

氢能产业链及氢能发电利用技术现状及展望

姚若军, 高啸天

引用本文:

姚若军, 高啸天. 氢能产业链及氢能发电利用技术现状及展望[J]. 南方能源建设, 2021, 8(4): 9–15.

YAO Ruojun, GAO Xiaotian. Current Situation and Prospect of Hydrogen Energy Industry Chain and Hydrogen Power Generation Utilization Technology[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(4): 9–15.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

电解水制氢在电厂和氢能项目的设计应用

Design and Application of Hydrogen Production by Electrolysing Water in Power Plants and Hydrogen Energy Projects

南方能源建设. 2020, 7(2): 41–45 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.006>

等离子体效应促进的光催化分解水制氢

Plasmonic Effect Promoted Solar Water Splitting for Hydrogen Production

南方能源建设. 2020, 7(2): 20–27 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.003>

电网企业在电动汽车充电设施产业链的竞争分析

Competitive Advantage Analysis of Power Grid Enterprise on the Industrial Chain of Electric Vehicle Charging Infrastructure

南方能源建设. 2016, 3(2): 27–31 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.02.005>

海上风电-氢能综合能源监控系统设计

Design of Integrated Offshore Wind Power-hydrogen Energy Monitoring System

南方能源建设. 2020, 7(2): 35–40 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.005>

基于固体氧化物燃料电池的高效清洁发电系统

High-efficiency Clean Power Generation System Based on Solid Oxide Fuel Cell

南方能源建设. 2020, 7(2): 28–34 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.004>

氢能产业链及氢能发电利用技术现状及展望

姚若军¹, 高啸天^{2,✉}

(1. 广西广投能源集团有限公司 南宁 530031; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 随着“碳达峰、碳中和”目标的提出和能源改革的日益深入, 氢能作为重要的工业原料和能源燃料在近年来得到广泛关注并进入快速发展时期。氢能产业链主要包含氢气的制备、储存、运输、利用等环节, 涉及众多产业交叉融合与技术创新, 文章旨在梳理氢能产业链现状并分析各节点面临的挑战, 为今后的氢能产业发展提供建议。[方法] 对现有氢能产业链各节点涉及的技术现状开展调研, 分析其面临的问题与挑战, 并提出相应建议。[结果] 研究发现: 虽然我国在氢能产业所涉及的各方面均有一定技术储备及产业布局, 但仍然面临较多的技术短板有待突破。其中, 碱性电解水技术、高压储氢技术、天然气管道掺氢输送技术等已经初步具备应用条件, 适合开展示范项目。而低温液氢技术、质子交换膜制氢和燃料电池技术、固体氧化物制氢和燃料电池技术仍存在部分难题, 有待进一步突破。同时, 我国的掺氢燃气轮机发展较为落后, 与国际先进水平存在较大差异。[结论] 因此, 氢能作为战略能源, 其开发利用有助于促进我国能源与产业的绿色转型, 但仍然面临诸多问题, 需要合理布局, 避免重复建设和低端技术的引进, 才能保持氢能产业的又好又快发展。

关键词: 氢能; 产业链; 氢气储运; 氢能利用; 技术突破; 合理布局

中图分类号: TK91; TK01

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)04-0009-07

开放科学(资源服务)二维码:



Current Situation and Prospect of Hydrogen Energy Industry Chain and Hydrogen Power Generation Utilization Technology

