



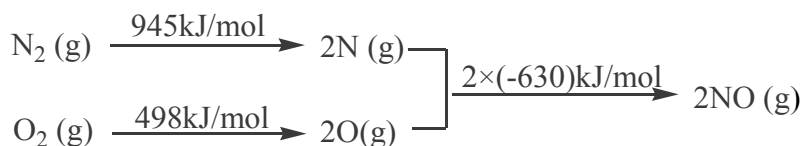
## 氮族元素及其化合物综合探究

### 例题讲解

【例1】  $\text{NO}_2$  是汽车尾气中的主要污染物之一。

(1)  $\text{NO}_2$  能形成酸雨，写出  $\text{NO}_2$  能转化为  $\text{HNO}_3$  的化学方程式：\_\_\_\_\_。

(2) 汽车发动机工作时会引发  $\text{N}_2$  和  $\text{O}_2$  反应，其能量变化示意图如下：



① 出该反应的热化学方程式：\_\_\_\_\_。

② 温度升高，该反应化学平衡常数的变化趋势是\_\_\_\_\_。

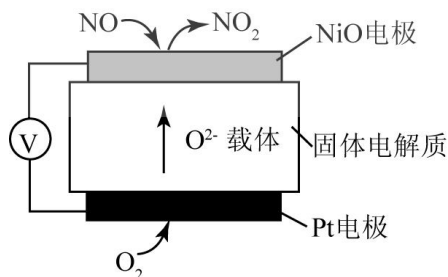
(3) 在汽车尾气系统中装置催化转化器，可有效降低  $\text{NO}_2$  的排放。

① 当尾气中空气不足时， $\text{NO}_x$  在催化转化器中被还原成  $\text{N}_2$  排出，写出  $\text{NO}$  被  $\text{CO}$  还原的化学方程式：\_\_\_\_\_。

② 当尾气中空气过量时，催化转化器中的金属氧化物吸收  $\text{NO}_x$  生成盐，其吸收能力顺序如下：

$_{12}\text{MgO} <_{20}\text{CaO} <_{38}\text{SrO} <_{56}\text{BaO}$ 。原因是\_\_\_\_\_。元素的金属性逐渐增强，金属氧化物对  $\text{NO}_x$  的吸收能力逐渐增强。

(4) 通过  $\text{NO}_x$  传感器可监测  $\text{NO}_x$  的含量，其工作原理示意图如下：



① Pt 电极上发生的是\_\_\_\_\_反应（填“氧化”或“还原”）。

② 写出 NiO 电极的电极反应式：\_\_\_\_\_。

【来源】2013 年北京卷

【答案】(1)  $3\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 + \text{NO}$

(2) ①  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{NO}(\text{g})$ ;  $\Delta H = +183\text{KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$     ② 增大



②根据 Mg、Ca、Sr 和 Ba 的质子数，得知它们均为 II A 族元素。同一主族元素从上至下，原子半径逐渐增大。



【例 2】将光亮的铁丝伸入  $\text{AgNO}_3$  溶液中，一段时间后将铁丝取出。为检验溶液中 Fe 的氧化产物，将溶液中的  $\text{Ag}^+$  除尽后，进行了如下实验。可选用的试剂： $\text{KSCN}$  溶液、 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  溶液、氯水。

(1) 请完成下表：

操作	现象	结论
取少量除尽 $\text{Ag}^+$ 后的溶液于试管中，加入 $\text{KSCN}$ 溶液，振荡	①	存在 $\text{Fe}^{3+}$
取少量除尽 $\text{Ag}^+$ 后的溶液于试管中，加入 ②，振荡	③	存在 $\text{Fe}^{2+}$

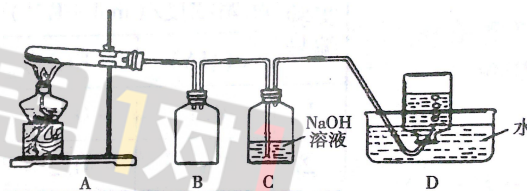
【实验结论】Fe 的氧化产物为  $\text{Fe}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{3+}$ 。

## II. $\text{AgNO}_3$ 的热稳定性

用下图所示的实验装置 A 加热  $\text{AgNO}_3$  固体，产生红棕色气体，在装置 D 中收集到无色气体。当反应结束后，试管中残留固体为黑色。

(2) 装置 B 的作用是\_\_\_\_\_。

(3) 经小组讨论并验证该无色气体为  $\text{O}_2$ ，其验证方法是\_\_\_\_\_。



(4) 【查阅资料】 $\text{Ag}_2\text{O}$  和粉末状的 Ag 均为黑色； $\text{Ag}_2\text{O}$  可溶于氨水。

【提出设想】试管中残留的黑色固体可能是：i. Ag；ii.  $\text{Ag}_2\text{O}$ ；iii. Ag 和  $\text{Ag}_2\text{O}$ 。

