

模拟雷雨条件下氮气和氧气反应的数字化实验探究^{*}

王保强^{**} 刘方云 李增坤

(新沂市第一中学 江苏新沂 221400)

摘要 设计了高压放电条件下 N_2 和 O_2 反应的实验装置, 利用氧气传感器和压强传感器测量放电后 O_2 浓度的变化, 停止放电后 O_2 浓度进一步减小, 说明反应过程中生成了 NO 。向反应后的体系中注入紫色石蕊溶液, 模拟雨水中 NO_2 与水反应, 可以观察到红棕色变淡, 紫色石蕊溶液变红, 且氧气和压强传感器数值进一步减小, 说明 NO_2 与水反应生成酸性物质, 同时生成了 NO 。

关键词 氮气 氧气 数字化实验

DOI: 10.13884/j.1003-3807hxjy.2017060059

氮是生物维持生命所必需的营养元素。植物通过根部直接吸收利用的主要是 NO_3^- 和 NH_4^+ , 将游离态的氮转化为含氮化合物的过程称为氮的固定, 简称固氮。目前固氮的方式主要有: 闪电固氮、工业固氮、生物固氮、化学模拟固氮和低温等离子体放电固氮。

闪电会使空气中的分子发生电离, 电离后的氮、氧分子具有很强的活化性质, 反应生成氮氧化物, 溶解于雨水中形成亚硝酸盐和硝酸盐, 降落至土壤里与土壤中的矿物质化合形成天然氮肥, 据有关测算, 全球每年因为闪电形成的氮肥约为 4 亿吨, 主要发生在热带。闪电固氮在自然界氮的循环中占有重要的地位。

1 问题的提出

1.1 教材中没有给出 N_2 和 O_2 反应的实验设计

在苏教版《化学 1》教材专题 4 中, 通过“雷雨发庄稼”事例, 介绍氮气在放电条件下与氧气发生反应。教材中给出了闪电时生成氮氧化物的图片及“雷雨发庄稼”所关联的 3 个主要方程式。这 3 个反应是氮氧化物的产生及转化的重要反应, 是课堂教学的重点内容, 但是课本上没有给出实验设计或与其相关的实验资料。课堂教学中教师只能被动地介绍这 3 个化学反应, 导致学生只能被动地记忆化学式和化学反应现象。通过教学实践检验, 学生对“雷雨发庄稼”相关联的知识点运用不好。

1.2 现有文献中对 N_2 和 O_2 反应研究的不足

通过查阅知网和相关文献资料, 可以了解到对 N_2 和 O_2 反应研究不足。王锦化、曹连东、杨小会等通过正交实验设计, 模拟闪电条件下 N_2 与 O_2 反应^[1], 通过选择最佳实验条件进行实验, 得到了非常浓郁的红棕色 NO_2 气体。朱式玉在 N_2 和 O_2 反

应时通过增大 O_2 的浓度, 得到淡棕色的二氧化氮气体^[2]。这些实验最终通过观察到红棕色的 NO_2 气体来说明 N_2 和 O_2 反应先生成无色气体 NO , 然后 NO 与 O_2 反应生成红棕色 NO_2 气体。这样的解释对学生来说很迷茫, 因为这种实验并不能观察到反应生成了无色 NO 气体, 只能观察到红棕色气体, 实验结论的证据不足。

2 实验研究

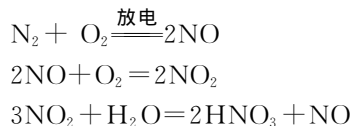
2.1 实验设计

为了直观地演示 N_2 和 O_2 在放电作用下的反应, 设计了高压放电条件下 N_2 和 O_2 反应的实验装置。由于放电生成的 NO 易与 O_2 反应生成红棕色的 NO_2 气体, 无法知道放电生成的气体是 NO 还是 NO_2 。因此利用氧气和压强传感器, 测量放电后 O_2 浓度的变化, 通过停止放电后 O_2 浓度进一步减小, 说明 NO 和 O_2 进一步反应, 进而说明放电反应时生成了 NO 。

向放电后的体系内注入紫色石蕊溶液, 模拟雨水中 NO_2 与 H_2O 反应, 可以观察到红棕色变淡, 紫色石蕊溶液变红且氧气传感器、压强传感器数值进一步减小。测量数值说明 NO_2 气体与水反应生成酸性物质, 同时生成可以与 O_2 反应的物质, 即 NO 气体。

通过实验设计, 3 个化学反应连续完成, 通过传感器数值变化突破了对放电过程中生成 NO 的理解。通过教学实践表明, 这个实验设计可以增强学生对“雷雨发庄稼”的原理理解。

2.2 实验原理



^{*} 江苏省教育科学“十二五”规划 2015 年度课题“高中化学课堂教学中预设与生成的策略研究”(编号: D/2015/02/374)

^{**} 通信联系人, E-mail: jswbq@163.com

2.3 仪器药品

三颈烧瓶 (500 mL) 2 个、单孔塞、双通阀、电子感应圈 (J1206-01)、铁棒 2 根、注射器、压强传感器 (型号朗威 8.0)、氧气传感器 (型号朗威 8.0)、数据采集器、数据线、紫色石蕊溶液。