YAO Ruojun¹, GAO Xiaotian^{2,✉}

(1. Guangxi Guangtou Energy Group Co., Ltd., Nanning 530031, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] With the proposal of "peak carbon dioxide emission, carbon neutrality" and the deepening of energy reform, hydrogen energy, hydrogen energy as an important industrial raw material and energy fuel has been widely concerned and entered a rapid development period. Hydrogen energy industry chain mainly includes the hydrogen preparation, storage, transportation and utilization, which involves the integration and technological innovation of many industries. This paper is aimed at sorting out the current situation of hydrogen energy industry chain and analyzing the challenge faced by each node in order to provide suggestions for the development of hydrogen energy industry in the future. [Method] In this paper, we investigated the current technical status, analyzed the problems and challenges of the hydrogen energy industry chain, and put forward the relevant suggestions. [Result] Although China has technical reserves and industrial layout in all aspects of hydrogen energy industry, many technical shortcomings need to be solved. Among them, alkaline water electrolysis technology, high-pressure hydrogen storage technology, natural gas pipeline mixing hydrogen transportation technology has preliminarily met the application conditions. However, some problems in the technologies such as low temperature liquid hydrogen technology, hydrogen manufacturing with proton exchange membrane and fuel cell technology, hydrogen manufacturing with solid oxides and fuel cell technology remain to be solved. Meanwhile, compared with international advanced level, the development of hydrogen-fueled gas turbine in China is relatively backward. [Conclusion] As a strategic energy, the utilization of hydrogen energy is very important to promote the green transformation of energy and industry. But

收稿日期: 2021-10-18 修回日期: 2021-11-29

基金项目: 中国能建广东院科技项目“针对可再生能源的混合储能技术及其配置研究”(ER06531W)

there are still many problems. Hence, it is necessary to make a reasonable layout, avoid the repetitive construction and introduction of low-end technology to accelerate the development of hydrogen energy industry.

Key words: hydrogen energy; industry chain; hydron storage and transporation; hydrogen energy utilization; technological breakthrough; reasonable layout

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

近年来科学技术的快速发展使得能源需求不断提升,而煤炭、石油等化石能源的开采利用不仅会造成环境污染,由于能源开发利用引起的地区冲突更是时有发生。在此背景下,清洁能源的开发成为能源发展的重点方向。氢能作为优秀的清洁能源载体,具有单位质量热值高、零碳、无污染等优点,被认为是最具应用前景的清洁能源^[1]。

氢能利用通常以氢气作为载体,可从水、化石燃料、化工副产物等中获得,来源较为广泛。但氢气的低密度(天然气的1/8)造成体积能量密度偏低,爆炸极限范围宽(4.0%~75.6%,体积浓度),导致氢能的利用存在较大的安全隐患,其能源属性一直没有得到充分利用。因此,一直以来氢气的利用都是以作为化工原材料为主。近年来,随着技术的进步和能源环保需求的提高,氢气的能源属性逐渐得到重视^[2]。

氢能产业链主要包括氢气的制备、储存、运输和利用四大环节,每一环节都有多条技术路线可供选择。由于氢能产业处于发展时期,各项技术均具有优点和劣势,哪一条路线是最优选择尚无定论,需要针对具体应用需求选择技术路线^[3]。

1 氢气的制备

在氢气制备方面,根据制备原材料及碳排放情况,可将制得氢气分为三类^[4]:(1)灰氢,是以化石燃料为原料制备的氢气,生产过程中存在碳排放,目前全球灰氢占氢气总产量95%左右;(2)蓝氢,是通过天然气或水蒸气重整制成,虽然也会有碳排放产生,但在生产过程中会配合碳捕集利用装置(CCUS),减少了碳排放量,因此实现了温室气体排放的降低;(3)绿氢,通过可再生能源(光伏、风电、核能、水电等)制氢,在生产过程中没有碳排放产生。绿氢是氢能利用的最终目标,主要通过电解水制氢实现。目前,电解水制备工艺主要有三种:碱性电解水技术(ALK)、质子交换膜电

解水技术(PEM)和固体氧化物电解水技术(SOEC)^[5]。

1.1 碱性电解水技术

碱性电解水制氢(ALK)是以氢氧化钠或氢氧化钾为溶液电解质,在直流电作用下电解水生产氢气和氧气,通过脱碱雾处理,得到的氢气纯度超过99%。碱性电解水制氢技术的优点在于技术成熟,使用寿命可以超过15年,已经在20世纪中期实现了商业化。成本低(无需使用重金属催化剂、技术成熟)、工作温度较低(60~90℃)等优势到使得碱性电解水制氢技术成为重要的制氢技术选择。

