

# 研发筑基,实践赋能 中国石油QC小组以卓越质量管理铸就国际金奖

郭举 姚伟 梁陇霞

在近日举行的第50届国际质量管理小组会议(ICQCC)上,中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司(以下简称“长庆井下公司”)“降低二氧化碳液量超耗率”QC小组凭借卓越的质量改进成果,荣获国际金奖。这一荣誉的背后,是企业以质量管理为核心驱动、以科技创新为坚实支撑的系统实践成果。

在复杂多变的油气勘探环境中,质量不仅关乎产量与效益,更关乎安全与环保。长庆井下公司始终将“以质为本、安全为先、绿色为要”作为压裂施工管理的根本准则,通过构建全流程质量控制体系,从液态二氧化碳的储运到压裂现场的能效监控,实现了“过程受控、风险可控、结果优控”的闭环管理。正是这种对质量的极致追求,使二氧化碳压裂技术在确保安全与环保双重目标的同时,达成了国际领先的节能降耗效果。

此次QC成果荣获国际金奖,不仅彰显了团队在质量改进与持续优化方面的专业能力,更代表着中国石油在推动绿色低碳、高质量发展的道路上实现了又一次重要突破。科研创新与质量实践的双向奔赴,正在让二氧化碳压裂技术从“实验室成果”走向“行业标杆”,以卓越质量铸就可持续

发展的坚实基石。

## 科研筑基:多维突破构筑技术支撑体系

近年来,公司围绕二氧化碳压裂技术在实际应用中的关键难点与发展瓶颈,系统布局,构建起覆盖机理研究、装备研发、材料创新与工艺优化的全链条研发体系,为QC小组的现场技术攻关提供了扎实的资源和能力保障。

在基础理论研究方面,公司联合多家科研单位,聚焦页岩油、煤层气等不同储层特性,开展了“页岩油立体井网CO<sub>2</sub>增能压裂空间应力场重构研究”“深层煤层气CO<sub>2</sub>压裂增产机理研究”等4项重点课题攻关,系统揭示了二氧化碳从地面到井下全流程中的相态变化规律,明确了压力、温度等因素对气化损耗的影响机制,为QC小组现场精准控耗提供了关键理论支撑。

在装备及材料方面,公司自主研发了八类核心装置,包括电驱增压泵橇、可视化实验评价装置及二氧化碳回收装置等。其中,二氧化碳电驱增压泵橇集成全装置远程操控、自动液面调节、一键启停及一键紧急截止等核心功能,安全性能实现大幅跃升;二氧化碳精确定量装置实现了误差不超过1%的高精度监测,从源头上解决了液量管控难题。

在工艺体系方面,公司通过十项在研与新立项目,逐步形成前

置二氧化碳压裂、二氧化碳泡沫压裂、二氧化碳干法加砂压裂等系列工艺方案,还建立了完善的安全操作与联合作业规范。这一成熟可靠的工艺平台,为QC小组开展现场试验提供了有力支撑,而小组所优化的“憋压法冷泵”“集中排液”等工艺,也进一步丰富了现有技术体系。

## 实践回馈:QC攻坚激活技术转化效能

依托扎实的科研积累,QC小组精准聚焦现场实际问题,不仅显著降低了液量超耗率,还通过重点井施工突破、标准体系构建与专利成果产出,全面释放了技术创新的现场价值。

在核心指标方面,小组针对冷泵损耗占总损耗67.8%的关键症结,结合科研团队提供的压力场数据,创新推出“憋压法冷泵流程”,将排液时间从12分钟降至2.8分钟;通过优化泄压油嘴孔径(从8mm升级至44.45mm)与主管线排液工艺,使排出端压力稳定在1.5—2.2MPa最优区间,最终将二氧化碳液量超耗率从20.4%降至9.7%。

基于二氧化碳压裂领域的技术积淀与QC成果的实践赋能,公司在多口重点井中接连创下行业新纪录。如股份公司重点井霍\*\*井在深层煤岩气领域实现二氧化碳泡沫压裂单段加砂规模和泡沫质量比等多项指标突破;长庆油田



重点双\*\*井在减水压裂规模与单

系统支持。

在成果产出与行业认可方面,近两年公司在二氧化碳压裂领域共取得26项专利,覆盖工艺、实验方法与装备等多个维度。公司凭借稳定的降耗表现、显著的增产效果与标准化施工质量,获得长庆、延长、西南、新疆等多家油田单位的感谢信,成为公司在油气开发领域的一张“技术名片”。

从实验室的理论探索到油田一线的参数优化,从科研团队的持续输出到QC小组的实践反馈,从重点井的屡破纪录到标准体系的不断完善,川庆钻探在二氧化碳压裂领域逐步形成了“研发—应用—迭代—推广”的良性发展闭环。这场科研创新和质量提升的“双向奔赴”,不仅铸就了今天的国际金奖,也将持续推动绿色压裂技术迭代升级,为中国油气行业绿色低碳发展注入持久动能。

# 硬核科技:中国电建成都院核心装备获国家级认可

李奉霖 赵小平 陈满

近日,国务院国资委发布《中央企业科技创新成果推荐目录(2024年版)》。该目录共涵盖7大领域、263项创新成果。由中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司(以下简称“中国电建成都院”)研发的“CKY-4000全液压多角度定向岩心钻机”,作为高端装备领域的代表性成果成功入选,标志着在地下工程勘探装备领域取得重要突破。

## 技术跨越:CKY-4000 打造4000米级深地勘探利器

CKY-4000钻机是国务院国资委重点支持的“流域梯级清洁能源开发原创技术策源地”的重大成果,具备全液压驱动、长行程钻探、大扭矩输出、多角度定向、造斜连续取心及智能化控制等核心功能,推动工程钻探从“常规”迈向“智能”,最大钻进深度达4000米级。

