

文章编号:0253-9993(2011)06-0897-06

临近巷道掘进扰动效应下巷道变形监测分析

刘泉声^{1,2} 时凯¹ 黄兴¹

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室,湖北 武汉 430071; 2. 山东科技大学 土木建筑学院,山东 青岛 266510)

摘 要:对淮南朱集矿轨道巷进行两帮收敛、拱顶沉降、底臃和锚索拉力的现场监测,基于监测结果,阐明轨道巷在相邻的胶带巷和回风巷扰动影响下围岩变形和锚索拉力的变化趋势。监测结果表明:轨道巷围岩受到了回风巷和胶带巷的扰动;变形经历较长时间后达到稳定,且底臃值大于两帮收敛和拱顶沉降;胶带巷和回风巷对轨道巷的扰动影响程度和巷道群的空间布置相关,在巷道间距大于 5 倍硐径情况下扰动仍然存在,而且扰动影响不是突变性的,具有时空效应。

关键词:巷道群; 监控量测; 扰动效应; 围岩控制

中图分类号:TD325.4 **文献标志码:**A

Analysis on site monitoring of roadway under disturbed effects by excavation of neighboring roadways

LIU Quan-sheng^{1,2}, SHI Kai¹, HUANG Xing¹

(1. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

Abstract: The on-site monitoring of horizontal convergence, crown settlement, floor heave and anchor cables tensile force was carried out in railway laneway during the construction of roadway group. According to monitoring results, the variation trend of surrounding rock deformation and tension of anchor cables was clarified. Conclusions are presented as follows: surrounding rock mass of railway laneway is disturbed by excavation of neighboring roadways; surrounding rock achieves a steady state after a long term, and floor heave is greater than horizontal convergence and crown settlement; disturbance effects, which occurs in condition of roadways spacing exceeding 5 times the size of roadway diameter, are related to spatial relative location relationship between roadways, and the deformation of railway laneway doesn't suddenly change when heading faces of neighboring roadways are close to and pass the monitoring sections. The change of deformation has spatiotemporal characteristics.

Key words: roadway group; site monitoring; disturbed effects; surrounding rock control

地下大型复杂硐室群的稳定性研究一直为理论和工程界所关注。目前对于硐室群的研究主要集中在两方面:一是大型水电站施工期间地下厂房硐室群的力学行为及其变形控制研究^[1-3];二是小间距、小净距隧道施工期间的相互影响研究^[4-6]。煤矿巷道群也应该成为研究的重要领域,在每个矿区有限的井田范围内都布置着数量相当可观的巷道,这些巷道构成了规模巨大的巷道群。巷道掘进时会对附近既

有巷道产生扰动影响,使得围岩强度变低,完整性和自稳能力变差^[7],因此,巷道的变形控制变得更加困难。

随着煤炭资源需求日益增加和浅部煤炭资源的大量开采,近年来已有一批矿山进入了千米以下的深部开采,巷道处于高地应力、高地温、高岩溶水压和强烈开采扰动的“三高一扰动”的复杂力学环境^[8]。高延法提出了岩石流变扰动效应理论^[9-10],研究岩石

收稿日期:2010-10-28 责任编辑:韩晋平

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(kzcx2-yw-152)

作者简介:刘泉声(1962—),男,江苏溧阳人,研究员,博士生导师,博士。Tel:027-87198856, E-mail:liuqs@whrsm.ac.cn

在扰动载荷作用下的流变力学特性,分析了流变扰动效应引起围岩应力场演变规律。然而,由于巷道空间关系的复杂性、地质条件的不确定性,巷道群的受力机制及其相互作用极其复杂^[11],可以根据新奥法施工的基本原理,对巷道进行现场监测,掌握围岩的变形特征和发展趋势,确保巷道群的安全和稳定^[12]。

1 工程概况

淮南朱集矿轨道巷埋深 950 m,位于东翼采区,巷道断面大,围岩强度低,原岩应力高。轨道巷南侧为回风巷,北侧布置有胶带巷,布置较密集,属于高应力软弱围岩大断面巷道群。施工进度为轨道大巷在前,回风巷次之,胶带巷在最后,其空间布置如图 1 所示。

