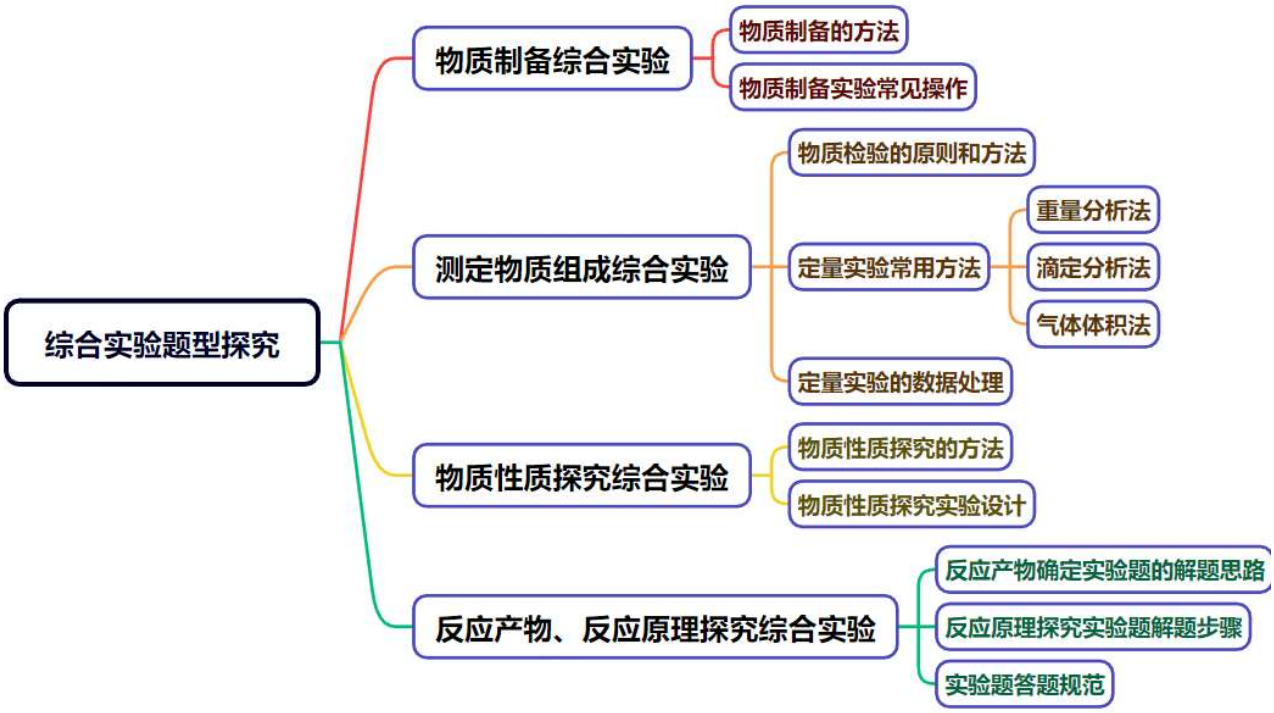
综合实验题型知识梳理及例析

清单速览

知识点 01 物质制备综合实验	**知识点** 02 测定物质组成综合实验
知识点 03 物质性质探究综合实验	**知识点** 03 反应产物、反应原理探究综合实验

思维导图

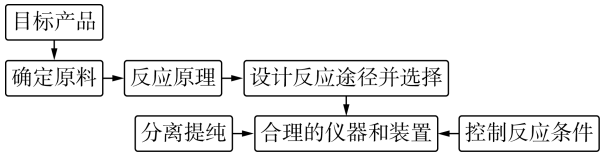


知识梳理

知识点 01　物质制备综合实验

梳理归纳

1．物质制备的一般方法



(1) 限定原料，制备一种或几种物质。

(2) 用含杂质的物质为原料，提取某一纯净物。

(3) 由给定废料，回收、提取、制备某一种或某几种物质。

(4) 实验设计：实验原料→实验原理→途径设计 (途径I、途径II、途径III ……)→最佳途径→实验仪器及装置→目标产物。

(5) 实验原则：按照原料丰富、价格低廉、原子利用率高、环境污染少、步骤简单、操作简化的原则，选择最佳反应路线。

2. 物质制备实验常见操作

操作	目的或原因
沉淀水洗	除去 ×× (可溶于水) 杂质
沉淀用乙醇洗涤	*a*. 减小固体的溶解度；*b*. 除去固体表面吸附的杂质；*c*. 乙醇挥发带走水分，使固体快速干燥
冷凝回流	防止 ×× 蒸气逸出脱离反应体系；提高 ×× 物质的转化率
控制溶液 *pH*	防止 ×× 离子水解；防止 ×× 离子沉淀；确保 ×× 离子沉淀完全；防止 ×× 溶解等
“趁热过滤”后，有时先向滤液中加入少量水，加热至沸腾，然后再“冷却结晶”	稀释溶液，防止降温过程中杂质析出，提高产品的纯度
加过量 *A* 试剂	使 *B* 物质反应完全 (或提高 *B* 物质的转化率等)
温度不高于 ×× ℃	温度过高 ×× 物质分解 (如 H_2O_2、浓硝酸、NH_4HCO_3 等) 或 ×× 物质挥发 (如浓硝酸、浓盐酸) 或 ×× 物质氧化 (如 Na_2SO_3 等) 或促进 ×× 物质水解 (如 $AlCl_3$ 等)
减压蒸馏 (减压蒸发)	减小压强，使液体沸点降低，防止 ×× 物质受热分解 (如 H_2O_2、浓硝酸、NH_4HCO_3 等)
蒸发、反应时的气体氛围	抑制 ×× 离子的水解 (如加热蒸发 $AlCl_3$ 溶液时需在 HCl 气流中进行，加热 $MgCl_2·6H_2O$ 制 $MgCl_2$ 时需在 HCl 气流中进行等)
配制某溶液前先煮沸水	除去溶解在水中的氧气，防止 ×× 物质被氧化
反应容器中用玻璃管和大气相通	指示容器中压强大小，避免反应容器中压强过大

专项提升

1. 写出下列反应的化学方程式 (或离子方程式)：

(1) 将 SO_2 气体通入氯化铁溶液中，发生反应的离子方程式：

_____。

(2) 锰酸钾的制备：将二氧化锰、氯酸钾和氢氧化钾固体放入铁坩埚熔融制锰酸钾。写出该反应的化

学方程式：_____。

(3) 高锰酸钾的制备：加少量蒸馏水于锰酸钾中，溶解，通入乙酸蒸气，水浴加热，搅拌，锰酸钾在酸性条件反应生成高锰酸钾和二氧化锰。写出该反应的化学方程式：_____。

(4) K_2FeO_4 的制备：在 $KClO$ 溶液中依次加入 KOH 溶液、$Fe(NO_3)_3$ 溶液，水浴控制反应温度为 25 ℃，搅拌 1.5 h，溶液变为紫红色（含 K_2FeO_4），该反应的离子方程式为 _____。

(5) ClO_2 的制备：用亚氯酸钠（$NaClO_2$）固体与纯净的氯气反应制取，写出反应的化学方程式：

_____。

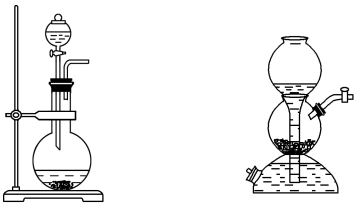
(6) 亚氯酸钠（$NaClO_2$）的制备：在氢氧化钠的冰水浴中，滴入 30% 的过氧化氢溶液后，再通入 ClO_2 气体，写出该反应的离子方程式：_____。

