

柴达木盆地西部复杂山地宽线地震勘探技术

张春贺*^① 乔德武^① 李世臻^① 张敏^②
甘贵元^② 许勇^③ 唐怡^③

(^①国土资源部油气资源战略研究中心,北京 100034; ^②中国石油青海油田分公司勘探开发研究院,甘肃敦煌 736202; ^③川庆钻探工程有限公司地球物理勘探公司研究中心,四川成都 610213)

张春贺,乔德武,李世臻,张敏,甘贵元,许勇,唐怡. 柴达木盆地西部复杂山地宽线地震勘探技术. 石油地球物理勘探, 2012, 47(2): 189~193

摘要 “全国油气资源战略选区调查与评价”项目选取柴达木盆地西部英雄岭地区为攻关地区,开展复杂山地地震勘探技术研究。本文在分析工区地震勘探难点及以往地震技术应用效果与不足的基础上,提出了新的技术思路,通过试验总结形成了复杂山地宽线地震采集、处理配套技术,应用该套技术提高了工区地震资料品质,落实了目标区构造圈闭,证明宽线地震勘探技术是适用于柴达木盆地西部复杂山地的勘探技术。

关键词 宽线地震勘探 复杂山地 油气勘探 柴达木盆地 地震数据采集 处理技术

中图分类号:P631 文献标识码:A

1 引言

柴达木盆地西部复杂山地油气资源量丰富,勘探前景好,但地形起伏剧烈,地表侵蚀程度高,地震野外采集施工极其困难,导致地震构造成像难度大,可见该区既是开展油气勘探的重点区,又是实施地球物理勘探的难点区。根据西部复杂山地油气勘探对地震资料品质的要求,国家油气专项“全国油气资源战略选区调查与评价”下设的“柴达木盆地油气资源战略调查及评价”项目,部署在狮子沟—油砂山构造带开展复杂山地地震勘探技术的试验与应用。

狮子沟—油砂山构造带位于柴达木盆地柴西英雄岭地区,它是茫崖拗陷的一个二级构造带,南为尕斯油田,西邻七个泉和红柳泉油田,北接英雄岭生油拗陷。工区南边小部分地表为戈壁砾石;其余均为复杂山地覆盖,其山体陡峭,起伏剧烈,海拔高度在3000~3670m,相对高差一般在200~300m。山区表层岩性主要为古近系、新近系泥砂岩,风化剥蚀严重,结构疏松,且地表岩层倾角变化大,低降速层

厚度大,激发和接收条件均很差。

该区石油地震勘探始于1995年,当时主要采用1290-120-30-120-2490不对称观测系统,120道接收、60次覆盖,激发因素为单井(15m,18kg),但所获剖面质量很差。1998~2004年相继在狮子沟区及整个环英雄岭区进行了多次的山地地震勘探方法试验研究。随着接收道数、覆盖次数、多井组合及激发药量等施工参数的逐年优化,地震剖面品质逐渐改善,但绝大多数地震剖面特别是构造主体区段剖面的品质仍不尽人意,无法满足地质解释的需求^[1]。

本文在分析工区地震勘探难点及以往地震勘探技术应用效果与存在不足的基础上,提出了新的技术思路,结合试验形成了复杂山地宽线地震采集、处理配套技术,提高了复杂山地地震资料的品质。

2 地震勘探难点及针对性技术措施

分析制约该区地震勘探的技术瓶颈,借鉴现今有效的地震勘探技术,可使本次制订的试验方案具有更强的针对性。首先围绕狮子沟—油砂山区及整个环英雄岭区,全面收集了近几年采集、处理的地震

*北京市西城区国土资源部油气资源战略研究中心,北京 100034。Email:chunhezhang@gmail.com

本文于2011年4月29日收到,最终修改稿于2012年2月26日收到。

本研究受到国家油气专项“全国油气资源战略选区调查与评价(XQ2004)”资助。

剖面等资料,对工区地震勘探难点进行了细致分析,归纳为以下几点:

