

探“地下珠峰”之象 铸物探先行之器

深层超深层勘探自主创新关键技术与展望

专家视点

□集团公司高级专家 朱立华

“地下珠峰”找油面临诸多世界级难题

当前,世界油气生产逐渐转向深层超深层,深地深海探测日益成为世界科技竞争的制高点。

高效勘探,物探先行。中国石化瞄准深地、深海和非常规油气勘探,积极加强战略部署,成为我国深地油气领域的主力军。中国石化物探院努力在深层超深层勘探领域当好战略桅杆上的瞭望者,做实高新技术及关键核心技术研发者,做优引领行业的物探专业软件装备和重大物探工程技术的服务支撑者,助推深层超深层技术攻关取得重大突破。

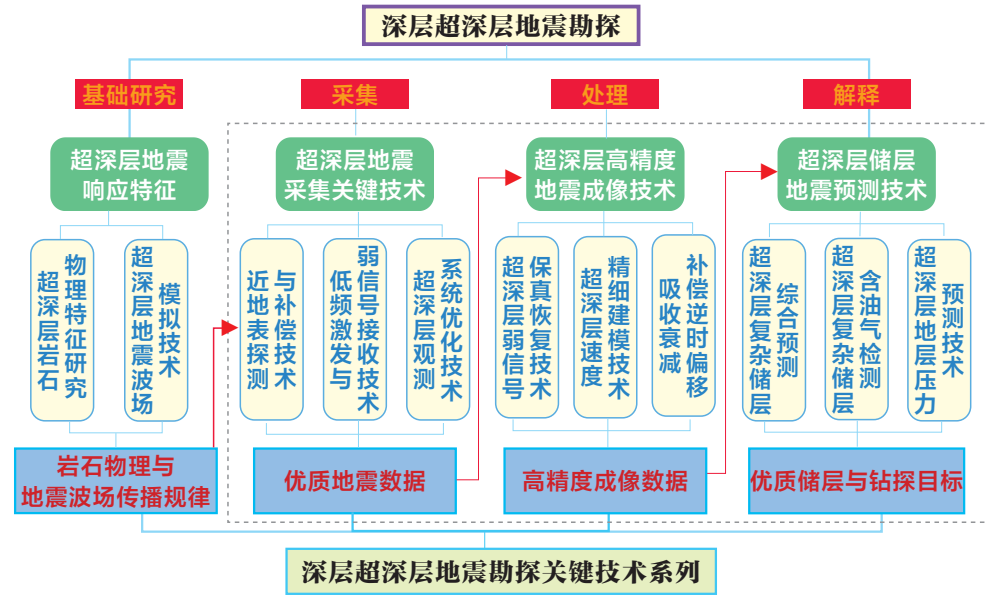
地震勘探好比给地球做CT,通过向地下激发地震波,观测和分析接收到的地震信号,推断地下构造的形态和岩层的性质。

埋藏太深带来的挑战:一是地层年代老,时间跨度大,超高温、超高压地质环境更严峻。地层越深,地震波信号传播过程中阻碍越多,衰减越严重,导致成像精度不高,难以获知地下真实面貌。二是深层含油气层系多,成藏历史复杂,地下的“油龙气虎”藏得非常隐蔽,零散分布在广袤的地层缝隙里,且被压紧压实,与地层融为一体,同时,由于地质结构复杂,地震波信号受到严重干扰,可信度和可靠度均降低,要准确预测“甜点”的位置,就像大海捞针。

锻造物探利器,破解更深层“达芬奇密码”

深地、深海油气勘探开发面临巨大的技术风险和商业风险,因此要充分发挥物探先行优势,不仅要看得见,还要看得清,绘制钻井采油精准“寻宝图”。

聚焦深层超深层油气勘探中的地球物理关键问题,物探院联合油田企业积极组建科研团队,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,着重对取准取全地下信息数据、准确恢复地下结构和精准预测地下油气储集区三大地震勘探主要环节发力,自主创新锻造深层超深层油气探测利器,以关键



