

“双碳”路上 武汉如何向地下发力

在碳达峰、碳中和目标引领下,武汉科研力量在“双碳”科技重点领域持续发力,破解氢能存储与碳减排痛点。地下分布式储氢项目启动建设,开创我国城市地下储氢规划应用先河;历经10万公里踏勘选址,鄂尔多斯碳捕集、利用与封存(CCUS)项目10年无异常,湖北封存资源当量可达数十亿吨级,江汉盆地迎来新机遇。

地下储氢 随取随用

长江日报记者金涛 宋磊 龚萍 通讯员拜俊岑

日前,武汉市科技成果转化项目——地下分布式储氢装置研发应用示范基地项目(以下简称地下分布式储氢项目),在宝武清能白玉山加氢站启动建设。这是武汉首个地下储氢项目,同时成为氢能技术研发的重要科研示范基地。

节省地面空间: 钢管容器直插地下100米

氢能是一种零碳能源,是国际公认的最清洁的能源,也是未来我国能源体系的重要组成部分。

以往,城市储氢全靠地面上的钢质罐,这些“大家伙”不仅造价高,占用公共空间,还面临风吹日晒、人为碰撞等复杂环境,存在安全隐患。

“这就是我们要破解的痛点!”项目牵头单位、中冶武勘工程技术有限公司副总工程师丁洪元走到施工示意图前,手指氢能全产业链流程图告诉长江日报记者,“氢能制、储、加、用四大环节,储是最卡脖子的。不向地下要空间,氢能很难真正普及。”

“挺进地下,用足空间”。中冶武勘工程技术有限公司研发工程师杨光煜兴奋地向记者介绍。现场的施工示意图上,3口成果转化井如同3支巨型试管,将垂直插入100米深的地层。“每口井占地不到1平方米,比地面储罐大大节省空间。”他说,这种设计不仅降低了施工难度,还能像搭积木一样,以单井为单位按需扩容。

记者在现场看到,原先的储氢装置是6个横向固定的柱状钢瓶及移动式长管拖车,可储存约500公斤氢气。而新建成的5口地下储氢井中,3口成果转化井将在45兆帕的压力下,储存500公斤氢气。另外两口研发试验井,将作为技术迭代的“试验场”,为后续深度研发提供支撑。

罐体内穿“铠甲”: 锁住氢气逃逸“无门”

在现场的展示区,一个缩小版储氢装置吸引了众人目光。这根“钢棒”状罐体,首尾安装着封口、封底装置,连接上输入、输出管道。

地下储氢,难点并不在于将钢瓶埋入地下。项目技术总顾问、中国科学院院士、深地储能战略科学家、中国科学院武汉岩土力学研究所研究员杨春和指出,技术难点集中于氢脆防控与长期密封性保障。

氢脆现象会导致金属材料塑性和韧性显著下降,从而在内部产生微小裂纹甚至断裂,引发漏气风险。

2022年起,在武汉市科技创新局指导与支持下,中冶武勘联合中国科学院武汉岩土力学研究所、武汉科技大学组建创新联合体,开启了多次试验,成功研发出一种新型高强度抗氢脆金属材料,如同在容器内装上防护“铠甲”。

“没有现成经验,每一步都得从头摸索。”杨春和回忆,在研发关键期,创新联合体针对地下储氢容器材料、成型工艺进行了大量研究、测试,团队人员几乎夜以继日。

氢气是自然界中分子量最小的物质,具有极强的穿透性,极易逃逸。为此,研发人员动了不少脑筋。

“让储氢井‘长’出神经,能自己感知异常状况。”杨光煜解释,地下分布式储氢井将布设多种传感器,通过智慧管控平台实时监控,漏气、震动等异常状况可自动报警,及时提示工作人员排查处理。此外,储氢井采用特殊气密螺纹设计,氢气“逃逸”无门。