(1)地形变化剧烈、风化层厚度变化大和老地层出露,导致低降速带横向变化剧烈,静校正难度极大;

(2)各类干扰波发育,主要是面波、浅层折射波和多种次生干扰波等,特别是在复杂山体区,干扰波受地形影响大,波组扭曲变形严重,因此噪声识别与压制十分困难;

(3)激发、接收条件差,戈壁砾石区井壁坍塌严重,钻井效率低,山地炮点布设困难,激发效果差;

(4)地表风化严重,地震激发能量弱,传播衰减严重,极不利于地震波的激发和接收;

(5)复杂山地地形连绵起伏,高差大,检波器组合难以正常展布,不利于干扰波压制;

(6)低幅度构造复杂、断裂发育,地震波反射路径复杂,资料成像困难。

在详细分析工区地震勘探难点基础上,结合野外踏勘,对狮子沟—油砂山区原地震资料的品质及相应技术措施的适应性进行了系统分析,进而提出以下具针对性的地震技术改进措施^[2]:

(1)利用高精度遥感资料信息优选激发、接收点位,充分利用低洼段及冲沟,优化测线布设;

(2)开展复杂地表表层结构精细调查和建模,指导激发井深设计;

(3)采用逐点设计激发井深技术,保证在高速层内激发,确保激发效果,如针对戈壁砾石、风化层、沙丘以及出露基岩、陡峭山体等各类复杂地貌,分别采取挖深坑、打钢钎、浇盐水、改变组合图形、沿等高线等方法埋置检波器,以改善检波器的接收效果;

(4)采用宽线观测系统设计接收方案,以提高压制干扰能力,改善面元叠加效果;

(5)重点解决静校正问题,即基于适用的表层模型,精细计算模型静校正量,并对静校正方法进行试验,确定适用于该区的静校正方法;

(6)重视地表一致性处理,力求消除因地表因素造成的激发、接收信号的振幅、频率和相位横向变化造成的影响;

(7)做好叠前、叠后去噪处理,采用具针对性的组合及多种方法压制噪声,以提高资料信噪比;

(8)采用合适的反褶积方法,在确保资料信噪比的前提下,适当提高资料分辨率;

(9)采用精细速度分析、初至切除及剩余静校正

反复迭代方式,选取最佳叠加速度,确保叠加成像效果。

3 复杂山地宽线地震采集技术

2005~2006年在狮子沟—油砂山构造带上进行了地震采集方法试验,通过采用“2炮2线”宽线观测系统、精细表层结构调查、逐点设计井深等技术,使地震资料品质有了较大改善,并在实践中进一步验证和完善了复杂山地宽线地震采集技术。主要包括下列技术措施。

(1)灵活的炮检点布设

利用工区高精度卫片+高程数字模型(DEM),结合野外踏勘及理论计算,精心优选每条测线激发、接收点位,既充分利用激发条件较好的低洼冲沟、尽量避开松散风化层,又保证炮点偏移在合理范围之内,确保每个激发、接收点最有利于获得好的地震资料。

(2)高精度三维迭代表层建模

根据宽线观测系统的特点,在两条接收线上分别按照常规二维施工要求,布设近地表结构调查点,并针对地形高差变化区及地表岩性变化段加密控制点。基于地面地质调查、小折射、微测井和岩性录井等基础数据,采用高精度三维建模技术,建立了合理的近地表结构模型,并通过循环迭代进一步提高建模精度,为逐井设计钻井井深参数和准确计算野外静校正量奠定了基础(图1)。

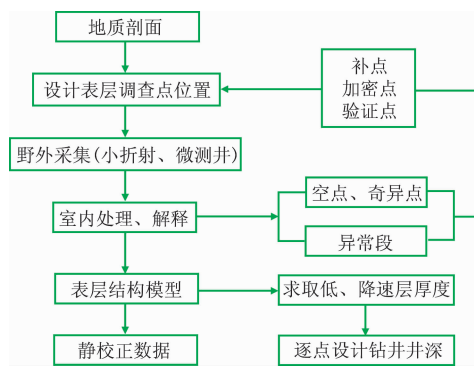


图1 高精度三维迭代表层建模流程

(3)宽线观测系统设计

宽线观测系统介于二维和三维观测方式之间,与常规二维观测相比,宽线不仅增加了有效覆盖次数,还进一步提高了炮检组合方向特性,提高了压制干扰的能力;同时,多线激发拓展了炮点选择范围,

