

第2课时 化学平衡常数

[核心素养发展目标] 1.证据推理：通过化学平衡状态时的浓度数据分析，认识化学平衡常数的概念，并能分析推测其相关应用。2.模型认知：构建化学平衡常数相关计算的思维模型(三段式法)，理清计算的思路，灵活解答各类问题。

一、化学平衡常数

1. 化学平衡状态时浓度数据分析

分析课本表 2-1 457.6 °C 时反应体系 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ 中各物质的浓度数据，我们可以发现以下规律：

(1) 无论该反应从正向进行还是从逆向进行，平衡时，只要温度一定， $\frac{c^2(\text{HI})}{c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)}$ 的值近似相等。

(2) 无论反应物或生成物的浓度如何改变，平衡时只要温度一定， $\frac{c^2(\text{HI})}{c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)}$ 的值也近似相等。

2. 化学平衡常数的概念

在一定温度下，当一个可逆反应达到化学平衡时，生成物浓度幂之积与反应物浓度幂之积的比值是一个常数(简称平衡常数)，用符号 K 表示。

3. 浓度商与化学平衡常数的表达式

(1) 浓度商：对于一般的可逆反应， $m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g})$ ，在任意时刻的 $\frac{c^p(\text{C}) \cdot c^q(\text{D})}{c^m(\text{A}) \cdot c^n(\text{B})}$

称为浓度商，常用 Q 表示，即 $Q = \frac{c^p(\text{C}) \cdot c^q(\text{D})}{c^m(\text{A}) \cdot c^n(\text{B})}$ 。

(2) 化学平衡常数表达式：当在一定温度下达到化学平衡时， $K = \frac{c^p(\text{C}) \cdot c^q(\text{D})}{c^m(\text{A}) \cdot c^n(\text{B})}$ 。

(3) Q 与 K 关系：当反应中有关物质的浓度商等于平衡常数时，表明反应达到化学平衡状态。

4. 化学平衡常数的意义

平衡常数的大小反映了化学反应进行的程度(也叫反应的限度)。

K 值越大，表示反应进行得越完全，反应物的转化率越大，当 $K > 10^5$ 时，该反应就进行的基本完全了。 K 值越小，表示反应进行得越不完全，反应物的转化率越小。当 $K < 10^{-5}$ 时，该反应很难发生。

5. 化学平衡常数的影响因素

(1) 内因：不同的化学反应及方程式的书写形式是决定化学平衡常数的主要因素。

(2) 外因：在化学方程式一定的情况下， K 只受温度影响。

【正误判断】

(1) 浓度、温度变化时，平衡常数都会改变()

(2) K 值越大，表明可逆反应正向进行的程度越大()

- (3) K 值越大, 该可逆反应的速率越快()
- (4) 化学平衡常数等于某一时刻的生成物浓度幂之积与反应物浓度幂之积的比值()
- (5) 对于一个达到平衡的可逆反应, 升高温度, 化学平衡常数一定增大()
- (6) 化学方程式中的固态或纯液态物质不能代入平衡常数表达式()

答案 (1)× (2)√ (3)× (4)× (5)× (6)√

【深度思考】

1. 写出下表中各反应的平衡常数表达式

化学方程式	平衡常数表达式
$2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$	$K = \frac{c(\text{N}_2\text{O}_4)}{c^2(\text{NO}_2)}$
$\text{NO}_2 \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{N}_2\text{O}_4$	$K = \frac{c^{\frac{1}{2}}(\text{N}_2\text{O}_4)}{c(\text{NO}_2)}$
$2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} \rightleftharpoons 3\text{Fe}^{2+}$	$K = \frac{c^3(\text{Fe}^{2+})}{c^2(\text{Fe}^{3+})}$
$\text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Br}^- + \text{HBrO}$	$K = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{Br}^-) \cdot c(\text{HBrO})}{c(\text{Br}_2)}$

2. 已知: $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ 的平衡常数为 K_1 , $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g})$ 的平衡常数为 K_2 , $\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g})$ 的平衡常数为 K_3 。

- ① 写出 K_1 和 K_2 的关系式: $K_1 = K_2^2$;
- ② 写出 K_2 和 K_3 的关系式: $K_2 \cdot K_3 = 1$;
- ③ 写出 K_1 和 K_3 的关系式: $K_1 \cdot K_3^2 = 1$ 。

