

油气工程

应用技术进展

陈网根 主编



凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

油气工程应用技术进展

陈网根 主 编

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

油气工程应用技术进展 / 陈网根主编. —南京: 江苏科学技术出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-5345-5475-9

I. 油... II. 陈... III. 石油工程—工程技术—文集
IV. TE-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 092138 号

油气工程应用技术进展

主 编 陈网根
副 主 编 陈 翔 杨 力 唐成鸿
责任编辑 宋 平
责任校对 郝慧华
责任监制 曹叶平

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)

网 址 <http://www.pspress.cn>

集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市中央路 165 号, 邮编: 210009)

集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>

经 销 江苏省新华发行集团有限公司

照 排 南京展望文化发展有限公司

印 刷 通达彩色印刷有限公司

开 本 880mm × 1240mm 1/16

印 张 21

字 数 610 000

版 次 2007 年 1 月第 1 版

印 次 2007 年 1 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5345-5475-9

定 价 140.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

《油气工程应用技术进展》

编辑委员会

主 任	陈网根						
成 员	丁玉明	王彦祺	王武元	王宗敏	石 强	冯卫民	
	李 锋	朱应平	陈 翔	吴明强	陆黄生	张作清	
	张亚文	杨 力	杨振升	杨立东	周正平	宣志军	
	唐成鹤	谈士海					

《油气工程应用技术进展》

编辑出版人员

主 编	陈网根				
副主编	陈 翔	杨 力	唐成鹤		
编 辑	程希平	李 平	林爱红	敬钟伟	

序

伴随世界石油与天然气工程技术的快速发展,国外大型石油公司抢占技术制高点的竞争更趋激烈,油气勘探开发更加注重油藏经营管理和科技进步的协同作用,复杂结构井开采、低渗特低渗等难动用油气藏有效开发等技术得到高度重视,采油采气工程技术从单一技术研究向油气藏、井筒、地面系统优化、综合集成方向发展,地面工程技术向油田生产运行智能化、网络化方向发展,地震勘探技术向着更精确成像、油藏监测和流体识别方向发展,地球物理测井技术向全面成像化、阵列化、高度集约化和网络化发展,钻井工程技术向技术集成化、信息化、自动化、智能化方向发展。

中国石化集团华东石油局是一支具有 50 多年光荣历史的油气勘探开发队伍。1970 年,在苏北戴南构造钻探的苏 20 井试获工业油流,发现了戴南油田,实现了江苏油气普查勘探的战略性突破,1974 年发现真武油田,1983 年发现了全国最大的 CO_2 气田—黄桥 CO_2 气田,并已形成一套油气工程应用系列技术。油气勘查足迹遍及祖国的大江南北,为大庆、胜利、长庆、东海、塔河等油气田的勘探发挥了积极的作用,为我国石油工业的发展做出了实质性的贡献。华东石油局目前拥有石油地质研究、地球物理勘探、资料处理解释、钻井、地质录井、固井、地球物理测井、试油、测试、采油、油田地面工程建设等专业技术队伍和从美国、法国、瑞士、日本、德国等国引进了多套世界先进设备,且有了数百套国产先进设备,形成一系列独特的技术。近几年来,积极参与开拓国际石油技术市场,先后在俄罗斯、巴巴多斯、科特迪瓦、哈萨克斯坦、印度尼西亚、伊朗、柬埔寨、泰国、加蓬等国际市场开展地球物理勘探、含油气盆地评价、钻井、测井等技术服务,积累了丰富的经验。

本书经过有关专业技术人员从实践及理论的角度对这些油气工程应用技术归纳、总结和提升,总结近几年来华东石油局从事石油物探、钻井、固井、录井、测井、井下作业和装备等油气工程应用技术,从中筛选出 64 项单项技术。这些技术特点鲜明、技术先进、实用性强,从事油气工程专业的技术人员、科研人员及大专院校师生可以从中得到有益的借鉴和启示。

刘银青

前 言

石油工业随着油气工程技术的进步而不断发展,油气勘探开发效率不断提高,新油田和许多隐蔽油藏被发现,边际油藏得到有效开发。中国石油化工集团华东石油局在国内外已开展了 50 多年的油气普查勘探开发,形成了诸多具有自身特色且针对性强的油气工程应用技术。本书汇集 64 篇论文,包括了石油物探、钻井、测井录井和井下作业等四个方面的技术,且有相当部分的应用技术从理论、技术经济出发,结合其应用效果,全面阐述了其有效性和实用性。

物探篇,通过对沙漠地震勘探数据采集、复合型沙丘地震采集、水域地震资料采集、复杂山区三维地震采集和三维地震勘探中蛇形排列等方面的详细研究与分析,探讨了多种复杂地形条件下提高地震资料采集质量的有效方法。

