

# 陇东厚黄土塬区三维地震勘探的技术应用

刘小平

甘肃煤田地质局综合普查队

DOI:10.32629/gmsm.v2i3.162

**[摘要]** 陇东厚黄土塬区内塬、梁、峁、冲沟、河流广泛发育,地形起伏剧烈,相对高差大(可达200~300米),一直是地震勘探的难区。多年来,针对黄土塬区的表浅层地震地质条件,总结出的一套适用于巨厚黄土塬区野外施工的方法即:“两多一小一高”(单井小药量、多井组合激发,多个检波器组合接收,高叠加次数),并在陇东某矿首采区首次进行了三维地震勘探,利用三维地震属性解释技术对区内小于8m的断层、无煤区等进行了进一步的解释,从获得资料分析,野外施工参数选择合理,施工方法正确,经与钻探验证,地质成果基本一致,可以为以后建矿提供地质依据。

**[关键词]** 陇东厚黄土塬; 三维地震勘探; 两多一小一高; 三维地震属性解释

陇东地区是甘肃省重要的煤炭基地,已探明的资源量占全省探明资源量的57%,预测资源量占全省预测资源量的95%。因此加快区内煤炭资源勘查步伐,既能缓解煤炭供需矛盾,又能为我省大型煤炭工业基地建设提供资源保证。

但是陇东地区塬、梁、峁、冲沟、河流广泛发育,地形起伏剧烈,相对高差大(可达200~300米),较厚的黄土层干燥且松散,对地震波的吸收衰减作用强烈,导致激发、接收条件差,复杂的表浅层地震地质条件,给地震勘探带来了很大的困难,经过多年的试验,总结出的一套适用于巨厚黄土塬区施工的方法,取得了较好的地质成果。

## 1 勘查区概况

### 1.1 勘查区含煤情况

井田内中侏罗统延安组煤层自上而下为:煤2、煤5-1、煤5-2、煤6和煤8层(组)。

主要可采煤层为中侏罗统延安组的煤5-1层、煤6层和煤8层(表2-1)。

煤5-1层:位于延安组上部,在本区内部分可采。厚度0.15~3.0m,平均厚1.27m左右。

煤6层:位于延安组中部,在本区内大部分可采。厚度0.25~3.8m,平均厚1.41m左右。上与煤5-1层间距平均17m左右;下与煤8层间距平均40m左右。

煤8层:位于延安组中下部,全区可采。厚度1.38~17.83m,平均厚11.14m左右。

### 1.2 勘查区地震地质条件

#### 1.2.1 表、浅层地震地质条件

地表大部分被黄土覆盖,Q1与白垩系零星裸露;黄土冲沟发育,与较大沟谷大体垂直,坡陡谷深,黄土塬遭切割后形态破碎,地形条件复杂,高差大;村庄、农田广布,疏松的黄土、砾石及白垩系地层上部胶结疏松,对地震波吸收、衰减强烈,复杂多变的地表条件,造成通行难度大,表浅层复杂的地震地质条件给地震数据采集带来了较大的难度。

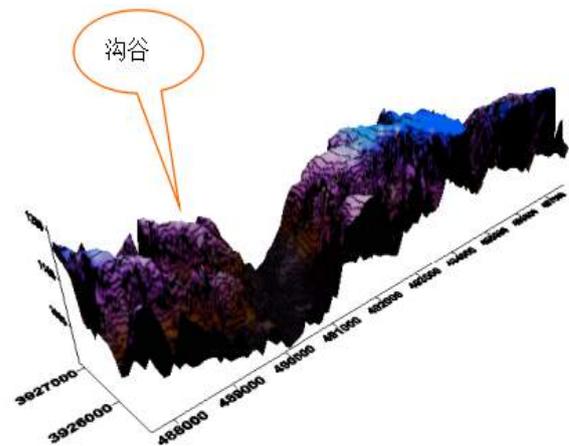


图1 勘探区地形地貌立体图

Fig. 1 exploration area landform stereogram

### 1.2.2 中、深层地震地质条件

本区含煤地层为中侏罗统延安组,全部或部分可采的有3个煤层,煤5-1层、煤6和煤8层。区内煤8层沉积稳定,厚度较大,结构简单,煤层与其围岩存在明显的波阻抗差异。使得煤层与其顶底板岩层之间具有良好的反射界面,能形成良好的地震反射波T8波,T6波次之。由于煤5-1与煤6层在背斜轴部间距较小,不易区分,仅能形成一组复合反射波(T5-6波)。深层地震地质条件较好,但总体来看该区属于地震地质条件复杂区。试验单炮记录中该区煤层反射波发育情况。