3. 已知在一定温度下, 下列各反应的焓变和平衡常数如下

- ① $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H_1 \quad K_1$
- ② $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2 \quad K_2$
- ③ $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H_3 \quad K_3$

则 ΔH_1 、 ΔH_2 、 ΔH_3 三者关系为 $\Delta H_3 =$ _____,

K_1 、 K_2 、 K_3 三者关系为 $K_3 =$ _____。

答案 $\Delta H_1 + \Delta H_2 \quad K_1 \cdot K_2$

解析 方程式如果相加(或减), 则总热化学方程式的焓变应为两热化学方程式的焓变之和(或差), 而平衡常数则为两方程式平衡常数的乘积(或商)。

■ 归纳总结 ■

(1) 化学平衡常数表达式书写注意事项

- ① 化学平衡常数表达式中各物质的浓度必须是平衡时的浓度,且不出现在固体或纯液体的浓度。
- ② 化学平衡常数表达式与化学方程式的书写有关。若反应方向改变、化学计量数等倍扩大或缩小,化学平衡常数都会相应改变。

(2) 若两反应的平衡常数分别为 K_1 、 K_2

① 若两反应相加,则总反应的平衡常数 $K = K_1 \cdot K_2$ 。

② 若两反应相减,则总反应的平衡常数 $K = \frac{K_1}{K_2}$

二、化学平衡的有关计算

“三段式”法进行化学平衡的有关计算

可按下列步骤建立模式,确定关系式进行计算。如可逆反应: $m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g})$, 在体积为 V 的恒容密闭容器中,反应物 A、B 的初始加入量分别为 a mol、 b mol,达到化学平衡时,设 A 物质转化的物质的量为 mx mol。

(1) 模式

	$m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g})$		$p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g})$	
起始量/mol	a	b	0	0
转化量/mol	mx	nx	px	qx
平衡量/mol	$a - mx$	$b - nx$	px	qx

对于反应物: $n(\text{平}) = n(\text{始}) - n(\text{转})$

对于生成物: $n(\text{平}) = n(\text{始}) + n(\text{转})$

则有①平衡常数 $K = \frac{\left(\frac{px}{V}\right)^p \cdot \left(\frac{qx}{V}\right)^q}{\left(\frac{a-mx}{V}\right)^m \cdot \left(\frac{b-nx}{V}\right)^n}$ 。

② 平衡时 A 的物质的量浓度: $c(\text{A}) = \frac{a-mx}{V} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

③ 平衡时 A 的转化率: $\alpha = \frac{mx}{a} \times 100\%$, A、B 的转化率之比为 $\alpha(\text{A}) : \alpha(\text{B}) = \frac{mx}{a} : \frac{nx}{b}$ 。

④ 平衡时 A 的体积分数: $\varphi(\text{A}) = \frac{a-mx}{a+b+(p+q-m-n)x} \times 100\%$ 。

⑤ 平衡时和开始时的压强比: $\frac{p(\text{平})}{p(\text{始})} = \frac{a+b+(p+q-m-n)x}{a+b}$ 。

⑥ 混合气体的密度: $\rho(\text{混}) = \frac{a \cdot M(\text{A}) + b \cdot M(\text{B})}{V} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

⑦ 平衡时混合气体的平均摩尔质量:

$$\bar{M} = \frac{a \cdot M(A) + b \cdot M(B)}{a + b + (p + q - m - n)x} \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

⑧ 生成物产率 = $\frac{\text{该物质实际产量}}{\text{该物质理论产量}} \times 100\%$ 。

(2) 基本步骤

- ① 确定反应物和生成物的初始加入量；
- ② 确定反应过程的转化量(一般设某物质的转化量为 x)；
- ③ 确定平衡量。

【应用体验】

1. 反应 $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$, 若在一定温度下, 将物质的量浓度均为 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{SO}_2(\text{g})$ 和 $\text{NO}_2(\text{g})$ 注入一密闭容器中, 当达到平衡状态时, 测得容器中 $\text{SO}_2(\text{g})$ 的转化率为 50%, 则在该温度下:

(1) 此反应的平衡常数为_____。

(2) 在上述温度下, 若 $\text{SO}_2(\text{g})$ 的初始浓度增大到 $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{NO}_2(\text{g})$ 的初始浓度仍为 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 达到化学平衡状态时, 计算下列各物质的浓度及 SO_2 和 NO_2 的平衡转化率。

