

三维地震勘探在赵庄煤矿陷落柱探查中的应用

李劲松, 左杰海, 封云杰, 李东亮

(山西晋煤集团 赵庄煤业有限责任公司, 山西 晋城 048000)

[摘 要] 根据三维地震解释陷落柱的理论基础, 分析了陷落柱的地震响应特征。结合赵庄煤矿地层的赋存特征, 设计了三维地震作业及采集方法, 并通过高分辨数据处理, 在偏移数据体上进行综合属性分析, 根据陷落柱在三维地震数据体上的响应特征, 基本确定陷落柱的范围。相比较常规的陷落柱探查方法, 利用地震属性综合分析能对陷落柱等构造异常体作更准确的判断, 从而更好地指导煤矿的开采工作。

[关键词] 三维地震勘探; 陷落柱; 属性特征

[中图分类号] TD166; P631.4 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1006-6225 (2015) 05-0015-04

Application of 3-d Seismic Exploration in Detecting Collapse Column in Zhaozhuang Colliery

煤层底板有泥岩、砂岩、灰岩三大类, 其中灰岩由于地下水活动作用, 发生化学溶解, 并形成大量的空洞, 空洞围岩抵抗破坏的能力降低。在地应力和构造应力综合作用下, 空洞围岩发生松动、破碎和塌陷, 形成陷落柱^[1]。当陷落柱逐步扩大并到达煤层, 煤层也因此而遭受破坏, 井下掘进至陷落柱位置时, 顶板支护困难, 底板裂隙发育, 深部灰岩水容易大量涌入, 造成突水。陷落柱在形成的过程中对煤系地层中的煤层及其周围的岩石也会造成严重破坏, 在一定程度上影响煤矿的开采, 并且存在很大的安全隐患。

1 赵庄煤矿地质概况

赵庄煤矿位于沁水煤田东南部, 地层构造形态为一个单斜构造, 走向为近北东向, 地层平均倾角为24°。单斜构造上发育了大量次级小褶皱, 研究区内小构造发育, 根据最新的统计数据, 平均每千米巷道内的断层数为12条, 矿区内根据揭露或者三维地震解释的陷落柱共计67个。

勘探区内以低山、丘陵为主, 地形东西高中间低, 北高南低。区内第四系黄土覆盖, 厚度为3~10m。地层从老到新有: 奥陶系中统峰峰组, 石炭系中统本溪组、上统太原组, 二叠系下统山西组、下石盒子组、上统上石盒子组、石千峰组及新生界第三系、第四系地层。勘探区含煤地层为石炭系上统太原组和二叠系下统山西组, 含煤地层平均厚度147.44m, 共含煤层15层, 平均厚度12.58m, 平均含煤系数8.5%。二叠系下统山西组3号煤层,

总平均厚度为5.58m, 全勘探区稳定可采。

2 利用三维地震技术解释陷落柱的基础

2.1 陷落柱解释的物理基础

陷落柱是一个平面上为圆锥状, 剖面上为一个上小下大的塌陷体。其在三维地震上的响应取决于野外地震数据的纵向和横向分辨能力。目前地震资料主要采用剖面解释的方法, 因此, 地震资料的横向分辨能力是衡量陷落柱探测的物理基础之一。根据三维地震勘探理论, 假设地下地层水平, 可以通过地震波的干涉理论分析得出, 横向分辨率是以第一菲涅尔半径 r 为半径的一个圆, 表示为:

$$r = \sqrt{v^2 t / 4f}$$

式中, v 为到达某一波阻抗界面的平均声波速度; t 为某一波阻抗界面的地震波双程时; f 为地震波在某一波阻抗界面的地震波主频。

通过上述公式来确定陷落柱的半径, 当陷落柱半径大于 r 时, 在三维地震数据的水平叠加剖面能够确定陷落柱的边界; 当陷落柱半径小于 r 时, 只表现为连续反射波振幅上的微小变化。

2.2 陷落柱在地震剖面上的判别依据

陷落柱会导致地层坍塌, 与周围正常赋存地层存在明显的差异, 既有可能是相对陷落柱围岩(陷落柱内部是一个整体塌陷), 也有可能是陷落柱内部沉积物杂乱, 这就使得地震波到达陷落柱区域时表现为不同的形态变化, 在三维地震剖面上会有不同的显示特征, 这就为利用三维地震数据解释陷落柱提供了良好的地球物理前提^[2-5]。

[收稿日期] 2014-12-26

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2015.05.004

[作者简介] 李劲松(1968-), 男, 山西泽州人, 地质工程师, 从事矿井工程地质方面的工作。

[引用格式] 李劲松, 左杰海, 封云杰, 等. 三维地震勘探在赵庄煤矿陷落柱探查中的应用[J]. 煤矿开采, 2015, 20(5): 15-18.

