

基于“证据推理与模型认知”素养的化学 实验教学设计^{*}

——以“电解质在水溶液中的行为”为例

牟迪¹ 肖中荣²

1. 杭州学军中学 浙江杭州 310012 2. 杭州市基础教育研究室 浙江杭州 310012

摘 要:本文以“电解质在水溶液中的行为”为探究主题,通过改进的小灯泡导电性测试装置、数字化实验等多种表征手段呈现证据,引导学生从宏观现象和微观本质认识电解质的电离行为与离子反应的本质,用符号表征建立电解质在水溶液中的行为模型。实验涵盖纯水与电解质的导电性探究、多种电解质混合体系的相互作用、非水体系电解质的溶液行为等。结合手持数字化电导率仪,培养学生的证据推理能力和实验设计能力。教学过程强调控制变量、数据分析、科学解释和模型构建,帮助学生构建基于离子视角的化学反应认知模型。教学中运用“证实”“证伪”逻辑,设计动态实验探究,凸显了证据推理与模型建立过程,帮助学生提高推理能力,促进化学思维全面发展。

关键词:证据推理与模型认知;手持技术;实验教学;电解质;电离

文章编号:1008-0546(2025)15-0034-04

中图分类号:G632.41

文献标识码:B

“电解质的电离”和“离子反应”是人教版高中化学必修第一册^[1](以下简称“教材”)第一章第二节的教学内容。电解质在水溶液中的行为不仅涉及电解质的基本概念,还与离子反应、电离平衡、水的电离等多个知识点紧密相关,是高中化学最重要的教学内容之一。本研究以探究实验为基础,对传统的灯泡装置进行了创新改进,将动态实验过程与数字化技术相结合,呈现如何通过实验设计、实验装置改进和逐步深入的探究活动,帮助学生掌握电解质在水溶液中的电离过程、离子反应等行为特点。

一、教学主题内容分析

教材从传统的小灯泡导电性测试实验入手,探究了干燥的离子化合物(NaCl 固体等)和蒸馏水的导电性差异,引导学生厘清电解质导电的原因。教材中明确指出,蒸馏水也能导电,只是导电能力非常弱,用教材中的实验装置(传统小灯泡导电性测试实验)不能测出。学生无法从实验现象区分不导电与弱导电性的差异,容易混淆强电解质与弱电解质的

概念。教材通过呈现 NaCl 固体在水中溶解并形成水合离子的示意图,引出了电离的概念。笔者查阅文献分析发现,目前针对该主题的教学设计较少采用动态实验的呈现手段,导致学生仅能通过理论认识理解电解质的电离行为。^[2]对于多种电解质在水溶液中共存及其离子反应过程的学习,学生往往只能依赖“死记硬背”的方法,缺乏对实验现象的直观感受。

在新课程改革的背景下,许多专家学者对实验探究教学进行了积极探索,提出了以下教学建议:要尽可能创造条件使学生深刻理解原理,凸显化学实验在认识化学概念和理论的重要介质,促进学生在真实体验和深度学习中形成高水平的学科能力^[3],培养证据推理与模型认知核心素养。基于此背景和教材中实验的局限性,笔者设计了以下教学内容。

二、教学设计

本课例在学生对电解质的基本概念有了初步了解,并且能够简单区分电解质、非电解质、弱电解质

^{*} 基金项目:本文系 2022 年浙江省教研重点课题“指向高阶思维培养的化学课堂教学研究与实践”(Z2022013)的研究成果。

的基础上展开。教学过程以“电解质在水溶液中的行为”为探究核心,围绕“电解质水的成分分析—电离过程探究—多种电解质相互作用—制备纯水”的主线展开教学。通过任务驱动式活动,引导学生从

生活情境出发(生活中常见的电解质饮料成分等),逐步探究电解质的电离本质及多种电解质在水溶液中的离子反应规律。具体教学设计思路如表 1 所示。

表 1 “电解质在水溶液中的行为”教学设计思路

探究主题	问题线索	策略线索	实验线索
解析电解质水的成分	电解质水中哪些成分是化学概念上的电解质	信息分析、概括关联	改进小灯泡导电性测试装置,实现动态实验
单一电解质在水溶液中的行为	1.如何设计实验探究纯水和氯化钠的导电性 2.通电时,电离的必要条件是什么	对照实验、归纳总结	改进电离溶液,对照实验得出结论
多种电解质在水溶液中的行为	多种电解质在水溶液中混合会产生怎样的相互作用	信息推理、实验设计	手持技术,测定混合电解质溶液的动态导电性
净化水源,获得纯水	如何除去水中的杂质离子,获得适合饮用的纯水	交流合作、应用实践	对比观察,厘清电解质在水中的存在形式

