

巷道支护中锚固段位置对深部围岩塑性区的影响

肖宇¹, 王卫军^{1,2*}, 袁超¹, 黄聪¹, 唐利明¹

(1. 湖南科技大学 资源与环境安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 南方煤矿瓦斯与顶板灾害预防控制安全生产重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 本文以江西曲江矿区 212 工作面风巷为研究对象, 基于 3DEC 数值模拟软件, 结合理论分析, 研究了不同支护方式对巷道稳定性的影响。研究表明: (1) 锚杆锚固段位置能够影响巷道围岩塑性区范围。当锚杆(锚索)锚固段处于弹性区时, 锚杆(锚索)对巷道围岩塑性区扩展的控制效果良好; 而锚杆(锚索)锚固段处于塑性区内时, 锚杆(锚索)不能有效的控制围岩塑性区扩展。(2) 围岩塑性区范围与巷道变形量存在相对一致性, 塑性区范围越大巷道断面的变形量越大。(3) 在巷道支护中单纯使用锚杆支护无法有效控制围岩变形, 为达到控制巷道围岩稳定的目的须使锚杆(锚索)充分发挥锚固作用, 将锚固段置于弹性区内, 应采用锚杆锚索耦合支护。

关键词: 深部围岩; 塑性区; 锚固段; 3DEC; 数值模拟

中图分类号: TD322

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2020)01-0001-06

Influence of Anchorage Section Position in Roadway Support on Plastic Zone of Deep Surrounding Rock

Xiao Yu¹, Wang Weijun^{1,2}, Yuan Chao¹, Huang Cong¹, Tang Liming¹

(1. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Work Safety Key Lab on Prevention and Control of Gas and Roof Disasters for Southern Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: This paper takes the 212 working face wind tunnel in Qujiang mining area of Jiangxi Province as the engineering background. Based on 3DEC numerical simulation software and theoretical analysis, it studies the influence of different support methods on the stability of the tunnel. Results show that (1) the location of the anchor section can influence the plastic area of the surrounding rock in the roadway. When the anchor is in the elastic zone, the control effect of the anchor on the expansion of the plastic area of the surrounding rock in the roadway is good, and when the anchor is in the plastic zone, it cannot effectively control the deformation of the surrounding rock; (2) the range of the plastic area of the surrounding rock is relatively consistent with the amount of deformation of the roadway, the greater the deformation of the larger section of the roadway; (3) the roadway support alone cannot effectively control the use of anchor support rock deformation, in order to achieve the purpose of controlling the roadway rock stability shall make the anchor give full play to the role of the anchoring, the anchor section is placed in the elastic zone, should be used anchor cable joint support.

Keywords: deep surrounding rock; plastic zone; anchorage section; 3DEC; numerical simulation

收稿日期: 2019-08-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51804109; 51434006; 51874130); 湖南省教育厅科研资助项目(18C0333); 湖南科技大学博士启动基金资助项目(E51851)

* 通信作者, E-mail: wjwang@hnust.edu.cn

$$\frac{1 - \cos 2\varphi}{2} \left\{ (P_1 + \lambda P_1) \left(\frac{R_0^2}{r^2} \right) - 2 \cos 2\theta \left(\frac{R_0^2}{r^2} \right) (\lambda P_1 - P_1) - 4c^2 \right\} - 2c \sin 2\varphi \left[(P_1 + \lambda P_1) - 2 \left(\frac{R_0^2}{r^2} \right) \cos 2\theta (\lambda P_1 - P_1) \right] - 4c^2 = 0. \quad (1)$$

式中: P_1 为垂直应力; λ 为垂直应力和水平应力的比值; R_0 为巷道半径; r 和 θ 为任一点的极坐标; c 、 φ 分别为围岩黏聚力和内摩擦角。

通过式(1)借助 MATLAB 和 CAD 等软件计算并绘制出不同侧压系数下塑性区的形状,并且揭示了塑性区发展规律和侧压系数的关系.得到的巷道围岩塑性区边界近似曲线如图 2 所示。

