

做好顶层设计 避免氢能产业野蛮生长

——访中国科学院院士徐春明

■本报记者 苏南



徐春明

核心观点

氢能产业发展到一定程度，需要有竞跑规则，引导氢能产业链良性发展。否则，“各有各的招”“各有各的路”的野蛮生长会破坏氢能行业发展。同时，在目前技术、产品百花齐放的过程中，设立技术、工艺、材料的规范和标准，可以防止竞争中的内耗。

作为最具发展潜力的二次清洁能源，氢能是实现多领域深度清洁脱碳的重要路径，也是全球能源技术革命和转型发展的重大战略方向。氢能产业链条长，涵盖上游制氢，中游储运氢，下游用氢等环节。那么，哪个环节最具发展潜力？氢能产业链的发展成熟还需哪些政策支持？围绕上述问题，本报记者日前专访了中国科学院院士徐春明。

各环节均有突破潜力

中国能源报：氢能产业链庞大且复杂，各个环节发展情况如何？

徐春明：从氢能的制、储、运、用几大环节来看，各个环节都有继续突破的潜力。

上游制氢环节可分为化石能源制氢、工业副产氢和电解水制氢等多种方式，即俗称的“灰氢”“蓝氢”“绿氢”。其中，绿电制氢过程不会排放温室气体，得到的氢气纯度高，是未来制氢的主要方向。

中游储运氢环节，无论是高压气态、液态、固态储氢，还是管道输氢，都比较依赖于制氢和用氢的场景。我们均能找到相应的技术，满足基本的需求。如固态储氢方面，中国石油大学重质油国家重点实验室针对金属氢化物做了一些前期工作，可以在较低压力和常温下实现一定规模的储氢；氢冶金方面，以氢气为还原剂的短流程路线，可大大减少排放；绿电氨方面，中国石油大学通过与和宁化学公司合作，探索绿电合成氨路线。

下游用氢环节，燃料电池是重要的应用场景。随着燃料电池技术的发展，氢逐步通过燃料电池在交通、建筑、发电等领域得到应用。目前，我国已初步掌握了燃料电池电堆、动力系统与核心部件、整车集成技术。

总体来看，氢能产业链非常庞大，也非常复杂，整个产业链形成规模尚需时间，更需要冷静科学看待氢能产业发展。

打通技术、装备、材料各个环节

中国能源报：氢能要真正形成一个产业链、价值链，还需要一定时间的积累，在您看来，我国氢能产业链哪些环节亟需加快突破？

徐春明：石油化工大规模制氢，用氢已有几十年的历史，如今的问题在于，如何处理好过程中化石燃料产生的二氧化碳。目前来看，实现大规模用氢，煤制氢最便宜，但问题是，每吨煤制氢排放十几吨二氧化碳，如何处理二氧化碳是关键。

业内寄希望于电解水制氢。从目前来看，电解水制氢正在往规模化发展，但与氢能总需求量相比，在相当一段时间内，其规模还无法支撑需求。大家知道，电动车发展很快，但是现在电动车的保有量仅占汽车保有量的2%左右。目前一年消耗近3000多万吨氢，电解水制氢在整个氢能行业的生产比例其实低得可怜。因此，在相当一段时间内尚无法依靠电解水制氢这一方式。

尽管电解水制氢在技术上没有太大瓶颈，但一个产业要实现规模化，形成影响力，现阶段靠绿氢驱动并不轻松。制约主要体现在两方面：一是如何能快速提升氢能规模；二是如何解决将来大规模绿氢生产过程中可再生电力的稳定问题。制氢环节要形成成熟的产业链、价值链，既要有技术上的突破，也要有工程、投资和商业运行方面的创新探索。

储氢更复杂。当前，氢能的存储方式主要有高压气态储氢、低温液态储氢、固态储氢和化学品储氢等，几种储氢方式各有优劣。高压气态储氢是目前最常用

的储氢技术，但其缺点是压缩能耗高、加氢站成本高；低温液态储氢技术能效低、自挥发、绝热系统复杂；固态储氢体积储氢密度高、能效高、安全性好、加氢站成本低，但质量储氢密度低；化学品储氢能效高、安全性好，属低温催化过程，含杂质气体。总体而言，储氢环节遇到的瓶颈更多。

