



氧族元素及其化合物综合探究

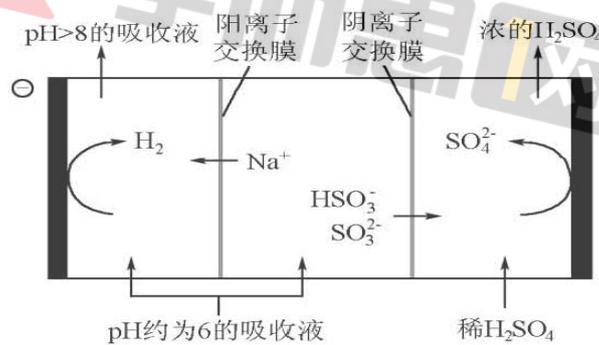
例题讲解

【例 1】直接排放含 SO₂ 的烟气会形成酸雨，危害环境。利用钠碱循环法可脱除烟气中的 SO₂，

- (1) 用化学方程式表示 SO₂ 形成硫酸型酸雨的反应:_____。
- (2) 在钠碱循环法中，Na₂SO₃ 溶液作为吸收液，可由 NaOH 溶液吸收 SO₂ 制得，该反应的离子方程式是_____。
- (3) 吸收液吸收 SO₂ 的过程中，pH 随 n(SO₃²⁻):n(HSO₃⁻) 变化关系如下表:

n(SO ₃ ²⁻):n(HSO ₃ ⁻)	91: 9	1: 1	1: 91
pH	8.2	7.2	6.2

- ①上表判断 NaHSO₃ 溶液显_____性，用化学平衡原理解释:_____。
- ②当吸收液呈中性时，溶液中离子浓度关系正确的是(选填字母):_____。
- a. $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{HSO}_3^-)$ ，
- b. $c(\text{Na}^+) > c(\text{HSO}_3^-) > c(\text{SO}_3^{2-}) > c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$
- c. $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{OH}^-)$
- (4) 当吸收液的 pH 降至约为 6 时，需送至电解槽再生。再生示意图如下:



- ①HSO₃⁻ 在阳极放电的电极反应式是_____。
- ②当阴极室中溶液 pH 升至 8 以上时，吸收液再生并循环利用。简述再生原理:_____。

【来源】2012 年北京



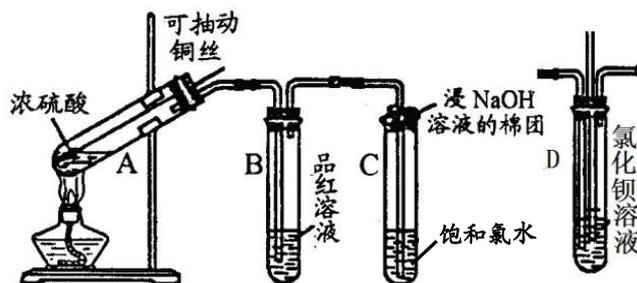
(3) ①酸，HSO₃⁻ 存在: $\text{HSO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-}$ 和 $\text{HSO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{OH}^-$ ，而 HSO₃⁻ 的电离程度强于水解程度。

②ab



②H⁺ 在阴极得电子生 H₂，溶液中的 c(H⁺) 减少，促使 HSO₃⁻ 电离生成 SO₃²⁻ 且 Na⁺ 进入阴极室吸收液得以再生。

【例2】下图是研究铜与浓硫酸的反应装置：



- (1) A试管中发生反应的化学方程式为_____。
- (2) 反应一段时间后，可观察到B试管中的现象为_____。
- (3) C试管口浸有NaOH溶液的棉团作用是_____。
- (4) 如将B试管换成D试管，并从直立导管中向BaCl₂溶液中通入另一种气体，产生白色沉淀，则气体可以是_____、_____。（要求填一种化合物和一种单质的化学式；如有需要，可加装防倒吸装置。）
- (5) 实验结束后，证明A试管中反应所得产物是否含有铜离子的操作方法是_____。
- (6) 在铜与浓硫酸反应的过程中，发现有黑色物质出现，经查阅文献获得下列资料。

