

“双碳”目标下的氢能技术与经济性研究

帅林河 胡 君 娄 波 吴 清 (杭州鑫富科技有限公司, 浙江 杭州 311300)

摘 要: 能源是人类社会发展的重要物质基础,也是支撑经济社会发展和保障人民生活的重要物质基础。能源体系的优化,不仅对经济社会发展有重大意义,还对人类生存环境产生重大影响。因此,研究和实现能源体系优化是一项紧迫而重要的任务,我国将“双碳”目标作为未来经济社会发展的主要目标之一,其中将二氧化碳排放量目标定为到2030年、2060年分别降低到零排放和负排放。但是,能源转型的过程中不可避免地会产生二氧化碳排放,而传统化石能源在利用过程中会释放大量温室气体。所以能源体系的低碳转型需要同步研究如何减少温室气体排放和提高能源利用效率。

关键词: “双碳”目标; 氢能技术; 经济性

0 引言

随着世界各国对氢能发展关注度的提高,氢作为氢载体与载体材料作为氢气制取的原料之一,其在可再生能源制氢方面具有广阔的发展前景。但是从目前来看,其技术发展还处于初期阶段,面临着诸多挑战。因此需要不断加强研究力度和技术攻关,推动氢能可在再生能源制氢领域的商业化应用与可持续发展。

1 氢能利用的现状与潜力

随着我国经济社会的快速发展和科学技术的不断进步,能源体系低碳转型的需求日益迫切,而氢作为一种低碳清洁可再生能源,不仅可满足我国对化石能源的需求,还可有效解决大气污染问题。氢是一种重要的化工原料,在化工、医药、食品等行业有广泛应用,随着“双碳”目标的提出和实施,氢在能源领域的应用将面临更大挑战。我国对化石能源需求日益增长,而化石能源产量却日益减少,这导致我国对氢等化工原料需求增加,仍以煤炭、天然气等化石能源为主要能源来源。而这些化石能源在利用过程中会产生大量温室气体和污染物。所以需要寻找一种新的技术路线替代化石能源,以实现我国“双碳”目标。氢能利用技术主要分为直接氢能利用技术和间接氢能利用技术两大类,直接氢能利用技术主要包括氨合成、氨燃烧、氨氧化等,间接氢能利用技术主要包括电解水制氢、甲醇转化为烯烃和汽油等。现阶段我国还未实现规模化利用氢能技术。在间接氢能利用方面,虽然近年来也取得了一定进展,但总体来看仍处于研究和示范阶段直接氢能利用技术在未来将得到进一步发展和完善,并将在未来“双碳”目标下发挥重要作用。

2 氢能利用的关键技术与研究进展

当前,氢能利用技术主要有三,第一种是制氢技

术,通过与化石燃料反应生成氢气,第二种是制氢技术,通过与二氧化碳反应生成氢气,第三种是氨燃料电池技术,将氨作为燃料进行发电。这三种技术均可以实现电能向化学能的转化,但相应的催化剂、材料、工艺、系统等均存在一定的差别。其中制氢和氨燃料电池技术属于工业领域,需要解决的核心问题是氢气来源、催化剂和材料问题,而氨燃料电池则属于能源领域,需要解决的核心问题是催化剂、材料问题。从目前已有研究来看,制氢、氨燃料电池技术及相关配套材料和系统已逐渐成熟,但相关催化剂、材料等核心问题仍有待解决。

2.1 制氢

制氢是将电能转化为化学能,得到氢气,目前从化石燃料制氢是最常用的方式,包括煤气化、天然气重整、原油裂解制油等,也是目前主要的制氢方式。随着氢能利用技术的不断发展,未来将会有更多制氢方式被开发出来。与其他工业制氢技术相比,以氨作为原料来制备氢气在反应机理、催化剂设计和工艺流程等方面均存在一定的差异。因此相关研究中通常采用“热化学”方法进行反应动力学研究,并采用金属氧化物催化剂、金属或合金催化剂以及过渡金属氧化物等,实现从电能到化学能的高效转化。

2.2 氨气转化

氨是一种重要的化工原料,也是重要的燃料。氨既可作为化工产品进行生产,也可作为燃料被广泛使用,还可作为制备催化剂、助剂、添加剂等。由于氨的沸点较低,因此该过程采用高温高压进行操作。目前,工业上主要采用直接空气燃烧制氨的方法,也即通过空气燃烧将气态氮转化为氨气,在直接空气燃烧制氨法中,通常采用甲烷作为燃料,由于甲烷易被氧

化为甲烷气体,导致反应过程中产生的烟气含有大量有害气体,因此需要添加适当的催化剂以改善反应条件。并且由于甲烷本身具有易燃性,因此需要在反应器中添加一定的辅助燃料以保证安全生产。

