

氢能在我国能源转型中的地位和作用

符冠云

国家发展和改革委员会能源研究所,北京市西城区

摘要

针对我国能源体系现状进行了分析,认为建立多元化、清洁化、低碳化的能源供应体系是我国能源转型的总体战略目标.在我国能源体系向“清洁、低碳、智慧”转型的过程中,氢能将扮演“清洁高效的二次能源、灵活智慧的能源载体、绿色低碳的工业原料”这三重角色,全社会氢能需求有望大幅增长.根据不同制氢工艺综合评估结果,分析了近中期和中长期各制氢路线的发展重点.面对未来巨大的氢气需求,需加快氢能供应格局的绿色低碳变革,提高“绿氢”比重.

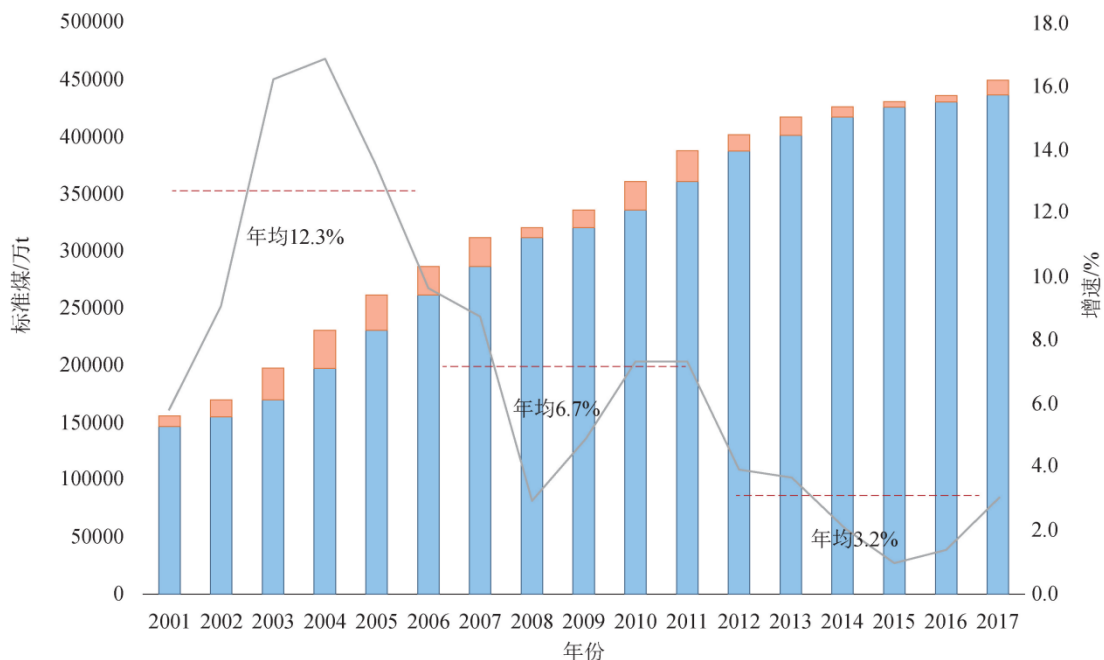
关键词 氢能 能源转型 绿氢

伴随新一轮工业革命,能源开发利用技术出现深刻变革,绿色低碳成为全球能源发展大势.氢能作为21世纪人类可持续发展的清洁可再生能源,目前已受到全球范围的高度重视,在我国也受到广泛关注.面对能源安全、环境保护等压力,氢能有望在能源转型过程中扮演重要角色,氢能作为目前最具潜力的二次清洁能源在我国能源转型中将占据重要地位.

