

潞安矿区综采裂隙带发育高度规律实测研究

朱 伟,滕永海,唐志新

(中煤科工集团唐山研究院有限公司,河北 唐山 063012)

摘要:为了研究潞安矿区不同开采工艺对导水裂隙带发育高度的影响规律,通过地面施工 20 余个勘探钻孔,采用水文观测、注水试验等综合手段,对采空区顶板岩层裂隙分布进行了探测研究。通过对大量实测数据的统计分析,研究了导水裂隙带高度与开采高度以及分层数的关系,对比分析了不同开采工艺裂隙带发育规律。结果表明:相同煤层条件下综放开采工艺裂隙带最为发育,分 2 层综采工艺裂隙带高度与综放开采相比降低了 24%,但综放开采裂采比与初分层开采裂采比基本一致,裂采比值约为 20,并得到了潞安矿区裂隙带高度计算经验公式,确定了该矿区水体下采煤的原则性方案。在五阳煤矿漳河下厚煤层综放开采的成功实施,验证了研究结果的可靠性。

关键词:导水裂隙带;水体下采煤;综放开采;安全高度

中图分类号:TD743 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2017)07-0167-05

In-site study on development rule of fractured zone height by fully-mechanized mining in Lu'an Minefield

Zhu Wei, Teng Yonghai, Tang Zhixin

(Tangshan Branch of China Coal Group of Technology and Engineering, Tangshan 063012, China)

Abstract: In order to study development rule of water conducted zone caused by different mining technologies in Lu'an mining area, roof fracture distribution was studied by drilling 20 boreholes on ground and by using hydrological observation and water injection test. Statistical analysis was done based on large numbers of in-site data, for studying relationship between height of fractured zone with mining height and slicing, developing laws of fractured zones with different mining technology were compared and analyzed. The results showed that, the height of fractured zone by fully-mechanized top coal caving was much more higher than other mining ways. The height of fractured zone with two slicing mining had reduced by 24% than that with fully-mechanized top coal caving. The ratio of height of fractured zone to the mining height by caving was basically same as that of primary recovery by slicing, the value was 20. The empirical formula was provided for calculating height of fractured zone in Lu'an mining district, and the basic scheme of mining under water body was determined. The research had been successfully used for mining under Zhanghe river in Wuyang Coal Mine, which has verified the reliability of studying results.

Key words: water conducted zone; mining under water body; fully-mechanized top coal caving; safety height

0 引 言

水体下采煤涉及到矿井的安全生产,为了保证矿井的可持续发展,必须在保证安全的基础上进行压覆资源的解放工程,导水裂隙带是水体下开采工程中的主控因素,是水体下开采防水煤岩柱的重要

组成部分。多年来专家学者通过现场实测、数值模拟、理论分析等不同方法对导水裂隙带发育规律进行了大量卓有成效地研究,取得了很多重要成果^[1-3],涵盖了薄煤层、厚煤层以及特厚煤层,开采工艺上包括普采、综采、分层综采以及综放等,为水体下采煤工程成功实施提供了强有力的技术支撑。

收稿日期:2016-12-28;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.est.2017.07.030

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51074089,51474129)

作者简介:朱 伟(1984—),男,山东微山人,副研究员,硕士。Tel:13903250170, E-mail:kevinzhu220@163.com

引用格式:朱 伟,滕永海,唐志新.潞安矿区综采裂隙带发育高度规律实测研究[J].煤炭科学技术,2017,45(7):167-171.

Zhu Wei, Teng Yonghai, Tang Zhixin. In-site study on development rule of fractured zone height by fully-mechanized mining in Lu'an Minefield [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(7): 167-171.

