

# 厚松散层薄基岩综采面覆岩破坏高度发育规律

李佩全<sup>1</sup>, 白汉营<sup>2</sup>, 马杰<sup>3</sup>, 李文平<sup>2</sup>

(1. 淮南矿业(集团)有限责任公司, 安徽淮南 232001; 2. 中国矿业大学, 江苏徐州 221116; 3. 宿州学院, 安徽宿州 234000)

**摘要:** 为确保高承压松散含水体下缩小安全煤岩柱开采, 合理回采防水煤柱内所留的煤层, 在淮南煤田潘集矿区深厚松散层薄基岩条件下的综采工作面, 采用地面地质钻孔、井下声波检层 CT 技术探测等多种现场实测手段, 结合离散单元数值模拟, 对深厚松散层薄基岩综采工作面覆岩破坏带高度发育的时空分布规律进行研究。研究结果表明: 覆岩破坏带随工作面推进动态变化, 随着综采工作面向前推进, 导水裂缝带高度 35.20~45.10 m, 垮落带高度 7.28~16.24 m; 其覆岩破坏由下向上、由后向前逐步发展。

**关键词:** 深厚松散层; 薄基岩; 综采工作面; 离散元数值模拟; 覆岩破坏高度

**中图分类号:** TD325.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0253-2336(2012)01-0035-03

## Failure Height Development Law of Overburden Thick Loose Strata Above Fully Mechanized Coal Mining Face Under Thin Base Rock

LI Pei-quan<sup>1</sup>, BAI Han-ying<sup>2</sup>, MA Jie<sup>3</sup>, LI Wen-ping<sup>2</sup>

(1. Huainan Coal Mining Group Corporation Ltd., Huainan 232001, China; 2. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 3. Suzhou University, Suzhou 234000, China)

**Abstract:** In order to ensure the coal mining with size reduced safety coal and rock pillars under the water pressurized loose water bearing layer and the rational mining in the seam of the water proof coal pillar, a surface geological borehole drilling, a CT technical detection of the underground sonic wave picking up layer and several other site measuring means with the dispersed element numerical simulation were applied to the study on the time space distribution law of the height development in the failure zone of overburden strata above the coal mining face with deep thick loose layer of the base rock for the fully mechanized coal mining face under the deep thick loose layer of the thin base rock in Panji Mining Area of Huainan Coalfield. The study results showed that the failure zone in the overburden strata would be dynamically varied with the coal mining face to be pushed forward. With the pushing forward of the coal mining face, the height of the water flow cracking zone would be 35.20~45.10 m and the height of the falling zone would be 7.28~16.24 m. The failure of the overburden strata would be developed from bottom to the top and from rear to front.

**Key words:** deep thick and loose layer; thin base rock; fully mechanized coal mining face; dispersed element numerical simulation; failure height of overburden strata

我国东部许多煤田煤系上都沉积了厚度不等的新生界地层, 沉积岩相以河流相、洪积相和湖泊相为主, 其底部常可见到一层分布比较广泛的砂砾含水层<sup>[1]</sup>。煤系与底部含水砂砾层之间有无黏土类隔水层分布的水文地质条件, 对正确判定其水体类型, 优化水体下包括留设防水煤(岩)柱在内的开采设计, 保障开采设计的技术可行和经济合理有

着极其重要的意义<sup>[2]</sup>。而确定导水裂缝带高度, 则是水下采煤一系列工作中的重点<sup>[3]</sup>。目前并没有一个完全可以精确确定的方法, 主要的研究方法有经验公式法、物理模拟、数值模拟和现场实测<sup>[4~9]</sup>。单靠其中的一种方法很难确定, 将几种方法相互结合则是准确获得导水裂缝带高度计算方法的重要途径。本文以淮南潘集井田某综采工作面为

收稿日期: 2011-09-18; 责任编辑: 曾康生

作者简介: 李佩全(1956—), 男, 安徽凤台人, 高级工程师。Tel: 0554-7625592, E-mail: lipeiquan56@126.com

网络出版时间: 2012-01-12 15:35; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120112.1535.007.html>

引用格式: 李佩全, 白汉营, 马杰, 等. 厚松散层薄基岩综采面覆岩破坏高度发育规律 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(1): 35~37, 41.