1 我国能源体系正在向“清洁、低碳、智慧”转型

1.1 我国能源发展的主要矛盾已从供应总量不足转变为能源结构落后

当前,我国能源消费总量已由“高增量、高增速”转变为“低增量、低增速”,能源供需矛盾得到极大缓和。



注:红色部分为与上一年相比一次能源消费增量

图1 我国一次能源消费总量增长情况

由图1可以看出,2001-2007年能源消费总量增速呈台阶式下降,2001-2005年的年均增速为12.3%,2006-2010年的年均增速为7%,2011-2017年的年均增速为3.2%。能源消费增速和增量的“双回落”也使得国内煤炭、煤电、炼油生产能力出现较为严重的过剩,产能利用率已跌落至70%甚至更低。

由富煤缺油少气能源禀赋条件所致,目前我国能源结构呈“一煤独大”的现状。

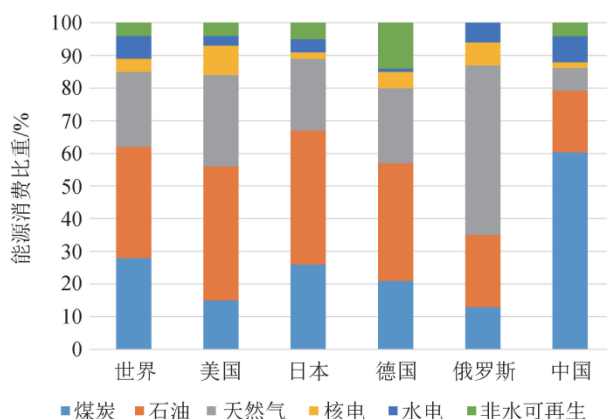


图 2 我国同其他国家一次能源消费结构对比

由图 2 可以看出,通过分品种能源结构的国际对比,全球已普遍处于油气时代,石油和天然气消费占一次能源消费比重超过50%,而部分发达国家已开始向可再生能源时代迈进,例如德国的可再生能源占比就已超过了15%。相比之下,我国仍处于煤炭时代,煤炭消费占比高达60%以上。

1.2 能源转型肩负保障能源安全、减少环境污染和应对气候变化的使命

我国能源发展正面临着严重的能源安全、环境污染和温室气体排放问题。能源安全方面,目前我国70%以上的石油和40%以上的天然气依赖进口,国际地缘政治的“风吹草动”以及油气价格波动,都会对经济稳定运行造成冲击;环境污染方面,我国各种主要污染物排放总量过高,二氧化硫、氮氧化物、烟(粉)尘以及可吸入颗粒物长期高居世界第一位,已经远远超过环境容量,环境质量总体处于历史上最差的时期,目前全国25个省份都存在不同程度雾霾污染问题,部分城市每年出现雾霾污染达200d;应对气候变化方面,我国作为世界第一温室气体排放大国,排放总量接近美国及欧盟排放总和,人均排放量将明显超过部分欧盟国家水平,国际社会对我国的指责也越来越多。

综上所述,为了保障能源安全、减少环境污染和应对气候变化,以多元化、清洁化和低碳化为特点的能源转型已迫在眉睫。

1.3 经济合理、稳定安全和绿色低碳的“不可能三角”亟待破解

建立多元化、清洁化和低碳化的能源供应体系是我国能源转型的总体战略目标,但转型的道路是曲折的。近几年发生在能源转型过程中的许多问题,例如可再生能源发展遭遇了“上网难”的问题,虽然经过燃煤机组深度调峰改造及体制机制创新,弃电现象得到了一定的缓解,但未来可再生能源高比例发展仍然要面对消纳难、接入难的问题。天然气方面,北方供暖“煤改气”过程中的供需脱节,导致部分地区在采暖季“断气”、用户烧不起气等现象,严重影响了经济正常运行,也造成了诸多负面质疑。基于此,有学者提出了“经济合理、稳定安全和绿色低碳”的“不可能三角”。为持续推进能源转型进程,需要重新审视整个能源系统,将供应和需求统筹考虑,以新技术、新业态和新模式来破解“不可能三角”。

2 氢能将在能源转型过程中扮演重要角色

2.1 主要国家和研究机构都已对氢能发展表示出强烈关注

在积极应对气候变化背景下,到21世纪末确保实现2℃甚至1.5℃温升控制目标,正推动全球能源供需体系向低碳化、无碳化加快转型。主要发达国家把绿色低碳作为保障能源安全、引领技术创新的重要方面,积极谋求新的国际竞争优势。随着氢能应用技术发展逐渐成熟,以及全球应对气候变化压力的持续增大,氢能产业的发展在各国备受瞩目,氢能及燃料电池技术作为促进经济社会实现低碳环保发展的重要创新技术,已经在全球范围内达成了共识。

