

# 综采一次采全高顶板导水裂缝带发育高度研究

李文生<sup>1</sup>, 李文<sup>2</sup>, 尹尚先<sup>3</sup>

(1. 西山煤电集团有限责任公司 地测处, 山西 太原 030053;

2. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 3. 华北科技学院 安全工程学院, 北京 101601)

**摘要:** 为防治顶板水、防水煤柱留设而需合理确定顶板“三带”高度。以西山镇城底矿8煤为研究对象, 采用井下仰孔注水测渗漏法和瞬变电磁法实测导水裂缝带高度, 运用FLAC<sup>3D</sup>软件对上覆岩层的冒落、岩移规律进行了数值模拟。结果表明: 数值模拟与现场实测得到的导水裂缝带基本一致, 综合确定导水裂缝带高57.58 m, 其中冒落带高16.32 m, 裂缝带高41.26 m, 说明《煤矿安全规程》中有关导水裂缝带统计经验公式不适用于中厚煤层综采一次采全高开采条件。

**关键词:** 导水裂缝带; 注水测渗漏法; 瞬变电磁法; 数值模拟

中图分类号: TD325.3

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2012)05-0104-04

## Study on Development Height of Water Flow Crack Zone in Roof Above Fully Mechanized One Passing Full Seam Mining Face

LI Wen-sheng<sup>1</sup>, LI Wen<sup>2</sup>, YIN Shang-xian<sup>3</sup>

(1. Geological Survey Department, Xishan Coal and Electric Power Group Corporation Ltd., Taiyuan 030053, China;

2. School of Geosciences and Surveying Mapping Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

3. School of Safety Engineering, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China)

**Abstract:** In order to prevent and control the roof water, to leave the water prevention coal pillars, rationally set the height of the “three zones” in the roof, taking No. 8 seam in Chengdi Mine of Xishan Town as a study object, an underground mine water injection leakage measuring method with overhead borehole and a transient electromagnetic method were applied to measure the height of the water flow crack zone. The FLAC<sup>3D</sup> software was applied to the numerical simulation on the roof falling of the overburden strata and the strata migration law. The results showed that the water flow crack zone height of the numerical simulation and the site measurement was basically the same. The water flow crack zone height was set as 57.58 m, the falling zone height was 16.32 m and the crack zone height was 41.26 m. Thus the statistic experience formula of the water flow crack zone stipulated in *Mine Safety Regulations* would be not suitable for the mining conditions of the fully mechanized one passing full seam mining face in the medium thick seam.

**Key words:** water flow crack zone; water injection leakage measuring method; transient electromagnetic method; numerical simulation

工作面顶板导水裂缝带发育高度是煤矿防水煤(岩)柱、瓦斯抽采等设计依据的主要技术参数之一, 是防治顶板水、采掘工程布置的基础。国内外众多学者对“两带”高度进行了深入研究<sup>[1-5]</sup>, 结果表明, 工作面顶板导水裂缝带发育受多种因素的影响, 如采高、采空区的面积、顶板岩层的结构类型、顶板管理方式、煤层的赋存状态和开采方法

等, 这些因素具有复杂、难定量及非线性等特点。为了确定导水裂缝带高度, 一般采用的方法主要有2类: 一类是实际探测法; 另一类是理论计算和经验公式计算法<sup>[6]</sup>。根据大量实际观测数据表明, 《煤矿安全规程》中给出一组导水裂缝带统计经验公式, 该公式是基于当时炮采与普通机采、推进速度在40 m/月左右、采高2~3 m(或者分层开采)

收稿日期: 2011-12-18; 责任编辑: 曾康生

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51074075, 41072188); “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAK04B00); 河北省自然科学基金资助项目(E2012508001)

作者简介: 李文生(1968—), 男, 山西太原人, 高级工程师。联系人: 尹尚先, Tel: 010-61590331, E-mail: yinshx03@126.com

网络出版时间: 2012-06-15 10:27:00; 网络出版地址: [http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.104\\_028.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.104_028.html)

引用格式: 李文生, 李文, 尹尚先. 综采一次采全高顶板导水裂缝带发育高度研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(6): 104-107.

