

样机近日完成满负荷运行试验

超导直流能源管道：既能输电又能送气

◎本报记者 瞿剑

“运行电压正负100千伏、运行电流1000安、液化天然气输送流量每分钟100升”，在位于河北霸州的国家电网有限公司特高压杆塔试验基地，由中国电力科学研究院有限公司牵头的世界首个电力与液化天然气(LNG)混输超导直流能源管道样机完成24小时满负荷运行试验。

“电力和LNG混输的工程化应用，技术上已经没有不可克服的障碍了。”8月6日，中国电力科学研究院储能与电工所(以下简称电科院储能所)超导室主任张宏杰表示。

他介绍，此前，电力和LNG混输技术研究尚处于概念设计阶段，仅提出了一些简单的结构设想，并未进行实质性的研究、试验。此次完成试验的混输能源管道研究属于前瞻性技术，依托国家重点研发计划项目具体实施，“其样机同时具备超导电缆输电与液化天然气输送两种功能。”张宏杰说。

把单一输气变成电气协同输送

什么是超导电缆输电？电力和LNG这两种完全不同形态的能源品种为什么要混输，又怎样实现混输？

“高温超导电缆具有载流大、损耗小等特点。”张宏杰解释，在相同电压等级下，超导电缆输电、通流能力和传输容量可以达到常规输电线

路的5—10倍，考虑低温制冷系统功耗后，系统总损耗仅为常规线路线损的1/3左右。

但是超导电缆正常工作，需要维持零下196摄氏度以下的低温环境(通常以液氮为常用制冷剂)，来保证超导导线处于超导临界转变温度以下，按照目前低温制冷机的性能，几公里就要有一座制冷站。

张宏杰介绍，超导电缆系统的基本结构是：电缆的外护套跟常规电缆的结构和功能一致；外护套内，是双层不锈钢材质的高真空绝热杜瓦管，液氮在杜瓦管道内流动，超导电缆芯浸泡在液氮中，低温制冷机作为系统辅机推动液氮循环并为整个系统提供制冷。

采用液氮冷却的高温超导电缆发展至今已有多20多年，世界上很多国家都开展了相关研究和工程示范。但由于目前超导材料价格仍然较高，制冷等辅机费用占比较大，一定程度上制约了这一技术实用化的进程。

电力与LNG混输，其实就是利用LNG输送时先对天然气进行超低温液化处理，输送管道环境低温且恒定的既有条件，把单一输气变成既输电又输气，是一举两得的好思路。

创造高温超导电缆运行的最高电压

2014年，在以“超导技术在未来电网中的应用”为主题的香山科学会议上，中国电科院名誉院长周孝信指出：“如果超导直流输电技术能够实现输送液氢或液化天然气与输送电力有机结



此前，电力和液化天然气混输技术研究尚处于概念设计阶段，并未进行实质性的研究、试验。此次完成试验的混输能源管道研究属于前瞻性技术，其样机同时具备超导电缆输电与液化天然气输送两种功能。

张宏杰

中国电力科学研究院储能与电工所超导室主任

合，那么将彻底改变我国未来能源与电力输送格局。”与会专家提出：“建议启动液化天然气温度的长距离超导能源管道示范工程项目，通过15—20年的努力，建成数百公里级的超导能源管道示范系统。围绕该项目，重点突破示范工程所涉及的关键科学技术问题，以点带面，促进我国超导技术在各个领域的应用发展。”

“电力天路”点亮雪域高原 西藏城乡告别用电难

新华社(记者刘洪明)近年来，西藏相继建成青藏、川藏、藏中、阿里联网工程4条“电力天路”，形成了西藏500千伏统一电网，主电网实现全区74个县(区)全覆盖，惠及近330万人。雪域高原昔日用电难、用电贵的问题，一去不复返。

“过去，全县就靠两个小型水电站供电，县城不时就会停电，我们烧柴油发电，但发电负荷太小，带不动电暖器，客人经常盖三层棉被御寒。而且柴油发电一天下来的油费就要1200元左右，是正常电费的3倍以上。”西藏日喀则市萨嘎县一家酒店的经理达娃普说，“去年阿里电力联网工程投运后，我们用上了稳定的大电网，每个房间都装了空调，住宿条件大为改善。”

相当长的一段时期，受地理条件等因素困扰，电力供应短缺问题是制约西藏经济社会发展的突出瓶颈。

和平解放前，西藏仅有一座供少数上层贵族享受的小电站。西藏和平解放后，国家高度重视高原人民的用电问题。1965年，被誉为“拉萨夜明珠”的纳金电站6台机组全部建成发电，不少拉萨居民结束了用松明子和酥油灯照明的历史，开启了社会主义新西藏电力工业起航之路。

