绿氢替代大势所趋 电解水制氢将成产业主角

——“氢能科普”专题系列之三

□ 易跃春　姜 海　王宇霖

目前，中国已成为全球新能源的领军者，领先优势仍在持续攀升：2023年全球可再生能源新增装机中，中国贡献超过一半；2023年中国可再生能源总装机占比超过50%，风光总量继续保持主体地位。

同时，中国还是世界最大制氢国，氢能相关技术专利持有量位列全球第一。氢气作为二次能源，被业界誉为“21世纪终极清洁能源”，需要通过能量转化过程从煤、烃类和水等物质中提取。

电解水制氢将占主导地位

氢气制备途径多样，根据氢气制取过程中的碳排放量不同可以分为“灰氢”“蓝氢”“绿氢”。“灰氢”指通过煤炭、石油、天然气等化石能源的重整制氢，和以焦炉煤气、氯碱尾气、丙烷脱氢等为代表的工业副产氢，生产过程中释放大量的二氧化碳，但因技术成熟且成本较低，是当前主流制氢方式；“蓝氢”是在灰氢的基础上，将二氧化碳副产品捕获、利用和封存，减少生产过程中的碳排放，实现低碳制氢；“绿氢”是通过可再生能源（如风电、水电、太阳能）制氢、生物质制氢等方法制得的氢气，生产过程基本不会产生二氧化碳等温室气体，保证了绿氢的生产过程零排放。

根据国际能源署公开统计数据，2021年全球氢气产量约9400万吨/年，氢能产量主要来源于化石能源制氢，占比高达81%，其中天然气制氢占62%、煤制氢占19%；低碳排放制氢占比仅0.7%，电解水制氢的产量仅为3.5万吨，仅占0.04%。由于化石能源制氢可为行业引入低成本氢源，近10年天然气制氢占比较大，我国氢气年产量约为3300万吨，主要由化石能源制氢和工业副产氢构成，其中煤制氢占62%、天然气制氢占19%、工业副产氢占18%，与我国“富煤贫油少气”的能源特征相符，可再生能源制氢规模还处于起步阶段，占比很小。在双碳背景下清洁能源加快发展，电解水制氢将逐步占主导地位，未来全球氢气将逐步转化为利用可再生能源电解水制氢的方式进行供给。

可再生能源电解水制氢是最成熟路径

绿氢替代趋势正在逐渐显现。绿氢制取技术包括利用风电、水电、太阳能等可再生能源电解水制氢、太阳能光解水制氢及生物质制氢，其中可再生能源电解水制氢是应用最广、技术最成熟的方式。电解水制氢即通过电能将水分解为氢气与氧气的过程，该技术可以采用可再生能源电力，不会产生二氧化碳和其他有毒有害物质的排放，从而获得真正意义上的“绿氢”。电解水制氢技术主要包括碱性电解水、质子交换膜电解水、固体氧化物电解水以及其他电解水技术。

较之于其他制氢技术，碱性电解水制氢可以采用非贵金属催化剂，且电解槽具有15年左右的长使用寿命，因此具有成本上的优势和竞争力。碱性电解水制氢技术已有数十年的应用经验，在20世纪中期就实现了工业化，商业成熟度高，运行经验丰富，国内一些关键设备主要性能指标均接近于国际先进水平，单槽电解制氢量大，易适用于电网电解制氢。但是，该技术使用的电解质是强碱，具有腐蚀性且石棉隔膜不环保，具有一定的危害性。

和碱性电解水制氢技术相比，PEM电解水制氢技术具有电流密度大、氢气纯度高、响应速度快等优点，PEM电解水制氢技术工作效率更高，易于与可再生能源消纳相结合，是目前电解水制氢的理想方案。但是，由于PEM电解槽需要在强酸性和高氧化性的工作环境下运行，因此设备需要使用含贵金属（铂、铱）的电催化剂和特殊膜材料，导致成本过高，使用寿命也不如碱性电解水制氢技术。