该设备已成功应用于某重大水电工程前期勘察,完成多个超千米定向孔,并首次实现大曲率(50°/500m)超深定向钻孔连续取心,展现出卓越的作业稳定性、轨迹控制精度与复杂地质适应性。在有效支撑重大工程安全高效建设的同时,提升了我国复杂条件下的深地勘察及工程建设能力。

时代使命:向地球深部进军,破解勘探四大难题

随着“交通强国”“能源强

国”“国家水网”等国家战略深入推进,深埋隧道、水电能源开发、深部资源勘探等工程逐渐向千米级深部延伸。尽管石油行业采用先进的定向钻探技术,已可钻探至万米深度,但不同于资源勘探的目标层提钻取心,工程勘探往往需要连续取心实现精准勘察。加之深部地质环境普遍具有“三高”特点——高地应力、高地温、高水压,现有勘探装备难以应对多重挑战:

一是极端地质复杂多变,深部岩体力学行为与浅部差异显著,尤其是在地形条件复杂和气候条件恶劣的西部深山峡谷地区;

二是轨迹控制精度不足,曲线钻进依赖特殊钻具组合实现轨迹调整,在深部复杂地质条件下,钻进过程的“不可预见性”强,现有曲线钻进技术动态适应能力不足,难以精准穿越目标层位;

三是造斜连续取心困难,单一取心或造斜功能无法满足深部重大工程的勘察需求,亟需发展集造斜、连续取心及参数探测于一体的新型技术体系;

四是随钻信息获取缺乏,复杂地质工况下的导向控制与作业安全,高度依赖钻进过程中对深部地质信息的实时获取与响应能力,现有装备缺乏高效的随钻实时感知与智能决策支持。

## 核心突破:实现控制、造斜、取心三位一体

CKY-4000钻机以解决曲线钻进和连续取心两大“卡脖子”核心难题为主要目标,采取“钻机突破—钻具创新—智能决策”的递进式攻关路径,实现了多项关键技术突破:

全液压多角度定向岩心钻机:支持φ75mm口径、4000米级深孔作业,最大扭矩达10000N·m,具备复杂轨迹动态生成与实时修正能力;

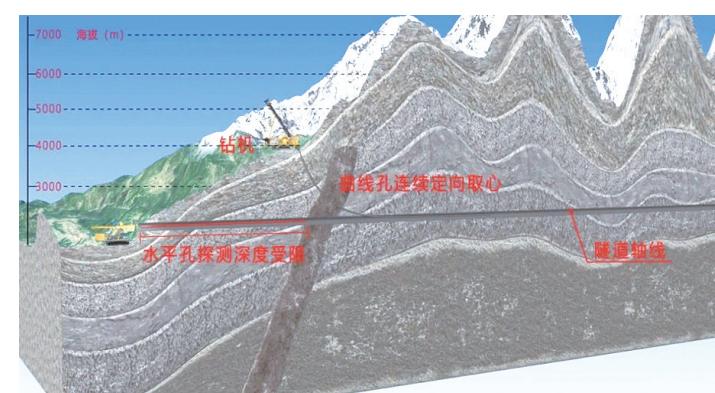
水平绳索随钻定向钻具组合:配套开发的绳索定向输送机构、水平绳索取心随钻测斜器与水平孔变径定向钻具,克服了传统测斜仪在水平孔中卡埋、下入困难等问题,解决了水平定向钻进变径时轨迹偏离问题,实现了超长水平定向钻进精准轨迹控制;

造斜连续取心钻具组合:配套研发的导向连续取心钻头与柔性导向取心钻具,国内外首次实现1°/10m定向造斜与绳索连续取心同步作业;

智能控制系统:依托嵌入式传感器网络实时采集钻探参数,建立云端数据融合分析系统,构建“感知—分析—决策”一体化智能钻探平台,实现远程监控并辅助工艺决策。

工程价值:推动深部地质从“黑箱推测”迈向“透明可知”

超深定向钻探不仅是装备能



高原重大水电工程定向钻探示意图

力的体现,更是深部工程安全建设的前置保障。CKY-4000通过曲线钻进突破空间限制、连续取心获取完整岩心、随钻感知实时反馈地质信息,将深部地质环境从“黑箱状态”转变为“透明可知”,为工程设计、灾害防控与智慧运维提供重要基础数据支撑。

## 擘画蓝图:入选行业十大装备,铸就深地开发“中国钥匙”

目前,CKY-4000已入选工程建设行业“十大先进工程装备”,其前序型号CKY-3000则在2024年获评四川省首台套设备,成果经多名院士专家鉴定,达到国际领先水平。该设备不仅适用于水电能源开发,还在深埋隧道、深地空间开发、深地资源勘探等领域具有重要推广应用价值。

在“向地球深部进军”的战略指引下,CKY-4000钻机的成功研制,是中国工程勘探装备从“跟

跑”到“并跑”乃至“领跑”的重要一步。它以毫米级轨迹精度和千米级穿透能力,着力树立深部工程勘探领域的“中国标准”。

未来,随着智能化控制、高精度传感、轻量化钻具等技术的进一步发展,我国深部地下工程装备将朝着全流程自动化、决策智能化、信息一体化方向持续跃进。中国电建成都院作为水电技术引领者和高原重大工程科技攻关主力,将基于地下工程领域的深厚技术积淀,整合优质资源,加强集成创新,以突破性重磅成果助力打造深地开发的“中国钥匙”;以张世殊总经理为牵头人的深地空间科研团队,也将以服务国家重大需求为己任,加强核心技术攻关,着力破解行业“卡脖子”难题,在推动行业技术进步中,为助力形成全球深地开发“中国方案”贡献智慧与力量。