

高中化学教材中“电解饱和食盐水”的对比分析及教学建议*

郑舒琳^{1,2} 蔡开聪^{1,2**}

(1. 福建师范大学化学与材料学院 福建省先进材料化工基础重点实验室 福建福州 350007;

2. 福建省理论与计算化学重点实验室 福建厦门 361005)

摘要 对人教版、鲁科版、苏教版等3种版本教材中有关电解饱和食盐水的内容进行比较分析,系统地从宏观和微观角度阐明电解饱和食盐水的化学本质。研究结果有助于深化对电解饱和食盐水及氯碱工业的科学性认识,进一步为多种教材的综合利用和教师教学设计提供必要的理论依据。

关键词 教材对比 电解饱和食盐水 电极方程式 氯碱工业

DOI: 10.13884/j.1003-3807hxjy.2022020008

在国家“一纲多本”的政策下,现在高中化学教材主要以人教版、鲁科版、苏教版为主。电解饱和食盐水是高中阶段认识电解原理的重要内容,同时也是氯碱工业的化学基础,在国民经济中扮演着极其重要的角色。《普通高中化学课程标准(2017年版)》要求能从电解饱和食盐水等案例素材发展学生对电解池工作原理的认识,促使学生认识电解过程中的基本要素,并能了解电解在实际生活生产中的应用^[1]。

在依据《普通高中化学课程标准(2017年版)》编制的最新教材中,3版教科书^[2-4]的电解饱和食盐水知识点均位于选择性必修1《化学反应原理》的电解原理运用模块,涉及的知识点内容基本一致,但在编排顺序和电极方程式书写上存在较大差异。教材内容直接影响着电解本质的科学阐述^[5]以及教师整体的教学设计。教科书对基本原理和方法的准确表述,对学生形成正确的化学学科核心观念,培养学生的化学学科核心素养有重要的促进作用。本文将从化学用语表达、呈现内容和教材中的位置等3个方面分析电解饱和食盐水在3个版

本教材中的异同,探究电解饱和食盐水的化学本质和化学用语的科学性表达,为教师更好地进行电解本质及其应用的教学提供理论参考。

1 化学用语表达的对比分析

电解饱和食盐水本质上是饱和NaCl水溶液在通电作用下生成NaOH、Cl₂和H₂的过程。在最新版本教材有关电极方程式的描述上(表1),新苏教版教材沿用旧版教材内容,只描述电解饱和食盐水的总方程式,缺少对阴阳极电极方程式的详细解释。新的人教版和鲁科版均有涉及总方程式及对应电极方程式的介绍,但二者在阴极电极方程式的阐述上存在较大差异。新鲁科版阴极反应方程式仍沿用旧版教材,描述为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow$,但新鲁科版补充说明在碱性较强的溶液中,阴极上的电极方程式也可能为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$; 新人教版将原来旧版教材描述的阴极反应 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow$ 改为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$ 。3种版本教材在电解饱和食盐水阴极电极方程式的描述上存在较大差异,单一使用某种教材进行学习有可能造成广大学生对同一知识点的认知完全不同。

表1 3种版本化学用语对比

Table 1 Comparison of the chemical terms from three textbooks

	人教版	鲁科版	苏教版
阳极	$2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cl}_2 \uparrow$	$2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cl}_2 \uparrow$	无
阴极	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow$	无
阴阳极加和	$2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow + \text{OH}^-$	$2\text{Cl}^- + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow$	无
总方程式	$2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow + \text{OH}^-$	$2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow$	$2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow$
方程式	$2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow + \text{OH}^-$		

离子总反应方程式可由阴阳两极电极方程式叠加所得。苏教版缺少对阴阳两电极方程式的微观分

析,人教版的阴阳极离子方程式叠加与其总方程式符合,而鲁科版相加所得的方程式与其总化学方程

* 国家自然科学基金(21103021);福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划;厦门大学固体表面物理化学国家重点实验室开放课题(201904);福建师范大学教学改革研究项目(1202002103)

** 通信联系人, E-mail: ckc1117@fjnu.edu.cn

式不吻合,缺少了 OH^- 。从微观角度看,鲁科版认为根据放电顺序,阴极得电子是 H^+ ,于是就直接把阴极的反应方程式简单写作 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$ 。但深入思考 H^+ 的来源,可以知道饱和 NaCl 溶液(中性)中 H^+ 并不直接存在,其来源于水的电离,在学生已有认知中,水是一种弱电解质,在书写离子方程式时弱电解质是不可拆的,故严格来说阴极的电极方程式应该为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$ 。

鲁科版与学生原有的认知相冲突,易造成学生电极方程式书写上的困惑,出现认知偏差;苏教版缺少阴阳极电极方程式的描述,在学生交流思考后没有给出准确方程式,学生学习时可能会出现鲁科版和人教版2种答案,影响学生对电解要素的判断;人教版科学严谨地描述电解饱和食盐水的本质过程,符合学生的认知经验和电极反应的应用原则^[6],避免给学生的学习带来认知冲突。因此从学生角度出发,人教版的编写更符合学生的认知水平和逻辑思维。