由图 2 可以清楚地看到当巷道处于非等压的条件下时,围岩塑性区一般为蝶型.参考我国煤矿开采现状,埋深较浅的煤炭资源几乎开采完毕,为实现煤炭工业的可持续发展,开采深度逐年增加,深部巷道也越来越多.埋深大的巷道几乎全是高应力非等压的条件下,也就是说巷道围岩塑性区大多是蝶形塑性区.基于此,本文就深部巷道围岩塑性区展开研究。

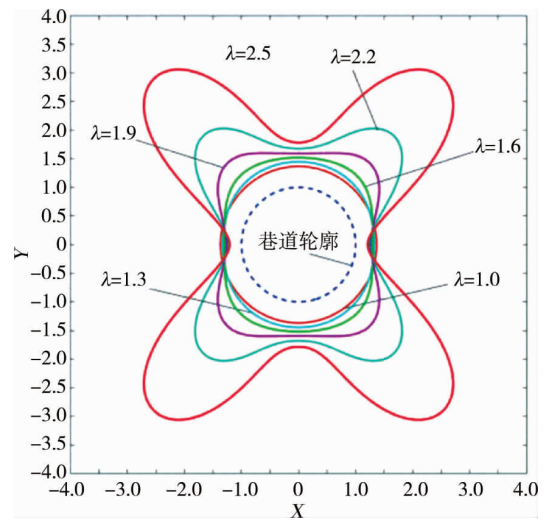


图 2 不同侧压系数条件下巷道围岩的塑性区边界

3 锚杆-锚索锚固段对围岩塑性区的影响

在当前巷道的支护手段中,锚杆-锚索支护应用得最为广泛,而锚杆-锚索的锚固段位于围岩中的位置会直接地影响到支护效果.锚固段在围岩中位置一般分为两种:第一种是锚固段在塑性区,第二种锚杆贯穿了塑性区锚固段到达了弹性区.因弹塑性区围岩强度差异,锚固段处于不同的位置对控制围岩塑性区扩展的效果是不同的,同时对巷道的支护效果也是有差异的.已有成果中^[18,19]多为使用有限元模拟软件如 FLAC^{3D} 进行模拟,为验证锚杆锚索不同锚固段对塑性区发育的影响,本文使用离散元模拟软件 3DEC 进行研究。

4 锚固段对围岩塑性区影响 3DEC 数值模拟

4.1 使用离散元软件模拟巷道围岩的优势

岩体中每个岩块之间存在节理、裂隙等,使整个岩体成为不完全连续体,以连续介质力学为基础的有限元等数值计算方法难以模拟岩体的离层和脱落过程.3DEC 是基于离散元单元法的三维计算机数值模拟程序,离散单元法的原理是假设被节理裂隙切割的岩块是刚体,岩石块体按照整个岩体的节理裂隙相互镶嵌排列,每个岩块在空间有自己的位置并处于平衡状态,在模拟岩体的离层和脱落过程具有得天独厚的优势,选用离散元模拟软件进行模拟计算能使数值模型与工程实际更加贴切。

4.2 模型尺寸及参数

通过上文的理论分析,我们知道锚固段处于不同的位置对控制围岩塑性区扩展的效果也是不同的,同时对巷道的支护效果也是不一样的,为了能够更直观的体现锚杆锚固段位置的不同对巷道围岩位移以及塑性区发展的影响,运用 3DEC 数值分析软件计算模型,模型尺寸:50 m×50 m×20 m;计算模型侧压系数设置为 0.3^[15];通过工程背景可知巷道所处位置的原岩应力为 27 MPa,模型除上部自由外其他面固定位移约束,上部施加应力模拟上覆岩层重力,计算模型采用 Mohr-Coulomb 屈服准则。

围岩应力场与位移场主要的决定因素是岩体本身的物理力学性质与巷道围岩应力环境.在地下工程中,巷道围岩体往往不是均质的,为消除围岩岩体力学参数对模型计算结果的影响,笔者将计算模型的围岩力学参数取为同一种岩体力学参数(见表 1).同时取与实际的梯形断面相似的 4 m×4 m 的矩形断面巷道进行模拟。

表1 岩石参数

岩性	密度/(g/cm ³)	抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比 μ	粘聚力/MPa	内摩擦角/(°)
等效岩体	2.81	3.2	48	0.16	12	35

