

巨厚煤层全煤巷道围岩体运移演化规律研究

狄胜同^{1,2}, 乔卫国^{1,2}, 林登阁^{1,2}, 李伟^{1,2}

(1. 山东科技大学 土木工程与建筑学院, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 山东省土木工程防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266590)

摘要:针对巨厚煤层全煤巷道围岩体的物理力学性质差、赋存条件复杂、大变形、支护难等问题,采用数值差分软件FLAC^{3D},系统分析了巨厚煤层全煤巷道开挖后围岩体的三维运移演化规律及不同赋存条件对演化规律的影响。研究发现:开挖对巨厚煤层全煤巷道围岩及掘进面前方一定范围内都有扰动影响,且在巷道围岩深部三维方向上均存在应力集中区;得出巷道围岩在不同赋存条件下呈现底板位移量>顶板位移量>帮部位移量的运移规律及塑性区扩展范围和分布状态的演化规律,为巨厚煤层全煤巷道的支护和开采提供了理论依据和技术支持。

关键词:全煤巷道;FLAC^{3D};运移演化;巨厚煤层;围岩体

中图分类号:TD325

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2015)06-0068-05

Migration Evolution of Surrounding Rock of Full Coal Roadway in Extremely Thick Coal Seam

Di Shengtong^{1,2}, Qiao Weiguo^{1,2}, Lin Dengge^{1,2}, Li Wei^{1,2}

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Shandong Provincial Key Laboratory of Civil Engineering Disaster Prevention and Control, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Considering the poor physical and mechanical properties of the surrounding rock mass of full coal roadway in extremely thick coal seam, the complicated occurrence conditions, large deformation, and difficult support, the numerical difference software FLAC^{3D} was used to analyze the three-dimensional migration evolution of surrounding rock after the full coal roadway were excavated and the influence of different occurrence conditions on the evolution law. Through the analysis, it is found that the excavation has disturbance effects on both the surrounding rock of the full coal roadway in extremely thick coal seam and its front side within a certain range of excavation, and that there exist stress concentration in all three dimensions of the roadway surrounding rock at the depth. It is concluded that the migration of roadway surrounding rock under different occurrence conditions follows the rule of the floor displacement > the roof displacement > the side displacement. Besides, the evolution law of the plastic zone extended range and its distribution are also obtained. All these provides the theoretical guidance and technical support for the mining and supporting of the full coal roadway in extremely thick coal seam.

Key words: full coal roadway; FLAC^{3D}; migration evolution; extremely thick coal seam; surrounding rock

收稿日期:2015-04-16

基金项目:国家自然科学基金项目(51174128,51474135)

作者简介:狄胜同(1990—),男,山东临沂人,硕士研究生,主要从事矿山与城市地下工程方面的研究。

E-mail: dishengtong@163.com

乔卫国(1963—),男,山东荣成人,教授,博士生导师,主要从事岩体加固理论与应用技术方面的研究,本文通信作者。E-mail: qiaowg1@163.com

随着我国中东部地区煤炭资源的日益枯竭,煤炭工业“十二五”规划将我国煤炭生产格局转变为“控制东部、稳定中部、开发西部”,将我国煤炭资源的开发重点逐渐转移到了西部地区^[1]。新疆等西部地区赋存有丰富的煤炭资源,赋存特点是厚煤层广泛分布且巨厚煤层较多,单层厚度可达几十米,有的甚至几百米^[2-3]。巨厚煤层巷道全部布置在煤层当中,由于全煤巷道顶板为松软易碎的顶煤,锚杆支护系统作用机理与稳定岩石顶板条件下的支护系统迥然不同^[4-6],且煤层软弱,抗压强度低,煤岩体多具有松散、破碎、易片帮冒顶等特性,在高应力下呈现流变等特征明显,导致支护困难。专家学者已经对全煤巷道的破坏机理及支护技术做过很多研究^[7-10],但大都是针对某一矿区或某一具体地质情况,没有对巨厚煤层全煤巷道的多方面因素做系统研究。本研究以新疆准东矿为背景,针对不同的煤层赋存条件,运用 FLAC^{3D} 数值模拟软件,对巨厚煤层全煤巷道开挖后围岩体的运移演化规律进行了系统分析,为类似工程实践提供理论依据和技术支持。