2 呈现内容的对比分析

3个版本的教材在内容呈现上存在较大差异。苏教版将电解饱和食盐水内容放在“交流讨论”的栏目中,作为背景材料提供学生交流思考。栏目提供了电解饱和食盐水的总方程式及电解原理示意图,让学生运用所学知识探究电解饱和食盐水过程中发生的反应。此栏目有助于学生对电解知识的巩固与应用,培养学生的自主性学习。教师在实际教学中要注意对学生加以引导,对有关问题及时进行合理的总结解释,帮助学生学会应用电解原理去回答有关问题。鲁科版将电解饱和食盐水知识点作为活动·探究栏目的内容,并通过展示实验室电解饱和食盐水的装置图,直观展示实验所用到的仪器,让学生能够了解真实实验的用具和仪器的组装,有助于学生对实验的思考与改进研究。在实际教学中教师通过让学生观察课堂上电解饱和食盐水的演示实验,小组分析讨论电解饱和食盐水过程中的现象和产物,从而让学生直观地观察电解发生的过程,帮助学生自主建构知识,体验科学探究历程,提升学生的科学研究能力和推理演绎能力^[7];人教版将电解饱和食盐水的学习内容放在正文中,作为学生正常学习的一部分,帮助学生了解电解原理在日常生活中的有关应用,教师在实际教学时要进行一些适当的知识拓展,有利于学生更好地了解并掌握电解原理的实际应用,让学生能够运用电解知识去解决相关问题。

此外,3个版本教材都拓展介绍电解饱和食盐水在工业上的应用——氯碱工业,人教版和鲁科版还展示了离子交换膜法电解饱和食盐水原理的示意图(图1),在进行电解反应时,在电解槽的阳极室内注入 NaCl 溶液,阴极室内则注入水(含少量

NaOH),在阳极室内通电生成氯气,在阴极室内通电生成氢气。氯碱工业的实质是电解饱和食盐水,因此学习氯碱工业的有关知识可以深化对电解饱和食盐水的科学性认识。

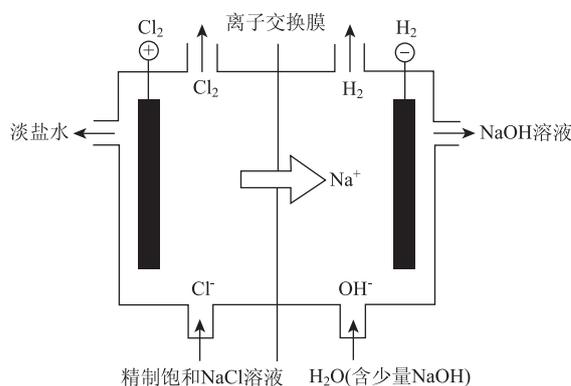


Fig. 1 Schematic diagram of ion exchange membrane method
图1 离子交换膜法示意图

通过氯碱工业的学习,可以知道阳极生成的产物氯气是由 Cl^- 氧化得到,阴极的产物氢气是由 H_2O 还原得到。初始条件下,由于阴极室注入的是水(含少量 NaOH),说明此时阴极处于弱碱性环境, OH^- 的浓度大于 $1 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$,推出 H^+ 应该小于 $1 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ 。在反应进行时或结束情况下,有强碱性物质 NaOH 生成,此时更是抑制水电离产生 H^+ 。

综上,整个反应过程中阴极始终处于弱碱性环境,水的电离受到抑制, H^+ 浓度可以忽略不记。因此,阴极电极方程式的准确表述应该为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$ 。3个版本教科书中只有人教版对此内容的编写最符合科学性原则,准确反映了饱和食盐水电解的本质;鲁科版通过实验探究电解饱和食盐水的本质过程,帮助学生更好地理解电解过程中的有关反应,但2个版本阴极电极方程式使用环境的不明确,易造成学生学习的困惑;苏教版直接将电解饱和食盐水的知识点作为探究学习,让学生自行写出有关的阴阳极电极方程式,本意是为了培养学生的探究思维和应用能力,但学生可能由于对电解原理的初次学习或掌握程度不足,不能准确判断电解过程中的反应要素,难以将所学知识应用于实际的问题解决中,交流讨论栏目可能在一定程度上给学生的学习带来困难。

3 教材中的位置对比分析

从知识点在教材中所处的位置来看,电解饱和食盐水在3版教科书中均位于选择性必修一的电解原理应用模块,学生在先前必修课本的学习中已经掌握了电解质、氧化还原反应等相关知识,为学习本节课的内容打下基础。但3种教材中电解饱和食盐水知识点的编写顺序存在差异,人教版位于第四章化学反应与电能第二节电解