## 2 野外采用“两多一小一高”数据采集的方法

### 2.1 激发方法

勘查区内黄土层较厚,且干燥松散,对地震波的吸收衰减作用强烈,导致激发、接收条件差,为保证有效波受衰减以后仍能被采集到,需要大药量激发,但由于黄土层的抗压能力极差,容易使爆炸周围的黄土永久变形,使大部分能量消耗在表层;在疏松的介质中激发,只能采取小药量分散激发、多井组合方式,降低炸药对围岩作用的幅度,增强激发的总能量。因此,采用了单井小药量、多井大药量的组合井激发方式。

### 2.2 接收方法

地震波在表层的传播中,不仅会造成很大的能量损失,还产生了多种在表层中传播的规则干扰。由于厚的黄土土质疏松,孔隙度达 20%~30%,且孔隙中充填了气体。当地震波在表层传播时,遇到不同的障碍物或横向变化不均匀时,就产生了次生干扰,要想拓宽地震波的优势频带,必须加强对该干扰波的压制。组合有检波器组合和震源组合,是压制干扰提高资料信噪比的主要措施,在施工中采用了多个检波器组合接收,保证同一道内的检波器埋置在同一高程上,对基岩出露区不易放置检波器的,采用石膏粘合。

### 2.3 观测系统

通过分析二维地震勘探资料,该地区的地震资料信噪比较低,从单炮记录上很难看到反射波的影子,如图 2 所示,要想达到采区勘探解释的目的,就需要较高的覆盖次数来提高信噪比,本项目采用了 40 次覆盖;针对勘查区地形起伏大,山大沟深,静校正工作量大,选择了宽方位角勘探(排列纵横之比为 0.625),同时宽方位角也有利于小断层的识别;由于区内目的层倾角小,地层相对平缓,因此采用中间放炮 8 线 20 炮观测系统,主要参数选择为:CDP 网格:10m×10m;叠加次数:10 纵×4 横=40 次;接收道数 120×8=960 道;接收道距:20m;接收线距:100m,炮排距:120m。图 4 是处理后获得的叠加剖面。

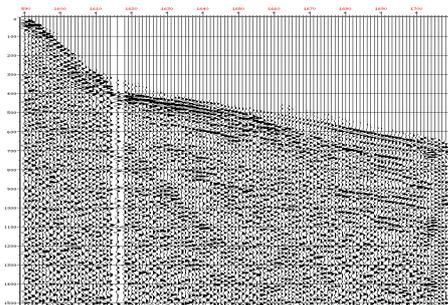


图 2 井深 12m、单井药量 2kg 的监视记录

Fig.2 deep 12m, single dose 2kg monitoring

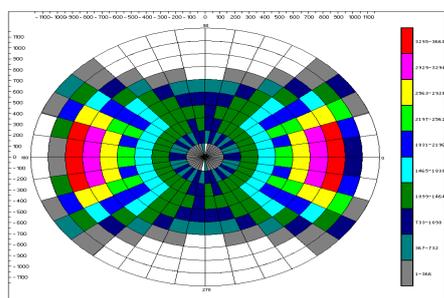


图 3 8 线 20 炮方位角分布图

Fig.3 8 20 gun azimuth records distribution

## 3 资料的处理与解释

### 3.1 资料的处理

#### 3.1.1 静校正

勘查区地表条件复杂多变,低速带的速度和厚度沿纵横

向变化大,由此产生的地震波旅行时差会造成反射波叠加时同相轴发生畸变、信噪比下降、频率降低。因此本区资料的处理过程为以静校正为重点,提高信噪比为中心,坚持“三高(高信噪比、高保真度、高分辨率)”的原则。

