

文章编号:1009-2722(2018)02-0061-08

长平井田三维勘探精细构造解释

张茗¹, 刘怀山^{1,2*}, 邢磊¹, 李京涛³

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100; 2 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266061; 3 山东省煤田地质局物探测量队, 济南 251000)

摘要:山西沁水盆地是一个构造残留型的富煤盆地,是我国最大的煤层气田。长平井田位于沁水盆地南部,是煤层气成藏的有利区域,且该区域煤层气的形成及分布以构造成为主要因素。在三维地震勘探偏移数据体的基础上,对研究区域的速度进行标定,对层位、断层、陷落柱以及褶曲进行精细解释,获得该区域精细构造特征描述。与原二维构造特征对比发现:三维地震构造特征中的煤系地层走向和埋深与原二维构造特征基本一致;三维地震构造特征反映出沿走向上发育的多个短轴状展布小幅褶曲,新增断层 19 条和新增陷落柱 24 个;查明原二维构造特征与三维构造特征中不一致的一条断层和陷落柱的位置,获得对地下煤层精确的成像解释。通过该区测井资料验证,三维地震构造特征符合地下实际情况,验证了三维精细构造解释的准确性。

关键词:长平井田;精细构造解释;断层;陷落柱;褶曲

中图分类号:P631.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2018.02009

长平井田位于沁水盆地南部晋城矿区东北部,拥有丰富的煤层气资源,主要分布于石炭系—二叠系含煤地层中^[1]。普遍认为该类型的煤层气的形成及分布主要受构造因素的影响,因此,精细的构造解释在开采前期极为重要^[2]。

1 长平井田地质概况

沁水盆地位于华北板块吕梁—太行断块上,是一个最大的次级构造单元。盆地东部与太行山隆起相接,西部以霍山隆起为界,南部与中条隆

起带相邻,北部与五台山隆起带相靠^[3]。该盆地位于吕梁山与太行山两隆起带中间,与大同一—静乐凹陷带组成了一个巨大的复式中央坳陷带^[4]。

长平井田位于晋—获褶皱带南部,沁水盆地南部 EW—NE 向断裂带的北东部,该区域受燕山运动中晚期影响较大。燕山运动中期主压应力方向由早期的 EW 向转变为 NWW—SEE 方向,形成了 NNE 向的线型挤压带;燕山运动晚期主压应力方向为 NE—SW 向,主张应力方向为 NW—SE 向,相应的构造变动以改造先期变形为主,以断裂为主,褶皱次之^[5]。长平井田地层走向为 NNE,倾向为 NWW,总体为一个单斜构造,地层倾角 5°~12°,局部受构造应力影响发育有次一级的波状起伏^[6]。井田地层倾角比较平缓,褶曲幅度不大,断层、陷落柱比较发育,断层大都为落差 10 m 以下的小型断层,仅个别断层落差可达到 20~50 m^[7]。

井田内主要含煤地层是上石炭统太原组与下二叠统山西组,共计 20 层,总厚度为 125.11~174.58 m^[8]。其中,煤层总厚 8.3~22.22 m,平

收稿日期:2017-08-30

基金项目:国家自然科学基金(41176077,41230318);国家高技术研究发展计划(863 计划)(2013AA092501)

作者简介:张茗(1993—),女,在读硕士,主要从事地震资料处理解释方面的研究工作。E-mail:mingzh_1193@126.com

* 通讯作者:刘怀山(1963—),男,教授,博导,主要从事海洋地球物理勘探数据采集、复杂区资料目标处理和特殊方法方面的研究工作。E-mail:lhs@ouc.edu.cn

均为 13.9 m。含煤系数为 9.18%。全区稳定可采煤层为山西组 3 号煤层与太原组 15 号煤层^[9]。

由于该区域断层落差小、褶曲构造幅度小等特点,在二维地震剖面上存在分辨率低,空间成像不精确等问题。因此,对该区域进行三维勘探来满足复杂地区的构造特征描述。

2 研究区域小幅度构造解释

2.1 主要反射波及其地质意义

地震资料的解释首先需要对地震反射波进行标定,确定地层特别是主要目的层与其地震反射

波的对应关系^[10]。如图 1 所示,根据研究区域测井资料制作合成地震记录与井旁地震时间剖面对比,确定了研究区域 3 号煤层(T3 波组)、8 号煤层(T8 波组)及 15 号煤层(T15 波组)对应的反射波。