答案　(1) $2Fe^{3+}+SO_2+2H_2O===2Fe^{2+}+SO_4^{2-}+4H^+$　(2) $3MnO_2+KClO_3+6KOH\overset{\triangle}{=\!=\!=\!=\!=}3K_2MnO_4+KCl+3H_2O$　(3) $3K_2MnO_4+4CH_3COOH\overset{\text{水浴加热}}{=\!=\!=\!=\!=}2KMnO_4+MnO_2\downarrow+4CH_3COOK+2H_2O$　(4) $3ClO^-+2Fe^{3+}+10OH^-===2FeO_4^{2-}+3Cl^-+5H_2O$　(5) $2NaClO_2+Cl_2===2ClO_2+2NaCl$　(6) $2ClO_2+2OH^-+H_2O_2\overset{\text{冰水浴}}{=\!=\!=\!=\!=}2ClO_2^-+2H_2O+O_2$

2. 某校同学设计实验以 $MgCl_2$ 卤液（主要含 $MgCl_2$）为原料制取活性 MgO。回答下列问题：

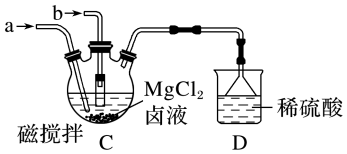
(1) 甲组设计下列装置制取氨气和二氧化碳。

①用生石灰和浓氨水制取 NH_3，可选用的装置是 _____（填“A”“B”或“AB”）。



②若用石灰石和稀盐酸制取 CO_2，反应的离子方程式为 _____。

(2) 乙组利用甲组制备的 NH_3 和 CO_2 制取 $3MgCO_3\cdot Mg(OH)_2\cdot 3H_2O$。



①接口 b 处通入的气体是 _____（填化学式）。

②装置 D 的作用是 _____。

③生成 $3MgCO_3\cdot Mg(OH)_2\cdot 3H_2O$ 的化学方程式为 _____。

(3) 丙组灼烧 $3MgCO_3\cdot Mg(OH)_2\cdot 3H_2O$ 制活性 MgO 时，所需的硅酸盐质仪器除酒精灯和坩埚外，还需要 _____。

答案　(1) ① A　② $CaCO_3+2H^+===Ca^{2+}+H_2O+CO_2\uparrow$　(2) ① NH_3　②吸收过量的 NH_3，防止污染环境　③ $4MgCl_2+8NH_3+3CO_2+8H_2O===3MgCO_3\cdot Mg(OH)_2\cdot 3H_2O\downarrow+8NH_4Cl$　(3) 玻璃棒、泥三角

解析　(1)①启普发生器适用于块状固体与溶液的反应，生成的气体溶解度较小，生石灰和浓氨水制取NH_3反应速率较快，故选A。②石灰石和稀盐酸制取CO_2的离子方程式：$CaCO_3+2H^+===Ca^{2+}+H_2O+CO_2\uparrow$。(2)①氨气极易溶于水，需减少接触面来减缓溶解速率，故b中通入氨气。②装置D主要为尾气吸收装置，吸收过量的NH_3，防止污染环境。(3)灼烧时需用到的硅酸盐质仪器有酒精灯、坩埚、玻璃棒、泥三角。

知识点02　测定物质组成综合实验

梳理归纳

1．物质(离子)检验的基本原则和方法

(1)物质检验的“三原则”：一看(颜色、状态)、二嗅(气味)、三实验(加试剂)。

(2)物质检验的基本方法

根据实验时生成物所表现的现象不同，检验离子的方法可归纳为四类：①生成气体，如NH_4^+、CO_3^{2-}的检验。②生成沉淀，如Cl^-、SO_4^{2-}的检验。③显现特殊颜色，如Fe^{3+}、苯酚的检验。④焰色反应，检验金属或金属离子。

(3)物质检验的注意事项

①选取试剂要最佳：选取的试剂对试剂组中的各物质反应现象：溶液颜色的改变、沉淀的生成或溶解、气体的产生等要专一，使之一目了然。

②尽可能选择特效反应以减少干扰，如用品红溶液检验SO_2，用$KSCN$溶液检验Fe^{3+}，用湿润的红色石蕊试纸检验NH_3。

③一定要注意避免离子间的相互干扰，如检验CO_3^{2-}时，HCO_3^-会造成干扰；Fe^{2+}遇氧化剂转化对Fe^{3+}的检验造成干扰。

④注意离子检验所要求的环境，如酸碱性、浓度、温度的选择。

2．定量实验测定的常用方法

(1)重量分析法

①在重量分析中，一般首先采用适当的方法，使被测组分以单质或化合物的形式从试样中与其他组分分离。

②重量分析法不需要选择合适的指示剂，实验的关键是准确判断反应是否发生完全，以及反应前后固体(或液体)质量的变化。

③重量分析的过程包括了分离和称量两个过程。根据分离的方法不同，重量分析法又可分为沉淀法、挥发法、萃取法等。

(2)滴定分析法

①滴定分析法是将已知准确浓度的标准溶液，滴加到被测溶液中(或者将被测溶液滴加到标准溶液中)，直到所加的标准溶液与被测物质按化学计量关系定量反应为止，然后测量标准溶液消耗的体积，根据标准溶液的浓度和所消耗的体积，算出待测物质的含量。

②实验的关键是准确量取待测溶液，根据指示剂的颜色变化确定滴定终点。

(3)气体体积法

①通过测量反应生成气体的体积进行定量分析的方法，实验的关键是准确测量生成气体的体积。

②测气体体积的方法可分为直接测量法和间接测量法两种：

直接测量法	直接测量法就是将气体通入带有刻度的容器中，直接读取气体的体积。根据所用测量仪器的不同，直接测量法可分为倒置量筒法和滴定管法两种
间接测量法	间接测量法是指利用气体将液体(通常为水)排出，通过测量所排出液体的体积从而得到气体体积的测量方法。常用的测量装置为用导管连接的装满液体的广口瓶和空量筒。排水法收集气体时，要保证“短进长出”

3. 定量测定实验中数据处理的常用方法

类型	解题方法
物质含量计算	根据关系式法、得失电子守恒法、滴定法等，求出混合物中某一成分的量，再除以样品的总量，即可得出其含量
确定物质化学式的计算	①根据题给信息，计算出有关物质的物质的量。②根据电荷守恒，确定出未知离子的物质的量。③根据质量守恒，确定出结晶水的物质的量。④各粒子的物质的量之比即为物质化学式的下标比
热重曲线计算	①设晶体为1 mol。②失重一般是先失水、再失气态非金属氧化物。③计算每步的$m_{余}$，$\frac{m_{余}}{m(1\text{mol}晶体质量)}$=固体残留率。④晶体中金属质量不减少，仍在$m_{余}$中。⑤失重最后一般为金属氧化物，由质量守恒得$m_O$，由$n_{金属}:n_O$，即可求出失重后物质的化学式
多步滴定计算	复杂的滴定可分为两类： ①连续滴定法：第一步滴定反应生成的产物，还可以继续参加第二步的滴定。根据第二步滴定的消耗量，可计算出第一步滴定的反应物的量。 ②返滴定法：第一步用的滴定剂是过量的，第二步再用另一物质返滴定过量的物质。根据第一步加入的量减去第二步中过量的量，即可得出第一步所求物质的物质的量

