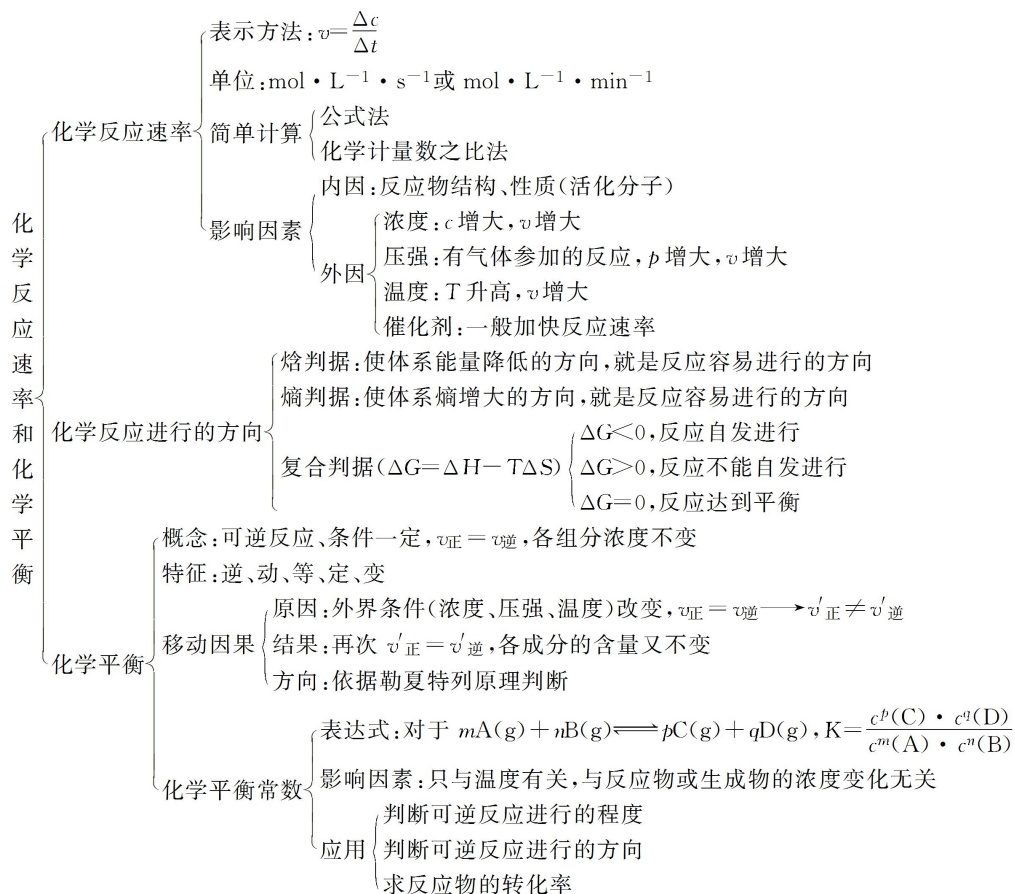


# 本章知识体系构建与核心素养提升

## 知识体系构建

理清脉络 纲举目张



## 核心素养提升

理念渗透 贯穿始终

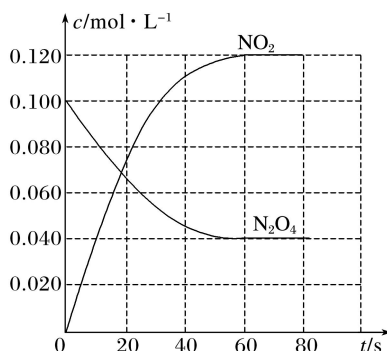
本章充分体现了化学核心素养中的“变化观念与平衡思想”。化学反应在达到平衡前,体系中的相关物质的量一直存在着趋向于达到平衡的变化过程,即使是达到平衡状态后,体系中的物质相互之间仍然存在着各种变化。例如,向密闭容器中通入一定量的  $\text{SO}_2(\text{g})$  和  $\text{O}_2(\text{g})$ ,在催化剂作用下生成  $\text{SO}_3(\text{g})$ ,该反应过程中  $\text{SO}_2(\text{g})$ 、 $\text{O}_2(\text{g})$  的体积分数逐渐减小,而  $\text{SO}_3(\text{g})$  的体积分数逐渐增大,这体现了化学反应中的“变化观念”;而反应达到平衡后,  $\text{SO}_2(\text{g})$ 、 $\text{O}_2(\text{g})$ 、 $\text{SO}_3(\text{g})$  的体积分数保持不变,但反应仍在进行,这体现了化学反应中的“平衡思想”。因此,在学习过程中要抓住本质,即应用“变化观念与平衡思想”,从不同视角对纷繁复杂的化学变化进行分类研究,逐步揭示各类化学变化的特征和规律;能用对立统一、联系发展和动态平衡的观点分析化学平衡。

