

一个集装箱,就能装下电热氢联产系统工程

浙江团队全国首创轻量化绿氢制造

大型工程轻量化,往往是拓展其应用场景、降本增效的有效路径。在全球能源结构加快向绿色低碳转型的背景下,高效、节能地利用绿氢能源,不仅是链接可再生能源与工业、交通等领域深度脱碳的关键,也是中国建设能源强国的重要路径。



国网浙江电力科学研究院团队研制的“紧凑型可再生电热氢联产系统”,被装入专门定制的集装箱。受访者供图

■ 本报记者 胡静漪
通讯员 徐梓沐 江航 唐瑾瑾

氢能,被誉为“21世纪终极能源”。它能量密度较高,热值是同质量焦炭、汽油等化石燃料的3-4倍,燃烧后只产生水。使用风能、太阳能等可再生能源电解水生产绿氢,可以实现从生产到使用全生命周期的零碳排放。对于难以长时间、低成本储存的电力来说,氢能还是一种理想的储能形式。

要让氢在电、热等不同能量形式间“变身”,是一个复杂的系统工程,往往需要上千乃至上万平方米建设用地。近期,国网浙江电科院团队成功研制出“紧凑型可再生电热氢联产系统”(下称“紧凑型工程”),把大工程“打包”压缩进占地不到14平方米的定制集装箱里。

这项国家重点研发计划的应用成果,实现了全国首创的轻量化绿氢制造,让绿氢向大规模产业化应用迈进一大步。

从工程到产品

在慈溪滨海经济开发区一角,屋顶光伏、园区风机、纵横管道,还有厂房车间和高压气罐,构成氢电耦合直流微网示范工程,利用富余的可再生能源电力电解水生产绿氢储存,在电力需求高峰时通过燃料电池将氢能转化回电能,助力电网削峰填谷。

相邻的慈溪美纳工业园,没有储罐和厂房,只有一个集装箱,外边连接电缆就能完成上述示范工程的所有功能。

“紧凑型工程”课题负责人、国网浙江电科院刘敏博士告诉我们,“十四五”期间,国网浙江电力共研发实施了四项氢电示范工程,分别位于宁波慈溪、杭州钱塘、台州大陈岛和丽水缙云。前两项用于工业园区,后两项用于海岛和乡村生活场景。

这四项示范工程占地范围大。比如慈溪工程占地达到12600余平方米,规模最小的大陈岛工程也有约2700平方米。城市、园区寸土寸金,土地和通电、通路、通水等基础设施建设成本高,行政审批环节多,与周边居民的沟通难度也较大。

要让绿氢“飞入寻常百姓家”,必须让它“瘦身”,从一个需要复杂施工的“工程”,变成一个即插即用的“产品”——不仅可以批量购买标准件,还能按照个性化要求,灵活改变模块组装形式。

2022年底,国网浙江电科院团队承接国家重点研发专项“紧凑型可再生电热氢联产系统模块关键技术”,研究成果就应用在美纳工业园配套工程中。今年1月16日,该工程正式投运,一个可以随处“安家”的“绿氢魔盒”诞生了。

刘敏介绍,工程仅用5.7米长、2.3米宽、2.3米高的集装箱便装下了所有制氢、储氢、氢燃料电池及电力电子变换器等设备,“这样就能适配城市周边、工业园区等土地资源紧张的场景,配合分布式能源开展应用。”

“魔盒”的原理并不复杂,风电和光伏在其中转换成氢能,可以用于氢能汽车加氢,放出的热量可为企业或居民供热;在用电高峰期,制备和储存的氢能又能通过燃料电池发电,提供给电动汽车或其他用电设备。

“新能源发电受天气影响,并不稳定,多发的电力就需要储存起来。”国网宁波供电公司叶夏明博士说,电池可以储存几小时至几天,但建造成本较高,还存在自然损耗,而制氢储存则更加灵活,可以转化为氨、醇储运,容易实现长期、大量存电,还受放电时间限制。

值得注意的是,相较于前示范工程,“魔盒”的整体能量转换效率并没有打折,反而有所提升。利用其核心的“新能源发电—储电—电制氢—氢发电—并网”电力电子转换链条,能量转换效率提升到

