

84 消毒稀释液中 NaClO 和 HClO 转化的实验探究

诸佳丹¹, 朱 康²

(1. 上海市南洋中学, 上海 200032; 2. 上海市徐汇区教育学院, 上海 200030)

摘要:以“科学使用 84 消毒液”为情境,利用氧化还原传感器,通过观测加热相同浓度、相同体积的 NaClO 和 HClO 溶液的氧化性变化,比较 NaClO 和 HClO 的氧化性与稳定性强弱。通过观测 84 消毒液稀释过程的氧化性变化以及静置于空气中的氧化性变化,揭示 NaClO 到 HClO 的转化关系。将物质的氧化性转化为可测量——氧化还原电势,通过数据与曲线将物质的性质及其变化过程显性化。实验结果表明,NaClO 的氧化性弱于 HClO,但稳定性强于 HClO;84 消毒液在稀释和浸泡使用的过程中,存在 NaClO 到 HClO 的转化。

关键词:84 消毒液;稀释和浸泡;次氯酸钠与次氯酸;实验探究

文章编号:1005-6629(2025)03-0069-04 **中图分类号:**G633.8 **文献标识码:**B

1 问题背景

次氯酸和次氯酸盐是重要的含氯化合物,《普通高中化学课程标准(2017 年版)》^[1](简称“课标”)在内容要求和学业要求中指出“结合真实情境中的应用实例或通过实验探究认识重要含氯化合物的性质”,以及“根据物质性质说明合理使用、保存化学品的办法”。因此,让学生于熟悉的生活情境中认识含氯物质的性质是“课标”的取向,且“课标”在情境素材部分建议要了解和掌握“含氯消毒剂及其合理使用”。

次氯酸和次氯酸盐作为含氯消毒剂的有效成分,其使用原理与所含有效成分的氧化性有关。在沪科版化学必修第一册中,“氯及其化合物”内容放在“氧化还原反应”课时之前,学生在学习氯及其化合物内容时,缺乏氧化还原反应的知识。同时,“物质的氧化性”以及“次氯酸盐与次氯酸的转化过程”较难通过肉眼直观感知。传感器的应用使中学化学实验迈进了数字化时代,在促进认知、丰富探究手段、拓宽认知领域等方面,发挥了独特的教学功能^[2]。数字化实验能实时收集多元化、图形化的数据,通过定量的表征形式(曲线表征),给予学生更多空间进行逻辑思考,理解抽象概念,实现知识建构^[3]。

因此,本课题以“科学使用 84 消毒液”为情境进行设计,借助氧化还原传感器测定 84 消毒液使用过程的数据变化,揭示“次氯酸和次氯酸钠的氧化性与稳定性强弱”以及“次氯酸钠到次氯酸的转化过程”。

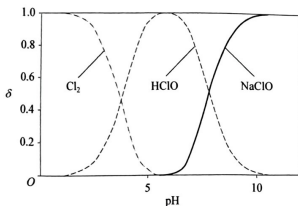
2 相关原理

2.1 氧化还原传感器的使用原理

氧化还原传感器可用于测量溶液作为氧化剂或还原剂的能力,以氧化还原电势作为观测指标。传感器内部有两个组件:一个是由铂金属制作的用于浸没在发生氧化还原反应的溶液中测量用的半电池,以及一个为铂金属作参比的半电池(凝胶填充密封的银/氯化银)。其量程为-450~1100 mV,所测电势越高,说明物质的氧化性越强,反之则还原性越强。

2.2 84 消毒液的消毒原理

84 消毒液是一种以 NaClO 为有效成分的高效消毒剂,研究表明,体系中含氯物质会随 pH 而变化^[4,5],如图 1 所示。其消毒的原理主要是因为产生的 HClO 是很小的中性分子,不带电荷,会很快吸附于细菌、病毒外壳,并可渗透进入到细胞内部,通过氧化作用与蛋白质、核酸、酶等发生反应,从而起到杀菌消毒作用^[6]。



(δ 为 NaClO、HClO、 Cl_2 在三者中所占的物质的量分数)

