

## 一、解答题

1. 化学反应伴随能量变化，获取反应能量变化有多条途径。

(1) 下列反应中，属于吸热反应的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

A  $\text{Na}_2\text{O}$  与水反应 B 甲烷的燃烧反应 C  $\text{CaCO}_3$  受热分解 D 锌与盐酸反应

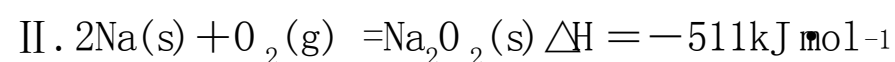
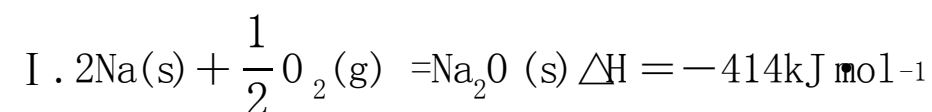
(2) 获取能量变化的途径

① 通过化学键的键能计算。已知：

化学键种类	H—H	O=O	O—H
键能(kJ/mol)	436	498	463.4

计算可得： $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$   $\Delta H =$  \_\_\_\_\_  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

② 通过盖斯定律可计算。已知在  $25^\circ\text{C}$ 、 $101\text{kPa}$  时：



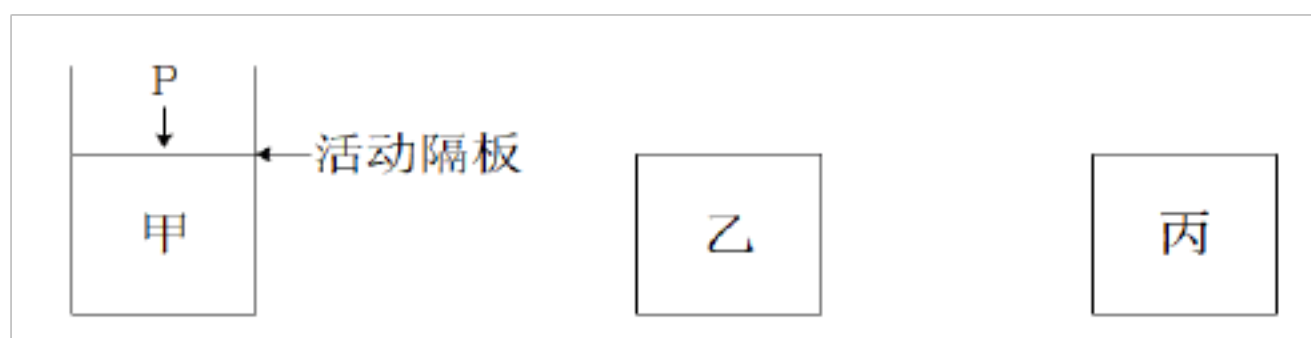
写出  $\text{Na}_2\text{O}_2$  与  $\text{Na}$  反应生成  $\text{Na}_2\text{O}$  的热化学方程式\_\_\_\_\_。

③ 利用实验装置测量。测量盐酸与  $\text{NaOH}$  溶液反应的热量变化的过程中，若取  $50\text{ mL } 0.50\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的盐酸，则还需加入\_\_\_\_\_ (填序号)。

A  $50\text{ mL } 0.50\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$  溶液 B  $50\text{ mL } 0.55\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$  溶液 C  $1.0\text{ g NaOH}$  固体

(3) 如图，有甲、乙、丙三个密闭容器，其中甲、乙容器与外界能进行热交换，丙不能。现向三个容器中各充入  $4\text{ mol SO}_2$  和  $2\text{ mol O}_2$ ，保持开始时条件完全相同，发生

$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$   $\Delta H = -196\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  一段时间后三容器中反应均达平衡。



① 达平衡时，三容器中反应放出的热量由多到少的顺序是\_\_\_\_\_。

② 平衡常数  $K_{(\text{甲})}$ 、 $K_{(\text{乙})}$ 、 $K_{(\text{丙})}$  的大小关系是\_\_\_\_\_。

③ 乙、丙相比，反应先达到平衡状态的是\_\_\_\_\_。

④ 平衡后某时刻，向三容器中都再充入  $4\text{ mol SO}_2$  和  $2\text{ mol O}_2$ ，重新平衡后，三容器内气体压强由大到小的顺序是\_\_\_\_\_。

答案：C  $-483.6$   $\text{Na}_2\text{O}_2(\text{s}) + 2\text{Na}(\text{s}) = 2\text{NaO}(\text{s})$   $\Delta H = -317\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  B 甲、乙、丙  $K_{(\text{甲})} = K_{(\text{乙})} > K_{(\text{丙})}$  丙 丙、乙、甲

【详解】

(1) A、B、D 均为放热反应，只有 C 为吸热反应，故答案为：C；

(2) ①  $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$   $\Delta H = (2 \times 436 + 498 - 463.4 \times 2)\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1} = -483.6\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  故答案为：-483.6

②由 I .  $2\text{Na}(s) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) = \text{Na}_2\text{O}(s) \Delta H = -414\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

II .  $2\text{Na}(s) + \text{O}_2(g) = \text{Na}_2\text{O}_2(s) \Delta H = -511\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

结合盖斯定律可知 I  $\times$  2 - II 得到  $\text{Na}_2\text{O}_2(s) + 2\text{Na}(s) = 2\text{Na}(s) \Delta H = -317\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 故答案为:

$\text{Na}_2\text{O}_2(s) + 2\text{Na}(s) = 2\text{Na}(s) \Delta H = -317\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;

③测定中和热, 因盐酸易挥发, 需加稍过量的 NaOH, 保证盐酸完全反应, 且固体溶解放热, 只有 B 合理, 故答案为: B;

(3)①由于甲容器为恒温恒压, 乙容器为恒温恒容, 丙容器为恒容绝热, 故随着反应  $2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(g)$  的进行, 达平衡时, 容器乙和丙的压强减小, 故相当于甲容器增大压强, 故平衡正向移动, 丙容器的温度升高, 平衡逆向移动, 故三容器中反应放出的热量由多到少的顺序是甲、乙、丙, 故答案为: 甲、乙、丙;

②化学平衡常数仅仅是温度的函数, 甲、乙两容器的温度相等, 丙容器为绝热容器, 随着反应进行, 容器温度升高, 平衡逆向移动, 平衡常数减小, 故平衡常数  $K_{(\text{甲})}$ 、 $K_{(\text{乙})}$ 、 $K_{(\text{丙})}$  的大小关系是  $K_{(\text{甲})} = K_{(\text{乙})} > K_{(\text{丙})}$ , 故答案为:  $K_{(\text{甲})} = K_{(\text{乙})} > K_{(\text{丙})}$ ;

③由于乙两容器的温度恒定, 丙容器为绝热容器, 随着反应进行, 容器温度升高, 反应速率加快, 先达到平衡, 故乙、丙相比, 反应先达到平衡状态的是丙, 故答案为: 丙;

④甲容器为恒温恒压, 乙容器为恒温恒容, 丙容器为恒容绝热, 故随着反应  $2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(g)$  的进行, 平衡后某时刻, 向三容器中都再充入  $4\text{mol SO}_2$  和  $2\text{mol O}_2$ , 容器乙和丙的压强增大, 故甲容器压强恒定, 故乙容器的压强增大, 丙容器的温度升高, 平衡逆向移动, 物质的量增多, 压强增大进一步明显, 故重新平衡后, 三容器内气体压强由大到小的顺序是丙、乙、甲, 故答案为: 丙、乙、甲。

2.  $\text{H}_2\text{O}_2$  是一种绿色消毒剂, 在公共卫生事业中发挥了重要的作用。已知反应:  $\text{H}_2\text{O}_2(l) = \text{H}_2\text{O}(l) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \Delta H = -98\text{kJ}/\text{mol}$   $K = 2.88 \times 10^{20}$ 。回答问题:

(1)  $\text{H}_2\text{O}_2$  的强氧化性使其对大多数致病菌和病毒具有消杀功能。用 3% 医用  $\text{H}_2\text{O}_2$  对传染病房喷洒消毒时, 地板上有气泡冒出, 该气体是\_\_\_\_\_。

(2) 纯  $\text{H}_2\text{O}_2$  可作为民用驱雹火箭推进剂。在火箭喷口铂网催化下,  $\text{H}_2\text{O}_2$  剧烈分解:  $\text{H}_2\text{O}_2(l) = \text{H}_2\text{O}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g)$ , 放出大量气体, 驱动火箭升空。每消耗  $34\text{g H}_2\text{O}_2$ , 理论上\_\_\_\_\_ (填“放出”或“吸收”热量\_\_\_\_\_  $98\text{kJ}$  填“大于”、“小于”或“等于”)

(3) 纯  $\text{H}_2\text{O}_2$  相对稳定, 实验表明在  $54^\circ\text{C}$  下恒温贮存 2 周, 浓度仍能保持 99%, 原因是  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解反应的\_\_\_\_\_ (填编号)。

a.  $\Delta H$  比较小      不够大      速率比较小      活化能比较大

(4) 铜单质不溶于稀硫酸, 向铜和稀硫酸的混合物中加入 3%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液, 可观察到铜溶解, 溶液变蓝, 实验室测得  $6.4\text{g}$  铜溶解放出  $24.258\text{kJ}$  热量, 写出该反应的热化学方程式\_\_\_\_\_。

(5) 向  $\text{H}_2\text{O}_2$  稀溶液中滴加数滴含  $\text{Mn}^{2+}$  的溶液, 即有气泡快速逸出, 反应中  $\text{Mn}^{2+}$  起\_\_\_\_\_ 作用。某组实验数据如下:

t/min	0	10	20	30	40	50
c(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/mol /L	0.70	0.49	0.35	0.25	0.17	0.12

0-30 min H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 反应的平均速率 v=\_\_\_\_\_mol / (Lmin) 。

答案: 氧气 放出 小于 cd Cu(s) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(aq) + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq) = CuSO<sub>4</sub>(aq) + 2H<sub>2</sub>O(l) ΔH = -242.58kJ/mol 催化剂 0.015mol/(Lmin)

【详解】

(1)双氧水消毒的时候会有气泡放出, 是由于双氧水分解生成的氢气的缘故, 故放出的气体是氧气, 故答案为: 氧气;

