

29-32

# 三维地震在陷落柱探测中的应用

张时元 程建远 何文欣 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

崔家友 王久位 朱修兵 (徐州矿务局 221000)

TD106, TD163.1

**摘要** 本文简述了陷落柱的地质特征和三维地震探测陷落柱的可行性。结合张双楼矿三维地震解释陷落柱实例,重点介绍了陷落柱的三维地震解释方法。可以看出,三维地震是探查煤矿隐伏陷落柱最为有效的技术手段。

**关键词** 三维地震 陷落柱 横向分辨率 水平切片

**作者简介** 张时元 男 42岁 工程师 计算机专业

煤矿、矿井地质

## 1 引言

煤矿开采过程中经常碰到陷落柱,它是奥灰岩溶发育矿区的一种特殊地质现象。陷落柱是一种灾害性的地质异常体,它除了破坏煤层连续性外,更主要的是作为奥灰岩溶水的导水通道,诱发矿井生产安全事故,严重时可能引起直接淹井。如范各庄矿、任楼矿、张集矿等,都是由于隐伏陷落柱的突然出水,给煤矿生产带来了巨大的经济损失。

由于陷落柱大小不等、孤立出现,规律性差等特点,是地质勘探的难题,依靠传统的钻探手段无法查清。近年来,国内不少单位陆续采用不同地面物探手段进行陷落柱探测技术研究,如重磁、电法、二维地震、放射性等。这些尝试均由于方法本身的局限而难以取得理想的地质效果。因此,大多数陷落柱发育矿区只能依靠矿井物探手段在井下探测,难以避免设计上的盲目性。高分辨率三维地震技术的推广应用,才使得陷落柱的地面探测变为现实。

## 2 三维地震探测陷落柱的物理基础

### 2.1 陷落柱探测的物性前提

地质学家认为,煤田陷落柱的形成与奥灰岩溶裂隙有关。由于奥灰岩溶裂隙的不断发育和扩大,其周围地层由蚀变逐渐发展到受重力作用影响而塌落下沉。因此陷落柱内部充填物常常成份复杂,比较松散。陷落柱与煤层的接触边界两侧存

在着明显的密度、速度差异。这就为利用地震技术探测陷落柱提供了物性前提。

从地震勘探角度来讲,探测陷落柱问题可以看作是探测地层在横向上的不连续段。根据地震反射波的突然中断或消失,可以识别陷落柱的存在。二维地震由于测网较稀极易漏掉陷落柱或产生多解性;三维地震则以其独具的信息量大、分辨率高、控制网度密等优点,成为陷落柱探测中最为有效的一种技术手段。

### 2.2 三维地震的水平分辨率

三维地震能够探测多大的陷落柱,主要取决于三维地震的纵、横向分辨率,尤其是横向分辨率。

在地层水平的情况下,三维地震水平迭加剖面上的分辨率,是以第一菲涅尔半径 $r$ 为半径的一个圆,其中

$$r = \frac{V}{4} \sqrt{t/f}$$

式中: $V$ ——反射界面的平均速度;

$t$ ——反射波的双程旅行时;

$f$ ——反射波的主频。

当陷落柱横向尺寸大于第一菲涅尔半径,则在水平迭加剖面能按照半幅点确定其边界;反之,则仅表现为连续反射波振幅上的微小变化。实际上,在三维资料解释中主要利用三维偏移剖面。因为三维偏移能够真正实现反射波能量全空间归位,使绕射波、侧反射等各种异常波正确归位,从而极大地提高了三维资料的横向分辨率。在高精

度的三维数据体中,如果不考虑处理影响,三维偏移剖面的最佳水平分辨率 $\Delta$ 可表示为:

$$\Delta = V/4F_c$$

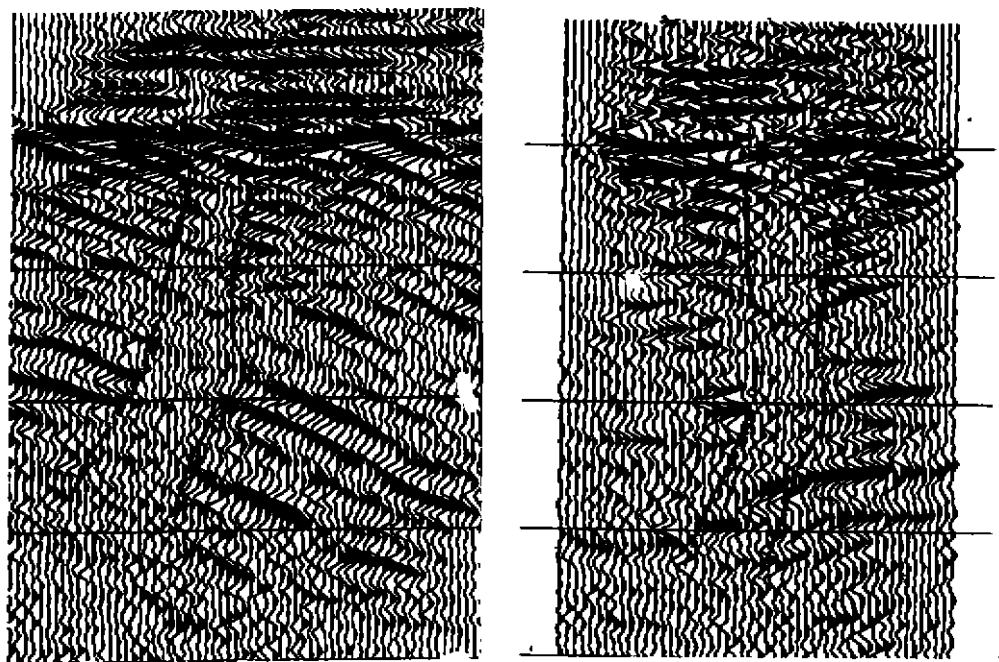
式中: $F_c$  为零相位子波的中心频率

在地震地质条件较好地区,取  $V=2800\text{m/s}$ ,  $F_c=70\text{Hz}$ , 则  $\Delta r=10\text{m}$ , 在实际工作中要达到这么高的水平分辨率,最重要的限制因素就是提高空间采样率,以确保一些小陷落柱不会被遗漏。

目前三维地震的地下控制网格一般采用  $10\text{m} \times 10\text{m}$  或  $5\text{m} \times 5\text{m}$ , 以查清直径在  $10\text{m}$  以上的陷落柱,而对于更小的陷落柱,必须配合井下槽波、坑透、地质雷达的等手段,以尽可能减少由于隐伏陷落柱存在而导致的淹井事故。

### 3 三维地震解释陷落柱的应用实例

1996 年我们在徐州矿务局张双楼矿进行了



(1)纵向剖面

(2)横向剖面

图1 陷落柱在垂向剖面上的表现特征

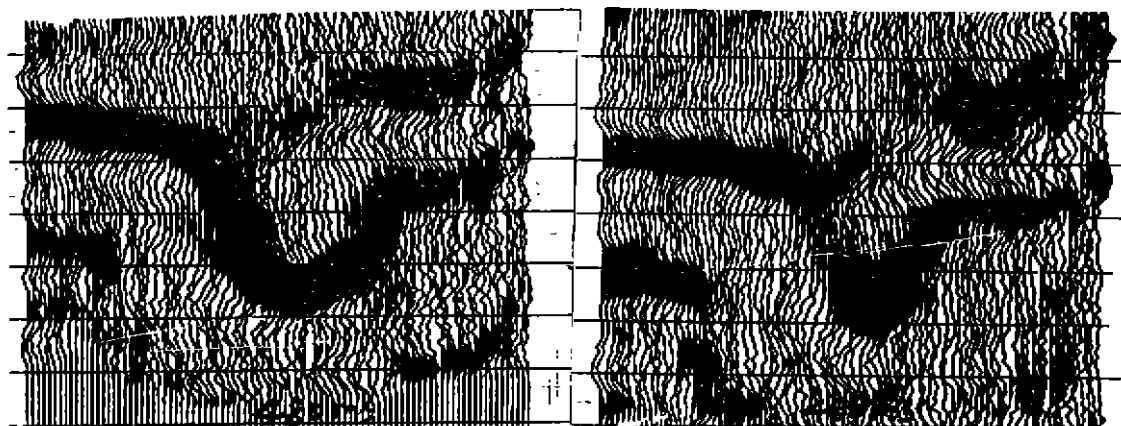


图2 陷落柱在水平切片上的表现特征

2.1km<sup>2</sup>的三维地震施工。仪器选用美国进口的(OPSEIS-EAELE 360)道无线遥测、遥控、遥爆数字地震仪。八线三炮制束状作业,地面接收点网格20m×20m,地下实际控制网格10m×10m;资料处理采用全三维处理流程,一步法偏移成图,并进行了人机联作交互解释。三维处理成果达到了“三高”处理的要求。

