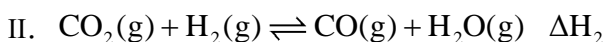
A. 根据曲线数据计算可知 $K_{sp}(\text{AgCl})$ 的数量级为 10^{-10}

B. 曲线上各点的溶液满足关系式 $c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) = K_{sp}(\text{AgCl})$

C. 相同实验条件下，若改为 $0.0400 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Cl}^-$ ，反应终点 c 移到 a

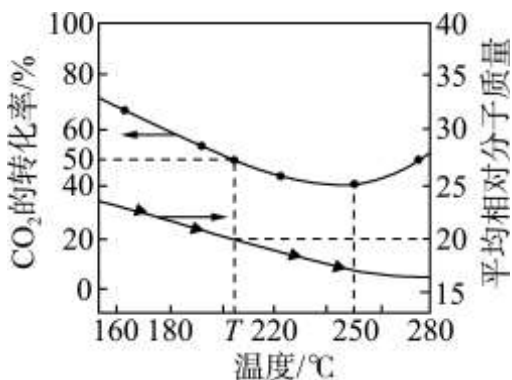
D. 相同实验条件下，若改为 $0.0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Br}^-$ ，反应终点 c 向 b 方向移动

20. 工业上用 CO_2 和 H_2 合成甲醇涉及以下反应：



在催化剂作用下，将 $1 \text{ mol } \text{CO}_2$ 和 $2 \text{ mol } \text{H}_2$ 的混合气体充入一恒容密闭容器中进行反应，达到平衡时，

CO_2 的转化率和容器中混合气体的平均相对分子质量随温度变化如图。下列判断合理的是





已知：平衡时甲醇的选择性为生成甲醇消耗的 CO_2 在 CO_2 总消耗量中占比。

A. $\Delta H_1 < 0$, $\Delta H_2 < 0$

B. 250°C 前以反应 II 为主

C. $T^\circ\text{C}$, 平衡时甲醇的选择性为 60%

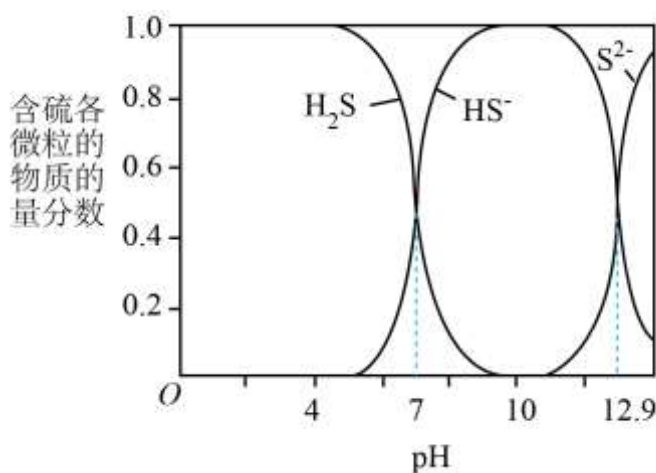
D. 为同时提高 CO_2 的平衡转化率和平衡时甲醇的选择性, 应选择反应条件为高温、高压

二、填空题(共 60 分)

21. 天然气中含有的 H_2S 会腐蚀管道设备, 开采天然气后须及时除去 H_2S 。在此过程中会产生大量含硫废水(其中硫元素的主要化合价是 -2 价), 对设备、环境等造成严重危害。

已知: i: H_2S 有剧毒; 常温下溶解度为 1 : 2.6(体积)。

ii: H_2S 、 HS^- 、 S^{2-} 在水溶液中的物质的量分数随 pH 的分布曲线如下图。



iii: 碳酸的电离平衡常数: $K_{a1} = 4.5 \times 10^{-7}$, $K_{a2} = 4.7 \times 10^{-11}$

(1) 用过量的 Na_2CO_3 溶液吸收天然气中的 H_2S 的离子方程式是_____, 该反应对应的化学平衡常数 $K =$ _____(列出计算式)。

(2) ①当 $\text{pH} \approx 8$ 时, 含硫废水中 H_2S 、 HS^- 的浓度比是_____。

② NaHS 溶液呈碱性, 原因是_____(结合化学用语说明)。

(3) 沉淀法处理含硫废水:

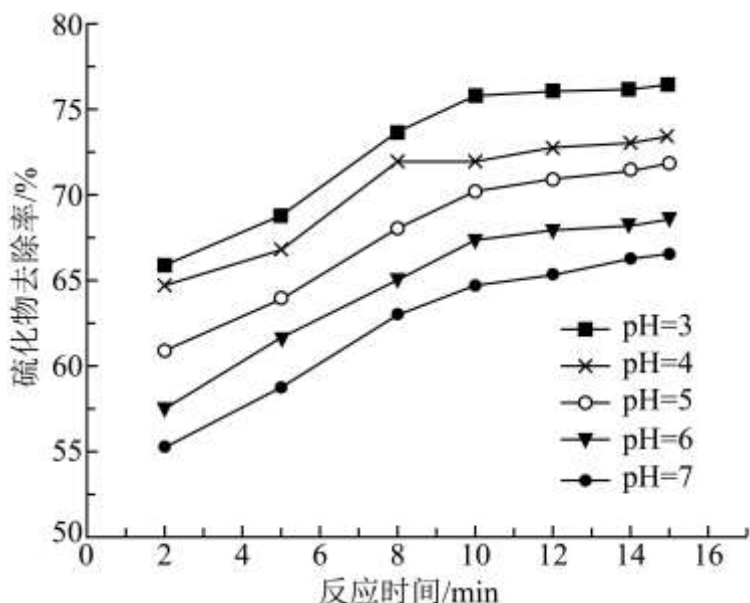
向 $\text{pH} \approx 9$ 的含硫废水中加入适量 Cu^{2+} 的溶液, 观察到有黑色沉淀生成, 则溶液的 pH _____(填“升高”“降低”或“不变”)。用化学平衡移动的原理解释产生上述现象的原因: _____。

(4) 氧化还原法处理含硫废水:

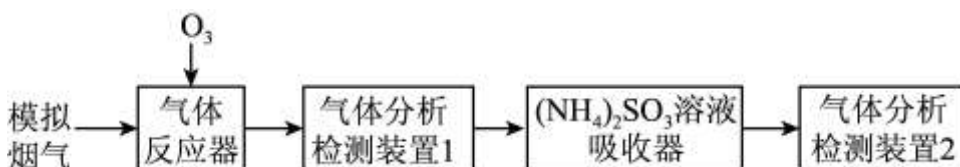
向 $\text{pH} \approx 9$ 的含硫废水中加入一定浓度的 Na_2SO_3 溶液, 加酸将溶液调为 $\text{pH} = 5$, 产生淡黄色沉淀。

①反应的离子方程式是_____。

②不同 pH 时, 硫化物去除率随时间的变化曲线如右图所示。本工艺选择控制体系的 $\text{pH} = 5$, 不选择 $\text{pH} < 5$, 从环境保护的角度分析其主要原因: _____。



22. 烟气脱硫脱硝技术是环境科学研究的热点。某小组模拟 O_3 氧化结合 $(NH_4)_2SO_3$ 溶液吸收法同时脱除 SO_2 和 NO 的过程示意图如下。



