

文章编号: 1673-3363-(2013)02-0262-05

超前管棚注浆支护技术在极复杂断层带中的应用

赵毅鑫^{1,2}, 姜耀东^{1,2}, 孟磊², 王涛³, 刘华博²

(1. 中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国矿业大学力学与建筑工程学院, 北京 100083; 3. 中国矿业大学资源与安全工程学院, 北京 100083)

摘要 基于煤矿巷道采用超前管棚注浆支护技术顺利通过复杂断层带的实际案例, 研究了巷道通过极复杂断层带面临的破碎围岩变形控制问题。通过计算确定了超前管棚注浆支护的设计参数, 采用数值计算手段分析了过断层区域不同支护条件下的围岩应力和巷道变形情况, 并针对施工后的管棚支护巷道变形量进行了现场实测, 总结了超前管棚注浆支护技术在巷道通过复杂断层带的成功经验。实践证明: 超前管棚注浆支护技术提高了围岩的完整性及整体承载能力, 能够形成较强的预支护体系, 可应用于复杂断层带的破碎围岩变形控制, 但需辅以物探手段提高注浆质量、加强监测才能保障巷道顺利通过复杂断层带, 本文经验可对类似工程的设计和施工提供借鉴。

关键词 管棚注浆; 支护; 巷道; 断层带

中图分类号 TD 265

文献标志码 A

Supporting technique with advanced pipe-shed grouting in extremely complicated faulting zone

ZHAO Yi-xin^{1,2}, JIANG Yao-dong^{1,2}, MENG Lei², WANG Tao³, LIU Hua-bo²

(1. State Key Lab of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology(Beijing), Beijing 100083, China;
2. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining & Technology(Beijing), Beijing 100083, China;
3. Faculty of Resources & Safety Engineering, China University of Mining & Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract Based on the application cases of roadways successfully passing through the complicated fault zones by using supporting technique with advanced pipe-shed grouting, the technical problems of roadway support in passing through the extremely complicated fault zone were analyzed firstly in this paper. Meanwhile, the design parameters of advanced pipe-shed grouting were calculated, and the stress and deformation of surrounding rock in the fault zone under various supporting conditions were also analyzed by numerical simulation. Moreover, the in-situ deformation of roadway supported by advanced pipe-shed grouting was measured, and the successful application experiences of the pipe-shed grouting technique were summarized. The practice results show that the supporting technique with pipe-shed grouting can not only improve the integrity of surrounding rock and the supporting capacity, but also form a strong pre-support system. It can be well used as one of effective roadway support techniques in the complicated geological zones. However, some other measures, such as geophysical prospecting, effective in-situ monitoring, et al, are needed to improve the grouting quality and ensure the safety of passing through the complicated fault zones. The experiences in this paper can provide ref-

收稿日期: 2012-06-30

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB226804); 国家自然科学基金项目(51174213); 教育部新世纪优秀人才计划项目(NCET-10-0775); 中央高校基本科研业务专项资金项目(2009QJM01); 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室开放课题项目(SKLGEUK1021)

作者简介: 赵毅鑫(1977-), 男, 河北省乐亭县人, 博士, 副教授, 从事岩石力学与采矿方面的研究。

E-mail: zhaoyx@cumt.edu.cn

Tel: 010-62339851

erence to the design and construction of similar projects in complicated geological zones.

Key words pipe-shed grouting; support; roadway; fault zone

矿井建设中部分巷道不可避免地要布置在不良地质地段,其中常常有巷道布置在复杂、破碎断层带。断层带附近围岩破碎、自稳能力差,在此进行巷道开挖常会引起断层活化,如果围岩控制措施或设计、施工方法不当,极易诱发煤岩动力灾害^[1-2]。对于穿过断层的工作面开采,超前加固通常有地层改良法和预支护法,其中预支护法就是在巷道开挖之前,沿着巷道的开挖轮廓构成一个预支护结构,在预支护结构保护下进行巷道掘进。超前管棚注浆支护便是其中之一,该技术已在国内外多个隧道/巷道穿越复杂地质的施工案例中成功应用^[3-8]。

