

“铝及其化合物”复习导航

河南省鲁山县第三高级中学 (467300) 师殿峰

一、知识归纳

(一) 金属铝

1. 铝的物理性质

铝是一种银白色金属, 较软, 密度为 2.70 g/cm^3 (属于轻金属, 仅为钢的 $1/3$ 左右); 熔点为 660.4°C , 沸点为 2467°C . 铝有较强的韧性、延展性, 有良好的导电、导热性(导电性仅次于银、铜和铁).

2. 铝的化学性质

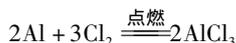
铝是一种活泼金属, 在化学反应中表现出较强的还原性.

(1) 铝与非金属单质反应

①与 O_2 反应: 常温下, 金属铝被空气里的氧气氧化, 在表面生成一层致密的氧化物薄膜, 阻止内部的金属继续与氧气发生反应. 在点燃条件下, 铝箔能够在氧气里剧烈燃烧生成氧化铝, 并放出大量的热和耀眼的白光. 因此金属铝可用于制造燃烧弹、信号弹、火箭推进剂等.



②与 Cl_2 反应: 在点燃条件下, 铝箔能够在 Cl_2 中剧烈燃烧, 生成氯化铝.



③与 S 反应: 在加热条件下, 铝能够与硫反应, 生成硫化铝.



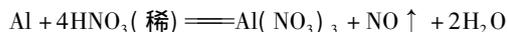
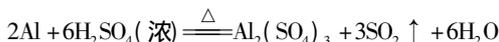
(2) 铝与酸反应

►解法点拨 反应的离子方程式为 $3\text{Cu} + 8\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- \rightleftharpoons 3\text{Cu}^{2+} + 2\text{NO} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$. 实验情景除了将铜片放入稀硝酸不再有其他操作, 故接触面积是不需要列入合理假设的, 由于反应物是固液体系, 故压强也是不需要列入合理假设的. 该实验中反应速率明显加快的原因可能是 AC. 表中数据可知, 反应过程中溶液的温度变化不大, 这说明温度不是反应速率明显加快的主要原因. 探究到产物催化作用的研究, 还是要从合理假设开始, 从离子方程式看, 新增的物质只有铜离子, 故铜离子的影响应列入合理假设(体系中一直存在 NO_3^- , 故 NO_3^- 不应列入合理假设; NO 不溶于水立即逸出也不应列入合理假设), 另一种中间产物亚硝酸根的影响是试题提示

①与非氧化性酸反应: 铝与非氧化性酸(如盐酸、稀硫酸等)能发生置换反应. 如:

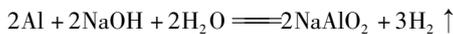


②与氧化性酸反应: 常温下, 铝遇浓硫酸或浓硝酸能够产生钝化现象. 因此, 可用铝制的容器装运浓硫酸或浓硝酸. 在加热条件下, 铝与氧化性酸(如浓硫酸、浓硝酸、稀硝酸)反应(铝与稀硝酸在常温下即可反应)生成铝盐, 但不生成氢气. 如:



(3) 铝与碱反应

铝能够与强碱(如 NaOH 、 KOH 等)溶液反应, 生成偏铝酸盐和氢气. 如:



铝与 NaOH 溶液反应的实质是: 首先 Al 与 H_2O 反应生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 H_2 :

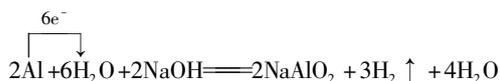
$2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{H}_2 \uparrow$ (属氧化还原反应, 其中 Al 是还原剂, 水是氧化剂), 然后 NaOH 与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 反应生成 NaAlO_2 和 H_2O : $\text{NaOH} + \text{Al}(\text{OH})_3 \rightleftharpoons \text{NaAlO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (属非氧化还原反应). 其总化学方程式为 $2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NaAlO}_2 + 3\text{H}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ (通常写为 $2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NaAlO}_2 + 3\text{H}_2 \uparrow$). 其电子转移情况用

的, 设计单一变量对比实验, 探究 Cu^{2+} 和 NO_2^- 的影响.