由于是高压放电, 部分仪器要做好防止高压静电的影响。比如氧气传感器、压强传感器、数据采集器要距反应容器 20 cm 以上, 铁架台要喷上绝缘漆。另外使用的电极可以为截断的自行车链条或铝合金毛衣针, 一端要磨尖^[3]。

2.4 实验装置

实验装置见图 1。

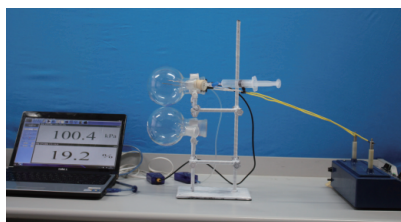


Fig. 1 Experiment device

图 1 实验装置

2.5 实验过程

2.5.1 连接实验装置, 检查气密性

将 2 个三颈烧瓶按照上下放置, 下面的三颈烧瓶用于对比实验使用, 上面的三颈烧瓶用于放电实验。将 2 根铁棒插入三颈烧瓶两侧的胶塞内, 调整 2 个铁棒在三颈烧瓶内的距离大约为 5 cm。连有压强传感器的硬塑料管伸入三颈烧瓶一侧胶塞内, 氧气传感器放入三颈烧瓶的中间瓶颈内。注射器与针头之间加入一个双通阀, 可以调节液体进入及关闭。打开双通阀, 利用空注射器将一定量的空气注入三颈烧瓶内, 保持注射器位置不变, 观察压强传感器采集的压强数值, 一段时间内压强数值不变, 说明装置不漏气。

2.5.2 放电实验

(1) 将 2 个放电电极通过导线连接到高压放电仪器的正负极上。

(2) 将氧气传感器和压强传感器连接到数据采集器后, 设置数据采集频率为 1 s, 数据采集时间为“不间断”。

(3) 将高压放电仪器设置为 100 kV, 连接 220 V 电源, 打开电源开关, 进行放电。观察到三颈烧瓶内气体逐渐变为红棕色, 气体颜色逐渐加深。压强传感器显示数值在放电瞬间增大, 然后保持相对稳定, 随着放电进行, 压强逐渐增大。氧气传感器显示数值在放电瞬间增大, 然后保持相对稳定。2 min 后关闭电源。

2.5.3 断电后, 注入紫色石蕊溶液

(1) 打开双通阀, 将注射器内的紫色石蕊溶液注入三颈烧瓶内。

(2) 观察到三颈烧瓶内颜色逐渐变淡, 紫色石蕊溶液变为红色。压强传感器显示数值在断电瞬间迅速减小, 然后逐渐缓慢减小, 当显示容器内压强与初始大气压相等时, 注入紫色石蕊溶液。氧气传感器显示数值在断电瞬间迅速减小, 然后缓慢减小。

3 结果与分析

放电时, 氧气传感器和压强传感器显示数值瞬时增大, 然后保持相对稳定。放电 1 min 后, 三颈烧瓶内开始出现红棕色气体。放电 2 min 后, 三颈烧瓶内出现浓郁的红棕色气体。断开电源后, 三颈烧瓶内氧气和压强传感器数值迅速减小后保持稳定, 5 s 后氧气和压强数值继续缓慢减小。向三颈烧瓶内注入紫色石蕊溶液, 紫色石蕊溶液变为红色, 三颈烧瓶内氧气和压强数值都继续减小。将实验过程中的测量数据转换为曲线如图 2 所示。图中横坐标表示时间, 单位为秒 (s), 纵坐标表示氧气浓度和压强数值, 图中曲线分别表示氧气浓度变化和压强数值变化。0~16 s 为放电前, 17~137 s 为放电时间, 138~195 s 为停止放电后, 196~531 s 为注入紫色石蕊溶液后。

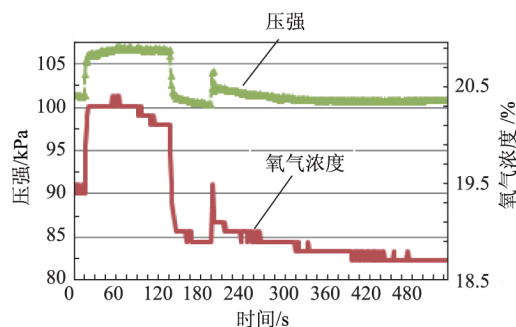


Fig. 2 Pressure and oxygen concentration change curves during the experiment

图 2 实验过程中压强和氧气浓度变化曲线

3.1 放电时传感器显示压强增大原因分析

通过图 2 可知在第 17 s 时开始放电, 压强数值瞬间增大。容器内压强增大, 说明容器内瞬间微粒数目增大。经查阅相关资料可知, 在放电过程中, 可能发生 193 个基元反应^[4]。

