

# 综放开采导水裂隙带高度及探测方法研究

徐白山<sup>\*</sup> 李智鸿 尹喜玲

( 东北大学地质系; 浙江大学理学院地科系 )

**摘要** 煤层被开采后,破坏了上覆岩体原有的应力平衡,使得岩体内部应力重新进行分配,引起采场附近岩体破坏,当开采达到一定范围以后,必将产生覆岩导水裂隙带发育的监控问题。本文针对水体下综采区开采的覆岩导水裂隙带发育状态,探测和评价覆岩导水裂隙带发育改变与开采的关系。探测研究结果表明:该区导水裂隙层位的发育程度通过地震横波探测方法是可以定位的,可以对裂隙发育现状进行描述。经钻探验证和开采实践证明,探测结论正确,能够为水库下的一次采煤高度达到 10 米以上的采煤方法提供依据。

**关键词** 横波地震 探测定位 综放开采 三带发育 导水裂隙带

## 1 引言

对于“三下”(建筑物下、路下、水下)煤矿开采,当进行地下采矿时,在岩体中出现临空面,使岩体内部应力重新分布,造成从顶板到地表不同性质的变形和破坏,从而在采动岩体中形成纵横交错的裂隙网络。它的分布影响岩体力学行为,在某种程度上控制着覆岩岩体的稳定性。因此,研究、探测采空区覆岩裂隙带分布的特征对采动岩体沉陷规律的认识、对采空区上方建筑物地基稳定性预测中力学参数的拟定,以及对采动岩体再生构造系统的强度和稳定性评价等都具有重要的意义。

以往研究得到的采矿规律是,随着工作面的推进,岩体裂隙自下而上逐步发展,对应于不同的工作面推进距离形成不同的裂隙网络分布。当工作面进一步推进时,原有的采动岩体裂隙网络发生了变化,即扩展、闭合和张开,又叠加新的采动裂隙,从而使采动岩体裂隙分布更趋复杂,在采掘工作结束且岩移基本稳定后,采空区中部的离层基本闭合。准确确定导水裂隙带在一定开采方式和规模下的发育高度是关系到“水下”采煤能否导致库区水体渗漏的重要依据。传统的方法是钻孔测试方法,它是根据洗液消耗量的多少来确定导水裂隙带高度,辅助数值软件模拟算法。这些方法都是以点带面的估算法,不能全面反映采区的实际状况。对于煤系及上覆地层多发育有软弱岩层和不均匀的硬岩层时,煤层开采后,上覆岩体易发生大变形或不均匀形变,一般的数值软件不能很好地模拟该问题,钻探控制成果也不能准确分析渐进破坏和失稳、模拟断层、节理

张开和闭合行为。而纵横波地震等物探方法可以体现采动岩体裂隙网络发生了变化和分布,可以指导煤矿开采生产和保证安全。

## 2 采场上覆岩体变形破坏垂直分带特征

在煤层采出后,采空区周围岩体发生了较为复杂的移动和变形,稳定后的上覆岩体按其破坏的程度,大致可分为 3 个不同的开采影响带,即冒落带、裂隙带和弯曲带。冒落带是指工作面回采后引起的煤层上覆岩体完全垮落的那部分岩层。该层岩石具有的不规则性、碎胀性和密实度差的特征,是影响顶板再生和冒落岩块不能隔水的重要原因。冒落带以上是裂隙带。裂隙带是采空区上覆岩层中产生裂隙、离层及断裂,但仍能保持层状结构的那部分岩层。裂隙带内岩石裂缝的形式及分布有一定的规律性,且具有明显的分带性。冒落带和裂隙带合称为导水裂隙带,在解决水体下采煤的可行性问题当中,该带具有很重要的意义。只有采场上覆岩层的厚度至少大于导水裂隙带时,才能保证地表水体不会向采场渗漏。弯曲带又称整体移动带,指的是自裂隙带顶界到地表的整个岩体。弯曲带内的岩层的完整性是保证水体下采煤的最顶部屏障。