图1 NaClO溶液中含氯物质随pH变化图

3 实验设计

3.1 实验目的

由“生活中为什么常使用84消毒液作为杀菌消毒的试剂”引发思考NaClO和HClO的性质差异,进而设计实验1,通过观测加热相同浓度和体积的NaClO和HClO溶液的氧化性变化,比较NaClO和HClO的氧化性与稳定性强弱。

由“84消毒液为什么稀释使用与浸泡使用”引出对NaClO和HClO转化关系的探究,进而设计实验2和实验3,通过观测84消毒液稀释过程的氧化性变化以及稀释后84消毒液静置于空气中的氧化性变化,揭示NaClO到HClO的转化关系。

整个系列实验包括3个实验,由实验1获得物质性质进而为实验2和实验3揭示物质转化关系作铺垫。

3.2 实验试剂与仪器

实验试剂:84消毒液、1 mol/L H_2SO_4 溶液、0.1 mol/L NaOH溶液、蒸馏水

实验仪器:恒温磁力搅拌器(雷磁JB-2A)、氧化还原传感器(Vernier ORP-BTA)、气体采集袋(聚四氟乙烯材质,带阀门)、烧杯(50 mL、100 mL)、量筒(20 mL、50 mL)、磁力搅拌子等

3.3 实验内容与步骤

3.3.1 用84消毒液配制含相同浓度的NaClO和HClO溶液

84消毒液的有效成分是NaClO,用pH传感器测定所用84消毒液的pH约为13.1,其中存在过量的碱。依据“NaClO溶液中含氯物质随pH变化关系(如图1所示)”可知84消毒液中含氯物质的主要存在形式为

NaClO。NaClO与适量稀 H_2SO_4 反应生成HClO,可通过酸化84消毒液获得含HClO的溶液。

具体步骤如下:(1)取20 mL 84消毒液于50 mL烧杯(已放入磁力搅拌子)中,放置在恒温磁力搅拌器上。(2)将pH传感器插入溶液中,打开磁力搅拌器。待示数稳定后,开始采集pH数据。(3)在84消毒液中逐滴滴加1 mol/L H_2SO_4 溶液,依据“NaClO溶液中含氯物质随pH变化关系(图1)”,当体系pH=6~7时完成酸化,记录硫酸的体积用量为5 mL。(4)另取20 mL 84消毒液于50 mL烧杯中,加入5 mL 0.1 mol/L NaOH溶液。即可获得含相同浓度的NaClO和HClO溶液。

3.3.2 实验1:探究NaClO和HClO的氧化性、稳定性强弱

文献^[7]指出,当温度超过30℃时,有效氯的分解反应速率明显加快。在实验中,同时加热相同浓度、相同体积的NaClO和HClO溶液,观测溶液的氧化性变化。

具体步骤如下:(1)分别取10 mL含相同浓度的NaClO和HClO溶液于50 mL烧杯中并放置在恒温磁力搅拌器上。(2)将氧化还原传感器插入溶液中,待示数稳定后,开始采集氧化还原电势数据。(3)将恒温磁力搅拌器的温度设置为60℃(传感器量程),开始加热,持续采集两个溶液在加热过程中传感器的电势变化。

3.3.3 实验2:探究84消毒液需稀释使用的原因

84消毒液使用说明中提示对果蔬、物品表面消毒时需将84消毒液原液与水按建议体积比进行稀释。杀菌消毒的原理与所含物质的氧化性有关,因此用氧化还原传感器测定稀释过程中体系的氧化性变化。

具体步骤如下:(1)将84消毒液原液分别与水按体积比1:10、1:10²、1:10³、1:10⁴进行稀释。(2)将氧化还原传感器分别插入各个溶液体系,观测氧化还原电势数据。切换体系时,需用蒸馏水对传感器进行冲洗。