从储氢到运氢的链条中，存储方式、应用规模、需求和场景，可选的路径多种多样。例如，氢能下游电堆产业发展迅速，多以集成生产为主，系统及整车产业发展较好，配套厂家较多且生产规模较大，但核心零部件对外依赖度较高，核心材料部件是当前制约氢能产业发展的关键。

中国能源报：氢能产业链条长，您觉得哪个环节压力最大？

徐春明：氢能的“最后一公里”，也就是制氢到用户这个环节压力最大，关键是如何做好各个环节之间的衔接。比如，技术是不是配套，产品是否适合应用，整个产业链能否顺畅，其难点正是制氢、储氢、用氢之间的衔接。目前，大家关注更多的是模块化化的内容，如何把模块化更有效、低成本的衔接颇具难度。自主技术、核心装备、关键材料等多领域打通以后，氢能产业将形成我国可以掌控的一条成熟的产业链和价值链。

需明确相关标准

中国能源报：氢能产业加快发展，还需要哪些政策支持？

徐春明：首先，在氢能顶层设计上，需要国家层面规范行业发展。氢能产业发展到一定程度，需要有竞跑规则，引导氢能产业链良性发展。否则，“各有各的招”“各有各的路”的野蛮生长会破坏氢能行业发展。

其次，氢能各个环节要有明确标准。在目前技术、产品百花齐放的过程中，设立技术、工艺、材料的规范和标准，可以防止竞争中的内耗。再加上国家层面政策引导，氢能行业才能有序、良性健康发展。

再次，要关注氢能产业链里“卡脖子”的设备、材料问题，政府、企业有针对性地做一些研发和生产，如此将能快速解决氢能产业里制约发展的共性难题。

最后，对于整个氢能产业链来讲，打通产业链各环节又难又苦，企业也可能因效益不高而放弃。在此情况下，政府应发挥职能，帮助企业不因资本炒作而逐利某些环节，而是重视产业链里硬件、软件、装备材料等研发，行稳致远。

本报讯 液氮作为一种新能源介质，可以用于发电、汽车发动机、数据中心散热、化石燃料降碳、超导输电等领域，从而形成一个节能—储能—产能—输能的一体化生态。

中国科学院半导体研究所研究员徐应强表示，液氮生态系统可实现不受地理条件限制的储能，助力储能产业规模化发展，为构建我国液氮新能源体系提供了一种全新的思路，对全面构建我国现代能源体系有着重要意义。

低温液氮储能发电原理如下：首先，利用可再生的风能和太阳能将空气降温至零下196摄氏度，使氮气实现液化，并将其以液体的形式存储在深冷罐体中；然后，将液氮汽化，恢复气体形态，利用此过程中释放的能量驱动涡轮机产生稳定电能；最后，产生的电能可以通过液氮超导输电线向外输运，进一步降低电能损耗。像电池厂一样，每个液氮发电系统由“充电站”“存储”和“发电站”组成，并且，液氮储能中每个部分都可以独立设置。

中科院研究员徐应强：发展液氮储能技术 构建现代能源体系

整体来看，液氮储能这条技术路线，技术可行、成本可控，不仅能够实现节能降碳，同时可带动半导体、汽车等一系列产业的发展。例如，发展低温液氮超算芯片，可解决我国超算能耗、算力和芯片问题；低温液氮可实现节能—储能—产能—输能的一体化生态，有助于我国构建现代能源体系。应依托此优势，实现能源结构的转型和优化。

在“三北”地区，我国正在有序推进大型风电光伏基地项目建设，积极推进黄河上游、新疆、冀北等多能互补清洁能源基地建设。徐应强认为，可以考虑通过与液氮储能发电系统相结合，降低弃风弃光率，增加清洁能源的使用率，推动液氮发电与风电、光伏发电融合发展、联合运行。同时，加快发展液氮储能发电循环生态系统，推进煤炭、钢铁、冶金和化工等企业形成液氮工业园区。在全国范围内筛选出符合条件的钢铁、煤炭等企业，通过示范作用，逐步向全国推广。