开滦集团东欢坨矿北翼采区存在 F2 断层带,-230 和-500 水平大巷需要穿过其中。实践证明,若采用常规支护方法很难克服冒顶、突水、巷道变形大等难题^[9]。采用超前管棚注浆支护技术,顺利从-230 和-500 水平通过了影响矿井采区布置的 F2 极复杂断层带,保证了矿井的安全生产。

本文以超前管棚注浆支护技术在东欢坨矿-230 水平和-500 水平 F2 极复杂断层带的应用为例,对超前管棚注浆支护在极复杂断层带应用取得的经验做以总结,为类似地质条件下的巷道破碎围岩稳定控制提供参考和借鉴。

1 工程概况

1.1 井田工程地质概况

东欢坨矿井田为第四系沉积覆盖的含煤盆地,煤系地层为石炭系和二叠系地层,包括唐山组、开平组、赵各庄组、大苗庄组和唐家庄组等地层,煤系地层基底为中奥陶统的马家沟组巨厚石灰岩(O₂)。上覆第四系冲积层,基岩面控制程度高,该区域冲积层厚度为 158.8 m。井田内可采煤层主要为 4 层,分别是煤 8,煤 9,煤 11 和煤 12-1。井田西北翼构造复杂,局部有倒转,东南翼构造简单,16 剖面以东地段,地层在走向,倾向上变化均不大,呈简单的单斜构造。

1.2 F2 断层带构造特征

F2 断层为一倾向正断层,倾角 62°~72°,落差为 0~16 m,延伸长度达 690 m,为可靠断层,该断层穿过的层位有 5 煤,8 煤,14-1 煤,局部切到奥灰顶界面。通过反复探测和顶板绕道施工实见,F2 断层破碎带由 5 条断层组成,分别是:F2-1 为落差

2 m 正断层,F2-2 为落差 5.2 m 正断层,F2-3 为落差 1.2 m 逆断层,F2-4 为落差 1.7 m 逆断层,F2-5 为落差 29 m 正断层。断层以南的下盘,各含水层为疏降状态,断层以北的上盘位于高水位区(含水强、压力大),如图 1 所示。

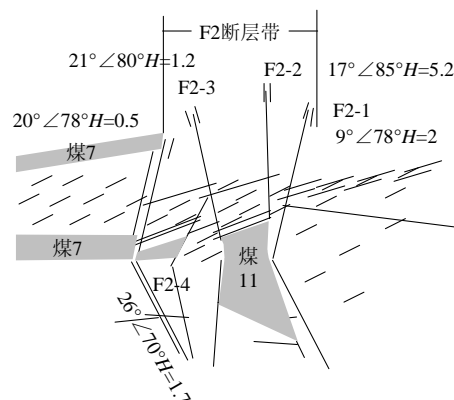


图1 地质剖面图及 F2 断层位置图

Fig.1 Section plane of F2 faulting zone

对断层管棚施工现场取出喷孔断层泥进行矿物组成分析发现断层泥中主要为黏土矿物,总量占到 54.2%,其中强膨胀性的伊蒙混层黏土矿物(I/S)和高岭石(K),分别占 52%和 46%。因此,断层夹杂物一旦遇见水时极易形成具有强流动性的泥石混和物,并且由于断层泥的强膨胀性,会产生较大的内部膨胀力,在加大的地压力和膨胀压力下,断层内所形成的泥石混和物极易沿钻孔发生喷孔、塌孔和断层泥大量涌出等灾害性现象^[10]。

2 超前管棚注浆支护技术应用及效果

2.1 -230 水平回风大巷过 F2 断层管棚注浆技术

1) -230 水平超前管棚注浆支护设计

-230 回风大巷过断层段施工断面为 4.2 m×3.1 m,永久支护断面为 3.8 m×2.9 m 拱形,管棚长度按照公式(1)确定,-230 水平管棚长度取 15 m,管棚钻孔沿巷道周边布置,见图 2。

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (1)$$

式中: L 为管棚设计长度; L_1 为保护岩柱长度; L_2 为断层破碎度宽度; L_3 为稳定基岩长度。管棚注浆支护共设计管棚孔 46 个,孔间距为 300 cm,孔深为 15 m;布设注浆孔 24 个,孔间距为 600 cm,孔深为 20 m。

