



高考中关于压强平衡常数 K_p 的常见题型

李魁菊

(贵州省湄潭县湄江高级中学)

压强平衡常数 K_p 是高中化学平衡知识中比较重要的一个知识点,也是高考中常见的考点。解答这类问题,学生不但要有坚实的理论基础,还要有一定的计算能力。在高考中,对压强平衡常数的考查通常有多种题型,包括单一平衡体系和多重平衡体系。单一平衡体系和多重平衡体系又可分为恒压、恒容体系。本文将结合高考试题,总结各类题型的解题策略。

1 单一平衡体系

1.1 恒压单一平衡体系

恒压体系下,求 K_p 的关键是求出各组分气体的物质的量分数,在解答问题时,可以根据题目信息设未知数,而后一步步求解,在此基础之上灵活运用三段式,便可顺利解答。

 **例 1** (2022 年全国乙卷 28, 节选) 已知 H_2S 热分解反应为 $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{S}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$, 在 1 470 K, 100 kPa 下, 将 $n(\text{H}_2\text{S}) : n(\text{Ar}) = 1 : 4$ 进行 H_2S 热分解。平衡时, H_2S 与 H_2 分压相等, 平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

 **解析** 设 1 470 K, 100 kPa 下, H_2S 和 Ar 的起始物质的量分别为 a mol 和 $4a$ mol, 设 H_2S 变化量为 x mol, 则列三段式为

	$2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{S}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ Ar			
$n_{\text{始}}/\text{mol}$	a	0	0	$4a$
$\Delta n/\text{mol}$	x	$0.5x$	x	0
$n_{\text{平}}/\text{mol}$	$a-x$	$0.5x$	x	$4a$

平衡时, H_2S 与 H_2 分压相等, 则有 $a-x=x$, 解得 $x=0.5a$, 则

$$\begin{aligned} n(\text{H}_2\text{S}) &= 0.5a \text{ mol}, n(\text{Ar}) = 4a \text{ mol}, \\ n(\text{S}_2) &= 0.25a \text{ mol}, n(\text{H}_2) = 0.5a \text{ mol}, \\ n(\text{总}) &= 5.25a \text{ mol}, \end{aligned}$$

$$X(\text{H}_2\text{S}) = \frac{2}{21}, X(\text{S}_2) = \frac{1}{21}, X(\text{H}_2) = \frac{2}{21},$$

平衡常数为

$$K_p = \frac{p(\text{S}_2) \cdot p^2(\text{H}_2)}{p^2(\text{H}_2\text{S})} = \frac{0.1 \text{ kPa} \times 7.6 \text{ kPa}}{(24.8 \text{ kPa})^2} = \frac{0.1 \times 7.6}{24.8^2} \approx 1.2 \times 10^{-3}.$$

$$\frac{\frac{1}{21} \times 100 \text{ kPa} \times (\frac{2}{21} \times 100 \text{ kPa})^2}{(\frac{2}{21} \times 100 \text{ kPa})^2} \approx 4.76 \text{ kPa}.$$

1.2 恒容单一平衡体系

恒容体系 K_p 的计算过程中,可以直接运用压强之间的关系,列出三段式,并不需要计算各物质所对应的物质的量。

 **例 2** (2021 年全国乙卷 28, 节选) 氯铂酸钡 (BaPtCl_6) 固体加热时部分分解为 BaCl_2 , Pt , Cl_2 , 376.8 ℃ 平衡常数 $K_p = 1.0 \times 10^4 \text{ Pa}^2$, 在一硬质玻璃烧瓶中加入过量 BaPtCl_6 , 抽真空后, 通过一支管通入碘蒸气(然后将支管封闭). 在 376.8 ℃, 碘蒸气初始压强为 20.0 kPa. 平衡时, 测得烧瓶中压强为 32.5 kPa, 反应 $2\text{ICl}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ 的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$.