#### 3.1.2 地表一致性振幅补偿

地震信号在传播过程中,能量将会随着时间的延续和地层的深度的增加而逐渐衰减。黄土塬黄土层厚,地震波能量衰减快,几何补偿较好地补偿了这一过程中的衰减因子。地表一致性振幅补偿消除了由于地表剧烈变化,地层吸收等因素对振幅产生差异。使振幅变化真正反映地层物性参数的差异。

#### 3.1.3 地表一致性处理

在地表一致性振幅补偿的基础上,选用地表一致性预测反褶积。完成在炮域,接收点域、共偏移距域的地表一致性预测,同时压缩子波,提高分辨率及信噪比。

#### 3.1.4 一步法有限差分偏移处理及偏移速度的选择

三维解释是在偏移数据体上进行的,良好的偏移归位,是确保三维地震资料解释精度的充分条件。本区的三维偏移采用一步法有限差分偏移方法。得到地下反射界面的真实位置和构造形态,得到清晰可辨的断点。(见图 4):

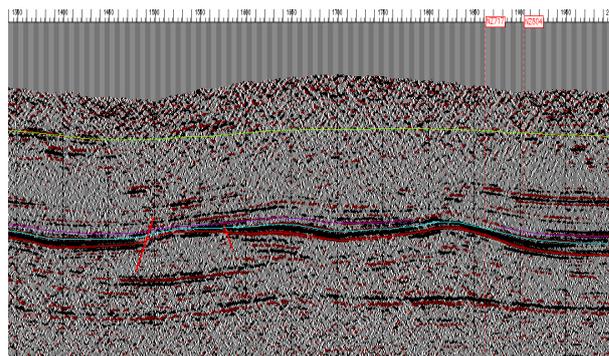


图 4 偏移时间剖面

Fig.4 offset cross sections

### 3.2 资料的解释

#### 3.2.1 构造解释

将三维偏移数据体加载解释系统后,采用人机联作进行解释。以三维偏移数据体(网格为 5m×5m×1ms)为主、方差数据体为辅、参考叠加数据体进行。在资料解释中通过钻孔的声波测井曲线制作人工合成地震记录,直接与联井的时间剖面进行波形匹配标定地质层位,用纵横向时间剖面来追踪反射波相位及其变化特征,并用属性切片做进一步的检验,反复对比分析地震地质特征在三维空间的属性,做到相位对比、构造解释和煤厚分析等地震地质异常解释有充分的依据。

本区煤系地层厚度变化较大,煤层的分叉合并现象较多,对构造分析产生了影响,为了减少地震解释的多解性,在结合钻探资料进行综合分析的同时,主要运用方体技术对区内的小断层进行反复分析,尽可能使解释出的构造符合本区的地质规律。

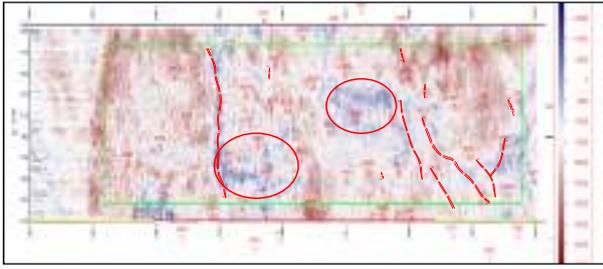


图5 利用地震属性解释地质异常体(T8波振幅变化图,图中蓝色为地质异常体)

Fig.5 Using seismic attribute interpretation of geological anomaly (T8-wave amplitude variations, for geological anomaly blue in the figure)

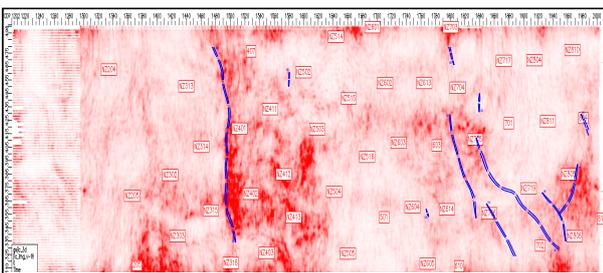


图6 利用方差数据体层拉平切片检查常规方法解释的断层(图中深色为异常区)