笔者对传统实验中的小灯泡导电性测试装置进行了改进,实现了对不导电、弱导电与强导电现象的区分,实验装置如图 1 所示。通过数字化实验(动态实验电导率实时监测),强化学生对微观离子行为的理解,提升其基于证据进行科学推理的能力,重点发展学生通过实验现象开展证据推理与模型认知的能力。在教学过程中,通过诊断学生的推理水平,引导学生归纳实现现象,整合认识角度,构建结构化的思维模型。这一过程有助于学生更深入地理解化学反应的本质,培养科学探究能力和实验操作技能。

三极管电流放大器 纽扣电池

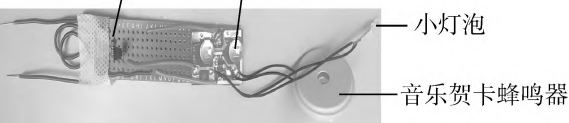


图 1 改进后的小灯泡导电性测试装置

三、教学实录

1. 解析电解质水的成分

[情境导入]教师展示“超市内疯抢电解质水”“急急急,鸡都要喝电解质水”等社会新闻及专家指出“不需要疯抢,家庭中可以自制出电解质水”的视频报道。

[资料卡片]常见电解质水的配料包括水、白砂糖、食用葡萄糖、食品添加剂(柠檬酸、柠檬酸钠、磷酸二氢钾、食用香精、亮蓝)、氯化钠。

[教师]根据电解质的基本概念,电解质水中的

哪些成分是化学范畴上的电解质?请大家分小组讨论,找出配料表中哪些物质属于电解质。

[学生]水、食用盐。

[教师]纯水、氯化钠固体的导电性如何,氯化钠固体溶于水后导电性如何变化?请结合教材知识,设计实验进行探究。

[学生活动]小组讨论,查阅教材,提出设计方案。

2. 单一电解质在水溶液中的行为

[教材呈现]传统导电性测试实验中的小灯泡装置存在局限性,因所需电流过大,在纯水和干燥氯化钠固体中均不导电。

[教师](展示改进后的小灯泡导电性测试装置)该装置由纽扣电池、小灯泡和蜂鸣器组成,并在电路中串联了三极管电流放大器,以更灵敏地检测不同物质导电性的差异。当电流较大时,蜂鸣器才会响起,播放音乐。现在请一位同学用手握住改进后的小灯泡导电性测试装置导线两端,观察实验现象。

[学生]小灯泡微弱亮起,音乐没有响起。

[证据推理]人体是极弱的导体,若该装置可以测量人体的导电性,那么,它同样能够测量弱电解质的导电性。

[学生实验]探究纯水和干燥的氯化钠固体的导电性。将改进后的小灯泡导电性测试装置分别插入纯水和干燥氯化钠固体中。对比并总结实验现象(见表 2)。

表 2 纯水和干燥的氯化钠固体的导电性探究

测定物质	干燥的氯化钠固体	纯水
实验现象	灯泡不亮,音乐没有响起	灯泡微弱亮起,音乐没有响起

[证据分析]纯水导电性极弱,干燥的氯化钠固体没有导电性。纯水属于弱电解质,含有少量能够自由移动的带电微粒,而干燥的氯化钠固体中没有自由移动的带电微粒。

[演示实验]教师将改进后的小灯泡导电性测试装置插入纯水中,加入氯化钠固体,并用磁子搅拌,观察现象。

[学生]观察到小灯泡逐渐亮起,音乐在 5 秒时突然响起。

[证据分析]纯水导电性很微弱,而加入氯化钠固体后的水溶液导电性显著增强,说明氯化钠在水溶液中电离形成大量的 Na^+ 和 Cl^- 。观察宏观现象,分析并理解氯化钠在微观层面的解离过程,并建立电离方程式的书写模型。

[教师引导]小灯泡导电性测试装置中装有电池,是否是电池中的电流促进了电离过程? 电离过程是否需要电流参与,电离方程式书写模型是否要写通电条件?