## 3 地球物理勘探工作原理与技术方法

横、纵波地震反射波法是通过采集地下不同岩层界面反射能量的强弱和接受到达地面反射波的时间,来确定地下岩层的产状和构造特征。并藉此确定煤矿采掘后采空区的覆岩破坏状况和程度,沉陷后产生的各种影响,是一种比较直观而

且分辨能力很强的地球物理探测方法。

二分量共偏移距纵横波地震反射波法是一种人工地震方法的新技术。其优点是集中纵、横波对目的层分辨优势功能，既应用横波对高角度界面的高分辨特性，又采用了纵波对近水平煤层及大断层的敏感性，综合对比分析可查明小的地质异常位置及赋存特点。横波地震反射波法主要用于浅层地质勘察解决复杂疑难地质问题。由于横波地震的观测点距一般小于 1m，其密度是钻探无法比拟的，用于查明复杂地质问题相对费用低、效率高。以往许多应用实例经过钻探或开挖验证，是快速查明复杂地质问题的有效手段。

## 4 研究实例分析

为了进一步研究三带发育高度的具体状况和解决钻孔施工难度大等问题，同时开展了钻探、物探、数字模拟等综合研究工作。物探工作选用了 EH-4、横纵波地震等地球物理方法对采空区充水及三带发育过程和高度进行测试和试验。这两种方法能够从电磁场和弹性场两个角度互补分析、解释地质问题，从而达到地质目的。地震施工技术成本低、效率高、效果侧重岩体的完整性和结构性变化。本次勘探成果，仅用锤击可解释深度接近 500m 以上，研究煤层采空后上覆地层冒落状况，横波地震和 EH-4 的组合是较理想的物探手段。

### 4.1 采煤区地质概况与地球物理特征

井田含煤地层厚 80~800m，自下而上分别由底部砾岩、砂岩、含煤、油页岩、动物化石、泥岩等层、段。在含煤段、油页岩段及动物化石层中富含化石。井田内主煤层沉积稳定，煤层由 1~18 个自然分层构成一个复合煤层，可采范围分布于全井田，结构简单，其顶板为油页岩和粉砂岩，厚度为 0.58~14.03m。

#### 4.1.1 浅层地震地质条件

区内潜水位一般深 1~5m；且较稳定，表层耕植土以下多为砂砾、粘土或砂质粘土，厚度约 15m；该层覆盖在白垩系地层之上，这些条件对地震波的激发非常有利，但会对地震波的高频信息产生一定的吸收衰减作用。

#### 4.1.2 深层地震地质条件

从岩性组合上看，地层韵律比较明显，地层之间存在着明显的波阻抗差异；地层倾角适中，白垩系地层底部有一层较厚的砂砾岩，与上下地层物性差异较大，能产生基本可连续追踪的反射

波。顶板为油页岩，煤层底板多为粉砂岩和细砂岩，由于煤层与围岩相比，具有较大的波阻抗差异。因此说本区深层地震地质条件对开展地震勘探比较有利。

### 4.2 物探数据采集技术与处理技术

地震勘探的技术关键之一是采集到具有高分辨率和高信噪比的地震波信息，而取得高分辨率和高信噪比的地震波的关键是确定最佳激发、接收参数和方式。

本次探测采用二分量共偏移距地震反射波方法，采用的是综合工程地震仪；仪器动态范围 126dB；接收频带范围 0.1~5000Hz；低频检波器；谐波失真度小于 0.05%；接收带宽 10—2000Hz。震源采用重锤激发。陆地采用 20 磅重锤捶击和 3 吨推力的机械锤。