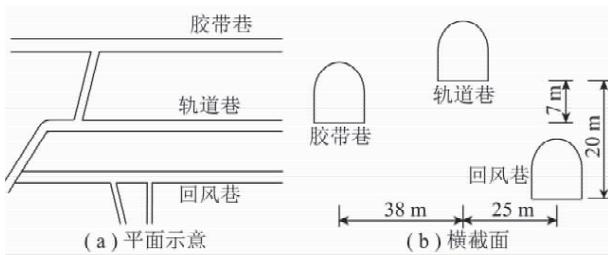


图 1 巷道相对位置关系
Fig. 1 Relative location relationship of roadways

1.1 围岩地质概况

轨道巷岩性主要为泥岩,研究区段内岩性主要是花斑泥岩:杂色,泥状结构,主要为紫红色,局部可见铁质鲕粒有少量裂隙发育,岩石抗压强度较低;另有粉砂岩:灰色,粉砂结构,块状层理,主要为石英,底部含有大量铁质鲕粒。

1.2 巷道施工方案

轨道巷采用综掘机施工,支护方式为:首先架设 29 号 U 型棚,然后施工锚索,并辅以湿喷混凝土和注浆措施。锚索直径为 22 mm,长度 6 300 mm,间排距 1.5 m × 2.1 m,每排 3 根。喷射混凝土厚度 150 mm,初喷 50 mm,复喷 50 mm,预留 50 mm,强度为 C20。注浆孔间排距为 2.0 m × 4.0 m,每排 5 孔,孔径为 42 mm,孔深为 2.0 m。注浆管规格均为 φ26.75 mm,长度为 1 200 mm。

2 监测方案

为了研究后掘进巷道对既有巷道的扰动效应,在轨道巷设立监测断面。由于施工进度之要求和施工现场的空间限制,只对轨道巷进行了表面收敛变形监测和锚索内力监测。分别设立了 3 个表面位移监测断面和 3 个锚索轴力监测断面,所有监测断面紧跟掘

进工作面设立(图 2)。

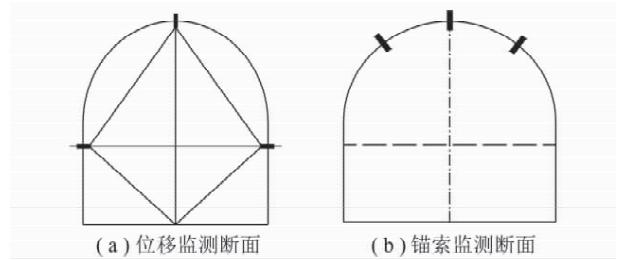


图 2 监测断面示意

Fig. 2 Sketch map of monitoring sections

巷道变形和锚索内力监测能直接反应巷道的状态,而且,国内外众多研究者发现,相比于支护表面压力和支护内力监测,变形监测数据不但具有较好的稳定性和准确性,而且在反分析中具有良好的应用效果,通过位移反分析,不但可以得到初始地应力和岩体力学参数,而且可以反映整个工程稳定性和可靠性^[13-14]。因此,这两种监测项目能够满足施工控制和进一步研究的要求。

3 监测结果分析

巷道监测人员从 2009 年 8 月进驻现场开展监测工作以来,采集了大量数据。本文将对表面位移和锚索轴力的监测成果进行分析研究。

3.1 表面位移监测结果与分析

在轨道巷依次布置了测站 1、测站 2 以及测站 3 三个监测断面(测站 1 与测站 2 相距 35 m,测站 2 与测站 3 相距 40 m)。各测站的变形值见表 1。从表 1 可以看出,轨道巷发生了大变形,尤其是底臃量非常大,最大达到了 550.2 mm。

表 1 巷道变形值

Table 1 The values of roadway deformation mm

项目	测站 1	测站 2	测站 3	平均值
拱顶下沉	165.5	224.0	235.8	208.4
底臃	550.2	496.0	455.4	500.5
两帮收敛	214.9	259.7	274.9	249.8

