

工业合成氨

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____

一、不定项选择题

1. 下列关于合成氨工业的描述中，错误的是

- A. 可用 CH_4 为原料制取 H_2 ✓ B. 实际生产中维持氢氮比为 2.8~2.9 ✓
C. 合成塔中通过热交换器提高能效 ✓ D. 通过溶于水的方法分离产生的 NH_3 ✗

2. 合成氨工业中采用循环操作，主要是为了

- A. 增大化学反应速率 ✗ B. 提高平衡混合物中氨的含量
C. 降低氨的沸点 ✗ D. 提高氮气和氢气的利用率 ✓

3. 下列有关合成氨工业的说法中正确的是

- A. 铁催化剂可加快反应速率 ✓ 且有利于化学平衡向合成氨的方向移动 ✗
B. 升高温度可以加快反应速率 ✓ 且有利于化学平衡向合成氨的方向移动 ✗ 逆
C. 增大压强能缩短达到平衡状态所用的时间 ✓
D. 合成氨采用的压强是 10~30 MPa，因为该压强下铁催化剂的活性最高 ✗ 活性温度

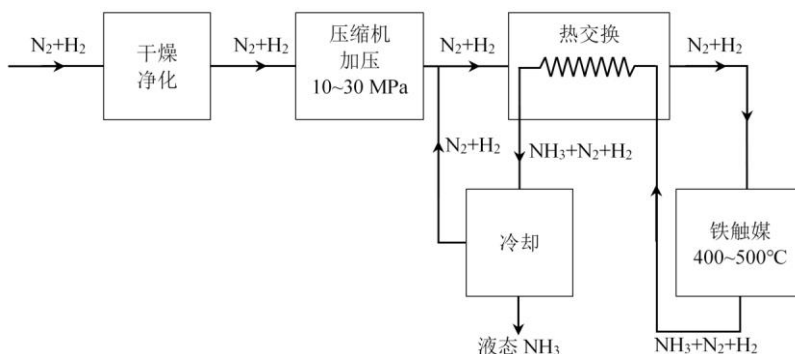
4. 合成氨反应为 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ $\Delta H = -92.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。下列有关该反应的说法正确的是

- A. 催化剂增大了正、逆反应的活化能 ✗
B. 升高温度，该反应的平衡常数减小 ✓
C. 正反应的活化能小于逆反应的活化能 ✓
D. 高温、高压和催化剂均可提高 H_2 的平衡转化率 ✗

5. 下列有关合成氨反应的说法正确的是

- A. 反应的 $\Delta S < 0$ ✓
B. 反应的 $\Delta H = E(\text{N}=\text{N}) + 3E(\text{H}-\text{H}) - 6E(\text{N}-\text{H})$ (E 表示键能) ✓
C. 反应中每消耗 1 mol H_2 转移电子的数目约等于 $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ ✓
D. 采用 400~500°C 条件，不仅能提高化学反应速率，还能增大反应物的平衡转化率 ✗

6. 氨对发展农业有着重要意义，也是重要的化工原料。合成氨的生产流程示意如下。



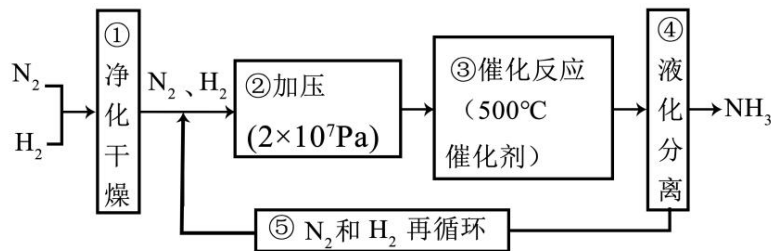
下列说法不正确的是

- A. 使用铁催化剂既可提高合成氨的反应速率，又可提高氨气的产率 $\times$
- B. 合成氨一般选择 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 进行，主要是让铁催化剂的活性最大 $\checkmark$ ，平衡转化率高 $\times$
- C. 热交换的目的是预热原料气，同时对合成的氨气进行降温利于液化分离 $\checkmark$
- D. 不选择过高压强的主要原因是压强越大，对材料的强度和设备的制造要求越高 $\checkmark$