此后，1985年西藏首条110千伏输电线路投运，20世纪90年代末拉萨与山南电网率先联网，

21世纪初藏中电网基本形成。特别是近十年来，西藏电网建设“蹄疾步稳”，从2010年青藏电力联网工程开工建设至今，10万余名电力建设者冒风雪、忍高反，在“世界屋脊”相继架起覆盖全区的“电力天路”，全区供电可靠率达99.33%。

主电网的升级跨越与迅猛发展，从根本上解决了西藏长期以来的缺电问题，带动家用电器进入西藏寻常百姓家，帮助广大农牧民实现了从“用上电”向“用好电”的生活品质改善，同时也为高原资源优势转化为经济优势奠定了基础，成为西藏高质量发展和乡村振兴的有力支撑。

近年来，西藏大数据储存、有色金属采选、绿色建筑等耗电量较大的产业快速发展。“十三五”期间，西藏电网用电量连年刷新历史纪录，年均增幅近20%；全社会用电量连续多年保持两位数增长，达到82.5亿千瓦时。

坐落于拉萨市高新区的西藏宁算科技集团有限公司，拥有西藏最大的云计算数据中心。企业占地面积64.5万平方米，总投资118亿元，可容纳7万个机柜。

公司负责人蒋宁说：“大数据产业的主要成本支出是电费，一般占到总支出的70%左右。如果没有西藏电力事业的飞速发展，我们企业用



日喀则市江当现代生态产业园内的50兆瓦光伏储能系统和太阳能光伏组件
新华社记者 张汝锋摄

就很难保障，公司也不可能发展壮大。”

国网西藏电力有限公司相关负责人表示，“十四五”时期，国家电网公司在西藏计划投资466亿元，进一步加强西藏与西南电网联网，积

国家重点研发计划项目“超导直流能源管道的基础研究”就是在此基础上，于2018年获批立项实施。经过近3年攻关，项目组构建了世界一流的超导直流能源管道技术研发和试验测试平台，并获得多项原创性成果。

电科院储能所副总工程师、该项目负责人丘明表示，项目组在LNG混合工质的固液相平衡及其传热、流动和绝缘特性方面，建立了适用于甲烷体系的固液相平衡模型，提出凝固点调控新方法，为电力、LNG高效输送提供了基础保障。

对能源管道而言，当出现网侧短路、电缆绝缘击穿、以及LNG泄漏等极端情况，如何确保能源管道安全可靠运行，是必须解决的问题，也是未来工程应用人们关注的重点。丘明说，研究人员提出了多种超导能源管道原理结构，并针对不同的结构和工作条件，开展了LNG混合工质的绝缘和安全特性研究，提出了安全应对和防御策略，确保超导能源管道的安全运行。

在本项目之前，国际上高温超导直流电缆的最高电压等级为韩国在济州岛完成的80千伏超导直流电缆，本项目超导直流能源管道使用的高温超导电缆系统运行电压为±100千伏，为国际最高。

天然气作为清洁能源近几年得到快速发展，作为一种全新的能源配置与输送方式，超导能源管道实现电力—液态燃料的一体化输送，综合能源输送效率高。“项目在新型电力系统(比如海上风电送出)、港口岸电等场景将有广泛的应用前景。”张宏杰如是说。

新看点

陕北至湖北特高压直流工程启动送电

新华社(记者刘羊肠 刘彤)记者从国家电网有限公司获悉，陕北至湖北±800千伏特高压直流工程8月6日启动送电。

陕北至湖北特高压直流工程起于陕西省榆林市，止于湖北省武汉市，途经陕西、山西、河南、湖北4省，线路全长1127公里。送端连接陕北能源基地和西北750千伏交流电网，受端接入湖北负荷中心和华中500千伏交流电网。工程总投资185亿元。

依托陕北至湖北特高压直流工程，国家电网推进±800千伏、输送容量800万千瓦的“双八百”特高压直流技术、设备和设计标准化，批量应用国产套管，带动了特高压直流全产业链国产化创新发展。

国网信通公司联合科研单位，推动低损耗光纤光缆的国产化研究及制造，在陕北—湖北特高压直流工程配套通信工程建设中，成功研发应用国产大有效面积OPGW(光纤复合架空地线)光缆，实现467公里无中继长距离传输的突破。

据介绍，陕北至湖北特高压直流工程将有力推动陕北能源基地集约化开发和电力大规模外送，保障湖北电力安全可靠供应，促进能源资源高效利用，降低湖北用能成本，促进陕北资源优势转化为经济优势。