朱集矿属于在建矿井,工期要求高。轨道巷采用综掘机施工,施工进度快,每月进尺在 150 m 左右,日最高进尺可达到 6 m。由于掘进速度快,初期支护采用 29 号 U 型棚,其他支护措施不能紧跟掘进工作面施工。例如测站 1 设立于 2009 年 8 月,但 2009 - 11 - 03 才施工锚索,12 月 3 日才进行了喷射混凝土施工。因此,支护措施的滞后使得巷道围岩变形控制异常困难。

从图 3 各测站的监测数据来看,拱顶沉降、两帮

收敛和底臃曲线趋势基本一致。巷道初期以近似稳定的速率变形。当轨道巷两侧的回风巷和胶带巷先后接近并通过位移监测断面时, 经历两个变形速率增大的阶段, 表现为位移曲线的斜率增大。随着后掘进

巷道开挖面的推进, 影响逐渐减小。后期变形速率逐渐减小, 最终达到一个基本稳定的状态。整个过程大概要持续 120 d。另外 3 个测站的变形趋势基本一致, 起到了相互验证的作用。

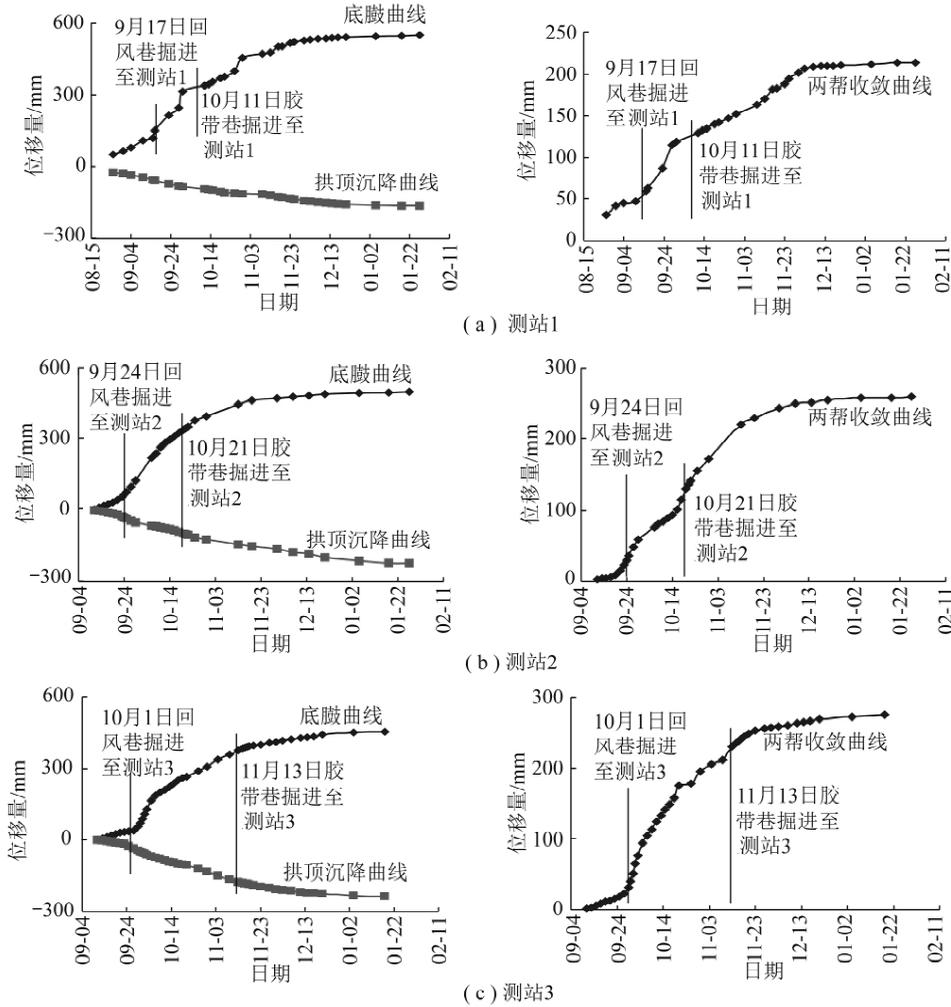


图 3 3 个测站的变形曲线

Fig. 3 Curves of deformation with time at station 1 2 and 3

初期支护采用 U 型棚支护, 钢筋网片后充填矸石, 支护结构与围岩壁不能密贴, 因此, 初期并不能有效限制围岩变形, 使得变形处于增大状态。当经过长期变形之后巷道开始稳定, 这是因为: 一方面, 围岩的变形能释放; 另一方面初期支护背后的空隙被压缩, 支护结构能有效地提供一定的支护抗力, 限制围岩变形^[15]。

从变形量值上来看, 底臃最大, 两帮收敛次之, 拱顶沉降最小。由于施工进度要求, 初期巷道底板没有采取支护措施, 整个支护结构没有封闭成环, 成为薄弱环节, 因此, 底臃量非常大, 平均为 500 mm, 远大于两帮收敛和拱顶沉降。图 4 为因底臃而产生的底板裂缝, 宽度达 20 cm。

