国家能源集团报
责编 冯子昂 版式 要莉君 2024年12月4日

揭开氢的神秘面纱

本报通讯员 卢常佳

国华投资(氢能公司)河北万全油氢电综合能源站。通讯员 由一兵 摄

氢(H)在元素周期表中排名第一位，是地球的重要组成元素，也是宇宙中最常见的物质。作为宇宙里最古老、最多、最轻的元素，分布在已知世界的每一个角落。它是恒星的主要成分，一些氢会以薄雾形态散布在星际间。氢原子是最简单的原子，只有一个电子环绕着一个质子。有时，在巨大的星际气体云中，氢会以由两个氢原子组成的氢分子出现。氢主要以化合态的形式出现，通常的单质形态是氢气。氢气可从水、化石燃料等含氢物质中制取，是重要的工业原料和能源载体。氢能是指氢在物理与化学变化过程中释放的能量，可用于储能、发电、各种交通工具用燃料、家用燃料等。可以说，作为“能源连接器”，氢有着无可比拟的重要作用。

氢的发展历程

人类对氢能的探索由来已久，最早可以追溯至500多年前，从早期的实验到现代技术的突破，在浩瀚的历史长河中，人类逐步揭开“氢”的神秘面纱。

◆1520年，瑞士医生兼炼金术士帕拉塞尔苏斯首次观察到氢气的存在。他通过将金属如铁、锌和锡溶解在硫酸中，揭示了这一新元素。他描述这种气体产物“像风一样爆出”。

◆17世纪初，比利时科学家海尔蒙特研究氢气，发现氢气可燃但不助燃的性质。

◆1671年，英国物理学家、化学家罗伯特·波义耳首次通过酸和金属制备氢气，描述了这种气体的性质。

◆1766年，英国科学家卡文迪许首次通过实验分离出氢气。他通过将铁与硫酸反应，收集产生的气体，并注意到这种气体比空气轻，可以燃烧。

◆1784年，卡文迪许又通过实验发现2个单位体积的氢气与1个单位体积的氧气刚好燃烧生成水，证明了水是氢和氧的化合物。

◆1787年，法国化学家安托万-洛朗·德·拉瓦锡对卡文迪许的实验进行进一步的研究，并首次在《化学命名法》将这种气体命名为“Hydrogenium”，意为“生成水的物质”(其中“hydro-”是“水”，“-gen”是“生成”，“-ium”是元素通用后缀)。

◆1855年，英国医生合信(Benjamin Hobson)在其所著《博物新编》中将hydrogen译为“轻气”。

◆19世纪30年代，国内根据合信编写的《博物新编》将其译为“氢”，即最轻的元素。

◆20世纪初，为统一化学名称的翻译，民国时期教育部相继颁布《无机化学命名草案》《化学命名原则》等规范，规定元素单质常压常温下为气态者从“气”，所以，“轻”变为了“氢”。

国华投资(氢能公司)宁夏分公司宁东可再生氢碳减排示范区一期项目永利制氢厂制氢车间电解槽。

国华投资(氢能公司)与中集来福士集团共建的国内首个海洋氢能制-储-输-用全链条实证示范项目。

国华投资(氢能公司)宁夏分公司宁东可再生氢碳减排示范区一期项目清水营制氢厂储氢球罐。

全球制氢产业 发展道路

氢的制取是氢作为“能源连接器”的一个体现。氢作为一种清洁、高效的二次能源，需要通过风能、太阳能、煤炭、天然气等一次能源生产出来，这一过程不仅连接了传统的化石能源，涉及钢铁、化工等重点行业，同时又与可再生能源相衔接，逐步实现绿氢替代，推动构建以清洁低碳能源为主体的能源供应体系。

到了21世纪，随着碳中和、能源转型逐渐成为全球共识，氢能作为传统能源清洁化和清洁能源规模化发展的重要载体，成为全球各国应对气候变化和能源转型的重要抓手。根据《中国氢能发展报告(2023)》，截至2023年底，全球公布氢能战略的国家和地区超50个，全球氢能产量约10200万吨/年，清洁低碳氢能项目密集落地，产能规模近240万吨/年。其中，2023年可再生能源电解水制氢项目建成运营超40个，产能超3万吨/年，累计数量超400个，累计产能超15万吨/年。

德国、法国等国重点发展可再生能源制氢，与可再生能源发展、能源安全战略和应用领域脱碳协同推进。俄罗斯、澳大利亚等化石能源丰富国家和日本、韩国等高度依赖能源进口国家，考虑资源和成本因素，采用化石能源+CCUS制氢作为战略过渡配合可再生能源制氢有序发展的实施路径。中国则推动构建清洁化、低碳化、低成本的多元制氢体系，重点发展可再生能源制氢，严格控制化石能源制氢。

