

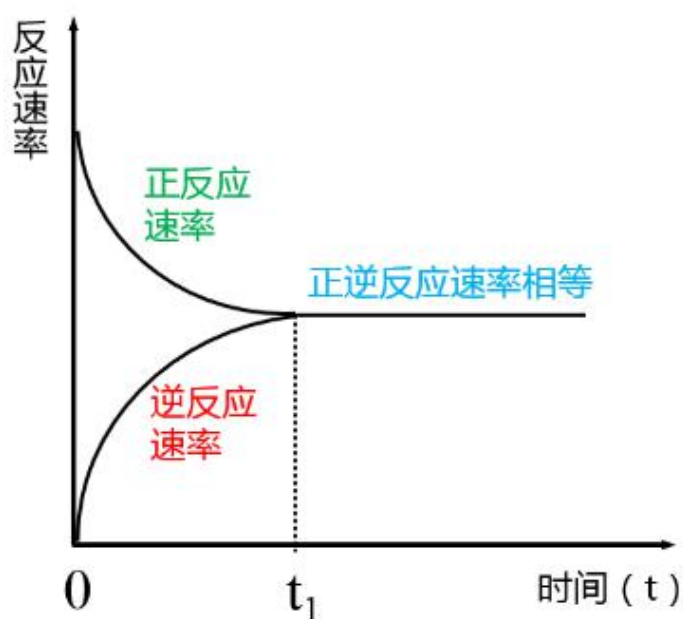


平衡移动和图像问题

日期：_____ 时间：_____ 姓名：_____
Date: _____ Time: _____ Name: _____



初露锋芒



<p>学习目标</p> <p>&</p> <p>重难点</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1、运用勒夏特列原理解释实际问题。 2、应用勒夏特列原理讨论平衡移动影响因素及方向。 3、常见的几种平衡图像。
--	---



根深蒂固

一、运用勒夏特列原理解释实际问题

1. 勒夏特列原理

如果改变影响平衡的一个条件（如浓度、温度或压强等）时，平衡就能向减弱这种改变的方向移动。

2. 几个问题：

（1）气体在水中的溶解度随着温度的升高而降低，压强的增大而增大，为什么？

（2）为什么用饱和食盐水除去氯气中的 HCl 气体？

【练一练】

1. 下列事实不能用勒夏特列原理解释的是（ ）

- A. 饱和食盐水法收集 Cl_2
- B. 温度控制在 500°C 有利于合成氨反应
- C. 加入催化剂有利于氨的合成
- D. 工业制取金属钾 $\text{Na(l)} + \text{KCl(l)} \rightleftharpoons \text{NaCl(l)} + \text{K(g)}$ 选取适宜的温度,使 K 成蒸气从反应混合物中分离出来

2. 下列有关合成氨工业的叙述，可用勒沙特列原理来解释的是（ ）

- A. 使用铁触媒，使 N_2 和 H_2 的混合气体有利于合成氨
- B. 高压比常压条件更有利于合成氨的反应
- C. 500°C 左右比室温更有利于合成氨的反应
- D. 合成氨时采用循环操作，可提高原料的利用率

二、应用勒夏特列原理讨论平衡移动影响因素及方向

1. 浓度

其他条件不变的条件下，增大反应物的浓度或减小生成物的浓度，平衡向_____方向移动。反之亦然。

注意点：增加或减少固态物质(或液态纯物质)不能使平衡发生移动。

2. 温度

升高温度，平衡向_____方向移动；降低温度，平衡向_____方向移动

注意点：对任何一个平衡体系，温度改变都会使平衡发生移动。

3. 压强

在含有气态物质的平衡体系里，增大压强，平衡向着_____的反应方向移动；

降低压强，平衡向着_____的反应方向移动。

注意点：

① 因压强的影响**实质是浓度**的影响，所以只有当这些“改变”能造成浓度改变时，平衡才有可能移动。

② 对反应前后气体体积不变的平衡体系，压强改变_____使平衡态发生移动。

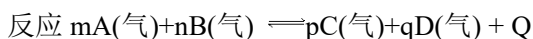
③ 恒温恒容下，向容器中充入惰性气体，平衡_____。因压强虽增加，但各反应物和生成物的浓度都不改变。

