

# 浓、稀硝酸与铜反应的综合实验设计

董 军

(山东省淄博市教学研究室, 山东淄博 255030)

**摘要:** 将浓、稀硝酸与铜反应、氮氧化物的性质实验整合在一套密封装置中分别连续进行, 观察浓、稀硝酸与铜反应的相对快慢与产物种类、氮氧化物相互转化和氮氧化物转化为硝酸的多个定性及定量实验, 并用常用仪器搭建装置, 实现了装置简单、操作易行、现象鲜明、定性定量、绿色环保的设计初衷。

**关键词:** 硝酸与铜反应; 氮氧化物; 相互转化; 定性定量; 绿色环保

文章编号: 1005-6629(2017)1-0061-04

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

## 1 加强与改进硝酸及氮氧化物性质实验的必要性

硝酸是工业常见、常用的三大强酸之一, 浓、稀硝酸与铜的反应, 其产物二氧化氮、一氧化氮的性质及它们之间的转化, 是中学化学的重要内容。但由于硝酸的腐蚀性及其反应产生有毒气体, 很多学校不做该实验, 因此化学教学的特色没有突显, 学生对硝酸氮氧化物的性质及相关实验的理解不深, 实验技能得不到训练, 教学质量受到影响, 甚至使学生产生“化学就是腐蚀和污染”的错误认识而有恐惧感, 把化学仅当成上大学的铺路石。

如何做到既能提高实验的开出率, 又能保证

安全不让学生受到伤害, 还能丰富实验内容、整合基础知识、体现绿色化学、提高实验的效率和价值, 一直是中学化学教学中重要的研究内容。现将笔者经过多年研究的浓、稀硝酸与铜反应的综合实验设计汇总如下。

## 2 实验设计思路

利用浓、稀硝酸与铜的反应, 分析比较浓、稀硝酸氧化性的相对强弱及产物种类、氮氧化物之间的相互转化, 利用氮氧化物与水反应产生硝酸的性质, 把反应产生的氮氧化物不排放、定量控制、循环转化, 最后转化成硝酸, 从而实现既有多重实验多种物质的性质试验, 又能体现实验原理、引发学生兴趣、增强绿色化学意识、锻炼实验能力。

表 7 推荐实验方案

条件	适宜范围	证据
盐酸体积	2mL	酸量少, 固体不能充分接触酸液; 酸量大, 隔绝空气。当固体粉末总质量为 5.5g 时, 2mL 的酸量正好使得固液气均接触良好
盐酸浓度	0.1~2mol/L	浓度过高, 很久观察不到吸氧腐蚀; 浓度过低, 析氢腐蚀和吸氧腐蚀的现象均不明显
铁炭质量比例	$m(\text{Fe}):m(\text{C})=8:1\sim 12:1$	由于活性炭吸附空气和酸液, 促进吸氧腐蚀, 因此炭粉比例不能过大; 而铁粉与炭粉质量比在 8:1~12:1 之间时, 两者体积相近, 且固液气均接触良好
环境温度	较高室温或水浴	适当高的温度有利于增大腐蚀速率和外排持续时间, 可借助空调或水浴调控温度
是否振荡	否	避免因振荡带入大量空气到固体表面, 使液注倒吸提前

注: 以上范围都是在 100mL 锥形瓶中探究得出的, 教学实验中可选取其他规格的锥形瓶, 并按比例调整药品用量, 实验效果仍可保证; 锥形瓶与三孔塞可用具支锥形瓶与双孔塞替换。

[3] 谈小强. 关于钢铁腐蚀的理论探讨和实验分析 [J]. 化学教学, 2012, (5): 47~48.

[4] 孙慧玲, 靳莹, 霍爱新. 基于手持技术的金属电化学腐蚀实验改进 [J]. 化学教学, 2014, (3): 52~54.

[5] 吕琳, 袁梦玥, 张瑜, 吴星. 铁的析氢腐蚀和吸氧腐

蚀的实验原理探查 [J]. 化学教学, 2015, (10): 46~49.

[6] 徐绍龄, 段维恒, 刘时杰, 郑雪君, 余国华. 空气氧化水溶液中亚铁离子的研究——1. 溶液 pH 对氧化速率的影响及铁的水解产物破坏水合亚铁离子“遮蔽效应”的催化机理 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 1986, (2): 191~197.

