

第二节 化学平衡

第1课时 化学平衡状态

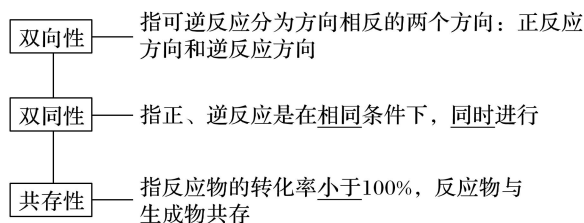
[核心素养发展目标] 1.变化观念与平衡思想：从可逆反应化学平衡状态的建立过程，认识化学平衡是一种动态平衡。2.证据推理与模型认知：熟知化学平衡状态的特征，建立化学平衡状态判断方法的思维模型。

一、化学平衡状态

1. 可逆反应

(1)概念：在相同条件下，既能向正反应方向进行，同时又能向逆反应方向进行的反应。

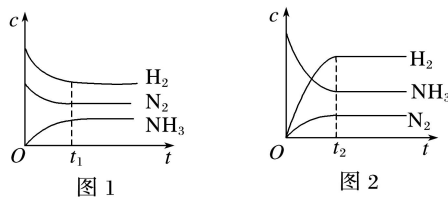
(2)特征



2. 化学平衡状态的建立

在一定条件下的容积不变的密闭容器中，合成氨反应如下：
$$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{高温、高压}} 2\text{NH}_3$$

如图1所示， N_2 与 H_2 随着反应的进行，其浓度逐渐减小， $v_{\text{正}}$ 逐渐减小，而 $c(\text{NH}_3)$ 逐渐增大， $v_{\text{逆}}$ 逐渐增大， t_1 时刻，它们的浓度不再改变， $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ ，反应达到平衡。



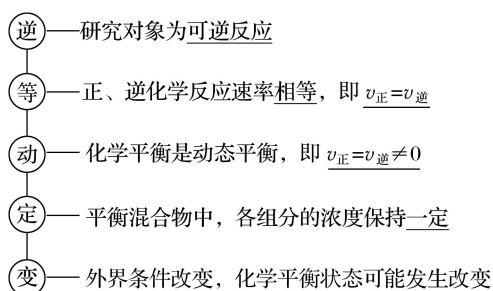
如图2所示，随着 NH_3 的分解，其浓度逐渐减小， $v_{\text{逆}}$ 逐渐减小，而 $c(\text{N}_2)$ 、 $c(\text{H}_2)$ 逐渐增大， $v_{\text{正}}$ 逐渐增大， t_2 时刻起，它们的浓度不再改变， $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ ，反应达到平衡。

通过上述两例说明，平衡的建立与建立的途径无关。

3. 化学平衡状态的概念

在一定条件下的可逆反应，当正、逆反应的速率相等时，反应物和生成物的浓度均保持不变，即体系的组成不随时间而改变，这表明该反应中物质的转化达到了“限度”，这时的状态我们称为化学平衡状态，简称化学平衡。

4. 化学平衡状态的特征



【正误判断】

- (1) H_2 与 O_2 点燃可以生成水, 电解水又可以生成 H_2 与 O_2 , 所以两个反应是可逆反应()
- (2) 合成氨反应中, 如果 N_2 过量, 则可以使 H_2 完全消耗()
- (3) 对于可逆反应, 若加入反应物, 则反应先向正反应方向进行, 停止后再向逆反应方向进行()
- (4) 只有可逆反应才存在平衡状态()
- (5) 化学平衡状态是一定条件下可逆反应进行到最大限度的结果()
- (6) 化学反应达到化学平衡状态时, 正逆反应的速率都为 0()

答案 (1)× (2)× (3)× (4)√ (5)√ (6)×

【应用体验】

1. (2020·成都高二月考)可逆反应: $2\text{SO}_2(\text{g})+\text{O}_2(\text{g})\rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$, 充入由 ^{18}O 组成的氧气一段时间后, ^{18}O 存在下列物质中的()
- A. 多余的氧气中
- B. 生成的三氧化硫中
- C. 氧气和二氧化硫中
- D. 二氧化硫、氧气和三氧化硫中

