

酸性环境下铁的电化学腐蚀实验的研究

陈荣静, 丁 伟

(华东师范大学化学与分子工程学院, 上海 200241)

摘要: 通过实验探究发现, 在酸性环境下盐酸体积、盐酸浓度、铁炭质量比、环境温度和振荡操作五个因素对铁的电化学腐蚀实验均有影响。根据探究结果提出了实验方案, 旨在为中学教师有效控制实验条件、成功进行金属的电化学腐蚀的实验教学以及帮助学生厘清析氢腐蚀和吸氧腐蚀的发生条件提供实用的信息。

关键词: 酸性环境; 铁的电化学腐蚀; 吸氧腐蚀; 析氢腐蚀; 实验优化

文章编号: 1005-6629(2017)1-0057-05

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

1 研究背景

高中选修阶段, 金属的电化学腐蚀的学习内容包括析氢腐蚀和吸氧腐蚀两种类型。人教版教材^[1]用食盐水中的铁钉演示吸氧腐蚀, 不过需要较长时间才能观察到明显现象; 苏教版教材^[2]则设计了铁炭混合粉分别在中性(食盐水)、酸性(稀醋酸)环境下发生腐蚀的实验。实际操作中, 铁炭粉在食盐水中的倒吸现象快速而明显, 而在稀醋酸的酸性环境下往往较难观察到析氢腐蚀的液注外排现象, 反而出现速率较大的倒吸。显然, 这样的实验现象与中学阶段“金属在较强酸性的环境下发生析氢腐蚀, 在弱酸性、中性和碱性环境下发生吸氧腐蚀”的认知不符, 易造成学生的困惑。这一方面是由于教材所给的实验条件不明确, 同时也反映出教师对金属电化学腐蚀的认识以及实验条件控制还不够到位。

已有研究表明, 两种电化学腐蚀并非对立, 而是共存、竞争的关系^[3], 有研究者借助传感器证实, 不论电解质溶液的酸碱度如何, 吸氧腐蚀都可能发生^[4]。酸液中的电化学腐蚀过程大致如下, 起初 H^+ 浓度高而溶解氧含量低, 因此析氢腐蚀占主导, 吸氧腐蚀相对较弱, 体系内部压强增大; 而随着液膜酸度减弱和氧气渗入, 吸氧腐蚀逐渐增

强、析氢腐蚀减弱, 吸氧腐蚀后来居上, 表现为内部压强减小。酸性环境下, 我们观察到的体系压强变化常常是析氢腐蚀和吸氧腐蚀的总效果, 故相对复杂^[5]。本研究通过探究酸性环境下不同条件对铁的电化学腐蚀的影响, 进而优化实验方案, 以期为中学教师的实验教学提供借鉴或参考。

2 实验部分

2.1 实验药品与器材

药品: 还原铁粉(AR)、活性炭粉(200目, AR)、盐酸(AR)、蒸馏水、红墨水

器材: 容量瓶、量筒、烧杯、玻璃棒、分析天平、研钵、移液管、100mL 锥形瓶、胶头滴管、阀门、三孔塞、铁架台、U形管(15cm×0.8cm)、导管、橡胶管、秒表、刻度尺

部分药品与器材的使用意图见表1。

表1 部分药品与器材的使用意图

材料	使用意图
还原铁粉	粉末反应时接触充分, 现象快速且明显; 此外, 方便控制质量和比例
活性炭粉	同上
盐酸	方便较准确地配制多种浓度的酸液
锥形瓶	不需固定, 比试管方便操作; 较大的底面积保证药品铺平铺匀, 增大反应接触面积

素质教育论坛月刊, 2011, (7): 61~62.

[6] 张宗仁, 刘益良. 浅谈高中化学教学中学生良好思维品质培养途径[J]. 新课程·下旬, 2015, (12): 28~29.

[7] 蒋小钢. 基于提升学生思维品质的高考复习习题讲评课的教学优化[J]. 化学教学, 2014, (6): 60~63.

[8] 顾晔, 马明祥. 浅谈有机合成题的解题思路[J]. 化学教学, 2006, (5): 56~57.

[9] 顾晔. 充分发挥有机合成题的综合考查作用——从合成路线选择的开放性说起[J]. 中学化学教学参考, 2012, (11): 56~57.