目前，中国PEM电解槽发展和国外水平仍然存在一定差距，国内生产的PEM电解槽单槽最大制氢规模大约在260标方/小时，而国外生产的PEM电解槽单槽最大制氢规模可以达到500标方/小时。

合成氨是氢气最大消纳途径之一

合成氨作为全球第二大化学品，是现代社会中最为重要的化工产品之一。氨是制造硝酸、化肥的重要原料，氨对地球上的生物相当重要，它是所有食物和肥料的重要成分。也是所有药物直接或间接的组成。由于氨有广泛的用途，氨是世界上产量最多的无机化合物之一，超过八成的氨被用于制作化肥。

合成氨是氢气是最大的消纳途径之一。合成氨是氢气和氮气在催化剂的作用下反应生成，以气态烃为原料的合成氨。国际上各公司采用的工艺方法有所不同，但基本生产过程没有发生大的改变，工艺流程基本相同。目前，国内所应用的工艺多数是从国外引进，其合成工艺的设计理念都是以提高氨净值和节能为最终目的。由绿氢与空气中分离的氮气生产的合成氨称为绿氨，绿氨全程以可再生能源为原料进行制备，可以真正做到可持续全程无碳。就合成原理与技术路线而论，绿氨合成与传统氨合成在工艺流程、关键设备、设计与操作指标上并无本质差别。

阳光氢能20MW电解水制氢实证基地　（阳光氢能供图）

据介绍，采用可再生能源制备绿氢的方式合成氨，生产1吨氨理论上需要消耗0.18吨氢气，而制备绿氢的成本中电费和设备投资成本占比较大，目前的绿氨综合成本在3500元/吨左右，未来绿氨综合成本主要需要随着绿氢制备成本下降而进一步下降。绿氢制绿氨所面临的较大挑战，是需考虑可再生能源供给和市场需求的波动，开发充分考虑操作安全性和过程经济性的绿氢制氨工艺，实现冷热电互济，提升系统灵活性，提高综合转换效率。我国低压合成氨技术步入国际先进水平，已建成诸多大型合成氨基地，涌现了云天化、湖北宜化、华鲁恒升等一大批具有较高技术水平、较大生产规模的企业。

绿电制甲醇产业化问题待解

甲醇是氢应用的另一大途径之一。甲醇作为一种基本的有机化工原料，用途十分广泛。甲醇可以用于合成纤维、甲醛、塑料、医药、农药、染料、合成蛋白质等化工产品，也可以用作甲醇燃料电池（DMFC）和甲醇发动机的液体燃料。甲醇还可以通过裂解释放出氢气，从而成为氢气储运的载体。目前，绿色甲醇主要有两种生产途径：一种是生物质甲醇，利用生物基原料生产；另一是绿电制甲醇。

绿电制甲醇主要以二氧化碳为原料，其技术路线分为：绿电制绿氢耦合二氧化碳制甲醇；二氧化碳电催化还原制甲醇。目前，国内外对二氧化碳加氢制甲醇开展了大量的研究，重点包括催化剂制备和工艺路线设计。催化剂主要有铜基催化剂、钯基催化剂、铟基催化剂和氧化物固溶体催化剂等类型。其中，铜基催化剂因其制备简便、原料经济，已实现工业化且应用最为广泛。工艺路线主要根据不同的催化剂体系而发展，国内基于不同催化剂已形成多条工艺路线，并建成多个示范装置。

比如，中国科学院上海高等研究院和海洋石油富岛公司完成了5000吨/年的二氧化碳加氢制甲醇示范装置；中国科学院大连化学物理研究所在兰州新区绿色化工院建成千吨级液态太阳燃料合成示范工程，后续将继续开展10万吨级的液态阳光工业化示范项目；西南化工研究设计院有限公司与鲁西化工集团公司研发，并建设投产了5000吨/年的甲醇生产试验中试装置；国外冰岛碳循环国际公司（CRI）是将二氧化碳直接制甲醇过程商业化的领导者，在冰岛建成世界上第一座二氧化碳加氢制甲醇装置已实现商业运行，示范工厂甲醇产能4000吨/年，据称其具备5万~10万吨/年的技术推广能力。吉利自2005年开始研究甲醇汽车和甲醇发动机。目前，形成专利200余件，甲醇汽车累计销量超3万辆，最高里程数超120万公里，累计行驶近100亿公里。

