

## 研究与实践 了解汽车尾气的治理

### 【研究目的】

汽车等交通工具为出行、物流带来了舒适和方便。然而，燃油车排放的尾气中含有大量的有害物质，会对人体健康和环境产生危害。通过本活动，认识反应条件的选择与优化在治理汽车尾气中的重要作用，增强自觉遵守法规、保护生态环境的意识和责任。

### 【阅读材料】

(1)认识尾气的成分及其危害。

①以汽油的成分之一——辛烷( $C_8H_{18}$ )为例，分析空气燃油比、温度等因素对燃烧及其尾气排放的影响。

影响汽油发动机排放的最主要因素是混合气的空燃比，理论上一公斤燃料完全燃烧时需要14.7公斤的空气。这种空气和燃料的比例称为化学当量比。空燃比小于化学当量比时供给浓混合气，此时发动机发出的功率大，但燃烧不完全，生成的CO、HC(碳氢化合物)多；当混合气略大于化学当量比时，燃烧效率最高，燃油消耗量低，但生成的 $NO_x$ 也最多。

发动机的工作温度应保持在80~90℃范围内，温度过高过低均会对汽油机的燃烧过程产生不利影响。进气温度高，使发动机实际进气量减少，发动机的动力性下降，有害排放增加；发动机温度过低时，传热温度加大，热损失将增多，耗油率增加。此外，还容易使燃烧中的酸根和水蒸气结合成酸类物质，使气缸腐蚀磨损增加，汽油雾化蒸发不良，进而使燃烧形成的积炭和排放污染增加。

②查阅资料，了解汽车尾气中有害物质的成因及危害。

汽车尾气最主要的危害是形成光化学烟雾。汽车尾气中的碳氢化合物和氮氧化物在阳光作用下发生化学反应，生成臭氧，它和大气中的其他成分结合就形成光化学烟雾。其对健康的危害主要表现为刺激眼睛，引起红眼病；刺激鼻、咽喉、气管和肺部，引起慢性呼吸系统疾病。

汽车尾气中一氧化碳的含量最高，它是燃油不能充分燃烧产生的。它可经呼吸道进入肺泡，被血液吸收，与血红蛋白相结合，降低血液的载氧能力，削弱血液对人体组织的供氧量，导致组织缺氧，从而引起头痛等症状，重者窒息死亡。

汽车尾气中的氮氧化物主要是由于空气中的氮气和氧气在气缸里的高温高压的条件下生成的，它虽然含量较少，但毒性很大，其毒性是含硫氧化物的3倍。氮氧化物进入肺泡后，能形成亚硝酸和硝酸，对肺组织产生剧烈的刺激作用，增加肺毛细管的通透性，最后造成肺气肿。亚硝酸盐则与血红蛋白结合，形成高铁血红蛋白，引起组织缺氧。

(2)通过多种途径了解尾气的治理。

①了解我国汽车尾气的排放标准和治理现状。

2016年12月23日,环境保护部、国家质检总局发布《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段)》,自2020年7月1日起实施。国六b将会在2023年7月1日实施。

“国六”与“国五”排放物限值差异			
排放物	国五(汽油车)	国六 a	国六 b
一氧化碳 CO	1 000(mg·km <sup>-1</sup> )	700(mg·km <sup>-1</sup> )	500(mg·km <sup>-1</sup> )
碳氢化合物 THC	100(mg·km <sup>-1</sup> )	100(mg·km <sup>-1</sup> )	50(mg·km <sup>-1</sup> )
非甲烷总烃 NMHC	68(mg·km <sup>-1</sup> )	68(mg·km <sup>-1</sup> )	35(mg·km <sup>-1</sup> )
氮氧化物 NO <sub>x</sub>	60(mg·km <sup>-1</sup> )	60(mg·km <sup>-1</sup> )	35(mg·km <sup>-1</sup> )
PM 颗粒	4.5(mg·km <sup>-1</sup> )	4.5(mg·km <sup>-1</sup> )	3(mg·km <sup>-1</sup> )

治理现状:汽车尾气污染的防治从三个方面入手:一是改进控制技术,主要是提高燃油的燃烧率,安装防污染处理设备和开发新型汽车;二是运用行政管理手段,严格汽车排放标准,采取报废更新,及时淘汰旧车;三是提高车辆的使用技巧,通过合理使用车辆,减少有害物质的排放。

②了解汽车尾气三元催化转化中涉及的化学原理。

三元催化转换器由一个金属外壳,一个网底架和一个催化层(含有铂、铑等贵金属)组成,可除去 HC(碳氢化合物)、CO(一氧化碳)和 NO<sub>x</sub>(氮氧化合物)三种主要污染物质的 90%(所谓三元是指除去这三种化合物时所发生的化学反应)。当废气经过净化器时,铂催化剂就会促使 HC 与 CO 氧化生成水蒸气和二氧化碳;铑催化剂会促使 NO<sub>x</sub> 还原为氮气和氧气。这些氧化反应和还原反应只有在温度达到 250 °C 时才开始进行。