截至目前,多国政府都已出台氢能及燃料电池发展战略路线图,日本、德国等国家更是将氢能规划上升到国

家能源战略高度. 日本政府提出了建设“氢能 社会” 的宏伟战略, 于2017年12月份出台《氢能源基本战略》, 旨在全球率先实现 “氢社会”, 以实现社会低碳发展目标和寻求日本经济新的增长点; 韩国政府将氢能作为三大战略投资重点之一, 于2019年1月发布了 “氢能经济发展路线图”, 明确了面向2040年的氢能发展目标、战略及重点任务; 美国、德国等发达国家都已认识到氢能在未来能源系统乃至社会系统中的地位和作用, 竞相开始抢占产业链各个环节的技术制高点, 力争使本国在此轮氢能变革中占得先机. 国际氢能委员会、国际能源署、麦肯锡等研究机构, 对于氢能发展的前景都普遍看好. 其中, 据国际氢能委员会预计, 到2050年氢能可以满足全球一次能源总需求的12%, 氢能及氢能技术相关市场规模将超过2.5万亿美元.

2.2 当前氢能在我国的主要应用

氢气的利用由来已久, 但并非是当前备受关注的交通和电力领域, 而主要作为生产原料应用于工业领域.

■ 合成氨 ■ 甲醇 ■ 炼油 ■ 直接燃烧 ■ 其他

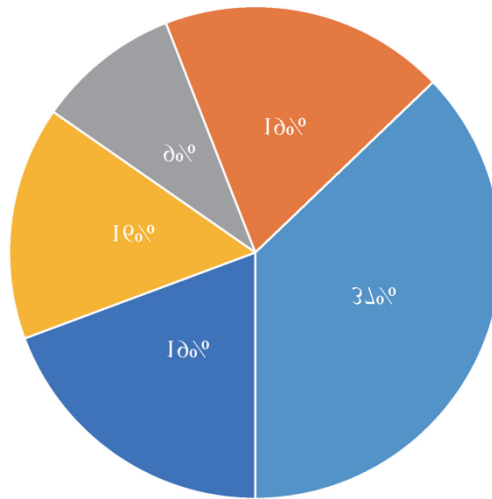


图3 2017年我国氢气终端消费结构

由图3可以看出, 据莫尼塔研究分析[3], 2017年我国氢气消费量超过2500万t, 基本全部用于工业. 其中, 生产合成氨用氢占比为37%、甲醇用氢占比为19%、炼油用氢占比为10%、直接燃烧占比为15%. 在合成氨和甲醇生产过程中, 需要使用氢气与氮气或一氧化碳发生反应, 而氢气则由煤炭、天然气等化石能源制成. 在炼油过程中, 需要使用氢气对油品进行加氢裂化、加氢精制等处理, 以获得更多高附加值产品. 此外在发电行业、食品加工行业、电子器械制造业等行业, 也会使用氢气作为生产原料或保护气. 总之, 工业领域主要将氢气作为原料来使用, 而并非能源, 氢气扮演的依旧是工业原料的角色.

2.3 氢能未来将扮演的角色

为了实现我国能源系统的多元化、清洁化和低碳化转型, 氢能的发展可以从 “二次能源、能源载体、低碳原料” 这3个角度切入, 助推能源转型进程.

(1) 氢气可作为高效低碳的二次能源. 氢气本身是一种高能量密度的二次能源 (单位质量), 同时也具有较强的电学活性、可通过燃料电池进行发电. 因此氢气可应用于燃料电池汽车从而替代传统燃油汽车, 节约石油消费; 也可以用于家用热电联产, 减少电力和热力需求; 还可以直接将氢气掺入到天然气管网直接燃烧. 此外, 氢燃料电池还可被用作备用应急电源, 在维护公共安全领域发挥影响力, 未来随着5G基站和大数据中心的建设, 氢能备用应急电源的应用场景将进一步扩展.

(2) 氢气可作为灵活智慧的能源载体. 通过电解水制氢技术及氢气与其他能源品种之间的转化, 可提高可再生能源的消纳、提供长时间储能、优化区域物质流和能量流, 进而建立多能互补的能源发展新模式.