专项提升

1. $K_3[Fe(C_2O_4)_3]\cdot xH_2O$是一种光敏材料，可用于摄影和蓝色印刷。为测定该晶体中铁的含量，某实验小组做了如下实验：

(1) 已知$2KMnO_4+5H_2C_2O_4+3H_2SO_4===K_2SO_4+10CO_2\uparrow+2MnSO_4+8H_2O$。现称量5.000 g三草酸合铁酸钾晶体，配制成250 mL溶液。取所配溶液25.00 mL于锥形瓶中，加稀H_2SO_4酸化，滴加$KMnO_4$溶液至草酸根离子恰好全部被氧化成二氧化碳。向反应后的溶液中加入一小匙锌粉，加热至溶液完全由黄色变为浅绿色时，过滤，洗涤，将过滤及洗涤所得溶液收集到锥形瓶中，此时，溶液仍呈酸性。加入锌粉的目的是 将Fe^{3+}还原成Fe^{2+}，为进一步测定铁元素的含量做准备。

(2) 向(1)锥形瓶中先加入足量稀硫酸，后用0.010 $mol\cdot L^{-1}$ $KMnO_4$溶液滴定上一步骤所得溶液至终点，消耗$KMnO_4$溶液20.02 mL，滴定中MnO_4^-被还原成Mn^{2+}。写出发生反应的离子方程式：$5Fe^{2+}+MnO_4^-+8H^+===5Fe^{3+}+Mn^{2+}+4H_2O$ 。

(3) 上述实验滴定时，指示剂应该 不加 （填“加”或“不加”），判断滴定终点的现象是 当待测液中出现紫红色，且振荡后半分钟内不再褪色，就表明到了终点 。

(4) 再重复 (1)、(2) 步骤操作两次，滴定消耗 0.010 $mol\cdot L^{-1}$ $KMnO_4$ 溶液平均每次为 19.98 mL。计算确定该晶体中铁的质量分数 11.19%（计算过程见解析）（写出计算过程）。

解析 (1)“溶液完全由黄色变为浅绿色”，说明加锌将 Fe^{3+} 全部转化成 Fe^{2+}。

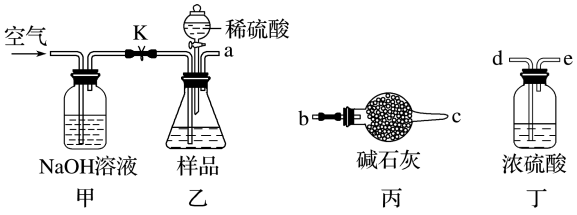
(2) 结合步骤 (2) 可知，测定样品中铁含量的原理是 $5Fe^{2+}+MnO_4^-+8H^+===5Fe^{3+}+Mn^{2+}+4H_2O$，测定前需要将原溶液中的 Fe^{3+} 全部转化成 Fe^{2+}。

(3) 由于高锰酸钾溶液具有明显的紫红色，所以当反应到达终点时，待测液会出现紫红色。

(4) 依据 $5Fe^{2+}\sim MnO_4^-$ 得，$n(Fe^{2+})=5\times0.010\times0.019\ 98\ mol$，故晶体中 $w(Fe)=(10\times5\times0.010\times0.019\ 98\ mol\times56\ g\cdot mol^{-1})\div5.000\ g\times100\%\approx11.19\%$。

2. 碱式碳酸镁可用于生产牙膏、医药和化妆品等，化学式为 $4MgCO_3\cdot Mg(OH)_2\cdot5H_2O$，某碱式碳酸镁样品中含有 SiO_2 杂质，为测定其纯度，某兴趣小组设计了如下几个方案：

方案Ⅰ 取一定质量的样品，与稀硫酸充分反应，通过测定生成 CO_2 的质量计算纯度。



(1) 乙中发生反应的化学方程式为 _____。

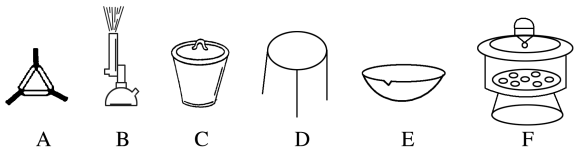
(2) 仪器接口的连接顺序为（装置可以重复使用）$a\rightarrow$ _____。

方案Ⅱ ①称取碱式碳酸镁样品 m g；

②将样品充分高温煅烧，冷却后称量；

③重复操作②，测得剩余固体质量为 m_1 g。

(3) 下列仪器中，方案Ⅱ不会用到的是 _____（填字母代号）。



(4) 判断样品完全分解的方法是 _____。

(5) 有同学认为方案Ⅱ高温煅烧的过程中会发生反应：

$MgCO_3+SiO_2\overset{高温}{=====}MgSiO_3+CO_2\uparrow$，会导致测定结果有误，你认为这位同学的观点正确吗？_____（填“正确”或“错误”）。请说明理由：_____。

答案 (1)$4MgCO_3\cdot Mg(OH)_2\cdot5H_2O+5H_2SO_4===5MgSO_4+11H_2O+4CO_2\uparrow$

(2)$d\rightarrow e\rightarrow b\rightarrow c\rightarrow b$ (3)E

(4) 将样品连续两次高温煅烧，冷却称量质量相差 0.1 g 以内

(5) 错误 该反应的发生不影响固体质量差

解析　(2) 打开 K，通过装置甲吸收通入的空气中的二氧化碳，防止干扰产生的二氧化碳的测定，排净装置内空气，关闭 K，通过装置乙的分液漏斗滴入稀硫酸发生反应生成二氧化碳、水和硫酸镁，通过装置丁吸收气体中的水蒸气，通过装置丙吸收生成的二氧化碳测定其质量，为避免空气中二氧化碳、水蒸气进入干燥管，可以再连接一个干燥管，则装置顺序为 $a \to d \to e \to b \to c \to b$。

(3) 灼烧需要泥三角、三脚架、酒精灯、坩埚，在干燥器中冷却，不需要蒸发皿。

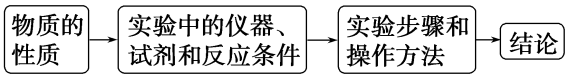
(5) 发生反应 $MgCO_3 + SiO_2 \overset{高温}{=\!=\!=\!=\!=\!=} MgSiO_3 + CO_2\uparrow$，不影响生成 CO_2 和水蒸气的量，则这位同学的观点是错误的。

知识点 03　物质性质探究综合实验

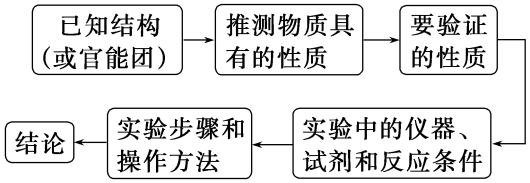
梳理归纳

1. 物质性质探究类实验的类型

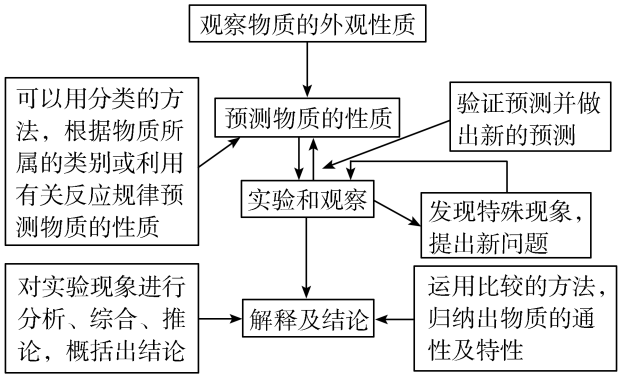
(1) 根据物质性质设计实验方案



(2) 根据物质的结构 (或官能团) 设计实验方案



2. 研究物质性质的基本程序



3. 物质性质探究、验证的实验设计

(1) 物质氧化性、还原性的判断。如探究 SO_2 具有还原性的方法是将气体通入酸性 $KMnO_4$ 溶液中，通过酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色或变浅来说明；探究 Fe^{3+} 的氧化性强于 I_2 时，可利用 $FeCl_3$ 与淀粉 $-KI$ 溶液反应，通过溶液变为蓝色来说明。

