

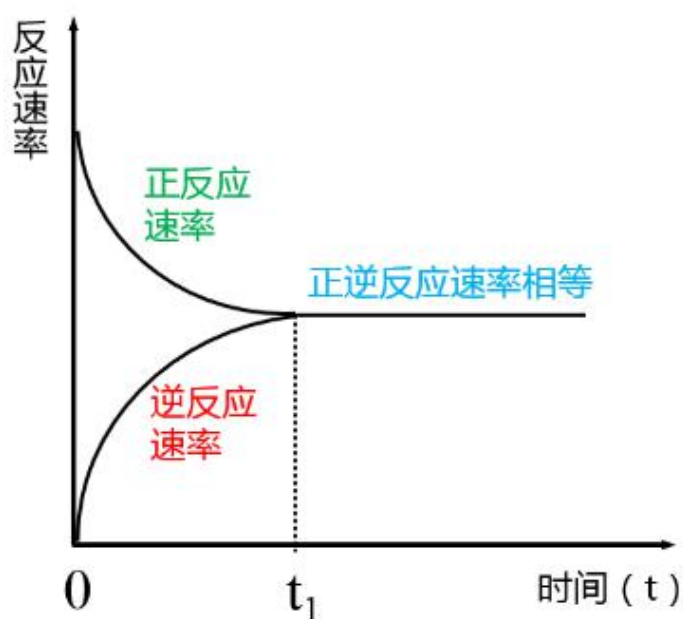


化学反应速率与化学平衡

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



初露锋芒



<p>学习目标 & 重难点</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1、化学反应速率的定义及公式。 2、影响化学反应速率的因素。 3、可逆反应与化学平衡的理解。 4、化学平衡常数与物质的转化率。
---	--



根深蒂固

一、化学反应速率的定义及公式

1. 定义

化学反应快慢的表达方法，即单位时间内反应物浓度的减少或生成物浓度的增加来表示。

2. 表达式

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} \quad \text{单位: mol/(L·s) 或 mol/(L·min)}$$

3. 注意点

- (1) 同一反应方程式中，各物质的速率比等于其系数比。
- (2) 能进行浓度变化计算的才能用来表示反应速率，如纯固体就无法计算浓度，敞口容器中就无法计算气体的浓度，因此不能用它们来表示浓度。
- (3) 比较反应速率快慢必须换算为同一种物质的反应速率（也可以将各反应速率除以各自的系数进行比较）。

【练一练】在一个 2L 的定容容器内，A 和 B 反应生成 C，假定反应由 A、B 开始，它们的起始浓度均为 2mol/L。反应进行 2min 后 A 的物质的量为 1.6mol，B 的物质的量为 1.2mol，C 的物质的量为 1.2mol。则 2min 内反应的平均速率 $v_A =$ _____， $v_B =$ _____， $v_C =$ _____。该反应的化学方程式为 _____。

二、影响化学反应速率的因素

1. 总结

- | | | |
|---|---------------------------------------|--|
| { | 内因：反应物本身的性质 | |
| | 1. 温度：温度越高，反应速率越大 | |
| | 2. 浓度：浓度越大，反应速率越快 | |
| | 外因：3. 压强：增大气体压强（实际上是增大反应物浓度），则反应速率增大。 | |
| | 4. 催化剂：（注意：有正催化剂和负催化剂） | |
| | 5. 其它因素：反应物颗粒大小、光、超声波、放射线、电磁波等因素。 | |

2. 解析

- (1) 温度：温度越高，化学反应速率越大

注意：对于任何一个反应，不管是吸热，还是放热，只要温度升高，化学反应速率都在增大。

【练一练】设 $C+CO_2 \rightleftharpoons 2CO$ (正反应为吸热反应), 反应速率为 v_1 ; $N_2+3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ (正反应放热), 反应速率为 v_2 , 对于上述反应, 当温度升高时 v_1 和 v_2 的变化情况是 ()

- A. 同时增大
B. 同时减小
C. v_1 增大, 减小 v_2
D. v_1 减小, 增大 v_2

(2) 浓度: 浓度越大, 化学反应速率越大

注意: 对于纯固体或纯液体, 增加其量, 化学反应速率不变。

(3) 压强: 对于有气体参加的反应, 增大压强, 化学反应速率增大

注意:

①对于没有气体参与的化学反应, 由于改变压强时, 反应物浓度变化很小, 可忽略不计, 因此对化学反应速率无影响。

②对于有气体参与的化学反应:

- a. 恒容时, 充入“惰性”气体 \rightarrow 总压强 \rightarrow 反应物浓度 \rightarrow 反应速率
b. 恒压时, 充入“惰性”气体 \rightarrow 体积 \rightarrow 气体反应物浓度 \rightarrow 反应速率

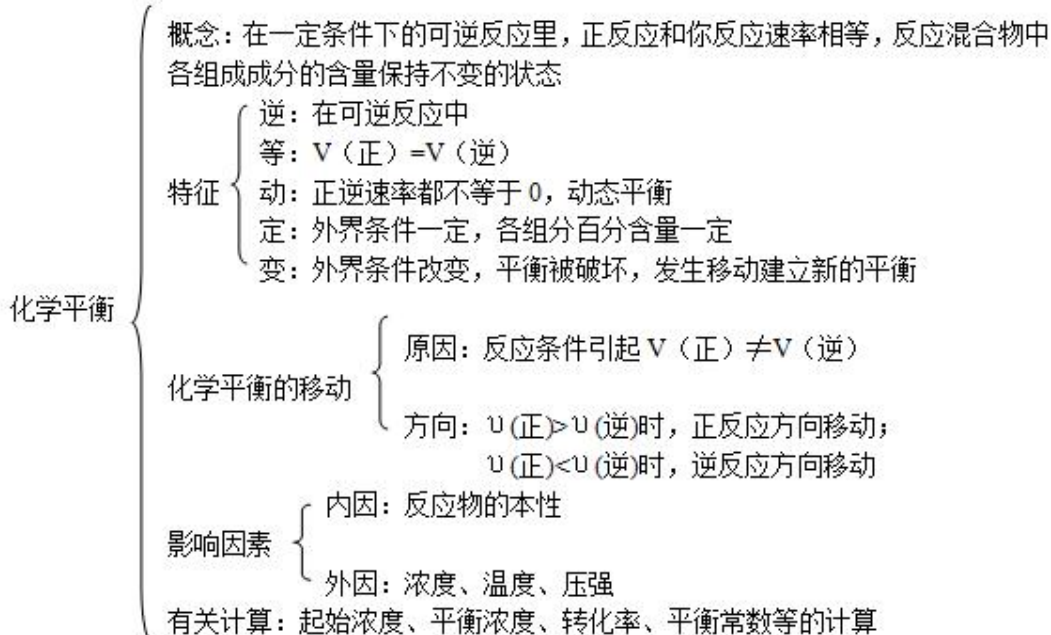
(4) 催化剂

【练一练】(双选) 反应 $C(s)+H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g)+H_2(g)$ 在一可变容积的密闭容器中进行, 下列条件的改变对反应速率几乎没有影响的是 ()

- A. 增加 C 的量
B. 将容器的体积缩小为一半
C. 保持体积不变, 充入氮气使体系的压强增大
D. 保持压强不变, 充入氮气使容器的体积增大

三、可逆反应与化学平衡的理解

1. 化学平衡



【练一练】

1. 当可逆反应 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 达到平衡后, 通 $^{18}\text{O}_2$ 气体后再次达到平衡时, ^{18}O 存在于 ()

- A. SO_3 , O_3 B. SO_2 , SO_3 C. SO_2 , SO_3 , O_2 D. SO_2 , O_2

2. 一定条件下, 当一个可逆反应进行到正反应速率与逆反应速率相等的时候, 就达到了“化学平衡”。

对于化学平衡的下列说法中正确的是 ()

- ① 化学反应达到化学平衡时, 反应物与生成物的浓度 (含量) 保持不变;
② 化学反应达到化学平衡时, 整个反应处于停滞状态;
③ 影响化学平衡的外界条件发生改变, 平衡状态可能会被破坏。