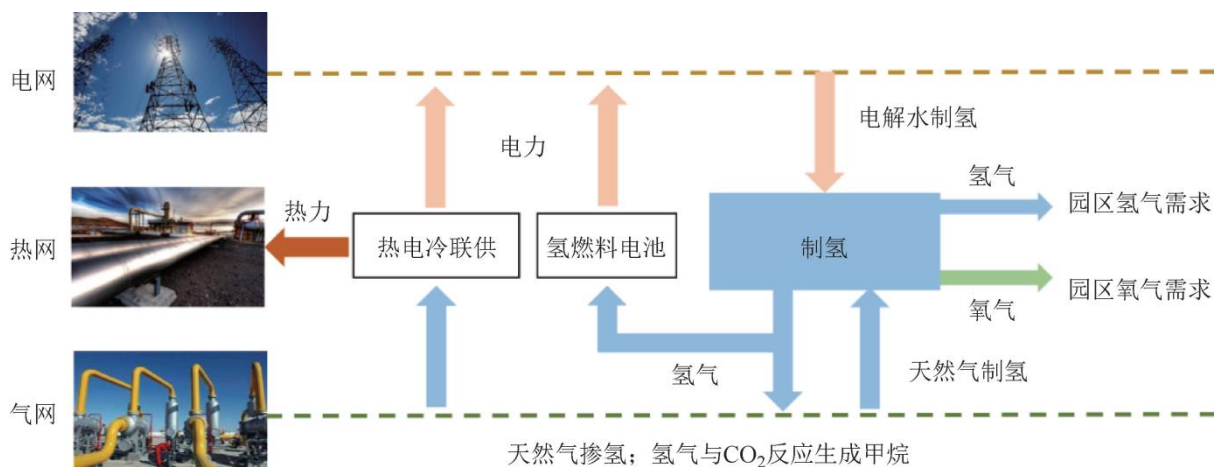


图4 围绕氢能的多能互补模式示意

由图4可以看出,在区域电力冗余时,可通过电解水制氢将多余电力转化为氢气并储存起来;在电力和热力供应不足时,氢气可以通过电化学反应发电、热电联供、直接燃烧等方式来实现电网和热网供需平衡。氢气可以以5%~20%的比例掺入天然气管网,成为天然气的替代能源,还可与二氧化碳发生烷基化反应制成甲烷。除此之外,电解水制氢可以协同生产氢气和氧气,后者是很好的化工原料和燃烧介质。

(3)氢气可作为绿色清洁的工业原料。国际能源署、麦肯锡等机构都认为氢能是实现工业部门的深度脱碳,主要方式为应用氢能革新工艺,可以大规模使用“绿氢”替代“灰氢”(即由焦炉煤气、氯碱尾气等工业副产气制取的氢)。氢气直接还原

铁是氢能革新工艺的典型代表,该工艺使用氢气作为还原剂,将铁矿石直接还原为海绵铁,之后进入电炉炼钢,从而节省了焦炭的使用、减少了因原料带来的二氧化碳排放。“绿氢”替代“灰氢”是使用来自可再生能源的氢气,来替代合成氨、甲醇生产过程中的化石能源制氢,进而实现深度脱碳。

2.4 未来氢能将有望在工业、交通、建筑等领域“多点开花”

在加速推进能源转型过程中,氢能有望全面融入能源需求侧的各个领域。在工业领域,氢能将从原料和能源“双管齐下”。原料方面,氢能将广泛应用于钢铁、化工、石化等行业,替代煤炭、石油等化石能源;能源方面,氢能将通过燃料电池技术进行热电联产,满足分布式工业电力和热力需求,预计2050年工业领域氢能需求将超过3500万t;在交通领域,氢燃料电池汽车将与锂电池汽车“各司其职、各尽所长”,共同推动新能源汽车对传统燃油汽车的替代作用,在交通领域掀起新能源变革浪潮;由于氢燃料电池汽车具有行驶里程长、燃料加注时间短、能量密度高、耐低温等优势,在寒冷地区的载重货运、长距离运输、公共交通甚至航空航天等领域更具有推广潜力;预计2050年交通领域氢气需求将接近4000万t;在建筑和其他领域,家用氢燃料电池、燃料电池应急电源等技术设备也有望实现规模化应用,预计2050年氢气需求将接近2000万t。综上所述,2050年全社会氢气需求或将接近1亿t(折合约3.8亿t标准煤)。若实现“2℃”的碳减排情景,氢能需求还将进一步增加至1.5亿t水平甚至更高,增幅接近60%。