(2) 同周期、同主族元素性质递变规律的验证，一般通过设计比较元素金属性、非金属性强弱的实验来完成。如通过比较 Mg、Al 与同浓度盐酸反应产生 H_2 的快慢来说明 Mg、Al 的活动性顺序。

(3) 电解质强弱的判断。如探究一元酸 HA 是弱酸的方法是常温下配制 NaA 溶液，测 pH，若 $pH > 7$，说

明 HA 为弱酸。

(4) 物质酸性强弱的判断。如探究碳酸和硅酸的酸性强弱，可利用相对强的酸制备相对弱的酸的反应原理，将 CO_2 气体通入 Na_2SiO_3 溶液，看是否有白色胶状沉淀生成来判断。

(5) 钢铁发生电化学腐蚀的规律探究。可以通过控制钢铁是否与空气接触、所接触的电解质溶液的酸碱度、钢铁在腐蚀过程中体系内的气压变化等设计实验，找出规律。

(6) 热分解产物的性质探究、判断

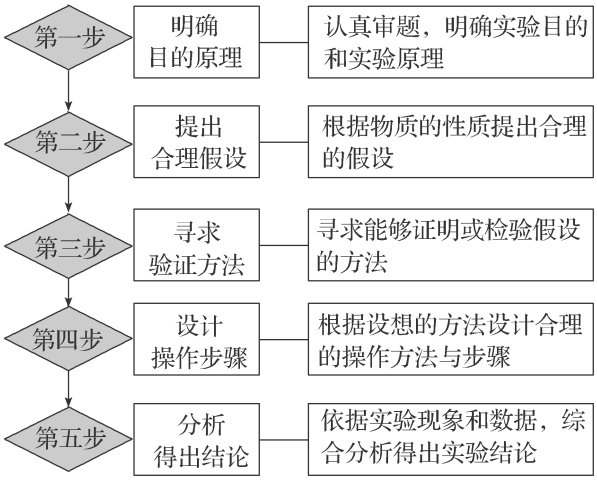
①难溶性碳酸盐 $\xrightarrow{\triangle}$ 氧化物 $+CO_2\uparrow$。②碳酸的酸式盐 $\xrightarrow{\triangle}$ 碳酸的正盐 $+CO_2\uparrow+H_2O$。

③铵盐 $\xrightarrow{\triangle}NH_3\uparrow+$ 相应的酸 (或酸性氧化物 $+H_2O$) (NH_4NO_3 除外)。

④硝酸盐 $\xrightarrow{\triangle}$ 金属 (或金属氧化物、亚硝酸盐) + 氮氧化物 (NO 或 NO_2) $+O_2\uparrow$。

⑤草酸晶体 $\xrightarrow{\triangle}CO_2\uparrow+CO\uparrow+H_2O$。

4. 猜想型综合实验题的解答流程



专项提升

1. 为了探究市售 Fe_3O_4 能否与常见的酸 (盐酸、稀硫酸) 发生反应，实验小组做了以下工作。

Ⅰ. Fe_3O_4 的制备

(1) 将可溶性亚铁盐和铁盐按一定配比混合后，加入 $NaOH$ 溶液，在一定条件下反应可制得 Fe_3O_4，反应的离子方程式为 _____。

Ⅱ. Fe_3O_4 与酸反应的热力学论证

(2) 理论上完全溶解 1.16 g Fe_3O_4 至少需要 3 $mol\cdot L^{-1}$ H_2SO_4 溶液的体积约为 _____ mL(保留 1 位小数)。

Ⅲ. Fe_3O_4 与酸反应的实验研究

用 10 mL 3 $mol\cdot L^{-1}$ H_2SO_4 溶液浸泡 1.0 g Fe_3O_4 粉末，5 分钟后各取 2 mL 澄清浸泡液，按编号 i 进行实验。

所用 $K_3[Fe(CN)_6]$、$KSCN$ 溶液均为 0.1 $mol\cdot L^{-1}$，Fe^{2+} 遇 $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液生成蓝色沉淀。

编号	实验操作	现象
i	2 mL 无色浸泡液 —加3滴$K_3[Fe(CN)_6]$溶液→ ① 2 mL 无色浸泡液 —加3滴KSCN溶液→ ②	①无蓝色沉淀 ②溶液显红色
ii	$K_3[Fe(CN)_6]$溶液 3滴 2 mL 3 $mol\cdot L^{-1}$ H_2SO_4；KSCN溶液 3滴 2 mL 3 $mol\cdot L^{-1}$ H_2SO_4；$K_3[Fe(CN)_6]$溶液 3滴 2 mL 6 $mol\cdot L^{-1}$ HCl；KSCN溶液 3滴 2 mL 6 $mol\cdot L^{-1}$ HCl	均无明显现象

(3) 实验 ii 的作用是 _____。

(4) 实验 i 中滴加 $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液无蓝色沉淀生成，其可能原因是 Fe^{2+} 的浓度太小，为了验证这一推断，可改进的方法是 _____。

(5) 实验iii：用 10 mL 6 $mol\cdot L^{-1}$ 盐酸代替 H_2SO_4 浸泡样品后，重复实验 i，发现试管①有蓝色沉淀，试管②溶液显红色，说明 Cl^- 有利于 Fe_3O_4 与 H^+ 反应，为了验证这一推测，可在用 H_2SO_4 溶液浸泡时加入 _____，然后重复实验 i。

(6) 实验iv：用 20 mL 6 $mol\cdot L^{-1}$ 盐酸浸泡 1.0 g 天然磁铁矿粉末，20 min 后浸泡液几乎无色，重复实验 i，发现试管①、②均无明显现象，与实验iii现象不同的可能原因是 _____。

答案：(1)$Fe^{2+}+2Fe^{3+}+8OH^-\overline{\quad}Fe_3O_4\downarrow+4H_2O$　(2)6.7　(3) 作对照实验，排除 H_2SO_4、HCl 对实验现象的干扰　(4) 在试管中加入植物油隔绝空气，并延长浸泡 Fe_3O_4 的时间，或者适当升高反应温度、搅拌等　(5)$NaCl$ 固体　(6) 天然磁铁矿粉末中杂质较多，Fe_3O_4 的含量较低

解析：(1) 将可溶性亚铁盐和铁盐按一定配比混合后，加入 $NaOH$ 溶液，在一定条件下反应可制得 Fe_3O_4，反应的离子方程式为 $Fe^{2+}+2Fe^{3+}+8OH^-\overline{\quad}Fe_3O_4\downarrow+4H_2O$。

(2)Fe_3O_4 与 H_2SO_4 溶液反应的化学方程式为 $Fe_3O_4+4H_2SO_4\overline{\quad}FeSO_4+Fe_2(SO_4)_3+4H_2O$，1.16 g Fe_3O_4 的物质的量为 0.005 mol，则需要 H_2SO_4 的物质的量为 0.02 mol，则至少需要 3 $mol\cdot L^{-1}$ H_2SO_4 溶液的体积约为 $\frac{0.02\text{mol}}{3mol\cdot L^{-1}}\approx 0.006\ 7\ L=6.7\ \text{mL}$。

