

“三态分析模式”突破化学平衡移动的思维障碍

广东省雷州市第三中学

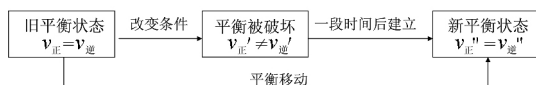
(524200)

洪云龙

“化学平衡移动”是高中化学基本理论的重要组成部分,亦是学习电离平衡、盐类水解以及沉淀溶解平衡的基础。这部分内容理论性强,知识抽象,是高三化学复习的重点和学生颇感棘手的难点。

1. 传统分析模式的不足

化学平衡的移动,就是改变外界条件,破坏旧的平衡状态,建立起新的平衡状态的过程。教辅书一般用以下模式来表示其过程:



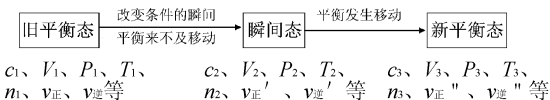
可见,此模式的平衡移动过程只有“二态”:旧平衡态、新平衡态。笔者发现,用此“二态”模式来分析平衡移动问题,对于较简单的问题还尚且可以,但一旦遇到复杂、疑难的问题时就显得有点不足,表现为“旧平衡态”过渡到“新平衡态”的中间过程在分析时比较笼统、抽象,缺乏具体、形象的思维模型,学生较难把握,易被“改变条件”所迷惑,对“改变条件后隐藏着的各种变化”不能很好地挖掘,因而产生思维混乱,造成解题障碍。为了弥补传统分析模式的不足,笔者在充分研究的基础上,建立起一种新的有效的思维模式——“三态分析模式”,经多年尝试、实践,效果良好。

2. “三态分析模式”的建立

“三态分析模式”,就是在分析平衡移动过程中,在原有“二态”(“旧平衡态”、“新平衡态”)的基础上再增加“一态”——“瞬间态”,形成“三态”分析的思维模式。所谓“瞬间态”,就是旧平衡在改变条件的瞬间,平衡还来不及移动时的状态。

“三态分析模式”的思维流程是:

(1) 建立“三态”模型,标注有关量。



“旧平衡态”到“瞬间态”由改变条件的瞬间造成,此时平衡还来不及发生移动。平衡发生移动实则始于“瞬间态”,终于“新平衡态”。

标注的有关量可以是:浓度、体积、压强、温度、物质的量、正反应速率、逆反应速率等。其中,“瞬间态”的量由“旧平衡态”的量与“改变条件”的量两部分复合而成。

(2) 比较分析,解决问题。

比较、分析某个或某几个有关量分别在“三态”模型之中发生了怎样的变化(增大、减小或不变),并据此解决平衡移动的有关问题。

“三态分析模式”能变笼统、抽象的平衡移动过程为具体、形象的“三态”思维模型,建立起来的简明、清晰的思维流程能很好地突破学生在理解、分析、解题上的思维障碍。不管遇到多么复杂的平衡移动问题,只要按此思维流程逐一仔细分析,就能排除干扰,识破陷阱,成功解决平衡移动问题。

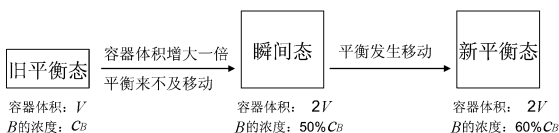
3. “三态分析模式”应用举例

例1 (苏教版选修4教材第57页第6题) 在一密闭容器中,反应 $aA(g) \rightleftharpoons bB(g)$ 达平衡后,保持温度不变,将容器体积增加一倍,当达到新的平衡时, B 的浓度是原来的60%,则()。

- A. 平衡向正反应方向移动了
- B. 物质 A 的转化率减小了
- C. 物质 B 的质量分数增加了
- D. $a > b$

解析 此题用勒夏特列原理从压强角度无法判断平衡移动的方向(因为化学计量数 a 、 b 相对大小不知),有些学生便改为比较浓度的大小来判断。因为达到新平衡时 B 的浓度是旧平衡时的60%,即平衡移动后 B 的浓度减小了,从而推出“平衡逆向移动”的错误结论。这明显是受表面现象所迷惑、干扰的结果。“三态分析模式”就像一双“火眼金睛”,帮助我们识破陷阱,看清真相。