376.8 ℃ 时, BaPtCl_6 发生分解反应:

 **解析** $\text{BaPtCl}_6(\text{s}) \rightleftharpoons \text{BaCl}_2(\text{s}) + \text{Pt}(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g})$, 反应平衡常数 $K_p = p^2(\text{Cl}_2) = 1.0 \times 10^4 \text{ Pa}^2$, 则平衡时 $p(\text{Cl}_2) = 0.1 \text{ kPa}$.

376.8 ℃ 时, 过量 BaPtCl_6 通入碘蒸气, 发生反应 $\text{I}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{ICl}(\text{g})$.

设达到平衡时 $\text{I}_2(\text{g})$ 的压强变化 x kPa, 则列三段式为

	$\text{I}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{ICl}(\text{g})$	
$p_{\text{始}}/\text{kPa}$	20.0	0
$\Delta p/\text{kPa}$	x	$2x$
$p_{\text{平}}/\text{kPa}$	$(20.0-x)$	0.1

由题意得 $(20.0-x) \text{ kPa} + 0.1 \text{ kPa} + 2x \text{ kPa} = 32.5 \text{ kPa}$, 解得 $x = 12.4 \text{ kPa}$. 平衡时, $p(\text{I}_2) = 7.6 \text{ kPa}$, $p(\text{ICl}) = 24.8 \text{ kPa}$, 则 $2\text{ICl}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ 的平衡常数

$$K = \frac{p(\text{Cl}_2) \times p(\text{I}_2)}{p^2(\text{ICl})} = \frac{0.1 \text{ kPa} \times 7.6 \text{ kPa}}{(24.8 \text{ kPa})^2} = \frac{0.1 \times 7.6}{24.8^2} \approx 1.2 \times 10^{-3}.$$

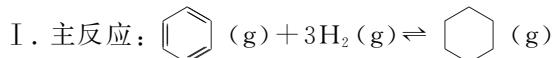


2 多重平衡体系

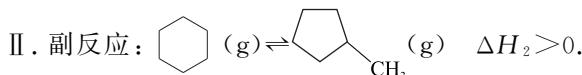
2.1 恒压多重平衡体系

多重平衡体系中,在体系达到平衡时,体系内所包含的所有反应均处于平衡状态,参与多个反应的同一物质只能拥有一个平衡浓度。在恒压多重平衡体系中,气体的物质的量之比等于气体的体积比,以此为基础,首先根据题目信息,设出每个反应的变化量,而后可以借助三段式、守恒法求出未知量。

例3 (2021年辽宁卷17,节选)苯催化加氢制备环己烷是化工生产中的重要工艺,一定条件下,发生如下反应:

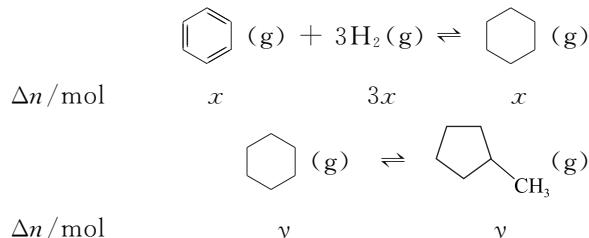


$$\Delta H_1 < 0;$$



恒压反应器中,按照 $n(\text{H}_2) : n(\text{C}_6\text{H}_6) = 4 : 1$ 投料,进行上述反应, $p_{\text{总}} = p_0$, 平衡时, C_6H_6 的转化率为 α , 环己烷的分压为 p , 则反应 I 的 $K_p = \frac{p}{p_0}$ (列出计算式即可,用平衡分压代替平衡浓度计算,分压=总压×物质的量分数)。

解析 设投料 $\text{H}_2, \text{C}_6\text{H}_6$ 为 4 mol 和 1 mol, I 中 C_6H_6 变化量为 x mol, II 中环己烷变化量为 y mol, 则有