资料1	硫酸浓度mol/L	黑色物质出现的温度/℃	黑色物质消失的温度/℃
	15	约150	约236
	16	约140	约250
	18	约120	不消失
附表 铜与浓硫酸反应产生黑色物质的相关性质			
资料2	X射线晶体分析表明，铜与浓硫酸反应生成的黑色物质为Cu ₂ S、CuS、Cu ₇ S ₄ 中的一种或几种。		

仅由上述资料可得出的正确结论是_____。

- a. 铜与浓硫酸反应时所涉及的反应可能不止一个
- b. 硫酸浓度选择适当，可避免最后产物中出现黑色物质
- c. 该反应发生的条件之一是硫酸浓度 $\geq 15 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- d. 硫酸浓度越大，黑色物质越快出现、越难消失

【来源】2014 石景山一模

【答案】



(2) 溶液由红色变成无色

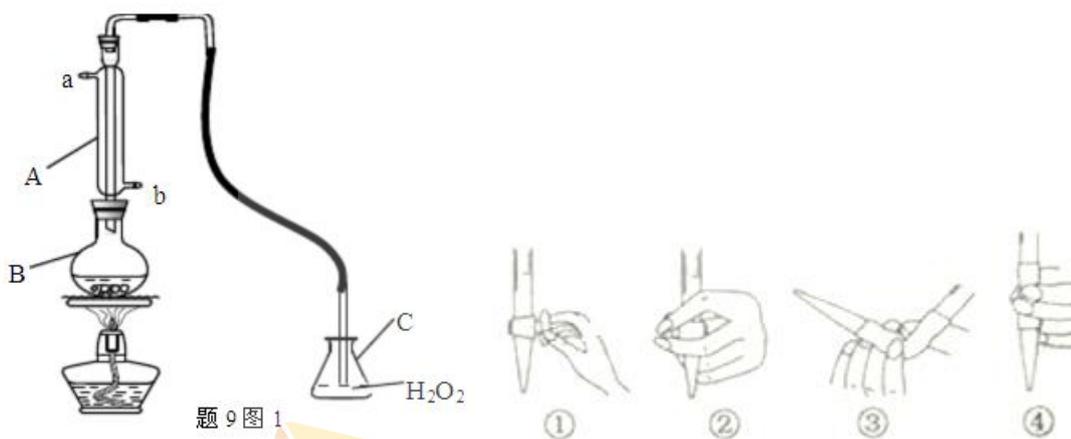
(3) 吸收 Cl₂ 和 SO₂，防止污染空气

(4) NH₃ (NO₂ 或 ClO₂)； Cl₂ (O₃ 或 O₂ 或 Br₂ 蒸汽)

(5) 向上拉铜丝，终止反应，冷却后，将 A 中溶液慢慢倒入盛有少量水的烧杯（试管）里，观察溶液颜色是否为蓝色。

(6) a b d

【例 3】 中华人民共和国国家标准（GB2760-2011）规定葡萄酒中 SO_2 的最大使用量为 $0.25\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。某兴趣小组用题 9 图 1 装置（夹持装置略）收集某葡萄酒中 SO_2 ，并对其含量进行测定。



题 9 图 1

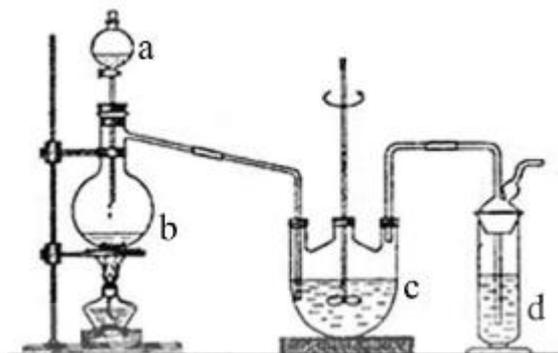
- 仪器 A 的名称是_____，水通入 A 的进口为_____。
- B 中加入 300.00mL 葡萄酒和适量盐酸，加热使 SO_2 全部逸出并与 C 中 H_2O_2 完全反应，其化学方程式为_____。
- 除去 C 中过量的 H_2O_2 ，然后用 $0.0900\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 标准溶液进行滴定，滴定前排气泡时，应选择题 9 图 2 中的_____；若滴定终点时溶液的 $\text{pH}=8.8$ ，则选择的指示剂为_____；若用 50mL 滴定管进行实验，当滴定管中的液面在刻度“10”处，则管内液体体积_____（填序号）（①=10mL，②=40 mL，③<10 mL，④>40 mL）。
- 滴定至终点时，消耗 NaOH 溶液 25.00mL，该葡萄酒中 SO_2 含量为_____ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。
- 该测定结果比实际值偏高，分析原因并利用现有装置提出改进措施_____。