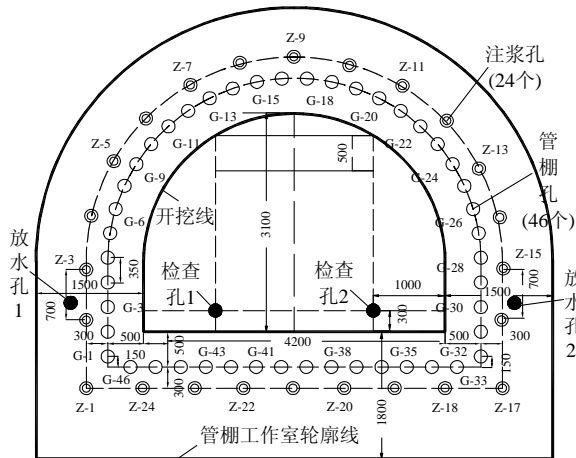


图2 -230 水平管棚工作室剖面及钻孔布置图 (mm)
Fig.2 Section plane of pipe-shed grouting roadway and distribution of drilling holes on -230 level

-230 水平过 F2 断层巷道布置及巷道内围岩变形监测点布置如图 3 所示。

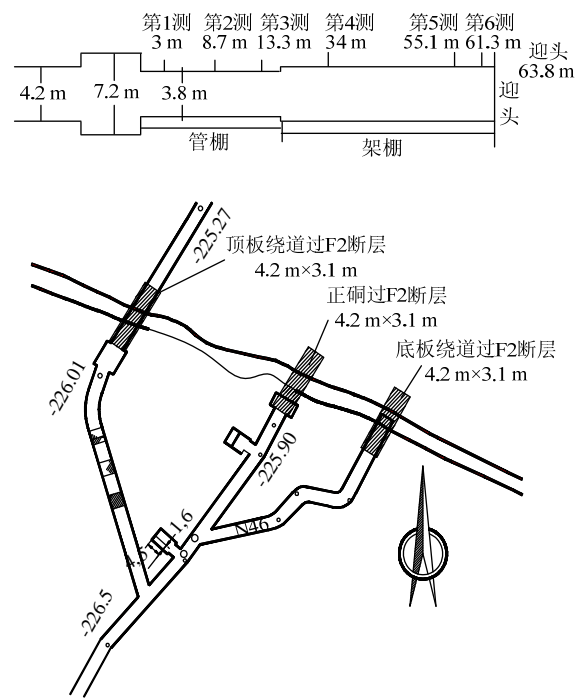


图3 -230 水平过 F2 断层巷道位置示意图
Fig.3 Position of roadways transporting F2 fault on -230 level

2) 超前管棚注浆支护设计方案数值分析
① 数值模型建立及参数选取

根据-230 水平 F2 断层探测实际情况,选取-230 回风大巷过断层段为研究对象,计算范围在平面内为 30 m×15.5 m, z 轴取-11~15 m,在上述范围内划分三维有限差分网格;同时,考虑计算范围内的施工开挖支护等因素,共剖分节点 92 169 个,单元 89 280 个,网格模型详见图 4。

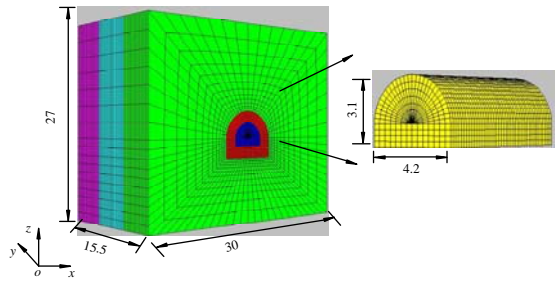


图4 数值模型网格三维图
Fig.4 Three dimensional meshed model

初始地应力在垂直方向按岩体自重考虑,水平应力通过查询东欢坨地质方面的资料, x 方向取为 8.2 MPa, y 方向取为 12.3 MPa,最大主应力方向接近于巷道的轴向,对巷道开挖后的稳定有利。针对模型煤岩体材料性质的不一致性,采用 Hoke-Brown 准则对岩石参数进行折减计算,取值情况见表 1。