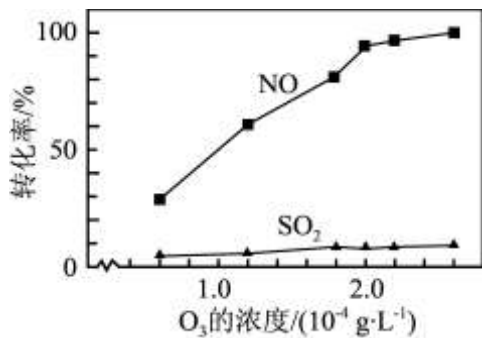
(1) 气体反应器中的主要反应原理及相关数据如下表。

反应	平衡常数 (25℃)	活化能 (kJ/mol)
反应 a: $2O_3(g) \rightleftharpoons 3O_2(g)$ $\Delta H_1 = -286.6 \text{ kJ/mol}$	1.6×10^{57}	24.6
反应 b: $NO(g) + O_3(g) \rightleftharpoons NO_2(g) + O_2(g)$ $\Delta H_2 = -200.9 \text{ kJ/mol}$	6.2×10^{34}	3.17
反应 c: $SO_2(g) + O_3(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + O_2(g)$ ΔH_3	1.1×10^{41}	58.17

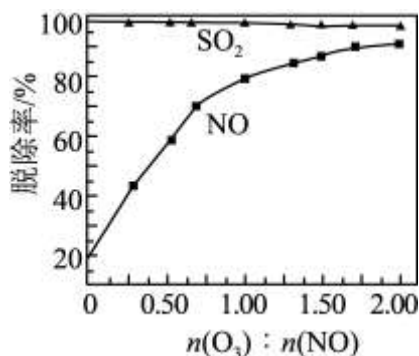
①已知: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ $\Delta H = -196.6 \text{ kJ/mol}$, 则 $\Delta H_3 =$ _____。

②其他条件不变时, 高于 150°C , 在相同时间内 SO_2 和 NO 的转化率均随温度升高而降低, 原因是 _____。

③其他条件不变, SO_2 和 NO 初始的物质的量浓度相等时, 经检测装置 1 分析, 在相同时间内, SO_2 和 NO 的转化率随 O_3 的浓度的变化如图。结合数据分析 NO 的转化率高于 SO_2 的原因 _____。



(2) 其他条件不变, SO₂ 和 NO 初始的物质的量浓度相等时, 经检测装置 2 分析, 在相同时间内, O₃ 与 NO 的物质的量之比对 SO₂ 和 NO 脱除率的影响如图。



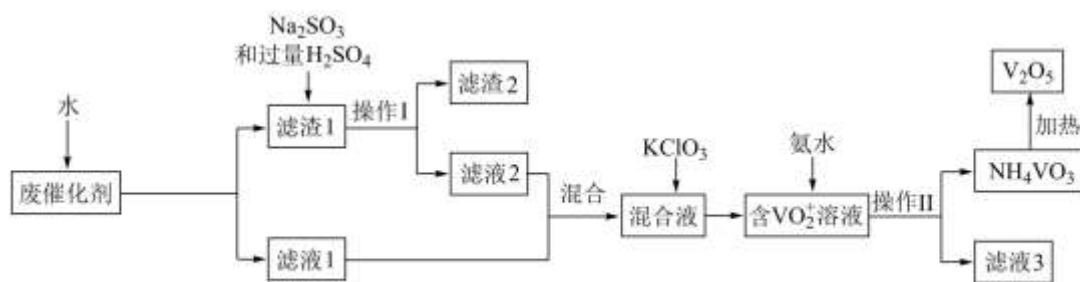
①(NH₄)₂SO₃ 溶液显碱性, 用化学平衡原理解释: _____。

②O₃ 的浓度很低时, SO₂ 的脱除率超过 97%, 原因是_____。

③在吸收器中, SO₃²⁻ 与 NO₂ 反应生成 NO₂⁻ 和 SO₄²⁻ 的离子方程式是_____。

④在吸收器中, 随着吸收过程的进行, 部分 NH₄⁺ 被转化为 N₂, 反应中 NH₄⁺ 和 N₂ 的物质的量之比为 1:1, 该反应的离子方程式是_____。

23. 为回收利用废钒催化剂(含有 V₂O₅、VOSO₄ 及不溶性残渣), 科研人员研制了一种回收 V₂O₅ 的新工艺, 主要流程如下图。



已知: i. 部分含钒物质常温下在水中的溶解性如下表所示:

物质	VOSO ₄	V ₂ O ₅	NH ₄ VO ₃	(VO ₂) ₂ SO ₄
溶解性	可溶	难溶	难溶	易溶

ii. $\text{VO}_2^+ + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{VO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$



回答下列问题：

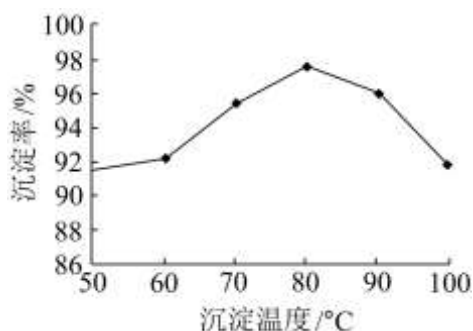
(1) 用水浸泡废钒催化剂，为了提高单位时间内废钒的浸出率，可以采取的措施为_____；_____ (写两条)。

(2) 滤液 1 和滤液 2 中含钒的主要物质成分相同。在滤渣 1 中加入 Na_2SO_3 和过量 H_2SO_4 溶液发生反应的化学方程式为_____。

(3) 生成 VO_2^+ 的反应中消耗 1mol KClO_3 时转移 6mol 电子，该反应的离子方程式为_____。

(4) 结合化学用语，用平衡移动原理解释加入氨水的作用为_____。

(5) 最后钒以 NH_4VO_3 的形式沉淀出来。以沉钒率(NH_4VO_3 沉淀中 V 的质量和废催化剂中 V 的质量之比)表示该步反应钒的回收率。请解释下图温度超过 80°C 以后，沉钒率下降的可能原因是_____；_____ (写两条)。

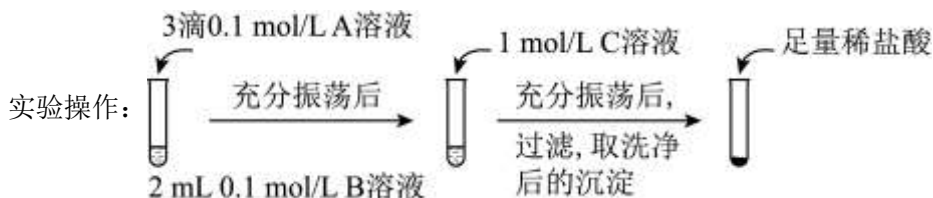


(6) 测定产品中 V_2O_5 的纯度，称取 $a\text{g}$ 产品，先用硫酸溶解，得到 $(\text{VO}_2)_2\text{SO}_4$ 溶液，再加入 $b_1\text{mL } c_1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液($2\text{VO}_2^+ + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{H}^+ = 2\text{VO}^{2+} + 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$)，最后用 $c_2\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KMnO}_4$ 溶液滴定过量的 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 至终点，消耗 KMnO_4 溶液的体积为 $b_2\text{mL}$ 。已知 MnO_4^- 被还原为 Mn^{2+} ，假设杂质不参与反应。则产品中 V_2O_5 (摩尔质量： $182\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)的质量分数是_____ (列出计算式)。