根据地质任务的要求及采集资料质量特点，确定了地震数据处理的目标：

(1) 在数据处理中努力保持地震讯号的有效保真，以确保小断层、小裂隙及弯曲带、导水裂隙带和冒落带、小构造能够正确成像。

(2) 保持地震信号的相对振幅和反映地层界面特性的动力学特征，以利于层位追踪及岩性变化的研究。

(3) 利用钻孔资料反演纵、横波速度，通过地震资料的正确成像，进行时深转换从而保证精度。

为实现上述目标，数据处理中采取了以下手段：

(1) 在不损害有效信号的前提下，全力压制各种噪声，提高信噪比；

(2) 道均衡处理以保持采集的原始分辨率不因处理而降低；

(3) 进行分频率段滤波，提高分辨率和信噪比；

(4) 各项异性校正，做好相位校正。

### 4.3 探测成果与资料解释

为了便于说明采煤前后上覆地层及裂隙发育状况的变化，根据二分量地震和 EH-4 资料综合解释的地质成果，将同一测线不同时期探测的地质剖面进行对比。下面以垂直采煤工作面测线 A 说明探测的解释成果。

测线 B 平行采煤工作面，位于采空后 180 天，弯曲带变形的最大高度距煤层 290m 左右，其下的

冒落带最大高度近 80m，裂隙增加到 62 条，离层 分析。  
现象普遍发育 3.4 导水裂隙带发育规律综合

探测日期	2 月 8 日	3 月 18 日	5 月 1 日
已采掘天数 ( 天 )	-15	3	77
距采掘面 ( m )	58 ~ 158	30 ~ -120	-60 ~ -120
裂隙带产生数 ( 条 )	3	13	18