98.5%以上。简单来说,100度绿电通过变换端口,有98.5度进入“魔盒”被有效利用,损失不到1.5度。

氢电转换的需求,正在迎来巨大的市场空间。

浙江是分布式光伏大省,目前全省约6400万千瓦的光伏装机中,八成是安装在工厂、居民屋顶的分布式光伏。全省光伏出力波动的最大幅度超过三分之一。这意味着一片云经过,发电就会急剧下降,需要煤电等可调节机组“顶上”,非常考验电网的预测和调度能力。

“十五五”期间,浙江还要推广“光伏+”模式,也就是在建筑、农业、交通、公共机构等各领域“见缝插针”铺设光伏。大量小而散的光伏站接入浙江电网,调度的难度将越来越大。如果将这些电力转换成氢能,就地储存、就近使用,就能帮上大忙。

“在碳达峰、碳中和目标下,大规模发展新能源是必然之举,绿氢是解决其发电不稳定的解法之一。‘绿氢魔盒’这样的‘紧凑型工程’更简易亲民,适合分布式新能源的小面积场景,前景广阔。”国网浙江电力科技部副主任李丰伟说。

平衡“不可能三角”

“浓缩”的背后,不是把每个零部件等比例缩小,而是大量的原创技术突破。对于一个功能复杂的设备来说,小巧、便宜和安全就像“不可能三角”,兼顾起来并不容易。

刘敏介绍,“魔盒”由4个模块构成,对应着接入新能源电力、电解水制氢、氢发电和储存氢能等4个功能环节。在集装箱里,它们前后依次排布,第三和第四环节还上下“堆叠”,充分利用好每一寸空间。

最核心的是电解水制氢环节。“在杭州钱塘工程,碱性制氢模块有13米高,体积是普通教室的三倍大。而通过‘紧凑型工程’,装下它只用14.31立方米。”为此,团队改进电解小室的材料与工艺,将电解槽“骨骼重塑”,让氢气气泡产生和脱离的速度更快,提高发电效率。

再如,刚制备出的氢气带着水汽,原先在气液分离器中依靠重力自然沉降。团队把大型气罐简化为卧式小气罐,里面装满了数十个像洗衣机滚筒一样的“离心单元”,通过“甩干”加速气液分离。就这样,气罐的体积减小至1/3,分离效率从99.98%提升至99.995%,液位恢复时间缩短至原先的40%。

“浓缩”的巧思,藏在每一条管路和每一个零件里。“我们从设计层面打散每一项功能,找到流程间的最优匹配模式,减少中间环节。用新的工艺模式,像搭积木一样重组,利用好所有卡嵌空间。”刘敏说,团队惊喜地发现,不仅设备体积更紧凑了,能耗也下降了。

“瘦身”之外,实现推广应用,还要让产品够便宜。



国网浙江电科院技术人员在实验室进行制氢装置的测试与研究。

通讯员 刘广扩 摄

以制氢环节为例,大陈岛工程采用先进的质子交换膜技术,“紧凑型工程”却选择了碱性制氢技术。两项技术好比短跑运动员和马拉松运动员——前者反应敏捷、动作紧凑,面对因高度依赖自然气象而变化频繁的风、光发电,它都能灵活调整适配;后者体力好、耐力强,适合稳定电网供电下24小时不间断产氢。

按照常理,应该选用“短跑运动员”来匹配新能源制氢的场景,但它需要用到进口膜材和贵金属催化剂,成本高、寿命短。而碱性技术材料成本低,寿命超过8万小时,单次制备氢气的规模大,意味着全生命周期的单位制氢成本更低。这也是规模化民用的关键。

不过,碱性技术对新能源波动的“反应”较慢,需要数十分钟。为了加快速度,团队在前道工序中动了不少脑筋。他们给制氢环节设计了一套会提前一天根据气象和光伏出力预测数据的算法,据此计算出制氢曲线。当天,再根据实际天气和运行情况把曲线精确到分钟级,为顺利制氢做足提前量。

“我们还会综合历史数据,不断优化模型。步骤虽然复杂,却能降本又提效。”该系统课题负责人、国网浙江电科院张雪松博士说,目前“魔盒”可以适配19.8%~152%的新能源功率波动,领先国内外绿氢工程与装备水平。

把制氢模块放进封闭的集装箱里,应用在人员密集的工业园区或生活场景,一旦出现爆燃,后果不堪设想。因此,解决安全问题也很重要。

以往,氢气大多使用高压气罐储存,就像碳酸饮料罐,一拉开拉环,高压下的气体就会“呲”一声冲出来。这样的储存方式无法避免气体逃逸,在密闭空间里集聚到一定浓度,就有爆炸的风险。