(1) 建立“三态”模型,标注有关量。



(2) 比较分析,解决问题。

气体 B 在“旧平衡态”时浓度是 c_B ,容器体积增大一倍后,在“瞬间态”时浓度变为 $50\% c_B$,平衡移动后在“新平衡态”时浓度又变为 $60\% c_B$ 。“旧平衡态”经平衡移动后变为“新平衡态”,气体 B 的浓度确实变小了,但能否据此推出“平衡逆向移动”呢?显然不能。因为此“二态”的容器体积已经不同(分别是 V 、 $2V$)。用公式 $n = cV$ 进行计算,得知“旧平衡态”经平衡移动变为“新平衡态”后气体 B 的物质的量

反而增多了 故反而推出平衡正向移动. 这是通过比较“新平衡态”与“旧平衡态”而得出的结论. 通过比较“新平衡态”与“瞬间态”亦可得出相同结论. “新平衡态”气体 B 的浓度比“瞬间态”大, 且此“二态”的容器体积均是 $2V$. 根据 $n=cV$ 得知平衡从“瞬间态”移动到“新平衡态”时气体 B 的物质的量增多了, 故亦可推知平衡正向移动. 平衡正向移动会导致物质 B 的质量分数和物质 A 的转化率增大. 另外, 增大容器体积实则是减小压强. 根据勒夏特列原理, 平衡应向气体化学计量数大的方向移动. 故 $a < b$. 答案: AC

例2 在温度为 $t^{\circ}\text{C}$, 压强为 $1.01 \times 10^6 \text{ Pa}$ 的条件下, 某密闭容器内, 下列反应达到化学平衡: $A(\text{g}) + B(\text{g}) \rightleftharpoons 3C$. 测得此时 $c(A) = 0.022 \text{ mol/L}$; 压缩容器使压强增大到 $2.02 \times 10^6 \text{ Pa}$, 第二次达到平衡时, 测得 $c(A) = 0.05 \text{ mol/L}$; 若继续压缩容器, 使压强增大到 $4.04 \times 10^6 \text{ Pa}$, 第三次达到平衡时, 测得 $c(A) = 0.075 \text{ mol/L}$. 则下列关于 C 物质状态的推测正确的是().

- A. C 为非气态 B. C 为气态
C. 第二次达到平衡时 C 为气态
D. 第三次达到平衡时 C 为非气态

解析 此题看似复杂、抽象, 但用“三态分析模式”能很好地突破思维障碍.

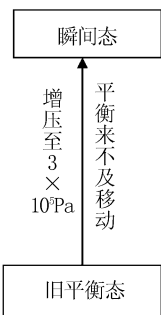
(1) 建立“三态”模型, 标注有关量.



(2) 比较分析, 解决问题.

容器体积: 2 L
 $c(\text{NO}_2)$: $a/2 \text{ mol/L}$
 $c(\text{N}_2\text{O}_4)$: $b/2 \text{ mol/L}$

容器体积: 3 L
 $c(\text{NO}_2)$: $a/3 \text{ mol/L}$
 $c(\text{N}_2\text{O}_4)$: $b/3 \text{ mol/L}$



(2) 比较分析, 解决问题.

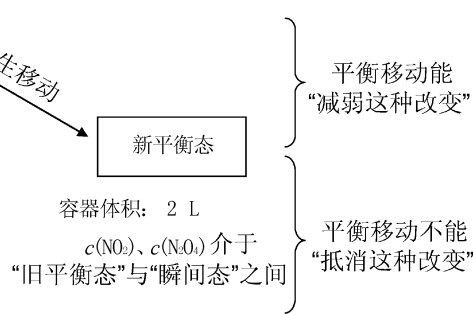
“旧平衡态”时容器体积为 3 L , $c(\text{NO}_2)$ 、 $c(\text{N}_2\text{O}_4)$ 分别为 $\frac{a}{3} \text{ mol/L}$ 、 $\frac{b}{3} \text{ mol/L}$; 压缩容器使压强增大到 $3 \times 10^5 \text{ Pa}$, 是原压强 $2 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的 $\frac{2}{3}$ 倍, 则压

