

doi: 10.11799/ce201901018

深埋特厚煤层采动应力特征及 对邻近巷道影响研究

任建喜, 张卫军, 张 琨, 景 帅

(西安科技大学, 陕西 西安 710054)

摘要:以陕西省小庄煤矿为研究背景,利用数值模拟与现场实测相结合的研究手段,分析了深埋特厚煤层采动影响范围以及对邻近巷道的影响,研究表明:深埋特厚煤层回采过程中工作面前方支承压力影响范围达到60m,在5~17m处出现应力增高区;工作面侧方支承压力在7~13m处出现应力增高区;受采动影响后邻近巷道塑性区呈不对称分布,靠近回采工作面一侧围岩破坏范围大于较远一侧围岩破坏范围。研究成果可为相似环境下巷道支护、煤层开采提供指导。

关键词:深埋特厚煤层;采动应力;支承压力;邻近巷道;塑性区变化;数值模拟

中图分类号:TD326 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-0959(2019)01-0077-05

Characteristics of Mining Stress in Deep-buried and Extremely Thick Coal Seam and Its Influence on Adjacent Roadways

REN Jian-xi, ZHANG Wei-jun, ZHANG Kun, JING Shuai

(Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Taking Xiaozhuang Coal Mine in Shaanxi Province as the research background, using research methods that combine numerical simulation with on-site measurement, we analyze the influence scope of deep mining of extremely thick coal seams and its impact on adjacent roadways. Research shows: in the deep-buried and extremely thick coal seam, the supporting pressure in front of the working face reaches 60m, and the stress increasing zone appears at 5~17m. Support stress at the side of working face appears stress increase zone at 7~13m; after the impact of mining, the plastic zone near the roadway is asymmetrically distributed. The destruction of surrounding rock near the working face is greater than the destruction of surrounding rock on the far side. The research results can provide guidance for roadway support and coal seam mining under similar circumstances.

Keywords: deep-buried thick coal seam; mining impact; support pressure; adjacent roadways; plastic zone change; numerical simulation

煤层在回采过程中,由于地质构造、埋深、开采环境以及开采方法的差异,导致回采工作面周围的应力分布情况以及回采动压的影响范围有较大的区别。因此国内许多学者对此做了大量的研究:王金华^[1]等通过试验及模拟研究了对特厚煤层进行综放开采时煤体顶部“三带”的分布情况及受力特

点。杨培举^[2]等运用滑移线理论分析了层理、节理及软、硬煤煤体破坏的力学机理,并采用塑性滑移线理论确定了煤壁片帮的破坏范围。苗磊刚^[3]等利用相似模拟实验研究了大采高采动引起的上覆岩层变形破坏现象。胡千庭^[4]等利用MTS伺服试验系统分析了不同破坏程度下坚硬顶板强度与围岩的二次

收稿日期:2018-05-23

基金项目:国家自然科学基金项目资助(11872299,11802230);陕西省科技计划项目资助(2016XT-04,2016XT-25,2017GY-156,2018JQ5122)

作者简介:任建喜(1968—),男,陕西西安人,教授,博士后,博士生导师,现在主要从事岩土工程的教学和研究工作, E-mail: renjx@xust.edu.cn。

引用格式:任建喜,张卫军,张 琨,等.深埋特厚煤层采动应力特征及对邻近巷道影响研究[J].煤炭工程,2019,51(1):77-81.

函数关系。张建国^[5]通过对超千米深井采动影响的研究认为超千米深井采动影响范围达到70m且采动裂隙分维随煤层的采动保持在较高水平。高明忠^[6]等通过对采动裂隙演化及连通性研究发现,平煤埋深-580m、层厚3.6m时,采动影响范围50m。贾后省^[7]等从巷道围岩主应力大小、比值和方向三个方面分析了采动巷道应力特征,认为受采动影响后主应力方向发生改变会导致巷道塑性区发展为“蝶形”特征。刘金海^[8]等通过对长壁采场应力演化特征和顶板上覆岩层运动情况研究,建立了相应的动、静态计算模型。孟毅^[9]通过对软岩巷道受采动影响的受力特征研究发现受采动影响后巷道的塑性区形状会发生较大改变。刘春波^[10]对近距离煤层不同开采条件下形成的采动应力分布特征进行了研究,为相似煤矿的开采提供了重要的参考。

