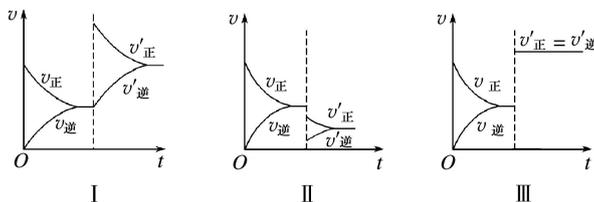


第5课时 化学平衡图像

1. 化学平衡图像的类型及特点

(1) 速率—时间图像($v-t$ 图像)



I. 正反应速率突变, 逆反应速率渐变, $v'_{正} \geq v'_{逆}$, 说明是增大了反应物的浓度, 使正反应速率突变, 且平衡正向移动。

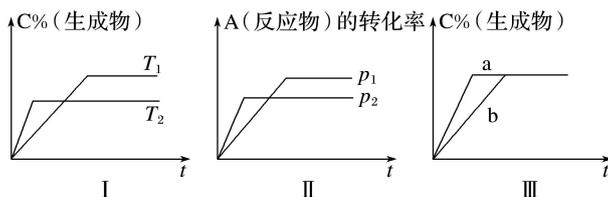
II. $v_{正}$ 、 $v_{逆}$ 都是突然减小的, $v'_{正} \geq v'_{逆}$, 平衡正向移动, 说明该反应的正反应可能是放热反应或气体总体积增大的反应, 改变的条件是降低温度或减小压强。

III. $v_{正}$ 、 $v_{逆}$ 都是突然增大的, 并且 $v_{正}$ 、 $v_{逆}$ 增大程度相同, 说明该化学平衡没有发生移动, 可能是使用了催化剂, 也可能是对反应前后气体总体积不发生变化的反应增大压强(压缩体积)所致。

■ 分析方法 ■

判断平衡移动方向, 根据 $v'_{正}$ 、 $v'_{逆}$ 的相对大小; 判断改变的哪种外界条件, 根据改变条件的那一时刻 $v'_{正}$ 、 $v'_{逆}$ 的变化, 若 $v'_{正}$ 或 $v'_{逆}$ 有一个在原平衡未变则为改变的浓度; 若两个都发生了“突变”, 则为改变的温度或压强; 若两个都发生了“突变”且仍然相等, 则为加入催化剂或等体反应改变压强。

(2) 百分含量(或转化率)—时间—温度(或压强)图像



I. $T_2 \geq T_1$, 温度升高, 平衡逆向移动, 正反应是放热反应。

II. $p_2 \geq p_1$, 压强增大, A(反应物)的转化率减小, 说明正反应是气体总体积增大的反应。

III. 生成物 C 的百分含量不变, 说明平衡不发生移动, 但反应速率 $a \geq b$, 故 a 可能使用了催化剂; 若该反应是反应前后气体总体积不变的可逆反应, a 也可能是增大了压强(压缩体积)。

■ 分析方法 ■

(1) “先拐先平数值大”。在化学平衡图像中, 先出现拐点的反应则是先达到平衡, 先出现拐点的曲线表示的温度较高(如图 I 中 $T_2 > T_1$)、压强较大(如图 II 中 $p_2 > p_1$)或使用了催化剂(如图 III 中 a 使用了催化剂)。

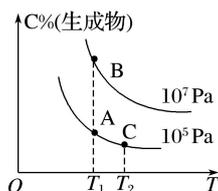
(2) 正确掌握图像 I、II 中反应规律的判断方法

① 图 I 中, $T_2 > T_1$, 升高温度, 生成物百分含量降低, 平衡逆向移动, 正反应为放热反应。

② 图 II 中, $p_2 > p_1$, 增大压强, 反应物的转化率降低, 平衡逆向移动。则正反应为气体体积增大的反应。

③ 图 III 说明了条件改变对化学平衡不产生影响, a 可能是加入了催化剂, 或该反应是反应前后气体体积不变的反应, a 是增大压强。

(3) 百分含量(或转化率)—压强—温度图像



如上图确定压强为 10^5 Pa 或 10^7 Pa , 则生成物 C 的百分含量随温度 T 的升高而逐渐减小, 说明正反应是放热反应; 再确定温度 T 不变, 做横坐标的垂线, 与压强线出现两个交点, 分析生成物 C 的百分含量随压强 p 的变化可以发现, 压强增大, 生成物 C 的百分含量增大, 说明正反应是气体总体积减小的反应。

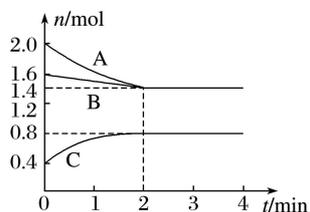
■ 分析方法 ■

定一议二

在化学平衡图像中, 包括纵坐标、横坐标和曲线所表示的三个量。确定横坐标所表示的量, 讨论纵坐标与曲线的关系, 或者确定纵坐标所表示的量, 讨论横坐标与曲线的关系, 即“定一议二”。如上图 T_1 温度下, $A \rightarrow B$ 压强增大, $C\%$ 增大, 平衡正向移动, 则正反应是气体分子数减小的反应; 10^5 Pa 时, $A \rightarrow C$ 温度升高, $C\%$ 减小, 平衡逆向移动, 则正反应是放热反应。

(4) 物质的量 (浓度)—时间图像 [$n(c)-t$ 图像]

在 2 L 密闭容器中, 某一反应有关物质 A(g)、B(g)、C(g) 的物质的量变化如图所示。根据图像回答下列问题:



① 横坐标表示反应过程中时间变化, 纵坐标表示反应过程中物质的量的变化。

② 该反应的化学方程式是 $3A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 。

③ 在反应达 2 min 时, 正反应速率与逆反应速率之间的关系是相等。

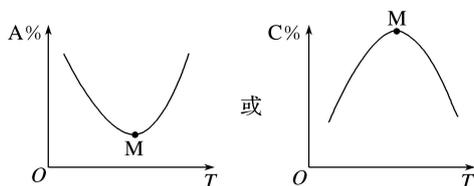
④ 若用 A 物质的量浓度的变化表示反应达平衡(2 min)时的正反应速率是 $0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

■ 分析方法 ■

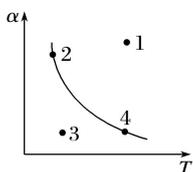
各物质的 n 或 c 不随时间变化时达到平衡状态，据起始量和平衡量求出转化量，各物质的转化量之比等于化学计量数之比，可以得出方程式中的化学计量数。

(5) 特殊图像

①对于反应 $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g) \quad \Delta H < 0$ ，M 点前，表示化学反应从反应开始到建立平衡的过程，则 $v_{\text{正}} \geq v_{\text{逆}}$ ，M 点为平衡点，M 点后为平衡受温度的影响情况。



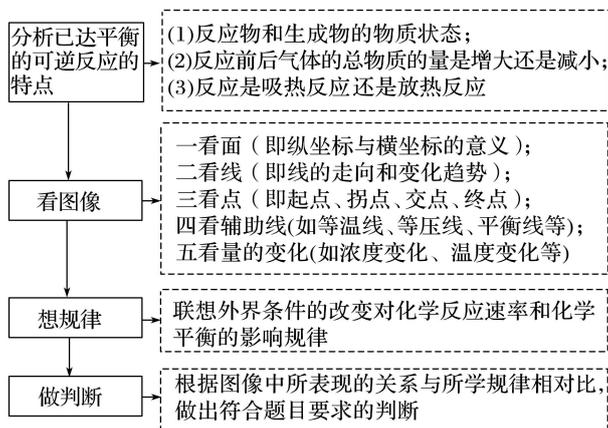
②如图所示曲线是其他条件不变时，某反应物的平衡转化率与温度的关系曲线。图中标出的 1、2、3、4 四个点，表示 $v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}$ 的是点 3，表示 $v_{\text{正}} < v_{\text{逆}}$ 的是点 1，而点 2、4 表示 $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ 。



■ 分析方法 ■

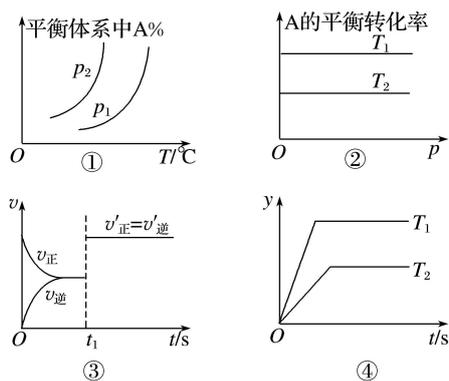
①中图像，由于某一条件对平衡的影响只能向一个方向移动，所以最高点(最低点)及以后为平衡状态受条件的影响情况，前面为未达到平衡的情况。②中图像曲线上的点全为对应条件下的平衡点。

2. 解题思维建模



【应用体验】

(2019·天津和平区高二期末)对反应 $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g) \quad \Delta H$ ，反应特点与对应的图像的说法中不正确的是()



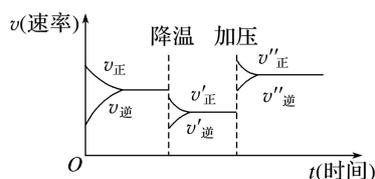
- A. 图①中, 若 $p_1 > p_2$, 则 $a + b > c + d$
- B. 图②中, 若 $T_2 > T_1$, 则 $\Delta H < 0$ 且 $a + b = c + d$
- C. 图③中, t_1 时刻改变的条件一定是使用了催化剂
- D. 图④中, 若 $\Delta H < 0$, 则纵坐标不可能是反应物的转化率

答案 C

解析 图①中, 温度升高, A%增大, 说明平衡逆向移动, 则正反应为放热反应; 若 $p_1 > p_2$, p_1 时 A%低于 p_2 , 说明压强增大, 平衡正向移动, 则反应前气体分子数大于反应后气体分子数, 即 $a + b > c + d$, A 正确; 图②中压强增大, A 的转化率不变, 平衡不移动, 则 $a + b = c + d$; 若 $T_2 > T_1$, 升高温度, A 的转化率降低, 平衡逆向移动, 则正反应为放热反应, $\Delta H < 0$, B 正确; 图③中, t_1 时刻改变的条件可能是使用了催化剂, 也可能是增大压强(当 $a + b = c + d$ 时), C 错误; 图④中, $T_1 > T_2$, 若 $\Delta H < 0$, 升高温度, 平衡逆向移动, 反应物的转化率减小, 则纵坐标不可能是反应物的转化率, D 正确。

随堂演练 知识落实

1. 如图是可逆反应 $A + 2B \rightleftharpoons 2C + 3D$ 的化学反应速率与化学平衡随外界条件改变(先降温后加压)而变化的情况。由此可推断下列说法正确的是()

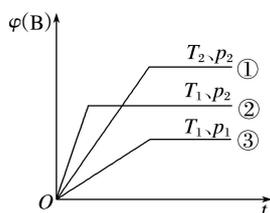


- A. 正反应是放热反应
- B. D 可能是气体
- C. 逆反应是放热反应
- D. A、B、C、D 均为气体

答案 A

解析 降温后 $v'_{\text{正}} > v'_{\text{逆}}$, 平衡向正反应方向移动, 说明正反应放热; 加压后 $v''_{\text{正}} > v''_{\text{逆}}$, 平衡向正反应方向移动, 说明正反应气体体积减小, 则 D 不可能是气体。