④ 恒温恒压下，向容器中充入惰性气体，平衡会向_____的反应方向移动。因容器体积要增加，各反应物和生成物的浓度都降低引起平衡移动。

4. 催化剂

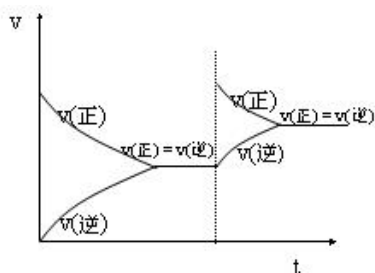
可以极大程度地改变反应的速率，缩短(或延缓)到达平衡所需的时间，因催化剂能同等程度改变正逆反应速率，故对平衡状态不影响，即使用催化剂不能改变可逆反应所能达到的最大限度，不能提高反应转化率，不能改变原有平衡的各组分含量。

三、常见的几种平衡图像



1. 速率-时间图

① 增大反应物浓度



② 升高温度

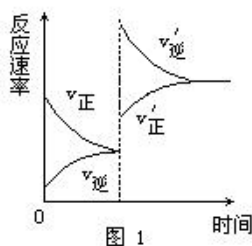
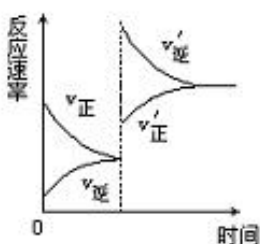
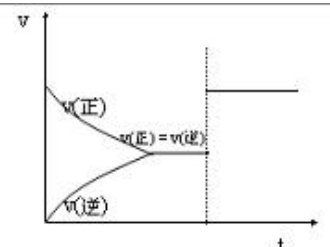


图 1

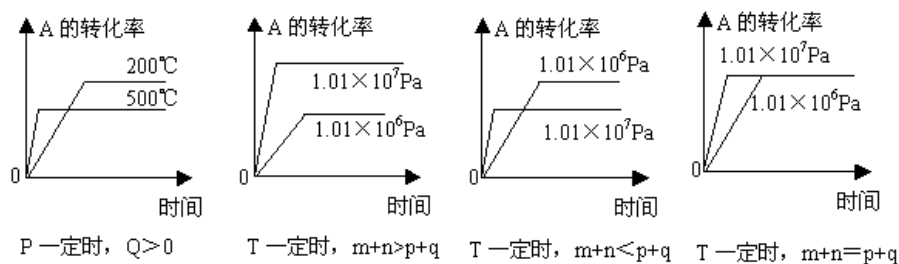
③ 增大压强 ($m+n < p+q$)