(3) 实验 ii 的作用是作对照实验，排除 H_2SO_4、HCl 对实验现象的干扰。

(4) 实验 i 中滴加 $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液无蓝色沉淀生成，其可能原因是 Fe^{2+} 的浓度太小，也可能是 Fe^{2+} 被空气中的氧气氧化为 Fe^{3+}，为了验证这一推断，可改进的方法是在试管中加入植物油隔绝空气，并延长浸泡 Fe_3O_4 的时间，或者适当升高反应温度、搅拌等。

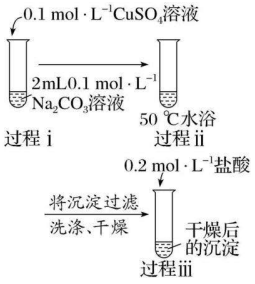
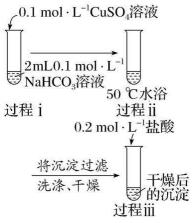
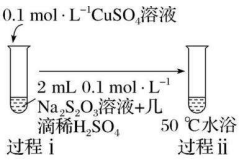
(5) 用 10 mL 6 $mol\cdot L^{-1}$ 盐酸代替 H_2SO_4 浸泡样品后，重复实验 i，发现试管①有蓝色沉淀，试管②溶液显红色，说明 Cl^- 有利于 Fe_3O_4 与 H^+ 反应，为了验证这一推测，可在用 H_2SO_4 溶液浸泡时加入 $NaCl$ 固体，然

后重复实验 i 。

(6) 实验 iv：用 20 mL 6 $mol\cdot L^{-1}$ 盐酸浸泡 1.0 g 天然磁铁矿粉末，20 min 后浸泡液几乎无色，重复实验 i，发现试管①、②均无明显现象，与实验 iii 现象不同的可能原因是天然磁铁矿粉末中杂质较多，Fe_3O_4 的含量较低。

2. 某研究小组探究 $CuSO_4$ 溶液和弱酸盐的反应。

[资料] $H_2S_2O_3$ 是一种弱酸，易分解为 SO_2 和 S。

序号	实验操作	实验现象
I		过程i：立即产生蓝色絮状沉淀，继续滴加至 1 mL，沉淀增多且蓝色加深，并出现少量气泡； 过程ii：产生气泡增多且速率明显加快，蓝色絮状沉淀沉降在试管底部； 过程iii：沉淀溶解并有极少量的气泡生成
II		过程i：立即产生浅蓝绿色絮状沉淀，继续滴加至 1 mL，沉淀增多且蓝绿色加深，并出现少量气泡； 过程ii：产生的气泡比实验I过程ii增加更多更快，最终得到天蓝色粉末状沉淀； 过程iii：沉淀溶解并有较多气泡生成
III		过程i：较快出现淡黄色悬浮物； 过程ii：黄色逐渐加深，依次变为土黄色、棕色，最终变为黑色，同时产生刺激性气味气体，且通入品红试剂出现溶液褪色现象

(1) 实验 I 中过程 i 产生的蓝色絮状沉淀为 $Cu(OH)_2$，同时产生的少量气泡主要成分是 _____。

(2) 实验 II 中过程 ii 产生的天蓝色粉末状沉淀中肯定含有的阴离子是 _____。

(3) 对比实验 I、II 中过程 ii，II 中产生气泡明显更快的原因是 _____。

(4) 实验III中，经检验产生的黑色沉淀为 CuS。推测 CuS 的产生原因。

推测 1. 酸性条件下，$S_2O_3^{2-}$ 发生分解，随后分解产物再与 Cu^{2+} 产生 CuS；

推测 2. 酸性条件下，$S_2O_3^{2-}$ 与 Cu^{2+} 直接反应产生 CuS，同时有 SO_4^{2-} 生成。

经实验及理论证明推测 1 和推测 2 均合理。

①证明推测 1 合理，应设计的实验方案是 _____。

②推测 2 发生反应的离子方程式是 _____。

③从化学反应速率和限度的角度解释，$Na_2S_2O_3$ 溶液与 $CuSO_4$ 溶液在酸性条件下反应，实验现象中反应初期产生黄色沉淀，反应中后期产生黑色沉淀的原因 _____。

答案：(1)CO_2　(2)CO_3^{2-}

(3) 实验 II $CuSO_4$ 溶液中 Cu^{2+} 水解产生 H^+，H^+ 与 HCO_3^- 结合立即产生 CO_2，相同条件下实验 I 中 H^+ 与 CO_3^{2-} 结合产生 HCO_3^-，当 H^+ 过量时才会产生 CO_2

(4)①向试管中加入1 mL 0.1 $mol\cdot L^{-1}$ $CuSO_4$溶液，通入SO_2的同时加入S粉，观察有黑色沉淀生成　②$S_2O_3^{2-}+Cu^{2+}+H_2O\overline{\quad}SO_4^{2-}+CuS\downarrow+2H^+$　③$Na_2S_2O_3$在H_2SO_4中分解反应$\left(S_2O_3^{2-}+2H^+\overline{\quad}SO_2\uparrow+S\downarrow+H_2O\right)$反应速率较快，反应限度较小；$S_2O_3^{2-}$与$Cu^{2+}$直接生成$CuS\left(S_2O_3^{2-}+Cu^{2+}+H_2O\overline{\quad}SO_4^{2-}+CuS\downarrow+2H^+\right)$的反应速率较慢，但反应限度大于$S_2O_3^{2-}$与$H^+$反应的限度。因此反应初期产生黄色沉淀，反应中后期产生黑色沉淀

解析：(1)实验Ⅰ中，从过程ⅲ看，沉淀主要为$Cu(OH)_2$，则过程ⅰ产生的蓝色絮状沉淀$Cu(OH)_2$主要来自Cu^{2+}水解，同时生成的H^+与CO_3^{2-}反应，先产生HCO_3^-，再生成CO_2，所以少量气泡主要成分是CO_2。

(2)实验Ⅱ中，从过程ⅲ看，产生的天蓝色粉末状沉淀应为$CuCO_3$，则过程ⅱ产生的天蓝色粉末状沉淀中肯定含有的阴离子是CO_3^{2-}。

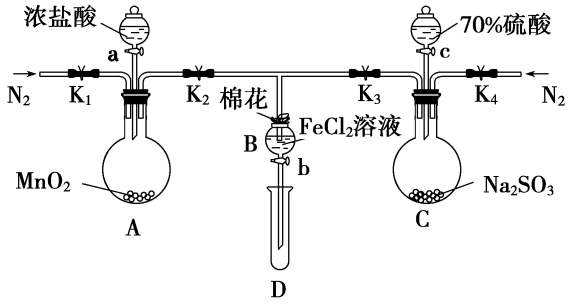
(3)对比实验Ⅰ、Ⅱ中过程ⅱ，Ⅰ的溶液中含有CO_3^{2-}，Ⅱ的溶液中含有HCO_3^-，两溶液中都发生Cu^{2+}水解生成H^+的反应，则Ⅱ中产生气泡明显更快的原因是：实验Ⅱ$CuSO_4$溶液中Cu^{2+}水解产生H^+，H^+与HCO_3^-结合立即产生CO_2，相同条件下实验Ⅰ中H^+与CO_3^{2-}结合产生HCO_3^-，当H^+过量时才会产生CO_2。