主要的反应如下: $O_2 \rightarrow O + O$

$N_2 + O \rightarrow NO + N$

$M + NO \rightarrow M + N + O$

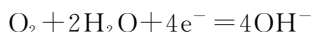
M 表示可能存在的碰撞粒子, 如 N, O, H, OH, N^+ , N_2^+ , O^+ , O_2^+ , O_4^+ , NO^+ , H_2O^+ , O^- 等。由于放电瞬间立即产生大量粒子, 且粒子数目保持相对稳定, 导致压强瞬间增大^[4]。另外, 根据

实验测得, 放电过程中反应体系温度升高约为 3 ℃。压强在瞬间增大后, 因为温度的升高, 压强数值继续增大, 压强曲线呈现上升趋势。

3.2 放电时传感器显示氧气增大原因分析

通过化学方程式反应分析, O_2 与 N_2 可发生反应转化为 NO 或 NO_2 , 放电时, O_2 浓度应该降低, 然而实际测得数值增大。经过查阅资料, 笔者认为这是氧气传感器数据采集的特殊原理导致数值“不降反升”。

实验使用的是朗威 8.0 系统, 其核心部分使用英国 citytech 公司的部件。其反应机理为:



通过上述反应可以知道氧气传感器的原理是使用原电池的原理, 测量了氧化剂得电子的过程。根据化学反应的知识, 氧气在反应中首先转化为氧原子, 然后得到电子转化为 -2 价的氧元素。

尽管 O_2 与 N_2 发生反应消耗一部分氧气, 由于高压放电条件下, 氧气更容易转化为活性氧原子。使得发生原电池反应的氧原子瞬间增加, 所以实际测得数值是增大的^[4]。

3.3 断电后氧气和压强迅速降低原因分析

断电后, 容器内大量的活性碰撞粒子相互结合湮灭, 使得压强和氧气传感器采集到的数据瞬间降低^[6]。根据实验测得, 放电过程中反应体系温度升高约为 3 ℃。放电结束后, 体系压强略高于初始值, 随着体系温度恢复至室温, 压强继续降低。

3.4 断电一段时间后氧气和压强进一步降低原因分析

断电瞬间, 压强和氧气测量值迅速降低, 保持稳定一段时间后仍然进一步降低。通过这 2 个进一步降低的测量数据可以推测放电生成了 NO 气体, NO 气体进一步和氧气反应生成 NO_2 气体, 使得体系内氧气和压强继续降低。

3.5 注入紫色石蕊溶液后氧气和压强降低原因分析

注入紫色石蕊溶液后, NO_2 气体与水反应生成酸性物质和 NO, NO 还可以和氧气反应, 所以氧气浓度和压强都进一步降低。

4 实验反思

(1) 数字化传感器具有准确、实时、直观、全面等特点。传感器呈现的是数字, 不是颜色、气味, 因此高中化学中使用数字化传感器是在用常规的方法不好解决、常用的实验器材不能说明原理的时候才考虑使用。本实验中氮气和氧气在放电条件下只能观察到红棕色气体, 无法说明氮气和氧气反应生成了一氧化氮气体。因此通过传感器测量断电后氧气浓度和压强的变化, 进而说明反应中有一氧化氮的生成。因此使用数字化传感器是用来解决常规实验难以解决的原理问题, 是教学中师生的自然需求。

(2) 在放电过程中, 本以为压强传感器和氧气传感器的数值应该减小的, 事实上反而增加了。是忽略无视还是偶然误差? 培根说过: “科学无非是现实的反映。” 既然事实上数值是增加的, 必然有其背后的原因。通过与传感器厂家联系, 登录原配件的网站, 查询到传感器的工作原理, 参与实验的师生相互讨论, 对数值增加有了一个合理的解释, 加深了对整个实验过程原理的理解。

参 考 文 献

- [1] 王锦化, 曹连东, 杨小会, 等. 化学教育, 2009, 30 (8): 51-52
- [2] 朱式玉. 教育与装备研究, 1990 (2): 19-20
- [3] 孙奇文. 化学教育, 2016, 37 (5): 71
- [4] 杨旗. 空气电弧放电合成医用一氧化氮的等离子体化学动力学研究. 武汉: 华中科技大学硕士学位论文, 2009: 32-42
- [5] 房陈岩. 空气高压放电紫外特性及多光谱成像技术研究. 北京: 中国科学院大学博士学位论文, 2013: 27-29
- [6] 王一男. 射频高压混合气体放电数值研究. 大连: 大连理工大学博士学位论文, 2013: 67-68

Digital Experiment Inquiry on Reaction of N_2 and O_2 Under Simulated Thunderstorm

WANG Bao-Qiang** LIU Fang-Yun LI Zeng-Kun

(Xinyi No. 1 Middle School, Xinyi 221400, China)

Abstract This paper designed experiment device for the reaction of N_2 and O_2 under high voltage discharge. Used oxygen sensor and pressure sensor to measure oxygen concentration after discharge, and the decrease in oxygen concentration after stopping discharge indicated that NO was produced during the reaction. Then injected purple litmus solution into the reaction system, simulating the reaction of NO_2 and water in rain, reddish brown became lighter, purple litmus solution turned red, and the value of oxygen sensor and pressure sensor decreased further, which explained that acidic substance and NO were produced.

Keywords nitrogen; oxygen; digital experiment