1 工程背景

新疆准东矿二号井位于克拉麦里山南麓,地貌形态为残丘状剥蚀平原与戈壁。海拔 549~840 m,相对高差 291 m,地势总趋势为北高南低,平均地形坡度 2°,除个别孤零山丘外,地形较平坦。

井田内可采煤层为 B₁ 煤层,可采厚度为 30.30~70.57 m,平均 53.16 m,变异系数为 0.14,面积可采性指数 100%,煤层倾角较缓,仅 1°~3°,局部最大约 6°,属稳定、结构简单、全区可采巨厚煤层。

B₁ 煤层伪顶多为高炭泥岩、炭质泥岩、含炭泥岩,直接顶板多以泥岩、粗砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩为主,少见细砂岩及中砂岩。其中粗砂岩孔隙率略高于同类岩石的经验值,个别粉砂质泥岩的吸水率高于同类岩石的经验值,其饱和抗压强度为 1.3~23.6 MPa,为软弱岩石,均易软化。个别细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩由于泥质含量高,遇水裂解。B₁ 煤层顶板岩石内部凝聚力低,层间结合力差,易沿软弱面层间滑动,抗拉抗剪断能力偏低。伪底多以高炭泥岩、炭质泥岩、含炭泥岩为主,直接底板多以泥岩、粗砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩为主。其物理力学性质的试验指标与同类岩石的经验值相当,饱和抗压强度为 1.3~21.4 MPa,为软弱岩石。B₁ 煤层底板岩石内部凝聚力一般偏低,层间结合力差,易沿软弱面层间滑动,抗拉抗剪断能力偏低。

2 数值模拟

采用 FLAC^{3D} 数值模拟软件,选取准东矿二号井辅助运输大巷为研究对象,巷道断面为直墙半圆拱型,规格为 5.6 m×4.6 m。如图 1 所示,模拟模型为长×宽×高=50 m×40 m×40 m,共划分 124 800 个单元和 130 611 个节点。本模型限制其底部和侧向移动,以模拟巷道围岩的约束条件;根据巷道不同埋深和不同侧压力系数施加不同的自重应力和水平应力,以模拟巷道不同的赋存条件;工程岩体的物理力学参数按照实验室岩石三轴抗压实验和单轴抗压实验计算取值;采用 Mohr-Coulomb 破坏准则,以揭示巨厚煤层全煤巷道开挖后围岩体的运移演化规律。

3 巨厚煤层全煤巷道三维运移演化规律

以巷道埋深 500 m,侧压力系数 1 为例,选取巷道中心断面为基准面,分别沿断面径向和巷道走向布置两条监测线,研究巷道开挖后三维方向上的位移及应力运移演化规律。

3.1 巨厚煤层全煤巷道位移三维演化规律

由图 2(a)可见,巷道开挖以后,围岩应力状态由三向受力转化为二向受力,应力重新分布,导致巷道围岩发生移动,巷道表面处位移量最大,沿径向纵深逐渐减小,近似呈三次多项式曲线递减。由于全煤巷道围岩力学性质较差,内聚力及抗拉