2.3 制氨工艺成本对比

目前主要的氨能技术包括焦炉煤气氨合成、煤气化氨合成、天然气制氢、水蒸气直接合成氨、水煤气氨合成等。其中以焦炉煤气为原料的煤气化制氨和以天然气为原料的天然气制氢是目前氨能技术发展的主要方向,两种工艺均可以通过煤炭间接制氨,但成本存在较大差异。采用天然气为原料的天然气制氢制氨法,每千克氨的成本可高达2.5~3.5元,而采用焦炉煤气为原料的焦炉煤气制氢制氨法,每千克氨的成本仅为0.4~0.5元,不同制作工艺下其成本以及碳排放均有所不同。我国焦炉煤气制氨技术相对成熟,且我国具备充足的焦炉煤气资源和丰富的制氨技术资源,随着煤气化氨合成技术逐渐成熟、制氨成本逐渐降低,未来将是氨能技术发展的重点方向。

3 氨能在不同场景中的应用

目前,我国已经成功示范了多个大型氨能项目,包括山东国润化工有限公司(以下简称“国润化工”)、上海电气(集团)总公司(以下简称“上海电气”)、中国核工业集团有限公司(以下简称“中核集团”)的多个氨能源示范项目。并且还有其他一些项目也在示范运行中,如陕西省汉中市、浙江省温州市、辽宁省大连市、江苏省苏州市、山东省淄博市等地的多个大型氨能项目已经进入规划与建设阶段。在可再生能源制氢方面,氨水可以通过电解水制氢装置直接转化为氢气,国内开展了多种形式的氨水电解装置的示范运行工作,其中包括化学链式电解过程,直接合成氢气,氨水与天然气混合制氢,氨水与氢气混合制氢。化学链式电解技术能够直接将原料气转化为氢气,生产过程中无碳排放,但需要消耗大量的电力和电能,而且需要较高的操作成本,所以化学链式电解技术主要适合于大型工业制氢。在电解水制氢方面,已经成功示范了多个氨水与天然气混合制氢项目,但由于采用的是传统制氢工艺,还存在能耗高、运行成本高、氢气纯度低等问题。所以我国正在积极开展氨水与天然气混合制氢技术的开发与研究工作,包括了氢-氨混合制氢-碳捕集及封存-电解水制氢,氨-天然气混合制氢-碳捕集及封存-电解水制氢等。

4 氨能经济性分析

在各种氨能利用技术中,氨压缩技术的经济性最好。其次是氨燃烧技术,再是氨重整技术,最后是氨气重整技术。目前由于氨能利用效率的提升受到系统工艺、设备材料以及能量消耗等方面的限制,氨压缩技术是提高氨能利用效率的最有效途径。我国的工业生产过程中大多采用煤气净化工艺,煤气发生炉排出的烟气含有大量CO、CO₂和SO₂等有害气体,这些气体与氨反应产生高腐蚀性的硫酸雾或硫酸蒸汽。随着我国经济不断发展,工业生产规模不断扩大,以及天然气价格持续上涨,导致以煤为主的工业生产过程中产生了大量的二氧化硫、二氧化碳等有害气体和浓硫酸蒸汽。氨能利用效率提升后,可以通过氨气重整工艺进一步降低二氧化硫、二氧化碳等有害气体和浓硫酸蒸汽浓度,从而实现能源体系低碳化。

5 “双碳”目标下加强氨能技术应用的措施

5.1 加快推动大规模氨储能系统研发

我国积极发展可再生能源,但大规模的电力输出依赖于可再生能源发电的大规模消纳,而这有赖于大规模储能系统的发展。当前我国抽水蓄能占总储能装机规模的60%,而在新型电力系统中,对新型储能技术的需求更为迫切,抽水蓄能以其能量密度高、投资成本低等优势在电网调峰领域发挥了重要作用,但由于其受地形、地质条件、水库库容等限制,大规模抽水蓄能电站建设成本较高。因此氨作为一种具有更高能量密度和更好经济性的储能方式,成为未来最有可能成为大规模储能系统之一的新型储能方式。我国已初步开展了氨储能系统的研究工作,主要包括氨蒸汽压缩循环(AECO)、氨蒸汽低温膨胀循环(AESO)、氨蒸汽低温膨胀-压缩循环(AETO)缩-液化循环(AGRO)缩循环(AGRO+ECCL)缩-液化循环(AGRO+ECCL)等系统,但其规模和效率均有待提高。

5.2 推进氨能全产业链集成创新

为实现“双碳”目标,应充分发挥氨能技术优势,加强上下游技术耦合和协同创新,推进氨能全产业链集成创新,重点围绕氨能发电、氨储能、氨直接转化、氨储运、氨化工等领域开展技术攻关和示范工程建设,突破关键材料与装备的瓶颈,提升工业化能力和技术水平,推进氨能与现有能源网络深度融合,在氢能基地、化工基地等区域布局以氢为中心的氨能发电、氨储能设施,积极推动“制氢-储氢-用氢”一体化发展,加强国家间的联合研究与交流合作,在推动能源

