

# 基于3DEC的大采高回采巷道围岩变形特征研究

Study on Deformation Characteristics of Surrounding Rock of Large Mining Height Roadway Based on 3DEC

李季 (盘州市能源局, 贵州 盘州 553536)

**摘要:**为探究大采高回采巷道围岩变形失稳特征,通过3DEC数值模拟软件,以22204辅助运输平巷为背景,分别分析了巷道围岩裂隙发育、应力分布、位移分布以及塑性区分布特征。研究结果表明:大采高回采巷道围岩裂隙发育、变形具有非对称性,随着工作面推进,巷道围岩位移量不断增大,其中较大水平位移向巷帮中上部及顶板位置转移,且靠近煤柱一侧巷帮水平位移、裂隙发育较为显著;采动影响下巷道围岩发生了一定程度的剪切破坏,导致其煤岩体应力释放,且煤柱长期处于高应力状态,因而靠近煤柱一侧的巷帮及巷道顶板塑性破坏较为严重和频繁。基于此,明确了大采高回采巷道围岩变形的重点防控区域,为该类巷道围岩稳定性控制提供参考。

**关键词:**巷道失稳;大采高;围岩变形;数值模拟

**中图分类号:** TD322<sup>+</sup>.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2023)01-0067-05

**Abstract:** In order to explore the deformation and instability characteristics of the surrounding rock in the large mining height mining roadway, through the 3DEC numerical simulation software, with the 22204 auxiliary transportation roadway as the background, the characteristics of cracks development, stress distribution, displacement distribution and plastic zone distribution in the surrounding rock of the roadway are analyzed respectively. Results show that the cracks development and deformation of surrounding rock in large mining height roadway are asymmetric. As the working face advances, the displacements of the roadway continue to increase. Among them, the larger horizontal displacement is transferred to the middle and upper part of the roadway and the roof position, and the horizontal displacement of the roadway near the coal pillar side and the development of cracks are more significant; Under the influence of mining, the surrounding rock of the roadway undergoes a certain degree of shear failure, which leads to the release of the stress of the coal and rock mass. In addition, the coal pillar is in a state of high stress for a long time, so the plastic failure of the roadway side and roadway roof near the coal pillar is more serious and frequent. Based on this, the key prevention and control areas for surrounding rock deformation of large mining height mining roadways are defined, which provides a reference for the stability control of such roadways.

**Key words:** roadway instability; large mining height; surrounding rock deformation; numerical simulation

## 1 前言

近年来,大采高综采技术已经得到了快速的发展,其具有产量大、效率高、煤损少等优点<sup>[1-2]</sup>,较好地应用于神东矿区,且针对大柳塔、上湾、祁连塔等煤矿的大采高一次采全厚技术有了相对较深研究<sup>[3-5]</sup>。其中针对大采高综采工作面回采巷道围岩稳定性的研究,党兴旺<sup>[6]</sup>综合采用多种研究方法对大采高大断面巷道支护技术进行了较好的研究,并

确定了适合三交河煤矿大采高回采巷道的围岩控制原则;谢福星等通过FLAC<sup>3D</sup>数值模拟,分析了煤柱宽度、采高和采动剧烈程度3个主导因素对大采高巷道围岩稳定性的影响规律<sup>[7]</sup>,并以王家岭矿20321煤巷为背景探究了大断面巷道采动影响下的非对称矿压显现规律<sup>[8]</sup>;汪琦等<sup>[9]</sup>通过数值模拟的方法探究了深井破碎围岩大断面巷道支护困难的问题,并针对性提出合理的支护方案。诸如此类不同煤层赋存条件和开采技术下的巷道围岩失稳机理及稳定性控制已经有了一定的研究<sup>[10-13]</sup>,同时也可以明确大采高回采巷道围岩失稳会直接影响该类矿井的安全高效开采,因此有必要进一步分析大采高回采巷道围岩失稳特征,从而有针对性地为围岩稳

[作者简介] 李季(1986—),男,汉族,工程师,长期从事煤矿瓦斯治理及通风管理相关工作。

[引用格式] 李季.基于3DEC的大采高回采巷道围岩变形特征研究[J].中国矿山工程,2023,52(1):67-71.