(4)①推测1中，酸性条件下，$S_2O_3^{2-}$发生分解，生成S、SO_2等，所以应设计的实验方案是向试管中加入1 mL 0.1 $mol\cdot L^{-1}$ $CuSO_4$溶液，通入SO_2的同时加入S粉，观察有黑色沉淀生成。

②推测2中，酸性条件下，$S_2O_3^{2-}$与Cu^{2+}直接反应产生CuS，同时有SO_4^{2-}生成，发生反应的离子方程式是$S_2O_3^{2-}+Cu^{2+}+H_2O\overline{\quad}SO_4^{2-}+CuS\downarrow+2H^+$。

③$Na_2S_2O_3$溶液与$CuSO_4$溶液在酸性条件下反应，实验现象中反应初期产生黄色沉淀，反应中后期产生黑色沉淀，则表明前期先发生少部分$H_2S_2O_3$的分解，大部分在中后期发生推测2中的反应，从而得出原因是：$Na_2S_2O_3$在H_2SO_4中分解反应$\left(S_2O_3^{2-}+2H^+\overline{\quad}SO_2\uparrow+S\downarrow+H_2O\right)$的反应速率较快，反应限度较小；$S_2O_3^{2-}$与$Cu^{2+}$直接生成$CuS\left(S_2O_3^{2-}+Cu^{2+}+H_2O\overline{\quad}SO_4^{2-}+CuS\downarrow+2H^+\right)$的反应速率较慢，但反应限度大于$S_2O_3^{2-}$与$H^+$反应的限度。因此反应初期产生黄色沉淀，反应中后期产生黑色沉淀。

3. 某小组用如图所示装置进行实验(夹持仪器和A中加热装置已略)，以验证Fe^{3+}、Cl_2、SO_2氧化性的强弱。根据题目要求回答下列问题：



(1)检查装置气密性后，关闭K_1、K_3、K_4，打开K_2，旋开旋塞a，加热A，则B中发生反应的离子方程式为_____。

(2)B中溶液变黄时，停止加热A，关闭K_2。打开旋塞b，使约2 mL的溶液流入试管D中，关闭旋塞b，检验B中生成离子的方法是_____。

(3)若要继续证明Fe^{3+}和SO_2氧化性的强弱，需要进行的操作是_____。

(4) 甲、乙、丙三位同学分别完成了上述实验，结论如表所示，他们的检测结果一定能够证明氧化性强弱顺序：$Cl_2>Fe^{3+}>SO_2$ 的是 _____(填“甲”“乙”或“丙”)。

	过程(2)B中溶液含有的离子	过程(3)B中溶液含有的离子
甲	既有 Fe^{3+} 又有 Fe^{2+}	有 SO_4^{2-}
乙	有 Fe^{3+} 无 Fe^{2+}	有 SO_4^{2-}
丙	有 Fe^{3+} 无 Fe^{2+}	有 Fe^{2+}

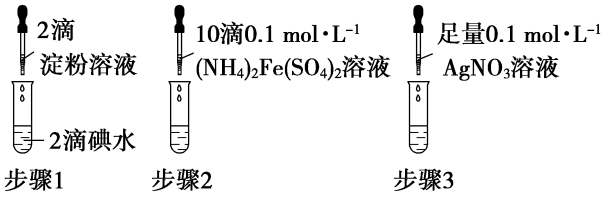
(5) 验证结束后，将 D 换成盛有 $NaOH$ 溶液的烧杯，打开 K_1、K_2、K_3 和 K_4，关闭旋塞 a、c，打开旋塞 b，从两端鼓入 N_2，这样做的目的是 _____。

答案：(1)$Cl_2+2Fe^{2+}===2Fe^{3+}+2Cl^-$　(2) 向试管 D 中滴加 $KSCN$ 溶液，试管 D 中溶液变红色　(3) 打开 K_3，打开旋塞 c，向 C 中加入 70% 硫酸，一段时间后关闭 K_3。更换试管 D，打开旋塞 b，使少量溶液流入 D 中，检验 D 溶液中的 SO_4^{2-} 和 Fe^{2+}

(4) 甲、丙　(5) 除去 A 和 C 中分别产生的氯气和二氧化硫，防止污染大气

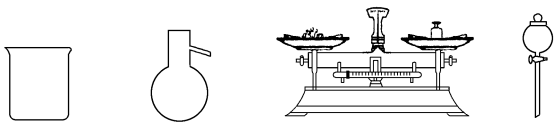
解析：A 中二氧化锰和浓盐酸在加热条件下反应制取氯气，C 中亚硫酸钠与 70% 硫酸反应生成二氧化硫，通过控制止水夹可以实现实验探究：将氯气通入 B 中可以验证 Fe^{3+}、Cl_2 的氧化性；将氯气通入 C 中可以验证 Cl_2、SO_2 的氧化性，将二氧化硫通入 B 中可以验证 Fe^{3+}、SO_2 的氧化性。

4. 某研究性学习小组通过下列实验验证 AgI 沉淀的生成会使 I_2 的氧化能力增强，可将 Fe^{2+} 氧化。



回答下列问题：

(1) 由 $AgNO_3$ 固体配制 0.1 $mol\cdot L^{-1}$ 的 $AgNO_3$ 溶液 50 mL，下列仪器中不需要使用的有 _____(填名称)，配制好的溶液应转移到 _____(填试剂瓶的名称) 中保存。



(2) 步骤 1 的实验现象是 _____；步骤 2 无明显现象；步骤 3 最终的实验现象是溶液中生成黄色沉淀，_____。由此可知，步骤 3 反应的离子方程 _____。

(3) 为了确证 AgI 的生成使 I_2 的氧化能力增强而将 Fe^{2+} 氧化，学习小组在上述实验基础上进行补充实验：分别取少量的 _____ 和步骤 3 试管中的上层清液于试管 a 和试管 b 中，向两支试管中加入适量的 _____，观察到的现象为 _____。

答案：(1) 蒸馏烧瓶、分液漏斗　棕色细口瓶

(2) 溶液变蓝　溶液蓝色褪去　$I_2+2Fe^{2+}+2Ag^+===2AgI\downarrow+2Fe^{3+}$　(3) 步骤 2 中的溶液　$KSCN$ 溶液　试管 a 溶液不变红，试管 b 溶液变红

解析：(3) 由于步骤 2 的溶液中有亚铁离子而没有铁离子，要确证 AgI 的生成使 I_2 的氧化能力增强而将

Fe^{2+} 氧化，只要证明步骤 3 的溶液中存在氧化产物铁离子即可

知识点 04　反应产物、反应原理探究综合实验

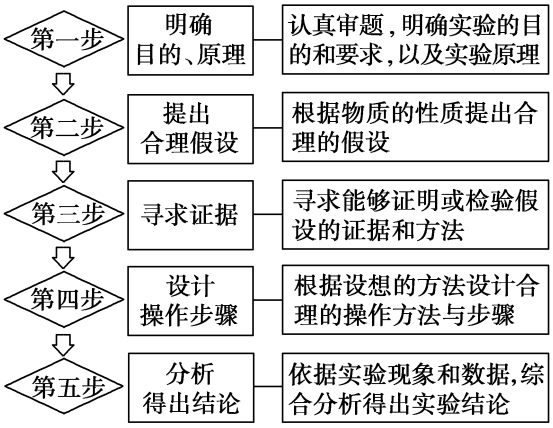
梳理归纳

1．反应产物确定实验题的思路分析

由性质确定反应产物是解此类题目的根本思路，而题目中所涉及的物质，一般分为两类。

第一类	常见的熟悉物质	要注意物质的特殊性质，比如颜色、状态、气味、溶解性等物理性质，或能与哪些物质反应生成特殊的沉淀、气体等化学性质
第二类	能类比迁移的陌生物质	虽然平时接触不多，但其某种组成成分、结构成分（如离子、原子团、官能团等）必然学过，则可以考虑与其结构相似的物质的性质，进而推断其具体组成

