

深圳大学谢和平院士团队:

# 系统构建海水制氢全链条理论体系

日前,深圳大学谢和平院士团队在国际顶级期刊 *Nature Reviews Clean Technology* 发表重要观点文章,首次系统构建了海水直接制氢从微观机制到宏观工程的全链条理论体系。以此为坐标回望——从2022年一篇 *Nature* 的原创原理突破,到如今“海上风电+海水制氢”的产业蓝图徐徐展开,团队用不到四年的时间,完成了一场“从0到1”“从实验室到深蓝”的科学远征。



“分体模块式海水无淡化直接电解制氢技术及系统装备”项目在深圳大学正式启动。



合作签约仪式

## 从0到1:破解半世纪海水制氢难题

能源是人类社会发展的基石,更是全球高科技竞争和战略博弈的制高点。长期以来全球能源体系与开发路径始终锚定“资源禀赋”来构建,化石能源与风、光、水等可再生能源的开发都受各国资源储量和地理分布的制约,导致全球现有能源体系持续供给的巨大风险和地缘博弈。

氢能是21世纪重要的终端能源之一,而已有制氢依赖化石能源重整或纯水电解,仍难以跳出“资源依赖”的束缚:前者伴随大量碳排放,后者受电力供给与淡水资源双重限制,难以满足“双碳”目标与全球能源转型的巨大需求。

海水直接制氢将打破能源供给对地域资源以及以锚定“资源禀赋”构建的传统能源开发有路径的深度依赖,成为推动能源体系变革的核心战略

突破口,更是全球各国确保能源安全与能源自主的未来发展趋势。

自20世纪70年代 Williams 提出海水直接电解制氢构想以来,国际海水直接制氢研究多聚焦于催化剂改性、非对称电解和膜孔筛分,始终未能彻底解决海水复杂组分引发的析氯副反应、催化剂失活、系统腐蚀等行业共性难题。同时,绝大多数研究基于理想模拟海水体系开展,缺乏对真实海洋环境中海水成分波动、风浪扰动、盐雾腐蚀、可再生能源出力波动等多因素耦合作用的系统认知,导致实验室成果与工程化应用之间存在巨大鸿沟,成为制约海水制氢规模化落地的核心瓶颈。

时间指针回拨到2022年11月30日。深圳大学、四川大学谢和平院士团队在 *Nature* 上发表论文“A membrane-based

seawater electrolyser for hydrogen generation”,成为海水直接电解制氢领域的首篇 *Nature* 正刊成果。谢和平院士团队突破以往瓶颈,另辟蹊径,从物理力学与电化学相结合的全新思路出发,建立了“相变迁移”驱动的海水无淡化原位直接电解制氢全新原理与技术。

该项核心技术利用界面压差驱动海水自发完成“液→气→液”相变传质,彻底隔绝海水离子,实现无淡化过程、无副反应、无额外能耗的海水直接电解制氢。团队研制的全球首套400升/小时装备,在深圳湾海水中连续稳定运行超3200小时。

*Nature* 评审专家评价:“很少有论文能够令人信服地从海水中实现规模化稳定制氢,他们完美地解决了有害腐蚀性这一长期困扰海水制氢领域的问题。”

## 工程验证:从实验室到深海的跨越

原理突破之后,产业化攻坚随即展开。谢和平院士团队以惊人的速度,将论文中的技术推向真实海洋环境。

*Nature* 正刊发表论文仅16天后,东方电气集团专项投入

3000万元研发经费,与谢和平院士团队达成产学研联盟合作。

全球首个海上风电海水无淡化原位直接电解制氢示范工程在福建福清兴化湾海试成功。漂浮式制氢系统“东福一

号”对接海上风电,在3级至8级海风、0.3米至0.9米海浪的复杂环境下连续稳定运行10天,制氢规模1.2标方/小时。

## 持续深耕:实现多路径技术突破

在工程验证同步推进的过程中,谢和平院士团队持续深化理论研究,先后在 *Nature* 子刊及能源领域顶级期刊发表多篇高水平论文,不断拓展技术边界。团队提出解耦式海水直接