定性控制提供参考。

## 2 工程概况

榆神矿区某矿 2<sup>-2</sup>煤回风大巷、2<sup>-2</sup>煤胶运大巷、2<sup>-2</sup>煤辅运大巷现已基本布置完成,下阶段将为 8.22 m 大采高一次采全厚工作面布置做准备,现以 22204 回采巷道中辅助运输平巷为例,分析大采高回采巷道受巷道掘进扰动、本工作面回采扰动影响下其围岩变形失稳特征。

2<sup>-2</sup>煤层赋存较稳定,煤层整体较平缓,煤层整体向西倾斜,倾角 0.6°左右,煤层的平均厚度为 8.22 m(不含夹矸)。伪顶为煤、泥岩,厚约 0.33 m;直接顶为砂质泥岩,厚 2.36 m;基本顶为粉砂岩,具有水平层理,层厚 12.43 m,2<sup>-2</sup>煤层顶板基岩饱和抗压强度平均为 26.4 MPa,属不稳定型—较稳定型顶板,具体工作面综合柱状图如图 1 所示。22204 辅助运输平巷布置如图 2 所示,该回采巷道设计为矩形巷道,预计掘进宽 6 m、高 5 m,当本工作面回采完成,同时将会作为下一工作面的回风平巷。

柱状	累深/m	累厚/m	岩层名称
	81.56	6.69	砂质泥岩
	81.56	1.00	中粒砂岩
	81.56	0.75	2 <sup>-2</sup> 上煤
	81.56	2.70	细粒砂岩
	98.44	12.43	粉砂岩
	100.80	2.36	砂质泥岩
	100.92	0.12	煤
	101.13	0.21	泥岩
	109.50	8.22	2 <sup>-2</sup> 煤
		12.82	粉砂岩

图 1 工作面综合柱状图

## 3 数值模型建立

为获得大采高回采巷道采动失稳特征,以 2<sup>-2</sup>煤 22204 辅助运输平巷布置为背景,利用 3DEC 数值模拟软件模拟该巷道受掘进扰动、本工作面回采扰动其围岩变形失稳特征。建立如图 3 所示的数值模型,该模型的长(x 方向)、宽(y 方向)、高(z 方

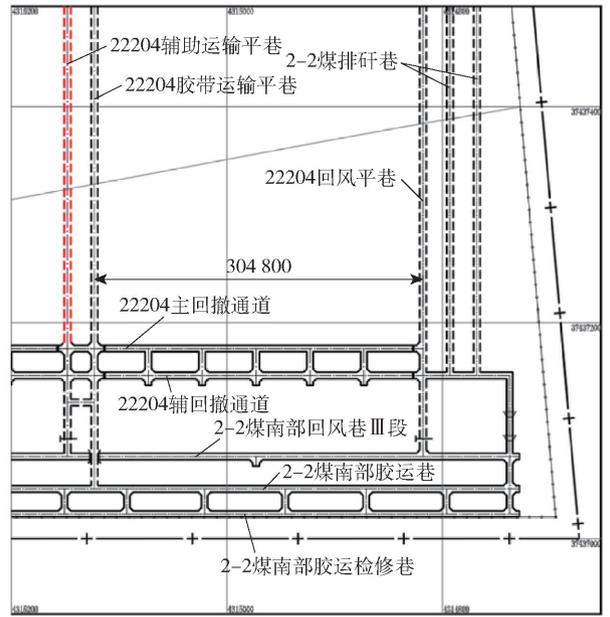


图 2 22204 回采巷道布置图

向)分别为 370 m、20 m、100 m,其中工作面长 305 m,巷道宽 6 m、高 4 m,由于该巷道现阶段未施工,实际区段煤柱未定,因此该模拟假设预留 10 m 的区段护巷窄煤柱,模型靠近巷道一端留设 45 m 的实煤体,模型另一端留设 10 m 的煤柱。拟模拟工作面向前推进 20 m(y 方向),每次推进 10 m。分别获得不同阶段的巷道围岩裂隙发育特征、垂直应力分布特征、位移分布特征以及围岩塑性区分布情况。