(2)过氧化氢的分解反应为放热反应, 根据题干, 34g 过氧化氢为 1mol, 1mol 过氧化氢完全分解生成水蒸气和氧气, 由于液态水变成水蒸气需要吸收一部分能量, 故生成水蒸气时放出的热量小于生成液态水使放出的热量; 故答案为: 放出; 小于;

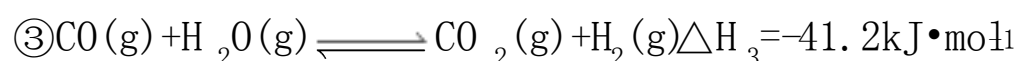
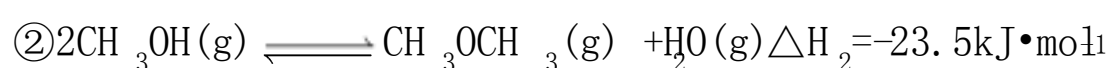
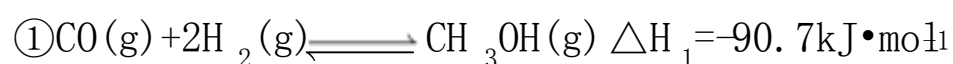
(3)实验表明在 54℃下恒温贮存 2 周, 浓度仍能保持 99%, 说明在 54℃下过氧化氢的分解速率较慢, 产生较慢反应速率的原因是过氧化氢分解过程中的需要的能量较高, 化学反应活化能较大, 而 54℃的温度所提供的能量较少, 故反应速率较慢, 选 cd;

(4)6.4g铜为 0.1mol, 热化学方程式为 Cu(s) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(aq) + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq) = CuSO<sub>4</sub>(aq) + 2H<sub>2</sub>O(l) ΔH = -242.58kJ/mol 故答案为: Cu(s) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(aq) + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq) = CuSO<sub>4</sub>(aq) + 2H<sub>2</sub>O(l) ΔH = -242.58kJ/mol

(5)向 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 稀溶液中滴加数滴含 Mn<sup>2+</sup>的溶液, 即有气泡快速逸出, 说明 Mn<sup>2+</sup>的加入加快双氧水的分解速率, 但 Mn<sup>2+</sup>本身没有发生任何变化, 故 Mn<sup>2+</sup>起到了催化剂的作用; 起始时双氧水的浓度为 0.7mol/L, 30min 时双氧水的浓度为 0.25mol/L, 其浓度变化量 Δc = 0.7mol/L - 0.25mol/L = 0.45mol/L 则这段时间内双氧水的反应速率

$$v = \frac{\Delta c}{t} = \frac{0.45\text{mol/L}}{30\text{min}} = 0.015\text{mol}/(\text{Lmin}), \text{ 故答案为: 催化剂; } 0.015\text{mol}/(\text{L min})$$

3. 二甲醚(DME) 被誉为“21世纪的清洁燃料”。由合成气制备二甲醚的主要原理如下:



回答下列问题:

(1)则反应 3H<sub>2</sub>(g) + 3CO(g)  $\rightleftharpoons$  CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>(g) + CO<sub>2</sub>(g) 的 ΔH = \_\_\_\_\_kJ·mol<sup>-1</sup>。

(2)反应②达平衡后采取下列措施, 能提高 CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub> 产率的有 \_\_\_\_\_ (填字母代号)。

A. 加入 CH<sub>3</sub>OH      B 升高温度      .C 增大压强      .D 移出 H<sub>2</sub>O      使用催化剂

(3)以下说法能说明反应 3H<sub>2</sub>(g) + 3CO(g)  $\rightleftharpoons$  CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>(g) + CO<sub>2</sub>(g) 达到平衡状态的有 \_\_\_\_\_。

(填字母代号)

A. H<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的浓度之比为 3: 1

B. 单位时间内断裂 3 个 H—H 同时断裂 1 个 C=O

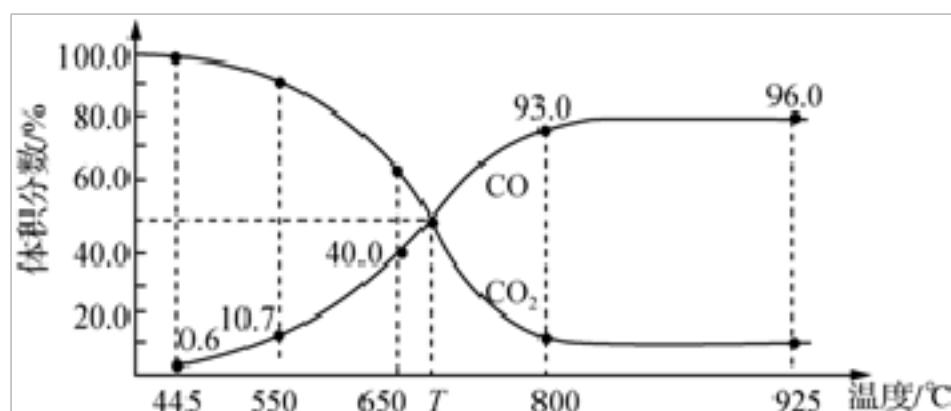
C. 恒温恒容条件下, 气体的密度保持不变

D. 恒温恒压条件下, 气体的平均摩尔质量保持不变

E.绝热体系中，体系的温度保持不变

(4)一定量的  $\text{CO}_2$  与足量的碳在体积可变的恒压密闭容器中反应：

$\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$ 。平衡时，体系中气体体积分数与温度的关系如图所示：



已知：气体分压( $p_{\text{分}}$ )=气体总压( $p_{\text{总}}$ ) $\times$ 体积分数。

①650°C时，反应达平衡后  $\text{CO}_2$  的转化率为\_\_%。

②T°C时，平衡后若充入  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$  各 1mol 的混合气体，平衡\_\_(填“正移”“逆移”或“不移动”)

③925°C时，用平衡分压代替平衡浓度表示的化学平衡常数  $K_{p-p_{\text{总}}}$ 。

答案：-246.1 D DE 25 不移动 23.04

【详解】

(1)根据盖斯定律  $2\times①+②+③$  得出  $3\text{H}_2(\text{g})+3\text{CO}(\text{g})\rightleftharpoons\text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g})+\text{CO}_2(\text{g})$  的  $\Delta H = 2\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = [2\times(-90.7) - 23.5 - 41.2] \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} = -246.1 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

(2)A. 反应②中加入  $\text{CH}_3\text{OH}$ ，相当于增大压强，由于该反应是反应前后等体积的反应，增大压强，化学平衡不移动，为等效平衡，则  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  产率不变，A 错误；

B. 反应②的正反应为放热反应，升高温度化学平衡向吸热的逆反应方向移动，则  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  产率会降低，B 错误；

C. 反应②是反应前后气体体积不变的反应，增大压强平衡不移动，则  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  产率不变，C 错误；

D. 移出  $\text{H}_2\text{O}$ ，生成物浓度减小，化学平衡正向移动， $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  产率增大，D 正确；

E. 使用催化剂，化学平衡不移动，则  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  产率不变，E 错误；

故答案为 D；

(3) $3\text{H}_2(\text{g})+3\text{CO}(\text{g})\rightleftharpoons\text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g})+\text{CO}_2(\text{g})$  的正反应为气体体积缩小的放热反应，

A. 反应过程中可能出现  $\text{H}_2$  和  $\text{CO}_2$  的浓度之比为 3:1，但此时正逆反应速率不一定相等，无法判断平衡状态，A 错误；

B.  $\text{CO}_2$  分子中含有 2 个 C=O 双键，单位时间内断裂 3 个 H-H 同时产生 2 个 C=O 键表面正逆反应速率相等，断裂 1 个 C=O，表示反应正向进行，说明没有达到平衡状态，B 错误；

C. 恒温恒容条件下，混合气体的密度为定值，不能根据密度判断平衡状态，C 错误；

D. 混合气体的质量不变，混合气体的物质的量为变量，则气体的平均摩尔质量为变量，当气体的平均摩尔质量保持不变时，表明该反应达到平衡状态，D 正确；

E. 该反应为放热反应，绝热体系中，体系的温度为变量，当体系的温度保持不变时，表明正逆反应速率相等，该反应达到平衡状态，E 正确；

故答案为 DE；

(4)①由图可知，650℃时，反应达平衡后CO的体积分数为40%，设开始加入的二氧化碳为1mol， $\Delta n(\text{CO}_2)$ 为x mol，则生成的CO为2x mol，剩余的CO<sub>2</sub>为(1-x)mol，所以有

$$\frac{2x}{1-x+2x} \times 100\% = 40\% , \text{解得 } x=0.25\text{mol}, \text{所以CO}_2\text{的转化率为} \frac{0.25\text{mol}}{1\text{mol}} \times 100\% = 25\% ;$$

②据图可知T℃时，平衡时CO和CO<sub>2</sub>的体积分数相等，所以恒压充入等量的CO和CO<sub>2</sub>之后仍是平衡状态，平衡不移动；

③根据图示可知，T℃时，CO和CO<sub>2</sub>的体积分数分别为96%、4%，则用平衡分压代替平衡浓度表示的化学平衡常数

$$K_p = \frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}} = \frac{0.96p_{\text{总}}^2}{0.04p_{\text{总}}} = 23.04p_{\text{总}}$$

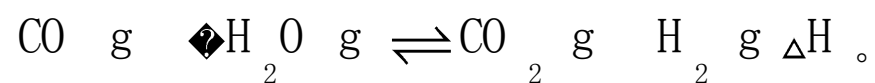
### 【点睛】

当反应达到平衡状态时，正逆反应速率相等，各物质的浓度、百分含量不变，以及由此衍生的一些量也不发生变化，解题时要注意，选择判断的物理量，随着反应的进行发生变化，当该物理量由变化到定值时，说明可逆反应到达平衡状态。

4. 化学反应速率、化学平衡理论可通过大量化学实验进行验证，回答下列相关问题。

(1)Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> (橙色) 在溶液中与CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (黄色) 存在一平衡体系，平衡体系的离子方程式\_\_\_\_\_，若向体系中加入一定量70%的硫酸，溶液呈\_\_\_\_\_色。