在学习过程中,还应注意通过分析探究外界因素对化学反应速率和化学平衡的影响,理清证

据与结论之间的关系，并能根据化学反应速率和化学平衡的知识规律构建模型，建立分析解决各种相关问题的思维框架，促进“证据推理与模型认知”等化学核心素养的发展。

### 典例剖析

**【例 1】** 在容积为 1.00 L 的容器中，通入一定量的  $\text{N}_2\text{O}_4$ ，发生反应  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ ，随温度升高，混合气体的颜色变深。



回答下列问题：

(1)反应的 $\Delta H$ \_\_\_\_\_ (填“大于”或“小于”)0；100℃时，体系中各物质浓度随时间变化如图所示。在0~60 s时段，反应速率 $v(\text{N}_2\text{O}_4)$ 为\_\_\_\_\_  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ；反应的平衡常数 $K_1$ 为\_\_\_\_\_。

(2)100℃时达到平衡后，改变反应温度为 $T$ ， $c(\text{N}_2\text{O}_4)$ 以 $0.002\ 0\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的平均速率降低，经10 s又达到平衡。

① $T$ \_\_\_\_\_ (填“大于”或“小于”)100℃，判断理由是\_\_\_\_\_。

②列式计算温度 $T$ 时反应的平衡常数 $K_2$ ：\_\_\_\_\_。

(3)温度 $T$ 时反应达平衡后，将反应容器的容积减小一半。平衡向\_\_\_\_\_ (填“正反应”或“逆反应”)方向移动，判断理由是\_\_\_\_\_。

**答案** (1)大于 0.001 0 0.36

(2)①大于 反应正方向吸热，平衡向吸热方向移动，故温度升高 ②平衡时， $c(\text{NO}_2)=$

$0.120\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}+0.002\ 0\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\times 10\ \text{s}\times 2=0.160\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ， $c(\text{N}_2\text{O}_4)=0.040\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

$-0.002\ 0\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\times 10\ \text{s}=0.020\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ， $K_2=\frac{0.160^2}{0.020}=1.28$

(3)逆反应 对气体分子数增大的反应，增大压强平衡向逆反应方向移动

**解析** (1)随温度升高，混合气体的颜色变深，说明升温平衡向正反应方向移动， $\Delta H>0$ 。在

0~60 s时段， $v(\text{N}_2\text{O}_4)=\frac{\Delta c}{\Delta t}=\frac{(0.100-0.040)\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}}{60\ \text{s}}=0.001\ 0\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ；平衡常数 $K_1=$

$\frac{c^2(\text{NO}_2)}{c(\text{N}_2\text{O}_4)}=\frac{0.120^2}{0.040}=0.36$ 。

(2)当温度由100℃变为 $T$ 时， $\text{N}_2\text{O}_4$ 的浓度降低，“三段式”如下：



100 °C 平衡时	0.040 mol·L <sup>-1</sup>	0.120 mol·L <sup>-1</sup>
温度 $T$ 时变化	0.020 mol·L <sup>-1</sup>	0.040 mol·L <sup>-1</sup>
温度 $T$ 平衡时	0.020 mol·L <sup>-1</sup>	0.160 mol·L <sup>-1</sup>

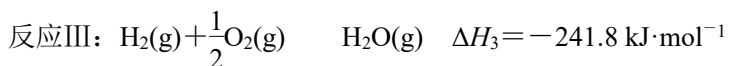
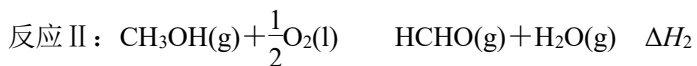
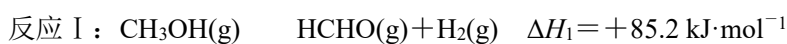
由于温度变为  $T$  时平衡向  $\text{N}_2\text{O}_4$  浓度减小的方向移动, 即向吸热方向移动, 故温度升高, 所

以  $T > 100\text{ }^\circ\text{C}$ 。当再次达到平衡时, 平衡常数  $K_2 = \frac{c^2(\text{NO}_2)}{c(\text{N}_2\text{O}_4)} = \frac{0.160^2}{0.020} = 1.28$ 。

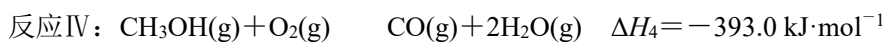
(3) 温度不变, 将反应容器的容积减小一半, 压强增大, 平衡向气体分子数减小的方向(即逆反应方向)移动。

