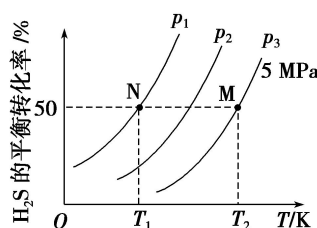


类型 1：温度、浓度、压强等条件对平衡的影响

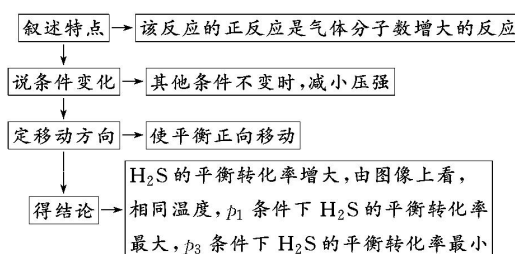
先说答题要领：叙述特点（反应特点或者容器特点）→外界条件的改变→确定移动方向→得出最终结论

1：在密闭容器中充入一定量 H_2S ，发生反应 $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +169.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。下图为 H_2S 气体的平衡转化率与温度、压强的关系。



- (1) 图中压强(p_1 、 p_2 、 p_3)的大小顺序为_____，理由是_____。
- (2) 该反应平衡常数大小： $K(T_1)$ _____ (填“>”“<”或“=”) $K(T_2)$ ，理由是_____。
- (3) 如果要进一步提高 H_2S 的平衡转化率，除改变温度、压强外，还可以采取的措施有_____。

【分析】

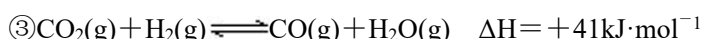
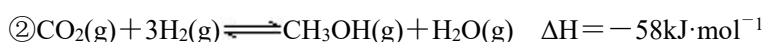
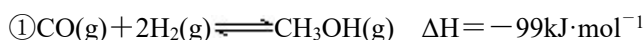


【答案】(1) $p_1 < p_2 < p_3$ 该反应的正反应是气体分子数增大的反应，其他条件不变时，减小压强使平衡正向移动， H_2S 的平衡转化率增大，由图像上看，相同温度， p_1 条件下 H_2S 的平衡转化率最大， p_3 条件下 H_2S 的平衡转化率最小

(2) < 该反应正向是吸热反应，升高温度，平衡正向移动，平衡常数增大

(3) 及时分离出产物

2. 利用合成气(主要成分为 CO 、 CO_2 和 H_2)在催化剂的作用下合成甲醇，主要反应如下：



合成气的组成 $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO} + \text{CO}_2)} = 2.60$ 时体系中的 CO 平衡转化率 $\alpha(\text{CO})$ 与温度和压强的关系如图 2 所示。

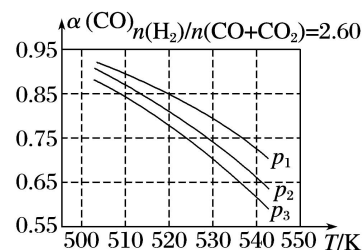


图 2

图中的压强 p_1 、 p_2 、 p_3 由大到小的顺序为_____； $\alpha(\text{CO})$ 随温度升高而减小，其原因是_____。

【答案】 $p_1 > p_2 > p_3$ 反应①为放热反应，升高温度，平衡向逆反应方向移动， $\alpha(\text{CO})$ 减小；反应③为吸热反应，升高温度，平衡向正反应方向移动， $\alpha(\text{CO})$ 也减小

【解析】相同温度下，由于反应①为气体分子数减小的反应，加压有利于提升 CO 的转化率；而反应③为气体分子数不变的反应，产生 CO 的量不受压强影响，故增大压强时，有利于 CO 的转化率升高，所以图 2 中的压

强由大到小顺序为 $p_1 > p_2 > p_3$ ；反应①为放热反应，升高温度时，平衡向逆反应方向移动，使得体系中 CO 的量增大；反应③为吸热反应，平衡向正反应方向移动，产生 CO 的量增大；因此最终结果是随温度升高，CO 的转化率减小。

3. 已知 CO_2 催化加氢合成乙醇的反应原理为： $2\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 。