结合题意可得 $\alpha = \frac{x}{1}$, 即平衡时

$$n(\text{苯}) = (1 - \alpha) \text{ mol},$$

$$n(\text{H}_2) = (4 - 3\alpha) \text{ mol},$$

$$n(\text{环己烷}) = (\alpha - y) \text{ mol},$$

$$n(\text{甲基环戊烷}) = y \text{ mol},$$

由此可得

$$p(\text{苯}) = \frac{1 - \alpha}{(1 - \alpha) + (4 - 3\alpha) + (\alpha - y) + y} p_0 = \frac{1 - \alpha}{5 - 3\alpha} p_0,$$

$$p(\text{H}_2) = \frac{4 - 3\alpha}{(1 - \alpha) + (4 - 3\alpha) + (\alpha - y) + y} p_0 = \frac{4 - 3\alpha}{5 - 3\alpha} p_0,$$

$$p(\text{环己烷}) = p,$$

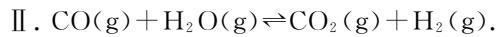
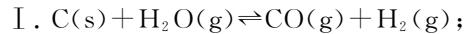
则答案为

$$K_p = \frac{p(\text{环己烷})}{p(\text{苯}) \cdot p^3(\text{H}_2)} = \frac{p}{\frac{1 - \alpha}{5 - 3\alpha} p_0 \cdot \left(\frac{4 - 3\alpha}{5 - 3\alpha} p_0\right)^3}.$$

2.2 恒容多重平衡体系

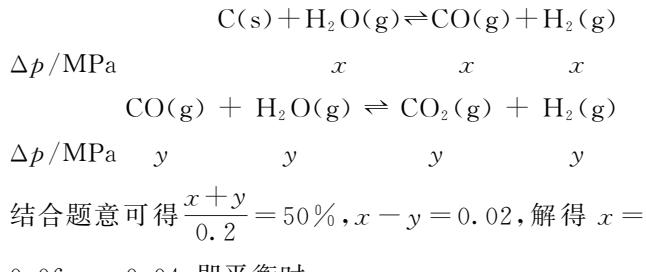
恒容体系的多重平衡计算中,要以起始、结束的压强条件为出发点,围绕这一问题进行深入分析,将题目所给信息进行转化,最后依托三段式解答问题。

例4 (2022年湖南16,节选)在一定温度下,向体积固定的密闭容器中加入足量的 C(s) 和 1 mol H₂O(g), 起始压强为 0.2 MPa, 反应如下:



平衡时, H₂O(g) 的转化率为 50%, $n(\text{CO}) = 0.1 \text{ mol}$, 反应 I 平衡常数 $K_p = \frac{p(\text{CO}) \cdot p(\text{H}_2)}{p(\text{H}_2\text{O})}$ (以分压表示, 分压=总压×物质的量分数)。

解析 恒容体系中,可以借助压强进行计算,结合信息,起始时有 1 mol H₂O(g), 压强为 0.2 MPa, 平衡时 $p(\text{CO}) = 0.02 \text{ MPa}$, 设反应 I, II 压强变化分别为 $x \text{ MPa}$, $y \text{ MPa}$, 可得以下变化关系:



$$p(\text{H}_2\text{O}) = (1-x-y) \text{ MPa} = 0.1 \text{ MPa},$$

$$p(\text{H}_2) = (x+y) \text{ MPa} = 0.1 \text{ MPa},$$

$$p(\text{CO}) = 0.02 \text{ MPa},$$

则反应 I 平衡常数

$$K_p = \frac{p(\text{CO}) \cdot p(\text{H}_2)}{p(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.02 \text{ MPa} \times 0.1 \text{ MPa}}{0.1 \text{ MPa}} = 0.02 \text{ MPa}.$$

恒压、恒容最大不同在于,恒容时压强会发生改变,恒压则在整个过程中压强不发生改变。同学们在解题时,要先确定题目属于哪一类,而后根据相关方法解答问题。

(完)