Figure 6 Using variance of data layer flattening the biopsy explains the General method of fault (shown in dark for exceptions)

### 3.2.2 煤厚解释

煤层的低速度、低密度的特点与围岩形成显著的岩性差异,这种差异在测井曲线上表现为物性突变,在地震剖面上表现为较强的反射系数,通过测井约束反演达到了提高煤层纵向分辨率和可检测的效果。煤层在煤系地层中特征明显,其波阻抗值很低,与围岩存在巨大的阻抗差异,因此能够比较准确地分辨出煤层厚度的变化。从反演后的波阻抗数据体纵剖面看(图7),煤层顶底波阻抗界面反映清晰,与煤层厚度吻合较好

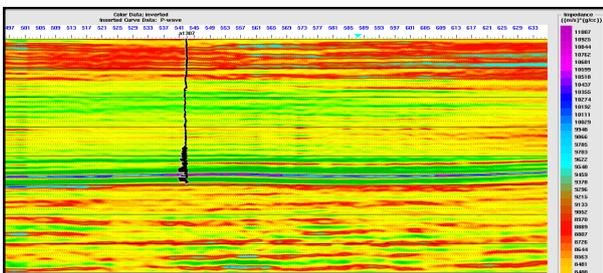


图7 地震反演的波阻抗数据体纵剖面

Fig.7 Seismic inversion of wave impedance data in longitudinal profile

## 4 地质成果

本次在厚黄土塬区进行三维地震勘探,由于野外施工方法选择合理,取得了质量较高的原始资料,分析处理后的三维数据体,共解释落差小于30m的断层11条,查明了区内褶曲的形态,控制了区内无煤及薄煤区的分布范围,解释了煤8、煤6、煤5-1层煤层厚度的变化趋势:煤8层厚度变化较大,煤6、煤5-1层在本区煤层厚度变化不大、较薄但稳定,在勘探区的中东部煤层较厚,煤层变化由西到东为较厚-薄-较厚趋势。

## 5 钻探验证情况

中间资料提交之后,矿方根据钻探资料对地震成果进行验证,地震解释的煤系地层形态、煤层厚度变化和地质解释成果一致。地震解释的煤系地层的深度和钻孔揭露的误差很小,见表1,满足《煤炭煤层气地震勘探规范》中不大于1.5%的要求。

表1 解释精度分析统计表

位置	钻孔揭露煤层底板标高及深度			地震解释煤层底板标高(m)	绝对误差(m)	相对误差(%)	备注
	钻孔	煤层	底板标高(m)				
南	NZ604	煤6层	35.01	1161.73	32	3.02	0.26
		煤8层	-25.29	1222.03	-24	1.29	0.11
西	NZ314	煤6层	47.23	886.64	45	2.23	0.25
		煤8层	3.76	930.11	4.7	0.94	0.10

表1 解释精度分析统计表

## 6 结束语

继陇东宁中某矿三维地震勘探后,相继在陇东灵台等地区进行了三维地震勘探,应用效果都非常理想,由此可以分析在陇东厚黄土塬进行三维地震勘探,必须克服复杂地表条件带来的激发及接收的困难,野外施工中采用“两多一小一高”的方法,并依据野外实际情况确定具体的施工方法,就可以获得质量较高的原始资料;选择合理的处理流程,充分利用三维地震属性对资料进行解释,取得了较好的地质效果,为矿井建设提供地质依据。

## 【参考文献】

- [1]丁在宇,罗振丽.高分辨三维地震技术在煤矿开采中的应用和发展[J].能源技术与管理,2004,(04):31-33.
- [2]刘玮.煤矿采区三维地震勘探概况与应用[J].山西建筑,2014,40(19):104-105.
- [3]原宏洲.三维地震勘探技术在煤矿采区的应用[J].机械管理开发,2016,31(08):53-54+62.
- [4]凌云研究组.基本地震属性在沉积环境解释中的应用研究[J].石油地球物理勘探,2004,38(6),53.
- [5]俞寿朋.高分辨率地震勘探[M].北京:石油工业出版社,1993,(3):17.
- [6]杨臣明.煤矿采区高精度三维地震勘探技术应用研究[J].能源与环保,2017,39(11):238-241+245.