

地质与测量

## 三维地震资料在赵庄煤矿构造解释中的应用

何灵芳, 闫涛滔, 刘大锰, 姚艳斌

(中国地质大学(北京) 能源学院, 北京 100083)

**摘要:** 基于赵庄煤矿为新开采的富含煤层气矿, 矿区构造发育, 煤层气的勘探开发前景不明确, 为进一步查明本区构造发育特征, 利用 Landmark 软件对赵庄煤矿的三维地震资料进行了精细解释。经地震剖面的构造精细解释, 在剖面上共解释了 4 条断层, 23 个陷落柱并运用相干体技术直观地观察到该区域内断层和陷落柱的分布, 对剖面解释进行了校正; 运用地质构造控制理论煤层气富集规律分析结果表明, 煤层气主要在向斜及背斜轴部、逆掩断层下降盘及埋深较大的区域富集, 而陷落柱则沿逆掩断层、测区中部及西南角大量成片成带发育特征, 且具有明显的分布不均特征, 使得煤层的连续性较差, 不利于煤层气的富集与保存。

**关键词:** 煤层构造; 断层; 陷落柱; 相干体; 赵庄煤矿

**中图分类号:** TD166 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2011)08-0100-04

### Application of 3D Seismic Information to Explain Structure of Zhaozhuang Mine

HE Ling-fang, YAN Tao-tao, LIU Da-meng, YAO Yan-bin

(School of Energy, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Zhaozhuang Mine was a new developed coal mine with rich coal bed methane, a developed mine structure and an uncertain exploration development outlook of the coal bed methane. In order to verify the mine structure development features in the region, the Landmark software was applied to detail explain the 3D seismic information. With the detail explanation on the seismic section structures, there were 4 faults and 23 sink holes explained on the sections. The coherence cube technology was applied to directly observe the distributions of the faults and the sink holes in the region. The correction was made to the explanation of the sections. The geological structure control theory was applied to the analysis on the rich concentration of the coal bed methane and the results showed that coal bed methane would be mainly concentrated in the syncline and anticlinal axis part, the footwall of the reversed fault and the deep depth area. The sink holes were developed largely in pieces and zones along the reversed fault and the middle and the south-east corner of the region and had obvious uneven distribution features. Thus the sink holes had caused a poor continuity to the seams and would not be favorable to the rich concentration and storage of coal bed methane.

**Key words:** seam structure; fault; sink hole; coherence cube; Zhaozhuang Mine

煤层气, 俗称煤层瓦斯, 是煤化过程中产生并储集于煤层中、与煤共(伴)生的非常规天然气。煤层瓦斯气体的存在是开采煤炭的一个安全隐患。通常, 地质构造是影响含煤盆地中煤层气含量的一个重要因素<sup>[1]</sup>。因此了解煤田区域构造背景和查明煤储层中小构造的发育情况是煤矿安全生产的前

提。赵庄矿是新建的高瓦斯矿井, 在首采面的掘进过程中发现构造比较发育且瓦斯含量较高, 严重影响了煤矿的安全生产和煤层气开发前景, 因此, 对该地区进行精细构造解释具有重要意义。目前, 煤田三维地震勘探技术已经成为详细查明小断层、小褶曲、陷落柱、采空区、冲刷带等重要地质资料的

收稿日期: 2011-04-03 责任编辑: 曾康生

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40972107); 国家重大科技专项资助项目(2011ZX05034-001); 中石油科技创新基金资助项目(2010D-5006-0101)

作者简介: 何灵芳(1988—), 女, 湖南常德人, 硕士研究生, 主要从事煤层气地质与勘探开发研究。Tel: 010-82320892, E-mail: bqgcen@126.com

主要手段<sup>[2-4]</sup>。然而,单一的地震剖面构造解释受人的主观影响较大,为降低主观影响,提高解释精度,在进行地震剖面构造解释的同时,也利用相干体技术,提取属性得出断层等构造的分布情况,两者结合,最终确定区域内构造发育情况。

## 1 区域地质背景

赵庄煤矿位于长治市长子县境内,隶属大堡头镇。构造上位于太岳山南端与长治盆地西南边缘的结合部。研究区总体为一单斜构造,区内次级褶皱较为发育。地貌上属于剥蚀、侵蚀山地,以低山丘陵为主,沟谷发育,地形起伏不大,总体呈南高北缓的趋势。区内地层发育齐全,地层走向北东向,倾角 $3\sim 6^{\circ}$ 。从老到新依次发育:奥陶系马家沟组,石炭系本溪组、太原组,二叠系山西组、下石盒子组、上石盒子组和第四系松散沉积。含煤地层为石炭系太原组和二叠系山西组,平均厚度 150.18 m,共含煤 15 层。煤层埋藏呈东部浅、西部加深的变化趋势。3 号煤层位于山西组下部,煤层厚度大且稳定,为全区稳定的主要可采煤层之一,也是本文研究的主要目的层。