二、填空题

7. 截至 2025 年，全球绿色合成氨需求达 10 万吨，氨气产业链正在向高端化、绿色化、智能化方向发展。

I. 传统氨的合成：根据工业合成氨的流程图，回答下列问题。



(1) 步骤 ②③⑤ (填序号) 均有利于提高原料的平衡转化率。

步骤③需将反应温度控制在 500°C 左右的主要原因是 500°C 为催化剂活性温度，温度过高，平衡左移，产率低 $\Delta H < 0$

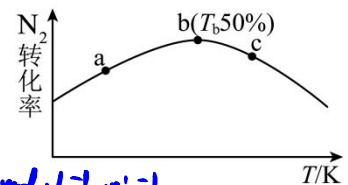
(2) 向 10 L 的恒容密闭容器中通入 2 mol N_2 和 6 mol H_2 ，在催化剂存在下发生反应，经过 10 min 时测得 N_2 的转化率与温度(T)的关系如图所示。下列说法正确的是 BC。(不定项)

A. b 点处对应 H_2 转化率最大且速率最快 $\checkmark$

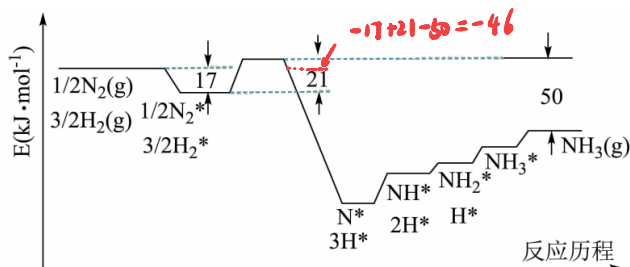
B. 与 b 点对应的反应，前 10 min 内 $v(\text{H}_2) = 0.03 \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$ $\checkmark$

C. a 点处对应体系中： $v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}$ $\checkmark$

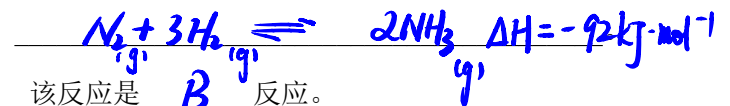
D. a 点和 b 点的正反应速率比较 $v_{\text{a正}} > v_{\text{b正}}$ $\times$



(3) 图为 N_2 和 H_2 在固体催化剂表面合成氨反应路径的势能面图(部分数据略)，其中“*”表示被催化剂吸附。



由上图可知：氨气的脱附是 吸热 (填“吸热”或“放热”)过程，请写出工业合成氨气的热化学方程式



该反应是 B 反应。

A. 高温自发 B. 低温自发 C. 非自发

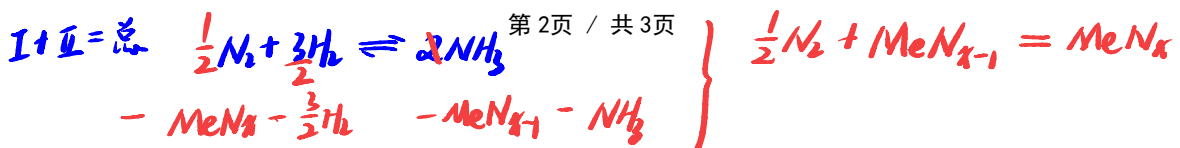
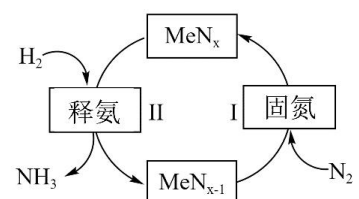
$$\Delta H - T\Delta S < 0$$

II. 改进氨的合成：

(4) 化学链合成氨可实现物质循环。方法如图所示。

已知反应 II 的方程式为： $\text{MeN}_x + \frac{3}{2}\text{H}_2 = \text{MeN}_{x-1} + \text{NH}_3$ ，

则反应 I 的化学方程式为 $\frac{1}{2}\text{N}_2 + \text{MeN}_{x-1} = \text{MeN}_x$ 。



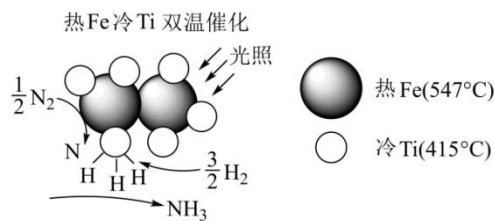
(5) 我国科学家研发出一种新型双温催化剂 Fe-TiO₂-xHy,

该催化剂催化合成氨反应(反应体系温度为 495℃)的原理

如图所示。

该催化剂能较好地解决传统合成氨工艺中存在的反应

速率和平衡产率的矛盾, 原因是 N≡N 断裂在热的 Fe 上断, 断键吸热, ↑, 程度更大且速率快
生成 NH₃ 成键放热, 在冷的 Ti 上进行, 放热反应低温有利于平衡正移, 产率较高