如图 2 所示,T3 波组是煤系地层追踪的第 1 组反射波,波形稳定,连续性好,在 3 煤层赋存范围内可连续追踪对比;T8 波组由于 3 号煤层和 8 号煤层层间距较小,且 8 号煤层厚度(0.8~1.1 m)较薄,受 3 号煤层的屏蔽作用,呈现反射波能量弱或无反射的现象,不能连续追踪对比;T15 波组由 1 个相位组成,波形较稳定,连续性一般,主要是受 3 号煤层的屏蔽作用,但在全区地震测线上可连续追踪对比解释。

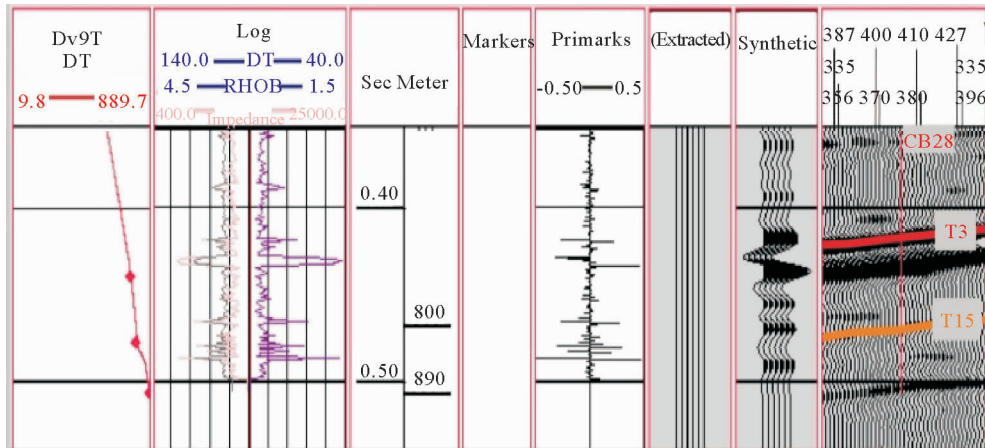


图 1 长 28 孔合成记录与井旁时间剖面对比

Fig. 1 Comparison of synthetic record and borehole-side profile of Changbu 28 hole

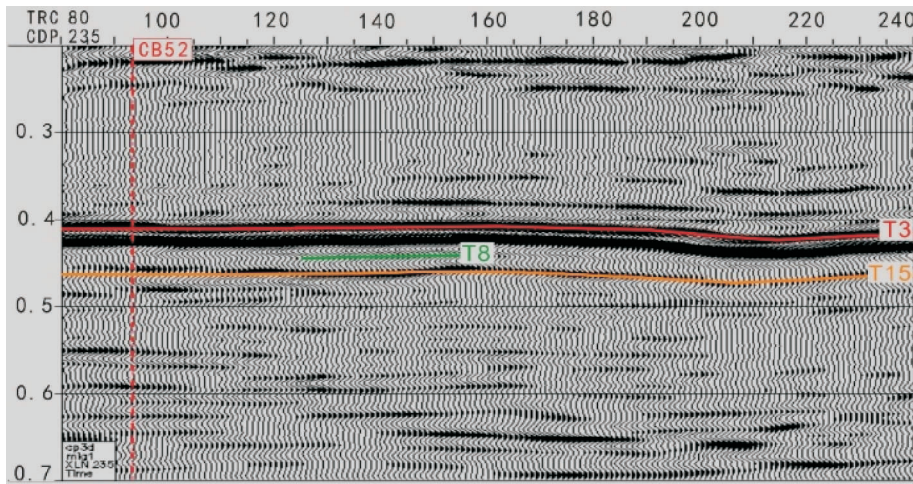


图 2 合成地震记录标定的煤层反射波

Fig. 2 Calibration of reflected wave of coal seam by synthetic seismic record

2.2 研究区域速度标定

速度标定是利用研究区域内已知钻探资料中目的层的深度和时间域对应的反射波旅行时反算求出的速度值,将离散的速度值经拟合平滑形成研究区的时深转换速度场。

本区速度标定采用:

(1)充分利用施工时的测量资料和钻孔见煤点高程,绘出实际地表高程图,对钻孔见煤点深度进行反校正,以求得准确的时深转换速度;

(2)利用研究区域10个钻孔组成的控制网,由计算机自动内插计算生成速度变化平面图;

(3)利用本区绘制的时—深曲线的速度规律,如图3所示,绘制速度分布平面图,进行时深转换,消除速度横向变化的影响。

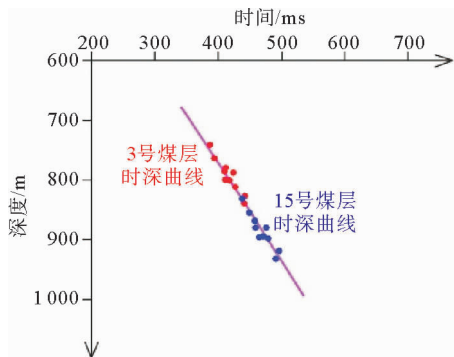


图3 3、15号煤层综合时深曲线

Fig. 3 Time-depth curve of No. 3 coal seam and No. 15 coal seam

2.3 利用断点组合识别煤层中断层

根据研究区域西北部樊庄—郑庄区块开发实践表明,断层对煤层气起封堵作用,但受到断层顶底板封闭性的影响,不同规模的断层对煤层含气量影响不同。当断层的规模较大时,煤层极易与两侧的砂岩接触,不利于煤层气的保存,对含气量影响较大^[11]。

在二维地震剖面上,小断层由于其断距小、断点少等特点,极易被忽略,而在三维剖面上,通过沿多个方向的地震剖面图,可以更精确的判断断层的存在与否。

研究区域断层的主要解释过程:

(1)断点解释 以标准反射波为主要解释对

象,在地震时间剖面上进行对比解释,根据反射波同相轴振幅、波形特征、波组关系、时差等,确定断点位置;

(2)断层面产状解释 时间剖面上有2个或2个以上有效波(层位)均错断时,可确定其倾向,只有一个同相轴错断时,一方面按其错断位置,同时也参考辅助相位及构造规律,但其倾角多为推断;

(3)断点组合解释 在时间剖面上确定断点后,把相邻剖面上性质相同、落差相当或有规律变化的相邻断点组合起来,以确定断层的空间展布。

三维地震勘探资料采用 $5\text{ m}\times 5\text{ m}\times 0.5\text{ ms}$ 的三维偏移数据体进行全三维解释。对研究区域所解释的断点,根据性质、落差及空间展布规律,在3~15煤层中共追踪断层19条,均为小落差正断层,其中,落差 $H\geq 15\text{ m}$ 的断层1条, $10\text{ m}\leq H<15\text{ m}$ 的断层5条, $5\text{ m}\leq H<10\text{ m}$ 的断层13条。

本区的断层从本质上分为2种,①理论上定义为从地应力产生的张性正断层,如图4绿色线所示的断层DF19;②岩溶性陷落形成时的断点,而且在其陷落深度不大的情况下,陷落柱内外所代表的煤层反射波显示稳定,在时间剖面显示为高角度的逆断层,在平面断层组合,一般情况下形成一个封闭的或是不封闭的环状断层,如图4断层DF19两侧的红色线所示。

如图5所示,该区19条断层分布主要集中在三维区的中部和南部,多为NW向正断层,发育少量NE向正断层,断层延展均较短。满足该区域总体应力规律,断层解释有一定的可信度。

2.4 利用地震属性特征识别陷落柱

陷落柱是由于地下水的物理化学作用,使埋藏在煤系地层下部的可溶性岩体被侵蚀,而使上覆岩层失稳塌陷形成的筒状柱体^[12]。陷落柱形成前,煤层气藏为一个相对封闭状态,煤系地层与含水层之间无直接水动力关系;当陷落柱形成,且切穿煤系地层后,煤系地层压力下降,封闭条件发生变化,柱内和附近煤层气开始解析,且由于塌陷发育的大量张节理提高了围岩的透气性,提供了煤层气运移通道^[13]。另外,煤系地层与含水层连通后,解析出的煤层气直接扩散或通过水循环移动到上覆地层,形成煤系地层含气量低值区^[14]。因此对陷落柱位置、形态的正确解释极为重要。

