

文章编号:1000-0747(2010)01-0001-10

中国石油物探技术现状及发展方向

刘振武¹, 撒利明¹, 董世泰², 邓志文³, 徐光成²

(1. 中国石油天然气集团公司; 2. 中国石油勘探开发研究院; 3. 中国石油东方地球物理勘探公司)

摘要: 中国石油经过多年的发展,已形成了一支强大的物探力量,陆上综合实力位居世界前列,形成了8项特色物探技术,其中复杂山地、黄土塬等地震勘探技术处于国际领先水平。在高端技术研发方面,高密度地震、全数字地震、多波等技术在复杂油气藏描述方面初见实效,并建立了较完备的技术流程。中国石油物探技术的自主创新能力显著增强,在软件和装备研发方面,自主研发了物探一体化核心软件,大型地震仪器已通过2 000道野外试生产,在不久的将来将规模生产。为适应新形势下勘探开发需求,中国石油将继续在未来几年技术发展蓝图指导下,开展物探核心装备与软件研制和物探新方法新技术等方面的研究,以迎接“四大工程”对物探技术提出的挑战。图8参10

关键词: 中国石油; 物探技术; 地震勘探技术; 高密度地震; 发展方向

中图分类号:TE132.1 文献标识码:A

Current situation and trend of geophysical technology in CNPC

Liu Zhenwu¹, Sa Liming¹, Dong Shitai², Deng Zhiwen³, Xu Guangcheng²

(1. China National Petroleum Corporation, Beijing 100724, China; 2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China; 3. Bureau of Geophysical Prospecting (BGP), Zhuozhou 072751, China)

Abstract: With years of development, CNPC has maintained a powerful geophysical force. It takes a leadership internationally in overall onshore capacity and has developed 8 unique geophysical technologies, especially the world-leading seismic exploration technologies for complex mountains and loess tableland. In high-end technology R&D, such technologies as high-density seism, all-digital seism and multi-wave have demonstrated practical effects in description of complex reservoirs, and a complete technical process is established. CNPC's independent innovation in petroleum geophysics has improved significantly. With respect to software and equipment, it has launched an integrated geophysical software and got its large seismic devices be qualified in 2 000-channel field commissioning, which will be put into large-scale production in near future. To meet the exploration and development demand under new climate and the challenge of “Four Projects”, PetroChina will, guided by the technology roadmap, continue to work on core geophysical equipment, software, new geophysical approaches and technologies in the coming years.

Key words: CNPC; geophysical technology; seismic exploration; high-density seism; trend

中国石油是以石油上游业务为优势的资源型企业,油气勘探开发是公司盈利的支柱。中国石油的物探技术经过几十年的发展,已拥有了较强大的技术力量,在大庆等油气田增储上产和可持续发展中发挥了重要作用。然而,面对日益复杂的勘探开发对象,对物探技术的要求也不断提高,只有不断对关键瓶颈技术进行攻关,才能推进中国石油勘探开发效益的最大化。

1 中国石油物探技术现状

1.1 中国石油物探基本情况

截至2008年末,中国石油拥有东方地球物理公司等4个专业物探公司和中国石油勘探开发研究院等18

家科研院所,现有物探从业人员30 700名,其中科研人员5 429名。地震采集队181支(其中国外59支),VSP队9支,非地震队19支,拥有大型地震仪器185台/套,合计54万道,二维地震年采集能力125 000 km,三维地震年采集能力62 000 km²。处理解释CPU 31 700个,处理软件380套,解释软件517套。陆上物探综合实力居世界第一。

中国石油地震采集作业范围遍及国内外。目前,122支地震队在中国石油国内16个油气田和中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司、中联煤层气有限责任公司热点区块服务。近5年中国石油二维地震工作量年平均40 000 km,三维地震工作量年平均15 000 km²。

在国外,中国石油派出59支地震队(其中陆地53

支、浅海过渡带 3 支、深海地震船队 3 支)在 4 大洲 22 个国家,为 90 多个油公司提供地震采集处理服务。其中,OPEC(欧佩克)市场和国际大油公司份额占 50%。

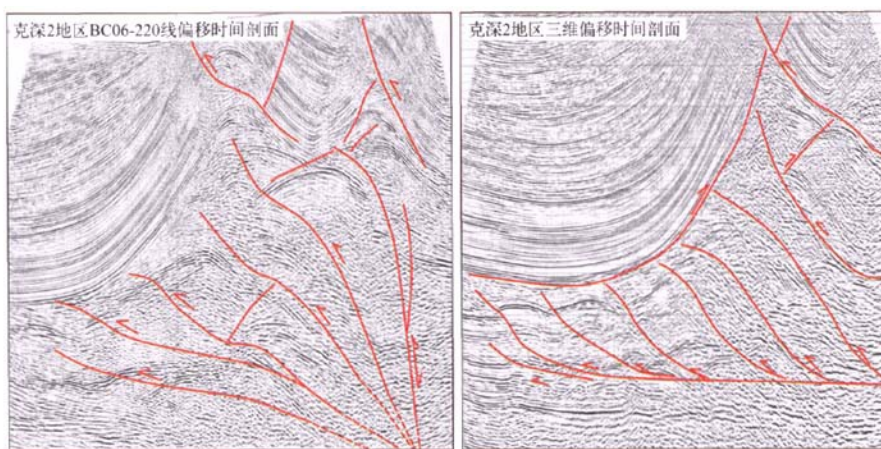
1.2 中国石油物探技术特色

针对复杂山地、黄土塬等特殊地表和复杂陆相沉积地层等世界级难题,中国石油开展了提高资料信噪比、成像精度及层位预测准确率的一体化物探技术攻关,逐步形成了复杂山地、沙漠、黄土塬、过渡带、大型城区、富油气区带地震技术和油藏地球物理、综合物化探技术等 8 项具有中国石油特色的技术系列。

