

文章编号:0253-9993(2013)S1-0124-05

大埋深高水压裂隙岩体巷道底板突水试验研究

许延春¹,陈新明^{1,2},李见波³,姚依林¹

(1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院,北京 100083;2. 焦作煤业(集团)新乡能源有限公司 河南 新乡 454150;3. 华北科技学院安全工程学院 北京 101601)

摘要:随着煤炭开采向深部发展,高地压和高水压矿井破碎岩体巷道发生底板突水灾害越来越多。为进一步研究该类巷道底板突水机理与特点,笔者运用相似模拟试验和现场巷道底板增压注水试验不同手段综合研究深部巷道底板突水的临界突变规律。运用相似试验模拟了承压水作用下,巷道底板发生破坏的特征;通过现场注水试验分析巷道底板量和底板物性变化规律,发现了深部巷道底板突水的突变性规律。

关键词:大埋深;高水压;裂隙岩体;巷道;底板突水

中图分类号:TD745 **文献标志码:**A

Experimental research on floor heave and water inrush in the broken rock roadway under great depth and high water pressure

XU Yan-chun¹, CHEN Xin-ming^{1,2}, LI Jian-bo³, YAO Yi-lin¹

(1. College of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Jiaozuo Coal (Group) Xinxiang Energy Company Limited, Xinxiang 454150, China; 3. School of Safety Engineering, North China Institute of Science & Technology, Beijing 101601, China)

Abstract: With the depth of coal mining increasing, more and more floor heave and water inrush hazards occur in the broken rocks roadway in the coal mine with high ground and water pressure. In order to study the mechanism and characteristic of this kind of roadway floor heave and water inrush, two different methods were accepted to study the critical mutation law of deep roadway floor heave and water inrush synthetically, which includes similar simulation test and water injection test by boosting pressure in the roadway floor. The characteristics of roadway floor failure disturbed by confined water was found by the similar simulation test. The change law of floor heave quantity and the floor rock physical property was analysed by the site water injection test, and the mutagenicity of the deep roadway floor heave and water inrush was found.

Key words: great depth; high water pressure; broken rock; roadway; floor heave and water inrush

巷道底板不一定发生突水,但是在高水压条件下,巷道底板极易发生突水。随着煤炭开采向深部发展,高地压和高水压矿井破碎岩体巷道发生底板突水灾害越来越多,如2010年6月赵固二矿东横贯V与沿胶带上山交叉点周围10m巷道底板压力突然增大,底板鼓起2m以上,15:00发生突水,最大水量达430 m³/h。根据资料显示,矿井突水当中巷道突水几率相当高,并且常与断裂构造相伴^[1]。查阅国内外

的相关文献发现,美国Haramy. K把底板岩层看作两端固支的岩梁,研究其应力状态和稳定性^[2]; Afrouza等认为巷道底板最主要的3个因素是巷道底板为软岩层、巷道围岩的高应力和地下水的影响^[3]; Gysel M认为底板是泥岩遇水膨胀导致巷道围岩变形^[4]。国内学者对于采场底板承压水突水机理和巷道底板机理的研究较多,而针对巷道底板突水的研究相对较少,对于大埋深裂隙岩体巷道发生底板突水的研究则

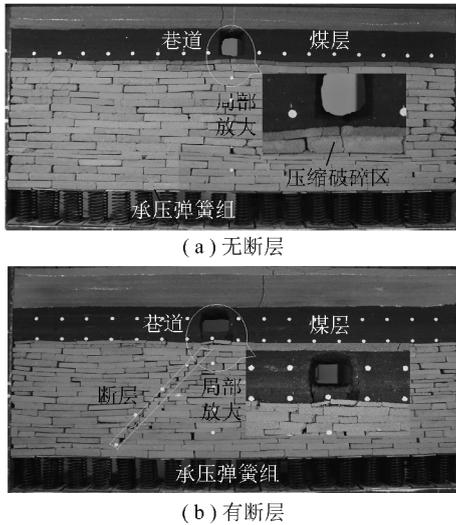


图2 巷道底臃相似试验

Fig. 2 Similar simulation experiment of floor heave

力和水压力作用下逐渐发生变化。从图2可以看出,在围岩和水压力共同作用下,巷道底板经历了完整、小裂隙形成、裂隙扩展、底板破碎的过程,并且大的裂隙首先出现在底角。

(2)在模型底部施加的承压弹簧组很好地起到了承压水的动态扰动作用。从图3可以看出,在承压水扰动作用下,观测时间6~8 h时,底臃量突然增大,使得底板在短时间内鼓起破坏。

