

黄清锋,康书生,何兴义,等.千米深井软岩巷道“让控”支护数值模拟及工程应用[J].矿业安全与环保,2018,45(6):48-52.
文章编号:1008-4495(2018)06-0048-05

千米深井软岩巷道“让控”支护数值模拟及工程应用

黄清锋,康书生,何兴义,李发西

(贵州省毕节市织金县珠藏镇宏发煤矿,贵州 毕节 552111)

摘要:针对千米深井软岩巷道的支护问题,运用数值模拟方法并结合现场工业实践对星村煤矿-1 196 m 辅助进风大巷的稳定性进行研究。重点分析了不同支护方案的应力场、位移场和塑性区的演化规律,并进行了现场应用试验。结果表明:对深部高应力软岩巷道采取“让控”支护可减小巷道应力集中程度和变形量;“让控”支护措施应用效果良好,可保持围岩的长期稳定。研究结论对指导深部高应力软岩巷道支护工程具有一定的指导意义。

关键词:高应力;软岩巷道;“让控”支护;数值模拟;工业性试验

中图分类号:TD353

文献标志码:B

Numerical Simulation and Engineering Application of Yielding Control Supporting in Soft Rock Roadway of 1 000 m Deep Well

HUANG Qingfeng, KANG Shusheng, HE Xingyi, LI Faxi

(Hongfa Coal Mine in Zhucang Town, Zhijin County, Bijie City, Guizhou Province, Bijie 552111, China)

Abstract: In view of the support problem of soft rock roadway in 1 000 m deep well, the stability of -1 196 m auxiliary wind roadway in Xingcun Coal Mine was studied by using numerical simulation method combined with field industrial test. The evolution law of stress field, displacement field and plastic zone of different supporting schemes were analyzed, and field application tests were carried out. The results show that the degree of stress concentration and roadway deformation can be reduced with the yielding control supporting technology for deep high stress soft rock roadway; the yielding control supporting measures are well applied and can maintain the long-term stability of surrounding rock. The research conclusion has certain guiding significance to guide the supporting engineering of deep high stress soft rock roadway.

Keywords: high pressure; soft rock roadway; yielding control supporting; numerical simulation; industrial test

随着煤炭开采深度的增加,深部高应力软岩巷道的支护问题已经成为制约煤炭开采发展的重大问题之一,探索深部高应力软岩巷道变形破坏特征及围岩控制机理对煤矿安全高效生产有着重要的意义。深井、软岩巷道具有围岩强度低、软弱破碎和地应力高的特点,围岩的破碎区、塑性区范围大,巷道表现出大变形、长时间持续流变的特性^[1-5]。“让控”支护技术首先采用一次高预紧力锚杆支护,提高围岩强度,使围岩内巨大的塑性能逐渐释放;其次当围岩变形达到一定程度时,再采用大刚度支护,控制围岩变形。利用“让控”支护^[6-10]技术可以有效控制巷道围岩变形,保证围岩长期稳定。

1 工程地质概况

星村煤矿-1 196 m 辅助进风大巷地面投影位置位于西风井北侧至小厂村、古路沟村。地面标高+53 ~ +55 m,巷道标高-1 070 ~ -1 220 m。从矿压观测结果来看,穿过 DF28 断层后,-1 196 m 水平轨道大巷和运输大巷变形严重,运输大巷(由 XY10 号导线点外侧 26 m 至西翼六号联络巷之间,共计 430 m)拱帮均严重变形。拱部喷体大面积开裂露网,拱部锚索、锚杆断裂较多,拱部变形下沉量平均 400 mm,帮部外鼓量 300 ~ 500 mm,底鼓量 400 ~ 800 mm。

2 数值模拟分析

2.1 数值模型方案

星村煤矿-1 196 m 辅助进风大巷断面形状为直墙半圆拱形,巷道净宽 4 740 mm,净高 4 300 mm,其

收稿日期:2018-01-19;2018-05-21 修订

作者简介:黄清锋(1980—),男,福建莆田人,现主要从事煤矿安全生产方面的工作。E-mail:11757531@qq.com。

中墙高 2 000 mm, 拱高 2 300 mm。根据星村煤矿-1 196 m 辅助进风大巷基本情况建立三维数值模型。岩层岩石力学参数见表 1, 三维数值模型见图 1。