2. 已知某可逆反应 $m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g})$ 在密闭容器中进行, 如图表示在不同反应时间 t 时, 温度 T 和压强 p 与反应物 B 在混合气体中的体积分数 $[\varphi(\text{B})]$ 的关系曲线, 由曲线分析, 下列判断正确的是()

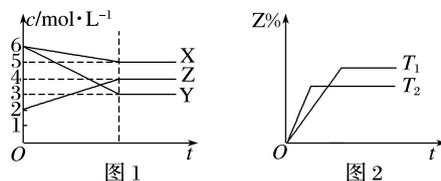


- A. $T_1 < T_2, p_1 > p_2, m+n > p$, 放热反应
- B. $T_1 > T_2, p_1 < p_2, m+n > p$, 吸热反应
- C. $T_1 < T_2, p_1 > p_2, m+n < p$, 放热反应
- D. $T_1 > T_2, p_1 < p_2, m+n < p$, 吸热反应

答案 D

解析 由“先拐先平数值大”原则, 对比①②可知 $T_1 > T_2$, 对比②③可知 $p_2 > p_1$ 。对比①②, 由 T_2 升高到 T_1 , $\varphi(\text{B})$ 减小, 说明升温平衡向正反应方向移动, 所以正向为吸热反应; 对比②③, 由 p_1 加压到 p_2 , $\varphi(\text{B})$ 增大, 说明加压平衡向逆反应方向移动, 所以逆向为缩体, 即 $m+n < p$ 。

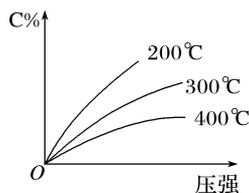
3. 符合图 1、图 2 的反应是()



- A. $\text{X}(\text{g}) + 3\text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{Z}(\text{g}) \quad \Delta H > 0$
- B. $\text{X}(\text{g}) + 3\text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Z}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$
- C. $\text{X}(\text{g}) + 2\text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{Z}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$
- D. $\text{X}(\text{g}) + 3\text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{Z}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$

答案 B

4. 反应 $m\text{A}(\text{s}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons e\text{C}(\text{g}) + f\text{D}(\text{g})$, 反应过程中, 当其他条件不变时, C 的百分含量(C%) 与温度(T)和压强(p)的关系如图所示, 下列叙述正确的是()



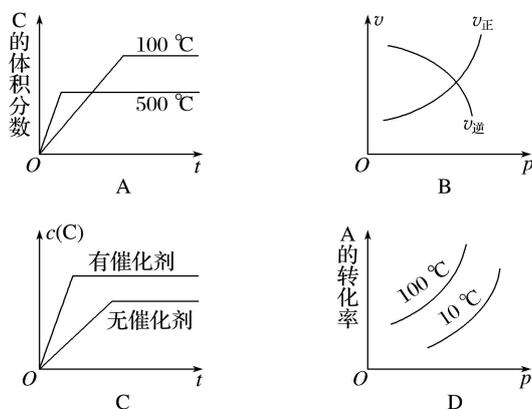
- A. 达到平衡后, 加入催化剂, C%增大
- B. 化学方程式中 $n < e+f$

- C. 达到平衡后, 若升温, 平衡向左移动
 D. 达到平衡后, 增加 A 的量有利于平衡向右移动

答案 C

解析 加入催化剂, 正反应速率和逆反应速率同等程度地增大, 平衡没有移动, 所以 C 的百分含量没有改变, A 项错误; 从图像上可以看出, 温度一定时 C 的百分含量随压强的增大而增大, 即增大压强平衡向正反应方向移动, 根据勒夏特列原理, 正反应方向气体体积减小, 即 $n > e + f$, B 项错误; 由图像可知, 当压强一定时, 温度升高($200\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 300\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 400\text{ }^{\circ}\text{C}$), 生成物 C 的百分含量减小, 平衡向逆反应方向(即向左)移动, C 项正确; A 是固体, 固体浓度视为常数, 增加 A 的量平衡不发生移动, D 项错误。

5. 下面的各图中, 表示 $2\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ (正反应放热) 这个可逆反应的正确图像为()



答案 A

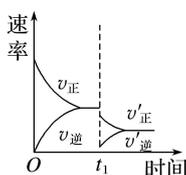
解析 随着温度的升高, 化学平衡应向吸热反应方向即逆反应方向移动, 所以生成物 C 的体积分数减小, 反应物的含量增大、转化率减小, A 正确、D 错误; 增大体系的压强, 由于反应的两边都是气态物质, 所以正反应和逆反应的速率都增大, B 错误; 加入催化剂, 只能加快反应速率, 缩短达到平衡的时间, 不能使平衡移动, 所以达到平衡后, 各组分的浓度及体积分分数应该不变, C 错误。

课时对点练

☑ 对点训练

题组一 速率—时间图像

1. (2019·南京高二质检) 在密闭容器中进行反应: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ (正反应放热), 如图是某次实验的化学反应速率随时间变化的图像, 推断在 t_1 时刻突然改变的条件可能是()