随着煤炭科技的进步和开采水文地质条件的复杂性增加,现场原位探测仍是确定导水裂隙带高度的可靠手段^[4-5]。文献[6-8]收集了国内顶板裂隙带高度实测值,通过对数据统计回归分析,总结归纳了不同开采工艺和覆岩条件下顶板导水裂隙带高度经验公式,对导水裂隙带高度的预计及煤矿防水煤(岩)柱的合理留设具有指导意义。

近年来关于导水裂隙带的研究方法有所创新,高延法等^[9]通过研究采场上覆岩层拉伸变形从而确定了与导水裂隙带高度的对应关系;许家林等^[10]研究了顶板中关键层的位置对导水裂隙带的高度影响,提出通过关键层位置来确定导水裂隙带高度的方法;邓志刚等^[11]运用微震分析法可以对工作面上覆岩层导水裂隙带高度进行计算,与其他观测结果相比较,相对误差在10%之内;陈红江等^[12]通过物理模拟模型设计试验再现了顶板岩层裂隙扩展贯通发展至突水的全过程;赵德深等^[13]运用熵权-层次分析预测模型通过Matlab编程获得导水裂隙带高度的预测值及各影响因素的权重,突破了传统经验方法的局限性;王正帅等^[14]通过实例分析表明,模糊支持向量机用于导水裂隙带高度预测是可行有效的,其预测精度得到较明显的提高。在导水裂隙带规律研究基础上进行了多个工作面水体下开采工程实践,包括大型河流、水库甚至海洋下压煤开采^[15-21],实现了安全开采同时取得了很好的技术经济效益,有效地促进了矿区的可持续发展。

由于各个矿区间开采水文地质条件差异很大,因此,基于大量观测数据回归分析得出的经验公式,难以准确确定不同矿井的导水裂隙带发育高度。矿区(矿井)内导水裂隙带高度原位测试仍是行之有效的技术途径。笔者通过统计分析潞安矿区大量的实测数据,研究分析了同一煤层不同开采工艺条件下导水裂隙带高度(导水裂隙带高度与采高比)与采高以及分层数的关系,对比分析了综放和分层综采工艺裂隙带发育规律,并通过对比水体下煤层顶板基岩厚度与防水安全煤岩柱尺寸,确定了水体下开采的原则性方案,现场工程实践验证了方案的可靠性。

1 矿井概况

潞安矿区地处沁水煤田东部中段,长治水文盆地范围内。主采二叠系下统山西组3号厚煤层,厚约6.0 m,为近水平至缓倾斜煤层。煤层顶板由中细砂岩、粉砂岩、泥岩等及第四系松散层组成,整个覆

岩结构属于中硬~坚硬型,其中第四系松散层厚0~150 m,主要由黏土、砂质黏土等构成。潞安矿区内地表水系发育,主要为浊漳河及其各支流,同时还有常隆水库、漳泽水库等地表大型水体存在。据不完全统计,地表水体压覆煤炭资源量约8 000万t,严重影响了矿山企业的生产接续和可持续发展。

2 覆岩破坏高度实测

导水裂隙带高度观测采用地面钻探并辅助水文观测、注水试验等综合手段。裂隙带高度的判读主要是根据钻进过程中上下钻动水位、冲洗液消耗量及相关层段的注水试验结果确定的。潞安矿区五阳煤矿在分层普采、分层综采以及综放开采工艺条件下的导水裂隙带观测结果分别见表1—表3。

表1 五阳煤矿普采条件下导水裂隙带高度实测结果
Table 1 Results of measured height of fractured zone by conventional mining in Wuyang Coal Mine

孔号	采高/m	累计采高/m	分层数	裂隙带高度/m	裂采比
L1	2.0	2.0	初分层	43.1	21.6
L2	2.0	4.0	二分层	44.7	11.2
L3	2.0	4.0	二分层	47.9	12.0
L4	2.0	4.0	二分层	41.0	10.2
L5	2.0	6.0	三分层	45.7	7.6
L6	2.0	6.0	三分层	48.3	8.0
L7	2.0	6.0	三分层	54.8	9.1

注:普采为分3层回采。

表2 五阳煤矿分层综采导水裂隙带实测结果
Table 2 Results of measured height of fractured zone by fully-mechanized slicing mining in Wuyang Coal Mine