钻井篇,展示了利用 PDC 钻头如何大幅提高机械钻速、降低成本,应用防斜打直技术、优快钻井技术和小井眼开窗侧钻技术如何提高工艺技术水平,针对盐膏层的钻井液技术,欠平衡钻井液和钻井完井液储层保护技术及实用有效的固井技术等。

测井录井篇,介绍了水平井测井、溶腔测井、随钻测井、空气钻井中的综合录井、小井眼套管开窗侧钻井的岩屑录井方法及欠平衡录井技术及其应用效果等。

井下作业篇,对水泥封堵、小井眼修井、空心抽油杆冲砂、小井眼(开窗)水平井 TCP 射孔、低渗透层压裂、渗透率储层诱流、火成岩储层试气和砾石高压充填防砂工艺技术进行了较全面的分析与探讨。

近年来,华东石油局正在发展和完善与东部隐蔽油气藏及深层勘探开发相适应的配套工程技术系列,以及我国西部、国外油气工程施工所要求的重点技术,如国内重点开展的 CO_2 驱油提高采收率技术等,并将技术进展总结介绍给大家,以飨读者。

陈网根

目 录

物 探 篇



- | | | |
|-------------------------|---------------------|---------|
| 3/ 沙漠地震勘探数据采集应用技术 | 唐成鸽 | 刘厚裕 |
| 7/ 复合型沙丘地震采集方法探讨 | 杨振升 | 黄 革 |
| 12/ 塔河水域地震资料采集方法攻关 | 唐成鸽 | 黄 革 郭永春 |
| 18/ 非纵观测系统在城镇三维地震勘探中的应用 | | 黄 革 |
| 21/ 复杂地区三维地震观测排列设置 | 尤桃如 | 梁雪飞 赵长宝 |
| 28/ 官渡山三维地震采集的技术与管理创新 | 杜惠平 | 陈亚平 |
| 35/ 川东北复杂山区三维地震采集技术探讨 | | 蓝加达 |
| 41/ 羌塘盆地北部二维地震方法试验效果分析 | 黄东定 唐成鸽 黄薇漪 王军锋 | 刘红军 |
| 46/ 黄桥—如皋地区地震采集方法技术效果评价 | 黄东定 唐成鸽 钟明煌 陈迎春 周正东 | 葛瑞麟 |
| 51/ 复杂地表地震资料处理中的一致性问题 | 匡朝阳 王 岚 蔡先华 | |
| 56/ 黄桥—泰州地区的构造演化和典型构造解剖 | 蔡先华 曹 骏 谭胜章 | |
| 61/ 查干花断陷深层构造变格与天然气成藏 | | |

钻 井 篇



- | | | |
|---------------------------------|---------|-----|
| 69/ 江苏台南油田水平井钻井技术 | 冯煜东 | 杨志杰 |
| 73/ 侧平苏 185 井钻井工艺技术 | | 沈建中 |
| 76/ 薄油层水平井井眼轨道设计技术研究与应用 | | 王彦祺 |
| 79/ 塔里木深井盐膏层钻井技术 | 张锦荣 陈安明 | 周玉仓 |
| 82/ 塔河油田超深井钻井技术难点及对策 | | 陈安明 |
| 86/ 塔河油田 PDC 钻头应用评价分析 | 石 强 | 陈同根 |
| 90/ 塔河油田大尺寸井眼提高钻井速度初探 | | 周玉仓 |
| 93/ 塔河油田 TH4-25-1 水平井钻井技术 | 宋文勇 | 吴 昱 |
| 96/ 偏心接头防斜技术在塔河工区的研究与应用 | 林卫东 | 邢华纪 |
| 100/ TK423 井套管开窗侧钻井技术 | | 宋文勇 |
| 104/ 欠平衡钻井技术在东北工区天然气井中的应用研究 | | 王彦祺 |
| 109/ 华泰 1 井(二氧化碳定向开发井)压井及完井工艺技术 | 周四祥 辛建华 | 张锦荣 |
| 114/ 关于钻台液压机具液压系统设计的技术探讨 | | 陈 翔 |
| 118/ EMTD 便携式钻杆检测设备研制及应用 | 袁春碧 | 戈海峰 |
| 121/ 苏北新生代地层井眼稳定技术研究与应用 | | 吴明强 |
| 126/ 江苏长裸眼水平井钻井液技术研究与应用 | | 吴明强 |
| 131/ 达 2 井欠平衡钻井液施工情况的分析和建议 | | 王宗敏 |