池, 鲁科版位于第一章化学反应与能量转化第三节电能转化为化学能-电解, 苏教版则位于专题一化学反应与能量变化第二单元化学能与电能的转化(表 2)。3 种版本教材中只有人教版是将电解饱和食盐水安排在第四章, 先学习反应平衡与离子平衡等知识点, 再学习电解知识点, 鲁科版和苏教版均将此内容安排在第一章学习, 作为化学反应原理学习的开篇。

表 2 电解饱和食盐水在 3 种版本教材中的位置

Table 2 The locations of electrolyzing saturated NaCl solution in the three versions of textbooks

版本	人教版	鲁科版	苏教版
章节 排布	第四章 化学反应与电能	第一章 化学反应与能量转化	专题一 化学反应与能量变化
	第二节 电解池	第三节 电能转化为化学能-电解	第二单元 化学能与电能的转化
	第二部分 电解原理的应用	第二部分 电解原理的应用	电解池的工作原理及应用

在化学平衡章节, 学生掌握了水是一种弱电解质, 常温下 ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) $K_w = 1 \times 10^{-14}$, $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-7}$ 等相关知识点, 了解到当溶液中离子浓度小于 1×10^{-5} mol/L 时, 认为电离出的离子浓度相对于物质本身非常小, 在溶液中可以忽略不计。由此推导常温下中性溶液由水电离 1×10^{-7} mol/L 的 H^+ 和 OH^- 的浓度远远小于 1×10^{-5} mol/L, 在中性溶液中水以分子形式存在。

人教版先学化学平衡再学习电解知识, 学生已经掌握了中性条件下水分子的存在形式, 在书写电极方程式时更清楚地了解离子的来龙去脉, 学习脉络清晰。鲁科版、苏教版教材将化学平衡放在电解原理之后学习, 存在一定的逻辑冲突, 学生对水电

离的概念了解不深, 因此电解饱和食盐水阴极电极方程式采用 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 \uparrow$, 方便学生从产物来源识记有关知识, 从而形成固有思维, 影响电解本质的理解和后续化学平衡章节内容的学习。因此人教版的编写最符合学生的认知逻辑顺序, 避免造成学生学习上的困惑。

4 结论

通过对 3 个版本教材电解饱和食盐水相关内容的异同比较分析, 不难发现, 3 个版本教材的知识内容基本一致, 但在电解饱和食盐水阴极电极方程式的书写上存在较大的差异, 经过对比研究得出阴极电极方程式最严谨的书写应该为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$, 其准确反映了阴极电解发生过程的基本要素, 正确揭示了电解饱和 NaCl 溶液的本质。教科书的编写影响着教师二次开发利用教材和学生的学习, 不同版本教科书在同一内容的阐述上可能存在不同的方式, 有着各自的优缺点, 因此教师在设计教学时应该多参考几个版本的教科书, 选择最为合适的教学素材作为教学内容, 从科学的角度阐述化学概念。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准 (2017 年版). 北京: 人民教育出版社, 2018: 28-30
- [2] 王晶, 毕华林. 普通高中教科书: 化学反应原理 (化学选择性必修 1). 北京: 人民教育出版社, 2019: 103-104
- [3] 王磊, 陈光巨. 普通高中教科书: 化学反应原理 (化学选择性必修 1). 济南: 山东科学技术出版社, 2019: 23-24
- [4] 王祖浩. 普通高中教科书: 化学反应原理 (化学选择性必修 1). 南京: 江苏凤凰教育出版社, 2020: 24
- [5] 喻俊, 沈甸. 化学教育 (中英文), 2017, 38 (1): 78-80
- [6] 宋跟行. 化学教育, 1989 (1): 58, 46
- [7] 李晓明. 化学教育 (中英文), 2020, 41 (11): 23-29

Analysis and Teaching Suggestions of "Electrolyzing Saturated NaCl Solution" in Senior High School Chemistry Textbooks

ZHENG Shu-Lin^{1,2} CAI Kai-Cong^{1,2**}

- (1. College of Chemistry and Materials Science, Fujian Provincial Key Laboratory of Advanced Materials Oriented Chemical Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;
2. Fujian Provincial Key Laboratory of Theoretical and Computational Chemistry, Xiamen 361005, China)

Abstract The differences of electrolyzing saturated NaCl solution in the textbooks of People's Education Edition, Shandong Science and Technology Press and Jiangsu Education Press were carefully discussed, and the corresponding chemical nature was systematically demonstrated from macro and micro perspectives. The results were helpful for deepening the scientific understanding about electrolyzing saturated NaCl solution and chlor-alkali industry, thus providing necessary theoretical basis for the comprehensive utilization of various textbooks and the teaching design.

Keywords textbooks comparison; electrolyzing saturated NaCl solution; electrode equation; chlor-alkali industry