(2)CO是煤气的主要成分，可与水蒸气反应生成氢气：



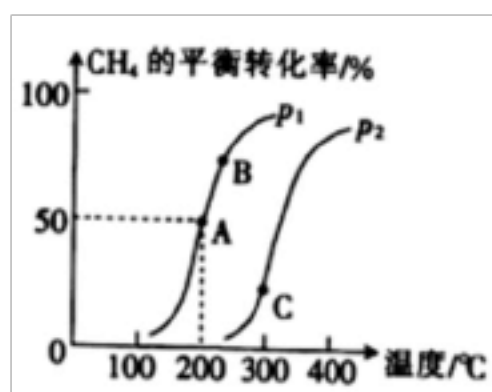
查阅资料得出相关数据如下：

温度 / C	400	500
平衡常数 K	9	5.3

①该反应升高到一定温度时，反应将不能正向进行，由此判断该反应的 $\Delta S$ \_\_\_\_(填“>”或“<”)。

②在容积为10L的密闭容器中通入0.1mol CO(g)和0.1mol H<sub>2</sub>O(g)发生反应，在400℃时反应达到平衡，此时CO(g)的转化率为\_\_\_\_\_。

(3)将2mol CH<sub>4</sub>和4mol H<sub>2</sub>O(g)通入容积为10L的恒容密闭容器中，发生反应：CH<sub>4</sub>(g) + H<sub>2</sub>O(g)  $\rightleftharpoons$  CO(g) + 3H<sub>2</sub>(g)。CH<sub>4</sub>的平衡转化率与温度、压强的变化关系如图所示。



①压强：p<sub>1</sub>\_\_\_\_p<sub>2</sub> (填“大于”“小于”或“等于”)。

②A、B、C三点的平衡常数 $K_A$ 、 $K_B$ 、 $K_C$ 从大到小关系是\_\_\_\_\_。

答案： $\text{CrO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$  橙色 < 75% 小于  $K_C > K_B > K_A$

【详解】

(1)

$\text{CrO}_2^{2+}$  在溶液中与  $\text{CrO}_4^{2-}$  存在一平衡体系，其反应的离子方程式为

$\text{CrO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ ，添加70%的硫酸时，平衡逆向移动，溶液显橙色，故

答案为： $\text{CrO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ ；橙色；

(2)①由表格数据可知，温度升高，K值减小，说明该反应是放热反应， $\Delta H < 0$ ，该反应升高到一定温度时，反应将不能正向进行，说明当T较大时， $\Delta G = \Delta H - T\Delta S > 0$ ，则 $\Delta S < 0$ ，故答案为：<；

②在容积为10L的密闭容器中通入0.1mol CO g 和0.1mol H<sub>2</sub>O g 发生反应，在400℃时反应达到平衡，列出三段式：

	CO g	+ H <sub>2</sub> O g	$\rightleftharpoons$	CO <sub>2</sub> g	+ H <sub>2</sub> g
起始 mol/L	0.01	0.01		0	0
转化 mol/L	x	x		x	x
平衡 mol/L	0.01-x	0.01-x		x	x

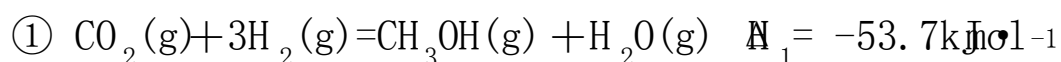
$K = \frac{x^2}{(0.01-x)(0.01-x)} = 9$ ，解得  $x = 0.0075 \text{ mol/L}$ ，此时CO g 的转化率为

$\frac{0.0075 \text{ mol/L}}{0.01 \text{ mol/L}} \times 100\% = 75\%$ ，故答案为：75%；

(3)①反应  $\text{CH}_4 \text{ g} + \text{H}_2\text{O} \text{ g} \rightleftharpoons \text{CO} \text{ g} + 3\text{H}_2 \text{ g}$  是气体体积增大的反应，温度不变时，增大压强平衡逆向移动，CH<sub>4</sub>的平衡转化率减小，由图像可知， $P_1$  小于  $P_2$ ，故答案为：小于；

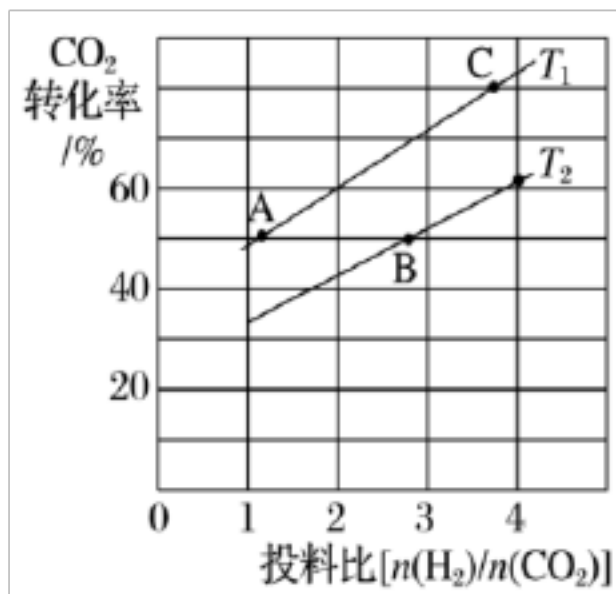
②由图像可知，温度升高甲烷的平衡转化率增大，平衡正向移动，该反应是吸热反应，温度越高，平衡常数越大；温度  $T_A < T_B < T_C$ ，平衡常数  $K_A$ 、 $K_B$ 、 $K_C$  从大到小关系是： $K_C > K_B > K_A$ ，故答案为： $K_C > K_B > K_A$ 。

5. 二氧化碳的捕集、利用是我国能源领域的一个重要战略方向。工业上用CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>反应合成甲醚。已知：



(1) 反应  $2\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ mol}^{-1}$ 。

(2) 在某压强下，合成甲醚的反应在不同温度、不同投料比时，CO<sub>2</sub>的转化率如图所示。T<sub>1</sub>温度下，将4mol CO<sub>2</sub>和8mol H<sub>2</sub>充入2L的密闭容器中，10min后反应达到平衡状态，则0~10min内的平均反应速率  $v(\text{CH}_3\text{OCH}_3) = \underline{\hspace{2cm}}$ ； $K_A$ 、 $K_B$ 、 $K_C$ 三者之间的大小关系为\_\_\_\_\_。



答案:  $-130.8$   $0.06\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$   $K_A=K_C>K_B$

【详解】

(1) 根据盖斯定律: ① $\times$ 2 - ② 可得目标方程式, 故  $\Delta H_3 = 2\Delta H_1 - \Delta H_2 = -130.8\text{kJ/mol}$

(2) 起始投料比为  $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO}_2)} = 2$ , 温度为  $T_1$ , 对照图像可知平衡时  $\text{CO}_2$  的转化率为 60%,

即反应的  $\text{CO}_2$ :  $n(\text{CO}_2) = 4\text{mol} \times 60\% = 2.4\text{mol}$ ,  $v(\text{CO}_2) = \frac{2.4\text{mol}/2\text{L}}{10\text{min}} = 0.12\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$ , 由

反应速率之比等于化学计量数之比得:  $v(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{1}{2} v(\text{CO}_2) = 0.06\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$ ;

由于平衡常数  $K$  只与温度有关, 故  $K_A=K_C$ , 由于正反应为放热反应, 故降温有利于平衡正向移动, 提高  $\text{CO}_2$  转化率,  $K$  增大, 即相同条件下,  $\text{CO}_2$  转化率高对应温度低, 故  $T_1 < T_2$ , 所以  $K(T_1) > K(T_2)$ , 即  $K_A=K_C > K_B$ 。

6. 2018年, 美国退出了《巴黎协定》实行再工业化战略, 而中国却加大了环保力度, 生动诠释了我国负责任的大国形象。近年我国大力加强温室气体  $\text{CO}_2$  催化氢化合成甲醇技术的工业化量产研究, 实现可持续发展。

(1) 已知:  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H_1 = +41.1\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

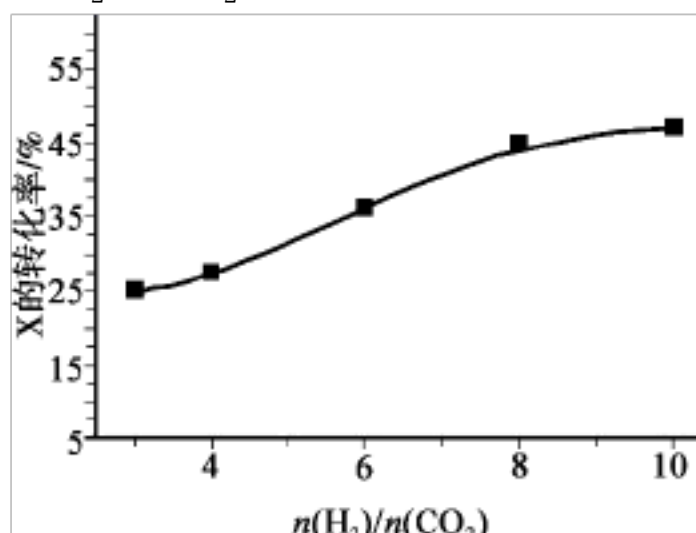
$\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \quad \Delta H_2 = -90.0\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

写出  $\text{CO}_2$  催化氢化合成甲醇的热化学方程式: \_\_\_\_\_。

(2) 为提高  $\text{CH}_3\text{OH}$  产率, 理论上应采用的条件是\_\_\_\_\_ (填字母)。

a. 高温高压    低温低压    高温低压    低温高压

(3)  $250^\circ\text{C}$ 、在恒容密闭容器中由  $\text{CO}_2(\text{g})$  催化氢化合成  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ , 下图为不同投料比  $[n(\text{H}_2)/n(\text{CO}_2)]$  时某反应物 X 平衡转化率变化曲线。



反应物 X 是\_\_\_\_\_ (填“CO<sub>2</sub>”或“H<sub>2</sub>)”。

(4) 250C、在体积为 2.0L 的恒容密闭容器中加入 6mol H<sub>2</sub>、2mol CO<sub>2</sub> 和催化剂, 10min 时反应达到平衡, 测得 c(CH<sub>3</sub>OH) = 0.75 mol L<sup>-1</sup>。

① 前 10min 的平均反应速率 v(H<sub>2</sub>)=\_\_\_\_\_ mol L<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>。

② 催化剂和反应条件与反应物转化率和产物的选择性有高度相关。控制相同投料比和相同反应时间, 四组实验数据如下:

实验编号	温度 (K)	催化剂	CO <sub>2</sub> 转化率 (%)	甲醇选择性 (%)
A	543	Cu/ZnO 纳米棒	12.3	42.3
B	543	Cu/ZnO 纳米片	11.9	72.7
C	553	Cu/ZnO 纳米棒	15.3	39.1
D	553	Cu/ZnO 纳米片	12.0	70.6

根据上表所给数据, 用 CO<sub>2</sub> 生产甲醇的最优选项为\_\_\_\_\_ (填字母)。

答案: 3H<sub>2</sub> (g)+CO<sub>2</sub> (g)⇌CH<sub>3</sub>OH(g)+H<sub>2</sub>O(g) ΔH=-48.9 kJ·mol<sup>-1</sup> d CO<sub>2</sub> 0.225 B

【详解】

(1) 已知: CO<sub>2</sub>(g)+H<sub>2</sub>(g)⇌H<sub>2</sub>O(g)+CO(g) ΔH<sub>1</sub>=+41.1 kJ·mol<sup>-1</sup>①

CO(g)+2H<sub>2</sub>(g)⇌CH<sub>3</sub>OH(g) ΔH<sub>2</sub>=-90.0 kJ·mol<sup>-1</sup> ②

根据盖斯定律可知, ①+②可得 CO<sub>2</sub> 催化氢化合成甲醇的化学方程式为 3H<sub>2</sub> (g)+CO<sub>2</sub> (g)⇌CH<sub>3</sub>OH(g)+H<sub>2</sub>O(g), 对应的焓变 ΔH=ΔH<sub>1</sub>+ΔH<sub>2</sub>=+41.1 kJ·mol<sup>-1</sup>+(-90.0 kJ·mol<sup>-1</sup>)=-48.9 kJ·mol<sup>-1</sup>, 故对应的热化学方程式为: 3H<sub>2</sub> (g)+CO<sub>2</sub> (g)⇌CH<sub>3</sub>OH(g)+H<sub>2</sub>O(g) ΔH=-48.9 kJ·mol<sup>-1</sup>;

(2) 对于反应 3H<sub>2</sub>(g)+CO<sub>2</sub>(g)⇌CH<sub>3</sub>OH(g)+H<sub>2</sub>O(g) ΔH=-48.9 kJ·mol<sup>-1</sup>, 是气体分子数减小的放热反应, 则为提高 CH<sub>3</sub>OH 产率, 使平衡向正反应方向移动, 可采用低温高压的措施, d 项符合题意, 故答案为: d;

(3) 同一反应, 增加其中一种反应物的浓度, 能提高另一种反应物的转化率, 图示中横坐标增大  $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO}_2)}$ , 相当于 c(CO<sub>2</sub>) 不变时, 增大 c(H<sub>2</sub>), 平衡正向移动, 使二氧化碳的转化率增大, 而氢气的转化率降低, 所以 X 为 CO<sub>2</sub>, 故答案为: CO<sub>2</sub>;

(4) 250C、在体积为 2.0 L 的恒容密闭容器中加入 6mol H<sub>2</sub>、2mol CO<sub>2</sub> 和催化剂, 10 min 时反应达到平衡, 测得 c(CH<sub>3</sub>OH) = 0.75 mol L<sup>-1</sup>, 列出三段式:

		g + 3H <sub>2</sub> (g) ⇌ CH <sub>3</sub> OH (g) + H <sub>2</sub> O (g)			
起始 mol/L	1	3	0	0	
转化 mol/L	0.75	2.25	0.75	0.75	
平衡 mol/L	0.25	0.75	0.75	0.75	

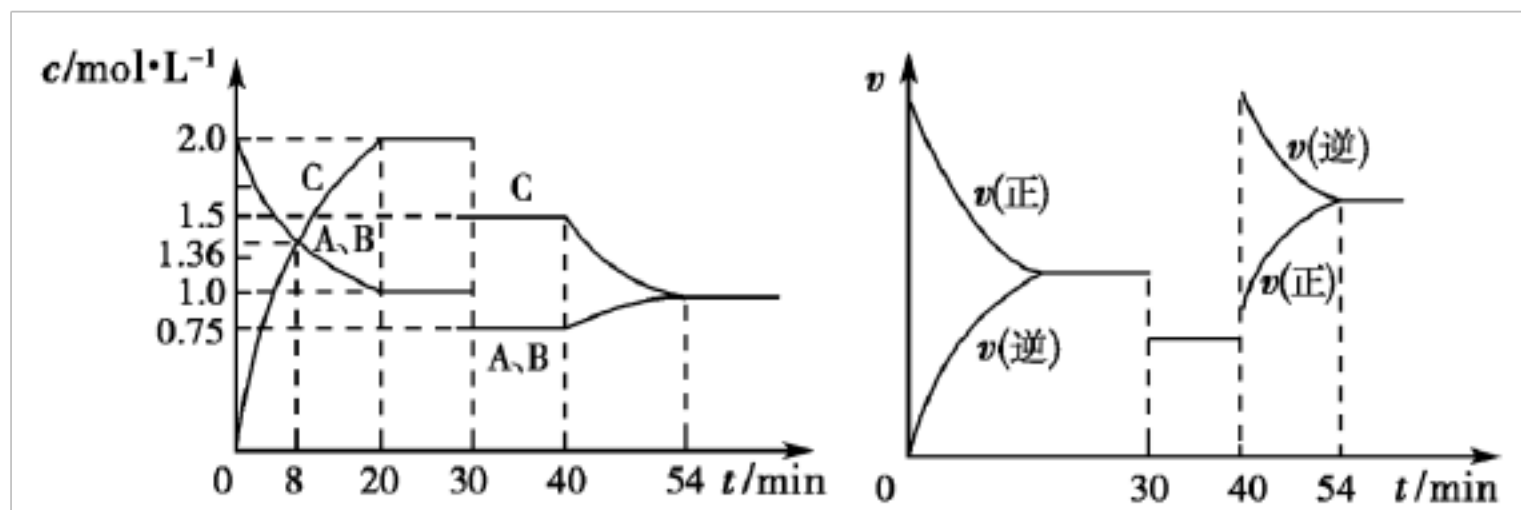
前 10min 的平均反应速率 v(H<sub>2</sub>)= $\frac{c}{t} = \frac{2.25\text{mol/L}}{10\text{min}} = 0.225\text{mol L}^{-1}\text{min}^{-1}$ , 故答案为:



0.225

③选择性是指产物的专一性，在一个化学反应中若有多个产物，其中某一产物是目标产物，若这个物质的产率越高，说明该反应的选择性越好。观察四组数据，相比之下，BD的选择性很高，B的CO<sub>2</sub>转化率与D不相上下，但是B的甲醇选择性高出了不少，故最佳选项为B。

7. 体积为a升密闭容器中充入等物质的量的A气体和B气体，一定温度下发生反应，生成C气体，达到平衡后，在不同的时间段，分别改变反应的一个条件，测得容器中各物质的物质的量浓度、反应速率分别随时间的变化如图所示：回答下列问题



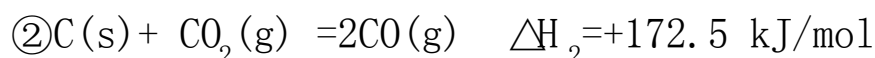
(1)反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

(2)54 min时A的转化率\_\_\_\_\_30 min时A的转化率(填< >或=)

(3)40 min时改变的条件是\_\_\_\_\_。

(4)25min时化学平衡常数  $K =$  \_\_\_\_\_

(5)我国是个钢铁大国，钢铁产量为世界第一，高炉炼铁用到CO，高炉内可能发生的反应：



C(s)不充分燃烧生成CO(g)的热化学方程式为\_\_\_\_\_。

答案： $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Z}(\text{g})$  < 升高温度 4.0  $2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g}) \Delta H = -221 \text{ kJ/mol}$

【详解】

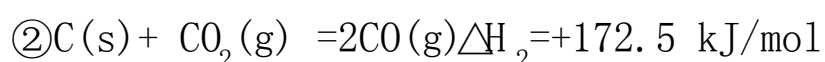
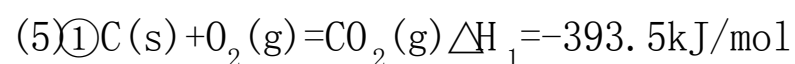
(1)由左边图可知A、B、C的化学计量数之比=  $(2.0-1.0) : (2.0-1.0) : (2.0-0) = 1:1:2$  反应在20min第一次平衡，则反应的化学方程式为  $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Z}(\text{g})$ ，故答案为： $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Z}(\text{g})$ ；

(2)由右图可知30min时改变条件后，平衡未移动，直至40min，即0min~40min，平衡未移动，40min~54min，正反应速率小于逆反应速率，说明平衡逆向移动，A的转化率减小，则54 min时A的转化率<30 min时A的转化率，故答案为：<；

(3)40min~54min，A、B的浓度增大，C的浓度减小，则40min~54min平衡逆向移动，且40min改变条件时，A、B、C的浓度分别和40min前连续，则改变的条件为温度或压强，由于该反应前后气体总物质的量不变，改变压强平衡不会移动，则改变的条件为温度，40min时正逆反应速率增大，说明是升高温度，故答案为：升高温度；

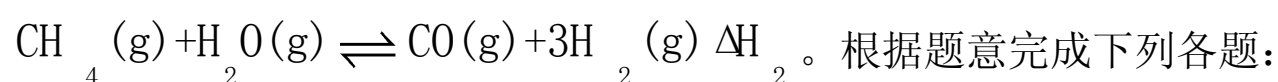
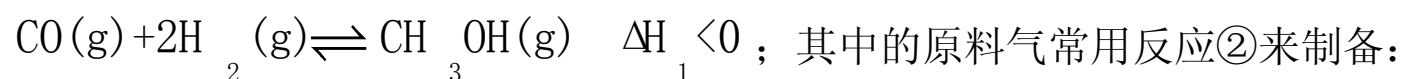
(4)由左图可知，25min时A、B、C的浓度分别为  $1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，则

25min时化学平衡常数  $K = \frac{(2.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})^2}{1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \cdot 1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}} = 4.0$ ，故答案为：4.0



①+②得： $2C(s)+O_2(g)=2CO(g)\Delta H=(-393.5kJ/mol)+(+172.5kJ/mol)=-221kJ/mol$ 故答案为： $2C(s)+O_2(g)=2CO(g)\Delta H=-221kJ/mol$

