

# 三维地震勘探在湖泊等浅水系地表条件下的应用效果分析

褚夫东<sup>1</sup>,周海娟<sup>2</sup>,吴俊松<sup>1</sup>,李雪梅<sup>3</sup>

(1. 山东省临沂矿业集团公司, 山东 临沂 276017, 2. 安徽省勘查技术院, 安徽 蚌埠 233005, 3. 江苏煤炭地质物测队, 江苏 南京 210046)

**摘要:**介绍了在湖泊浅滩及养殖区密集的浅水系地表条件下开展三维地震勘探的主要特点和难点,并提出了具有针对性的技术措施,从而保证了野外数据采集和资料处理的质量。通过对三维地震勘探的野外数据采集、资料处理的总结和地质成果的验证,说明了三维地震在湖泊和鱼塘密集区等地表为浅水系地区取得较好勘探效果,并为今后地表复杂地区的三维地震勘探工作提供了借鉴经验。

**关键词:**三维地震勘探;水系地表条件;数据采集;含煤地层

**中图分类号:**P631.4\*4

**文献标识码:**B

## 0 引言

三维地震勘探技术引入煤矿采区勘探以来,已在采区勘探中取得了显著的地质效果,其解决复杂构造地质问题的能力为煤矿生产所广泛证实,这与矿区的地质地质条件较好是分不开的。随着我国东部地表地形条件较好区域煤炭资源的枯竭,地表地形条件复杂区(如大面积水系及建筑物密集区)煤炭资源成为东部主要开采对象。而复杂的地表地质条件(尤其水系密集区)一直是高分辨三维地震勘探一大难点和攻坚课题。

20世纪90年代至今,江苏煤炭地质物测队在山东省微山湖附近进行了多块水系密集条件下采区高分辨三维地震勘探工作,后经矿井建设证实,地震地质成果精度均较高,获得了良好的地质效果和可观的经济效益。该文就其中某三维地震勘探工程施工情况,对密集浅水系区地震勘探难点、特点和采取的措施进行分析和归纳,为今后类似地表地震地质条件下三维地震勘探工作积累经验。

## 1 工作区概况

### 1.1 地质概况

矿区分布地层主要为奥陶系、石炭系、二叠系、侏罗系及第四系等,上石炭统太原组、下二叠统山西组。3<sub>上</sub>煤层(大部分被冲刷,仅在矿区北部残余)和10<sub>下</sub>、12<sub>下</sub>及16<sub>上</sub>煤层是矿井主采煤层。但10<sub>下</sub>、12<sub>下</sub>及16<sub>上</sub>煤层均较薄(其中:10<sub>下</sub>、12<sub>下</sub>均在1.0m以内,16<sub>上</sub>煤层也仅1m左右)。

该区目的地层为向NW倾伏的较宽缓单斜构造,目的层底板标高在-220~-560m之间。该区地质条件较复杂,煤层起伏变化较大,但倾角较缓,褶曲发育。总体趋势为:煤层东北部深,西南部浅。区内中小断层较发育<sup>①</sup>。

### 1.2 地形地貌

该次三维地震勘探区位于鱼台县、微山县及济宁市任城区三县交界处,勘探边界西边界为京杭大运河西岸。勘探区三分之一位于微山湖湖区,三分之二为鱼塘密集养殖区。地形平坦,水系十分发育。测区地形主要为南阳湖、滨湖、鱼塘、河流、局部庄稼