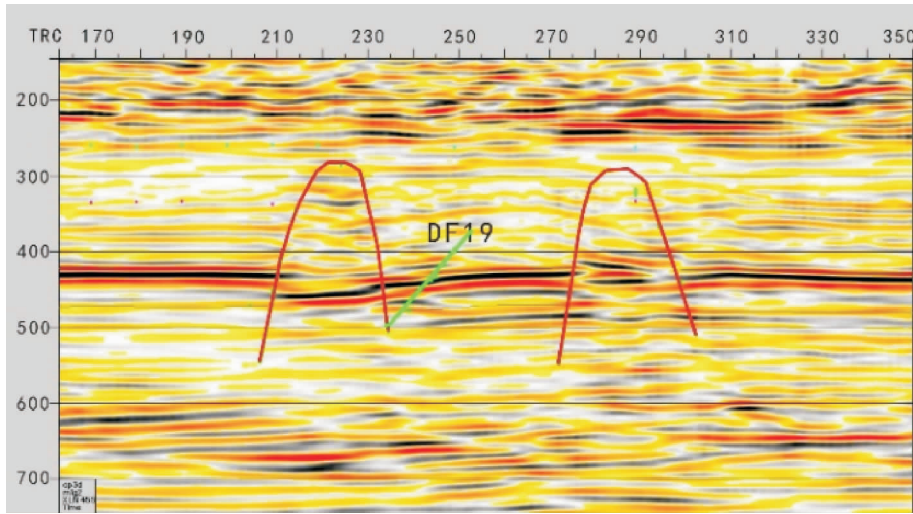


图4 断层DF19在时间剖面上的显示(该断层位于三维区中部,长补31号孔西北约200 m,走向NW,倾向SW,倾角70°,落差0~6 m,地震控制长度155 m,断层错断3、15号煤层)

Fig. 4 The display of DF19 fault in time section (The fault is located in the middle of the 3-D area, and is located at about 200 m northwest of Changbu 31 hole. The strike of fault is NW, the trend is SW, the angle of dip is 70°, and the drop height is 0~6 m. The seismic control length of the fault is 155 m and the fault is cut of No. 3 and NO. 15 coal seams.)

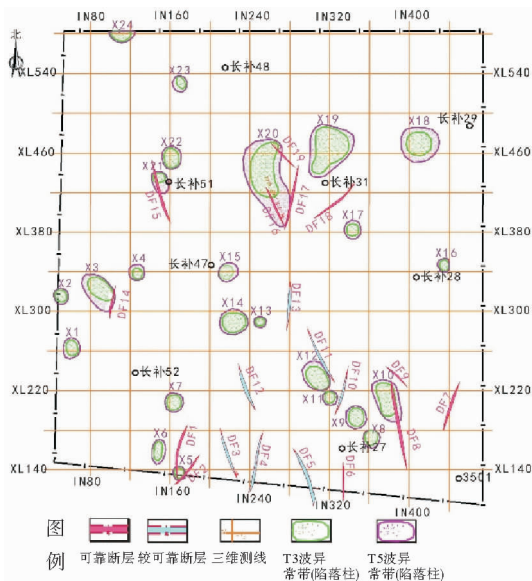


图5 断层、陷落柱在三维研究区域的分布示意图

Fig. 5 The distribution of the faults and collapse columns in the 3-D area

由于陷落柱是一个立体的筒柱形态,在二维地震剖面上,很难完整的呈现其特征,而在三维时间剖面和属性切片上陷落柱的空间形态呈现的更为精确。

该区域陷落柱识别标志:

(1)如图6所示,根据陷落柱在地震时间剖面上呈现杂乱反射,反射波能量减弱、消失,出现绕射波,沿层无法连续追踪,波形与频率发生明显变化等特点来识别陷落柱。其中,绿色方框处同向轴向下弯曲,说明反射波走时增加,该区域的速度较低,佐证了该区域可能为陷落柱内塌陷的松散地层。