变形速率如图 5 显示, 底板变形受回风巷和胶带

巷掘进扰动影响最大, 最大时可达到 30 mm/d (图 5(a))。由于拱顶部位支护强度较大, 拱顶沉降受到的影响最小。



图 4 底板裂缝

Fig. 4 Big crack in roadway floor

对比回风巷和胶带巷接近并通过位移监测断面

时轨道巷的变形响应可以发现,回风巷对轨道巷的扰动影响要大于胶带巷的影响,这是和巷道的空间位置相关的。如图1所示,垂直方向上,回风巷距离轨道

巷要远,水平方向上,回风巷与轨道巷的水平距离要小于轨道巷与胶带巷的水平距离。这说明水平距离起到了控制作用。

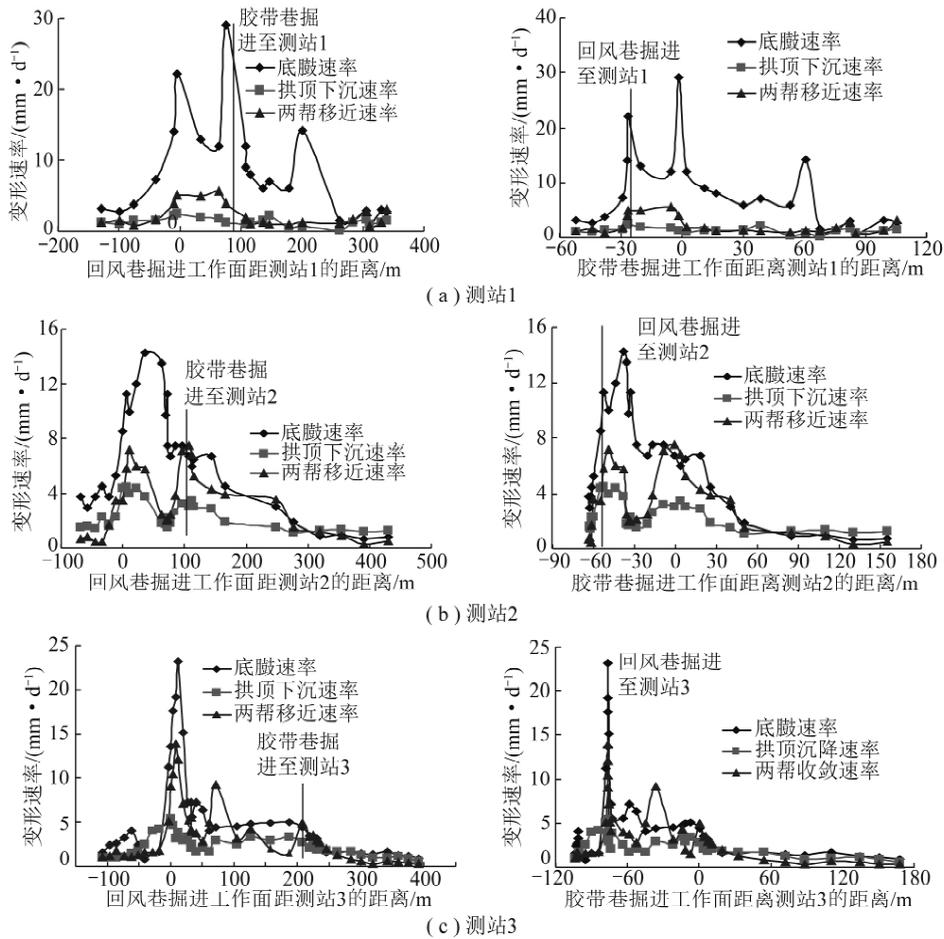


图5 3个测站的变形速度曲线

Fig. 5 Deformation velocity curves at station 1 2 and 3

3个测站对回风巷和胶带巷的扰动响应程度不同,测站1响应最弱,尤其是测站1的拱顶沉降,几乎不受扰动影响,图5(a)显示回风巷和胶带巷通过时拱顶沉降速率几乎没有变化。两帮收敛速率的增大程度也不如其他2个测站的大。

力随时间的变化曲线如图6所示。

表2 锚索拉力

Table 2 Tensile force values of anchor cables kN

项目	左肩部锚索	顶部锚索	右肩部锚索
MS1	151.25	318.75	75.50
MS2	38.60	68.75	35.80

另外,回风巷和胶带巷的扰动影响是具有时间性和空间性的。从各测站的变形速率曲线可以发现,回风巷和胶带巷接近并通过测站时,巷道变形速率是逐步增加的,而不是突然加速变化,当相邻巷道通过测站后,巷道的变形速率又逐渐降低至一个较稳定的速率。变形监测结果表明,虽然轨道巷与胶带巷和回风巷间的直线距离均已经超过5倍硐径,深井巷道群的施工扰动影响不能忽视。