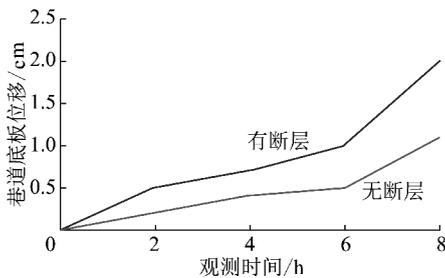


图3 巷道底板位移随时间的变化

Fig. 3 Roadway floor displacement-time curves

(3)从图3可以看出,有断层和无断层相比较,有断层时底臃量要比无断层时大。按照几何相似比,经计算得,存在断层时最大底臃量达到1.25 m,无断层时最大底臃量达到0.60 m。

3 现场巷道底板增压突水试验

3.1 观测方案

巷道突水试验目的是采用底板增压注水的方法实现深部巷道突水,通过预先设置的观测系统来观测注水的工程响应。巷道突水多发生在受构造影响的破碎带,本试验将观测系统布置在I盘区回风大巷(东段)受正断层F122影响区段。观测内容包括观测底板注水的压力和流量、突水过程中巷道底板岩体

的视电阻率、巷道突水量、顶底板移近量、裂隙变化。

注水试验设计注水孔的注水段3 m,其余下套管,注水段处在断层破碎带。同时观测底板物性变化,需要施工一个电极电缆钻孔,电缆有40个电极,电极间距为1 m,电极电缆穿过断层,如图1所示。钻孔参数见表2,钻孔剖面如图4所示。

表2 钻孔要素

Table 2 Drilling elements

钻孔名称	斜长/m	倾角/(°)	垂深/m	水平距离/m	套管长/m
注水孔	23	30	11.5	20	20.0
电缆孔	37	20	12.5	35	14.5

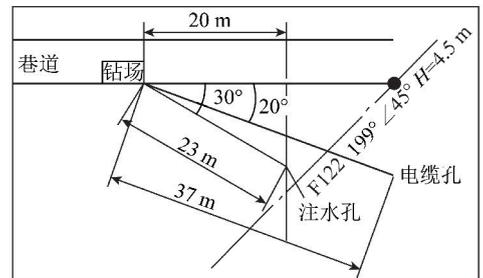


图4 钻孔剖面

Fig. 4 Drilling cross-section plotting

钻孔施工完后,用伴管将电缆安装进钻孔并注浆封孔,等浆液凝固后可进行注水前原始数据的观测,包括使用YDZ(A)直流电法仪对底板视电阻率的观测,顶板与底板之间距离观测,底板裂隙观察等。准备工作完成后可以进行注水,注水采用地面泵站通过高压管路进行,在钻孔处用两级阀门调节水压和水量,通过观察水压表调节阀门控制水压,水量观测可通过地面泵站记录。

3.2 观测成果分析

注水后,第1天注水水压1 MPa,巷道底板没出现异常反应;第2天将水压加到2 MPa,注水时间5 h,巷道也没有出现突水;第3天同样用2 MPa水压进行注水,1 h后巷道底板出现突水,此后注水水压下降并维持在1.5 MPa。

突水首先发生在注水段上方巷道一侧的底角处,是一个集中涌水点,裂隙长40 cm,宽10 cm。突水后不久在巷道和煤壁大致呈40°夹角的钻场一侧出现一系列分散的出水点,出水点大致呈现出一条向巷道中部发展的曲线,认为这些出水点已经形成一条连续的裂隙。

试验中巷道突水时的注水压力为 $p_z = 2$ MPa,而注水孔距巷道垂距 $H_z = 11.5$ m,可得试验段巷道底

板岩体的突水系数 Z 为

$$Z = \frac{P_z}{H_z} = 0.174 \text{ MPa/m}$$

在注水过程中对巷道的顶底板距离进行了观测,除了原始数据外,在压力 1 MPa 情况下注水 1 d 后进行第 2 次测量,突水后测量两次。对底板视电阻率的观测是在 1 MPa 注水完成后测量 1 次,突水后测量 1 次。巷道突水前后顶底板距离变化曲线如图 5 所示。底板岩层视电阻率变化曲线如图 6 所示。

