

## 高三年级化学第 9 课时

### 《真实问题解决 3—以 N(兼顾 P)元素为主题的概念原理元素化合物融合》学习指南

#### 一、学习目标

1. 会描述  $\text{NH}_3$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$  及重要含氮化合物（铵盐、硝酸）的物理性质（颜色、气味、气体密度、溶解性等）。
2. 熟知  $\text{NH}_3$ 、 $\text{HNO}_3$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$  等物质的化学性质（氧化性、水溶液酸碱性及特性）并能准确书写相关方程式。
3. 掌握氨气的实验室制法。
4. 理解工业合成氨、氨氮废水的去除、废水中  $\text{NO}_3^-$  的去除等化学反应原理题或工业流程题的设问角度及相应的答题思路。

#### 二、学法指导

N 是典型的非金属元素，其单质和化合物都是中学常见物质。在工业生产中，氮元素有两大重要的工业，合成氨工业—解决了人类的吃饭问题，并史无前例地在研究合成氨方面获得了三次诺贝尔奖；另一个是合成硝酸工业。因此，含 N 元素的物质有重要的价值和作用，其中，氨气、硝酸都是高考的重要考点，其他如氮氧化物（一氧化氮，二氧化氮）在高考中也时常出现。

##### 1. 考点回顾

| 年份   | 题号   | 考点（知识点）                                           |
|------|------|---------------------------------------------------|
| 2019 | 28   | $\text{SO}_2$ 与 $\text{AgNO}_3$ 溶液的反应实验探究         |
|      | 10   | 氮氧化物的性质                                           |
| 2018 | 6/8  | 偏二甲肼燃烧/ $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 电离 |
|      | 26   | 磷精矿制备磷酸：反应速率的影响因素、强弱酸、周期律、陌生方程书写、效率问题、定量计算        |
| 2017 | 13   | 浓硝酸性质                                             |
|      | 27   | 新技术降低 $\text{NO}_x$ 排放：陌生方程书写、返滴定计算、同位素示踪法        |
| 2016 | 26   | Fe 去除水体中的 $\text{NO}_3^-$ ：原电池、陌生方程书写             |
| 2015 | 7    | $\text{H}_3\text{PO}_4$ 酸性周期律                     |
|      | 8    | 自然界氮循环：各物质的性质                                     |
|      | 12   | 稀硝酸、浓硝酸的性质                                        |
| 2014 | 6    | $\text{HNO}_3$ 危险化学品种类                            |
|      | 9/11 | $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 电离 / 氨气的制法 |

|      |    |                                                                                                             |
|------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | 16 | NH <sub>3</sub> 制备 HNO <sub>3</sub> 和 NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> : 方程式书写、平衡、电解池                        |
| 2013 | 8  | NH <sub>3</sub> 的性质                                                                                         |
|      | 11 | NO <sub>2</sub> 颜色、2NO <sub>2</sub> ⇌ N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 平衡、NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O 电离 |
|      | 26 | NO <sub>x</sub> 是汽车尾气处理: 热化学方程式、方程式书写、周期律、原电池                                                               |

## 2. 高考试题命题规律及设问特点

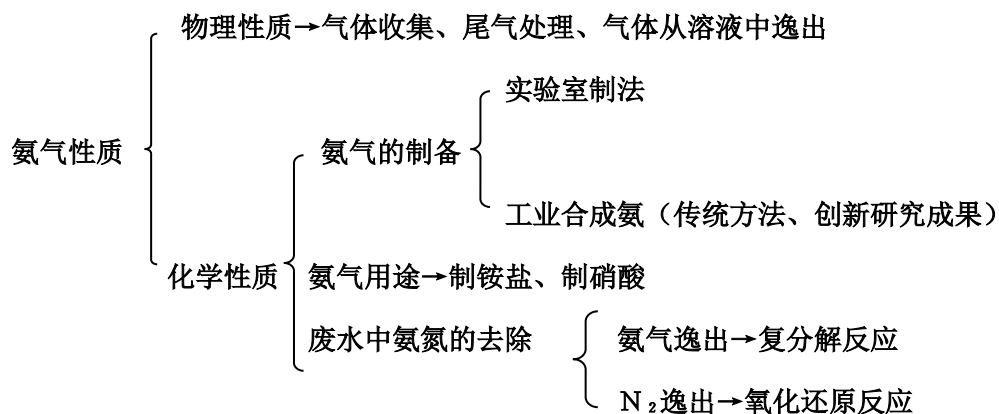
(1) 考查一些陌生方程式的书写, 考查认识物质化学性质的角度, 以及书写方程式的能力; 对含N的多种物质的性质进行了考查, 还对涉及的平衡(化学平衡、电离平衡)进行了考查; 对 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>酸性进行了 2 次考查。