1.2.1 复杂山地地震技术

复杂山地地表山体高大,高差最大可达 2 000 m 以

上,岩石裸露,地下逆掩构造、盐下构造、断裂等构造发育。针对特殊的地表条件,中国石油发展形成了以①宽线十大组合和三维十大组合;②基于卫片的变观设计,优选炮点、检波点;③综合表层调查及建模;④配套静校正;⑤基于起伏地表的叠前深度偏移;⑥速度建模、构造建模与深度域解释等 6 项关键技术为核心的复杂山地地震技术,深化了对复杂构造带构造模式的认识。例如,在库车坳陷应用复杂山地地震技术,对该地区的构造认识从基底卷入型变为滑脱型(见图 1),提高了复杂圈闭识别精度,落实了库车坳陷等中西部一批油气田,为西气东输等重大能源项目建设奠定了基础^[1]。



(a) 基底卷入构造

(b) 滑脱构造

图1 库车坳陷克深2地区地震攻关前后构造模式解释结果

1.2.2 沙漠地震技术

针对沙漠区地表沙漠厚度大(最大可达 300 m 以上)、沙丘大、疏松无潜水面(准噶尔、柴达木盆地),地下为碳酸盐岩、火成岩、复杂断裂等难点,中国石油发展形成了以①逐点设计井深;②灵活炮点检波点布设;③沙丘曲线静校正;④优选观测系统;⑤叠前偏移;⑥储集层综合描述;⑦缝洞储集层定性刻画等 7 项关键技术为核心的沙漠地震技术,使塔里木盆地、柴达木盆地、鄂尔多斯盆地等沙漠区深层弱反射能量增强,信噪比提高,地质结构清楚;使准噶尔盆地沙漠区下石炭统内幕结构描述清楚(见图 2),落实深层火山岩探明储量 $2 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。

1.2.3 黄土塬地震技术

针对世界独一无二的黄土塬地表 300 m 的巨厚黄土、疏松无潜水面、低速度,以及地下储集层低孔、低渗、非均质性强、厚度小的特点,中国石油发展形成了以①弯线、沟塬连线、多线、非纵观测;②多域去噪;③

四域迭代法初至折射静校正;④共反射面元选排与均化;⑤叠前偏移处理;⑥古地貌形态刻画;⑦储集层物性及含油气性预测;⑧“五图一表”井位优选等 8 项关键技术为核心的黄土塬地震技术,使地震资料信噪比和深层能量得到提高(见图 3),河道、前积反射等特征明显,相继为长庆西峰、姬塬、白豹、苏里格南部等亿吨油、千亿立方米天然气储量探明奠定了基础。

1.2.4 过渡带地震技术

针对过渡带地表烂泥滩、养殖业发达、地下断裂破碎等难点,中国石油以解决滩涂运载难题和提高信噪比为主,发展形成了以①综合导航定位;②检波点高精度定位;③气枪阵列设计;④浅海 OBC 采集等 4 项关键技术为主的过渡带地震技术,为渤海湾立体勘探奠定了基础。