答案 D

解析 $^{18}\text{O}_2$ 的加入定会与 SO_2 结合生成含 ^{18}O 的 SO_3 , 同时含有 ^{18}O 的 SO_3 又会分解得到 SO_2 和 O_2 , 使得 SO_2 和 O_2 中也含有 ^{18}O , 因此 ^{18}O 存在于 SO_2 、 O_2 、 SO_3 这三种物质中。

2. 可逆反应在一定条件下达到化学平衡时, 下列说法正确的是()
- A. 正反应速率等于逆反应速率, 且都为零
- B. 反应物和生成物浓度相等
- C. 反应体系中混合物的组成保持不变
- D. 反应物断开化学键吸收的能量等于生成物形成化学键所放出的能量

答案 C

解析 可逆反应达到平衡时, 属于动态平衡, 正、逆反应速率相等, 但是都不为零, 故 A 错误; 可逆反应达到平衡时, 反应物和生成物的浓度不再发生变化, 各组分浓度不变, 但是各

组分浓度不一定相等，故 B 错误；当反应体系中各混合物的组成保持不变时，达到平衡状态，故 C 正确；化学反应一定伴随能量变化，反应物断开化学键吸收的能量不等于生成物形成化学键所放出的能量，故 D 错误。

3. 一定条件下，向 2 L 恒容密闭容器中充入 1 mol $\text{COCl}_2(\text{g})$ ，发生反应 $\text{COCl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$ ，反应过程中测得的有关数据如下表所示，下列说法不正确的是()

t/s	0	2	4	6	8
$n(\text{Cl}_2)/\text{mol}$	0	0.30	0.39	0.40	0.40

A. 6 s 之后反应到达平衡状态，容器内的压强不再随时间的延续而改变

B. 达到 6 s 时，反应停止，不再进行

C. 8 s 时，反应容器中各物质的浓度不再发生变化

D. 生成 Cl_2 的平均反应速率： $v(0\sim 2\text{ s}) > v(2\sim 4\text{ s})$

答案 B

解析 6 s 之后氯气的物质的量不再改变，化学反应到达平衡状态，容器内气体总物质的量保持不变，因而压强不变，故 A 正确；6 s 时达到平衡状态，反应不会停止，仍在进行，故 B 错误；在 8 s 时是平衡状态，反应容器中各物质的浓度不再发生变化，故 C 正确；0~2 s 生成氯气 0.30 mol，2~4 s 生成氯气 0.09 mol，可知 0~2 s 内反应生成 Cl_2 的平均反应速率大，故 D 正确。

二、化学平衡状态的判断方法

1. 用本质特征判断

判断依据：正反应速率与逆反应速率相等，即 $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ 。

(1)同一种物质：该物质的生成速率等于它的消耗速率。

(2)不同的物质：速率之比等于化学方程式中各物质的化学计量数之比，但必须是不同方向的速率。

2. 用宏观特征判断

判断依据：反应混合物中各组成成分的浓度、含量保持不变。

(1)各组成成分的质量、物质的量、分子数、体积(气体)、物质的量浓度均保持不变。

(2)各组成成分的质量分数、物质的量分数、气体的体积分数均保持不变。

(3)反应物的转化率、产物的产率保持不变。

3. 用“总压强、混合气体的密度、平均摩尔质量”判断平衡状态的注意事项

(1)恒温恒容条件下，用“总压强、平均摩尔质量”判断平衡状态时，要特别关注反应前后气体分子总数的变化，如：

	$m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g})$	是否平衡
压强	当 $m+n \neq p+q$ 时，总压强一定(其他条件一定)	是

	当 $m+n=p+q$ 时, 总压强一定(其他条件一定)	不一定
混合气体的 \overline{M}	当 $m+n \neq p+q$ 时, \overline{M} 一定	是
	当 $m+n=p+q$ 时, \overline{M} 一定	不一定

(2)恒温恒容条件下, 用“混合气体的密度”判断平衡状态时, 要特别关注反应前后是否有非气态物质参与反应, 如

	关注各物质的状态	是否平衡
密度 ρ	$C(s)+CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$ (ρ 一定)	是
	$N_2(g)+3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ (ρ 一定)	不一定
	$H_2(g)+I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ (ρ 一定)	不一定

【正误判断】

- (1)反应物和生成物浓度相等时, 化学反应达到平衡()
 (2)反应混合物中各组分的浓度之比等于化学计量数之比时, 反应达到平衡()
 (3)平衡体系的颜色不变时, 反应达到平衡()
 (4)绝热的恒容反应体系中温度保持不变时, 反应达到平衡()
 (5)1 mol $N \equiv N$ 断裂的同时, 有 6 mol $N-H$ 形成, 说明合成氨的反应达到了平衡()