锚索施工远落后于巷道掘进速度,设立锚索测站时,回风巷早已通过2个锚索测站,胶带巷已经通过MS1,但还没有通过MS2,胶带巷掘进工作面距离MS2还有20m,因此,监测数据并不能反映回风巷掘进对锚索拉力的扰动情况。

3.2 锚索轴力监测结果与分析

图6显示,除了MS2左肩部锚索外,其他5根锚索的拉力先是增大,最后逐渐稳定于某个值。左肩部锚索的拉力先是增大,经历一个下降段后又逐渐增大,最后达到一个稳定状态。究其原因,锚索张拉完成后,经历了一个预应力松弛阶段,然后随着围岩向

在轨道巷施工锚索时,设立了3个锚索轴力监测测站。但在后续施工过程中,有一测站被损坏,因此,只有2组有效数据,记为MS1和MS2(表2)。锚索轴

自由面变形的增大, 锚索拉力又逐渐增大, 当巷道围岩达到稳定状态, 锚索拉力就不再增加, 也达到一个相对稳定的状态。从锚索的拉力曲线可以发现, 拱顶部锚索拉力最大, 左肩部锚索拉力要大于右肩部锚索的拉力。

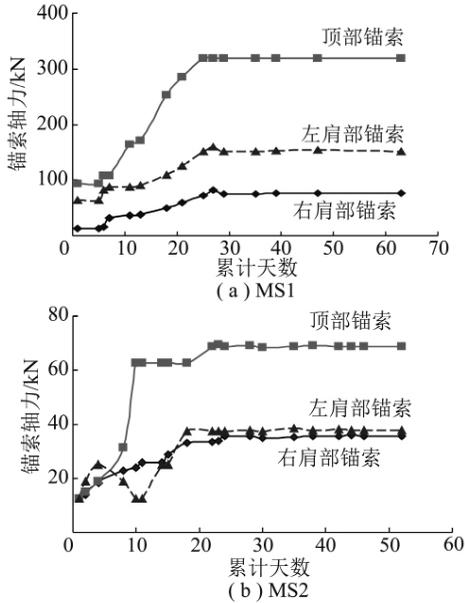


图 6 锚索拉力时程曲线

Fig. 6 Time-dependent curves of cables tensile force

从锚索张拉并安装完毕到拉力达到稳定状态, 历时 30 d 左右。MS2 于 2009 - 11 - 10 安装在位于测站 3 断面附近, 对比图 3(c) 中测站 3 的拱顶沉降曲线, 可以发现, 锚索拉力达到稳定的时间和测站 3 拱顶沉降稳定的时间基本一致, 这说明锚索作为主动支护手段起到了支护效果。