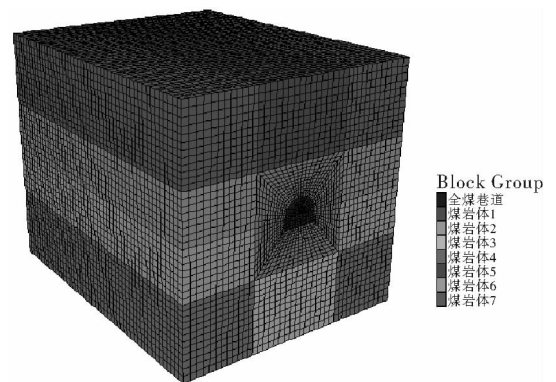


图 1 巨厚煤层全煤巷道三维数值模型

Fig. 1 Three-dimensional numerical model of the full coal roadway

强度较低,导致发生位移移动的范围较大,塑性区半径为 5 m 左右。

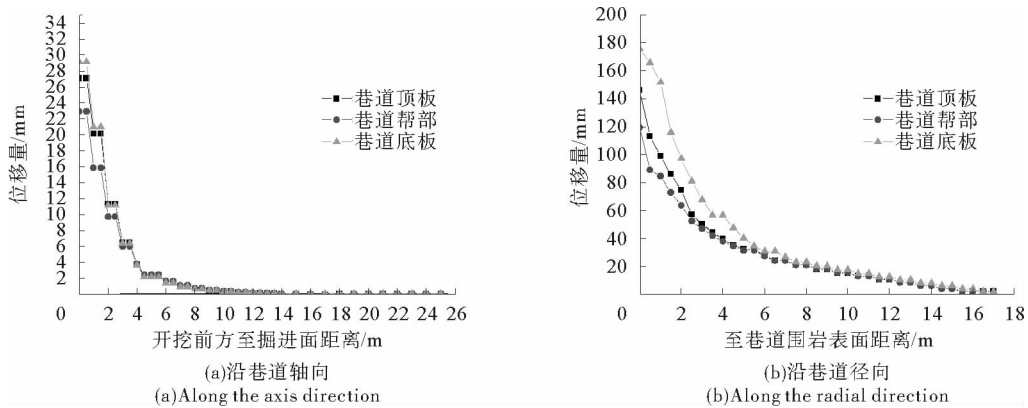


图 2 巨厚煤层全煤巷道位移三维演化规律

Fig. 2 Three-dimensional evolution regularity of displacement in full coal roadway

沿巷道轴向方向,巷道的开挖也可对掘进面前方造成一定程度的扰动,由图 2(b)可知,开挖造成掘进面前方煤岩体发生移动,在底板处影响最大,位移可达 30 mm 左右;帮部最小,为 23 mm 左右。在掘进面前方 5 m 内扰动程度较大,之后扰动程度迅速减小,10 m 以后的煤岩体几乎不再受掘进面开挖的影响。

3.2 巨厚煤层全煤巷道应力三维演化规律

由图 3(a)可知:巷道开挖后,沿断面径向方向巷道表面发生松动形成塑性区,应力向深部转移;距巷道围岩表面 5~6 m 处出现应力集中区,最大应力达到 17.5 MPa;当破裂面形成后,应力集中区域向岩体深部转移,围岩浅层应力又逐渐恢复至原岩应力状态(12.5 MPa)。

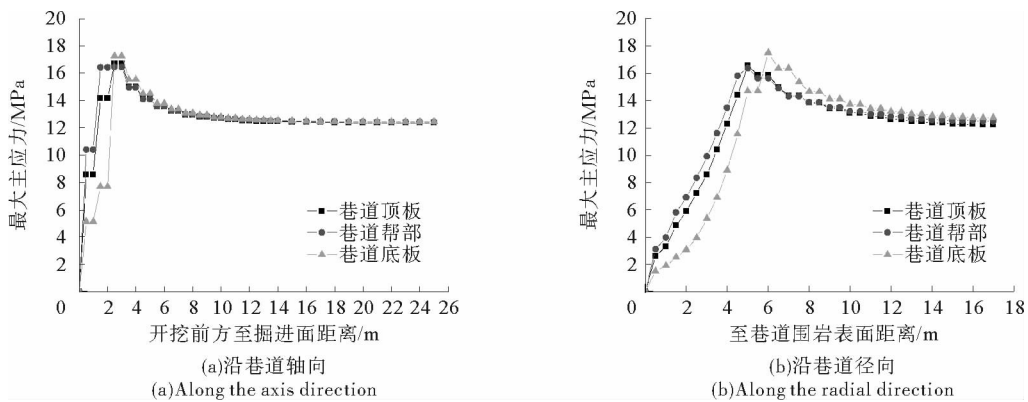


图 3 巨厚煤层全煤巷道应力三维演化规律

Fig. 3 Three-dimensional evolution regularity of stress in full coal roadway

由图 3(b)可以发现,在掘进面前方 3 m 处会出现应力集中区,且在 3 m 范围内应力急剧升高至 17 MPa,后逐渐恢复至原岩应力(12.5 MPa),10 m 以后几乎不再受掘进面开挖扰动的影