① $c(\text{SO}_3) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{SO}_2) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

② SO_2 转化率为_____, NO_2 转化率为_____。

答案 (1) 1 (2) ① 1.2 1.8 ② 40% 60%

解析 (1) 设平衡时 SO_2 的浓度为 $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

	$\text{SO}_2(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g})$		$\text{SO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$	
初始浓度/ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	2	2	0	0
平衡浓度/ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	x	x	$2 - x$	$2 - x$

由题意可知 $\frac{2-x}{2} \times 100\% = 50\%$, $x = 1$,

$$K = \frac{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 1.$$

(2) 设达平衡时 NO 的浓度为 $y \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

	$\text{SO}_2(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g})$		$\text{SO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$	
初始浓度/ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	3	2	0	0
平衡浓度/ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	$3 - y$	$2 - y$	y	y

因为温度不变, 平衡常数不变, $K = 1$

$$\text{则 } \frac{y^2}{(3-y)(2-y)} = 1, y = 1.2$$

① 平衡浓度: $c(\text{SO}_3) = 1.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{SO}_2) = 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - 1.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$$\textcircled{2} \text{SO}_2 \text{ 的转化率 } \alpha(\text{SO}_2) = \frac{1.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \times 100\% = 40\%;$$

$$\text{NO}_2 \text{ 的转化率 } \alpha(\text{NO}_2) = \frac{1.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \times 100\% = 60\%。$$

2. (2019·湛江高二检测)羰基硫(COS)可作为一种粮食熏蒸剂,能防止某些昆虫、线虫和真菌的危害。在恒容密闭容器中,将CO和H₂S混合加热并达到下列平衡:



反应前CO物质的量为10 mol,平衡后CO物质的量为8 mol。

(1)反应前H₂S的物质的量是_____。

(2)CO的平衡转化率是_____。

答案 (1)7 mol (2)20%

解析 (1)利用三段式法计算:

	CO(g) + H ₂ S(g)		COS(g) + H ₂ (g)	
起始/mol	10	<i>n</i>	0	0
转化/mol	2	2	2	2
平衡/mol	8	<i>n</i> - 2	2	2

$$K = \frac{c(\text{COS}) \cdot c(\text{H}_2)}{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{S})} = \frac{2 \times 2}{8 \times (n - 2)} = 0.1, \text{ 解得 } n = 7。$$

$$(2) \text{CO 的转化率} = \frac{2 \text{ mol}}{10 \text{ mol}} \times 100\% = 20\%。$$

3. 650 °C时,一定量的CO₂与足量的碳在体积可变的恒压密闭容器中反应: C(s) + CO₂(g) ⇌ 2CO(g)。平衡时,CO的体积分数为40%,总压强为*p*_总。

(1)平衡时CO₂的转化率为_____。

(2)已知: 气体分压(*p*_分) = 气体总压(*p*_总) × 体积分数。

用平衡分压代替平衡浓度表示的化学平衡常数*K*_p = _____。

答案 (1)25% (2)0.27*p*_总

解析 (1)设开始加入1 mol CO₂, 反应掉了*x* mol CO₂, 则有

	C(s) + CO ₂ (g)	2CO(g)
始态/mol	1	0
变化/mol	<i>x</i>	2 <i>x</i>
平衡/mol	1 - <i>x</i>	2 <i>x</i>

$$\text{因此有 } \frac{2x}{1-x+2x} \times 100\% = 40.0\%, \text{ 解得 } x = 0.25, \text{ CO}_2 \text{ 的转化率为 } \frac{0.25 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times 100\% = 25\%。$$