胶头滴管	一挤压胶头滴管反应即开始,可完整观察现象,避免反应物混合后还要连接装置而耽误观察;此外,加入液体后胶头会恢复原状,不会因加液而增大体系压强
空气阀门	在锥形瓶的瓶塞上插入一个可连通大气的阀门,在反应开始前打开阀门连通大气,使装置内部的初始压力与外界相同,关闭阀门后,加酸开始反应,使观察更准确
U形管	可以通过比较两端液面高低来观察容器内外压强差,高而细的U形管可放大现象,便于观察

2.2 实验操作

- (1) 搭建实验装置,如图1所示;
- (2) 检验装置气密性;
- (3) 按实验方案要求的量准确称取还原铁粉、活性炭粉,充分研磨,然后小心倒入锥形瓶中;
- (4) 轻轻晃动使其铺平;
- (5) 用胶头滴管吸入方案要求的浓度与体积的盐酸,塞入三孔塞中,打开阀门连通大气后关闭;
- (6) 挤压胶头,将酸一次性加入锥形瓶中,立即观察U形管中指示液柱随时间变化情况并记录。

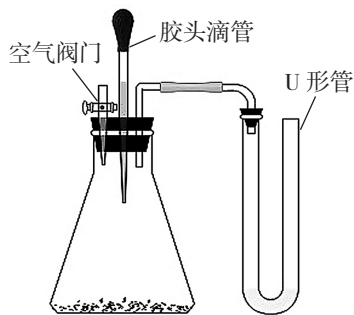


图1 实验装置

以酸液体积-酸液浓度-铁炭质量比-环境温度-振荡操作的顺序进行变量探究,在探究某一条条件的影响时控制其他变量,记录时间、液注高度以及锥形瓶内的反应现象。

3 实验结果与分析

3.1 酸液体积对反应的影响

在20℃的环境温度下,取5.0g还原铁粉、0.5g活性炭粉,加入酸液后不振荡。选取0.5mol/L的盐酸溶液,设定不同体积,探究酸液体积对反应的影响。实验数据及现象如表2及图2。

表2 不同盐酸体积的实验现象

酸液体积 (mL)	外排速率 (cm/min)	开始倒吸时间 (min)	倒吸速率 (cm/min)	现象
1.0	2.4	0.55	15.00	固液混合物干,外排缓慢,倒吸快速
1.5	2.4	0.75	0.60	固液混合物较干,外排倒吸均缓慢
2.0	6.0	2.00	0.36	固液混合物较湿但不易流动。外排快速,倒吸缓慢
3.0	10.8	/	/	固液混合物湿,上部为易流动的液体状态。持续外排,直到15min也未倒吸

注:表中呈现的速率由液柱高度与时间的原始数据加工得到,倒吸速率指倒吸2min内的平均速率,下同。

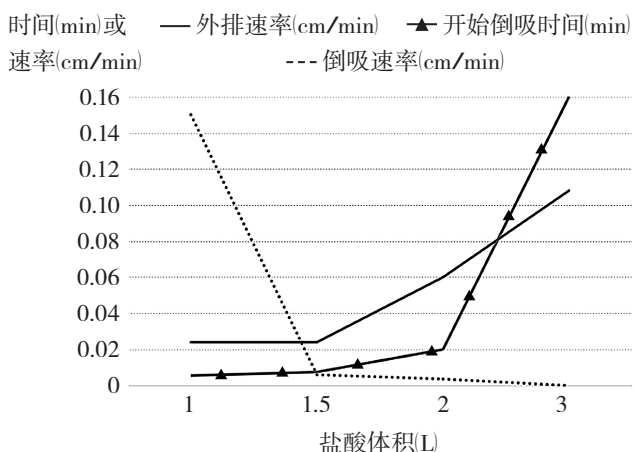


图2 不同盐酸体积的实验数据图

由表2、图2可以看出,随着酸量增加,指示液柱外排速率增大、时间延长、现象明显。为使加入的酸液与固体粉末充分接触但又不浸没固体而

隔绝空气,2.0mL的酸量较合适。此时固体粉末呈现湿润但不浸泡的状态,体系中的固、液、气物质均能较好地接触。

3.2 酸液浓度对反应的影响

在20℃的环境温度下,取5.0g还原铁粉、0.5g活性炭粉,加入酸液后不振荡。配制不同浓度的盐酸以探究酸液浓度对反应的影响,控制盐酸体积为2.0mL。实验数据及现象如表3及图3所示。

由表3、图3可以看出,当盐酸浓度小于0.01 mol/L时,析氢腐蚀和吸氧腐蚀的现象均不明显。析氢腐蚀现象弱是因为反应物 H^+ 浓度小,盐酸溶液的酸度低也意味着离子浓度低,弱酸性条件下吸氧腐蚀现象也不明显。随着酸度的提高,指示液柱外排时间增长,析氢腐蚀现象变得明显。若盐酸浓度高于3 mol/L,则在一定时间内基本观察不到液柱