【来源】 2014 重庆卷

【答案】

- 冷凝管 b （解析：冷凝管下进上出，使冷凝效果更充分）
- $\text{SO}_2+\text{H}_2\text{O}_2=\text{H}_2\text{SO}_4$
- ③酚酞④
- 0.24（解析：由系列反应可知关系： SO_2-2NaOH ，带入数值即可计算）
- 盐酸挥发，用不挥发性酸代替盐酸（解析：气体中可能存在由盐酸挥发出的 HCl 气体，会消耗 NaOH，所以需要排除 HCl 的干扰）

【例 4】 硫代硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 可用做分析试剂及鞣革的还原剂, 它受热、遇酸易分解。工业上可用反应: $2\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + 4\text{SO}_2 \rightleftharpoons 3\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2$ 制得, 实验室模拟该工业过程的装置如图所示, 回答下列问题:



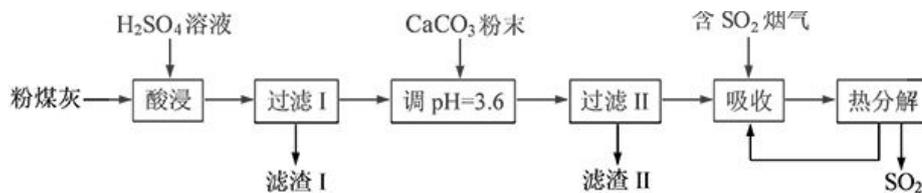
- (1) b 中反应的离子方程式为_____，c 中试剂为_____。
- (2) 反应开始后，c 中先有浑浊产生，后又变为澄清，此浑浊物是_____。
- (3) d 中的试剂为_____。
- (4) 实验中要控制 SO_2 生成速率，可采取的措施有_____ (写出两条)
- (5) 为了保证硫代硫酸钠的产量，实验中通入 SO_2 不能过量，原因是_____。

【来源】 2014 海南卷

【答案】

- (1) $\text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{SO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{HSO}_3^- + \text{H}^+ = \text{SO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$; 硫化钠和碳酸钠混合溶液;
- (2) 硫;
- (3) NaOH 溶液;
- (4) 控制反应温度、调节酸的滴加速度 (或调节酸的浓度等);
- (5) 若 SO_2 过量，溶液显酸性，产物分解;

【例 5】 烟气脱硫能有效减少二氧化硫的排放。实验室用粉煤灰 (主要含 Al_2O_3 、 SiO_2 等) 制备碱式硫酸铝 $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_x(\text{OH})_{6-2x}]$ 溶液，并用于烟气脱硫研究。



- (1) 酸浸时反应的化学方程式为_____；滤渣 I 的主要成分为_____ (填化学式)。
- (2) 加 CaCO_3 调节溶液的 pH 至 3.6，其目的是中和溶液中的酸，并使 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 转化为 $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_x(\text{OH})_{6-2x}]$ 。滤渣 II 的主要成分为_____ (填化学式)；若溶液的 pH 偏高，将会导致溶液中铝元素的含量降低，其原因是_____ (用离子方程式表示)。
- (3) 上述流程中经完全热分解放出的 SO_2 量总是小于吸收的 SO_2 量，其主要原因是_____；与吸收 SO_2 前的溶液相比，热分解后循环利用的溶液的 pH 将_____ (填“增大”、“减小”或“不变”)。

【来源】 2014 江苏卷

【答案】

- (1) $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ SiO_2
 (2) CaSO_4 $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{CaSO}_4 + 3\text{CO}_2 \uparrow$
 (3) 溶液中的部分 SO_3^{2-} 被氧化成 SO_4^{2-} 减小