工程地质原形,采用现场实测,结合离散单元数值模拟,对该工作面实际开采时,导水裂隙带高度发育的时空分布规律进行研究。其中,现场实测主要包括:地面地质钻孔“两带”(导水裂隙带、垮落带)观测和井下声波检层CT技术探测。

## 1 工作面概况

淮南煤田潘集矿区含煤地层为二叠系山西组和下石盒子组,含可采煤层11层,其中13-1煤浅部开采受上覆高承压松散层水体威胁。试验工作面位于潘一矿西二采区(0阶段西翼),该采区已安全回采了4个提高开采上限的工作面。地面钻探“两带”高度观测及井下声波检层CT技术探测主要集中在1402(3)工作面,该工作面走向长1 200 m,倾斜宽150 m,上平巷标高-398—-394 m,下平巷标高-416—-406 m。所采13-1煤层稳定,倾角8°,煤层厚度沿走向、倾向有一定变化,为1.5~3.7 m,一般为3.5 m。上覆岩层裂隙较发育,其基岩界面直接与厚度为0~50 m的第四系下含砂砾含水层接触。该工作面采用单一煤层走向长壁采煤法开采,全部垮落法管理顶板。

## 2 覆岩导水裂隙带高度现场实测

### 2.1 地面钻孔“两带”高度观测

为准确掌握13-1煤层的覆岩破坏规律,先后在1402(3)首个提高开采上限综采工作面地表施工了3个“两带”观测孔。其中1号钻孔位于上平巷10 m,距切眼122 m处;2号钻孔位于距上平巷外5 m,距切眼1 014 m处;3号钻孔位于上平巷正上方距切眼1 094 m处。通过对钻孔中水位的变化,冲洗液消耗量,岩芯破碎和钻进过程中的异常现象的综合分析,确定导水裂隙带和垮落带的发育高度数据(表1)。

表1 地面钻孔覆岩破坏导高和垮高探测值

孔号	回采与终孔		采高/导高/导高与采		垮高/垮高与采	
	间隔时间/d	m	m	高比值	m	高比值
1	124	3.40	45.10	13.26	16.24	4.83
2	50	2.20	35.40	16.10	7.28	3.31
3	47	2.20	35.20	16.00	7.34	3.34

由表1可以清楚地看出,在潘一矿该综采工作面第1个上提工作面导水裂隙带和垮落带与采高有

一定的关系,随采高的加大而增大。

### 2.2 井下声波检测及CT技术

为进一步探测13-1煤层采后导水裂隙带发育高度,在1402(3)第3个提高开采上限综采工作面处采用了声波检测及CT成像技术,动态探测该上提工作面开采过程中导水裂隙带高度的发育规律。其探测方法如下:

1) 施工钻孔,在该上提工作面上平巷施工2个超前钻孔,并在孔中埋设声波波速传感器。

2) 声波检测动态监测,通过定时逐点测试对介质层进行有效的分层,判定裂高的发育形态与时空关系。

3) 声波CT成像,利用定时逐点测试获得的信号数据对所探测剖面进行CT成像分析,更清晰直观地确定裂高的发育形态与时空关系。探测分析结果见表2。

表2 声波检测及CT探测情况

孔号	孔深/m	钻孔仰角/(°)	钻孔与上平巷水平夹角/(°)	工作面采高/m	煤层倾角/(°)	导高值/m	采厚比
探1	53	40	0	2.2	6	20.0	9.09
探2	52	40	45	2.2	6	17.7	8.05