③了解选择性催化还原(SCR)技术在柴油车尾气治理中的应用。

选择性催化还原技术(SCR)是针对柴油车尾气排放中 NO<sub>x</sub> 的一项处理工艺,即在催化剂的作用下,喷入还原剂氨或尿素,把尾气中的 NO<sub>x</sub> 还原成 N<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O。该技术也被广泛应用于柴油机尾气后处理,从而达到既节能又减排的目的。

### 【结果与讨论】

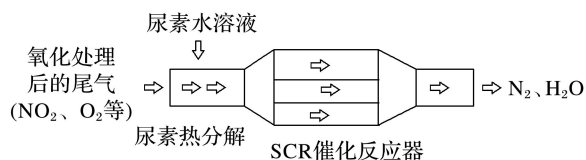
通过调查和分析,你得到什么启示?

通过调查和分析,了解到汽车尾气的成分和危害,还有我国面临的严峻形势以及国家在治理方面所采取的措施,了解了化学在治理汽车尾气新技术中所起到的巨大作用,体会到化学独特的魅力,更有了学好化学的动力。

### 【应用体验】

1. SCR 和 NSR 技术可有效降低柴油发动机在空气过量条件下 NO<sub>x</sub> 的排放。

SCR(选择性催化还原)工作原理:



(1) 尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 水溶液热分解为  $\text{NH}_3$  和  $\text{CO}_2$ ，该反应的化学方程式：

\_\_\_\_\_。

(2) 反应器中  $\text{NH}_3$  还原  $\text{NO}_2$  的化学方程式：\_\_\_\_\_。

(3) 当燃油中含硫量较高时，尾气中  $\text{SO}_2$  在  $\text{O}_2$  作用下会形成  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，使催化剂中毒。用化学方程式表示  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  的形成：\_\_\_\_\_。

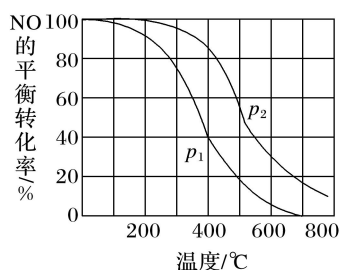
答案 (1)  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{CO}_2 \uparrow$

(2)  $8\text{NH}_3 + 6\text{NO}_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$

(3)  $2\text{H}_2\text{O} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 + 2\text{SO}_2 \rightleftharpoons 2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

解析 (1) 尿素水溶液热分解为  $\text{NH}_3$  和  $\text{CO}_2$ ，根据原子守恒，发生反应的化学方程式为  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{CO}_2 \uparrow$ 。(2)  $\text{NH}_3$  在催化作用下还原  $\text{NO}_2$  生成氮气和水，根据电子守恒和原子守恒可得此反应的化学方程式为  $8\text{NH}_3 + 6\text{NO}_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$ 。(3)  $\text{SO}_2$  在  $\text{O}_2$  的作用下会与氨气和水发生反应，生成硫酸铵，在此反应中， $\text{SO}_2$  是还原剂， $\text{O}_2$  是氧化剂，根据电子守恒和原子守恒定律，反应的化学方程式为  $2\text{H}_2\text{O} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 + 2\text{SO}_2 \rightleftharpoons 2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 。

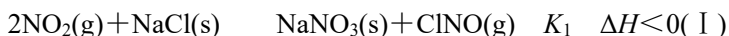
2. (1) 汽车尾气是造成空气污染产生雾霾的原因之一。其中涉及的反应  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$  在其他条件不变达平衡时，分别测得  $\text{NO}$  的平衡转化率在不同压强 ( $p_1$ 、 $p_2$ ) 和温度下变化的曲线(如图)。



① 比较  $p_1$ 、 $p_2$  的大小关系：\_\_\_\_\_。

② 当温度升高时，该反应平衡常数变化的趋势是\_\_\_\_\_。

(2) 研究氮氧化物与悬浮在大气中海盐粒子的相互作用时，涉及如下反应：



①  $4\text{NO}_2(\text{g}) + 2\text{NaCl}(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{NaNO}_3(\text{s}) + 2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  的平衡常数  $K = \underline{\hspace{2cm}}$  (用  $K_1$ 、 $K_2$  表示)。

② 为研究不同条件对反应(II)的影响，在恒温条件下，向 2 L 恒容密闭容器中加入 0.2 mol  $\text{NO}$  和 0.1 mol  $\text{Cl}_2$ ，10 min 时反应(II)达到平衡。测得 10 min 内  $v(\text{ClNO}) = 7.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，