【例 6】 过氧化氢是重要的氧化剂、还原剂，它的水溶液又称为双氧水，常用作消毒、杀菌、漂白等。某化学兴趣小组取一定量的过氧化氢溶液，准确测定了过氧化氢的含量，并探究了过氧化氢的性质。

I. 测定过氧化氢的含量，请填写下列空白：

- (1) 移取 10.00 mL 密度为 ρ g/mL 的过氧化氢溶液至 250 mL _____ (填仪器名称) 中，加水稀释至刻度，摇匀。移取稀释后的过氧化氢溶液 25.00 mL 至锥形瓶中，加入稀硫酸酸化，用蒸馏水稀释，作被测试样。
- (2) 用高锰酸钾标准溶液滴定被测试样，其反应的离子方程式如下，请将相关物质的化学计量数及化学式填写在方框里。
- _____ MnO_4^- + _____ H_2O_2 + _____ H^+ = _____ Mn^{2+} + _____ H_2O + _____
- (3) 滴定时，将高锰酸钾标准溶液注入 _____ (填“酸式”或“碱式”) 滴定管中。滴定到达终点的现象是 _____。
- (4) 重复滴定三次，平均耗用 c mol/L KMnO_4 标准溶液 V mL，则原过氧化氢溶液中过氧化氢的质量分数为 _____。
- (5) 若滴定前滴定管尖嘴中有气泡，滴定后气泡消失，则测定结果 _____ (填“偏高”或“偏低”或“不变”)。

II. 探究过氧化氢的性质

该化学小组根据所提供的实验条件设计了两个实验，分别证明了过氧化氢的氧化性和不稳定性。(实验条件：试剂只有过氧化氢溶液、氯水、碘化钾淀粉溶液、饱和硫化氢溶液，实验仪器及用品可自选。)

请将他们的实验方法和实验现象填入下表：

实验内容	实验方法	实验现象
验证氧化性		
验证不稳定性		

- 【答案】** 1. (1) 容量瓶 (2) 2 5 6 2 8 5 O_2
 (3) 酸式 滴入一滴高锰酸钾溶液，溶液呈浅红色，且 30 秒内不褪色
 (4) $17cV/200\rho$ (5) 偏高

实验内容	实验方法	实验现象
验证氧化性	取适量饱和硫化氢溶液于试管中，滴入过氧化氢溶液。 (取适量碘化钾淀粉溶液于试管中，加入过氧化氢溶液。)	产生淡黄色沉淀或溶液变浑浊。 (溶液变蓝色。)

验证不稳定性	取适量过氧化氢溶液于试管中，加热，用带火星的木条检验。 （取适量过氧化氢溶液于试管中，加热，用导气管将得到的气体通入到装有饱和硫化氢溶液的试管中。）	产生气泡，木条复燃。 （溶液变浑浊或有浅黄色沉淀产生）
--------	---	--------------------------------

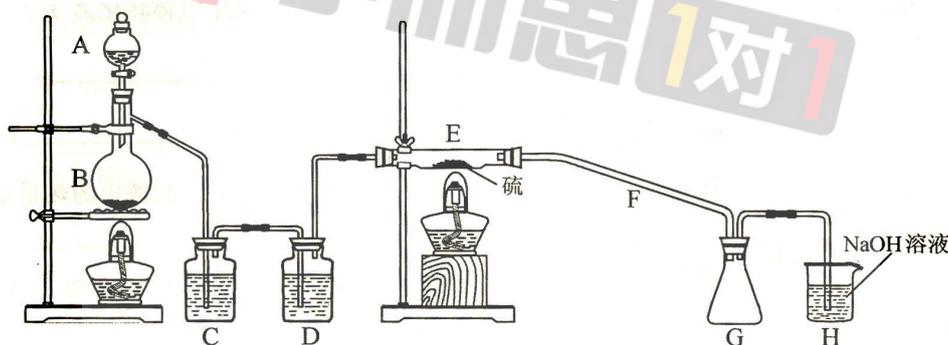
【例 7】 二氯化二硫 (S_2Cl_2) 在工业上用于橡胶的硫化。为在实验室合成 S_2Cl_2 ，某化学研究性学习小组查阅了有关资料，得到如下信息：