井下声波检层CT技术探测结果与地面“两带”孔探测值基本相符。结合开采情况,说明2种探测结果比较真实。

## 3 覆岩导水裂隙带高度离散元数值模拟

### 3.1 工程地质岩组划分

在数值模拟计算范围中,13-1煤层防水煤柱内顶板岩层组成结构对煤层开采后“两带”发育高度在一定程度上起主导作用:坚硬的岩石有利于导水裂隙带高度的发育,软弱的岩石可以抑制导水裂隙带高度的发育。根据该综采工作面附近的地质钻孔、“两带”钻孔资料,结合岩性组成及岩石力学性质指标,将研究区内13-1煤层防水煤柱内顶板岩层划分为7个岩组类型(表3)。

岩组1主要由风化砂岩、砂质泥岩组成,砂岩裂隙较发育,局部含水;岩组2主要由细砂岩、粗砂岩组成;岩组3主要由厚层状花斑泥岩组成,间夹粉细砂岩和砂质泥岩;岩组4主要由砂岩、砂质泥岩组成;岩组5主要由泥岩、砂质泥岩组成;岩组6主要由粉细砂岩、中细砂岩、砂质泥岩、局部

夹薄层泥岩; 岩组7主要由泥岩、页岩、砂质泥岩组成, 为13-1煤层伪顶和直接顶, 局部为基本顶泥岩。

表3 13-1煤层覆岩工程地质岩组参数

岩组 编号	地质 岩组	距13-1煤 顶距离/m	岩组厚 度/m	岩组平均 厚度/m
1	风化砂岩	72~94	13.0	13.0
2	细砂岩	58~81	5.0~10.0	7.5
3	泥岩	53~71	20.0~22.0	21.0
4	泥质砂岩	33~49	8.0~9.0	8.5
5	泥岩	25~40	13.0~15.0	14.0
6	粉细砂岩	12~25	7.5~20.5	14.0
7	砂质泥岩	4	4.0	4.5

### 3.2 覆岩破坏离散元数值模型

覆岩破坏离散元数值模型是将需要求解的复杂的工程地质问题抽象为一个力学模型。在建立模型时, 为实现计算, 应在尽可能反映原始地质条件的前提下, 对原始地质模型作一定的假设。本文中所建立的数值模型是在如下假设和简化前提下建立的: ①淮南煤田潘集矿区原始地应力场采用自重应力场作为原始地应力场; ②松散层作为上覆载荷作用在煤系地层之上; ③煤层回采工艺为综放开采, 一次采全高, 顶板管理方法为全部垮落法; ④地下水和断裂构造的影响在选取岩体计算参数中体现, 计算模型中不出现断裂构造。

由地质模型结合以上假设和简化, 建立离散元数值模型: 模型取开采范围为200 m, 煤层开采影响带范围为100 m, 则模型的水平长度为400 m; 在确定模型计算区域的竖直长度时, 考虑到计算机运算速度, 模型的底部边界为13-1煤层底板砂岩, 煤系地层基岩面为模型上部边界, 则模型竖直长度为110 m; 因此, 最终确定的走向计算模型范围为400 m×110 m矩形区域。

在上述数值模型的边界处理上, 模型两边以链杆固定, 底部以铰支座固定; 模型上部边界由于只取到煤系地层基岩面处, 所以数值模型的上边界可根据上部松散层的厚度施加一定的应力作用, 根据有关钻孔资料, 研究区上覆松散层厚度为350 m左右, 取土层容重为20 kN/m<sup>3</sup>, 计算得模型上边界所加载荷为7 MPa, 边界约束条件如图1所示。

