

化学工艺流程题 题型分析与解答技巧点拨

江苏 张绪生 陈方

化学工艺流程题是近几年高考的热点,所占的分值也相当重,但由于此类试题陌生度高,对学生的能力要求也大,加上有的试题文字量大,学生在没做之前往往就会产生畏惧感,所以这类题的得分不是很理想。为此,本文重点谈谈化学工艺流程题的结构、特点与解答技巧。

1. 化学工艺流程题的结构、特点和作用

化学工艺流程题,顾名思义,就是将化工生产过程中的主要生产阶段(即生产流程)用框图形式表示出来,并根据生产流程中有关的化学知识步步设问,形成与化工生产紧密联系的化学工艺试题。工艺流程题的结构分题头、题干和题尾三部分。题头一般是简单介绍该工艺生产的原材料和工艺生产的目的(包括副产品);题干部分主要用框图形式将原料到产品的主要生产工艺流程表示出来;题尾主要是根据生产过程中涉及的化学知识设置成系列问题,构成一道完整的化学试题。

其特点与作用有三个方面:一是试题源于生产实际,以解决化学实际问题作思路进行设问,使问题情境真实,能培养学生理论联系实际,学以致用学习观;二是试题内容丰富,涉及的化学基础知识方方面面,能考查学生化学双基知识的掌握情况和应用双基知识解决化工生产中有关问题的迁移推理能力;三是试题新颖,一般较长,阅读量大,能考查学生的阅读能力和对资料的收集处理能力。

2. 化学工艺流程题的分类

工艺流程题是新课程改革后才被引起高度重视的,因此,市面上流传的试题并不是很多。就目前已存在的试题来看,从主要化学工艺来分,可以分为基础化学工艺题和精细化学工艺题;以生产过程中主要工序来分,可分为除杂提纯工艺流程题(如海水纯化工艺流程题)、原材料转化工艺流程题、电解工艺流程题、有机合成题和资源能源综合利用工艺生产流程题等;按资源的不同,可将工艺流程题分为利用空气资源生产的工艺流程题(如合成氨工艺流程

题)、利用水资源生产的工艺流程题(如海水制盐、氯碱工业、海水提溴碘、海水提镁等),利用矿产资源生产的工艺流程题(如工业制硫酸、冶炼钢铁等),利用化石燃料生产的工艺流程题(如有机合成工艺题)等。本文偏重于以原材料为依据的分类方法,这样,更方便于学生归类学习,有利于掌握解题技巧。

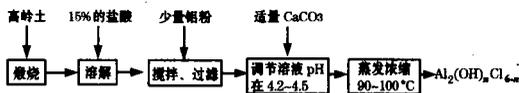
3. 解题方法

化学工艺生产主要解决的矛盾,归纳起来主要有六方面问题:一是解决将原料转化为产品的生产原理;二是除去所有杂质并分离提纯产品;三是提高产量与产率;四是减少污染,考虑“绿色化学”生产;五是原料的来源既要考虑丰富,还要考虑成本问题;六是生产设备简单,生产工艺简便可行等工艺生产问题。化学工艺流程题,一般也就围绕这六个方面设问求解。要准确、顺利解答化学工艺流程题,学生除了必须要掌握物质的性质和物质之间相互作用的基本知识以及除杂分离提纯物质的基本技能外,最关键的问题是要具备分析工艺生产流程的方法和能力。为此特提出下列四种解题基本方法,供参考。

3.1 首尾分析法

对一些线型流程工艺(从原料到产品为一条龙生产工序)试题,首先对比分析生产流程示意图中的第一种物质原材料与最后一种物质产品,从对比分析中找出原料与产品之间的关系,弄清生产流程中原料转化为产品的基本原理和除杂分离提纯产品的化学工艺,然后再结合题设的问题,逐一推敲解答。

例1. 聚合氯化铝是一种新型、高效絮凝剂和净水剂,其单体是液态的碱式氯化铝 $[Al_2(OH)_nCl_{3-n}]$ 。本实验采用铝盐溶液水解絮凝法制碱式氯化铝。其制备原料为分布广、价格廉的高岭土,化学组成为: Al_2O_3 (25%~34%)、 SiO_2 (40%~50%)、 Fe_2O_3 (0.5%~3.0%)以及少量杂质和水分。已知氧化铝有多种结构,化学性质也有差异,且一定条件下可相互转化;高岭土中的氧化铝难溶于酸。制备碱式氯化铝的实验流程如下:



