

“中油工研”封隔器：为盐穴储能装上“中国芯”

中国石油集团工程研究院推动大尺寸压气储能完井封隔器实现国产化自主可控

张恒 付盼 李珊

向地下空间要能源，是“双碳”目标下我国能源结构转型的重要探索。当盐穴压缩空气储能从示范工程走向产业化应用，大尺寸井筒、高压氧腐蚀、高频注采的极端工况成为储能井建设的“拦路虎”。中国石油集团工程研究院有限公司自主研发的“中油工研”凌珑系列盐穴压缩空气储能大尺寸完井封隔器，在江苏金坛、淮安等国内重点项目成功应用，标志着我国在盐穴储能完井核心装备领域实现从“跟跑”到“领跑”的历史性跨越。

随着国内江苏淮安2×300兆瓦、金坛2×350兆瓦等大型盐穴储能项目加速落地，储能井建设的工程难题日益凸显。完井封隔器作为储能井井筒密封的“心脏”，承担着隔绝上部套管与高压空气、盐穴卤水接触的关键使命，其性能优劣关乎整个储能工程的建设质量与运行安全。

向难攻坚：直面盐穴储能完井三大技术壁垒
盐穴压缩空气储能井的独特工况，对完井

封隔器提出了远超传统油气井装备的严苛要求，国内外均无成熟稳定的适配产品，研发国产化大尺寸完井封隔器，成为支撑盐穴储能地下工程高质量建设和产业化突破的关键。

一是大尺寸盐穴井筒适配难题。盐穴储能为满足大排量注采需求，普遍采用13-3/8英寸、18-5/8英寸等大尺寸井身结构，常规封隔器结构设计、尺寸规格、坐封方式等均无法适配。此外，施工过程中盐腔高矿化度卤水易结晶结垢，干扰正常封隔器坐封与密封，需同步解决防结晶、防结垢问题。

二是高压氧腐蚀耐受难题。盐穴储能井运行中，封隔器长期处于28兆帕高压含氧环境，盐腔湿环境与高矿化度卤水形成“高压氧+高氯”极端腐蚀体系，对封隔器材质耐腐蚀性提出严苛要求。需优选适配该环境的专用材质，提升封隔器抗腐蚀性，确保其长期服役的结构完整性与密封可靠性。

三是大流量高频注采稳定性难题。储能井承担电力系统调峰任务，每日需完成多次注采

循环，注采流量高达25—50万方/小时，频繁注采产生的强烈交变载荷与注采振动易导致封隔器出现密封失效、坐封不稳等问题，需优化结构设计，提升抗交变载荷、抗振动能力。

破壁创新：全链条技术突破铸就国产硬核装备
中国石油集团工程研究院组建专项研发团队，摒弃传统油气封隔器的改良思路，立足盐穴储能井独特工况，经过2年持续攻关，成功研发出13-3/8×10-3/4英寸、18-5/8×13-3/8英寸两种成熟型号封隔器，构建起完全自主可控的技术体系。

材质创新筑牢安全根基。研发团队系统开展多种材质在高压含氧、高氯腐蚀环境下的测试，建立腐蚀选材图版，适配多种盐穴储能工况；同时优化橡胶配方、硫化工艺与密封件组合设计，大幅提升气密封能力，杜绝密封失效隐患。

结构创新破解尺寸难题。创新可切割解封结构，突破大吨位坐挂卡瓦与锁紧、窄环空多级压缩等关键技术，产品通过第三方实验室API Spec

11D1-2021 V1等级认证，其中13-3/8×10-3/4英寸型号成为国内首套该尺寸通过V1测试的产品，填补了国内该尺寸产品的技术空白。

工艺创新保障施工稳定。针对盐穴井筒易结晶结垢等痛点，设计坐封保护机构，制定防结晶防垢循环措施；配套研发专用投球工具和坐封工具，制定标准化施工规程，简化操作并确保坐封精准，保障封隔器可靠坐封。

测试创新守住质量底线。搭建全性能测试系统，可完成35兆帕压力、200吨坐封力和40—80℃温度循环测试，模拟井下环境对封隔器进行全性能检测。截至2025年，该成果已获国际发明专利1件、国家发明专利3件。

赋能未来：以国产装备支撑新型储能产业化发展

真正的技术创新，必须经得起工程现场的严苛考验。“中油工研”凌珑系列封隔器从实验室走向工程现场，在江苏金坛、淮安等重点项目中完成了从示范应用到规模推广的跨越，彰显国产装备硬核实力。

