



在海南大学协同创新中心，一台近两米高的银灰色设备看似寻常，却大有玄机。只见机器的一根管道直接连着桶装的天然海水。电源接通，海水进入机器内部，奇妙的一幕随即发生：一边，气泡咕嘟咕嘟地向上冒，那是纯净的氢气；另一边，白色的絮状物缓缓沉淀，析出的是高纯度的氢氧化镁。

这台设备已经平稳运行了超过5000小时，相关技术为解决全球制绿氢难题提供了“海南方案”。

一直以来，电解海水制氢，最让人头疼的就是海水中的钙镁离子，它们与水中的氢氧离子结合后，会产生水壶里的水垢一样的物质，慢慢结在电极上，降低效率，最终使设备报废。如今，海南大学海洋清洁能源创新团队（以下简称团队）不仅攻克了这个“结垢”难题，更将曾经的“废料”氢氧化镁，变成了高附加值的“宝贝”。

# 海水制「氢」向海图「镁」

海大团队创新性利用「一水双收」

海南日报全媒体记者 黄婷

## 难啃的“硬骨头”

海水制氢，让全世界都头疼

氢能作为一种清洁、高效、安全、可持续的新能源，能量密度高、储存周期长、应用场景广，被视为21世纪最具发展潜力的清洁能源。

氢能虽好，但其环境属性却因制取方式的不同而天差地别。绿氢由可再生能源电解水制取，几乎零碳排放；而灰氢或蓝氢由化石燃料制取，会产生大量二氧化碳排放。从减排效果看，绿氢无疑是更优选择。

2025年我国氢气产量超3700万吨，其中绿氢产能约25万吨/年，占比仅0.7%，同我国“双碳”目标规划相去甚远。

“绿氢生产成本一直居高不下，是灰氢和蓝氢的3倍以上。”团队负责人田新龙一针见血地指出了当前绿氢发展的困境。他算了一笔账：目前主流的绿氢，生产一公斤需要大约50度电，电费、水费、再加上设备、储运等费用，氢气“枪口价”（终端用氢价格）成本基本在35元左右。

正是这个“贵”字，让田新龙的团队开始思考：有没有可能找到一条降低成本的新路径？结合海南四面环海，海水与海洋风电资源丰富的天然优势，2021年5月，团队决定：用纯海水直接制氢。

这是行业公认的“硬骨头”。因为在电解过程中，海水中的钙镁离子会与氢氧根结合，形成沉淀物附着于电极表面，如同“水垢”般让设备“罢工”。

最初，团队的想法和大多数团队一样，聚焦于将海水中的钙镁离子“排斥”走。他们在催化剂表面设计各种“屏障”，试图隔绝钙镁离子。实验初期，效果确实不错，但随着测试时间不断累积，沉淀物终究还是慢慢地“糊”了上来。

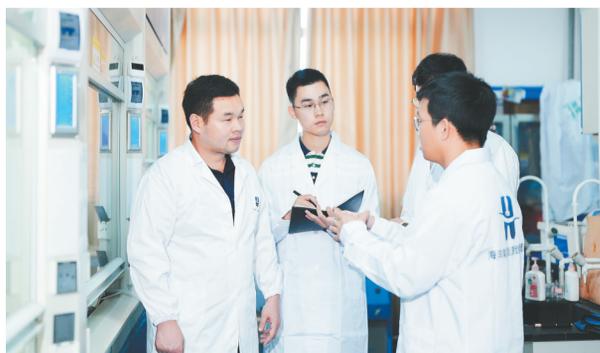
“一次次失败，大家的挫败感很强，有学生想放弃，但最终还是坚持了下来。”田新龙回忆。面对这个世界性难题，团队组建了四十多人的研究力量，除他之外，团队还包括四位老师，其余均为本科生、研究生和博士生。成员背景多元，涵盖材料、化学、机械、物理、计算机等不同专业。大家分工协作，任何环节的失败都会让整个研究停滞。



氢氧化镁广泛应用于工业阻燃剂、耐火材料。 资料图



电解海水制氢提镁机器。 受访者供图



田新龙(左一)与团队成员在一起。受访者供图

## 颠覆性技术

赶不走“水垢”，就把它变成宝

转机出现在2023年。在一次次“头脑风暴”和失败中，团队意识到，与其费尽心思地“赶走”钙镁离子，不如换个思路：既然沉淀不可避免，那能不能让它们沉淀在应该在的地方，并且变废为宝？