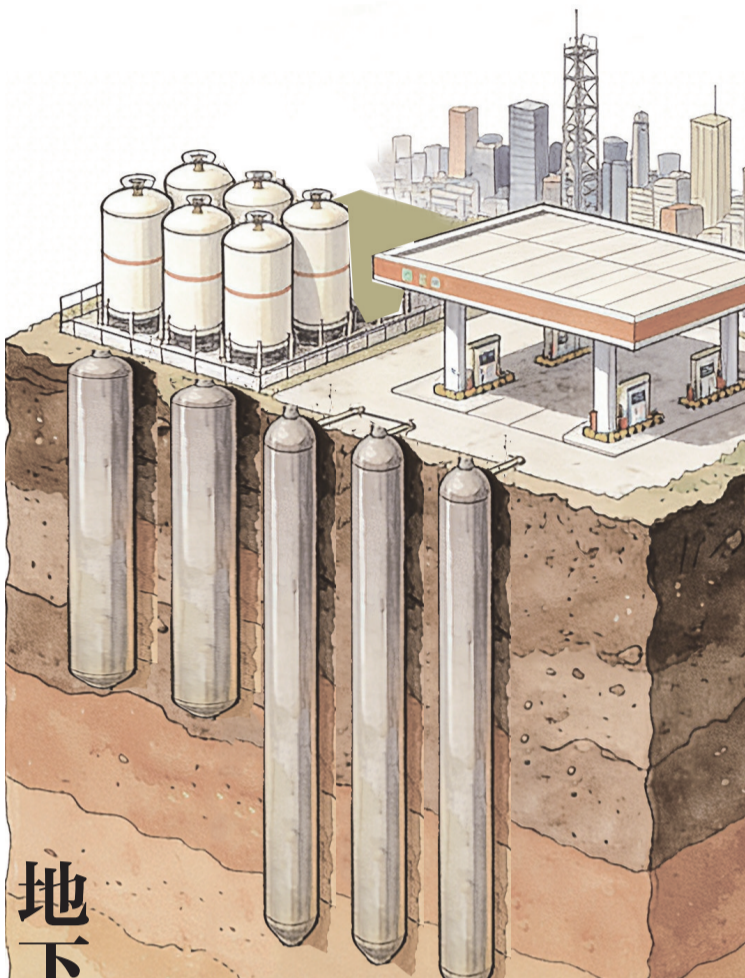
扩容便捷高效: 像加内存条一样拼接

“该项目最大的创新亮点在于模块化设计。”杨春和指出,储氢装置构造、材质、安装正逐渐形成统一标准,让城市地下储氢设施建设如同拼接模块一样便捷高效。

“今后,加氢站扩容如同电脑加装内存条一样方便。”杨光煜介绍,模块化设计支持随时施工、按需扩容,加氢站无需停运。

“以后不用总是担心氢气不够用了!”白玉山加氢站负责人晏翔脸上满是欣慰。现在站内储氢量有限,地上储罐只能当临时中转,日常加氢得频繁调配气源。“有了这个地下‘粮仓’,相当于有了稳定的气源,心里踏实多了!”

据悉,项目计划2026年11月建成投用。未来,这里将成为地下分布式储氢示范基地,对接周边武钢等企业制氢产业,利用研发试验井不断拓展应用场景,让地下储氢使用范围由交通拓展到冶金、化工等多个领域。



地下100米

H₂

地下储氢

●单井占地不足1平方米,垂直利用地下100米地层,不占用地面公共资源。武汉地下分布式储氢项目中,3口成果转化井在同等压力下,可储存500公斤氢气,另外还有两口研发试验井可为后续技术的深度研发与迭代升级提供试验支撑

●地下封闭环境更稳定。新型高强度抗氢脆金属材料+气密螺纹设计,防容器开裂、氢气逃逸;储氢井布设多种传感器,智能监控异常并报警,保障长期密封性

●钢管状构造、模块化设计降低建设成本;“地下氢仓”减少气源调配频次,运营效率提升

●分布式设计,支持模块化按需扩容,如同“加装内存条”,可随时施工,无需停运。还可向地下纵向延伸,扩容空间更大

专家说

开创城市地下储氢 规模化应用先河

“安全、灵活、低成本的存储,是氢能产业发展的迫切需求。”宝武清能能源有限公司高级副总裁魏春奇坦言,储氢短板曾严重制约氢能产业布局,“该项目落地,正是破解行业痛点的关键一步。”

