

## 反应原理综合题点点突破(六)——反应原理综合题

1. (2019·贵阳模拟) 甲烷是天然气的主要成分, 是一种重要的清洁能源和化工原料。

(1) 利用光能和光催化剂, 可将  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  转化为  $\text{CH}_4$ , 图 1 为在恒温、紫外光照射、不同催化剂(I、II)作用下, 在体积为 2 L 的密闭容器中,  $\text{CH}_4$  的量随光照时间的变化。反应开始后的 16 小时内, 在第\_\_\_\_\_种催化剂作用下, 收集的  $\text{CH}_4$  较多; 0~20 小时内, 在第 I 种催化剂作用下,  $\text{O}_2$  的平均生成速度  $v(\text{O}_2) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

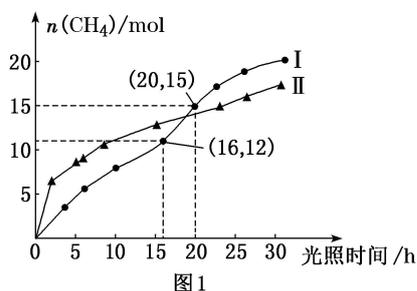


图 1

(2) 工业上常用  $\text{CH}_4$  和水蒸气在一定条件下的恒容密闭容器中制取  $\text{H}_2$ :  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$   
 $\Delta H = +206 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

① 下列说法能表明该反应达平衡状态的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

- 各组分的物质的量浓度不再变化
- 气体的分子总数不随时间而变化
- 体系的密度保持不变
- 生成 3 mol  $\text{H}_2$  的同时消耗 1 mol  $\text{CH}_4$

② 一定温度时, 在体积为 2 L 的恒容密闭容器中, 充入 0.25 mol 的  $\text{CH}_4$  和 0.25 mol 的水蒸气发生以上反应。测得  $\text{CH}_4$  平衡时的转化率与温度、压强的关系如图 2 所示, 则  $p_1$  \_\_\_\_\_ (填“>”“<”或“=”)  $p_2$ ; 当压强为  $p_2$  时, x 点的  $v(\text{正})$  \_\_\_\_\_ (填“>”“<”或“=”)  $v(\text{逆})$ ; 温度为 1 100  $^\circ\text{C}$  时, y 点的平衡常数  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

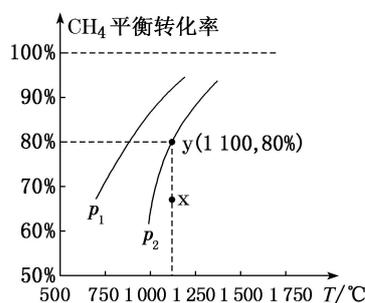
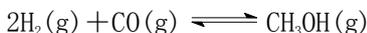


图 2

2. (2019·福州三模) 甲醇是一种可再生能源, 具有广阔的开发和应用前景, 可用  $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Pd}/\text{C}$ 、 $\text{Rh}/\text{SiO}_2$  等作催化剂, 采用如下反应来合成甲醇:

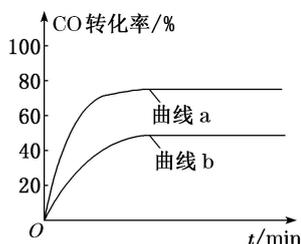


(1) 下表所列数据是各化学键的键能:

化学键	H—H	$\text{C}\equiv\text{O}$	C—H	C—O	O—H
键能/ $(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$

该反应的  $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$  (用含字母的代数式表示)。

(2) 某科研小组用  $\text{Pd}/\text{C}$  作催化剂, 在 450  $^\circ\text{C}$  时, 研究了  $n(\text{H}_2) : n(\text{CO})$  分别为 2 : 1、3 : 1 时  $\text{CO}$  转化率的变化情况 (如图), 则表示  $n(\text{H}_2) : n(\text{CO}) = 3 : 1$  的变化曲线为\_\_\_\_\_ (填“曲线 a”或“曲线 b”)。