为了实现氢能的大规模应用,近期(2050年)应聚焦于工业领域,围绕石化、化工等行业的原料氢气需求,在供需匹配、价格合理的前提下开展“绿氢”替代“灰氢”,同时探索氢燃料电池推广模式和管理体制,推进加氢站等基础设施建设;中期(2035年)应采用工业与交通并重策略,在工业领域推广氢能冶炼、氢能化工等先进技术,交通领域可大规模普及氢燃料电池重型卡车、物流车等;远期(2050年)氢能将以全方位实现氢能社会为目标,在工业领域实现原料、燃料“双替代”,交通领域氢燃料电池汽车高比例应用,建筑领域推广家用氢燃料电池和分布式电源。

3 氢能生产格局需面向绿色低碳变革

3.1 我国氢气主要来自化石能源,氢源需要优化

我国目前所使用的氢气主要来自化石能源、尤其是煤炭,氢源结构远远落后于发达国家、甚至低于全球平均水平。

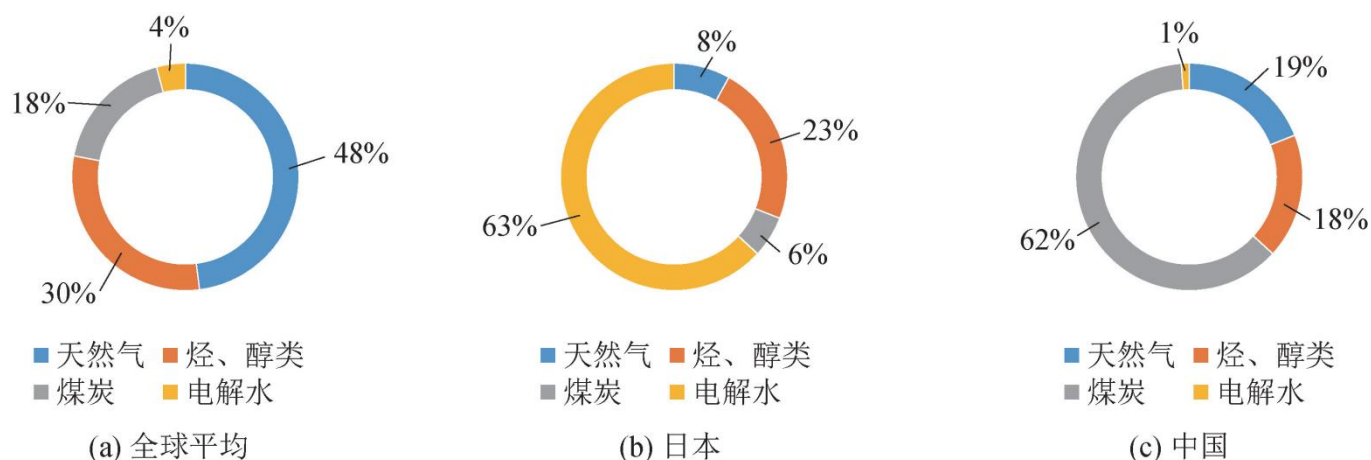


图 5 全球、日本和中国氢源结构对比

由图 5 可以看出 从全球平均水平看 氢气48%来自天然气、30%来自醇类重整、18%来自焦炉煤气. 在氢能强国日本, 本国氢气产能中电解水制氢占63%、天然气重整占8%、焦炉煤气占6%, 值得一提的是, 日本在本国大力发展氢能应用技术的同时, 也在积极寻求海外氢能供应合作商, 目前已与澳大利亚、文莱等国签署了氢能供应的合作协议. 而我国2016年全国氢气产量约2100万t, 其中来自煤制氢的氢气占62%、天然气制氢占19%, 电解水制氢仅占1%. 可见, 我国的氢源结构目前仍是以煤为主, 清洁度不够.