核心技术突破带动勘探开发突破。

第一,做实地球物理基础研究技术体系,铸造基础支撑利器。

针对深层超深层高温高压等特殊环境,研发了配套的岩芯测试与分析技术,构建了考虑温度、压力影响的岩石物理建模方法,为深层超深层岩石物理特征研究提供必要的实验技术手段。建立了岩石物理数字仿真实验系统,实现对岩石微观结构和孔隙流体进行定量模拟和分析,为准确识别深层复杂碳酸盐岩储层、致密碎屑岩及页岩储层提供依据。形成了纳米材料制模技术及复杂地表、复杂构造和复杂储层三维物理模拟技术,为深层超深层地震波传播规律、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研究基础支撑。

第二,做精复杂山地地震勘探技术体系,铸造精细勘探利器。

复杂山地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提高深层超深层地震反射能量和分辨率。物探院通过对四川盆地元坝地区深层超深层生物礁气藏开展攻关,形成了面向超深礁滩储层的饱和激发技术和采集设计优化技术,保证了超深层地

震信号拥有更多的有效能量,在此基础上,发展了近地表精细建模、层析成像、分频静校正等技术方法,有效消除了复杂山地崎岖地表造成的干扰影响。同时,研发基于各向异性吸收衰减介质的超深储层弱信号提取与补偿技术,实现了复杂山地超深层礁滩地震高精度、高分辨率叠前成像,与老资料相比,埋深大于6500米目的层有效能量提高了70%以上,有效频带由原来的8~50赫兹拓展为4~80赫兹,主频提高15~18赫兹。

第三,做强沙漠区断溶体油气藏三维地震勘探技术体系,铸造立体雕刻利器。

超深断溶体油藏的典型代表是塔里木盆地顺北油气田。由于沙丘起伏大,勘探目标埋藏深等因素,该探区地震资料信号弱、信噪比低、走滑断裂识别难度大,且受二叠系火成岩影响,存在下伏地层“假断裂”、奥陶系断控储集体识别多解等难题。通过深入调研攻关、优化迭代,物探院形成了一站式配套技术利器,有效消除了沙漠区超深断溶体油气藏勘探的“卡脖子”堵点。

为有效克服沙漠区弱信号影响,在基于三维模型观测系统优化分析的基础上,结合野外

激发与采集试验,逐步形成了面向深层目标的高精度三维地震采集技术,能准确获取超深层走滑断裂、小尺度目标波场等数据信息。

物探院还研发超深层储层立体成像技术系列,包括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,既有效消除了火成岩岩性及速度横向变化引起的“假断裂”现象,又提高了深大断裂的成像精度,实现深层、超深层频带拓宽5~10赫兹,断裂识别精度从30米精确至15米。

针对“位置不准、大小不定、结构不清、充填不明”等问题,物探院研发了多尺度缝洞空间结构量化描述技术和基于先验约束叠前参数定量反演技术,实现复杂断控储集体中洞-缝空间结构表征和充填物类型及孔隙度预测,提高了缝洞储集体参数预测精度,超深层断溶体储层一次中靶率由47%提升到60%。该技术已在顺北1.4万平方千米地震资料处理解释中应用,部署井位有80余口,建成后,年产能超百万吨。

第四,做优页岩油气勘探开发一体化技术体系,铸造非常规勘探利器。

中国石化涪陵探区深层页岩气勘探开发有诸多难点:南方山土地表条件差、构造复杂且断裂发育,地震成像效果不佳;水平井的准确入靶及井轨迹在优质层段的稳定穿行对地震精度要求更高,在埋深4000米、厚度20米的条件下,要求绝对误差小于10米;工程“甜点”预测难度大,压裂要求地震精准预测脆性、地应力、裂缝等参数。围绕页岩油气高质量勘探和效益开发需求,形成了页岩油气钻井全过程物探支撑服务思路,以及“甜点”预测和微地震监测物探工程一体化评价策略。

更高精度、更高效率、更低成本的未来技术

油气勘探开发向深地、深海、非常规方向持续推进,对勘探开发技术提出更高要求,迫切需要更高精度、更高效率、更低成本的高端物探技术做支撑。立足需求,未来要进一步加强“五核心”“五关键”技术利器研发,深化多专业、跨学科领域融合应用,抓住集成化、一体化、数字化和智能化等创新技术发展先机,赢

