



中国石油化工股份有限公司

协办

研发绿氢全产业链关键技术 推进氢能多场景应用示范

上海发布《上海市科技支撑碳达峰碳中和实施方案》，提升可再生能源、氢能、传统能源高效清洁低碳利用、新型电力系统等关键核心技术创新能力

近日，上海市科学技术委员会、市发展改革委、市经济信息化委、市生态环境局、市住建委、市交通委6部门联合发布《上海市科技支撑碳达峰碳中和实施方案》(以下简称《方案》)。《方案》提出，到2025年，碳中和相关领域创新体系逐步形成，能源、工业、建筑、交通等重点行业和领域突破100项低碳关键核心技术，建成10个重大示范项目与工程，建设10个碳中和相关领域的重点实验室和5个绿色技术创新中心，助力产业新旧动能接续转换，支撑主要耗能产品和主要行业能效达到国际和国内先进水平。

在氢能利用方面，《方案》系统布局研发绿氢的全产业链关键技术和核心部件，推进氢能多场景应用示范和氢能产业高质量发展。

实施能源绿色低碳转型科技支撑行动

《方案》提出，充分发挥上海市能源科创资源和装备、产业优势，加强原创共性关键技术研究，着力推进能源绿色低碳转型，提升可再生能源、氢能、传统能源高效清洁低碳利用、新型电力系统等关键核心技术创新能力，支撑上海市清洁低碳安全高效的现代能源体系和新型电力系统的构建，实现不同能源品种间科学合理的互补、协调和替代。到2030年，大幅提升能源技术自主创新能力，带动化石能源有序替代，推动能源绿色低碳安全高效转型。

《方案》围绕氢能的制取、储运、加注与多元化利用，系统布局研发绿氢的全产业链关键技术和核心部件，推进氢能多场景应用示范和氢能产业高质量发展。

制氢方面，研究低成本高温固体氧化物电解制氢技术、可再生能源高效低成本制氢技术、高效制氢的新型催化剂和工艺系统、深远海风电耦合制氢技术、海上风电绿氢制备技术等。

储运氢方面，研发70兆帕及以上高效储氢技术及装备、基于轻质元素的高储氢新材料、氢储能关键装备和系统集成技术、大规模及长距离管道输氢技术、“光伏+氢储能”一体化技术，并探索灵便型固液储氢等新型氢储运技术。

用氢方面，研发氢能规模化应用的安全防护技术、富氢燃料发动机技术、高性能长寿命低成本氢燃料电池系统、天然气掺氢及终端应用技术、氢燃料电池分布式热电联供技术等，提高催化剂、质子交换膜、碳纸等关键材料的可靠性、稳定性和耐久性，掌握燃料电



近日，上海市奉贤区氢燃料电池公交车加氢站正式启动，这也是上海首座公交场站内的加氢站。奉贤氢燃料电池公交车也将正式投入运营。

池全链条关键核心技术，开展氢冶金、氢混燃气轮机、掺氢航空发动机、纯氢动力电池等前沿技术研究。

同时，《方案》提出，围绕清洁智慧火电、工业装备和工艺过程共性能效提升等方面研发一批关键技术，提升化石能源清洁低碳利用水平，推动上海市能效水平持续提升。灵活智慧火电：研发智能自适应火电深度调峰技术、650℃~700℃超超临界燃煤发电技术、高温亚临界综合升级改造技术、重型燃气轮机和高效燃气发动机关键装备、新型高效低碳循环发电系统、燃煤发电与储热耦合灵活运行技术、掺氢天然气/掺烧生物质等高效低碳工业锅炉技术、燃煤污染物低能耗深度控制技术等等。

在低碳/零碳钢铁方面。针对钢铁工业降污减碳需求，深入开展节能降碳和极致能效及钢铁流程再造等新技术研究，支撑上海市钢铁工业的低碳转型升级。研发富氢碳循环高炉冶炼技术、氢基直接还原技术、废钢电炉流程集成优化技术、近终形制造技术、高品质生态钢铁材料制备技术、钢—化一体化联产技术等。

实施城乡建设与交通低碳零碳科技攻关行动

针对城乡建设与交通领域绿色低碳转型需求，以脱碳减排和节能增效为重点，大力推

进低碳零碳技术研发，促进城乡建设节能减碳标准提升和全过程减碳，推动交通领域绿色化、电气化和智能化，支持新型基础设施低碳发展，进一步提升上海市城乡建设与交通领域绿色水平。到2030年，绿色低碳建筑技术创新研发和应用取得重要进展，打造一批近零能耗、零碳建筑创新示范，实现建筑用能结构更加优化、建筑节能水平大幅提升、可再生能源利用更加充分、能源利用效率达到国际先进水平；交通领域关键技术取得重大突破，新能源载运工具技术水平全面提升，纯电动乘用车平均电耗大幅下降，支撑交通单位周转量能耗强度持续下降。