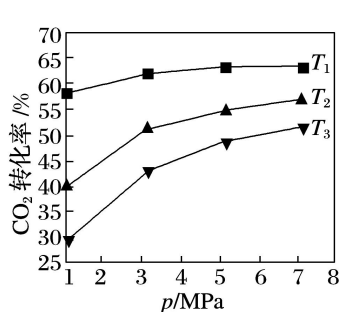


图 1

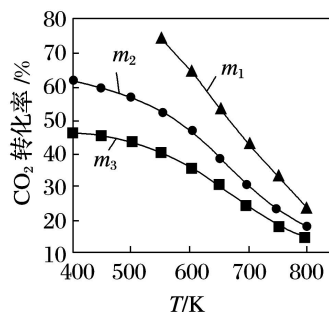


图 2

(1) 图 1、图 2 分别是 CO_2 的平衡转化率随压强及温度的变化关系，已知 m 为起始时的投料比，即 $m = \frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO}_2)}$ 。

① 图 1 中投料比相同，温度从高到低的顺序为 _____，判断依据是 _____。② 图 2 中 m_1 、 m_2 、 m_3 从大到小的顺序为 _____，判断依据是 _____。

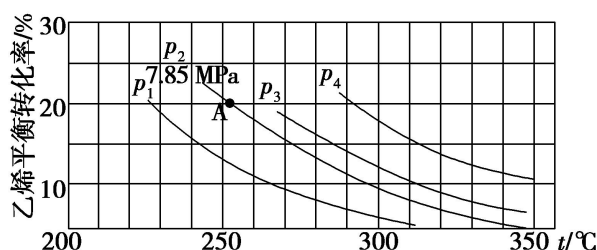
【答案】① $T_3 > T_2 > T_1$ 正反应放热，升高温度平衡逆向移动，温度越高， CO_2 的平衡转化率越小，所以 $T_3 > T_2 > T_1$

② $m_1 > m_2 > m_3$ 保持 $n(\text{CO}_2)$ 不变，增大 $n(\text{H}_2)$ ，平衡正向移动， CO_2 的平衡转化率增大，所以 $m_1 > m_2 > m_3$

【解析】略

4. 已知：乙烯气相直接水合反应的化学方程式为 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g}) \quad \Delta H = -45.5 \text{ kJ/mol}$

下图为气相直接水合法中乙烯的平衡转化率与温度、压强的关系[其中 $n(\text{H}_2\text{O}) : n(\text{C}_2\text{H}_4) = 1 : 1$]。



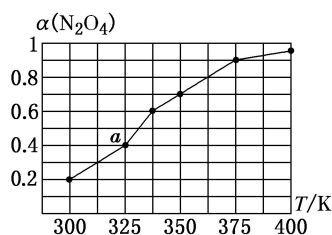
(2) 图中压强(p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4)的大小顺序为 _____，理由是 _____。

【答案】 $p_4 > p_3 > p_2 > p_1$ 反应分子数减少，相同温度下，压强增大，乙烯转化率提高

【解析】在相同温度下由于乙烯转化率为 $p_1 < p_2 < p_3 < p_4$ ，由 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 可知正反应为气体体积减小的反应，所以增大压强，平衡正向移动，乙烯的转化率提高，因此压强关系是 $p_4 > p_3 > p_2 > p_1$ ，故答案为： $p_4 > p_3 > p_2 > p_1$ ；反应分子数减少，相同温度下，压强升高乙烯转化率提高

5. N_2O_4 与 NO_2 之间存在反应 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ 。将一定量的 N_2O_4 放入恒容密闭容器中，测得其平衡转

化率 $\alpha(\text{N}_2\text{O}_4)$ 随温度的变化如图甲所示。



由图推测该反应的 ΔH _____ 0(填“>”或“<”), 理由为_____。

【答案】> 温度升高, $\alpha(\text{N}_2\text{O}_4)$ 增大, 说明平衡右移, 该反应为吸热反应, $\Delta H > 0$

【解析】根据图像分析, 随着温度升高, $\alpha(\text{N}_2\text{O}_4)$ 增大, 说明平衡右移, 该反应为吸热反应, $\Delta H > 0$ 。

类型 2: 优选最佳条件

需要逐步分析以下几个层面, 先理清不同层面对最终结果的作用, 然后选择有效信息进行分析

物理量有几种→代表什么含义→变化趋势是单调还是非单调→物理量之间的联系与关联

6. 生物脱 H_2S 的原理为:



由图 3 和图 4 判断使用硫杆菌的最佳条件为_____。若反应温度过高, 反应速率下降, 其原因是

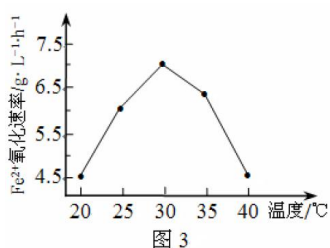


图 3

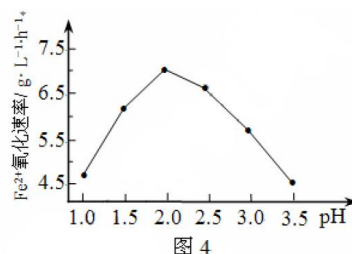


图 4

【答案】30 °C、pH=2.0 蛋白质变性(或硫杆菌失去活性)

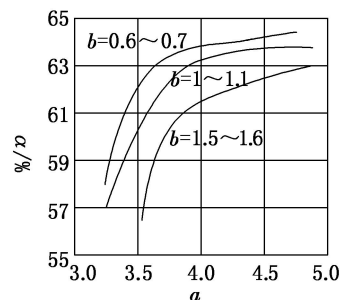
【解析】根据图 3 可知, 温度 30 左右时, 氧化速率最大, 根据图 4 可知, pH=2.0 时氧化速率最大, 所以使用硫杆菌的最佳条件为 30、pH=2.0; 若反应温度过高, 硫杆菌蛋白质变性失去活性造成反应速率下降。

7. 氨气制取尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 的合成塔中发生反应: $2\text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{NH}_2)_2(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。下图为合成

塔中不同氨碳比 $a = \frac{n(\text{NH}_3)}{n(\text{CO}_2)}$ 和水碳比 $b = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{CO}_2)}$ 时二氧化碳的转化率(α)。b 宜控制在_____ (填字母) 范围内。

A. 0.6~0.7 B. 1~1.1 C. 1.5~1.6

a 宜控制在 4.0 左右, 理由是_____。



【答案】A 氨碳比等于 4, CO_2 转化率较高; 当氨碳比大于 4.0 时, 增大 NH_3

的量, CO_2 的转化率增加不大, 但生产成本提高了; 氨碳比小于 4.0 时, CO_2 的转化率低

【解析】控制变量，作垂直于横轴的一条直线交三条曲线于三点，转化率越高越好，所以选择 A。选择最佳氨碳比，可看最上面曲线的走势，整体增加，曲线先陡后平(略上升)，拐点右边，当氨碳比大于 4.0 时，增大氨气的量，CO₂ 转化率增加不大，但生产成本提高了；氨碳比太小，CO₂ 转化率低。

8. 工业上消除氮氧化物的常用方法是 SCR(选择性催化还原)脱硝法，反应原理为 $4\text{NH}_3(\text{g}) + 4\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 。

①SCR 法除 NO，投料比一定时有利于提高 NO 平衡转化率的条件是_____、_____。

当反应温度过高时，会发生以下副反应： $2\text{NH}_3(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ； $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。

②某科研小组通过系列实验，分析得出脱硝率与氨氮比 $\left[\frac{\text{NH}_3}{\text{NO}_x}\right]$ 、温度的关系如图 2、图 3 所示，从图 2 可以看出，最佳氨氮比为 2.0，理由是_____；

③由图 3 可知，当温度高于 405 °C 后，脱硝率会逐渐减小，原因是_____。

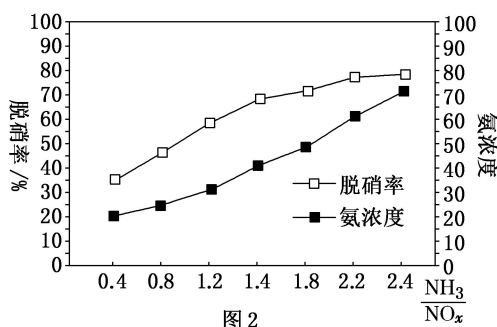


图 2

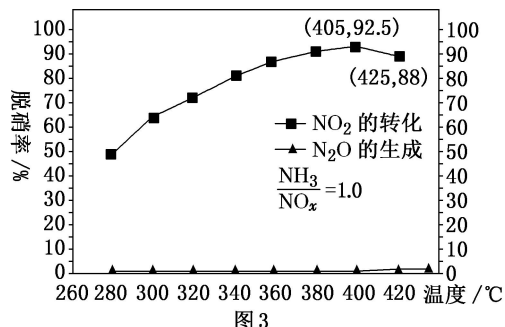


图 3

【答案】①降低温度 减小压强 ②氨氮比从 2.0 到 2.2 时，脱硝率变化不大，但氨的浓度增加较大，导致生产成本提高 ③当温度过高时，还会发生副反应生成 N₂O 和 NO