1.2.5 大型城区地震技术

针对城区地表建筑高大、人口稠密、施工难度大和地下断裂发育、目的层深等难点,中国石油发展形成了

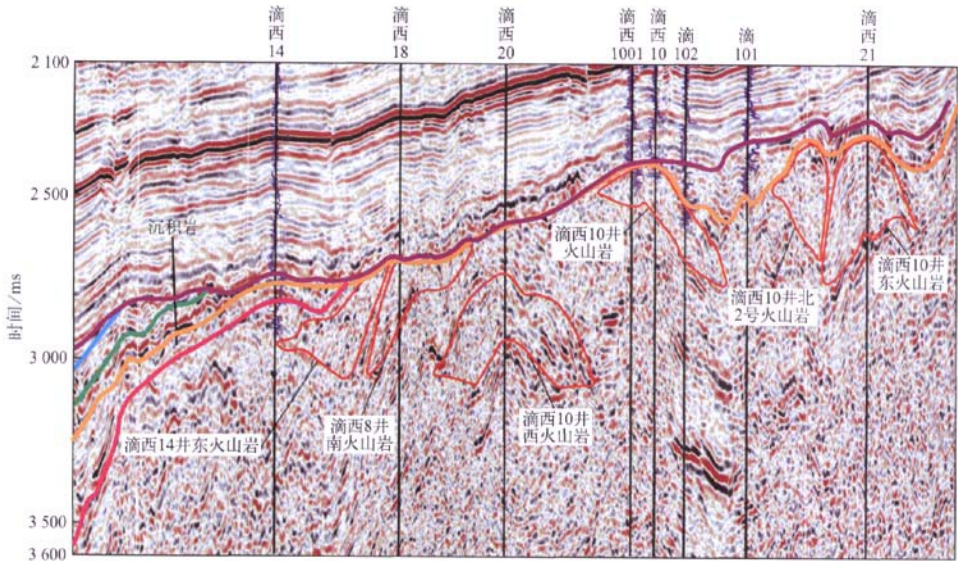


图 2 准噶尔盆地东—五彩湾地区过滴西 14 井—滴 101 井连井地震剖面

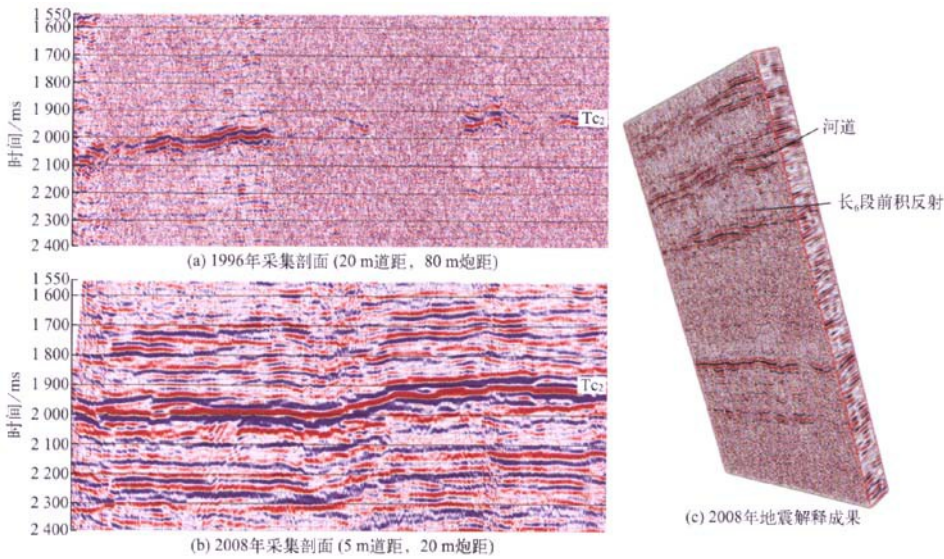


图 3 长庆姬塬地区高密度地震实施前、后地震资料质量对比

以①井、震联合激发；②地理信息辅助布点；③动态变观；④地下管网调查；⑤非纵观测；⑥新、老资料联合处理等 6 项关键技术为核心的大型城区地震技术，确保了大型城区浅、中、深目的层资料的取全、取准，使老油区中的城区勘探程度进一步提高，促进了富油气区带的整体勘探。

1.2.6 富油气区带高精度地震技术

针对富油气区带地表油田设施密集、噪音严重，目的层浅、中、深埋深跨度大，断裂发育等难点，中国石油

发展形成了以①技术应用水平不断提高的二次三维采集；②精细的表层调查；③依岩性及动力学特征逐点设计并深；④高精度静校正；⑤连片处理；⑥叠前储集层描述等 6 项关键技术为核心的富油气区带高精度地震技术，使富油气区带浅、中、深层地震信号频率提升了 5~10 Hz，新层系不断获得发现。

1.2.7 油藏地球物理技术

针对中国陆相薄储集层地震资料纵向分辨困难，储集层非均质性强，横向预测难度大，油气水关系复

杂,油藏动态监测难等问题,中国石油发展形成了以①全(宽)方位角地震采集;②相对保持振幅、频率、相位和波形的高精度处理;③相对标定和构造演化解释;④薄储集层沉积演化分析;⑤3.5D综合地震;⑥4D地震;⑦井中地震;⑧物探、测井和钻井一体化解释等8项关键技术为核心的油藏地球物理技术,在预测剩余油气分布方面见到了良好效果(见图4)。

1.2.8 综合物化探技术

针对油气勘探中的特定地质问题,中国石油发展形成了以①高密基点三维重磁采集;②大功率时频电磁三维采集;③高精度航磁;④三维油气藏电性异常模式下的IPR解释;⑤重震联合反演等5项关键技术为核心的综合物化探技术,在预测火山岩等特殊储集层方面发挥了重要作用。

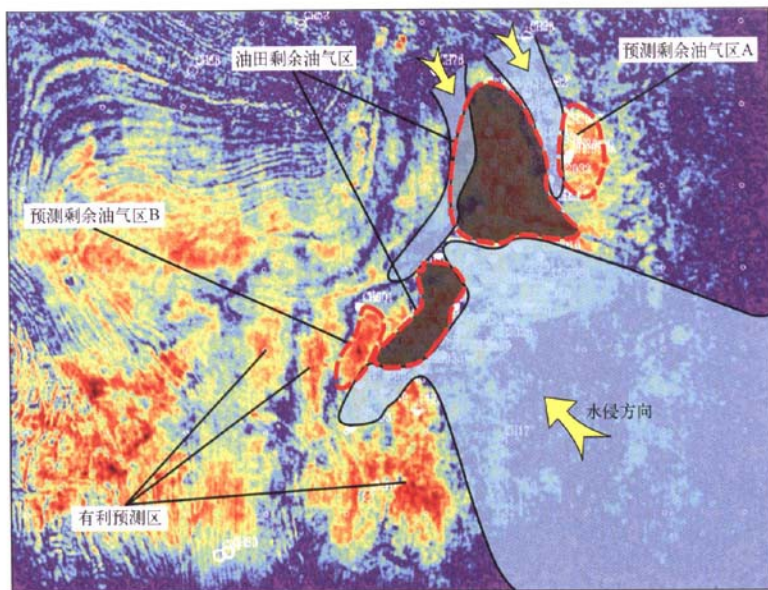


图4 准噶尔西北缘3.5D地震剩余油预测

1.3 物探技术在中国石油勘探开发中的作用

从2000年到2008年,中国石油三维地震采集工作量从7 841 km²上升到17 893 km²,平均年增幅达10.9%。地震工作量的增加,确保了探明石油天然气储量当量从 7.5×10^8 t上升到 11.7×10^8 t,平均每年增长5.7%;使生产石油天然气当量从 $11\,817 \times 10^4$ t上升到 $15\,730 \times 10^4$ t,平均每年增长3.6%。据此可见,物探投入与储量和产量成正比关系。

在塔中整体部署实施高精度三维地震4 533 km²,新资料带来了地质认识的转变。通过开展连片叠前时间偏移处理、叠前储集层预测和碳酸盐岩缝洞储集层三维立体空间雕刻,预测塔中I号坡折带台缘礁滩复合体整体连片,使塔中I号坡折带勘探获得巨大突破,探明石油地质储量规模超 2×10^8 t,天然气近 $2\,000 \times 10^8$ m³。

在苏里格苏5、桃7区开展了满覆盖985 km²的高精度三维地震和100 km²的多波三维地震,地震资料主频由原来的20~35 Hz提高到30~45 Hz,对薄砂层的

万方数据

识别能力显著提高,砂体的空间展布得以准确刻画。在此基础上开展含气砂体分布预测、高产区带划分及油气富集规律研究,通过滚动评价及时指导井位部署和开发方案调整,使苏5、桃7区块开发井I+II类井符合率由2006年前的62%提高到2008年的88%,从而减少低产开发井和空井约143口,累计节约钻井投资约11亿元(按成功率62%折算需488口井,按成功率88%折算只打了345口,减少的143口井乘以单井平均成本800万元),而苏5、桃7地区近3年的物探投入仅为2.75亿元,总体节约勘探开发的工程投资8.25亿元。