1000吨/年介孔氧化铝生产项目即将达产

科技日报(记者张景阳 通讯员李宝乐)8月7日，记者从中氢能源科技发展(内蒙古)有限公司(以下简称中氢能源)获悉，该企业自主研发的国内首个1000吨/年介孔氧化铝生产项目即将达产。中氢能源总经理李秀刚介绍，项目建成后，可实现年产66万标准立方米氢气，日产氢气约2240标准立方米。

经过数十载的潜心研发，中氢能源科研团队成功研制出具有自主知识产权的活性固体氢材料介孔纳米三氧化二铝新技术。该项核心技术成功解决了氢气的存储和运输两大世界性难题。

在1000吨/年介孔氧化铝生产项目中，中氢能源采用铝氢能源概念，应用专利特殊工艺，通过独有的核心技术材料活性固体氢材料与纯水反应后，经冷却、干燥及分子筛过滤提纯，最终产出高纯氢气。

李秀刚介绍：“我们生产的介孔纳米三氧化二铝材料储氢量大，每克材料能储存1.2—1.5升氢气，性价比高。使用我们生产的材料制氢能够实现自我调节制氢成本，做到随产即用，制出的氢气纯度高达99.99%以上，无需二次纯化，能有效解决氢链下游使用成本问题。”

据悉，使用中氢能源的专利特殊工艺产出的介孔纳米三氧化二铝材料具有纯度高、比表面积大、反应活性高、平均粒度小、粒度分布范围窄等优势，在多相催化、分离提纯、药物存储与释放、传感器制造、膜材料应用、吸附作用(尾气治理、污水处理)和声学等诸多领域中有着广泛的应用前景。

红沿河核电站5号机组具备商运条件

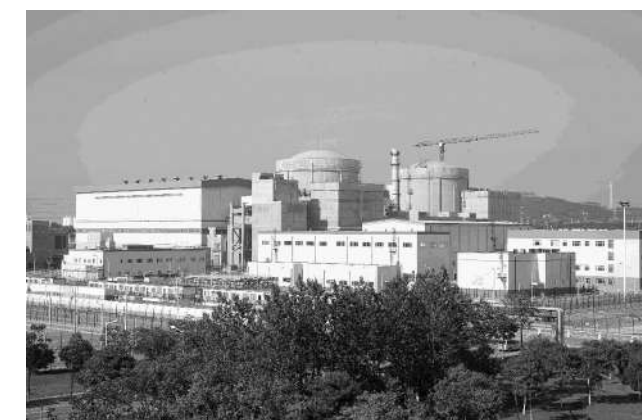
科技日报(记者刘传书)8月5日，记者从中国广核集团获悉，7月31日21时32分，辽宁红沿河核电站5号机组完成168小时试运行试验，正式具备商运条件。

作为我国东北第一个核电站以及最大的电力能源投资项目，红沿河核电站分为一、二期建设。一期工程四台机组于2016年建成投产，目前正在平稳发电。二期工程两台机组于2015年开工建设，目前5号机组具备商运条件，6号机组正在进行热态调试。

辽宁红沿河核电有限公司总经理廖伟明表示，在工程建设中，红沿河核电始终坚持安全第一、质量第一、追求卓越的原则，持续提升国产化水平。5号机组全面实施了非能动高位冷却水源、二次侧临时补水、移动式应急电源等36项技术改进，具备三代核电主要技术特征，安全水平进一步提高。同时使用国产核电站数字化控制系统——和陆系统，拓展了国产设备在关键技术领域的应用。

高效的安全、质量管控为红沿河核电站5号机组高质量投产创造了良好条件。自开工以来，5号机组建设一直保持零重伤、零火灾等工业安全“七个零”，连续4年获得核电工程安质环标准化及国际标杆评估“双八级”，在行业内处于领先水平。

核电因绿色、零碳优势，是我国实施低碳转型、提升能源安全水平的重要战略选项，红沿河核电站5号机组商运将进一步优化东北地区电力结构，提高清洁能源比重。根据测算，红沿河核电站5台机组投产，年上网电量可达375亿度，环保效益相当于等效减少标煤消耗约1130万吨，减排二氧化碳约3120万吨，综合温室气体减排等效于8.4万公顷森林吸收量，为助力国家“3060”碳达峰、碳中和目标贡献力量。



辽宁红沿河核电站5、6号机组
高元勋摄

只要保持通风，就不会发生燃烧爆炸

铅炭电池：储能新秀主打“安全牌”