(2)如图7a~c所示,提取了3号煤层的地震振幅、频率、相位属性,通过陷落柱振幅能量减弱、频率明显降低、相位凌乱无层序变化的特征来识别陷落柱。

(3)如图7d所示,是三维地震属性沿层相干切片,根据陷落柱在改切片上表现为圆或椭圆环状异常的特征来识别。

本区陷落柱集中发育在背斜的轴部,具有条带状特征,其沿轴方向一般为NW向,并且在平面上展布方向总体也为NW向,如图5所示。

2.5 多参数组合识别褶曲

褶曲构造是煤层气赋存控制因素之一,不同褶曲部位的煤层气含量不同^[15]。

利用标准反射波,对整个数据体的地震资料进行追踪对比,同时利用三维数据体可以在任意

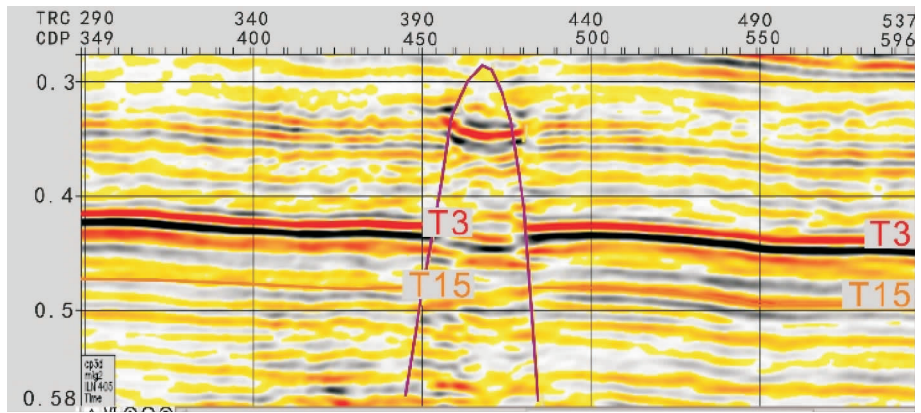


图 6 陷落柱在地震时间剖面的显示

Fig. 6 The display of the collapse column in time section

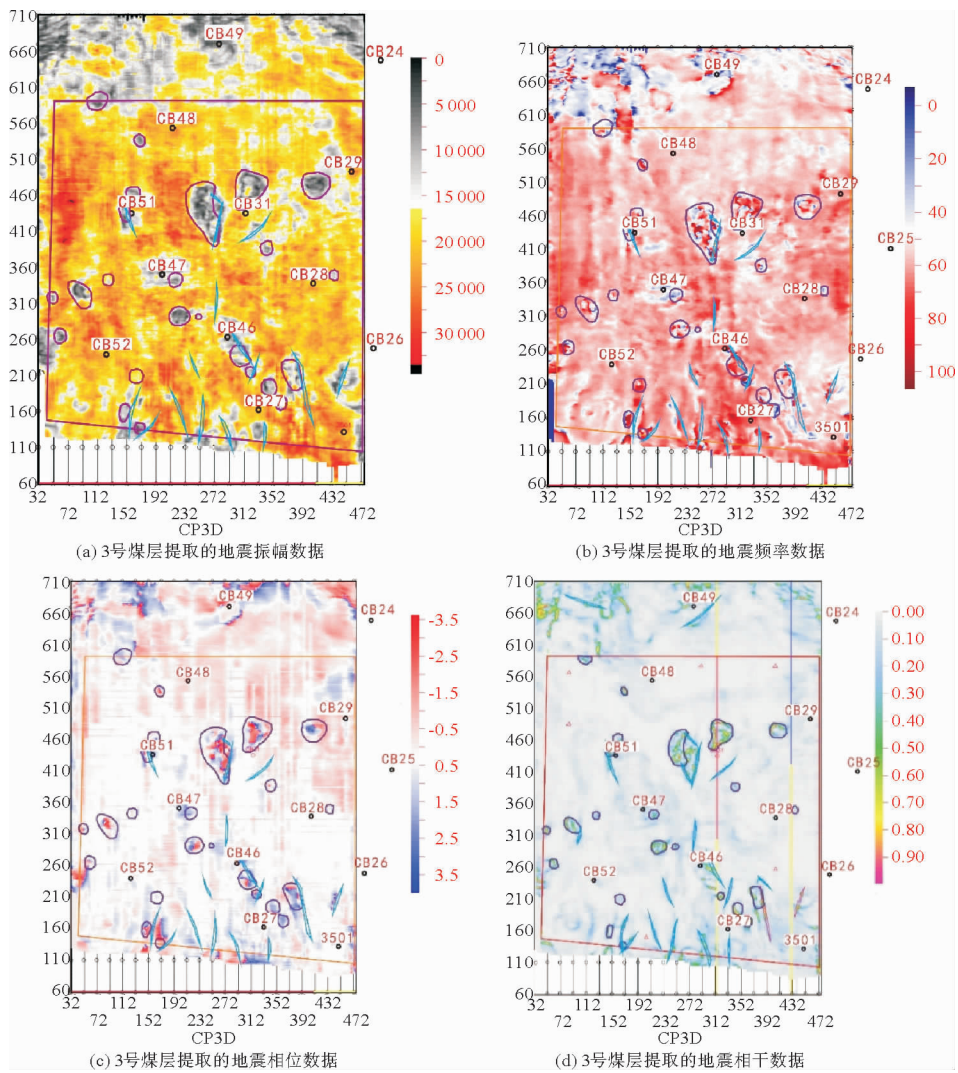


图 7 3号煤层提取的地震属性数据

Fig. 7 Seismic attributes data extracted from No. 3 coal seam

方向上切割剖面的特点进行检验,消除局部异常或干扰波带来的假象;当表层低速带速度、厚度变化不大时,褶曲形态在地震时间剖面上得到直观