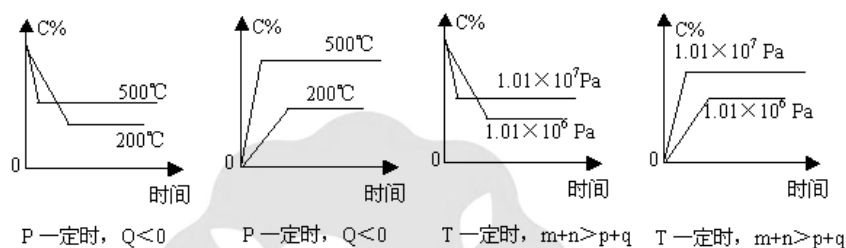
④ 加催化剂



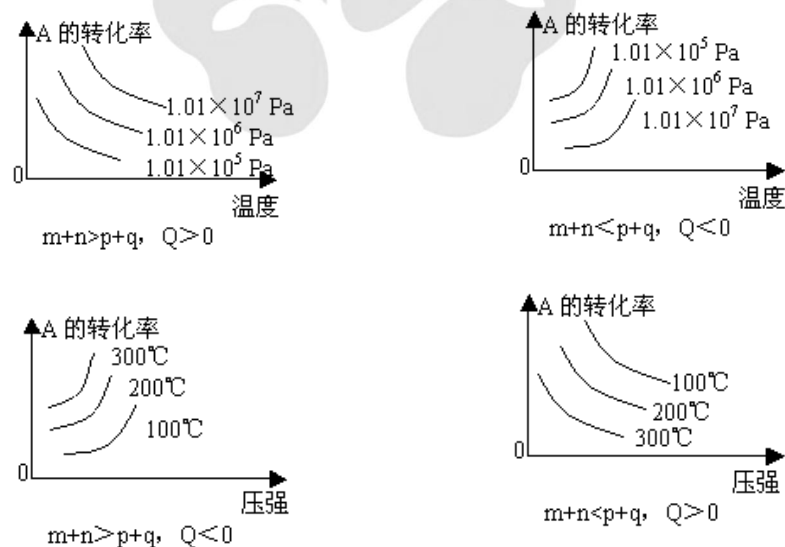
2. 转化率-时间图



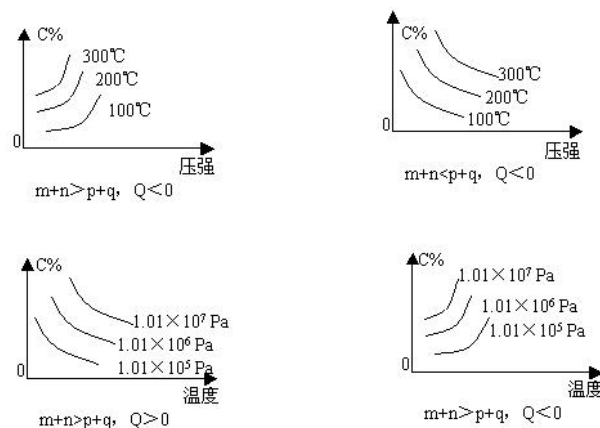
3. 含量-时间图



4. 转化率-温度-压强图



5. 含量-温度-压强图



【练一练】

1. 同压、不同温度下的反应： $A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$ ；A 的含量和温度的关系如图 3 所示，下列结论正确的是（ ）

- A. $T_1 > T_2$, $Q < 0$ B. $T_1 < T_2$, $Q < 0$
C. $T_1 > T_2$, $Q > 0$ D. $T_1 < T_2$, $Q > 0$

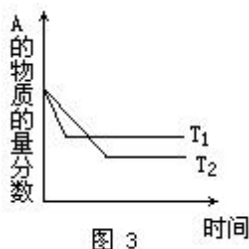


图 3

2. 现有可逆反应 $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons nC(g)$ ； $Q > 0$ ，在相同温度、不同压强时，A 的转化率跟反应时间（t）的关系如图 4，其中结论正确的是（ ）

- A. $p_1 > p_2$, $n > 3$ B. $p_1 < p_2$, $n > 3$
C. $p_1 < p_2$, $n < 3$ D. $p_1 > p_2$, $n = 3$

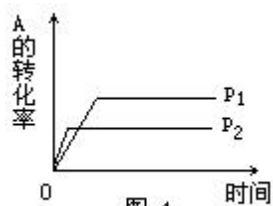


图 4



枝繁叶茂

知识点 1：极端假设

【例 1】（双选）在密闭容器中进行 $X(g) + 3Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$ 的反应，其中 X、Y、Z 的起始浓度分别是 0.1 mol/L、0.3 mol/L 和 0.2 mol/L，当反应达到平衡后，各物质的浓度可能是（ ）

- A. $[X] = 0.2 \text{ mol/L}$, $[Y] = 0.6 \text{ mol/L}$ B. $[Y] = 0.5 \text{ mol/L}$
C. $[X] = 0.2 \text{ mol/L}$, $[Z] = 0.4 \text{ mol/L}$ D. $[Z] = 0.4 \text{ mol/L}$

变式 1：在密闭容器中进行反应： $X_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$ ，已知 X_2 、 Y_2 、Z 的起始浓度分别为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，在一定条件下，当反应达到平衡时，各物质的浓度有可能是（ ）

- A. Z 为 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ B. Y_2 为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
C. X_2 为 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ D. Z 为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

变式 2：一定条件下，对于可逆反应 $X(g) + 3Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$ ，若 X、Y、Z 的起始浓度分别为 c_1 、 c_2 、 c_3 (均不为零)，达到平衡时，X、Y、Z 的浓度分别为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.08 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则下列判断正确的是（ ）

- A. $c_1 : c_2 = 3 : 1$
B. 平衡时，Y 和 Z 的生成速率之比为 2 : 3
C. X、Y 的转化率不相等
D. c_1 的取值范围为 $0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} < c_1 < 0.14 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

