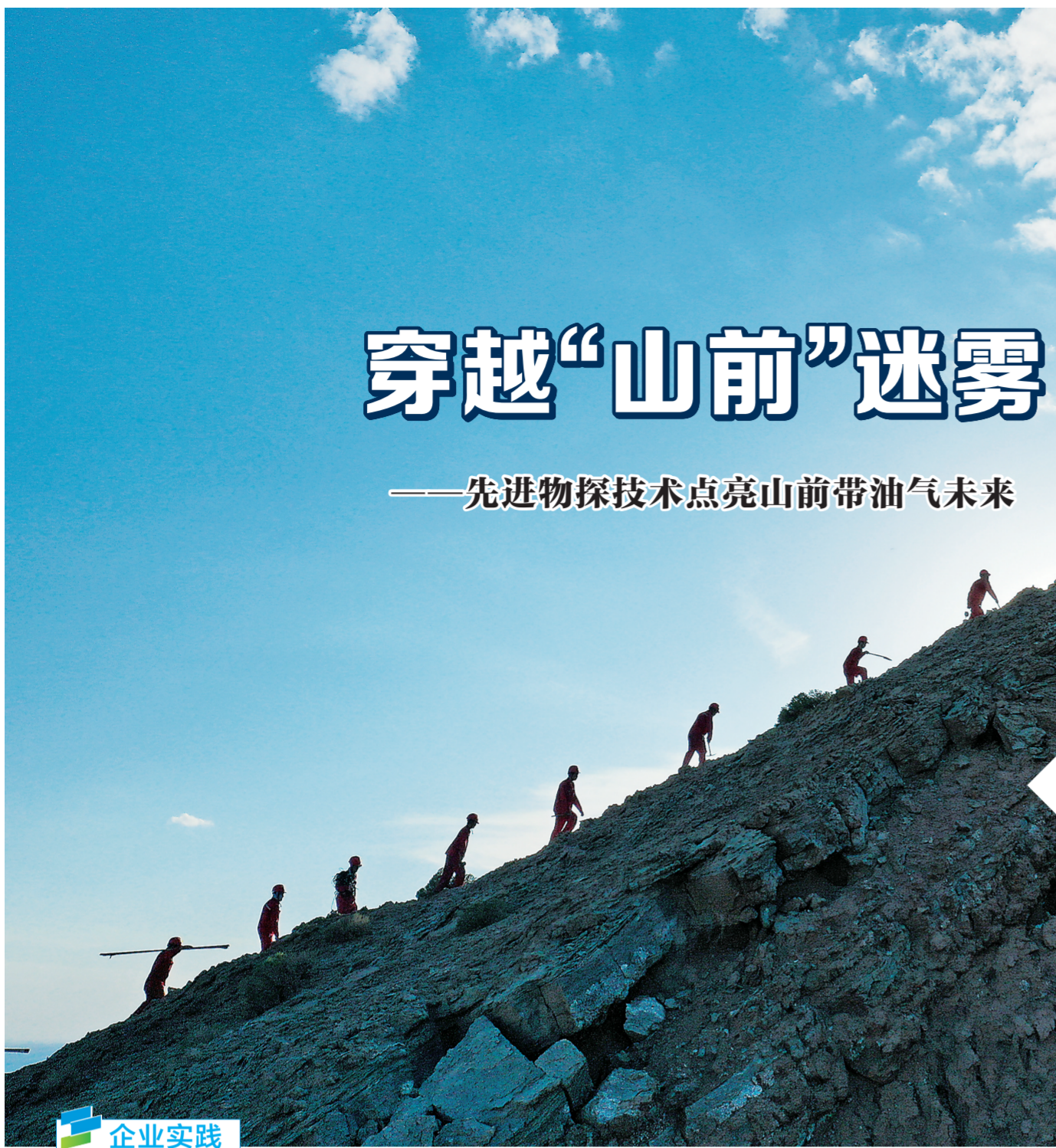


# 穿越“山前”迷雾

——先进物探技术点亮山前带油气未来



企业实践

## 专家观点

石油物探技术研究院高级专家 姚晓龙

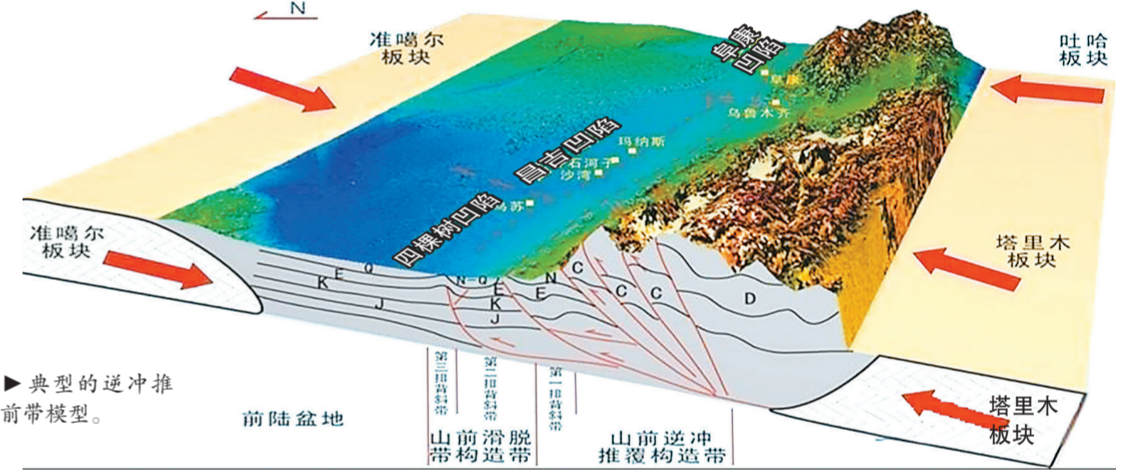
当前,随着油气勘探开发不断深入,全球油气勘探的焦点正逐步移向山前带这一片资源丰富又挑战巨大的“蓝海”,山前带油气勘探正日益成为全球油气行业技术比拼的前沿阵地。

然而,山前带复杂的地表条件给勘探带来了巨大挑战:一是地形复杂,地质构造多变,地震波在传播过程中受到诸多干扰,信号衰减严重,导致成像清晰度不足,难以准确揭示地下的真实结构;二是山前带油气藏类型多样、分布零散,且多隐藏于地层深处的缝隙之中,与周围岩层紧密结合,要精确锁定油气藏的位置,无异于大海捞针。

山前带油气勘探开发面临巨大的技术和商业风险,必须充分发挥物探先行的优势,不仅要“看得见”,而且要“看得清”,绘制钻井采油精准“寻宝图”。

### 锻造物探利器,破解山前带勘探难题

精准勘探,技术引领。聚焦山前带油气勘探的诸多难点,石油物探技术研究院(简称:物探院)联合高校、油田企业积极打造产学研用联合攻关团队,深入开展采集、处理、解释一体化和地质、物探、工程一体化攻关,着重围绕精准获取全地下信息数据、准确恢复复杂地表结构、精准预测地下油气储集区等三大地震勘探主要环节发力,努力打造山前带油气勘探的撒手锏。



典型的逆冲推覆山前带模型。