绿色氢基能源空间很大

目前，二氧化碳加氢制甲醇技术路线已经打通，已实现中试示范，接下来还需对技术做进一步改进，解决产业化问题，行业将聚焦于开发低能耗、高稳定性的电解水催化剂，开发高活性、高选择性、高稳定性二氧化碳加氢制甲醇的催化剂等方面的技术。

随着技术的进步，光伏板、电解水槽等关键设备成本将逐步降低，催化剂的性能也进一步提升，绿色甲醇产业必将迎来更加广阔的发展前景。

绿色氢基能源的未来发展空间很大。氨与甲醇除了作为基础化工产品外，还可以作为新型燃料和氢气载体，可作为风电和太阳能等可再生能源就地消纳的有效解决方案。虽然当前绿氨和绿甲醇的生产成本高于传统合成氨和甲醇，但在“双碳”政策刺激及资金投入的推动下，绿色氢基能源制取技术将迅速发展成熟，绿氨和绿色甲醇的产量有望大幅增长，未来的发展前景将非常广阔，将有潜力成为未来替代传统化石能源的主要形式。

（作者单位：水电水利规划设计总院）

光伏行业面临洗牌 技术路径选择关乎未来发展

隆基绿能创始人、总裁李振国表示，2024年将把BC电池技术更广泛推向市场

□ 张小宝

近日，隆基绿能创始人、总裁李振国在接受媒体采访表示，光伏行业新一轮的洗牌和优胜劣汰的阶段就要开始，但“2024年不会更坏”，新的一年里隆基绿能一定要把BC（背接触光伏电池）这项技术应用更广泛地推向市场。

BC电池技术将成绝对主流

“这款产品应用了隆基BC技术，同时又应用了我们的隆顶产品。”在隆基绿能智慧能源展览馆，李振国向来访媒体介绍着隆顶4.0产品。作为一款建筑光伏一体化产品，隆基绿能BIPV产品不仅具备良好的建材属性，还能够稳定发电。李振国表示，在BC技术作为内核的加持下，辅以美观、结实等特点，让隆基绿能BIPV成为一种新型建材。

经过数十年的发展，晶硅太阳能电池已经十分接近其理论转换效率极限。为了追求更高的电池转换效率，隆基绿能认为在接下来的5~6年，BC电池技术会是晶硅电池的绝对主流，未来隆基绿能大量产品都会走向BC技术路线。

作为一家全球性的太阳能科技公司，隆基绿能以“善用太阳光芒，创造绿能世界”为使命。李振国认为，即便如今光伏发电的成本已经进入比较低的阶段，但隆基绿能的责任和使命仍然是要继续提高光伏转换效率、降低光伏发电成本。

今年把BC更广泛推向市场

“BC技术涉及大量的工程化和技术应用方面的问题。”李振国表示，只要能够实现，那就应该想办法把这种更好的技术低成本工程化，把很难实现的事情努力实现，这就是科技工作者和技术创新的价值。2024年，隆基绿能一定要把BC这项技术应用更广泛地推向市场。

2022年11月，隆基绿能自主研发的硅异质结电池转换效率达到26.81%，打破了尘封5年的硅太阳能电池效率世界纪录，这也是光伏史上首次由中国太阳能科技企业创造的硅电池效率世界纪录。然而仅过了一年时间，隆基绿能自主研发的背接触晶硅异质结太阳电池（HBC）就获得27.09%的电池转换效率，创造单结晶硅太阳能电池效率的新世界纪录。“BC技术在十分短的时间内，实现了效率突破，而且电池效率现在还在不断进步。”李振国相信，在不远的将来，隆基绿能一定还会有超过27.09%的新纪录。