中国科学院武汉分院分党组书记、院长李海波对项目充满期待,“当前氢能产业正迎来政策、技术、市场三重叠加的黄金期,这个分布式储氢领域的重要突破,将成为我国氢能研发自主化的试金石。”

“今后,加氢站会像加气站、加油站一样普及、好用。”中国工程院院士、深地储能战略科学家、中国科学院武汉岩土力学研究所研究员杨春和看好项目前景。他指出,“分布式”打破储氢传统思维,单个储氢单元可“以小聚多”,按需构建储氢项目,相比建造大型加氢站,施工更灵活、安全性更高、建设成本更低。

杨春和表示,此次武汉建设地下分布式储氢项目,开创了我国城市地下储氢的规模化应用的先河。目前大规模储氢是世界性难题,各国基本处于同一起跑线,以加氢站为突破口制定规则和标准,将有力推动氢能资源推广应用。

本版制图 陈昌

地下存碳 永久封存

长江日报记者杨佳峰 通讯员段金利

“10年了,没有任何异常!”日前,内蒙古鄂尔多斯市60公里外的一处林草地,鄂尔多斯煤制油分公司碳封存首席专家王永胜站在一处特殊的“地下填埋场”上,向长江日报记者介绍,他的脚下1700米至2495米地层深处,30.26万吨二氧化碳已被安全封存了10年。

鄂尔多斯CCUS项目是我国首个二氧化碳捕集、利用与封存示范项目,由中国科学院武汉岩土力学研究所团队提供全程技术支持。该项目的成功实践,为我国碳减排提供了有效解决方案。

10年零异常: 30万吨二氧化碳“地下安居”

记者在现场看到,3个银色缓冲罐在“填埋场”上高高竖起,一口注入井和两口监测井被2米多高的红色阀门密封,注入井口被100米长的水泥柱加固封住。“封存点建有监测站,设备每天实时传回数据,3万多个日夜从未中断,确保地下封存的二氧化碳始终处于安全状态。”王永胜说。

该项目于2011年5月启动注入,2015年4月完成封存,二氧化碳封存总量达30.26万吨,扩散半径仅有500米左右。“当第一辆槽罐车运来的25吨二氧化碳注入地下时,我手心满是汗水,生怕泄漏。”项目负责人、中国科学院武汉岩土力学研究所研究员魏宁说,二氧化碳刚注入地下时处于超临界状态,随着时间的推移,封存的二氧化碳将逐步溶解并矿化,最终与地质体融为一体,实现永久“封存”。

作为项目实施单位,鄂尔多斯煤制油分公司将生产中产生的二氧化碳灌装后运至封存点,每吨封存成本约240元,若扩大规模可降至每吨150元。

该项目的成功实践,为我国碳减排提供了有效解决方案。目前,陕西、山西、甘肃、宁夏和新疆等地均开展了相关测试和示范工程建设,其中陕西省榆林地区CCUS项目已规划至400万吨级。

10万公里踏勘: 为碳封存觅得“理想藏所”

安全封存的首要任务是找到合适的地质构造。魏宁介绍,团队历时10年行程10万公里,于2009年在离鄂尔多斯煤制油分公司10多公里外终于找到了理想的二氧化碳“填埋场”。

理想的“填埋场”需具备良好的注入性能与持久的密封能力。“我们要避开易泄漏的地质构造,优先选择泥岩、页岩等低渗透性岩石作为盖层,这些地质构造的破裂压力可达数兆帕甚至更高,能牢牢锁住二氧化碳。”魏宁介绍,鄂尔多斯盆地一两千米深处地层稳定,深部多套咸水层形成类似油气藏的储盖体系,是理想的“填埋场”。

