

# ·煤田物探·

文章编号: 1001-1986(2004) 03-0052-03

## 陷落柱地震响应特征分析

吴守华, 周国兴, 杨素霞, 何黄生 (江苏煤炭地质物测队, 江苏 南京 210046)

**摘要:** 通过分析研究陷落柱地震响应特征, 提出判别陷落柱的依据, 并与实例进行验证比较, 对于今后正确分辨和圈定陷落柱具有一定指导意义。

**关键词:** 陷落柱; 绕射波; 地震响应; 叠加剖面; 偏移剖面

**中图分类号:** P631.4      **文献标识码:** A

### 1 引言

陷落柱在我国煤矿分布极为广泛, 对煤矿生产所造成的危害十分巨大。利用三维地震勘探技术, 在许多矿区已经开展过相应的地震探测工作。但是, 由于缺乏对陷落柱地震响应特征的分析研究, 从而出现了把断层解释为陷落柱或把陷落柱解释为断层的错误。因此, 分析研究陷落柱的地震响应特征, 具有特别重要的意义。在广泛收集了包括山西、河北、安徽、江苏、山东等地地震探测陷落柱的典型时间剖面的基础上, 运用山西阳泉五矿陷落柱解释的成功经验, 对其进行认真的分析研究, 归纳和总结出不同规模陷落柱特殊的地震响应特征, 作为判别陷落柱的依据, 并针对钻探、巷探验证中发现的问题, 在技术措施上进行了改进, 又在山西成庄煤矿进行了同样以探测陷落柱为主要目标的三维地震勘探工作, 使成果精度得到进一步提高。

### 2 陷落柱地质特征及其分类

一般认为, 陷落柱就是煤系基底厚灰岩中, 古岩溶的塌陷物及上覆岩层塌陷物形成的塌陷体。陷落柱在形成过程中, 是由下而上逐渐冒落的, 内部空间

多为比周围岩层时代较新的岩块或第四纪的沉积物所充填, 在层序上有时有一定的顺序, 但多由一些杂乱无章的碎岩块和不同性质的胶结物组成。

陷落柱的分类方式有很多, 如按形成时代、赋存状态、几何形态、导水性等分类的, 在煤矿中多按陷落柱的规模来分类。陷落柱的长轴和横切面的面积通常可作为评定陷落柱规模的基本指标。根据陷落柱对采掘生产的影响程度和目前地震勘探所能达到的程度, 大致可划分出大型、中型和小型 3 个类型或等级(表 1)。

### 3 不同规模陷落柱地震响应特征分析

通过对收集的各地地震探测陷落柱的典型时间剖面的分析, 发现不同规模陷落柱的地震响应特征不尽相同, 各有特点。

#### 3.1 大型陷落柱

图 1(a)、(b) 反映的是山西阳泉煤矿轴长超过 250 m 的 3 号陷落柱。图中,  $T_0$  为第四系底反射波,  $T_3$  为 3 号煤层反射波。

表 1 陷落柱按规模分类表

分类指标	大型陷落柱	中型陷落柱	小型陷落柱
长轴/m	> 200	200—60	< 60
面积/m <sup>2</sup>	> 5 000	5 000—500	< 500

收稿日期: 2003-07-17

作者简介: 吴守华(1969—), 男, 江苏沐阳人, 江苏煤炭地质物测队工程师, 从事物探方法研究和应用工作。

### Landslide hazard from gelifluction in Qinghai-Tibet plateau and stability analysis method

JIN De-wu<sup>1,3</sup>, NIU Fu-jun<sup>2</sup>, CHEN Zhi-xin<sup>3</sup>, NI Wan-kui<sup>3</sup> (1. Xi'an Branch, Central Coal Research Institute, Xi'an 710054, China;

2. State Key Lab of Frozen Soil Engineering, CAREERI, CAS, Lanzhou 73000, China;

3. Department of Geology Engineering & Surveying Engineering Changan University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Landslide in gelifluction is a new geological hazard caused by human activity in permafrost region of Qinghai-Tibet plateau. It belongs to shallow landslide with small length-width ratio. In general, infinite slope analysis method is applied to it. According to identical seepage direction to slope surface, with the effective stress principle, the analytical expression of safety factor of the landslide in gelifluction with different water content conditions is derived and stability analysis chart of dry and fully saturated water soil are plotted. Lastly, taking the Landslide in gelifluction in milestone K3035 of Qinghai-Tibet highway as an example, the paper analyzes and evaluates the stability of the landslide.