【实验验证】该小组为验证上述猜想，分别取少量黑色固体放入试管中，进行了如下实验。

实验编号	操作	现象
a	加入足量氨水，振荡	黑色固体不溶解
b	加入足量稀硝酸，振荡	黑色固体溶解，并有气体产生

【实验评价】根据上述实验，不能确定固体产物成分的实验是 ① (填实验编号)。

【实验结论】根据上述实验结果，该小组得出  $\text{AgNO}_3$  固体热分解的产物有 ②。

【来源】2013 年四川

【答案】(1) ①溶液呈红色 ② $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  溶液 ③产生蓝色沉淀

(2) 防倒吸

(3) 用带火星的木头伸入集气瓶内，木头复燃，证明无色气体为  $\text{O}_2$

(4) ①b ② Ag、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_2$

【例3】某研究小组想研究碳与浓硝酸的反应。其实验过程如下。

操作	现象
a. 用干燥洁净的烧杯取约 10 mL 浓硝酸，加热。	红热的木炭与热的浓硝酸接触发生剧烈反应，同时有大量红棕色气体产生，液面上木炭迅速燃烧，发出光亮。
b. 把小块烧红的木炭迅速伸入热的浓硝酸中。	

(1) 热的浓硝酸与红热的木炭接触会发生多个化学反应。

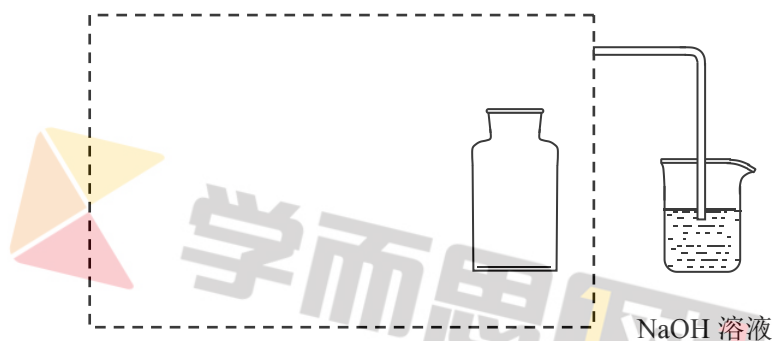
① 碳与浓硝酸的反应，说明浓硝酸具有\_\_\_\_\_性。

② 反应产生的热量会使少量浓硝酸受热分解，产生红棕色气体、一种无色无味的单质气体 X 和水，气体 X 的化学式是\_\_\_\_\_。

(2) 实验现象中液面上木炭迅速燃烧，发出光亮。同学甲认为可能是木炭与气体 X 反应产生的现象；同学乙猜测 NO<sub>2</sub> 可能具有助燃性，木炭能在 NO<sub>2</sub> 中燃烧。他们设计了以下实验。

I. 制取 NO<sub>2</sub> 气体。

① 在虚线框内画出用铜与浓硝酸制取和收集 NO<sub>2</sub> 的装置简图(夹持仪器略)。



② NaOH 溶液的作用是吸收多余的 NO<sub>2</sub>，该反应生成两种物质的量相等的正盐，写出反应的化学方程式\_\_\_\_\_。

II. 探究实验。

实验操作：在空气中引燃木炭，使其燃烧并带有火焰，将带火焰的木炭伸入盛有 NO<sub>2</sub> 气体的集气瓶中。

实验现象：木炭在 NO<sub>2</sub> 气体中持续燃烧，火焰迅速变亮，集气瓶中气体颜色变浅直至无色，产生的气体能使澄清石灰水变浑浊，且遇空气不变色。

① 根据实验现象写出碳与 NO<sub>2</sub> 气体反应的化学方程式\_\_\_\_\_。

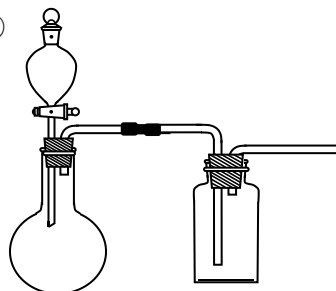
② 试分析是否需要增加带火焰的木炭与纯净的 X 气体反应的实验\_\_\_\_\_。

③ 通过实验探究，你认为甲、乙同学的预测是否合理，请简述理由\_\_\_\_\_。

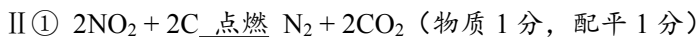
【2014 年丰台二模】

【答案】(1) ① 强氧化性 ② O<sub>2</sub>

(2) I ①



两处导气管进出长短对各 1 分，漏斗对 1 分)