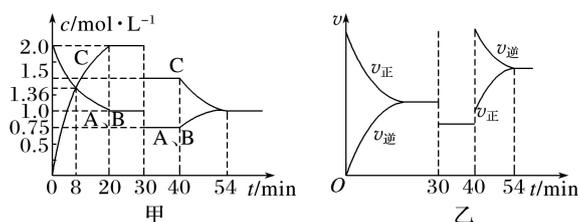


- A. 催化剂失效 B. 减小生成物的浓度
C. 降低体系温度 D. 增大容器的体积

答案 C

解析 从图像可以看出：改变条件后，反应速率与原平衡速率出现断点且低于原平衡反应速率，说明改变的条件可能是降低温度或减压。从改变条件后的 $v'_{正}$ 与 $v'_{逆}$ 的大小关系，可得出化学平衡正向移动。降低温度，该平衡正向移动，必有 $v'_{正} > v'_{逆}$ ，故选 C。

2. 某密闭容器中充入等物质的量的 A 和 B，一定温度下发生反应 $A(g) + xB(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ ，达到平衡后，在不同的时间段内反应物的浓度随时间的变化如图甲所示，正逆反应速率随时间的变化如图乙所示，下列说法中正确的是()

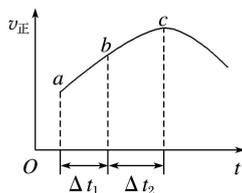


- A. 30~40 min 间该反应使用了催化剂
B. 化学方程式中的 $x=1$ ，正反应为吸热反应
C. 30 min 时降低温度，40 min 时升高温度
D. 8 min 前 A 的平均反应速率为 $0.08 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

答案 D

解析 A 项，若使用催化剂，则化学反应速率加快，故错误；由甲图像可知，A、B 的浓度变化相同，故 A、B 的化学计量数相同，都为 1；由乙图像可知，30 min 时改变的条件为减小压强，40 min 时改变的条件为升高温度，且升高温度平衡向逆反应方向移动，则正反应为放热反应；8 min 前 A 的平均反应速率为 $\frac{(2.00 - 1.36) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{8 \text{ min}} = 0.08 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

3. (2019·长沙高二下学期期末)向绝热恒容密闭容器中通入 SO_2 和 NO_2 ，一定条件下使反应 $\text{SO}_2(g) + \text{NO}_2(g) \rightleftharpoons \text{SO}_3(g) + \text{NO}(g)$ 达到平衡，在此过程中正反应速率随时间变化的曲线如图所示。由图得出的结论正确的是()



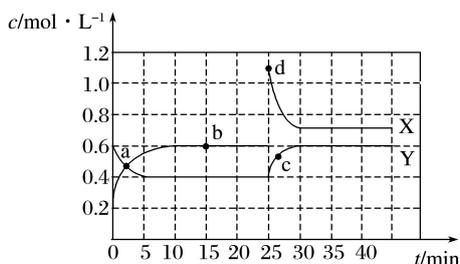
- A. 反应在 c 点达到平衡状态
B. 反应物浓度：a 点小于 b 点
C. 反应物的总能量低于生成物的总能量
D. 若 $\Delta t_1 = \Delta t_2$ ，则 SO_2 的转化量：a~b 段小于 b~c 段

答案 D

解析 这是一个反应前后气体分子数不变的可逆反应，由于容器恒容，因此压强不影响反应速率，所以在本题中只考虑温度和浓度的影响。由图可以看出随着反应的进行正反应速率逐渐增大，而后逐渐减小，但只要开始反应，反应物浓度就要降低，正反应速率应该降低，而此时正反应速率却是升高的，这说明此时温度的影响是主要的。由于容器是绝热的，因此该反应只能是放热反应，从而导致容器内温度升高，正反应速率加快，当到达c点后正反应速率逐渐降低，说明此时反应物浓度的影响是主要的，因为反应物浓度越来越小，但反应不一定达到平衡状态，所以选项A、B、C均不正确；正反应速率越快，相同时间段内消耗的二氧化硫就越多，因此选项D正确。

题组二 浓度(物质的量)—时间图像

4. (2020·济南月考)已知X(g)和Y(g)可以相互转化： $2X(g) \rightleftharpoons Y(g) \quad \Delta H < 0$ 。现将一定量X(g)和Y(g)的混合气体通入一体积为1 L的恒温密闭容器中，反应物及生成物的浓度随时间变化的关系如图所示。则下列说法不正确的是()



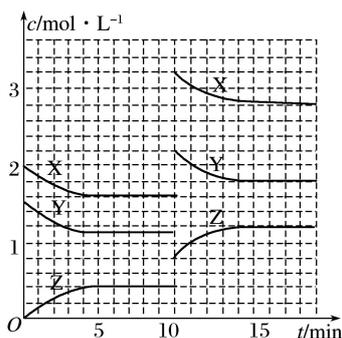
- A. 若混合气体的压强不变，则说明反应已达化学平衡状态
- B. a、b、c、d四个点表示的反应体系中，表示化学反应处于平衡状态的只有b点
- C. 25~30 min内用X表示的平均化学反应速率是 $0.08 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
- D. 反应进行至25 min时，曲线发生变化的原因是增加Y的浓度

答案 D

解析 正反应是气体分子数减小的反应，所以当压强不再发生变化时，可以说明反应已经达到平衡状态，A项正确；根据图像可知，只有b点表示的反应体系中，各物质的浓度不再发生变化，所以只有b点表示反应处于平衡状态，B项正确；25~30 min内X的浓度变化量是 $0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，所以用X表示的平均化学反应速率是 $\frac{0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}{5 \text{ min}} = 0.08 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ，C项正确；反应进行至25 min时，X物质的浓度突然增大，D项不正确。

5. (2020·成都高二质检)已知反应 $X(g) + Y(g) \rightleftharpoons nZ(g)$

$\Delta H > 0$ ，将X和Y以一定比例混合通入密闭容器中进行反应，各物质的浓度随时间的改变如图所示。下列说法不正确的是()