2024年12月，该系列封隔器在江苏淮安



2×300兆瓦储能电站XX-1井首次应用，验证测试压力降为0兆帕，标志着我国大尺寸盐穴储能完井封隔器实现工程化突破。截至2026年3月，该封隔器已累计应用十余口井，成为国内盐穴储能完井领域主导产品。

业内专家表示，“中油工研”凌珑系列封隔器的成功研发与规模化应用，铸就了盐穴储能完井核心装备自主可控的基石，为新型储能产业化发展提供了坚实支撑，具有深远价值。目前，基于该成果形成的产品及工艺技术已指导国内近80%的盐穴储能库建设，中国石油集团工程研究院也成为国内盐穴压缩空气储能地下工程市场的重要推动者。据预测，未来2—3年，国内盐穴储能装机规模将超4060兆瓦，该成果将为新型电力系统构建和“双碳”目标实现提供重要支撑。

中国油气实验技术迈上国际标准舞台

中国石油西南油气田公司勘研院主导制定ISO标准实现重大突破

王丽 赵丹 张灯 万莹

近日，由中国石油西南油气田公司勘探开发研究院主导制定的ISO 24833:2026《天然气上游领域——饱和溶解度测定元素溶解度》正式发布，标志着我国在高含硫天然气勘探开发实验领域实现了从技术跟随到标准引领的关键跨越，中国油气实验技术正式登上国际标准舞台。

我国高含硫天然气资源丰富，开采潜力巨大，但其安全清洁高效开发一直是世界级难题。构建“精准测定、安全可控”的

实验技术与配套装置，正是破解这一难题的核心关键。中国石油西南油气田公司勘探开发研究院聚力攻坚，自主研发出一套适配储层岩石至集输管线全流程工况的实验装置。该装置已获3件国际发明专利授权，可稳定应对200℃高温、100MPa高压的高含硫复杂环境，从硬件层面彻底突破全流程工况下测定操作的安全可控难题。

在方法创新方面，该技术集成热传导流量计量、二硫化碳循环回注、微动态压差控制三大核心系统，建立起基于饱和溶解度的元素溶解度测定核心方法，形成了可复制、可推广的标准化技术路径。这一方法不仅成功支撑含硫气田开发动态预警模型的搭建，还实现了储层岩石到集输管线全局约束下的储层伤害与产能评价。目前，该技术已在四川盆地罗家寨、铁山坪等高含硫气田开发中应用见效，通过优化温压参数调控，有效降低硫沉积风险，提升气井产能与管道运行安全性，为高含硫气田勘探开发技术体系筑牢根基。

这项技术突破不仅实现测定精度提升，更打通了从实验室数据到现场应用的转化通道。依托该国际标准，可建立含硫气田开发动态预警模型，精准预测硫沉积趋势，在储层、井筒、地面集输全流程约束下开展储层伤害分析与产能评价，为开发方案优化提供关键数据支撑，将实验能力转化为保障开发安全、提升资源效率、支撑产业决策的核心能力，为全球高含硫气

田开发提供中国方案。

油气勘探开发领域国际长标准由欧美主导，中国技术走向国际需突破技术认同、规则适配、国际沟通等多重壁垒。为推动这项成熟技术成为国际标准，中国石油西南油气田公司勘研院项目团队全面研究ISO标准制定规则，主动对接ISO/TC 193/SC 3天然气技术委员会，系统介绍中国方法在高含硫气藏安全开发、绿色低碳等方面的独特价值。

在标准推进过程中，项目团队面向全球多国开展技术交流，先后与十余个国家的行业专家展开多轮研讨，方法比选与意见协商。针对不同国家的地质条件、设备条件与开发需求，团队逐一回应技术疑问，优化标准文本细节，兼顾全球适用性与操作规范性，以开放态度凝聚国际共识。

经过多轮跨国沟通、专家论证与文本完善，该标准提案在15个成员国投票中一票通过，成功吸引6个国家的专家共同参与制定。得益于技术成熟度与全球认可度，标准草案跳过国际标准最终草案(FDIS)阶段直接获准发布，整体制定周期较常规流程缩短一年，成为国际社会对中国技术与标准质量的高度认可。

ISO 24833:2026的发布，不仅是一项



实验方法升级为国际标准，更是我国能源科技创新、产业协同与国际标准化能力的集中体现。从自主技术到国际标准，中国能源科技工作者正从国际规则的参与者，成长为重要建设者与贡献者。