- A. 只有① B. 只有①② C. 只有①③ D. ①②③

2. 判断可逆反应达到平衡状态的方法和依据

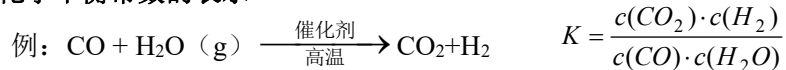
例举反应	$m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g})$	
混合物体系中 各成分的含量	① 各物质的物质的量或各物质的物质的量的分数一定	
	② 各物质的质量或各物质质量分数一定	
	③ 各气体的体积或体积分数一定	
	④ 总体积、总压力、总物质的量一定	
正、逆反应 速率的关系	① 在单位时间内消耗了 $m \text{ mol A}$ 同时生成 $m \text{ mol A}$, 即 $V_{(\text{正})} = V_{(\text{逆})}$	
	② 在单位时间内消耗了 $n \text{ mol B}$ 同时消耗了 $p \text{ mol C}$, 则 $V_{(\text{正})} = V_{(\text{逆})}$	
	③ $V(\text{A}):V(\text{B}):V(\text{C}):V(\text{D})=m:n:p:q$, $V_{(\text{正})}$ 不一定等于 $V_{(\text{逆})}$	
	④ 在单位时间内生成 $n \text{ mol B}$, 同时消耗了 $q \text{ mol D}$, 因均指 $V_{(\text{逆})}$	
压强	① $m+n \neq p+q$ 时, 总压力一定 (其他条件一定)	
	② $m+n = p+q$ 时, 总压力一定 (其他条件一定)	
混合气体平均 相对分子质量 M_r	① M_r 一定时, 只有当 $m+n \neq p+q$ 时	
	② M_r 一定时, 但 $m+n = p+q$ 时	
温度	任何反应都伴随着能量变化, 当体系温度一定时 (其他不变)	
体系的密度	密度一定	
其他	如体系颜色不再变化等	

四、化学平衡常数

1. 定义

在一定条件下某一可逆反应体系达到化学平衡时产物和反应物之间数量的一定比例关系。用符号 K 表示，化学平衡常数的大小可以表示反应所能进行的程度。

2. 化学平衡常数的表示



3. 注意事项

- ①平衡常数只与_____有关。
- ②表示平衡常数时，固体纯液体的浓度看为_____。
- ③平衡常数越大，生成物浓度越_____，反应物浓度越_____，故反应向_____进行的越完全。反应物的转化率也越_____。
- ④平衡常数表达式与反应方程式的书写有关。

【练一练】

1. 关于 $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 的平衡常数(K)书写形式，正确的是 ()

A. $K = \frac{[\text{C}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]}$

B. $K = \frac{[\text{CO}][\text{H}_2]}{[\text{C}][\text{H}_2\text{O}]}$

C. $K = \frac{[\text{CO}][\text{H}_2]}{[\text{H}_2\text{O}]}$

D. $K = \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]}$

2. 在一定温度下，反应 $\frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{X}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{HX}(\text{g})$ 的平衡常数为 10。则反应

$2\text{HX}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{X}_2(\text{g})$ 的平衡常数为 ()

A. 0.01

B. 1

C. 10

D. 100

3. 下列关于平衡常数 K 的说法中，正确的是 ()

- A. 在任何条件下，化学平衡常数是一个恒定值
- B. 改变反应物浓度或生成物浓度都会改变平衡常数 K
- C. 平衡常数 K 只与温度有关，与反应物浓度、压强无关
- D. 从平衡常数 K 的大小不能推断一个反应进行的程度

五、物质的转化率

1. 定义

某一可逆反应达平衡时，反应物中某一组分转化掉（反应掉）的量与其初始所投入的量的比值被称为转化率。

2. 公式

转化率 $x = \frac{\text{转化掉的量}}{\text{总的量}} \times 100\%$ （只要分子、分母的单位统一即可）

3. 意义

它是表示某一反应进行程度的一种标志，x 值越大，说明反应进行得越彻底。

4. 化学平衡常数与转化率的区别与联系

K 可以推断反应进行的程度，K 越大，说明反应进行得彻底，反应物的转化率也越大，但 K 只与温度有关；

转化率 x 也可以表示某一可逆反应进行的程度，x 越大，反应进行的越完全，但是 x 与反应物的起始浓度等因素有关，**转化率变化，K 不一定变化。**

【练一练】在一密闭容器中，等物质的量的 A 和 B 发生反应： $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ ，反应达平衡时，若混合气体中 A 和 B 的物质的量之和与 C 的物质的量相等，则这时 A 的转化率为（ ）

- A. 40% B. 50% C. 60% D. 70%



枝繁叶茂

知识点 1: 化学反应速率与系数的关系

【例 1】已知: $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$, 若反应速率分别用 $V(\text{NH}_3)$ 、 $V(\text{O}_2)$ 、 $V(\text{NO})$ 、 $V(\text{H}_2\text{O})$ ($\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$) 表示, 则正确的关系是 ()