“2024不会更坏”

近几年，碳中和逐步成为新一轮的国际政治共识，各国纷纷加快了碳中和进程。“这种背景下，光伏市场在超预期、超速地发展，这就带来了阶段性产能过剩。”李振国认为，行业新一轮的洗牌和优胜劣汰的阶段就要开始了。

众所周知，高度内卷、产能过剩、价格下探、技术迭代等成为2023年光伏行业的关键词。那么对于已经到来的2024年，会比2023年更好吗？对此，李振国表示，从技术发展的层面看，光伏行业是在变好；但是从光伏行业生存状态上来说，可能大家都会面临一个阶段性的困难。但如果站在发展周期的阶段来看，光伏行业应该是处在见底的逻辑上。

“2024年应该不会更坏了。”李振国补充道，目前价格下探，导致很多企业已经在亏现金。在此过程中，强壮的企业就可以度过眼下这个阶段；同时，有些负债率较高、技术相对没有特色的企业，很有可能挨不过去这个阶段。

作为一个新兴产业，光伏行业的发展特点、技术进步节奏并无先例可循。李振国认为，要把握好自己的节奏，过于激进，可能会出诸多问题；过于保守，也可能会被淘汰。所以，在这个过程当中，还是要踩准点，要谨慎。对此，隆基绿能有以下四个层面的心得和感受。

第一，隆基绿能所从事的行业，是对人类可持续发展、对子孙后代生存环境大有帮助的一件事情。隆基绿能对光伏产业的前景始终保持坚定的信心，能够集中全部资源，在光伏领域持续深耕；第二，遇到战略决策、技术路线选择及疑难问题时，一直遵循“第一性原则”和“立足未来”这两个原则；第三，一旦找对方向，就要“不惜血本砸研发”，迅速找到解决问题的办法，然后快速导入到生产经营活动当中，形成技术领先、产品领先、成本领先的核心竞争力；第四，稳健经营，防范风险。

李振国表示，隆基绿能从来不是刻意地追求特立独行，而在意的是追求的这条道路是不是正确。就像当年选择单晶这条技术路线，隆基绿能认为就是走在正确的道路上。现如今的BC技术也一样，也是未来具有绝对竞争力的一项技术，那么隆基绿能就一定要在这个方面投入精力。

资 讯

中国电建发布19项清洁能源企业定额标准

本报讯　日前，中国电建清洁能源企业定额标准发布会在京举行。会上，中国电建公开发布包括水电、风电、光伏发电工程等在内的19项企业定额标准，构建中国电建清洁能源定额标准体系。

中国电建集团党委副书记、董事、总经理王斌出席当天会议并致辞。中国电建集团党委常委、副总经理徐鹏程出席此次会议。中国建设工程造价管理协会副理事长兼秘书长王中和，中国对外承包工程商会会长房秋晨，中国水力发电工程学会常务副理事长兼秘书长郑声安，中国招标投标协会副秘书长刘捷应邀参会并致辞。

企业定额标准及其体系建设是企业标准化的重要内容，更是企业核心竞争力的重要组成部分。据介绍，中国电建于2018年正式启动清洁能源定额标准编制，充分把握国家政策精神和行业要求，基于科学客观计量计价模式，历时五年完成水电、风电、光伏发电工程等19项企业定额，构建起中国电建清洁能源定额标准体系，部分定额内容填补了行业空白。

“这19项企业定额标准将进一步提升清洁能源项目投资建设管理水平，推动清洁能源产业上下游协同和高质量发展。”王斌在致辞中表示，中国电建愿与各相关企业携手，在国家有关部委和行业学会、协会、商会、高校等的关心指导下，加快行业标准化建设，服务行业健康可持续发展，为推进我国能源电力绿色低碳转型和构建新型电力系统作出新的更大贡献。

