

利用老采空区防治矿井水害的工程技术

张红日¹, 张文泉¹, 肖洪天¹, 张磊鑫², 朱志学², 郝桂明³

(1. 山东科技大学, 山东 青岛 266510; 2. 新汶矿业(集团)有限责任公司 汶南煤矿, 山东 泰安 271000; 3. 山东金阳矿业集团公司, 山东 泰安 271000)

摘 要: 汶南煤矿根据西部采区水文地质条件的特点, 充分利用西部老采空区及其良好的隔离条件, 构筑水闸墙对采空区进行隔离, 建立缓冲仓, 对西部老空水进行调控防治。利用 TFNE 弹塑性有限元程序, 结合点安全度分析方法, 评价了地下水封堵工程的稳定性和安全性, 并对调控技术在防治水中的应用和经济效益作了详细的介绍。

关键词: 老采空区; 矿井水调控技术; 矿井水害

中图分类号: TD745.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-2336(2006)02-0012-04

Technology for mine water disaster prevention and control with mine old goaf

ZHANG Hong-ri¹, ZHANG Wen-quan¹, XIAO Hong-tian¹, ZHANG Lei-xin², ZHU Zhi-xue², HAO Guiming³

(1. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China; 2. Wennan Mine, Xinwen Coal

Mining Group Corporation Ltd., Taian 271000, China; 3. Shandong Jinyang Coal Mining Group Corporation, Taian 271000, China)

Abstract: Base on the features of the hydrological conditions in the west part mining area and with the existing goaf and its good isolation conditions in Wennan Mine, water gates were built to isolate the goaf and to build buffer bunkers for the prevention and control of water in the goaf of the west part in the mine. With the TFNE elastic and plastic finite element program and the analysis method of the point safety degree, the paper assessed the stability and safety of the underground water sealing project. The paper introduced the application and economic benefits of the adjustment and control technology applied to water prevention and control in detail.

Key words: old goaf; adjusting and controlling technology for mine water; mine water disaster

新汶矿业集团汶南煤矿西部小煤矿正在浅部及小汶河两岸开采, 其涌水量将越来越大, 并通过西边界四灰裂隙等通道进入汶南矿西部采区, 西部年平均涌水量 $14 \sim 15 \text{ m}^3/\text{min}$, 最高涌水量达 $36 \text{ m}^3/\text{min}$, 占矿井涌水量的 65.5%, 占全年排水费用的 70% 以上。矿井的排水费用越来越高, 成为深井开采沉重的经济负担, 且汛期给汶南煤矿带来极大地威胁, 严重制约矿井的发展。

该矿 -250 m 水平采区水文地质条件较复杂, 采区主要充水水源有侏罗系红砂岩(以下称红层)、四灰、徐灰三层含水层和西部地方矿老采空区水。西部地方矿老采空区水水量占采区总涌水量的 64.3%, 是采区主要水源。根据西部地方矿老采空区水突水资料分析, 西部小矿老采空区水与大气降水水力联系密切, 具有补给面积大、补给能力强、危害性大的特点, 是矿井防治水治理的重点。红层下距 9 煤层 0~70 m, 四灰为 13 煤顶板, 徐灰上距 15 煤层 25 m 左右。三层含水层均发生过突

水, 与采空区存在水力联系通道。

根据各含水层突水资料和钻孔水位资料分析, 矿井东、西两翼含水层各为一个水力单元, 存在纵向补给通道, 无横向水力联系通道。采区西边界以汶 F₁ 断层为界, 按矿界要求在断层两侧各留设 50~100 m 防水煤柱, 能满足二采区蓄水承压要求。

采区东边界煤柱内无断层及其他构造, 地质条件良好。在 -250 m 水平以下留设暗斜井煤柱、二采区上山煤柱 120~150 m; 在 -250 m 水平以上留设斜井煤柱 80~100 m。同时, 考虑采动影响范围, 承压安全煤柱为 49 m。采区边界隔离条件良好, 能满足采区蓄水承压要求。

综上所述, 只要将与外界连通的巷道堵截, 就没有向外导水的通道, 采区良好的水文地质条件和边界条件为调控工程奠定了基础。

为此, 根据汶南矿的巷道围岩地质力学条件, 选择了水闸墙布设位置, 提出了水闸墙本身结构形状设计方案, 采用特殊施工技术体系和施工方法,

完成了 14 道水闸墙的井下施工任务, 将西部采空区封闭, 把 - 400 m 水平的涌水堵截至 - 250 m 水平排出, 并用 - 250 m 水平以上的采空区作为大蓄水仓, 实行峰谷分时排水和正压排水, 既节约了大量排水费用, 汛期又可作为缓冲水仓, 提高了矿井抗御水害的能力。