\* 收稿日期:2010-11-06;修订日期:2010-11-22;编辑:陶卫卫

作者简介:褚夫东(1964—),男,山东临沂人,主要从事煤矿技术管理工作;E-mail:ldh5265@163.com。

①江苏煤炭地质物测队,山东省临沂矿务局王楼煤矿二号井田首采区三维地震勘探报告,2006年11月。

地及村庄构成(图1)。湖中水深一般在2~6 m,养殖区水深一般2 m左右。

表浅层主要为浅灰—深灰色粘土、砂质粘土互层,潜水位较浅,距地表3 m左右。

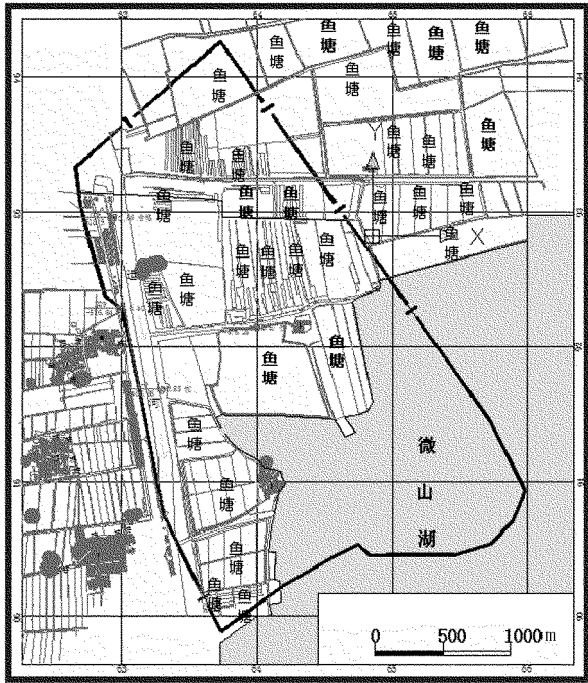


图1 勘探区位置图

总体看来,该区浅层地震地质条件横向变化大且十分复杂,激发和接收因素确定及如何提高资料信噪比和分辨率成为在该区开展地震勘探的主要技术难点之一。

## 2 数据采集方法

### 2.1 采集难点

(1)水中及岸上接收检波器性能不一致。因该区为湖泊浅滩区,水听器无法使用,只能采用尾锥较长的防水检波器,而尾锥越长,高频干扰越严重<sup>[1]</sup>。

(2)地表分布有湖泊浅滩、密集养殖区、建筑障碍物及松散的耕地,接收条件变化大,造成资料品质变化大。

(3)湖区及鱼塘等浅水区成孔及下药困难。因湖区为微山湖浅滩区,水深在2~6 m不等,另外,鱼塘水深一般2 m左右,而有鱼的鱼塘50 m之内不能进行正常药量放炮作业。

(4)工区目的层较浅。煤层埋深在250~600 m之间,初至波与浅层反射波易交织在一起影响资料

品质。

(5)第四系埋藏浅,观测系统布设难度大。工区满覆盖次数边界与地层倾向存在一定方位角,构造走向近SN及EW向,使得观测系统设计困难。

### 2.2 采集施工技术措施

针对水系地区的特点及该区施工难点,施工前开展了充分的试验工作。除干扰波调查、接收参数、低速带调查外,重点还加强了以下几项试验工作。

(1)防水检波器附加尾锥长度试验。湖区地表淤泥厚度、水深变化较大,防水检波器的尾锥附加长度的选择以原始记录面貌受干扰程度最小为准,全区防水检波器尾锥长度统一,且通过特殊杆子将检波器穿过淤泥垂直插入硬层。而陆地上则采用陆地检波器。

(2)成孔试验。针对该区地形特点,成孔采用人工打井方法,陆地上井深8 m。湖泊浅滩区及养殖区孔深则必需穿过淤泥层以下5 m,成孔时将2条小木船连接在一起并固定在水面上,打井人员站在船上作业。当水深超过1 m时,在钻杆上套上套管,孔打好后,炸药沿套管内壁下到孔底。

(3)药量试验。通过对0.5,1.0,1.5,2.0,3.0 kg不同药量的对比试验,最后药量定为2.0 kg。由于区内存在大面积的养殖区,50 m外才能采用正常的药量激发。通过试验,采用小药量激发,获取了这些区域的资料,保证了地震资料的完整性。图2是不同药量激发的单炮记录对比。

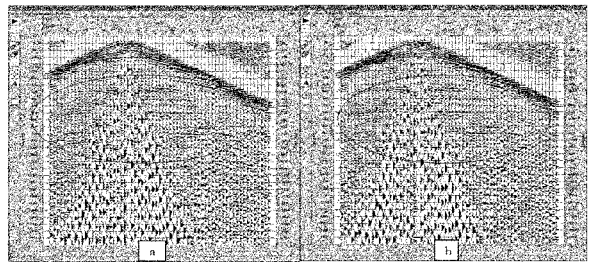


图2 井深均为6 m不同药量单炮记录

(a. 药量为1.5 kg;b. 药量为2.0 kg)