- | | | |
|-----------------------------|-----|---------|
| 136/ 塔河油田 S115-2 井承压堵漏技术 | 陈 亮 | 王立锋 |
| 139/ 塔河油田深部盐膏层钻井液技术难点及对策研究 | | 赵炬霄 |
| 145/ 解决塔河油田固井井漏的可行性方案探讨 | 石 强 | 李 锋 张锦荣 |
| 148/ 苏北地区小井眼固井工艺技术研究 | | 卢兴强 李 锋 |
| 151/ 调整固井技术综述 | | 王洪亮 李 峰 |
| 155/ 塔河油田 DK24H 井水平固井技术 | 陆长青 | 吕瑞华 郑建翔 |
| 159/ 塔河油田超深井 T903a 井低密度固井技术 | | 郑建翔 |

测井录井篇



- | | | |
|--------------------------------------|-------------|-----|
| 167/ 复电阻率测井在腰英台油田的应用 | 杨立东 | 张作清 |
| 171/ 水平井测井技术在江苏地区的应用 | | 王家琪 |
| 177/ 溶腔测井技术在苏南盐矿的应用 | | 王家琪 |
| 185/ 随钻测井技术发展与应用展望 | | 张作清 |
| 190/ 腰英台油田青二段储层测井评价研究 | | 杨立东 |
| 197/ 东北腰英台地区青山口组储层矿物与分类测井分析研究 | 马大洪 卢继香 徐卫良 | 王 静 |
| 211/ 空气钻井中的综合录井硬件的改进建议 | 王 琳 | 朱应平 |
| 217/ 小井眼套管开窗侧钻井的岩屑录井方法 | 鹿留法 | 朱应平 |
| 221/ 在层状油藏中施工水平井如何有效地利用随钻测井技术进行地质导向 | | 徐向阳 |
| 228/ SDL9000 型综合录井仪 DataDril 常见故障的维护 | | 王 琳 |
| 236/ 欠平衡录井技术探讨 | | 张家青 |
| 244/ 工程参数录井在钻井工程中的应用 | 刘金华 | 金拥军 |

井下作业篇



- | | | | |
|--|-----|-----|-----|
| 253/ 水泥封堵工艺技术的应用 | 谢先平 | 周正平 | 吴壮坤 |
| 256/ 小井眼修井工艺技术应用研究 | | 吴壮坤 | 谢先平 |
| 260/ 空心抽油杆冲砂在处理砂埋事故中的应用 | 谢先平 | 谈士海 | 张文正 |
| 263/ CO ₂ 驱油注入管柱的研制与应用 | 周正平 | 谢先平 | 钱卫明 |
| 268/ 内衬套管固井工艺技术在侧苏 130 井的应用 | | 宋其仓 | 中忠奎 |
| 272/ 小井眼(开窗)水平井 TCP 射孔工艺技术应用研究 | | 姚洪生 | 张亚文 |
| 276/ 长岭凹陷腰英台低渗储层压裂工艺技术应用研究 | | 张亚文 | 张文正 |
| 281/ 苏北盆地低渗透率储层测试诱流工艺技术研究及其应用 | | 杨怀成 | 张 勇 |
| 287/ 黄桥 CO ₂ 凝析气田的腐蚀特点与完井对策 | | 钱卫明 | 殷宜平 |
| 291/ 腰英台深层构造火山岩储层试气工艺评价 | 刘兆跃 | 张亚文 | 邵百喜 |
| 296/ 砾石高压充填防砂工艺在北汉庄油田的应用 | | | 杜长全 |
| 302/ 分层注水工艺及调配测试技术应用研究 | | | 钟辉高 |
| 310/ 油管检测技术和管杆清理修复技术应用 | 张国林 | 中忠奎 | 胡 均 |
| 316/ 油田储油罐、污水罐防腐蚀技术研究及应用 | | | 符光远 |
| 319/ 采气树闸门的带压修理 | | | 王以顺 |
| 321/ 腰英台油田杆管偏磨结垢综合治理技术 | 刘兆跃 | 张亚文 | 姚洪生 |

物 探 篇



沙漠地震勘探数据采集应用技术

唐成鸽, 刘厚裕

(中国石化集团华东石油局第六物探大队, 南京 210009)

摘要: 沙漠地区巨厚的地表浮沙形成低速层厚度横向变化大, 对石油地震勘探数据采集的激发和接收一致性影响较大; 对地震波的能量衰减较为严重; 对地震波的高频成分吸收强烈; 高大沙丘和低速层厚度横向变化对“静校正”工作提出了更高的要求。第六物探大队(SGPC)从事沙漠地区石油地震勘探数据采集有近三十年的历史, 先后在塔里木盆地塔克拉玛干沙漠地区、蒙古鄂尔多斯盆地和吉林伏龙泉等部分沙漠地区成功地进行石油地震勘探数据采集, 摸索和总结出一系列行之有效的石油地震勘探数据采集技术和方法, 取得了高品质的地震资料。本文主要就塔里木盆地地震勘探实例, 对沙漠地区石油地震勘探数据采集的表层结构调查、激发和接收三大重要环节, 并对小点距、大排列、广角反射勘探技术进行介绍。