(2) 了解常见含氮物质对大气污染和水污染的影响及其处理方法, 对 N O<sub>x</sub> 的消除及科学研究的热点, 也是高考考核的热点。

(3) 重视基础知识的理解和应用, 在高考中含 N 物质的考查经常以大题的形式出现, 以元素化合物的知识为载体, 考查学生应用化学反应原理的知识解决真实问题的能力。

(4) 以含氮物质之间的转化为基础, 重视在真实问题情景下设计问题, 考查学生理解调控化学反应的方法以及能否找到调控反应的角度。

## 3. 相关知识梳理(以氨气为主线)

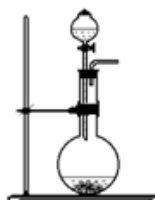
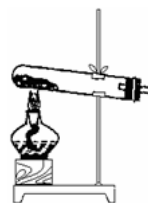


## 三、学习任务

### (一) 氨气的制备。

1. 实验室制氨气。请完成下表。

|      |         |           |
|------|---------|-----------|
| 药品   | 氯化铵、熟石灰 | 固体氧化钙、浓氨水 |
| 反应原理 |         |           |
|      |         |           |



|          |        |  |
|----------|--------|--|
| 发生装置     |        |  |
| 收集方法     |        |  |
| 检验(验满)方法 | ①<br>② |  |
| 防污染措施    |        |  |

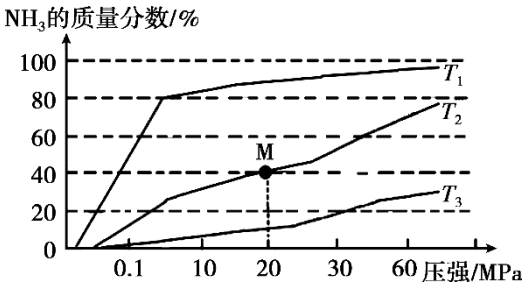
2. 工业制法。工业合成氨化学方程式是：\_\_\_\_\_。

(1) 已知断开 1 mol 化学键所需的能量见下表。则生成 1mol  $\text{NH}_3$  时反应的

$\Delta H$  为 \_\_\_\_\_  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

|                                       |                            |                       |                       |
|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                       | $\text{N} \equiv \text{N}$ | $\text{H} - \text{H}$ | $\text{N} - \text{H}$ |
| 键能/ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ | 945                        | 436                   | 391                   |

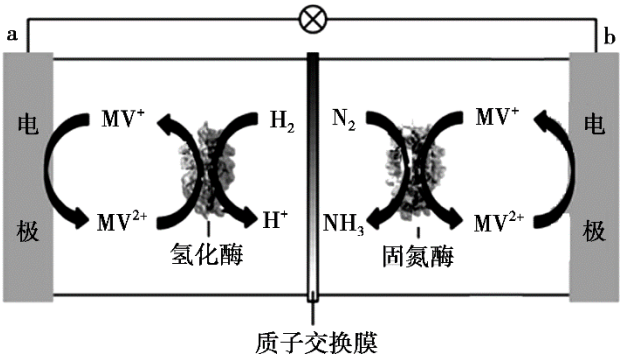
(2) 传统合成氨工艺是将  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  在高温、高压条件下发生反应。若向容积为 1.0 L 的反应容器中投入 5 mol  $\text{N}_2$ 、15 mol  $\text{H}_2$ ，在不同温度下分别达平衡时，混合气中  $\text{NH}_3$  的质量分数随压强变化的曲线如下图所示。