根据流程图回答下列问题:

- (1)“煅烧”的目的是_____。
- (2)配制质量分数为 15% 的盐酸需要 200mL30% 的浓盐酸(密度约为 1.15g/cm³)和 _____ g 蒸馏水,配制用到的仪器有烧杯、玻璃棒、_____。
- (3)“溶解”过程中发生反应的离子方程式为_____。
- (4)加少量铝粉的主要作用是_____。
- (5)“调节溶液 pH 在 4.2~4.5”的过程中,除添加必要的试剂,还需借助的实验用品是_____;“蒸发浓缩”需保持温度在 90~100°C,控制温度的实验方法是_____。

解析:对比原料与产品可知,该生产的主要工序如下:一是除去原料高岭土中的杂质,二是将 Al₂O₃ 利用水解絮凝法转化为产品。再进一步分析,除铁用铝置换后过滤,高岭土中的 Al₂O₃ 不溶于酸,必须经煅烧改变结构。该题经这样分析,题设的所有问题的答案已迎刃而解。

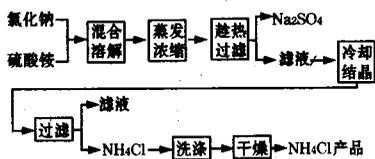
参考答案:(1)改变高岭土的结构,使其能溶于酸 (2)230 量筒 (3) Al₂O₃ + 6H⁺ = 2Al³⁺ + 3H₂O、Fe₂O₃ + 6H⁺ = 2Fe³⁺ + 3H₂O (4)除去溶液中的铁离子 (5)pH 计(或精密 pH 试纸) 水浴加热

【点评】首尾分析法是一种解工艺流程题的常用方法,这种方法的特点:简单、直观,很容易抓住解题的关键,用起来方便有效。使用这一方法解题,关键在于认真对比分析原材料与产品的组成,从而清晰将原料转化为产品和除去原材料中所包含的杂质的基本原理和所采用的工艺生产措施。当把生产的主线弄清楚了,围绕生产主线所设计的系列问题,也就可解答了。

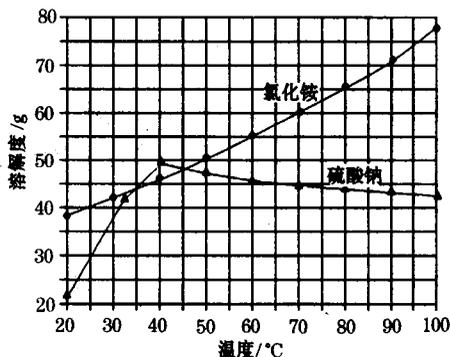
3.2 截段分析法

对于用同样的原材料生产多种(两种或两种以上)产品(包括副产品)的工艺流程题,用截段分析法更容易找到解题的切入点。

例 2.以氯化钠和硫酸铵为原料制备氯化铵及副产品硫酸钠的工艺流程如下:



氯化铵和硫酸钠的溶解度随温度变化如下图所示。



回答下列问题:

- (1)欲制备 10.7gNH₄Cl,理论上需 NaCl _____ g。
- (2)实验室进行蒸发浓缩用到的主要仪器有 _____、烧杯、玻璃棒、酒精灯等。
- (3)“冷却结晶”过程中,析出 NH₄Cl 晶体的合适温度为_____。
- (4)不用其他试剂,检查 NH₄Cl 产品是否纯净的方法及操作是_____。
- (5)若 NH₄Cl 产品中含有硫酸钠杂质,进一步提纯产品的方法是_____。

解析:该生产流程的特点是:用同样原材料既能生产主产品氯化铵,同时又能生产副产品硫酸钠。因此,为了弄清整个生产工艺,只能截段分析,即先分析流程线路中如何将原料转化为硫酸钠,然后再分析又如何从生产硫酸钠的母液中生产氯化铵,即将题中的流程路线截成两段分析,这样便可以降低解题的难度。

