

# 例谈热重曲线问题的解题技巧

刘 敏, 魏良怡

(沭阳高级中学, 江苏宿迁 223600)

**摘要:**近年来高考中悄然兴起的“热重曲线”类试题,能综合考察学生分析图像的能力、获取信息的能力、数据处理的能力以及文字表述的能力等。本文就热重曲线的特点,根据热重曲线的组成和形成原理,通过4道高考题总结归纳了热重曲线问题的解题方法和技巧—差量法和相对分子质量法,运用元素守恒的思想对涉及的问题进行了较为详尽的分析,以期有助于学生探寻该题型的解题思路与方法,提高学生的解题能力,并对热重曲线分析的教学提出了一些建议。

**关键词:**热重曲线;差量法;相对分子质量法;解题技巧

**文章编号:**1005-6629(2014)11-0075-03

**中图分类号:**G633.8

**文献标识码:**B

“曲线表征”题型旨在考查学生“接受、吸收、整合化学信息的能力”<sup>[1]</sup>,近年来高考中悄然兴起的“热重曲线”试题,综合考查了学生获取信息的能力、处理数据的能力和元素守恒的化学思想等,促使学生对中学化学知识内涵的再次理解和体会,同时也落实了新课标理念,让学生真正感受化学学习的过程和研究化学的方法,从而培养学生分析、变形、转换的能力<sup>[2]</sup>。2014年江苏高考第18题考查了热重曲线问题,而在2010年的江苏高考第18题和2012年的江苏学业水平测试第26题也考查了同样的问题。在高考中,学生遇到这类陌生的问题时,由于思路不清,信心不足,很难提取出图像和曲线中的关键和本质信息,故造成很高的错误率。另外,目前对热重曲线问题的解题技巧的报道不多,也不够系统详细。笔者为了提高学生对此类题型的解题能力,并帮助教师对此类题型的系统教学,试采用差量法和相对分子质量法的守恒角度对若干高考真题进行分析,并结合该题型命制特点及中学化学知识的特征,对热重曲线分析的教学提出了有关的教学建议。

## 1 热重曲线分析的基本解题思路

“热重曲线”(TG曲线)是指使用热天平记录的热分析曲线,纵坐标为试样质量或残留率,横坐标为温度或时间。通过对热重曲线的分析,我们可以知道样品及其可能产生的中间产物的组成、热稳定性、分解情况及生成的产物等与质量相联系的信息。例如图1中 $T_1$ 为起始温度, $T_5$ 为终止温度。对于含有结晶水的某固体 $M \cdot xH_2O$ 热分解反应的过程主要有两个变化阶段<sup>[3]</sup>: $T_1 \rightarrow T_2$ 为固体失去结晶水的过程; $T_3 \rightarrow T_4$ 为M固体分解的过程。对于具体的图像可以发生分步反应失去结晶水或M固体分解生成多种物质。M固体可能为盐或氧化物,随着温度的升高,继续分解可能失去一些挥

发性的物质,如氨气、二氧化碳、一氧化碳等气体,而金属一般以化合态残留在最终产物中。本文讨论了利用差量法或相对分子质量法来分析具体的反应。

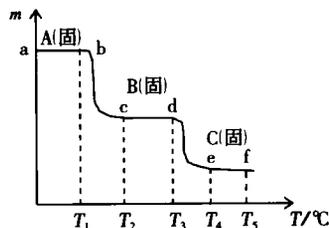


图1 热重分析曲线

## 2 热重曲线问题的解题过程和方法

### 2.1 利用差量法分析

例1 0.80g  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  样品受热脱水过程的热重曲线(样品质量随温度变化的曲线)如图2所示。试确定110℃、200℃时固体物质的化学式\_\_\_\_\_。

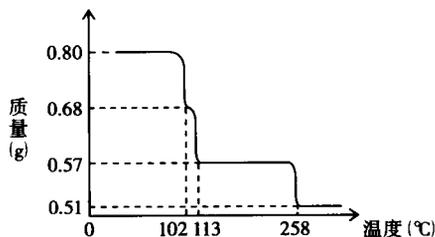


图2  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 的热重曲线

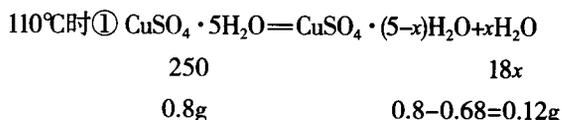
[解析](1)质量变化的过程:

- I. 0~102℃: 0.80g  $\rightarrow$  0.68g;
- II. 102~113℃: 0.68g  $\rightarrow$  0.57g;
- III. 113~258℃: 0.57g  $\rightarrow$  0.51g;
- IV. 258℃以后: 保持在0.51g。

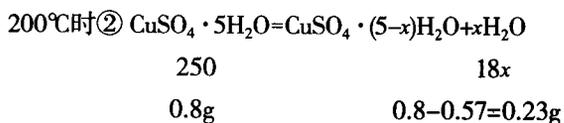
(2)根据题意本题讨论的是 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 样品受热脱水的过程,所以只需考虑第一个变化阶段即固

体失去结晶水的过程。利用差量法计算, 结合对  $0.80\text{g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  中的含水质量为  $0.80\text{g} \times (90/250) = 0.29\text{g}$ ,  $0.80\text{g} \rightarrow 0.68\text{g} \rightarrow 0.57\text{g} \rightarrow 0.51\text{g}$ , 而  $0.80\text{g} - 0.29\text{g} = 0.51\text{g}$ , 所以在  $258^\circ\text{C}$  时剩余的固体为  $\text{CuSO}_4$ , 则说明此前  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  是部分失水, 故可将  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  的分解反应可假设为:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \text{CuSO}_4 \cdot (5-x)\text{H}_2\text{O} + x\text{H}_2\text{O}$

[计算]



$x \approx 2$  即  $110^\circ\text{C}$  时固体物质的化学式为:  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$



$x \approx 4$  即  $200^\circ\text{C}$  时固体物质的化学式为:  $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

例2 (2014年江苏高考) 已知碱式碳酸铝镁为  $[\text{Mg}_a\text{Al}_b(\text{OH})_c(\text{CO}_3)_d \cdot x\text{H}_2\text{O}]$ , 为确定碱式碳酸铝镁的组成, 进行如下实验: ①准确称取  $3.390\text{g}$  样品与足量稀盐酸充分反应, 生成  $\text{CO}_2$   $0.560\text{L}$  (已换算成标准状况下)。

②另取一定量样品在空气中加热, 样品的固体残留率(固体样品的剩余质量/固体样品的起始质量  $\times 100\%$ ) 随温度的变化如图3所示(样品在  $270^\circ\text{C}$  时已完全失去结晶水,  $600^\circ\text{C}$  以上残留固体为金属氧化物的混合物)。根据以上实验数据计算碱式碳酸铝镁样品中的  $n(\text{OH}^-):n(\text{CO}_3^{2-}) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

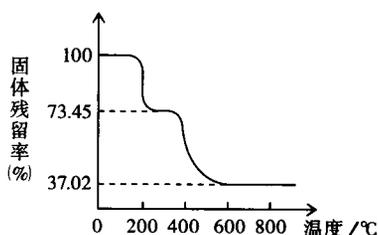
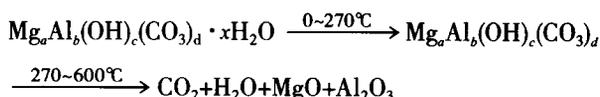


图3 碱式碳酸铝镁的热重曲线

[解析] 根据题意, 碱式碳酸铝镁的分解过程有:

(1)  $0 \sim 270^\circ\text{C}$ : 碱式碳酸铝镁失去结晶水, 生成  $\text{Mg}_a\text{Al}_b(\text{OH})_c(\text{CO}_3)_d$ ;

(2)  $270 \sim 600^\circ\text{C}$ :  $\text{Mg}_a\text{Al}_b(\text{OH})_c(\text{CO}_3)_d$  分解, 生成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 最终剩余  $\text{MgO}$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。整个分解过程可表示为:



[计算]:

$$n(\text{CO}_3^{2-}) = n(\text{CO}_2) = \frac{0.56\text{L}}{22.4\text{L/mol}} = 2.50 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$m(\text{CO}_2) = 2.50 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 44\text{g/mol} = 1.10\text{g}$$