锚索布置在巷道拱顶以及靠近拱顶的两肩部, 并且, 前述位移监测结果显示, 胶带巷对轨道巷变形的扰动影响尤其是对拱顶沉降的影响较小。因此, 结合图 6 中 MS2 测站锚索拉力变化趋势与 MS1 测站基本一致的现象, 可以得到: 虽然图 7 给出了 MS2 测站锚索拉力随胶带巷掘进的变化曲线, 但是, 这并不说明, 锚索拉力的增大是因为受到了胶带巷掘进的扰动影响。

4 结 论

(1) 监测数据说明, 轨道巷围岩受到了两侧的回风巷和胶带巷的扰动。由于巷道间相互作用机理的复杂性, 只有通过监测来掌握巷道的变形和受力状态, 并依据反馈的实测数据来修改支护设计参数和施工, 才能保证巷道的安全建设。

(2) 深埋巷道在间距大于 5 倍硐径时后掘进巷道仍能对既有巷道产生扰动。后掘进巷道对既有巷

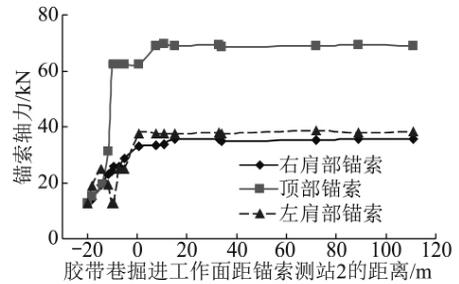


图 7 锚索拉力与随胶带巷掘进工作面到测站 2 纵向距离的关系曲线

Fig. 7 Curves of cables tensile force with longitudinal distance between heading face of belts plane lane at station 2

道的扰动影响程度与巷道的空间位置相关。简单的说, 巷道之间距离越小, 造成的影响就越大。在高应力条件下, 深部巷道围岩变形具有明显的流变性, 受施工扰动后需要经过一个较长的时间才能达到稳定状态。

(3) 在建矿井工期要求高, 巷道掘进速度快, 支护措施往往不能及时到位, 围岩会发生大变形进而破坏。U 型棚属于被动支护结构, 不能及时提供支护抗力, 必须在开巷后及时初喷封闭围岩, 并结合锚杆、锚索和注浆等措施耦合支护^[16]。监测结果表明, 巷道底板的治理是软岩巷道变形控制的难点。在后期巷修过程中, 必须重视巷道底板的支护。大量的工程实践表明, 采用底板锚索、底板注浆以及底角锚杆可以有效地控制底臃。

参考文献:

[1] 陈卫忠, 李术才, 朱维申, 等. 急倾斜层状岩体中巨型地下硐室群开挖施工理论与优化研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(19): 3 281 - 3 287.
Chen Weizhong, Li Shucai, Zhu Weishen, et al. Excavation and optimization theory for giant underground caverns constructed in high dipping laminar strata[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(19): 3 281 - 3 287.

[2] 余卫平, 耿克勤, 汪小刚. 某水电站地下厂房硐室群围岩稳定性分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(12): 1 955 - 1 960.
Yu Weiping, Geng Keqin, Wang Xiaogang. Stability analysis of surrounding rock of underground openings of a hydropower station[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(12): 1 955 - 1 960.

[3] 肖明. 地下硐室施工开挖三维动态过程数值模拟分析[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(4): 421 - 425.
Xiao Ming. Three-dimensional numerical model of construction process for underground opening[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(4): 421 - 425.