关键词: 沙漠地区; 石油地震勘探; 数据采集; 表层结构调查; 激发; 接收

0 引言

沙漠地表沙丘(山)起伏较大, 低速层厚度横向变化大, 静校正数据的求取对资料的品质影响大, 高精度测量技术、激发与接收条件的改善是获取高品质资料的关键。塔里木盆地塔克拉玛干沙漠地区、蒙古鄂尔多斯盆地和吉林伏龙泉等部分沙漠地区虽然沙山的规模与沙丘的类型各有不同, 在多年的石油地震勘探数据集中摸索和总结出一系列行之有效的石油地震勘探数据采集技术和方法, 取得了高品质的地震资料^[1-3]。本文主要就塔里木盆地地震勘探实例, 对沙漠地区石油地震勘探数据采集技术的应用、发展及效果, 作一简要介绍。

1 问题提出

随着科技的飞速发展和石油勘探理论的不完善, 沙漠装备不断发展和计算机技术不断提高, 地震数据采集各环节得到了飞速的发展。数字地震仪记录的动态范围从 14 位发展到今天的 24 位; 单主机带载能力由 96 道发展到今天的上万道; 大排列长度已成为现实。在保证有足够排列长度的情况下, 横向采样率也由当初 50 m 发展到今天的 20 m。高精度的 GPS 测量、RTK 实时放样技术, 大大提高了当初靠经纬仪、红外线测距仪、测绳等方法获取的测量数

据精度, 保证了地震数据采集的准确性和可靠性, 提高了地震勘探的精度。

影响石油地震勘探资料品质的主要因素依然是表层速度参数、激发和接收三大环节。最初的表层结构调查方法单一, 加之对其认识不足, 谈不上什么应用; 如今的表层结构调查方法有小折射、微测井、沙丘曲线调查、潜水面测定等方法, 取全、取准静校正资料, 建立表层结构模型, 用于激发并深的设计和地震数据处理中的静校正。激发环节是关键。由当初的设备及指导思想引导, “坑炮组合”激发, 4 m 吹沙筒“多井”组合激发, 8 m 吹沙筒“多井”组合激发, 发展到今天的潜水面下单深井激发、潜水面下多深井组合激发, 地震资料品质得到了很大程度的提高。接收环节逐渐改进, 如大面积组合、限制道内高差、挖坑埋置检波器、组合中心对称等, 这些措施的应用对地震资料起到较好的改善作用。图 1 为同一地区的新、老二维地震剖面, 可以看出资料品质有明显的提高。

2 表层结构调查技术^[4]

复杂地表的地震勘探所面临的一个重要课题, 就是“静校正”问题。国内外许多专家和学者在“计算”领域做了大量的工作, 如“高程静校正”、“模型法静校正”、“大炮初至折射静校正”、“时深转换静校正”、“层析反演静校正”、“面波反演法静校正”、

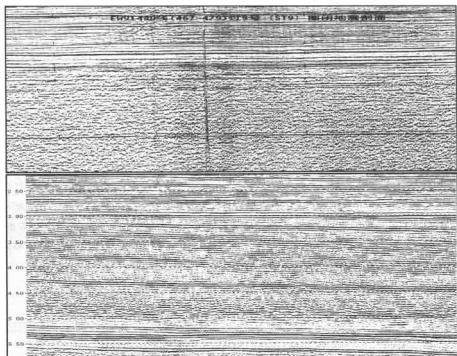


图1 塔里木某地区1991年(上)与2003年采集的二维地震剖面(SGPC)

“地质雷达法静校正”等;其数学算法也有许多种,如“神经网络计算法”、“合成延迟时计算法”、“EGRM计算法”、“迭代计算法”、“多次项拟合计算法”等。这些方法和技术在一定程度上都取得了突破和进展。取准、取全“野外静校正”基础资料,做好表层结构调查工作,对提高“低幅度构造”可信度具有重要意义。

表层结构调查主要是调查地表高程、低(降)速带厚度和速度的变化情况,以便建立近地表地震地质模型,为激发井深的设计、地震资料处理野外一次静校正提供重要依据。目前表层结构调查方法主要是小折射、微测井、沙丘曲线、地质雷达和陆地声纳,在塔中沙漠地区用推水坑的方法来确定潜水面的静水面高程,地表高程采用高精度GPS、实施RTK测量。

有了近地表模型,在野外地震数据采集过程中,为激发井深的设计和实施提供了依据,确保在潜水面以下激发;在数据处理过程中,为精确求取静校正量提供了保证,提高了地震数据成像的可信度。

3 深井激发技术^[5]