表 1 数值模型岩石力学参数

岩性类别	体积模量/ GPa	切变模量/ GPa	黏聚力/ MPa	内摩擦角/ (°)	抗拉强度/ MPa	密度/ (kg·m ⁻³)
细砂岩	7.56	4.98	5.20	32	2.90	2 873
粉砂岩	4.50	2.25	2.16	25	2.30	2 510
泥岩	2.40	1.23	1.80	24	0.35	2 134
中砂岩	9.04	5.20	4.96	38	4.50	2 756
灰砂岩	3.00	2.50	1.02	20	1.50	1 450

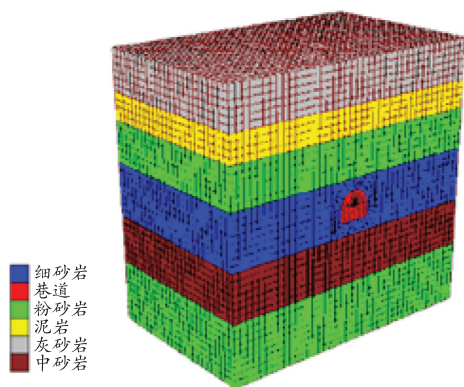


图 1 三维数值模型图

采用右手坐标系, 本次数值模拟计算模型范围取长×宽×高=40 m×25 m×40 m。按照-1 196 m 辅助进风大巷的地质条件, 将模型简化为 6 层, 分 5 种不同的岩性。模拟巷道位于模型的中央位置, 巷道为近水平布置。该模型四周边界施加水平约束, 下边界为固定边界, 上边界为应力边界, 施加覆岩自重载荷为 31.6 MPa, 计算采用 Mohr-Coulomb 破坏准则, 重力加速度取-9.8 m/s²。

数值模拟流程如图 2 所示。

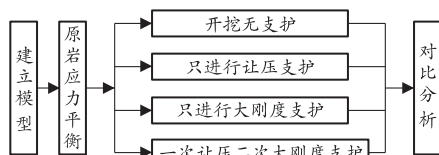
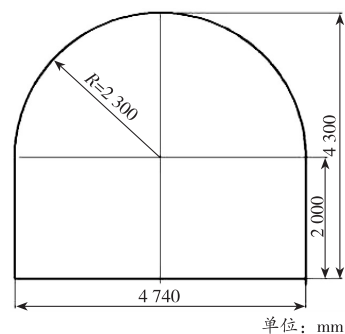


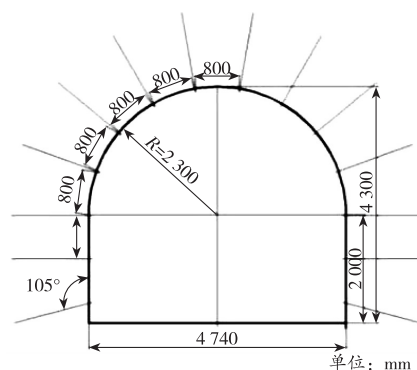
图 2 数值模拟流程图

本次数值模拟主要研究巷道围岩变形规律, 分析不同支护形式的支护效果, 为突出锚杆、锚索的支护效果^[11-12], 在模型中不铺设金属网和喷层。数值模拟中采用 4 种不同支护方案^[13-14], 分别为开挖无支护、让压支护、大刚度支护和“让控”支护, 其中让压支护采用锚杆支护方式, 大刚度支护采用锚索支

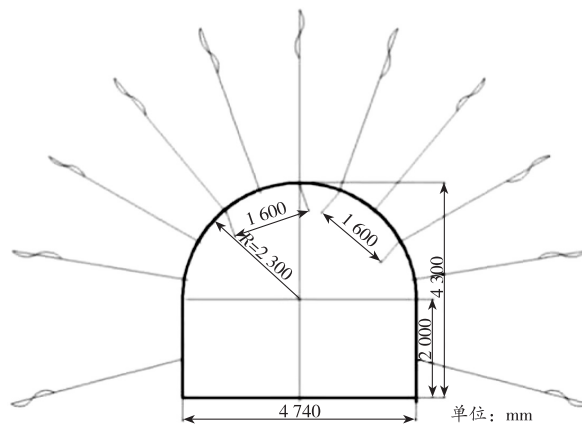
护方案, “让控”支护采用一次让压二次大刚度支护方案。各支护方案设计如图 3 所示。