团队勘查发现,鄂尔多斯盆地周边电厂、化工厂密集,加之宁夏宁东、甘肃陇东等区域均具备适宜封存条件,预计2030年该区域碳地质封存能力将突破千万吨大关。

全链条管控: 捕集是关键安全是底线

选址确定后,便可开展碳捕集工作。鄂尔多斯CCUS项目采用低温胺洗工艺,在氢气生产过程中将混合气体中的二氧化碳分离出来;捕集到的二氧化碳需经过一系列净化处理,去除水、硫、氮及有机物等杂质,使其纯度达到99.9%;经螺杆泵加压后,将高纯度二氧化碳在-20℃和12.2兆帕的压力下压缩成液态,再通过专用低温槽罐车运输至封存点。

封存期间实时监测同样重要。魏宁介绍,项目早期建立地下、地表、空中立体监测网络,现在还建立了监测3井,能够全天候监测地下水、气体流体以及地下温度和压力的变化,实现风险早发现、早处理。

江汉盆地新机遇: 具备数十亿吨封存潜力

到2030年,我国需减排约2亿吨二氧化碳,强制性碳减排市场潜力巨大。中国科学院武汉岩土力学研究所地质碳储与工程安全研究中心(以下简称碳储中心)主任李琦介绍,东部地区用电需求大,而适合二氧化碳地质封存的场地多在“三北”地区,这种空间错配成为行业发展瓶颈。

2005年以来,碳储中心团队历时20年,在湖北、内蒙古、山西等多地开发了适配不同区域特点的二氧化碳封存与处置技术,并已开展相关测试和示范工程建设。

“系统评估显示,江汉盆地具备优良的二氧化碳地质封存条件,湖北碳封存资源当量可达数十亿吨级。”碳储中心副主任张力介绍,目前二氧化碳地质封存项目正在全国多地油田推进,湖北凭借江汉盆地丰富的油田资源、荆州荆门等地发达的化工产业、潜江天门仙桃一带丰富的地下空间资源,展现出独特的封存优势。

什么是 二氧化碳地质封存

通过工程技术手段将捕集的二氧化碳注入深部地质储层,实现二氧化碳与大气长期隔绝的过程

封存原理

封存在地下的二氧化碳将逐步溶解并矿化,最终与地质体融为一体,实现永久“封存”

封存步骤

●选址:深部多套咸水层封存条件优良,其储盖体系与油气藏类似,以超低渗透的泥岩或蒸发岩作为盖层,这类地质构造破裂压力可达数兆帕甚至更高,能有效防止封存的二氧化碳向上渗漏

●分离:在氢气生产过程中将混合气体中的二氧化碳分离出来

●净化:捕集的二氧化碳需净化处理,去除水、硫、氮及有机物等杂质,使其纯度达到99.9%

●压缩:通过螺杆泵加压,将高纯度二氧化碳在-20℃和2.2兆帕的压力条件下压缩成液态

●注入:通过专用低温槽罐车运送到封存地点,将二氧化碳注入地下1700米至2495米深的多套咸水层中

●监测:运用多尺度监测技术进行持续跟踪,即便出现微量泄漏也能做到早发现早处理,将风险控制最低水平

地下1700米

CO₂

专家说

碳减排与原油增产 两不误

我国原油对外依存度较高,煤制油技术可以助力摆脱这一不利局面,但煤化工过程中会产生大量二氧化碳。中国科学院武汉岩土力学研究所研究员魏宁介绍,鄂尔多斯CCUS项目恰好解决了这一痛点,为煤化工行业减排指明了新路径,也为其他高碳行业转型提供了技术参考。

近年来,国内外涌现出一些新型封存技术,如矿井封存、玄武岩封存等技术,但这些技术尚处于理论研究阶段,未形成工业化应用。

魏宁表示,在二氧化碳地质封存技术链条上,他们研究团队已掌握大部分关键技术,包括油气田地质利用与封存技术。通过改造枯竭油气田老井注入二氧化碳的方法,既实现封存又提高原油采收率。

魏宁透露,我国碳排放源主要集中在东部和南部沿海地区,未来部分碳排放物需通过国家管网输送至“三北”地区封存。这些管网很可能经过江汉—洞庭盆地,这为湖北提供了打造中转枢纽的机遇。武汉地区科研院所密集,可形成产学研协同创新体系,加之武汉的碳资产与交易市场优势,湖北有望在全国CCUS产业链中占据重要席位。