答案 (1)× (2)× (3)√ (4)√ (5)×

【应用体验】

1. 在一定温度下, 容积一定的密闭容器中发生反应 $A(s)+2B(g) \rightleftharpoons C(g)+D(g)$, 当下列物理量不再发生变化时, 表明反应已达平衡的是()

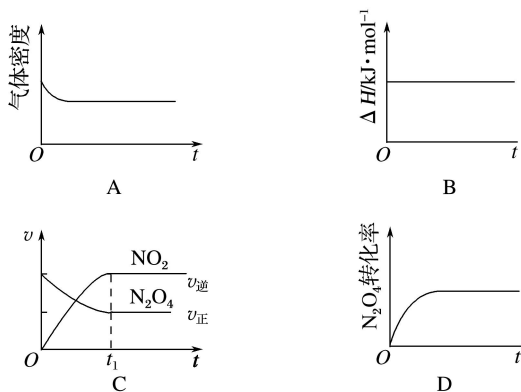
- ①混合气体的密度 ②混合气体的压强 ③B 的物质的量浓度 ④混合气体的总物质的量

A. ①② B. ②③ C. ①③ D. ①④

答案 C

解析 ①该容器的体积保持不变, 根据质量守恒定律知, 反应前后混合气体的质量会变, 所以容器内气体的密度会变, 当容器中气体的密度不再发生变化时, 能表明达到化学平衡状态, 故正确; ②该反应是反应前后气体体积没有变化的反应, 容器中的压强始终不发生变化, 所以压强不变不能证明达到了平衡状态, 故错误; ③B 的物质的量浓度不变是平衡状态的特征之一, 此时能证明达到了平衡状态, 故正确; ④该反应是一个反应前后气体体积不变的可逆反应, 无论该反应是否达到平衡状态, 混合气体的总物质的量都不变, 所以不能据此判断是否达到平衡状态, 故错误。

2. 已知: $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g) \quad \Delta H > 0$, 现将 1 mol N_2O_4 充入一恒压密闭容器中, 下列示意图不能说明反应达到平衡状态的是()



答案 B

解析 B项，对于一个特定反应， ΔH 固定不变，不能作为判断反应是否达到平衡状态的依据；C项，在 t_1 时刻， $2v_{\text{正}}(\text{N}_2\text{O}_4) = v_{\text{逆}}(\text{NO}_2)$ ，反应达到平衡状态。

3. 可逆反应： $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 在恒容的密闭容器中进行，达到平衡状态的标志是 ()

- ①单位时间内生成 $n \text{ mol O}_2$ 的同时生成 $2n \text{ mol NO}_2$
- ②单位时间内生成 $n \text{ mol O}_2$ 的同时生成 $2n \text{ mol NO}$
- ③用 NO_2 、 NO 、 O_2 表示的反应速率的比为 $2:2:1$ 的状态
- ④混合气体的颜色不再改变的状态
- ⑤混合气体的密度不再改变的状态
- ⑥混合气体的压强不再改变的状态
- ⑦混合气体的平均相对分子质量不再改变的状态

- A. ①④⑥⑦
- B. ②③⑤⑦
- C. ①③④⑤
- D. 全部

答案 A

解析 依据 $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}} \neq 0$ 判断：①单位时间内生成 $n \text{ mol O}_2$ 的同时生成 $2n \text{ mol NO}_2$ ，能说明反应已达平衡；②描述的均是正反应速率，无法判断；③无论反应是否达平衡，均有此关系。依据组成一定判断：④ NO_2 为有颜色的气体(红棕色)，颜色不变能说明反应体系中 NO_2 的浓度一定，已达到平衡；⑤因 $\rho = \frac{m}{V}$ ，反应前后， m 、 V 均不变， ρ 也不变，不能说明反应达到平衡；此反应是一个不等体反应，⑥、⑦均能说明反应已达平衡。

■ 归纳总结 ■

判断可逆反应是否达到平衡的方法

“双向相等，变量不变”，即判断可逆反应是否达到化学平衡状态，必须是正、逆两个方向，且能推出 $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ 。恒量不能作为判断平衡的标志，变量才能作为判断平衡的标志，“变量不变”时可逆反应达到平衡。

