

Application of Crosswave Seismic Exploration in the Exploration of a Shallow Open-Pit Coal Mine in Gansu Province

Qing Pu Xiaolei Li

Comprehensive Geological Exploration Team, Coal Geology Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang, 830009, China

Abstract

In the field of traditional seismic longitudinal wave exploration, the depth of 50-80 meters below the ground is the blind area of seismic longitudinal wave exploration. In the exploration of shallow open pit coal mine, the problem of shallow coal resources exploration should be solved. Therefore, in the exploration process of some shallow coal resources, the method of shear-wave exploration is introduced. Horizontal wave exploration has the advantages of good high frequency characteristics, high vertical resolution, high anti-interference ability, strong reflection energy, and little influence by geological conditions. However, the transverse wave attenuation is fast, the excitation is directional, the construction is complex, the efficiency is low, so the transverse wave exploration is only suitable to solve the shallow exploration objects. According to the advantages of shear wave exploration and the application of actual exploration cases in this paper, the good role of shear wave exploration method in shallow geological exploration is discussed.

Keywords

cross-wave exploration; coal resource exploration; shallow geological exploration

横波地震勘探在甘肃某浅层露天煤矿勘探中的应用

蒲青 李小磊

新疆维吾尔自治区煤田地质局综合地质勘查队, 中国·新疆 乌鲁木齐 830009

摘要

在传统地震纵波勘探的领域, 地面以下至50~80m的深度为地震纵波勘探的盲区, 在浅层露天煤矿勘探中, 需要解决浅部煤炭资源勘探的问题, 所以在部分浅层煤炭资源勘查过程中, 引入横波勘探的方法。横波勘探具有高频特性好、垂向分辨率高、抗干扰能力强、反射能量强、受地质条件影响小等优势。但横波衰减较快, 而且激发具有方向性, 施工较复杂, 效率低, 所以目前横波勘探仅在解决浅部勘探对象时较合适。论文根据横波勘探优势, 结合实际勘探案例的应用, 探讨横波勘探方法在浅层地质勘查中的良好作用。

关键词

横波勘探; 煤炭资源勘查; 浅层地质勘查

1 引言

地震勘探作为一种快捷且有效的地球物理勘探方法被广泛应用到矿产资源勘探中。在传统的矿产资源勘查中, 主要采用反射纵波勘探方法, 但发射纵波勘探方法在浅部地段存在勘探盲区, 难以解决浅部地质层位成像问题。而横波由于速度低, 对浅层勘探层位具有良好成像的特点, 多应用于浅部矿产勘探和地质调查。

【作者简介】蒲青(1987-), 男, 中国四川西充人, 本科, 正高级工程师, 从事煤田勘探、煤炭/煤层气地震勘探、地震勘探研究。

2 横波勘探原理

从地震波动力学角度出发, 地震波在弹性介质中会产生两种波: 一种是在介质中质点振动方向与波的传播方向一致的纵波; 另一种是介质中质点振动的方向与波传播的方向相互垂直的横波。横波又有两种形式: 一种是在射线平面以内传播的SH横波, 另一种是垂直于射线平面的SV横波。激发的振动方式产生的三种波(P、SV、SH)和三种分量检波器接收方式可组合得到九种分量的有效波(P-P、P-SV、P-SH、SV-P、SV-SV、SV-SH、SH-P、SH-SV、SH-SH)。通常, P波、SV波在射线平面内振动, SH垂直于射线平面波振动, 这就导致P-SH、SH-P、SV-SH、SH-SV这4种激发与接收方式始终垂直, 不易接收信号, 实际施工时根据工

区响应条件可自行选择几种激发接收效果好的进行处理解释指导生产。

目前地震横波法主要是在垂直于测线的方向上施加水平冲击力，以形成向下传播的SH波，SH波从界面射后到达地面，被垂直于测线布置的水平检波器接收。当入射波为SH波时，在反射界面上，只会产生同类反射波，而不会产生转换波，因此SH波反射波波型简单，且由于这种波的人射线和反射线对称，与常规纵波反射时距曲线有相似特点，因此它的数据采集、处理方法及流程与纵波勘探也基本相同。地震波传播如图1所示。