第一,做实复杂山前带地震采集技术体系,铸造基础支撑利器。山前带要想取得突破,离不开高品质的地震数据做基础。针对山前带地震成像技术需求,物探院提出了基于“一个核心、两个分区、三个面向”的山前带地震采集方案,以满足深度域地震成像精度为核心,通过高密度地震采集技术、面向噪声压制、面向近地表建模、面向复杂构造偏移的设计思路,显著提高了地震资料的信噪比和成像精度。同时,结合多源信息融合三维建模技术,物探院建立了山前带三维综合模型,研发了黏弹性有限元地震数值模拟技术,解决了复杂近地表条件下的数值模拟难题,为山前带地震波传播规律分析、采集观测系统优化、高精度地震成像技术和储层分布预测提供理论支撑。

第二,做精复杂山前带地震勘探技术体系,铸造精细勘探利器。复杂山前带地表及地下条件复杂,目的层埋深大,地震勘探技术的瓶颈在于如何消除近地表影响,提高深层地震反射能量和分辨率。物探院通过多年在西北库车山前带、西南龙门山前带持续攻关,形成了面向复杂地表的低频保护信号处理技术体系,发展了近地表融合静校正、分频剩余静校正、高保真叠前去噪等特殊技术方法,有效消除了复杂山地崎岖地表造成的干扰影响,为深部地震成像提供了高品质信号。物探院还研发了深度域拟地表建模与成像技术系列,包括拟地表数据校正、多信息约束的地震速度精细建模和宽频逆时偏移(RTM)成像技术,既能有效消除近地表速度畸变引起的“假构造”现象,又可提高深层的成像精度,解决“高点带弹簧、构造带轮子”的“老大难”问题,把山前带地震成像误差控制在1%以内。