【方法提炼】极端假设法确定各物质浓度范围

根据极端假设法判断, 假设反应正向或逆向进行到底, 求出各物质浓度的最大值和最小值, 从而确定它们的浓度范围。

假设反应正向进行到底: $X_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$

起始浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 0.1 0.3 0.2

改变浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 0.1 0.1 0.2

终态浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 0 0.2 0.4

假设反应逆向进行到底: $X_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$

起始浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 0.1 0.3 0.2

改变浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 0.1 0.1 0.2

终态浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 0.2 0.4 0

平衡体系中各物质的浓度范围为 $X_2 \in (0, 0.2)$, $Y_2 \in (0.2, 0.4)$, $Z \in (0, 0.4)$ 。

知识点 2: 平衡移动问题

【例2】可逆反应: $3A(\text{气}) \rightleftharpoons 3B(?) + C(?)$; 开始向容器中冲入 A, 随着反应的进行, 气体平均相对分子质量变小, 则下列判断正确的是 ()

A. B 和 C 可能都是固体

B. B 和 C 一定都是气体

C. B 和 C 不可能都是气体

D. 若 C 为固体, 则 B 一定是气体

变式 1: 在一定条件下, 合成氨反应到达平衡状态, 此时, 再进行如下操作, 平衡不发生移动的是 ()

A. 恒温、恒压时, 充入 NH_3

B. 恒温、恒容时, 充入 N_2

C. 恒温、恒压时, 充入 He

D. 恒温、恒容时, 充入 He

变式 2: 在带活塞的圆筒内装入 NO_2 气体, 慢慢压缩, 下列叙述正确的是 ()

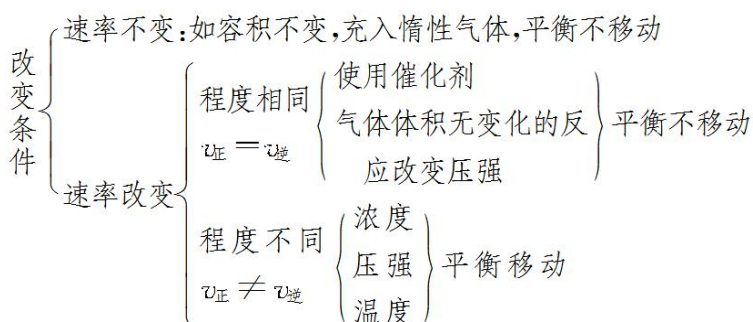
A. 体积减半, 压强为原来的 2 倍

B. 体积减半, 压强比原来大 2 倍

C. 体积减半, 压强增大, 但小于原来的 2 倍

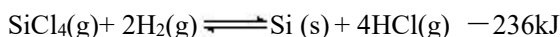
D. 体积减半, 达到平衡后, 则有一半 NO_2

【方法提炼】解析化学平衡移动题目的一般思路



-

变式 1: 工业上高纯硅可以通过下列反应制取:



完成下列填空:

(1) 在一定温度下进行上述反应, 若反应容器的容积为 2L, H_2 的平均反应速率为

$0.1\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$, 3min 后达到平衡, 此时获得固体的质量_____g。

(2) 该反应的平衡常数表达式 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。可以通过_____使 K 增大。

(3) 一定条件下, 在密闭恒容容器中, 能表示上述反应一定达到化学平衡状态的是_____。

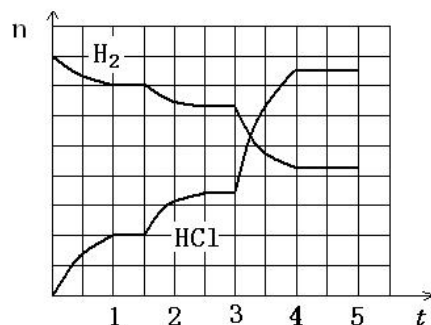
a. $2v_{\text{逆}}(\text{SiCl}_4) = v_{\text{正}}(\text{H}_2)$

b. 断开 4mol Si-Cl 键的同时, 生成 4mol H-Cl 键

c. 混合气体密度保持不变

d. $c(\text{SiCl}_4) : c(\text{H}_2) : c(\text{HCl}) = 1:2:4$

(4) 若反应过程如右图所示, 纵坐标表示氢气、氯化氢的物质的量 (mol), 横坐标表示时间 (min), 若整个反应过程没有加入或提取各物质, 则第 1.5 分钟改变的条件是_____, 第 3 分钟改变的条件是_____, 各平衡态中氢气转化率最小的时间段是_____。



变式 2: 已知反应: $3\text{I}^-(\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{I}_3^-(\text{aq}) + 2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{Q}$