8. 在恒温恒容的密闭容器中，工业上常用反应①制备甲醇：



(1)判断反应①达到平衡状态的标志是\_\_\_\_\_ (填字母)。

a. CO 体积分数保持不变

b. CO 和  $CH_3OH$  浓度相等

c. 容器中气体的压强不变

d.  $CH_3OH$  的生成速率与 CO 的消耗速率相等

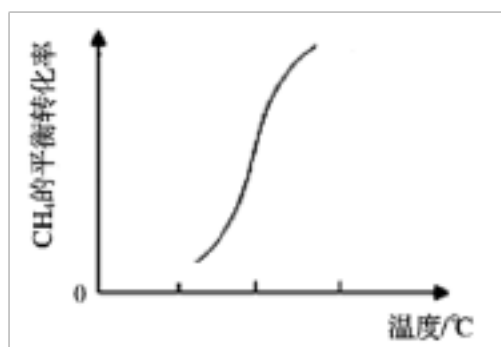
e. 容器中混合气体的密度保持不变

(2)欲提高反应① CO 中的转化率，下列措施可行的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

a. 向装置中再充入  $N_2$  升高温度

c. 改变反应的催化剂 向装置中再充入  $H_2$

(3)一定条件下，反应②中  $CH_4$  的平衡转化率与温度的关系如图所示。



则  $\Delta H_2$  \_\_\_\_\_ 0 (填“<”“>或“=”) 在  $T^\circ C$  时的 1L 密闭容器中，充入 1mol  $CH_4$  和 3mol  $H_2O(g)$ ，发生反应②，经过 5min 达到平衡，此时  $CH_4$  的转化率为 50%，则从开始到平衡， $H_2$  的平均反应速率为\_\_\_\_\_， $T^\circ C$  时该反应的平衡常数为\_\_\_\_\_。

(4)若向此 1L 密闭容器中，加入 1mol  $CH_4$ 、5mol  $H_2O(g)$ 、1mol CO 和 3mol  $H_2$ ，发生反应②，若温度仍为  $T^\circ C$ ，此时  $v(正)$  \_\_\_\_\_  $v(逆)$  填“<”“>或“=”) 若改变反应温度，达到新平衡时，\_\_\_\_\_ mol  $<n(H_2O)<$  \_\_\_\_\_ mol。

答案：ac d > 0.3mol/L min 1.35 < 4 6

### 【详解】

(1)恒温恒容的容器内进行反应  $CO(g)+2H_2(g)\rightleftharpoons CH_3OH(g)$

a. 平衡状态时各组分的含量不变，CO 体积分数保持不变，证明反应达到平衡，故 a 符合题意；

b. CO 和  $CH_3OH$  的平衡浓度由甲醇和一氧化碳的起始量和消耗量决定，容器中甲醇浓度与 CO 浓度相等不能证明反应达到平衡，故 b 不符合题意；

c. 该反应为反应前后是气体体积减小的反应，容器中气体的压强不变，说明正逆反应速率相等，反应达到平衡状态，故 c 符合题意；

d.  $\text{CH}_3\text{OH}$  的生成速率与  $\text{CO}$  的消耗速率都是正反应速率，不能说明正逆反应速率相等，不能说明反应达到平衡，故 d 不符合题意；

e. 混合气体的密度 =  $\frac{\text{气体质量}}{\text{气体体积}}$ ，反应过程中气体质量守恒，气体的质量不变，恒温恒容的容器，容器体积不变，则密度始终不变，不能证明反应达到平衡，故 e 不符合题意；  
答案选 ac；

(2)a 向装置中再充入  $\text{N}_2$ ，恒温恒容条件下，体系总压增大，分压不变，平衡不移动， $\text{CO}$  转化率不变，故 a 不符合题意；

b. 反应是放热反应，升高温度平衡逆向移动， $\text{CO}$  转化率减小，故 b 不符合题意；

c. 改变反应的催化剂，反应速率改变，但不能改变化学平衡， $\text{CO}$  转化率不变，故 c 不符合题意；

d. 向装置中再充入  $\text{H}_2$ ，平衡正向移动， $\text{CO}$  转化率增大，故 d 符合题意；

答案选 d；

(3) 图象变化分析甲烷转化率随温度升高增大，说明平衡正向进行，正反应是吸热反应， $\Delta H_2 > 0$ ，在  $T^\circ\text{C}$  时的 1L 密闭容器中，充入 1mol  $\text{CH}_4$  和 3mol  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ，发生反应②，经过 5min 达到平衡，此时  $\text{CH}_4$  的转化率为 50%，则

	$\text{CH}_4$	$+\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$	$\text{CO}$	$+3\text{H}_2$
	g	g		g	g
始	mol	1		0	0
变	mol	0.5		0.5	1.5
平	mol	0.5		0.5	1.5

$\text{H}_2$  的平均反应速率 =  $\frac{1.5\text{mol}}{1\text{L} \cdot 5\text{min}} = 0.3\text{mol/L} \cdot \text{min}$ ，容器的体积为 1L，平衡常数  $K =$

$$\frac{1.5^3 \cdot 0.5}{2.5 \cdot 0.5} = 1.35 (\text{mol/L});$$

(4) 若向此 1L 密闭容器中，加入 1mol  $\text{CH}_4$ 、5mol  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 、1mol  $\text{CO}$  和 3mol  $\text{H}_2$ ，发生反应

②，若温度仍为  $T^\circ\text{C}$ ，平衡常数  $K = 1.35$ ， $Q_c = \frac{1 \cdot 3^3}{1 \cdot 5} = 5.4 > 1.35$  所以反应逆向进行， $v_{(\text{正})}$

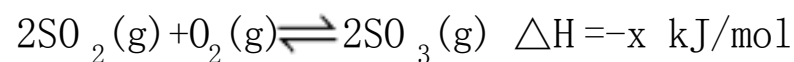
$< v_{(\text{逆})}$ ，若改变反应温度，达到新平衡时，

	$\text{CH}_4$	$+\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$	$\text{CO}$	$+3\text{H}_2$
	g	g		g	g
初始量	mol	1		5	1
若反应完全向右进行	mol	0		4	2
若反应完全向左进行	mol	2		6	0

得到水蒸气的物质的量介于 4-6 间。

9. (1)甲烷是一种高效清洁的新能源, 0.25 mol甲烷完全燃烧生成液态水放出热量 222.5 kJ, 则甲烷燃烧的热化学方程式为: \_\_\_\_\_。

(2)已知:



则反应  $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$  的  $\Delta H =$  \_\_\_\_\_ kJ/mol

(3)已知:  $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -483.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  查阅文献资料, 化学键的键能如下表:

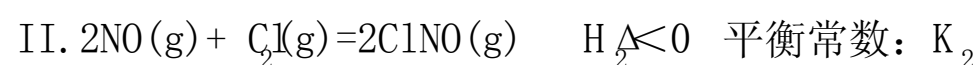
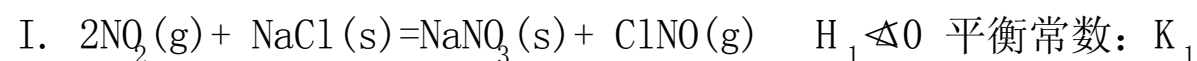
化学键	H—H 键	N≡N 键	N—H 键
E/(kJ · mol <sup>-1</sup> )	436	946	391

①氨分解反应  $\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g})$  的活化能  $E_{a1} = 300 \text{ kJ/mol}$ ,

则合成氨反应  $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g})$  的活化能  $E_{a2} =$  \_\_\_\_\_ kJ/mol.

②氨气完全燃烧生成  $\text{N}_2(\text{g})$  和气态水的热化学方程式为: \_\_\_\_\_。

(4)研究氮氧化物与悬浮的大气中海盐粒子的相互作用时, 涉及如下反应:



则反应  $4\text{NO}_2(\text{g}) + 2\text{NaCl}(\text{s}) = 2\text{NaNO}_3(\text{s}) + 2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  的

$\Delta H =$  \_\_\_\_\_ (用  $\Delta H_1$ 、 $\Delta H_2$  表示); 平衡常数为  $K =$  \_\_\_\_\_ (用  $K_1$ 、 $K_2$  表示)。

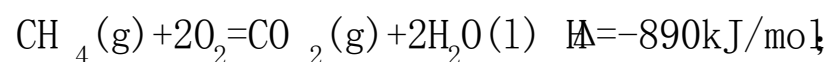
答案:  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -890 \text{ kJ/mol}$       $\frac{y}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -\frac{y}{2} \text{ kJ/mol}$

$2\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -1266.8 \text{ kJ/mol}$       $\frac{K_2}{K_1}$

【详解】

(1)0.25 mol甲烷完全燃烧生成液态水放出热量 222.5 kJ 则 1mol 甲烷完全燃烧生成液态水

放出的热量为  $\frac{222.5 \text{ kJ}}{0.25 \text{ mol}} = 890 \text{ kJ/mol}$ , 则甲烷燃烧的热化学方程式



(2)①  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -x \text{ kJ/mol}$  ②  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -y$

kJ/mol,  $\frac{②}{2} - \frac{①}{2}$  得  $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g}) \quad \Delta H = \frac{y-x}{2} \text{ kJ/mol}$

(3)①根据键能数据, 可求出  $\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g})$  的  $\Delta H = 3 \times 391 \text{ kJ/mol} -$

$(\frac{1}{2} \times 946 \text{ kJ/mol} + \frac{3}{2} \times 436 \text{ kJ/mol}) = 46 \text{ kJ/mol}$   $\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g})$  的活化能

$E_{a1}=300\text{kJ/mol}$ , 则其逆反应  $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g})+\frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g})\rightleftharpoons\text{NH}_3(\text{g})$  的活化能  $E_{a2}=E_{a1}-\Delta H=300\text{kJ/mol}-46\text{kJ/mol}=254\text{kJ/mol}$