在西翼采区三维资料解释中,成功地利用三维资料圈定了一个180m×220m的大型隐伏陷落柱

柱,并很快为井巷工程所证实,从而提早地修改了原设计方案,避免了西风井与主井贯通大巷横穿陷落柱可能造成的不必要的损失。下面结合这一探测实例,阐述利用三维资料解释陷落柱的方法。

### 3.1 垂直剖面解释

三维垂向时间剖面与二维类似,是在确定地震反射波地质层位的基础上,利用目的层反射波的综合特征来进行相位对比。对比工作按照“由

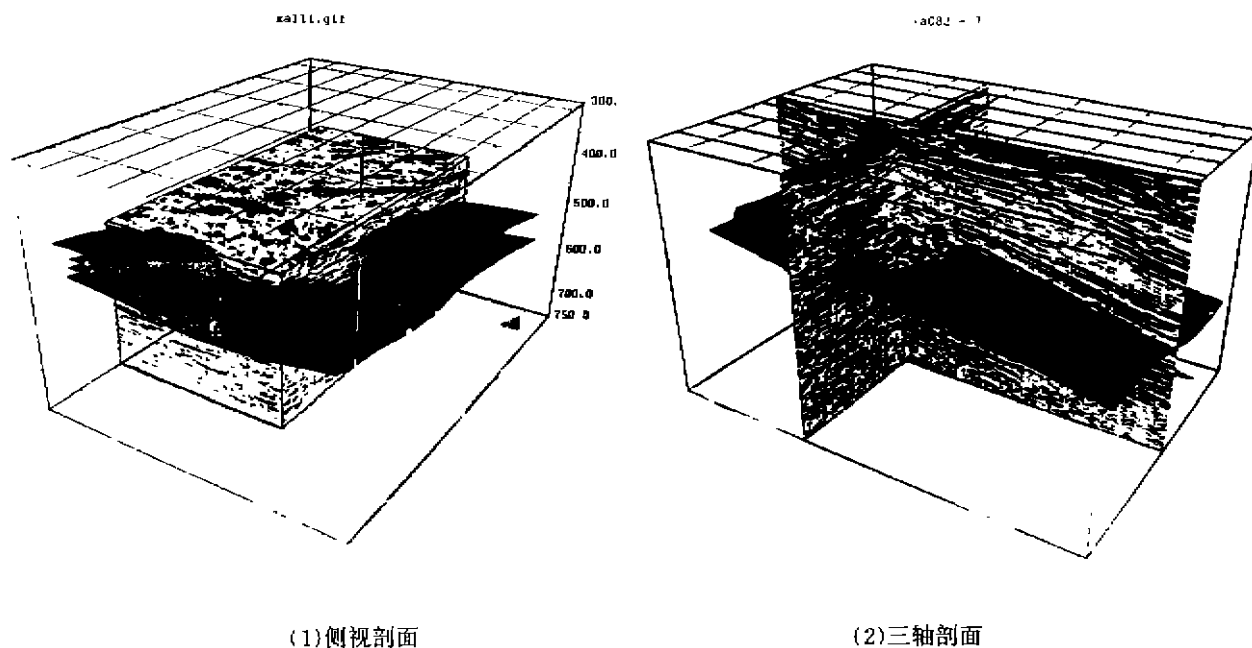


图3 陷落柱的三维立体显示

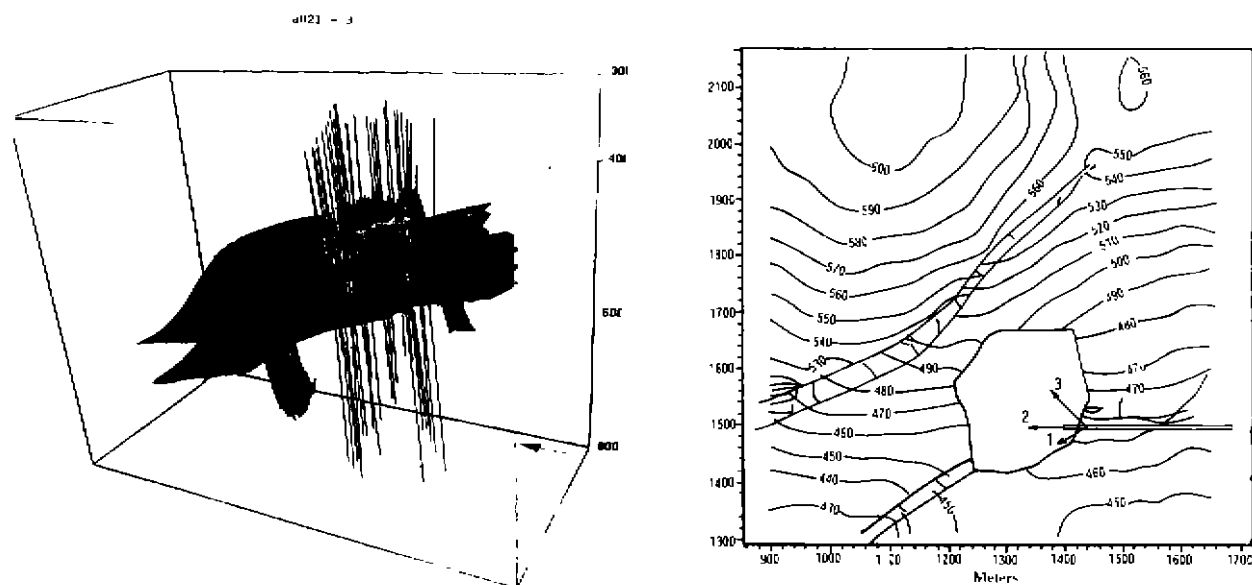


图4 陷落柱的空间赋存形态

图5 陷落柱的实际验证成果图

粗到细、由宏观到微观”来进行的。首先解释100m·100m测网剖面,控制总体构造形态,再依次加密为50m·50m和10m·10m,进行精细对比解释。图1是在垂向剖面解释中,穿越陷落柱中心部位的两组正交剖面。可以看出:在纵向剖面上,由于陷落柱的存在,造成几组反射波自上而下全部中断和消失,成为一片空白带;而在横向剖面上,由于受陷落柱的影响,煤层反射波中断并引起煤层上覆地层出现明显的“塌陷漏斗”以至于波及到第四系底界而也产生了不同程度的疏松。

### 3.2 水平切片解释

陷落柱除了造成煤层横向上的不连续外,还表现为纵向上的垂直发育特征。利用三维水平切片按一定的时间间隔对三维数据体加以切割,可以很清楚地看到陷落柱在空间上逐步南移的总体特征(图2)。

### 3.3 三维立体解释

在上述“剖面定范围、切片定形态”的基础上,对陷落柱在三维空间里直接进行立体解释,可以直观地显示不同煤层和陷落柱的空间赋存形态。图3中同时又以不同灰度显示出各层煤的振幅变化信息,有利于在人机联作交互解释中进一步确定陷落柱的边界。

## 4 三维地震解释陷落柱的地质效果

图4是三维资料解释出的陷落柱的空间立体

形态。可以看出:该陷落柱轴部向南倾斜,且与煤系地层近于垂直。由此可以大致推断该陷落柱的形成时间。

图5是在人机交互解释工作站上绘出的主采煤层底板等高线平面图,陷落柱的实际位置经过井下-500大巷和水平孔1、孔2、孔3的确定,其与三维地震确定的边界误差在10m以内,从实践上有力地证明了陷落柱三维地震解释成果可靠性。