1 调控技术实施

1.1 调控原理

构筑水闸墙堵截采空区与外界联系通道, 使采区涌水由 - 400 m 水平升至 - 180 m 水平。在 - 250 m 水平排水, 利用 - 250 ~ - 180 m 水平蓄水空间作为缓冲仓进行调控。调控分汛期调控和非汛期调控, 汛期调控为安全调控, 汛期空出 - 250 ~ - 180 m 水平蓄水空间, 把超过 - 250 m 排水能力的涌水蓄积起来, 削减最大涌水量, 以缓解西部小矿水害、保证安全渡汛为目的; 非汛期调控为效益调控, 非汛期保持老采空区水位在 - 200 m 水平, 实现高水位正压排水和峰谷分时排水 (用电价格峰值蓄水, 谷值排水), 以减少排水费用、提高矿井经济效益为目的。

1.2 工程布置

根据各煤层老采空区与外界联系的情况, 构筑水闸墙。第 9 煤层采空区外的巷道中构筑 1 道水闸墙, 11 煤层采空区外的巷道中构筑 6 道, 第 13 煤层采空区外的巷道中构筑 7 道, 最深的水闸墙位于 - 400 m 水平。在 - 250 m 水平铺设一趟 - 250 m 水闸墙至 - 250 m 泵房 $\phi 500$ mm 的排水管路, 实现闭路排水。

2 水闸墙稳定性评价

汶南矿完成的 14 道水闸墙是目前国内外少见的大深度高压地下水截水工程。根据水闸墙设计规范的理论与公式计算结果分析表明, 单独从水闸墙自身墙体所受力学作用的角度来说, 水闸墙是安全的。但是作为一个整体来考虑水闸墙与所处围岩及其在长期在水浸泡软化条件下的应力位移变化情况和安全稳定性尚需进一步分析。为此, 采用清华大学水利系编制的 TFNE 有限元程序对汶南矿水闸墙进行了三维弹塑性应力应变分析。

为便于分析, 引入点安全度。对于完整岩体, 点安全度 F_s 定义为

$$F_s = \frac{\sqrt{(C + f_1)(C + f_3)}}{(\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (1)$$

对于断层或破碎带, 点安全度定义为

$$F_s = \frac{1}{\sqrt{\frac{f + C}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}}} \quad (2)$$

式中, x, y, z 为断层的局部坐标。 f, C 为岩体的摩擦系数和内聚力; σ_1, σ_3 分别为研究区域最大、最小应力; σ_1 为所研究断层或破碎带处最大主应力; σ_x, σ_y 分别为断层或破碎带处 zx, zy 两平面的剪应力。

对于屈服区, $F_s = 1.0$, 破坏区 $F_s < 1.0$ 。结合目前国际上先进的点安全度分析方法, 分析评价地下水封堵工程的稳定性和安全性。在计算中, 考虑了水闸墙分别承受了 2 MPa、3 MPa 和 4 MPa 的水压。考虑岩体受水浸泡后其力学参数有所降低, 对岩体正常情况下力学参数 (表 1) 进行折减, 第一种情况为煤、砂岩和混凝土的折减系数, 分别为 0.4、0.65 和 0.80, 记作“折减 1”; 第二种情况为煤、砂岩和混凝土的折减系数, 分别为 0.25、0.4 和 0.8, 记作“折减 2”。将所选取水压和力学参数 (表 1) 进行不同组合, 共进行了 6 种工况的计算的分析, 见表 2。

表 1 计算所用力学参数

岩体类型	弹性模量 /MPa	泊松比	密度 / $t \cdot m^{-3}$	f	C /MPa
煤	2	0.30	2.5	0.7	0.8
砂岩	20	0.25	2.7	1.4	1.5
混凝土	25	0.16	—	1.7	3.0

表 2 计算工况

项 目	工 况					
力学参数	正常	正常	正常	折减 1	折减 1	折减 2
水压 /MPa	2	3	4	2	4	4

2.1 不考虑浸水软化效果 (工况 1、2、3)