②把反应  $\text{NH}_3(\text{g})\rightleftharpoons\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g})+\frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g})$  的系数扩大 4 倍,  $\Delta H=+46\text{kJ/mol}\times 4=+184\text{kJ/mol}$ , 把反应  $2\text{H}_2(\text{g})+\text{O}_2(\text{g})=2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的系数扩大 3 倍,  $\Delta H=-483.6\text{kJ/mol}\times 3=-1450.8\text{kJ/mol}$  把两反应相加, 得总反应:  $4\text{NH}_3(\text{g})+3\text{O}_2(\text{g})\rightleftharpoons 2\text{N}_2(\text{g})+6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ , 其  $\Delta H=+184\text{kJ/mol}-1450.8\text{kJ/mol}=-1266.8\text{kJ/mol}$  故答案为:  $4\text{NH}_3(\text{g})+3\text{O}_2(\text{g})\rightleftharpoons 2\text{N}_2(\text{g})+6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H=-1266.8\text{kJ/mol}$

(4) I.  $2\text{NO}(\text{g})+\text{NaCl}(\text{s})=\text{NaNO}_3(\text{s})+\text{ClNO}(\text{g}) \quad \Delta H_1$ , II.  $2\text{NO}(\text{g})+\text{Cl}_2(\text{g})=2\text{ClNO}(\text{g}) \quad \Delta H_2$ , I  $\times 2$ -II 得:  $4\text{NO}_2(\text{g})+2\text{NaCl}(\text{s})=2\text{NaNO}_3(\text{s})+2\text{NO}(\text{g})+\text{Cl}_2(\text{g})$ ,  $\Delta H=2\Delta H_1-\Delta H_2$ ;  $2\text{NO}_2(\text{g})+$

$\text{NaCl}(\text{s})=\text{NaNO}_3(\text{s})+\text{ClNO}(\text{g})$  的  $K_1=\frac{c(\text{ClNO})}{c^2(\text{NO})}$ ,  $2\text{NO}(\text{g})+\text{Cl}_2(\text{g})=2\text{ClNO}(\text{g})$  的

$K_2=\frac{c^2(\text{ClNO})}{c^2(\text{NO})c(\text{Cl}_2)}$ , 所以  $4\text{NO}_2(\text{g})+2\text{NaCl}(\text{s})=2\text{NaNO}_3(\text{s})+2\text{NO}(\text{g})+\text{Cl}_2(\text{g})$  的

$K=\frac{c^2(\text{NO})c(\text{Cl}_2)}{c^4(\text{NO}_2)}=\frac{K_2}{K_1^2}$ 。故答案为:  $\Delta H=2\Delta H_1-\Delta H_2$ ;  $\frac{K_2}{K_1^2}$ 。

10. (1) 超音速飞机在平流层飞行时, 尾气中的 NO 会破坏臭氧层。科学家正在研究利用催化技术将尾气中的 NO 和 CO 转化成  $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2$ , 化学方程式如下:

$2\text{NO}(\text{g})+2\text{CO}(\text{g})\rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g})+\text{N}_2(\text{g})$ 。反应能够自发进行, 则反应的  $\Delta H$       0 (填 “>” 或 “=”。)

(2) 已知: 反应  $\text{Fe}(\text{s})+\text{CO}_2(\text{g})\rightleftharpoons\text{FeO}(\text{s})+\text{CO}(\text{g})$  的平衡常数为  $K_1$ ; 反应

$\text{Fe}(\text{s})+\text{H}_2\text{O}(\text{g})\rightleftharpoons\text{FeO}(\text{s})+\text{H}_2(\text{g})$  的平衡常数为  $K_2$ 。不同温度时  $K_1$ 、 $K_2$  的值如下表:

温度/K	$K_1$	$K_2$
973	1.47	2.38
1173	2.15	1.67

根据表中数据, 计算反应:  $\text{CO}_2(\text{g})+\text{H}_2(\text{g})\rightleftharpoons\text{CO}(\text{g})+\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的  $K_3$ 。

①平衡常数的表达式  $K_1=$      ;

②温度为 973K 时:  $K_3=$      ; (结果保留小数点后 2 位)

③反应  $\text{CO}_2(\text{g})+\text{H}_2(\text{g})\rightleftharpoons\text{CO}(\text{g})+\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  是      (填 “吸热” 或 “放热”) 反应。

(3) 已知在温度为 T 时,  $\text{CO}(\text{g})+\text{H}_2\text{O}(\text{g})\rightleftharpoons\text{CO}_2(\text{g})+\text{H}_2(\text{g})$  的平衡常数  $K=0.32$ , 在该温度下, 已知  $c_{\text{始}}(\text{CO})=1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $c_{\text{始}}(\text{H}_2\text{O})=1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 某时刻经测定 CO 的转化率为 10%, 则该反应      (填 “已经” 或 “没有”) 达到平衡      (通过计算比较  $Q_c$  和  $K$  大小说明); 此时刻  $v_{\text{正}}$       (填 “>” 或 “<”)  $v_{\text{逆}}$ 。

答案:  $<$   $\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2]}$  0.62 吸热 没有 此时  $Q_c=\frac{c(\text{CO})c(\text{H}_2)}{c(\text{CO}_2)c(\text{H}_2\text{O})}=\frac{0.1}{0.9}\cdot\frac{0.1}{0.9}\approx 0.0123$

0.32K >

【详解】

(1)  $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g})$  反应的  $\Delta S < 0$ , 反应自发进行  $\Delta H - T \Delta S < 0$ , 则反应焓变一定小于 0,  $\Delta H < 0$ , 反应是放热反应, 答案: <

(2) ① 反应  $\text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g})$  中 Fe 和 FeO 为固体, 所以该反应的平衡常数

$$K_1 = \frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2]}, \text{ 答案: } \frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2]}$$

② 现有反应 I:  $\text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) K_1$

反应 II:  $\text{Fe}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{FeO}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) K_2$

根据盖斯定律, 方程式 I-II 得到  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) K_3$ , 则

$$K_3 = \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)} = \frac{c(\text{CO})}{c(\text{CO}_2)} \cdot \frac{1}{\frac{c(\text{H}_2)}{c(\text{H}_2\text{O})}} = \frac{K_1}{K_2}, \text{ 温度为 } 973\text{K} \text{ 时, 由表中提供数据,}$$

$$K_3 = \frac{1.47}{2.38} = 0.62, \text{ 答案: } 0.62$$

③ 由表中数据可知, 温度为 973K 时  $K_3 = \frac{2.15}{1.67} = 1.29$ , 反应  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

随温度升高, 平衡常数增大, 说明平衡向正反应方向移动, 则正反应是吸热反应, 答案: 吸热;

(3) 在温度为 T 时,  $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$  的平衡常数  $K = 0.32$ , 在该温度下, 已知  $c_{\text{始}}(\text{CO}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c_{\text{始}}(\text{H}_2\text{O}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 某时刻经测定 CO 的转化率为 10%, 列三段式:

	$\text{CO}(\text{g})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{CO}_2(\text{g})$	+	$\text{H}_2(\text{g})$
起始 mol/L	1		1		0		0
转化 mol/L	0.1		0.1		0.1		0.1
某时刻 mol/L	0.9		0.9		0.1		0.1

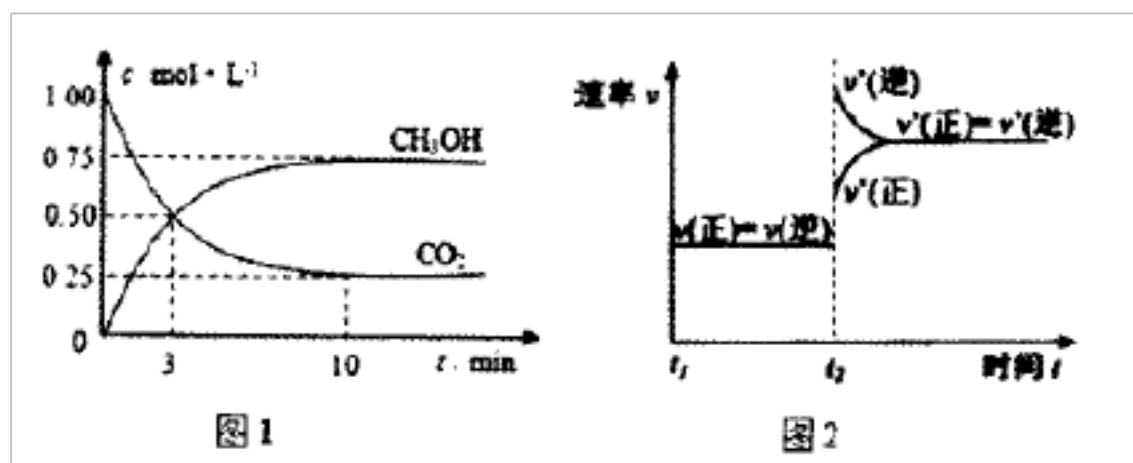
则  $Q_c = \frac{0.1 \cdot 0.1}{0.9 \cdot 0.9} \approx 0.0123 < 0.32 = K$ , 说明没有达到平衡状态, 反应向正反应方向移动,  $v_{\text{正}}$

$> v_{\text{逆}}$ , 答案: 没有; 此时  $Q_c = \frac{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.1 \cdot 0.1}{0.9 \cdot 0.9} \approx 0.0123 < 0.32 = K$ ;  $>$ 。

11. 如何降低大气中  $\text{CO}_2$  的含量及有效地开发利用  $\text{CO}_2$  引起了全世界的普遍重视. 目前工业上有一种方法是用  $\text{CO}_2$  来生产燃料甲醇. 为探究该反应原理, 进行如下实验: 在容积为 1L 的密闭容器中, 充入  $1\text{mol} \text{CO}_2$  和  $3\text{mol} \text{H}_2$ . 在  $500^\circ\text{C}$  下发生反应,

$\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ . 实验测得  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$  的物质的量

(n) 随时间变化如下图 1 所示:



- (1) 从反应开始到平衡，氢气的平均反应速率  $v(\text{H}_2) = \underline{\hspace{2cm}}$ .
- (2) 500℃该反应的平衡常数为  $\underline{\hspace{2cm}}$  (结果保留一位小数)，图2是改变温度时化学反应速率随时间变化的示意图，平衡  $\underline{\hspace{1cm}}$  移动 (填“正向”或“逆向”或“不”).
- (3) 下列措施中不能使  $\text{CO}_2$  的转化率增大的是  $\underline{\hspace{2cm}}$ .
- ①在原容器中再充入  $1\text{molH}_2$  ②将水蒸气从体系中分离出
- ③使用更有效的催化剂④缩小容器的容积⑤在原容器中再充入  $1\text{molCO}_2$
- (4) 500℃条件下，测得某时刻， $\text{CO}_2(\text{g})$ 、 $\text{H}_2(\text{g})$ 、 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$  和  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的浓度均为  $0.4\text{mol/L}$ ，则此时  $v_{\text{正}} \underline{\hspace{1cm}} v_{\text{逆}}$  (填“>”“<”或“=”).
- (5) 若反应在 500℃进行，在该 1L 的密闭容器中加入  $1\text{molCO}_2$ 、 $3\text{molH}_2$  和  $1.2\text{molHe}$ ，达到平衡时  $\text{H}_2$  的转化率为  $\underline{\hspace{2cm}}$ .