2．反应原理探究性实验解题步骤



3．文字表述题的各种答题规范

(1) 沉淀洗涤是否完全的检验答题模板

取少许最后一次洗涤液，滴入少量 …… 溶液（试剂），若 …… （现象），表示已经洗涤完全。

解答此类题目要注意四个得分点：取样 + 试剂 + 现象 + 结论。

取样	要取“少许最后一次”洗涤液
试剂	选择合理的试剂
现象	需有明显的现象描述
结论	根据现象得出结论

(2) 实验操作的原因、目的、作用的答题要点

答题要素	明确实验目的：做什么
	明确操作目的：为什么这样做
	明确结论：这样做会有什么结果？理由是什么
得分点及关键词	操作：怎么“做”，为什么这样“做”

	作用：需有明确的结论、判断、理由

(3) 实验现象的准确、全面描述

答题要素	现象描述要全面：看到的、听到的、触摸到的、闻到的
	现象描述要准确：如 A 试管中 …… B 处有 ……
	按“现象 + 结论”格式描述，忌现象结论不分、由理论推现象、指出具体生成物的名称
得分点及关键词	溶液中：颜色由 …… 变成 ……，液面上升或下降 (形成液面差)，溶液变浑浊，生成 (产生) …… 沉淀，溶液发生倒吸，产生大量气泡 (或有气体从溶液中逸出)，有液体溢出等
	固体：表面产生大量气泡，逐渐溶解，体积逐渐变小，颜色由 …… 变成 …… 等
	气体：生成 …… 色 (味) 气体，气体由 …… 色变成 …… 色，先变 …… 后 …… (加深、变浅、褪色) 等

(4) 试剂的作用的答题模板

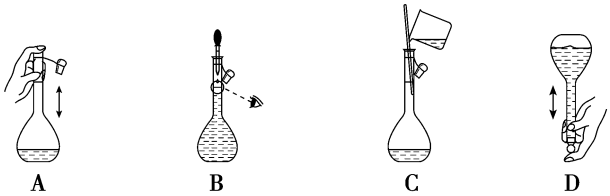
答题要素	试剂的作用是什么？要达到的目的是什么
得分点及关键词	作用类：“除去”“防止”“抑制”“使 ……” 等，回答要准确
	作用 – 目的类：“作用”是“……”，“目的”是“……”，回答要准确全面

专项提升

1. 食醋是烹饪美食的调味品，有效成分主要为醋酸 (用 HAc 表示)。HAc 的应用与其电离平衡密切相关。25 ℃ 时，HAc 的 $K_a = 1.75 \times 10^{-5} = 10^{-4.76}$。

(1) 配制 250 mL 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ 的 HAc 溶液，需 5 $mol \cdot L^{-1}$ HAc 溶液的体积为 _____ mL。

(2) 下列关于 250 mL 容量瓶的操作，正确的是 _____ (填字母)。



(3) 某小组研究 25 ℃ 下 HAc 电离平衡的影响因素。

提出假设：稀释 HAc 溶液或改变 Ac^- 浓度，HAc 电离平衡会发生移动。

设计方案并完成实验：用浓度均为 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ 的 HAc 和 $NaAc$ 溶液，按下表配制总体积相同的系列溶液；测定 pH，记录数据。

序号	$V(HAc)$/mL	$V(NaAc)$/mL	$V(H_2O)$/mL	$n(NaAc):n(HAc)$	pH
I	40.00	/	/	0	2.86
II	4.00	/	36.00	0	3.36
…	…	…	…	…	…
VII	4.00	a	b	3 : 4	4.53

Ⅷ	4.00	4.00	32.00	1∶1	4.65

①根据表中信息，补充数据：$a=$_____，$b=$_____。

②由实验Ⅰ和Ⅱ可知，稀释 HAc 溶液，电离平衡_____(填“正”或“逆”)向移动；结合表中数据，给出判断理由：_____。

③由实验Ⅱ~Ⅷ可知，增大 Ac^- 浓度，HAc 电离平衡逆向移动。

实验结论：假设成立。

(4) 小组分析上表数据发现：随着 $\frac{n(NaAc)}{n(HAc)}$ 的增加，$c(H^+)$ 的值逐渐接近 HAc 的 K_a。

查阅资料获悉：一定条件下，按 $\frac{n(NaAc)}{n(HAc)}=1$ 配制的溶液中，$c(H^+)$ 的值等于 HAc 的 K_a。

对比数据发现，实验Ⅷ中 $pH=4.65$ 与资料数据 $K_a=10^{-4.76}$ 存在一定差异；推测可能由物质浓度准确程度不够引起，故先准确测定 HAc 溶液的浓度再验证。

①移取 20.00 mL HAc 溶液，加入 2 滴酚酞溶液，用 0.100 0 $mol\cdot L^{-1}$ $NaOH$ 溶液滴定至终点，消耗体积为 22.08 mL，则该 HAc 溶液的浓度为_____ $mol\cdot L^{-1}$。画出上述过程的滴定曲线示意图并标注滴定终点。

②用上述 HAc 溶液和 0.100 0 $mol\cdot L^{-1}$ $NaOH$ 溶液，配制等物质的量的 HAc 与 $NaAc$ 混合溶液，测定 pH，结果与资料数据相符。

(5) 小组进一步提出：如果只有浓度均约为 0.1 $mol\cdot L^{-1}$ 的 HAc 和 $NaOH$ 溶液，如何准确测定 HAc 的 K_a？小组同学设计方案并进行实验。请完成下表中Ⅱ的内容。

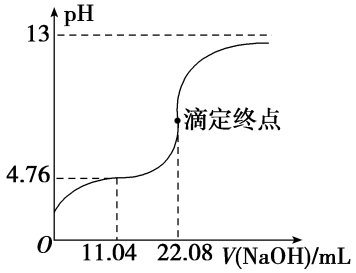
Ⅰ	移取 20.00 mL HAc 溶液，用 $NaOH$ 溶液滴定至终点，消耗 $NaOH$ 溶液 V_1 mL
Ⅱ	_____ _____，测得溶液的 pH 为 4.76

实验总结：得到的结果与资料数据相符，方案可行。

(6) 根据 K_a 可以判断弱酸的酸性强弱。写出一种无机弱酸及其用途：_____。

答案：(1)5.0　(2)C　(3)①3.00　33.00　②正　实验Ⅱ相较于实验Ⅰ，醋酸溶液稀释了 10 倍，而实验Ⅱ的 pH 增大值小于 1，说明稀释 HAc 溶液时，电离平衡正向移动

(4)①0.110 4

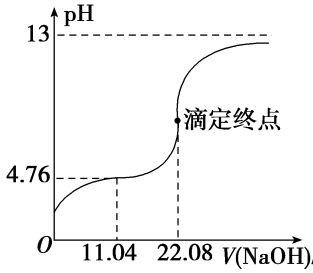


(5) 向滴定后的混合液中加入 20 mL HAc 溶液

(6)$HClO$：漂白剂和消毒液(或 H_2SO_3：还原剂、防腐剂；或 H_3PO_4：食品添加剂、制药、生产肥料)