表3 不同盐酸浓度的实验数据及现象

盐酸溶液浓度 (mol/L)	外排速率 (cm/s)	开始倒吸 时间(min)	倒吸速率 (cm/min)	现象
0.00001	0.11	0.1	3.00	固液混合物较湿; 外排倒吸均较慢, 外排时间短
0.0001	0.13	0.3	3.00	固液混合物较湿; 外排倒吸均较慢
0.001	0.14	0.4	2.40	固液混合物较湿; 一段时间后外排倒吸反复但变化较小
0.01	0.14	0.6	3.00	固液混合物较湿; 外排倒吸均较慢
0.1	0.08	1.2	0.80	固液混合物较湿; 倒吸很慢
0.5	0.10	2.0	0.63	固液混合物较湿, 较难流动; 倒吸很慢
1	0.50	4.7	0.60	固液混合物较湿; 外排迅速, 倒吸很慢
2	1.11	6.8	0.05	固液混合物干, 部分固体未接触酸液; 加入盐酸后铁炭粉末表面立即产生气泡; 倒吸非常慢
3	1.18	12.0	0	固液混合物干, 部分固体未接触酸液; 明显的气泡使粉末表面呈蜂窝煤状; 25min内, 断断续续外排, 观察不到倒吸

时间(min)或速率 — 外排速率(cm/s) ▲ 开始倒吸时间(min)
(cm/s 或 cm/min) --- 倒吸速率(cm/min)

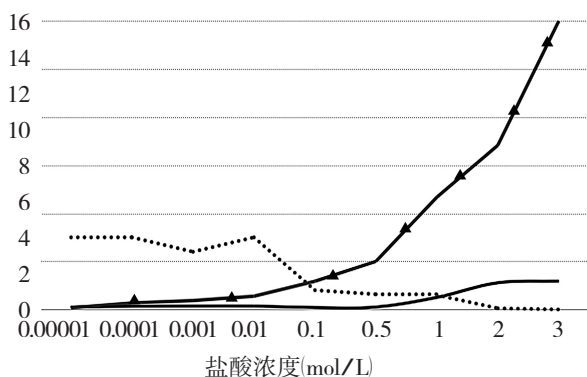


图3 不同盐酸浓度的实验数据图

倒吸现象。这是由于强酸性溶液中溶解氧浓度很小^[6], 吸氧腐蚀的发生受到阻碍。总的来说, 盐酸浓度在 0.1~2 mol/L 的范围内时, 析氢腐蚀和吸氧腐蚀的现象均明显。

3.3 铁炭质量比对反应的影响

在 20℃ 的环境温度下, 保证铁炭总质量为 5.5g, 配制不同质量比例的铁炭混合粉末。酸液为

2.0mL 浓度为 0.5 mol/L 的盐酸, 不振荡, 探究铁炭质量比对反应的影响。实验数据及现象如表 4、图 4 所示。

由表 4、图 4 可以看出, 等质量的铁炭混合物中炭粉比例增大时, 外排速率没有明显变化, 外排时间有缩短趋势但并不明显。这是因为炭粉在这里作为原电池正极, 不参与电极反应。而随着炭粉比例的增大, 倒吸速率显著增大, 说明炭粉比例大对吸氧腐蚀有明显帮助, 这主要是因为活性炭有吸附性, 易吸附氧气到铁粉附近, 还会吸附液体使液膜变薄, 都利于铁粉接触氧气。不过若要促进固、液、气三者的接触, 混合物的湿润程度须适中, 因此 8:1~12:1 的铁炭质量比例较合适。

3.4 环境温度对反应的影响

药品为 5.0g 还原铁粉、0.5g 活性炭粉和 0.01 mol/L 盐酸 2.0mL, 加入酸液后不振荡。设置不同的环境温度, 甚至利用水浴创设 60℃ 的环境温度, 以探究不同温度下反应现象的区别。实验数据及现象如表 5、图 5 所示。

表4 不同铁炭质量比的实验数据及现象

m(Fe):m(C)	外排速率(cm/s)	开始倒吸时间(min)	倒吸速率(cm/min)	现象
20:1	0.14	1.17	0.24	固液混合物很湿, 外排迅速, 倒吸缓慢
15:1	0.16	0.83	0.48	固液混合物很湿, 外排迅速, 倒吸较缓慢
12:1	0.13	0.47	2.40	固液混合物湿, 外排倒吸反复, 液面晃动, 变化不大
10:1	0.21	0.25	3.60	固液混合物较湿, 倒吸断断续续
8:1	0.14	0.51	4.80	固液混合物较干, 短暂倒吸后开始外排, 后间歇发生外排
5:1	0.25	0.42	6.00	固液混合物干, 少量固体未接触酸液。倒吸快且时间很长