《方案》提出，在低碳零碳交通方面，围绕超大城市新能源载运装备、绿色智慧交通和低碳交通基础设施，为上海市交通绿色低碳发展提供科技支撑。

新能源载运装备方面，研发高性能电动、氢燃料电池车辆等低碳能源驱动载运装备技术、重型陆路载运装备电气化/混合动力技术、大运量轨道交通关键技术、水运载运装备应用清洁能源动力技术、生物基航油/氢能航空器/电驱动航空器技术等。

实施低碳零碳技术示范行动

《方案》提出，鼓励重点区域开展碳达峰碳中和试点示范，支持推动碳达峰碳中和“一岛一企”试点示范，推进重点区域低碳转型示范

引领，建立不同类别的低碳零碳科技示范区，满足上海市不同区域对碳中和技术创新的差异化需求，打造一批各具特色的低碳零碳技术试点示范样本。

崇明世界级生态岛：集成示范新型电力及可再生能源利用关键技术、低碳零碳建筑和交通技术、新型二氧化碳捕集利用技术、固碳及生态碳汇增汇技术、低碳农业生产技术、农林废弃物碳资源高效高值利用技术等，推动构建绿色低碳循环发展经济体系，支撑崇明世界级生态岛走出一条资源利用高效、环境保护严格、脱碳成效显著的高质量发展道路，建设若干零碳氢能示范社区，建成碳达峰碳中和示范区。

宝武集团：推进宝武集团加快开展钢铁生产流程低碳转型，清洁能源替代、极致能效，探索开展富氢冶炼、二氧化碳资源化利用以及绿色低碳钢铁新材料等低碳前沿技术创新示范，支持宝武集团建设国家级低碳冶金技术创新中心、世界级氢能产业园，支撑宝武集团实现碳达峰碳中和。

上海化工区：加大副产氢利用，探索太阳能、风能等可再生能源电解制氢，集中示范多元化制氢技术，加快新能源材料以及二氧化碳资源化等技术的应用，推进低碳原料替代等流程再造技术示范，探索提高生物基、废物基原料比例，支持打造上海国际化工新材料创新中心，支撑建设“上海化工区绿色低碳示范园”。

重点区域：推动临港新片区可再生能源技术、氢能技术、低碳交通技术应用示范，深入推动低碳技术研发应用和新兴产业装备发展深度融合；在“五个新城”等重点区域集中示范可再生能源利用、公共建筑光储直柔系统、低碳智慧交通、低碳人居环境技术等，支撑重点区域低碳转型示范引领。

绿色智慧交通：研发交通自洽能源系统的多能变换与控制技术、交通物流陆海河结构优化关键技术、无人车/无人机智能低碳配送技术、智能轨道交通/智慧民航/智慧港口/智慧水运/数字航道等。

特色园区/零碳社区示范：支持集成各类创新要素，实施低碳技术重大项目和重点示范工程，探索低碳技术和管理政策协同创新，打造重点领域低碳零碳技术创新典范。支持重点园区实施循环化、低碳零碳化改造，开展跨行业绿色低碳技术耦合优化与集成应用，建设绿色低碳零碳循环工业园区、低碳氢能产业岛、零碳氢能生态岛；在有条件的地方开展零碳社区示范、低碳零碳新型基础设施示范。

资 讯

国家电投华中氢能产业基地一期明年投产

本报讯 近日，国家电投华中氢能产业基地的核心产线正在加快调试，今年底将陆续投产，一期项目争取明年全面投产。

2020年，国家电投集团氢能科技发展有限公司设立武汉绿动氢能能源技术有限公司(以下简称“武汉绿动”)，建设国家电投华中氢能产业基地。

据了解，国家电投华中氢能产业基地将分三期进行建设，总投资将超过70亿元。其中，一期项目(2020年~2024年)规划了氢能研发平台、质子交换膜、膜电极、水电解膜、双极板、万套电堆和万套燃料电池动力系统生产线。