实验编号	铜片质量/g	$0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硝酸体积/mL	硝酸铜晶体/g	亚硝酸钠晶体/g	实验目的
①	5	20	0	0	实验①和②探究 Cu^{2+} 的影响; 实验①和③探究亚硝酸根的影响.
②	5	20	0.5	0	
③	5	20	0	0.5	

(收稿日期: 2013 - 11 - 29)

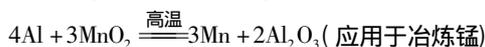
“单线桥”法可表示为:



注意: 铝既能与强酸(如盐酸、稀硫酸)溶液反应又能与强碱(如 NaOH、KOH 等)溶液反应, 但铝不是两性物质。这是因为: 一方面铝不符合两性物质的定义(既能与酸反应生成盐和水, 又能与碱反应生成盐和水)的物质, 叫做两性物质。在铝与强酸及强碱的反应中均没有水生成。另一方面铝并不直接与强碱反应, 铝与强碱溶液反应的实质是: 铝首先与水反应, 然后生成的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 与强碱反应, 所以铝不是两性物质。

(4) 铝与某些金属氧化物反应

在高温条件下, 铝能够与比铝不活泼的金属的氧化物(如 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 MnO_2 、 V_2O_5 、 Cr_2O_3 、 WO_3 等)发生铝热反应。铝热反应原理可以应用在生产上, 如曾用于焊接钢轨等。在冶金工业上也常用这一原理, 使铝与金属氧化物反应, 冶炼铁、钒、铬、锰等。如:



注意: 铝热反应的实验: ①实验原理: $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$, ②实验装置: 如图 1。③操作步骤: a. 把两张圆形滤纸分别折叠成漏斗状套在一起, 使四周都有四层; 把内层滤纸取出, 在其底部剪

一小孔后用水润湿, 再套回原处, 并套在铁圈上(如图), 下面放置一盛沙子的蒸发皿。b. 把 5 g 干燥的氧化铁粉末和 2 g 铝粉均匀混合后放入纸漏斗中, 在混合物上面加少量氯酸钾固体, 中间插一根用砂纸打磨过的镁带。c. 用燃着的小木条点燃镁条, 观察现象。④实验现象: 镁条剧烈燃烧, 发出耀眼的光芒, 氧化铁粉末和铝粉剧烈反应, 火星四射, 纸漏斗的下部被烧穿, 有熔融物落入蒸发皿的沙中。待熔融物冷却后, 除去外层熔渣, 可以发现落下的是铁珠。⑤实验结论: 铝置换出了氧化铁中的铁。



图 1

3. 铝的工业制法

工业上, 用电解熔融 Al_2O_3 的方法制备铝(用冰晶石作助熔剂): $2\text{Al}_2\text{O}_3 \xrightarrow[\text{冰晶石}]{\text{电解}} 4\text{Al} + 3\text{O}_2 \uparrow$

4. 铝的主要用途

铝常用于制作导线和电缆, 铝箔常用于食品、饮料的包装等。铝更重要的用途是制造合金, 铝的合金质轻而坚韧, 主要用于建筑业、容器和包装业、交通运输业以及电子行业; 铝合金还广泛用于制造飞机的构件。此外, 铝热反应用于焊接钢轨, 用于冶炼钒、铬、锰等金属。

(二) 氧化铝与氢氧化铝的比较

类别	氧化铝	氢氧化铝
化学式	Al_2O_3	$\text{Al}(\text{OH})_3$
物质类别	两性氧化物	两性氢氧化物
物理性质	氧化铝是白色粉末状固体, 熔点(为 2045°C) 较高, 不溶于水	氢氧化铝是几乎不溶于水的白色胶状物质。氢氧化铝具有吸附性, 能凝聚水中的悬浮物, 又能吸附色素, 因此可用于水的净化
热稳定性	稳定	不稳定, 受热易分解: $2\text{Al}(\text{OH})_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
与强酸(H^+) 溶液反应	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$
与强碱(OH^-) 溶液反应	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons 2\text{AlO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$
相互转化	① $2\text{Al}(\text{OH})_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$; ② $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}^{3+} + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NH}_4^+$; ③ $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons 2\text{AlO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$, $2\text{AlO}_2^- + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{CO}_3^{2-}$	
实验室制法	/	可溶性铝盐与氨水反应: $\text{Al}^{3+} + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NH}_4^+$
主要用途	氧化铝是冶炼铝的原料, 也是一种比较好的耐火材料。它可以用来制造坩埚、耐火管和耐高温的实验仪器等	氢氧化铝用于制备铝盐, 用作吸附剂和净水剂, 并用作制瓷釉、耐火材料、防水布等的原料。其凝胶液和干燥凝胶在医疗上用作抗酸药(治疗胃酸的一种药剂)

注意: ①既能与酸反应生成盐和水, 又能与碱反应生成盐和水的氧化物称为两性氧化物, 氧化铝是典型的两性氧化物。②既能与酸反应生成盐和水, 又能与碱反应生成盐和水的氢氧化物称为两性氢氧化物, 氢氧化铝是典型的两性氢氧化物。

(三) Al^{3+} (铝盐) 的化学性质

1. 沉淀性 Al^{3+} 与少量的强碱溶液或氨水反应能够生成 $Al(OH)_3$ 沉淀.