(4)采取合理变观方式。在工区有建筑障碍物区域,只能布线不能正常激发时,通过采用不规则系统进行变观施工,获得了障碍物下的地震剖面(图3)。

## 3 资料处理

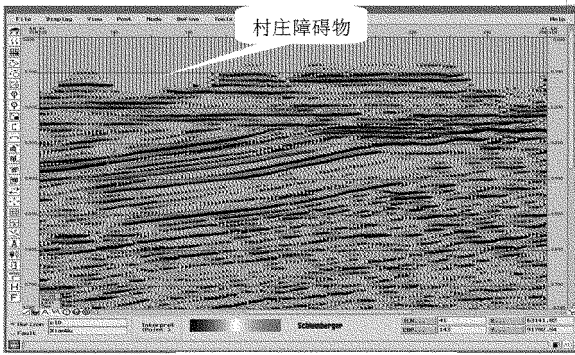


图3 建筑障碍物下的地震时间剖面图

### 3.1 地震数据处理难点

(1) 由于该区地形起伏较大,低降速带横向变化较大,如何做好一次静校正问题是技术难点之一。

(2) 地震信号差异较大。水中及陆地采用不同的检波器接收,激发、接收因素变化造成地震的相位存在差异,无法进行同相叠加。

### 3.2 地震数据处理技术

在资料处理中,为了克服水系条件下采集造成的资料品质差异,重点采用了以下几种具有针对性特色的处理模块。

(1) 三维初至折射静校正。以往通过野外小折射、微测井进行低降速带调查的常规方法不适合该区地表复杂多变的特点<sup>[2]</sup>。采用中国煤田地质总局从美国绿山公司引进的三维初至折射静校正模块,利用计算机自动拾取每炮的初至折射波到达时间,自动反演地下表层地层速度结构,求取野外一次静校正参数,进行准确的校正量计算,从而为后续的精处理打下了基础。从图4可以看出,经过三维初至折射静校正之后,信噪比有了明显地提高,资料效果也有了很大的改善。

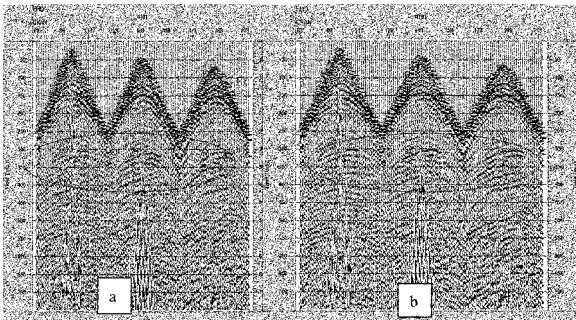


图4 折射静校正前(a)后(b)单炮对比图

(2) 三维地表一致性反褶积(子波处理)。因该区目的层厚度薄,原始地震资料频率较低,故如何选

取提高分辨率而又不降低信噪比的反褶积方法是极其重要的。通过反复试验,最后采用三维地表一致性反褶积,它在提高分辨率的同时又加强了抗干扰能力,达到了分辨率与信噪比的和谐统一。

(3) 频谱分析、滤波及高频成分补偿。通过频谱分析,划分了有效波和干扰波的频率范围,切除了声波,滤除了面波和高频干扰波,突出了煤层的有效波<sup>[3]</sup>。另外,为了补偿地层吸收造成的高频衰减,在偏移之后利用反 $Q$ 滤波对高频信号进行表层补偿。补偿分2段进行:第一段为新地层;第二段为基岩。由图4可以看出,反 $Q$ 滤波后的时间剖面,既提高了分辨率,又加强了连续性,提高了识别小构造的能力。

(4) 分频处理。将一个短时窗内地震数据通过离散傅立叶变换或最大熵谱转换为频率域,利用频率—振幅谱来识别薄层和不连续地质体边界的新技术<sup>[4]</sup>。由于断层对相位的稳定性影响比较大,断层及其附近相位谱很不稳定,远离断层的位置相位谱相对稳定或呈渐变特征,故应用相位调谐体频率切片识别和解释断层,比传统的相位属性技术更加准确。