本世纪初,沙漠装备的改进和钻深井的技术提

高,在沙漠地区实现了“深井激发技术”。“深井激发”主要指激发井深在潜水面下,塔里木盆地激发井深在潜水面下5~7m时,能够获取高品质的资料。图2是塔里木盆地在潜水面下、下激发的单炮记录,激发井深在潜水面下、下所得的资料品质完全是两样。

沙漠地区的潜水面不仅是一个很强的屏蔽面,而且是一个很强的虚反射界面。虚反射是指震源在潜水面下激发时,潜水面对地震波产生的向上传播的一次反射。它与地震波产生的相干加强的条件是两者时差不能超过 $T/4$ 或其距离不得大于 $\lambda/4$ 。在沙漠地区进行深井激发时,并不是井深越深越好,一般在潜水面下5~7m这个深度激发可获得高品质的地震资料,这个深度被称为“调谐深度”。由此可见,确定潜水面的埋深在沙漠地区地震数据采集过程中是一个关键技术。

工程上实现深井激发,主要是靠大动力沙漠专用钻机;在沙丘低部位,井深较浅,也可以采用人工反循环钻。激发药型一般采用“高密度胶铸”成形炸药,药量在12~36kg。激发深度以药柱的顶部计算,并保证激发深度统一在潜水面下5~7m,从而保证激发子波一致性。

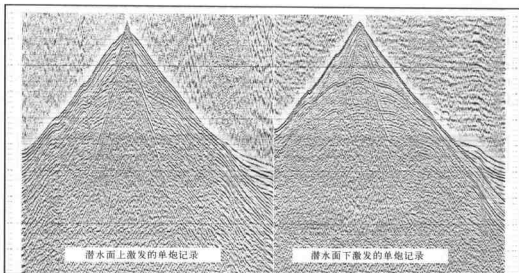


图2 塔里木盆地在潜水面、下激发的单炮记录

4 组合检波技术

组合检波主要是压制随机干扰和一些规则干扰,提高信噪比,这在沙漠地区更不例外。塔克拉玛干沙漠地表起伏较大,沙丘比高 10 ~ 100 m,这给组合检波技术的实施带来困难。

为了减弱风干扰,增加检波器与地耦合,检波器一般挖坑埋置。坑的深浅可依沙的松软而定,塔里木是世界上最大的流动沙漠,沙丘的形成有迎风面和背风面之分,迎风面风沙较紧密,背风面较松软,可依不同而设计坑深。经反复试验,在其背风面坑深 60 cm 效果较好。为此,我大队自行研制的“沙漠检波器埋置器”实用性较强,一个人埋置一个检波器只要 40 min,深度能达到 60 cm 以上且耦合良好,提高了工效。

沙漠地区组合检波技术另一个难点是道内组合高差影响组合效果。在地表较为平坦的地段,采用横向大组合基距的大面积组合,能够提高地震资料的信噪比且对高频成分压制作用不大;但在地表起伏较大的地段,这种大面积组合道内就存在较大的高差,组合效果明显变差。在实际施工中,对地表高差较大的地段,采取满足道内高差小于 2 m、对称压缩图形方法进行埋置。这样,在整个接收排列上造成接收条件不一致,组合图形有大有小,道内高差有高低,加之沙丘高部位对地震波的吸收、衰减严重,导致接收到的地震子波一致性较差。

针对沙漠地区这种复杂的接收条件,为了能有效

地提高主要目的层的信噪比和分辨率,我队积极探索,开展方法技术攻关,研究耦合与补偿技术在实际生产中的应用,尽可能使被近地表吸收衰减的高频得到补偿,从而提高主要目的层的反射频率。针对主要目的层采用耦合与补偿技术,前后叠加剖面 45 ~ 75 Hz 的扫描,有一定的效果。

5 小点距、大排列、广角反射勘探技术介绍^[6]

近年来,塔里木盆地开展小点距、高覆盖次数、超多道、大排列、充分利用广角反射技术的地震勘探,取得一大批资料品质较好的地震资料。

小点距(道间距 20 m, CMP 距 10 m)的优势很明显。首先提高了横向采样率和“道间”的相关性,有利于强反射层之间的弱反射信息和陡倾角地层的成像;再者提高了主要目的层的有效叠加次数,提高勘探目的层的信噪比。

接收道数、排列长度的选择,主要是基于排列长度应相当于勘探深度的勘探理论。广角反射技术的应用,拓宽了排列长度的选择范围。“广角反射”是指入射角大于临界角的反射。针对主要目的层来说,排列长度大于 8 000 m 而小于 14 300 m 区域为广角反射接收区;图 3 是塔里木盆地某地区的单炮记录,可见广角反射波的能量强,频率低,连续性好,信噪比高。现在的数据处理技术都能充分利用好广角反射信息,并且对提高目的层的反射波信噪比起到较好效果。