(2)平衡时CO的体积分数为40%,则CO₂的体积分数为60%

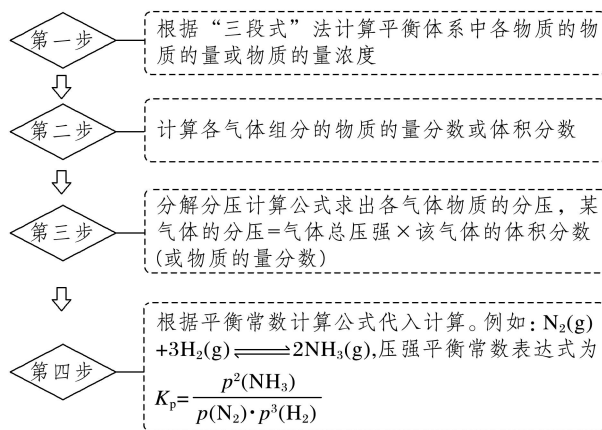
$$\text{故 } K_p = \frac{p^2(\text{CO})}{p(\text{CO}_2)} = \frac{(40\%p_{\text{总}})^2}{60\%p_{\text{总}}} \approx 0.27p_{\text{总}}。$$

■ 方法指导 ■

(1)理解 K_p 含义

在化学平衡体系中，用各气体物质的分压代替浓度，计算的平衡常数叫压强平衡常数。

(2)运用计算技巧



随堂演练 知识落实

1. 下列关于化学平衡常数的叙述正确的是()
- A. 化学平衡常数表示反应进行的程度，与温度无关
- B. 两种物质反应，不管怎样书写化学方程式，平衡常数均不变
- C. 化学平衡常数等于某一时刻生成物浓度幂之积与反应物浓度幂之积的比值
- D. 温度一定，对于给定的化学反应，正、逆反应的平衡常数互为倒数

答案 D

2. 在某温度下，可逆反应： $m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g})$ 的平衡常数为 K ，下列说法正确的是()

- A. K 越大，达到平衡时，反应正向进行的程度越大
- B. K 越小，达到平衡时，反应物的转化率越大
- C. K 随反应物浓度的改变而改变
- D. K 随温度和压强的改变而改变

答案 A

解析 K 越大，表示反应达到平衡时，反应正向进行的程度越大，反应物的转化率越大，反之，反应物的转化率越小， K 只与温度有关，与浓度、压强无关。

3. 2 000 K 时，反应 $\text{CO}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$ 的平衡常数为 K ，则相同温度下反应 $2\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 的平衡常数 K' 为()

- A. $\frac{1}{K}$ B. K^2 C. $\frac{1}{K^2}$ D. $\frac{1}{K^{\frac{1}{2}}}$

答案 C

解析 平衡常数与化学方程式的写法有关, 对于题干中的两个反应, $K =$

$$\frac{c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO}) \cdot c^{\frac{1}{2}}(\text{O}_2)}, K' = \frac{c^2(\text{CO}) \cdot c(\text{O}_2)}{c^2(\text{CO}_2)}, \text{ 所以 } K' = \frac{1}{K^2}.$$

4. 在一定温度下的密闭容器中, 加入 1 mol CO 和 1 mol H₂O 发生反应: $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$, 达到平衡时测得 $n(\text{H}_2) = 0.5 \text{ mol}$, 下列说法不正确的是()

- A. 在该温度下, 反应的平衡常数 $K = 1$
- B. 平衡常数与反应温度无关
- C. CO 的平衡转化率为 50%
- D. 平衡时 $n(\text{H}_2\text{O}) = 0.5 \text{ mol}$

答案 B

解析	$\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$		$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$	
起始/mol	1	1	0	0
转化/mol	0.5	0.5	0.5	0.5
平衡/mol	0.5	0.5	0.5	0.5

由化学方程式及以上数据判断可得 A、C、D 项正确; 平衡常数与反应温度有关, B 项错误。

5. H₂S 与 CO₂ 在高温下发生反应: $\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{COS}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。在 610 K 时, 将 0.10 mol CO₂ 与 0.40 mol H₂S 充入 2.5 L 的空钢瓶中, 反应平衡后水的物质的量分数为 0.02。

(1) 平衡时 CO₂ 的浓度为_____。

(2) H₂S 的平衡转化率 $\alpha_1 =$ _____%, 反应平衡常数 $K =$ _____。

答案 (1) $0.036 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (2) 2.5 0.002 85

解析 对于反应

	$\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$		$\text{COS}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	
初始/mol	0.40	0.10	0	0
转化/mol	x	x	x	x
平衡/mol	$0.40 - x$	$0.10 - x$	x	x

反应平衡后水的物质的量分数为 0.02, 则 $\frac{x}{0.50} = 0.02$,

$x = 0.01$ 。

H₂S 的平衡转化率 $\alpha_1 = \frac{0.01 \text{ mol}}{0.40 \text{ mol}} \times 100\% = 2.5\%$ 。