【解析】① $4\text{NH}_3(\text{g}) + 4\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 的正反应是气体体积增大的放热反应，投料比不变时，若要提高 NO 的平衡转化率，就要使化学平衡正向移动，可以采取降低反应体系的温度，也可以扩大容器的容积使体系的压强减小等措施；②根据图 2 可知，氨氮比从 2.0 到 2.2，脱硝率变化并不大，但氨的浓度增加较大，必然会导致生产成本提高；③由图 3 可知，当温度高于 405 °C 后，脱硝率逐渐减小，是因为当温度过高时，会发生副反应生成 N₂O 和 NO。

9. 一定条件下，通过下列反应可实现燃煤烟气中硫的回收： $2\text{CO}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{l}) \quad \Delta H$

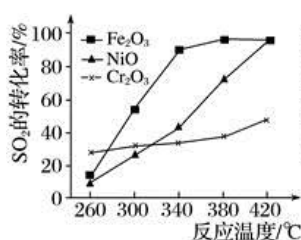


图 a

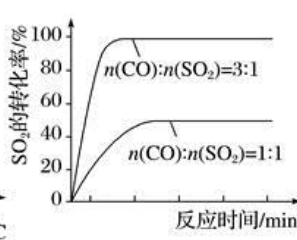


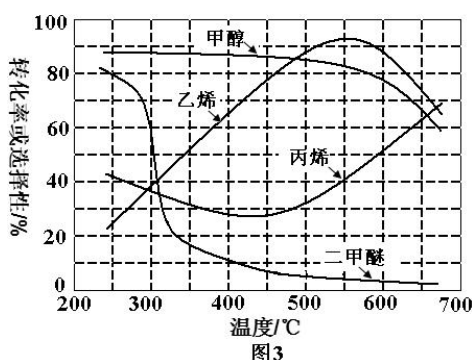
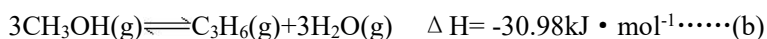
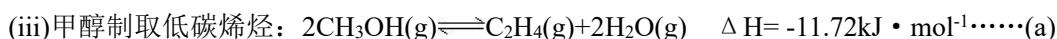
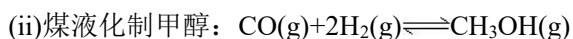
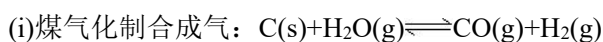
图 b

其他条件相同、催化剂不同时， SO_2 的转化率随反应温度的变化如图 a 所示。260℃_____ (填“ Fe_2O_3 ”、“ NiO ”或“ Cr_2O_3 ”)作催化剂反应速率最快。 Fe_2O_3 和 NiO 作催化剂均能使 SO_2 的转化率达到最高，不考虑价格因素，选择 Fe_2O_3 的主要优点是_____。

【答案】 Cr_2O_3 Fe_2O_3 作催化剂时，在相对较低温度可获得较高 SO_2 的转化率，从而节约大量能源

【解析】根据图示内容，对比 260℃ 时不同催化剂作用下 SO_2 的转化率，可以看出 Cr_2O_3 作催化剂时，反应速率最快， Fe_2O_3 和 NiO 作催化剂均能使 SO_2 的转化率达到最高，但是 Fe_2O_3 作催化剂时，在相对较低温度可获得较高 SO_2 的转化率，从而节约大量能源

10. 中科院大连化学物理研究所的“煤基甲醇制取低碳烯烃技术（简称 DMTO）”荣获 2014 年度国家技术发明一等奖。DMTO 技术主要包括煤的气化、液化、烯烃化三个阶段，相关反应的热化学方程式如下：



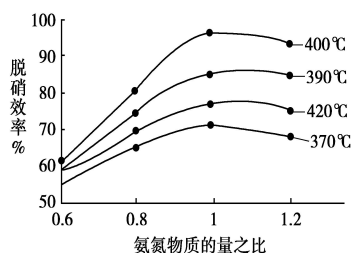
烯烃化阶段：在常压和某催化剂作用下，甲醇的平衡转化率及乙烯、丙烯等物质的选择性（指除了水蒸气以外的产物中乙烯、丙烯等物质的物质的量分数）与反应温度之间的关系如图 3。为尽可能多地获得乙烯，控制反应温度为 550℃ 的理由是_____。