王中和在致辞中说，多年来，中国电建作为清洁能源建设的主力军，积极推动能绿色、低碳、高质量发展。此次发布的19项清洁能源企业定额标准，既是企业建立与市场相适应的工程造价管理体系的客观要求，也是实现精细化管理的内在需要，同时也彰显中国电建在清洁能源行业发展、实现双碳目标等国家重大战略工程中的示范作用，契合我国标准化发展纲要的要求，有助于清洁能源项目的高质量建设和中国电建工程建设管理水平和市场竞争力的进一步提升。

王中和希望中国电建充分发挥海量数据和丰富应用场景等企业优势，使现代信息技术与清洁能源造价管理深度融合，探索形成中国式现代化清洁能源造价管理模式，为造价行业立标打样。

会上，房秋晨表示，中国电建作为建筑央企的龙头企业和自律联盟的重要成员，长期以来为维护国内外建筑市场经营秩序和各方合法权益发挥了积极作用。本次定额标准的正式发布，标志着中国电建科学、规范、实用的定额体系得到进一步优化，有利于促进清洁能源业务健康可持续发展，也特别有助于国际工程行业内的信息交流和科技进步。

郑声安在致辞中提出，近年来，中国电建积极组织编制清洁能源定额标准体系，推动构建能源领域经济活动规划和执行的科学标准和尺度，对全面支持绿色低碳能源发展和全球可持续发展提供了有力支持。

刘捷认为，中国电建作为全球清洁低碳能源、水资源与环境建设的引领者，注重发挥定额标准的推动性作用，建立健全技术创新和科技成果转化的新机制，为工程建设提供了坚实的标准依据，将为清洁能源发展注入新的强劲动力。

北京大学、清华大学等高校，相关央企领导与代表受邀出席活动，中国电建集团总部有关部门、在京直属派出机构及子企业负责人在现场参加会议，京外子企业领导和代表线上收看发布会。

（张小宝）

全球最大绿氢工厂向塔河炼化输氢超3100吨

位于库车经济技术开发区的中国石化新星新疆库车绿氢工厂　（中石化供图）

本报讯　春节前夕，位于库车经济技术开发区的中国石化新星新疆库车绿氢工厂，像往常一样全套装置正常运行。厂区内，220千伏变电站源源不断接收着来自光伏电站的清洁电力，经电解槽、分离框架等制氢设备一番运作，清洁电力变成了绿色氢气，然后经氢气压缩机、输氢管线，输送到6公里外的中国石化塔河炼化有限责任公司使用。

据中石化新星新疆绿氢新能源有限公司总经理范林松介绍，中国石化新星新疆库车年产2万吨绿氢示范项目，是目前已投运的全球最大规模绿氢工业化应用项目。塔河炼化炼油装置连续生产的特性，需要24小时提供源源不断的绿氢。该项目是中国石化全力打造第一氢能公司和氢能行业引领者的具体实践，2022年3月正式开工，2023年8月30日全面建成，向塔河炼化输氢后，塔河炼化从10月8日起便停掉了天然气制氢装置。这意味着每年可减少二氧化碳排放量约48.5万吨目标开始实现。

“从20余公里外库车市牙哈镇的300兆瓦光伏电站，到制氢工厂，这个全球最大制氢项目只有29名管理人员，70名操作人员，绿氢生产的每个环节都是智能化操控。”范林松说，员工在中控室电脑屏幕前值守，就可以对厂房内外的设备运行情况了如指掌。

截至目前，新星新疆库车绿氢工厂已向塔河炼化输送绿氢超过3100吨，整套装置运行安全可靠。　（张莉靖）

长期征稿邮箱：ceeq66@sina.com

国内统一连续出版物号CN11-0178　邮发代号1-209　国外发行代号4556D　社址：北京市西城区月坛南街59号（邮政编码100045）　值班电话(010)81129157　广告经营许可证：京大工商广登字20180001号　零售价2.00元　每周一三五日出版　印刷单位：经济日报印刷厂（地址：北京市西城区白纸坊东街2号）