第三,做强山前带综合解释研究技术体系,铸造立体雕刻利器。山前带构造复杂、钻井少,层位识别与标定难度大。山前带的综合解释研究,核心问题是建立合理的构造解释模型。为此,物探院研发了多元约束构造建模技术,通过山前带构造演化分析技术,深入揭示山前带的构造形成演化过程,极大地提高了构造解释的精度和合理性,为勘探部署提供了科学依据。针对山前带薄层预测难题,物探院研发了基于相控双加权建模及波形指示反演的薄层预测技术,实现了薄层的高精度预测。该技术已在龙门山山前带及米仓山山前缘推广应用,在龙门山山前带识别出栖霞组生屑滩面积696平方千米、雷四段砂质滩面积632平方千米,新发现川北南江地区茅口组热液白云岩领域有利勘探目标,矿权内圈闭面积138平方千米,地质资源量可观。

### 探索更高精度、更高效、更低成本的先进物探技术

山前带油气勘探不断发展,对勘探开发技术也提出了更高要求,迫切需要更高精度、更高效、更低成本的高端物探技术做支撑。立足需求,要继续深化核心技术推广应用;面向未来,要继续加强前沿技术研发探索,赢得油气勘探行业变革的主动权。

一方面,提升核心技术,支撑当前勘探开发。深化宽频、宽方位、高密度、节点采集研究,形成高性价比的“两高一高”和节点地震采集技术系列,获取更为全面和精细的地下结构信息,提高勘探的精度和效率;加强面向“双复杂”的地表速度建模研究,发展全波数递进式速度建模、即射线层析(低波数)、高斯束波动层析(中波数)、全波反演(高波数)、各向异性速度建模技术;持续深化五维数据处理解释技术,创新宽方位海量数据快速精准成像、五维数据裂缝预测和变方位油气检测等方法,提升地震勘探的数据处理能力和解释精度。

另一方面,抢占技术制高点,引领未来发展。在可控震源宽频高效采集技术领域,发展山前带可控震源高保真采集技术、压缩感知地震采集技术、噪声压制技术,形成高效宽频可控震源地震采集和处理技术系列;在井中地球物理技术领域,发展VSP(垂直地震剖面)采集处理成像、井地联合采集处理解释、随钻地震预测技术;在智能化地球物理技术领域,探索开发智能化地球物理技术,重点发展智能化采集装备和技术,利用人工智能、大数据分析等现代信息技术提高地震数据的处理效率和解释精度,推动地震勘探智能化、数字化发展。

## 地球物理公司 锻高科技“神器” 闯霍拉山“禁区”

陈俊 张广虎 蒋云龙 郭金卓 侯宇祥

9月28日,由地球物理公司胜利分公司SGC2103队承担的轮台北三维项目野外采集工作圆满收官,成功填补了该区域的石油勘探资料空白,被甲方评为“安全优质高效工程”。

轮台北三维项目位于新疆维吾尔自治区天山南麓的霍拉山高原,平均海拔超过2000米,山体最大落差达1500米,由下至上层层叠叠的砾岩、砂岩重叠分布,坡度最陡处接近90度,被地质学家称为“勘探禁区”。该地区地表千峰耸立、沟壑纵横,地下断层发育、地层破碎,属于典型的复杂山前带。

长期以来,复杂山前带一直是困扰勘探的难题。山前带交会处强烈挤压作用造成地下构造高陡破碎,与复杂多变的近地表地质条件共同造成地震原始数据信噪比极低,造成成像困难。

近年来,地球物理公司持续开展山前带地震勘探攻关,通过优化观测系统设计,大力攻关瓶颈技术,加速发展核心技术,不断提高地震资料品质,先后在准噶尔盆地哈山前带、陕西镇巴山前带、四川盆地龙门山山前带、新疆柯坪山前带等地区发现和落实了一批勘探目标,获得了可观的商业油气流,取得了山前带领域勘探突破。

今年5月,地球物理公司再次踏上新征程,挺进霍拉山高原,向“勘探禁区”发起挑战。

### “量身定制”密撒网

“看,这条断崖的高差不是那么大,明天我带你到现场看一下周围地形。”9月2日晚,地球物理公司胜利分公司SGC2103队经理侯勇志与胜利分公司地震采集专家谢孝军正讨论着技术方案。一旁的电脑屏幕上,工区3D模型如同透视的“千里眼”,全方位展示着霍拉山的奥秘。

轮台北三维项目工区呈现“四多、三无、一高一重、两复杂”的特点,地震成像难度大。为获取精准的地震资料,项目团队首次在新疆探区实践应用了激光雷达点云数据技术。与传统测量相比,机载激光雷达可全天候作业,获得的点云数据更密集。高精度、高密度的激光点云数据通过人工交互处理,就能获得精准的数字高程模型,准确体现真实地形、地物情况,图像精度可达20厘米,特别有利于复杂环境区的航摄作业。