24. 某小组同学探究物质的溶解度大小与沉淀转化方向之间的关系。已知：

物质	BaSO_4	BaCO_3	AgI	AgCl
溶解度/g (20°C)	2.4×10^{-4}	1.4×10^{-3}	3.0×10^{-7}	1.5×10^{-4}

(1) 探究 BaCO_3 和 BaSO_4 之间的转化



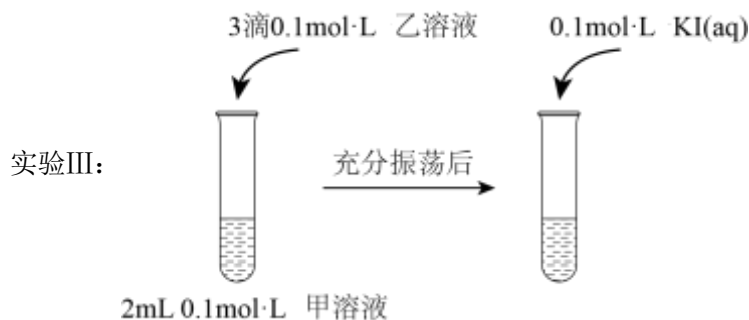
	试剂 A	试剂 B	试剂 C	加入盐酸后的现象
实验 I	BaCl_2	Na_2CO_3	Na_2SO_4



实验 II		Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	有少量气泡产生，沉淀部分溶解
-------	--	---------------------------------	---------------------------------	----------------

- ① 实验 I 说明 BaCO₃ 全部转化为 BaSO₄，依据的现象是加入盐酸后，_____。
- ② 实验 II 中加入稀盐酸后发生反应的离子方程式是_____。
- ③ 实验 II 说明沉淀发生了部分转化，结合 BaSO₄ 的沉淀溶解平衡解释原因：_____。

(2) 探究 AgCl 和 AgI 之间的转化



实验 IV: 在试管中进行溶液间反应时，同学们无法观察到 AgI 转化为 AgCl，于是又设计了如下实验（电压表读数： $a > c > b > 0$ ）。

装置	步骤	电压表读数
	i. 如图连接装置并加入试剂，闭合 K	a
	ii. 向 B 中滴入 AgNO ₃ (aq)，至沉淀完全	b
	iii. 再向 B 中投入一定量 NaCl (s)	c
	iv. 重复 i，再向 B 中加入与 iii 等量 NaCl (s)	a

注：其他条件不变时，参与原电池反应的氧化剂（或还原剂）的氧化性（或还原性）越强，原电池的电压越大；离子的氧化性（或还原性）强弱与其浓度有关。

- ① 实验 III 证明了 AgCl 转化为 AgI，甲溶液可以是_____（填序号）。
- a. AgNO₃ 溶液 b. NaCl 溶液 c. KI 溶液
- ② 实验 IV 的步骤 i 中，B 中石墨上的电极反应式是_____。
- ③ 结合信息，解释实验 IV 中 $b < a$ 的原因：_____。
- ④ 实验 IV 的现象能说明 AgI 转化为 AgCl，理由是_____。

(3) 综合实验 I ~ IV，可得出结论：_____。



参考答案

选择题(每小题 2 分, 共 40 分)

1. 【答案】A

【详解】A. $\text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 表示铵根的水解反应, A 符合;

B. $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{HClO}$ 表示氯气和水反应的离子方程式, B 不符合;

C. $\text{HSO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_3^{2-}$ 表示 HSO_3^- 的电离平衡, C 不符合;

D. $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ 表示碳酸氢根离子和氢离子反应的离子方程式, D 不符合;

答案选 A

2. 【答案】B

【详解】A. CH_3COOH 具有酸的通性, Fe 是比较活泼的金属, 醋酸溶液与 Fe 反应放出 H_2 , 但是不能证明其酸性强弱, 故 A 不选;

B. CH_3COOH 是一元弱酸, 电离产生的 H^+ 浓度小于酸的浓度, $0.1\text{mol/LCH}_3\text{COOH}$ 溶液中 $c(\text{H}^+) < 0.1\text{mol/L}$, 所以 pH 大于 1, 故 B 选;

C. CH_3COOH 溶液与 NaHCO_3 反应生成 CO_2 气体, 可以证明醋酸的酸性比碳酸强但是不能证明醋酸就是弱酸, 故 C 不选;

D. $0.1\text{mol/LCH}_3\text{COOH}$ 溶液可使紫色石蕊变红, 只能证明醋酸具有酸性, 不能证明其酸性强弱, 故 D 不选;

故合理选项是 B。

3. 【答案】C

【详解】A. 由水电离出的 $c(\text{H}^+) = 10^{-14} \text{mol/L}$, 水的电离受到抑制, 溶液可能是酸, 也可能是碱, 酸性条件 MnO_4^- 、 Cl^- 不能大量共存, A 错误;

B. $c(\text{Fe}^{3+}) = 0.1 \text{mol/L}$ 的溶液中, Fe^{3+} 与 I^- 不能大量共存, B 错误;

C. 使石蕊变蓝的溶液为碱性溶液, Na^+ 、 AlO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_3^{2-} 能大量共存, C 正确;

D. 无色溶液中 Al^{3+} 、 S^{2-} 可以发生双水解反应, 不能大量共存, D 错误;

故选 C。

4. 【答案】B

【详解】A. 催化剂 a 表面是氢气和氮气反应生成氨气, 催化剂 a 表面发生了非极性共价键 (氢氢键和氮氮键) 的断裂和极性键 (氮氢键) 的形成, 故 A 错误;

B. 据图可知 N_2 与 H_2 反应生成 NH_3 的过程中产物只有一种, 反应物全部转化, 原子利用率为 100%, 故 B 正确;

C. 化学键形成释放能量, 为放热过程, 故 C 错误;

D. 催化剂 a、b 改变反应速率, 但不改变化学平衡, 不能提高反应的平衡转化率, 故 D 错误;



故选：B。

5. 【答案】A

【详解】A. NH_3 生成的速率和 NH_3 分解的速率相等，说明正逆反应速率相等，反应达到平衡状态，故 A 正确；

B. 平衡时各物质的物质的量浓度的大小关系取决于物质的起始物质的量和转化率， N_2 、 H_2 、 NH_3 浓度相等时不能说明其浓度保持不变，故不能作为判断是否达到平衡状态的依据，B 错误；

C. 单位时间内生成 nmol N_2 是逆反应，同时生成 3nmol H_2 也是逆反应，不能说明正逆反应速率相等，故 C 错误；

D. N_2 、 H_2 、 NH_3 分子数之比为 1: 2: 3，并不能说明反应混合物各成份的浓度保持不变，不能作为判断是否达到平衡状态的依据，故 D 错误；

答案选 A。

【点睛】化学平衡状态是一个相对稳定的状态，并不是任意时刻的状态。反应混合物的浓度相等时，有可能是反应进行到某个时刻的状态，并不一定是平衡状态，只有确定各组分的浓度保持不变时，才能判断其为平衡状态。