碱性电解水技术面临如下缺点:(1)碱性电解液容易与二氧化碳反应生成碳酸盐,其中的不溶性碳酸盐会堵塞催化层,降低电解槽性能;(2)为了防止阴阳极产生的氢气和氧气发生混合引起爆炸,碱性电解水制氢需要时刻保持阴阳极两侧压力平衡;(3)碱性电解水制氢设备的启动时间较长,难以实现快速响应。此外,碱性电解水的效率约为60%,低于质子交换膜电解水技术和固体氧化物电解水技术。上述缺点尤其是启停速度慢的缺点导致碱性电解水技术难以适用于快速波动的光伏、风电制氢,但在水电、核电制氢领域仍然具有竞争力^[6]。

碱性电解水制氢技术已经具备实际应用的能力,可以进行示范项目的建设。目前限制碱性电解水制氢推广的主要原因是依然偏高的电价导致的制氢成本高昂。

1.2 质子交换膜电解水技术

质子交换膜(PEM)电解水制氢设备主要由阴阳极极板、气体扩散层、催化层和质子交换膜等。在电解水反应过程中,H₂O分子在阳极氧化生成氧气和H⁺离子,H⁺离子在电场作用下通过质子交换膜迁移至阴极并发生还原反应生成氢气。质子交换膜电解水的电力密度可达1 A/cm²,能够超过碱性电解水制氢电流密度的4倍。不仅如此,质子交换膜

电解水制氢的理论效率能够达到90%，实际效率能够超过60%，高于碱性电解水制氢。总之，质子交换膜电解水制氢的效率、设备体积小、安全可靠。更为重要的是PEM电解水技术的启停速度快、工作温度较低（约为80℃），适用于可再生能源制氢^[7-8]。

在质子交换膜电解水制氢设备中，质子交换膜是技术难度最高的部件，一般使用全氟磺酸膜。目前的质子交换膜主要来自杜邦、德山、旭成工业等公司，存在一定技术壁垒，我国也应在此方面加大投入力度。

除了质子交换膜，PEM电解水制氢对于催化剂的要求也较高。通常使用钌、铱、铂等贵金属及氧化物作为催化剂。但因为上述金属资源稀缺且价格昂贵，在很大程度上限制了PEM电解水制氢的发展。因此，开发非贵金属基制氢催化剂极为必要。

目前，PEM电解水制氢处于实验室研究向商业化过渡的阶段，在长寿命质子交换膜、高效低价催化剂等方面仍需要技术进步。

1.3 固体氧化物电解水技术

固体氧化物电解水（SOEC）制氢可以认为是固体氧化物燃料电池（SOFC）的逆反应，反应温度通常在600℃以上，最高效率可以超过90%，其反应机理如图1所示。同时，SOEC采用陶瓷或氧化物作为离子导体，无需使用昂贵的质子交换膜，因此成本显著降低。

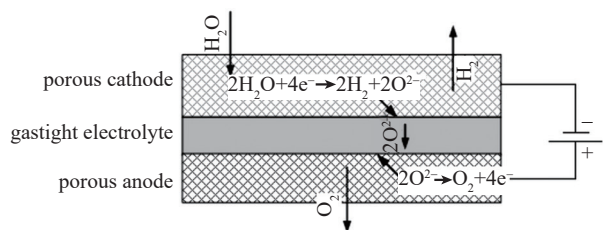


图1 SOEC工作原理示意图^[9]

Fig. 1 Schematic diagram of SOEC working principle^[9]

不过由于SOEC在需要在高温条件下工作，导致其长时间运行后，会出现性能快速衰减。因此，SOEC的难点主要在电解质、连接体等部件的开发。SOEC的技术成熟度仍然较低，商业化产品较少，距离实际应用尚有一定差距。目前，SOEC技术仍然处于实验室研究阶段，有待进一步向实际应用转化。但SOEC效率高、成本降低潜力大，且

有望开发出能够兼具发电和电解水的双功能的固体氧化物电解池系统，是一种极具前景的技术路线^[9-10]。

2 氢气的储运

在氢能产业链中，氢气的储存是其他各项技术的基础。在常温常压下，氢气的密度仅为0.089 g/L，仅为空气的1/14，导致氢气在常温常压下的体积能量密度极低。为了能够降低储存所需空间、提高运输和利用效率，通常需要采取特定技术进行储运。