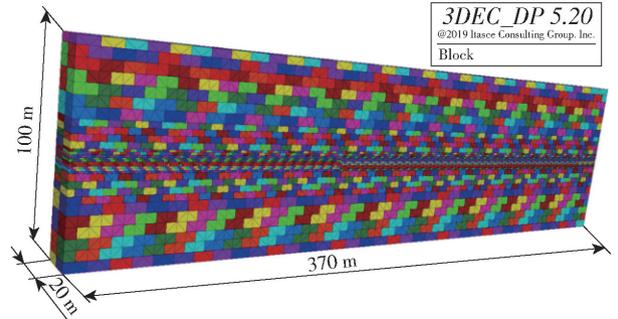


图 3 3DEC 数值模型

## 4 大采高巷道围岩稳定性分析

### 4.1 巷道围岩裂隙发育特征

为获得不同阶段巷道围岩裂隙发育情况,分别垂直于推进方向对模型进行切片,模拟如图 4 所示。由图可以得知,当巷道掘进过程中以及掘巷影响稳定后,巷道围岩相对稳定,几乎无明显裂隙发育;当本工作面回采过程中,巷道围岩宏观裂隙发育,其中工作面向前推进 10 m 时仅在巷道顶部煤体、护巷煤柱中产生少量裂隙;随着工作面向前推进 20 m 时,

巷道顶部煤体、护巷煤柱中裂隙发育显著,数量明显增多,且下一工作面开采一侧巷帮裂隙同样发育显著,此时巷道两帮及顶板均发生了明显变形,尤其护巷煤柱变形及裂隙发育较为严重。

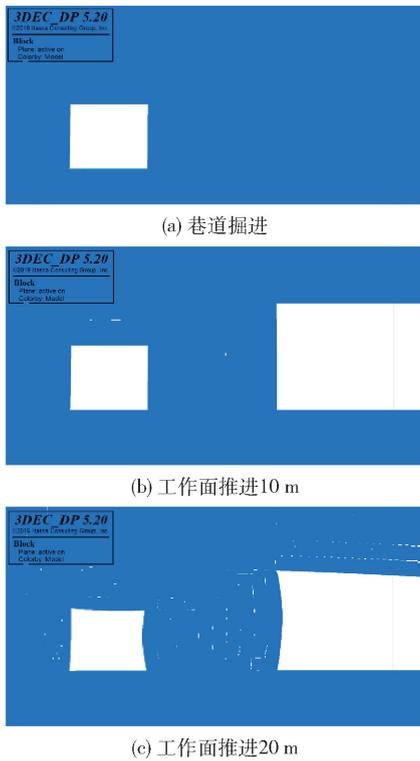


图 4 巷道围岩裂隙发育图

#### 4.2 巷道围岩垂直应力分布特征

图 5 所示为巷道围岩垂直应力分布云图,当巷道掘进后在其两帮深处煤体中出现明显的垂直应力集中现象,垂直应力峰值可达 14.897 MPa,而巷道两帮自煤壁 1~2 m 处以及巷道顶底板出现了明显应力释放区,应力释放后垂直应力几乎为 0,尤其巷道顶部煤体应力释放区范围较大;当本工作面开始回采,推进至 10 m 时垂直应力集中位置主要位于护巷煤柱处,其应力峰值可达 20 MPa,此时巷道围岩应力释放区情况变化不大;当工作面推进至 20 m 时,巷道两帮垂直应力集中程度均增大,其应力峰值可达 30 MPa,且以护巷煤柱处集中程度较大,而此时其垂直应力集中范围仅为 1~4 m,煤柱两侧垂直应力释放范围明显扩大,并且巷道顶底板及下一工作面开采一侧巷帮垂直应力释放范围同样扩大。

根据上述分析可以得知:随着巷道掘进、本工作面回采的扰动影响,在护巷煤柱处存在显著的垂直应力集中现象,且集中程度及应力峰值不断增大,直至达到煤柱极限强度而发生破坏。因此,随着掘、采