孔号	采高/m	累计采高/m	分层数	裂隙带高度/m	裂采比
D1	3.1	3.1	初分层	65.4	21.1
D2	3.2	3.2	初分层	74.8	23.4
D3	2.9	2.9	初分层	60.0	20.3
D4	3	3	初分层	60.9	20.3
D5	2.8	2.8	初分层	63.9	22.8
D6	2.9	5.9	二分层	70	11.8
D7	3.2	6.2	二分层	90	14.6
D8	2.9	5.8	二分层	91.7	15.9

注:分层综采为顶、底2分层回采。

表3 潞安矿区综采放顶煤导水裂隙带实测资料

Table 3 Results of measured height of fractured zone by fully-mechanized caving mining in Lu'an Mining Area

煤矿	孔号	采高/ m	分层数	裂隙带 高度/m	裂采比
郭庄煤矿	F1	5.2	1	103.8	19.9
高河煤矿	G1	6	1	114.2	19.1
王庄 煤矿	K1	5.9	1	114.7	19.4
	K2	5.2		102.3	19.7
	K3	5.7		114.9	20.2

注:一次采全高回采。

3 裂隙带发育规律

上述表中所列煤矿均为潞安矿区所属,地理位置相邻,开采煤层均为同一煤层(二叠系下统山西组3号煤层),地层岩性等开采水文地质条件基本相同,观测数据具有极好的代表性。绘导水裂隙带高度与累计采高、开采分层数之间的关系分别如图1、图2所示;裂隙带高度与采高之比(以下简称裂采比)与累计采高、开采分层数之间的关系分别如图3、图4所示。

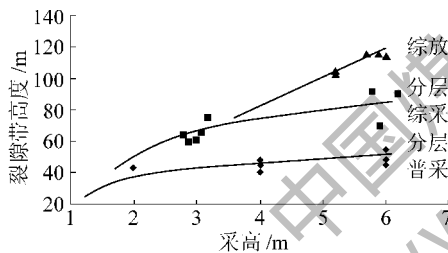


图1 导水裂隙带高度与采高关系

Fig. 1 Relationships between height of fractured zone and mining height

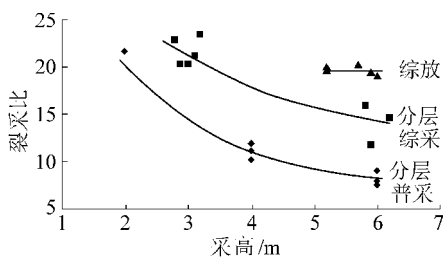


图2 裂采比与采高关系

Fig. 2 Relationships between ratio of height of fractured zone to mining height and mining height

通过对表1—表3和图1—图4进行综合分析可以得出:

1) 潞安矿区开采3号厚煤层,综放一次采全高工艺条件下导水裂隙带发育高度为102.3~114.9

m,相同地质条件下分2层综采裂隙带高度为70.0~91.7 m,分3层普采裂隙带高度为45.7~54.8 m。综放开采导水裂隙带最为发育,综采(分层综采和综放)裂隙带发育高度均远大于普采工艺。分两层综采裂隙带高度在综放基础上降低了24%(计算取平均值,下同),分3层开采裂隙带高度在综放基础上降低了55%,如图3所示。在相同煤层条件下,减小分层开采高度,增加开采分层数,可以有效地降低导水裂隙带最终高度。

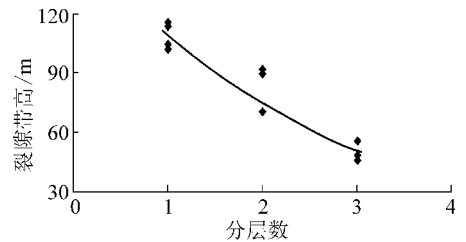


图3 导水裂隙带高度与分层数关系

Fig. 3 Relationship between height of fractured zone and mining slicings

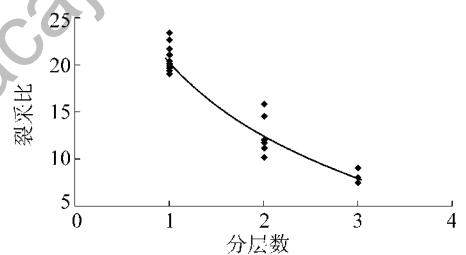


图4 裂采比与分层数关系

Fig. 4 Relationship between ratio of height of fractured zone to mining height and mining slicings