这场思维革命催生了两大核心创新。

首先是，“不粘锅电极”：让水垢无处附着。团队成员康振辉教授介绍，团队在催化剂中引入了一种关键物质——碘离子。它就像一个“清道夫”，利用同性相斥的原理，将电极表面生成的氢氧根离子迅速“推开”。钙、镁离子与氢氧根的相遇因此发生在远离电极的区域，让生成物悬浮于溶液中并随着水流快速离开电极，不再附着于电极表面。电极因此保持清洁，得以持续工作，而沉淀物则可以被轻松收集。

其次是，“碱度差采矿”：只取镁，不取钙。据了解，钙、镁离子与氢氧根的结合分别产生氢氧化钙、氢氧化镁，而氢氧化钙的价值远低于氢氧化镁。如何只保留氢氧化镁？团队发现，镁离子和钙离子的沉淀pH值存在一个巧妙的“碱度差”。于是，他们通过精准控制电解过程中的电流和反应速率，将电极表面的pH值稳定在10.5左右。这样一来，只有高价值的镁离子沉淀下来，而低价值的钙离子则随海水排走。

“现在我们生产一公斤氢气，可以同时联产20公斤纯度高达99.5%的氢氧化镁。”团队成员袁禹亮副教授难掩兴奋，氢氧化镁及其衍生物氧化镁广泛应用于工业阻燃剂、耐火材料，甚至医美行业等；按照市场上的氢氧化镁的价值，20公斤氢氧化镁带来的收益，足以覆盖生产一公斤氢气的全部成本，还有额外收益。

“这就像在海水中同时开掘了两个矿。”团队成员王天娇副教授说，“一个是能源矿（氢气），一个是金属矿（镁）。”从“排斥”到“收集”，再到“精准分离”，团队联合中科院宁波材料所，历时三年取得这一突破性成果，并在工程样机中成功运行5000余小时，相关成果于去年底发表在国际期刊《自然·通讯》上。

## 掘金海洋

走出实验室 向“海上化工厂”进军

去年4月，海南氢镁科技有限公司（以下简称公司）落户海南大学科技园，标志着该成果迈出了从实验室走向市场的关键一步。

然而，从实验室的“样品”到工业化的“产品”，中间横亘着一道巨大的鸿沟。公司董事长封苏阳博士介绍，团队目前正全力攻关技术和工程放大的核心难题。

团队成员石文娟教授以电极的演变举例：“仅电极装置就经历了成百上千次的实验。从最初只有指甲盖大小，到30厘米乘以30厘米，如今能做到100厘米乘以100厘米，这不仅仅是尺寸的放大。”她进一步解释道，“从小到大，最大的挑战是稳定性和均一性。保证每一个批次的电极性能都一样稳定，是量产化的核心。我们现在正从2千瓦的样机向10千瓦，乃至100千瓦的工业级设备迈进，功率直接提升50倍，这对工业应用中的‘鲁棒性’（即抗干扰能力），提出了极高的要求。每一个环节都需要精密调控。”

攻克这些工程难题，是为了实现更宏大的产业图景。在海南大学协同创新中心，一个模拟场景正将绿氢全产业链的宏伟蓝图铺展在眼前：依托海南丰富的海上风电资源，未来海面上将矗立起一座座“海上化工厂”。海风发电，就地电解海水制取绿氢，同时提取高价值的氢氧化镁。氢气可就地转化为易于储运的绿氨、绿甲醇，通过货轮运往全球，为世界提供零碳动力。

“我们正在与海南控股、国家能源集团、中国海油、大唐集团等头部企业合作，在海口、东方、儋州、乐东等地布点，推进中试和示范项目。”封苏阳举例，在乐东，他们计划直接利用国家能源集团乐东电厂海水淡化后的废弃浓海水，制氢提镁，其中的镁离子含量更高，经济效益将更加显著。

从排斥到利用，从单一产品到“一水双收”，海南大学团队为全球绿氢的规模化生产开辟了一条低成本路径，也为海洋资源综合利用提供了新思路。正如田新龙教授所言：“未来，海洋必将给我们带来取之不尽的清洁能源和矿产资源。”