## 2 三维地震剖面构造精细解释

在煤田三维地震资料解释中,准确解释断层、陷落柱十分重要。三维地震资料具有数据量大、信息丰富、空间分辨率高等特点。因此,三维地震资料需要利用计算机进行精细构造解释<sup>[5]</sup>。研究区地层较为平缓,煤系地层沉积旋迴清晰,主要标志层间距变化小且稳定,山西组 3 号煤层厚且全区稳定,与其顶、底板围岩存在明显的波阻抗差异。

本次研究利用 Landmark 软件追踪 3 号煤层,采用加密网格( $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ )在地震剖面上进行构造精细解释。

### 2.1 断层解释

反射波同相轴错断,产状突变,扭曲,是断层在本区地震时间剖面上的基本表现形式。在错断、扭曲的两侧,波阻抗特征完全能够对比。错断点、扭曲点及反射波振幅突变点,一般视为断层断点。在时间剖面上,反射波错断处通常伴随异常波的出现,最常见的是断面波、绕射波,这些特殊波的出现是识别断层的一种标志<sup>[6]</sup>。

该区内共解释了 4 条断层:2 条逆掩断层,正

逆断层各 1 条。正断层数量不多,而且与逆断层相比无论从规模还是落差上都相对较小,所以全区是以逆断层为主,断层落差也比较小(图 1)。

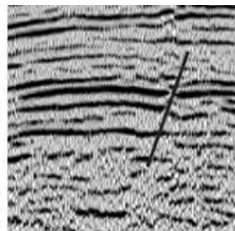


图 1 line184 断层地震解释剖面展布

### 2.2 陷落柱解释

陷落柱是可溶性岩层在地下水强径流作用下,经过漫长的历史时期,被溶蚀形成空洞、孔隙或裂隙,随着溶蚀作用加强,孔洞不断增多、扩大,最终受重力和构造力影响,导致上部岩层失去支撑,垮塌陷落而形成的一种特殊地质构造<sup>[7]</sup>。由于陷落柱是由块度大小不均,排列杂乱无章的上部地层塌陷物胶结而成的,与周围正常赋存地层存在明显的物性差异,这就为利用地震反射波法探测陷落柱奠定了物理基础<sup>[8-9]</sup>。

在该区内陷落柱在地震剖面上主要表现为 2 种情况:第一种是标志层反射波错断,与两端断开,但柱体内反射波仍然连续;第二种是柱体内反射波出现扭曲、变形、凌乱等异常现象。在解释过程中,对不合适的断陷点进行反复调整,直至陷落柱断陷点的平面、剖面完全闭合。

总体上,研究区内陷落柱主要具有以下特点:①陷落柱极为发育,全区均有分布,其中以断裂带附近,测区中部及西南角发育为多。②陷落柱陷落范围大,部分陷落柱内部相对较完整,属于含煤陷落柱。③陷落柱冒落高度变化较大。④陷落柱长轴展布方向较有规律,多呈东西向。从时间剖面上看,陷落柱在短轴方向比长轴方向表现的陷落特征更明显。该区块内共解释了 23 个陷落柱,基本在整个区块内都有分布,在地震剖面上,陷落柱清晰显示(图 2)。

### 2.3 断层及陷落柱平面展布

经过对加密网格( $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ )在地震剖面上的构造精细解释认为:该区存在 4 条断层,23 个陷落柱,并绘制了底板等高图,图中清晰显示陷落柱和断层的位置(图 3),A、B、C 表示陷落柱发育较集中的 3 个区域。

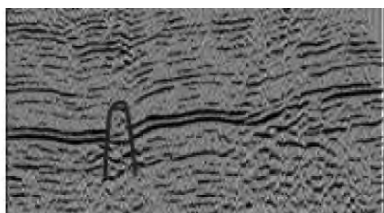


图 2 line268 陷落柱地震解释剖面展布

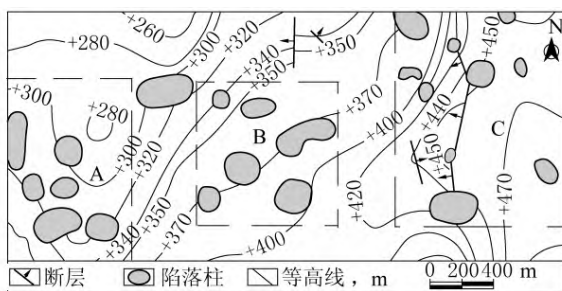


图 3 3 号煤层底板等高线

### 3 三维相干体技术解释

地震三维数据体的不连续主要反映断层和岩性的变化,连续性则主要反映岩性的均一性和地层的连续性。当存在断层和地层不连续变化时,在局部一些地震道上会出现与相临地震道不同的反射特征,导致道与道之间相关性方面极不连续<sup>[10]</sup>。根据这一特点,利用地震相干体技术可在相干切片上直观的反映构造和断层的分布情况。