若称取相同质量  $3.390\text{g}$  的样品进行热重曲线分析, 则  $270 \sim 600^\circ\text{C}$ ,  $\text{Mg}_a\text{Al}_b(\text{OH})_c(\text{CO}_3)_d$  分解, 生成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 故  $m(\text{CO}_2) + m(\text{H}_2\text{O}) = 3.390\text{g} \times (0.7345 - 0.3702) = 1.235\text{g}$ , 所以  $m(\text{H}_2\text{O}) = 1.235\text{g} - 1.10\text{g} = 0.135\text{g}$ 。而根据 H 元素守恒,  $270 \sim 600^\circ\text{C}$  之间生成的水中的 H 元素的物质的量等于  $\text{Mg}_a\text{Al}_b(\text{OH})_c(\text{CO}_3)_d$  中  $\text{OH}^-$  中的 H 元素的物质的量, 所以  $n(\text{OH}^-) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times \frac{0.135\text{g}}{18\text{g/mol}} = 1.50 \times 10^{-2} \text{ mol}$ , 故  $n(\text{OH}^-):n(\text{CO}_3^{2-}) = 1.50 \times 10^{-2} \text{ mol} : 2.50 \times 10^{-2} \text{ mol} = 3:5$ 。

2.2 利用元素守恒和相对分子质量法分析

例3 (2012年江苏省学业水平测试) 纳米氧化铝在陶瓷材料、电子工业、生物医药等方面有广阔的应用前景, 它可通过硫酸铝铵晶体分解得到。[已知: 硫酸铝铵晶体的化学式为  $\text{Al}_2(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ , 相对分子质量为 906], 取  $4.53\text{g}$  硫酸铝铵晶体加热分解, 最终剩余  $0.51\text{g Al}_2\text{O}_3$  固体, 加热过程中, 固体质量随温度的变化如图4所示。请通过计算确定  $400^\circ\text{C}$  时剩余固体成分的化学式。

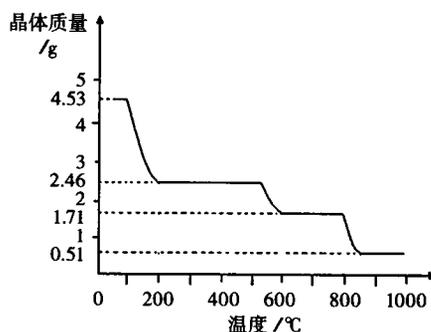


图4 硫酸铝铵晶体的热重曲线

[解析] 硫酸铝铵晶体的分解过程为: (1) 失去结晶水; (2) 铵盐分解生成氨气; (3) 最终硫酸盐分解生成  $\text{SO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。

(1) 差量法计算

①样品物质的量为:  $n = 4.53\text{g}/906(\text{g/mol}) = 0.005\text{mol}$

②晶体中结晶水的质量为:

$$m = 0.005\text{mol} \times 24 \times 18\text{g/mol} = 2.16\text{g}$$

③  $400^\circ\text{C}$  时晶体质量变化:  $\Delta m = 4.53\text{g} - 2.46\text{g} = 2.07\text{g}$

④晶体中剩余结晶水的个数:

$$\frac{2.16\text{g} - 2.07\text{g}}{18\text{g/mol} \times 0.005\text{mol}} = 1$$

$\therefore 400^\circ\text{C}$  时晶体化学式为:  $\text{Al}_2(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

(2) 相对分子质量法分析

利用元素守恒思想, 可以发现晶体质量之比 = 相

对分子质量之比, 即  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_1}{M_2}$ 。

在 400℃ 时建立关系式:  $\frac{4.53\text{g}}{2.46\text{g}} = \frac{906}{M} \therefore M=492$

根据题意 0~400℃ 之间是失去结晶水的过程

$\therefore \Delta M=906-492=414$

$\therefore \Delta N(\text{H}_2\text{O})=414/18=23$  (个)

$\therefore$  晶体中剩余的结晶水为 1 个

故 400℃ 时晶体化学式为:  $\text{Al}_2(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

[小结] 运用差量法和相对分子质量法分析得到了相同的结果, 但这两种方法是从不同角度分析问题的, 相对分子质量法从宏观角度分析物质的变化, 结合反应过程, 较便捷地计算出结果, 便于学生理解和分析。

例 4 (2010 年江苏高考) 正极材料为  $\text{LiCoO}_2$  的锂离子电池已被广泛用作便携式电源。但钴的资源匮乏限制了其进一步发展:  $\text{Co}(\text{OH})_2$  在空气中加热时, 固体残留率随温度的变化如图 5 所示。已知钴的氢氧化物加热至 290℃ 时已完全脱水, 则 1000℃ 时, 剩余固体的成分为\_\_\_\_\_。(填化学式); 在 350~450℃ 范围内, 剩余固体的成分为\_\_\_\_\_。(填化学式)。