结合流程示意图和溶解度曲线图分析,生产硫酸钠只能用热结晶法,生产氯化铵用冷结晶法,这是因为温度降到 35°C 以下后,结晶得到的产品为 Na₂SO₄ · 10H₂O。

参考答案:(1)11.7 (2)蒸发皿 (3)35°C(或 33~40°C 之间任意值) (4)加热法;取少量氯化铵产品于试管底部,加热,若试管底部无残留物,表明氯化铵产品纯净 (5)重结晶

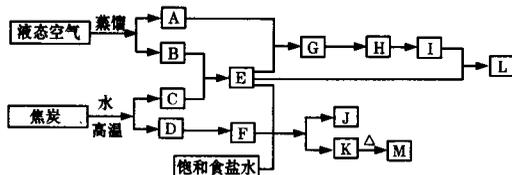
【点评】用截断分析法解工艺流程题是一种主流解题方法。因为当前化工生产中,为了降低成本,减少污染,增加效益,大都设计成综合利用原材料,生产多种产品的工艺生产线。为此,这种工艺流程题渐渐增多。用截断分析法解工艺流程题的关键在于选对题型和如何截段,截几段更合理。一般截段以生产的产品为准点。但也不一定,特殊情况也很多,

必须具体情况作具体分析。

3.3 交叉分析法

有些化工生产选用多组原材料,事先合成一种或几种中间产品,再用这一中间产品与部分其他原材料生产所需的主流产品。以这种工艺生产方式设计的工艺流程题,为了便于分析掌握生产流程的原理,方便解题,最简单的方法,就是将提供的工艺流程示意图划分成几条生产流水线,上下交叉分析。

例 3. 某一化工厂的生产流程如下图所示:



(1) L、M 的名称分别是_____。

(2) G → H 过程中为什么通入过量的空气? _____。

(3) 用电子式表示 J: _____。

(4) 写出饱和食盐水、E、F 反应生成 J 和 K (此条件下 K 为沉淀) 的化学方程式: _____。

要实现该反应,你认为应如何操作? _____。

解析: 根据流程图分析可知,用空气、焦炭和水为原材料,最终生成 L 和 J、M 的产品,首先必须生成中间产品 E。这样,主要生产流水线至少要有两条(液态空气—E—M,焦炭—E—L)。为了弄清该化工生产的生产工艺,需将这两条生产流水线交叉综合分析,最终解答题设的有关问题。

参考答案: (1) 硝酸铵 碳酸钠 (2) 提高 NO

的转化率 (3) $\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \text{H} : \text{N} : \text{H} \\ \text{H} \end{array} \right]^+ \left[\begin{array}{c} : \\ : \\ : \\ \text{Cl} : \\ : \\ : \end{array} \right]^-$ (4) $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

$+ \text{NaCl} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{NaHCO}_3 \downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$ 向饱和的食盐中先通入足量的 NH_3 , 再通入足量的 CO_2

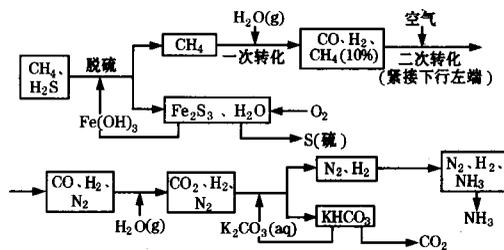
【点评】 从本题分析得知,构成交叉分析的类型,其提供的工艺流程至少有三个因素(多组原材料、中间产品、多种产品)和两条或多条生产流水线的化工生产工艺。利用交叉分析法解工艺流程题的关键,在于找准中间产品(因为有时会出现多种中间产品)和流水生产的分线,在分析过程中,抓住中间物质的关联作用,逐一破解。

3.4 “瞻前顾后”分析法

有些化工生产,为了充分利用原料,变废为宝,设计的生产流水线除了主要考虑将原料转化为产品外,同时还要考虑将生产过程的副产品转化为原料的循环生产工艺。解答这种类型题,用“瞻前顾后”