根据该区资料的特点,精心试验,优选模块,制定了适合该区特点的全三维资料处理流程,实现了“高信噪比、高分辨率、高保真度、准确归位<sup>[5]</sup>”的三维地震资料处理目标。

## 4 效果分析

此次三维地震勘探采用法国 Sercel 公司生产的 408UL 多道遥测数字地震仪,规则的束状八线 10 炮制观测系统(重复 3 条测线)。320 道接收,20 次叠加(横向 4 次,纵向 5 次),CDP 网格  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  进行施工,共布置三维地震测线 15 束,接收线 78 条,炮线 150 条,物理点 4 475 个。野外原始单炮记录初至清晰,信噪比较高,目的层齐全,为以后的资料处理和解释工作提供了良好的第一手资料。同时也说明了施工中采用的参数是适合湖泊浅滩及大面积养殖等浅水系地形条件的(图5)。

在资料处理中,坚持“三高”的原则,采取了静校正、子波及分频处理、多次波衰减、叠前去噪、叠前部分偏移等手段,使剖面信噪比和分辨率提高,波组特征明显,断点清晰可靠,因而在全区能较好地追踪目的层,解释出勘探区内各煤层中落差大于 5 m 的

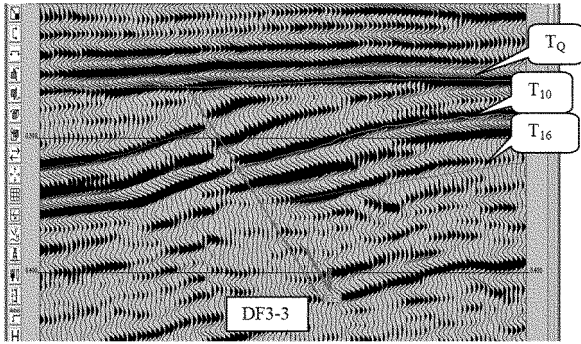


图 5 为勘探区内测线地质解释剖面

断层,落实落差小于 3 m 的断点,且其平面摆动位置误差被控制在 15 m 以内。

## 5 结语

浅水系地区煤炭三维地震勘探一直是煤炭地震勘探的一个难点。在三维地震勘探中,根据实际地

质条件,通过适当的检波器布置方法保证了原始资料的质量;通过子波及分频处理技术将不同采集因素造成的不同地震子波统一,消除了地震信号在能量、频率和相位等方面的差异,最终较好地完成了探测任务。

## 参考文献:

- [1] 宋玉龙. 滩浅海地区地震勘探存在问题及其解决方法[J]. 石油物探, 2005, 44(4): 343-347.
- [2] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 1993.
- [3] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 东营: 中国石油工业出版社, 1993.
- [4] 俞寿朋. 高分辨率地震勘探[M]. 东营: 中国石油工业出版社, 1993.
- [5] 李振春, 张军华. 地震数据处理方法[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2004.

# Application Effect Analysis of 3D Seismic Exploration in Shallow Water Conditions

CHU Fudong<sup>1</sup>, ZHOU Haijuan<sup>2</sup>, WU Junsong<sup>1</sup>, LI Xuemei<sup>3</sup>

(1. LinYi Mining Group, Shandong Linyi 276017, China; 2. Anhui Exploration Technology Institute, Anhui Bengbu 233005, China; 3. Jiangsu Coal Geological Exploration and Surveying Team, Jiangsu Nanjing 210046, China)

**Abstract:** Main characteristics and difficulties of 3D seismic exploration in lake, shoal, or in surface condition in shallow water system in concentrated culture area are introduced in this paper, and corresponding technical measures are put forward to ensure field data acquisition and the quality of data processing. By summary of field data acquisition and data processing gained by 3D seismic exploration and verification of geological results, it is showed that by using 3D seismic exploration method, good effects in shallow water area in lakes and ponds concentrated areas can be gained, which will provide experiences for the later 3D seismic exploration work in surface complex areas.

**Key words:** 3D seismic exploration; water surface condition; data acquisition; coal-bearing strata