地反映,以此解释煤系地层的起伏形态,如图8所示。进行时深转换后,地震数据时间域变为空间域,即反映了主要目的层的起伏形态。

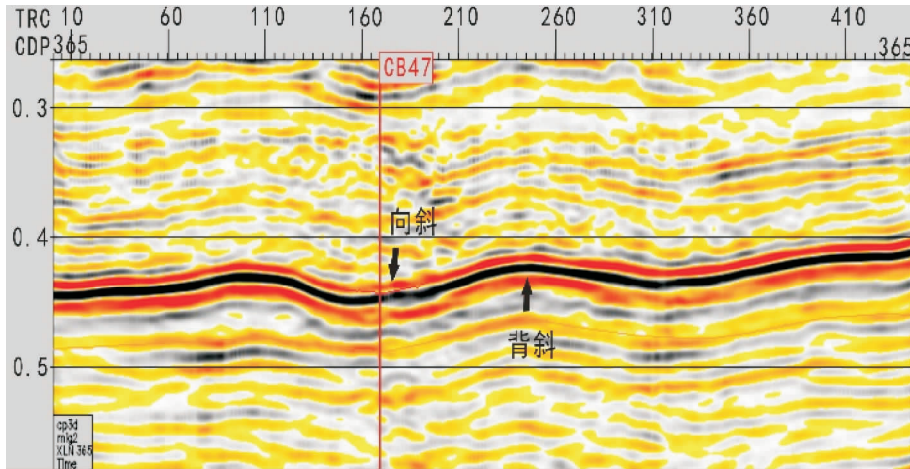


图8 褶曲形态在时间剖面上的显示
Fig. 8 The display of folds in time section

3 研究区域精细构造描述

经过三维地震勘探,进一步查明了地层产状,得到三维精细构造特征描述,与该区二维构造特征(3号煤层)相比较(图9),得到以下几点认识:

(1)在二维构造特征中,煤系地层为NE走向的单斜构造形态,最深在北部,最浅在东南角,三维地震解释从大的区段上看,构造形态是NE走向、倾向NW的单斜构造,主采煤层埋藏最浅处在三维区东南部,煤层埋藏最深处在三维区北部,这是一致的;三维构造特征清晰地反映出沿走向上发育的长补52孔背斜、十字岭西向斜、十字岭东背斜、秦家沟向斜等小幅褶曲,多数为短轴状展布,幅度一般在20~40m左右;地层倾角一般在3°~5°,东南局部地层倾角达12°。

(2)在二维构造特征中,区内仅在图9右上部存在一条NE走向、倾向NW、落差15m的安家村西正断层,在三维数据体上垂直该断层切取2条剖面,如图9黄色框所示,黄色圆框内的绿色断层为原始构造方案中断层位置,沿该断层垂直方向切取的2条剖面。如图10所示,剖面上反射波连续性良好,没有断层。此外,本次三维新发现断层19条,主要集中在中、南部。