① 温度  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  大小关系是\_\_\_\_\_。

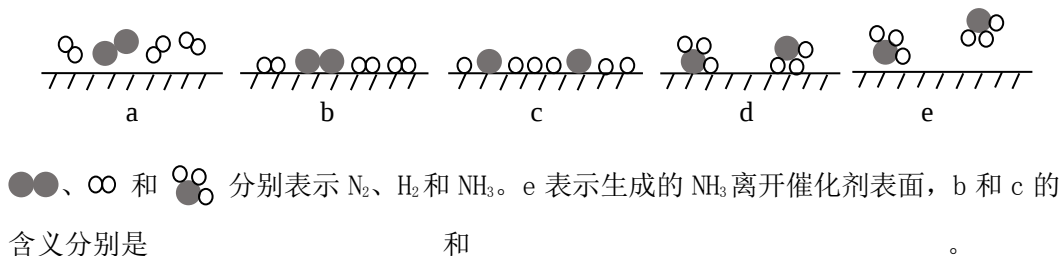
② M 点的平衡常数  $K =$  \_\_\_\_\_ (可用分数表示)。

(3) 目前科学家利用生物燃料电池原理 (电池工作时  $\text{MV}^{2+}/\text{MV}^+$  在电极与酶之间传递电子)，研究室温下合成氨并取得初步成果，示意图如下：



- ① 导线中电子移动方向是\_\_\_\_\_。
- ② 固氮酶区域发生反应的离子方程式是\_\_\_\_\_。
- ③ 相比传统工业合成氨，该方法的优点有\_\_\_\_\_。

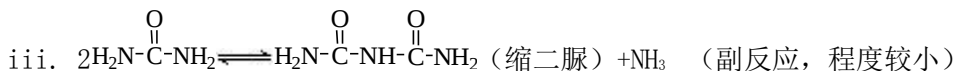
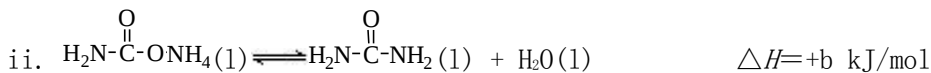
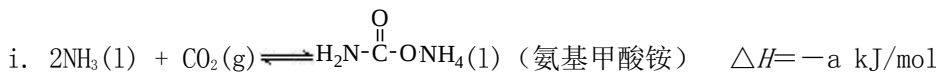
(4) 2007 年化学家格哈德·埃特尔在哈伯研究所证实了氢气与氮气在固体催化剂表面合成氨的反应过程，示意图如下：



## (二) 氨气的用途。

1. 工业上常用浓氨水检验氯气管道是否泄漏。若观察到\_\_\_\_\_，则说明氯气泄漏，反应方程式为：\_\_\_\_\_。

2. 制氮肥。尿素 [ $CO(NH_2)_2$ ] 是首个由无机物合成的有机化合物，通常用作植物的氮肥。合成尿素的主要反应如下：



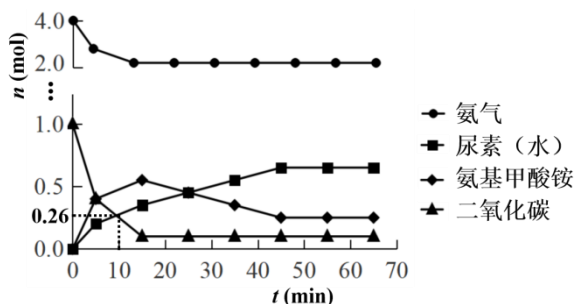
(1)  $CO_2$  和  $NH_3$  合成尿素的热化学方程式为\_\_\_\_\_。

(2) 工业上提高氨碳比 ( $\frac{n(NH_3)}{n(CO_2)}$ )，可以提高尿素的产率，结合反应 i~iii，解释尿素产率提高的原因\_\_\_\_\_。

(3) 科研小组模拟工业合成尿素，一定条件下，在 0.5L 的密闭容器中投入 4mol  $NH_3$  和 1mol  $CO_2$ ，测得反应中各组分的物质的量随时间变化如下图所示：

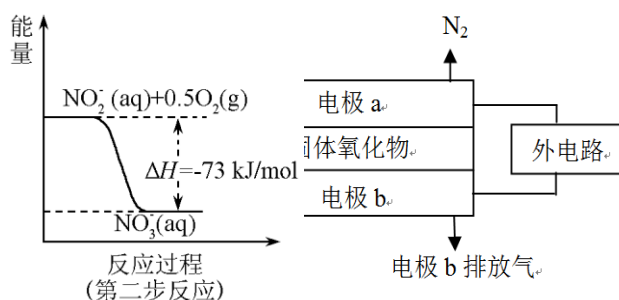
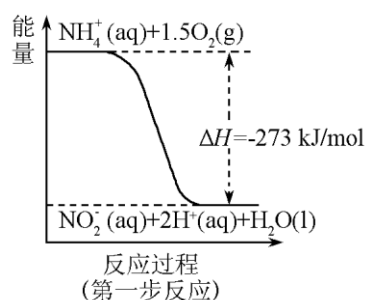
① 反应进行到 10min 时，用  $CO_2$  表示反应 i 的速率  $v(CO_2) =$ \_\_\_\_\_。