4.3 不同锚固段条件下塑性区的发展情况及分析

图3是锚固段处于不同位置情况下的深部巷道围岩塑性区范围与形态。

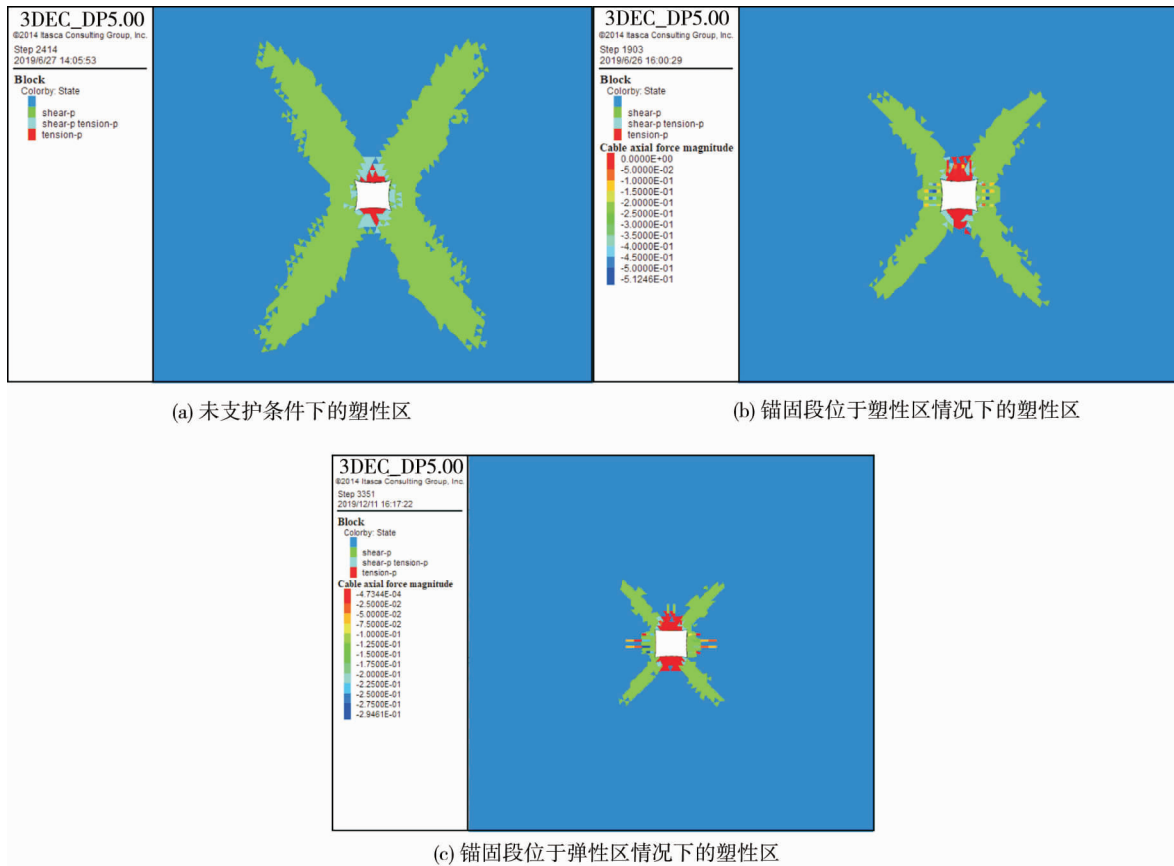


图3 锚固段处于不同位置情况下的深部巷道围岩塑性区范围与形态

数值模拟计算结果表明,由于锚固段位置的差异导致对控制围岩塑性区扩展的效果也是不同的.从图3的锚杆锚索受力情况分析,当锚固段在塑性区的时候锚杆受到的力比较小,没能充分地发挥锚杆的支护性能,当使用锚杆与锚索联合支护使锚固段完全处于弹性区范围内,穿过塑性区的锚索与围岩黏结在一起并且悬吊在弹性区坚硬和完好的岩体上,这样就能有效地控制塑性区的扩展.在未支护时塑性区的蝶叶长度为26.5 m(图3a),锚固段在塑性区时蝶叶长度为11.67 m(图3b),锚固段在弹性区时蝶叶长度为7 m(图3c).锚固段在塑性区时对塑性区的控制量为14.83 m,锚固段在弹性区时对塑性区的控制量为19.5 m.所以当锚固段在塑性区的时候虽然对塑性区也有控制效果,但是效果并不明显,然而当锚固段位于弹性区的时候塑性区就能够得到明显的控制.