① 将干燥的氯气在 $110^\circ C \sim 140^\circ C$ 与硫反应，即可得 S_2Cl_2 粗品。

② 有关物质的部分性质如下表：

物质	熔点/ $^\circ C$	沸点/ $^\circ C$	化学性质
S	112.8	444.6	略
S_2Cl_2	-77	137	遇水生成 HCl、 SO_2 、S； $300^\circ C$ 以上完全分解； $S_2Cl_2 + Cl_2 \xrightarrow{\Delta} 2SCl_2$

设计实验装置图如下：



(1) 上图中装置不够完善，请你提出改进意见_____。

利用改进后的正确装置进行实验，请回答下列问题：

(2) B 中反应的离子方程式：_____；

E 中反应的化学方程式：_____。

(3) C、D 中的试剂分别是_____、_____。

(4) 仪器 A 名称分别是_____，F 的作用是_____。

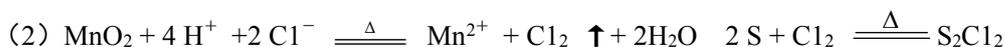
(5) 如果在加热 E 时温度过高，对实验结果的影响是_____，
在 F 中可能出现的现象是_____。

(6) S_2Cl_2 粗品中可能混有的杂质是（填写两种）_____、_____，为了提高 S_2Cl_2 的纯度，关键的操作是控制好温度和_____。

【来源】2012年江西师大附中

【答案】(1) 用导管将A的上口和B相连(或将A换成恒压滴液漏斗)

在G和H之间增加干燥装置



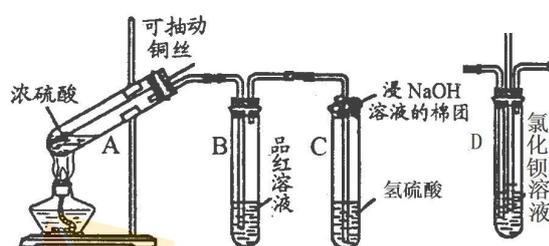
(3) 饱和食盐水(或水) 浓硫酸

(4) 分液漏斗 有利于 S_2Cl_2 顺利流出

(5) 产率降低 有固体产生(或其他正确描述)

(6) SCl_2 、 Cl_2 、 S (任写其中两种即可) 控制浓盐酸的滴速不要过快

【例8】下列是与硫元素相关的一系列实验: 根据下图所示实验回答下列问题:



- (1) 试管C口部的棉团上发生反应的离子方程式是_____。
- (2) 反应一段时间后, 将B试管中的溶液加热, 可以观察到_____。试管C中溶液变浑浊, 则证明 SO_2 具有_____性。
- (3) 试管C口部的棉团既可浸碱溶液, 又可浸 NaHCO_3 溶液, 其作用是_____, 如果浸 NaHCO_3 溶液, 则发生反应的化学方程式是_____。
- (4) 如将B试管换成D试管, 并从直立导管中向 BaCl_2 溶液中通入另一种气体, 产生白色沉淀, 则气体可以是_____、_____、_____、_____ (要求填二种化合物和二种单质的化学式)。
- (5) 取下C试管, 试管中溶液浑浊, 煮沸后, 再加入 Na_2S 溶液并加热, 溶液变澄清, 经测定溶液中主要存在一种摩尔质量为 128g/mol 的阴离子(反应①)。向该澄清液中加入氯水, 溶液仍然澄清(反应②), 加入氯化钡可得一种不溶于稀盐酸的白色沉淀, 写出反应①和反应②的离子方程式_____

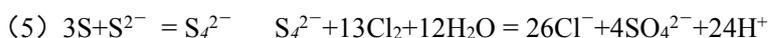
【答案】(1) $\text{SO}_2 + 2\text{OH}^- = \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ (1分)

(2) 溶液由无色变成红色 (1分) 氧化 (1分)