2. 水解性 (1) Al^{3+} 能够水解使溶液呈酸性:

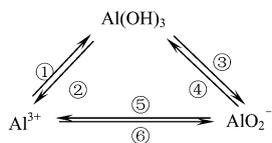


(2) Al^{3+} 与 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 SO_3^{2-} 、 HSO_3^- 、 S^{2-} 、 HS^- 、 AlO_2^- 等能够发生双水解反应而不能大量共存. 如:

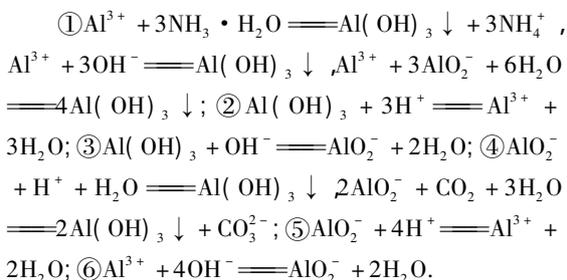


(四) Al^{3+} 、 $Al(OH)_3$ 、 AlO_2^- 的相互转化

1. 转化关系



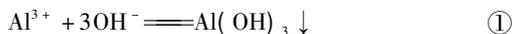
2. 主要反应



(五) 铝及其重要化合物之间的转化关系(略)

(六) 可溶性铝盐与强碱溶液反应的计算规律

可溶性铝盐与强碱溶液反应,可能涉及的离子方程式为:



1. 求产物 $Al(OH)_3$ 的量

(1) 当 $n(OH^-) \leq 3n(Al^{3+})$ 时,由①得 $n[Al(OH)_3] = 1/3 \times n(OH^-)$,即 $m[Al(OH)_3] = 1/3 \times n(OH^-) \times 78 \text{ g/mol}$.

注意: $n(OH^-)$ 、 $n(Al^{3+})$ 和 $n[Al(OH)_3]$ 分别表示 OH^- 、 Al^{3+} 和 $Al(OH)_3$ 的物质的量(下同); $m[Al(OH)_3]$ 表示 $Al(OH)_3$ 的质量(下同).

(2) 当 $3n(Al^{3+}) < n(OH^-) < 4n(Al^{3+})$ 时,由反应 $Al^{3+} + 3OH^- \rightleftharpoons Al(OH)_3 \downarrow$ 可知,物质的量为 $n(Al^{3+})$ 的 Al^{3+} 与物质的量为 $3n(Al^{3+})$ 的 OH^-

反应生成 $Al(OH)_3$ 沉淀的物质的量为 $n(Al^{3+})$;

再由反应 $Al(OH)_3 + OH^- \rightleftharpoons AlO_2^- + 2H_2O$ 可知,过量的 OH^- (其物质的量为 $n(OH^-) - 3n(Al^{3+})$) 又与 $Al(OH)_3$ 反应而消耗 $Al(OH)_3$ 的物质的量为 $[n(OH^-) - 3n(Al^{3+})]$; 最终生成 $Al(OH)_3$ 沉淀的物质的量为 $n[Al(OH)_3] = n(Al^{3+}) - [n(OH^-) - 3n(Al^{3+})] = [4n(Al^{3+}) - n(OH^-)]$,即 $m[Al(OH)_3] = [4n(Al^{3+}) - n(OH^-)] \times 78 \text{ g/mol}$.

(3) 当 $n(OH^-) \geq 4n(Al^{3+})$ 时,由③得 $n[Al(OH)_3] = 0$,即 $m[Al(OH)_3] = 0$.

2. 求反应物 OH^- 的物质的量

当 $n[Al(OH)_3] = n(Al^{3+})$ 时,由①得 $n(OH^-) = 3n(Al^{3+})$; 当 $n[Al(OH)_3] < n(Al^{3+})$ 时,若碱不足,由①得 $n(OH^-) = 3n(Al^{3+})$; 若碱过量,由③和②得 $n(OH^-) = 4n(Al^{3+}) - n[Al(OH)_3]$.