2 高端技术攻关及其进展

中国石油非常重视高端技术攻关,在前沿技术、软件研发、硬件研制等方面均取得了重大进展,初步形成了具有中国石油特色的高密度地震等4项前沿技术,研发了具有自主知识产权的3套地震软件、大型地震仪器、可控震源及钻机软硬件,并相继投入生产应用。

2.1 前沿物探技术攻关取得重大进展

2.1.1 高密度地震技术

中国石油自 2003 年开展了高密度生产试验,并开展了基于连续空间采样、CRP、减弱采集脚印技术的优化观测系统方法及道密度、炮密度、覆盖次数与成像效果关系的研究,以及适合去噪和偏移等处理算法的最小数据集重构、三维数据体叠前噪音分析及衰减方法、

高保真等处理方法研究。成像道密度的增加,使地震横向分辨率明显提高,在油藏精细描述和油气田开发中见到良好效果。例如,在准噶尔西北缘红 18 井区采用 $6.25\text{ m} \times 6.25\text{ m}$ 面元,道密度达到 61×10^4 道/ km^2 ,高密度剖面中深层主频大于 60 Hz,比老资料提高了 20 Hz,揭示小断层等地质现象的能力明显增强(见图 5)^[2]。

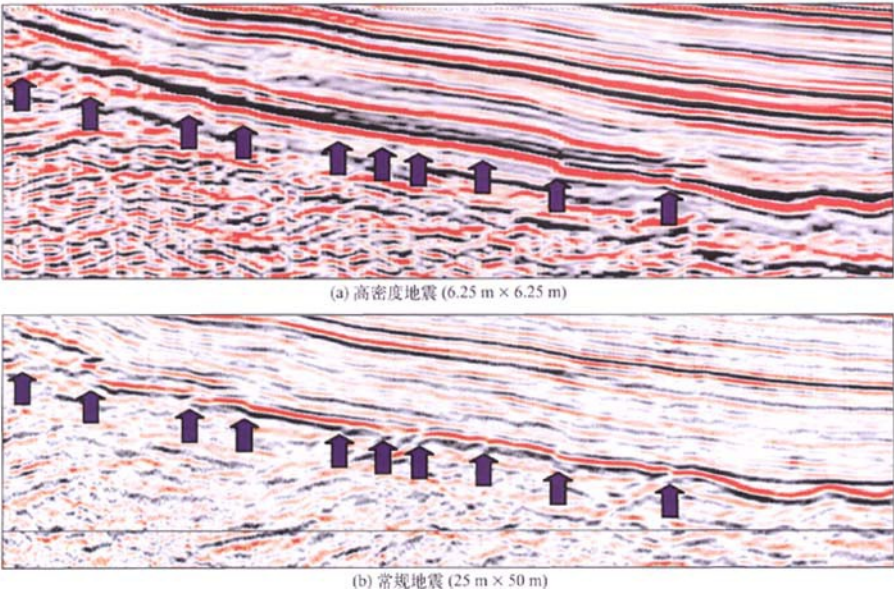


图 5 准噶尔西北缘红 18 井区高密度地震剖面与常规地震剖面对比

2.1.2 多波地震技术

中国石油自 2002 年开始开展多波地震试验生产,并开展了多波观测系统优化设计、三维转换波设计及施工、三分量微测井纵横波联合表层调查等采集方法研究,以及三维三分量数据旋转、转换波静校正、速度分析、各向异性处理、纵横波联合层位标定、振幅比分析和波形特征分析等处理解释方法研究,均取得了良

好进展和宝贵经验。例如,苏里格气田主力气层盒 8 段是一种典型的薄互层砂泥岩组合,识别难度大,通过纵波叠前弹性参数反演、叠前 AVO 分析、瞬时子波衰减分析及纵横波剖面的波形解释、纵横波振幅比分析、纵横波速度比分析等多波配套技术的应用,有效储集层预测符合率从原来的 60% 提高到了 80% (见图 6)^[3]。

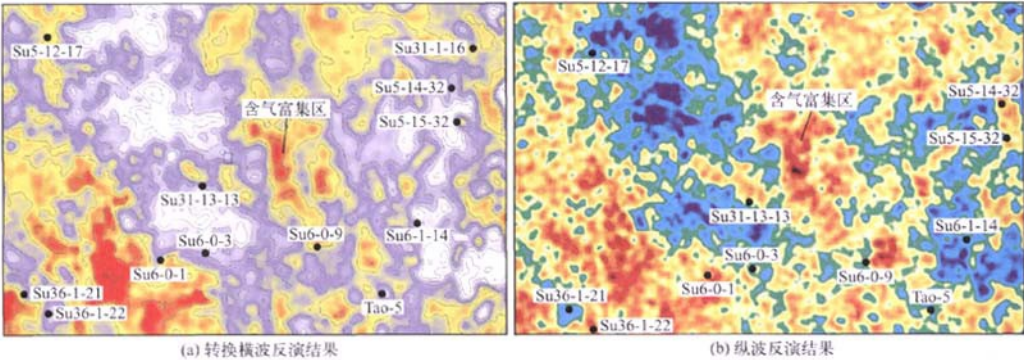


图 6 苏 31-13 井区三维多波反演预测含气富集区

2.1.3 全数字地震技术

中国石油自2004年开始进行全数字地震试验生产,并开展了高精度低降速带调查、宽频带激发、低噪声接收等采集方法研究,以及去噪、宽频、保护振幅特性的保真、保护弱信号等处理方法研究,使地震信号分辨率得到较大幅度提高。例如,在准噶尔车排子地区,为落实新近系沙湾组薄砂体横向展布特征、减少钻探风险,实施了5 m道检距的全数字地震试验,对模拟和全数字地震资料定量分析,后者浅、中、深层反射信号频率分别提高了30 Hz、20 Hz和15 Hz,分辨率明显提高,断层及岩性圈闭特征清楚^[4]。

2.1.4 时移(4D)地震技术

中国石油先后在新疆、辽河、大庆、冀东等油田开展了4D地震先导试验,并开展了可行性分析、两次采集一致性分析等研究,以及互均衡处理、地震属性分析等处理方法研究。在新疆彩南油田,通过4D地震剩余能量分析找到了剩余油位置,部署不规则开发井网,日产量较以前提高了约40%。