3.2 能源转型视角下, 氢源选择的“四要素”

为了满足未来全社会对于氢能的需求, 需要从能源转型的视角出发, 从“资源供应、成本效益、能源效率、环境效益”这4个要素入手, 综合评价、统筹考虑后, 对氢源进行合理选择.

具体而言, 资源供应可理解为适用性, 包括制氢原料的可获得性, 以及氢气供应与需求在数量、质量上的匹配程度, 发展氢能不应以牺牲能源安全为代价, 同时在选择氢源时也要考虑氢气的供应量和纯度等因素, 因此适用性是氢源选择的第一考虑因素; 经济性是指氢气的生产成本, 成本低廉是需求侧使用氢能替代传统能源时最现实考虑因素, 一般情况下成本高的氢源将被排除在市场之外; 能源效率是指能源投入和产出效率, 这里需要使用全生命周期评价方法, 如果氢气生产环节使用了二次能源, 则需要将二次能源生产过程的能源效率考虑在内, 例如焦炉煤气副产氢的能效评估, 就需要考虑由煤炭到炼焦和焦炉煤气环节的能源损失; 环境效益是指氢气生产所造成的环境污染物和二氧化碳排放, 同样需要使用全生命周期评价方法, 例如电解氢能在我国能源转型中的地位和作用

水制氢虽然可以实现无污染无排放, 但如果电力来自于煤电, 则需要将燃煤发电环节的污染和排放算在内.

3.3 不同制氢工艺综合评估结果

	资源供应	成本效益	能源效率	碳排放
煤制氢	●	●	●	●
天然气制氢	●	●	●	●
甲醇制氢	●	●	●	●
工业副产氢	●	●	●	●
可再生能源制氢	●	●	●	●
煤电制氢	●	●	●	●

注: 绿色为较好, 黄色为一般, 红色为较差. 评价结果因能源、原料价格和样本选取等原因存在差异

图 6 基于四要素对不同氢源综合评价结果

由图 6 可以看出,从当前情况来看,煤制氢在资源供应方面比较有保障(我国煤炭资源相对丰富)、具有明显的成本优势(10~15 元/kg 氢气)、能源效率一般(58~66%)、碳排放问题比较大(20~25kg 二氧化碳/kg 氢气);天然气制氢在资源供应上存在明显短板(天然气对外依存度高、采暖季天然气供应短缺等)、成本效益一般(20~30元/kg 氢气)、能源效率一般(70~75%)、存在碳排放问题(7~10kg 二氧化碳/kg 氢气);可再生能源制氢的资源供应一般(可再生能源生产主要集中在东北、西北、西南等地区,与氢气需求端存在空间分离)、成本效益较差(电价为0.5元/kWh时,制氢成本高达40元/kg 氢气以上)、能源效率较高(可达75%~80%)、无碳排放(采用先进技术工艺)。值得一提的是,使用煤电来电解水制氢,除了在资源供应方面具有一定优势(煤电机组闲置情况严重),制氢成本超过40元/kg 氢气、全生命周期能源效率低于30%、碳排放量超过70kg 二氧化碳/kg 氢气,是最不宜发展的制氢工艺。

3.4 近期、中期和中长期各制氢路线的发展重点

(1)煤制氢.考虑到巨大的煤制氢产能存量和煤制氢低成本特点,近期、中期煤制氢仍然将是我国氢气的最主要来源,应立足存量,满足工业领域中化工、石化等行业规模化氢气需求,同时应注重碳捕捉、封存和利用技术(CCUS)与煤制氢的整合应用,降低项目总体成本、提高煤炭利用效率。中长期可将“煤制氢+CCUS”作为我国氢源的重要组成部分之一。

(2)天然气制氢.考虑到资源供应约束和成本问题,近期和中期不宜大规模发展天然气制氢,已有产能应注重发挥设备的灵活性和清洁性,在环境污染严重地区提供氢气供应。中长期则可通过固体氧化物燃料电池(SOFC)等技术,在终端需求侧通过天然气重整“制氢+SOFC”模式,构建分布式热电联产系统。