【答案】550℃ 时，甲醇的转化率和乙烯的选择性均较高。温度过低，反应速率慢，乙烯的选择性低；温度过高，性质下降。高温还可能使催化剂积碳和失活，且耗能大。

【解析】根据图像可知 550℃ 时，甲醇的转化率和乙烯的选择性均较高。温度过低，反应速率慢，乙烯的选择性低；温度过高，性质下降。高温还可能使催化剂积碳和失活，且耗能大。所以为尽可能多地获得乙烯，控制反应温度为 550℃。

11. 烟气脱硫脱硝是环境治理的热点问题。氧化还原法脱硝： $4\text{NO}(\text{g}) + 4\text{NH}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 4\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -1627.2 \text{ kJ/mol}$ 。检验脱硝效果的重要指标是脱硝效率（脱硝过程中单位时间内 NO_x 浓度变化占烟气初始浓度的百分比）。影响 SCR 系统脱硝效率的因素有很多，根据如图判断提高脱硝效率的最佳条件是

_____；氨氮比一定时，随温度的升高脱硝效率增大，其可能的原因是



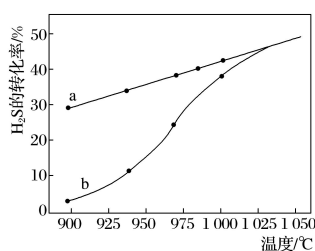
【答案】温度 400℃，氨氮物质的量比为 1 升高温度，反应速率加快

【解析】图像上温度 400℃，氨氮物质的量比为 1 时脱硝效率最高，效果最佳；温度升高反应速率会增加，故脱硝效率会升高。

类型 3：转化率、产率变化趋势

此内容在其他专题内有详细介绍，此处仅设置习题

12. 已知 H_2S 高温热分解制 H_2 的反应如下： $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}_2(\text{g})$ 。在恒容密闭容器中，控制不同温度进行 H_2S 的分解实验。



以 H_2S 的起始浓度均为 $c \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 测定 H_2S 的转化率，结果如图所示。图中曲线 a 为 H_2S 的平衡转化率与温度关系曲线，曲线 b 表示不同温度下反应经过相同时间且未达到化学平衡时 H_2S 的转化率。请说明随温度的升高，曲线 b 向曲线 a 逼近的原因：_____。

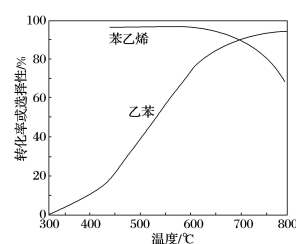
【答案】温度升高，反应速率加快，达到平衡所需的时间缩短，故曲线 b 向曲线 a 靠近

【解析】弄清两条曲线表示的含义，温度低时， H_2S 转化率相差较大，温度高时， H_2S 转化率几乎相等，说明温度高时，在该段时间里已经达到平衡。

13. 乙苯催化脱氢制苯乙烯反应：



工业上，通常在乙苯蒸气中掺混水蒸气(原料气中乙苯和水蒸气的物质的量之比为 1:9)，控制反应温度 600℃，并保持体系总压为常压的条件下进行反应。在不同反应温度下，乙苯的平衡转化率和某催化剂作用下苯乙烯的选择性(指除了 H_2 以外的产物中苯乙烯的物质的量分数)变化如图：



(1) 掺入水蒸气能提高乙苯的平衡转化率，解释说明该事实：_____。

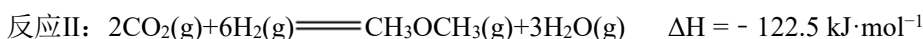
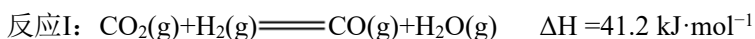
(2) 控制反应温度为 600 °C 的理由是_____。