2008年,在辽河欢喜岭油田开展新一轮4D地震攻关,部署了7 km²的两轮地震(面元6.25 m×6.25 m)和2口时移VSP。通过地震属性差异分析和可视化技术,描述油藏内部物性参数的变化和追踪流体前缘分布,开展剩余油预测研究,目标是结合本区二次开发高密度三维地震,为曙光油田寻找5 000×10⁴ t的剩余油提供技术支撑,并形成一套适合中国陆相稠油油藏的动态监测技术。

2.2 地震采集、处理、解释软件系统研制成功

2.2.1 KISeis地震采集工程软件系统

为减小进口,提高解决中国石油复杂问题的能力,中国石油于1998年启动软件研制,于2000年推出KISeis 1.0版本地震采集工程软件系统,目前已升级到KISeis 4.0版本。经过持续不断完善,目前已形成了采集设计、模型正演、静校正和质量控制4大系统,适用于纵波、多波、VSP、海洋拖缆等地震采集。2002年推出英文版本,使该软件在中东、中亚、非洲等国外探区得到应用,取得了较好的经济效益和社会效益,为提高中国石油物探国际竞争力、树立技术品牌起到了重要作用。

2.2.2 GeoMountain复杂山地采集处理解释一体化软件

结合多年复杂山地地震勘探的经验和现有技术,中国石油自2006年启动了GeoMountain软件研发,目前已推出GeoMountain 1.0版本。主要包括地震采集、处理、解释和多波等4方面内容;针对复杂山地地震采集特点的基于模型正演、照明度分析、精细近地表万方数据

调查的动态井深设计等复杂山地采集观测系统设计特色技术;针对复杂山地和地下构造的近地表建模、静校正、多域去噪、起伏地表成像等特色处理技术;针对复杂构造特点的逆掩断裂带成图、裂缝发育带预测、隐蔽性油气藏预测、流体识别等特色解释技术;在多波方面形成了多分量采集、多分量地震资料静校正处理、叠前偏移、多分量联合反演等特色技术。

2.2.3 GeoEast地震数据处理解释一体化系统

为摆脱处理解释软件长期依赖进口的被动局面,提高中国石油的物探业务核心竞争力,中国石油于2003年启动了大型处理解释软件系统研发,并于2005年推出了GeoEast 1.0版本。经过3年的功能完善与新功能开发升级到GeoEast 2.0版本,达到了国际主流软件水平。在处理方面新增了海上、多波、VSP功能,在解释方面拓展了叠后储集层预测及反演功能。其处理效果与国际同类处理系统水平相当,并具有自身特色。GeoEast的成功研发形成了具有自主知识产权的核心物探软件产品,打破了国外物探公司的技术封锁,经济效益显著,为提高中国石油物探国际竞争力、树立技术品牌起到了重要作用。

2.3 重大地震采集装备研制成功

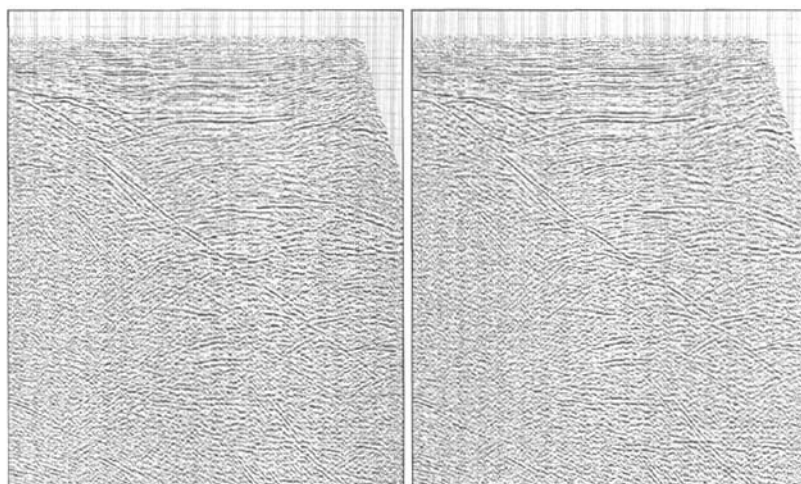
2.3.1 大型地震数据采集系统

2006年中国石油启动了“新型地震数据采集记录系统研制”重大科技专项,截至2008年初关键技术的研发已实现设计目标,其中地震仪器的标志性技术——高速数据传输能力达到国际领先水平,比目前国际主流产品的数据传输能力提高了2~5倍,达到40 Mbit/s(法国SERCEL的SN 428数据传输能力为16 Mbit/s、美国ION的SYSTEM IV数据传输能力为8 Mbit/s)。

2008年5月底,完成了主机软件开发及60道样机联调,经过全面测试,软硬件工作性能稳定。2009年2月进行了2 000道系统野外试验及试生产,与ION公司的Aries系统比较,数据质量达到了国际同类系统水平(见图7)。计划2010年具备试生产2 ms采样20 000道仪器产业化的能力。大型地震仪器的研制成功,可大幅节约购置成本,打破地震采集仪器长期依赖进口的局面,为提高中国石油物探国际竞争力、树立技术品牌起到了重要作用。

2.3.2 大吨位可控震源

中国石油将可控震源、物探钻机、沼泽设备、遥爆机等系列研发工作作为重大装备研制的一个重要组成部分。近年来,相继进行了KZ-28型铰接式可控震源、KZ-30型履带轮系可控震源研发,满足了山前带、浅沙



(a) 自主研发仪器采集地震剖面

(b) Aries采集地震剖面

图7 自主研发大型仪器与 Aries 仪器相同测线采集地震剖面对比

漠、软地表和冬季雪地施工等复杂环境下地球物理勘探作业的要求。KZ-34 型重型可控震源采用导柱液压油循环润滑结构、高低压立式内藏皮囊蓄能器、铰接式车架转向结构等创新设计,提高激发能级,增强下传能量强度,减少可控震源作业台数,提高复杂地表区地震勘探资料品质,使该型可控震源获得了 3 项国家实用新型技术专利。目前 KZ-28 型、KZ-30 型、KZ-34 型震源已相继投入野外使用。