得油气勘探行业变革的主动权。

一方面,要支撑当前勘探开发,提升完善“五核心”技术。深化宽频、宽方位、高密度、节点采集研究,形成高性价比的“两宽一高”和节点地震采集技术系列;加强面向“三复杂”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)、全波形反演(高波数)、各向异性速度建模技术;推广应用碳酸盐岩储层预测成熟技术,如井震联合反演技术、分频混色、多属性叠合分析,相控“三步法”反演,五维地震解释技术等;优化完善深层页岩储层“甜点”定量预测和评价技术,形成面向深层页岩气藏的勘探开发一体化解决方案;持续强化深层超深层地球物理基础研究,如深层超深层地球物理实验技术,“逼近实际”的深层超深层地震模拟技术和针对天然气水合物等新能源的岩石物理分析技术等。

另一方面,要抢占技术制高点,加强攻关“五关键”技术。在可控震源宽频高效采集技术领域,发展沙漠区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;在深水海域高精度地震勘探技术领域,发展海域多震源激发、基于压缩感知的海底节点采集技术和装备、混叠地震数据分离、多次波和鬼波压制、全波形反演、海洋储层预测和油气识别技术,形成高效高精度海域地震采集、处理、解释技术系列;在深层超深层井中地球物理技术领域,发展VSP采集处理成像、井地联合采集处理解释、随钻地震预测、微地震监测、基于DAS的时延VSP技术、井间地震等技术;在深层超深层油气藏地球物理技术领域,发展面向储层的属性处理与融合技术、基于地震数据驱动的油藏建模技术、井震一体化油气藏动态描述技术、时延地震技术、多波地震技术、智能化油藏属性建模技术,基于DAS的油藏监测技术,形成储层物性及流体反演一体化软件;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,数据驱动型、增量式、智能化处理技术及可视化、全信息、智能化解释技术,为油气勘探开发降本增效提供技术支持。

(马灵伟 刘旭跃 整理)

担当上游战略科技力量 领航深地工程做大做强

□石油勘探开发研究院高级专家 张仲培

据统计,在中国石化陆上探区,深层超深层常规石油资源量近100亿吨,占常规石油总资源量的1/3,但探明程度仅为17.43%;深层超深层常规天然气资源量近16万亿立方米,占常规天然气总资源量的1/4,但探明程度仅为5.32%。深层基础理论认识不足,制约了深层资源潜力及勘探方向评价。

对此,石油勘探开发研究院树立勘探盆地化理念,建立健全大兵团作战制度,围绕深地勘探持续提升基础理论创新能力,巩固技术人才储备,建立了多个国家级高水平创新平台,形成了系列核心特色理论技术,为中国石化持续取得“深地工程”突破注入了澎湃动能。

拨开深层迷雾,明晰勘探方向

中国石化深地勘探领域多、方向广、潜力大,深层超深层油气勘探关乎上游的未来。面对深层未知谜团遍布、成熟理论难以适应的困境,石勘院围绕深部地层能源岩潜力、成储机理及成藏有利区带分布开展深入探索,取得了系列关键性认识。

深层超深层是否发育规模烃源岩和储层,是最核心的地质问题。研究团队通过烃源演化

和成烃机理研究,掌握了塔里木盆地、四川盆地、准噶尔盆地深层规模烃源岩类型、演化和展布特征,以及对成藏的贡献和油气资源的类型,明确了中国石化深层超深层具备193亿吨待探明油当量的雄厚资源基础及分布情况,坚定了在深层超深层加大探索力度的信心。

团队通过多尺度储层观察表征及模拟实验,建立了4种深层储层保存及发育机理,揭示了深层超深层海相碳酸盐岩构造破裂、微生物丘滩及含膏岩层系中的成储保持机制,明确了深层超深层下一步重点探索。

在此基础上,团队明确中西部探区深层超深层关键控藏要素,集中力量开展了深地领域的整体战略选区攻关,创新完善了叠合盆地深层超深层区带评价方法,评价落实33个未来深层超深层潜力区带,整体待探明资源量超过160亿吨油当量,指出了“深地工程”的下一步方向。