缩容器使压强由 $1.01 \times 10^6 \text{ Pa}$ 增大到 $2.02 \times 10^6 \text{ Pa}$, “瞬间态I”的容器体积应是“旧平衡态”的 $\frac{1}{2}$ 倍, 故“瞬间态I”的 $c(A)$ 应是“旧平衡态”的 2 倍, 为 $c(A) = 0.022 \text{ mol/L} \times 2 = 0.044 \text{ mol/L}$. 又知“新平衡态I” $c(A) = 0.05 \text{ mol/L}$, 且“新平衡态I”与“瞬间态I”的容器体积相等, 可知“瞬间态I”变为“新平衡态I”时气体 A 的物质的量增多了, 故推知平衡逆向移动. 因为增大压强平衡逆向移动, 根据勒夏特列原理, 逆向移动方向应是气体体积减小的方向, 即气体生成物的化学计量数之和应大于气体反应物的化学计量数之和, 故物质 C 只能是气态. 继续压缩容器使压强增大到 $4.04 \times 10^6 \text{ Pa}$, 得“瞬间态II”, “瞬间态II”的容器体积应是“新平衡态I”的 $\frac{1}{2}$ 倍, 故“瞬间态II” $c(A)$ 应是“新平衡态I”的 2 倍, 为 $c(A) = 0.05 \text{ mol/L} \times 2 = 0.1 \text{ mol/L}$, 比“新平衡态II”的 $c(A) = 0.075 \text{ mol/L}$ 大, 且“瞬间态II”与“新平衡态II”的容器体积相等, 可知“瞬间态II”变为“新平衡态II”时气体 A 的物质的量减少了, 故平衡正向移动, 气体反应物的化学计量数之和应大于气体生成物的化学计量数之和, 推知物质 C 应为非气态. 答案: CD

例3 某温度下, 在体积是 3 L 的密闭容器中, 反应 $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 达到平衡时, 测得压强是 $2 \times 10^5 \text{ Pa}$, NO_2 、 N_2O_4 的物质的量分别是 $a \text{ mol}$ 、 $b \text{ mol}$. 现保持温度不变, 压缩容器使压强增大到 $3 \times 10^5 \text{ Pa}$, 重新达平衡后, $c(\text{NO}_2)$ 、 $c(\text{N}_2\text{O}_4)$ 的取值范围分别是____, 混合气体颜色将____(填“变深”、“变浅”或“不变”).

解析 化学平衡移动有关量将如何变化? 有些同学对此感到抽象、难以理解, 且看“三态分析模式”如何直观地表示这个问题.

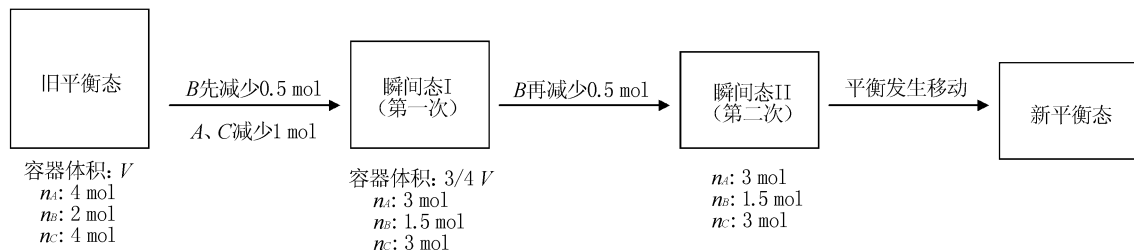
(1) 建立“三态”模型, 标注有关量.



缩后的容器体积应是原来的 $\frac{2}{3}$ 倍, 故“瞬间态”时容器体积为 2 L , $c(\text{NO}_2)$ 、 $c(\text{N}_2\text{O}_4)$ 分别为 $\frac{a}{2} \text{ mol/L}$ 、 $\frac{b}{2} \text{ mol/L}$. 根据勒夏特列原理, 压缩容器增大压强, 平衡向正反应方向移动. 因为平衡移动能“减弱这种改变”, 所以“新平

衡态”的相应量(浓度、压强、温度等)应小于“瞬间态”;因为平衡移动不能“抵消这种改变”即恢复不回“旧平衡态”所以“新平衡态”的相应量应大于而不等于“旧平衡态”.因此,“新平衡态”的相应量应介于“旧平衡态”与“瞬间态”之间,即量的关系是“旧平衡态” < “新平衡态” < “瞬间态”,故 $c(\text{NO}_2)$ 、 $c(\text{N}_2\text{O}_4)$ 的取值范围是: $\frac{a}{3} \text{ mol/L} < c(\text{NO}_2) < \frac{a}{2} \text{ mol/L}$ 、 $\frac{b}{3} \text{ mol/L} < c(\text{N}_2\text{O}_4) < \frac{b}{2} \text{ mol/L}$. 虽然平衡正向移动使 NO_2 (红棕色) 变少,但“新平衡态”的 $c(\text{NO}_2)$ 仍然比“旧平衡态”大,故混合气体颜色反而变深了.