“只有想尽一切办法获取精准数据,才能更准确地给工区‘把脉’,为实地踏勘、设计点位、完善施工方案提供坚实保障。”侯勇志说。

在高精度数据的支撑下,技术人员为项目量身定制了一套施工方案。他们主动在有利构造内优化观测系统,把回折区域道距加密为15米,把接收线距由180米加密为90米,并按照“五避五就”原则优选激发点位。“这就好比用网捞鱼,网越密,捞上来的鱼才能越多。”谢孝军说。

同时,该项目还投入使用了中国石化系统内第一套拥有自主知识产权的地震采集工程软件SeisWay。该软件

### 【项目介绍】

轮台北三维地震勘探项目(简称:轮台北三维项目)工区位于新疆天山南麓。这里是国内地震勘探地形最复杂的地区,千峰耸立、峡谷纵深、断崖遍布,被称为“勘探禁区”。该项目是典型的复杂山前带地震勘探项目,复杂山前带发育背斜和成排成带的逆冲断层,具有良好的圈闭条件和形成大型油气藏的有利条件,勘探潜力巨大。经过新疆哈山地区、川东北镇巴地区、川西龙门山地区、新疆柯坪地区等多个地震勘探项目的实践,中国石化山前带地震勘探技术水平逐年提高,山前带地震勘探取得了一定突破。



直升机在一号营地作业。

张广虎摄

由地球物理公司自主研发,在复杂地质目标的观测系统优化设计与评价、超大规模观测系统布设及实时属性分析、地震资料品质量化分析等方面展现了突出的技术优势,从技术层面降低了悬崖区的采集难度。

### “地空协同”全覆盖

“一号营地人员全部收工下山,安全返回。”

“二号营地人员全部收工下山,安全返回。”

……

每天晚上9点半,在项目应急值班室北斗监控平台上,都会准时收到从野外营地发回的短报文信息。“工区里没有信号,我们配备了北斗终端,要求大家每天收工后发送实时位置信息,确保及时准确掌握人员动态。”SGC2103队放线班班长陈蓬山说。

轮台北三维项目工区是名副其实的“三无”地区——无路、无人、无信号。为解决通信难题,该项目配备了110台北斗车载终端、220部北斗手持终端。这些基于北斗卫星系统的国产化终端设备具有定位、短报文、“SOS”一键报警等功能,能有效解决复杂高山地区无公网信号的应急通信问题。

同时,项目建立起高频中继覆盖全区的通信主网、IEM智能井炮激发通信网、MESH电台传输网、北斗短报文应急通信网等四大通信体系,实现了工区信号全覆盖,为现场作业和员工联络保驾护航。在作业过程中,他们还自主研发了IEM智能井炮激发管理系统,激发成功率达99.71%。

此外,为进一步降低劳动强度和施工风险,轮台北三维项目采用直升机辅

助作业方式,将员工和物资快速送达施工区域,施工效率翻了一番多。

### “枕戈以待”为高效

“电压8.3伏,电阻730欧,节点仪指标正常。”9月15日,项目部放线班员工罗宝秀正在进行节点仪测试工作。

“项目计划使用6万多道节点仪,我们要确保每一个节点仪参数正确、数据不丢。”陈蓬山介绍,该项目首次使用两种节点仪在西部探区高陡山地区域进行混合采集,必须保证万无一失。

这些仪器只有巴掌大小,一只手就可以拿起来,却被大家称为“神器”。它们被埋入地下并激活采集功能后,可以通过卫星授时实现自主独立不间断记录地震数据。只要在手机上下载专用APP,操作人员就能通过蓝牙完成启动采集、质控等工作,采集完成后,再通过数据管理系统下载信息、切分并最终合成为单炮记录。

“这些节点仪采用无线接收方式,待机时间接近50天,既可有效避免常规有线接收出现的排列断开、数据丢失情况,又能降低员工劳动强度,安全又高效。”陈蓬山说。

枕戈以待只为高效生产。厘米级激光雷达点云数据、智能化自主激发系统、实时气象监测软件、可控震源车等一系列创新成果在轮台北三维项目应用,不仅提升了采集效率,而且保障了勘探品质,助力科研人员进一步揭开“勘探禁区”的神秘面纱。

“今后,我们将继续强化科技创新引领,不断促进技术成果应用到物探生产中,推动勘探实现新突破。”地球物理公司副总工程师,胜利分公司总经理、党委副书记刘涛说。

物探人员进行实地勘查。  
张广虎 摄