[学生活动]小组讨论,设计对照实验,验证在水分子作用下氯化钠固体发生电离。

[学生实验]在不同分散剂中探究 AgNO_3 沉淀实验。操作步骤如下:①配制等浓度的氯化钠乙醇溶液与氯化钠水溶液。②向氯化钠乙醇溶液与氯化钠水溶液中分别滴加少量 AgNO_3 溶液,观察沉淀生成情况。氯化钠乙醇溶液中几乎无现象,氯化钠水溶液中立即产生 AgCl 白色沉淀。得出结论:氯化钠在水溶液中电离出 Cl^- ,而在乙醇中未电离。

[推理]两种溶液的对比实验证明电离过程依赖溶剂性质,而不是通电驱动。氯化钠在水溶液中自发电离为自由移动的离子,因此电离方程式不需要写通电条件。

[模型建立]总结电离方程式的书写原则,构建常见物质电离过程的符号表达式。

[教师总结]单一电解质在水中会发生电离,因此,补充含有氯化钠的水溶液等于补充了大量的 Na^+ 和 Cl^- 。

3. 多种电解质在水溶液中的行为

[教师]电解质水配料中既含有氯化钠又含有氯化钾。多种电解质在水溶液中混合会产生怎样的行为?

[实验 1]不同浓度 NaCl 溶液与 KCl 溶液的电导率测定。实验仪器:手持数字化电导率仪。实验试剂:0.1 mol/L NaCl 溶液、0.01 mol/L NaCl 溶液、0.001 mol/L NaCl 溶液、0.1 mol/L KCl 溶液、0.01

mol/L KCl 溶液、0.001 mol/L KCl 溶液。具体测定结果如表 3 所示。

表 3 不同浓度 NaCl 溶液与 KCl 溶液电导率测定结果

溶液	NaCl			KCl		
浓度/(mol/L)	0.1	0.01	0.001	0.1	0.01	0.001
电导率/($\mu\text{S}/\text{cm}$)	9 650	1 000	112	9 800	1 020	105

[推理]同种物质的溶液中,高浓度的电导率大于低浓度电导率,且电导率与浓度存在近似线性关系。因此,可以推断电导率与溶液中自由移动的带电微粒浓度也存在近似线性关系。

[模型建立]可以通过测定电导率数值,判断溶液中微粒的存在形式。

[实验 2]将 0.1 mol/L KCl 溶液缓慢加入至 0.1 mol/L NaCl 溶液中,利用手持数字化电导率仪实时监测混合溶液的电导率变化情况(见图 2)。

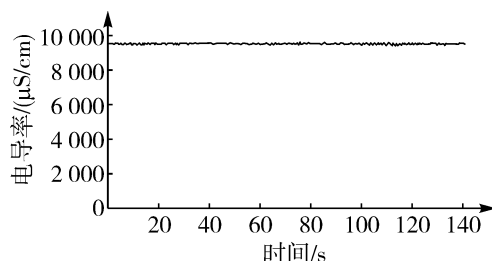


图 2 0.1 mol/L KCl 溶液与 0.1 mol/L NaCl 溶液混合后的电导率变化曲线

[学生]观察电导率曲线发现,0.1 mol/L KCl 溶液与 0.1 mol/L NaCl 溶液混合前后电导率无显著变化,曲线无明显波动。

[推理] NaCl 溶液和 KCl 溶液属于强电解质,在水溶液中完全电离,混合后离子种类未发生改变,仅浓度叠加,无新物质生成。因此,这两种物质混合后的行为是各自电离。

[实验 3]将等浓度的 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 与 CH_3COOH 溶液混合,利用手持数字化电导率仪实时监测电导率的变化情况(见图 3)。

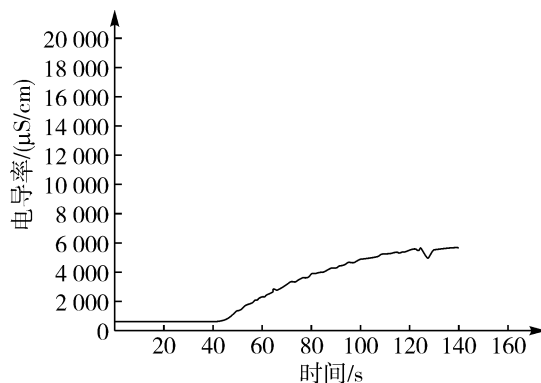


图 3 等浓度 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 与 CH_3COOH 溶液混合的电导率变化曲线