更利于优选激发点,以进一步提高单炮信噪比,更好地解决复杂山体区资料信噪比低、浅层反射弱和中深层成像难的问题,而且此方法远较三维观测经济。本次试验研究采用“2 炮 2 线”宽线剖面叠加法(图 2)。其主要观测系统参数:道距为 30m;接收线距为 30m;炮点距为 60m;炮线距为 30m;最小炮检距为 30m;接收道数为 480 道 \times 2 线=960 道;观测系统为 7200-30-30-30-7200;覆盖次数为纵向 120 次,横向 4 次,宽线剖面 480 次。

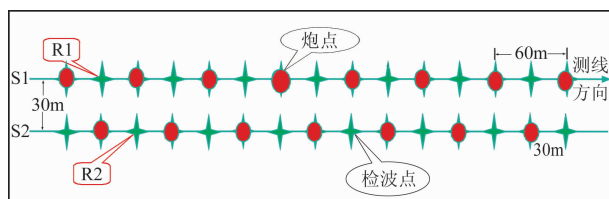


图 2 宽线观测系统设计示意图

在山区野外施工中,要求 S1 炮线尽可能以 1,3,5 等单数桩号设置激发点,S2 炮线尽可能以 2,4,6 等双数桩号设置激发点,以提高面元道集内传播路径的差异性,削弱干扰的相干性,最终达到提高压制干扰能力、改善面元叠加效果的目的。

(4)单深井与组合井相结合并力求在降速—高速层中激发

根据近地表结构调查结果,逐井设计井深参数,避免低速层激发。针对不同的地表条件采取不同的激发参数,保证最佳激发效果;在山区主要采用 5 口(15m,8kg)井降速层中激发;冲沟等地段采用 5 口(25m,8kg)井低速层中激发;采油树分布区采用单深井、高速层顶界面以下 5m 激发;戈壁砾石地段采用 13 口(8m,4kg)井在速度为 1000m/s 以上的降速层中激发。

(5)因地制宜的检波器组合接收

尽量采用 2 串 24 个检波器顺测线面积组合压制纵向面波干扰(图 3),当因地形等原因导致组内高差超限、检波器不能按设计图形摆放时,在保证检

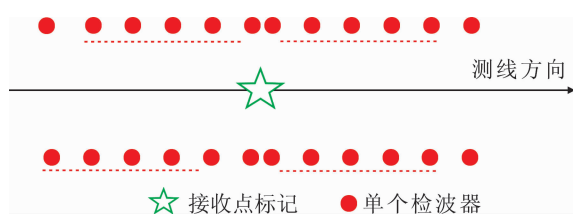


图 3 检波器埋置组合图形示意图

波器组合中心对准设计接收点的前提下,可适当改变组合图形或方向,沿高差变化较小的地段尽量按设计的组合参数(组内距: $\Delta x=3\text{m}$, $\Delta y=10\text{m}$;组合基距: $L_x=30\text{m}$, $L_y=10\text{m}$)拉开摆放检波器,但检波器埋置最大组内高差不超过 5m。

4 复杂山地宽线地震处理技术

以往宽线剖面一般采用二维测线方式进行数据处理,最终将各单线叠加剖面进行垂直叠加以得到中心测线叠加剖面,这样虽能进一步提高信噪比,获得复杂地下构造的成像,但由于没能考虑横向地层倾角的影响,往往会降低地震分辨率。

针对这一缺陷,本次处理试验充分考虑了野外宽线采集方式,在数据处理过程中借鉴了三维地震资料的处理方法,在做好静校正的前提下扩大面元处理,最终合成一条剖面,形成了具有针对性的宽线地震处理新技术。主要包括以下几个方面的内容^[3-6]:

(1)串联组合应用多项静校正新方法,分层次逐步解决复杂山地静校正难题

首先,在对比分析高程静校正、野外小折射静校正、EGRM(广义互换折射静校正)以及初至波层析静校正等不同方法的适用性及叠加成像效果的基础上,优选初至波层析静校正+野外静校正方法解决中长波长静校正问题;然后采用地表一致性剩余静校正方法,利用反射波求取较小的高频静校正量,改善成像质量;最后采用模拟退火静校正技术求取精细静校正量,进一步改善成像质量。

(2)针对干扰波特点,联合采用多系统、多种方法去噪,有效提高叠前道集信噪比

该工区各类噪声十分发育。在充分分析干扰波性质与特征、搞清噪声类型的基础上,建立起相应的叠前去噪配套技术组合,运用多系统、多方法联合去噪,分步骤压制干扰波,先去除较强干扰、后去除较弱干扰,先去除规则干扰、后去除随机噪声。选用 Omega 系统的 F-K 模块和 GRISYS 系统的 REL-NOI 模块组合去噪,利用规则干扰波与有效波在频率和速度上的差异,将其分离出来。处理时应尽量找准噪声区域,缩小范围,分步骤、分层次地对较强线性噪声进行压制,这样在面波等线性干扰被消除、资料信噪比得到提高的同时,也较好地保持了波形特征。

(3)进行地表一致性处理,提高地震子波波形、能量、频率的空间一致性

由于工区地形起伏剧烈,出露岩性复杂,激发、接收条件差异很大,造成地震子波空间非一致性,影响十分突出,影响了地震叠加成像效果。通过地表一致性振幅补偿处理,消除了因地表因素造成的炮点间、检波点间能量的差异,恢复了道间频率的一致性;通过地表一致性反褶积对地震子波进行整形,消除了因激发、接收条件不同导致的地震子波不一致性(图4)。通过地表一致性处理,使各炮各道的地震子波趋于一致,达到了同相叠加的目的,提高了叠加剖面同相轴的连续性。

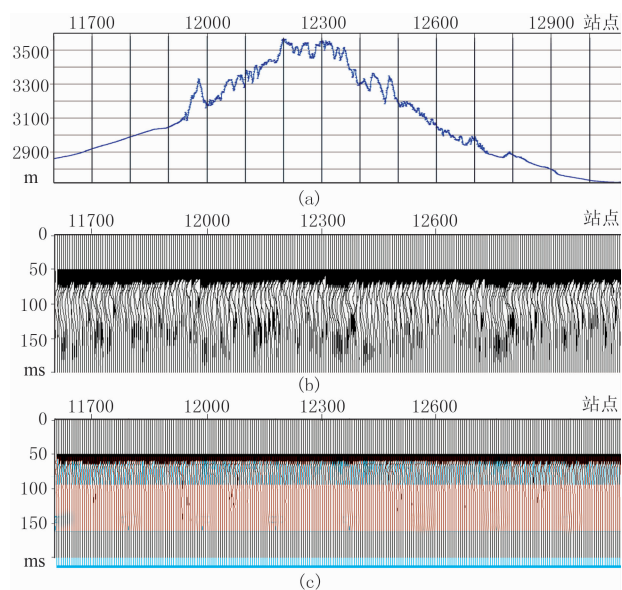


图4 N测线地表一致性反褶积处理效果

(a)高程曲线; (b)原始子波; (c)地表一致性反褶积后子波

(4)利用CRS叠加做模型道,进一步提高剩余静校正精度和叠加成像效果

CRS(共反射面元)叠加的基本思路是将反映地下一定范围的一个面元内共深度点的所有信息都利用起来,做“同相叠加”,以提高信噪比。它具有不产生远炮检距时间拉伸、不降低分辨率、增加覆盖次数、提高信噪比等多重功效,能显著改善低信噪比地区的叠加剖面品质。

通过对CRS技术的深入研究,调整CRS处理参数,使用CRS叠加剖面做模型道求取剩余静校正量。在应用该方法求取剩余静校正量后,叠加剖面的信噪比得到提高,且未出现一般的CRS叠加剖面上常见的某些干扰能量(图5、图6)。