4.4 不同锚固段条件下巷道围岩位移情况及分析

图4是未支护条件下(4a),锚固段在塑性区(4b)和锚固段在弹性区(4c)时巷道围岩在X方向的位移情况.

图4a中,巷道左侧最大位移量为298 mm,右侧最大位移量为296 mm;图4b中,巷道左侧最大位移量为187 mm,右侧最大位移量为195 mm;图3c中,巷道左侧最大位移量为45 mm,右侧最大位移量为45 mm.锚固段在塑性区时巷道左侧最大位移量减少了111 mm,右侧减少101 mm;锚固段在弹性区时巷道左侧位移量减少253 mm,右侧减少251 mm.

图5是未支护条件下(5a),锚固段在塑性区(5b)和锚固段在弹性区(5c)时巷道围岩在Z方向的位移情况.

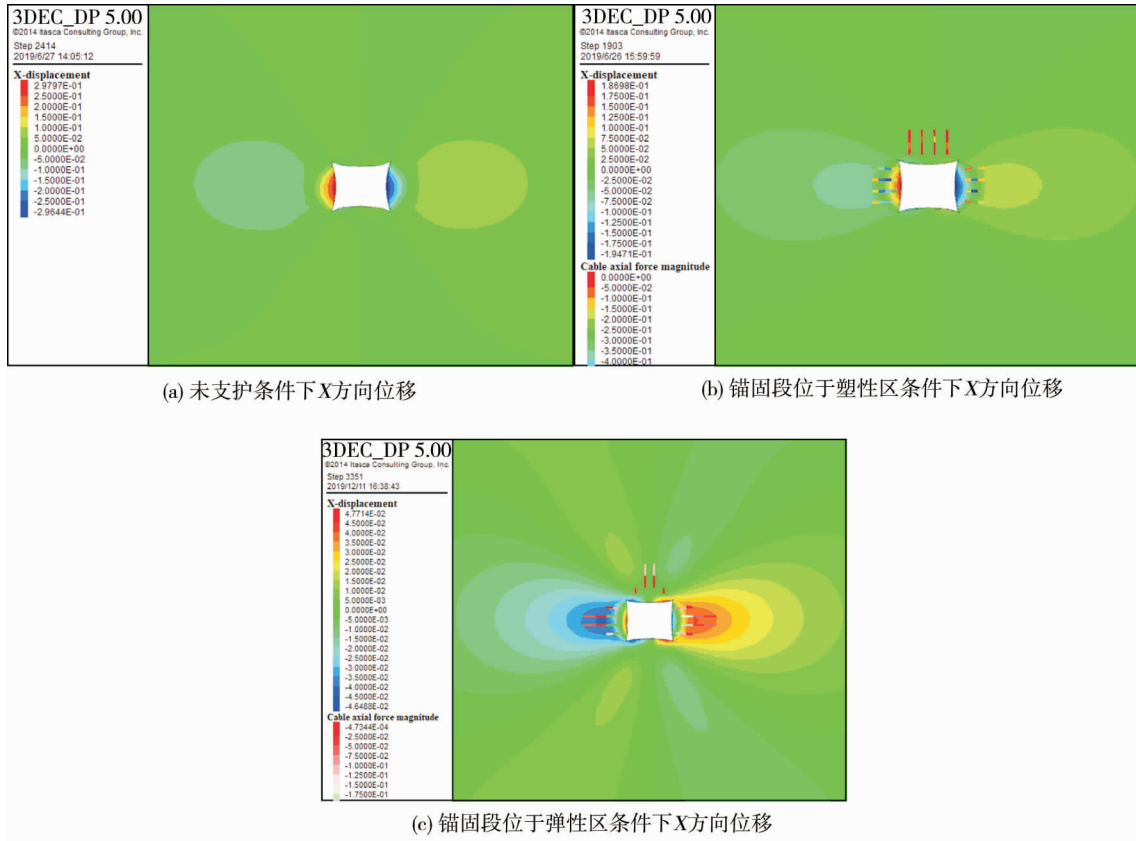


图 4 锚固段处于不同位置情况下的深部巷道围岩 X 方向位移

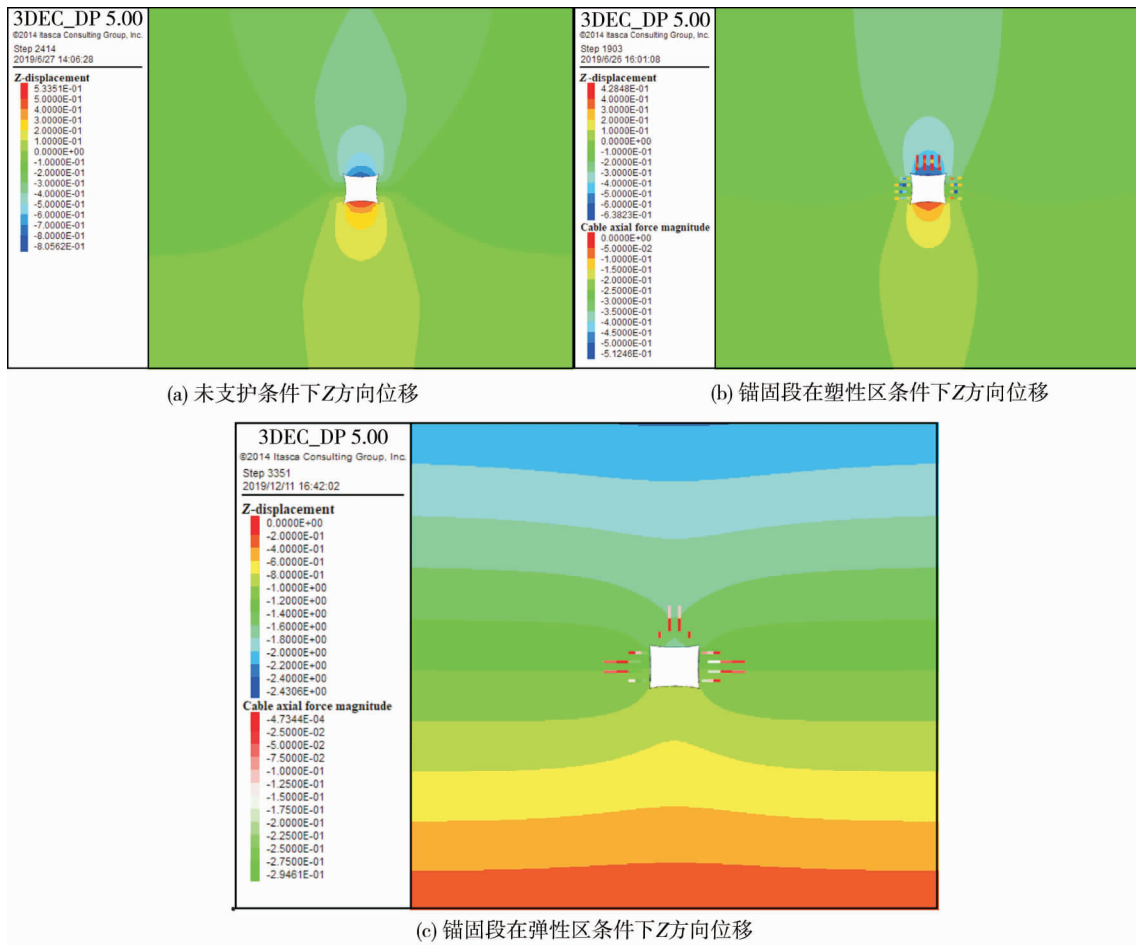


图 5 锚固段处于不同位置情况下的深部巷道围岩 Z 方向位移

图5a中,最大顶板下沉量为805 mm,最大底鼓量为533 mm;图5b中,最大顶板下沉量为638 mm,最大底鼓量为428 mm;图4c中,最大顶板下沉量为400 mm,最大底鼓量为200 mm.锚固段在塑性区时巷道顶板最大下沉量减少了167 mm,最大底鼓量减少了105 mm;锚固段在弹性区时巷道顶板最大下沉量减少了405 mm,最大底鼓量减少333 mm.