2.3.3 地震钻机及运载设备

研制的 80 m 山地钻机、沼泽钻机、沙漠深井钻机已相继投产。根据滩浅海勘探施工运载装备需求,相继推出 ZCF-06 型、ZCF-08 型、ZCF-32 型浮箱链轨车和 ZCL-12 型轮式沼泽车、ZJL-01 型轻型铰接轮式沼泽车,相继满足了复杂山地、沙漠、水网、滩涂、沼泽等地区对新型设备的需求。

3 物探技术面临的挑战

为适应国民经济发展对油气资源的需求,中国石油提出了在“十一五”后 3 年和“十二五”期间组织四大工程,即“储量高峰期工程”、“二次开发工程”、“天然气大发展工程”和“海外工程”。四大工程各有侧重,贯穿油气勘探生产全过程,面向的地质对象主要是复杂高陡构造、岩性-地层油气藏、深层碳酸盐岩和火山岩、老油区(挖潜和二次开发)。在较长一段时期内物探技术还将继续面临巨大挑战。

3.1 复杂高陡构造地表地形、地下构造复杂,面临精确成像、落实圈闭的挑战

复杂高陡构造主要分布在塔里木盆地库车、塔西万方数据

南、准噶尔南缘、四川大巴山、龙门山山前、鄂尔多斯盆地西缘、柴达木北缘、玉门窟窿山和海外的中东、南美、非洲等地区,是“稳定西部”、发展海外业务的重点领域。其主要问题是地形复杂,高差大,出露岩性复杂,低降速带变化大;地下构造复杂,盐下构造、逆推构造、走滑大断裂等使地震波场极其复杂,虽经多年攻关,地震剖面与地质模型仍不完全吻合,面临提高地震成像精度(构造落实精度达到 100 m)、提高逆掩推覆冲断带高陡构造成像准确率(构造落实成功率提高 20%)、构造落实(使勘探周期缩短 20%~40%)的技术挑战。

3.2 岩性-地层油气藏地表复杂,储集层低孔低渗、非均质性强,面临提高分辨率和油气预测精度的挑战

岩性-地层油气藏主要分布在松辽盆地中浅层、渤海湾盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地腹部、吐哈盆地、柴达木盆地西南、三湖盆地、四川川东和川中,以及海外的中亚、亚太、非洲等地区,是储量增长的主战场。其主要问题是地表以丘陵山地、沙漠、巨厚黄土塬为主,低降速带厚;沉积相带复杂多变,储集层非均质性强,横向变化大;有效储集层单层厚度薄,低孔低渗,气水关系复杂^[5-7]。目前的高分辨率地震勘探依然不能有效识别厚度小于 3 m 的单砂层。物探技术面临进一步提高分辨率(东部地区地震主频再提高 10~15 Hz、西部地区主频再提高 10 Hz 左右)、提高储集层预测精度、岩性圈闭落实成功率提高 20%、提高油气预测精度的技术挑战。

3.3 深层碳酸盐岩和火山岩面临准确成像、预测有效储集层、定量刻画缝洞储集层的挑战

碳酸盐岩和火山岩是下一步天然气勘探开发的主

要领域。碳酸盐岩主要分布在塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地、中国南方和海外中亚、亚太、中东等地区。其主要问题是储集层埋藏深、时代老、非均质性强;有些地区的盐下构造使成像困难;储集层控制因素复杂,缝洞储集层发育,难以描述其空间展布;油气水关系复杂,烃类检测困难等^[9]。物探技术面临储集层预测精度达到 15~30 m、预测准确率达到 80%、定量刻画碳酸盐岩缝洞储集层、勘探开发成功率提高 10%~20% 的技术挑战。火山岩主要分布在松辽深层、准噶尔盆地、渤海湾盆地等地区。其主要问题是储集层埋藏深,构造形态复杂,对地震反射形成很强的散射和屏蔽,具有高速、高密度、低孔、低渗的特点,造成提高信噪比和分辨率困难,储集层预测、烃类检测难度大^[9]。面临的是深层地震资料信噪比再提高 50%、储集层预测精度达到 15~30 m、预测准确率达到 80%、勘探开发成功率提高 10%~20% 的技术挑战。

3.4 老区挖潜面临的物探技术挑战

老区主要是指渤海湾盆地、松辽盆地大庆长垣、准噶尔盆地西北缘和柴西南等地区,挖潜以油藏评价、寻找剩余油、老区新层系新目标挖潜、隐蔽圈闭识别为主。其主要问题是单层厚度薄、呈现砂泥薄互层结构;

以河流相沉积为主,规模小,宽度仅 300~600 m;储集层物性差,低孔低渗;断裂系统复杂、断裂小;深层地震资料信噪比低、分辨率低。目前的地震技术依然不能分辨横向展布小于几十米、纵向厚度小于 3 m 的储集层,不能为厚度薄、非均质性强的储集层开发水平井、分支井设计提供可靠依据。面临的技术挑战有:预测东部厚 1~3 m、西部厚 3~7 m 的岩性和构造-岩性圈闭,识别东部 3~5 m、西部 5~10 m 的断层,建立油气藏三维模型,提高二次开发成效。

4 物探技术攻关方向

中国石油的勘探开发面临复杂山地、黄土塬、超低孔低渗储集层、薄层等世界级难题,物探技术面临从油田勘探到开发各个环节的挑战^[10]。为此,中国石油制定了以下物探技术发展蓝图(见图 8),沿着二维描述、三维描述、三维可视化、四维检测、全面解决方案的技术发展路线:①在勘探阶段,发展以重磁电、复杂地表采集、叠前深度偏移处理、叠前储集层预测、圈闭评价、勘探技术、流体识别、油藏静态建模、评价技术、井筒地震、四维地震、流体识别、油藏动态建模、储集层改造动态监测、数字地震、高密度地震、多波;②在评价阶段,以地震勘探技术为基础,发展以高精度三维地震、叠前地震属性描述、流体识别、定性/半定量圈闭评价和油藏静态建模为主