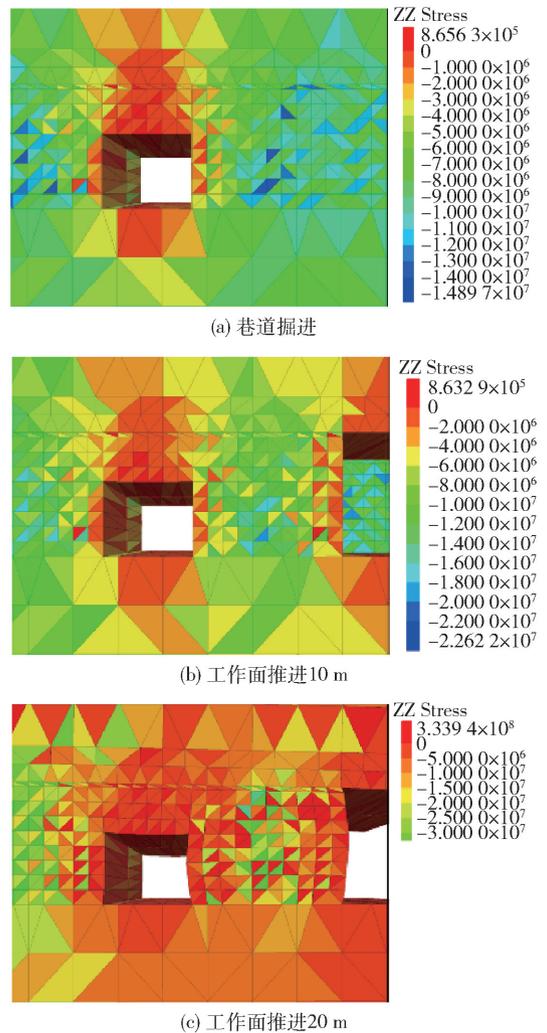


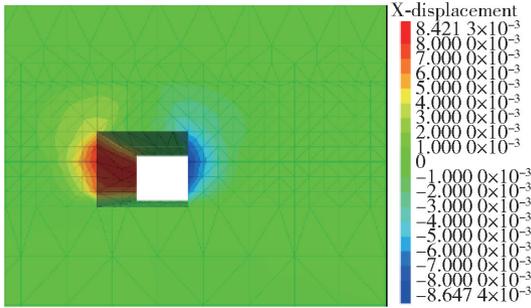
图 5 巷道围岩垂直应力分布云图(单位:MPa)

影响在高应力状态下的护巷煤柱稳定性将会决定巷道围岩稳定性。

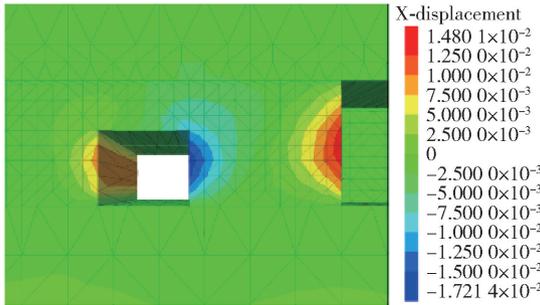
#### 4.3 巷道围岩水平位移分布特征

图 6 所示为巷道围岩水平位移分布云图,当巷道掘进后在其两帮出现了对称的水平位移分布现象,且保持较小位移状态,其中开采帮和煤柱帮最大位移量分别为 8.42 mm 和 8.65 mm,且几乎位于巷道两帮的中部位置;当本工作面开始回采,推进至 10 m 时巷道两帮位移量分别增大至 10 mm 和 17.2 mm,同时护巷煤柱靠近采空区一侧最大水平位移值可达 14.8 mm,此时巷道两帮水平位移逐渐呈现非对称性,较大水平位移范围向巷帮中上部转移,且巷道以煤柱帮水平位移量较大;当工作面推进至 20 m 时巷道两帮位移量分别增大至 50 mm 和 467.5 mm,同时护巷煤柱靠近采空区一侧最大水平位移值增大至 475.3 mm,此时巷道两帮水平位移分布出现明显的非对称性,较大水平位移范围不断扩大且向巷帮

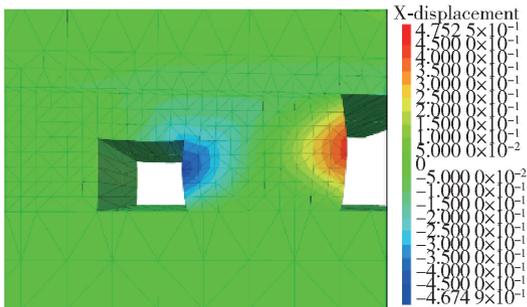
中上部以及顶板转移。



(a) 巷道掘进



(b) 工作面推进10 m



(c) 工作面推进20 m

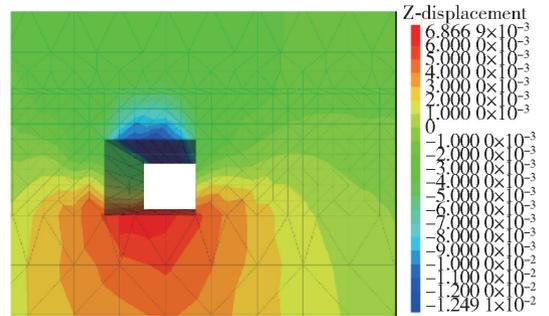
图6 巷道围岩水平位移分布云图(单位:m)