钢瓶的体积为 2.5 L, 则平衡时各物质的浓度分别为 $c(\text{H}_2\text{S}) = 0.156 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{CO}_2) = 0.036 \text{ mol} \cdot$

L^{-1} , $c(\text{COS}) = c(\text{H}_2\text{O}) = 0.004 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $K = \frac{0.004 \times 0.004}{0.156 \times 0.036} \approx 0.002 85$ 。

课时对点练

☑对点训练

题组一 化学平衡常数及其影响因素

1. 下列关于平衡常数 K 的说法中, 正确的是()

①平衡常数 K 只与反应本身及温度有关 ②改变反应物浓度或生成物浓度都会改变平衡常数 K ③加入催化剂不改变平衡常数 K ④平衡常数 K 只与温度有关, 与反应的本身及浓度、压强无关

A. ①② B. ②③ C. ③④ D. ①③

答案 D

解析 平衡常数 K 是一个温度常数, 只与反应本身及温度有关, 催化剂不能改变化学平衡, 故加入催化剂不改变平衡常数 K 。

2. 关于平衡常数 K , 下列说法中正确的是()

A. K 值越大, 反应越容易进行
B. 对任一给定的可逆反应, 温度升高, K 值增大
C. 对同一可逆反应, K 值越大, 反应物的转化率越高
D. 加入催化剂或增大反应物浓度, K 值将增大

答案 C

解析 对于给定的可逆反应, 化学平衡常数越大, 反应进行的程度越大, 但反应不一定容易进行, A 项错误, C 项正确; 化学平衡常数与催化剂和反应物浓度无关, 只与温度有关, 与温度的关系视具体反应而定, B、D 项错误。

3. 在一定条件下, 有下列分子数之比相同的可逆反应, 其平衡常数 K 值分别是① $\text{H}_2 + \text{F}_2 \rightleftharpoons 2\text{HF}$ $K = 10^{47}$; ② $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{HCl}$ $K = 10^{17}$; ③ $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightleftharpoons 2\text{HBr}$ $K = 10^9$; ④ $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ $K = 1$ 。比较 K 值大小, 可知各反应的正反应进行的程度由大到小的顺序是()

A. ①②③④ B. ④②③①
C. ①④③② D. 无法确定

答案 A

解析 化学平衡常数越大, 表示该反应的正反应进行的程度越大, 故 A 正确。

4. 下列有关平衡常数的说法中, 正确的是()

A. 改变条件, 反应物的转化率增大, 平衡常数一定增大
B. 反应: $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ $\Delta H < 0$, 增加 $c(\text{N}_2\text{O}_4)$, 该反应的平衡常数增大
C. 对于给定的可逆反应, 温度一定时, 其正、逆反应的平衡常数相等

D. 平衡常数为 $K = \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}$ 的反应, 化学方程式为 $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

答案 D

解析 改变条件, 反应物的转化率增大, 若温度不变, 则平衡常数不变, A 项错误; 增加 $c(\text{N}_2\text{O}_4)$, 温度不变, K 不变, B 项错误; 对于给定的可逆反应, 温度一定时, 其正、逆反应的平衡常数互为倒数, C 项错误; $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的平衡常数表达式为

$$K = \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}, \text{ D 项正确。}$$

题组二 化学平衡常数表达式及计算

5. (2019·河北武邑中学检测) 对于反应 $3\text{Fe}(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 4\text{H}_2(\text{g})$ 的平衡常数, 下列说法正确的是()

A. $K = \frac{c^4(\text{H}_2) \cdot c(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{c^3(\text{Fe}) \cdot c^4(\text{H}_2\text{O})}$

B. $K = \frac{c^4(\text{H}_2)}{c^4(\text{H}_2\text{O})}$

C. 增大 $c(\text{H}_2\text{O})$ 或减小 $c(\text{H}_2)$, 会使该反应平衡常数增大

D. 改变反应的温度, 平衡常数不一定变化

答案 B

解析 A 项, 固体物质的浓度可视为常数, 在平衡常数表达式中不写, 错误; B 项, 符合平衡常数表达式的书写要求, 正确; C 项, 化学平衡常数只与温度有关, 而与反应物、生成物的浓度变化无关, 故增大 $c(\text{H}_2\text{O})$ 或减小 $c(\text{H}_2)$, 该反应的平衡常数不变, 错误; D 项, 温度改变, 平衡常数一定改变, 错误。