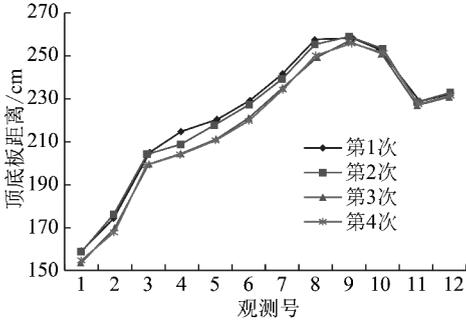


图 5 巷道突水前后顶底板距离变化曲线
Fig. 5 Change curves of roof and floor distance

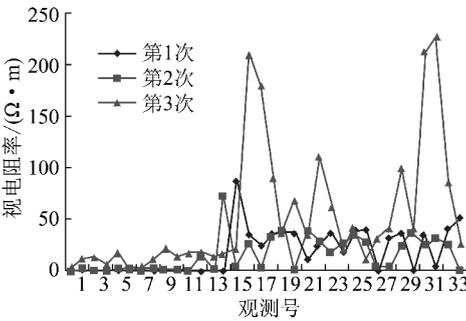


图 6 底板岩层视电阻率变化曲线
Fig. 6 Change curves of rock apparent resistivity

根据突水情况和观测数据分析,巷道突水呈现出一些特点:

(1) 根据顶底板距离的变化显示,在 1 MPa 压力下注水后顶底板移近量变化很小,突水后移近量变化最大,说明突水后底脚表现出突跃式发展。突水后注水压力维持在 1.5 MPa 左右,分析认为裂隙贯通,不能起到有效的承压效果,底板难以继续鼓起。

(2) 在突水前水压力 1 MPa 的情况下,观测的底板视电阻率和原始数据比较变化不大。当水压力增大到 2 MPa 突水后,测量数据变化明显,表现在 16, 17 号测点和 31, 32 号测点出现视电阻率急剧增大。其中,16 号点由突水前的 34.78 $\Omega \cdot m$ 增大到突水后的 211.563 $\Omega \cdot m$,增大了 6.08 倍,并且该点与涌水点的位置相对应。31 号测点由突水前的 36.675 $\Omega \cdot m$ 增大到突水后的 214.14 $\Omega \cdot m$,增大了 5.84 倍,该点接近断层。

(3) 底板岩层视电阻率的变化说明增大注水压力造成岩层裂隙张开,岩体物性出现剧变。并认识到当达到突水临界压力后,破碎巷道底脚突水具有突发性。

(4) 根据计算的突水系数 Z 大于一般断层条件下的突水系数 0.06 MPa/m,但小于目前赵固二矿的突水系数 0.24 MPa/m。表明破碎岩体有一定的阻水能力,但底板突水危险性很大。根据试验,当注水压力达到 2 MPa 后,并没有立刻发生突水,而是滞后性突水。说明只要突水系数达到突水临界值,巷道必然发生突水,但并不是在开挖后马上突水,而是在滞后一段时间突水。同时根据突变理论,认为在突变发生前影响因子的微小变化都会在煤层底板上引起很大响应。

4 结 论

(1) 从相似材料模拟实验的巷道底板位移变化曲线看出,围岩和水压力共同作用下,巷道底板经历了完整、小裂隙形成、裂隙扩展、底板破碎的过程,并且大的裂隙首先出现在底角;在承压水扰动作用下,底脚量在某时刻瞬间增大,底板破坏具有突发性。

(2) 设计并实施了构造破碎带巷道的增压突水试验,进行了突水过程中多影响因素的动态变化观测。当水压力低于临界突水压力时,水压变化对岩体裂隙、巷道底脚及物性影响较小;当达到突水压力,巷道底脚量和岩体物性发生突变,验证了破碎岩体巷道底脚突水突变性和难以预测性。

参考文献:

- [1] 管恩太. 焦作矿区高承压水上采煤水害综合控制技术[J]. 煤矿安全, 2005, 36(9): 15-17.
Guan Entai. Water disaster comprehensive control technology of coal mining under high-pressure aquifer of Jiaozuo coal mining area [J]. Safety in Coal Mines, 2005, 36(9): 15-17.
- [2] Haramy K. Floor heave analysis in a deep coalmine[A]. Proc. of the 27th U. S. Symposium on Rock Mechanics[C]. Rotterdam, Alabama, 1986.
- [3] Afrouza. Geotechnical assessment of the bearing capacity of coal mine floors[J]. International Journal of Mining and Geological Engineering, 1986, 2(6): 297-312.
- [4] Gesell M. Design of tunnels in swelling rock[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 1987, 20(4): 219-242.
- [5] 曹庆奎, 赵 斐. 基于模糊-支持向量机的煤层底板突水危险性评价[J]. 煤炭学报, 2011, 36(4): 633-636.
Cao Qingkui, Zhao Fei. Risk evaluation of water inrush from coal floor based on fuzzy-support vector machine [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(4): 633-636.
- [6] 徐智敏. 深部开采底板破坏及高承压突水模式、前兆与防治

- [J]. 煤炭学报, 2011, 36(8): 1422-1424.
- Xu Zhimin. Mining-induced floor failure and the model, precursor and prevention of confined water inrush with high pressure in deep mining[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(8): 1422-1424.
- [7] 赵海军, 马凤山, 丁德民, 等. 采动影响下巷道变形机理与破坏模式. [J]. 煤炭学报, 2009, 34(5): 599-602.
- Zhao Haijun, Ma Fengshan, Ding Demin, et al. Roadway deformation mechanism and failure model under the influence of mining[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(5): 599-602.
- [8] 武 强, 张志龙, 马积福. 煤层底板突水评价的新型实用方法 I——主控指标体系的建设[J]. 煤炭学报, 2007, 32(1): 42-45.
- Wu Qiang, Zhang Zhilong, Ma Jifu. A new practical methodology of the coal floor water bursting evaluating I—The master controlling index system construction[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(1): 42-45.
- [9] 康红普. 膨胀岩与巷道底臃[J]. 阜新矿业学院学报(自然科学版), 1993, 13(2): 44-48.
- Kang Hongpu. Swelling rock and opening floor heave[J]. Journal of Fuxin Mining Institute (Natural Science), 1993, 13(2): 44-48.
- [10] 王希良, 彭苏萍, 郑世书. 深部煤层开采高承压水突水预报及控制[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2004, 23(6): 758-760.
- Wang Xiliang, Peng Suping, Zheng Shishu. Controlling and predicting water inrush with high pressure in deep mining[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2004, 23(6): 758-760.
- [11] 黎良杰, 钱鸣高. 断层突水机理分析[J]. 煤炭学报, 1996, 21(2): 119-123.
- Li Liangjie, Qian Minggao. Mechanism of water-inrush through fault[J]. Journal of China Coal Society, 1996, 21(2): 119-123.
- [12] 白晨光, 黎良杰, 于学馥. 承压水底板关键层失稳的尖点突变模型[J]. 煤炭学报, 1997, 22(2): 149-154.
- Bai Chenguang, Li Liangjie, Yu Xuefu. Cusp catastrophe model for instability of keystratum in floor with water inrush[J]. Journal of China Coal Society, 1997, 22(2): 149-154.
- [13] 王连国, 宋 扬. 底板突水煤层的突变学特征[J]. 中国安全科学学报, 1999, 9(5): 10-13.
- Wang Lianguo, Song Yang. The catastrophic character of water-inrush from coal floor[J]. China Science Safety Journal, 1999, 9(5): 10-13.
- [14] 王 凯, 位爱竹, 陈彦飞, 等. 煤层底板突水的突变理论预测方法及其应用[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(1): 11-14.
- Wang Kai, Wei Aizhu, Chen Yanfei, et al. Predicting method and its application of water inrush from coal floor based on catastrophe theory[J]. China Science Safety Journal, 2004, 14(1): 11-14.
- [15] 虎维岳, 尹尚先. 采煤工作面底板突水灾害发生的采掘扰动力学机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(S1): 3344-3347.
- Hu Weiyue, Yin Shangxian. Dynamic mechanism of water inrush from floor of mining face[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(S1): 3344-3347.