“紧凑型工程”使用了固态储氢模式,就像泡腾片,看起来是固体,放入水中就会缓慢释放出气体。本次制氢罐创新采用钛系固体金属材料,氢原子在接近常压的环境下就会钻进缝隙,和金属原子“手拉手”,产生化学吸附力,这样既不用额外用能制造气压,也不用担心安

全问题。“储氢设备使用新材料,成本提升20%。但该模块只占到整体成本的3%~4%,不会大幅抬升造价。”张雪松说,每一个环节,团队都在精打细算。

此外,集装箱里还安装了20个监测探头,应用自主研发的氢微泄漏预警与定位技术以及安全管控软件。一有风险苗头,系统“大脑”就能在56毫秒内启动保护,联动处置,反应比一次眨眼时间还要快10倍。

打造万能插座

“绿氢魔盒”不是孤立的,需要接入新能源电力,再把制备出的氢气送到应用端,同时把氢燃料电池发出的电送入储能设备或送上网。

为方便适配各式各样的外部设备,团队打造了端口统一的标准件。

“这可以类比采用电力的重型卡车。以往,卡车底盘设计不同,电池无法互换,换电难、充电慢导致重卡开展新能源替代比较慢。2024年起,国家推进底盘和接口统一,大大加速了电动重卡推广。”李丰伟说,“标准化端口,让‘魔盒’能够即插即用,以后运维检修也会很方便。”

在集装箱的一侧,一个个抽屉大小的标准化端口排成两列,可以插拔不同的物质流和信息流。用户还能自主选配“套餐”,比如需要用电,可以为“魔盒”接入储能设备,实现新能源电力的暂存;需要用氢,可以把其接入更多制氢或储氢模块,加大氢能规模。

实现了使用的广泛适配性,实际应用场景在哪里?

在慈溪美纳工业园区,和“魔盒”一墙之隔的是企业宿舍。园区需要给里面日常居住的200多名员工供热,以便洗衣服、洗澡。

在制氢和储氢模块,氢气纯化、吸入金属材料以及氢发电的步骤都会释放出热量。团队将水管盘绕在模块外,用循

环冷却水带走热量,一部分用于制氢模块吸热释放氢气所需,还有大量50°C~65°C的热水可以提供给用户。

同时,“魔盒”与慈溪示范工程通过管道连接,可以把氢气输送至加氢站,提供给园区氢能汽车所用。

“我们还对接过农业园区。大棚上铺设了光伏,大棚里需要控温控光,养殖鱼塘还需要通氧,富氧水对于种植和养殖都有促进作用,是热氢氧都有‘用武之地’的理想场景。”刘敏说。此外,高寒边境、海岛高山等电网薄弱地区,都可以应用“魔盒”产品实现能源自给自足。

据悉,本次“紧凑型工程”除去初始的研发费用,在使用过程中仅需人力、材料支出。团队看好未来的降本潜力。

当前,我国广泛布局绿氢产业链。从“紧凑型工程”来看,制氢模块由中船集团718所生产,固态储氢模块来自有研工程技术研究院。北京四方继保自动化股份有限公司生产多端口模块,这家背靠中国工程院院士的企业,在湖州设有生产基地;燃料电池模块则产自河南企业豫氢动力有限公司,这是同济大学孵化的企业,曾参与大陈岛示范工程。

作为经济大省、资源小省,浙江的氢能应用场景丰富,但上游产业链布局还不够完善。记者了解到,近些年,在工业副产氢丰富的嘉兴、宁波等地,和有化工储运产业基础的衢州以及杭州,涌现了一批氢能储运设备制造、氢能燃料电池制造、氢能汽车制造和运营等企业。但在绿氢的技术研发、成本控制等方面仍有待创新突破。