综上,锚固段在塑性区时 X 方向巷道围岩位移减少量是未支护条件下的34.1%, Z 方向巷道围岩减少量是未支护条件下的19.6%;锚固段在弹性区时 X 方向巷道围岩位移减少量是未支护条件下的84.8%, Z 方向巷道围岩减少量是未支护条件下的56.4%.相比于锚固段处于塑性区范围内,锚固段完全处于弹性区范围内能更加有效地控制巷道围岩的变形量,支护效果更加显著.大变形巷道中塑性区范围较大,由于锚杆长度有限,锚杆锚固段完全处于塑性区范围内,无法充分发挥锚固作用,应加入锚索组成锚杆锚索耦合支护,以实现控制巷道围岩大变形的目的.

5 结论

1)相比锚固段位于塑性区范围内,锚固段位于弹性区范围内的锚固效果更明显,能更加有效地控制巷道围岩的变形量,支护效果更加显著.

2)塑性区蝶叶长度正相关于巷道断面收缩量,即塑性区蝶叶越长巷道断面的收缩量越大.

3)大变形巷道中塑性区范围较大,锚杆长度有限,锚杆锚固段完全处于塑性区范围内,无法充分发挥锚固作用;而锚杆-锚索耦合支护可实现锚固段处于弹性区范围内,从而控制深部巷道围岩大变形.

参考文献:

- [1] 谢和平,高峰,鞠杨,等.深部开采的定量界定与分析[J].煤炭学报,2015,40(1):1-10.
- [2] 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):2803-2813.
- [3] 贺永年,韩立军,邵鹏,等.深部巷道稳定的若干岩石力学问题[J].中国矿业大学学报,2006,35(3):288-295.
- [4] 蒋斌松,张强,贺永年,等.深部圆形巷道破裂围岩的弹塑性分析[J].岩石力学与工程学报,2007,26(5):982-986.
- [5] Kastner H.隧道与坑道静力学[M].同济大学,译.上海:上海科学技术出版社,1980.
- [6] 曾开华,鞠海燕,盛国君,等.巷道围岩弹塑性解析解及工程应用[J].煤炭学报,2011,36(5):752-755.
- [7] 马念杰,侯朝炯.采准巷道矿压理论及应用[M].北京:煤炭工业出版社,1994.
- [8] 钱鸣高,石平五.矿山压力与岩层控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,2003.
- [9] 于学馥,乔端.轴变论和围岩稳定轴比三规律[J].有色金属,1981,33(3):8-15.
- [10] 康红普,林健,吴拥政.全断面高预应力强力锚索支护技术及其在动压巷道中的应用[J].煤炭学报,2009,34(9):1153-1159.
- [11] 周安伟,王育良,贾西阁.两帮加固对控制深部巷道顶底板变形机理研究[J].煤炭技术,2015(1):87-89.
- [12] 何富连,张广超.大断面采动剧烈影响煤巷变形破坏机制与控制技术[J].采矿与安全工程学报,2016,33(3):423-430.
- [13] 康红普,姜鹏飞,蔡嘉芳.锚杆支护应力场测试与分析[J].煤炭学报,2014,39(8):1521-1529.
- [14] 王卫军,袁超,余伟健,等.采动影响下底板暗斜井的破坏机理及其控制[J].煤炭学报,2014,39(8):1463-1472.
- [15] 王卫军,袁超,余伟健,等.深部高应力巷道围岩预留变形控制技术[J].煤炭学报,2016,41(9):2156-2164.
- [16] 袁超.深部巷道围岩变形破坏机理与稳定性控制原理研究[D].湘潭:湖南科技大学,2017.
- [17] 赵志强.大变形回采巷道围岩变形破坏机理与控制方法研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2014.
- [18] 赵志强,马念杰,郭晓菲,等.大变形回采巷道蝶叶型冒顶机理与控制[J].煤炭学报,2016,41(12):2932-2939.
- [19] 孟庆彬,韩立军,张帆舸,等.深部高应力软岩巷道耦合支护效应研究及应用[J].岩土力学,2017,38(5):1424-1435.