根据氢气的存储状态，可以将氢气储运技术分为高压气态储运、低温液态储运、固态氢储运、有机液体储运和天然气管道掺氢输送技术等。目前，实际应用中可行性最高的为高压气态储氢和低温液态储氢技术^[11]。固态储氢和有机液体储氢仍处于开发阶段，相关材料关键技术仍有待进一步突破，本文不做重点介绍。

2.1 高压气态储运

对于高压气态储氢，通常长管拖车运输是20 MPa，加氢站加注压力分为35 MPa和70 MPa，我国现阶段主流加氢站是35 MPa。气态储氢方式操作简单，仅需要减压阀即可实现氢气的利用，技术成熟，是目前应用比较广泛的储氢路线。但高压气态储氢的缺点也极为明显，即虽然通过压缩提高了氢气的运输效率，但由于氢气密度低造成实际存储量仍然较低，且储存压缩氢气的钢瓶内胆厚、自重大，氢气实际质量占总质量不足2%，整体经济性较差，因此该方式适用于分散式少量储氢，以及短距离（200 km以内）的氢气储存运输。

2.2 低温液态储运

为了进一步提高氢气储存效率，在高压气态储氢基础上进一步加压并降低温度，从而实现氢气的液化储存。在0.1 MPa下，液氢的费电为-253℃，密度76.98 g/L，超过气态氢气的800倍。

液态储氢方式显著提高了氢能的储存、运输效率，因此适合长距离运输和提高空间储存效率，是氢气储存的最重要发展方向。不过，氢气液化温度极低，液化过程需要消耗大量能量，在储存过程中为了维持超低温又需要超高真空储罐，其制造工业复杂，导致液态氢气的技术门槛高、价格极为昂贵。目前国内的液氢技术仍未达到大规模应用水

平, 大型液化氢气设备依赖进口并受到限制。因此, 发展国内具有自主能力的液氢技术和设备开发极为重要。

2.3 天然气掺氢输送技术

对于包括氢气、天然气在内的燃气而言, 管道输送是大规模、远距离运输的必然发展趋势。但是单独建设氢气输送专用通达造价极为昂贵, 且建设周期长, 暂时无法满足现阶段氢能产业发展的需求。而利用已有的天然气输送管网开展天然气和氢气混合输送可以有效节约成本, 加快氢能产业布局效率。掺氢的天然气可以直接送给居民、工厂和商业用户, 经过分离提纯后又可以得到纯氢供给工厂、加氢站等。不过采用管道运输氢气应注意一些问题, 如氢气的扩散速率高于天然气, 且会对管道产生氢脆腐蚀, 因此需要严格控制天然气掺氢比例并完善相关技术和设备配套。目前, 受制于氢气分离成本较高和输氢技术尚处于起步阶段, 国内暂无掺氢输送后分离使用项目^[12]。

3 氢能的利用

在氢能产业链中, 氢气制备是基础, 储存和运输是关键保证手段, 氢能的高效利用是最终目的。以前, 氢气主要作为化工原料用于传统石化等工业领域。随着碳达峰、碳中和目标的确立, 氢能有潜力在绿色发电、分布式能源建设、绿色交通等领域发挥作用。电力作为能源改革的重要载体, 氢能在电力系统中的应用有助于降低碳排放, 助力碳中和目标的实现。目前氢能在发电领域的应用主要有氢燃气和燃料电池。

3.1 掺氢燃气

富氢燃气轮机发电, 是在天然气中掺混一定比例的氢气作为燃气轮机的燃料, 进行电力生产。

天然气的密度约为氢气的 8 倍, 扩散速率是氢气的 3.8 倍, 低位体积热值约为氢气的 3 倍。当天然气与氢气混合燃烧时, 氢气的低热值高流速导致需要考虑氢气的回火和火焰振荡问题以保证安全性和可靠性。

由于氢气的低位热值要比天然气小得多, 若想维持原有出力水平必须增加燃气进气量, 同时升级燃烧室和压机。

目前, 富氢燃烧的燃气轮机技术在全球范围内

已经逐步趋于成熟, 表 1 为部分掺氢燃气轮机厂商机组产品情况。西门子、通用电气、三菱日立等电力设备公司均在氢燃气轮机领域进行了探索, 并在技术和业绩上均取得可观成果。