点评: 本题综合考查了化学反应速率和化学平衡的相关知识。通过第(2)小题和第(3)小题较好地考查了学生“证据推理”与“模型认知”的能力(“三段式”法解题步骤)等。

**【例 2】** 甲醛在木材加工、医药等方面有重要用途。甲醇直接脱氢是工业上合成甲醛的新方法, 制备过程涉及的主要反应如下:



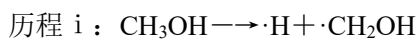
副反应:



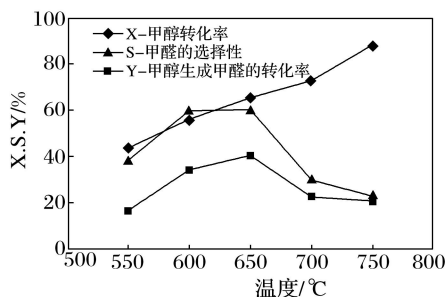
(1) 计算反应 II 的反应热  $\Delta H_2 =$  \_\_\_\_\_。

(2) 750 K 下, 在恒容密闭容器中, 发生反应  $\text{CH}_3\text{OH(g)} \quad \text{HCHO(g)} + \text{H}_2\text{(g)}$ , 若起始压强为  $p_0$ , 达到平衡转化率为  $\alpha$ , 则平衡时的总压强  $p_{\text{平}} =$  \_\_\_\_\_ (用含  $p_0$  和  $\alpha$  的式子表示); 当  $p_0 = 101 \text{ kPa}$ , 测得  $\alpha = 50.0\%$ , 计算反应平衡常数  $K_p =$  \_\_\_\_\_ (用平衡分压代替平衡浓度计算, 分压 = 总压  $\times$  物质的量分数, 忽略其他反应)。

(3)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  是甲醇脱氢制甲醛的催化剂, 有研究指出, 催化反应的部分机理如下:



下图表示一定条件下温度对碳酸钠催化脱氢性能的影响, 回答下列问题:



①从平衡角度解析 550~650 °C 甲醇生成甲醛的转化率随温度升高的原因\_\_\_\_\_。

②反应历程 i 的活化能\_\_\_\_(填 “>” “<” 或 “=”, 下同) $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \rightarrow \text{HCHO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$  活化能。

③650~750 °C, 反应历程 ii 的速率\_\_\_\_反应历程 iii 的速率。

(4)吹脱是处理甲醛废水的一种工艺, 吹脱速率可用方程  $v = 0.042 3c(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$  表示(其中  $c$  为甲醛浓度), 下表为常温下甲醛的浓度随吹脱时间变化数据。

浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	10 000	8 000	4 000	2 000	1 000
吹脱时间/h	0	7	23	39	55

则当甲醛浓度为  $2 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 其吹脱速率  $v = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 分析上表数据, 起始浓度为  $10 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 当甲醛浓度降为  $5 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 吹脱时间为\_\_\_\_\_h。

答案 (1)  $-156.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  (2)  $p_0(1 + \alpha)$  50.5 (3)①甲醇脱氢反应为吸热反应, 升高温度, 有利于脱氢反应向正反应方向进行 ②< ③< (4)84.6 16

解析 (1)根据盖斯定律计算: 反应 II 的反应热  $\Delta H_2 = \Delta H_1 + \Delta H_3 = -241.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 85.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -156.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2)若起始压强为  $p_0$ , 达到平衡时转化率为  $\alpha$ ,

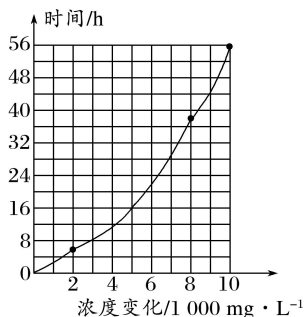
	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$	$\text{HCHO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
起始量/mol	1	0
变化量/mol	$\alpha$	$\alpha$
平衡时/mol	$1 - \alpha$	$\alpha$

压强之比等于物质的量之比, 则  $p_0 : p_{\text{平}} = 1 : (1 + \alpha)$ ,  $p_{\text{平}} = p_0(1 + \alpha)$ ; 当  $p_0 = 101 \text{ kPa}$ , 测得  $\alpha$

$$= 50.0\%, \text{ 计算反应平衡常数 } K_p = \frac{\left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} p_{\text{平}}\right)^2}{\frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} p_{\text{平}}} = \frac{\left(\frac{0.5}{1 + 0.5}\right)^2 \times 101 \times (1 + 0.5)}{\frac{1 - 0.5}{1 + 0.5}} \approx 50.5. \text{ (3)①从平衡角}$$