则达到新平衡时 NO 的转化率 \_\_\_\_\_ (填“升高”或“降低”),  $\Delta H$  \_\_\_\_\_ 0 (填“>”或“<”)。

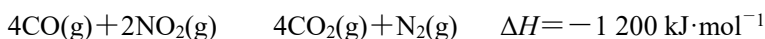
答案 (1) 温度 400 °C, 氨氮物质的量之比为 1 在 400 °C 时催化剂的活性最好, 催化效率高, 同时 400 °C 温度较高, 反应速率快

(2) ①  $0.015 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$   $0.56$  (或  $\frac{9}{16}$ ) ② CD ③ 降低 <

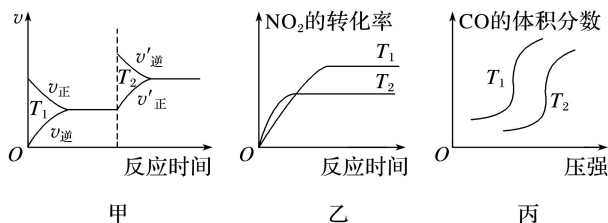
解析 (1) 根据图示, 提高脱硝效率的最佳条件为 400 °C, 氨氮物质的量之比为 1; 在 400 °C 时催化剂的活性最好, 催化效率高, 同时 400 °C 温度较高, 则反应速率快。(2) ① 根据表格数据可知: 在 20 min 内  $\text{CO}_2$  的浓度增大  $0.30 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 则用  $\text{CO}_2$  的浓度改变表示反应速率是  $v(\text{CO}_2) = 0.30 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \div 20 \text{ min} = 0.015 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ; 反应达到平衡时, 各种物质的浓度分别是:  $c(\text{NO}) = 0.48 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $c(\text{N}_2) = c(\text{CO}_2) = 0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 所以在该温度下的化学平衡常数  $K = \frac{c(\text{N}_2)\cdot c(\text{CO}_2)}{c^2(\text{NO})} = \frac{(0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})\cdot(0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})}{(0.48 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})^2} = \frac{9}{16} \approx 0.56$ 。② 适当缩小容器的体积, 则在这一

瞬间, 所有气体的浓度都会增大, 在达到新的平衡之后, 每种气体的浓度还是比原平衡时的大, 故选 C 项; 通入一定量的 NO, 平衡向右移动, 则  $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}_2$  的浓度都会增大, 因为加入了一定量 NO, 即使减小了, 但还是比上一个平衡的浓度大, 故选 D 项; 通入一定量的  $\text{CO}_2$ , 平衡向左移动, 则  $\text{N}_2$  的浓度会减小, 不符合题意, 故不选 A 项; 催化剂不影响平衡移动, 故不选 B 项; 活性炭是固体, 不影响平衡移动, 故不选 E 项;  $\Delta H > 0$ , 升高温度平衡右移,  $c(\text{NO})$  减小, 故不选 F 项。③ 在原平衡时,  $c(\text{NO}) : c(\text{N}_2) : c(\text{CO}_2) = 0.48 : 0.36 : 0.36 = 4 : 3 : 3$ , 若 30 min 后升高温度至  $T_2$  °C, 达到平衡时, 容器中 NO、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}_2$  的浓度之比为 5 : 3 : 3, 氮气和二氧化碳浓度之比始终为 1 : 1, 所以  $5 : 3 > 4 : 3$ , 说明平衡向逆反应方向移动, 升高温度平衡逆向移动, 根据平衡移动原理: 升高温度, 化学平衡向吸热反应方向移动, 说明逆反应是吸热反应, 则正反应是放热反应, 故  $\Delta H < 0$ 。

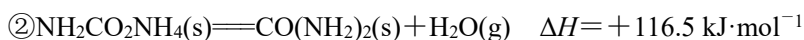
4. (1) 汽车尾气中含有 CO、 $\text{NO}_2$  等有毒气体, 对汽车加装尾气净化装置, 可使有毒气体转化为无毒气体。



对于该反应, 温度不同 ( $T_2 > T_1$ )、其他条件相同时, 下列图像正确的是 \_\_\_\_\_ (填代号)。



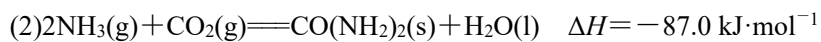
(2) 以  $\text{CO}_2$  与  $\text{NH}_3$  为原料可合成化肥尿素 [化学式为  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ]。已知:





写出  $\text{CO}_2$  与  $\text{NH}_3$  合成尿素和液态水的热化学方程式：\_\_\_\_\_。

答案 (1)乙



解析 (1)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，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，并且由于该反应的正反应是放热反应，所以升高温度，化学平衡向吸热的逆反应方向移动，使二氧化氮的转化率减小，正确；丙：对于该反应来说，正反应是气体体积减小的反应，在温度不变时，增大压强，平衡正向移动，一氧化碳的体积分数会减小，错误。(2)依据热化学方程式和盖斯定律计算①+②-③得到  $\text{CO}_2$  与  $\text{NH}_3$  合成尿素和液态水的热化学方程式为  $2\text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{NH}_2)_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -87.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。