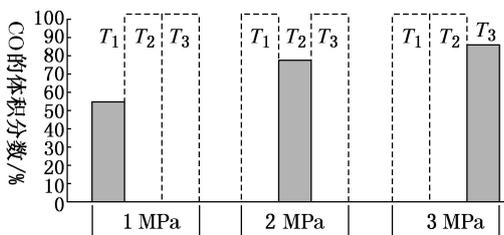


(3) 某化学研究性学习小组模拟工业合成甲醇的反应，在 2 L 的恒容密闭容器内充入 1 mol CO 和 2 mol H<sub>2</sub>，加入合适催化剂后在某温度下开始反应，并用压力计监测容器内压强的变化如下：

反应时间/min	0	5	10	15	20	25
压强/MPa	12.6	10.8	9.5	8.7	8.4	8.4

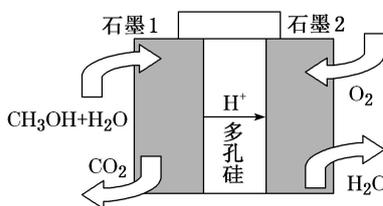
则从反应开始到 20 min 时，CO 的平均反应速率为\_\_\_\_\_，该温度下的平衡常数 *K* 为\_\_\_\_\_。

(4) 将 CO 和 H<sub>2</sub> 加入密闭容器中，在一定条件下发生反应：CO(g) + 2H<sub>2</sub>(g) ⇌ CH<sub>3</sub>OH(g) Δ*H* < 0。平衡时 CO 的体积分数 (%) 与温度和压强的关系如下图所示(虚线框表示没有测定该条件下的数据)。



T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 由大到小的关系是\_\_\_\_\_，判断理由是\_\_\_\_\_。

(5) 美国的两家公司合作开发了多孔硅甲醇直接燃料电池，其工作原理如图：



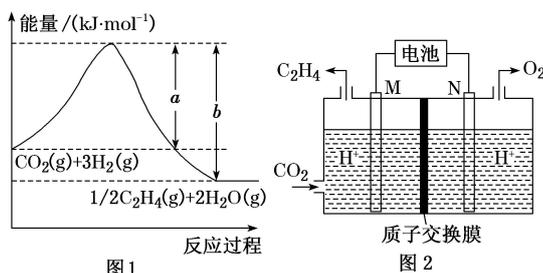
① 石墨 2 为\_\_\_\_\_ (填“正”或“负”) 极。

② 石墨 1 极发生的电极反应式为\_\_\_\_\_。

3. (2019 · 合肥模拟) 低碳经济成为人们一种新的生活理念，二氧化碳的捕捉和利用是能源领域的一个重要研究方向。请你结合下列有关图示和所学知识回答：

I. 用 CO<sub>2</sub> 催化加氢可以制取乙烯：CO<sub>2</sub>(g) + 3H<sub>2</sub>(g) ⇌ 1/2 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(g) + 2H<sub>2</sub>O(g)

(1) 若该反应体系的能量随反应过程变化关系如图 1 所示，则该反应 Δ*H* = \_\_\_\_\_ (用含 *a*、*b* 的式子表示)。



又知：相关化学键的键能如下表所示，实验测得上述反应的 Δ*H* = -152 kJ · mol<sup>-1</sup>，则表中的 *x* = \_\_\_\_\_。

化学键	C=O	H—H	C=C	C—H	H—O
键能/(kJ · mol <sup>-1</sup> )	803	436	<i>x</i>	414	464

(2) 以稀硫酸为电解质溶液，利用太阳能电池将 CO<sub>2</sub> 转化为乙烯的工作原理如图 2 所示。则 M 极上的电极反应式为\_\_\_\_\_。