响。由数值模拟结果可以发现,针对不同的煤层赋存条件,伴随着巷道开挖,都会在巷道围岩一定范围内出现应力集中区,并且该应力集中区分布在塑性区与原岩弹性区的交界处。巷道开挖以后,围岩附近岩石破碎,应力和强度都明显下降,裂隙扩张增多,容积扩大,出现明显的塑性滑移,失去了承载能力,而深部的原岩弹性区受开挖影响小,较完整,随着应力重新分布,具有承载能力的塑性区与弹性区的交界处会向深层转移。

4 不同赋存条件下的巨厚煤层全煤巷道运移演化规律

为研究不同赋存条件下巨厚煤层全煤巷道的位移及塑性区运移演化规律,分别选取不同的巷道埋深和侧压力系数来表征不同的赋存条件。

4.1 不同埋深下的巨厚煤层全煤巷道运移演化规律

埋深分别取 100,200,300,⋯,1000 m 共 10 个不同值,侧压力系数取值为 1,模拟结果如图 4(a)所示,经数据拟合分析可以发现,巷道围岩的最大位移量(Y)与巷道埋深(H)呈三次多项式关系: $Y = A + BH + CH^2 + DH^3$,其中 A, B, C, D 为常数,且表现为 $Y_{\text{底板}} > Y_{\text{顶板}} > Y_{\text{帮部}}$ 的运移规律。

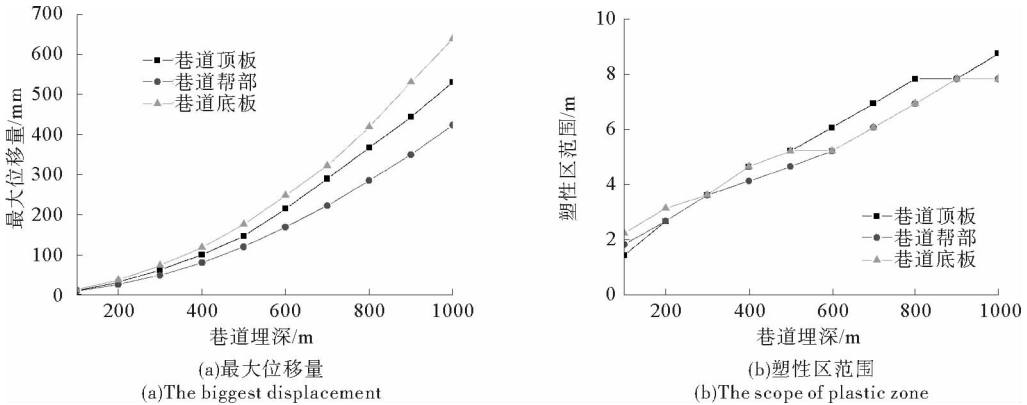


图 4 不同埋深下的巨厚煤层全煤巷道运移演化规律

Fig. 4 Migration evolution of surrounding rock of full coal roadway under different depths

由图 4(b)可见,随着巷道埋深的增加,巨厚煤层全煤巷道围岩体塑性区范围近似呈直线发展,且当埋深 $H \leq 300$ m 时,全煤巷道围岩体塑性区最大深度呈现 $R_{\text{底板}} > R_{\text{帮部}} > R_{\text{顶板}}$,当埋深 $H > 300$ m 时,塑性区最大深度总体表现为 $R_{\text{顶板}} > R_{\text{底板}} > R_{\text{帮部}}$ 。由塑性区分布图可以发现,随着埋深的不断增加,巷道周围塑性区范围不断扩展,而分布状态却逐渐趋于均匀。