目前，氢的制取产业主要有以下三种较为成熟的技术路线：一是以煤炭、天然气为代表的化石能源重整制氢；二是以焦炉煤气、氯碱尾气、丙烷脱氢为代表的工业副产气制氢；三是电解水制氢，在我国氢源结构中约占1%。生物质直接制氢和太阳能光催化分解水制氢等技术路线仍处于实验和开发阶段，产收率有待进一步提升，尚未达到工业规模制氢要求。

化石能源重整制氢

煤制氢历史悠久，通过气化技术将煤炭转化为合成气，再经水煤气变换分离处理以提取高纯度的氢气，是制备合成氨、甲醇、液体燃料、天然气等多种产品的原料，广泛应用于煤化工、石化、钢铁等领域。煤制氢技术路线成熟高效，可大规模稳定制备，是当前成本最低的制氢方式。其中，原料煤是煤制氢最主要的消耗原料，约占制氢总成本的四成。国家统计局数据显示，2023年我国规模以上工业原煤产量达46.6亿吨，同比增长2.9%。我国煤炭资源储量丰富，山西、河南、内蒙古、四川、新疆、云南、甘肃等地为煤炭主产区。原材料供应充足以及价格稳定为煤制氢行业发展奠定基础。

天然气制氢技术中，蒸汽重整制氢较为成熟，也是国外主流制氢方式。其中，天然气原料占制氢成本的比重达70%以上，天然气价格是决定制氢成本的重要因素。考虑到中国“富煤、缺油、少气”的资源禀赋，仅有少数地区可以探索开展。

工业副产提纯制氢

工业副产氢气主要分布在钢铁、化工等行业，提纯利用其中的氢气，既能提高资源利用效率和经济效益，又可降低大气污染，改善环境。

中国是全球最大的焦炭生产国，每吨焦炭可产生焦炉煤气约350-450立方米，焦炉煤气中氢气含量约占54%-59%。除用于回炉助燃、城市煤气、发电和化工生产外，剩余部分可采用变压吸附(PSA)提纯技术制取高纯氢。2023年中国烧碱产量3999.3万吨，按每产1吨烧碱副产氢气25千克计算，副产氢气约100万吨。甲醇及合成氨工业、丙烷脱氢(PDH)项目的合成气含氢量在60%-95%之间，可通过纯化技术制取满足燃料电池应用的氢气。据中国氮肥工业协会统计，2023年我国甲醇产能达到10618.6万吨/年，甲醇驰放气(在化工生产中，不参与反应的气体或因品位过低而不能利用，在化工设备或管道中积聚而产生的气体)有上百亿立方米，含氢气数十亿立方米。

电解水制氢

目前，电解水制氢技术主要有碱性水电解槽(AE)、质子交换膜水电解槽(PEM)和固体氧化物水电解槽(SOE)。其中，碱性水电解槽技术最为成熟，生产成本较低，国内单台最大产气量为3000立方米/小时；质子交换膜水电解槽流程简单，能效较高，国内单台最大产气量为800立方米/小时，但因使用贵金属电催化剂等材料，成本偏高；固体氧化物水电解槽采用水蒸气电解，高温环境下工作，能效最高，已进入小规模应用示范阶段。

电解水制氢具有绿色环保、生产灵活、纯度高(通常在99.7%以上)以及副产高价值氧气等特点，但其单位能耗约在4-5千瓦时/立方氢，制取成本受电价的影响很大，电价占到总成本的70%以上。若采用市电生产，制氢成本约为30-40元/公斤，且考虑火电占比较大，依旧面临碳排放问题。一般认为当电价低于0.3元/千瓦时(利用“谷电”电价)，电解水制氢成本会接近传统化石能源制氢。

国能绿氢 生根开花

随着顶层设计的落地和氢能产业技术的快速发展，国家能源集团聚焦“绿色氢能产业链”与“氢能创新服务链”，加快推进“国重项目”研发和重大工程项目落地，促使氢能与煤炭、火电、化工、铁路、港口、航运各业务领域协同应用、耦合发展，持续拓展和延伸着氢能应用场景。