## 结论

(1)理论分析和实践证明:三维地震探测隐伏陷落柱,具有其它方法无法比拟的优越性,它可以查明直径在10m以上的陷落柱;

(2)三维地震信息量大、分辨率高、适于解决复杂构造地区地质问题。

目前我国生产矿井中,存在隐伏陷落柱问题的矿区很多,如开滦、枣庄、永夏、西山、晋城、徐州等。三维地震在探测陷落柱方面已展示出它的优越性,今后有必要加以大力推广应用,并不断在实践中进一步提高对一些陷落柱的解释精度。

## 参考文献

- 1 郝钧等,三维地震勘探技术,石油工业出版社,1992
- 2 勾精为等,三维地震探测陷落柱的可行性研究,计算机在地学中的应用国际会议文集,1994

## THE APPLICATION OF 3D SEISMIC EXPLORATION TO DETECT THE COLLAPSED COLUMN

Zhang Shiyuan, Cheng Jianyuan, He Wenxin

(Xian Branch, Central Coal Mining Research Institute, Xian, 710054)

Cui Jiayou, Wang Jiuwei, Zhu Xiubing

(Xuzhou Mining Bureau, Xu Zhou, 221000)

**Abstract** The geological features of collapsed column and probability of detecting collapsed column with 3D seismic exploration are briefly introduced in this article, the dominary is at the 3D seismic interpretation. It is seen that 3D seismic exploration is one of the most effect methods of detecting hiding collapsed column in coal mine.

**Key Work** 3D seismic exploratilm, collapsed column, transversal resolution, horizontal slice