(1) 反射波同相轴在一定范围内出现中断、扭曲等现象, 并且这种异常表现为一个圆圈形状, 其变化的起始点可以看作是陷落柱的边界线。

(2) 延迟绕射波是只有在陷落柱或与陷落柱相类似的地质体出现时才能产生的异常波, 因此延迟绕射波可作为识别陷落柱的标志。当陷落柱规模很小时能够产生相当大展布范围的绕射波, 如果在同一地层存在 2 个大小相近的陷落柱, 当 2 个陷落柱之间的距离大于 1 个波长时, 不同陷落柱的绕射波特征较为明显, 有利于分辨。

(3) 陷落柱发育位置的反射波与围岩存在明显不同。比如, 陷落柱部位的地震波振幅较弱, 反射波延迟, 波形杂乱, 地震波频率低。

3 地震作业及数据采集

本次试验共完成 50 个试验物理点, 全部合格。通过对试验记录的对比、分析, 认为目的层反射波在 320~450ms 间, 波组齐全、易识别、信噪比较高。主要干扰波为面波、声波及随机干扰波。通过试验, 确定了本次三维地震的施工参数。

(1) 观测系统采用 8 线 8 炮制规则线束状观

测系统, 单边激发。具体参数见采集参数表 1。

表 1 采集参数

名称	参 数	名称	参 数
观测系统类型	8 炮 8 线	激发炮点距/m	20
激发方式	单边放炮	CMP 网格/(m×m)	10×5
接收道数/道	512(8×64)	叠加次数/次	16(横 4×纵 4)
接收线数/条	8	横向最小炮检距/m	20
接收线距/m	40	横向最大炮检距/m	210
接收道距/m	10	纵向最小炮检距/m	40
激发炮线距/m	80	纵向最大炮检距/m	670

(2) 采集参数: 采样间隔 1.0ms, 记录长度 1s。

(3) 井深与药量如图 1 所示。采用 3 种组合方式, 即: 井深 7m, 药量 1.0kg; 井深 7m, 药量 3.0kg; 井深 14m, 药量 1.0kg 进行试验。试验后分析如下: 黄土较厚地段井深应大于 7m, 药量 2.0kg, 且激发层位应在红黏土中; 黄土较薄地段井深 3~5m, 药量 2.0kg, 应在红黏土或基岩中; 残坡积物覆盖地段井深应大于 2m, 药量 2.0kg, 激发层位应在基岩中; 基岩出露区井深 1~2m。炮井全部用砂袋压实, 有利于提高能量下传, 压制干扰波, 确保安全施工。

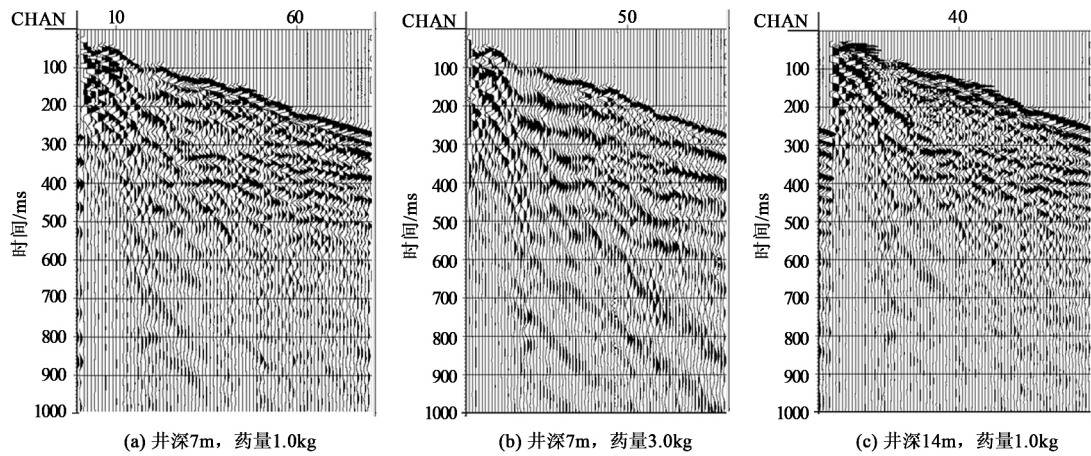


图 1 黄土覆盖区井深药量对比

4 陷落柱的地震数据处理与解释

4.1 陷落柱的地震数据处理

根据本次三维地震勘探地质任务及技术要求, 对原始资料进行了认真分析和研究, 针对资料特点确定了“三高”原则, 即高信噪比、高分辨率、高保真度这一处理宗旨, 选择合适的地震资料处理方法, 处理流程如图 2 所示。