根据上述分析可以得知:随着巷道掘进、本工作面回采的扰动影响,巷道两帮水平位移量不断增大、较大水平位移分布范围不断扩大且向巷帮中上部以及顶板转移,这是由于护巷煤柱两侧自由面大小、高度不同导致的。此外,随着采动影响,巷道煤柱帮水平位移量增长幅度较大,位移变化明显。因此,水平方向上大采高工作面巷道两帮围岩控制应以巷帮中上部为主。

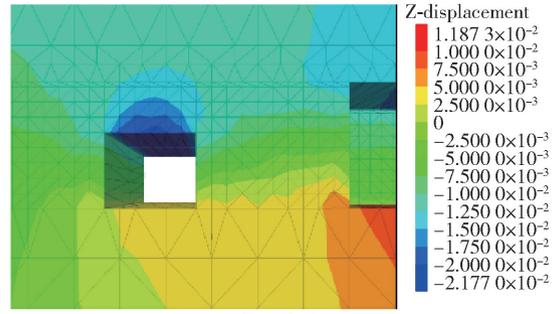
#### 4.4 巷道围岩垂直位移分布特征

图7所示为巷道围岩垂直位移分布云图,当巷道掘进后在其顶底板均产生一定的位移量,其中巷道顶板为煤体,其下沉量较大,可达12.49 mm,巷道底板为粉砂岩,其底鼓量较小,为5 mm左右;当本工作面开始回采,推进至10 m时巷道顶板煤体最大下沉量可达21.77 mm,该顶板下沉量和较大垂直位移分布范围均有所增大;当工作面推进至20 m时巷

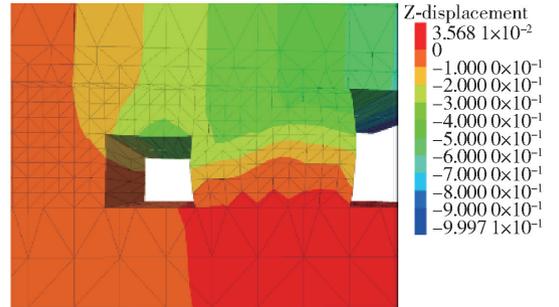
道顶板位移量增大至200~400 mm,此时较大垂直位移分布范围显著扩大,且顶板最大垂直位移主要分布在靠近巷道煤柱一侧,而整个过程中巷道底板垂直位移量几乎无明显变化。



(a) 巷道掘进



(b) 工作面推进10 m



(c) 工作面推进20 m

图7 巷道围岩垂直位移分布云图(单位:m)

根据上述分析可以得知:随着巷道掘进、本工作面回采的扰动影响,由于大采高工作面巷道顶板为煤体,其强度低,垂直位移量较大,同时受护巷煤柱在垂直方向上的压缩变形,导致巷道顶板靠近煤柱一侧垂直位移量较大,巷道变形显著。因此,垂直方向上大采高工作面巷道围岩控制应以巷道顶板煤体为主。

#### 4.5 巷道围岩塑性区分布特征

图8所示为巷道围岩塑性区分布图,由于大采高工作面巷道两帮及顶板均为煤体,当巷道掘进后,两帮及顶板破坏程度较大,且以剪切破坏为主,同时两帮的破坏范围基本一致,而巷道底板粉砂岩仅发