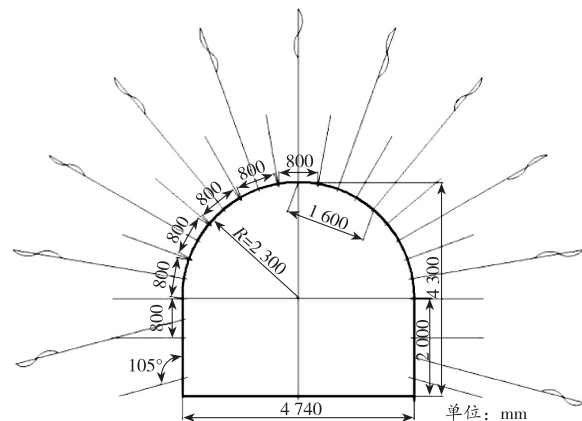
(a) 开挖无支护



(b) 让压支护



(c) 大刚度支护



(d) “让控”支护

图 3 模拟方案巷道断面支护图

各支护方案的支护参数如下:

让压支护参数:每排布置锚杆14根,间排距为800 mm×800 mm,锚杆采用螺纹式树脂锚杆,矩形布置,锚杆预紧力60 kN。

大刚度支护参数:采用型号SK22/8.0-1700Q的锚索,第1排布置5根,间距1 600 mm,第2排布置6根,间距1 600 mm,靠近底板处锚索间距2 400 mm,按排距800 mm依次循环布置,锚索预紧力250 kN。

“让控”支护参数:首先进行一次让压支护,让压支护采用锚杆支护方式,采用KMG-500/22/2400型号的锚杆,每排布置14根,间排距800 mm×800 mm,锚杆预紧力60 kN。在让压期,当巷道围岩位移变形

达到一定程度时,施加二次大刚度支护,采用型号为SK22/8.0-1700Q的锚索,第1排布置5根,间距1 600 mm,第2排布置6根,间距1 600 mm,靠近底板处锚索间距2 400 mm,按排距800 mm依次循环布置,锚索预紧力250 kN。