解析：(1) 溶液稀释过程中，溶质的物质的量不变，因此 250×10^{-3} $L\times0.1$ $mol\cdot L^{-1}=V\times5$ $mol\cdot L^{-1}$，解得 $V=5\times10^{-3}$ $L=5.0$ mL。(2) 振荡时应用瓶塞塞住容量瓶口，不可用手指压住容量瓶口，故 A 错误；定容时平视，视线、溶液凹液面和刻度线应“三线相切”，不能仰视或俯视，且胶头滴管不能插入到容量瓶中，故 B 错误；向容量瓶中转移液体，需用玻璃棒引流，玻璃棒下端位于刻度线以下，同时玻璃棒不能接触容量瓶瓶口，故 C 正确；定容完成后，盖上瓶塞，左手食指抵住瓶塞，右手扶住容量瓶底部，将容量瓶反复上下颠

倒，摇匀，故 D 错误。(3)①实验Ⅶ的溶液中 $n(NaAc):n(HAc)=3:4$，$V(HAc)=4.00$ mL，因此 $V(NaAc)=3.00$ mL，即 $a=3.00$，由实验Ⅰ可知，溶液总体积为 40.00 mL，因此 $V(H_2O)=40.00\ mL-4.00\ mL-3.00$ mL $=33.00$ mL，即 $b=33.00$。②实验Ⅰ所得溶液的 $pH=2.86$，实验Ⅱ的溶液中 $c(HAc)$ 为实验Ⅰ的 $\frac{1}{10}$，稀释过程中，若不考虑电离平衡移动，则实验Ⅱ所得溶液的 $pH=2.86+1=3.86$，但实际溶液的 $pH=3.36<3.86$，说明稀释过程中，溶液中 $n(H^+)$ 增大，即电离平衡正向移动。(4)①滴定过程中发生反应：$HAc+NaOH===NaAc+H_2O$，由反应方程式可知，滴定至终点时，$n(HAc)=n(NaOH)$，因此 $22.08\ mL\times0.100\ 0\ mol\cdot L^{-1}=20.00\ mL\times c(HAc)$，解得 $c(HAc)=0.110\ 4\ mol\cdot L^{-1}$。滴定过程中，当 $V(NaOH)=0$ 时，$c(H^+)=\sqrt{K_a\cdot c(HAc)}\approx\sqrt{10^{-4.76}\times0.1}\ mol\cdot L^{-1}=10^{-2.88}\ mol\cdot L^{-1}$，溶液的 $pH=2.88$，当 $V(NaOH)=11.04$ mL 时，$n(NaAc)=n(HAc)$，溶液的 $pH=4.76$，当 $V(NaOH)=22.08$ mL 时，达到滴定终点，溶液中溶质为 $NaAc$，Ac^- 发生水解，溶液呈弱碱性，当 $NaOH$ 溶液过量较多时，$c(NaOH)$ 无限接近 $0.1\ mol\cdot L^{-1}$，溶液 pH 接近 13，因此滴定曲线如图：



(5) 向 20.00 mL HAc 溶液中加入 V_1 mL $NaOH$ 溶液达到滴定终点，滴定终点的溶液中溶质为 $NaAc$，当 $\frac{n(NaAc)}{n(HAc)}=1$ 时，溶液中 $c(H^+)$ 的值等于 HAc 的 K_a，因此可再向溶液中加入 20.00 mL HAc 溶液，使溶液中 $n(NaAc)=n(HAc)$。

2. 某小组为探究 Mg 与 NH_4Cl 溶液的反应机理，常温下进行以下实验。实验中所取镁粉质量均为 0.5 g，分别加入选取的实验试剂中，资料：① CH_3COONH_4 溶液呈中性。② Cl^- 对该反应几乎无影响。

实验	实验试剂	实验现象
1	5 mL 蒸馏水	反应缓慢，有少量气泡产生 (经检验为 H_2)
2	5 mL 1.0 $mol\cdot L^{-1}$ NH_4Cl 溶液 ($pH=4.6$)	剧烈反应，产生刺激性气味气体和灰白色难溶固体

(1) 经检验实验 2 中刺激性气味气体为 NH_3，检验方法是 _____。用排水法收集一小试管产生的气体，经检验小试管中气体为 H_2。

(2) 已知灰白色沉淀中含有 Mg^{2+}、OH^-。为研究固体成分，进行实验：将生成的灰白色固体洗涤数次，至洗涤液中滴加 $AgNO_3$ 溶液后无明显浑浊。将洗涤后的固体溶于稀 HNO_3，再滴加 $AgNO_3$ 溶液，出现白色沉淀。推测沉淀中含有 _____，灰白色固体可能是 _____ (填化学式)。

(3) 甲同学认为实验 2 比实验 1 反应剧烈的原因是 NH_4Cl 溶液中 $c(H^+)$ 大，与 Mg 反应快。用化学用语解释 NH_4Cl 溶液显酸性的原因是 _____。

(4) 乙同学通过实验 3 证明甲同学的说法不合理。

实验	实验装置
3	X　5 mL 1.0 mol·L^{-1} NH_4Cl溶液

①X 是 _____。

②由实验3获取的证据为_____。

(5)为进一步探究实验2反应剧烈的原因，进行实验4。

实验	实验试剂	实验现象
4	5 mL NH_4Cl 乙醇溶液	有无色无味气体产生(经检验为 H_2)

依据上述实验，可以得出 Mg 能与 NH_4^+ 反应生成 H_2。乙同学认为该方案不严谨，需要补充的实验方案是_____。

(6)由以上实验可以得出的结论是_____。

答案：(1)将湿润的红色石蕊试纸放在试管口，试纸变蓝　(2)Cl^-　$Mg(OH)Cl$　(3)$NH_4^+ + H_2O \circ\circ NH_3\cdot H_2O + H^+$　(4)①5 mL 1.0 $mol\cdot L^{-1}$ CH_3COONH_4 溶液　②两试管反应剧烈程度相当　(5)取5 mL无水乙醇，加入0.5 g 镁粉无明显变化　(6)NH_4Cl 水解产生的 H^+ 对反应影响小，NH_4^+ 对反应影响大

解析：(2)将洗涤后的固体溶于稀 HNO_3，再滴加 $AgNO_3$ 溶液，出现白色沉淀，说明灰白色沉淀含有 Cl^-，结合已知灰白色沉淀中含有 Mg^{2+}、OH^- 和化合物中各元素化合价代数和为0，可推测灰白色固体可能是 $Mg(OH)Cl$。(4)①由(3)分析可知，NH_4Cl 溶液因水解呈酸性，故为了进行对照实验，必须找到一种含有相同阳离子即 NH_4^+ 且溶液显中性的试剂，由题干信息可知，X 是5 mL 1.0 $mol\cdot L^{-1}$ CH_3COONH_4 溶液。②乙同学通过实验3来证明甲同学的说法是不合理的，故由实验3获取的证据为两试管反应剧烈程度相当。(5)依据上述实验，可以得出 Mg 能与 NH_4^+ 反应生成 H_2，乙同学认为该方案不严谨，故需要补充对照实验，在无 NH_4^+ 的情况下是否也能与 Mg 反应放出 H_2，故实验方案为取5 mL无水乙醇，加入0.5 g 镁粉无明显变化。