随堂演练 知识落实

1. 下列关于化学平衡状态的理解正确的是()

- A. 所有反应都存在平衡状态
- B. 反应物与生成物的浓度相等
- C. 正反应与逆反应停止进行
- D. 正反应和逆反应的速率相等

答案 D

2. 可逆反应： $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ 的正、逆反应速率可用各反应物或生成物浓度的变化来表示。下列各关系中能说明反应已达到平衡状态的是()

- A. $3v_{\text{正}}(\text{N}_2) = v_{\text{正}}(\text{H}_2)$
- B. $v_{\text{正}}(\text{N}_2) = v_{\text{逆}}(\text{NH}_3)$
- C. $2v_{\text{正}}(\text{H}_2) = 3v_{\text{逆}}(\text{NH}_3)$
- D. $v_{\text{正}}(\text{N}_2) = 3v_{\text{逆}}(\text{H}_2)$

答案 C

解析 可逆反应达到化学平衡状态的主要特征之一是 $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ ，而 $3v_{\text{正}}(\text{N}_2) = v_{\text{正}}(\text{H}_2)$ 并未反映出 $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ 的关系，即 A 项不正确。在 N_2 与 H_2 合成 NH_3 的反应中， $v(\text{N}_2) : v(\text{H}_2) : v(\text{NH}_3) = 1 : 3 : 2$ ，分析时一要注意二者应分别代表正反应速率和逆反应速率，二要注意不同物质的速率之比等于化学计量数之比。

3. 在固定容积的密闭容器中进行如下反应： $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ ，已知反应过程中某一时刻 SO_2 、 O_2 、 SO_3 浓度分别为 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，达到平衡时浓度可能是()

- A. SO_2 、 O_2 分别为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- B. SO_2 为 $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- C. SO_2 、 SO_3 均为 $0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- D. SO_2 为 $0.24 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， SO_3 为 $0.14 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

答案 B

解析 本题可用极限法。可逆反应不可能进行到底，假设反应由正反应或逆反应开始建立。A 项， $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ SO}_3$ 全部转化时， SO_2 和 O_2 浓度才是 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ；B 项， SO_2 的浓度应在 $0 \sim 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间；根据 S 元素守恒， SO_2 和 SO_3 浓度之和应为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，C、D 两项都不正确。

4. 将一定量纯净的氨基甲酸铵置于密闭真空恒容容器中(固体试样体积忽略不计)，在恒定温度下使其达到分解平衡： $\text{NH}_2\text{COONH}_4(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 。判断该分解反应已经达到化学平衡的是()

- A. $2v(\text{NH}_3) = v(\text{CO}_2)$
- B. 密闭容器中 $c(\text{NH}_3) : c(\text{CO}_2) = 2 : 1$
- C. 密闭容器中混合气体的密度不变

D. 密闭容器中氮气的体积分数不变

答案 C

解析 该反应为有固体参与的非等体积反应，且容器体积不变，所以压强、密度均可作为化学反应是否达到平衡状态的标志，该题应特别注意D项，因为该反应为固体的分解反应，所以NH₃、CO₂的体积分数始终为定值，NH₃为 $\frac{2}{3}$ ，CO₂为 $\frac{1}{3}$ 。

5. 恒温恒容条件下，将2 mol A 气体和2 mol B 气体通入体积为2 L 的密闭容器中发生如下反应：2A(g)+B(g) \rightleftharpoons xC(g)+2D(s)，2 min 时反应达到平衡状态，此时剩余1.2 mol B，并测得C 的浓度为1.2 mol·L⁻¹。

(1)从开始反应至达到平衡状态，生成C 的平均反应速率为_____。

(2)x=_____。

(3)下列各项可作为该反应达到平衡状态的标志的是_____ (填字母)。

- A. 压强不再变化
- B. 气体密度不再变化
- C. A 的消耗速率与B 的消耗速率之比为2:1
- D. A 的百分含量保持不变

答案 (1)0.6 mol·L⁻¹·min⁻¹ (2)3 (3)BD

解析 (1) $v(\text{C}) = \frac{1.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{2 \text{ min}} = 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

(2)2A(g) + B(g) \rightleftharpoons xC(g) + 2D(s)