电解制氢新策略,利用氧化还原介导规避析氧反应与氯离子反应的直接竞争,成果再次发表于 *Nature Communications*。

凝胶电解质赋能相变迁移海水直接制氢技术发表于国际

能源环境领域顶级期刊 *Energy & Environmental Science* (EES, 影响因子34.6),从电解质材料层面完善了相变迁移制氢的理论与技术框架。

## 迈向深蓝:战略升级与产业加速

2025年起,海水制氢产业化进入全面加速期,国家级战略项目相继落地。

广东省重点研发计划“分体模块式海水无淡化直接电解制氢技术及系统装备”项目在深圳大学正式启动。该项目研制全球首套110标方/小时海水无淡化原位直接电解制氢系统装备,

形成了从独创性原理、颠覆性技术、国产化装备到特色电解制氢工业模式的全链条式海洋绿氢发展路径。谢和平院士担任项目负责人。

国家电投集团广东电力有限公司与谢和平院士团队及其他相关单位正式签署“海上风电驱动兆瓦级海水原位制氢首台

套关键技术研究项目”合作协议,计划落地广东揭阳开展工程示范,构建“海上风电、海水制氢、氢能应用”一体化产业链。谢和平院士表示,力争通过3年至5年示范运营,形成具有国际竞争力的海洋绿氢技术标准与商业化路径。

## 走向世界:国际影响力持续扩大

谢和平院士团队的研究不仅在国内加速落地,也在国际舞台上持续发声。

2024年11月,谢和平院士受邀出席在德国克劳斯塔工业大学举办的“中国周”活动——欧中氢能研讨会,发表主题为“打造‘海上可再生能源海水直接制氢’新赛道”的主旨报告,并提出了“东方和平号”海洋制氢船的宏伟构想。

国际学术界对谢和平院士团队工作给予高度认可:多篇 *Nature* 系列论文、撰写观点文章、国际会议主旨报告……中国原创的海水直接制氢技术,正在成为全球海洋绿氢领域的重要引领力量。

从2022年的首篇 *Nature* 正刊论文,到2026年的全链条理论体系与产业加速落地——谢和平院士团队用不到四年的时间,

完成了“原理突破、工程验证、多路径深耕、战略升级国际引领”的全路径闭环。

这是深圳大学、四川大学、东方电气、国家电投等多方协同创新的成果,更是中国科学家在能源转型时代交出的“深大答卷”。“东方和平号”的蓝图已经绘就,海洋绿氢的未来正从梦想驶向深蓝。

## 最新突破:全链条理论体系问世

今年4月9日,谢和平院士团队在 *Nature Reviews Clean Technology* 发表主题为 From micromechanisms to macro-engineering in direct seawater electrolysis 的观点性文章。

这是该期刊创刊以来首篇关于海水直接制氢的观点文章。本研究首次将研究视角从实验室理想体系拓展至真实海洋工程场景,构建了涵盖材料性能、界面过程、装置结构、海洋环境因素、可再生能源适配性的全维度系统评估框架,为海水制氢全链条技术优化、工程化设计与规模化放大提供了清晰、可量化的指导标准,标志着海水直接电解制氢研究从单一指标探索,正迈入面向实际工程应用的系统化评估和工程产业化推进新时代。

同时,该成果系统分析了海水直接制氢“微观机制、系统放大、环境适应性”的发展脉络和全链条理论体系,明确了真实海

洋场景下的核心研究方向,不仅为全球海水制氢不同技术路径的协同发展提供了统一的理论参考,更为推动海水直接制氢技术从实验室迈向规模化产业化应用奠定了理论基础。

研究首次将真实海洋环境中的海水成分波动、风浪扰动、盐雾腐蚀、可再生能源出力波动等多因素耦合作用纳入分析体系,系统打通了“微观反应机制、系统放大、环境适应性”的全链条认知。

未来,随着海上可再生能源产业的快速发展,海水直接制氢有望在该系统框架的指引下实现多路径协同突破,率先抢占全球“海洋绿氢”战略产业的理论与技术制高点,打造“海上风电+海水直接制氢”一体化的“海洋绿氢”全新产业赛道,为全球碳中和目标实现提供“中国方案”,更为我国能源自主可控与战略安全提供核心支撑。