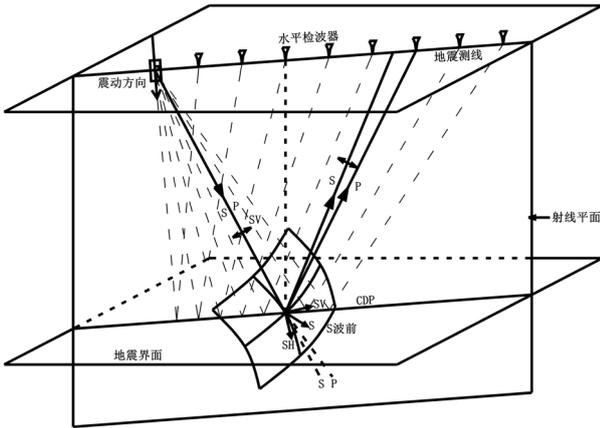


图1 地震波传播示意图

3 横波分辨率

根据地震波动理论，弹性介质中纵波和横波的速度可分别表示为：

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$$

式中， V_p 为纵波传播速度； V_s 为横波传播速度； E 为介质的弹性模量； μ 为介质的剪切模量； ν 为介质的泊松比； ρ 为介质密度。

根据上两式，纵横波的速度比为： $R = \frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1+\nu}}$ ，介质一般泊松为0~0.5，所以， $V_p/V_s > \sqrt{2}$ 。对于松散介质，纵、横波速比一般介于1.6~3.3之间，因此，二者在相近频率的情况下，横波分辨率要比纵波提高数倍。另外，纵波速度对介质的水饱和度比较敏感，而横波是由剪切作用产生的，横波只能在固体介质中传播，横波速度则不受水饱和度影响，因而在浅层勘探中更具优势。

4 观测系统

测区含煤地层为中侏罗统沙婆泉群，其下岩组为含煤

岩组。可采煤层为3煤层、4-1煤层、4-2煤层。煤层埋深20~100m，主采煤层4-1煤层可采纯煤真厚1.91~5.11m，平均2.33m。可见煤层厚度较薄，埋深较浅，传统纵波地震勘探无法达到效果，故本次采用高密度横波二维地震勘探。

观测系统：检波距设为2m，炮距20m，600道接收，排列长度1200m，CDP点距1m，覆盖次数30次，主测线线距50m，联络测线线距50m。测区典型的地层特征及速度特征如表1所示。

表1 测区典型的地层特征及速度特征

地层编号	地质时代	岩性描述	地层厚度	横波层速度
1	Q	第四系黄土覆盖。成分：砂土、砾石；棱角状、次圆状，松软。	0-7.01	110
2	J ₂ s	砂砾岩。成分：搬运物，砾石、砂石为主；碎块状、粉末状、间或短柱状；半坚硬。	7.01-14.44	155
3	J ₂ s	砂质黏土。成分：砂土、黏土为主；松软。	14.44-18.79	
4	J ₂ s	粗砂岩。成分：含砾粗砂岩，含少量云母、长石，中夹泥岩薄层；长柱状；半坚硬。	18.79-25.98	182
5	J ₂ s	泥岩。成分：泥质；短柱状；半坚硬。	25.98-30.75	
6	J ₂ s	泥质粉砂岩。成分：粉砂岩，含少量云母碎屑及炭屑；长柱状；半坚硬。	30.75-42.04	245
7	J ₂ s	炭质泥岩。成分：泥岩，含粗砂岩、炭质；长柱状、碎块状；半坚硬。	42.04-49.54	
8	J ₂ sh	粗砂岩。成分：砂岩，含少量云母、长石，含薄层状炭泥岩；长柱状；半坚硬。	49.54-56.55	300
9	J ₂ sh	煤。成分：煤，以暗煤为主，半暗煤次之；块状；1.4m。	56.55-57.94	800
10	J ₂ sh	粗砂岩。成分：含砾粗砂岩，含少量云母、长石，含薄层状炭泥岩；长柱状；半坚硬。	57.94-63.50	820
11	J ₂ sh	煤。成分：煤，以暗煤为主，半暗煤次之，夹泥岩薄层；块状；0.6(0.55)0.9m。	63.50-66.05	820
12	J ₂ sh	炭质泥岩。成分：炭泥岩，含粗砂岩、炭质；长柱状、碎块状；半坚硬。	66.05-68.35	825
13	J ₂ sh	煤。成分：煤，以暗煤为主，半暗煤次之，夹泥岩薄层；块状；1.4(0.7)0.1(0.8)2.4。	68.35-73.75	850
14	J ₂ sh	泥岩。成分：泥质；短柱状；半坚硬。	73.75-77.85	860
15	J ₂ sh	粗砂岩。成分：含砾粗砂岩，含少量云母、长石；长柱状；半坚硬。	77.85-88.25	860
16	C _h	片麻岩。成分：以长石、石英为主，次为云母碎屑及暗色矿物；厚层状、片麻状；坚硬。	88.25-未见底	1300