- A. 反应方程式中 $n=1$
 B. 10 min 时, 曲线发生变化的原因是升高温度
 C. 10 min 时, 曲线发生变化的原因是增大压强
 D. 前 5 min 内, 用 X 表示的反应速率为 $v(X)=0.08 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

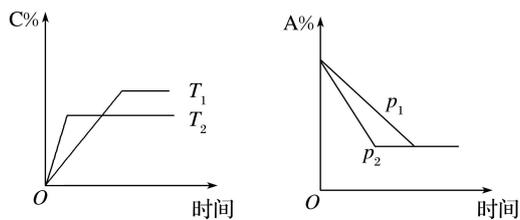
答案 B

解析 A 项, 根据图像可知, 反应进行到 5 min 时, X、Y 和 Z 的浓度不再变化, 反应达到平衡状态, 此时 X 的浓度减少了 $0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, Z 的浓度增加了 $0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 根据浓度的变化量之比等于化学计量数之比可知, $n=1$; B 项, 10 min 时, X、Y、Z 的浓度瞬间增大, 因此改变的条件一定不是温度; D 项, 前 5 min 内, 用 X 表示的反应速率为 $v(X)=\frac{0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}{5 \text{ min}}$

$0.08 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

题组三 转化率(含量)—时间图像

6. 可逆反应: $aA(g)+bB(s) \rightleftharpoons cC(g)+dD(g)$, 当其他条件不变时, 反应过程中某物质在混合物中的百分含量与温度(T)、压强(p)的关系如图, 下列判断正确的是()

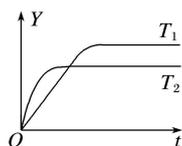


- A. $T_1 < T_2$ $\Delta H > 0$ B. $T_1 > T_2$ $\Delta H < 0$
 C. $p_1 < p_2$ $a=c+d$ D. $p_1 < p_2$ $a+b=c+d$

答案 C

解析 先拐先平数值大, $T_1 < T_2$ 、 $p_1 < p_2$; 升高温度, C 的百分含量减小, 平衡逆向移动, $\Delta H < 0$; 增大压强, A 的百分含量不变, 平衡不移动, $a=c+d$, 故 C 正确。

7. 已知反应 $2\text{SO}_2(g)+\text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(g)$ $\Delta H < 0$, 向某体积恒定的密闭容器中按体积比 2:1 充入 SO_2 和 O_2 , 在一定条件下发生反应。如图是某物理量(Y)随时间(t)变化的示意图(图中 T 表示温度), Y 可以是()



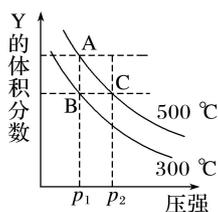
- A. O₂ 的体积分数 B. 混合气体的密度
C. 密闭容器内的压强 D. SO₂ 的转化率

答案 D

解析 由题图可知, 温度 T_2 达到平衡所用时间短, 反应速率较快, 所以温度 $T_2 > T_1$, 温度升高, Y 表示的物理量降低, 该反应的正反应为放热反应, 升高温度平衡向逆反应方向移动, 氧气的体积分数增大, A 错误; 升温平衡向逆反应方向移动, 但混合气体的总质量不变, 容器的体积不变, 混合气体的密度不变, B 错误; 升温平衡向逆反应方向移动, 混合气体的总的物质的量增大, 容器的体积不变, 容器的压强增大, C 错误; 升温平衡向逆反应方向移动, SO₂ 的转化率降低, D 正确。

题组四 恒温(恒压)线图像

8. 反应 $mX(g) + nY(g) + pZ(g) \rightleftharpoons \Delta H$, 在不同温度下的平衡体系中, 物质 Y 的体积分数随压强变化的曲线如图所示。下列说法错误的是()

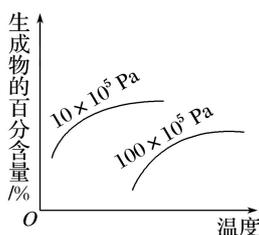


- A. 该反应的 $\Delta H > 0$
B. $m < n + p$
C. B、C 两点化学平衡常数: $K_B > K_C$
D. A、C 两点的反应速率 $v(A) < v(C)$

答案 C

解析 由图可知温度升高, Y 的体积分数增大, 说明平衡正向移动, 则正反应为吸热反应; 增大压强, Y 的体积分数减小, 说明平衡逆向移动, 则 $m < n + p$; 对吸热反应来说, 温度升高, K 增大, $K_B < K_C$; A、C 两点温度相同, C 点压强大, 则 C 点的速率大于 A 点。

9. 由某可逆反应绘出的图像如图所示, 纵坐标为生成物在平衡混合物中的百分含量, 下列对该反应的判断不正确的是()



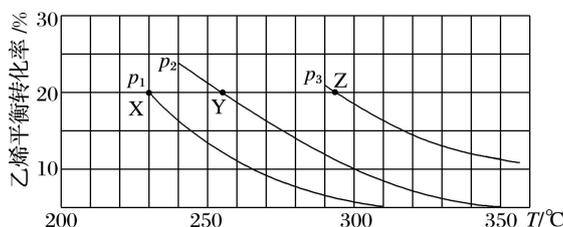
- A. 反应物中可能含有气体
- B. 生成物中一定有气体
- C. 正反应一定是放热反应
- D. 正反应一定是吸热反应

答案 C

解析 由图示可知,随着温度的升高,生成物的含量增加,即升高温度,平衡右移,所以正反应一定为吸热反应;压强增大,生成物的含量减小,说明平衡逆向移动,逆向为体积缩小方向,可以确定生成物中一定有气体。