6. 【答案】C

【详解】A. 水的电离吸热，温度升高，促进水电离， $c(\text{H}^+)$ 与 $c(\text{OH}^-)$ 增大，图中 $T > 25$ ，A 正确；

B. 由图可知，b 点溶液中的 $c(\text{H}^+)$ 比 a 点溶液中的 $c(\text{H}^+)$ 大，B 正确；

C. 加入 CH_3COONa 固体，有 CH_3COOH 分子生成，会使溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 增大， $c(\text{H}^+)$ 减小，不能实现 a 点到 b 点，C 错误；

D. ac 线上任一点对应的溶液中 $c(\text{H}^+)$ 与 $c(\text{OH}^-)$ 相等，溶液均呈中性，D 正确；

故选 C。

7. 【答案】D

【分析】

【详解】① NH_4Cl 与 ZnCl_2 均属于强酸弱碱盐，水解显酸性，氢离子可以和铁锈（主要成分为氧化铁）反应，因此二者均可作焊接金属时的除锈剂，与盐类水解有关；

② NaHCO_3 溶液显碱性， $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液显酸性，二者混合后，相互促进水解，且进行到底，生成氢氧化铝沉淀和二氧化碳气体，可以用作灭火，与盐类水解有关；

③ 草木灰主要成分为碳酸钾，水解后溶液显碱性；铵态氮肥含有铵根离子，水解后溶液显酸性，二者混合后，相互促进水解，生成一水合氨，其受热分解为氨气，导致肥效较低或丧失，二者不能混合施用，与盐类水解有关；

④ Na_2CO_3 溶液显碱性，能够与玻璃成分中的二氧化硅反应生成硅酸钠，有粘性，使磨口瓶塞和瓶颈粘在一起，不易打开，因此实验室中盛放 Na_2CO_3 溶液的试剂瓶不能用磨口玻璃塞，与盐类水解有关；

⑤ CuCl_2 属于强酸弱碱盐，氯化铜水解后产生氢氧化铜和盐酸，加热 CuCl_2 溶液，促进水解，氯化氢挥发掉，蒸干后得到 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 固体，与盐类水解有关；



⑥ Fe^{2+} 具有强的还原性，氯气具有氧化性， Fe^{2+} 可被氯气氧化为铁离子，可以达到除去 FeCl_3 溶液中混有的 Fe^{2+} 的目的，该过程为氧化还原反应，与盐类的水解无关；

与盐的水解有关的是①②③④⑤；

故选D。

8. 【答案】D

【详解】A. $\text{pH}=2$ 的盐酸，溶液中 $c(\text{H}^+)=10^{-2}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，故A正确；

B. 盐酸溶液中 OH^- 完全是由水电离产生，根据水的离子积， $c(\text{OH}^-)=\frac{K_w}{c(\text{H}^+)}=\frac{10^{-14}}{10^{-2}}\text{mol/L}=10^{-12}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，

故B正确；

C. 盐酸是强酸，因此稀释100倍，溶液的 $\text{pH}=2+2=4$ ，故C正确；

D. $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 是弱碱，部分电离， $\text{pH}=12$ 的氨水的浓度大于 $\text{pH}=2$ 的盐酸的浓度，反应后溶质为 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 、 NH_4Cl ， $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 的电离程度大于 NH_4^+ 的水解程度，溶液显碱性，故D错误；

答案选D。

9. 【答案】B

【详解】A. 调节溶液的 $\text{pH}>12$ ，则氢氧根离子浓度大于 10^{-2}mol/L ，则滤液中 $c(\text{Mg}^{2+})<$

$\frac{K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]}{c^2(\text{OH}^-)}=\frac{5.6\times 10^{-12}}{10^{-4}}=5.6\times 10^{-8}\text{mol/L}<1\times 10^{-5}\text{mol/L}$ ，A正确；

B. 由题意可知，加入过量饱和 BaCl_2 溶液后存在平衡： $\text{BaSO}_4(\text{s})\rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq})+\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ，故加入过量饱和 Na_2CO_3 溶液还会存在部分钡离子转化为碳酸钡，该平衡正向移动，溶液中 SO_4^{2-} 浓度增大，故还有反应：

$\text{BaSO}_4(\text{s})+\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})=\text{BaCO}_3(\text{s})+\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ，B错误；

C. 加入稀盐酸除去过量氢氧化钠、碳酸钠，加入盐酸发生的反应是 $2\text{H}^++\text{CO}_3^{2-}=\text{CO}_2\uparrow+\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}^++\text{OH}^-=\text{H}_2\text{O}$ ，C正确；

D. 流程中加入碳酸钠会将部分硫酸钡转化为碳酸钡沉淀同时生成硫酸根离子，故若步骤①加入 BaCl_2 溶液后进行过滤，可以避免样品中混入硫酸根离子，避免白色沉淀M的生成，D正确；

故选B。

10. 【答案】B

【详解】设稀硫酸的体积为a， NaOH 溶液的体积为b，两者混合后溶液的 $\text{pH}=7$ ，说明充分反应后 NaOH 溶液过量，则 $10^{-3}b-10^{-4}a=10^{-5}(a+b)$ ，解得 $a:b=9:1$ 。答案选B。

11. 【答案】D

【详解】A. 根据图像可知，温度升高，逆反应速率大于正反应速率，平衡向逆反应方向移动，则正反应为放热反应， $\Delta H<0$ ，故A错误；

B. 从图像可知，在 p_2 条件下曲线斜率大，反应到达平衡用得时间少，反应速率快，根据压强对反应速率的影响，压强越大反应速率越大，则 p_2 曲线压强大，根据反应方程式可以看出，物质D为固体，则增大压强平衡向正反应方向移动，反应物的含量减小，而图中达到平衡时反应物的浓度在两种不同压强下相同，是



不符合实际的，故 B 错误；

C. 乙酸和氨水都为弱电解质，二者反应生成醋酸铵为强电解质，溶液中离子浓度增大，导电性增强，故 C 错误；

D. CuSO_4 溶液中加入适量 CuO ，发生： $\text{CuO}+2\text{H}^+=\text{Cu}^{2+}+\text{H}_2\text{O}$ ，溶液中 H^+ 浓度减小，易于 Fe^{3+} 水解生成沉淀，当调节 pH 在 4 左右时， Fe^{3+} 全部水解生成沉淀而除去，故 D 正确；

答案选 D。

【点睛】本题主要考查了化学反应速率变化曲线及其应用体积百分含量随温度、压强变化曲线电解质溶液的导电性难溶电解质的溶解平衡及沉淀转化的本质等相关知识。

12. 【答案】D

【详解】A. 平衡常数只与温度相关，温度不变，K 不变，所以 $g=f$ ，故 A 错误；

B. 由表格中的数据可知，平衡常数随温度升高而增大，平衡正向移动，该反应的正反应是吸热反应，故 B 错误；

C. 因为正反应为吸热反应，所以 800°C 、相同压强时，A 的转化率最大，而反应前后气体的分子数相等，所以 800°C 时，三种压强下的 A 的转化率都相同，故 C 错误；

D. 1.5MPa 、 300°C 时，平衡常数 $b=16$ ，设平衡时体积为 V，B 的物质的量的变化量为 x，则达平衡时，A、

$$\text{B、D 的物质的量分别为 } 1-x、1-x、2 \times \frac{\left(\frac{2x}{V}\right)^4}{\left(\frac{1-x}{V}\right)^2 \left(\frac{1-x}{V}\right)^2} = 16, x=0.5\text{mol}, \text{ 则 B 的转化率为 } \frac{0.5\text{mol}}{1\text{mol}}$$