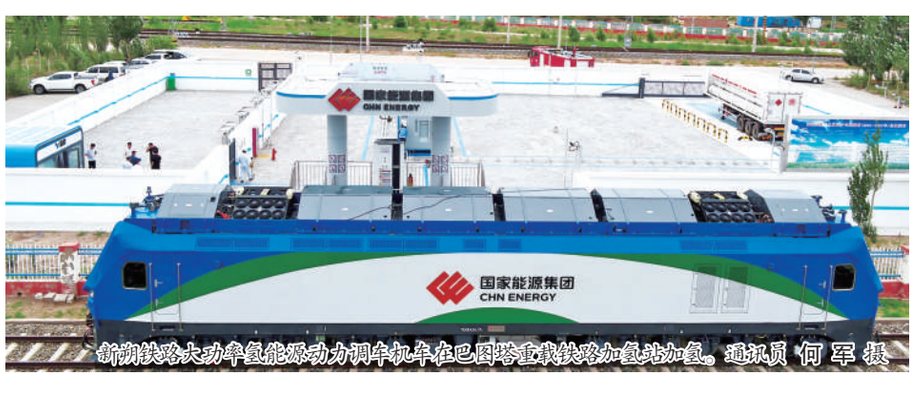
围绕“煤火风光水、化油气氢核”等能源谱系化发展目标，集团公司发挥煤电化运一体化优势，利用系统内丰富的应用场景，加强氢能产运销协同，实现低成本绿色大规模稳定氢源供给，最大化实现生产用能与终端能源消费领域深度脱碳；建成一批标志性项目，推进“两横一纵”全国绿氢产业链集群化布局，在新疆、内蒙古、宁夏、河北、江苏、广西等省区打造规模化绿氢生产基地，为氢基燃料制备、化工减碳与燃料电池交通用氢提供低成本绿氢供应。

国家能源集团是全球最大的煤制油煤化工企业，在推动氢能与化工耦合发展方面，有着广阔的发展前景。仅以宁夏煤业为例，其化工板块每小时用氢量高达180多万标方。国华投资(氢能公司)携手宁夏煤业、宁夏电力建设宁东可再生氢碳减排示范区一期项目，100%绿氢制备、氢能“牵手”煤化工是该项目的最大亮点，利用西北当地丰富的太阳能资源发电直接制绿氢，氢气并入宁夏煤业400万吨/年煤炭间接液化项目氢气管网，作为补充原料氢气使用，有效降低碳排放。英力特化工启动水电解制氢改造项目，助力聚氯乙烯产品提产增效，每年可增产聚氯乙烯5000-7000吨。

火力发电是二氧化碳排放主要来源之一，通过煤电掺氨燃烧至纯氨燃烧和气电掺氢燃烧至纯氢燃烧，可以有效解决火电行业低碳转型的问题。2022年初，国家能源集团完成世界首台40兆瓦燃煤工业锅炉掺氨燃烧中试研究，2023年，在广东台山电厂600兆瓦燃煤发电机组上实施了高负荷发电工况下煤炭掺氨燃烧试验，对降低二氧化碳排放具有重要意义。

在交通领域应用氢能，国家能源集团也进行了探索和实践。国华投资(氢能公司)在内蒙古、宁夏、河北、江苏等地建成5座“氢驿”加氢站，宁东可再生氢碳减排示范区一期项目实现绿氢替代，正在与宁夏煤业、宁夏电力、神东煤炭推进首批110辆燃料电池商用车运营示范；新朔铁路已完成国内首台330千瓦功率氢能源动力接触网作业车作业试验和氢能源动力机车加氢调试，国华投资(氢能公司)内蒙古蒙西重载铁路加氢科研示范站完成耐低温自动加注加氢机器人全系统调试，标志着我国氢能源动力装备具备了投入重载铁路市场运行的能力。

如今，西起新疆“亚欧氢能中心”，东至河北沧州“绿港氢城”、山东烟台“海洋氢能制一储一输一用全链条关键技术研究及示范验证”项目，北达内蒙古鄂尔多斯市世界级绿氢生态创新区“氢洲”项目，一个个氢能项目从纸上到地上、向深海，国家能源集团正在点亮我国氢能版图，引领氢能产业高质量发展，助力构建多能融合、供需互动的新型能源体系。



新朔铁路大功率氢能源动力调车机车在巴图塔重载铁路加氢站加氢。通讯员 何 军 摄

长征十二号来也！

大家好
我是长征十二号运载火箭
是长征火箭家族的新成员

我与现役的长征二号丙、
长征二号丁两位前辈一样
都是两级构型的液体
运载火箭

我继承了前辈们的构型
也具有
简单可靠、任务通用性好的优势

说到强
我的运载能力
在我们仨里可是最强的

	近地轨道	太阳同步轨道
前辈们	4吨	1.5吨
可爱的我	≥10吨	≥6吨

为什么我这么厉害呢？

师傅们经过反复论证研究
还联合铁路部门
做了大量运输试验
将我的“腰围”从前辈们的
3.35米扩大到了3.8米

看上去只多出来了45厘米
但能使我适配4台大推力的发动机
“力气”更大
起飞推力达500吨
而且我还能通过铁路运输
想去发射场既能坐火车又能坐船
大山大海我都能飞
既然“腰围”能扩大
为什么只扩大到了3.8米呢？
这是因为我们坐火车去发射场的时候
要经过隧道
隧道的宽度限制了我们的“腰围”
再加上我们外形庞大但壳体很薄
不能承受过度的弯曲和冲击
为保护壳体
“腰围”就被限制得更小了
最后还要告诉大家
我有两款整流罩
分别是5.2米和4.2米直径
可以适配不同的任务需要
请大家看我今后的表现