**Key words:** gelifluction; landslide; stability analysis and evaluation; infinite slope; Qinghai-Tibet plateau



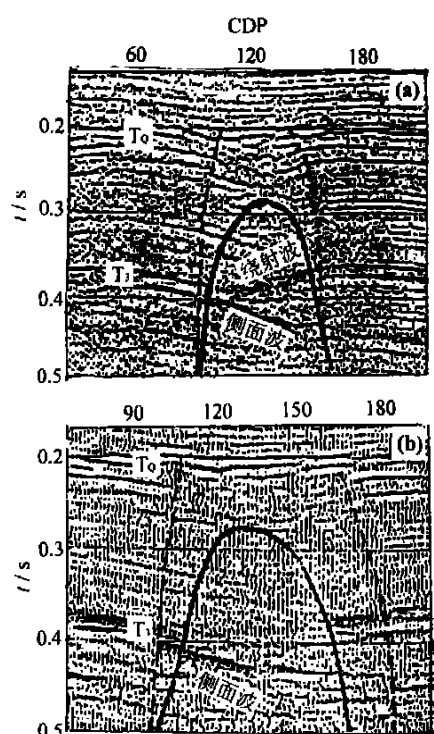


图1 大型陷落柱叠加 偏移剖面  
a——叠加剖面;b——偏移剖面

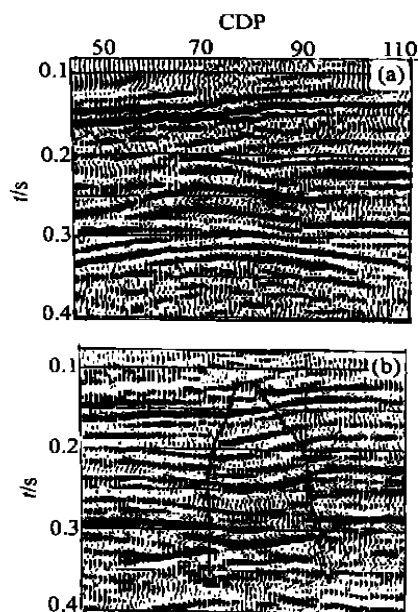


图2 中型陷落柱叠加 偏移剖面  
a——叠加剖面;b——偏移剖面

在叠加剖面上,自 $T_0$ 以下至 $T_3$ ,各反射层位两端断陷点均形成了各自对应的绕射波,且自上而下,各绕射波的延展范围逐渐变大。总体上,右侧的各绕动点位置较清晰,左侧相对模糊,陷落柱内部半支绕射波视速度较低。

经偏移处理后的时间剖面上,其波形主要表现为以下几个特征

a. 主要目的层反射波组及包括 $T_0$ 在内的辅助波组不连续;

b. 叠加剖面上,所谓“侧面波”,经偏移后,未实现正常归位;

c. 绕射波偏移归位情况是:浅部比深部好,右边比左边好;

d. 形态上,局部煤层受大型陷落柱的塌陷牵引作用较明显。

上述a、d两点是大型陷落柱所特有的,b、c两点是较大型以上陷落柱的特点。对于c点,主要原因是:浅部绕射波的视速度受陷落柱的总体影响小,而随着深度加大,这种影响就越来越显著。另外,采集方法最终对处理效果造成一定影响。

### 3.2 中型陷落柱

图2(a)、(b)为阳泉五矿 $X_{10}$ 陷落柱,它与15煤层交线,短轴长度为110 m。

在叠加时间剖面上,由陷落柱产生的异常波非常发育,尽管陷落柱规模较大,但两断陷点没有形成各自单独的左右半支绕射波,这种现象与上述的大型陷落柱的异常波特征存在巨大差异。这说明,异常波的发育特点与陷落柱的规模有关。

在偏移剖面上各反射波组中断,上下各组绕射波大部分得到收敛,陷落柱内部的绕射波产生偏移过量,局部还存在偏移“残余”,这仍可能与陷落柱的空间形态有关。以往许多人认为,产生这种“残余”的原因只是由于侧面波的存在,二维地震资料无法实现其异常波的偏移归位,如图1。但事实上,即使经过三维偏移之后,原有的异常波仍然清晰可见。其根本原因是:陷落柱形成的异常波视速度普遍较低,而且是分段变化的。因此,按平面内插速度(通常是区域性的、具有一定变化趋势的)进行偏移,势必造成对陷落柱产生的绕射波无法实现偏移归位。

### 3.3 小型陷落柱

图3中, $X_{10}$ (50 m×30 m)陷落柱规模较小,甚至其尺寸不足一个波长,在偏移时间剖面上,仅表现为主要目的层反射波能量变弱。此时,可利用一系列相邻时间剖面上,其上小下大的纵向空间形态及较深部位的其他辅助波组的连续性,来进行连续追踪识别。有时,还可利用深部异常波的发育情况来加以识别,如图3中,在主要目的波以下,可见能量相对较强、频率相对较低的异常波存在。

### 3.4 大小陷落柱相伴

在陷落柱发育较密集的阳泉、霍州等地区,大小陷落柱相伴的情况是很常见的,如图3为阳泉五矿3个陷落柱( $X_8$   $X_9$   $X_{10}$ )相伴的连续时间剖面