$\times 100\%=50\%$ ，故 D 正确；

故选：D。

13. 【答案】B

【详解】A. a 点处溶液的体积是原来的两倍， $c(\text{NH}_4^+)+c(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})=0.05\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，A 错误；

B. b 点处加入的氢氧化钠溶液的体积大于 100mL ，故 $c(\text{Na}^+)>c(\text{SO}_4^{2-})$ ， SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 均来自于 NH_4HSO_4 ，随着氢氧化钠溶液的加入，铵根的浓度的减小有两个原因，一是体积的增大，二是铵根和氢氧根反应，故 $c(\text{SO}_4^{2-})>c(\text{NH}_4^+)$ ，此时溶液中的 $c(\text{H}^+)=c(\text{OH}^-)=10^{-7}\text{mol/L}$ 浓度最小，B 正确；

C. 由起点到 a 发生反应的离子方程式为 $\text{H}^++\text{OH}^-=\text{H}_2\text{O}$ ，由 b 到 c 发生反应的离子方程式为 $\text{NH}_4^++\text{OH}^-=\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ，C 错误；

D. 加酸、碱均抑制水的电离，水解促进电离，a 点为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 Na_2SO_4 的混合溶液，b 点为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 Na_2SO_4 、氨水的混合溶液但此时溶液呈中性，c 点为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 和 Na_2SO_4 的混合溶液，d 点为 Na_2SO_4 和 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 的混合溶液，则 a 点水的电离程度最大，D 错误。

故选 B。

14. 【答案】D

【详解】A. 氯化铁电极为正极，碘化钾电极为负极，盐桥中阳离子向正极移动，所以向氯化铁溶液中迁移，正确；



- B. 反应开始时，因乙中 I 失去电子放电，元素的化合价升高，则发生氧化反应，B 正确；
- C. 当电流计为零时，说明没有电子发生转移，则反应达到平衡，正确；
- D. 当加入 Fe^{2+} ，导致平衡逆向移动，则 Fe^{2+} 失去电子生成 Fe^{3+} ，作为负极，而乙中石墨成为正极，错误，
- 故选 D。

15. 【答案】B

【详解】A、滴定开始时 0.1000mol/L 盐酸 $\text{pH}=1$ ，0.1000mol/L 醋酸 $\text{pH}>1$ ，所以滴定盐酸的曲线是图II，滴定醋酸的曲线是图I，错误；

B、醋酸钠水解呈碱性， $\text{pH}=7$ 时，滴定醋酸消耗的 $V(\text{NaOH})$ 小于 20mL，正确；

C、 $V(\text{NaOH})=20.00$ mL 时，二者反应生成氯化钠和醋酸钠，醋酸根发生水解，两份溶液中 $c(\text{Cl}^-) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ ，错误；

D、 $V(\text{NaOH})=10.00$ mL 时，溶液中恰好为同浓度的醋酸和醋酸钠，醋酸电离大于醋酸根的水解程度，溶液中离子浓度关系为 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{Na}^+) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$ ，错误。

16. 【答案】D

【分析】实验发生反应 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{SO}_2 \uparrow + \text{S} \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ，浑浊是因为生成了硫单质，浑浊度代表生成硫单质的速率。

【详解】A. 因避免溶液总体积不同对实验造成干扰，总体积应相同故实验③ $x=8$ ，A 正确；

B. 实验①②③其他条件相同，随着 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 浓度增大，反应速率加快，实验③④⑤其他条件相同，随着 H_2SO_4 浓度减小，反应速率减慢，说明增大反应物浓度可增大该反应速率，B 正确；

C. 由①②③和③④⑤的速率变化图像可知，降低 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液浓度比降低 H_2SO_4 溶液浓度对该反应化学反应速率影响程度更大，C 正确；

D. 将装有实验②的试剂的试管浸泡在热水中一段时间，温度升高，反应速率加快，浑浊度曲线变化应更快，D 错误；

故选 D。

17. 【答案】B

【详解】A. 增大 γ -羟基丁酸的浓度可以使平衡正向移动， γ -丁内酯的产量增加，但不能提高 γ -丁内酯的产率，A 错误；

B. 该反应的平衡常数 $K = \frac{[\gamma\text{-丁内酯}]}{[\gamma\text{-羟基丁酸}]} = \frac{0.132}{0.180 - 0.132} = 2.75$ ，B 正确；

C. 反应至 120 min 时， γ -丁内酯的浓度为 $0.090 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，反应了的 γ -羟基丁酸的浓度为 $0.090 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，转化率为 $\frac{0.09}{0.18} \times 100\% = 50\%$ ，C 错误；

D. $80 \sim 120$ min， $\Delta c(\gamma\text{-丁内酯}) = (0.09 - 0.071) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，平均反应速率： $v(\gamma\text{-丁内酯}) =$

$\frac{\Delta c}{t} = \frac{0.019 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{40 \text{ min}} = 4.75 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，D 错误；



答案选 B。

18. 【答案】A

【详解】①该反应是放热反应，升高温度，平衡逆向移动，①正确；

②向溶液中加入少量碳酸钠粉末，碳酸根与钙离子结合形成沉淀，钙离子浓度减小，②错误；

③要除去氯化钠溶液中混有的少量钙离子，向溶液中加入适量的 NaOH 溶液，有氢氧化钙生成，但氢氧化钙的溶度积较大，应将钙离子转化为更难溶的碳酸钙沉淀，③错误；

④恒温下，向悬浊液中加入 CaO，溶解的氢氧化钙以达到饱和，溶液的 $c(\text{Ca}^{2+})$ 不变，④错误；

⑤给溶液加热，该反应为放热反应，平衡逆向移动，氢氧根浓度减小，溶液的 pH 下降，⑤错误；

⑥向溶液中加入 Na_2CO_3 溶液，生成碳酸钙沉淀，固体质量增加，⑥正确；

⑦向溶液中加入少量 NaOH 固体，平衡逆向移动， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 固体质量增加，⑦错误；

正确的有①⑥，故选 A。

19. 【答案】C

【分析】本题应该从题目所给的图入手，寻找特定数据判断题目中的沉淀滴定的具体过程。注意：横坐标是加入的硝酸银溶液的体积，纵坐标是氯离子浓度的负对数。

【详解】A. 选取横坐标为 50mL 的点，此时向 50mL 0.05mol/L 的 Cl^- 溶液中，加入了 50mL 0.1mol/L 的 AgNO_3 溶液，所以计算出此时溶液中过量的 Ag^+ 浓度为 0.025mol/L（按照银离子和氯离子 1:1 沉淀，同时不要忘记溶液体积变为原来 2 倍），由图示得到此时 Cl^- 约为 1×10^{-8} mol/L（实际稍小），所以 $K_{\text{SP}}(\text{AgCl})$ 约为 $0.025 \times 10^{-8} = 2.5 \times 10^{-10}$ ，所以其数量级为 10^{-10} ，选项 A 正确；

B. 由于 $K_{\text{SP}}(\text{AgCl})$ 极小，所以向溶液滴加硝酸银就会有沉淀析出，溶液一直是氯化银的饱和溶液，所以 $c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) = K_{\text{SP}}(\text{AgCl})$ ，选项 B 正确；