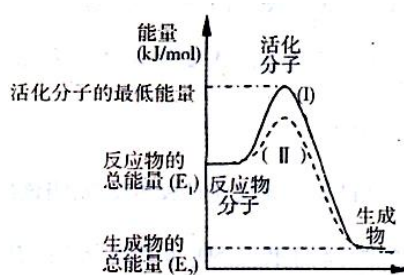
(1) 写出反应的平衡常数表达式: $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 右图表示反应过程中有关物质的能量,

则反应过程中的 Q _____ 0 (填 >、<、=);

(I)、(II) 两曲线中, 使用催化剂的是_____曲线。

(3) 反应的速率可以用 I_3^- 与加入的淀粉溶液反应显蓝色的时间 t 来度量, t 越小, 反应速率越大。



下表是在 20°C 进行实验时所记录的数据

实验编号	①	②	③	④	⑤
$c(\text{I}^-)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.040	0.080	0.080	0.160	0.160
$c(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.040	0.040	0.080	0.080	0.040
t/s	88	44	22	11	t_1

从表中数据分析, 该实验的目的是_____;

表中显色时间 $t_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ s; 最终得出的结论是_____。



瓜熟蒂落

- 下列实验不能用勒沙特列原理解释的是 ()
 - 工业生产硫酸的过程中使用过量氧气, 以提高 SO_2 的转化率
 - 合成氨工厂通常采用 20MPa-50MPa 压强, 以提高原料的利用率
 - 实验室用排饱和食盐水的方法收集氯气
 - 在铁和硫酸反应液中加入少量硫酸铜溶液, 反应明显加快
- 对于 $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) + \text{Q}$, 下列各条件变化时两项均能使平衡向右移动的 ()
 - 加压 升温
 - 加压 降温
 - 减压 降温
 - 减压 升温
- (双选) 一定温度下, 在一恒容的密闭容器中, 可逆反应有 $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ (正反应为放热) 达到平衡时, 升高温度, 发生的平衡移动对容器中混合气体的正确影响是 ()
 - 混合气体的压强增大
 - 混合气体颜色变浅的
 - 混合气体的密度变小
 - 混合气体的总质量不变
- 下列反应达到平衡后, 增大压强或升高温度, 平衡都向正反应方向移动的是 ()
 - $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ (正反应放热反应)
 - $3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{O}_3$ (正反应为吸热反应)
 - $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ (正反应为放热反应)
 - $\text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (正反应为吸热反应)
- 某温度下, 反应 $\text{S}_2\text{Cl}_2(\text{液}) + \text{Cl}_2(\text{气}) \rightarrow 2\text{SCl}_2(\text{液})$, 该反应放热, 在密闭容器中达到平衡, (橙黄色) (鲜红色)

下列说法错误的是 ()

 - 温度不变, 增大容器的体积, S_2Cl_2 的转化率降低
 - 温度不变, 缩小容器的体积, 液体颜色加深
 - 压强不变, 升高温度, 液体的颜色变浅
 - 体积不变, 降低温度, 氯气的转化率降低
- 压强变化不会使下列化学反应的平衡发生移动的是 ()
 - $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$
 - $3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$
 - $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$
 - $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$

- | c
(H ₂)(mol/L) | c (Cl ₂)
(mol/L) | v [mol/(L·s)] |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 1.0 | 1.0 | 1.0 <i>k</i> |
| 2.0 | 1.0 | 2.0 <i>k</i> |
| 2.0 | 4.0 | 4.0 <i>k</i> |