答案：  $0.225\text{mol/L min}$  3 逆向 ③⑤ < 75%

解析： (1) 根据  $v = \frac{c}{t}$  计算氢气的平均反应速率； (2) 根据  $k = \frac{c(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)^3}$  计算

500℃该反应的平衡常数；根据图2可知，升高温度平衡逆向移动； (3) 平衡正向移动， $\text{CO}_2$  的转化率增大；两种反应物加其中入一种，另一种物质的转化率增大，本身的转化率减小； (4) 根据  $Q_c$ 、 $K$  的比较分析  $v(\text{正})$ 、 $v(\text{逆})$  的大小； (5) 温度不变，通入氦气，平衡不移动，转化率不变。

【详解】

(1) 根据图1，开始时  $\text{CO}_2$  的浓度是  $1\text{mol/L}$ ，平衡时  $\text{CO}_2$  的浓度是  $0.25\text{mol/L}$ ， $\text{CO}_2$  的浓度变化量是  $0.75\text{mol/L}$  则氢气的浓度变化量是  $0.75\text{mol/L} \times 2 = 1.5\text{mol/L}$   $v = \frac{c}{t}$ ，所以

氢气的平均反应速率  $v(\text{H}_2) = \frac{1.5\text{mol/L}}{10\text{min}} = 0.15\text{mol/(L min)}$ ，故答案为：

$0.15\text{mol/L min}$ ；

(2) 根据“三段式”

	$\text{CO}_2(\text{g})$	$+3\text{H}_2(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$	$+ \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
起始	1	3		0	0
转化	0.75	2.25		0.75	0.75
平衡	0.25	0.75		0.75	0.75

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2]^3} = \frac{0.75 \times 0.75}{0.25 \times 0.75^3} = 5.3;$$

根据图 2 可知，逆反应速率大于正反应速率，则升高温度平衡逆向移动，故答案为：5.3；逆向；

(3) ①在原容器中再充入  $1\text{mol H}_2$ ，平衡正向移动， $\text{CO}_2$  的转化率增大，不选；②将水蒸气从体系中分离出，生成物浓度降低，平衡正向移动， $\text{CO}_2$  的转化率增大，不选；③使用更有效的催化剂，平衡不移动，转化率不变，选；④缩小容器的容积，增大压强，平衡向正方向移动， $\text{CO}_2$  的转化率增大，不选；⑤在原容器中再充入  $1\text{mol CO}_2$ ，平衡正向移动，但  $\text{CO}_2$  的转化率减小，选；故答案为：③⑤；

(4)  $\text{CO}_2(\text{g})$ 、 $\text{H}_2(\text{g})$ 、 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$  和  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的浓度均为  $0.4\text{mol/L}$ ，

$Q = \frac{0.4 \times 0.4}{0.4 \times 0.4^3} = 6.25$ ， $Q > K$ ，所以反应逆向进行， $v(\text{正}) < v(\text{逆})$ ，故答案为：  
<；

(5) 若反应在  $500^\circ\text{C}$  进行，在该  $1\text{L}$  的密闭容器中加入  $1\text{mol CO}_2$ 、 $3\text{mol H}_2$  和  $1.2\text{mol He}$ ，和原平衡等效， $\text{H}_2$  的转化率不变，为  $\frac{2.25\text{mol}}{3\text{mol}} \times 100\% = 75\%$ ，故答案为：  
75%。

12. 氮是大气中含量最多的气体，研究氮及其化合物对人类有重要的意义。

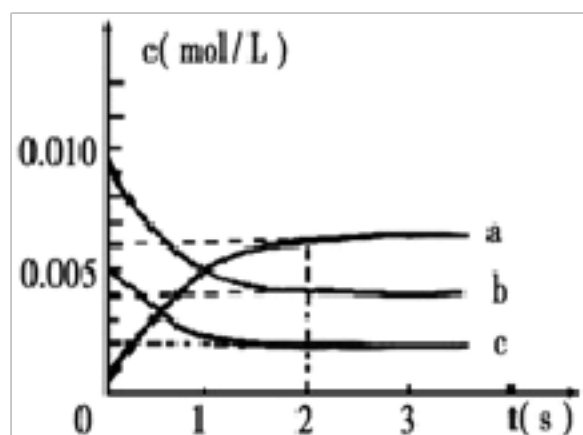
(1) 合成氨的原理为： $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) \Delta H = -92.4\text{kJ/mol}$

①将一定量的  $\text{N}_2(\text{g})$  和  $\text{H}_2(\text{g})$  放入  $1\text{L}$  的密闭容器中，在  $500^\circ\text{C}$ 、 $2 \times 10^7\text{Pa}$  下达到平衡，平衡时测得  $\text{N}_2$  为  $0.1\text{mol}$ ， $\text{H}_2$  为  $0.3\text{mol}$ ， $\text{NH}_3$  为  $0.1\text{mol}$ 。该反应的平衡常数表达式  $K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$ ，该条件下  $\text{H}_2$  的转化率为  $\frac{0.2}{0.3} \times 100\% = 66.7\%$ 。此温度下该反应的平衡常数  $K = \frac{0.1^2}{0.1 \times 0.3^3} = 40$ 。

②欲提高  $\text{H}_2$  的转化率，下列措施可行的是  $\text{a}$ 、 $\text{d}$ 。

- a. 向容器中按原比例再充入原料气 b. 向容器中再充入惰性气体  
c. 改变反应的催化剂 d. 液化生成物分离出氨

(2) 在  $2\text{L}$  密闭容器中， $800^\circ\text{C}$  时反应  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}) \Delta H < 0$  体系中，各成分浓度随时间的变化如图：



①用  $\text{O}_2$  表示从  $0 \sim 2\text{s}$  内该反应的平均速率  $v = \frac{0.005 - 0.002}{2} = 0.0015\text{mol/L}\cdot\text{s}$ 。



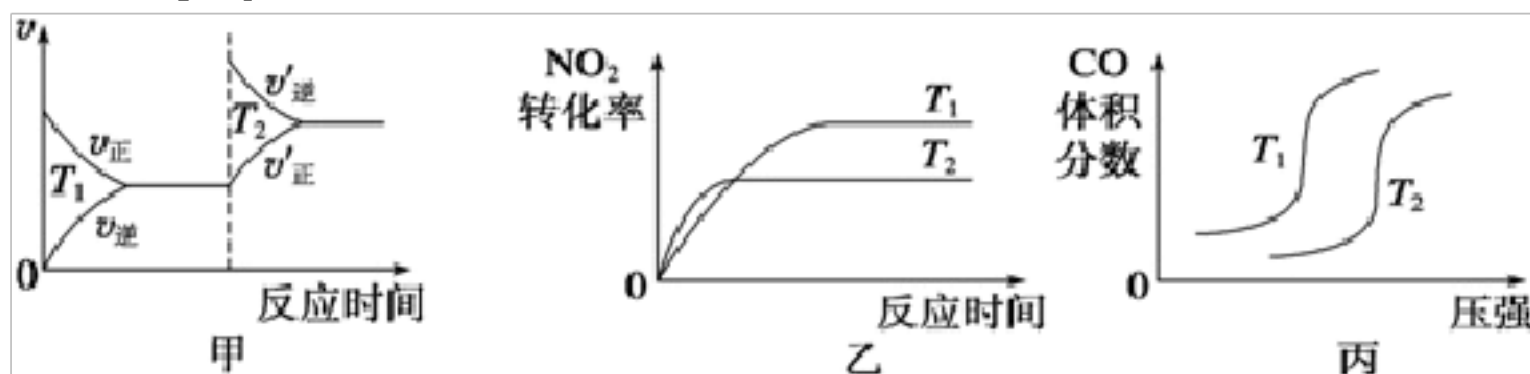
②能说明该反应已经达到平衡状态的是\_\_\_。

- a.  $v(\text{NO}_2)=2v(\text{O}_2)$  b.容器内压强保持不变  
c.  $v_{\text{逆}}(\text{NO})=2v_{\text{正}}(\text{O}_2)$  d.容器内的密度保持不变

③能使该反应的反应速率增大，且平衡向正反应方向移动的是\_\_\_。

- a.及时分离出  $\text{NO}_2$  气体 b.适当升高温度  
c.增大  $\text{O}_2$  的浓度 d.选择高效的催化剂

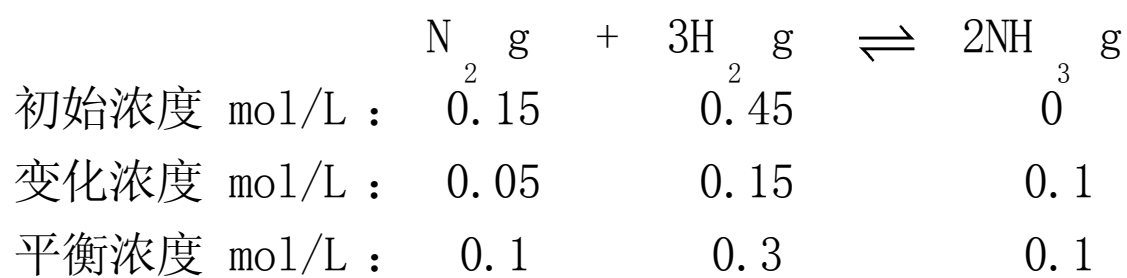
(3)汽车尾气中含有  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_2$  等有毒气体，对汽车加装尾气净化装置，可使有毒气体相互反应转化为无毒气体。 $4\text{CO}(\text{g})+2\text{NO}_2(\text{g})\rightleftharpoons 4\text{CO}_2(\text{g})+\text{N}_2(\text{g})\Delta H=-1200\text{kJmol}^{-1}$  对于该反应，温度不同( $T_2>T_1$ )、其他条件相同时，下列图象正确的是\_\_\_(填代号)。



