

《物理化学》

课堂 教学 设计

课 程 名 称： 物理化学

开 课 单 位 名 称： 化学与土木工程学院

授 课 教 师： 田长安（签名）

授 课 班 级： 23级无机及非金属材料01班

授 课 学 年 学 期： 2024-2025（2）

“电解与极化作用——以海水制氢为例”课堂教学设计（1学时）

一、教学目标（科学、准确、符合课标要求；用“通过教师…，学生能够…”方式表述）	
价值目标	<p>（该课时的课程思政要求）</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 通过电解水制氢，学生能够逐步树立绿色低碳发展意识，为实现碳达峰碳中和贡献智慧和力量； 2. 通过谢和平院士团队海水直接电解制氢这一具有历史创新的研发成果，学生能够逐步建立科技自强的自信； 3. 通过海水电解制氢，引导学生结合本节课所学理论知识，提出海水电解制氢问题的解决方案，学生能够逐步理解教育的意义，理解物理化学学习的意义，激发学生立志承担解决国家和社会难题的责任，提升学习的内在动力。
知识目标	<p>（核心概念的表述，行为动词可检测）</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 通过教师引导学生对比可逆电池与 $I \neq 0$ 时的电解过程，学生能够定义分解电压； 2. 通过教师讲解极化作用，学生能够归纳极化作用产生的原因； 3. 通过教师讲解超电势的测定，学生能够描述极化曲线； 4. 通过教师讲解氢超电势，学生能够写出 Tafel 公式； 5. 通过讲师讲解金属的析出与氢的超电势，学生能够判断电解过程阴极上物质析出的先后顺序。
能力目标	<p>（要求使用高阶动词）</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 能够明确定义分解电压； 2. 能够正确计算超电势及实际分解电压； 3. 能够根据极化作用的原因提出降低极化作用的方案。 4. 能够根据 Tafel 公式计算 $H_2(g)$ 超电势的方法。 5. 能够根据金属的析出与氢的超电势，分析电解过程可能存在竞争反应，并初步制定优化电解海水制氢的方案。
二、	教学指导思想
<p>本节课程坚持以学生为主体、以能力培养为目标，将实际应用、学术研究和前沿成果融入教学内容，激发学生专业学习兴趣；利用线上教学平台系统构建课前、课中、课后全过程教学体系，提升教学深度、拓展教学广度；以任务点驱动达成教学目标，培养学生的自主学习能力；利用案例讨论锻炼学生探索、分析和解决问题的能力，提升课程内容的高阶性和创新性。</p>	
三、	教学内容分析与重构

(使用质量高的教学资源：包括选用的教材，行业社会需求，引用的电子资源、网络课程、视频公开课、PPT、电子学术论文、专著等)

本科化学专业物理化学课程的电化学部分主要讲授电解质溶液，可逆电池的电动势及其应用、电解与极化作用等基础知识。近年来，电解与电合成技术因其能耗低、环境污染少、反应条件容易控制等优点发展势头强劲。电解与极化作用的教学内容可为学生后期理解相关生产实践打下基础，使学生树立绿色低碳发展意识，为实现碳达峰碳中和贡献智慧和力量。本节课程教学使用的教学资源包括：

1. 教材

物理化学（第三版）作者:万洪文 詹正坤 原弘 范楼出版社:高等教育出版社

2. 课程网站

物理化学 <http://mooc1.chaoxing.com/course-ans/courseportal/236653513.html>



3. 文献

(1) A membrane-based seawater electrolyser for hydrogen generation, Nature, 612 (2022) 673-678. <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05379-5>



(2) Iodine-Doping-Induced Electronic Structure Tuning of Atomic Cobalt for Enhanced Hydrogen Evolution Electrocatalysis, ACS Nano 2021, 15, 18125–18134. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.1c06796>



4. 视频

内容
选择
分析

<https://haokan.baidu.com/v?pd=wisenatural&vid=8761331567993480358>



5. PPT 课件

内容 重构 (重 构方 式及 策略)