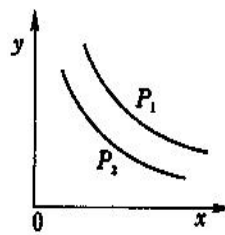
A. $m=1$ 、 $n=1$

B. $m=\frac{1}{2}$ 、 $n=\frac{1}{2}$

C. $m=\frac{1}{2}$ 、 $n=1$

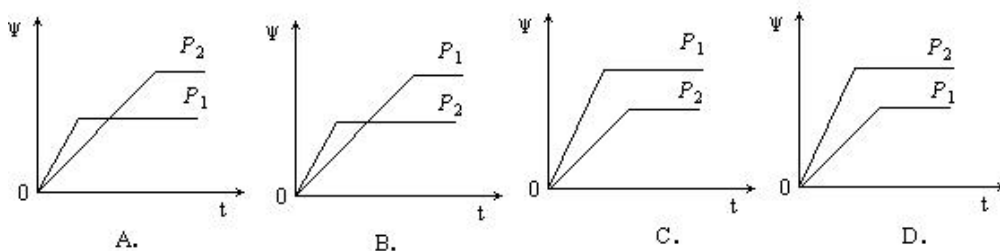
D. $m=1$ 、 $n=\frac{1}{2}$

12. (双选) 反应: $L(\text{固}) + aG(\text{气}) \rightleftharpoons bR(\text{气})$ 达到平衡时, 温度和压强对该反应的影响图所示: 图中: 压强 $p_1 > p_2$, x 轴表示温度, y 轴表示平衡混合气中 G 的体积分数。据此可判断 ()



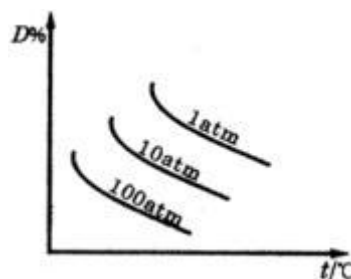
- A. 上述反应是放热反应
B. 上述反应是吸热反应
C. $a > b$
D. $a < b$

13. 在一定温度不同压强 ($P_1 < P_2$) 下, 可逆反应 $2X(g) \rightleftharpoons 2Y(g) + Z(g)$ 中, 生成物 Z 在反应混合物中的体积分数 (ψ) 与反应时间 (t) 的关系有以下图示, 正确的是 ()

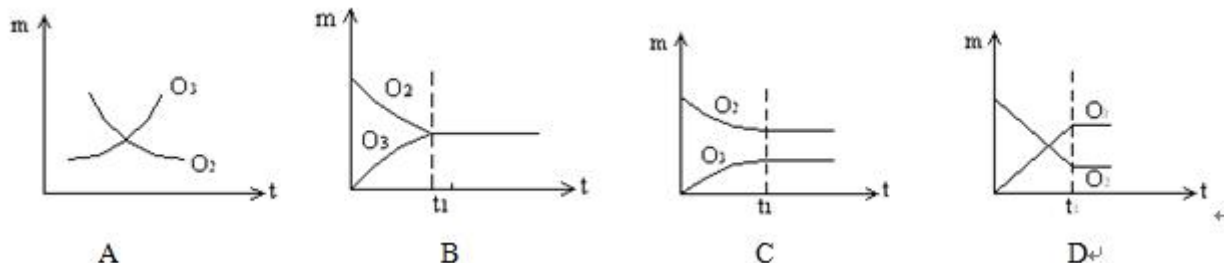


14. 在 $mA(g) + nB(g) \rightleftharpoons pC(g) + qD(g)$ 反应中, 达到平衡后, 的质量分数 D% 随温度、压强的变化曲线如下图所示正确的结论是 ()

- A. 正反应放热, 且 $m+n > p+q$
B. 正反应放热, 且 $m+n < p+q$
C. 正反应吸热, 且 $m+n > p+q$
D. 正反应吸热, 且 $m+n < p+q$



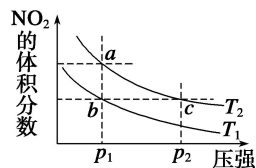
15. 将 3mol O_2 加入到 V 升的反应器中, 在高温下放电, 经 $t_1\text{s}$ 建立了平衡体系: $3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{O}_3$, 此时测知 O_2 的转化率为 30%, 下列图象能正确表示气体的物质的量浓度 (m) 跟时间 (t) 的关系的是 ()



16. 一定条件下的密闭容器中有如下反应： $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 905.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，下列叙述正确的是 ()

- A. 4 mol NH_3 和 5 mol O_2 反应，达到平衡时放出热量为 905.9 kJ
 B. 平衡时 $v_{\text{正}}(\text{O}_2) = \frac{4}{5} v_{\text{逆}}(\text{NO})$
 C. 平衡后减小压强，混合气体平均摩尔质量增大
 D. 平衡后升高温度，混合气体中 NO 含量降低

17. 反应 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}) - 57 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，在温度为 T_1 、 T_2 时，平衡体系中 NO_2 的体积分数随压强的变化曲线如图所示。下列说法正确的是 ()