2.2 不同支护效果对比分析

通过数值模拟结果,分别对4种方案进行应力分析、位移分析、塑性区分析。综合评价,并选出最佳支护方式。

2.2.1 垂直应力分析

模型在4种支护方案下的巷道围岩垂直应力分布如图4所示。

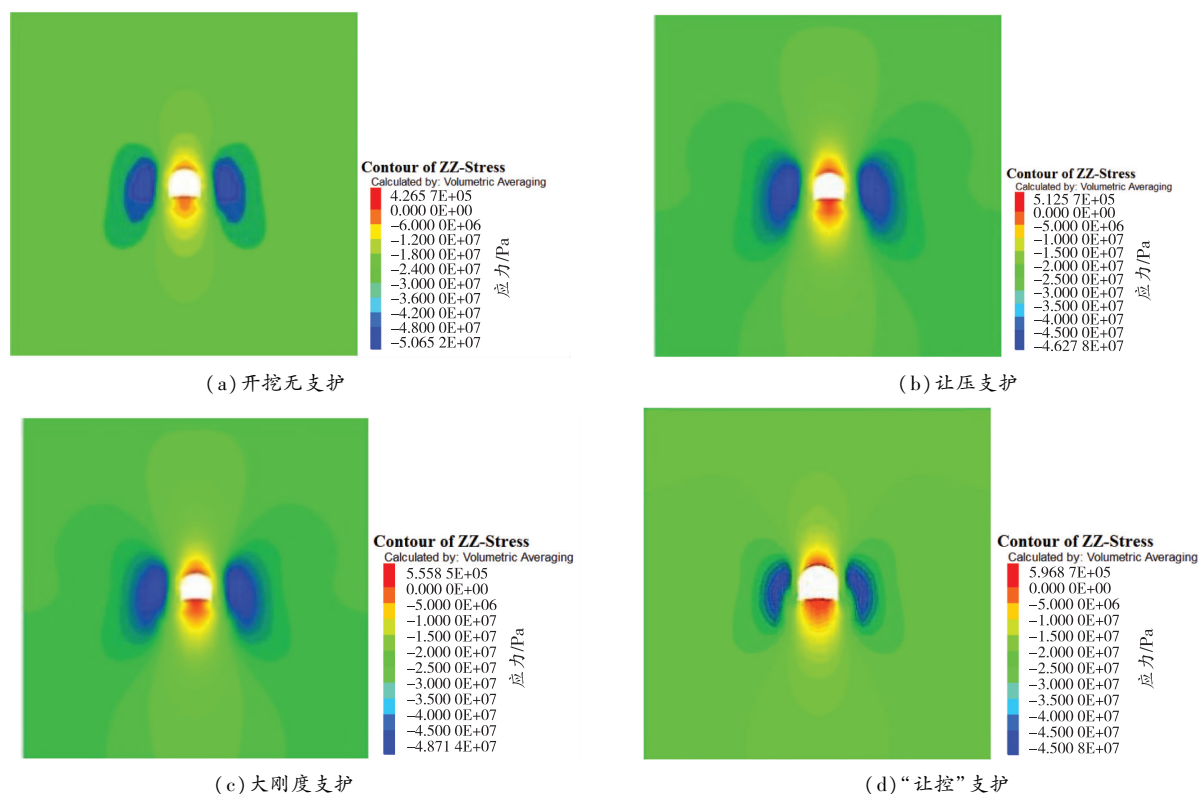


图4 巷道围岩垂直应力场分布云图

由图4可知,在无支护条件下,巷道围岩垂直应力集中于巷道两帮3~7 m区域,应力集中峰值达到50.6 MPa。采取锚杆让压支护与预应力锚索大刚度支护措施后,垂直应力峰值有所降低,应力集中范围向巷道两帮外侧稍有偏移。采取先锚杆、后锚索的“让控”支护措施后,最大垂直应力进一步减小,为45.0 MPa,应力集中程度有所降低。

2.2.2 位移分析

为了直观比较锚杆让压支护、锚索大刚度支护与先锚杆后锚索的“让控”支护对围岩变形的控制效果,监测模拟过程中围岩变形,结果见表2。可以看出,巷道在未支护情况下具有较严重的底鼓特征。

“让控”支护对巷道位移的限制,相对于让压支护与大刚度支护的效果更为突出,顶板最大下沉量和两帮移近量明显减小,底鼓变形量相比大刚度支护减小了约200 mm,说明该方案对控制巷道底鼓具有显著效果。

表2 围岩变形特性参数值

类别	顶板最大下沉量/mm	两帮移近量/mm	最大底鼓量/mm
无支护	205	212	407
让压支护	177	171	405
大刚度支护	160	135	398
“让控”支护	123	112	207