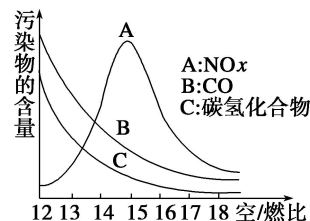


② 当木炭燃烧时, 体系中氧气浓度低于空气中氧气浓度, 所以不用补充木炭在纯氧中燃烧的实验。(按要求给分)

③ 主要是和  $\text{NO}_2$  的燃烧反应, 也会发生与氧气的燃烧反应, 因为两种气体均存在。(按要求给分)

**【例 4】** 稀薄燃烧是指汽油在较大空气/燃比 (空气与燃油

气的体积比) 条件下的燃烧。随着全球能源危机的加剧, 稀薄燃烧技术的研究受到了人们的重视, 但稀薄燃烧时, 常用的汽车尾气净化装置不能有效地将  $\text{NO}_x$  转化为  $\text{N}_2$ 。不同空/燃比时汽车尾气中主要污染物的含量变化如图所示。



(1) 稀薄燃烧技术除能节约能源外, 还具有的优点是\_\_\_\_\_ (填一项)。排放到大气中的  $\text{NO}_x$  会导致酸雨、\_\_\_\_\_ 等环境问题 (填一项)。

(2) 某校化学研究性学习小组的同学在技术人员的指导下, 按下列流程探究不同催化剂对  $\text{NH}_3$  还原  $\text{NO}$  反应的催化性能。



若控制其他实验条件均相同, 在催化反应器中装载不同的催化剂, 将经催化反应后的混合气体通入滴有酚酞的稀硫酸溶液 (溶液的体积、浓度均相同)。为比较不同催化剂的催化性能, 需要测量并记录的数据是\_\_\_\_\_。

(3) 若某一催化剂能同时催化  $\text{NH}_3$  等还原性气体与  $\text{NO}_x$  的反应。将该催化剂分别用于催化还原含等物质的量  $\text{NO}_x$  的两种气体: ① 纯  $\text{NO}$  气体, ② 汽车尾气。消耗  $\text{NH}_3$  的物质的量较多的可能是\_\_\_\_\_ (填字母), 原因是\_\_\_\_\_。

A. ①

B. ②

C. 都有可能

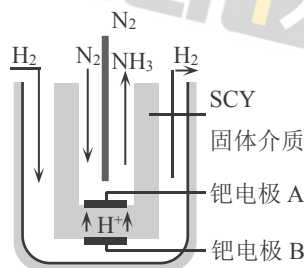
**【答案】** (1) 减少  $\text{CO}$  和碳氢化合物的污染 光化学烟雾或破坏臭氧层

(2) 溶液显色所需要的时间

(3) A 汽车尾气中含有一定量的  $\text{CO}$  和碳氢化合物, 少消耗  $\text{NH}_3$  或 B 汽车尾气中含有一定量的  $\text{NO}_2$ , 多消耗  $\text{NH}_3$  或 C 汽车尾气中同时含有  $\text{CO}$ 、碳氢化合物等还原性气体和  $\text{NO}_2$  等氧化性气体, 二者相对含量的不同可导致消耗  $\text{NH}_3$  的增多或减少

【例 5】现在普遍应用的工业合成氨的方法是哈伯于 1905 年发明的，但此法反应物的转化率不高。

- (1) 合成氨反应的化学方程式为  $1\text{N}_2(\text{g})+3\text{H}_2(\text{g})\rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ ，在一定温度下，向容积不变（始终为 10L）的密闭容器中加入 2 mol  $\text{N}_2$ 、8 mol  $\text{H}_2$  及固体催化剂。10 分钟后反应达到平衡状态，容器内气体压强变为起始的 80%，此时氨气的体积分数为\_\_\_\_\_，用氮气表示的反应速率为：\_\_\_\_\_。反应的化学平衡常数  $K=_____$  若想提高氨气的产率，根据化学平衡移动原理，请提出合理的建议：\_\_\_\_\_（任意写一条）。
- (2) 在上述平衡中，若再加入 2 mol  $\text{NH}_3$ 、2 mol  $\text{N}_2$ ，则此时反应平衡将\_\_\_\_\_移动。（填“向正方向”、“向逆方向”或“不”）。
- (3) 已知：0.01mol/L 氨水溶液 50ml 与同浓度同体积的盐酸混合，则溶液中各离子浓度的大小为：\_\_\_\_\_。若再往混合溶液中再加入 0.01mol/L 氨水溶液 50ml， $c(\text{Cl}^-)-c(\text{NH}_4^+)=_____$ ；(用溶液中微粒浓度表示等式)
- (4) 已知： $4\text{NH}_3(\text{g})+3\text{O}_2(\text{g})=2\text{N}_2(\text{g})+6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H=-1266.8 \text{ kJ/mol}$   
 $\text{N}_2(\text{g})+\text{O}_2(\text{g})=2\text{NO}(\text{g}) \quad \Delta H=+180.5 \text{ kJ/mol}$   
 氨催化氧化生成 NO 和水的热化学方程式为\_\_\_\_\_。
- (5) 随着对合成氨研究的发展，2001 年两位希腊化学家提出了电解合成氨的方法，即在常压下把氢气和用氨气稀释的氮气，分别通入一个加热到 570℃ 的电解池中，采用高质子导电性的 SCY 陶瓷（能传递  $\text{H}^+$ ）为介质，用吸附在它内外表面上的金属钡多晶薄膜做电极，实现了常压、570℃ 条件下高转化率的电解法合成氨（装置如下图）。