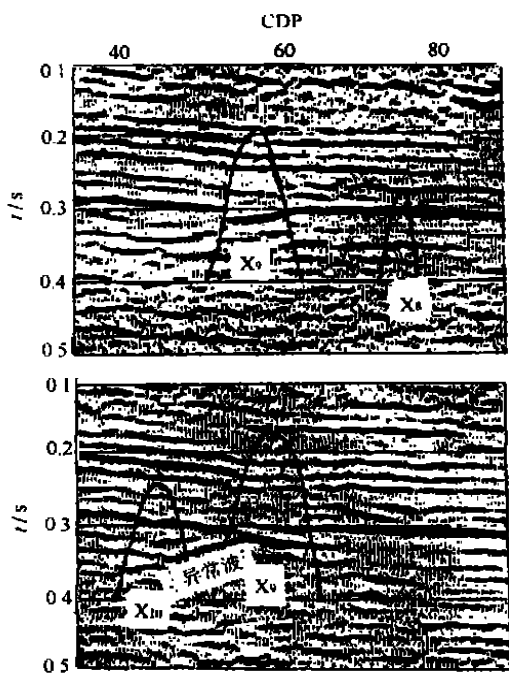


图 3 大 小 3 个陷落柱连续偏移剖面

图中较大陷落柱  $X_9$  (110 m × 90 m), 从边缘到中间切出的不同部位时间剖面, 其异常波特征不完全一致。主要表现为: 主要目的层反射波能量变弱、扭曲, 上下波组中断, 相位反转, 绕射波偏移过量及不足形成的“残余”, 即具备了判别陷落柱存在的多项特征。对较小陷落柱  $X_8$  (60 m × 40 m)、 $X_{10}$  (50 m × 30 m) 的解释, 则借助于连续时间剖面, 根据反射波能量变弱、扭曲以及其他辅助波组与正常波组不对应等特征, 仔细加以辨认。由于这 3 个陷落柱之间的间距远大于一个波长, 因此, 多个陷落柱同时得到了较好地分辨。

#### 4 地震探测陷落柱的应用效果

山西阳泉矿务局五矿设计年开采能力 400 万 t, 1991 年投产以来, 由于陷落柱分布密集, 严重影响了采煤生产, 年产量仅达设计能力的 1/3。为此, 利用三维地震补充勘探, 共圈定陷落柱 27 个, 目前大部分已被巷道掘进、开采及钻探验证, 取得了较好的地质效果。不足的是, 由于山区地形起伏变化, 造成陷落柱位置偏移较普遍, 大多在 10—30 m 范围内。另外, 由于当时对陷落柱产生的异常波认识不足, 存

在解释遗漏, 开采中发现两个未解释的小陷落柱。在晋城成庄煤矿三采区 303 工作面陷落柱探测中, 总结了阳泉五矿的经验和教训, 从资料采集、处理及解释等环节进行技术改进, 使地质成果精度有了进一步提高。地震勘探共圈定陷落柱 12 个, 目前已经由巷道验证 3 个, 开采验证 1 个。从验证的情况看, 结果与实际吻合较好, 误差较小。

#### 5 结论及建议

a. 由于各种物探方法都存在一定的局限性, 地面物探应和矿井掘进、开采相结合, 地震方法和非地震方法相结合, 彼此补充并相互验证, 进一步提高地震勘探精度。

b. 断陷点绕射波是探测陷落柱的主要标志, 其可识别性受到许多因素的制约。平面上受到小陷落柱之间的距离、陷落柱尺寸的影响, 煤层的厚度对绕射波的强度也有影响。

c. 由于规模很小的陷落柱能够产生相当大展布范围的绕射波, 如果以绕射波作为陷落柱的识别标志, 在不考虑信噪比、煤层厚度等因素的前提下, 则地震方法从理论上可以检测到任意大小的陷落柱, 至少可以检测到 5—10 m 的陷落柱。如果两个规模相当的陷落柱具有相同或相近的高度, 则在彼此距离大于一个波长时, 通过绕射波等特征可以将它们分辨开; 如果彼此规模不同, 或高度有差距, 则在相距较近时无法予以分辨。

d. 呈线性展布的断层, 在地震时间剖面上, 通过选择合适的偏移速度, 可以实现其绕射波的偏移归位, 而大、中型陷落柱形成的绕射波无法实现偏移归位。

e. 根据陷落柱地震响应特征的分析, 今后的研究重点应放在采用怎样的采集技术、处理技术和解释方法才能更好地圈定陷落柱上。

#### 参考文献

- [1] 李庆忠. 来自地下复杂地质体的反射图形到底是怎样的[J]. 石油地球物理勘探, 1986, 20(3): 221—240.
- [2] 杨德义等. 陷落柱的绕射波[J]. 石油物探, 2000, 39(4): 82—86.
- [3] 阳泉矿物局五矿三维地震勘探报告[R]. 1997. 12.
- [4] 晋城矿物局成庄煤矿 303 工作面高分辨率三维地震勘探报告[R]. 1998. 12.

#### Analysis for the seismic response characteristics of collapse column

WU Shou-hua, ZHOU Guo-xing, YANG Su-xia, HE Huang-sheng

(Jiangsu Coal Geological Prospecting & Surveying Team, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** By analysis of the seismic response's characteristics of collapse column, this paper gives the bases of discriminating collapse column and their application examples. It has guiding significance to distinguish and delimit collapse column later.

**Key words** collapse column; diffraction wave; seismic response; stack section; migration section