高覆盖次数对地表地形复杂、反射波能量弱的地

区,无疑是提高信噪比的有效方法。在以往的观测系统中,覆盖次数有的也达到120次以上,而主要目的层的有效覆盖次数不到覆盖次数的70%。其原因主要是观测道距(40~50 m)较大造成的,大排列的远道在叠加时对主要目的层没有贡献。为了提高主要目的层有效叠加次数,采用小点距(道距10~20 m)的观测

系统可使主要目的层有效叠加次数提高到覆盖次数的85%以上。

超多道地震仪器使得上述所有的技术要求都得到实现。目前,在塔里木盆地广泛开展小点距、高覆盖次数、超多道、大排列、充分利用广角反射技术的地震勘探,剖面品质得到了较大的提高,取得了明显的效果。

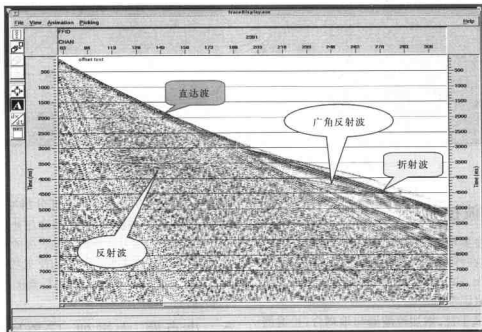


图3 塔里木盆地某地区的单炮记录

图中的广角反射波能量强、频率低、连续性好、信噪比高

6 结束语

由于作者多年来主要从事地震资料采集工作,许多观点来自于实践经验,上升到理论认知高度还有待进一步的完善。文中不足(甚至是错误)之处,敬请专家、学者斧正,在此表示衷心感谢!

参考文献

[1] 第六物探大队 645 沙漠地震队. 2001 年塔中地区(区2)二维地震

采集项目竣工总结报告.

- [2] 第六物探大队 645 沙漠地震队. 2003 年塔里木盆地顺托果勒-顺托果勒南区块二维地震采集项目竣工报告.
- [3] 北京科胜博达公司. 2003 年塔里木盆地顺托果勒-顺托果勒南区块二维地震资料处理项目竣工报告.
- [4] 华东石油局第六物探大队刘厚裕. 重视表层结构调查, 提高低幅度构造可信度.
- [5] 华东石油局第六物探大队刘厚裕, 等. 塔中地区地震勘探采集方法初探.
- [6] 华东石油局第六物探大队冯加进, 唐成鸽, 等. 塔中沙漠地区地震勘探采集方法研究.

复合型沙丘地震采集方法探讨

杨振升, 黄 芊

(中国石化集团华东石油局第六物探大队, 南京 210009)

摘 要: 西部地区有我国重要的石油资源战略接替区——塔里木、准噶尔等含油气盆地, 自 20 世纪 80 年代开展地震勘探以来, 随着勘探向纵深发展, 油气储产量不断提高。但由于地表大多表现为起伏的沙漠, 沙丘表层结构横向变化大, 潜水面深, 严重影响地震采集资料的品质; 特别是复合型垄状沙梁及蜂窝状沙丘, 沙丘比高在 40 ~ 100 m 之间, 最高可达 150 m, 是沙漠地震勘探的难中之难, 以往这些复杂区域的地震勘探工作一直没有取得比较理想的效果。近年来, 随着地震勘探装备水平的提高及方法技术研究的深入, 通过先进科学的地震采集参数论证与观测系统设计、采集技术水平的提高、质量控制系统的建立等技术手段, 在分段段设计、细化工作方法、强化激发接收因素等方面进行了卓有成效的尝试, 地震资料品质得到了质的飞跃, 地震资料的信噪比及中、深层(包括层间)勘探能力明显得到提高, 取得了令人满意的地震勘探效果, 从而极大地推动了这些地区的油气勘探进程。

关键词: 沙漠地震勘探; 复合型沙丘; 模型计算; 避高就低

1 问题的提出

塔里木、准噶尔等西部含油气盆地地表为起伏的沙漠, 中石化塔中油气勘探区块位于塔克拉玛干沙漠的腹地, 地表大多为复合型沙丘, 地表起伏大。其中, 以卡 2 的东部、卡 3、卡 4、顺南的南部和孔雀河南部、满东等地区沙丘比高最大, 属于复合型高大沙丘区。该区的地震勘探受地表高大沙漠的影响, 采集方法的限制, 其资料品质一直没有取得较大的突破。

沙丘地区的表层地震地质条件特征为:

① 表层被巨厚的沙层所覆盖, 多为复合型垄状沙梁和蜂窝状沙丘(图 1), 地表高程变化范围为海拔 1 100 ~ 1 280 m; 沙丘比高较大, 一般为 40 ~ 100 m, 最高可达 150 m; 低速带厚度及速度变化大, 一般厚度在 20 ~ 80 m 之间, 最厚可达 100 m 以上; 高速层速度较稳定, 范围为 1 600 ~ 1 900 m/s。