8. 氨是重要化工原料, 其工业合成原理为 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $\Delta H < 0$ 。回答下列问题:

(1) 已知: $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) = H_2O(g)$ $\Delta H_1 = -akJ \cdot mol^{-1}$; $3 \times \Delta H_1 - \frac{1}{2} \Delta H_2$

ii. $4NH_3(g) + 3O_2(g) = 2N_2(g) + 6H_2O(g)$ $\Delta H_2 = -bkJ \cdot mol^{-1}$ (a、b 都大于 0)。

则反应 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ 的 $\Delta H =$ $-3a + \frac{1}{2}b$ $kJ \cdot mol^{-1}$ (含 a、b 的代数式表示)。

(2) 向恒温恒容密闭容器中充入体积比 1:1 的 N_2 和 H_2 , 发生反应 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ 。下列情况表明

该反应一定达到平衡状态的是 $B \times$ (不定项选择)。 $V_{正} = V_{逆}$, 变量不变, $Q = K$

A. 气体密度不随时间变化 $\times$

B. 气体平均摩尔质量不随时间变化 $\checkmark$

C. N_2 的体积分数不随时间变化 $\times$

D. N_2 和 H_2 的转化率比值不随时间变化 $\times$

(3) 下列关于 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $\Delta H < 0$ 的叙述正确的是 AC (不定项选择)。

A. NH_3 生成速率等于 N_2 消耗速率的 2 倍 $\checkmark$

B. 若加入高效催化剂, 平衡常数和反应热都会增大 $\times$

C. 若起始按体积比 1:3 投入 N_2 和 H_2 , 则 N_2 和 H_2 的转化率相等 $\checkmark$

(4) 向 2L 刚性密闭容器中充入 1mol N_2 和 3mol H_2 合成氨, 经历相同

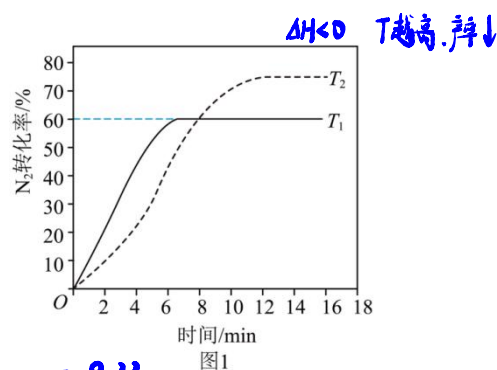
时间测得 N_2 转化率与温度及时间的关系如图 1 所示。

① 温度: T_1 $>$ T_2 (填“>”或“<”)。 $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$

② T_1 温度下, 合成氨反应的平衡常数 K 为 9.33 (结果保留

三位有效数字)。

始 1 3 0
是 0.6 1.8 1.2
末 0.4 1.2 1.2
 $K = \frac{(1.2)^2}{0.4 \times (1.2)^3} = 9.33$



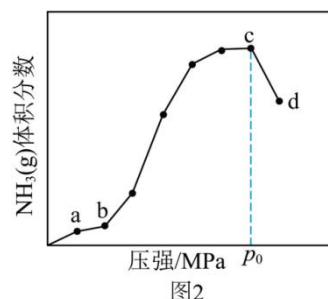
(5) 一定温度下, 向 体积可变的 密闭容器中充入 1mol N_2 和 4mol H_2 合成 NH_3 , 测得平衡时 NH_3 体积分数与压强关系如图 2 所示。 恒压

① ab 段 NH_3 体积分数增大的原因是 反应为分子数减少的反应, 增大

压强, 反应向压强减小的方向, 即正向进行, NH_3 体积分数增大;

② cd 段 NH_3 体积分数急减的主要原因可能是 压强过大, 加压后液化,

使 $NH_3(g)$ 体积分数下降。



压强过大, 生成的 NH_3 难以

从催化剂上脱附, 使平衡时 NH_3 的体积分数降低