6. 已知下列反应的平衡常数: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(\text{g}) \quad K_1$; $\text{S}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{g}) \quad K_2$ 。则反应 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{S}(\text{g})$ 的平衡常数为()

A. $K_1 + K_2$

B. $K_1 - K_2$

C. $K_1 \cdot K_2$

D. $\frac{K_1}{K_2}$

答案 D

解析 在反应中应注意 S 为固体, 与平衡常数无关, 则 $K_1 = \frac{c(\text{H}_2\text{S})}{c(\text{H}_2)}$, $K_2 = \frac{c(\text{SO}_2)}{c(\text{O}_2)}$ 。则反应 $\text{H}_2(\text{g})$

+ $\text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{S}(\text{g})$ 的平衡常数为 $\frac{c(\text{O}_2) \cdot c(\text{H}_2\text{S})}{c(\text{H}_2) \cdot c(\text{SO}_2)} = \frac{K_1}{K_2}$ 。

7. 某可逆反应 $a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C}$ 在某温度下的平衡常数为 $K (K \neq 1)$, 反应热为 ΔH 。保持温度不变, 将方程式的书写做如下改变, 则 ΔH 和 K 数值的相应变化为()

A. 写成 $2a\text{A} + 2b\text{B} \rightleftharpoons 2c\text{C}$, ΔH 值、 K 值均扩大了 1 倍

B. 写成 $2a\text{A} + 2b\text{B} \rightleftharpoons 2c\text{C}$, ΔH 值扩大了 1 倍, K 值保持不变

- C. 写成 $cC \rightleftharpoons aA + bB$, ΔH 值、 K 值变为原来的相反数
 D. 写成 $cC \rightleftharpoons aA + bB$, ΔH 值变为原来的相反数, K 值变为原来的倒数

答案 D

解析 A、B 项 ΔH 值扩大 1 倍, K 变为原来的平方; C 项 K 值变为原来的倒数。

题组三 化学平衡常数的简单计算与大小比较

8. 将 4 mol SO_2 与 2 mol O_2 放入 4 L 的密闭容器中, 在一定条件下反应达到平衡: $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$, 测得平衡时 SO_3 的浓度为 $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。则此条件下的平衡常数 K 为()

- A. 4 B. 0.25 C. 0.4 D. 0.2

答案 A

解析	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2$	\rightleftharpoons	2SO_3
初始/mol	4	2	0
转化/mol	2	1	2
平衡/mol	2	1	2

平衡时各自的浓度 $c(\text{SO}_2) = 0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $c(\text{O}_2) = 0.25 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $c(\text{SO}_3) = 0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$,

$$K = \frac{0.5^2}{0.5^2 \times 0.25} = 4。$$

9. 在 773 K 时, $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 的平衡常数 $K=9$, 若 CO 、 H_2O 的起始浓度均为 $0.020 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 则在此条件下 CO 的转化率是()

- A. 60% B. 50% C. 75% D. 25%

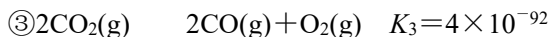
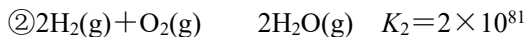
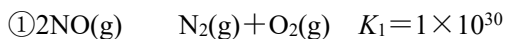
答案 C

解析 设达到平衡时 CO 转化的浓度为 $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 则平衡时 $c(\text{CO}) = c(\text{H}_2\text{O}) = (0.020 - x) \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$,

$$c(\text{CO}_2) = c(\text{H}_2) = x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}。K = \frac{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})} = \frac{x^2}{(0.020 - x)^2} = 9, \text{解得 } x = 0.015, \text{则 } \text{CO} \text{ 的转化}$$

$$\text{率为 } \frac{0.015 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}{0.020 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}} \times 100\% = 75\%。$$

10. 在一定温度下, 下列反应的化学平衡常数数值如下:



以下说法正确的是()