徐应强建议，适度超前部署液氮储能项目，力争在液氮储能全产业链关键技术上取得突破，推动液氮储能技术发展和示范应用。加强低温液氮超导输电线技术研究，加快推广应用超导输电。依托我国能源市场空间大、工程实践机会多等优势，综合利用煤电、风电、光伏和液氮电力等关键核心技术领域成果，建设一批创新示范区。

徐应强表示，以液氮储能为纽带，可以串联起各种储能技术，打通各种技术间壁垒，建议推进在液氮储能、光伏光电、风电、生物能等领域的协同攻关，实现储能与其他学科领域的交叉互补，弥补相关行业的不足。同时，抓紧开展可应用于能源领域的前沿技术攻关，如液氮数据中心、低温电路技术、CMOS量子退火技术、能源互联、大规模储能等。

(任智)



希倍优 1400 标方制氢系统

苏州希倍优公司

苏州希倍优氢能科技有限公司总经理李留罐：

循序渐进推进电解水制氢技术研究

■本报记者 仲蕊

在碳达峰碳中和目标下，我国氢能产业迎来加速发展，绿氢在降碳中发挥的作用备受关注。电解水制氢作为目前最主要的制取绿氢方式，其市场规模也不断扩大。但总体而言，我国电解水制氢产业仍面临着装备性能、技术、成本、规模化生产等一系列挑战。

如何推动电解水制氢技术提升？如何实现大规模、低成本绿氢生产？近日在接受记者采访时，苏州希倍优氢能科技有限公司总经理李留罐给出了他的答案。

碱性电解水制氢技术 持续保持主流地位

2022年6月1日，国家发改委、国家能源局等9部门联合印发了《“十四五”可再生能源发展规划》，提出推动可再生能源规模化制氢利用，开展规模化可再生能源制氢示范。在可再生能源发电成本低、氢能储运用产业发展条件较好的地区，推进可再生能源发电制氢产业化发展，打造规模化的绿氢生产基地。

在政策的激励下，我国绿氢产业发展不断提速，带动电解水制氢产业市场需求大幅提升。高工产研氢电研究所(GGII)调研预计，2022年我国电解水制氢设备市场需求有望达到730兆瓦，同比2021年接近翻倍。

目前，电解水制氢技术主要有碱性电解水、质子交换膜(PEM)电解水和固体氧化

物电解水三类。在李留罐看来，上述三种技术各有利弊，与PEM电解水制氢和固体氧化物电解水制氢技术相比，碱性电解水制氢是现阶段我国发展最成熟的电解水制氢技术，在成本、寿命、精确性和可靠性方面都具有明显的优势，但在与可再生能源耦合、实现波动功率输入下的高效稳定运行方面较弱。PEM制氢体积小、响应速度快且更加环保，但成本相对较高，其关键零部件和贵金属应用存在短板。固体氧化物制氢适合核电厂等特定场合下应用，包括钢厂余热制氢，有效利用蒸汽进一步提高制氢经济性，因此也是一种非常节能的制氢方式，但需要解决寿命问题。

李留罐强调，在大规模应用情况下，经济性是最重要的考量因素，因此，适合大规模项目应用的碱性电解水制氢技术，将在未来持续保持主流地位。PEM制氢将针对动态响应速度要求非常快的特定场所开展应用。“随着近几年研发投入的加强，碱性电解水技术有显著提升，在保持低成本优势的前提下，碱性电解槽关键性能指标已和质子交换膜电解槽接近。随着科研力量和产业投资的注入，碱性电解制氢技术在规模、成本、性能等综合性能上将在未来保持竞争优势。”