本节课程内容包含了分解电压的定义、极化作用、电解时电极上的竞争反应三部分内容。

课前发布预习任务与课前测试，考察学生自学过程对电解与极化作用基础知识点的理解程度。课中结合课前测试情况，引导学生关注本节课程的难点（判断极化电极电势随电流变大的变化规律、电解时电极上竞争反应）、重点（超电势的计算及实际分解电压的确认、电解时电极上竞争反应），教师课中基于电解池采取对比法（有无电流的对比分析）、案例分析法（浓差极化、不同电极及溶液体系中的电解过程分析）实现重点强化、难点突破。

当原电池的电路中产生电流，电极也会发生极化作用，但阴、阳极极化电极电势的变化规律的分析思路与电解池类似，难度不大，因此将此部分内容作为线上任务推送给学生，将其作为自学部分考察学生的自学能力。

本教学还将利用前沿文献阅读、案例讨论锻炼学生从极化产生原因角度提出削弱极化作用方案的能力、判断电解时电极上物质析出先后的能力，提升课程内容的高阶性和创新性。

学情 分析

物理化学 2 课程面对本学院化学专业大三学生开课，学生经过物理化学 1 的学习已经具备反应热力学的相关知识储备，同时在本学期也完成了电化学中关于电解质溶液、可逆电池的电动势及其应用的学习，能较熟练的应用物理化学课程的逻辑方法与思维进行反应热力学、离子迁移、可逆电池相关知识的迁移与应用。而且化学专业大部分学生学习主动性较强，能积极参与课程教学过程，线上线下双线任务教学可以有效发挥学生的学习主动性和积极性。

教学 重点 难点 分析

教学难点

1. 电极极化后的电极电势的变化规律的判断。
2. 电解时阴极物质的析出顺序的分析方法。

教学重点

1. 超电势的计算与实际分解电压的确定。
2. 氢超电势的计算。
3. 电解时阴极物质的析出顺序的分析。

教学难点突破方式

1. 通过分析极化作用产生的不同原因，并以电解水制氢为例的浓差极化探讨电极极化后的电极电势的变化规律，促进学生树立

教学重点强化方式

将理论与实践相结合，通过具体例题讲解、案例应用加深对重点的理解与应用，并启发学生思考教育的意义，思考物理化学学习的

<p>绿色低碳发展意识,为实现碳达峰碳中和贡献智慧和力量。</p> <p>2. 结合 3 个案例讲解,利用能斯特方程计算可能在阴极析出的物质所对应氧化还原电对的电极电势,同时考虑超电势,以此获得析出电极电势,通过析出电极电势的大小比较以此判断电解时阴极物质的析出顺序。</p>	<p>意义。</p>
--	------------

四、教学策略设计（学生中心、价值、创新、环境、方法、特色等要素融入）



图 2. “电解与极化作用——以海水制氢为例”的教学策略设计

本节课程通过课前、课中、课后时间的有效组合，线上、线下空间融合，充分发挥以学生为中心的教学理念，注重知识传授的同时进行价值引领。

课前发布预习任务与线上课前测试，考察学生自学过程对电解与极化作用基础知识点的理解程度。

课中以氢能、海水电解制氢前沿报道引入新课，帮助学生逐步树立绿色低碳发展意识，同时培养科技自强、自信的品格。

结合课前测试情况，引导学生关注本节课程的难点（判断极化电极电势随电流变大的变化规律、电解时电极上竞争反应）、重点（超电势的计算及实际分解电压的确认、电解时电极上竞争反应），教师课中基于电解池采取对比法（有无电流的对比分析）、案例分析法（电解水过程浓差极化分析、不同电极及电解质溶液体系中的电解过程分析）实现重点强化、难点突破。通过实现现象获得规律，规律反过来指导生产实践，从而引导学生认可教育的魅力、物理化学的魅力，提升自我提升的内在驱动力。