二、典例解析

1. 考查金属铝的性质

例1 下列有关金属铝的叙述正确的是().

- A. 在 Al 与 NaOH 溶液的反应中, NaOH 是氧化剂
- B. 在加热条件下, Al 与浓硫酸反应能够产生氢气
- C. 在高温条件下, 铝能够与氧化镁发生铝热反应
- D. 在常温下, 铝遇到浓硫酸或浓硝酸能产生钝化现象

解析 在 Al 与 NaOH 溶液的反应中, 铝是还原剂, H_2O 是氧化剂, 而 NaOH 既不是氧化剂又不是还原剂, 则 A 不正确; 在加热条件下, Al 与浓硫酸反应不能够产生氢气(产生 SO_2 气体), 则 B 不正确; 因镁比铝活泼, 铝不能与氧化镁发生铝热反应, 则 C 不正确; 而 D 正确. 故答案为 D.

2. 考查铝的化合物的性质

例2 把 $AlCl_3$ 溶液蒸干灼烧, 最后得到的固体产物是().

- A. $AlCl_3$
- B. $Al(OH)_3$
- C. $AlCl_3 \cdot 6H_2O$
- D. Al_2O_3

解析 因在 $AlCl_3$ 溶液中存在着水解平衡: $AlCl_3 + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3 + 3HCl$, 在蒸干过程中 HCl 挥发, 水解平衡右移并趋于完全; 再灼烧 $Al(OH)_3$ 分解: $2Al(OH)_3 \xrightarrow{\Delta} Al_2O_3 + 3H_2O \uparrow$, 则最后得到的固体产物是 Al_2O_3 . 故答案为 D.

3. 考查铝及其化合物的性质

例3 (2007 年广东理科基础卷) 下列有关金属铝及其化合物的叙述正确的是().

- A. 铝在常温下不能与氧气反应

- B. 铝不能与氯气反应
 C. 铝既能溶于酸,又能溶于碱
 D. 氧化铝只能与酸反应,不能与碱反应

解析 在常温下,铝能与氧气反应;在点燃条件下,铝能与氯气反应;铝既能溶于强酸,又能溶于强碱;氧化铝既能与强酸反应,又能与强碱反应;则只有 C 正确. 故答案为 C.

例 4 下列有关铝及其化合物的叙述不正确的是().

- A. 在高温条件下,Al 不仅能够与 Fe_2O_3 发生铝热反应,而且能够与 MnO_2 发生铝热反应
 B. Al_2O_3 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 均属两性化合物
 C. Al、 Al_2O_3 及 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 均既能与盐酸反应,又能与氢氧化钠溶液反应

D. 在实验室,用硫酸铝溶液与过量的 NaOH 溶液反应可制得 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀

解析 在高温条件下,铝能够与比铝不活泼的金属的氧化物(如 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 MnO_2 、 V_2O_5 、 Cr_2O_3 、 WO_3 等)发生铝热反应,则 A 正确; Al_2O_3 属于两性氧化物, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 属于两性氢氧化物,则 B 正确;Al、 Al_2O_3 及 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 均既能与盐酸反应,又能与氢氧化钠溶液反应,则 C 正确;因 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 能够与过量的 NaOH 溶液反应,则 D 不正确. 故答案为 D.

4. 考查有关铝反应的计算

例 5 (2004 年江苏化学高考题) 铝分别与足量的稀盐酸和氢氧化钠溶液反应,当两个反应放出的气体在相同状况下体积相等时,反应中消耗的 HCl 和 NaOH 物质的量之比为().

- A. 1:1 B. 2:1 C. 3:1 D. 1:3

解析 因铝与稀盐酸和氢氧化钠溶液反应的实质均为: $\text{Al} - 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}^{3+}$, $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$; 因两个反应放出的气体在相同状况下体积相等,则根据得失电子守恒原则可知两个反应中消耗 Al 的物质的量相等; 又因 $\text{Al} + 3\text{HCl} \rightarrow \text{AlCl}_3$, $\text{Al} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaAlO}_2$, 则反应中消耗的 HCl 和 NaOH 物质的量之比为 3:1. 故答案为 C.

例 6 (2009 年上海化学高考题) 实验室将 9 g 铝粉跟一定量的金属氧化物粉末混合形成铝热剂. 发生铝热反应之后,所得固体中含金属单质为 18 g, 则该氧化物粉末可能是().