分析法。瞻前顾后分析法,指分析工艺生产流程时,主要考虑原料转化的产品(瞻前),同时也要考虑原料的充分利用和再生产问题(顾后)。

例 4. 利用天然气合成氨的工艺流程示意图如下:



依据上述流程,完成下列填空:

(1) 天然气脱硫时的化学方程式是_____。

(2) $n\text{mol CH}_4$ 经一次转化后产生 CO $0.9n\text{mol}$, 产生 H_2 _____ mol (用含 n 的代数式表示)。

(3) $\text{K}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ 和 CO_2 反应在加压下进行, 加压的理论依据是_____。

A. 相似相容原理

B. 勒夏特列原理

C. 酸碱中和原理

(4) 分析流程示意图回答, 该合成氨工艺的主要原料是_____, 辅助原料有_____。

(5) 请写出由 CH_4 为基本原料经四次转化为合成氨的 N_2 、 H_2 的化学反应方程式: _____。

(6) 整个流程有三处循环, 一是 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 循环, 二是 $\text{K}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ 循环, 请在上述流程图上标出第三处循环(循环方向和循环物质)。

解析: 该生产工艺属于多处循环生产工艺, 因此分析工艺流程示意图时, 分析的主线是弄清基本原料 CH_4 转化为合成氨的基本原料 N_2 和 H_2 的工艺生产原理。同时还要回头分析循环生产的理由和循环生产的工艺生产段。通过这样既考虑产品的合成, 又考虑原料的充分利用, 该题所涉及的问题也就可以解答了。

参考答案: (1) $3\text{H}_2\text{S} + 2\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$

(2) $2.7n$

(3) B

(4) CH_4 、 H_2O 、空气 K_2CO_3 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$

(5) $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3\text{H}_2$ 、 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ 、 $2\text{CH}_4 + 3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{KHCO}_3$

(6) $\left[\begin{array}{c} \text{H}_2, \text{N}_2, \text{NH}_3 \\ \leftarrow \\ \text{H}_2, \text{N}_2 \\ \uparrow \\ \text{NH}_3 \end{array} \right]$

【点评】用“瞻前顾后”法分析循环工艺生产流程题,关键是如何找到循环生产点,即在什么情况下,什么生产阶段实施循环生产。判断循环生产点的方法:一是看反应是否为可逆反应,如果是可逆反应,要考虑原料的循环利用。如本题合成氨反应是可逆反应,分离氨后的尾气中还含有大量原料气 N_2 和 H_2 , 千万不能随便放掉,必须送入合成塔,实施循环生产。二是看副产品的分子组成与某种原料的组成中是否有相同的元素,如果有,而且该副产品又容易转化为某种原料,就可以考虑循环生产工艺。如本题中 $Fe_2S_3 \rightleftharpoons Fe(OH)_3$ 的循环生产、 $KHCO_3 \rightleftharpoons K_2CO_3$ 的循环生产。

总之,解化学工艺流程题的方法很多,在此就不一一详说了。化学工艺流程题在高考命题中得到广泛关注,就是因为该类题型体现了化学新课改的一个重要作用——化学学科与工业生产和日常生活的紧密联系,并且还能综合考查学生对元素化合物、化学实验和化学基本理论知识的掌握情况。为此,在今后的高考命题中,化学工艺流程题还会加强。本文再次提醒中学各化学教师,在日常的教学中要有意识地引导学生对该类题型的解法加强练习,不可忽视。

专项练习

1. 明矾石是制取钾肥和氢氧化铝的重要原料,明矾石的组成和明矾相似,此外还含有氧化铝和少量氧化铁杂质。具体实验步骤如下图所示:



根据上述图示,完成下列填空:

- (1)明矾石焙烧后用稀氨水浸出。配制 500mL 稀氨水(每升含有 39.20g 氨)需要取浓氨水(每升含有 250.28g 氨) _____ mL,用规格为 _____ mL 量筒量取。
- (2)氨水浸出后得到固液混合体系,过滤,滤液中除 K^+ 、 SO_4^{2-} 外,还有大量的 NH_4^+ 。检验 NH_4^+ 的方法是 _____。
- (3)写出沉淀物中所有物质的化学式: _____。
- (4)滤液 I 的成分是水和 _____。
- (5)为测定混合肥料 K_2SO_4 、 $(NH_4)_2SO_4$ 中钾的含量,完善下列步骤:

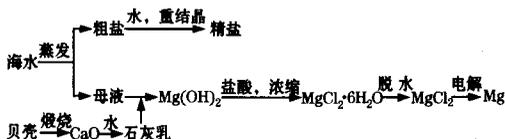
①称取钾氮肥试样并溶于水,加入足量 _____ (填化学式)溶液,产生白色沉淀。

② _____、_____、_____ (依次填写实验操作名称)。

③冷却、称重。

(6)若试样为 mg ,沉淀的物质的量为 $nmol$,则试样中 K_2SO_4 的物质的量为 _____ mol(用含 m 、 n 的代数式表示)。

2. 海水的综合利用可以制备金属镁,其流程如下图所示:



(1)若在空气中加热 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$,生成的是 $Mg(OH)Cl$ 或 MgO ,写出相应反应的化学方程式: _____;用电解法制取金属镁时,需要无水氯化镁。写出用电解法制取金属镁的化学方程式: _____。

(2) $Mg(OH)_2$ 沉淀中混有 $Ca(OH)_2$ 时应怎样除去?(写出实验步骤)

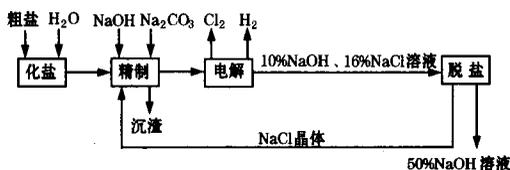
(3)实验室里将粗盐制成精盐的过程中,在溶解、过滤、蒸发三个步骤的操作中都要用到玻璃棒,分别说明这三种情况下使用玻璃棒的目的:

溶解时: _____;

过滤时: _____;

蒸发时: _____。

3. 氯碱厂电解饱和食盐水制取 $NaOH$ 的工艺流程图示意图如下:



依据上图,完成下列填空:

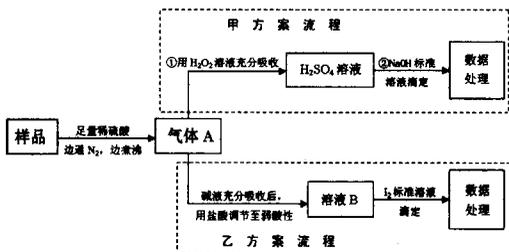
- (1)在电解过程中,与电源正极相连的电极上所发生反应的化学方程式为 _____;与电源负极相连的电极附近,溶液 pH _____ (填“不变”、“升高”或“降低”)。
- (2)工业食盐含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等杂质,则精制过程中发生反应的离子方程式为 _____。
- (3)如果精盐中 SO_4^{2-} 含量较高,必须添加钡试剂除去 SO_4^{2-} ,该钡试剂可以是 _____ (填“a”、“b”或“c”)。
 - a. $Ba(OH)_2$
 - b. $Ba(NO_3)_2$
 - c. $BaCl_2$
- (4)为有效除去 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} ,加入试剂的合理顺序为 _____ (填“a”、“b”或“c”)。

- a. 先加 NaOH, 后加 Na_2CO_3 , 再加钡试剂
 b. 先加 NaOH, 后加钡试剂, 再加 Na_2CO_3
 c. 先加钡试剂, 后加 NaOH, 再加 Na_2CO_3

(5) 脱盐工序中利用 NaOH 和 NaCl 在溶解度上的差异, 通过_____ (填操作名称)、冷却结晶、_____ 除去 NaCl。

(6) 在隔膜法电解食盐水时, 电解槽分隔为阳极区和阴极区, 防止 Cl_2 与 NaOH 反应; 采用无隔膜电解冷的食盐水时, Cl_2 与 NaOH 充分接触, 产物仅是 NaClO 和 H_2 , 相应的化学方程式为_____。

4. 亚硫酸盐是一种常见食品添加剂。为检验某食品中亚硫酸盐含量(通常 1kg 样品中含 SO_2 的质量计), 某研究小组设计了如下两种实验流程:



(1) 气体 A 的主要成分是_____, 为防止煮沸时发生暴沸, 必须先向烧瓶中加入_____; 通入 N_2 的目的是_____。

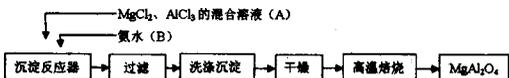
(2) 写出甲方案第①步反应的离子方程式:_____。

(3) 甲方案第②步滴定前, 滴定管需用 NaOH 标准溶液润洗, 其操作方法是_____。

(4) 若用盐酸代替稀硫酸处理样品, 则按乙方案实验测定的结果_____ (填“偏高”、“偏低”或“无影响”)。

(5) 若取样品 w g, 按乙方案测得消耗 $0.010\ 00\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ I_2 溶液 V mL, 则 1kg 样品中含 SO_2 的质量是_____ g (用含 w 、 V 的代数式表示)。

5. 实验室采用 MgCl_2 、 AlCl_3 的混合溶液与过量氨水反应制备 MgAl_2O_4 , 主要流程如下:



(1) 为使 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 同时生成沉淀, 应先向沉淀反应器中加入_____ (填“A”或“B”), 再滴加另一反应物。

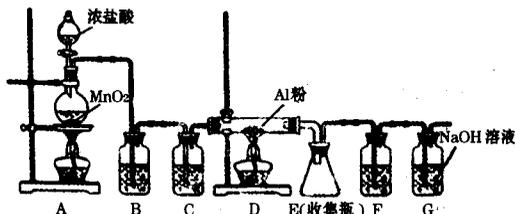
(2) 如右图所示, 过滤操作中的一处错误是_____。



(3) 判断流程中沉淀是否洗净所用的试剂名称

是_____。高温焙烧时, 用于盛放固体的仪器名称是_____。

(4) 无水 AlCl_3 (183°C 升华) 遇潮湿空气即产生大量白雾, 实验室可用下列装置制备。



装置 B 中盛放饱和 NaCl 溶液, 该装置的主要作用是_____。F 中试剂的作用是_____。用一件仪器装填适当试剂后也可起到 F 和 G 的作用, 所装填的试剂名称为_____。

参考答案

1. (1) 78.0 100 (2) 取滤液少许, 加入 NaOH 溶液后加热, 生成的气体能使润湿的红色石蕊试纸变蓝 (3) $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 (4) K_2SO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (5) BaCl_2 过滤 洗涤 干燥 (6) $\frac{(m-132n)}{42}$

2. (1) $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{Mg}(\text{OH})\text{Cl} + \text{HCl} \uparrow + 5\text{H}_2\text{O} \uparrow$ 或 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{MgO} + 2\text{HCl} \uparrow + 5\text{H}_2\text{O} \uparrow$ $\text{MgCl}_2 \xrightarrow{\text{通电}} \text{Mg} + \text{Cl}_2 \uparrow$ (2) 加入 MgCl_2 溶液, 充分搅拌, 过滤, 沉淀用蒸馏水洗涤 (3) 搅拌, 加速溶解 使待滤液体沿玻璃棒流入漏斗, 防止外洒 搅拌, 防止因局部过热液滴或晶体飞溅

3. (1) $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$ 升高 (2) $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3 \downarrow$ 、 $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$ (3) a、c (4) b、c (5) 蒸发浓缩 过滤 (6) $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$ 、 $\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} = 2\text{NaClO} + \text{H}_2 \uparrow$

4. (1) SO_2 、 N_2 碎瓷片(或沸石) 将生成的 SO_2 全部赶出 (2) $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ (3) 滴定管用蒸馏水洗涤干净后, 注入少量 NaOH 标准液, 均匀润洗整个滴定管内壁, 然后将润洗液从下端尖嘴处放出, 重复操作 2~3 次 (4) 无影响 (5) 0.64 V/w

5. (1) B (2) 漏斗下端尖嘴没有紧靠烧杯内壁 (3) AgNO_3 溶液(或硝酸酸化的 AgNO_3 溶液) 坩埚 (4) 除去氯气中的 HCl 吸收水蒸气 碱石灰(或 NaOH 与 CaO 混合物)