注重课堂内容升华，利用前沿文献阅读、案例讨论锻炼学生从极化产生原因角度提出削弱极

化作用方案的能力、判断电解时电极上物质析出先后的能力，提升课程内容的高阶性和创新性。
注重教学效果反馈，促进教学。

五、教学过程设计（要求课前课中课后，尽量做到线上线下）

课前要求	<p>1. 预习 10.1 分解电压、10.2 极化作用、10.3 电解时电极上的竞争反应。</p> <p>2. 在学习通上完成关于“分解电压、极化作用”的课前测试。</p> <p>课前测题目：</p> <p>(1) [判断题]分解电压是使某电解质溶液能连续不断发生电解时所必需的最小电压。</p> <p>(2) [多选题]产生极化作用的原因有 A. 电化学极化 B. 浓差极化 C. 电阻极化 D. 电流极化</p> <p>(3) [单选题]以下关于析出电势的描述错误的是 A. 电解时，电流密度增大，阴极析出电势比可逆电势越来越小。 B. 电解时，电流率度增大，阳极析出电势比可逆电势越来越大。 C. 原电池放电时，电流密度增大，因极化作用，正极析出电势比可逆电势越来越小。 D. 原电池放电时，电流密度增大，因极化作用，负极析出电势比可逆电势更越来越小。</p> <p>(4) [判断题]随着电流密度的增加，电解池消耗的能量增多，而原电池对外所做的电功减小。</p>							
	节段	教学环节	时间分配	教师活动	学生活动	思政融入点	预期效果 (目标在各环节有体现)	设计意图
课堂实施	第一节 段（20分钟）	1.课程导入	2 min	通过燃料热值对比、谢和院士海水原位电解制氢的前沿研究引出内容:氢能产	学生思考并尝试回答	通过氢能能量密度高、产物清洁无污染	学生能概述氢能产业开发与推广的	激发学生学习电解与极化作用的兴趣。

				业开发与推广的价值是什么？电解水制氢过程包含有哪些物理化学现象与规律？这些物理化学知识与规律对电解海水制氢有什么意义？		染，电解海水制氢对海洋资源的有效利用，培养学生绿色低碳发展意识；通过谢和平院士团队海水原位电解制氢引导学生树立科技自强、自信。	价值，初步形成绿色低碳发展意识；学生对海水原位电解制氢技术突破的好奇心。	
		2.学习目标	1 min	①分析同学课前测情况，指出同学们在预习过程中遇到的问题； ②指出本节内容的重点、难点。	学生认真听取教师对课前测的分析，了解本节内容的重点、难点。	通过指出学生在预习中面对的难点与课前测中的问题，启发“知不足而后进，望山	认识问题的态度，解决问题的积极。	使学生能了解自己的学习状态，认识自身的不足之处，启发他们带着持续改进的发展思维进入课程内容的学

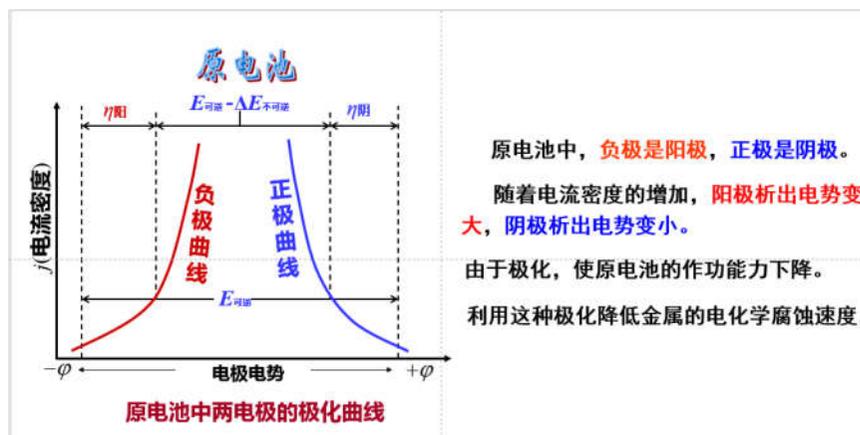
						远而前 前”的不 畏难题的 发展性思 维。		习。
	3.内容回 顾	1 min	引导学生回顾可逆电池的 特征	学生根据教师引导回顾 并回答可逆电池的 特征。				联系旧知
	4.新课讲 解	13 min	①引入 0.5 mol/L 硫酸中电 解制氢实验,引导学生思考 并回答电压增大时,电解过 程的电流、反应的变化特 征,讲解分解电压的定义。 ②通过 $I=0$ 、 $I\neq 0$ 电解过程 的对比分析,引入极化作 用、极化电极电势、超电势。 ③讲授极化产生的原因。引 导学生基于离子扩散与反 应行为,结合能斯特方程推 导浓差极化中电极电势的 变化规律。 ④设置有关超电势的 2 道 计算习题。 ⑤由超电势习题,引出超电 势的测定,引导学生学习极 化曲线的特征,并以 $\text{pH}=8$	① 认真听课,思考并回 答:电解过程的电流、 反应的变化特征,认识 分解电压。 ② 认识极化作用、极化 电极电势、超电势。 ③ 认真听讲,跟随教师 引导,基于离子扩散与 反应行为,结合能斯特 方程推导浓差极化中电 极电势的变化规律。 ④ 强化对超电势的理 解。 ⑤ 认真听讲,学习超电 势的测定及极化曲线的 特征,思考并回答 $\text{pH}=8$ 时海水制氢过程的电极 反应、极化曲线特征、	基于极化 产生原因 提出降低 实际电解 过程中极 化作用的 方案帮助 学生认识 教育的意 义,认识 物理化学 学习的意 义,激发 物理化学 课程学习 的内在驱 动力。	① 学生明 确定义分 解电压。 ② 学生能 够描述极 化作用、 极化电极 电势、超 电势。 ③ 学生能 够判断阴、 阳极电极 电势的变 化规律。 ④ 学生能 计算超电 势及实际 分解电压。	学习新知,提 高学生应用 所学知识设 计降低实际 电解中的极 化作用的方 案,提升学生 课程学习的 内在驱动力。	