2.2.3 塑性区分析

模拟结果的围岩塑性区分布如图5所示。

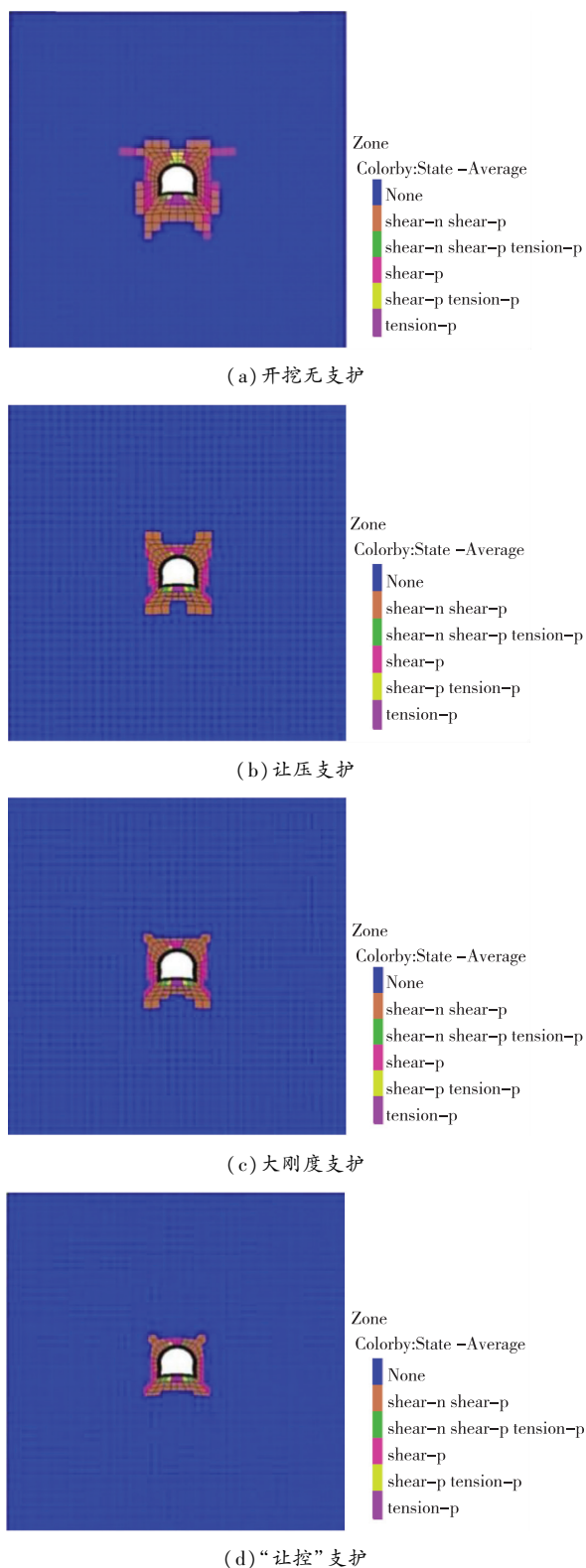


图5 巷道围岩塑性区分布云图

由图5可知,在未支护情况下巷道围岩的剪切破坏范围最大,采用“让控”支护措施时塑性区的整体范围相比于其他3种条件下均有所减小。

3 现场观测

在-1 196 m 辅助进风大巷掘进工作面端头选择一段新的试验巷道,按照之前设计的“让控”支护方案对掘进后的巷道进行支护,并进行监测。在一次让压支护后35 d 施加二次大刚度支护,并在试验地点布置6个测点,对巷道围岩进行锚杆轴力监测和位移变形监测。

3.1 锚杆轴力监测

限于篇幅,本文仅展示1#测点的数据以及结果。1#测点锚杆轴力监测结果如图6所示。

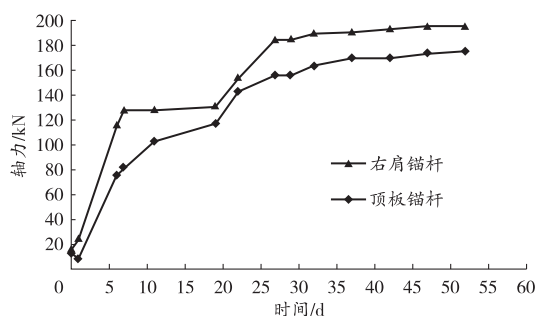


图6 1#测点锚杆轴力变化曲线

由图6可以看出,顶板锚杆的初始轴力为15 kN,在第30 d 时上升至185 kN,此后一直保持在较高的轴力状态;右肩锚杆的初始轴力为13 kN,此后迅速上升至120 kN。

在第35 d 时进行大刚度支护,顶板锚杆轴力开始呈现平稳趋势;右肩轴力趋于平稳,轴力基本稳定在175 kN 左右。

锚杆的轴力总体上呈现出随时间的增加而增大的变化趋势,在30 d 左右锚杆承受的轴力均达到最大,说明一次支护的锚杆起到了让压作用。接着通过大刚度支护,锚杆轴力趋于平稳,基本保持不变,说明二次锚索支护对围岩变形起到了较好的控制作用。

3.2 位移监测

1#测点巷道变形监测结果如图7所示。

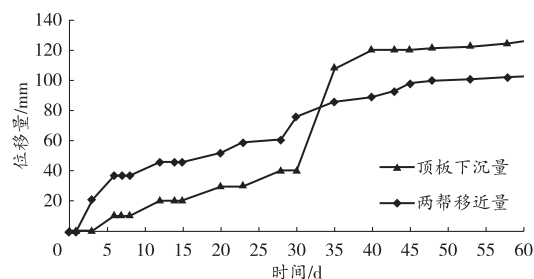


图7 1#测点巷道顶板和两帮变形位移监测曲线

由图7可以看出,未进行大刚度支护前,两帮累

计移近量最大为103 mm,在25~35 d两帮移近平均变形速率为0.2 mm/d,大于巷道近似稳定状态时的水平支护结构变形速率(0.15 mm/d);顶板累计下沉量为123 mm,顶板下沉平均变形速率为0.5 mm/d,大于巷道可视为稳定状态时垂直支护结构变形速率(0.1 mm/d),说明测站处巷道仍处于不稳定状态。