题组五 相关知识的综合应用图像

10. (2019·大连期末)乙醇是重要的有机化工原料,可由乙烯水化法生产,反应的化学方程式为: $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$, 下图为乙烯的平衡转化率与温度(T)、压强(p)的关系[起始 $n(\text{C}_2\text{H}_4) : n(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 1$]



下列有关叙述正确的是()

- A. Y 对应的乙醇的物质的量分数为 $\frac{1}{9}$
- B. X、Y、Z 对应的反应速率: $v(\text{X}) > v(\text{Y}) > v(\text{Z})$
- C. X、Y、Z 对应的平衡常数数值: $K_{\text{X}} < K_{\text{Y}} < K_{\text{Z}}$
- D. 增大压强、升高温度均可提高乙烯的平衡转化率

答案 A

解析 据图可知, Y 点对应乙烯的平衡转化率为 20%, 起始 $n(\text{C}_2\text{H}_4) : n(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 1$, 设 C_2H_4 和 H_2O 的起始物质的量均为 1 mol, 根据“三段式”计算:

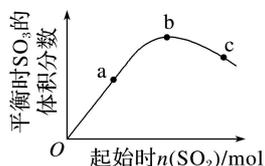
	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$	
起始/mol	1	1	0
转化/mol	0.2	0.2	0.2
平衡/mol	0.8	0.8	0.2

则平衡时乙醇的物质的量分数为 $\frac{0.2 \text{ mol}}{(0.8 + 0.8 + 0.2) \text{ mol}} = \frac{1}{9}$, 故 A 正确; 结合图像可得: $p_1 < p_2 < p_3$,

且 X、Y、Z 三点对应的温度越来越高, 所以 X、Y、Z 对应的反应速率: $v(\text{X}) < v(\text{Y}) < v(\text{Z})$, 故 B 错误; 据图可知, 升高温度, 乙烯的平衡转化率降低, 说明该反应为放热反应, 则升高温度, 平衡常数减小, 所以 X、Y、Z 对应的平衡常数数值: $K_{\text{X}} > K_{\text{Y}} > K_{\text{Z}}$, 故 C 错误; 因正反

应是气体体积减小的反应，则压强越大，乙烯的平衡转化率越大，又因正反应是放热反应，升高温度，平衡逆向移动，乙烯的平衡转化率降低，故 D 错误。

11. (2019·咸阳期末)在一定温度下，发生反应 $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 。改变起始时 $n(\text{SO}_2)$ 对反应的影响如图所示。下列说法正确的是()

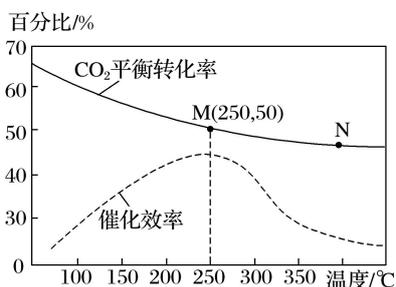


- A. SO_2 的起始量越大，混合气体中 SO_3 的体积分数越大
- B. a、b、c 三点中，a 点时 SO_2 的转化率最高
- C. a、b、c 三点的平衡常数： $K_b > K_c > K_a$
- D. b、c 点均为化学平衡点，a 点未达到平衡且反应正向进行

答案 B

解析 由题图可知， O_2 的量一定， SO_2 的量越少，其转化率越高，故 a 点时 SO_2 的转化率最高，B 正确。

12. 一定条件下合成乙烯的反应为： $6\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_2=\text{CH}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。已知温度对 CO_2 的平衡转化率和催化剂催化效率的影响如下图。下列说法正确的是()



- A. M 点的正反应速率 $v_{\text{正}}$ 大于 N 点的逆反应速率 $v_{\text{逆}}$
- B. 若投料比 $n(\text{H}_2) : n(\text{CO}_2) = 4 : 1$ ，则图中 M 点乙烯的体积分数为 5.88%
- C. 250 °C 时，催化剂对 CO_2 平衡转化率的影响最大
- D. 当温度高于 250 °C 时，升高温度，平衡逆向移动，导致催化剂的催化效率降低

答案 B

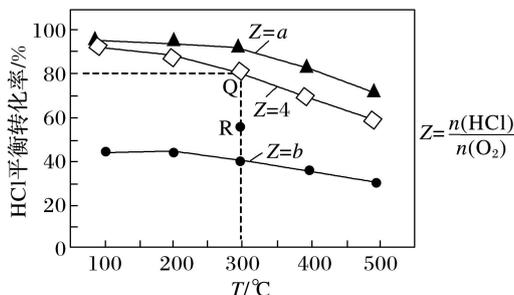
解析 化学反应速率随温度的升高而加快，M 点后催化剂的催化效率随温度的升高而降低，所以 M 点的正反应速率 $v_{\text{正}}$ 有可能小于 N 点的逆反应速率 $v_{\text{逆}}$ ，故 A 错误；设起始投料 $n(\text{H}_2)$ 为 4 mol，则 $n(\text{CO}_2)$ 为 1 mol，M 点平衡时二氧化碳的转化率为 50%，列“三段式”得：

	$6\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{CO}_2(\text{g})$		$\text{CH}_2=\text{CH}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	
起始/mol	4	1	0	0
转化/mol	1.5	0.5	0.25	1
平衡/mol	2.5	0.5	0.25	1

所以乙烯的体积分数为 $\frac{0.25 \text{ mol}}{(2.5 + 0.5 + 0.25 + 1) \text{ mol}} \times 100\% \approx 5.88\%$, 故 B 正确; 催化剂不影响平衡转化率, 只影响化学反应速率, 故 C 错误; 催化剂的催化效率与平衡移动没有关系, 故 D 错误。