II. 用 CO<sub>2</sub> 催化加氢还可以制取二甲醚：



$$\Delta H = -122.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

某压强下，合成二甲醚的反应在不同温度、不同投料比时，CO<sub>2</sub> 的平衡转化率如图 3 所示。

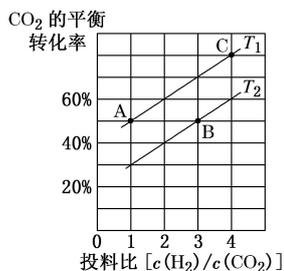


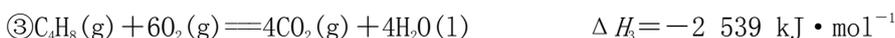
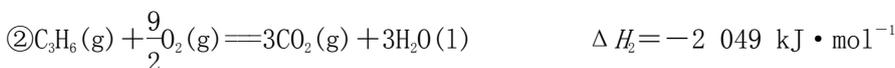
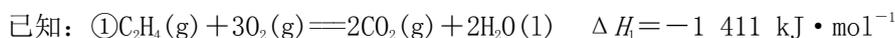
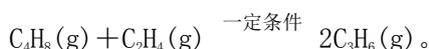
图3

(3) 图中  $T_1$ 、 $T_2$  分别表示反应温度, 判断  $T_1$ 、 $T_2$  大小关系的依据是\_\_\_\_\_ ; 图中 A、B、C 三点对应的平衡常数分别为  $K_A$ 、 $K_B$ 、 $K_C$ , 三者大小关系是\_\_\_\_\_。

(4)  $T_1$  温度下, 将 6 mol  $\text{CO}_2$  和 12 mol  $\text{H}_2$  充入 2 L 的密闭容器中, 经过 5 min 反应达到平衡, 则 0~5 min 内的平均反应速率  $v(\text{H}_2) =$ \_\_\_\_\_, 平衡常数  $K =$ \_\_\_\_\_ (列出计算式即可)。

4. (2019·怀化模拟) 丙烯是重要的有机化工原料, 主要用于生产聚丙烯、丙烯腈、环氧丙烷等。

I. (1) 以丁烯和乙烯为原料反应生成丙烯的方法称为“烯烃歧化法”, 反应为



“烯烃歧化法”反应的热化学方程式为\_\_\_\_\_。

(2) 一定温度下, 在一容积恒为  $V$  L 的密闭容器中充入一定量的  $\text{C}_4\text{H}_8$  和  $\text{C}_2\text{H}_4$ , 发生烯烃歧化法的主要反应。  $t_1$  min 达到平衡状态, 此时容器中  $n(\text{C}_4\text{H}_8) = a$  mol,  $n(\text{C}_2\text{H}_4) = 2a$  mol,  $n(\text{C}_3\text{H}_6) = b$  mol, 且  $\text{C}_3\text{H}_6$  占平衡总体积的  $1/4$ 。求该时间段内的反应速率  $v(\text{C}_4\text{H}_8) =$ \_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。(用只含  $a$ 、 $V$ 、 $t_1$  的式子表示)

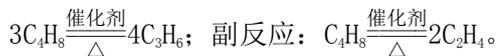
下列能作为该反应达到平衡状态的标志的是\_\_\_\_\_。

- A.  $2v_{\text{生成}}(\text{C}_4\text{H}_8) = v_{\text{消耗}}(\text{C}_3\text{H}_6)$
- B.  $\text{C}_4\text{H}_8$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_6$  的物质的量之比为 1:1:2
- C. 混合气体的平均相对分子质量不再改变
- D.  $\text{C}_4\text{H}_8$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_6$  的浓度均不再变化

(3)  $K_p$  是用反应体系中气体物质的分压来表示的平衡常数, 即将  $K$  表达式中平衡浓度用平衡分压代替。已知反应:  $\text{C}_4\text{H}_8(\text{g}) + \text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) \xrightarrow{\text{一定条件}} 2\text{C}_3\text{H}_6(\text{g})$ , 该反应中正反应速率  $v_{\text{正}} = k_{\text{正}} \cdot p(\text{C}_4\text{H}_8) \cdot p(\text{C}_2\text{H}_4)$ ,

逆反应速率  $v_{\text{逆}} = k_{\text{逆}} \cdot p^2(\text{C}_3\text{H}_6)$ , 其中  $k_{\text{正}}$ 、 $k_{\text{逆}}$  为速率常数, 则  $K_p$  为\_\_\_\_\_ (用  $k_{\text{正}}$ 、 $k_{\text{逆}}$  表示)。