[4] 刘艳青, 钟世航, 卢汝媛, 等. 小净距并行隧道力学状态试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(5): 590 - 594.
Liu Yanqing, Zhong Shihang, Lu Rusui, et al. Experimental study on mechanical characteristics of twin tunnels with small spacing[J].

- Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2000, 19(5): 590-594.
- [5] 刘伟. 小净距公路隧道净距优化研究[D]. 上海: 同济大学, 2004: 15-20.
- [6] 夏才初, 龚建伍, 唐颖. 大断面小净距公路隧道现场监测分析研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(1): 44-50.
Xia Caichu, Gong Jianwu, Tang Ying. Study on site monitoring of large-section highway tunnels with small clear spacing[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2007, 26(1): 44-50.
- [7] 祁和刚, 郭夕祥, 于士芹, 等. 破碎大巷变形机理与锚注加固技术[J]. 煤炭学报, 2008, 33(11): 1224-1229.
Qi Hegang, Guo Xixiang, Yu Shiqin, et al. Deformation mechanism of greatly cracked tunnel and support technique by grouting and bolting[J]. Journal of China Coal Society 2008, 33(11): 1224-1229.
- [8] 何满潮, 谢和平, 彭苏萍, 等. 深部开采岩体力学研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(16): 2804-2813.
He Manchao, Xie Heping, Peng Suping, et al. Study on rock mechanics in deep mining engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2005, 24(16): 2804-2813.
- [9] 高延法, 曲祖俊, 牛学良, 等. 深井软岩巷道围岩流变与应力场演变规律[J]. 煤炭学报, 2007, 32(12): 1244-1252.
Gao Yanfa, Qu Zujun, Niu Xueliang, et al. Rheological law for soft-rock tunnel and evolution law for stress field in deep mine[J]. Journal of China Coal Society 2007, 32(12): 1244-1252.
- [10] 高延法, 肖华强, 王波, 等. 岩石流变扰动效应试验及其本构关系研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 24(17): 3180-3185.
Gao Yanfa, Xiao Huaqiang, Wang Bo, et al. Rheological test of sandstone with perturbation effect and its constitutive relationship study[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 24(17): 3180-3185.
- [11] 康红普. 煤矿井下应力场类型及相互作用分析[J]. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1329-1335.
Kang Hongpu. Analysis on types and interaction of stress fields in underground coalmines[J]. Journal of China Coal Society 2008, 33(12): 1329-1335.
- [12] 刘泉声, 白山云, 肖春喜. 基于现场监控量测的龙潭隧道施工围岩稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(10): 1982-1990.
Liu Quansheng, Bai Shanyun, Xiao Chunxi. Study on surrounding rock stability of Longtan tunnel based on in-situ monitoring measurements[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2007, 26(10): 1982-1990.
- [13] 王者超, 李术才, 陈卫忠. 分岔隧道变形监测与施工对策研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(4): 785-789.
Wang Zhechao, Li Shucai, Chen Weizhong. Deformation monitoring of bifurcation tunnel and countermeasures of construction technologies[J]. Rock and Soil Mechanics 2007, 28(4): 785-789.
- [14] 王芝银, 杨志法, 王思敬. 岩石力学位移反分析回顾及进展[J]. 力学进展, 1998, 28(4): 488-498.
Wang Zhiyin, Yang Zhifa, Wang Sijing. A review on inverse analysis of displacements in rock mechanics[J]. Advances in Mechanics, 1998, 28(4): 488-498.
- [15] 王家臣, 杨胜利. 固体充填开采支架与围岩关系研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1821-1826.
Wang Jiachen, Yang Shengli. Research on support-rock system in solid backfill mining methods[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1821-1826.
- [16] 康红普, 王金华, 林健. 煤矿巷道支护技术的研究与应用[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1809-1814.
Kang Hongpu, Wang Jinhua, Lin Jian. Study and applications of roadway support techniques for coalmines[J]. Journal of China Coal Society 2010, 35(11): 1809-1814.

本刊讯: 根据 Ei 中国信息部发布的最新收录结果, 《煤炭学报》2011 年 1~4 期共刊出论文 132 篇, 其中被 Ei Compindex 收录 132 篇, 收录率为 100%。