35 d之后进行二次支护,围岩继续以缓慢的速率变形,在二次支护后10 d左右逐渐趋于稳定,期间巷道顶板累计下沉量为19 mm,两帮累计移近量为13.5 mm,总体的变形量较小,巷道围岩稳定性较高,“让控”支护效果显著。

4 主要结论

1)运用数值模拟方法并结合现场工业实践对星村煤矿-1 196 m辅助进风大巷的稳定性进行了研究。数值模拟结果表明:采用“让控”支护方案,巷道围岩应力集中程度有所降低,围岩的自承能力提高,巷道围岩顶板最大下沉量和两帮最大移近量均明显减小。

2)现场监测结果表明:一次支护的锚杆起到了让压作用,二次大刚度锚索支护能有效控制围岩变形。

3)研究表明,“让控”支护技术能够满足星村煤矿-1 196 m水平巷道支护的要求,该支护方案及支护参数对星村煤矿千米深井的其他岩巷支护也具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 侯朝炯,郭励生,勾攀峰.煤巷锚杆支护[M].徐州:

中国矿业大学出版社,1999.

- [2] 李大伟,侯朝炯,柏建彪.大刚度高强度二次支护巷道控制机理与应用[J].岩土工程学报,2008(7):1072-1078.
- [3] 柏建彪,王襄禹,姚喆.高应力软岩巷道耦合支护研究[J].中国矿业大学学报,2007,36(4):421-425.
- [4] 方新秋,赵俊杰,洪木银.深井破碎围岩巷道变形机理及控制研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(1):1-7.
- [5] 吴建亭.深部巷道变形、破坏过程及其稳定控制技术[J].矿业安全与环保,2011,38(4):38-41.
- [6] 陈玉萍,张生华.软岩巷道二次支护最佳时间的研究[J].矿山压力与顶板管理,2003(2):56-58.
- [7] 何满潮,孙晓明.中国煤矿软岩巷道工程支护设计与施工指南[M].北京:科学出版社,2004.
- [8] 李英明,张瀚,孟祥瑞.软岩巷道二次支护时机研究[J].煤炭学报,2015,40(S1):47-52.
- [9] 王新军,翟加文.论深部软岩巷道支护技术系统工程方法[J].矿业安全与环保,2012,39(5):77-80.
- [10] 赵家巍,柏建彪,卞卡,等.深井软岩巷道均衡让压控制技术[J].煤炭科学技术,2013,41(4):40-44.
- [11] 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.
- [12] 李为腾,李术才,玄超,等.高应力软岩巷道支护失效机制及控制研究[J].岩石力学与工程学报,2015,34(9):1836-1848.
- [13] 康红普.我国煤矿巷道锚杆支护技术发展60年及展望[J].中国矿业大学学报,2016,45(6):1071-1081.
- [14] 杜志军,孙国文.高应力软岩条件下煤矿巷道支护研究与实践[J].西安科技大学学报,2007(3):356-358.

(责任编辑:陈玉涛)

(上接第47页)

- [8] 雷文杰,刘瑞涛,苏国韶.灰色关联优化BP神经网络预测工作面瓦斯涌出量[J].矿业安全与环保,2013,40(5):34-37.
- [9] 卢国斌,康晋恺,白刚,等.PCA-BP在回采工作面瓦斯涌出量预测中的应用[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2015,34(12):1329-1334.
- [10] 谢中华.MATLAB统计分析与应用:40个案例分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010:374-376.
- [11] 曹博,白刚,李辉.基于PCA-GA-BP神经网络的瓦斯含量预测分析[J].中国安全生产科学技术,2015,11(5):84-90.

- [12] 刘奕君,赵强,郝文利.基于遗传算法优化BP神经网络的瓦斯浓度预测研究[J].矿业安全与环保,2015,42(2):56-60.
- [13] 许宜申,顾济华,陶智,等.基于改进BP神经网络的手写字符识别[J].通信技术,2011,44(5):106-109.
- [14] 付华,谢森,徐耀松,等.基于ACC-ENN算法的煤矿瓦斯涌出量动态预测模型研究[J].煤炭学报,2014,39(7):1296-1301.
- [15] 谢仁海.煤矿地质[M].北京:煤炭工业出版社,1987.

(责任编辑:逢锦伦)