表 1 岩石力学基本参数表
Table 1 Basic parameters of rock materials

岩性	伴生断层	碎裂带	注浆加固体	保护岩柱
弹性模量/GPa	1.44	0.225	1.19	1.90
体积模量/GPa	0.80	0.100	0.65	0.90
剪切模量/GPa	0.60	0.100	0.50	0.83
摩擦角/(°)	30	18	35	35
黏聚力/MPa	1.8	0	2.0	3.0
抗拉强度/MPa	1.8	0	2.0	3.0
泊松比	0.2	0.13	0.19	0.15

② 数值计算结果分析

模拟计算巷道位移结果如图 5 所示,超前管棚注浆支护技术能够较好的控制围岩变形量,其中顶板的最大位移量为 23.5 mm,底鼓最大位移量为 45 mm,两帮收敛量仅为 44 mm。

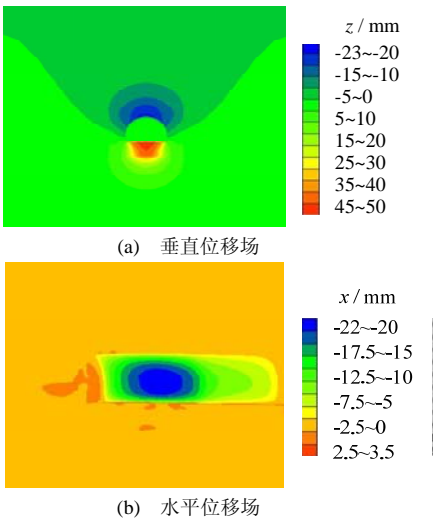


图5 超前管棚注浆支护过断层带处围岩位移云图
Fig.5 Disformation of roadway at pipe-shed grouting zone

图6分别给出了无预支护和超前管棚注浆支护过断层段巷道围岩塑性区分布图。

通过对2种支护方式断层段围岩塑性区分析可知: 无预支护条件下巷道顶、底部收敛变形严重, 底鼓变形明显, 影响巷道的施工开挖, 详见6a。图6b为采用超前管棚注浆支护过断层巷道围岩破坏形式, 主要为剪切和拉伸破坏, 顶板处塑性区范围相对较小, 仅0.8 m左右, 而底板的塑性区为1.5 m。数值计算结果表明: 超前管棚注浆支护方式能有效控制复杂断层带破碎围岩的变形。

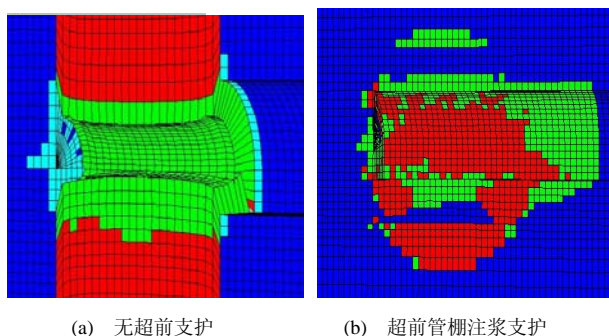


图6 -230水平围岩塑性区数值计算结果

Fig.6 Distribution of plastic zones of roadway at pipe-shed grouting zone on -230 level

3) 应用效果分析

通过对施工过程中过断层管棚支护段的两帮与顶底移近量进行监测分析超前支护效果。监测测站的布置如图3所示, 6个测站与管棚洞室外口的距离依次为: 3, 8.7, 13.3, 22.8, 34, 55.1, 61.3 m。

管棚段和架棚支护段在近160 d监测时间内顶底板移近量及两帮移近量均非常小; 最大变形出现在第3监测站处, 最大变形为两帮移近变形, 移近量为7 mm左右。顶底板最大变形位置也出现在第3监测点处, 最大变形量为3 mm左右。由此可见: 管棚支护在过断层带段围岩变形控制中效果较好。

2.2 -500水平北运输大巷过F2断层管棚注浆技术

1) -500水平管棚注浆支护设计

-500运输大巷过断层段施工断面为4.8 m×3.4 m, 永久支护断面为3.8 m×2.9 m拱形。根据-500水平实际探测F2断层带宽度以及计算公式(1), 确定管棚长度23 m。设计管棚孔50个, 孔间距为350 cm, 孔深为23 m; 布设注浆孔30个, 孔间距为700 cm, 孔深为26 m, 如图7所示。