II. “丁烯裂解法”是另一种重要的丙烯生产方法, 但生产过程中会有生成乙烯的副反应发生。主反应:



测得上述两反应的平衡体系中, 各组分的质量分数 ( $w$ ) 随温度 ( $t$ ) 和压强 ( $p$ ) 变化的趋势分别如图 1 和图 2 所示。

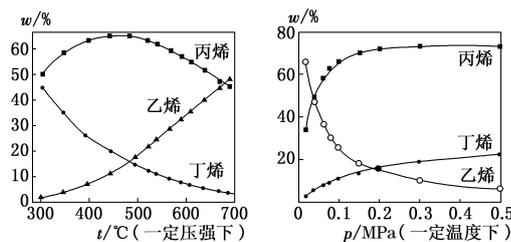


图1

图2

(1) 平衡体系中的丙烯和乙烯的质量比是工业生产丙烯时选择反应条件的重要指标之一, 从产物的纯度考虑, 该数值越高越好, 从图 1 和图 2 中表现的趋势来看, 下列反应条件最适宜的是\_\_\_\_\_ (填字母序号)。

- A. 300 °C 0.1 MPa
- B. 700 °C 0.1 MPa
- C. 300 °C 0.5 MPa
- D. 700 °C 0.5 MPa

(2) 有研究者结合图 1 数据并综合考虑各种因素, 认为 450 °C 的反应温度比 300 °C 或 700 °C 更合适, 从反应原理角度分析其理由可能是\_\_\_\_\_。

(3) 图 2 中, 随压强增大平衡体系中丙烯的质量分数呈上升趋势, 从平衡角度解释其原因是\_\_\_\_\_。

5. 氮的化合物在生产、生活中广泛存在。

(1) 键能是气态基态原子形成 1 mol 化学键释放的最低能量。已知下列化学键的键能如表所示:

化学键	NN	O=O	N—N	N—H	O—H
键能/(kJ·mol <sup>-1</sup> )	946	497	193	391	463

写出 1 mol 气态肼(H<sub>2</sub>N—NH<sub>2</sub>) 燃烧生成氮气和水蒸气的热化学方程式: \_\_\_\_\_。

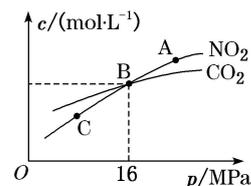
(2) 用焦炭还原 NO 的反应为 2NO(g) + C(s) ⇌ N<sub>2</sub>(g) + CO<sub>2</sub>(g), 向容积均为 1 L 的甲、乙、丙三个恒容恒温(反应温度分别为 400 °C、400 °C、T °C) 容器中分别加入足量的焦炭和一定量的 NO, 测得各容器中 n(NO) 随反应时间 t 的变化情况如表所示。

t/min	0	10	20	30	40
n(NO) (甲容器)/mol	2.00	1.50	1.10	0.80	0.80
n(NO) (乙容器)/mol	1.00	0.80	0.65	0.53	0.45
n(NO) (丙容器)/mol	2.00	1.45	1.00	1.00	1.00

①该反应为\_\_\_\_\_ (填“放热”或“吸热”) 反应。

②乙容器中的反应在 60 min 时达到平衡状态, 则 0~60 min 内用 NO 的浓度变化表示的平均反应速率 v(NO) = \_\_\_\_\_。

(3) 用焦炭还原 NO<sub>2</sub> 的反应为 2NO<sub>2</sub>(g) + 2C(s) ⇌ N<sub>2</sub>(g) + 2CO<sub>2</sub>(g), 在恒温条件下, 1 mol NO<sub>2</sub> 和足量焦炭发生反应, 测得平衡时 NO<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的物质的量浓度与平衡总压强的关系如图所示:



①A、C 两点用浓度表示的平衡常数关系:  $K_c(A)$  \_\_\_\_\_ (填“<”“>”或“=”)  $K_c(C)$ 。

②A、B、C 三点中 NO<sub>2</sub> 的转化率最高的是\_\_\_\_\_ (填“A”“B”或“C”) 点。

③B 点时该反应用压强表示的平衡常数  $K_p(B)$  = \_\_\_\_\_ (填数值,  $K_p$  是用平衡分压代替平衡浓度进行计算, 分压 = 总压 × 物质的量分数)。