				的海水制氢引导学生思考并分析此时电极反应、极化曲线特征、超电势、分解电压。	超电势、分解电压。		⑤ 学生能够分析 pH=8 时海水制氢过程的电极反应、极化曲线特征、超电势、分解电压。	
		5.小结	2 min	<p>① 教师引导学生总结此节内容。</p> <p>② 教师在总结内容时指出原电池中电流不为零时也发生极化现象，引导学生课后借助学习通在线平台资料自学原电池电极电势在极化后的变化规律并进行极化曲线特征，进一步比较原电池与电解池中极化曲线的差别。</p>	<p>① 总结此节课程内容。</p> <p>② 记录课后自学任务。</p>		<p>① 能够归纳出这一教学阶段的学习内容；</p> <p>② 能够完成课后原电池中发生极化作用时，电极电势的变化规律，进行极化曲线的特征分析，说出原电池与电解池中</p>	总结此节段学习内容；利用课后自学任务发挥学生学习主动性。

							极化曲线的差别。	
	6.作业练习	1 min	<ul style="list-style-type: none"> ① 教师布置课后作业习题、预习工作； ② 教师布置课后文献查阅任务、观看谢和平院士原位海水电解制氢的专家解读视频任务，了解降低极化作用的常用手段； ③ 布置课程教学评价任务。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 学生课后完成作业习题、预习工作； ② 学生课后进行文献查阅，观看相关视频，分析常用的降低极化作用的方法。 ③ 完成教学评价 		<ul style="list-style-type: none"> ①学生能够应用所学知识完成作业习题，并在教师提示下进行预习工作。 ②学生能够从文献阅读和视频观看中获得降低极化作用的方法。 ③学生能够正确反映自身的学习状态。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 巩固此节段课程内容的理解与应用； ② 开阔视野，进行科学思维的高阶训练； ③ 获得教学反馈，促进教学。 	
第二节 (25分钟)	1.课程导入	3 min	<ul style="list-style-type: none"> ①引导学生进行前一阶段练习中金属电极、氧电极超电势的对比，引出氢超电势； ②引导学生思考海水电解制氢的电解质溶液中存在 	<ul style="list-style-type: none"> ①学生对比分析金属电极、氧电极的超电势，发现气体电极的超电势较金属电极大很多，思考气体电极尤其是氢电极分析超电势的意义。 ④ 学生思考并回答海 			引导学生理解气体电极尤其是氢超电势分析的重要性。	