实现流程的关键在于掌握关键性处理手段, 提高地震资料成像质量, 着重强调了以下几点:

(1) 认真检查观测系统, 确保炮、检点位置

准确无误。

(2) 拾取每一个有效单炮的初至时间, 通过分析层析反演静校正后反射波双曲特征, 选取合适的替换速度、基准面。

(3) 通过叠前保真保幅去噪、地表一致性振幅补偿以及地表一致性反褶积处理, 保护有效信号的低频成分和低频成分, 实现宽频保真处理。

(4) 选择合适的叠前时间偏移参数, 细致分析偏移速度, 确保剖面断层清楚、断点清晰。

(5) 充分利用已知的地质资料信息, 尤其是各钻孔资料、构造位置等信息, 指导速度分析、偏

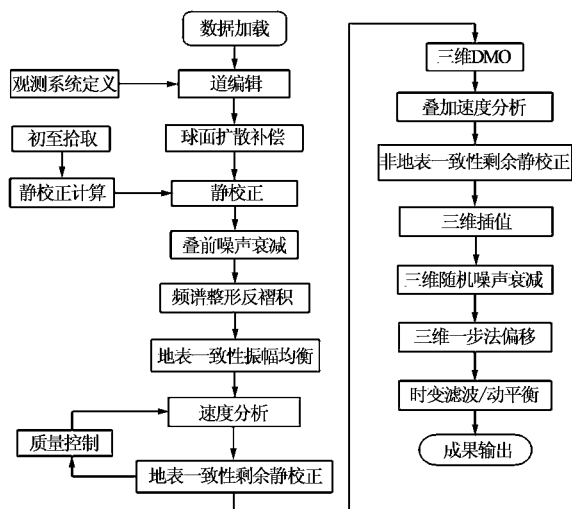


图2 地震数据处理流程

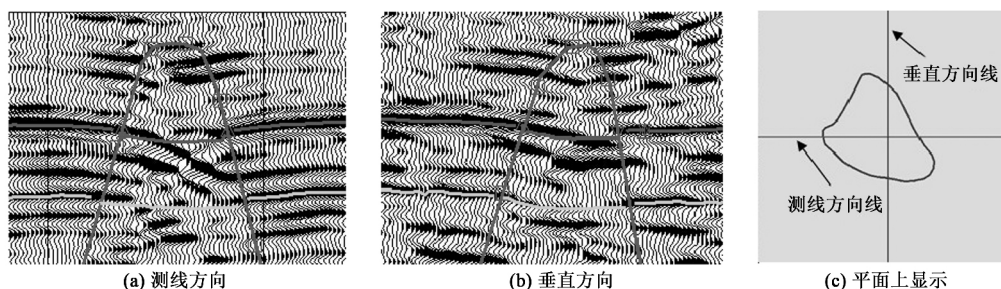


图3 同一陷落柱在不同地震剖面方向和平面上的显示

地震资料解释的一种地震特征。地下地层在纵横向上变化,对应地震反射波特征的纵横向变化,进而影响地震属性。目前,不仅可以利用地震属性分析地下岩性,而且地震属性与地下储层以及地质构造之间也存在着某种形式的联系。有很多学者用地震属性来指导地震数据体的解释工作,并且在实际应用中取得较好的效果^[6-10]。

目前在煤田三维地震解释工作中常用的地震属性有振幅属性、频率属性、瞬时相位、方差体属性和相干体属性等,这些属性之间既独立存在,又相互联系^[11-13]。振幅属性一方面通过识别振幅异常来追踪地层学特征,另一方面还可识别岩性变化和岩层的接触关系。瞬时相位是根据地震反射波在不同地质体上具有相应的相位变化,根据这种相位变化的特征识别不同地质体间的边界,它通常用来描述岩性尖灭、透镜体和小断裂等地质体的边界。将瞬时相位对时间的导数称为瞬时频率,瞬时频率能充分反映合成反射波的特征,用来估计地震振幅的衰减幅度。方差体算法是通过三维数据体来比较局部地震波形的相似性,以此来揭示地下是否存在地质异常体。相干体是衡量地震数据在一定时窗和相邻道之间的波形相似程度,这种波形的相似性代表