6. (2019 · 山西适应考) 氨催化氧化是硝酸工业的基础, 氨气在 Pt 催化剂作用下发生主反应 I 和副反应 II:



$\Delta H_1 = -905 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

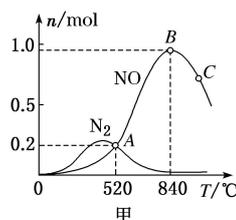


(1) 已知:

断裂 1 mol 物质中化学键需要的能量/kJ	NO	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
	629	496	942

则  $\Delta H_2$  = \_\_\_\_\_。

(2) 以 Pt 为催化剂, 在 1 L 密闭容器中充入 1 mol NH<sub>3</sub> 和 2 mol O<sub>2</sub>, 测得有关物质的量与温度的关系如图甲所示。



①该催化剂在高温时对反应\_\_\_\_\_ 更有利(填“ I ”或“ II ”)。

②520 °C 时, NH<sub>3</sub> 的转化率为\_\_\_\_\_。

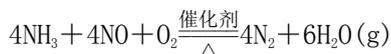
③520 °C 时, 反应 II 的平衡常数  $K$  = \_\_\_\_\_ (列出计算式即可)。

④下列说法正确的是\_\_\_\_\_ (填序号)。

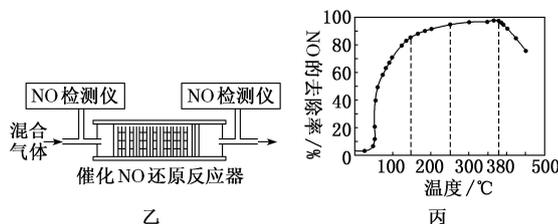
A. 工业上氨催化氧化生成 NO 时, 最佳温度应控制在 840 °C 左右

- B. 增大  $\text{NH}_3$  和  $\text{O}_2$  的初始投料比可以提高  $\text{NH}_3$  生成  $\text{NO}$  的平衡转化率  
 C. 投料比不变, 增加反应物的浓度可以提高  $\text{NH}_3$  生成  $\text{NO}$  的平衡转化率  
 D. 使用催化剂时, 可降低反应的活化能, 加快其反应速率

(3) 在有氧条件下, 新型催化剂 M 能催化  $\text{NH}_3$  与  $\text{NO}$  反应生成  $\text{N}_2$ 。反应原理为



① 将一定比例的  $\text{NO}$ 、 $\text{NH}_3$  与  $\text{O}_2$  的混合气体, 匀速通入装有催化剂 M 的反应器 (如图乙所示) 中发生上述反应, 反应相同时间  $\text{NO}$  的去除率随反应温度的变化曲线如图丙所示。



当反应温度高于  $380\text{ }^\circ\text{C}$  时,  $\text{NO}$  的去除率迅速下降的原因可能是\_\_\_\_\_ (填序号)。

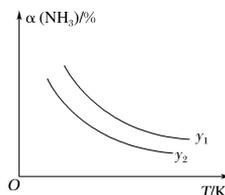
- A.  $\text{NO}$  百分含量减小 B. 副反应增多 C. 催化剂活性降低 D. 反应活化能增大

② 已知: 上述反应的平衡常数与温度的关系为  $\lg K = 5.08 + \frac{217}{T}$ 。若该反应在某温度下达到平衡, 升高温度时, 平衡\_\_\_\_\_ (填“正向”“逆向”或“不”)移动, 原因是\_\_\_\_\_; 逆反应速率将\_\_\_\_\_ (填“增大”“减小”或“不变”)。

7.  $\text{CO}_2$  是一种常用的化工原料。

I. 以  $\text{CO}_2$  与  $\text{NH}_3$  为原料可以合成尿素  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 。合成尿素的反应为  $2\text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{NH}_2)_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。

(1) 在不同温度及不同  $y$  值下合成尿素, 达到平衡时, 氨气转化率的变化情况如图所示。该反应的  $\Delta H$  \_\_\_\_\_ (填“>”、“<”或“=”, 下同)0, 若  $y$  表示压强, 则  $y_1$  \_\_\_\_\_  $y_2$ , 若  $y$  表示反应开始时的水碳比  $[\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{CO}_2)}]$ , 则  $y_1$  \_\_\_\_\_  $y_2$ 。