度可知, 550~650 °C 甲醇生成甲醛的转化率随温度升高的原因是: 甲醇脱氢反应为吸热反应, 升高温度, 有利于脱氢反应向正反应方向进行。②由盖斯定律, 历程 i + 历程 ii + 历程 iv 得  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \rightarrow \text{HCHO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ , 前两者吸收能量, 历程 iv 放出能量, 总反应  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \rightarrow \text{HCHO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$  是吸热反应, 故历程 i 的活化能小于总反应的活化能。③由图可知 650~

750 °C，甲醇的转化率变大，但甲醛的选择性变小，反应历程 ii 的速率小于反应历程 iii 的速率。(4)当甲醛浓度为  $2\ 000\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时，吹脱速率  $v = 0.042\ 3c\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1} = 0.042\ 3 \times 2\ 000\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1} = 84.6\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；根据甲醛浓度减少量和时间之间关系作图，从图中读出当甲醛浓度减少量为  $5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时，所耗时间约为 16 h。



**【例 3】** 在恒容密闭容器中通入  $\text{CH}_4$  与  $\text{CO}_2$ ，使其物质的量浓度均为  $1.0\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，在一定条件下发生反应： $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{CH}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 。测得平衡时  $\text{CH}_4$  的体积分数与温度及压强的关系如图 1 所示。回答下列问题：

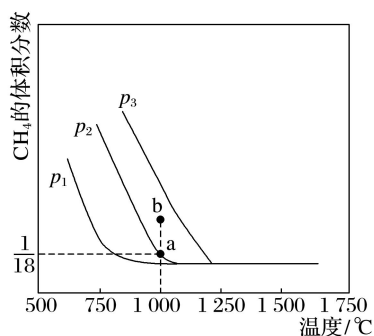


图 1

- (1)该反应的  $\Delta H$  \_\_\_\_\_ (填“<”“>”或“=”)0。
- (2)压强  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$  由大到小的顺序为 \_\_\_\_\_；压强为  $p_2$  时，b 点处  $v_{\text{正}}$  \_\_\_\_\_ (填“<”“>”或“=”)  $v_{\text{逆}}$ 。
- (3)a 点时  $\text{CH}_4$  的转化率为 \_\_\_\_\_。
- (4)为探究速率与浓度的关系，根据相关实验数据，粗略地绘制出了两条速率—浓度关系曲线： $v_{\text{正}} \sim c(\text{CH}_4)$  和  $v_{\text{逆}} \sim c(\text{CO})$ ，如图 2。

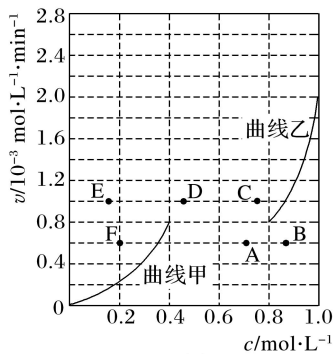


图 2

- ①与曲线  $v_{\text{正}} \sim c(\text{CH}_4)$  相对应的是图中曲线 \_\_\_\_\_ (填“甲”或“乙”)。

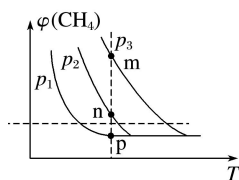
②降低温度，反应重新达到平衡时， $v_{正}$ 、 $v_{逆}$ 相应的平衡点分别为\_\_\_\_\_ (填字母)。

答案 (1) $>$  (2) $p_3 > p_2 > p_1$  (3)80%

(4)①乙 ②B、F

解析

(1)由图 1 可知，压强不变时，升高温度， $\text{CH}_4$  的体积分数减小，平衡右移，说明正反应为吸热反应，则  $\Delta H > 0$ 。(2)经三条等压线作一条垂线，会有三个交点，如图：



交点分别为 m、n、p；由 p 点  $\rightarrow$  n 点  $\rightarrow$  m 点，甲烷的体积分数依次增大，根据反应体系特征，说明体系压强逐渐增大，则  $p_1 < p_2 < p_3$ 。b 点  $\rightarrow$  a 点需要使  $\text{CH}_4$  的体积分数减小，才能建立平衡，故反应正向进行， $v_{正} > v_{逆}$ 。

(4)由于反应开始只加入了反应物，结合平衡建立的过程可知，甲曲线为  $v_{逆} \sim c(\text{CO})$ ，乙曲线为  $v_{正} \sim c(\text{CH}_4)$ ，降温后平衡逆向移动，正、逆反应速率都要减小，而  $c(\text{CH}_4)$  要增大， $c(\text{CO})$  要减小，综合考虑，只有 B、F 符合题意。