表 1 掺氢燃气轮机厂商燃气轮机情况^[13]
Tab. 1 Development status of some manufacturers' hydrogen-fueled gas turbine^[13]

公司	氢气含量	主要解决问题	机型
三菱日立动力系统公司	30% ~ 90%	氮氧化物排放及回火问题	M701F/J
西门子能源公司	60% 以内	氮氧化物排放	SGT-600/SGT-800
安萨尔多能源公司	0 ~ 100%	先进燃烧系统	GT26/GT36
通用电气发电公司	0 ~ 100%	环形燃烧器、多喷嘴燃烧器	6B/7E/9E/9H

在掺氢燃气轮机实际应用项目方面, 包括韩国、意大利、美国、日本等多个国家开展了项目工作。其中, 西门子公司基于 G30 燃烧室技术的 SGT-400 型燃气轮机被用于世界首个可再生能源制氢与氢燃气发电结合示范工程项目 HYFLEXPOWER。该项目验证了通过可再生能源制氢和发电能够有效解决可再生能源波动性带来的冲击问题。

3.2 燃料电池

燃料电池是将燃料化学能直接转化为电能的反应装置, 由于不涉及内能与机械能的转化, 因此不受卡诺循环限制, 理论效率超过 90%。与一般电池组成相似, 燃料电池同样由正负极、电解质等部分组成。但不同于包括铅蓄电池、锂离子电池、锌锰电池等将活性物质密封在电池内部, 燃料电池的正负极活性物质空气(或氧气)和燃料气是独立储存的, 电池本体只是一个催化反应的转换装置。因此在电池工作时, 原则上只要保证正负极活性物质的持续供给, 就能够持续发电。

燃料电池最早的应用可以追溯到 20 世纪中叶。20 世纪 60 年代, 通用公司为阿波罗航天飞机研发了碱性燃料电池, 并在多次航天飞行任务中得到应用。

1973 年石油禁运激发了人们对于石油替代能源的探索热情, 燃料电池也再一次得到广泛关注。目前, 燃料电池已经发展出多种技术类型, 如碱性燃料电池(AFC)、质子交换膜燃料电池(PEMFC)、熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)、固体氧化物燃料

电池(SOFC)、磷酸盐燃料电池(PAFC)等。应用领域涉及航空航天、军事、新能源发电、交通运输等多个领域。在能源领域,燃料电池的应用主要有大型/分布式热点联产、通讯基站供电等固定式应用和交通运输应用两大类。最具应用前景的燃料电池种类主要为质子交换膜燃料电池和固体氧化物燃料电池。

3.2.1 质子交换膜燃料电池

质子交换膜燃料电池(PEMFC)是在电动汽车和发电领域极具前景的一类燃料电池。与其他种类燃料电池相比,质子交换膜燃料电池具有如下优点:(1)质子交换膜燃料电池运行温度较低,约为80℃,因此可以做到快速启停;(2)质子交换膜燃料电池整体质量较低,比功率更高;(3)质子交换膜燃料电池不存在腐蚀性电解质,安全性更高。因此质子交换膜燃料电池已经在交通领域得到一定应用。包括丰田、现代、通用等公司都在竞相开发质子交换膜燃料电池电动汽车。在固定发电厂建设方面,美国PlugPower公司、加拿大Ballard公司的PEMFC电池系统技术上全球领先,已经有MW级燃料电池发电厂项目投入使用。

质子交换膜燃料电池同样存在一些尚未充分解决的问题,在很大程度上限制了它的推广使用:(1)质子交换膜燃料电池需要使用铂基贵金属催化剂,导致电池成本一直居高不下;(2)质子交换膜燃料电池工作温度较低,因此其余温回收效果不如熔融碳酸盐、固体氧化物等类型的燃料电池;(3)质子交换膜燃料电池催化剂对于大气中CO、氮氧化物非常敏感,容易发生催化剂中毒导致电池失效。目前掌握高性能质子交换膜生产技术的企业主要为美国和日本公司,国内技术水平与世界先进水平尚存在差距,在质子交换膜、电池系统等方面需要技术突破^[14]。