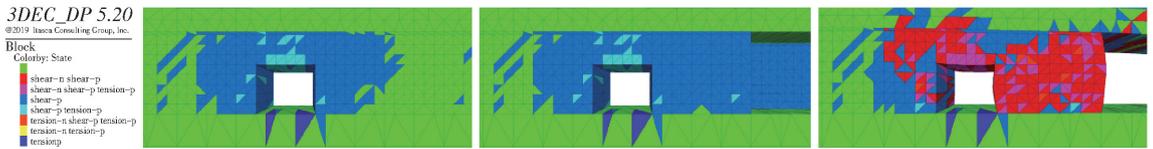


图8 巷道围岩塑性区分布图

生较小程度的拉伸破坏;当本工作面开始回采,推进至 10 m 直至 20 m,该过程中巷道围岩塑性破坏范围不断扩大,整个煤柱以及巷道顶板岩层中也发生一定程度的剪切破坏。

## 5 结论

通过 3DEC 数值模拟软件,以 2<sup>-2</sup>煤 22204 辅助运输平巷为背景,分析了大采高回采巷道围岩裂隙发育特征、垂直应力分布特征、位移分布特征以及塑性区分布特征,得出以下主要结论:

(1) 采动影响下 22204 辅助运输平巷围岩较不稳定,且巷道裂隙发育、位移及变形具有非对称性。随着工作面向前推进,巷道两帮水平位移量不断增大,同时较大水平位移分布范围不断扩大且向巷帮中上部以及顶板位置转移,尤其靠近煤柱一侧巷帮水平位移显著;由于大采高工作面巷道顶板为煤体,其强度低,垂直位移量较大,尤其靠近煤柱一侧巷道顶板垂直位移显著。

(2) 巷道围岩塑性区演化过程与其垂直应力分布相互吻合,由于采动影响巷道围岩发生了一定程度的剪切破坏,导致其煤岩体应力释放。随着巷道围岩变形、破坏程度增大,其垂直应力释放范围进一步扩大。由于煤柱在采动影响下长期处于高应力状态,因而靠近煤柱一侧的巷帮及顶板塑性破坏较为严重和频繁。

(3) 根据大采高回采巷道围岩变形失稳特征,拟提出该类巷道围岩稳定性控制的重点区域即:巷道两帮围岩控制应以中上部为主;巷道顶底板围岩控制应以巷道顶板煤体为主。此外,护巷煤柱稳定性将决定巷道整体围岩稳定性,因此需加强对靠近煤柱一侧巷道顶板及巷帮的维护。

## [参考文献]

- [1] 王国法,庞义辉,李明忠,等. 超大采高工作面液压支架与围岩耦合作用关系[J]. 煤炭学报,2017,42(2): 518 - 526.
- [2] 孙闯,闫少宏,徐乃忠,等. 大采高综采采空区条件下上行开采关键问题研究[J]. 采矿与安全工程学报,2021,38(3):449 - 457.
- [3] 高进,贺海涛. 厚煤层综采一次采全高技术在神东矿区的应用[J]. 煤炭学报,2010,35(11):1888 - 1892.
- [4] 张金虎. 大采高综采异常矿压影响因素及支架适应性研究[J]. 煤炭科学技术,2019,47(12):234 - 241.
- [5] 田亮,毛小娃. 张家峁煤矿大采高综采工作面末采工艺分析[J]. 能源技术与管理,2022,47(2):53 - 55.
- [6] 党兴旺. 大采高综采工作面回采巷道围岩控制技术[D]. 太原:太原理工大学,2007.
- [7] 谢福星,董世卓,刘洋,等. 大采高沿空巷道围岩稳定性数值模拟[J]. 煤矿安全,2018,49(11):215 - 219 + 223.
- [8] 谢福星,何富连,殷帅峰,等. 强采动大断面沿空煤巷围岩非对称控制研究[J]. 采矿与安全工程学报,2016,33(6):999 - 1007.
- [9] 汪琦,彭文庆,朱豪,等. 深井破碎围岩大断面巷道支护技术[J]. 矿业工程研究,2021,36(3):1 - 7.
- [10] 蒋力帅. 工程岩体劣化与大采高沿空巷道围岩控制原理研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2016.
- [11] 熊钰,孔德中,吴桂义,等. 大倾角沿空留巷承载特性及控制研究[J]. 矿业研究与开发,2021,41(4):81 - 87.
- [12] 高鹏. 深部综采工作面巷道二次支护实践[J]. 陕西煤炭,2022,41(3):131 - 134 + 143.
- [13] 彭林军,周光华,宋振骐,等. 大采高综放小煤柱沿空掘巷围岩稳定性数值模拟研究[J]. 中国煤炭,2019,45(12):94 - 99.