开始/mol·L⁻¹ 1 1 0

转化/mol·L⁻¹ 0.8 0.4 1.2

平衡/mol·L⁻¹ 0.2 0.6 1.2

由此可知，2:1:x=0.8:0.4:1.2=2:1:3，所以x=3。

(3)A项，x=3，该反应前后气体的物质的量不变，无论反应是否达到平衡，压强均不会变化；B项，气体的密度不再变化，而气体的体积不变，说明气体的质量不再发生变化，由于D为固体，故气体的质量不再发生变化时能说明反应已达到平衡状态；C项，A的消耗速率与B的消耗速率表示的反应方向一致，不能说明反应已达到平衡；D项，A的百分含量保持不变，说明反应已达到平衡。

课时对点练

对点训练

题组一 可逆反应概念的理解

1. 下列有关可逆反应的说法不正确的是()

- A. 可逆反应是指在同一条件下能同时向正、逆两个方向进行的反应
- B. $2\text{HI} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{I}_2$ 是可逆反应
- C. $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{H}_2\text{O}$ 与 $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{H}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$ 互为可逆反应
- D. 可逆反应中反应物和生成物同时存在

答案 C

解析 C 项中两个反应是在不同的条件下进行的，故不能称之为可逆反应，C 项不正确。

2. (2020·福州调研)在密闭容器中进行反应： $\text{X}_2(\text{g}) + 3\text{Y}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Z}_2(\text{g})$ ，若 X_2 、 Y_2 、 Z_2 的初始浓度分别为 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，当反应达到平衡后，各物质的浓度可能是()

- ① X_2 为 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ② Y_2 为 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ③ Z_2 为 $0.3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ④ Y_2 为 $0.6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- A. ①② B. ②③ C. ③④ D. ①④

答案 B

解析 在可逆反应中，反应物不可能完全转化为生成物，平衡时不可能出现某物质的浓度为零的情况。① X_2 为 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，表明 Z_2 全部转化为 X_2 和 Y_2 ，①错误；同理，④错误。综上所述，B 项正确。

3. $^{14}\text{CO}_2$ 与碳在高温条件下发生反应： $^{14}\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2^{14}\text{CO}$ ，达到化学平衡后，平衡混合物中含 ^{14}C 的粒子有()

- A. $^{14}\text{CO}_2$ B. $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO
- C. $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 ^{14}C D. ^{14}CO

答案 C

解析 当可逆反应达到平衡状态时，反应并没停止，是一种动态平衡，所以 ^{14}C 在三种物质中都含有。

题组二 化学平衡状态的特征

4. 有关化学平衡状态的特征，下列说法正确的是()
- A. 所有的化学反应都存在化学平衡状态
- B. 平衡时反应已达到最大限度，反应停止了
- C. 平衡时各组分的浓度相等
- D. 化学平衡状态是一种动态平衡

答案 D

解析 只有可逆反应才存在化学平衡状态，A 项错误；达到平衡状态时，反应达到最大限度，但反应并没有停止，B 项错误；平衡时各组分浓度保持不变，但不一定相等，C 项错误；达到化学平衡状态时，反应并没有停止，是一种动态平衡，D 项正确。

5. (2019·河南洛阳期中)在一定条件下，某容器中充入 N_2 和 H_2 合成 NH_3 ，以下叙述错误的是()

- A. 开始反应时，正反应速率最大，逆反应速率为零
- B. 随着反应的进行，正反应速率逐渐减小，最后减小为零
- C. 随着反应的进行，逆反应速率逐渐增大，最后保持恒定
- D. 随着反应的进行，正反应速率逐渐减小，最后与逆反应速率相等且都保持恒定

答案 B

解析 A项，开始反应时，反应物的浓度最大，生成物的浓度等于零，因此正反应速率最大，逆反应速率为零，正确；B项，随着反应的进行，反应物浓度减小，生成物浓度增大，但反应不可能进行彻底，因此正反应速率虽然减小，但不会变为零，错误；C项，随着反应的进行，生成物的浓度逐渐增大，逆反应速率逐渐增大，当达到平衡时，正、逆反应速率相等且不变，正确；D项，随着反应的进行，反应物浓度逐渐减小，正反应速率逐渐减小，最终正、逆反应速率相等且不变，正确。

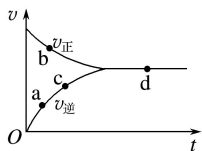
6. 在一定条件下，气体参与的某正反应方向 $\Delta H < 0$ 的可逆反应达到化学平衡时，下列说法不正确的是()