(5)利用优势炮检距控制速度分析、静校正量求取和叠加,进一步改善复杂山地地震数据处理效果

通过优势炮检距分析获取最佳叠加的优势炮检距范围,对提高速度分析、静校正量求取精度及叠加效果起显著作用。

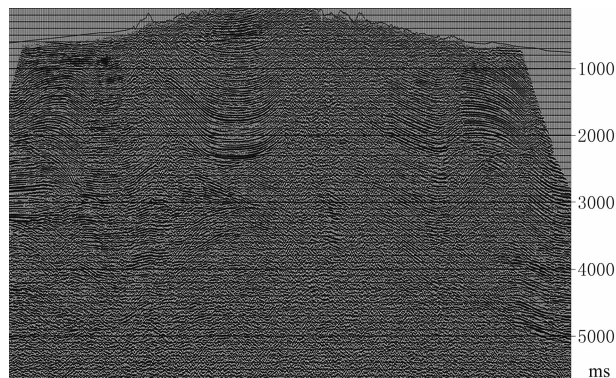


图5 狮子沟—油砂山构造带N测线常规叠加剖面

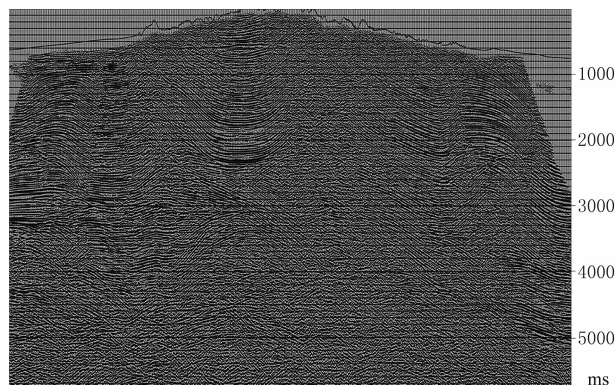


图6 狮子沟—油砂山构造带N测线CRS叠加剖面

5 应用效果分析

“全国油气资源战略选区调查与评价”专项在狮子沟—油砂山构造带部署的此项目共采集12条地震测线,通过宽线地震采集、处理方法试验及应用,所获资料品质总体上有明显改善。从叠加和偏移剖面看,信噪比有明显提高,反射信息更丰富,断点位置、断层接触关系较清晰,波组特征更可靠,同相轴连续性更好。

通过对重新采集、处理的地震剖面进行综合解释研究(图7),深化了对该区断裂展布特征的认识,证实柴西地区构造圈闭发育,为进一步对该区进行圈闭落实、油气前景评价及开展后续勘探部署奠定了基础。