13. 有 I、II、III 三个体积均为 0.5 L 的恒容密闭容器, 在 I、II、III 中按不同投料比(Z)充入 HCl 和 O_2 (如下表), 加入催化剂发生反应: $4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H$ 。HCl 的平衡转化率与 Z 和 T 的关系如图所示。

容器	起始时		
	$T/^\circ\text{C}$	$n(\text{HCl})/\text{mol}$	Z
I	300	0.25	a
II	300	0.25	b
III	300	0.25	4



下列说法不正确的是()

- A. $\Delta H < 0$
- B. $a < 4 < b$
- C. 若容器 III 反应某时刻处于 R 点, 则 R 点的反应速率: $v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}$
- D. 300 $^\circ\text{C}$ 时, 该反应平衡常数的值为 320

答案 D

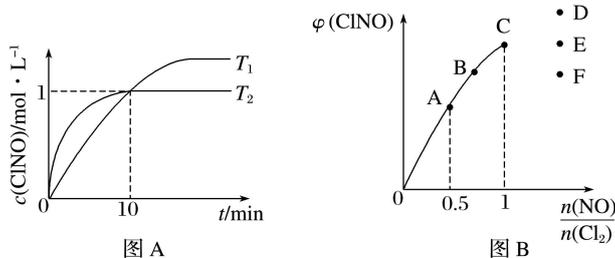
解析 由图像可知, 随着温度的升高, HCl 的平衡转化率减小, 说明平衡逆向移动, 则正反应是放热反应, $\Delta H < 0$, A 正确; 在相同温度时, $n(\text{HCl})$ 相同, $\frac{n(\text{HCl})}{n(\text{O}_2)}$ 越小, 则 HCl 的平衡转化率越大, 故 $a < 4 < b$, B 正确; R 点时 HCl 的转化率小于平衡时 HCl 的转化率, 则反应正向进行, 即 $v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}$, C 正确; 由于平衡常数只与温度有关, 因此可根据 Q 点进行计算, 起始时 $c(\text{HCl}) = 0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 由 $Z = 4$ 求得 $c(\text{O}_2) = 0.125 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 而 $c(\text{Cl}_2) = c(\text{H}_2\text{O}) = 0$, 平衡时 $c(\text{HCl}) = 0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - 0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 80\% = 0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $c(\text{O}_2) = 0.125 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - \frac{0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 80\%}{4} =$

$0.025 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $c(\text{Cl}_2) = c(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 80\%}{2} = 0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 则 $K = \frac{0.2^2 \times 0.2^2}{0.1^4 \times 0.025} = 640$,

D 错误。

☑ 综合强化

14. (2019·重庆中山外国语学校月考)亚硝酸氯(CINO)可由 NO 与 Cl₂ 在通常条件下反应得到, 化学方程式为 $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CINO}(\text{g}) \quad \Delta H$ 。在 1 L 的恒容密闭容器中充入 2 mol NO(g) 和 1 mol Cl₂(g), 在不同温度下测得 $c(\text{CINO})$ 与时间的关系如图 A:



- (1) 该反应的 ΔH _____ (填 “>” “<” 或 “=”)0。
 (2) 反应开始到 10 min 时 NO 的平均反应速率 $v(\text{NO}) =$ _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。
 (3) T_2 时该反应的平衡常数 $K =$ _____。
 (4) 一定条件下在恒温恒容的密闭容器中按一定比例充入 NO(g) 和 Cl₂(g), 平衡时 CINO 的体积分数随 $\frac{n(\text{NO})}{n(\text{Cl}_2)}$ 的变化图像如图 B, 则 A、B、C 三状态中, NO 的转化率最大的是 _____ 点, 当 $\frac{n(\text{NO})}{n(\text{Cl}_2)} = 1.5$ 时, 达到平衡状态时 CINO 的体积分数可能是 D、E、F 三点中的 _____ 点。

答案 (1)< (2)0.1 (3)2 (4)A D

解析 (1) 根据图像可知, $T_2 > T_1$, 降低温度 $c(\text{CINO})$ 增大, 平衡向正反应方向移动, 说明正反应是放热反应, $\Delta H < 0$ 。

(2) 反应开始到 10 min 时, $c(\text{CINO}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $v(\text{CINO}) = \frac{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{10 \text{ min}} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 则

NO 的平均反应速率 $v(\text{NO}) = v(\text{CINO}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

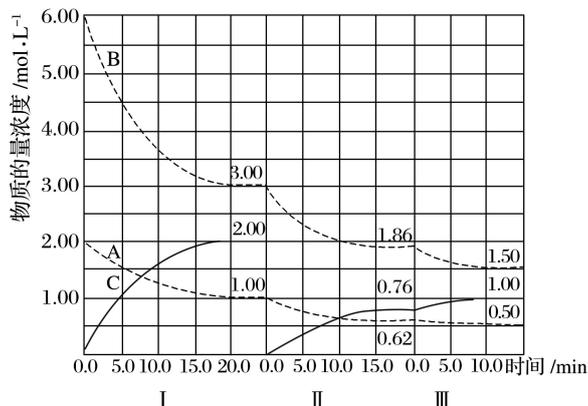
(3)	$2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$	$2\text{CINO}(\text{g})$
起始($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	2	0
改变($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	1
平衡($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	1

T_2 时该反应的平衡常数 $K = \frac{c^2(\text{CINO})}{c^2(\text{NO}) \cdot c(\text{Cl}_2)} = \frac{1^2}{1^2 \times 0.5} = 2$ 。