## 3 仪器装置

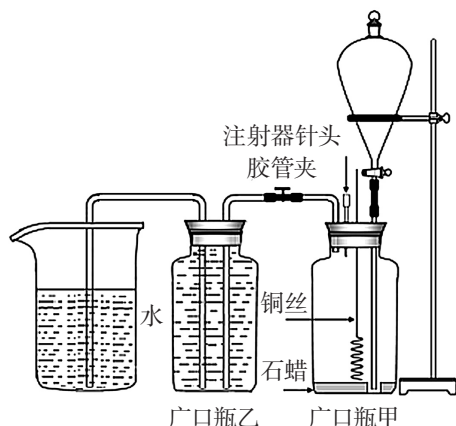


图1 硝酸及氮氧化物性质实验装置图

仪器：150mL 广口瓶、200mL 烧杯、250mL 分液漏斗、150mL 注射器；橡皮塞、玻璃管、胶管夹、

铁架台(附铁圈)和橡胶管等

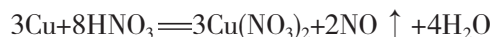
装置：用上述仪器组装成如图1所示的硝酸及氮氧化物性质实验装置

## 4 反应原理

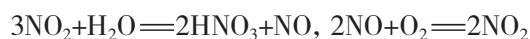
(1) 浓硝酸与铜的反应：



(2) 稀硝酸与铜的反应：



(3) 氮氧化物的性质及转化：



(4) 利用反应自身产生的气体，把酸液由广口瓶自动转移到分液漏斗中，实现收集纯净气体的目的。

## 5 实验操作、现象和解释

## 实验1 浓硝酸与铜的反应

实验操作	实验现象	解释或结论
打开分液漏斗的活塞，关闭胶管夹。取下橡皮塞，向广口瓶甲中加入浓硝酸至接近瓶颈时，迅速塞好橡皮塞	浓硝酸与铜丝随即反应产生红棕色气体，酸液由无色逐渐转为绿色，产生的气体逐渐把酸液压入分液漏斗中，反应自动停止	$\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 \uparrow$ (红棕色) + $2\text{H}_2\text{O}$
用手抚摸广口瓶甲	感觉到瓶壁温度明显升高	该反应放出热量

## 实验2 二氧化氮气体与水的反应

实验操作	实验现象	解释或结论
关闭分液漏斗的活塞，用注射器将50mL水慢慢注入广口瓶甲中	甲瓶中气体的颜色逐渐变浅	$3\text{NO}_2$ (红棕色) + $\text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$ (无色)
打开胶管夹	乙瓶中的水沿导管流入甲瓶中，气体颜色逐渐褪为无色。当广口瓶甲中水位大约到瓶容积的三分之二时，水不再流入	因 $\text{NO}_2$ 气体与水反应，产生的气体少于被吸收的气体，使甲瓶中气体压强减小，导致乙瓶中水被吸入。方程式同上
对比反应前后广口瓶中以及化学方程式中气体的体积	反应前后气体的体积之比是 3:1	$3\text{NO}_2$ (红棕色) + $\text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$ (无色)

## 实验3 稀硝酸与铜的反应

实验操作	实验现象	解释或结论
打开分液漏斗的活塞，使浓硝酸流入广口瓶甲中，直到把瓶中气体全部排出时，关闭胶管夹	广口瓶甲中浓硝酸因被稀释且含有硝酸铜而呈淡蓝色	硝酸铜浓溶液为绿色，稀溶液为淡蓝色
当反应产生的气体把酸液排回分液漏斗时关闭活塞	稀硝酸与铜丝的反应较浓硝酸慢并且产生的气体呈无色	$3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} \uparrow$ (无色) + $4\text{H}_2\text{O}$
在反应前后用手抚摸广口瓶甲	感觉到瓶壁温度略有升高	该反应放出热量

## 实验4 一氧化氮的性质

## (1) 一氧化氮的水溶性及是否与水反应

实验操作	实验现象	解释或结论
观察广口瓶乙中气体的颜色和体积，并与这些气体在甲瓶中时的体积对比	广口瓶乙中的气体在颜色和体积等方面，与其在甲瓶中时基本相同	一氧化氮气体呈无色，并且不与水反应