C. 滴定的过程是用硝酸银滴定氯离子，所以滴定的终点应该由原溶液中氯离子的物质的量决定，将 50mL 0.05mol/L 的 Cl^- 溶液改为 50mL 0.04mol/L 的 Cl^- 溶液，此时溶液中的氯离子的物质的量是原来的 0.8 倍，所以滴定终点需要加入的硝酸银的量也是原来的 0.8 倍，因此应该由 c 点的 25mL 变为 $25 \times 0.8 = 20$ mL，而 a 点对应的是 15mL，选项 C 错误；

D. 卤化银从氟化银到碘化银的溶解度应该逐渐减小，所以 $K_{\text{SP}}(\text{AgCl})$ 应该大于 $K_{\text{SP}}(\text{AgBr})$ ，将 50mL 0.05mol/L 的 Cl^- 溶液改为 50mL 0.05mol/L 的 Br^- 溶液，这是将溶液中的氯离子换为等物质的量的溴离子，因为银离子和氯离子或溴离子都是 1:1 沉淀的，所以滴定终点的横坐标不变，但是因为溴化银更难溶，所以终点时，溴离子的浓度应该比终点时氯离子的浓度更小，所以有可能由 a 点变为 b 点。选项 D 正确；

故答案选 C。

【点睛】本题虽然选择了一个学生不太熟悉的滴定过程——沉淀滴定，但是其内在原理实际和酸碱中和滴定是一样的。这种滴定的理论终点都应该是恰好反应的点，酸碱中和滴定是酸碱恰好中和，沉淀滴定就是恰好沉淀，这样就能判断溶液发生改变的时候，滴定终点如何变化了。

20. 【答案】C

【详解】A. 由图可知，温度越高， CO_2 的转化率越小，平衡逆向移动，所以反应 I 为放热反应，反应 II



为吸热反应，A 错误；

B. 由图可知，当温度高于 250°C，CO₂ 的转化率随温度的升高而增大，则 250°C 以后以反应 II 为主，B 错误；

C. T°C，CO₂ 转化率为 50%，平均相对分子质量为 20，混合气体总物质的量为： $\frac{44+2 \times 2}{20} = 2.4 \text{ mol}$

则 CO₂ 为 0.5 mol，设甲醇为 x mol，CO 为 y mol，x+y=0.5，n(H₂)=2-(3x+y)，n(H₂O)=x+y，

n(CH₃OH)+n(CO)+n(CO₂)+n(H₂)+n(H₂O)=2.4，计算 n(CH₃OH)=0.3 mol，n(CO)=0.2 mol，甲醇

的选择性为 $\frac{0.3}{0.5} \times 100\% = 60\%$ ，C 正确；

D. 因为反应 I 为放热反应，升高温度，CO₂ 的平衡转化率降低，D 错误；

故选 C。

二、填空题(共 60 分)

21. 【答案】(1) ①. $\text{H}_2\text{S} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{HS}^-$ ②. $K = \frac{10^{-7}}{4.7 \times 10^{-11}} \approx 2.13 \times 10^3$

(2) ①. 1:10 ②. HS⁻ 水解平衡常数 $K_h = \frac{K_w}{K_{a1}(\text{H}_2\text{S})} = \frac{10^{-14}}{10^{-7}} = 10^{-7} > K_{a2} = 10^{-12.9}$ ，可知水解程度大于电

离程度，则水解生成的 c(OH⁻)>c(H⁺)，溶液呈碱性

(3) ①. 降低 ②. 废水中存在水解平衡： $\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{OH}^-$ ，加入适量 Cu²⁺ 的溶液，发生反应： $\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{CuS} \downarrow$ ，生成黑色 CuS 沉淀；S²⁻ 浓度减小，水解平衡逆向移动，导致 c(OH⁻)减小，pH 值降低

(4) ①. $2\text{HS}^- + \text{SO}_3^{2-} + 4\text{H}^+ = 3\text{S} \downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$ ②. pH<5 时，溶液中-2 价 S 元素主要以 H₂S 的形式存在，常温下 H₂S 的溶解度为 1 : 2.6，酸性强使 H₂S 更易逸出，H₂S 有剧毒会污染环境

【小问 1 详解】

由图可知 H₂S 的 $K_{a1} = \frac{c(\text{HS}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{S})}$ ，pH=7 时，c(HS⁻)=c(H₂S)，此时 $K_{a1} = c(\text{H}^+) = 10^{-7}$ ；同理

$K_{a2} = 10^{-12.9}$ ，由电离平衡常数可知酸性： $\text{H}_2\text{CO}_3 > \text{H}_2\text{S} > \text{HCO}_3^- > \text{HS}^-$ ；依据强酸制弱酸原理，过量的

Na₂CO₃ 溶液吸收天然气中的 H₂S 的离子方程式是 $\text{H}_2\text{S} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{HS}^-$ ；该反应对应的化学平衡

常数 $K = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{HS}^-)}{c(\text{H}_2\text{S}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})} = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{HS}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{S}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot c(\text{H}^+)} = \frac{K_{a1}(\text{H}_2\text{S})}{K_{a2}(\text{HCO}_3^-)} = \frac{10^{-7}}{4.7 \times 10^{-11}} \approx 2.13 \times 10^3$ ；

【小问 2 详解】

①当 pH ≈ 8 时，含硫废水中 H₂S、HS⁻ 的浓度比等于 $\frac{c(\text{HS}^-)}{c(\text{H}_2\text{S})} = \frac{K_{a1}}{c(\text{H}^+)} = \frac{10^{-7}}{10^{-8}} = 10:1$ ，故 $\frac{c(\text{H}_2\text{S})}{c(\text{HS}^-)} = \frac{1}{10}$ ；

②NaHS 溶液存在 HS⁻ 的电离平衡和水解平衡 $\text{HS}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} + \text{OH}^-$ ，其水解平衡常数 $K_h =$



$\frac{K_w}{K_{a1}(\text{H}_2\text{S})} = \frac{10^{-14}}{10^{-7}} = 10^{-7} > K_{a2} = 10^{-12.9}$, 可知水解程度大于电离程度, 则水解生成的 $c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$, 溶液呈碱性;

【小问 3 详解】

含硫废水中存在水解平衡: $\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{OH}^-$, 加入适量 Cu^{2+} 的溶液, 发生反应:

$\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{CuS} \downarrow$, 生成黑色 CuS 沉淀; S^{2-} 浓度减小, 水解平衡逆向移动, 导致 $c(\text{OH}^-)$ 减小, pH 值降低;

【小问 4 详解】

① $\text{pH}=9$ 为硫氢根离子与亚硫酸根离子在酸性条件下发生氧化还原反应生成 S 单质黄色沉淀, 反应离子方程式为: $2\text{HS}^- + \text{SO}_3^{2-} + 4\text{H}^+ = 3\text{S} \downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$;

② $\text{pH} < 5$ 时, 溶液中 -2 价 S 元素主要以 H_2S 的形式存在, 常温下 H_2S 的溶解度为 $1:2.6$, 酸性强使 H_2S 更易逸出, H_2S 有剧毒会污染环境。