A. $\frac{4}{5}V(\text{NH}_3) = V(\text{O}_2)$

B. $\frac{5}{6}V(\text{O}_2) = V(\text{H}_2\text{O})$

C. $\frac{2}{3}V(\text{NH}_3) = V(\text{H}_2\text{O})$

D. $\frac{4}{5}V(\text{O}_2) = V(\text{NO})$

变式 1: 在 4 个不同的容器中, 在不同的条件下进行合成氨反应, 根据在相同时间内测定的结果判断, 生成氨的速率最快的是 ()

A. $V(\text{H}_2) = 0.1 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$

B. $V(\text{N}_2) = 0.2 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$

C. $V(\text{NH}_3) = 0.15 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$

D. $V(\text{H}_2) = 0.3 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$

知识点 2: 判断可逆反应是否达到平衡状态

【例 1】(双选) 在一定温度下, 向 a L 密闭容器中加入 1 mol X 气体和 2 mol Y 气体, 发生如下反应: $\text{X}(\text{g}) + 2\text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Z}(\text{g})$ 此反应达到平衡的标志是 ()

A. 容器内压强不随时间变化

B. 单位时间消耗 0、1 mol X 同时生成 0、2 mol Z

C. 容器内 X、Y、Z 的浓度之比为 1: 2: 2

D. 容器内各物质的浓度不随时间变化

变式 1: 一定温度下恒容的密闭容器中, 反应 $\text{A}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{AB}(\text{g})$ 达到平衡的标志是 ()

A. 正反应速率和逆反应速率相等且都为零

B. 容器内气体的总压强不随时间变化

C. 单位时间内生成 2n mol AB 的同时生成 n mol B_2

D. 容器内气体的平均相对分子质量不随时间变化

变式 2: 有一可逆反应为 $\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{B}(\text{g})$, 下列各项中, 表示已达到平衡的是 ()

A. $c(\text{A}) = c(\text{B})$

B. 压强不再发生变化

C. A 与 B 的体积分数不再发生变化

D. A 的消耗速率等于 B 的生成速率

知识点 3: 影响化学反应速率的因素

【例1】(双选) 在密闭容器中进行反应 $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$, 当保持温度不变时下列措施能使反应速率增大的 ()

- A. 缩小容器体积, 使压强增大 B. 保持体积不变, 充入 N_2 使压强增大
C. 保持体积不变, 充入 He 使压强增大 D. 扩大容器体积, 使压强减小

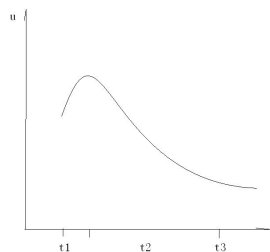
变式1: 反应物浓度均为 0.10mol/L 下列各组反应中, 反应速率最大的是 ()

- A. 0°C $\text{H}_2 + \text{F}_2$ B. 40°C $\text{H}_2 + \text{Cl}_2$
C. 200°C $\text{H}_2 + \text{Br}_2(\text{g})$ D. 300°C $\text{H}_2 + \text{I}_2(\text{g})$

变式2: 把除去氧化膜的镁条投入盛有稀盐酸的试管中, 发现生成的氢气速率如图所示, 其中 T_1-T_2 变化的主要原因是_____

_____ ; T_2-T_3 变化的主要原因是

_____。



知识点 4: 转化率

【例1】在 100°C 时, 把 0.5mol N_2O_4 通入体积为 5L 的真空密闭容器中, 立即出现红棕色。反应进行到 2s 时, NO_2 的浓度为 $0.02\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在 60s 时, 体系已达平衡, 此时容器内压强为开始时的 1.6 倍。下列说法正确的是 ()

- A. 前 2s 以 N_2O_4 的浓度变化表示的反应速率为 $0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
B. 在 2s 时体系内的压强为开始时的 1.1 倍
C. 在平衡时体系内含 N_2O_4 0.25mol
D. 平衡时, N_2O_4 的转化率为 40%

变式1: 某温度下, $\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$ 的平衡常数 $K=9/4$, 该温度下在甲、乙、丙三个恒容密闭容器中, 投入 $\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\text{CO}_2(\text{g})$, 其起始浓度如表所示:

起始浓度	甲	乙	丙
$c(\text{H}_2)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.010	0.020	0.020
$c(\text{CO}_2)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.010	0.010	0.020