- A. 该温度下, 反应①的平衡常数表达式为 $K_1 = c(\text{N}_2) \cdot c(\text{O}_2)$
 B. 该温度下, 反应 $2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 的平衡常数的数值约为 5×10^{-80}
 C. 该温度下, 反应①、反应②的逆反应、反应③产生 O_2 的倾向由大到小的顺序为 $\text{NO} > \text{H}_2\text{O} > \text{CO}_2$
 D. 以上说法都不正确

答案 C

解析 由化学平衡常数的定义可知 $K_1 = \frac{c(\text{N}_2) \cdot c(\text{O}_2)}{c^2(\text{NO})}$, A 项错误; 该温度下, 水分解反应的平

衡常数为 $\frac{1}{K_2} = \frac{1}{2 \times 10^{81}} = 5 \times 10^{-82}$, B 项错误; 该温度下, NO 、 H_2O 、 CO_2 三种化合物分解产生

O_2 的反应的化学平衡常数数值分别为 1×10^{30} 、 5×10^{-82} 、 4×10^{-92} , 所以产生 O_2 的倾向:

$\text{NO} > \text{H}_2\text{O} > \text{CO}_2$, C 项正确, D 项错误。

11. 在温度为 T 时, 将 $\text{NH}_4\text{HS}(\text{s})$ 置于抽真空的容器中, 当反应 $\text{NH}_4\text{HS}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{S}(\text{g})$ 达到平衡时, 测得总压力为 p , 则该反应的平衡常数 K_p 为()

A. $\frac{1}{4}p$

B. $\frac{1}{2}p^2$

C. $\frac{1}{4}p^2$

D. $\frac{1}{2}p$

答案 C

解析 $\text{NH}_4\text{HS}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{S}(\text{g})$

开始时 0 0

平衡时 $\frac{1}{2}p$ $\frac{1}{2}p$

则该反应的平衡常数 $K_p = p(\text{H}_2\text{S}) \cdot p(\text{NH}_3) = \frac{1}{2}p \cdot \frac{1}{2}p = \frac{1}{4}p^2$ 。

题组四 化学平衡常数的相关综合

12. 某温度下, 在一个 2 L 的密闭容器中, 加入 4 mol A 和 2 mol B 进行如下反应: $3\text{A}(\text{g}) + 2\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{C}(\text{s}) + 2\text{D}(\text{g})$, 反应一段时间后达到平衡, 测得生成 1.6 mol C, 则下列说法正确的是()

A. 该反应的化学平衡常数表达式是 $K = \frac{c^4(\text{C}) \cdot c^2(\text{D})}{c^3(\text{A}) \cdot c^2(\text{B})}$

B. 此时, B 的平衡转化率是 40%

C. 增大该体系的压强, 化学平衡常数增大

D. 增加 C, 反应速率加快

答案 B

解析 C 是固体, 不能出现在平衡常数的表达式中, A 错; 生成 1.6 mol C 时, 消耗了 0.8 mol B, B 的平衡转化率是 40%, B 对; 化学平衡常数只受温度的影响, 增大该体系的压强, 化学平衡常数不变, C 错; C 为固体, 浓度为定值, 增加其量, 反应速率不变, D 错。

13. (2020·咸阳高二质检)在 25 °C 时, 密闭容器中 X、Y、Z 三种气体的初始浓度和平衡浓度如下表所示:

物质	X	Y	Z
----	---	---	---

初始浓度/mol·L ⁻¹	0.1	0.2	0
平衡浓度/mol·L ⁻¹	0.05	0.05	0.1

下列说法错误的是()

- A. 反应达到平衡时, X 的转化率为 50%
 B. 反应可表示为 $X(g) + 3Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$, 其平衡常数为 1 600
 C. 反应前后压强之比为 2 : 3
 D. 改变温度可以改变此反应的平衡常数

答案 C

解析 X、Y、Z 的浓度变化量分别为 0.05 mol·L⁻¹、0.15 mol·L⁻¹、0.1 mol·L⁻¹, 且 X、Y 的浓度减小, Z 的浓度增大, 所以该反应的化学方程式为 $X(g) + 3Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$; X 的转化率为

为 $\frac{0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \times 100\% = 50\%$, 平衡常数 $K = \frac{0.1^2}{0.05 \times 0.05^3} = 1\ 600$; 平衡常数只受温度的影响,

不受压强和浓度的影响; 反应前后压强之比为 3 : 2。

综合强化

14. 合成氨反应: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $\Delta H < 0$ 在某温度下达到平衡时, 各物质的浓度是 $c(N_2) = 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(H_2) = 9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(NH_3) = 4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则:

(1) 该温度时的平衡常数为_____; 起始浓度 $c(N_2) =$ _____。

(2) H_2 的转化率为_____。

答案 (1) 7.3×10^{-3} $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (2) 40%

解析 (1) $K = \frac{c^2(NH_3)}{c(N_2) \cdot c^3(H_2)} = \frac{4^2}{3 \times 9^3} \approx 7.3 \times 10^{-3}$ 。

设起始时 N_2 、 H_2 的浓度分别为 $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $y \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

	N_2	+	$3H_2$	⇌	$2NH_3$
起始/mol·L ⁻¹	x		y		0
平衡/mol·L ⁻¹	3		9		4
Δc /mol·L ⁻¹	$x - 3$		$y - 9$		4

$$\frac{x - 3}{4} = \frac{1}{2}, x = 5;$$

$$\frac{y - 9}{4} = \frac{3}{2}, y = 15.$$

(2) H_2 的转化率为 $\frac{6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \times 100\% = 40\%$ 。

15. 在一定温度下, 将 3 mol CO_2 和 2 mol H_2 混合于 2 L 的密闭容器中, 发生如下反应:



(1)该反应的化学平衡常数表达式 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2)已知在 700 °C 时, 该反应的平衡常数 $K_1 = 0.5$, 则该温度下反应: $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 的平衡常数 $K_2 = \underline{\hspace{2cm}}$, 反应 $\frac{1}{2}\text{CO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{CO}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的平衡常数 $K_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

答案 (1) $\frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}$ (2) 2 $\frac{\sqrt{2}}{2}$

解析 (1)根据化学平衡常数的概念:

$$K = \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}$$

$$(2) K_2 = \frac{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1}{K_1} = \frac{1}{0.5} = 2,$$

$$K_3 = \frac{c^{\frac{1}{2}}(\text{CO}) \cdot c^{\frac{1}{2}}(\text{H}_2\text{O})}{c^{\frac{1}{2}}(\text{CO}_2) \cdot c^{\frac{1}{2}}(\text{H}_2)} = K_1^{\frac{1}{2}} = \sqrt{0.5} = \frac{\sqrt{2}}{2}.$$

16. 汽车尾气是造成雾霾天气的重要原因之一, 尾气中的主要污染物为 C_xH_y 、NO、CO、 SO_2 及固体颗粒物等。活性炭可用于处理汽车尾气中的 NO, 在 1 L 恒容密闭容器中加入 0.100 0 mol NO 和 2.030 mol 固体活性炭, 生成 A、B 两种气体, 在不同温度下测得平衡体系中各物质的物质的量以及容器内压强如下表:

	活性炭/mol	NO/mol	A/mol	B/mol	p/MPa
200 °C	2.000	0.040 0	0.030 0	0.030 0	3.93
335 °C	2.005	0.050 0	0.025 0	0.025 0	p

根据上表数据, 写出容器中发生反应的化学方程式: $\underline{\hspace{2cm}}$, 计算反应体系在 200 °C 时的平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}}$ (用平衡分压代替平衡浓度计算, 分压 = 总压 × 体积分数)。

答案 $\text{C} + 2\text{NO} \rightleftharpoons \text{N}_2 + \text{CO}_2$ $\frac{9}{16}$

解析 1 L 恒容密闭容器中加入 0.100 0 mol NO 和 2.030 mol 固体活性炭, 生成 A、B 两种气体, 从不同温度下测得平衡体系中各物质的物质的量以及容器内压强数据可以看出:

$\Delta n(\text{C}) : \Delta n(\text{NO}) : \Delta n(\text{A}) : \Delta n(\text{B}) = 1 : 2 : 1 : 1$, 可以推断出生成的 A、B 两种气体分别为 N_2

和 CO_2 , 反应的化学方程式为 $\text{C} + 2\text{NO} \rightleftharpoons \text{N}_2 + \text{CO}_2$ 。该反应的平衡常数 $K_p = \frac{p(\text{N}_2) \cdot p(\text{CO}_2)}{p^2(\text{NO})}$,

容器的体积为 1 L, 平衡分压之比等于平衡浓度之比, 带入表中数据计算得 $K_p = \frac{9}{16}$ 。