转型、产业链延伸、新技术集成等方面开展联合攻关。还要加快国家层面氢能行业标准的制修订工作,建立完善行业标准体系,加强基础研究和共性关键技术研究,结合我国国情与国际标准研究制定高质量的技术规范,以推进氢能全产业链集成创新和产业化发展。

5.3 持续深化对氢能商业化应用的研究

在碳中和背景下,可再生能源发电装机容量持续快速增长,但由于其出力不稳定且存在间歇性,导致电网调峰难度大,发电成本较高。而且煤电机组灵活性改造和灵活性资源配置需求持续上升,因此在可再生能源大规模并网之前,需要利用工业副产氢或甲烷等可再生能源制氢技术将氢气制备成高附加值化学品和化学品。并且利用氨作为碳捕集、利用与封存技术(CCUS)中的碳源之一,对二氧化碳进行捕集与封存(CCUS)可以减少化石燃料的使用和二氧化碳的排放,也可实现能源的高效利用。但是由于氨的温室气体排放比天然气和液化石油气更低且在大气中的存留时间较长,在氨作为碳源替代天然气、液化石油气或煤制氢气作为碳源等方案中会带来一定的温室气体排放。这就需要通过进一步降低氨的使用来实现碳中和,而氨也可用于替代甲烷和氢作为燃料或化工原料,这些应用将会对氢能技术经济性产生重要影响。尽管氨作为一种重要的化学原料已有多年研究历史,但由于氨生产技术本身存在的诸多问题以及在实际应用过程中所面临的一系列挑战,目前仍缺乏对氨作为一种低碳技术进行全面而系统研究,所以还需要从科学理论、材料、工艺、设备及工程设计等多方面进行深入研究。

5.4 重视标准制定,强化政策引导

“双碳”目标下的氢能技术,一方面要依靠科技创新,另一方面还需要政策引导,鼓励更多企业加入氢能技术研发和应用,例如在产业政策方面,针对氢能技术发展需要的关键材料、核心设备、成套技术等产业布局,对氢能应用需要的相关标准制定工作,包括推动高纯氢气标准制定、制定工业氨合成标准、建立工业氨分离与回收标准等。通过财政支持、税收减免和金融优惠等方式,鼓励和引导企业参与氢能技术研发和应用,重视氢能技术的基础研究和应用基础研究,进一步加强基础性、前瞻性的技术研发工作,为实际工程应用奠定基础。充分发挥市场在资源配置中的决定性作用。积极开展市场化试点示范项目建设工作,在能源领域率先开展市场化改革试点示范工作,加快完善市场机制建设和健全配套政策体系。加快建

立健全相应的标准体系,我国目前在氢能技术标准方面存在空白,这就需要加快研究制定相应的标准规范,促进氢能技术标准体系建设,为行业发展提供支撑和保障。

未来几年将是我国电力工业快速发展的重要时期,从能源系统角度来看,氨能与太阳能、风能、水能等多种能源技术相结合,不仅可以作为电力系统中的储能介质和调节手段,还可以替代部分煤炭资源、提升电力系统效率。所以在未来较长一段时间内我国能源体系将发生重大变革,在构建以新能源为主体的新型电力系统的同时大力推进新型氢能发展。

6 总结

中国“双碳”目标的实现离不开能源体系的优化,而优化的过程必然伴随着能源技术的革新和能源体系的变革,以氨作为代表的可再生能源技术在能源体系中扮演着越来越重要的角色,如何实现可再生能源与传统化石能源之间的协同发展是目前需要解决的问题。通过本文研究分析,可以看出氨作为一种新型可再生能源技术,不仅可以为电力系统提供稳定可靠的替代电源,也可以提供高品质液体燃料。因此未来可以通过提高氨在可再生能源发电中的利用效率、推进氨在高品质液体燃料中的应用来实现碳减排和化石燃料替代。

参考文献:

- [1] 丁宁,陈千惠,刘丹禾等.制储氢技术经济性分析与前景展望[J].洁净煤技术,2023,29(10):126-144.
- [2] 罗志斌,孙潇,高啸天等.双碳背景下绿色氢能的应用场景及展望[J].南方能源建设,2023,10(03):47-54.
- [3] 李卫东,李逸龙,滕霖等.“双碳”目标下的氢能技术与经济性研究进展[J].化工进展,2023,42(12):6226-6238.
- [4] 王明华.不同应用场景下新能源制氢合成绿氢经济性分析[J].现代化工,2023(11):1-4+9.
- [5] 熊亚林,刘玮,高鹏博,等.“双碳”目标下氢能在我国合成氨行业的需求与减碳路径[J].储能科学与技术,2022,11(12):4048-4058.
- [6] 李育磊,刘玮,董斌琦,等.双碳目标下中国绿氢合成氨发展基础与路线[J].储能科学与技术,2022,11(9):9.
- [7] 王放放,于琳竹,李琦,等.“双碳”背景下燃煤电厂制氨与氨利用进展[J].化学通报,2023,86(3):323-332.