当前,研究团队正围绕上述有利区带论证攻关多个“万米井”目标。

技术平台保障,助力进军深地

20多年来,石勘院建立了页岩油气富集机理与有效开发等5个重点实验室或研发中心,配备了一批国际先进的实验仪器设备,在油气发

展战略、资源评价、海相油气勘探开发、地球物理与地球化学技术等方面形成了一项核心技术和多项特色技术,有力支撑了深层超深层油气勘探基础理论和技术创新。

依托重点实验室创新平台,石勘院着力加强油气勘探关键领域跨单位、跨领域、跨专业、跨学科协作。页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室围绕页岩油气富集机理与分布预测开展攻关,形成的系列技术方法对深层页岩油气勘探发挥了重要支撑作用;中国石化油气成藏重点实验室以海相层系油气成藏和非常规油气富集为重点研究方向,形成了高成熟区成烃机理与油气资源评价技术、叠合盆地油气成藏机理与定年—示踪评价技术,奠定了深层超深层海相勘探突破的理论基础;近期揭牌的国家能源碳酸盐岩油气重点实验室,聚焦深层海相碳酸盐岩层系成烃机理与资源评价、成储、成藏机理与选区评价,储集体弹性波成像与智能预测等重要方向,有望破解深层超深层海相碳酸盐岩勘探面临的关键理论与技术难题,推动该领域勘探取得新进展。

石勘院目前已形成海相层系油气成藏理论与勘探评价技术,主要包括盆地构造动态演化与恢复分析技术、高演化海相层系烃源岩动态评价技术、海相层系储层评价与预测技术、海相层系盖层识别及保存环境评价技术、海相层系油气动

态成藏与定年技术和高演化海相层系油气资源评价技术。该理论和技术系列带动了顺北、川西等深层超深层勘探重大发现,推动了老区新层系、新领域的勘探。此外,石勘院还形成了油气勘探开发科学决策支持系统,板内中小尺度走滑断裂综合解析、油气地球化学综合分析等一批国际先进的特色技术。

理论技术“拓荒”,做强深地支撑

石勘院长期致力于油气勘探开发前沿理论创新及技术储备,近年来借助突破区带与风险勘探平台,不断加强风险勘探领域研究,创新形成深层岩电测井响应规律及差异机理、断控体储层测井评价、礁滩相储集体类型识别方法等系列特色技术,完成了对塔里木盆地地层、川西灯影组地层构造沉积相带精细刻画等拓荒式工作,做实技术和理论支撑,为中国石化顺北超深层、川渝深层页岩气等“深地工程”基地建设提供有效科技供给。

在塔里木盆地,针对深层超深层断裂成像及中小尺度走滑断裂刻画技术缺失的问题,开展物探采集处理技术攻关,通过时间域精细处理做到幅保真,利用高精度火成岩速度建模及三维逆时偏移成像做到地质异常的准确归位,有效揭示了断溶体空间展布特征及连通关

系;创新了克拉通中小尺度走滑断裂解析技术,明确了断裂控储、控藏、控富的作用机理,成功实现了对多条超深层富集油气断裂带的整体控制,支撑了几十口超深层千吨井的发现及顺北“深地一号”基地建设。

在四川盆地,围绕山前带地震资料品质差、低勘探程度区深地条件不明、深层超深层海相地层成储机制不清等问题,开展地质、地球物理基础工作和技术创新,连片处理了川西探区多块三维数据,通过使用多域保幅去噪等处理方法,消除了浅层复杂构造的影响,提高了超深目的层的成像精度;攻关前寒武系古老层系台缘一台内储层差异成因机理,开展超深层海相地层的综合解释和储层预测,明确灯影组有利沉积相带的展布特征和有利储层分布范围,落实了低勘探程度区基本油气地质条件及勘探潜力,揭示了古老深层海相碳酸盐岩储层巨大的勘探潜力。

接下来,石勘院将围绕塔北寒武系、顺北上寒武统、川西川北海相三大深地重点勘探方向,加大深部地质结构攻关研究力度,做优成烃—成储—成藏基础研究,细化区带与回顾性评价分析;聚焦低级序走滑断裂识别、预测及形成机制等方面“卡脖子”难题,加强深地目标成像地球物理研究,向更深处进军。

(王瀚洲 齐育楷 整理)