【答案】(1) 正反应方向气体分子数增加，加入水蒸气稀释，相当于起减压的效果，使平衡正向移动

(2) 600 °C，乙苯的转化率和苯乙烯的选择性均较高。温度过低，反应速率慢，转化率低；温度过高，选择性下降，高温还可能使催化剂失活，且能耗大

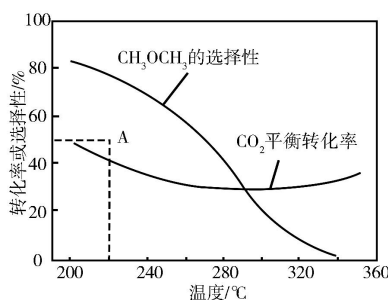
【解析】(1) 题中信息有：保持体系总压为常压的条件下进行反应，加入水蒸气稀释，相当于起减压的效果，正反应方向气体分子数增加，故能使平衡正向移动，增大反应物平衡转化率；(2) 结合反应特点及图像可知：600 °C，乙苯的转化率和苯乙烯的选择性均较高。温度过低，反应速率慢，转化率低；温度过高，选择性下降，高温还可能使催化剂失活，且能耗大

14. CO₂催化加氢合成二甲醚是一种CO₂转化方法，其过程中主要发生下列反应：



在恒压、CO₂和H₂的起始量一定的条件下，CO₂平衡转化率和平衡时CH₃OCH₃的选择性随温度的变化如图。

其中：



$$\text{CH}_3\text{OCH}_3 \text{ 的选择性} = \frac{2 \times \text{CH}_3\text{OCH}_3 \text{ 的物质的量}}{\text{反应的CO}_2 \text{ 的物质的量}} \times 100\%$$

①温度高于300 °C，CO₂平衡转化率随温度升高而上升的原因是_____。

②220 °C时，在催化剂作用下CO₂与H₂反应一段时间后，测得CH₃OCH₃的选择性为48%（图中A点）。不改变反应时间和温度，一定能提高CH₃OCH₃选择性的措施有_____。

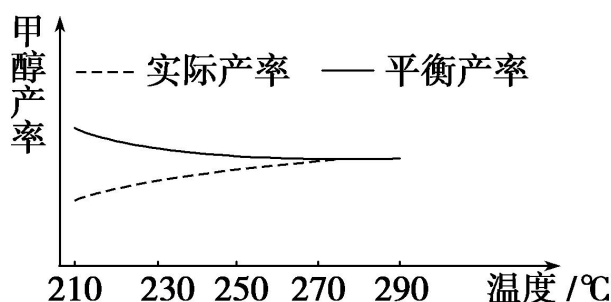
【答案】①反应I的 $\Delta H > 0$ ，反应II的 $\Delta H < 0$ ，温度升高使CO₂转化为CO的平衡转化率上升，使CO₂转化为CH₃OCH₃的平衡转化率下降，且上升幅度超过下降幅度 ②增大压强，使用对反应II催化活性更高的催化剂

【解析】①根据反应方程式，反应I为吸热反应，升高温度，平衡向正反应方向移动，CO₂的转化率增大，反应II为放热反应，升高温度，平衡向逆反应方向进行，CO₂的转化率降低，根据图像，上升幅度超过下降幅度，因此温度超过300°C时，CO₂转化率上升；

②图中A点CH₃OCH₃的选择性没有达到此温度下平衡时CH₃OCH₃的选择性，依据CH₃OCH₃选择性公式，提高CH₃OCH₃选择性，不改变反应时间和温度时，根据反应II，可以增大压强，或者使用对反应II催化活性更

高的催化剂。

15. 在 210~290 °C, 保持原料气中 CO_2 与 H_2 的投料比不变, 按一定流速通过催化剂甲, 主要发生反应 $3\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ΔH , 得到甲醇的实际产率、平衡产率与温度的关系如下图所示。



(1) ΔH _____ (填“>”“=”或“<”)0, 其依据是_____。

(2) 在 210~270 °C 之间, 随温度升高, 实际产率增大的原因是_____。

【答案】(1) < 温度升高甲醇的平衡产率减小 (2) 温度升高, 反应速率加快

【解析】(1) 图像分析可知升温甲醇的平衡产率降低, 升高温度平衡向吸热反应方向进行, 逆反应为吸热反应, 正反应为放热反应, $\Delta H < 0$ 。(2) 210~270 °C 时反应未到达平衡, 温度升高, 反应速率加快, 产率增大。