4.2 不同侧压力系数下的巨厚煤层全煤巷道运移演化规律

实测资料表明,我国岩石的原岩应力侧压力系数一般在 0.8~3.0,而大部分为 0.8~1.5,遂取侧压力系数 0.6,0.7,0.8,⋯,1.5 共 10 个不同值,用以研究侧压力系数对巨厚煤层全煤巷道开挖后围岩的位移及塑性区的演化规律。

对模拟结果进行数据拟合,如图 5(a)所示。可以发现,巷道围岩的最大位移量 Y 与侧压力系数 λ 近似呈 $Y = A + B\lambda + C\lambda^2$ 二次多项式关系增长,其中 A, B, C 为常数,呈现 $Y_{\text{底板}} > Y_{\text{顶板}} > Y_{\text{帮部}}$ 的演化规律,随着

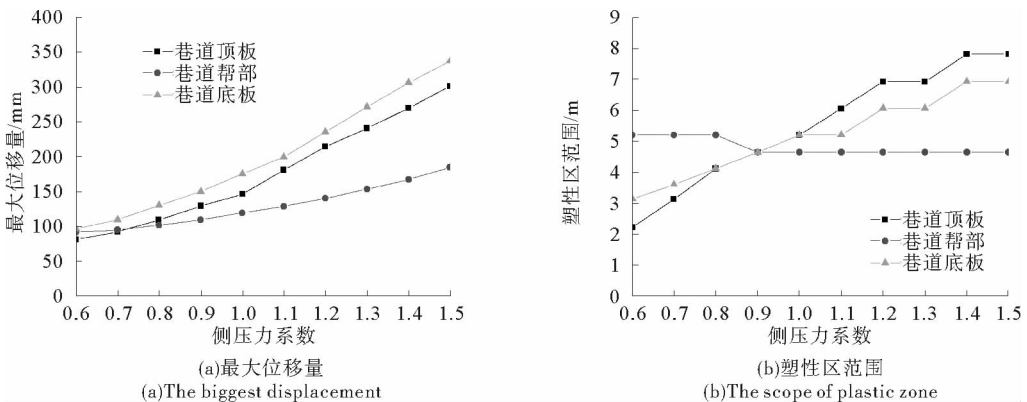


图 5 不同侧压力系数下的巨厚煤层全煤巷道运移演化规律

Fig. 5 Migration evolution of surrounding rock of full coal roadway under different lateral pressure coefficients

侧压力系数的增大,帮部位移量的增加幅度逐渐变缓,且逐渐落后于顶底板的的增长幅度。

由图 5(b)可以看出,当侧压力系数为 0.6 时,全煤巷道帮部塑性区最大深度为 5.2 m,远大于顶板 2.22 m 和底板 3.12 m 的最大深度,塑性区分布较“扁平”;当侧压力系数为 1.5 时,帮部塑性区最大深度为 4.64 m,已远小于顶板 7.81 m 和底板 6.92 m 的最大深度,塑性区分布为上下较宽,中间较窄的“瘦高”形。当侧压力系数 ≤ 0.9 时,塑性区最大深度呈现 $R_{帮部} > R_{底板} > R_{顶板}$ 的分布规律;而当侧压系数 ≥ 1 时,塑性区范围由“近圆”形逐渐转化成“瘦高”形,塑性区范围呈现出 $R_{顶板} > R_{底板} > R_{帮部}$ 的分布规律,且顶底板的增幅大于帮部的增幅。