2) 管棚支护设计方案数值模拟分析

计算结果显示: 顶板移近量约为120 mm, 底鼓量约为170 mm, 帮部变形仅为74 mm, 相对与

-230水平管棚段巷道变形略有增加, 但与无预支护开挖情况相比, 变形得到很好的控制, 如图8所示。

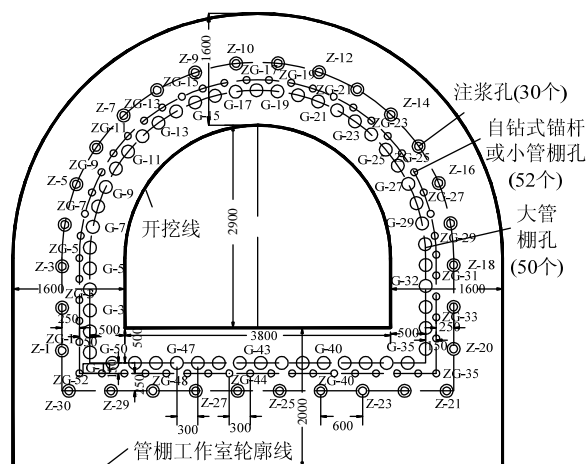
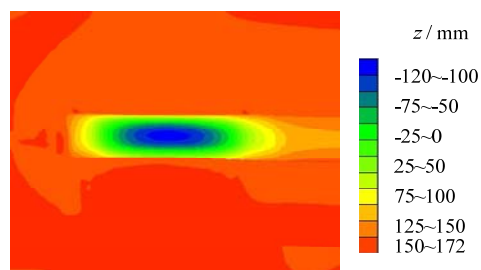
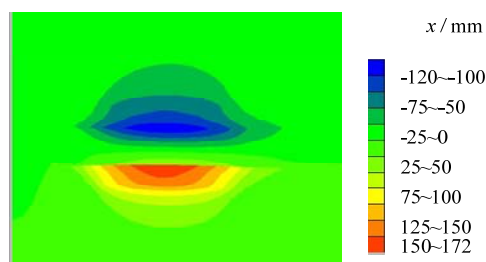


图7 -500水平管棚工作室剖面及钻孔布置图 (mm)

Fig.7 Section plane of pipe-shed grouting roadway and distribution of drilling holes on -500 level



(a) 垂直方向位移云图

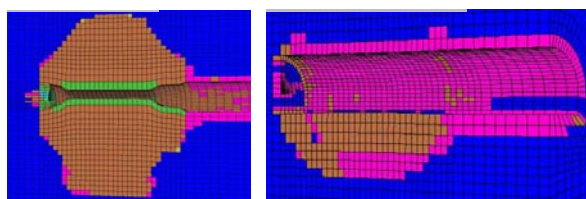


(b) 侧帮x向水平位移云图

图8 -500水平管棚预支护段围岩位移云图

Fig.8 Deformation of roadway at pipe-shed grouting zone on -500 level

图9a为无预支护条件下管棚段围岩严重变形情况。计算结果表明: 在无预支护情况下, 过断层巷道施工面临巨大的围岩失稳风险。而管棚超前支护施工可将过断层段巷道顶板松动圈控制在0.5 m内, 底板松动圈范围控制在2 m内, 侧帮松动圈范围在0.5 m之内, 可见管棚支护具有较好的围岩变形控制作用, 具体结果如图9b所示。



(a) 无超前支护 (b) 超前管棚注浆支护

图 9 -500 水平围岩塑性区数值计算结果

Fig.9 Distribution of plastic zones of roadway at pipe-shed grouting zone on -500 level

3) 应用效果分析

-500 水平北运输大巷管棚注浆过 F2 断层施工结束后, 同样进行巷道围岩应力和变形的监测, 进而评价支护效果, 监测内容包括两帮移近量、顶底移近量和支柱压力等。

通过对管棚支护段监测点两帮累计移近量和顶板移近量监测结果表明: 顶底板和两帮变形量均较小, 最大仅 8 mm, 表明管棚注浆支护在-500 水平过 F2 断层时对围岩的控制作用明显。