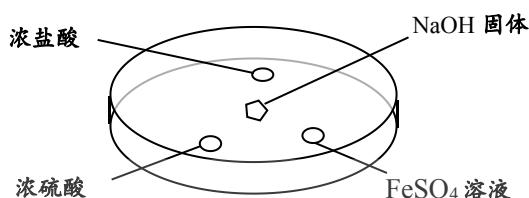


请回答：在电解法合成氨的电解池中\_\_\_\_\_（填“能”或“不能”）用水作电解质溶液的溶剂，原因是\_\_\_\_\_。钡电极 A 是电解池的\_\_\_\_\_极（填“阳”或“阴”），该极上的电反应式是\_\_\_\_\_。

- 【答案】(1) 25%；0.01mol/(L·min)；3.2 (mol/L)<sup>-2</sup>；增大氢气浓度或增大氮气浓度或增大反应物浓度或降温或增大压强或及时转移走生成的氨（其他合理答案均得分）
- (2) 逆方向
- (3)  $c(\text{Cl}^-)>c(\text{NH}_4^+)>c(\text{H}^+)>c(\text{OH}^-)$ ； $c(\text{H}^+)-c(\text{OH}^-)$
- (4)  $4\text{NH}_3+5\text{O}_2\rightleftharpoons 4\text{NO}+6\text{H}_2\text{O}$ ； $\Delta H=-905.8\text{kJ/mol}$
- (5) 不能；新法合成氨电解池的反应温度是 570℃ 时，水为水蒸气；  
 阴； $\text{N}_2+6\text{e}^-+6\text{H}^+=2\text{NH}_3$

【例 6】氨气在工农业生产中有重要应用。

- (1) ①氮气用于工业合成氨，写出氮气的电子式\_\_\_\_\_；  
 ②NH<sub>3</sub> 的稳定性比 PH<sub>3</sub>\_\_\_\_\_ (填写“强”或“弱”)。  
 (2) 如下图所示，向 NaOH 固体上滴几滴浓氨水，迅速盖上盖，观察现象。



表面皿

- ② 浓盐酸液滴附近会出现白烟，发生反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。  
 ③ 浓硫酸液滴上方没有明显现象，一段时间后浓硫酸的液滴中有白色固体，该固体可能是 (写化学式，一种即可)。  
 ③ FeSO<sub>4</sub> 液滴中先出现灰绿色沉淀，过一段时间后变成红褐色，发生的反应包括 Fe<sup>2+</sup> + 2NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O = Fe(OH)<sub>2</sub>↓ + 2NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和\_\_\_\_\_。  
 (3) 空气吹脱法是目前消除 NH<sub>3</sub> 对水体污染的重要方法。在一定条件下，向水体中加入适量 NaOH 可使 NH<sub>3</sub> 的脱除率增大，用平衡移动原理解释其原因\_\_\_\_\_。

(4) 在微生物作用下，蛋白质在水中分解产生的氨能够被氧气氧化生成亚硝酸 (HNO<sub>2</sub>)，反应的化学方程式为\_\_\_\_\_，若反应中有 0.3 mol 电子发生转移时，生成亚硝酸的质量为 g (小数点后保留两位有效数字)。

【2014 年海淀期末】

- 【答案】(1) ①·N::N: ② 强  
 (2) ①NH<sub>3</sub> + HCl = NH<sub>4</sub>Cl ②NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub> 或 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
 ③4Fe(OH)<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>O = 4Fe(OH)<sub>3</sub>  
 (3) 氨在水中存在平衡：NH<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O⇌NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O⇌NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+OH<sup>-</sup> (1 分，写成 NH<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O⇌NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+OH<sup>-</sup> 不扣分)，加入 NaOH 后 OH<sup>-</sup> 浓度增大平衡逆向移动 (1 分)，故有利于氨的脱除  
 (4) 2NH<sub>3</sub> + 3O<sub>2</sub>  $\xrightarrow{\text{微生物}}$  2HNO<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>O (2 分，不写微生物不扣分) 2.35 g