目前，中国石油西南油气田公司勘研院已布局多项油气勘探开发国际标准研究，两项页岩气气性评价标准入选中国石油国际标准培育项目，即将启动ISO立项投票。

业内专家表示，在保障国家能源安全、推动行业高质量发展的征程上，这一国际标准的诞生，是中国能源科技从“解决难题”到“定义标准”的重要标志，也是中国油气行业从参与全球市场到参与全球规则塑造的生动实践。未来，随着更多中国技术、中国方法、中国标准走向世界，我国在全球能源治理与产业规则体系中的话语权将持续增强。

北斗织密大坝安全“防护网”

中国电建华东院推出大坝安全实时监测与应急远程控制系统

刘秋华 尚剑涛 蔡培培

在我国水电机规模持续攀升、能源结构加快绿色转型的背景下，大坝等重大基础设施的安全运行正面临更加复杂的自然环境与运行条件挑战。特别是在高山峡谷、偏远地区和极端气候频发区域，传统依赖人工巡检和单一通信链路的传统管理模式，已难以满足“全天候、全要素、可应急”的现代工程安全需求。如何借助自主可控的时空信息技术，构建更具韧性的安全监测与应急控制体系，成为电力工程领域亟待破解的重要课题。

在此背景下，中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司(以下简称“华东院”)围绕大坝安全运行关键环节，持续推进北斗技术在工程领域的深度应用，其“基于北斗的大坝安全实时监测与应急远程控制系统”，以“能用、管用、好用”为目标，正在加快走向水电站等关键基础设施现场，为重大工程安全运行提供更加可靠的科技支撑。

从“看得见”到“控得住”：把监测链路延伸到应急处置

水电大坝安全关乎人民生命财产安全与能源安全。研究报告显示，截至2024年底，我国已建水电总装机容量达4.36亿千瓦，水电在能源结构中占据重要地位，同时极端天气与地震、泥石流等灾害频发，对大坝安全运行提出更高要求。

现实中，偏远地区水电站常依赖光纤通信与集控中心连接，但光纤在灾害中易受损，一旦中断，站点可能陷入“孤岛”状态，调度侧



难以及时掌握设备状态、下达控制指令。研究报告以四川甘孜州乡城县古瓦水电站为例指出，该站原通过光纤与40公里外集控中心连接，但地震、洪水、泥石流等灾害可能造成线路中断，通信受阻会显著抬升运行风险。

针对“断网断电、无人值守、信号盲区”等痛点，华东院提出以北斗三号星座构建“从‘监’到‘控’的北斗安全网络”，在传统通信或供电失效时，依然能够实现关键设备远程控制与大坝安全实时监测。

科技创新直指行业痛点：构建大坝安全“监测—控制—保障”闭环体系

围绕大坝安全运行中的监测不连续、通信易中断、应急处置响应慢等行业共性难题，该系统构建起以北斗为核心的两张关键网络：一张是北斗高精度安全监测网，另一张是北斗短报文应急控制网，通过协同运行，实现大坝安全“实时监测、可靠控制、持续保障”的闭环管理。

在监测层面，系统依托自主研发的北斗高精度安全监测接收机及解算算法，实现毫米级位移形变监测能力，可在复杂地形和高

库大坝环境下稳定运行，为坝体安全状态研判和趋势分析提供高精度数据支撑。在应急控制层面，系统创新采用工业以太网与北斗短报文相结合的混合控制架构，即便在断电、断网或无人值守等极端条件下，仍可保持基本控制能力。在信息安全方面，系统针对工程应急场景需求，构建了基于北斗短报文的加密传输机制，对核心控制数据进行压缩与加密处理，提升数据传输的安全性和可靠性。目前，该项目已形成涵盖发明专利、实用新型专利和软件著作权在内的多项自主知识产权成果，为后续规模化应用和行业推广奠定了坚实基础。

“工程现场说话”：在古瓦、龙滩等水电站验证成效

科技创新最终要经受工程现场检验。研究报告指出，该系统已在古瓦、龙滩水电站等工程成功应用，有效提升水电站安全管理水平。对偏远山区站点而言，北斗短报文应急控制网在通信中断场景下提供一条“保底通道”；对大坝与库区地灾隐患点而言，高精度安全监测网可实现更高频、更稳定的形变数据获取，为趋势分析与预警决策提供可追溯的数据底座。

值得关注的是，项目的工程设计并非“单点技术堆叠”，而是围绕水电站真实运行条件进行系统级融合：既考虑北斗短报文低带宽、高延迟的通信特性，也通过软硬件接口、专用协议与闭环检测等机制，提高控制命令执行的确定性与可诊断性，降低应急处置作