- A. Fe_2O_3 和 MnO_2 B. MnO_2 和 V_2O_5
 C. Cr_2O_3 和 V_2O_5 D. Fe_3O_4 和 FeO

解析 因 9 g 铝粉可以提供 1 mol 电子,则金属氧化物中的金属元素得到 1 mol 电子所生成金属单质混合物的质量为 18 g; 三价铁、四价锰、五价钒

和三价铬分别得到 1 mol 电子生成金属的质量分别为 18.7 g、13.8 g、10.2 g 和 17.3 g. 根据平均值原理可知, A 符合题意,而 B、C 不符合题意. 又因 Fe_3O_4 和 FeO 中的铁元素分别得到 1 mol 电子生成铁的质量分别为 21 g 和 28 g, 则当铝粉过量时 D 也符合题意. 故答案为 A、D.

5. 考查有关铝的化合物反应的计算

例 7 在 100 mL 0.2 mol/L AlCl_3 溶液中加入 0.5 mol/L NaOH 溶液,得到 1.17 g $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀, 则加入 NaOH 溶液的体积可能为().

- A. 45 mL B. 90 mL C. 115 mL D. 130 mL

解析 因 $n(\text{AlCl}_3) = 0.2 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 0.02 \text{ mol}$, $n[\text{Al}(\text{OH})_3] = \frac{1.17 \text{ g}}{78 \text{ g/mol}} = 0.015 \text{ mol}$; 因 $n[\text{Al}(\text{OH})_3] < n(\text{AlCl}_3)$, 则存在加入 NaOH 不足和部分过量两种情况. 当 NaOH 不足时,由反应 $\text{AlCl}_3 + 3\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NaCl}$ 可知, $n(\text{NaOH}) = 3n[\text{Al}(\text{OH})_3] = 3 \times 0.015 \text{ mol} = 0.045 \text{ mol}$; 则 $V(\text{NaOH}) = \frac{0.045 \text{ mol}}{0.5 \text{ mol/L}} = 0.09 \text{ L} = 90 \text{ mL}$; 当 NaOH

部分过量时,所得溶液为 NaAlO_2 和 NaCl 的混合溶液, 则根据电荷守恒原理得: $n(\text{Na}^+) = n(\text{AlO}_2^-) + n(\text{Cl}^-)$; 而 $n(\text{AlO}_2^-) = n(\text{AlCl}_3) - n[\text{Al}(\text{OH})_3] = 0.02 \text{ mol} - 0.015 \text{ mol} = 0.005 \text{ mol}$, $n(\text{Cl}^-) = 3n(\text{AlCl}_3) = 3 \times 0.02 \text{ mol} = 0.06 \text{ mol}$, 即 $n(\text{Na}^+) = 0.005 \text{ mol} + 0.06 \text{ mol} = 0.065 \text{ mol}$, 则 $n(\text{NaOH}) = n(\text{Na}^+) = 0.065 \text{ mol}$, 从而得 $V(\text{NaOH}) = \frac{0.065 \text{ mol}}{0.5 \text{ mol/L}} = 0.13 \text{ L} = 130 \text{ mL}$. 故答案为 B、D.

例 8 向 200 mL 1 mol/L AlCl_3 溶液中加入 200 mL 3.5 mol/L NaOH 溶液, 则生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀的质量为().

- A. 15.6 g B. 11.7 g C. 7.8 g D. 3.9 g

解析 因 $n(\text{AlCl}_3) = 1 \text{ mol/L} \times 0.2 \text{ L} = 0.2 \text{ mol}$, $n(\text{NaOH}) = 3.5 \text{ mol/L} \times 0.2 \text{ L} = 0.7 \text{ mol}$, 则 $n(\text{AlCl}_3) : n(\text{NaOH}) = 0.2 \text{ mol} : 0.7 \text{ mol} = 2 : 7$; 而 $1 : 3 > 2 : 7 > 1 : 4$, 则 NaOH 部分过量. 其反应实质为 AlCl_3 与 NaOH 反应首先生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀: $\text{AlCl}_3 + 3\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NaCl}$; 然后过量的 NaOH 又与部分 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 反应生成 NaAlO_2 : $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaAlO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; 最终生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀和 NaAlO_2 . 或认为反应 $\text{AlCl}_3 + 3\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NaCl}$ 和 $\text{AlCl}_3 + 4\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaAlO}_2 + 3\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ 同时进行, 生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀和 NaAlO_2 . 可用以下七种方法求解.