答案： $\frac{c^2 \text{NH}_3}{c \text{N}_2 c^3 \text{H}_2}$  3% 3.7(mol/L)<sup>2</sup> ad 0.0015mol/(Ls) bc c 乙

【详解】

(1)①根据化学方程式和三段式列式计算：



平衡常数的表达式： $K=\frac{c^2 \text{NH}_3}{c \text{N}_2 c^3 \text{H}_2}$ ，该条件下  $\text{H}_2$  的转化率

$$=\frac{0.15\text{mol/L}}{0.45\text{mol/L}}\times 100\%\approx 33.3\% \quad \text{平衡常数}$$

$$K=\frac{c^2 \text{NH}_3}{c \text{N}_2 c^3 \text{H}_2}=\frac{0.1\text{mol/L}^2}{0.1\text{mol/L} \cdot 0.3\text{mol/L}^3}=3.7(\text{mol/L})^2, \text{ 故答案为:}$$

$$\frac{c^2 \text{NH}_3}{c \text{N}_2 c^3 \text{H}_2}; 33.3\%; 3.7(\text{mol/L})^2;$$

②根据化学平衡： $\text{N}_2(\text{g})+3\text{H}_2\rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ ，反应是气体体积减小的放热反应，欲提高  $\text{H}_2$  的转化率，平衡正向进行；

a. 向容器中按原比例再充入原料气，则压强增大，平衡向右移动，氢气的转化率增大，故 a 正确；

b. 向容器中再充入惰性气体，则各组分浓度不变，平衡不移动，氢气的转化率不变，故 b 错误；

c. 改变反应的催化剂，不影响平衡的移动，氢气的转化率不变，故 c 错误；

d. 液化生成物分离出氨，平衡向右移动，氢气的转化率增大，故 d 正确；

故答案为：ad；

(2)①由图象数据可知，由方程式  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$  可知，平衡时  $\Delta c(\text{NO}) : \Delta c(\text{O}_2) : \Delta c(\text{NO}_2) = 2:1:2$  为据此判断表示，浓度变化的曲线，分别为 b 为  $\text{NO}$ ，c 为  $\text{O}_2$ ，a 为  $\text{NO}_2$ ，由图中数据可知 2s 内， $\text{O}_2$  的浓度变化量为

$0.005\text{mol/L} - 0.002\text{mol/L} = 0.003\text{mol/L}$  根据  $v = \frac{\Delta c}{\Delta t}$  计算

$v(\text{O}_2) = \frac{0.003\text{mol/L}}{2\text{s}} = 0.0015\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ ，故答案为：0.0015mol/(L·s)；

②能说明该反应已经达到平衡状态的是当反应达到平衡状态时，正逆反应速率相等，各物质的浓度、百分含量不变；

a. 未指明正逆速率，若都为同一方向速率，始终都存在  $v(\text{NO}_2) = 2v(\text{O}_2)$  关系，故不能说明到达平衡，若为不同方向的速率，速率之比等于化学计量数之比，说明到达平衡，故 a 错误；

b. 随反应进行气体的物质的量减小，压强减小，容器内压强保持不变，说明到达平衡，故 b 正确；

c. 不同物质表示的正逆速率之比等于化学计量数之比，反应到达平衡，故  $v_{\text{逆}}(\text{NO}) = 2v_{\text{正}}(\text{O}_2)$ ，说明到达平衡，故 c 正确；

d. 反应混合气体的质量不变，容器的体积不变，密度始终不变，故容器内物质的密度保持不变，不能说明到达平衡，故 d 错误；

故答案为：bc；

③为使该反应的反应速率增大，且平衡向正反应方向移动依据平衡移动原理分析判断；

a. 及时分离出  $\text{NO}_2$  气体，平衡向正反应移动，但反应速率降低，故 a 错误；

b. 适当升高温度，反应速率增大，平衡向逆反应移动，故 b 错误；

c. 增大  $\text{O}_2$  的浓度，反应速率增大，平衡向正反应移动，故 c 正确；

d. 选择高效的催化剂，增大反应速率，不影响平衡移动，故 d 错误；

故答案为：c；

(3)甲. 升高温度，化学平衡逆向移动，化学反应速率会迅速增大，会离开原来的速率点，故甲错误；

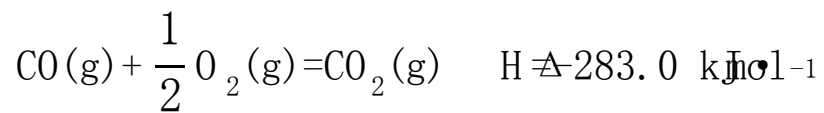
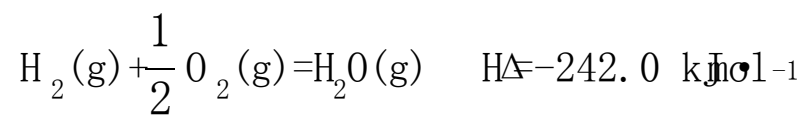
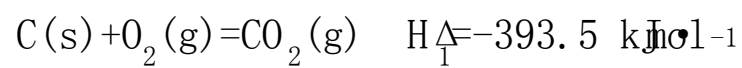
乙. 升高温度，化学反应速率会迅速增大，所以  $T_2$  时先达到化学平衡状态，并且化学平衡逆向移动，二氧化氮的转化率减小，故乙正确；

丙. 对于反应： $4\text{CO}(\text{g}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{CO}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g})$ ，T 不变，增大压强，平衡正向移动，一氧化碳的体积分数会减小，故丙错误；

故答案为：乙。

13. I. 将煤转化为水煤气的主要化学反应为  $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightleftharpoons{\text{高温}} \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ ； $\text{C}(\text{s})$ 、 $\text{CO}(\text{g})$

和  $\text{H}_2(\text{g})$  完全燃烧的热化学方程式为：

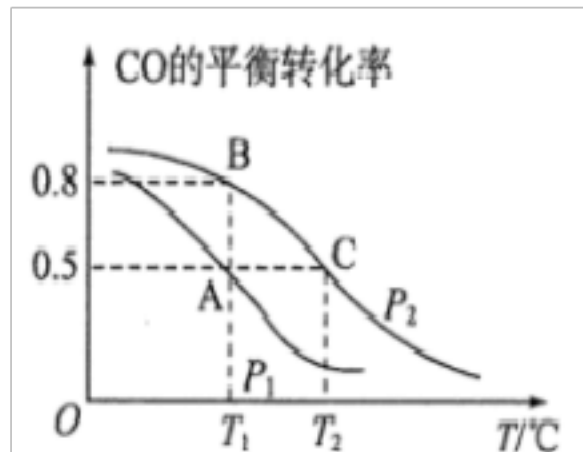


根据以上数据，写出C(s)与水蒸气反应的热化学反应方程式：\_\_\_\_\_。

II 甲醇是一种重要的化工原料，又是一种可再生能源，具有开发和应用的广阔前景。

(1)在一容积为2L的密闭容器内，充入0.2mol CO与0.4mol H<sub>2</sub>发生反应，

CO(g)+2H<sub>2</sub>(g)⇌CH<sub>3</sub>OH(g)，CO的平衡转化率与温度，压强的关系如图所示。



①A、B两点对应的压强大小关系是P<sub>A</sub>\_\_\_\_\_P<sub>B</sub> (填“>、<、=”)

②A、B、C三点的平衡常数K<sub>A</sub>、K<sub>B</sub>、K<sub>C</sub>的大小关系是\_\_\_\_\_。

③下列叙述能说明上述反应能达到化学平衡状态的是\_\_\_\_\_ (填代号)。

- H<sub>2</sub>的消耗速率是CH<sub>3</sub>OH生成速率的2倍
- CH<sub>3</sub>OH的体积分数不再改变
- 混合气体的密度不再改变
- CO和CH<sub>3</sub>OH的物质的量之和保持不变

(2)在P<sub>1</sub>压强、T<sub>1</sub>°C时，该反应的平衡常数K=\_\_\_\_\_，再加入1.0mol CO后重新到达平衡，则CO的转化率\_\_\_\_\_ (填“增大，不变或减小”)

(3)T<sub>1</sub>°C、1L的密闭容器内发生上述反应，测得某时刻各物质的物质的量如下，CO：0.1mol、H<sub>2</sub>：0.2mol、CH<sub>3</sub>OH：0.2mol，此时v(正)\_\_\_\_\_v(逆) (填“>、<或=”)

**答案：** C(s)+H<sub>2</sub>O(g)=CO(g)+H<sub>2</sub>(g) ΔH=+131.5 kJ·mol<sup>-1</sup> < K<sub>A</sub>=K<sub>B</sub>>K<sub>C</sub> b 100 减小 >

**解析：** I. 根据盖斯定律①-②-③得：C(s)与水蒸气反应的热化学反应方程式：

C(s)+H<sub>2</sub>O(g)=CO(g)+H<sub>2</sub>(g) ΔH=+131.5 kJ·mol<sup>-1</sup>。II 达到化学平衡状态时各物质的浓度不变、正逆反应速率相等、各组分的百分含量不再发生变化，据此判断平衡状态，根据平衡常数的定义进行计算，根据浓度商判断反应进行的方向。

**【详解】**

I. C(s)、CO(g)和H<sub>2</sub>(g)完全燃烧的热化学方程式为：①C(s)+O<sub>2</sub>(g)=CO<sub>2</sub>(g) ΔH=-393.5

kJ·mol<sup>-1</sup>②H<sub>2</sub>(g)+ $\frac{1}{2}$ O<sub>2</sub>(g)=H<sub>2</sub>O(g) ΔH=-242.0 kJ·mol<sup>-1</sup>③CO(g)+ $\frac{1}{2}$ O<sub>2</sub>(g)=CO<sub>2</sub>(g) ΔH=-283.0

kJ·mol<sup>-1</sup>，根据盖斯定律和以上数据，①-②-③得：C(s)与水蒸气反应的热化学反应方程

式：C(s)+H<sub>2</sub>O(g)=CO(g)+H<sub>2</sub>(g) ΔH=+131.5 kJ·mol<sup>-1</sup>。故答案为：C(s)+H<sub>2</sub>O(g)=CO(g)+H<sub>2</sub>(g) ΔH=+131.5 kJ·mol<sup>-1</sup>;

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/498051005077007005>