3.2.2 固体氧化物燃料电池

固体氧化物燃料电池以多孔陶瓷作为电解质,在600℃以上的高温条件下工作发电。固体氧化物燃料电池可以使用的燃料种类较多,除了氢气,液化气、天然气等燃气均可作为固体氧化物燃料电池的燃料。由于工作温度较高,固体氧化物燃料电池需要预先升温至工作温度才能对外稳定供电,升温速度过快容易导致连接部件脱落,影响使用寿命,

因此固体氧化物燃料电池不适合频繁启停的工作环境。从这个角度看,固体氧化物燃料电池并不如质子交换膜燃料电池适合于电动汽车。但在固定发电领域,固体氧化物燃料电池则具有诸多优势:(1)固体氧化物燃料电池工作温度高,通过余热回收能够实现高效热电联产;(2)固体氧化物燃料电池不需要昂贵的催化剂和电解质隔膜,因此造价降低潜力巨大,更容易实现大规模生产;(3)固体氧化物燃料电池可以使用多种燃料,适用性强。总之,固体氧化物燃料电池的系统较为简单、造价更容易降低,并且有望实现大规模设备的生产和使用,是一种非常适用于固定式发电的技术路线^[15]。

目前,国内外的固体氧化物燃料电池处于快速发展时期,美国、日本等国家已经有100kW级以上的燃料电池产品投入使用。国内的固体氧化物燃料电池与世界先进水平存在一定差距,但近年来得到研究者及企业的广泛关注,开发力度不断加大,已经有产品投入试运行使用。

4 存在的问题及应对建议

4.1 核心技术和关键材料的开发

从制氢设备、储氢设备、储氢材料,到氢燃料电池隔膜、催化剂和系统模块,我国氢能产业整体取得长足发展的同时又面临相关核心技术和关键材料与世界先进水平仍然具有差距,或多或少存在“卡脖子”的问题。如储氢、运氢的关键技术和核心部件尚未完全实现国产化,暂时还不能做到自主可控发展。大功率燃料电池系统大多仍处于实验室研发阶段,离实际应用尚有一定距离。因此需要增加关键材料和关键技术的研发投入力度,早日实现全部核心零部件的国产化,避免技术壁垒,降低关键部件成本,实现氢能产业又好又快发展。

4.2 氢能产业链节点较多,布局分散

氢能产业涉及制氢、储氢、运氢、氢气利用等多个环节,各地区侧重点有所不同,缺乏统筹规划,出现盲目投资、重复建设、低水平技术引进等现象。因此,各区域间应加强协作,促进产业核心技术协同攻关,合理有效利用资源,合理利用不同城市资源优势,达到协同发展的目的。

4.3 绿氢的来源及价格

氢能产业发展的最根本问题在于绿色氢气的制备和使用。目前全球绝大多数的氢气主要来自石化制氢,仍然无法避免碳排放问题。而通过电解水制氢,再利用氢能发电效率势必逐步降低,若采用化石能源发电开展电解水制氢既会产生碳排放,又与高效利用资源的初衷相违背。以碱性电解水为例,需要4.5~5.5 kWh电量才能得到1 Nm³氢气,再利用这些氢气发电量约为2 kWh,可以看出采用传统发电电解水制备氢气显然是不够经济的。因此光伏、风电、核电等可再生能源制氢技术的开发变得尤为重要。事实上,可再生能源与氢能之间共同发展能够产生非常有效的“协同效应”:利用富余核电、风电、光伏等开展氢气制备,一方面能够降低氢气制备成本,提高氢能利用的经济角度可行性;另一方面,氢气的制备能够提高可再生能源利用效率,减少弃风、弃光以及核电降负荷运行带来的盈利损失;更为重要的是,氢能的利用能够使发电和用电从时间和空间两个维度“解耦”,提高新能源发电的可控性和灵活性。因此可以看出,氢能产业的发展不仅需要产业链中各环节的技术进步,还需要与其他可再生能源技术协同发展,如光伏制氢、风电制氢、核电制氢等。只有实现低价绿氢的制备,氢能产业的高效发展才能得到保证。