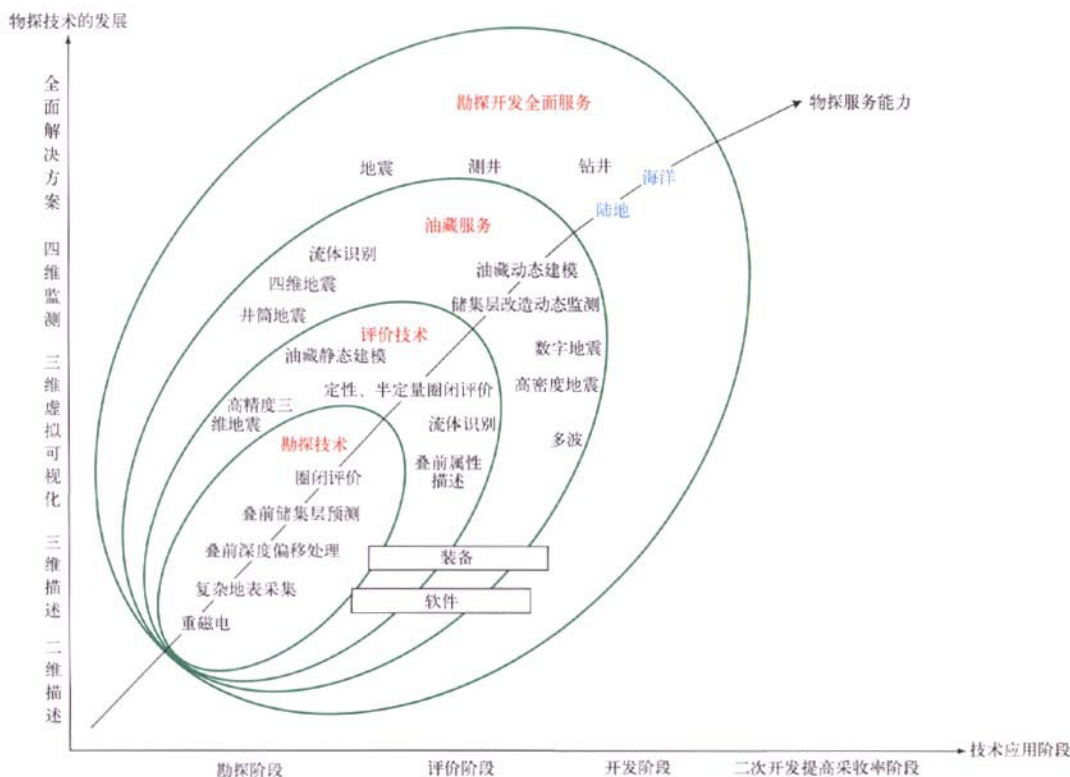


图 8 中国石油物探技术发展蓝图

的物探评价技术;③在开发阶段,发展以数字地震、高密度地震、多波、井筒地震、四维地震、流体识别、储集层改造动态检测、油藏动态建模为主的油藏地球物理技术;④在二次开发和提高采收率阶段,地震、测井、钻井等工程技术一体化,开展滚动评价,提供勘探开发全面服务的一体化解决方案。为确保中国石油“四大工程”的顺利实施,要不断加强物探软件、硬件研发,坚持陆地和海洋共同发展。

中国石油确立了4个攻关总体目标:①挑战岩性-地层圈闭识别能力,地震主频再提高5~10 Hz,薄储集层预测精度东部达到1~3 m,西部达到3~7 m;②挑战复杂山地高效勘探,提高地震成像精度,构造落实精度达到100 m,勘探周期缩短20%~40%;③挑战特殊储集层识别预测能力,储集层预测精度达到15~30 m,准确率80%以上,碳酸盐岩和火山岩勘探开发成功率提高10%~20%;④挑战老区精细勘探和二次开发技术,小断层、低幅度构造识别精度东部达3~5 m,西部达5~10 m;有效储集层预测符合率80%以上,含油气预测符合率70%以上,具备剩余油识别、开发动态监测能力。

为此,中国石油确定了未来3~5年2个方面21项内容的物探技术攻关方向。一是物探核心装备与软件研制,主要包括:①超万道地震数据采集装备;②数字检波器;③高保真电磁地震可控震源;④陆上三维电磁系统研制;⑤深海勘探装备设计及研制;⑥地震采集工程设计与质量控制软件;⑦地震处理解释一体化软件;⑧储集层预测和流体检测特色软件;⑨综合物化探采集处理解释软件。二是物探新方法新技术研究,主要内容包括:①岩石物理分析技术;②非均质储集层地球物理响应特征模拟和表征分析技术;③复杂构造及非均质速度建模及成像新技术;④储集层及流体地球物理识别技术;⑤高密度地震勘探技术;⑥多波多分量地震勘探技术;⑦时移地震技术;⑧井地联合勘探技术;⑨深海拖缆及OBC勘探技术;⑩海洋电磁勘探技术;⑪煤层气地球物理技术;⑫微地震监测技术。

通过持续不断发展,逐步实现物探技术应用和服务方式5个方面的延伸:①技术发展实现6个延伸,即从构造圈闭向岩性圈闭、从叠后向叠前、从时间域向深度域、从定性描述向定量描述、从储集层预测向烃类检测、从事后向事前的延伸;②技术链从勘探向开发延伸,形成完整的物探技术链条,贯穿油田勘探的生命周期;③业务链向油藏、海域、软硬件、信息等多领域延伸;④服务方式由单一向一揽子延伸,发挥集团整体优势,甲乙双方协作提供从勘探设计到储集层描述、井位部