移工作,确保地震资料成像主要反射波特征明显,构造、陷落柱等绕射波归位,地质现象清楚,构造位置与已知位置吻合。

4.2 陷落柱的多地震属性解释

在地震数据处理提供的偏移剖面上,对目的层反射波进行追踪,找出目的层不连续的地震区域,根据上述地震波在陷落柱范围内的响应特征,基本确定陷落柱在测线方向和垂直方向的大小和范围(图3(a),3(b))。利用地震软件进行陷落柱解释,在不同的方向和剖面上确定陷落柱的边界,并将不同方向的断点进行人工的闭合,最终确定陷落柱在平面上的显示状态(图3(c))。

地震属性是指对地震数据体进行具有物理意义的数学变换,构建其与地质因素之间的关系,指导

地层的连续性。相干度越大,其相似程度越高;反之,则表示相似程度越差。

地震属性解释技术的关键在于属性提取,提取方式包括数据体属性提取和同相轴(目的层)属性提取两种。在本次研究中,对地震数据体提取多种不同的地震属性,根据其在地震剖面上的显示特征和不同地震属性与地质构造的相关性,最终选用4种地震属性进行陷落柱的解释工作,同一陷落柱在地震数据体上的不同属性的响应特征见图4。

在对陷落柱等地质异常体进行解释的时候,往往会根据目的层同相轴错断及目的层附近的层位杂乱排列情况对其进行判别。因此,在对地震数据体解释后,通常会对目的层进行属性提取,通过目的层的不同属性对构造异常进行再次确认,以提高解释精度。在属性切片上,陷落柱多呈现椭圆状、似椭圆状,有时会出现长条形或串珠状(图5)。

在地震剖面上对陷落柱进行初步的确认,再通过地震数据体和目的层进行不同地震属性的提取,选取较为明显的地震属性作为判别标准,最终可较为精确地确定陷落柱的位置和发育规模。该项成果经过矿井的验证,结果可靠,为煤矿的安全生产提供了可靠的地质依据。