#### 3.1 相干体技术概述

地震相干体技术在 1995 年召开的第 65 届 SEG 年会上正式推出,这种技术在分析不连续现象方面有独到之处。通过量化处理地震相干属性,生成可解释的断层和隐蔽地层构造的图象<sup>[11]</sup>。第一代方法<sup>[12]</sup>采用三道相干处理,对于高品质的地震资料具有很好的检测效果,分辨率也最高。目前, Landmark、GeoFrame 等软件的相干算法大部分采用量能归一化后的互相关计算(即第一代方法)。第二代方法<sup>[13]</sup>采用多道相干处理,分析效果是分辨率较低,但抗噪能力较强。第三代方法称作特征构造,把多道地震数据组成协方差矩阵,应用多道特征分解技术求得多道数据之间的相关性,计算倾角和方位角。

相干体技术的实质就是利用地震信息计算道与道之间的相关性,突出不相关的异常现象,从三维数据体出发,选用相应有效的计算方法,实现相干数据体的转换,进而展现出断裂特征并预测裂缝发

育带的平面分布<sup>[14]</sup>。三维地震数据体反映地下一个规则网格的反射情况,通过对主测线和联络测线方向计算某一时间域内波的相似性,可获得三维地震相关图。利用这一原理,通过对三维数据体的不连续性进行分析,便可识别构造和断层的分布,使解释人员获得研究区概略的构造几何形态及断层分布情况。充分利用三维地震数据体原已存在的空间分布信息,能够减少复杂情况下人为因素造成的误差及由此而产生的多解性。

#### 3.2 相干体技术在赵庄煤矿的应用

本次研究利用 landmark 软件进行地震相干体属性提取用以预测断层和陷落柱。在属性图上可以比较清晰地看出陷落柱以及断层的位置,分布情况以及形态(图 4)。



图 4 断层和陷落柱在地震相干体属性提取

### 4 综合构造解释结果

晚三叠世以来,沁水盆地周边断块的差异隆升,产生近东西向的挤压应力,形成褶皱带。燕山期时,该区整体抬升,广泛遭受剥蚀。在构造应力作用下,石灰岩岩层中大量裂隙不断发育,促进了奥陶系含水层强径流的形成,为地下水的溶蚀作用提供了有利条件。因此,该区域构造背景非常利于陷落柱的形成。结合区域构造地质背景,综合地震剖面解释成果及相干体属性提取成果,可以得出以下结论:西部的掣则-东沟倾伏向斜和崇瓦张的倾伏背斜控制了测区地层起伏形态,逆掩断层控制了测区东部的构造,陷落柱沿逆掩断层、测区中部及西南角发育。

### 5 构造对煤层气赋存规律影响分析

1) 煤层埋深对煤层气赋存的影响分析。随着煤层埋藏深度的加深,地应力不断增高,煤层和围岩的透气性也会降低,而且瓦斯向地表运移的难度也增加,这些变化有利于瓦斯赋存。因此,煤层瓦斯赋存特征与煤层埋藏深度密切相关,煤层瓦斯含量主要随着上覆岩厚度增加而成线性规律增

加<sup>[15-16]</sup>。

该矿区从西北到东南方向煤层埋深逐渐下降, 因此西北区域更有利于煤层气的富集。

2) 褶曲对煤层气赋存的影响。背斜两翼通常表现为压应力, 应力明显集中, 这些部位一般为高压区, 而轴部通常表现为拉张应力, 产生大量的张性裂隙或断层, 应力释放快, 造成低压区。因此, 煤层气在背斜的两翼的煤层中能较好的封存, 形成煤层气高富集区; 而向斜两翼与轴部通常表现为压应力明显集中, 因此, 煤层气在向斜的两翼及轴部的煤层中能较好的保存, 形成煤层气高富集区; 在煤层围岩封闭较好的条件下, 倾角平缓的单斜煤层中, 气体运移路线长, 阻力大, 含气量相对大于倾角陡的煤层。大型向斜的含气量高于背斜。中型褶皱中, 封闭条件较好时, 背斜较向斜含气量高, 封闭条件较差时, 向斜部位含气量较高。