经过两年多的建设，华中氢能产业基地年产30万平方米氢燃料电池质子交换膜生产线已建成投产。“我们还将陆续完成万套燃料电池动力系统产线、双极板产线、万套电堆及动力系统活化测试平台建设。”武汉绿动相关负责人介绍，目前基地一期主体工程已全部完工，今年底将陆续启动所有生产线建设。

武汉绿动相关负责人表示，随着国家电投华中氢能产业基地一期项目明年的全面投产，该基地将成为国内功能齐备、产业链完整的氢能产业园区。

中国石化首个兆瓦级可再生电力制氢项目核心设备完成吊装

本报讯 10月30日，中国石化首个兆瓦级可再生电力电解水制氢示范项目的核心设备、中国最大质子交换膜电解水制氢装置——质子交换膜电解水制氢装置完成吊装，这标志着该项目正式转入设备安装调试阶段。

就像发动机是汽车的核心部件一样，质子交换膜电解水制氢系统也是“绿电制氢”项目的核心设备。质子交换膜电解水技术被誉为制氢领域极具发展前景的电解水制氢技术之一。

外观看上去“平平无奇”的集装箱“暗藏玄机”。“质子交换膜电解水制氢系统采用集装箱式供货，制氢工艺柜、电源整流柜等配套系统高度集成在这两个集装箱内。”油气加工技术服务中心氢能源研究项目部经理王海宁表示。

据悉，该项目投产后，每天能生产超纯氢1.12吨，可加注60辆氢能公交车。氢气的质量能量密度大，是汽油3倍多，1公斤氢气可以让轿车跑100多公里。

国际汽车城加氢站开工仪式圆满举行

本报讯 近日，由上海电力股份有限公司、上海国际汽车城(集团)有限公司、上海舜华新能源系统有限公司参与投资并负责建设、运营的国际汽车城加氢站在上海市嘉定区举行开工仪式。

“国际汽车城加氢站的开建是今年工作的重中之重。”上海电力股份党委书记兼董事长林华指出，上海电力正积极布局氢能领域，高质量推进一系列氢能重点项目。

国际汽车城加氢站项目位于嘉定区，用地面积2832平方米，约合4.25亩。项目源于2010年上海世博会加氢站的迁建。基于嘉定区在燃料电池新能源汽车研发上的基础，上海市政府决定将世博会加氢站迁建至嘉定区。

国际汽车城加氢站项目建设规模为三级加氢站，设计日供氢能力1600Kg，其中35MPa日加氢量1065Kg，70MPa日加氢能力535Kg。站内储氢量1030Kg(固定330Kg，长管拖车700Kg)；设置3个加氢岛，2个卸车位；新建站房1845平方米，加氢罩棚70平方米。

2023年5月项目建成后，将为107辆氢燃料电池乘用车、71辆物流车或公交车提供加氢服务；通过氢能替代，年减排二氧化碳合计6150.2吨。国际汽车城加氢站的投建不仅将助力上海市氢燃料电池车辆的发展，也为实现“双碳”目标提供了强有力的抓手。

(本版图文除署名外均由中国产业发展促进会氢能分会提供)

钢铁企业发展氢能产业不能急也不能缓

□ 张建红

作为能源消费大户，钢铁行业是我国31个制造业门类中碳排放量最大的行业，其排放量约占全国排放总量的15%。氢冶金是当前全球钢铁行业技术研发的热点，尤其在欧洲，面临碳减排压力，欧洲钢铁企业纷纷将目光聚焦利用氢气作为还原剂，开发氢炼铁工艺技术，以期在钢铁生产中实现“气候中性”的目标。随着氢能价值的提高，国内越来越多的钢厂和独立焦化企业重新审视焦炉煤气价值，进行副产制氢。

炼焦副产氢减排效果较好

灰氢炼铁，理论上可减少碳排放27%。采用传统的高炉炼铁技术，吨铁碳排放量约1.35吨二氧化碳。煤热解炼焦产生焦炭、焦炉煤气、焦油、粗苯等产品，产生的焦炉煤气体积分数的60%左右为氢气，常用多级变压吸附工艺提取高纯度氢气。因此，炼焦过程能源消耗和碳排放需要按照相关国际标准在产品之间进行分配。在相关文献的数据基础上，对电力排放因子进行更新，煤热解制备1公斤氢气的碳排放量为5.48公斤，其中直接碳排放为3.05公斤，消耗电力、蒸汽、水产生的间接碳排放为2.43公斤。如采用管道输送，每标方氢气的耗电量不到0.1千瓦时，折合碳排放量0.058公斤。因此，煤热解制氢+管道输氢的碳排放量为5.54公斤二氧化碳/公斤氢气。