类型 4: 从平衡角度 (或其他原理角度) 解释现象

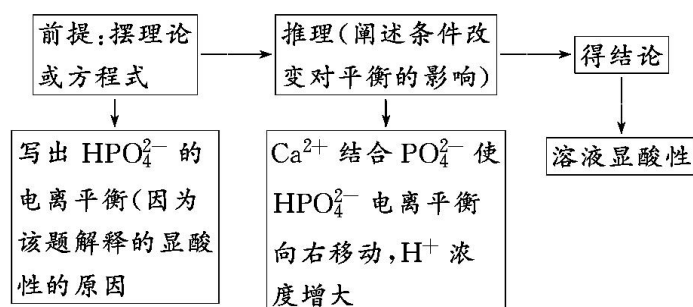
阅读情境, 找出分析核心 (存在的平衡体系) → 找出信息中影响平衡的外界因素 → 根据勒沙特列原理进行分析 → 得出题干要求的结论

16. Na_2HPO_4 是磷酸的酸式盐, 但其水溶液呈碱性, 从溶液中离子平衡角度分析回答下列问题:

(1) 解释 Na_2HPO_4 溶液呈碱性的原因_____。

(2) 当加入足量饱和 CaCl_2 溶液时, 溶液变为酸性, 解释原因_____。

【分析】



【答案】(1) Na_2HPO_4 溶液中存在两个平衡, 一是电离平衡, $\text{HPO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$, 二是水解平衡, $\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{OH}^-$, 其水解程度大于电离程度, 故溶液呈碱性。(2) 略

17. 用 Fe 作电极电解含 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的酸性废水, 随着电解进行, 在阴极附近溶液 pH 升高, 产生 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀以达到除铬的目的。

(1) 用 Fe 作电极的原因为_____。

(2) 在阴极附近溶液 pH 升高的原因是_____。

(3) 溶液中除生成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀外还生成_____沉淀，解释产生的原因_____。

【答案】(1) 阳极反应为 $\text{Fe}-2\text{e}^-=\text{Fe}^{2+}$ ，提供还原剂 Fe^{2+}

(2) 水电离产生的 H^+ 放电生成 H_2 ： $2\text{H}^++2\text{e}^-=\text{H}_2\uparrow$ ，同时产生大量 OH^-

(3) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶液中的 Fe^{2+} 被 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 氧化为 Fe^{3+} ，电解过程中 pH 升高， Fe^{3+} 水解程度增大，转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀

【解析】(1) 在电解法除铬中，铁作阳极，阳极反应式为 $\text{Fe}-2\text{e}^-=\text{Fe}^{2+}$ ，以提供还原剂 Fe^{2+} 。

(2) 阴极氢离子的放电能力较强，先放电，因而氢离子浓度减小，氢氧根离子浓度增大。

(3) 溶液中的 Fe^{2+} 被 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 氧化为 Fe^{3+} ，电解过程中 pH 升高， Fe^{3+} 水解程度增大，转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀。

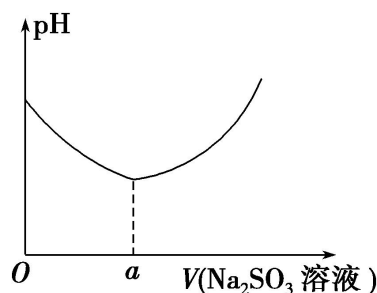
18. 氯化亚铜(CuCl)广泛应用于化工、印染、电镀等行业。 CuCl 难溶于醇和水，在潮湿空气中易水解、氧化，且在氯离子浓度较大的体系中存在 $\text{CuCl}+\text{Cl}^-=\text{[CuCl}_2\text{]}^-$ 。

工业上可用向硫酸铜饱和溶液中加入 NaCl 和 Na_2SO_3 的方法制取 CuCl ，请回答下列问题：

(1) 写出生成 CuCl 沉淀的离子方程式：_____。

(2) 在反应进行时，当氯化钠用量增加到一定程度后氯化亚铜的沉淀率减小，原因是_____。

(3) 实验测得溶液的 pH 与亚硫酸钠溶液体积的关系曲线如图所示。



①解释图像中 $V < a$ 时溶液酸性增强的原因：_____。

②当 $V > a$ 时，随着亚硫酸钠溶液的体积增大，溶液 pH 增大的原因是_____。

【答案】(1) $2\text{Cu}^{2+}+2\text{Cl}^-+\text{SO}_3^{2-}+\text{H}_2\text{O}=2\text{CuCl}\downarrow+\text{SO}_4^{2-}+2\text{H}^+$