下列判断不正确的是 ()

- A. 平衡时, 乙中 CO_2 的转化率大于 60%
B. 平衡时, 甲中和丙中 H_2 的转化率均是 60%
C. 平衡时, 丙中 $c(\text{CO}_2)$ 是甲中的 2 倍, 是 $0.012\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$
D. 反应开始时, 丙中的反应速率最快, 甲中的反应速率最慢

A. 等于 p% B. 大于 p%

C. 小于 p% D. 无法判断



瓜熟蒂落

- 第 9 页 共 13 页

6. 反应 $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 在 10L 密闭容器中进行, 半分钟后, 水蒸气的物质的量增加了 0.45mol, 则此反应的平均速率 $v(\text{X})$ (反应物的消耗速率或产物的生成速率) 可表示为 ()
- A. $v(\text{NH}_3) = 0.010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ B. $v(\text{O}_2) = 0.0010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
C. $v(\text{NO}) = 0.0010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ D. $v(\text{H}_2\text{O}) = 0.045 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
7. 在 4 个不同的容器中, 在不同的条件下进行合成氨反应, 根据在相同时间内测定的结果判断, 生成氨的速率最快的是 ()
- A. $V(\text{H}_2) = 0.1 \text{ mol} / (\text{L} \cdot \text{min})$ B. $V(\text{N}_2) = 0.2 \text{ mol} / (\text{L} \cdot \text{min})$
C. $V(\text{NH}_3) = 0.15 \text{ mol} / (\text{L} \cdot \text{min})$ D. $V(\text{H}_2) = 0.3 \text{ mol} / (\text{L} \cdot \text{min})$
8. 20°C 时, 将 10mL 0.1mol·L⁻¹ Na₂S₂O₃ 溶液和 10mL 0.1mol·L⁻¹ 的 H₂SO₄ 溶液混合, 2min 后溶液中明显出现浑浊。已知温度每升高 10°C, 化学反应速率增大到原来的 2 倍, 那么 50°C 时, 同样的反应要同样看到浑浊, 需要的时间是 ()
- A. 40s B. 15s C. 48s D. 20s
9. 铝与稀硫酸反应的速率较慢, 下列措施不能加快反应速率的是 ()
- A. 在溶液中滴加少量硫酸铜溶液 B. 适当增大硫酸的浓度
C. 对反应溶液进行加热 D. 增大外界压强
10. (双选) 一定温度下, 100 mL 6 mol·L⁻¹ H₂SO₄ 与过量锌粉反应, 为了减缓反应速率, 但又不影响生成氢气的总质量, 可向反应物中加入适量的 ()
- A. 碳酸钠固体 B. 水 C. 硫酸钾溶液 D. 盐酸溶液
11. 下列说法不正确的是 ()
- A. 增大压强, 活化分子百分数不变, 化学反应速率增大
B. 升高温度, 活化分子百分数增大, 化学反应速率增大
C. 加入反应物, 活化分子百分数增大, 化学反应速率增大
D. 使用催化剂, 活化分子百分数增大, 化学反应速率增大
12. 在恒温恒容的密闭容器进行反应有 $\text{X}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Y}_2(\text{g}) + \text{Z}(\text{g})$, 若反应物的浓度从 2mol/L 降到 0.8 mol/L 需 20s, 那么, 反应物浓度由 0.8mol/L 降到 0.2mol/L 所需的反应时间为 ()
- A. 10s B. >10s C. <10s D. 无法判断
13. 在 2 L 密闭容器中充有 2mol SO₂ 和一定量的 O₂, 发生下列反应: $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$, 当反应进行到 4min 时, 测得此时 SO₂ 为 0.4mol, 若反应进行到 2min 时, 密闭容器中 SO₂ 物质的量是 ()
- A. 1.6mol B. 1.2mol C. >1.6mol D. <1.2mol

- 第 11 页 共 13 页

22. 在一密闭容器中注入 NO_2 ，在 25°C 时建立下列平衡： $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 + \text{Q}$ ，若把烧瓶置于 100°C 的沸水中，下列情况中，不变的是（ ）

① 颜色 ② 平均摩尔质量 ③ 质量 ④ 压强 ⑤ 密度

A. ③⑤ B. ③④ C. ②④ D. ①③

23. 可逆反应 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ 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. $v_{\text{正}}(\text{N}_2) = 3v_{\text{逆}}(\text{H}_2)$