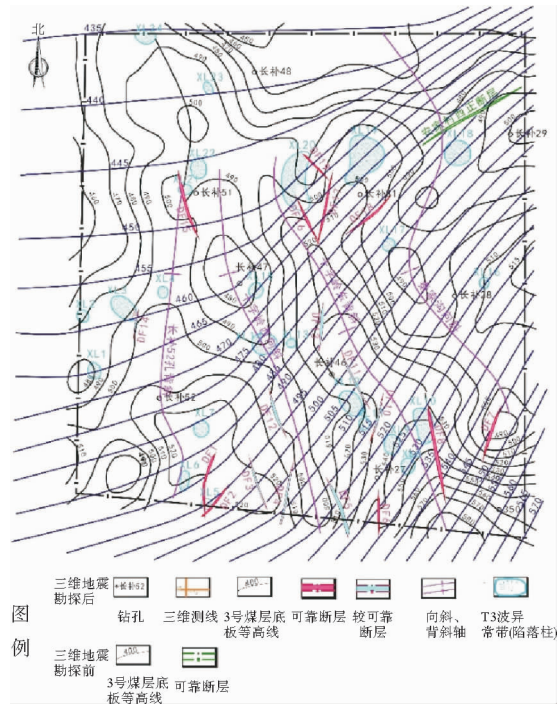


图9 三维勘探前后构造方案对比
Fig. 9 Comparison of structural diagram before and after 3-D exploration

(3)在东部三维区边界附近,长补29号孔南约190m处,二维构造特征中存在一个陷落柱,该陷落柱东西方向长度为20m,南北方向长度为30m,在三维偏移数据体上沿EW、SN方向切取

了该陷落柱所在位置的时间剖面,如图 11 所示,不存在陷落柱异常显示。

(4)根据反射波的动力学特征,圈出 3 煤层、15 煤层反射波的陷落异常,发现了 24 个陷落柱。

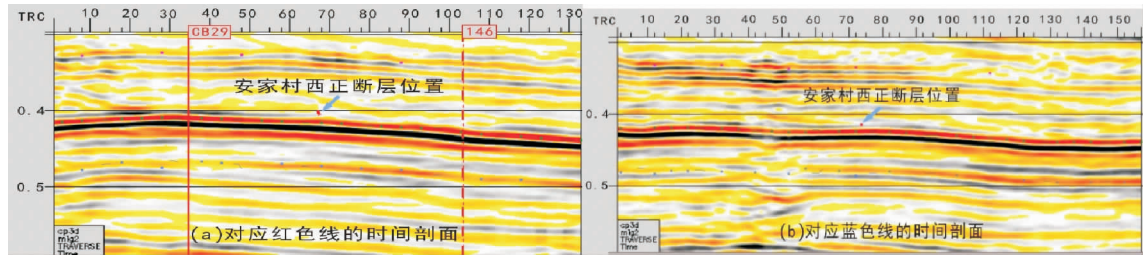


图 10 垂直原安家村西正断层切取剖面的时间剖面

Fig. 10 Time sections of the profiles which are vertical for Anjiacunxi fault

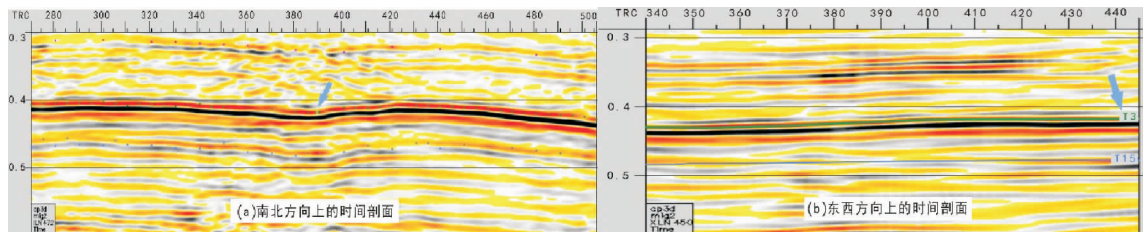


图 11 在原构造方案中陷落柱位置切取的时间剖面

Fig. 11 The time sections of the original collapse column

4 结语

通过对长平井田三维地震资料的精细构造解释,得到该区的精细构造特征描述,弥补了二维构造特征中小断层和陷落柱的缺失,新发现断层 19 条以及陷落柱 24 个,查明原二维构造特征与三维构造特征中不一致的一条断层和陷落柱的位置。为开发和开采提供了全三维的地质基础图件。

参考文献:

[1] 林玉祥,韩继雷,孟 彩,等. 沁水盆地陷落柱特征及其对气藏的影响[J]. 油气地质与采收率, 2015,22(4):44-48.