② 合成总反应的快慢由慢的一步决定，则合成尿素的总反应的快慢由第\_\_步反应决定 (填“i”或“ii”)。



3.

以氨  
作为  
燃料  
的固  
体氧



化物(含有 $O^{2-}$ )燃料电池，具有全固态结构、能量效率高、无污染等特点。工作原理如图所示：

(1) 固体氧化物作为电池工作的电解质，

$O^{2-}$  移向\_\_\_\_\_ (填字母)。

A. 电极a

B. 电极b

(2) 该电池工作时，电极 a 上发生的电极反应为\_\_\_\_\_。

### (三) 氨氮废水的去除。

某氮肥厂氨氮废水中的氮元素多以  $NH_4^+$  和  $NH_3 \cdot H_2O$  的形式存在，该废水的处理流程如下：

(1) 过程 I：加 NaOH 溶液，调节 pH 至 9 后，升温至  $30^\circ C$ ，通空气将氨赶出并回收。

①用离子方程式表示加



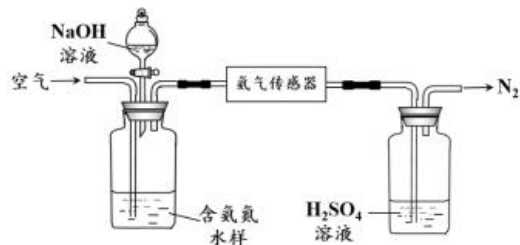
NaOH 溶液的作用：\_\_\_\_\_。

②用化学平衡原理解释通空气的目的：\_\_\_\_\_。

(2) 过程 II：在微生物作用的条件下， $NH_4^+$  经过两步反应被氧化成  $NO_3^-$ 。两步反应的能量变化示意图如下：1 mol  $NH_4^+(aq)$  全部氧化成的  $NO_3^-(aq)$  热化学方程式是\_\_\_\_\_。

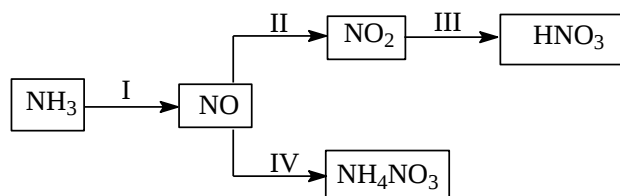
(3) 过程III: 一定条件下向废水中加入  $\text{CH}_3\text{OH}$ , 将  $\text{HNO}_3$  还原成  $\text{N}_2$ 。若该反应消耗 32 g  $\text{CH}_3\text{OH}$  转移 6 mol 电子, 则参加反应的还原剂和氧化剂的物质的量之比是\_\_\_\_\_。

(4) 利用氨气传感器检测水体中氨氮含量的示意图如右。若利用氨气传感器将 1 L 水样中的氨氮完全转化为  $\text{N}_2$  时, 转移电子的物质的量为  $6 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则水样中氨氮(以氨气计)含量为\_\_\_\_\_  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。



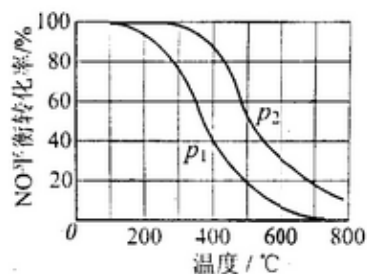
#### 四、经典试题解析。

(2014 年北京 26)  $\text{NH}_3$  经一系列反应可以得到  $\text{HNO}_3$  和  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 如下图所示。



(1) I 中,  $\text{NH}_3$  和  $\text{O}_2$  在催化剂作用下反应, 其化学方程式是\_\_\_\_\_。

(2) II 中,  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ 。在其他条件相同时, 分别测得 NO 的平衡转化率在不同压强 ( $p_1$ 、 $p_2$ ) 下温度变化的曲线(如右图)。