(3) 吸收有害气体, 防止污染空气



(4) NH_3 NO_2 ClO_2 Cl_2 O_3 O_2



【例9】I. 某校化学实验小组探究浓度对化学反应速率的影响，并测定 $(NH_4)_2S_2O_8$ 和 KI 反应的化学反应速率。进行如下实验探究：

【实验原理】

$(NH_4)_2S_2O_8$ 和 KI 反应的离子方程式为：



平均反应速率的计算式为 $v(S_2O_8^{2-}) = \frac{\Delta c(S_2O_8^{2-})}{\Delta t}$ 。

实验时，向 KI、 $Na_2S_2O_3$ 和淀粉指示剂混合溶液中加入 $(NH_4)_2S_2O_8$ 溶液，不断搅拌。

在反应(1)进行的同时，发生反应：



反应(1)生成的 I_2 立即与 $S_2O_3^{2-}$ 反应，生成无色的 $S_4O_6^{2-}$ 和 I^- 。 $S_2O_3^{2-}$ 耗尽时，反应(1)继续生成的 I_2 才与淀粉作用呈现蓝色。从加入 $(NH_4)_2S_2O_8$ 溶液到出现蓝色的时间为 Δt 。

【实验内容】

(1)实验小组设计的实验记录表和数据记录如下，请将表中字母表示的空格填上。

实验编号		①	②	③	④	⑤
试剂 用量 (mL)	0.20 mol · L ⁻¹ (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ 溶液	20.0	10.0	<u> b </u>	20.0	20.0
	0.20 mol · L ⁻¹ KI 溶液	20.0	20.0	20.0	10.0	5.0
	0.010 mol · L ⁻¹ Na ₂ S ₂ O ₃ 溶液	<u> a </u>	8.0	8.0	8.0	8.0
	0.2%淀粉溶液	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	0.20 mol · L ⁻¹ KNO ₃ 溶液	0	0	0	10.0	<u> c </u>
	0.20 mol · L ⁻¹ (NH ₄) ₂ SO ₄ 溶液	0	10.0	15.0	0	0
20℃时，反应时间 $\Delta t(s)$		32	67	130	66	135
为了使溶液的离子强度和总体积保持不变，减少的(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ 溶液或 KI 溶液的用量，分别用(NH ₄) ₂ SO ₄ 溶液或 KNO ₃ 溶液补足；溶液混合后体积不变						

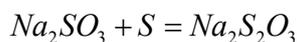
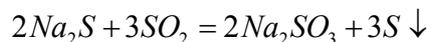
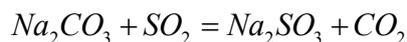
(2)为了使反应充分进行，减少数据误差，实验过程中应该不断进行的操作是_____。

(3)第①组实验的 $v(S_2O_8^{2-}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol} \cdot (\text{L} \cdot \text{s})^{-1}$ 。

(4)根据上表数据分析，可以得到的结论有(写出一条即可)_____。

II. 实验小组查资料得知，向含有 Na₂CO₃ 的 Na₂S 溶液中通入 SO₂，可以制备上述实验所需的 Na₂S₂O₃。

反应如下:



该小组根据上述原理设计如图 19 所示装置制备 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 。

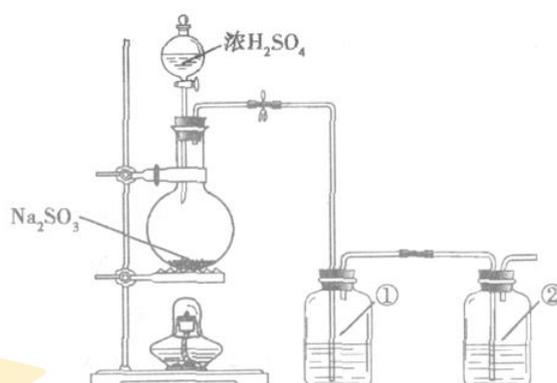


图 19

- (1) 实验应避免有害气体排放到空气中。装置①、②中盛放的试剂依次是①_____；②_____。
- (2) 实验过程中，随着气体的通入，装置①中有大量黄色固体析出，继续通入气体，可以观察到的现象是_____。
- (3) 反应结束后，从制得的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 稀溶液中得到 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 晶体的主要操作包括：_____。

【答案】

- I. (1) a: 8.0 b: 5.0 c: 15.0
- (2) 搅拌
- (3) 2.5×10^{-5}
- (4) 反应物浓度增大反应速率加快；反应速率变化和反应物起始浓度变化存在比例关系；反应物浓度对反应速率的影响和化学计量数无关等。
- II. (1) ① Na_2S 溶液、 Na_2CO_3 溶液 ② NaOH 溶液
- (2) 沉淀逐渐消失
- (3) 加热浓缩，冷却结晶，过滤