因此, 该区域在掣则-东沟向斜轴部, 崇瓦张倾伏背斜轴部可能是瓦斯富集与突出危险区。

3) 断裂系统对煤层气赋存的影响。断裂构造既可能是煤层气运移的通道, 也可能起封堵作用, 因此对煤层气具有扩散和保存的双重作用。断裂对煤层气起封堵作用还是扩散作用, 主要取决于断裂的力学性质、规模大小及煤层围岩透气性。煤层围岩透气性较好的情况下, 张性裂隙越发育, 构造越复杂, 应力越集中, 形成气体运移通道越多, 排气越多, 含气量越小。如果围岩透气性差, 即使有断裂存在也不易形成煤层气排放通道。

在该区区域大的逆掩断层及逆断层曲率变化较大的区域, 尤其在這些断层的下降盘, 推断可能是瓦斯富集与突出危险区。

4) 陷落柱对煤层气赋存的影响。在各陷落柱边界附近曲率急剧变大的区域, 虽然张性裂隙较发育, 但由于陷落柱本身就是良好的气体运移通道, 因此在这些地方较大的曲率仅反映具有发育的裂隙或小断层, 但瓦斯更易逸失, 通常是瓦斯含量较低的区域。

## 6 结 语

通过对赵庄地震资料的精细解释, 结合地震剖面解释和相干体技术构造解释结果, 认为该区仅在东部发育一条大的逆掩断层及中部几条小断层。而陷落柱则沿逆掩断层、测区中部及西南角大量成片

成带发育, 具有明显的不均匀性, 严重破坏了煤层的连续性, 对煤层气富集成藏也有很大的影响。根据构造解释成果进一步对该区域煤层气赋存规律分析表明: 煤层气在煤层埋深较深的西北部, 崇瓦张背斜, 掣则-东沟向斜以及较大的逆掩断层下降盘处富集, 而区域内大量的陷落柱却阻止了煤层气的富集, 使瓦斯更易逸失。因此, 在煤层气开采过程中, 要尽量在富集区开采, 避开陷落柱。

## 参考文献:

- [1] 员争荣. 试论构造控制煤层气藏集环境 [J]. 中国煤田地质, 2000, 12 (3): 22-24.
- [2] 中国煤田地质总局. 煤矿采区三维地震勘探经验交流论文集 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [3] 武喜尊. 煤矿采区三维地震勘探技术 [J]. 物探与化探, 2004, 28 (1): 19-21.
- [4] 常锁亮, 刘大锰, 王明寿. 煤层气勘探开发中地震勘探技术的作用及应用方法探讨 [J]. 中国煤层气, 2008, 5 (2): 23-25.
- [5] 常锁亮, 张胤彬, 杨晓东. 方差体技术在识别断层及陷落柱中的应用 [J]. 山西建筑, 2003, 29 (10): 32-33.
- [6] 杨瑞召, 王媛媛, 王兴元, 等. 煤田三维地震采区小断层解释方法及应用 [J]. 矿业工程研究, 2010, 25 (1): 12-14.
- [7] 陈敬轶, 姚军朋, 张子敏, 等. 晋城成庄煤矿陷落柱成因与差异升降运动 [J]. 河南理工大学学报, 2006, 25 (6): 465-468.
- [8] 唐汉平, 张广忠, 朱书阶, 等. 复杂山区三维地震勘探方法的研究和应用 [J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32 (3): 55-57.
- [9] 韩爱英. 三维地震技术在探测陷落柱中的应用 [J]. 河北建筑科技学院学报, 2002, 19 (1): 75-78.
- [10] 龚洪林, 许多年, 蔡刚. 高分辨率相干体分析技术及其应用 [J]. 中国石油勘探, 2008, 5 (1): 45.
- [11] 邹才能, 张颖. 油气勘探开发实用地震新技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 240-258.
- [12] Bahorich M, Farmer S. 3-D Seismic Discontinuity for Faults and Stratigraphic Features: The Coherence Cubes [J]. The Leading Edge, 1995, 14 (10): 1053-1058.
- [13] Marfurt K J, Kirlin R L, Farmer S L, et al. 3-D Seismic Attributes Using a Semblance-based Coherency Algorithm [J]. Geophysics, 1998, 63 (4): 1150-1165.
- [14] 程国峰. 临13断块区沙四段断裂特征与油气聚集规律研究 [D]. 东营: 中国石油大学, 2008.
- [15] 周世宁, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存与流动理论 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [16] 刘大锰, 姚艳斌, 刘志华, 等. 华北安鹤煤田煤储层特征与煤层气有利区分布 [J]. 现代地质, 2008, 22 (5): 787-793.