### 3.3 覆岩导水裂缝带变化特征

图2为离散元数值模型在煤层开挖过程中, 顶

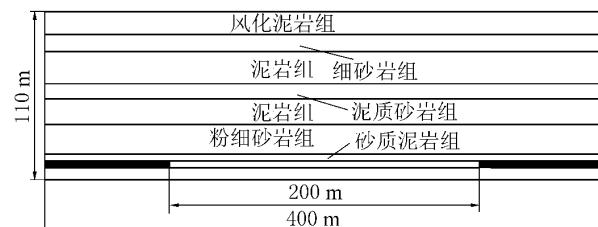


图1 边界约束条件

板岩层垮落和覆岩破坏的产生变化过程。工作面自开切眼开始向前推进时, 直接顶板分层垮落, 上覆岩层开始向下移动; 当推进到20 m时, 直接顶板全厚度垮落, 并在基本顶岩层上下层位间出现离层; 工作面继续向前推进, 当推进到30 m时, 基本顶下部岩层开始垮落, 覆岩破坏向上发展, 在采空区中部的粉砂岩岩组内出现离层、竖向裂隙区; 随着工作面不断向前推进, 当推进到40~60 m时, 离层、竖向裂隙区发生在泥岩岩组内, 工作面推进80 m以后, 煤层开采所诱发的离层逐渐闭合, 仅有部分竖向裂隙在采空区处有发育, 新的覆岩破坏随工作面的继续向前推进, 开始向前、向上发展。

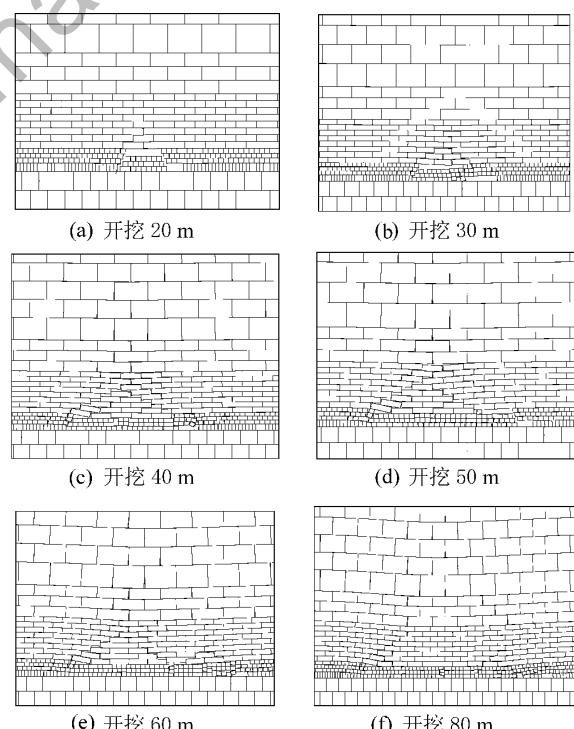


图2 覆岩破坏变化

从图2中可以明显看出, 采空区中部覆岩破坏的特点是: 总体趋势是随着工作面的向前推进, 其覆岩破坏是由下向上, 由后向前逐步发展; 当工作

(下转第41页)

余地方基本保证了巷道的通风和行人的安全; 说明锚杆设计合理, 围岩控制效果较好。

2) 以理论计算辅以工程类比法作为设计锚杆支护系统参数设计是合理可靠地; 同时以冒落拱为基础进行棚梁间距设计是可行的。

3) 通过 21132 工作面的实践, 说明了对于采深较大、煤体松软的巷道采用锚网架棚联合支护是一种行之有效的途径。

#### 参考文献:

- [1] 孙晓明, 何满潮, 冯增强. 深部松软破碎煤层巷道锚网索支护技术研究 [J]. 煤炭科学技术, 2005, 33 (3): 47-50.
- [2] RUSSO—BELLO F, MURPHY S K. Longwalling at Great Depth in Ageologically Disturbed Environment the Way Forward [J]. The Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, 2000, 100 (2): 91-100.
- [3] 何满潮, 景海河, 孙晓明. 软岩工程力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [4] 韩瑞庚. 地下工程新奥法 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [5] 董方庭. 巷道围岩松动圈支护理论及其应用技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [6] 朱效嘉. 锚杆支护理论进展 [J]. 光爆锚喷, 1996 (3): 1-4.
- [7] 陆士良, 姜耀东. 支护阻力对软岩巷道围岩的控制作用