表 1 综采区测线 A 上覆地层随时间的变化探测成果

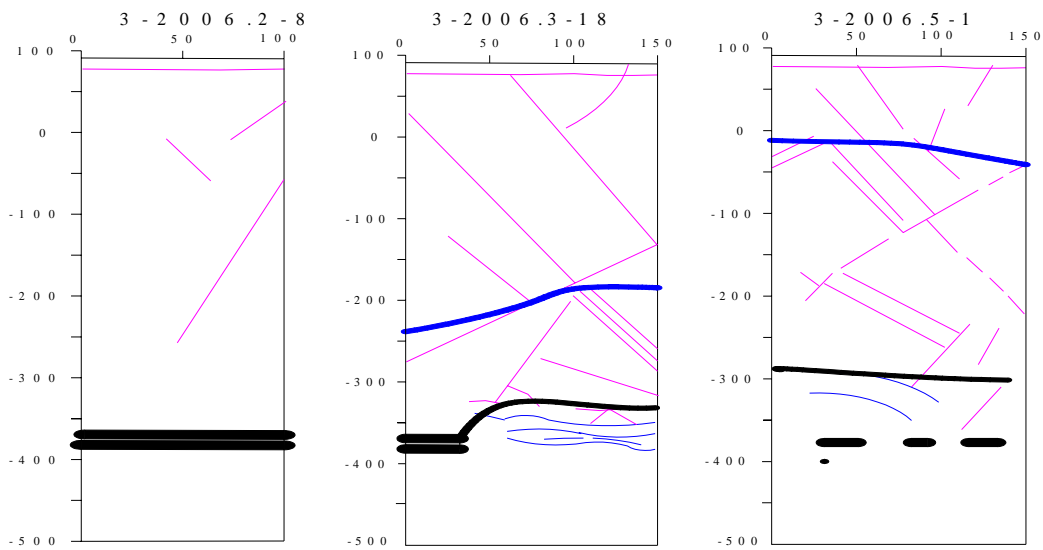


图 1 测线 A 采前、采后裂隙与三带发育产状地质解释剖面图

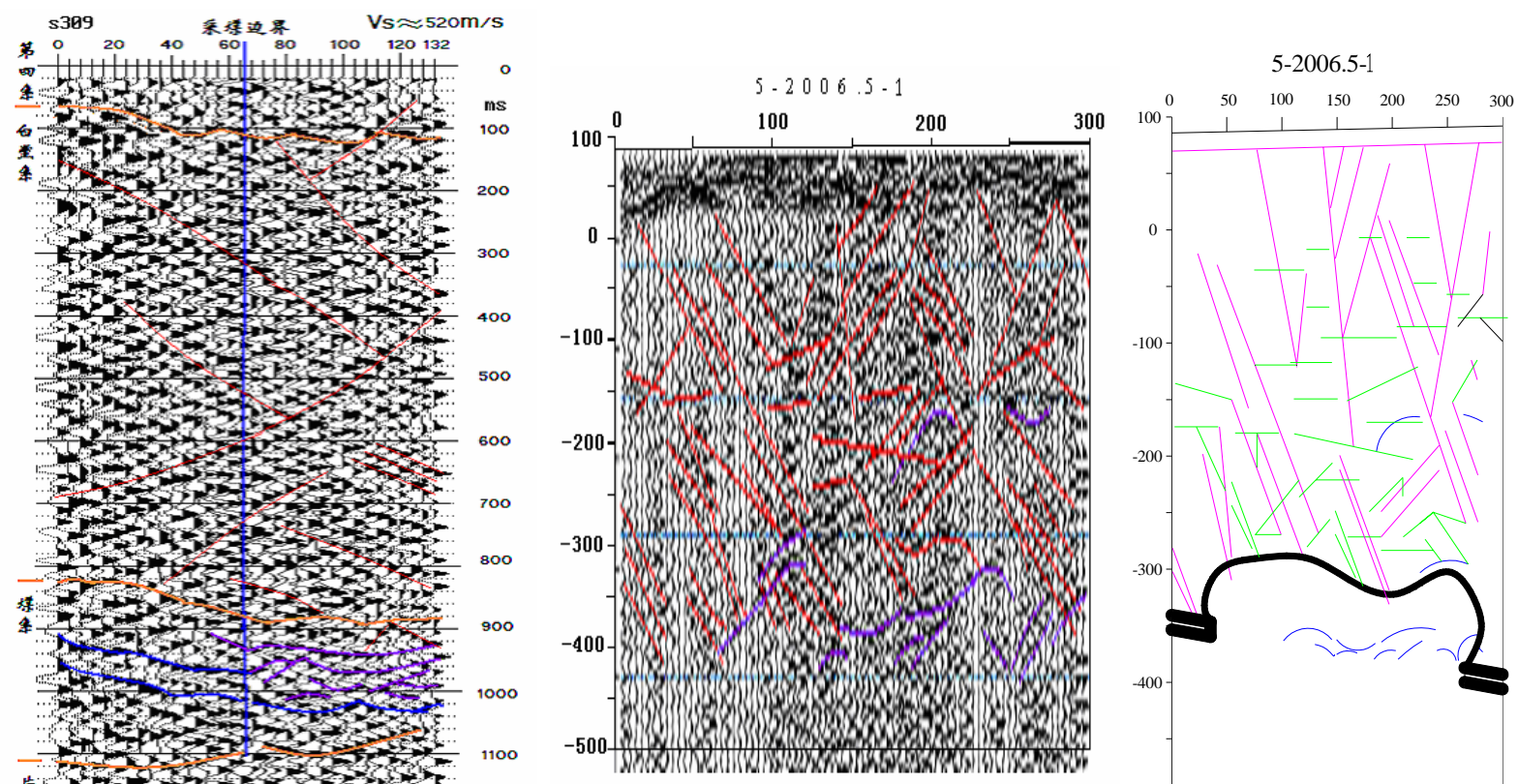


图2 测线B横波地震剖面 and 地质解释成果

为了进一步了解测区裂隙带的形成特点及与地层岩性的关系，我们用区内八条测线 32 条地震剖面的实测资料，做成裂隙发育随时间变化的综合统计规律，如图 3 所示：

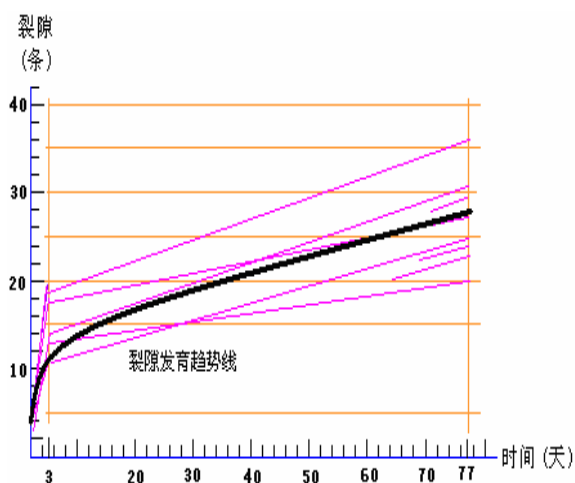


图 3 采后裂隙发育趋势图

裂隙带产生的数量在不同测线不同时间也有明显差异。这说明测区侏罗系煤系地层的岩性是比较均一的，而白垩系覆盖层的岩性则在不同方向上变化非常大。各向异性非常明显。从地质剖面中可以看出，其裂隙有的是直斜线，有的是曲线，但倾角不同。说明其刚、塑性也有明显差别。因此才造成下部冒落带稳定，而上部变形带和裂隙带发育不均一的现象。

#### 4.4 成果综合分析

采煤后的短期内上覆地层将快速冒落，最大高度约 20m 左右。采掘后较长时间观测的冒落带发育最大高度 80 米，同时煤层底板有隆起现象发生。其最大高度约 3m 左右。同时煤层顶部至白垩系底部发生新增裂隙较多，成为冒落带的主体。白垩系底部为裂隙带的主要发育层位，推断与两套不同时期沉积界面结合不甚紧密，地应力改变时层间滑动缓解了对上覆地层的破坏有关。

采空后引发的张性裂隙，是重力不均匀沉降产生的。因此，采空后引发的张性裂隙通常均具