## (2) 一氧化氮与氧气的反应

实验操作	实验现象	解释或结论
用注射器向广口瓶甲中缓慢注入约 75mL 氧气	甲瓶上部的无色气体随即转变为红棕色并扩散, 而后红棕色又转化为无色	$2\text{NO}(\text{无色}) + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2(\text{红棕色})$ $3\text{NO}_2(\text{红棕色}) + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}(\text{无色})$
打开胶管夹	乙瓶中的水通过导管流入甲瓶	因 $\text{NO}_2$ 气体与水反应, 产生的气体少于被吸收的气体, 使甲瓶中气体压强减小, 导致乙瓶中水被吸入

## (3) 探究一氧化氮气体与氧气、水完全反应时气体的体积比

实验操作	实验现象	解释或结论
关闭胶管夹		
用注射器完全抽取广口瓶乙中的无色气体, 记录其体积	观察注射器, 记录数据	
将测量完体积的无色气体再注回乙瓶中		
计算和抽取用于把一氧化氮完全转化为硝酸所需要的氧气体积		计算依据: $4\text{NO} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HNO}_3$
用注射器抽取所需的氧气, 缓慢注入广口瓶乙中	乙瓶上部的无色气体随即转变为红棕色并逐渐扩散, 而后红棕色逐渐变浅直至气体消失, 烧杯中的水经导管流入乙瓶中, 直至接近瓶满	$2\text{NO}(\text{无色}) + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2(\text{红棕色})$ $3\text{NO}_2(\text{红棕色}) + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}(\text{无色})$ 因氮氧化物气体全部与水反应, 使乙瓶中气体压强减小, 烧杯中水被吸入
用注射器抽取乙瓶中的溶液, 滴到 pH 试纸上	pH 试纸变橙黄色	溶液显酸性, 因二氧化氮与水反应产生硝酸。方程式同上
利用甲瓶中的气体, 重复上述操作, 验证实验结论, 并把实验装置中的气体全部转化融入溶液中		

## 6 实验结论

通过本实验可以得到以下结论:

## 6.1 关于硝酸与铜的反应

(1) 浓硝酸与铜迅速反应生成红棕色的二氧化氮气体:  $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

(2) 稀硝酸与铜反应生成无色的一氧化氮气体:  $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$

(3) 浓硝酸与铜反应剧烈, 而稀硝酸与铜反应则相对平缓。

(4) 浓、稀硝酸与铜的反应都放热, 但浓硝酸的反应放热剧烈并较多。

## 6.2 二氧化氮和一氧化氮的性质

(1) 二氧化氮是红棕色气体, 易与水反应生成硝酸和一氧化氮:  $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$

(2) 一氧化氮是无色气体, 不溶于水, 但能与氧气反应生成二氧化氮:  $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$

(3) 一氧化氮在与氧气以 4:3 体积比混合时, 能与水完全化合生成硝酸:  $4\text{NO} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HNO}_3$

## 7 实验特点

## 7.1 仪器常用, 装置简单

本实验使用实验室中最简单的仪器(广口瓶、

烧杯、分液漏斗和注射器等)和常见的组装形式, 能适应各学校的实验条件, 便于师生进行设计和实验。

## 7.2 操作简单, 现象鲜明

实验全过程除使用注射器之外就是开、关活塞和胶管夹, 由于该实验中的各反应都较快, 气体颜色差别明显且转化迅速, 并且酸液排出与回流较快, 使该实验效率高且现象明显。

## 7.3 安全环保, 易于推广

由于硝酸和气体都在密闭的仪器中, 没有物质外泄, 并且仪器、装置简单, 无外加反应条件等, 使该实验有很高的安全性、经济性、适用性和可操作性。

## 7.4 构思巧妙, 立意高端

本实验整合了装置的气密性检查, 浓、稀硝酸分别与铜的反应, 浓、稀硝酸与铜反应的热量变化, 二氧化氮和一氧化氮的水溶性实验, 一氧化氮被氧气氧化, 二氧化氮、混有氧气的一氧化氮分别与水反应的实验等等, 多个定性和定量的实验集于一个装置中, 仪器、装置利用率和实验效率非常高。