的开采条件下取得的<sup>[7]</sup>。随着技术进步,出现了中厚煤层综采、综采放顶煤、综采一次采全高及快速推进高产高效的采煤新方法,这些公式不再完全适用,有必要研究新型采煤方法条件下导水裂缝带的发育规律,修正或修改导水裂缝带高度的预测公式。目前,由于观测数据有限,还不能形成中厚煤层综采一次采全高统一的经验公式。因此笔者采用现场钻探压水试验和物探探测、结合数值模拟定量分析方法<sup>[8]</sup>,互为补充、相互验证来获取更为可靠的导水裂缝带高度。

## 1 工作面导水裂缝带现场实测

1) 工作面概况。镇城底矿 28103 工作面为南一采区下组煤首采工作面,8 煤层为主采煤层,煤层稳定,厚度为 4.46 m,煤层整体呈宽缓的背斜和向斜构造,煤层倾角  $11^{\circ}$  左右。8 煤埋深 243 ~ 338 m,顶板岩层主要由泥岩和石灰岩组成,基本顶为石灰岩,厚度 3.84 m,直接顶为石灰岩,厚度 2.58 m,伪顶为泥岩,厚度为 0 ~ 0.2 m;底板主要由砂质泥岩组成,直接底为砂质泥岩,厚度 5.8 m,基本底为砂质泥岩,厚度 5.7 m。采煤方法为综采一次采全高,采用全部垮落法管理顶板。

2) 压水试验探测方法。在 28103 工作面采空区施工导水裂缝带探测孔,孔深 96.89 m,钻孔仰角  $48^{\circ}$ 。采用井下仰孔注水测漏法(图 1)进行导水裂缝带高度探测。此方法是在井下工作面的外围巷道,向工作面内斜上方打小口径仰斜钻孔,钻孔穿过预计的覆岩破坏范围并超过预计顶界一定高度,采用钻孔双端堵水器对钻孔进行逐段封隔注水,测定各孔段漏失量变化情况,以此确定导水裂缝带高度。

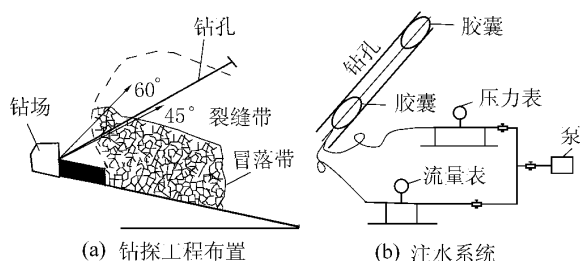


图1 井下仰孔注水测漏法示意

3) 压水试验结果。当钻孔钻进到 10.2 m 时孔内返回水突然减少,再往前钻进有明显的卡钻现象,可以判断从孔深 10.2 m 进入冒落带。钻进至

16.2 m 时卡钻严重,孔内无返回水,继续钻进。钻进到 32.7 m 时返回水正常,无卡钻现象,据此判断在孔深 32.7 m 穿过冒落带进入导水裂缝带。通过表 1 可以看出,钻至 32.7 m 深时压水流量明显减小,为  $0.75 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

表1 2010年11月6日钻孔施工记录

钻孔深度/m	垂距/m	地层岩性	压水压/MPa	压水流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	压水时间/s	压水总量/ $\text{m}^3$
10.2	7.58	细粒砂岩	0.6	2.25	48	0.03
16.2	12.04	砂质泥岩	0.6	2.30	47	0.03
28.2	20.95	砂质泥岩	0.6	2.12	51	0.03
32.7	24.30	粉砂岩	0.6	0.75	144	0.03
65.7	48.82	细粒砂岩	0.6	0.70	154	0.03
76.2	56.62	砂质泥岩	0.6	0.68	159	0.03
79.2	58.85	泥岩	0.6	0.71	152	0.03
88.2	65.56	中粒砂岩	0.6	0.21	514	0.03
91.2	67.77	砂质泥岩	0.6	0.19	568	0.03

由表 1 可知,压水试验时,钻孔内水量、水压变化特征为:在 32.7—72.9 m 段钻孔压水时,水压、水量变化不大(图 2),水压总体表现为随钻进深度增加水压缓慢增加的特征,其值为 0.6 MPa;而水量总体表现则相反,随钻进深度增加,水量逐渐减小,变化范围在  $0.75 \sim 0.68 \text{ m}^3/\text{h}$ 。至 88.2 m,水压不变,而水量骤然减小至  $0.21 \text{ m}^3/\text{h}$ 。这说明钻孔围岩裂缝骤然减小,因而可判断此时钻孔已穿过导水裂缝带。