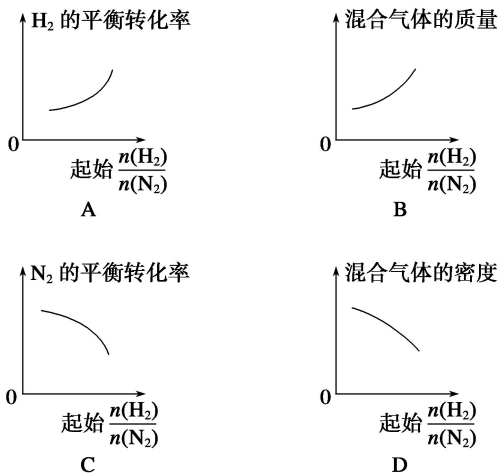


- A. a、c 两点的反应速率： $a > c$
 B. a、c 两点气体的颜色：a 深，c 浅
 C. 由状态 b 到状态 a，可以用加热的方法
 D. a、c 两点气体的平均相对分子质量： $a > c$

18. 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： $3\text{A}(\text{g}) + 2\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{C}(\text{s}) + \text{D}(\text{g})$ ，反应 2 min 后达到平衡，测得生成 1.6 mol C，下列说法正确的是 ()

- A. 前 2 min D 的平均反应速率为 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
 B. 此时，B 的平衡转化率是 40%
 C. 增大该体系的压强，平衡不移动，化学平衡常数不变
 D. 增加 B，平衡向右移动，B 的平衡转化率增大

19. 在相同温度下，将 H_2 和 N_2 两种气体按不同比例通入相同的恒容密闭容器中，发生反应： $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ 。 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{N}_2)}$ 表示起始时 H_2 和 N_2 的物质的量之比，且起始时 H_2 和 N_2 的物质的量之和相等。下列图像正确的是 ()



20. 图 2 表示 800℃ 时 A、B、C 三种气体物质的浓度随时间的变化情况， t_1 是到达平衡状态的时间。试回答：

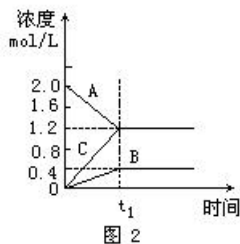
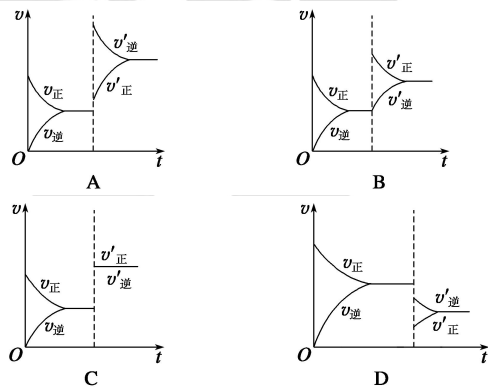


图 2

21. 对于 $A + 2B(g) \rightleftharpoons nC(g)$ ，在一定条件下达到平衡后，改变下列条件，请回答：

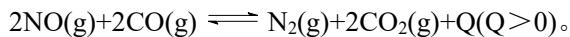
- (1) A 量的增减，平衡不移动，则 A 为_____态。
- (2) 增压，平衡不移动，当 $n=2$ 时，A 为_____态；当 $n=3$ 时，A 为_____态。
- (3) 若 A 为固态，增大压强，C 的组分含量增大， $n=_____$ 。
- (4) 升温，平衡向右移动，则该反应的逆反应为_____热反应。

22. 某温度下，在密闭容器中 SO_2 、 O_2 、 SO_3 三种气态物质建立化学平衡后，改变条件对反应 $[2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) + Q]$ 的正、逆反应速率的影响如图所示：



- (1) 加催化剂对反应速率影响的图像是_____ (填序号，下同)，平衡_____移动。
- (2) 升高温度对反应速率影响的图像是_____，平衡向_____方向移动。
- (3) 增大反应容器体积对反应速率影响的图像是_____，平衡向_____方向移动。
- (4) 增大 O_2 的浓度对反应速率影响的图像是_____，平衡向_____方向移动。

23. 在铂-铑“三效”催化剂作用下，以下反应可以将汽车尾气中 2 种有害气体转变成无害气体：



- (1) 该反应的化学平衡常数表达式为_____；20min 时，若改变反应条件，导致 N_2 浓度发生如图所示的变化，则改变的条件可能是_____ (选填编号)。
①加入催化剂 ②降低温度 ③缩小容器体积 ④增加 CO_2 的量
- (2) 铂-铑“三效”催化剂还可帮助将汽车尾气中的烃类转变成无害气体，生成的无害气体是_____。
- (3) 有文献报道，在铂-铑“三效”催化剂作用下，280℃ 时， NO_x “转化率”达到 90%，这是否指铂-铑“三效”催化剂能移动化学平衡？试作出分析_____。
- (4) 等物质的量的 NO 和 CO 气体反应时，若 NO 的转化率为 90%，所得混合气体的平均相对分子质量为_____ (保留 2 位小数)。