2) 综放一次采全高裂采比为19.1~20.2,相同煤层条件下,分层综采初分层裂采比20.3~23.4,分层普采首分层裂采比为21.6,三者具有较好的统一性。分2层综采裂采比比初次采动降低约32%,分3层开采裂采比比初次采动降低约60%,分层开采可以很大程度上降低裂采比(图4)。

3) 综放一次采全高导水裂隙带发育高度基本与煤层一次采放厚度成正比,如图1所示,与分层开采初次采动条件下导水裂隙带发育规律是相似的,随着开采分层数的增加,分层综采导水裂隙带高度增加幅度远小于综放开采工艺。

4) 综合考虑表2、表3所列分层综采和综采放顶煤情况下裂隙带高度实测数据,经过反演分析,得出了以累计采高和开采分层数为主控因子的导水裂隙带高度 H_f 的演算经验公式为

$$H_{li} = 20.2M / \sqrt{n} + 10$$

其中: M 、 n 分别为累计采高和开采分层数。对于分层综采来说初分层 $n=1$, M 为分层采高, m ;二分层 $n=2$, M 为累计采高;综放开采时则 $n=1$, M 为一次采放总厚度。

4 水体下采煤方案

水体下采煤是否安全,首先则要留设足够尺寸的防水安全煤岩柱。综合分析潞安矿区水文地质资料,基岩风化带含水层富水丰富,强风化富水深度为30~50 m。根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》的有关规定,选择防水安全煤岩柱垂高 $H_{sh} = H_{li} + H_b + H_{le}$ 为计算模型,其中, H_{le} 为风化带含水层厚度, H_b 为保护层厚度,取3倍采高。分2层综采和综放一次采全高所需防水煤岩柱尺寸见表4。

表4 不同工艺防水安全煤岩柱尺寸

Table 4 Size of waterproof rock pillar in different mining technology

采煤方法	采高/m	H_{li} /m	H_{sh}^*/m
综采一分层	3	70.6	138.6(140)
综采两分层	6	95.7	163.7(165)
综放	6	131.2	199.2(200)

注:*为了便于生产实际中应用, H_{sh} 进行了相应取整。

根据表4计算结果,在正常条件下,基岩柱高度 H_0 在 $140\text{ m} < H_0 < 165\text{ m}$ 时建议限厚开采1个分层; $165\text{ m} \leq H_0 < 200\text{ m}$ 时,可以分2层综采; $H_0 \geq 200\text{ m}$ 时,可以实施综放一次采全高开采工艺,以上均为布置长壁开采工作面。对于 $H_0 < 140\text{ m}$ 可以通过减小开采高度或者控制顶板覆岩方式(条带、房式、充填等)进行部分开采。开采过程中加强对导水构造的探测防治,同时辅助完善的工作面疏排水措施,以及通讯、水情监测、地表巡视等保证水体下安全开采。

5 工程实践

五阳煤矿7806工作面所对应地表漳河河床标高为+865 m,河床下煤层底板标高为+530—+580 m,开采3号煤层,厚度约6 m,工作面宽240 m,推进距离约1 040 m,横跨十字道背斜两翼,俯斜推进,倾角 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。河床区域第四系厚约10 m。工作面区域未有大型断裂构造和陷落柱,仅在工作面巷道掘进过程揭露小断层(落差 $< 3\text{ m}$),地表河床与工作