② 潜水面海拔高程一般为 1 080 ~ 1 190 m。垄状沙梁间的低洼处潜水面埋深较浅, 一般只有 2 ~ 5 m, 而在沙丘高处潜水面局部可深达百米以上。

③ 沙丘对地震波的吸收衰减严重, 复合型高大沙丘区造成地震勘探的激发和接收条件变差, 严重影响地震勘探效果。

因此, 在复合型高大沙丘地区改善激发与接收条



图 1 延伸起伏的沙漠地表特征

件是获取高品质地震勘探资料的关键。

2 采集关键技术

在高大沙丘地区进行地震资料采集过程中, “六物人”通过不断总结前人勘探经验和自身的实践完善, 在地震测线合理布设、表层结构调查、干扰波分析及压制、减小表层影响取准、取好浅中深层(特别是深层弱反射信号)等地震反射资料采集方面, 摸索和总结出一系列行之有效的地震采集方法技术, 取得了令人满意的勘探效果。

从具体的技术思路来讲,主要从以下几方面着手:

2.1 加强理论研究和参数认证工作

充分应用现有地球物理参数进行科学论证,利用模拟计算,求取最佳工作参数及方法,为获得高大沙丘地区高品质地震资料作理论准备。

① 利用虚反射理论模型和试验结果,为激发井深设计提供依据。

沙漠覆盖区表层结构一般可分成两层,上层是由盆地四边山系风化的砂石在风力的搬运作用下堆积而成的沙丘沙层(通常叫风化层),其底界是潜水面,是一个强折射界面。下层则是潜水面下含水沙泥互夹层,为地震勘探有利的激发介质。当选择在下层进行激发地震波时,潜水面对地震波产生的向上传播的一次反射(俗称虚反射)。它与地震波产生的相干加强的条件是两者时差不能超过 $T/4$ 或其距离不得大于 $\lambda/4$ 。

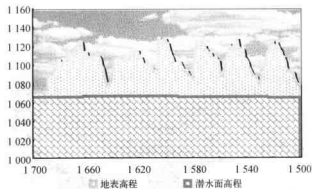


图2 塔中沙漠 TZO1 测线表层结构简图

潜水面的虚反射对激发响应的影响,用计算机软件对潜水面为 5~20 m 的不同井深进行响应分析。分析结果表明,采用炸药震源(假设激发主频为 500 Hz),药包顶部在潜水面下 1.5 m 激发,激发响应较好(见图 3);假设激发主频为 300 Hz,药包顶部在潜水面下 4 m 激发,激发响应较好。

多方位的试验资料也表明,在高大沙丘地区采用药包顶部在潜水面下 4~6 m 激发,单炮记录面貌较好;通过定量(能量、频率等)分析,结果也证明了这一点。

因此,求取准确高大沙丘地区变化无常的潜水面工作十分重要,无论对于处理过程中的静校正,还是对于指导激发井深设计、获取高品质地震资料,都是关键参数之一。

② 利用地震地质模型的正演计算,求取最佳工作方法,为获取勘探目的层地震反射波提供依据。

近几年来,西部沙漠地区进行了大量的地震勘探

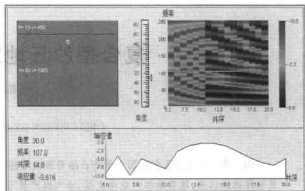


图3 “虚反射”模型计算

工作,积累了大量丰富翔实的第一手资料,初步建立了具有典型特征各类地表及地下构造进行模型正演和射线追踪方法。通过正演模拟的记录与实际试验地震资料进行对比,为获取勘探目的层地震反射波提供了重要依据。

同时,在地震观测系统的设计方面,综合考虑到主要目的层有效反射波的获取及降低主要干扰波的影响程度,包括:

✓ 以主要目的层为设计依据,综合考虑生产因素;

✓ 为使勘探目的层反射波组避开折射波和直达波的干涉,选择最大炮检距;

✓ 排列长度的要求分析时,综合考虑动校拉伸 $\leq 10\%$ 及速度鉴别精度为 10% 。

在沙漠地区地震勘探过程中,压制干扰、提高信噪比始终是人们永远讨论不完的热点话题。而波、浅层多次折射等规则干扰及随机干扰的存在,高大沙丘区随机干扰的复杂,导致环境噪声、沙丘侧向等次生干扰的加大,因而需要通过多种方法进行解决,野外炮检组合也是压制干扰波的有效方法之一。

现有地震处理软件在压制并消除面波及折射波方面,都有较好的效果。

③ 综合理论与实践资料的分析,为选择数据采集参数和观测系统提供依据。

由于理论分析是在各种理想的假设条件下进行的,因而需要在实践中不断地补充和完善。在施工过程中,我们采取了“分线、分段设计”的方法,针对不同线段的具体情况,结合实际资料进行详细的设计分析工作,现场工程技术人员随时注意着资料变化情况,随时启动“生产转设计试验、设计试验转生产”施工程序,发现连续资料变化时,要加强设计试验工作。