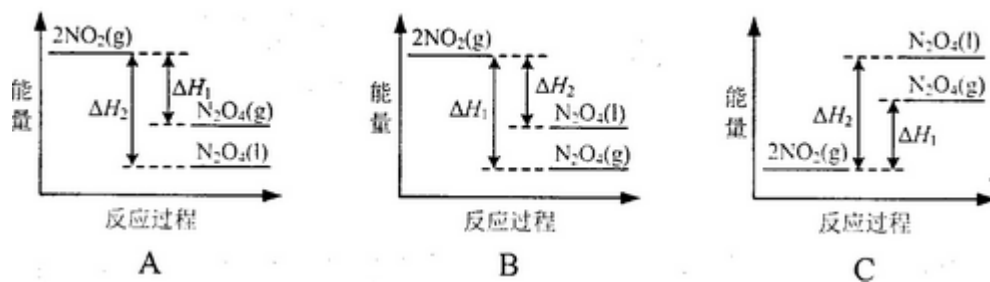
①比较  $p_1$ 、 $p_2$  的大小关系\_\_\_\_\_。

②随温度升高, 该反应平衡常数变化的趋势是\_\_\_\_\_。

(3) III 中, 将  $\text{NO}_2(\text{g})$  转化成  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{l})$ , 再制备浓硝酸。

①已知:  $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \quad \Delta H$        $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{l}) \quad \Delta H_2$

下列能量变化示意图中, 正确的是(选填字母)\_\_\_\_\_。

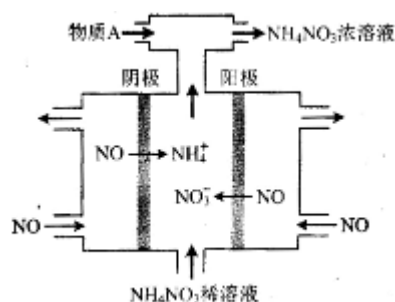


②  $\text{N}_2\text{O}_4$  与  $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  化合的化学方程式\_\_\_\_\_。

(4) IV 中，电解  $\text{NO}$  制备  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ，其工作原理如右图所示，

为使电解产物全部转化为  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ，需补充物质 A，A 是\_\_\_\_\_，

说明理由：\_\_\_\_\_。



【答案】26. (1)  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$

(2) ①  $p_2 > p_1$  ② 变小

(3) ① A ②  $2\text{N}_2\text{O}_4 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HNO}_3$

(4)  $\text{NH}_3$  根据电子守恒，阳极得到的  $\text{NO}_3^-$  的量大于阴极得到的  $\text{NH}_4^+$  的量，所以需充入  $\text{NH}_3$  (或从阴阳极电极反应式说明也可)

【解析】

(1) 氨气和氧气在铂铑合金做催化剂加热的条件下课生成一氧化氮好水，课本反应方程为



(2) ① 由反应  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$  该反应的正反应方向是气体物质的量减少的反应，当其他条件不变时，压强越大，平衡向正反应方向（即生成  $\text{NO}_2$  的方向）进行， $\text{NO}$  的转化率就会变大，由右图可知，相同温度下， $P_2$  所表示的  $\text{NO}$  转化率大于  $P_1$ ，所以  $P_2 > P_1$ ，即  $P_1 < P_2$ ；

② 根据图可以看出，当压强一定时，随着温度的升高， $\text{NO}$  的转化率降低，即升温反应向逆反应方向移动，根据平衡常数计算公式计算可得平衡常数随着温度的升高而减小。

(3) ①  $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \quad \Delta H \quad \text{①}$

$2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{l}) \quad \Delta H \quad \text{②}$

根据盖斯定律：①—②得

$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{l}) \quad \Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$ ，一般来说，物质由气态变为液态，放出热量，即  $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2 < 0$ ，即  $\Delta H_1 > \Delta H_2$ ，由降低温度，将  $\text{NO}_2$  转化为  $\text{N}_2\text{O}_4$ ，可知该反应为放热反应，即  $0 > \Delta H > \Delta H_2$ ，即反应物  $2\text{NO}_2(\text{g})$  的总能量大于生成物  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  和  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{l})$  的总能量，且前者放出的热量小，故答案为 A；

② $\text{N}_2\text{O}_4$  与  $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  是氧化还原反应本初考查主要在于根据氧化还原反应的配平，其反应方程式为  $2\text{N}_2\text{O}_4 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HNO}_3$