- A. 反应物的浓度一定等于生成物的浓度
- B. 反应体系中压强恒定
- C. 反应体系中混合物的组成保持不变
- D. 反应体系中温度不变

答案 A

解析 对于放热的可逆反应，达到平衡时，反应物与生成物的浓度不一定相等，A项错误；可逆反应达到平衡时，正、逆反应速率相等，气体分子数保持不变，反应体系中压强恒定，混合物的组成保持不变，反应体系中温度不变，B、C、D项正确。

7. 一定条件下，向密闭容器中充入 1 mol NO 和 1 mol CO 进行反应： $\text{NO}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ ，测得化学反应速率随时间的变化关系如图所示，其中处于化学平衡状态的点是()



- A. d点
- B. b点
- C. c点
- D. a点

答案 A

解析 由图可知，a、b、c点的正反应速率均大于逆反应速率，都未达到平衡状态；只有d点正、逆反应速率相等，由正、逆反应速率相等的状态为平衡状态可知，图中处于化学平衡状态的点是d点，选项A正确。

题组三 化学平衡状态的判断

8. (2019·黄山高二质检)在一定温度下的恒容密闭容器中，以下说法能表明反应： $\text{A}(\text{s}) +$

2B(g) + C(g) + D(g) 已达平衡的是()

- A. 混合气体的压强不变
- B. 混合气体的密度不变
- C. 每消耗 2 mol B, 同时生成 1 mol C
- D. C 和 D 的浓度比不变

答案 B

解析 该反应为反应前后气体物质的量不变的反应, 容器内混合气体的压强不随反应的进行而变化, 不能作为平衡标志, A 项错误; 根据密度的定义式知, 混合气体的密度随反应的进行而变化, 当密度不变时, 反应已达平衡, B 项正确; 消耗 2 mol B 和生成 1 mol C, 均为正反应, 不能作为平衡标志, C 项错误; 随着反应的进行, C 和 D 的浓度比始终不变, 不能作为平衡标志, D 项错误。

9. (2020·厦门高二月考)一定条件下, 将 NO₂ 与 SO₂ 以体积比为 1:2 置于密闭容器中, 发生反应: NO₂(g) + SO₂(g) ⇌ SO₃(g) + NO(g) ΔH = -41.8 kJ·mol⁻¹, 下列能说明反应达到平衡状态的是()

- A. 体系压强保持不变
- B. 混合气体颜色保持不变
- C. SO₃ 和 NO 的体积比保持不变
- D. 每消耗 1 mol SO₃ 的同时生成 1 mol NO₂

答案 B

解析 由于该反应为反应前后气体体积相等的反应, 体系的压强始终保持不变, 故不能以压强不变作为判断反应是否达到平衡状态的标志, A 错误; SO₃ 与 NO 的体积比始终保持 1:1 不变, C 错误; 消耗 SO₃ 和生成 NO₂ 为同一方向的反应, D 错误。

10. 工业上常用煤和水作原料经过多步反应制得氢气, 其中一步反应的原理为 CO(g) + H₂O(g) $\xrightarrow{\text{催化剂}}$ CO₂(g) + H₂(g), 下列选项的条件中可判断该反应达到平衡状态的是()

- A. 单位时间内消耗 1 mol H₂O 的同时生成 1 mol 的 H₂
- B. 两个 H—O 断裂的同时有两个 C=O 断裂
- C. 反应容器内的气体密度不再发生变化
- D. 混合气体的平均相对分子质量不发生变化

答案 B

解析 单位时间内消耗 1 mol 的 H₂O, 表示的是正反应速率, 生成 1 mol 的 H₂ 表示的也是正反应速率, 无法说明反应达到平衡状态, A 项错误; 两个 H—O 断裂表示的是正反应速率, 两个 C=O 断裂表示的是逆反应速率, 且正、逆反应速率相等, 说明反应达到平衡状态, B 项正确; 在恒容密闭容器中, 混合气体的质量和体积始终不变, 则混合气体的密度始终不变, 所以反应容器内的气体密度不再发生变化不能说明反应达到平衡状态, C 项错误; 该反应是