2.2 采用科学方法,确保复合型沙丘地区地震资料品质的提高

① 采用多元化表层调查技术。高质量的表层结构数据不仅为沙漠地震资料的处理提供可靠的静校正数据,同时也为生产因素(特别是激发深度)的选取提供了可靠的依据。

由于该区表层结构变化较大,各种调查手段都有相应的适应性,因此,微测井、小折射、推水坑观测水面高程相结合运用则是该区调查表层结构的特点之一。

利用小折射方法的高效率、微测井观测的高精度加上水坑观测的控制,确保表层结构模型及潜水面深度的可靠资料,通过近几年的实践,取得了较好的勘探效果。

② “避高就低、避厚就薄”,合理布设测线及变观作业是提高单炮质量的重要手段。

根据多年的沙漠勘探经验,合理选择激发及接收点位是取得良好勘探资料的前提条件之一,主要表现为:

✓ 提高激发点波的频谱宽度和主频,缩短反射波衰减路径,以有效提高地震剖面的信噪比和分辨率;

✓ 激发点松散沙层厚度的减小,从而降低了沙丘鸣震干扰的影响程度;

✓ 激发点上沙层厚度的减小,虚反射路径相应缩短,降低对地震子波高频成分的压制;

✓ 提高了检波器接收的地震反射波能量和地震信息高频成分;

✓ 激发及接收点选在了相对低洼位置,激发能量的改善则确保单深井激发效果和工作效率的提高。

在具体工作中,在上述几个方面进行科学合理的工作:

一方面,合理进行测线的设计,尽量避开高大沙丘等区域。在确保勘探地质任务完成的前提下,在规定测网网格内应用最新高精度卫星照片合理选择测线位置,使地震测线位置尽量避开高大沙丘,将炮检点尽量布设在相对低凹处。例如“拐8°角技术方案”的实施克服了顺南地区穿越高大沙丘资料品质明显变差的技术难题,从而最大限度地确保获取地震资料的高品质及可用性,为油气勘探奠定较好的基础。

另一方面,依据表层调查结果,加大避高就低力度,确保单炮记录品质。由于“避高就低、避厚就薄”方法后,激发、接收点不会在同一直线上,而以折线分布,导致共CMP点的发散,甚至影响叠加剖面效果。通过理论分析与模拟计算,通过研究地下反射波的第一费涅尔半径,把共CMP点散度控制在第一费涅尔带范围内,就可有效消除对迭加剖面效果的影响,从而

提高地震勘探的效果。

“避高就低”适合于激发点和接收点两方面:一是接收排列上检波点的避高就低,包括在允许范围内,将测线设计在地理位置相对平缓的区域并通过测线小角度转折以避开局部高大沙丘区域,尽量缩短反射波在低速层中传播路径,减小波的吸收及衰减,提高接收的反射能量;二是激发井位选取上确良避高就低,包括在规范允许范围内进行垂直测线避高就低和沿测线将沙丘山高处的理论激发点移向低洼处的避高就低(见图4)。沿测线将沙丘高处的炮点移向低洼处的避高就低时,采用低处炮点进行内插,CMP点细分方法,这将有利于元内偏移距分量的合理分配及提高迭加时各种随机干扰的压制效果。

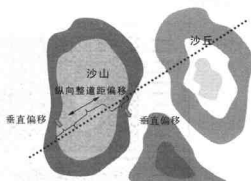


图4 “避高就低”纵、横向变观示意图

经过多年的实践,能否保证潜水面进行地震波的激发,对地震记录品质影响最大。因此,在炮点设计上实行了“避高就低、避厚就薄”的办法,并通过合理变观,把干沙层较厚的高部位的炮点移到相对低洼处,提高了单炮记录质量,改善了剖面的信噪比。

同时,并非所有的炮点都可以进行偏移,在第一费涅尔带范围外进行炮点偏移将严重影响多次叠加的效果,因而必须采用相应的方法措施。此时,在沙丘高部位需要进行组合与单深井对比试验,图5分别利用不同激发方式得到的记录,两者在2 200~3 200 ms时窗范围内的两组反射波组反射能量上存在明显差异。同时,单深井记录在同相轴的连续道数上多于组合井记录,并且在面波及初至、折射波对反射波的干扰区内也可明显可见反射同相轴。特别是经过沙丘(山)过大,无法实现“避高就低”时,必须全部采用单深井激发。过去沙漠地区的采集过程中,有时单深井往往会超过60~80 m,才能取得比较理想的效果。

在检波器置置方面,针对该区表层十分松散的特