(3)甲醇制氢.甲醇价格近几年波动明显,给甲醇制氢造成了严重影响。近中期应谨慎发展,并注重甲醇重整制氢+燃料电池一体化应用技术的研发和示范。甲醇还有望成为氢气储存的介质,可探索“氢气生产—合成甲醇—甲醇运输—重整制氢”的模式,为氢能大规模储运提供可能。

(4)工业副产氢.我国氯碱、炼焦以及钢铁等行业有大量工业副产氢资源,足以满足近期和中期氢气的增量需求。但因渠道、价格、信息等原因,这些副产氢很大一部分被用来直接燃烧甚至排空。因此,未来应探索将工业副产氢高值化利用的商业模式,将副产氢提纯并运输至氢气需求侧,更好的发挥氢能价值。

(5)可再生能源制氢.作为“绿氢”的典型代表,成本高是可再生能源制氢发展的最大障碍。近期和中期应在“降成本”上做足文章,在可再生能源资源丰富地区,探索现场制氢、电力直接交易、提供电力辅助服务、移峰填谷等模式,争取获得相对较低的电价。同时还应加大氢能储运基础设施建设,提高氢能的时空调配能力。随着可再生能源的高比例发展,可再生能源制氢将有望成为绿色氢气规模化供应的最重要来源。

4 主要结论和建议

(1)在我国能源转型中,氢能将扮演“高效低碳的二次能源,灵活智慧的能源载体,绿色清洁的工业原料”的角色,在我国交通、工业、建筑、电力等部门得到广泛应用。预计2050年全国氢能需求将接近1亿t,在积极应对气候变化、实现“2℃”目标情景下,需求有望超过1.5亿t。面对如此规模的氢气需求,氢源结构也需在现有“以煤为主”的格局基础上进行绿色低碳变革。

(2)可再生能源制氢、“煤制氢+CCUS”等技术将共同构成未来氢能供应体系。在多元化的供应格局中,哪种技术发展到什么程度,取决于各自的适用性、经济性、能源效率和环境效益。对于煤制氢而言,重点是研发CCUS技术来控制排放;对于可再生能源制氢而言,重点是创新商业模式来降成本;天然气制氢和甲醇制氢的发展将取决于SOFC、甲醇燃料电池等技术的进展;工业副产氢应该得到优先、高值化的利用。

(3)煤炭企业应以审慎而乐观的态度参与到氢能产业的发展浪潮之中。首先,做好氢能供应和需求的研判和对接。煤制氢项目投资强度高、产能规模大,在储运环节的技术和基础设施约束没有打破以及下游市场规模

有限的情况下，不应“一窝蜂”上马煤制氢项目；其次，做好 CCUS 等低碳技术的储备，降低应用 CCUS 技术的成本和能效损失。此外，还需探索污染物联合处理和利用商业模式，处理好煤制氢过程产生的高盐、酸性废水和废渣。

(4) 政府层面首先应明确氢能发展定位，形成清晰的战略导向，避免产业低水平、无序发展。其次应理清氢能管理体制，明确监管部门和管理流程。再次，可以以“政策红包”替代“现金红包”，通过加强能源、环境领域的监管，倒逼能源转型，为氢能打开终端应用市场，而非传统的财政补贴模式。

参考文献：

- [1] 国家统计局，中国统计年鉴 [M]. 北京：中国统计出版社，2018
- [2] BP世界能源统计年鉴 [EB/OL] <https://www.bp.com/content/dam/bp-country/zh-cn/Publications/2019SRbook.pdf>, 2019-7-30
- [3] 莫尼塔研究. 氢能在中国能源市场应用场景的社会和经济分析 [EB/OL] http://www.sohu.com/a/148643311_825427, 2017-6-14
- [4] hydrogen analysisresourcecenter [EB/OL] <https://h2tools.org/hyarc>, 2017
- [5] 中国汽车技术研究中心有限公司 中国氢能产业发展蓝皮书 [M] 北京：社会科学文献出版社，2018.

本篇内容来源于中国煤炭第45卷第10期2019年10月，本站想让更多人了解氢能，如有侵权，请联系我方删除。