面对照如图5所示。

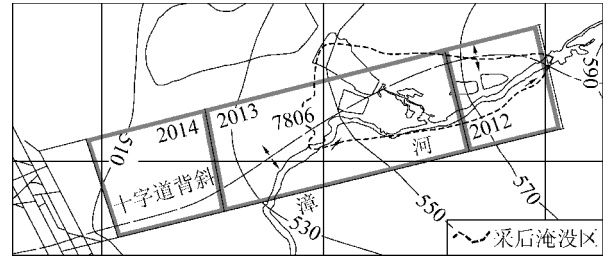


图5 7806工作面与河流对照

Fig. 5 Contrast plan of river and No. 7806 working face

可以看出,7806工作面开切眼位置埋深最浅,是河流下开采的关键。经过计算,开切眼处基岩厚度约269 m,远大于河下综放开采所需防水煤岩柱尺寸(200 m),正常条件下可以实施综放开采工艺。采前对开采影响较大的K8和K10含水层(处于导水裂隙带波及范围内)进行了预先疏放,同时对地表河流水体进行监测,累计疏放含水层水体约10.2万 m^3 ,很大程度上控制了顶板水害,地表水体未见明显漏失,说明地表河流与含水层水力联系较差。

五阳煤矿7806工作面于2012年6月始采,2013年12月推过漳河河床,河床下推进过程中工作面涌水量均未超过 $10\text{ m}^3/\text{h}$,开采过程中监测河流水体未见明显漏失,地表监测采后形成一个大型的塌陷淹没区,说明地表水体与井下采空区未发生水力联系,取得了厚煤层地表水体下综放开采的成功。

6 结论

1) 潞安矿区裂隙带实测资料表明,相同条件下综放开采最为发育,分2层综采裂隙带高度在综放基础上降低了24%,分3层开采裂隙带高度在综放基础上降低了55%。增加开采分层数,可以有效地降低导水裂隙带最终高度。

2) 综放一次采全高导水裂隙带发育高度基本与煤层一次采放厚度成正比,与分层开采初次采动条件下导水裂隙带发育规律相似。相同煤层条件下,综放开采裂采比与分层开采初分层裂采比基本一致。

3) 漳河下厚煤层综放开采的成功实施,验证了研究结果的可靠性,为类似水体下采煤提供了工程参考。

参考文献(References):