答案: $\frac{a}{3} \text{ mol/L} < c(\text{NO}_2) < \frac{a}{2} \text{ mol/L}$ 、 $\frac{b}{3} \text{ mol/L} < c(\text{N}_2\text{O}_4) < \frac{b}{2} \text{ mol/L}$; 变深



(2) 比较分析,解决问题.

勒夏特列原理实际是通过比较“瞬间态”与“旧平衡态”来判断平衡移动方向的.改变条件后只有导致“瞬间态”的浓度、压强、温度中的某一量比“旧平衡态”增大或减小了,才能算是“改变影响化学平衡的一个因素”,平衡才“向能够减弱这种改变的方向移动”.第一次 B 先减少 0.5 mol , A 、 C 减少 1 mol ,从表面上看“改变了条件”,但算不算是“改变影响化学平衡的一个因素”呢?这要从“瞬间态 I”与“旧平衡态”的浓度比较来找答案.“瞬间态 I” A 、 B 、 C 的物质的量分别为 3 mol 、 1.5 mol 、 3 mol ,“旧平衡态” A 、 B 、 C 的物质的量分别为 4 mol 、 2 mol 和 4 mol .“瞬间态 I” A 、 B 、 C 的物质的量之和是“旧平衡态” A 、 B 、 C 的物质的量之和的 $3/4$ 倍,故恒温恒压下“瞬间态 I”的容器体积亦应是“旧平衡态”的 $3/4$ 倍,用 $c = \frac{n}{V}$ 进行计算,得知“瞬间态 I” A 、 B 、 C 的浓度分别与“旧平衡态” A 、 B 、 C 的浓度对应相等,即浓度不改变,又据题目知温度和压强亦不改变,故不算“改变影响化学平衡的一个因素”,第一次减少 A 、 B 、 C 用量平衡不移动(亦可这样解释:因浓度、温

度、压强不变,故正、逆反应速率不变仍然保持相等,旧平衡不被破坏平衡不移动).第二次 B 再减少 0.5 mol ,“瞬间态 II” B 的浓度减小了,平衡逆向移动.综上所述,整个过程平衡逆向移动.答案:逆向

总之,“三态分析模式”能变笼统为具体,化抽象为形象,有利于更好地挖掘改变条件后隐藏着的各种变化.对于一些简单问题可能并不见得有何优点,但一旦遇到复杂、疑难的平衡移动问题,便能凸显出其去伪存真的思维优势来.

(1) 建立“三态”模型,标注有关量.

练习:

1. 温度一定时,一密闭容器中发生可逆反应: $m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g})$,达到平衡后,若将混合气体的体积压缩到原来的 $1/2$,当再次达到平衡时, C 的浓度为原平衡时 C 的浓度的 1.9 倍,试判断:

(1) 平衡向____方向移动; (2) C 气体的体积分数____(填“增大、减小、不变”); (3) 气体 A 的转化率____(填“增大、减小、不变”); (4) $m + n$ ____ p (填“>、<、=”).

2. 在 10°C 和 $2 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的条件下,反应 $a\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons d\text{D}(\text{g}) + e\text{E}(\text{g})$ 建立平衡后,再逐步增大体系的压强(温度维持不变),下表列出不同压强下反应建立平衡时物质 D 的浓度:

含氮化合物常见计算类型分析

湖北枝江一中 (443200) 罗功举 周代华

氮族元素是元素化合物知识构成的重要内容,也是高考考查的热点,其有关计算一直为命题者所“青睐”。下面就含氮化合物的常见计算类型归类分析如下,供参考。

一、氮的氧化物的有关计算

此类问题主要有以下几种设题形式:一是 NO_x 与水或 NO_x 和 O_2 的混合气体与水反应计算;二是 NO_x 和 CO_2 的混合气体与 Na_2O_2 反应计算;三是 NO_x 与 NaOH 溶液反应的有关计算;四是 NO_x 的氧化还原反应计算等。

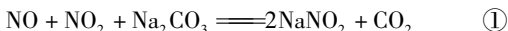
解法指要 处理这类问题时,一是运用关系式法(或原子守恒法)简化计算或判断,若 NO_x 和 O_2 中的 N、O 原子个数比满足 2:5,则可完全反应;二是运用电子得失守恒法计算。