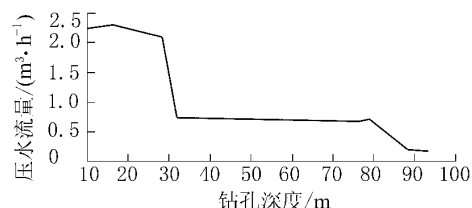


图2 试验孔钻进深度与压水流量关系

根据钻探和压水试验结果,确定 28103 工作面试验孔处 8 煤上覆岩层冒落带在孔深 10.2—32.7 m,考虑到倾角  $48^{\circ}$ ,即冒落带高度 16.72 m,裂缝带大约位于孔深 32.7—88.2 m,即裂缝带高度 41.26 m。

## 2 瞬变电磁 (TEM) 探测

为进一步验证钻探测试结果,采用瞬变电磁探测系统,在 28103 工作面展开 8 煤导水裂缝高度的

探测研究。瞬变电磁 (TEM) 探测技术观测的是二次场, 对低阻体较为灵敏。目前是地面及井下探测含水层及其富水性、构造及其含水情况、采空区冒落及其积水情况的主要物探手段。

1) 探测方法。在巷道内移动瞬变电磁系统, 通过改变发射及接收线圈的方向, 对煤层顶板不同方向进行探测, 得到一个扇形空间的探测信息。本次在井下巷道中对煤层顶板进行探测时, 采用移动式的偶极探测方式, 斜向上按  $60^\circ$ 、 $45^\circ$  两个方向探测了工作面顶板 (图 1)。

2) 探测结果。从  $60^\circ$  剖面图 (图 3) 中可以看出, 在约 75 m 处, 即在垂直距离约为 64.9 m, 开始出现相对高阻区域, 与岩体的完整程度有关, 即为裂缝不发育带的分界; 在约 28 m 处, 即在垂直方向上为 24.3 m, 出现一高阻中心分布线, 由于岩体冒落带中不可能含水, 即此高阻中心分布线为冒落带与裂缝带的分界线。

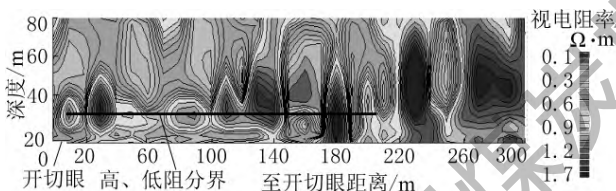


图 3 巷道  $60^\circ$  方向探测视电阻率

从  $45^\circ$  剖面图 (图 4) 中可看到, 约在 32.5 m 附近, 即垂直高度约为 23 m 处, 均为高阻反映, 为冒落带与裂缝带的分界线; 在 80 m 以上大部分地区还是低阻分布, 即垂直距离约为 56 m 处, 因而可以推断 56 m 以上仍为裂缝带内。

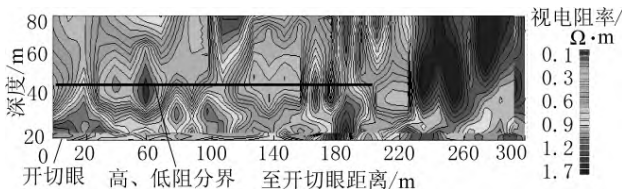


图 4 巷道  $45^\circ$  方向探测视电阻率

总体上来看, 对比压水试验、钻探结果可知, 钻孔顶部有大约 7 m 的未破坏岩层, 所以瞬变电磁探测结果为冒落带高度 16.0 ~ 17.3 m, 裂缝带高度为 40.6 m, 这与钻孔测试的结果基本相吻合。

### 3 导水裂缝带高度数值模拟

#### 3.1 数值计算模型

利用三维有限差分计算软件 FLAC<sup>3D</sup> 对镇城底

矿 28103 工作面推进时, 上覆岩层冒落、变形破坏情况进行模拟。模拟工作面倾角  $11^\circ$ , 走向长度为 400 m, 倾斜长度 100 m; 建立数值模型如图 5 所示。据现场地质调查和所提供的岩石力学试验结果, 考虑到顶底板岩层岩性近似, 为计算方便, 将岩层合并后模拟计算采用的岩体力学参数见表 2。