			有哪些可能在阴极发生还原的物质。	水中存在的主要物质，并分析阴极可能发生的反应类型。			
	2.学习目标	2 min	①氢超电势的计算与应用 ②电解时电极上竞争反应的分析				((以先行组织者,激活学生已有知识经验,重构知识结构)
	3.新课讲解	15 min	① 教师讲解氢超电势计算的 Tafel 公式及氢超电势研究较多的原因; ② 教师以 3 个具体案例引导学生分析电解时阴极析出物质的先后顺序。	① 学生认真听讲,学习氢超电势计算的 Tafel 公式及氢超电势研究较多的原因; ② 学生认真分析 3 个具体案例中解时阴极析出物质的先后顺序。			
	4.小结	2 min	教师引导学生总结本节段教学内容。	学生总结本节段教学内容。			
	5.作业练习	3 min	①教师布置课后作业习题、预习工作; ②教师布置课后线上讨论任务:海水电解制氢中可能存在的竞争反应有哪些? ③布置课程教学评价任务。	① 学生课后完成作业习题、预习工作; ② 学生课后在学习通 app 上完成讨论。 ③ 完成教学评价		①学生能够应用本节段所学知识完成作业习题,并在教师提示下进行预习工	①巩固此节段课程内容的理解与应用。 ②以海水电解制氢的案例拓展对电

							作。 ②学生能够在线上完成关于海水电解制氢中可能存在的竞争反应的讨论。 ③学生能够正确反映自身的学习状态。	极上竞争反应的思考深度。 ③获得教学反馈,促进教学。
课后提升	<p>(融入挑战性的学习任务)</p> <p>(1) 总结分解电压、极化作用教学阶段内容时,指出教学讲解过程只是引入了电解池进行分析,原电池工作的时候同样面临电路中有电流通过,则必然会存在极化作用,请同学们根据学习通在线学习平台推送资料自学原电池中电极极化时电极电势随电流增大的变化规律,对比分析电解池、原电池中极化电极电势变化的异同点。</p>							



(2) 本课是以 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氢离子浓度下以铂为电极电解水时进行分解电压及极化现象的讲解，海水电解制氢为碱性水溶液电解，讨论电解质溶液 pH 对极化曲线描述的影响，有助于提升学生对实际生产过程中水解制氢的认识。文献的拓展阅读与专家对海水原位制氢工作的解读视频观看有助于开阔学生视野，从不同角度思考降低极化作用的方案。



【知识拓展】

- ① 在线讨论电解质溶液 pH 值对电解水析氢中阴极析出电势的影响。
- ② 查询电解水析氢相关的中英文最新研究。

ACS NANO

Iodine-Doping-Induced Electronic Structure Tuning of Atomic Cobalt for Enhanced Hydrogen Evolution Electrocatalysis

Jianbo Liu, Dailian Wang, Kang Huang, Jintao Dong, Jiangwen Luo, Sheng Dai, Xian Tang, Minmin Yan, Haibing Gong, Jingjing Liu, Zhichao Gong, Rui Liu, Chanyu Cao, Gongjun Ye, Xiaolong Zou, and Huilong Fei*

See This: ACS Nano 2021, 15, 18125-18134 | Read Online



【视频】 海水电解制氢：教学反馈调查
半个世纪的挑战与突破

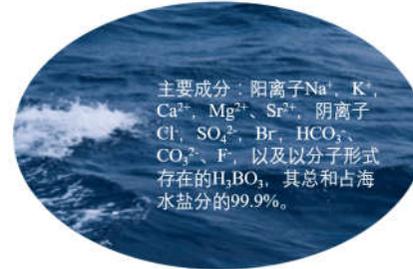
(3) 海水中成分复杂，正确认识海水存在物质对海水电解析氢的影响，是加深学生对电解时电极上竞争反应的理解，提升其

应用知识解决实际工程问题的能力。

讨论 海水制氢——电解时电极上的竞争反应



海水电解制氢过程是否存在竞争反应？若有，请说明。



主要成分：阳离子 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Sr^{2+} ，阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Br^- 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 F^- ，以及以分子形式存在的 H_2BO_3 ，其总和占海水盐分的99.9%。