(4) 由电解示意图可知，两极的反应物均为 NO， $1\text{mol NO}$  生成  $1\text{mol NH}_4^+$  需要得到  $5\text{mol}$  电子， $1\text{mol NO}$  生成  $1\text{mol NO}_3^-$  需要失去  $3\text{mol}$  电子，故反应两极反应 NO 的物质的量之比为 3:5，所以生成的  $\text{NH}_4^+$  与  $\text{NO}_3^-$  的物质的量之比亦为 3:5，所以  $\text{NO}_3^-$  量大于  $\text{NH}_4^+$ ，且溶液中有  $\text{H}^+$  剩余，欲使物质全部转化成  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ，则需加入能形成  $\text{NH}_4^+$  的物质，故需补充  $\text{NH}_3$ 。

## 五、学法指导及相关建议

- (1) 阅读教材《必修 1》第四章第 4 节、《化学反应原理（选修 4）》第 1、2、4 章，牢记教材中的原型知识、熟悉重要物质性质及相关实验、方程式等。
- (2) 熟悉认识物质化学性质的认识角度，能快速书写各种化学用语。
- (3) 熟练掌握认识化学反应的角度，能快速识别出试题中信息及设问所对应的角度。
- (4) 熟练掌握“用平衡移动原理解释”、解释温度及、压强大小的推导过程等题型的规范表达。

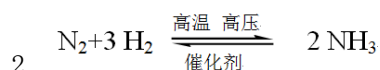
## 六、知识梳理的答案

(一) 氨气的制备：

1. 实验室制氨气。请完成下表。

|      |                                                                                                                                   |                                                                                                                  |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 药品   | 氯化铵、熟石灰                                                                                                                           | 固体氧化钙、浓氨水                                                                                                        |
| 反应原理 | $2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\Delta} \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ | $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons{\text{CaO}} \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ |
| 发生装置 |                                                |                                                                                                                  |
| 收集方  | 向下排空气法                                                                                                                            |                                                                                                                  |

|              |                                                                                |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 法            |                                                                                |
| 检验<br>(验满)方法 | 方法 1: 用湿润的红色石蕊试纸检测气体, 试纸变蓝, 说明气体是氨气<br>方法 2: 用一根玻璃棒蘸取浓盐酸, 靠近气体, 有大量白烟, 说明气体是氨气 |
| 防污染措施        | 用水进行尾气处理                                                                       |



(1) -92

(2) ①  $T_1 < T_2 < T_3$

②  $\frac{4^2}{3 \times 9^3}$  (或  $7.32 \times 10^{-3}$ )

(3) ①  $a \rightarrow b$

②  $\text{N}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{MV}^+ \rightleftharpoons 2\text{NH}_3 + 6\text{MV}^{2+}$

③ 条件温和、生成氨的同时释放电能 (其他答案合理给分)

## (二) 氨气的用途

1. 冒白烟  $3\text{Cl}_2 + 8\text{NH}_3 = 6\text{NH}_4\text{Cl} + \text{N}_2$

2. (1)  $2\text{NH}_3(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{NH}_2(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = (b-a) \text{ kJ/mol} \dots\dots\dots (2 \text{ 分})$

(2) 提高氨碳比 ( $\frac{n(\text{NH}_3)}{n(\text{CO}_2)}$ ) 有利于反应 i、ii 正向移动, 促进甲基甲酸铵分解生成尿素, 有利于反应 iii 逆向移动, 抑制副反应 iii 的发生, 从而提高尿素产率  $\dots\dots\dots (2 \text{ 分})$

(3) ①  $0.148 \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min}) \dots\dots\dots (2 \text{ 分})$

② ii  $\dots\dots\dots (1 \text{ 分})$

3. (1) A

(2)  $2\text{NH}_3 + 3\text{O}^{2-} - 6\text{e}^- = \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

## (三) 氨氮废水的去处

(1) ①  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

② 废水中  $\text{NH}_3$  被空气带走, 使  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$  的平衡向正反应方向移动, 利于除氨

(2) ① 放热

$\Delta H = -273 \text{ kJ/mol} < 0$  (反应物的总能量大于生成物的总能量)

②  $\text{NH}_4^+(\text{aq}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -346 \text{ kJ/mol}$

(3) 5:6

( 4 ) 3.4