3.3.4 实验3:探究84消毒液需浸泡使用的原因

84消毒液使用说明中还提示消毒过程中建议浸泡20分钟。用氧化还原传感器观测浸泡的过程中体系的氧化性变化,以及空气所含组分 CO_2 对体系氧化性的影响。

具体步骤如下:(1)将84消毒液原液与水按体积比1:50进行稀释。(2)取50 mL 84稀释液于100 mL

烧杯(已放入磁力搅拌子)中,放置在恒温磁力搅拌器上。将氧化还原传感器插入溶液中,打开磁力搅拌器。(3)开始采集上述 84 稀释液静置于空气中的电势变化,时长为 20 min。(4)用气体采集袋储存 CO_2 气体,另取 50 mL 84 稀释液,重复步骤(2),用氧化还原传感器测定往 84 稀释液中通 CO_2 气体过程中的电势变化。

3.4 实验结果与分析

3.4.1 实验 1:探究 NaClO 和 HClO 的氧化性、稳定性强弱

图 2 是同时加热含相同浓度、相同体积的 NaClO 和 HClO 溶液时传感器测得的电势数据。

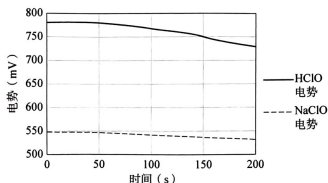


图2 加热相同浓度、相同体积的 NaClO 和 HClO 溶液的实验数据

由传感器的初始电势,可得氧化性: $\text{HClO} > \text{NaClO}$ 。由加热过程中的电势变化,可得稳定性: $\text{NaClO} > \text{HClO}$ 。

3.4.2 实验 2:探究 84 消毒液需稀释使用的原因

表 1 呈现了在不同浓度梯度的 84 稀释液中传感器测得的电势数据。

表 1 84 消毒液与水按不同体积比稀释的实验数据

84 消毒液与水的体积比	1 : 10	1 : 10^2	1 : 10^3	1 : 10^4
氧化还原电势 (mV)	570 左右	620 左右	690 左右	560 左右

可以得出按一定比例稀释,溶液的氧化性增强。根据“ NaClO 溶液中含氯物质随 pH 变化图(图 1)”,加水稀释过程中,pH 降低,部分 NaClO 转化为 HClO ,其中发生了 NaClO 与水的反应: $\text{NaClO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NaOH} + \text{HClO}$ 。但是稀释倍数如果过多,传感器测得的电势数据开始降低,说明稀释倍数过多导致消毒液有效成分

的浓度大大降低而影响溶液的氧化性。

3.4.3 实验 3:探究 84 消毒液需浸泡使用的原因

图 3 呈现的是 84 稀释液静置于空气中传感器测得的电势变化。图 4 是往 84 稀释液中通 CO_2 气体过程中传感器测得的电势变化。

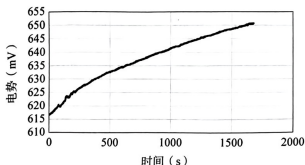


图3 84 稀释液静置于空气中的实验数据

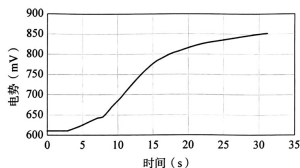


图4 往 84 稀释液中通 CO_2 气体过程中的实验数据

可以得出 84 稀释液在空气中静置的过程中,溶液的氧化性增强。结合通入 CO_2 气体可引起溶液的氧化性增强,说明 84 稀释液在空气中静置的过程中,空气中的 CO_2 参与反应,使得溶液的 pH 继续降低,其中的 NaClO 继续转化为 HClO ,发生 NaClO 与 H_2CO_3 的反应: $\text{NaClO} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{NaHCO}_3 + \text{HClO}$ 。

4 实验探究反思

4.1 借助氧化还原传感器拓宽感知视角

以“科学使用 84 消毒液”为情境所设计的系列数字化实验为“次氯酸和次氯酸盐的性质与转化”教学提供了丰富且直观的实验证据。借助氧化还原传感器将物质的氧化性强弱表征为具有直观性、可视性的数据与曲线,解决了学生无法直观感知物质的氧化性的问题。通过将抽象概念转化为传感器可关联的属性,实现抽象概念的科学认知与建构。