24. 氮化硅 (Si_3N_4) 是一种新型陶瓷材料, 它可在高温下的氮气流中由石英与焦炭通过以下反应制得:



完成下列填空:

(1) 某温度下该反应在一容积为 2L 的密闭容器中进行, 2min 后达到平衡, 刚好有 2mol 电子发生转移, 则 2min 内反应的速率为: $v(\text{CO}) =$ _____; 该反应的平衡常数表达式为 _____。

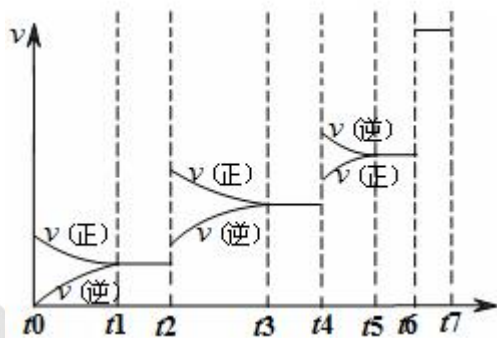
(2) 其它条件不变时仅增大压强, 则 _____。

- a. K 值减小, 平衡向逆反应方向移动
- b. K 值增大, 平衡向正反应方向移动
- c. K 值不变, 平衡向逆反应方向移动
- d. K 值不变, 平衡向正反应方向移动

(3) 一定条件下能说明上述反应已达平衡的是 _____。

- a. $c(\text{N}_2) : c(\text{CO}) = 1 : 3$
- b. $3v(\text{N}_2) = v(\text{CO})$
- c. 固体质量不再改变
- d. 气体密度不再改变

(4) 达到平衡后改变某一条件, 反应速率 v 与时间 t 的关系如右图所示。



若不改变 N_2 与 CO 的量, 则图中 t_4 时引起变化的原因可能是 _____; 图中 t_6 时引起变化的原因可能是 _____。

由图可知, 平衡混合物中 CO 含量最高的时间段是 _____。

25. Cl_2 合成有机物时会产生副产物 HCl 。 $4\text{HCl} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, 可实现氯的循环利用。

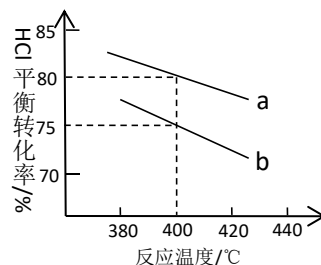
完成下列填空:

(1) 该反应平衡常数的表达式 $K =$ _____; 若反应容器的容积为 2L, 8min 后达到平衡, 测得容器内物质由 2.5mol 减少至 2.25mol, 则 HCl 的平均反应速率为 _____ $\text{mol/L} \cdot \text{min}$ 。

(2) 若该反应在体积不变的密闭容器中发生, 当反应达平衡时, 下列叙述正确的是 _____。

- a. $v(\text{HCl}) = 2v(\text{Cl}_2)$
- b. $4v_{\text{正}}(\text{HCl}) = v_{\text{逆}}(\text{O}_2)$
- c. 又加入 1mol O_2 , 达新平衡时, HCl 的转化率增大
- d. 分离出 H_2O , 达新平衡时, $v_{\text{正}}(\text{HCl})$ 增大

(3) 下图是该反应两种投料比 [$n(\text{HCl}) : n(\text{O}_2)$ 分别为 4:1 和 2:1] 下, 反应温度对 HCl 平衡转化率影响的曲线。下列叙述正确的是 _____。



- a. 该反应的正反应是放热反应
- b. 其他条件不变, 升高温度, 平衡常数 K 值增大
- c. 若平衡常数 K 值变大, 达新平衡前 $v_{\text{逆}}$ 始终减小
- d. 若平衡常数 K 值变大, 则平衡向正反应方向移动

(4) 投料比为 4:1、温度为 400°C 时, 平衡混合物中 Cl_2 的物质的量分数是 _____。