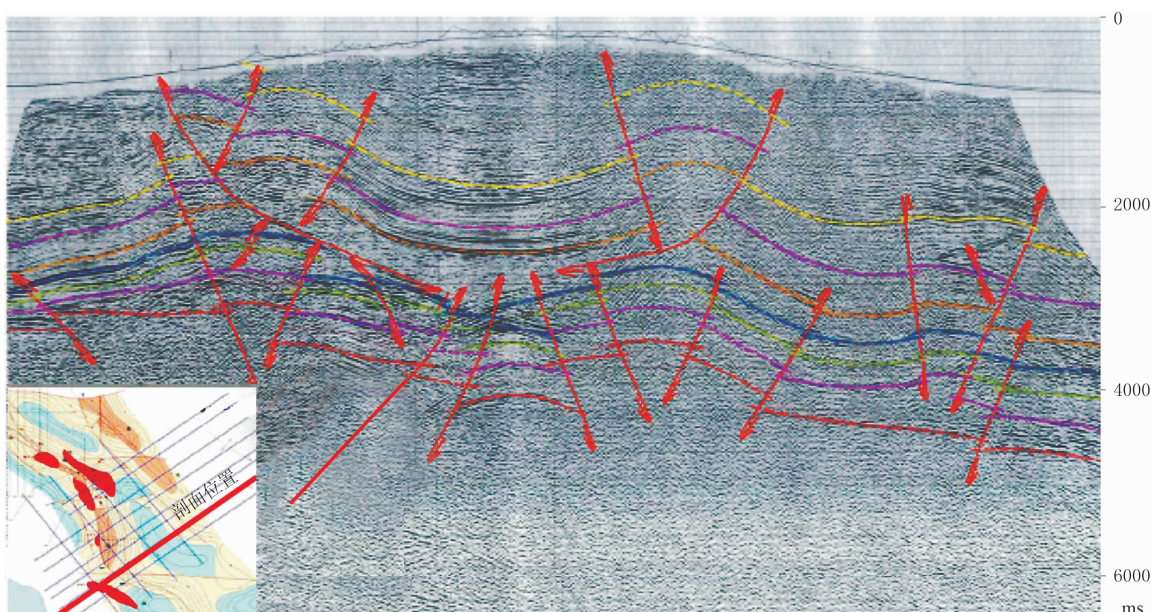


图 7 穿越狮子沟—油砂山构造带的一条地震剖面

6 结论

柴达木盆地西部英雄岭狮子沟—油砂山构造带的地震勘探技术试验取得了显著成效,并取得了以下主要认识:

(1)宽线地震勘探技术兼具三维地震压噪能力强、二维地震灵活经济的优点,是西部复杂山地的适用勘探技术;

(2)地震采集、处理一体化技术的试验与应用是取得最终勘探成果的有效途径。

(3)宽线地震勘探技术的应用,获得了高品质地震资料,其构造细节更清晰,断层分布及接触关系更明了,对复杂山体区构造圈闭落实、油气资源评价及钻探部署具有重要意义。

(4)鉴于该区冲断背斜顶部等局部区段地震资料品质还不尽理想,建议部署和实施高精度三维地震勘探,以提高目标落实精度。

感谢中国石化石油勘探开发研究院查忠祈教授及中国石油勘探开发研究院张颖教授对本项工作的指导与帮助。

参考文献

- [1] 李起程,彭章池. 柴西复杂山地地震勘探效果及存在问题分析. 青海石油,2005,23(4):12~16

- Li Qicheng, Peng Zhangchi. Seismic exploration effect and the problem analysis in the complex mountainous area in western Qaidam basin. *Qinghai Oil*, 2005, 23(4):12~16
- [2] 胡杰,张金岗,张立军等. 柴达木盆地复杂山地采集技术及效果. 中国石油勘探,2006,11(6):51~58
Hu Jie, Zhang Jingang Zhang Lijun et al. Acquisition technique and its effect of complex mountainous region in Qaidam basin. *China Petroleum Exploration*, 2006, 11(6):51~58
- [3] 王彦春,余钦范,张颖等. 复杂地区折射波静校正研究. 北京 CPS/SEG/EAGE'98 国际地球物理研讨会,1998
Wang Yanchun, Yu Qinfan, Zhang Ying et al. A study of refraction static correction methods in complex Areas. // CPS/SEG/EAGE'98 International Geophysical Conference, Beijing, 1998
- [4] 邵文斌,陈小宏,刘洋等. 英雄岭山地地震干扰波分析与处理. 石油勘探与开发,2002,29(1):106~108
Shao Wenbin, Chen Xiaohong, Liu Yang et al. The disturbing wave analyses and seismic data processing for mountain topography in Yingxiongling area, Qaidam basin. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(1):106~108
- [5] 邹才能,张颖等. 油气勘探开发实用地震新技术. 北京:石油工业出版社,2002
- [6] Davis W Ratcliff, Matthew A Brzostowski; 陈立康,张颖等译. 复杂地质条件下地震成像的实用方法. 国外油气勘探,1996
Davis W Ratcliff, Matthew A Brzostowski. Translated by Chen Likang & Zhang Ying et al. Seismic imaging techniques in geologically complex areas. *Oil & Gas Prospecting Abroad*, 1996

(本文编辑:朱汉东)