[1] 国家煤炭工业局.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,2000.
- [2] 滕永海,高德福,朱 伟,等.水体下采煤[M].北京:煤炭工业出版社,2012.
- [3] 煤炭科学研究院北京开采研究所.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] 高保彬,刘云鹏,潘家宇,等.水体下采煤中导水裂隙带高度的探测与分析[J].岩石力学与工程学报,2014,33(S1):3384-3390.
Gao Baobin, Liu Yunpeng, Pan Jiayu, *et al.* Detection and analysis of height of water flowing fractured zone in underwater mining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(S1):3384-3390.
- [5] 胡宝峰.富水覆岩特厚煤层综放开采导水裂隙带高度研究[D].西安:西安科技大学,2013.
- [6] 尹尚先,徐 斌,徐 慧,等.综采条件下煤层顶板导水裂隙带高度计算研究[J].煤炭科学技术,2013,41(9):138-142.
Yin Shangxian, Xu Bin, Xu Hui, *et al.* Study on height calculation of water conducted fractured zone caused by fully mechanized mining[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9):138-142.
- [7] 许延春,李俊成,刘世奇,等.综放开采覆岩“两带”高度的计算公式及适用性分析[J].煤矿开采,2011,16(2):4-7.
Xu Yanchun, Li Juncheng, Liu Shiqi, *et al.* Calculation formula of two-zone height of overlying strata and its adaptability analysis[J]. Coal Mining Technology, 2011, 16(2):4-7.
- [8] 孙晓倩,姜振泉,王宗胜,等.浅埋煤层分层开采“两带”高度预测[J].矿业研究与开发,2015,35(2):69-72.
Sun Xiaoqian, Jiang Zhenquan, Wang Zongsheng *et al.* Height prediction of the 'two zones' in shallow coal seam by slicing mining[J]. Mining Research and Development, 2015, 35(2):69-72.
- [9] 高延法,黄万朋,刘国磊,等.覆岩导水裂隙与岩层拉伸变形量的关系研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(3):301-306.
Gao Yanfa, Huang Wanpeng, Liu Guolei, *et al.* The relationship between permeable fractured zone and rock stratum tensile deformation[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(3):301-306.
- [10] 许家林,朱卫兵,王晓振.基于关键层位置的导水裂隙带高度预计方法[J].煤炭学报,2012,37(5):762-769.
Xu Jialin, Zhu Weibing, Wang Xiaozhen. New method to predict the height of fractured water-conducting zone by location of key strata[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(5):762-769.
- [11] 邓志刚,李国宏,盛继权,等.基于微震分析法的特厚煤层导水裂隙带高度研究[J].煤矿开采,2012,17(6):86-88.
Deng Zhigang, Li Guohong, Sheng Jiquan, *et al.* Research on height of water-induced fissure zone in mining extremely-thick coal-seam by micro-seismic method[J]. Coal Mining Technology, 2012, 17(6):86-88.
- [12] 陈红江,李夕兵,刘爱华,等.水下开采顶板突水相似物理模型试验研究[J].中国矿业大学学报,2010,39(6):854-857.
Cheng Hongjiang, Li Xibing, Liu Aihua *et al.* Physical simulation modeling of roof water inrush in underwater mining[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2010, 39(6):854-857.
- [13] 赵德深,徐孟林,夏洪春.基于熵权-层次分析法的导水裂隙带高度预测的研究[J].煤矿开采,2013,18(1):8-10.
Zhao Deshen, Xu Menglin, Xia Hongchun. Prediction of water-induced fissure zone height based on entropy weight-AHP[J]. Coal Mining Technology, 2013, 18(1):8-10.
- [14] 王正帅,邓喀中,谭志祥.导水裂隙带高度预测的模糊支持向量机模型[J].地下空间与工程学报,2011,7(4):723-727.
Wang Zhengshuai, Deng Kazhong, Tan Zhixiang. Height prediction of water fractured zone based on Fuzzy SVM[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(4):723-727.
- [15] 康永华.我国煤矿水体下安全采煤技术的发展和展望[J].华北科技学院学报,2009,6(4):19-26.
Kang Yonghua. The development and prospect of safe technology on excavating coal under water in China[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2009, 6(4):19-26.
- [16] 戴华阳,廖孟光,孟宪营,等.峰峰矿区九龙矿水库下采煤安全性分析[J].煤炭学报,2014,39(S2):295-300.
Dai Huayang, Liao Mengguang, Meng Xianying, *et al.* Analysis of the security of mining under the reservoir in Jiulong coal mine of Fengfeng mining area[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(S2):295-300.
- [17] 许春雷,沙坪矿黄河下开采导水裂隙带高度研究[D].太原:太原理工大学,2013.
- [18] 张 彬,杨 勇,黎 灵.水库下煤炭开采安全性分析研究[J].煤炭科学技术,2016,44(6):140-145.
Zhang Bin, Yang Yong, Li Ling. Analysis study on mining safety under water reservoir[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(6):140-145.
- [19] 佚名.我国第八个海下工作面投产[B].煤矿开采,2014(4):62.
- [20] 孙亚军,徐智敏,董青红.小浪底水库下采煤导水裂隙发育监测与模拟研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(2):238-245.
Sun Yajun, Xu Zhimin, Dong Qinghong. Monitoring and simulation research on development of water flowing fractures for coal mining under Xiaolangdi Reservoir[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(2):238-245.
- [21] 郭文兵,邵 强,尹士献,等.水库下采煤的安全性分析[J].采矿与安全工程学报,2006,23(3):324-328.
Guo Wenbing, Shao Qiang, Yin Shixian, *et al.* Analysis of the security of mining under reservoir[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(3):324-328.