“慈溪示范工程投产3年以来,市场上相关设备成本已下降到原先的25%左右。随着技术进一步迭代,整个产业链成熟,绿氢的产业化步调会越来越快。”刘敏说。

放眼全国,我国正在加快建设新型能源体系。这个占地不到14平方米的“绿氢魔盒”,恰似一把灵活的钥匙,让氢能走进更多工厂和社区,让生产生活更加绿色低碳。

链接

绿氢产业在中国的发展与实践

近年来,绿氢产业在中国依托政策与技术加速发展。

政策体系为产业保驾护航。国家层面,2022年正式发布的《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》明确其发展方向;2025年1月1日起施行的首部《中华人民共和国能源法》明确将氢能纳入能源管理体系,首次从法律层面确立了氢能的能源地位;同年印发的《关于组织开展能源领域氢能试点工作的通知》进一步推动创新氢能管理模式,探索氢能产业发展的多元化路径。地方层面,全国共有26个省(区、市)在“十五五”规划中,将氢能列为未来产业或新兴产业重点培育方向,形成“国家+地方”协同推进格局。

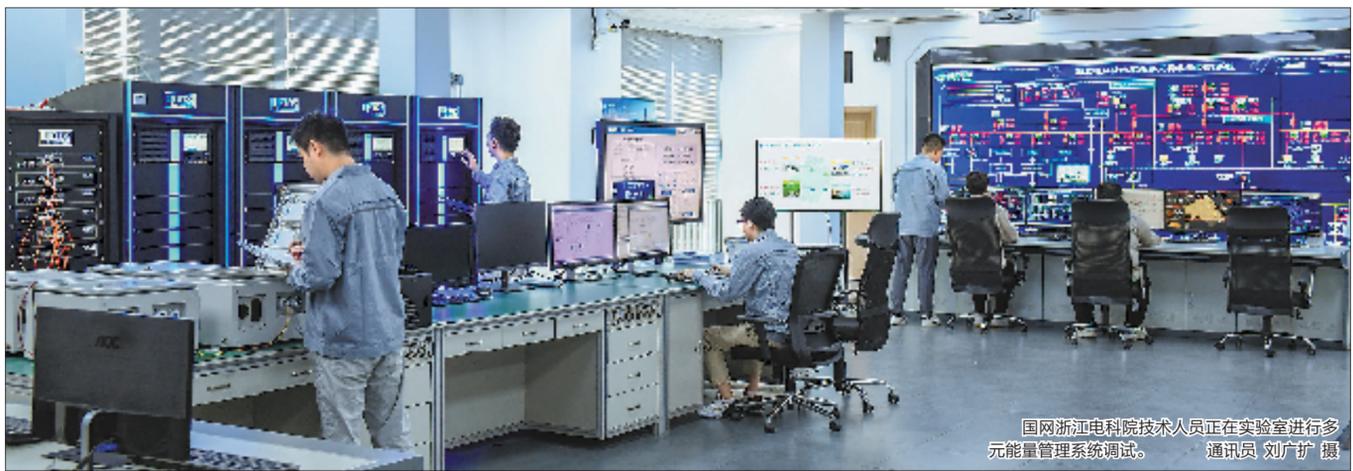
伴随绿氢标杆项目持续落地,各地立足自身资源禀赋与产业基础,全国形成了“因地制宜、各具特色”的绿氢产业发展格局。

东北、华北依托丰富风光资源与化工产业基础,布局大型绿氢生产基地。例如,东北松原氢能产业园依托800兆瓦风光资源年产4.5万吨绿氢及20万吨绿氨/甲醇,年减碳74万吨,获欧盟认证并签下全球首单绿氢远洋燃料合同;内蒙古赤峰项目配套143万千瓦风光与680兆瓦时储能,实现100%绿电制氢制氨。

中西部地区聚焦风光资源规模化开发,重点布局绿氢产能与产业集群建设,相继建成了华能张掖光伏制氢项目、新疆库车绿氢示范项目光伏电等。

华东、华南立足消费市场,聚焦多元示范应用。例如,浙江全省规划两大氢走廊,预计到2035年建设加氢站150~250座,同时预测同期氢燃料电池汽车保有量规模达6万辆。

但绿氢产业仍面临多重挑战:绿氢成本为煤制灰氢的2~3倍,成本管控与商业化落地仍面临压力,产业链各环节协同联动效率需进一步提升,绿氢的规模化应用场景还需持续拓展……未来,随着技术迭代、政策精准赋能及产业链协同发展,我国绿氢产业将稳步迈向高质量发展,为“双碳”目标实现注入强劲绿色动力。



国网浙江电科院技术人员正在实验室进行多元能量管理系统调试。通讯员 刘广扩 摄

(本报记者 胡静漪 整理)