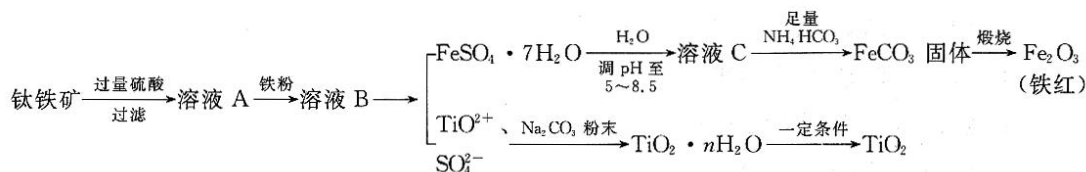
(2) 当 Cl^- 浓度过大时，生成的沉淀 CuCl 又会发生 $\text{CuCl}+\text{Cl}^-=\text{[CuCl}_2\text{]}^-$ ，因而沉淀率会降低

(3) ①由于发生 $2\text{Cu}^{2+}+2\text{Cl}^-+\text{SO}_3^{2-}+\text{H}_2\text{O}=2\text{CuCl}\downarrow+\text{SO}_4^{2-}+2\text{H}^+$ ， H^+ 浓度逐渐增大

②当铜离子完全反应后，再加入 Na_2SO_3 消耗溶液中的 H^+ ，又使 H^+ 浓度逐渐减小

【解析】略

19. 工业、上常用钛铁矿[主要成分为 FeTiO_3 (钛酸亚铁，不溶于水)、 Fe_2O_3 及少量 SiO_2 杂质]作原料，制取二氧化钛及铁红，其生产流程如图：



已知： TiO^{2+} 易水解，只能存在于强酸性溶液中。

流程中加入 Na_2CO_3 粉末得到固体 $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。请结合 TiO^{2+} 的水解平衡原理解释其原因：

【答案】 $\text{TiO}^{2+} + (n+1)\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ ，加入 Na_2CO_3 粉末消耗 H^+ ，平衡正向移动，生成 $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

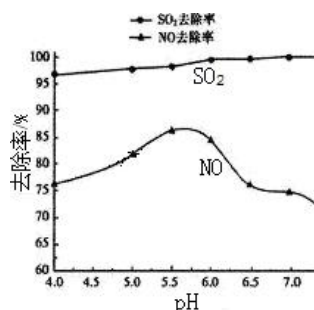
【解析】溶液中存在平衡 $\text{TiO}^{2+} + (n+1)\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ ，加入 Na_2CO_3 粉末消耗 H^+ ，平衡正向移动，生成 $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

20. (1) $\text{KMnO}_4/\text{CaCO}_3$ 浆液可协同脱硫，在反应中 MnO_4^- 被还原为 MnO_4^{2-} 。

① KMnO_4 脱硫(SO_2)的离子方程式为_____。

② 加入 CaCO_3 的作用是_____。

(2) 利用 $\text{NaClO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ 酸性复合吸收剂可同时对 NO 、 SO_2 进行氧化得到硝酸和硫酸而除去。在温度一定时，溶液 pH 对脱硫脱硝的影响如图所示：图中 SO_2 的去除率随 pH 的增大而增大，而 NO 的去除率在 $\text{pH} > 5.5$ 时反而减小，请解释二者去除率不同的可能原因是_____。



【答案】(1) ① $2\text{SO}_3^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{S}_2\text{O}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ $2\text{MnO}_4^- + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{MnO}_4^{2-} + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ ② 消耗反应(脱硫)过程中生成的 H^+ ，有利于反应正向进行 (2) 随着 pH 增大酸性 SO_2 易被碱液吸收；pH 增大 NO 的还原性降低或 H_2O_2 和 NaClO_2 氧化性减弱，不能将 NO 氧化为硝酸

【解析】(1) KMnO_4 脱硫(SO_2)反应中 MnO_4^- 被还原为 MnO_4^{2-} ， $2\text{MnO}_4^- + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{MnO}_4^{2-} + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ ，反应有 H^+ 生成，加入碳酸钙可以与生成的 H^+ 反应，促进反应正向进行。

(2) 根据图中的转化率和去除率关系，随着 pH 增大， SO_2 被碱液吸收，故去除率增大， NO 在 $\text{pH} > 5.5$ 时 NO 的去除率减小，可能是 NO 还原性减弱或是 NaClO_2 、 H_2O_2 的氧化性减弱，不能将 NO 氧化为硝酸。