气体的总物质的量不变的可逆反应, 根据 $M = \frac{m}{n}$, 混合气体的相对分子质量始终不发生变化,

所以相对分子质量不变不能说明反应达到平衡状态, D 项错误。

11. 在 4 L 密闭容器中充入 6 mol A 气体和 5 mol B 气体, 在一定条件下发生反应: $3A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g) + xD(g)$ $\Delta H < 0$, 达到平衡时, 生成了 2 mol C, 经测定 D 的浓度为 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 下列判断不正确的是()

- A. $x=1$
- B. 平衡时 B 的转化率为 20%
- C. B 的转化率不变, 该反应达到平衡状态
- D. 容器内温度保持恒定, 该反应达到平衡状态

答案 A

解析 平衡时 $c(C) = c(D) = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 可知 $x=2$; B 的转化率为 $\frac{1 \text{ mol}}{5 \text{ mol}} \times 100\% = 20\%$; B 的

转化率不变, 容器内温度保持恒定, 说明各物质的量保持恒定, 反应达到平衡状态。

12. (2019·广东深圳科学高中高二入学考试)对于反应 $2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(g)$, 判断下列说法正确的是()

①单位时间内生成 2 mol SO_2 , 同时生成 1 mol O_2 , 则处于化学平衡状态 ② SO_2 的生成速率等于 SO_2 的消耗速率, 则处于化学平衡状态 ③ SO_2 、 O_2 、 SO_3 的体积分数不再发生变化, 则处于化学平衡状态 ④ SO_2 、 O_2 、 SO_3 的分子数之比为 2:1:2, 则处于化学平衡状态

- A. ①③
- B. ②④
- C. ②③
- D. ③④

答案 C

解析 ①生成 2 mol SO_2 、生成 1 mol O_2 均代表逆反应方向, 错误; ②正、逆反应速率相等, 则处于平衡状态, 正确; ③ SO_2 、 O_2 、 SO_3 的体积分数不再发生变化, 即各组分的浓度保持不变, 处于平衡状态, 正确; ④ SO_2 、 O_2 、 SO_3 的分子数之比为 2:1:2, 并不能说明各组分的浓度保持不变, 不一定处于平衡状态, 错误。综上所述, C 项符合题意。

13. 一定条件下, 0.3 mol X(g)与 0.3 mol Y(g)在容积固定的密闭容器中发生反应: $X(g) + 3Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$ $\Delta H = -a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 下列说法正确的是()

- A. 反应一段时间后, X 与 Y 的物质的量之比仍为 1:1
- B. 达到平衡时, 反应放出 $0.1a \text{ kJ}$ 的热量
- C. 达到平衡后, 若向平衡体系中充入稀有气体, Z 的正反应速率将不发生变化
- D. X 的体积分数保持不变, 说明反应已达到平衡

答案 C

解析 A 项, 反应过程中 X 与 Y 的变化量是 1:3, 则反应一段时间后, X 与 Y 的物质的量之比不可能仍为 1:1, 错误; B 项, 达到平衡时, 因可逆反应不能反应完全, 则反应的 X 小

于 0.1 mol, 反应放出的热量小于 0.1a kJ, 错误; C 项, 恒容条件下, 达到平衡后, 若向平衡体系中充入稀有气体, 不影响反应物和生成物的浓度, 反应速率也不变, 正确;

D 项,

	X(g)	+ 3Y(g)	2Z(g)
起始物质的量/mol	0.3	0.3	0
变化物质的量/mol	x	3x	2x
变更后物质的量/mol	0.3 - x	0.3 - 3x	2x

$$\text{X 的体积分数} = \frac{0.3 - x}{0.6 - 2x} \times 100\% = 50\%$$

始终保持不变, 不能说明反应已达到平衡, 错误。

综合强化

14. 将 2 mol SO₂ 和 1 mol O₂ 充入体积为 2 L 的密闭容器中, 在一定条件下发生反应: O₂(g) + 2SO₂(g) ⇌ 2SO₃(g)。经过 10 s 达到平衡状态, 此时 c(SO₃) = 0.4 mol·L⁻¹。

(1) 在达到平衡的过程中 v(SO₂) = _____。

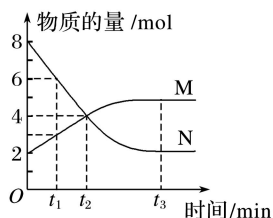
(2) 有同学认为平衡是在一定条件下建立的, 改变条件时平衡会发生变化, 所以可以通过改变条件使 SO₃ 的平衡浓度变为 1 mol·L⁻¹, 你认为这种说法正确吗? _____ (填“正确”或“不正确”)。