瞄准规模化 制氢提升技术水平

国家政策明确支持，技术路径方向清

晰，下一步，产业发展的着力点应聚焦制氢装备技术水平的持续提升。

目前，业内不少企业纷纷瞄准制氢装备这一领域，相继下线制氢设备系统。对此，李留罐认为，一方面，这是我国绿氢产业市场前景巨大，制氢装备需求潜力提升的有力体现；但另一方面，业内需要注意的是，做出一套制氢系统只能算是入门，对于企业而言，如何拥有规模化的绿氢产能将是未来需要直面的最大挑战。

“除不断提升制氢装备系统效率和经济性，制氢源头也需要着重考虑。绿氢是由绿

电制而非来自电网的电，因此，如何做好可再生能源离网制氢，并进一步增强制氢设备与可再生能源离网耦合性，需要技术

的持续进步。”李留罐坦言，现阶段，我国制氢系统性能远未达到行业“天花板”，技术水平尚未完全满足大规模制氢要求。

在世界范围内，我国和国外先进制氢系统水平仍存在5—10年的技术差距。此外，随着绿氢应用场景的不断扩大，制氢装备还面临不同应用场景的适配问题。《“十四五”可再生能源发展规划》中提到，推进化工、煤矿、交通等重点领域绿氢替代。在可再生能源资源丰富、现代煤化工或石油化工产业基础好的地区，重点开展能源化工基地绿氢替代，积极探索氢气在冶金化工领域的替代应用，降低冶金化工领域化石能源消耗。



希倍优集装箱式制氢系统

电制而非来自电网的电，因此，如何做好可再生能源离网制氢，并进一步增强制氢设备与可再生能源离网耦合性，需要技术

李留罐认为，在不同的应用场景下，制氢设备的稳定性、响应性、维护成本等都需综合考量。同时，能源化工、冶金等领域对能源装备的使用强度要求较高，制氢装备能否经受住每年数千小时高负荷运转的考验，需要相关企业和行业的重点关注和持续攻坚。

产业应进入理性沉淀期

《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》提出，到2025年，我国可再生能源制氢量达到10—20万吨/年，到2030年，形成较为完备的清洁能源制氢及供应体系，产业布局合理有序，可再生能源制氢广泛应用。

在李留罐看来，目前，全国已开展多项绿氢示范项目，规划产能已远远超过2025年可再生能源制氢目标，但届时，实际达产产能可能远小于规划产能。“我国可再生能源装机量全球第一，发展清洁低碳的氢能具有巨大潜力，但国家给出的可再生能源制氢目标相对谨慎，我认为这是科学且必要的。一方面，应用场景的搭建是绿氢产业大规模发展的重要前提，只有进一步完善丰富氢能应用场景，产生规模化的稳定需求，才能解决绿氢大规模消纳问题。另一方面，绿氢大规模应用的背后，离不开制氢技术和设备稳定性的持续提升、电源侧波动性问题的解决等。”

“制氢产业的良性发展需要一个长期过程，短期内不应盲目追求高产值、高收益。长远来看，国家已明确氢的能源属性，随着新能源装机规模的不断增长，电网侧达到饱和后必然会选择电解水制氢技术，因此电解水制氢产业一定会迎来真正爆发期。”李留罐强调，在此之前，产业应进入理性沉淀期，聚焦设备性能提升，技术创新积累，氢管网等氢能基础设施的建设以及安全性等各个方面。作为企业，要持续进行前瞻性技术研发，不求大求快，而应求专求精，循序渐进推动产业发展。

为响应“双碳”目标，解决行业难题，专注于电解水制氢设备研发生产的苏州希倍优氢能科技有限公司已开始行动。记者了解到，今年8月，希倍优1400标方制氢系统正式上线，该制氢系统很好的遵循了制氢设备向低成本、低能耗、高密度、高产气量的发展方向。

“目前，我们在通过持续的实验进一步提升该套制氢系统性能，增强能耗指标及系统稳定性。未来的制氢设备需要具备低维护成本、低能耗、易于规模化生产等要求，希倍优将瞄准这些目标，持续提升系统设备技术水平。”李留罐表示。