5 结 论

在碳达峰、碳中和目标下,氢能的开发利用成为了节能减排和产业绿色升级转型的工作重点。氢能产业链涵盖制氢、储氢、运氢、用氢等多个节点,每个节点又有多条技术路线。不仅涉及的产业众多且复杂,国内还有诸多核心技术问题尚未得到解决,如低温液氢储运、质子交换膜电解水与燃料电池、固体氧化物电解水与燃料电池技术等均亟待技术突破。此外,利用传统能源发电电解水制氢会造成制氢成本高、能源利用效率低、存在碳排放的问题,不利于电解水制氢的开展,从而对我国氢能产业发展产生不利影响,并不推荐此种制氢模式,该模式也不会是未来的发展趋势。因此,我国的氢能产业发展一方面要积极推进关键材料和自主核心技术的开发,另一方面需要与可再生能源等相关产业协同发展,达到降低制氢成本,推动产业进步的

目的。同时,应当注意资源的合理分配与利用,避免出现重复研究、重复建设、低端技术引进等问题。

应当清醒地意识到,虽然氢能产业发展较为迅速,但仍然需要保持理性的发展思维,充分考虑氢能发展对现有设备的升级改造需求和新设施建设的必要性,符合安全生产需求,保证氢能产业又好又快发展。

参考文献:

- [1] 凌文,刘玮,李育磊,等. 中国氢能基础设施产业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2019, 21(3): 76-83.
LING W, LIU W, LI Y L, et al. Development strategy of hydrogen infrastructure industry in China [J]. Strategic Study of CAE, 2019, 21(3): 76-83.
- [2] 罗佐县,曹勇. 氢能产业发展前景及其在中国的发展路径研究[J]. 中外能源, 2020, 25(2): 9-15.
LUO Z X, CAO Y. Development prospect of hydrogen energy industry and its development path in China [J]. Sino-Global Energy, 2020, 25(2): 9-15.
- [3] 洪虹,章斯洪. 氢能源产业链现状研究与前景分析[J]. 氯碱工业, 2019, 55(9): 1-9.
HONG H, ZHANG S Q. Current situation and prospect analysis of hydrogen energy industry chain [J]. Chlor-Alkali Industry, 2019, 55(9): 1-9.
- [4] 戴凡博. PEM电解水制氢催化剂及直接耦合光伏发电系统建模研究[D]. 杭州:浙江大学, 2020.
DAI F B. Study of catalyst in PEM water electrolysis and directly coupling photovoltaic system simulation [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.
- [5] 李永恒,陈洁,刘城市,等. 氢气制备技术的研究进展[J]. 电镀与精饰, 2019, 41(10): 22-27.
LI Y H, CHEN J, LIU C S, et al. Process in hydrogen preparation technology [J]. Plating and Finishing, 2019, 41(10): 22-27.
- [6] 刘太楷,邓春明,张亚鹏. 电解水制氢发展概况之一: 碱式电解水[J]. 材料研究与应用, 2019, 13(4): 339-346.
LIU T K, DENG C M, ZHANG Y P. Development of hydrogen generation via water electrolysis I: alkaline water electrolysis [J]. Materials Research and Application, 2019, 13(4): 339-346.
- [7] 何泽兴,史成香,陈志超,等. 质子交换膜电解水制氢技术的发展现状及展望[J]. 化工进展, 2021, 40(9): 4762-4773.
HE Z X, SHI C X, CHEN Z C, et al. Development status and prospects of proton exchange membrane water electrolysis [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2021, 40(9): 4762-4773.
- [8] 瞿丽莉,郭俊文,史亚丽,等. 质子交换膜电解水制氢技术在电厂的应用[J]. 热能动力工程, 2019, 34(2): 150-156.