2.1.1 计算结果

在这种情况下, 考虑了 3 种水压下的作用 (2 MPa、3 MPa、4 MPa)。

2.1.2 计算结果综合分析

点安全度分析结果表明 (表 3), 在 1、2、3 三种工况下, 在充水巷道截面处, 在巷道底板较

大范围内出现小于 1.0的区域,这说明受水荷载的作用,巷道围岩较大范围内屈服,而且随着水荷载的增加,巷道围岩的屈服范围有所扩大。在水闸墙后非充水巷道截面处,巷道出现安全度小于 1.0的区域,要比距计算边界 5.0 m 的剖面要小得多,

而且随着水荷载的增加,巷道围岩的屈服范围扩大有限。而在 、 、 三种工况下水闸墙除在迎水面局部表皮上点安全度等于 1.0外,其余部位均在 1.2以上。这说明,在 、 、 三种工况下水闸墙能保持稳定。

表 3 3种情况点安全度对比

工况	距计算边界 5.0 m		距计算边界 10 m		距计算边界 12.1 m		距计算边界 19.2 m	
	点安全度	分布区域	点安全度	分布区域	点安全度	分布区域	点安全度	分布区域
	<1.0	巷道底板较大范围	1.0~1.5	局部为 1.0	1.5~2.0	大部分在 1.5以上	<1.0	比 5.0 m剖面小的多
	<1.0	范围比 扩大	1.0~1.2	局部为 1.0	1.2	分布于整个水闸墙	<1.0	范围比 略有扩大
	<1.0	范围比 扩大	1.0~1.2	局部为 1.0	1.2	分布于整个水闸墙	<1.0	范围比 略有扩大

2.2 考虑浸水软化 (工况 、 、)

2.2.1 计算结果 (表 4)

表 4 3种情况点安全度对比

工 况	距计算边界 10 m		距计算边界 12.1 m	
	点安全度	分布区域	点安全度	分布区域
	1.0~1.5	局部出现为 1.0	1.5~2.0	大部分在 1.5以上
	1.0~1.2	局部出现为 1.0	1.2	分布于整个水闸墙
	1.0~1.2	局部出现为 1.0	1.2	分布于整个水闸墙

2.2.2 计算结果综合分析

根据表 4三种情况点安全度对比分析表明,在 、 、 三种工况下,在充水巷道截面处,在巷道底板大范围内出现小于 1.0的区域,这说明受水荷载的作用,该区域岩体已屈服,形成松动圈,而且随着水荷载的增加,巷道围岩的屈服范围继续扩大。在水闸墙后非充水巷道截面处,在巷道底板较大范围内出现小于 1.0的区域,表明巷道存在松动圈,而且随着水荷载的增加,巷道围岩的屈服范围有所扩大。而在 、 、 三种工况下水闸墙除在迎水面局部表皮上点安全度等于 1.0外,其余部位均在 1.0以上。在 工况下点安全度在 1.2以上,在 、 两种工况下点安全度在 1.2以下。这说明,在 种工况下水闸墙能保持较好的稳定性,而在 、 两种工况下水闸墙稳定性有所降低。

3 老采空区水调控防治应用效果

3.1 老采空区水调控

- 250 ~ - 180 m水平老采空区蓄水量为 13万 m³,平均每 10 m蓄水量为 1.85万 m³。非汛期西

部老采空区水日涌水量为 1.87万 m³,水位保持在 - 250 m水平,利用 - 200 ~ - 180 m水平蓄水空间进行调控,实现高水位和峰谷分时排水。汛期西部老采空区水最大涌水量为 50 m³/min,持续最长时间为 15 d, - 250 m最大排水能力为 44.5 m³/min。汛期水位降至 - 250 m水平,利用 - 250 ~ - 180 m空间蓄水调控,缓解了西部老采空区水威胁,保证了安全生产。

排水管路采用直径 500 mm,最大排水能力为 3 000 m³/h,经济排水量为 2 000 m³/h。排水管路 与 4台 D500型大泵对接,实现高水位排水,水泵效率由 75%提高至 100%。

3.2 老采空区水调控防治应用效果

(1) 缓解了西部老采空区水水害威胁,保证安全渡汛。2001年汛期降雨量、西部小矿老采空区水突水量均大于 1998年汛期,矿井未出现险情,调控工程发挥了重大作用。

(2) 优化排水系统,提高矿井抗灾能力。调控工程使 - 400 m水平涌水量由 - 400 m水平升至 - 180 m水平,实现了在 - 250 m水平排水, - 250 m水平最大排水能力由 28 m³/min升至 44.5 m³/min,优化了排水系统,提高了矿井抗灾能力。