答案 (1) 0.04 mol·L⁻¹·s⁻¹ (2) 不正确

解析 (1) 平衡时 c(SO₃) = 0.4 mol·L⁻¹, 则转化的 c(SO₂) = 0.4 mol·L⁻¹, v(SO₂) = $\frac{0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{10 \text{ s}} = 0.04 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(2) 2SO₂ + O₂ ⇌ 2SO₃ 是可逆反应, 改变任何条件都不可能使之进行到底, 所以该说法不正确。

15. 一定温度下, 在 2 L 的恒容密闭容器内发生的反应中, M、N 的物质的量随反应时间变化的曲线如图所示。



请回答下列问题:

(1) 该反应的化学方程式为 _____。

(2) 在 t₂ 时刻存在的等量关系是 _____, 此时反应是否达到化学平衡状态? _____ (填“是”或“否”)。

(3) 在 t₃ 时刻 v_正 _____ (填“>”“<”或“=”) v_逆, 理由是 _____。

答案 (1)2N M (2) $n(M)=n(N)$ 否

(3) M 和 N 的物质的量不再发生变化, 反应已达到平衡状态, 故 $v_{正}=v_{逆}$

解析 (1)当 N 减少 4 mol 时, M 增加 2 mol, 所以化学方程式为 $2N \rightleftharpoons M$ 。(2) t_2 时刻, $n(M) = n(N) = 4 \text{ mol}$, t_2 时刻后, N 物质的量继续减小, M 物质的量继续增加, 故仍未达到平衡。

(3) t_3 时刻, M 和 N 的物质的量均不再发生变化, 所以反应已达到平衡状态。

16. 一定温度下, 在 10 L 密闭容器中加入 5 mol SO_2 和 3 mol O_2 , 发生反应: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$, 10 min 时, 反应达到平衡状态, 此时有 3 mol SO_2 发生了反应。

(1)反应生成了 _____ mol SO_3 , $v(\text{SO}_2) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2)平衡时 SO_3 的浓度是 _____, SO_2 的转化率是 _____。

(3)平衡时容器内气体的总物质的量为 _____ mol。

(4)物质的浓度不再改变标志着该反应已达平衡, 下列还可以说明该反应已达平衡的是 _____ (填序号)。

①体系内压强不再改变

②容器内气体的密度不再改变

③混合气体的平均相对分子质量不再改变

④ $v_{正}(\text{SO}_3) = 2v_{逆}(\text{O}_2)$

⑤ $n(\text{SO}_3) : n(\text{O}_2) : n(\text{SO}_2) = 2 : 1 : 2$

答案 (1)3 $0.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

(2) $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 60%

(3)6.5 (4)①③④

解析 (1) $v(\text{SO}_2) = \frac{\Delta c(\text{SO}_2)}{\Delta t} = \frac{\frac{3 \text{ mol}}{10 \text{ L}}}{10 \text{ min}} = 0.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

(2)

	$2\text{SO}_2(\text{g})$	+	$\text{O}_2(\text{g})$		$2\text{SO}_3(\text{g})$
--	--------------------------	---	------------------------	--	--------------------------

开始量/mol	5		3		0
---------	---	--	---	--	---

变化量/mol	3		1.5		3
---------	---	--	-----	--	---

平衡量/mol	2		1.5		3
---------	---	--	-----	--	---

则平衡时 SO_3 的浓度为 $\frac{3 \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, SO_2 的转化率为 $\frac{3 \text{ mol}}{5 \text{ mol}} \times 100\% = 60\%$ 。(3)平衡时

混合气体的总物质的量为 $2 \text{ mol} + 1.5 \text{ mol} + 3 \text{ mol} = 6.5 \text{ mol}$ 。(4)根据反应方程式知: ①中体系压强不变, 说明反应已达平衡状态; ②中容器的体积不变, 混合气体的质量不变, 则反应过程中密度始终不变, 密度不变不能说明反应已达平衡状态; ③中混合气体的总质量不变, 但反应过程中混合气体的总物质的量改变, 若平均相对分子质量不变, 说明反应已达平衡状态; ④表示 $v_{正} = v_{逆}$, 说明反应已达平衡状态; ⑤中三者的物质的量之比等于化学计量数之比, 不能说明反应已达平衡状态。