- QU L L, GUO J W, SHI Y L, et al. Application of proton exchange membrane electrolysis and hydrogen production technology in power plant [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2019, 34(2): 150-156.
- [9] 张文强, 于波, 陈靖, 等. 高温固体氧化物电解水制氢技术 [J]. 化学进展, 2008(5): 778-787.
- ZHANG W Q, YU B, CHEN J, et al. Hydrogen production through solid oxide electrolysis at elevated temperatures [J]. Progress in Chemistry, 2008(5): 778-787.
- [10] 张文强, 于波. 高温固体氧化物电解制氢技术发展现状与展望 [J]. 电化学, 2020, 26(2): 212-229.
- ZHANG W Q, YU B. Development status and prospects of hydrogen production by high temperature solid oxide electrolysis [J]. Journal of Electrochemistry, 2020, 26(2): 212-229.
- [11] 李建林, 李光辉, 马速良, 等. 氢能储运技术现状及其在电力系统中的典型应用 [J]. 现代电力, 2021, 38(5): 535-545.
- LI J L, LI G H, MA S L, et al. An overview on hydrogen energy storage and transportation technology and its typical application in power system [J]. Modern Electric Power, 2021, 38(5): 535-545.
- [12] 任若轩, 游双娇, 朱新宇, 等. 天然气掺氢输送技术发展现状与前景 [J]. 油气与新能源, 2021, 33(4): 26-32.
- REN R X, YOU S J, ZHU X Y, et al. Development status and prospects of hydrogen compressed natural gas transportation technology [J]. Petroleum and New Energy, 2021, 33(4): 26-32.
- [13] 孙邦兴, 杨华, 骅松. PEM型电解水制氢设备在电厂的应用 [J]. 山东化工, 2020, 49(8), 182-184.
- SUN B X, YANG H, PIAN S. Application of PEM-type hydrogen generator by water electrolysis in power plant [J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(8), 182-184.
- [14] 彭跃进. 质子交换膜燃料电池关键技术研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- PENG Y J. Study on key technologies of PEMFC [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [15] 侯丽萍, 张暴暴. 固体氧化物燃料电池的系统结构及其研究进展 [J]. 西安工程科技学院学报, 2007, 21(2): 267-270+278.
- HOU L P, ZHANG B B. Solid oxide fuel cell system structure and research progress [J]. Journal of Xi'an University of Engineering Science and Technology, 2007, 21(2): 267-270+278.

作者简介:



姚若军

1980-, 男, 四川仁寿人, 博士, 高级工程师, 副总经理, 主要从事工程管理 (e-mail) 898525219@qq.com。

姚若军

高啸天 (通信作者)

1990-, 男, 辽宁抚顺人, 博士后, 主要从事储能、氢能技术研究 (e-mail) gxt9043@126.com。

(责任编辑 李辉)

中国能建广东院为澳门电动车与车联网应用献策

2021年11月10日, 由澳门电机及电子工程师学会与澳门电力股份有限公司主办的“电动车与车联网应用之机遇与挑战研讨会”在澳门科学馆举行。粤港澳专家学者齐聚一堂, 共同探讨在澳发展电动车和车联网的机遇和挑战, 为澳门智慧城市建设提供构思和建议。

澳门电机及电子工程师学会会长岳宗斌主持研讨会, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司(简称: 中国能建广东院)副总经理、工会主席郁静红应邀出席会议并致辞。

发展新能源汽车是全球产业转型升级、绿色发展的主要方向, 也是当前国家“碳达峰、碳中和”工作中的重要一环。澳门特别行政区政府积极贯彻落实国家“双碳”战略决策, 大力发展电动汽

车可减少尾气排放, 有利于改善空气质量, 具有良好的环保、经济及社会效益, 在澳门推动电动汽车及车联网应用有着巨大的潜力。

郁静红表示, 中国能建广东院一直致力于推动低(零)碳、减碳技术创新发展, 参与了电动汽车充电接口及通信协议国家标准编制工作, 拥有针对城市、园区、微电网等多种应用场景丰富的能源规划建设经验, 建立了完整的智慧能源技术创新体系。广东院愿为澳门电动车及车联网发展提供更多解决方案, 为城市基础设施智能化、电能消费体验创新升级贡献力量。会上, 中国能建广东院工程师杨海森作了《“双碳”背景下适应电动汽车充电站的新型供配电系统》主题演讲。

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 赵雪竹)