[2] 郑翔天. 沁水盆地煤层气富集区地震地质识别[D]. 北京:中国地质大学, 2016.

[3] 赵靖舟,时保宏. 沁水盆地煤层气富集单元划分[J]. 科学通报, 2005,56(S1):126-130.

[4] 王 莹. 沁水盆地中—新生代构造变形及构造应力场特征[D]. 南京:南京大学, 2013.

[5] 曹代勇,关英斌. 晋—获断裂带分段模式研究[J]. 大地构造与成矿学, 1997,21(4):323-329.

[6] 贾亚会,鹿爱莉,田会礼,等. 山西沁水盆地煤层气有利开

采区块研究[J]. 中国矿业, 2012,21(3):38-41.

[7] 李明宅. 沁水盆地煤层气勘探及地质分析[J]. 天然气工业, 2000,20(4):24-26.

[8] 邵龙义,肖正辉,何志平,等. 晋东南沁水盆地石炭二叠纪含煤岩系古地理及聚煤作用研究[J]. 古地理学报, 2006,8(1):43-52.

[9] 秦 勇,张德民,傅雪海,等. 山西沁水盆地中、南部现代构造应力场与煤储层物性关系之探讨[J]. 地质论评, 1999,45(6):576-583.

[10] 谭青松. 郑庄区块煤层气富集规律研究[D]. 武汉:长江大学, 2013.

[11] 吴定泉,张建国,闫 玲,等. 樊庄—郑庄区块断层规模对煤层气开发的影响研究[J]. 中国煤层气, 2016,13(3):18-21.

[12] 闫文华,陈宗翠,马喜梅,等. 煤层气地震解释技术应用及效果——以沁水盆地郑庄区块三维为例[J]. 石油地球物理勘探, 2012,47(S1):66-71.

[13] 司淑平,马建民,胡德西. 煤系地层陷落柱成因机理与分布规律研究[J]. 断块油气田, 2001,8(2):15-18.

[14] 王彦仓,焦 勇,汪 剑,等. 浅谈沁水盆地郑庄区块陷落柱形成机理及分布规律[J]. 中国石油勘探, 2010,15(2):45-48.

[15] 潘思东,崔周达. 山西沁水盆地南部煤层气储层特征及成藏主控因素研究[J]. 煤矿开采, 2016,21(6):11-14.

FINE STRUCTURE INTERPRETATION OF 3-D SEISMIC EXPLORATION IN CHANGPING MINE FIELD

ZHANG Ming¹, LIU Huaishan^{1,2*}, XIN Lei¹, LI Jingtao³

(1 Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061, China; 3 Geophysical Prospecting and Surveying Team of Shandong Coal Geological Bureau, Jinan 251000, China)

Abstract: The Qinshui Basin of Shanxi province, a residual coal-rich basin, is the largest coal-bed gas fields in China. The Changping Mine, located in the southern part of the Basin, is a favorable area for coal-bed gas accumulation due to structural causes. A structural map of the area is compiled by calibration of wave speed and fine interpretation of horizons, faults, collapse columns and folds on the basis of a 3-D offset data volume. Comparison suggests that the strike and the buried depth of coal measure strata of the 3-D structural description are basically consistent with the 2-D description. In addition, some small folds along the strike are observed in 3-D structural description, and 19 new faults and 24 new collapse columns are discovered. A fault in the northeastern part of the 2-D structural description and a collapse column at the northeast border are found inconsistent with the 3-D structural description. Through the performance mentioned above, a more accurate interpretation of the coal seams is proposed. The accuracy of the 3-D fine structure interpretation is further verified by logging data, and the 3-D structural description fits better the actual situation.

Key words: Changping mine field; fine structure interpretation; fault; collapsing column; fold

关于作者著作权及稿酬的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《海洋地质前沿》编辑部