按照理想的状态，假设还原和加热铁矿石都采用焦炉煤气提取的灰氢，目前还原1吨铁矿石大约需要500标方~550标方氢气，加热需要500标方氢气，那么制备1吨直接还原铁需要约93.75公斤氢气，相应的碳排放量为519.38公斤二氧化碳。考虑到后续炼钢时还需要先将直接还原铁熔化，而熔化1吨直接还原铁又需要耗电700千瓦时~800千瓦时，相应会增加碳排放464.8公斤二氧化碳。那么，用灰氢制备1吨直接还原铁水，碳排放量约984.18公斤二氧化碳。

可见，制备相近品质的铁水，即使采用灰氢，理论上可降低高炉工序近27%的碳排放量。灰氢重卡，理论上可减少碳排放21%。常见的49吨柴油发动机车型百公里油耗在32升左右，1升柴油约为0.86公斤，而1吨柴油的碳足迹为3.82吨二氧化碳，那么百公里碳足迹为105公斤二氧化碳。

在相关文献的数据基础上，分别测算煤炭生产、煤炭运输、煤热解制氢(含变压吸附提氢)、氢气压缩、气氢拖车运输、氢气加注环节的碳排放量，折合1公斤氢气的碳排放量分别为1.65公斤、0.03公斤、5.48公斤、0.64公斤、0.46公斤、0公斤，即送到加氢站的灰氢的碳足迹为8.26公斤二氧化碳/公斤氢气。

随着氢燃料电池汽车的技术进步，车辆的综合氢耗水平有望逐步下降。根据我国节能与新能源汽车技术路线图，49吨载重量重卡的百公里氢耗将从目前的10公斤氢气分

别降至2025年的8公斤，2030年的7.5公斤。那么，重卡使用灰氢，当前100公里车程的碳足迹约82.64公斤二氧化碳。

可见，对于49吨载重量重卡，即使采用灰氢，理论上仍可降低单位车程的碳足迹近21%。

焦炉煤气制氢面临困境

一是技术尚不成熟。目前，全氢直接还原技术还存在诸多技术难题，而且经济上也难以承受。

二是灰氢的价格并不低。氢冶金方面，据测算，传统高炉的燃料成本不到1000元/吨，而采用焦炉煤气制氢后全氢气炼铁的燃料成本高达1400元/吨，短期内没有竞争力。重卡方面，49吨柴油发动机车型百公里油耗在32升左右，0号柴油价格不到8元/升，百公里油费约256元；据测算，焦炉煤气制氢的综合成本为9元~15元/公斤，在储运及加注环节，长管拖车气态储运成本约8元/公斤，加注成本约11元/公斤。在不考虑补贴的情况下，即使按照成本价算，氢能重卡百公里耗氢费用也要超过柴油重卡。据不完全统计，当前我国氢气终端销售价格为50元~80元/公斤，如按照市售氢价，百公里氢耗超过500元，远高于柴油重卡。

三是绿色度不够。目前，焦炉煤气制备氢气，碳足迹比“清洁氢”的碳足迹4.9公斤二氧化碳/公斤氢要高出不少。

四是焦炉煤气制氢受到炼焦产能减少的影响。“十四五”及未来一段时间焦化行业面临节能降碳压力和下游钢铁行业产量压减的影响，国内焦炭产量将进入平台区，焦炉煤气制氢将受到炼焦产能减少的影响。

钢企布局氢能应谋定而后动

“双碳”背景下，钢铁企业面临巨大的减排压力，同时也面临着绿色低碳转型的压力，应统筹好发展和减排的关系、短期目标和长期目标的关系。

加速布局加氢站和氢能重卡赛道。柴油车对环境的影响是长期存在的突出问题。一方面，服务自身物流运输。钢铁企业物流量大，每个钢厂都有大量汽油车和柴油车。另一方面，服务社会。在港口、码头、工业园区等区域，重型柴油车密集。钢铁企业可利用氢能资源优势，加快布局加氢站和氢能重卡，优先在物流园区、港口和港口城市开展“柴改氢”。

在技术尚不成熟的氢冶金赛道，结合自身资源禀赋条件和技术优势，加大研发投入，蓄势待发，不急于投资建设。预计2030年左右，可能会迎来高炉富氢碳循环技术改造的高峰期；对具备电力、煤炭资源优势的企业可先行先试开发气基竖炉工艺。未来，全氢冶金将迎来较大发展空间。

(作者系中国技术经济学会环境技术经济分会理事)