24. 一定温度下， $10\text{ mL } 0.40\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ H}_2\text{O}_2$ 溶液发生催化分解。不同时刻测得生成 O_2 的体积(已折算为标准状况)如下表。

t/min	0	2	4	6	8	10
$V(\text{O}_2)/\text{mL}$	0.0	9.9	17.2	22.4	26.5	29.9

下列叙述不正确的是(溶液体积变化忽略不计)（ ）

A. $0\sim 6\text{ min}$ 的平均反应速率： $v(\text{H}_2\text{O}_2) \approx 3.3 \times 10^{-2}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

B. $6\sim 10\text{ min}$ 的平均反应速率： $v(\text{H}_2\text{O}_2) < 3.3 \times 10^{-2}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

C. 反应到 6 min 时， $c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.30\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

D. 反应到 6 min 时， H_2O_2 分解了 50%

25. 一定温度下，在容积为 2 L 的密闭容器中发生反应 $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ ，部分数据见下表(表中 $t_2 > t_1$)。

反应时间/min	$n(\text{CO})/\text{mol}$	$n(\text{H}_2\text{O})/\text{mol}$	$n(\text{CO}_2)/\text{mol}$	$n(\text{H}_2)/\text{mol}$
0	1.20	0.60	0	0
t_1	0.80			
t_2		0.20		

下列说法正确的是（ ）

A. 反应在 $t_1\text{ min}$ 内的反应速率为 $v(\text{H}_2) = \frac{0.40}{t_1}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

B. 平衡时 CO 的转化率为 66.67%

C. 该温度下反应的平衡常数为 1

D. 其他条件不变，若起始时 $n(\text{CO}) = 0.60\text{ mol}$ ， $n(\text{H}_2\text{O}) = 1.20\text{ mol}$ ，则平衡时 $n(\text{CO}_2) = 0.20\text{ mol}$

26. 在 10 L 恒容密闭容器中充入 X(g)和 Y(g)，发生反应 $X(g)+Y(g) \rightleftharpoons M(g)+N(g)$ ，所得实验数据如下表：

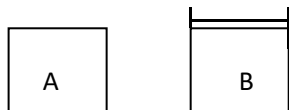
实验编号	温度/℃	起始时物质的量/mol		平衡时物质的量/mol
		$n(X)$	$n(Y)$	$n(M)$
①	700	0.40	0.10	0.090
②	800	0.10	0.40	0.080
③	800	0.20	0.30	a
④	900	0.10	0.15	b

下列说法正确的是 ()

- A. 实验①中，若 5 min 时测得 $n(M)=0.050$ mol，则 0 至 5 min 时间内，用 N 表示的平均反应速率 $v(N)=1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- B. 实验②中，该反应的平衡常数 $K=2.0$
- C. 实验③中，达到平衡时，X 的转化率为 60%
- D. 实验④中，达到平衡时， $b>0.060$

27. 在 25℃时，向 100mL 含氯化氢 14.6g 的盐酸溶液里，放入 5.6g 纯铁粉（不考虑反应前后溶液体积的变化），反应开始至 2min 末收集到氢气 1.12L（标况下），在此之前 4min 的时间内，铁粉完全溶解。则：

- (1) 在 2min 内用 FeCl_2 来表示的平均反应速率是多少？
- (2) 在后 4min 内用 HCl 表示的平均反应速率是多少？
- (3) 前 2min 与后 4min 相比，反应速率哪个较快？为什么？



28. 已知 $2 \text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 + Q$ ，将 NO_2 充入易导热材料制成的 A、B 容器中反应。A 的容积固定不变，B 的上盖可随容器内气体压强的改变而上下移动，以保持容器内外压强相等。当同温同压时，将等量的 NO_2 充入起始体积相同的容器 A、B 中，反应同时开始，问：

- ①反应开始时，A 与 B 中生成 N_2O_4 的速率_____，因为 NO_2 的温度、浓度、压强均相等。
- ②反应过程中两容器里生成 N_2O_4 的速率是_____，因为容器 极易导热，可认为反应中温度不变，反应是 ΔV 减小的反应，则 B 中 $[\text{NO}_2]>$ A 中 $[\text{NO}_2]$
- ③达到平衡时，A 与 B 中 NO_2 转化为 N_2O_4 的百分数比较_____，反应体积减小，对 A 压强减小不利于平衡右移。