4.2 引入分布曲线助力实验探究

中学实验室中一般没有 HClO 试剂,本实验借助“ NaClO 溶液中含氯物质随 pH 变化图”,以 pH 调控含氯物质的主要存在形式,完成试剂配制。由于 84 消毒液中还存在表面活性剂等其他成分,实验结果中氧化还原电势的具体数据仅适用于 84 消毒液体系。因此本文中通过对比分析体系之间(84 消毒液原液与酸化的 84 消毒液)、体系内部(往 84 消毒液中加水或通入 CO_2)电势数据的相对高低与变化趋势,来分析次氯酸和次氯酸钠的性质差异与转化关系,并结合分布曲线进行佐证得出更好的结论。

参考文献:

[1] 中华人民共和国教育部制定. 普通高中化学课程标准

(2017 年版)[S]. 北京:人民教育出版社,2018.

[2] 徐睿. 中学化学数字化实验的新趋势[J]. 化学教学, 2020, (9): 31~33.

[3] 彭豪. 基于 POE 策略的高中化学“四重表征”概念教学研究[J]. 化学教学, 2011, (10): 24~27.

[4] Fukuzaki S. Mechanisms of actions of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection processes [J]. Biocontrol science, 2006, 11(4): 147~157.

[5] 周相武, 汪晓军, 刘姣等. 次氯酸钠溶液的氧化性研究[J]. 氯碱工业, 2006, (8): 28~30.

[6] 曹勤, 胡兴利, 黄晓斌, 蒋华清, 史佳琦. 次氯酸钠消毒在自来水厂中的应用及优化[J]. 中国给水排水, 2016, 32(15): 91~94, 98.

[7] 孙瑞. 关于次氯酸钠储存条件的研究[J]. 山西化工, 2023, (9): 18~20.

(上接第 68 页)

成白色的 CuI 沉淀,溶液中残留的 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 浓度可能并不是很大,所以微量的黄色 AgI 沉淀与白色的 CuI 沉淀混合可能无法观察到黄色,造成不存在 AgI 的假性实验结果。所以采用下述方法检验 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 中银是否被全部置换出来,向清液中滴加 0.1 mol/L 的 Na_2S 溶液至不再产生沉淀,溶液中如果含有未反应的 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 可以充分转化为 Ag_2S 沉淀[生成的 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 也会转化为 CuS 沉淀]。再将分离出的黑色沉淀溶于 8 mol/L 的浓硝酸中,待黑色固体完全溶解后(固体与硝酸反应后溶液中会有白色混浊,为单质硫),将溶液离心分离,倒出上层清液于烧杯中,固体加入 3 mL 热的 6 mol/L 的 NaOH 溶液后被完全溶解,说明浓硝酸溶解后剩余固体中不存在 CuS 和 Ag_2S ,再向盛上层清液的烧杯中加入 10 mL 1 mol/L 的 NaCl 溶液,离心后底部未见白色沉淀出现,证明溶液中不含 Ag^+ ,说明足量铜单质能够较完全地将 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ 溶液中的银置换出来。

5 结束语

用氨水先将 AgCl 悬浊液转化为 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$,再投入足量铜单质能够较为完全地将其中的银单质置换

出来,顺利完成铜与 AgCl 悬浊液的置换反应。本案例再次说明,一些原本不能发生的反应可以通过使反应物或产物形成配合物的方法改变电对进而改变电极电势,造成一些物质的氧化性或还原性发生变化,使反应顺利进行,故利用配合物的生成可以影响反应的发生和对反应的调控。

参考文献:

[1] 王伟, 付辉, 龚建英. AgCl 可以发生置换反应吗[J]. 中学化学教学参考, 2024, (3): 42~44.

[2] [3] [7] 宋天佑, 徐家宁, 程功臻, 王莉. 无机化学(下册)(第4版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2019: 448~458.

[4] 王程杰. 关注氯离子效应在中学化学实验中的应用[J]. 化学教学, 2015, (11): 53~58.

[5] 温利权, 杨晓琳. 对王水溶解金的理论与实践研究——从 2020 年北京高考化学卷 17 题说起[J]. 中学化学教学参考, 2021, (7): 58~60.

[6] 苏韵韵, 叶水谦. 浓度对氯离子效应影响的实验探究[J]. 化学教学, 2018, (9): 95~97.