例 1 (2009 年上海化学)烟气中 NO_x 是 NO 和 NO_2 的混合物(不含 N_2O_4)。

(1) 根据废气排放标准, 1 m^3 烟气最高允许含 400 mg NO_x 。若 NO_x 中 NO 质量分数为 0.85,则 1 m^3 烟气中最高允许含 NO _____ L(标准状况,保留 2 位小数)。

(2) 工业上通常用溶质质量分数为 0.150 的 Na_2CO_3 水溶液(密度 $1.16 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$)作为 NO_x 吸收剂,该碳酸钠溶液物质的量浓度为 _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (保留 2 位小数)。

(3) 已知:



1 m^3 含 2000 mg NO_x 的烟气用质量分数为 0.150 的碳酸钠溶液吸收。若吸收率为 80%,吸收后的烟气 _____ 排放标准(填“符合”或“不符合”)。理由: _____。

►

压强/Pa	$2 \times 10^5 \text{ Pa}$	$5 \times 10^5 \text{ Pa}$	$1 \times 10^6 \text{ Pa}$
D 的浓度/ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	0.085	0.20	0.44

根据表中数据,回答下列问题:(1) 压强从 $2 \times 10^5 \text{ Pa}$ 增大到 $5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时,平衡向 _____ 反应方向移动(填“正”或“逆”)。(2) 压强从 $5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 增加到 $1 \times 10^6 \text{ Pa}$,平衡向 _____ 反应方向移动(填“正”或“逆”)。E 可能变成了 _____ (填物质状态名称)。

3. 一定条件下,反应 $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \quad \Delta H$

(4) 加入硝酸可改变烟气中 NO 和 NO_2 的比,反应为: $\text{NO} + 2\text{HNO}_3 \rightleftharpoons 3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。当烟气中 $n(\text{NO}) : n(\text{NO}_2) = 2:3$ 时,吸收率最高。 1 m^3 烟气含 2000 mg NO_x ,其中 $n(\text{NO}) : n(\text{NO}_2) = 9:1$ 。计算:
(i) 为了达到最高吸收率, 1 m^3 烟气需用硝酸的物质的量(保留 3 位小数)。(ii) 1 m^3 烟气达到最高吸收率 90% 时,吸收后生成 NaNO_2 的质量(假设上述吸收反应中,反应①比反应②迅速,计算结果保留 1 位小数)。

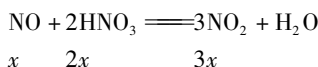
分析 (1) 由题意知 1 m^3 中含 NO 的质量为 $400 \text{ mg} \times 0.85 = 0.34 \text{ g}$,则 $V(\text{NO}) = n(\text{NO}) \cdot V_m = \frac{m(\text{NO})}{M(\text{NO})} \cdot V_m = \frac{0.34 \text{ g}}{30 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.25 \text{ L}$ 。

(2) 假设 Na_2CO_3 溶液体积为 1 L ,则溶液质量为 1160 g ,溶质 Na_2CO_3 的质量为 174 g ,故该溶液的

物质的量浓度为: $c = \frac{n}{V} = \frac{\frac{m}{M}}{V} = \frac{\frac{174 \text{ g}}{106 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{1 \text{ L}} = 1.64 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3) 1 m^3 烟气中含有 2000 mg NO_x ,吸收率为 80%,则剩余 NO_x 的质量为 400 mg ,同时烟气中的 CO_2 等气体被 Na_2CO_3 吸收了,导致气体体积小于 1 m^3 ,即吸收后烟气总体积减小, NO_x 含量仍超过 $400 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,不符合排放标准。

(4) (i) $30 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot n(\text{NO}) + \frac{1}{9} \times 46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot n(\text{NO}) = \frac{2000 \text{ mg}}{1000 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}}$, $n(\text{NO}) = 0.057 \text{ mol}$ 。又由方程式:



<0,达到平衡后,要使混合气体颜色变深,可采取的措施是 ()。

- A. 增大体积 B. 降低温度
C. 增大压强 D. 移走一部分 N_2O_4 气体

参考答案:

1. (1) 逆反应 (2) 减小 (3) 减小 (4) <
2. (1) 逆 (2) 正 液态或固态 3. C

(收稿日期:2015-08-12)