的不确定风险。

面向更大规模应用：以科技守护重大工程安全底线

随着我国水电工程布局不断向高山峡谷和偏远地区延伸，大坝安全已不仅是单一工程的运行问题，更直接关系到流域防洪安全、区域能源保障和人民群众生命财产安全。在极端天气增多、地质灾害频发的现实背景下，如何在关键时刻“看得清、控得住、应得快”，成为摆在工程技术人员和管理部门面前的重要课题。

对华东院而言，依托电力工程北斗时空智能装备浙江省工程研究中心，基于北斗的大坝安全实时监测与应急远程控制系统，正是面向这一公共安全需求而设计的。通过在传统通信和供电条件受限的情况下，依然保持对关键设备和核心工况的感知与控制能力，该系统为偏远地区水电站在极端条件下的安全运行提供了一条可靠的技术保障路径。这种“兜底式”的安全能力建设，有助于降低突发事件对工程运行和下游区域造成的潜在风险，为防灾减灾和应急处置赢得宝贵时间。

从“通信一断就失控”到“极端条件仍可可控管”，从“人工巡检”到“毫米级自动化监测”，华东院基于北斗的大坝安全实时监测与应急远程控制系统正在把北斗的时空能力转化为电力工程的安全能力。随着更多的验证与推广，这张以北斗织就的安全“防护网”，有望在更广泛范围内为国家重大工程的韧性运行提供新的技术支持。

法治宣传进校园 安全守护伴成长

河南商丘南站派出所开展安全教育日主题活动

张建华

每年3月最后一周的星期一，是全国中小学生安全教育日。今年，商丘南站派出所积极响应安全教育宣传号召，落实校园安全防护工作，组织民警走进梁庄小学，开展以“爱路护路守平安，法治护航助成长”为主题的法治安全宣传活动，为全校师生带来一堂干货满满、生动实用的安全知识课。

活动现场，民警结合中小学生的年龄特点和认知规律，摒弃枯燥的理论讲解，综合运用案例剖析、互动问答、现场科普、发放宣传手册等多种形式，将铁路“爱路护路”知识与校园安全知识深度融合，让安全理念真正入脑入心。

在铁路“爱路护路”宣传环节，民警重点围绕铁路安全核心知识展开讲解，详细解读《铁路安全管理条例》相关内容，用通俗易懂的语言向同学们讲述攀爬铁路防护栅栏、在铁轨上坐卧玩耍、向列车投掷石块、在铁路沿线放风筝等危险行为的严重危害，清晰告知同学们这些行为不仅危及自身生命安全，还会影响铁路列车正常运行，甚至触犯法律。通过真实的铁路安全案例，民警让同学们直观感受到铁路安全的重要性，引导大家树立“爱路、护路、守路”的意识，争做“铁路安全小卫士”，主动远离铁路沿线危险区域，积极向身边人传播爱路护路知识。

针对校园安全，民警聚焦同学们日常学习生活中的常见安全问题，开展全方位科普。重点讲解了防范校园欺凌、交通安全、消防安全、防溺水、防拐骗、自我防护等核心内容，并教导同学们在遇到校园欺凌时要及时向老师、家长求助，不隐忍、不冲动；在上下学途中遵守交通规则，不盲目横穿马路、不追逐打闹；掌握基本的火灾逃生技巧，远离易燃易爆物品；提高防拐骗警惕性，不轻易相信陌生人、不随意跟陌生人离开。同时，民警还普及了基础法律常识，让同学们明白法律的威严，学会用法律武器保护自身合法权益，树立正确的法治观念。

宣讲过程中，民警与同学们积极互动，对大家提出的安全问题耐心解答。同学们踊跃举手发言，现场氛围热烈而有序。民警还为同学们发放了“爱路护路”及校园安全主题宣传手册和文具礼品，鼓励大家将学到的安全知识牢记于心，传递给家人和朋友，实现“教育一个学生，带动一个家庭，影响整个社会”的宣传效果。

商丘南站派出所相关负责人表示，此次法治宣传进校园活动，进一步强化了梁庄小学全体学生的法治意识和安全防范能力，让铁路爱路护路理念和校园安全常识深深扎根在孩子们心中，也搭建起了警校联动护平安的坚实桥梁。下一步，商丘南站派出所将持续以全国中小学生安全教育日等重要节点为契机，常态化开展法治安全进校园活动，不断创新宣传形式、丰富宣传内容，全力守护中小学生学习健康成长，为平安校园、平安铁路建设筑牢安全防线。