(3) 水位升高,煤层突水面积减少,降深提高,煤层水量减少 1.5 m³/min。

(4) 实现了高水位和峰谷分时排水,每年节约排水费用 750.2万元,提高了矿井经济效益。

4 结 语

综合上述分析,可以得到以下几点认识:

(1) 从水闸墙应用现场条件与理论分析、水

闸墙安全性验算、水闸墙三维应力弹塑性数值计算分析在现有水压力等条件下,水闸墙是比较安全的。

(2) 在储水水压力达到 3 MPa 以上或水闸墙及其围岩受水浸泡强度降低 40% ~ 60% 后,水闸墙及其围岩的稳定性较差,尤其是在强度降低 60% 后,水闸墙及其围岩的稳定性是非常脆弱的。

(3) 类似巷道中构筑高水压截水工程,工程体本身受力破坏的可能性较小,反而与其承受同样水载荷一侧的巷道围岩和截水工程后不受水载荷作用的巷道围岩受力破坏的可能性更大,其安全稳定性更差,只是后者比前者安全程度更高一些。然而一旦二者的不安全区域交叠在一起时,有可能造成截水工程围岩的失稳,达不到截水的目的,甚至造成灾难性后果。

(4) 建议对水闸墙及其围岩的稳定性设立监测系统,以便于预测预报。

(5) 建议深入研究矿井地下高水压截水工程对地下水文环境条件影响改变的机制和程度,丰富矿井水文地质学的内容。

(6) 调控技术作为防治水有效的方法和途径,具有投资少、见效快、治理效果和经济效益显著的特点。在边界条件和水文地质条件良好的矿井具有广泛的推广价值。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国能源部. 煤矿安全规程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.
- [2] 中华人民共和国煤炭工业部. 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, 1985.
- [3] 中华人民共和国煤炭工业部. 矿井设计手册 (上) [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.
- [4] 柴登榜. 矿井地质工作手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1981.

作者简介: 张红日 (1966 -), 女, 山东烟台人, 副教授, 博士研究生, 主要从事矿山灾害和地理信息系统的教学和科研工作。
Tel: 0532 - 86057748, E-mail: zwq@sdust.edu.cn

收稿日期: 2005 - 06 - 08; 责任编辑: 曾康生

(上接第 11 页)

(2) B11b 煤层在 2004 年 9 月开始施工, 至 2005 年 3 月完工, 顶板离层最大距离为 25 mm, 帮部最大位移量 200 mm, 顶部最大位移量 160 mm, 满足了支护要求。大倾角松软突出煤层高强度性能预拉锚网索支护, 有效地控制了巷道围岩稳定性及松软煤层帮部大变形, 支护方案选择合理。

4 技术经济效益

4.1 社会效益

采用高强度、高性能、预拉力锚索支护, 是一种主动支护方式, 与原先同类型巷道采用的 3 号 U 型支架相比, 显著减少了巷道复修工作量, 减轻了工人劳动强度, 使工人在掘进及采煤过程中不再搬运笨重的支护材料, 并且消除了工作面在回采过程中超前替换 U 型支架的工序, 为提高工作面单产创造了有利条件。

4.2 直接经济效益

B11b 煤层风巷采用高强度、高性能、预拉力锚索支护, 支护成本有较大降低, 据实际测算, 采用 3 号 U 型支架支护时, 每米支护成本 2 521.9 元,

采用高强度、高性能、预拉力锚索支护时, 每米支护成本 1 387.5 元, 每米降低成本 1 134.4 元, 相对减少了 44%, 以巷道长度 300 m 计算, 节约材料费 34 万余元。

4.3 间接经济效益

采用高强度、高性能、预拉力锚索支护后, 工作面在回采过程中, 一是不再超前替 U 型支架, 按每班 3 人替 2 架 U 型支架计算, 全长 300 m 巷道可节约人工工资 11.25 万元。二是不需要对巷道进行维修, 按经验该巷在回采过程中需整体修复一次, 因此按 500 元 /m 维修费计算, 可节约费用 15 万元。

参考文献:

- [1] 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力及其控制 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986.

作者简介: 郭之宝 (1965 -), 男, 安徽肥东人, 高级工程师, 现任淮南矿业 (集团) 有限责任公司谢李公司总工程师。E-mail: guozhibao888@sina.com

收稿日期: 2005 - 10 - 18; 责任编辑: 朱栓成