【例 10】 某实验小组同学为了探究铜与浓硫酸的反应，进行了如下系列实验。

【实验 1】铜与浓硫酸反应，实验装置如图 20 所示。

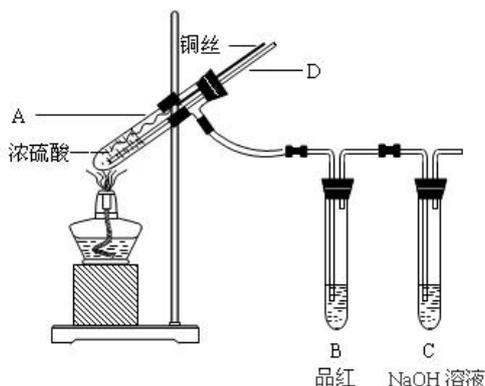


图 20

实验步骤：

- ①先连接好装置，检验气密性，加入试剂；
- ②加热 A 试管直到 B 中品红褪色，熄灭酒精灯；
- ③将 Cu 丝上提离开液面。

- (1) 装置 A 中发生反应的化学方程式为_____。
- (2) 熄灭酒精灯后，因为有导管 D 的存在，B 中的液体不会倒吸，其原因是_____。
- (3) 拆除装置前，不需打开胶塞，就可使装置中残留气体完全被吸收，应当采取的操作是_____。

【实验 2】实验中发现试管内除了产生白色固体外，在铜丝表面还产生黑色固体甲，其中可能含有氧化铜、硫化铜、硫化亚铜，以及被掩蔽的氧化亚铜。

查阅资料：

- ①氧化亚铜在酸性环境下会发生自身氧化还原反应生成 Cu^{2+} 和铜单质，在氧气流中煅烧，可以转化为氧化铜。
- ②硫化铜和硫化亚铜常温下都不溶于稀盐酸，在氧气流中煅烧，硫化铜和硫化亚铜都转化为氧化铜和二氧化硫。

为了研究甲的成分，该小组同学在收集到足够量的固体甲后，进行了如图 21 的实验：

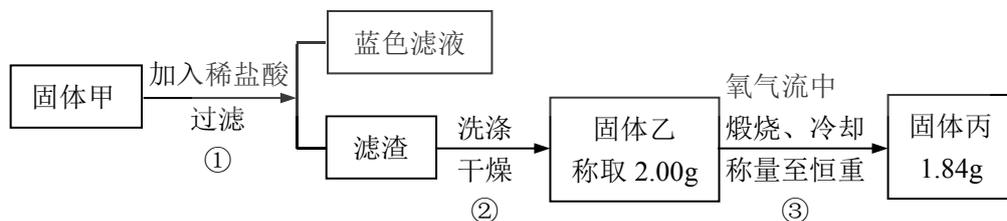
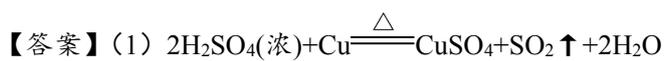


图 21

- (4) ②中检验滤渣是否洗涤干净的实验方法是_____。
- (5) ③中在煅烧过程中一定发生的反应的化学方程式为_____。
- (6) 下列对于固体甲的成分的判断中，正确的是（填字母选项）_____。
 - A. 固体甲中， CuS 和 Cu_2S 不能同时存在
 - B. 固体甲中， CuO 和 Cu_2O 至少有一种
 - C. 固体甲中若没有 Cu_2O ，则一定有 Cu_2S
 - D. 固体甲中若存在 Cu_2O ，也可能有 Cu_2S



(2) 试管 A 中气体压强减小, 空气从 D 导管进入试管 A 中…

(3) 从 D 管口向 A 中大量鼓气

(4) 取最后一次洗涤后所得液体于试管中, 滴加硝酸银溶液, 若无白色沉淀产生, 则说明沉淀洗涤干净; 若有白色沉淀生成, 则说明未洗干净



(6) BCD