[学生]观察现象发现,电导率显著增大。

[推理] $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 与 CH_3COOH 溶液属于弱电解质,反应生成强电解质醋酸铵(含有 NH_4^+ 和 CH_3COO^-),导致电导率显著增大。离子方程式为 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$ 。

[模型建立]初步建立离子反应过程中弱电解质不拆开书写、强电解质拆开书写的规则。

[实验 4]将等浓度的 BaCl_2 溶液与 Na_2SO_4 溶液混合,观察现象。

[学生]产生白色沉淀。

[推理] SO_4^{2-} 与 Ba^{2+} 结合生成难溶物,离子浓度降低,因此,反应生成的沉淀在离子方程式中不拆开。离子方程式为 $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow$ 。

[教师总结]通过以上实验,多种电解质混合后可能各自电离,若离子之间能够生成弱电解质、沉淀、气体等,则可发生离子反应。按照书写规则建立书写模型,可以对一类反应使用符号形式归类描述。

4. 净化水源,获得纯水

[教师]某地区山泉水中含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} ,根据电解质在水中的行为,设计实验方案去除 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 。

[学生]设计的实验方案如下:①加入 NaOH 溶液和 Na_2CO_3 溶液,使 Mg^{2+} 生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀, Ca^{2+} 生成 CaCO_3 沉淀。②改进实验:确定试剂的加入顺序,先加 NaOH 溶液,再加 Na_2CO_3 溶液,避免 Mg^{2+} 被 CO_3^{2-} 包裹,从而影响沉淀效率。

[课后验证]模拟山泉水成分,依次加入试剂,观察实验现象,通过电导率变化和沉淀现象验证方案的有效性。

四、教学反思

1. 教学目标达成角度

通过多种实验手段(改进的小灯泡导电性测试装置、手持数字化电导率仪等),学生从宏观现象和微观本质两个层面理解了电解质在水溶液中的电离行为和离子反应,实现了从具体现象到抽象模型的认知跨越,并学会运用模型解决类似问题。在实验设计和证据推理过程中,通过控制变量、分析数据,基于实验结果建立化学模型,提升了科学探究能力和思维能力。笔者采用任务驱动式教学模式,通过设置递进式任务,激发学生探究的主动性。教师在教学过程中适时引导学生进行证据推理和模型

建立。

2. 实验设计角度

课程中一些实验设计对于学生的实验能力和逻辑推理能力要求较高。今后可以根据学生水平分层设计实验难度。例如,在基础层面聚焦单一电解质的电离行为验证;对于实验设计能力较强的学生提出进阶要求,结合水质净化、工业除杂等真实案例,设计开放性探究任务。化学实验探究教学作为一项系统工程,很难通过几节课达到一蹴而就的效果,化学教学要从基础年级开始注重实验素养的培养,从不同类型的实验中渗透实验探究的方法思路。^[4]通过多样化的实验活动,促使学生从“知识记忆”向“证据推理”的能力转化,为高考实验综合题的解答奠定坚实基础。

由于本节课实验内容较多,设计较为复杂,教学过程中可能会出现时间分配不合理的情况。例如,在某些实验环节,学生可能需要更多的时间进行操作和思考,而教师可能因教学进度的要求而不得不缩短时间。这可能导致学生对某些知识点的理解不够深入,影响教学效果。教师在教学设计时应充分考虑实验的难易程度和学生的实际情况,合理安排教学时间,确保每个实验环节都能让学生充分探究和理解。

3. 证据推理与模型认知发展角度

学生在实验中能够进行一定的证据推理和模型建立,但在思维的深度和广度上仍有提升空间。例如,在分析多种电解质混合后的行为时,部分学生可能仅停留在表面现象的观察,而未能深入思考离子之间的相互作用及其对反应结果的影响。在面对复杂问题时,学生的思维可能较为局限,缺乏从多角度分析和解决问题的能力。在教学过程中,教师应注重引导学生深入思考,培养他们的批判性思维和综合分析能力,不断创新证据呈现的形式,将推理过程逐渐可视化。

参考文献

- [1]王晶,毕华林.普通高中教科书 化学 必修 第一册[M].北京:人民教育出版社,2023.
- [2]郑军,潘虹.水溶液中电解质电离行为的教学探讨[J].化学教学,2021(16):13-15.
- [3][4]陈博殷,王季常,谢鹏.高三化学探究教学之实验方案设计与证据推理——镁与不同溶液的反应探究[J].化学教育(中英文),2024(23):20-27.