署、上交储量的一揽子EPT服务;⑤服务市场从国内向海外延伸,从国内市场向国际知名油公司高端市场延伸。

5 结语

通过发挥中国石油整体优势,整合科技资源,加强新技术应用研究,加大技术集成配套力度,发展完善前陆冲断带、油气富集区、岩性-地层圈闭、碳酸盐岩及火成岩地球物理配套技术,形成特色的高密度地震、多波、时移地震、井筒地震等油藏地球物理配套技术,将油藏综合识别能力从10~15 m提升到3~5 m,使生产满足程度由目前的平均60%提高到70%,逐步解决油气田勘探开发中存在的瓶颈问题。

加大核心装备和软件系统研发,到“十二五”末,形成基于GeoEast平台、面向油藏的油气勘探开发综合软件系统;国产地震仪器技术和经济指标达到产业化标准;可控震源国内占有率达90%以上;掌握8~10缆船及收放系统设计技术,完成海洋拖缆等浮电缆的试制,掌握深海拖缆、深海OBC、海洋电磁勘探作业技术。

通过成熟技术推广、瓶颈技术攻关、前沿技术跟踪研究、软硬件系统的研发,必将更进一步提升中国石油物探技术核心竞争力,从而实现多做物探、少打井,总体勘探开发少投入、多产出,实现上游业务发展方式的转变,更好地为提高油气勘探开发效益服务。

参考文献:

- [1] 赵邦六. 多分量地震勘探在岩性气藏勘探开发中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 397-409, 423.
Zhao Bangliu. Application of multi-component seismic exploration in the exploration and production of lithologic gas reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(4): 397-409, 423.
- [2] 刘振武, 撒利明, 董世泰, 等. 中国石油高密度地震技术的实践与未来[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(2): 129-135.
Liu Zhenwu, Sa Liming, Dong Shitai, et al. Practices and expectation of high-density seismic exploration technology in CNPC[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(2): 129-135.
- [3] 刘振武, 撒利明, 张明, 等. 多波地震技术在中国部分气田的应用和进展[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(6): 668-672.
Liu Zhenwu, Sa Liming, Zhang Ming, et al. Progress of application of multi-wave seismic technology in part of gas-fields of China[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 43(6): 668-672.

- [4] 王喜双, 董世泰, 王梅生. 全数字地震勘探技术应用效果及展望[J]. 中国石油勘探, 2007, 12(6): 32-36.
Wang Xishuang, Dong Shitai, Wang Meisheng. Application and prospect of full digital seismic exploration technology[J]. China Petroleum Exploration, 2007, 12(6): 32-36.
- [5] 朱如凯, 赵霞, 刘柳红, 等. 四川盆地须家河组沉积体系与有利储集层分布[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 46-55.
Zhu Rukai, Zhao Xia, Liu Lihong, et al. Depositional system and favorable reservoir distribution of Xujiahe Formation in Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 46-55.
- [6] 汪泽成, 赵文智, 李宗银, 等. 基底断裂在四川盆地须家河组天然气成藏中的作用[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 541-547.
Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Li Zongyin, et al. Role of basement faults in gas accumulation of Xujiahe Formation, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(5): 541-547.
- [7] 李明瑞, 窦伟坦, 蔺宏斌, 等. 鄂尔多斯盆地东部上古生界致密岩性气藏成藏模式[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 56-61.
Li Mingrui, Dou Weitan, Lin Hongbin, et al. Model for tight lithologic gas accumulation in Upper Palaeozoic, east of Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 56-61.
- [8] 刘振武, 撒利明, 张研, 等. 中国天然气勘探开发现状及物探技术需求[J]. 天然气工业, 2009, 29(1): 1-7.
Liu Zhenwu, Sa Liming, Zhang Yan, et al. Status quo of natural gas exploration and development and technical demand for geophysical exploration in China[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(1): 1-7.
- [9] 杨辉, 文百红, 张研, 等. 准噶尔盆地火山岩油气藏分布规律及区带目标优选——以陆东—五彩湾地区为例[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(4): 419-427.
Yang Hui, Wen Baihong, Zhang Yan, et al. Distribution of hydrocarbon traps in volcanic rocks and optimization for selecting exploration prospects and targets in Junggar Basin: Case study in Ludong-Wucuiwan area, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(4): 419-427.
- [10] 冯连勇, 牛燕, 孙梅. 世界石油物探行业及技术发展趋势[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(1): 119-122, 125.
Feng Lianyong, Niu Yan, Sun Mei. Tendency of development of global oil geophysical exploration industry and techniques[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(1): 119-122, 125.

第一作者简介: 刘振武(1949-), 男, 陕西西安人, 英国 Heriot-Watt 大学石油工程专业博士, 中国石油天然气集团公司教授级高级工程师, 享受国务院政府特殊津贴专家, 主要从事地质综合研究、物探技术应用、科研及工程技术管理等方面的工作。地址: 北京市东城区东直门北大街九号, 中国石油天然气集团公司, 邮政编码: 100007。E-mail: lzw@cnpcc.com.cn

收稿日期: 2009-06-10 修回日期: 2009-10-29

(编辑 黄昌武 绘图 李秀贤)

《石油勘探与开发》2010 年第 2 期部分文章预告

- 川东北地区飞仙关组气藏两种气源生气史及相对贡献 王民, 卢双舫, 李吉君, 等
- 中国南方海相烃源岩生烃过程动力学研究 蒋启贵, 王延斌, 秦建中, 等
- 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组湖侵期沉积特征 喻建, 杨亚娟, 杜金良, 等
- 鄂尔多斯盆地中部气田断层发现及其意义 代金友, 何顺利
- 东濮凹陷裂缝性砂岩油气藏主控因素及成藏模式 赵良金, 杨广林, 王瑞飞, 等
- 深埋优质白云岩储集层发育的主控因素与勘探意义 张静, 胡见义, 罗平, 等
- 委内瑞拉奥里诺科重油带开发现状和开发特点 穆龙新
- 地质模型动态更新方法在关家堡油田的应用 张伟, 林承焰, 周明晖, 等
- 适于疏松砂岩稠油油藏储集层保护的水平井钻井液 岳前升, 刘书杰, 向兴金
- 中国大油田的长征(英文) Mikael Höök, 唐旭, 庞维奇, 等