备导水性。除非第四系有较厚的塑性隔水层仅形成下沉的“变形带”而不被破坏。应将导水裂隙带的发育高度与采空后冒落引发的新裂隙等同看待。

新增裂隙发育程度。主要是受邻近采空区采空后产生岩移活动造成的。本区采空后，随着时间的推移，裂隙进一步增加，其中以采空后三天左右增加最为迅速。虽然地表观察其深度有限。但由于白垩系地层的不均一性，这种裂隙并不是一条直线或斜线，从横波地震时间可以明显看出，沉陷裂隙是一条曲线或交叉线。

## 5 结论

利用二分量共偏移距地震法与 EH-4 电磁法探测煤矿采空区上覆岩层破坏的冒落带和导水裂隙带赋存状态，应用效果十分显著。基于所监测的资料成果，讨论了采空区上覆岩层导水裂隙带的发育规律。经过 3 个钻探覆岩破坏导水裂缝带的成果及矿井上、下观测资料验证，完全符合地质规律，并且对全测区三带发育进行了控制和评价。二分量共偏移距地震法是一种集横波、纵波地震探测优点的合成技术，该方法为煤矿综采区开采生产消除安全隐患提供了科学依据，直接反映和监测了矿井地质、水文、覆盖层岩移、构造裂隙等方面的现状。

#### 参考文献

- [1] 吴立新，王金庄．建（构）筑物下压煤条带开采理论与实践[M]．徐州：中国矿业大学出版社，1994．
- [2] 颜荣贵．地基开采沉陷及其地表建筑[M]，北京：冶金工业出版社，1995．
- [3] 中国煤炭科学研究总院北京开采研究所．煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用[M]．北京：煤炭工业出版社，1981．
- [4] 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]．北京：煤炭工业出版社，2000．