(上接第 37 页)

面达到一定长度后, 先前所产生的覆岩破坏逐渐闭合, 新的破坏产生; 当工作面推进长度为 40~60 m 时, 采空区中部覆岩破坏高度在粉细砂岩岩组、泥岩岩组内达到最大值, 其高度在 18~43 m, 垮落带、导水裂隙带就在此高度范围内。

从模型结果的整个过程来看, 裂隙从直接顶向上发展, 始终没有穿过砂岩层上面的泥岩层, 而上部裂隙发育过程中向下也没有穿过该泥岩层, 所以这顶板上部裂隙和下部的裂隙一直没有连通, 从而上部的裂隙不能划为导水裂隙带范围, 属于局部裂隙, 而非导水裂隙; 导水裂隙带应该是从煤层顶板到厚砂岩顶界面的范围, 高度约 36.5 m。

## 4 结 论

1) 采用钻探、物探多手段综合观测方法获取了淮南煤田潘集矿区浅埋煤层采动覆岩导水裂隙带高度实测值。

2) 数值计算结果表明, 随着工作面的向前推进, 其覆岩破坏由下向上, 由后向前逐步发展; 当

- [8] 马念杰, 侯朝炯. 采准巷道矿压理论及应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.
- [9] 陈炎光, 陆士良. 中国煤矿巷道围岩控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [10] 侯朝炯, 郭励生, 勾攀峰. 煤巷锚杆支护 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
- [11] 朱维申, 何满潮. 复杂条件下围岩稳定性与岩体动态施工力学 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [12] 尤春安. 巷道金属支架理论计算 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [13] 李振华, 戎 涛. 回采平巷架网喷联合支护技术应用实践 [J]. 有色金属: 矿山部分, 2008 (8): 1-2, 16.
- [14] 刘长武, 陈小强, 丁玉娇. 放顶煤回采巷道锚网 (索) 支护参数研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (S1): 4979-4983.
- [15] 高凤军, 刘宝海. 锚网支护在回采巷道中的应用 [J]. 煤炭技术, 2003, 22 (10): 43-44.
- [16] 孙晓明, 杨 军, 曹伍富. 深部回采巷道锚网索耦合支护时空作用规律研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26 (5): 895-899.
- [17] 陈士林, 钱七虎, 王明洋. 深部坑道围岩的变形与承载能力问题 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (13): 2203-2211.

工作面推进一定长度后, 先前所产生的覆岩破坏逐渐闭合; 覆岩破坏带随工作面推进动态变化。

#### 参考文献:

- [1] 中国煤田地质总局. 中国煤田水文地质学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [2] 李佩全. 淮南矿区水体下采煤的实践与认识 [J]. 中国煤炭, 2001, 27 (4): 30-42.
- [3] 《淮南矿区三下一上采煤试验研究成果汇编》编委会. 淮南矿区水体下采煤试验研究成果汇编 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [4] 李 洋, 李文平. 潘谢矿区导水断裂带发育高度与采厚关系回归分析 [J]. 地球与环境, 2005 (S): 66-69.
- [5] 袁 景. 谢桥煤矿 12013 工作面覆岩导水裂隙带高度预测 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2005.
- [6] 康永华, 赵开全, 刘治国, 等. 高水压裂隙岩体综采覆岩破坏规律 [J]. 煤炭学报, 2009, 34 (6): 721-725.
- [7] 申宝宏, 孔庆军. 综放工作面覆岩破坏规律的观测研究 [J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28 (5): 42-44.
- [8] 张 明, 刘传武. 应用数值模拟方法研究煤层覆岩破坏规律 [J]. 煤炭科技, 2003 (4): 6-7.
- [9] 张玉军, 康永华. 覆岩破坏规律探测技术的发展及评价 [J]. 煤矿开采, 2005, 10 (2): 10-12.