5 仪器设备

激发采用LUV-18纵横波一体化可控震源。峰值出力：纵波≥176kN，横波≥88kN；扫描频率范围，纵波，3~200Hz，横波，4~200Hz。接收采用428采集链，配备20BS-60横波检波器。横波激发具有方向性，一般施工横波激发方向应垂直于测线方向，且全区激发方向应一致，如果地表条件复杂激发方向与测线存在夹角，会造成地震记录的极性、能量的偏差，影响资料品质，因此生产过程中采用VSC导航系统来实现横波激发角度检测。通过对导航软件功能的完善，增加了横波角度计算、显示及记录功能。

6 资料处理

横波SH波的资料处理基本上可以借鉴纵波处理的方法，但应根据横波速度低、频率低等特点选择不同的模块、参数。横波受低速层的影响较大，必须做好静校正工作，尤其是长波长静校正。横波受地层的影响层速度变化较大，做好速度分析不仅是保证迭加效果和时深转换的需要，还为解释提供重要参数。此外，还要着眼于提高分辨率和精确测定横波振幅等参数。本区处理的核心问题是精细的保幅、保真处理及准确成像。保幅保真处理的主要环节包括：静校正、保幅噪声压制、振幅恢复、子波处理、准确成像等几个关键环节。针对以上特点采取以下的技术措施：

①采用非网格层析反演解决该区的静校正。非网格层析反演静校正可以同时解决长、短波长的一揽子静校正问题。②应用高保真叠前多域噪声压制技术。压制各种噪声,提高原始记录的信噪比。确保在压制噪声的同时不破坏有效信号的属性特征。③采用扩散补偿、地表一致性补偿、剩余振幅补偿组合方法对反射振幅进行有效的恢复,消除表层激发、接收非一致性造成的振幅差异,提高振幅的一致性。④采用地表一致性反褶积方法,在保持子波一致性的前提下有效提高分辨率。⑤在精细速度分析的基础上,采用时间偏移技术,使得反射波能够准确归位,构造清晰,达到高精度成像。

单炮分析如图2所示。

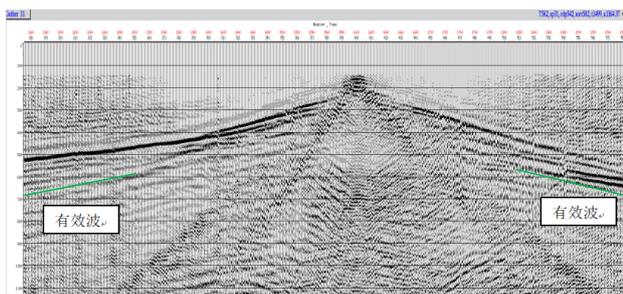


图2 单炮分析图

7 资料解释

图3是测区内DZ12线部分偏移时间剖面反射波相位特征,可见剖面信息分辨率、噪比较高,能量稳定,构造反映清晰。根据剖面特征显示,主要有三组单相位,根据钻孔标定第一组单相位为3煤层发育的底板发射波,第二组为4-1煤层、4-2煤层的复合波(4-1煤层、4-2煤层平均间距仅为3m),以4-1煤层为主,第三组为下部不可采5煤层发育的反射波,剖面特征显示不完全连续发育,且能量不稳定,符合已知地层发育规律。

