

借用数轴法巧解与量有关的离子反应

◎ 杨卫平

摘要:在离子反应中,由于反应物之间的配比不同,进而导致产物也不同。这类与量有关的离子反应的讨论题,是浙江选考化学考查的热点、重点,也是难点,近几次选考中都有出现。遇到这类题,大部分学生感到棘手,思绪混乱,解题时常常顾此失彼,考虑不全而丢分。数轴法是解这类试题的有效方法,可达到化繁为简的功效。

关键词:数轴法;反应物配比不同;产物也不同;离子反应

中图分类号:G633.8 文献标识码:A 文章编号:1992-7711(2017)08-0119

在离子反应中,由于反应物之间的配比不同,进而导致产物也不同。这类与量有关的离子反应的讨论题,是浙江选考化学考查的热点、重点,也是难点,近几次选考中都有出现。这类试题可以设计成判断离子方程式正误,定量计算,定量书写方程式,求解范围等题型。遇到这类题,大部分学生感到棘手,思绪混乱,解题时常常顾此失彼,考虑不全而丢分。

数轴法是解这类试题的有效方法,可达到化繁为简的功效。

数轴法可以概括为“三定一画一讨论”,其具体步骤如下:1. 定反应:判断出所有可能发生的反应。2. 定先后:反应先后应遵循这样的顺序:氧化还原先于非氧化还原;中和反应先于其他复分解反应;反应物的性质(氧化还原性或酸碱性)越强,越先反应;生成物的性质(氧化还原性或酸碱性)越弱,越先生成;越难溶的产物,越先生成。3. 定分界点:每一步反应恰好结束时,反应物的物质的量的关系即为分界点。一画是画数轴:取水平轴表示反应物的物质的量或其比值,并在数轴上标出分界点与对应的关键产物。一讨论是判断结果:根据“点上唯一,相邻同现,互不交叉”原则,对反应结果进行判断。下面,我们就以例题形式来进行说明。

类型一 非氧化还原反应

例1 (2016年4月浙江选考)

向 a mol NaOH 溶液中通入 b mol CO_2 气体,下列说法中不正确的是()。

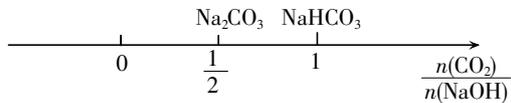
- A. 当 $a > 2b$ 时,发生的离子反应为: $2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
- B. 当 $a < b$ 时,发生的离子反应为: $\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$
- C. 当 $2a = 3b$ 时,发生的离子反应为: $3\text{OH}^- + 2\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$
- D. 当 $0.5a < b < a$ 时,溶液中 HCO_3^- 与 CO_3^{2-} 的物质的量之比为 $(a-b):(2b-a)$

解析 因 CO_2 与 NaOH 的配比不同,则发生如下两种反应,即 $\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; $\text{CO}_2 + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaHCO}_3$

众所周知,我们在做实验时,通常是将 CO_2 气体通入 NaOH 溶液中,由此,在判断产物时,我们通常习惯于依据式子 $\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})}$ 来推测产物。由上述两种反应可知,

当 $\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})} = \frac{1}{2}$ 时,产物仅为 Na_2CO_3 ; 当 $\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})} = 1$ 时,产物仅为 NaHCO_3 ;

则可画出一数轴来表示 $\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})}$, 如下:



由该数轴可知,

当 $0 < \frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})} < \frac{1}{2}$ 时,溶质为 NaOH 和 Na_2CO_3 ; 当 $\frac{1}{2} <$

$\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})} < 1$ 时,溶质为 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 ; 当 $1 < \frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})}$ 时,溶质为 NaHCO_3 ;

选项 A, 当 $a > 2b$ 时,可转化为: $\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})} = \frac{b}{a} < \frac{1}{2}$, 可知溶质为 NaOH 和 Na_2CO_3 , 则发生的离子反应为: $2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$, 选项 A 正确。

选项 B, 当 $a < b$ 时,可转化为: $\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})} = \frac{b}{a} > 1$, 可知溶质为 NaHCO_3 , 则发生的离子反应为: $\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$, 选项 B 正确。

选项 C, 当 $2a = 3b$ 时,可转化为: $\frac{1}{2} < \frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})} = \frac{b}{a} = \frac{2}{3} < 1$, 可知溶质为 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 , 则发生的离子反应为: $3\text{OH}^- + 2\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$, 选项 C 正确。