本实验展现了不同浓度的硝酸跟铜的反应,反应的产物及现象变化快慢很容易进行对比;氮氧化物之间的转化,最后全部转化为硝酸,并且进行了定量分析和定量实验,实现了无物质、无“三废”排放,原子利用率百分之百,既安全环保,又模拟了工业生产硝酸的重要环节,充分体现了化学知识的价值,对学生的定量意识、定性定量相结合的认识、环保意识和绿色化学思想的建立起到了很好的作用。

## 8 注意事项

### 8.1 保障实验安全顺利进行的措施

(1)为保证实验现象符合预期设计以及准确体现二氧化氮、一氧化氮气体在转化过程中的体积关系,需要把两个广口瓶中的空气全部排出,其方法和操作就是在甲瓶加注浓硝酸、乙瓶加注水以确保在塞好橡皮塞后瓶中基本没有气体。

(2)为保证在甲瓶中浓硝酸能够全部排出,可预先在瓶底部筑一层石蜡,留下一个供导管排液的小坑(如图1所示)。

(3)为了实验能按设计进行,确保实验安全,分液漏斗的容积一定要大于广口瓶的容积。

(4)一氧化氮与氧气的反应,一定要用纯净的氧气(事先收集于注射器中),不要用空气替代,否则不会出现一氧化氮在与氧气以4:3体积比混合时一氧化氮气体被完全吸收的现象。

(5)注射器的使用:

①为方便实验,针头在使用时要穿过橡皮塞,每次用完后不必拔出,但要伸入橡皮塞内,保持装置的气密性,并避免与浓硝酸接触被腐蚀。

②在不使用注射器时,其针头底座要用橡皮帽或橡皮塞密封,以确保广口瓶的密封状态。在使用时一定要注意分液漏斗的活塞是否关闭。

③可直接用大号兽用注射器,依据实验要求多次定量使用。也可用其充满氧气做气源,在实验时供给其他小注射器。

### 8.2 保障稀硝酸能较快与铜反应的措施

(1)所用浓硝酸的浓度要大( $16 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ),这样由它所形成的稀硝酸的浓度会大于 $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,并且由于浓硝酸与铜反应放热使而后的稀硝酸的温度较高,保障了稀硝酸能较快与铜反应。

(2)必要时在广口瓶乙和烧杯中使用温水(如 $40^\circ\text{C}$ ,水温不能太高,否则广口瓶甲中会出现水雾

现象)。

(3)对寒冷地区,把广口瓶甲中的石蜡换用软化点高的聚乙烯蜡(软化点 $115^\circ\text{C}$ ),将广口瓶甲置于水槽中,在而后进行稀硝酸与铜的反应前注入热水。

### 8.3 充分利用稀硝酸与铜反应的空档

如果稀硝酸与铜反应较慢,可以在此时间段内让学生完成前面的实验报告,并提出三个承上启下的问题让学生思考。如:

问题1:依据浓硝酸与铜反应的现象,判断浓硝酸具有什么性质?这个实验还能反映出该反应的什么性质?

问题2:对比实验1中二氧化氮与一氧化氮的体积,写出相应的化学方程式。

问题3:如果充入氧气,把二氧化氮和一氧化氮分别全部转化为硝酸,请分别写出反应的化学方程式,分析气体的体积比。

## 9 结束语

综上所述,本实验的基本思想、实验原理和装置设计,对其他如氯气、硫酸、氨气等有强腐蚀性、会产生有毒或有刺激性气体的实验,都具有指导意义和参考价值。只要教师肯动脑,把握物质的性质和实验的特点,研究与改革实验,就必然会创作出更多更好的实验服务于教学。在整合学生的知识、开发学生的大脑、发展学生的实验技能的基础上,充分认识化学知识的作用和价值,进一步提升学生的科学观念和科学素养。

## 参考文献:

[1] 叶永谦,张贤金,吴新建.铜与浓、稀硝酸连续反应演示实验的再改进[J].化学教学,2016,(7):60~61.

[2] 谭文生.铜与浓、稀硝酸反应实验的绿色化设计[J].化学教学,2012,(11):45~46.

[3] 周祖华.硝酸性质实验的探究[J].化学教学,2012,(10):58~59.