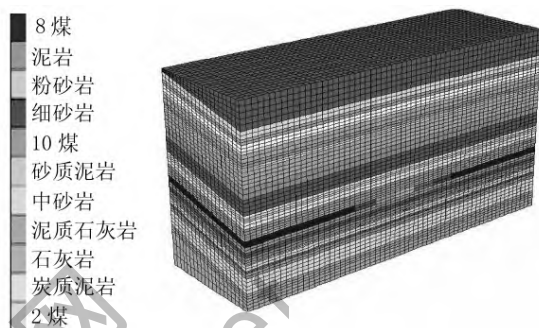


图 5 数值模拟模型

表 2 顶底板主要岩层力学参数

岩性	$\sigma$ / MPa	抗拉强度 / MPa	视密度 / $(g \cdot cm^{-3})$	弹性模量 / GPa	泊松比	黏聚力 / MPa	$\varphi$ / $(^\circ)$
顶板细砂岩	81.1	5.26	2.67	21.20	0.21	9.60	36.0
砂质泥岩	8.8	3.22	2.51	4.70	0.23	3.50	51.0
8 煤	5.0	0.31	1.29	0.53	0.18	0.52	48.0
底板细砂岩	73.6	4.37	2.66	29.10	0.22	8.50	51.5
砂质泥岩	52.2	3.14	2.51	17.20	0.24	3.50	51.0

注:  $\sigma$  为单向抗压强度;  $\varphi$  为内摩擦角。

#### 3.2 数值模拟结果及分析

距离模型左边界 100 m 处开切眼, 避免边界效应; 每隔 20 m 为一个计算步距。工作面向前推进, 走向推进最大距离为 140 m; 随着工作面开采, 周边围岩发生塑性破坏, 破坏区域不断变大; 模拟计算的塑性破坏区云图如图 6 所示。

通过分析工作面周边围岩塑性破坏区可看出:

1) 随着工作面的不断向前推进, 围岩塑性破坏区的面积不断变大; 由于工作面顶板有一层较坚硬的石灰岩, 当工作面推进 100 m 时, 顶板破坏高度达到约 55 m; 工作面继续推进至 140 m 时, 围岩塑性破坏区沿走向方向范围继续扩大, 但垂直破坏高度基本没有变化, 逐渐趋于稳定。