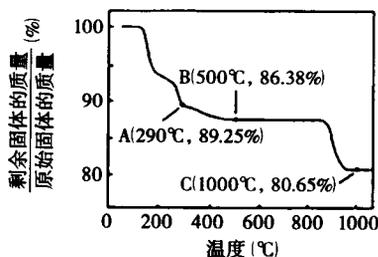


图 5  $\text{Co}(\text{OH})_2$  的热重曲线

[解析]  $\text{Co}$  的化合价一般有  $\text{Co}^{2+}$  和  $\text{Co}^{3+}$ , 钴的氧化物的多样化是本题的最大难点。已知氢氧化钴加热至 290℃ 时已完全脱水变成钴的氧化物, 所以 290~1000℃ 为钴的氧化物的变化。利用相对分子质量分析,  $M[\text{Co}(\text{OH})_2]=93$ , 假设在某一温度时钴的氧化物  $\text{Co}_x\text{O}_y$ ,

(1) 1000℃ 时,  $\frac{m_{(0^\circ\text{C})}}{m_{(1000^\circ\text{C})}} = \frac{M[\text{Co}(\text{OH})_2]}{M(\text{Co}_x\text{O}_y)}$

即  $\frac{100\%}{80.65\%} = \frac{93}{M(\text{Co}_x\text{O}_y)}$

$\therefore M(\text{Co}_x\text{O}_y) \approx 79$ , 其中  $M(\text{Co})=59, M(\text{O})=16$ ,

$\therefore x:y=1:1$

故 1000℃ 时固体的化学式为  $\text{CoO}$ 。

(2) 350~450℃ 在 290~500℃ 的变化范围内, 所以其组成为 290~500℃ 形成的混合物。

290℃ 时,  $\frac{m_{(0^\circ\text{C})}}{m_{(290^\circ\text{C})}} = \frac{M[\text{Co}(\text{OH})_2]}{M(\text{Co}_x\text{O}_y')}$

即  $\frac{100\%}{89.25\%} = \frac{93}{M(\text{Co}_x\text{O}_y')}$

$\therefore M(\text{Co}_x\text{O}_y') \approx 83$ , 其中  $M(\text{Co})=59, M(\text{O})=16$ ,

$\therefore x:y \approx 2:3$ , 则 290℃ 时固体的化学式为  $\text{Co}_2\text{O}_3$ 。

500℃ 时,  $\frac{m_{(0^\circ\text{C})}}{m_{(500^\circ\text{C})}} = \frac{M[\text{Co}(\text{OH})_2]}{M(\text{Co}_x\text{O}_y'')}$

即  $\frac{100\%}{86.38\%} = \frac{93}{M(\text{Co}_x\text{O}_y'')}$

$\therefore M(\text{Co}_x\text{O}_y'') \approx 80.3$ , 其中  $M(\text{Co})=59, M(\text{O})=16$ ,

$\therefore x:y \approx 3:4$

则 500℃ 时固体的化学式为  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 。

故 350~450℃ 范围内, 剩余固体成分为  $\text{Co}_2\text{O}_3$  和  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 。

### 3 教学建议

在教学过程中发现, 学生在热重曲线分析时主要遇到几个难点: (1) 对图像问题有恐惧感; (2) 对图像结构理解不清, 对质量变化或质量分数变化的原因不清楚; (3) 对物质的组成理解不够, 若有元素化合价的变化就很难分析。因而在平时的教学中要引导学生作图、识图, 指导学生运用差量法和守恒思想来解决此热重曲线分析问题。培养学生“举一反三”的质疑精神和学习反思能力, 完善解题过程与技能, 提高解题能力。在热重曲线分析的教学中, 应用简单的方法来解决具体的问题。相对分子质量法的分析从宏观的角度分析物质的变化, 在某些问题的解决中更容易让学生理解和接受, 如例 4<sup>[4]</sup>。在平时的教学中, 我们需要注意教材中图形的使用和功能, 注重培养学生的分析能力和化学素养, 让学生学会教材中要求的图形绘制的方法, 培养综合实践能力<sup>[5]</sup>, 在多变的高考中能够“以静制动”。

### 参考文献:

- [1] 洪杰. “曲线表征”类化学试题的命题特点与解析[J]. 化学教学, 2012, (8): 66~68.
- [2] 孙永辉. 悄然兴起的高考热重曲线试题[J]. 数理化解题研究, 2012, (9): 45.
- [3] 华中师范大学等. 分析化学(下册, 第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 285~288.
- [4] 高晓莹, 吴春峰. 基于作图和识图角度评析热重分析图形[J]. 中学化学教学参考, 2014, (3): 50~51.
- [5] 雷范军, 吴慧华. 对图形图表类化学试题的再认识及教学建议[J]. 中学化学教学参考, 2013, (3): 45~47.