22. 【答案】(1) ①. -241.6kJ/mol ②. 高于 150°C , 温度升高, 反应 a 的速率增大, $c(\text{O}_3)$ 减小, 反应 b 和 c 的速率减小, 导致 SO_2 和 NO 的转化率均降低 ③. 反应 b 的活化能小于反应 c, 反应 b 的速率大于反应 c, 因此 NO 的转化率高于 SO_2

(2) ①. 溶液中存在: $\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HSO}_3^- + \text{OH}^-$ 、 $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$, SO_3^{2-} 的水解程度大于 NH_4^+ 的水解程度, 使溶液显碱性 ②. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 溶液直接与 SO_2 反应是脱除 SO_2 的主要原因

③. $2\text{NO}_2 + 3\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NO}_2^- + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{HSO}_3^-$ ④. $\text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ = \text{N}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

【小问 1 详解】

① 已知: 反应 a: $2\text{O}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 = -286.6\text{kJ/mol}$,

$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -196.6\text{kJ/mol}$, 根据盖斯定律, 将两反应相加再除以 2 得反应

$\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$, $\Delta H_3 = \frac{1}{2}(\Delta H_1 + \Delta H) =$

$\frac{1}{2}[(-286.6\text{kJ/mol}) + (-196.6\text{kJ/mol})] = -241.6\text{kJ/mol}$, 故答案为: -241.6kJ/mol 。

② 反应 a 为气体分子数增大的反应, $\Delta S > 0$, 较高温度下更有利于反应 a 进行, 所以在其他条件不变时, 高于 150°C , 温度升高, 反应 a 的速率增大, $c(\text{O}_3)$ 减小, 导致反应 b 和 c 的速率减小, SO_2 和 NO 的转化率均降低, 故答案为: 高于 150°C , 温度升高, 反应 a 的速率增大, $c(\text{O}_3)$ 减小, 反应 b 和 c 的速率减小, 导致 SO_2 和 NO 的转化率均降低。

③ 由表中数据可知, 反应 b 的活化能小于反应 c, 则反应 b 的速率大于反应 c, 因此 NO 的转化率高于 SO_2 , 故答案为: 反应 b 的活化能小于反应 c, 反应 b 的速率大于反应 c, 因此 NO 的转化率高于 SO_2 。

【小问 2 详解】

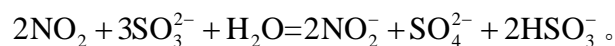


① $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 溶液中存在： $\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HSO}_3^- + \text{OH}^-$ 、 $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$ ， SO_3^{2-} 的水解程度大于 NH_4^+ 的水解程度，使溶液显碱性，故答案为：溶液中存在：

$\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HSO}_3^- + \text{OH}^-$ 、 $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$ ， SO_3^{2-} 的水解程度大于 NH_4^+ 的水解程度，使溶液显碱性。

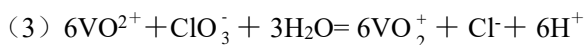
② O_3 的浓度很低时， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 溶液直接与 SO_2 反应是脱除 SO_2 的主要原因，即 SO_2 的脱除率几乎不受 O_3 的浓度的影响， SO_2 的脱除率超过 97%，故答案为： $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 溶液直接与 SO_2 反应是脱除 SO_2 的主要原因。

③ SO_3^{2-} 与 NO_2 反应氧化还原反应生成 NO_2^- 和 SO_4^{2-} ，根据得失电子守恒、电荷守恒及原子守恒，写出反应的离子方程式是为 $2\text{NO}_2 + 3\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NO}_2^- + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{HSO}_3^-$ ，故答案为：



④吸收过程中，部分 NH_4^+ 和 NO_2^- 发生归中反应生成 N_2 和 H_2O ，反应中 NH_4^+ 和 N_2 的物质的量之比为 1:1，根据得失电子守恒、电荷守恒及原子守恒，写出反应的离子方程式为 $\text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ = \text{N}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ，故答案为： $\text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ = \text{N}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

23. 【答案】(1) ①. 粉碎废钒 ②. 搅拌；适当升温



(4) 作用 1：溶液中存在平衡： $\text{VO}_2^+ + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{VO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ ，加入氨水，使 OH^- 浓度增大，该平衡正移，从而使 VO_2^+ 尽可能都转化为 VO_3^- ；作用 2：溶液中存在平衡： $\text{NH}_4\text{VO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{VO}_3^-(\text{aq})$ ，加入氨水，使 NH_4^+ 浓度增大，该平衡逆移，从而使 NH_4VO_3 尽可能沉淀析出

(5) ①. 原因 1：温度升高， NH_4VO_3 溶解度增大，沉钒率下降 ②. 原因 2：温度升高，氨水受热分解逸出溶液，使 NH_4^+ 浓度下降，沉钒率下降

原因 3：温度升高，氨水受热分解逸出溶液，使 OH^- 浓度下降， $\text{VO}_2^+ + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{VO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ ，该平衡逆移，导致 VO_3^- 浓度下降，沉钒率下降

原因 4：平衡 $\text{VO}_2^+ + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{VO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ ，正反应可能是放热反应，温度升高，该平衡逆移，导致 VO_3^- 浓度下降，沉钒率下降

(6)
$$\frac{182(c_1b_1 - 2.5c_2b_2)}{1000a}$$

【分析】废钒催化剂粉碎、水浸，将溶解性物质 VOSO_4 溶于水，然后过滤得到滤渣和滤液，根据溶解性表



知，滤液中含有 VOSO_4 ，滤渣中含有 V_2O_5 等不溶性杂质，向滤渣中加入亚硫酸钠和稀硫酸，亚硫酸钠具有还原性，能将 V_2O_5 还原为 VOSO_4 ，然后过滤得到滤渣和滤液，将两部分滤液混合并加入氯酸钾，氯酸钾具有氧化性，能将 VOSO_4 氧化为 $(\text{VO}_2)_2\text{SO}_4$ ，加入氨水，得到难溶性的 NH_4VO_3 ，焙烧 NH_4VO_3 得到 V_2O_5 ，以此解答该题。

【小问 1 详解】

水浸时，为了提高废钒的浸出率，可粉碎废钒、搅拌，适当升高温度，延长浸泡时间；答案为：粉碎废钒、搅拌、适当升温

【小问 2 详解】

滤渣 1 的成分为 V_2O_5 、不溶性硅酸盐，因为滤液 1 和滤液 2 中钒的存在形式相同，所以滤渣 1 的成分中的 V_2O_5 与亚硫酸钠、硫酸反应生成 VOSO_4 ，发生反应的化学方程式为 $\text{V}_2\text{O}_5 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{VOSO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ；

【小问 3 详解】

生成 VO_2^+ 的反应中消耗 1mol KClO_3 时转移 6mol 电子，故 ClO_3^- 被还原为 Cl^- ，反应的离子方程式为 $6\text{VO}^{2+} + \text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} = 6\text{VO}_2^+ + \text{Cl}^- + 6\text{H}^+$ ；

【小问 4 详解】

含 VO^{2+} 的溶液中加入氨水生成 NH_4VO_3 ，用平衡移动原理解释其作用，作用 1：溶液中存在平衡： $\text{VO}_2^+ + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{VO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ ，加入氨水，使 OH^- 浓度增大，该平衡正移，从而使 VO_2^+ 尽可能都转化为 VO_3^- ；作用 2：溶液中存在平衡： $\text{NH}_4\text{VO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{VO}_3^-(\text{aq})$ ，加入氨水，使 NH_4^+ 浓度增大，该平衡逆移，从而使 NH_4VO_3 尽可能沉淀析出；