2) 塑性破坏区包括剪破坏和拉破坏。塑性破坏区整体呈现马鞍形状, 马鞍两边突出部分发生一系列的剪破坏, 中间发生一定高度的拉破坏。结合

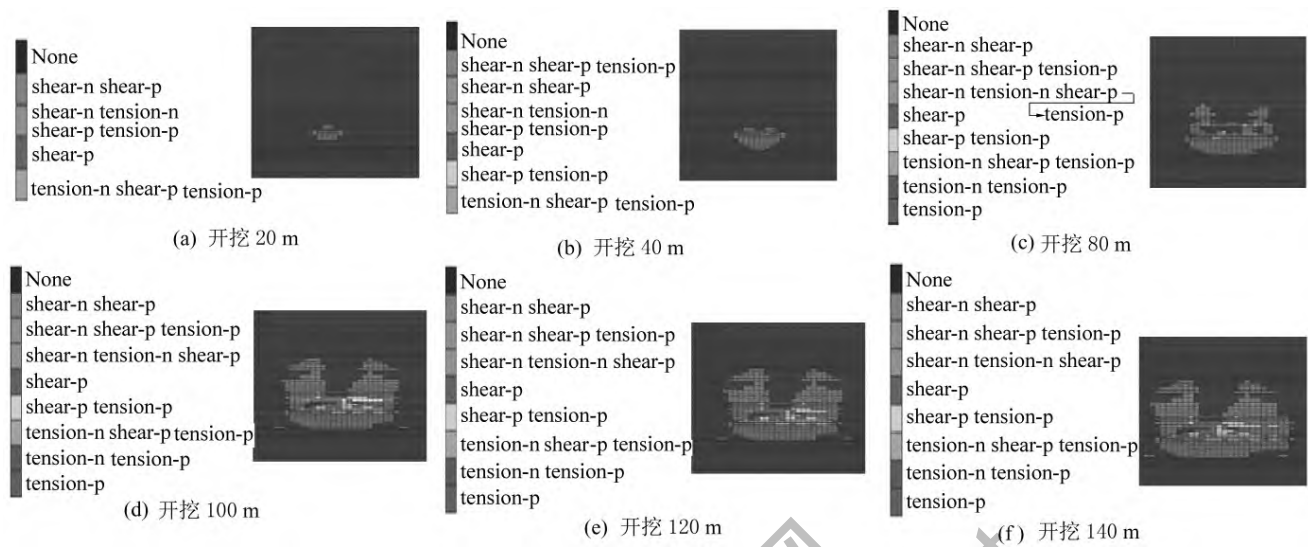


图 6 数值模拟结果

应力云图分析，拉应力区发生拉破坏比较明显，为顶板的冒落带。塑性破坏区域垂直高度约为 55 m，其中，顶板冒落带高度 15 m，裂缝带高度 40 m。

4 数值模拟结果和现场实测结果比较分析

将 FLAC<sup>3D</sup> 数值模拟结果、物探结果与压水试验实测结果列于表 3。比较数值模拟结果与实测结果，可知数值模拟确定的高度与实测值基本一致，反映了探测结果正确和可靠。

表 3 顶板两带高度数值模拟、物探相似模拟与实测结果的比较

项目	压水试验实测	瞬变电磁法		FLAC <sup>3D</sup> 法	
		实测值	A/%	计算值	A/%
冒高/m	16.32	17.00	4.17	15.00	-8.00
裂高/m	41.26	40.60	-1.60	40.00	-3.10
冒采比	3.54	3.77	—	3.26	—
裂采比	8.97	9.02	—	8.69	—

注：A 为瞬变电磁法、FLAC<sup>3D</sup> 法计算值与压水试验实测值的相对误差，正值表示高于压水试验实测值，负值则相反。

综上所述，根据压水试验与物探实测结果，结合数值模拟结果，综合确定顶板导水裂缝带高度 57.58 m，其中冒落带高度 16.32 m，裂缝带高度 41.26 m。

5 结 论

1) 通过井下仰孔注水测漏法实测得到导水裂缝带高度 57.58 m，其中冒落带高度 16.32 m，裂

缝带高度 41.26 m；瞬变电磁探测得到冒落带高度在 16.0 ~ 17.3 m，裂缝带高度为 40.6 m；数值模拟结果显示导水裂缝带高度为 55 m，其中，顶板冒落带高度 15 m，裂缝带高度 40 m，三者基本上相吻合。综合确定顶板导水裂缝带高度 57.58 m，其中冒落带高度 16.32 m，裂缝带高度 41.26 m。

2) 用《煤矿安全规程》中经验公式计算，导水裂缝带高度约 27 m，与本次探测结果比较，相差 1 倍以上。说明《煤矿安全规程》中有关导水裂缝带统计经验公式具有局限性，不适用于中厚煤层综采一次采全高开采条件。

参考文献：

[1] 李 洋,李文平,刘登宪. 潘谢矿区导水裂隙带发育高度与采厚关系回归分析 [J]. 地球与环境, 2005, 33 ( S0): 66 - 69.

[2] 张文艺. 覆岩破坏规律与缩小防水煤柱机理 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2000, 16 ( 2): 54 - 57.

[3] 杜时贵,翁欣海. 煤层倾角与覆岩变形破裂分带 [J]. 工程地质学报, 1997, 5 ( 3): 211 - 216.

[4] 谭志祥,何国清. 断层影响下导水裂缝带的发育规律 [J]. 煤炭科学技术, 1997, 25 ( 10): 45 - 48.

[5] 康永华,黄福昌,席京德. 综采重复开采的覆岩破坏规律 [J]. 煤炭科学技术, 2001, 29 ( 1): 33 - 36.

[6] 王双美. 导水裂隙带高度研究方法概述 [J]. 水文地质工程地质, 2006 ( 5): 126 - 128.

[7] 煤炭工业部. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986.

[8] 尹尚先,吴文金,李永军,等. 华北煤田岩溶陷落柱及其突水研究 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.