选项 D, 当 $0.5a < b < a$ 时,可转化为: $\frac{1}{2} < \frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})} = \frac{b}{a} < 1$, 可知溶质为 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 , 依据 Na、C 元素守恒法, 可算出 $\frac{n(\text{NaHCO}_3)}{n(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{2b-a}{a-b}$, 即溶液中 HCO_3^- 与 CO_3^{2-} 的物质的量之比为 $(2b-a):(a-b)$, 选项 D 不正确。

答案选 D。

说明 依据数轴上“点上唯一,相邻同现,互不交叉”原则来判断产物。即可判断选项 A 和选项 B 都正确,选项 C 依据相邻同现,两种反应情况都发生,由比例则判断正确。

变式1 现在向含 a mol $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 和 a mol NaOH 的混合液中通入 b mol CO_2 , 下列说法不正确的是()。

- A. 当 $a = b$ 时,发生反应的离子方程式为 $\text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{BaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$
- B. 当 $3a \leq b$ 时,发生反应的离子方程式为 $\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$
- C. 当 $2a = b$ 时,发生反应的离子方程式为 $\text{Ba}^{2+} + 3\text{OH}^- + 2\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{BaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{HCO}_3^-$
- D. 当 $2a < b < 3a$ 时,溶液中 $n(\text{HCO}_3^-) = (3a - 2b)\text{mol}$

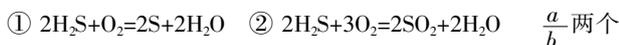
解析 对于该题中的反应,必须抓住一个关键原则,即“依据越难溶的电解质越先生成,可溶物之间的反应先于难溶物的反应”。该题中发生反应的先后顺序如下:

- ① $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{BaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$
- ② $2\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- ③ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons 2\text{NaHCO}_3$
- ④ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{BaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ba}(\text{HCO}_3)_2$

(下转第 126 页)

$\frac{a}{b}$	含硫产物及物质的量	反应后气体总体积
$\frac{a}{b} \geq 2$	S: $2b \text{ mol}$	$a \text{ mol}$
$2 > \frac{a}{b} > \frac{2}{3}$	S: $\frac{3a-2b}{2} \text{ mol}$ SO ₂ : $\frac{2b-a}{2} \text{ mol}$	$\frac{2b+a}{2} \text{ mol}$
$\frac{a}{b} \leq \frac{2}{3}$	SO ₂ : $a \text{ mol}$	$\frac{2b+a}{2} \text{ mol}$

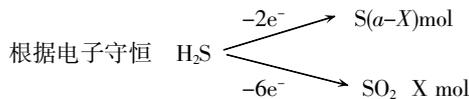
解析:可能发生的反应



$\frac{a}{b} \geq 2$ 和 $\frac{a}{b} \leq \frac{2}{3}$ 两个区间的计算, 根据发生的反应方程式

计算即可(略)

$2 > \frac{a}{b} > \frac{2}{3}$ 区间的反应: 含硫产物为 S 和 SO₂, 反应物 H₂S 和 O₂ 全部耗尽。



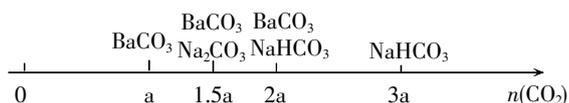
$2(a-X) + 6X = 4b$ 得 $X = \frac{2b-a}{2} \text{ mol}$, 水的物质的量 = H₂S 物质的量 (H 原子守恒)。

总之, 依量反应问题, 内容多、考点多、涉及面广, 解题方法灵活多样。在高三复习中, 搞好依量反应的复习归纳、总结、分析, 找出解题方法和规律, 有利于攻破难点, 节省复习时间, 提高复习效率, 能取得事半功倍的效果, 也有利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

(作者单位: 辽宁省大连市普兰店区高级中学 116200)

(上接第 119 页)

根据上述反应顺序, 可用一数轴来表示 $n(\text{CO}_2)$, 如下:



选项 A, 结合数轴图示, 可知仅发生反应①, 选项 A 正确。

选项 B, 结合数轴图示, 可知反应①②③④都完全发生, 选项 B 正确。

选项 C, 结合数轴图示, 可知反应①②③恰好完全发生, 选项 C 正确。

选项 D, 结合数轴图示, 可知经过反应①②③, CO₂ 余下的量为 $(b-2a) \text{ mol}$, 在反应④中生成的 $n(\text{HCO}_3^-)$ 为 $2(b-2a) \text{ mol}$, 在反应③中生成的 $n(\text{HCO}_3^-)$ 为 $a \text{ mol}$, 故溶液中 $n(\text{HCO}_3^-)$ 为 $(2b-3a) \text{ mol}$, 选项 D 错误。