5 结论

1) 巨厚煤层全煤巷道在开挖后会在三维方向上对围岩造成较大扰动;应力重新分布后,会在开挖掘进面径向和轴向一定深度内形成三维应力集中区,对巷道的支护造成一定困难。

2) 巨厚煤层全煤巷道开挖后围岩的最大位移量与巷道埋深呈三次多项式关系,与侧压系数呈二次多项式关系。埋深对巷道运移演化的影响权重大于侧压系数的影响权重。

3) 不同赋存条件下的巨厚煤层全煤巷道,开挖后围岩变形特征普遍呈现底板位移量 $>$ 顶板位移量 $>$ 帮部位移量的运移规律,底鼓会成为巨厚煤层全煤巷道主要的破坏形式,同时也要防止冒顶片帮等破坏形式。

4) 巷道埋深对巨厚煤层全煤巷道围岩塑性区的扩展范围影响较大,对分布状态影响较小;而侧压力系数对巷道围岩塑性区的扩展范围和分布状态影响都较大。随着侧压力系数的增大,顶底板处的塑性区最大深度大幅度升高,总体塑性区分布呈现由“扁平”状到“近圆”状到“瘦高”状的演化规律。

参考文献:

- [1] 许猛堂. 新疆巨厚煤层开采围岩活动规律及其控制研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014: 1-3.
- [2] 乔卫国, 程少北, 林登阁, 等. 巨厚煤层全煤巷道破坏机理及注浆效果数值模拟[J]. 金属矿山, 2014(2): 26-29.
Qiao Weiguo, Cheng Shaobei, Lin Dengge, et al. Numerical simulation research of failure mechanism and grouting effects of full seam gateway in extremely thick coal seams[J]. Metal Mine, 2014(2): 26-29.
- [3] 胡社荣, 蔺丽娜, 黄灿, 等. 超厚煤层分布与成因模式[J]. 中国煤炭地质, 2010, 23(1): 1-5.
Hu Sherong, Lin Lina, Huang Can, et al. Distribution and genetic model of extra-thick coal seams[J]. Coal Geology of China, 2010, 23(1): 1-5.
- [4] 李志峰. 厚煤层全煤巷道锚杆支护设计与应用[J]. 黑龙江科技信息, 2007(12): 60.
Li Zhifeng. Design and application of bolt support for full seam gateway in thick seam[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2007(12): 60.
- [5] 刘文涛, 何满潮, 齐干, 等. 深部全煤巷道锚网耦合支护技术应用研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(3): 272-276.
Liu Wentao, He Manchao, Qi Gan, et al. Application of bolting with wire mesh coupling supporting technique in deep-buried full seam gateway[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(3): 272-276.
- [6] 满慎刚, 贾红果, 张广超. 大断面煤巷锚网索联合支护安全技术研究[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2014, 33(3): 32-37.
Man Shengang, Jia Hongguo, Zhang Guangchao. Bolt-mesh-anchor combined support safety technology in large cross section roadway[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2014, 33(3): 32-37.
- [7] 王金华. 全煤巷道锚杆锚索联合支护机理与效果分析[J]. 煤炭学报, 2012, 37(1): 1-7.
Wang Jinhua. Analysis on mechanism and effect of rock bolts and cables in gateroad with coal seam as roof[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(1): 1-7.
- [8] 刘节影, 孟宪锐, 问荣峰, 等. 特厚煤层高应力区全煤巷道矿压显现规律研究[J]. 煤炭工程, 2008(4): 61-63.
Liu Jieying, Meng Xianrui, Wen Rongfeng, et al. Study on observations on underground pressure of special thick seam at full seam gateway in high stress area[J]. Coal Engineering, 2008(4): 61-63.
- [9] 金燕燕. 深部松散全煤巷道围岩变形特征分析[J]. 安徽建筑工业学院学报: 自然科学版, 2013, 21(3): 91-93.
Jin Yanyan. Deformation characteristics analysis of surrounding rock in deep loose coal roadway[J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry: Natural Science, 2013, 21(3): 91-93.
- [10] 贾安立, 黄旭. 高应力厚煤层全煤巷道锚杆支护研究[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(7): 45-48.
Jia Anli, Huang Xu. Research on bolt support system for full seam gateway in high stressed thick seam[J]. Coal Science and Technology, 2005, 33(7): 45-48.