2.3 巷道过复杂断层带的成功经验

在-230 水平曾尝试采用底板绕道、正硐与顶板绕道 3 种方式来通过 F2 断层带, 最终利用超前管棚注浆支护技术通过顶板绕道顺利穿过 F2 断层带, 并将成功经验推广应用于-500 水平的运输大巷。而管棚施工中仍需注意以下 2 点:

1) 超前管棚注浆技术对注浆工艺要求较高, 且对地层扰动较大, 在类似复杂地质条件下实施时, 应辅助以物探手段提高注浆质量。

2) 加强对含水层水位的监测监控, 并主动对隐患较大的承压含水层进行疏防和注浆封堵, 防止出现突水或滞后突水现象。

3 结 论

1) 管棚注浆填充了松散破碎围岩裂隙, 增强了围岩的完整性及整体承载能力, 与管棚拱架组合形成强大的预支护加固体系。

2) -230 和-500 水平大巷顺利通过复杂断层带以及管棚段巷道的变形监测显示, 超前管棚注浆支护技术能够在极复杂断层带形成较强的承载力。

3) 提高管棚注浆工艺水平、加强对含水层水位的监测是超前管棚注浆支护技术对极复杂断层带破碎围岩形成有效控制的有效保障。

参考文献:

[1] 黄成光, 于敦荣. 公路隧道施工[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

- [2] 刘泉声, 张伟, 卢兴利, 等. 断层破碎带大断面巷道的安全监控与稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(10): 1954-1962.
- LIU Quan-shen, ZHANG Wei, LU Xing-lu, et al. Safety monitoring and stability analysis of large-scale roadway fault fracture zone[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(10): 1954-1962.
- [3] 周顺华. 软弱地层浅埋暗挖施工中管棚法的棚架原理[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(14): 2565-2570.
- ZHOU Shun-hua. Principle of pipe roof applied to shallow-buried tunnels in soft ground[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(14): 2565-2570.
- [4] 王海涛. 隧道管棚预支护体系的力学机理与开挖面稳定性分析[D]. 大连: 大连理工大学土木水利学院, 2009.
- [5] 李建, 谭忠盛, 喻渝等. 浅埋下穿高速公路黄土隧道管棚变形监测及受力机制分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(增刊): 3002-3007.
- LI Jian, TAN Zhong-sheng, YU yu, et al. Analysis of deformation monitoring and mechanical behaviors of big pipe-roof for shallow-buried large-span tunnel to underpass highway[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(Supp): 3002-3007.
- [6] 苟德明, 阳军生, 张戈. 浅埋暗挖隧道管棚变形监测及受力机制分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(6): 1258-1264.
- GOU De-ming, YANG Jun-sheng, ZHANG Ge. Deformation monitoring and mechanical behaviors of pipe-roof shallow tunnels[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(6): 1258-1264.
- [7] 伍振志, 傅志锋, 王静, 等. 浅埋松软地层开挖中管棚注浆法的加固机理及效果分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(6): 1025-1029.
- WU Zhen-zhi, FU Zhi-feng, WANG Jing, et al. Study of mechanism and effect of shed pipe grouting technology for tunneling construction in shallow-buried soft stratum[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(6): 1025-1029.
- [8] MIWA M, OGASAWARA M. Tunneling through an embankment using all ground fasten method[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2005, 20(2): 121-127.
- [9] 姜耀东, 朱道建, 李琦, 等. 管棚注浆法过断层施工中喷孔分析[J]. 矿山压力与顶板管理, 2005, 22(3): 3-7.
- JIANG Yao-dong, ZHU Dao-jian, LI Qi, et al. The analysis on the spewing failure in the project taking lead pipe grouting to go through the fault[J]. Ground Pressure and Strata Control, 2005, 22(3): 3-7.
- [10] 何满潮, 杨晓杰, 孙晓明. 中国煤矿软岩黏土矿物特征研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [11] 李景新. F2 断层突水机理分析及其治理[J]. 北京工业职业技术学院学报, 2009, 8(3): 9-11.
- LI Jing-xin. Analysis on water inrush mechanism of fault 2 and its control[J]. Journal of Beijing Polytechnic College, 2009, 8(3): 9-11.