答案选 D。

说明对于该题中的反应, 必须抓住一个关键原则, 即“依据越难溶的电解质越先生成, 可溶物之间的反应先于难溶物的反应”。其他可依据数轴法来分析。

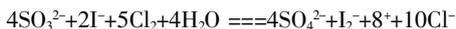
类型二 氧化还原反应

例 2. (2016 年 10 月浙江选考)

已知还原性: $\text{SO}_3^{2-} > \text{I}^-$ 向含 $a \text{ mol KI}$ 和 $a \text{ mol K}_2\text{SO}_3$ 的混合液中通入 $b \text{ mol Cl}_2$, 充分反应后(不考虑 Cl_2 与 I_2 之间的反应)。下列说法中不正确的是()。

A. 当 $a \geq b$ 时, 发生的离子反应为 $\text{SO}_3^{2-} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^-$

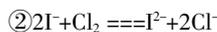
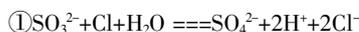
B. 当 $5a = 4b$ 时, 发生的离子反应为



C. 当 $a \leq b \leq \frac{3}{2}a$ 时, 反应中转移电子的物质的量 $n(e^-)$ 为 $a \text{ mol} \leq n(e^-) \leq 3a \text{ mol}$

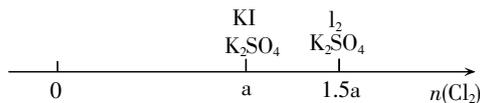
D. 当 $a < b < \frac{3}{2}a$ 时, 溶液中 SO_4^{2-} 、 I^- 与 Cl^- 的物质的量之比为 $a:(3a-2b):2b$

解析, 依据氧化还原反应先后顺序, 发生离子反应的顺序如下:



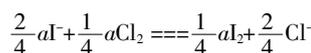
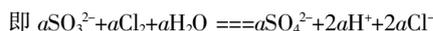
当 Cl_2 不足时, 仅发生反应①; 当 Cl_2 过量时, 发生的总反应为③ $\text{SO}_3^{2-} + 2\text{I}^- + 2\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4^{2-} + \text{I}_2 + 2\text{H}^+ + 4\text{Cl}^-$

可用一数轴来表示 $n(\text{Cl}_2)$, 分界点为 a 和 $1.5a$, 如下:



选项 A, 当 $a \geq b$ 时, 即 Cl_2 的量不足, 仅发生反应①, 选项 A 正确。

选项 B, 当 $5a = 4b$ 时, 即 $b = \frac{5}{4}a = a + \frac{1}{4}a$, 可知 Cl_2 的量在两个分界点之间, 反应①和②的产物都有, 且反应②中, Cl_2 的量为 $\frac{1}{4}a$,



合并为 $4\text{SO}_3^{2-} + 2\text{I}_2 + 5\text{Cl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} = 4\text{SO}_4^{2-} + \text{I}_2 + 8\text{H}^+ + 10\text{Cl}^-$, 选项 B 正确。

选项 C, 当 $a \leq b \leq \frac{3}{2}a$ 时, 即 Cl_2 的量在两个分界点之间, 并且包括两个分界点, Cl_2 完全被还原, 反应中转移电子的物质的量 $n(e^-) = 2b \text{ mol}$, 即 $2a \text{ mol} \leq n(e^-) \leq 3a \text{ mol}$, 故选项 C 不正确。

选项 D, 当 $a < b < \frac{3}{2}a$ 时, 即 Cl_2 的量在两个分界点之间, 并且 Cl_2 完全被还原, 则混合溶液中, $n(\text{SO}_4^{2-}) = a, n(\text{Cl}^-) = 2b$; 此外, 要求 I^- 的量, 需要依据氧化还原反应中得失电子守恒, 即参与反应的 $n(\text{I}^-) = (2b - 2a)$, 剩余的 $n(\text{I}^-) = a - (2b - 2a) = 3a - 2b$, 所以, 混合液中的 SO_4^{2-} 、 I^- 与 Cl^- 的物质的量之比为 $a:(3a-2b):2b$, 选项 D 正确。

答案选 C。

总之, 与量有关的离子反应试题, 相当于过量计算与讨论相结合的综合题, 对学生的要求很高, 若能通过上述数轴分析, 则能使思路更加清晰。

(作者单位: 浙江省金华市汤溪高级中学 321000)