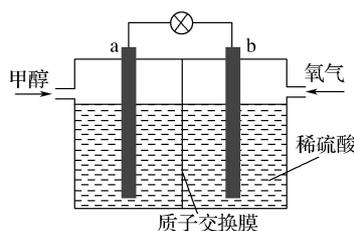


(2)  $T\text{ }^\circ\text{C}$  时, 若向容积为  $2\text{ L}$  的恒容密闭容器中加入  $3\text{ mol NH}_3$  和  $1\text{ mol CO}_2$ , 达到平衡时, 容器内压强为开始时的  $\frac{3}{4}$ 。若保持条件不变, 再向该容器中加入  $0.5\text{ mol CO}_2$  和  $1\text{ mol H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  的转化率将\_\_\_\_\_ (填“增大”、“减小”或“不变”)。

II.  $\text{CO}_2$  与  $\text{H}_2$  反应可用于生产甲醇。

(3) 已知氢气与甲醇的燃烧热分别为  $285.8\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、 $726.5\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 则  $\text{CO}_2$  与  $\text{H}_2$  反应产生液态甲醇与液态水的热化学方程式为\_\_\_\_\_。

(4) 如图是某甲醇燃料电池工作的示意图。



质子交换膜 (只有质子能够通过) 左右两侧溶液均为  $1\text{ L } 2\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$  溶液。电极 a 上发生的电极反应为\_\_\_\_\_, 当电池中有  $1\text{ mol e}^-$  发生转移时左右两侧溶液的质量之差为\_\_\_\_\_ g (假设反应物耗尽, 忽略气体的溶解)。

## 习题答案

1. (1) II  $0.75 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

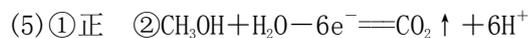
(2) ①ab ②< >  $4.32 \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$

2. (1)  $(2a+b-3c-d-e) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

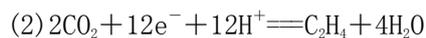
(2) 曲线 a

(3)  $0.0125 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  4

(4)  $T_3 > T_2 > T_1$  压强越大, CO 的体积分数越小,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  对应的 CO 的体积分数逐渐增大, 该反应为放热反应, 温度升高, 平衡向左移动, 则  $T_3 > T_2 > T_1$



3. (1)  $(a-b) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  764



(3) 该反应为放热反应, 升高温度, 平衡逆向移动, 从图中可知, 在相同投料比时,  $T_1$  温度下  $\text{CO}_2$  的平衡转化率大于  $T_2$  温度下  $\text{CO}_2$  的平衡转化率, 则  $T_1 < T_2$   $K_A = K_C > K_B$

(4)  $1.08 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$   $\frac{0.9 \times 2.7^3}{1.2^2 \times 0.6^6}$  (其他合理答案均可)



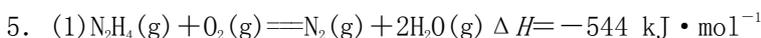
$\Delta H = +148 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(2)  $\frac{a}{2Vt_1}$  D (3)  $k_{\text{正}}/k_{\text{逆}}$

II. (1) C

(2)  $450^\circ\text{C}$  比  $300^\circ\text{C}$  的反应速率快, 比  $700^\circ\text{C}$  的副反应程度小; 该温度下丁烯转化成丙烯的转化率高; 该温度下催化剂的选择性最高; 该温度是催化剂的活性温度(合理即可)

(3) 压强增大, 生成乙烯的副反应平衡逆向移动, 丁烯浓度增大, 导致主反应的平衡正向移动, 从而使丙烯含量增大



(2) ①放热 ②  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

(3) ①= ②C ③3.2

6. (1)  $-1265 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(2) ①I ②60% ③  $K = \frac{0.2^2 \times 0.9^6}{0.4^4 \times 1.45^3}$  ④AD

(3) ①BC ②逆向 升高温度, 平衡常数减小, 平衡向逆反应方向移动(其他合理答案均可) 增大

7. (1) &lt; &gt; &lt;

(2) 减小