◎本报记者 李禾

近日，位于澳大利亚维多利亚州的特斯拉Megapack储能电站发生爆炸，引起火灾。据了解，该储能项目是全球最大的电池储能项目之一，发生事故的设施为重达13吨的锂电池。而

今年4月，北京南四环的一处锂电池储能电站也发生了爆炸事故。

过去几年，在各路资本的加持下，储能市场逐渐升温，但与之相关的安全性问题也逐步暴露。据不完全统计，过去3年间，全球范围内的储能项目发生爆炸和火灾事故共计20余起。面对这种情况，人们不禁要问，有没有既可以保证能量存储，又可以确保安全的储能之道呢？

电化学储能或将成主流新型储能技术

中关村储能产业技术联盟发布的《储能产业研究白皮书2021》显示，截至2020年底，我国已投运储能项目累计装机规模35.6GW，占全球市场总规模的18.6%，同比增长9.8%。其中，抽水蓄能的累计装机规模最大，为31.79GW，同比增长4.9%；电化学储能累计装机规模位列第二，为3269.2MW，同比增长91.2%；在各类电化学储能技术中，锂离子电池的累计装机规模最大，为2902.4MW。

目前，储能行业仍处于多种储能技术路线并存阶段，铅酸电池和锂电池都属于电化学储能，抽水蓄能依然是当前装机最多的主流储能技术。“从储能技术发展和商业化应用看，抽水蓄能会受水资源分布的限制，而电化学储能受约束条件少、建设周期短、应用场景广泛，‘十四五’期间，主流新型储能技术是电化学储能。”天能集团智慧能源研究院院长郝三存说。

铅炭电池是储能电池的又一发展方向

对于全球屡次发生的锂电池储能电站安全事故，全国人大代表、天能集团董事长张天任认为，主要原因在于锂电池的热失控。而锂电池热失控则可能是由于电池电芯本身缺陷或电池管理系统等设备的安全、质量、设置问题导致的。

“铅酸电池是非常成熟的电池技术，在可靠性和稳定性方面，是其他电池技术不能比拟的。电池的电解液是水基体系，热失控和燃烧爆炸的概率很小。”郝三存说，以现有的全自动回收产线为例，铅酸电池回收利用率可达99%以上。除铅以外，电池的塑料部分可做成再生塑料颗粒，硫酸也可循环再利用。

现在铅酸电池还有了“升级版”。

2020年，天能集团完成了国家电网双城(金陵变)12MW/24MWh铅炭储能项目，这是浙江省乃至全国首座超大型铅炭储能电站项目。在这之前，中国科学院大连化学物理研究所(以下简称大连化物所)李先锋、张华民研究员带领团队研制的百千瓦时级(100kWh)铅炭电池储能系统，已经在大连化物所星海二站园区成功并网运行。

铅炭电池技术是一种新型电化学储能技术，从本质上来说，是对铅酸电池配方的优化。“铅炭电池是在铅酸电池的负极中加入碳材料制成的电池。”张华民介绍，碳是非常神奇的元素，拥有的化合物种类最丰富，它的加入，使铅炭电池在保留铅酸电池原有功率密度的基础上，充放电性能得到大幅改善。而且铅炭电池和铅酸电池一

样，基本可实现100%回收，是目前相对经济可行的电力储能技术路线之一。由于铅炭电池的电解液是硫酸水溶液，只要保持通风，就不会发生燃烧爆炸，安全性好。“今后随着技术的不断成熟，铅炭电池在储能领域将占据越来越大的市场份额。”张华民说。

相关链接

铅炭电池已被用于多个国内储能示范项目

电池技术是制约储能产业发展的关键。张华民认为，凭借充电接受能力强、安全可靠、制造成本低等优势，在可再生能源广泛利用和储能市场规模不断扩大的背景下，铅炭电池将成为继锂离子电池、液流电池之后，储能电池的又一发展方向。

张华民介绍，我国从事铅炭电池研究开发与生产的企业主要有南都电源、圣阳电源、天能电池、超威集团、双登集团等。

南都电源研发的铅炭电池产品目前已被应用在多个国内储能示范项目中，如浙江舟山福山岛风光储能电站、新疆吐鲁番新能源城市微电网示范工程、南方电网光储一体化柴能电站、无锡新加坡工业园智能配网储能电站、浙江鹿西岛4MWh储能项目等，运行状况平稳。

除了储能，铅炭电池也应用在了新能源汽车上。由于可以在车辆加速和制动期间快速输出、输入电荷，铅炭电池特别适合于汽车启停系统。



视觉中国供图