【小问 5 详解】

随着温度的升高，物质的溶解度越大，温度升高氨气的溶解度降低，故温度超过 80°C 以后，沉钒率下降的可能原因是：

原因 1：温度升高， NH_4VO_3 溶解度增大，沉钒率下降；

原因 2：温度升高，氨水受热分解逸出溶液，使 NH_4^+ 浓度下降，沉钒率下降

原因 3：温度升高，氨水受热分解逸出溶液，使 OH^- 浓度下降， $\text{VO}_2^+ + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{VO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ ，该平衡逆移，导致 VO_3^- 浓度下降，沉钒率下降

原因 4：平衡 $\text{VO}_2^+ + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{VO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ ，正反应可能是放热反应，温度升高，该平衡逆移，导致 VO_3^- 浓度下降，沉钒率下降；

【小问 6 详解】

根据元素化合价升降相同，滴定过程有 $2\text{KMnO}_4 \sim 5\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ，则过量的 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 物质的量为 $n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{5}{2}$



$n(\text{KMnO}_4) = \frac{5}{2} b_2 c_2 \times 10^{-3} \text{mol}$, 则与 $(\text{VO}_2)_2\text{SO}_4$ 溶液反应的 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 物质的量为 $(b_1 c_1 - \frac{5}{2} b_2 c_2) \times 10^{-3} \text{mol}$, 根据方

程式可得 $2 \text{VO}_2^+ \sim \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, 根据钒守恒可知, $n(\text{V}_2\text{O}_5) = n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = (b_1 c_1 - \frac{5}{2} b_2 c_2) \times 10^{-3} \text{mol}$, 则产品中 V_2O_5

的质量分数是 $\frac{\left(b_1 c_1 - \frac{5}{2} b_2 c_2\right) \times 10^{-3} \text{mol} \times 182 \text{g/mol}}{a \text{g}} = \frac{182 \left(c_1 b_1 - 2.5 c_2 b_2\right)}{1000 a}$ 。

24. 【答案】 ①. 沉淀不溶解或无明显现象 ②. $\text{BaCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ ③. BaSO_4 在溶液中存在 $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, 当加入浓度较高的 Na_2CO_3 溶液, CO_3^{2-} 与 Ba^{2+} 结合生成 BaCO_3 沉淀, 使上述平衡向右移动 ④. b ⑤. $2\text{I}^- - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{I}_2$ ⑥. 由于生成 AgI 沉淀使 B 的溶液中 $c(\text{I}^-)$ 减小, I^- 还原性减弱 ⑦. 实验 iv 表明 Cl^- 本身对该原电池电压无影响, 则 $c > b$ 说明加入 Cl^- 使 $c(\text{I}^-)$ 增大, 证明发生了 $\text{AgI} + \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{AgCl} + \text{I}^-$ ⑧. 溶解度小的沉淀容易转化成溶解度更小的沉淀, 反之则不易; 溶解度差别越大, 由溶解度小的沉淀转化为溶解度较大的沉淀越难实现

【详解】 ①因为 BaCO_3 能溶于盐酸, 放出 CO_2 气体, BaSO_4 不溶于盐酸, 所以实验 I 说明全部转化为 BaSO_4 , 依据的现象是加入盐酸后, 沉淀不溶解或无明显现象。答案: 沉淀不溶解或无明显现象。

② 实验 II 是 BaCl_2 中加入 Na_2SO_4 和 Na_2CO_3 产生 BaSO_4 和 BaCO_3 , 再加入稀盐酸有少量气泡产生, 沉淀部分溶解, 是 BaCO_3 和盐酸发生反应产生此现象, 所以反应的离子方程式为: $\text{BaCO}_3 + 2\text{H}^+ = \text{Ba}^{2+} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 。答案: $\text{BaCO}_3 + 2\text{H}^+ = \text{Ba}^{2+} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 。

③ 由实验 II 知 A 溶液为 3 滴 0.1mol/L BaCl_2 , B 为 $2 \text{mL} 0.1 \text{mol/L}$ 的 Na_2SO_4 溶液, 根据 $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4 \downarrow$, 所以溶液中存在着 $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, 当加入浓度较高的 Na_2CO_3 溶液, CO_3^{2-} 与 Ba^{2+} 结合生成 BaCO_3 沉淀, 使上述平衡向右移动。所以 BaSO_4 沉淀也可以转化为 BaCO_3 沉淀。答案: BaSO_4 在溶液中存在 $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, 当加入浓度较高的 Na_2CO_3 溶液, CO_3^{2-} 与 Ba^{2+} 结合生成 BaCO_3 沉淀, 使上述平衡向右移动。

(2) ①甲溶液可以是 NaCl 溶液, 滴入少量的 AgNO_3 溶液后产生白色沉淀, 再滴入 KI 溶液有黄色沉淀产生。说明有 AgCl 转化为 AgI 。故答案为 b。

② 实验 IV 的步骤 i 中, B 中为 0.01mol/L 的 KI 溶液, A 中为 0.1mol/L 的 AgNO_3 溶液, Ag^+ 具有氧化性, 作原电池的正极, I^- 具有还原性, 作原电池的负极, 所以 B 中石墨上的电极反应式是 $2\text{I}^- - 2\text{e}^- = \text{I}_2$ 。答案: $2\text{I}^- - 2\text{e}^- = \text{I}_2$ 。

③ 由于 AgI 的溶解度小于 AgCl , B 中加入 AgNO_3 溶液后, 产生了 AgI 沉淀, 使 B 的溶液中 $c(\text{I}^-)$ 减小, I^- 还原性减弱, 根据已知其他条件不变时, 参与原电池反应的氧化剂 (或还原剂) 的氧化性 (或还原性) 越强, 原电池的电压越大, 而离子的浓度越大, 离子的氧化性 (或还原性) 强。所以实验 IV 中 $b < a$ 。答案: 由于生成 AgI 沉淀使 B 的溶液中 $c(\text{I}^-)$ 减小, I^- 还原性减弱。

④ 虽然 AgI 的溶解度小于 AgCl , 但实验 IV 中加入了 $\text{NaCl}(\text{s})$, 原电池的电压 $c > b$, 说明 $c(\text{Cl}^-)$ 的浓度增大, 说明发生了 $\text{AgI} + \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{AgCl} + \text{I}^-$ 反应, 平衡向右移动, $c(\text{I}^-)$ 增大。答案: 实验 iv 表明 Cl^- 本身对该原电池电压无影响, 则 $c > b$ 说明加入 Cl^- 使 $c(\text{I}^-)$ 增大, 证明发生了 $\text{AgI} + \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{AgCl} + \text{I}^-$ 。



(3) 综合实验I~IV, 可得出溶解度小的沉淀容易转化成溶解度更小的沉淀, 反之则不易; 溶解度差别越大, 由溶解度小的沉淀转化为溶解度较大的沉淀越难实现。答案: 溶解度小的沉淀容易转化成溶解度更小的沉淀, 反之则不易; 溶解度差别越大, 由溶解度小的沉淀转化为溶解度较大的沉淀越难实现。