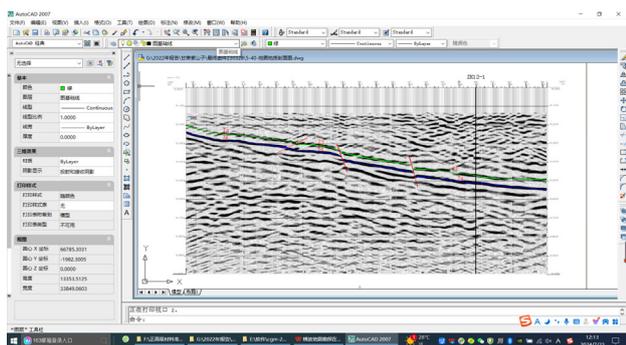


图3 过钻孔偏移时间剖面

结合钻孔资料,测井曲线标定的速度、资料处理分析速度,确定第一组发射波为3煤层底板发育的反射波,命名为T3波,该波组连续性较好,能量稳定,可全区连续追踪;第二组发射波为4-1煤层、4-2煤层底板发育的反射波,命名为T4波,该波组连续性较好,能量稳定,可全区连续追踪。

8 地质成果

探明勘查区主体形态为一不对称的宽缓向斜(W1向斜),W1向斜轴在勘查区呈弧形展布,走向为南东—东西—南东东,区内延伸约2.8km。W1向斜北翼发育次一级的小褶皱W2、M3,北翼较浅,地层倾角为10°~20°,南翼基本不发育次级褶皱,南翼较深,地层倾角为8°~12°。控制了勘查区内3煤层、4-1煤层的赋存范围、深度和起伏形态。共计查明了勘查区范围内落差大于5m的断层6条,对区内断层的发育情况进行了评价。测区主要构造形态及煤层底板如图4所示。

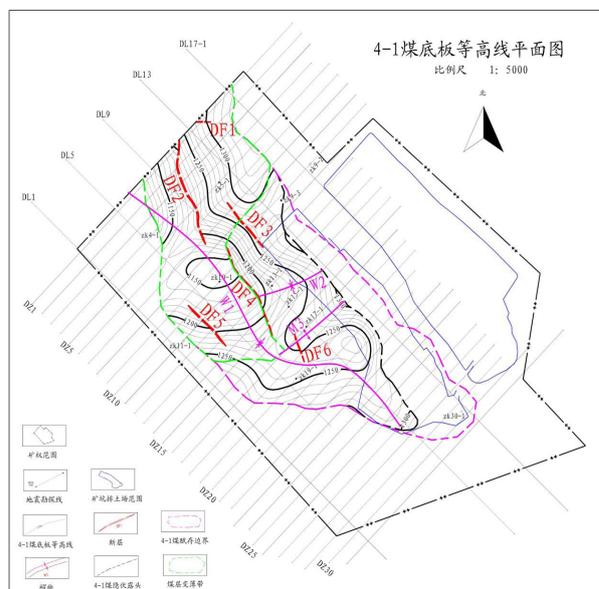


图4 测区主要构造形态及煤层底板示意图

参考文献

- [1] 陆基孟.地震勘探原理[M].东营:中国石油大学出版社,2015.
- [2] 张达敏,石瑞平.探索横波地震的理论误区[J].工程地球物理学报,2005,2(2):139-144.
- [3] 徐丽萍,杨勤勇.多波多分量地震技术发展展望[J].勘探地球物理进展,2002,25(3):47-52.