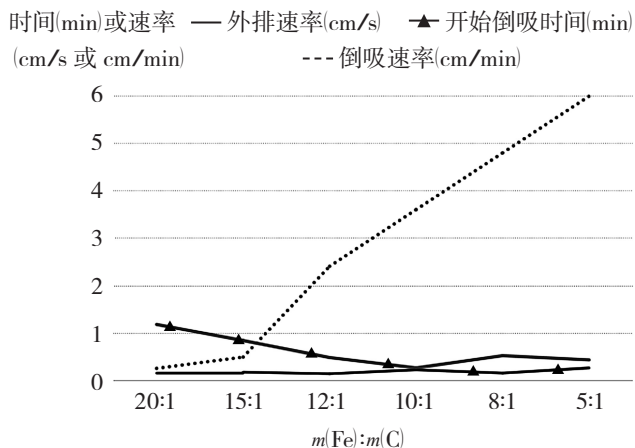


图4 不同铁炭质量比的实验数据图

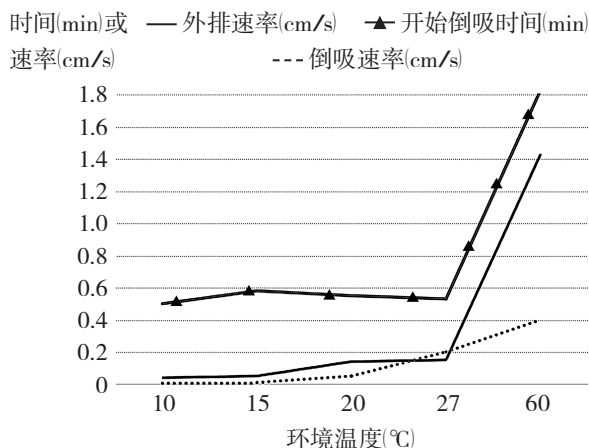


图5 不同环境温度的实验数据图

表5 不同环境温度的实验数据及现象

环境温度 (°C)	外排速率 (cm/s)	开始倒吸时间 (min)	倒吸速率 (cm/s)	现象
10	0.04	0.50	0.005	外排快速, 倒吸缓慢
15	0.05	0.58	0.010	外排快速, 倒吸缓慢
20	0.14	0.55	0.050	外排快速, 倒吸缓慢
27	0.15	0.53	0.200	外排快速, 倒吸缓慢且重新出现外排现象
60	1.43	1.83	0.400	在温度高的水浴中, 外排倒吸都迅速且反复地交替出现, 直至 20min 还是如此。停止吹热风后很快液柱便停止不动

由表5、图5可以看出,随着温度升高,外排和倒吸的速率都明显加快。对析氢腐蚀和吸氧腐蚀来说,升温均加快了电极反应速度;然而酸液中溶解氧浓度却随着温度的升高而降低,会影响吸氧腐蚀发生。不过通过数据仍可发现,外排持续时间随温度升高呈增长趋势。

3.5 振荡操作对反应的影响

20℃温度下,向5.0g铁粉、0.5g活性炭的混合粉末中加入0.01 mol/L盐酸2.0mL,前后实验的不同之处只在加入酸液后振荡与否,以探究振荡操作是否影响反应现象。实验数据及现象如表6所示。

表6 振荡或不振荡情况下的实验数据及现象

不振荡	立即析氢,外排速率为0.14 cm/s。33s倒吸,倒吸速率为0.05 cm/s
振荡	立即析氢,很快倒吸。倒吸速率为0.13 cm/s

固液混合时,我们常会振荡促使混合均匀。操作中发现,振荡确实使铁炭粉与酸液接触更充分,这对析氢腐蚀、吸氧腐蚀均有促进作用。而振荡也不免向混合物中带入空气而促使吸氧腐蚀的发生,因此振荡操作会缩减指示液柱外排的时间。而若

不振荡,显然酸液分布不会均匀。随着酸液的慢慢流渗,原本没反应的固体开始反应,导致轻微的现象反复,比如倒吸时出现一闪而过的外排现象。这在一定程度上影响了实验的稳定性和连续性,但换个角度恰恰说明了析氢腐蚀、吸氧腐蚀可共存。

4 总结与建议

本研究探究了酸性环境下各条件对铁的电化学腐蚀实验的影响,发现酸液体积、酸液浓度、铁炭质量比例、温度和振荡操作均会影响实验现象。不同的条件组合下,铁的电化学腐蚀反应的现象不同,因此教师可以参考本研究,根据课堂教学需要选择合适的条件。而出于演示先以析氢腐蚀为主导、后以吸氧腐蚀为主导的完整实验现象,帮助学生深刻理解电化学腐蚀发生条件的考虑,本研究推荐如表7的实验方案。

参考文献:

- [1] 宋心琦主编. 普通高中课程标准实验教科书·化学原理(选修4)[M]. 北京:人民教育出版社,2007:84~85.
- [2] 王祖浩主编. 普通高中课程标准实验教科书·化学原理(选修4)[M]. 南京:江苏教育出版社,2009:23~25.

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.