(4) $\frac{n(\text{NO})}{n(\text{Cl}_2)}$ 的比值越小, NO 的转化率越大, 因此 NO 的转化率最大的是 A 点; 当 $\frac{n(\text{NO})}{n(\text{Cl}_2)} = 1.5$

时, 较 C 点 NO 的物质的量较大, 平衡右移, 产物的含量增大, 达到平衡状态时 CINO 的体积分数可能是 D。

15. 反应 $aA(g) + bB(g) \xrightarrow{\text{催化剂}} cC(g)$ $\Delta H < 0$ 在等容条件下进行。改变其他反应条件，在 I、II、III 阶段体系中各物质浓度随时间变化的曲线如下图所示：



- (1) 反应的化学方程式中 $a : b : c$ 为_____。
- (2) A 的平均反应速率 $v_I(A)$ 、 $v_{II}(A)$ 、 $v_{III}(A)$ 从大到小排列次序为_____。
- (3) B 的平衡转化率 $\alpha_I(B)$ 、 $\alpha_{II}(B)$ 、 $\alpha_{III}(B)$ 中最小的是_____，其值是_____。
- (4) 由第一次平衡到第二次平衡，平衡向_____ (填“左”或“右”) 移动，采取的措施是_____。
- (5) 比较第 II 阶段反应温度 (T_2) 和第 III 阶段反应温度 (T_3) 的高低： T_2 _____ (填“<” “>” 或“=”) T_3 ，判断的理由是_____。

答案 (1) 1 : 3 : 2 (2) $v_I(A) > v_{II}(A) > v_{III}(A)$

(3) $\alpha_{III}(B)$ 19% (4) 右 从平衡混合物中分离出了 C

(5) > II \rightarrow III 平衡正向移动，该反应为放热反应，降温才能使平衡正向移动

解析 (1) I 阶段，20 min 内， $\Delta c(A) = 2.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - 1.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 1.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ， $\Delta c(B) = 6.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - 3.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 3.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ， $\Delta c(C) = 2.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，则 $a : b : c = \Delta c(A) : \Delta c(B) : \Delta c(C) = 1 : 3 : 2$ 。

$$(2) v_I(A) = \frac{2.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - 1.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}{20 \text{ min}} = 0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1},$$

$$v_{II}(A) = \frac{1.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - 0.62 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}{15 \text{ min}} \approx 0.025 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1},$$

$$v_{III}(A) = \frac{0.62 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - 0.50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}{10 \text{ min}} = 0.012 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1},$$

则 $v_I(A) > v_{II}(A) > v_{III}(A)$ 。

$$(3) \alpha_I(B) = \frac{6.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - 3.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}{6.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}} \times 100\% = 50\%,$$

$$\alpha_{II}(B) = \frac{3.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - 1.86 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}{3.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}} \times 100\% = 38\%,$$

$$\alpha_{III}(B) = \frac{1.86 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} - 1.50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}}{1.86 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}} \times 100\% \approx 19\%, \text{ 故 } \alpha_{III}(B) \text{ 最小。}$$

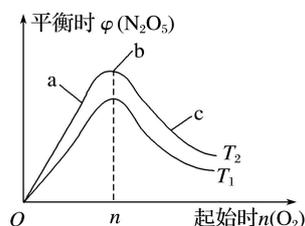
(4)由图示可知,由第一次平衡到第二次平衡,瞬间A、B的浓度不变,进而又减小,说明平衡正向移动。由物质C的浓度变化可知,导致平衡正向移动的措施是从反应体系中分离出了产物C。

(5)由图示可知,II→III平衡正向移动,由于正反应是放热反应,故II→III是降温过程,即 $T_2 > T_3$ 。

16. I.工业上利用 H_2 和 CO_2 合成二甲醚的反应如下:

$6H_2(g) + 2CO_2(g) \rightleftharpoons CH_3OCH_3(g) + 3H_2O(g) \quad \Delta H < 0$ 。升高温度,该反应的化学平衡移动后达到新的平衡时, CH_3OCH_3 的产率将_____ (填“变大”“变小”或“不变”,下同),混合气体的平均相对分子质量将_____。

II.某科研小组欲研究在其他条件不变的情况下,改变起始氧气的物质的量对合成新型硝化剂的反应 $4NO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O_5(g) \quad \Delta H < 0$ 的影响,其曲线如图所示,图中 $\varphi(N_2O_5)$ 表示 N_2O_5 的体积分数。



(1)图中 T_1 和 T_2 的关系是 T_1 _____ (填“>”“<”或“=”) T_2 。

(2)比较a、b、c三点所处的平衡状态,反应物 NO_2 的转化率最大的是_____ (填字母)。

(3)若容器体积为1 L, $n=1$ mol, NO_2 的转化率为50%,则在 T_2 条件下,此反应的化学平衡常数 $K=$ _____。

答案 I.变小 变小 II.(1)> (2)c (3)0.125

解析 I.温度升高,化学平衡逆向移动, CH_3OCH_3 的产率变小;逆反应是气体分子数增加的反应,升高温度,气体的物质的量增大,气体的质量不变,则混合气体的平均相对分子质量将变小。

II.(1)①图中 $T_1 \rightarrow T_2$ 时, $\varphi(N_2O_5)$ 增加,平衡向放热的正反应方向移动,则 $T_1 > T_2$ 。(2)起始时, $n(O_2)$ 越大, NO_2 的转化率越大。(3)b点时 N_2O_5 的体积分数最大,则此点通入 O_2 、 NO_2 的物质的量之比与化学方程式中对应的化学计量数之比相等,即通入4 mol NO_2 ,列三段式可计算该反应的化学平衡常数。