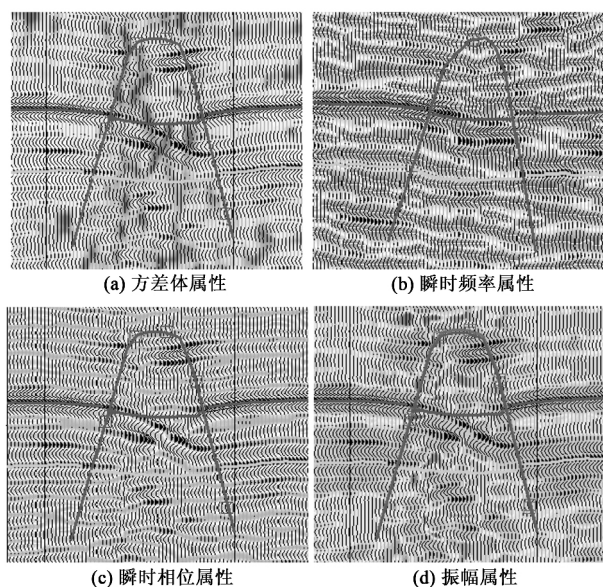


图 4 同一陷落柱在地震数据体上不同属性的响应特征

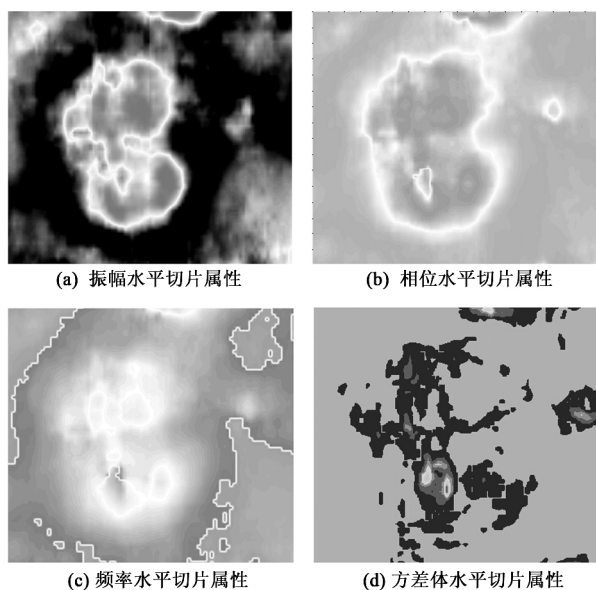


图 5 同一陷落柱不同属性在平面上的响应特征

5 结 论

在赵庄煤矿开展的三维地震探测陷落柱工作, 经过野外数据采集、高分辨处理和高精度解释, 解释的 21 个陷落柱, 全部获得验证。主要技术关键总结如下:

(1) 根据地震波的横向分辨率, 当陷落柱半径大于第一菲涅尔半径时, 在三维地震数据的水平叠剖剖面能够确定陷落柱的边界; 当陷落柱半径小于第一菲涅尔半径时, 只表现为连续反射波振幅上的微小变化。

(2) 充分的野外试验是保证良好采集数据的前提。在数据处理中, 主要采用了叠前时间偏移为

核心的地震数据处理流程, 同时注重赵庄矿区起伏地表的影响, 做好层析反演静校正, 选取合理的基准面和替换速度; 应用叠前保真保幅去噪、地表一致性振幅补偿以及地表一致性反褶积处理, 保护有效信号的低频成分和高频成分, 实现宽频保真处理; 选择合适的叠前时间偏移参数, 细致分析偏移速度, 确保剖面断层清楚、断点清晰。充分利用各种已知的地层、构造位置信息指导地震资料的处理, 改进地震资料成像质量。

(3) 在资料解释中, 将多种地震属性联合使用, 不同的属性之间起到相互验证的作用, 从而使陷落柱的解释结果更为精确。

【参考文献】

- [1] 蒋法文, 黄 晖, 张振生, 等. 高精度三维地震勘探技术在煤田安全生产中的应用 [J]. 中国煤炭地质, 2014, 26 (2): 60-64.
- [2] 师素珍, 方慧明, 郝海波. 煤矿岩溶陷落柱的地震资料解释 [J]. 中国煤炭地质, 2009, 21 (6): 59-61, 70.
- [3] 李艳芳, 程建远, 熊晓军, 等. 陷落柱三维地震正演模拟及对比分析 [J]. 煤炭学报, 2011, 36 (3): 456-460.
- [4] 李艳芳, 程建远, 朱红娟, 等. 陷落柱三维地震属性敏感度测试分析 [J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39 (4): 55-58, 63.
- [5] 方庆水, 李献龙, 鲍广富. 三维地震勘探资料在解释陷落柱分布上的应用 [J]. 西部探矿工程, 2009, 21 (9): 113-116.
- [6] 张 昭. 利用三维地震及瞬变电磁法探查老窑、采空区及陷落柱 [J]. 中国科技信息, 2013 (18): 64.
- [7] 王立国. 三维地震勘探技术在查找煤矿采空区、陷落柱等地质异常体中的应用 [J]. 西部探矿工程, 2013, 25 (8): 142-143, 148.
- [8] 梁 兵, 孙恩泽. 山区煤田三维地震勘探漏解释煤炭陷落柱原因探析 [J]. 中国煤炭工业, 2013 (10): 44-45.
- [9] 王红霞, 王永奎. 地震属性相干体技术在煤田地震勘探中的应用 [J]. 甘肃科技, 2014 (18): 28-30.
- [10] 马彦良, 田庆路, 王振虎, 等. 山区三维地震探采对比分析——以阳泉五矿中央采区三维地震勘探工程为例 [J]. 中国煤炭地质, 2008, 20 (6): 6-10, 39.
- [11] 陈 冕. 成庄矿三维地震勘探技术应用研究 [J]. 煤炭与化工, 2014, 37 (06): 126-129.
- [12] 祝 杰, 孙 林, 胡琴霞, 等. 三维地震勘探技术在伊犁河谷煤田勘探中的应用 [J]. 煤矿开采, 2013, 18 (5): 26-27, 20.
- [13] 杨武洋. 煤矿陷落柱赋水特征的综合物探探查原理与方法 [J]. 采矿与安全工程学报, 2013 (1): 45-50.
- [14] 吕明岩. 全数字高密度三维地震勘探在长治地区的研究与应用 [D]. 太原: 太原理工大学, 2013.

[责任编辑: 施红霞]