以上学者对煤层回采引起的“裂隙带”、塑性区、力学机理和影响范围等方面做了大量的研究,但对深埋特厚煤层开采过程中的应力特征及对邻近巷道的影响研究较少,因此本文以陕西小庄矿为工程背景,运用数值模拟和现场实测相结合的方法对此进行研究。

1 工程概况

小庄井田隶属于陕西中西部,地质储量1161.08Mt,煤炭资源丰富,主要可采的煤层为4号煤层,可采储量为607.6Mt,40202工作面井下位于4号煤层,北部为40203综采面,隔水煤柱留设宽度20m,南部为40201综采面,东部紧邻大巷保护煤柱,巷道空间位置如图1所示。

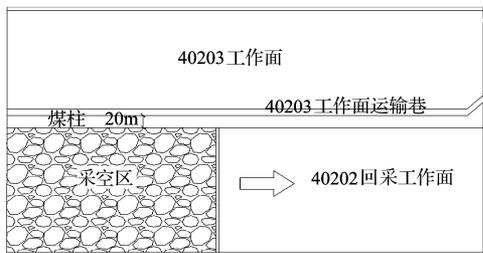


图1 巷道空间位置图

40202回采工作面受小灵台背斜影响,地应力较集中,煤层埋深约为576~741m,厚度16~19m,40203工作面运输巷宽6m、高4m,沿煤层底板布置,40202工作面在回采过程中产生的回采动压导致40203工作面运输巷发生冒顶、帮部大幅收敛、

断锚等现象,严重影响了40203运输巷的正常使用。

2 矿山压力显现规律

煤层回采过程中引起了应力重分布,在工作面前方形成超前支承压力,在工作面侧方形成固定支承压力,由于煤层地质条件、埋深、采高、上覆岩层物理力学性质等的不同,不同煤层在回采过程中产生的支承压力有所不同。

2.1 回采工作面前后支承压力的分布

工作面回采后上覆岩层所形成的支承体系为“煤壁—工作面支架—采空区已冒落矸石”,由于上覆岩层中岩块出现相互咬合的现象,导致工作面前方支承压力明显增大,后方采空区所承受压力有所减小,则形成应力不变区c(稳压区)、应力降低区b(减压区)和应力增大区a(增压区)。工作面前后支承压力分布如图2所示。

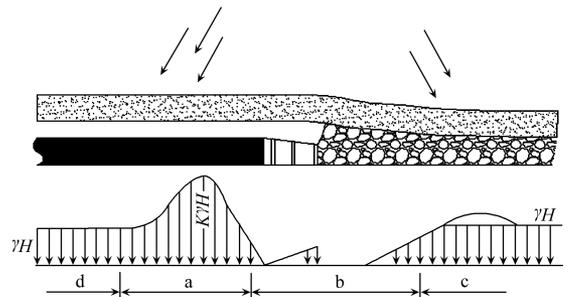


图2 工作面前后支承压力分布图

2.2 回采工作面煤柱支承应力的分布

由于回采工作面两侧情况较为多变,限于篇幅有限,只对回采工作面一侧为未开采煤层另一侧为采准巷道的情况进行分析,工作面回采后采空区上覆岩层重量大部分由煤柱承担,导致煤柱内部一定范围内支承应力快速增大,当其达到顶点后开始逐渐降低,采准巷道的存在使得煤柱内部支承应力发生变化,从而使煤柱内部支承应力出现一高一低“上凸”区域。工作面煤柱支承应力分布如图3所示。

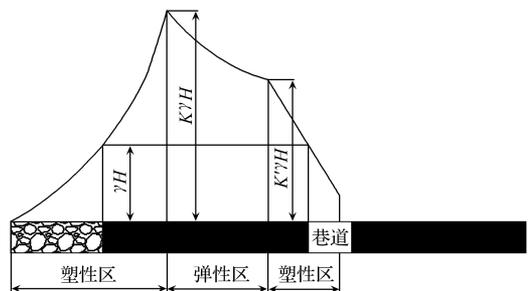


图3 工作面煤柱支承压力分布图

3 数值模拟

3.1 模型建立

采用FLAC^{3D}数值模拟软件进行模拟,整体模型

参数按照40202工作面设计说明书及勘察报告进行。所建立模型尺寸长×宽×高分别为168m×116m×66m,共90200个单元,96432个节点。研究区段岩体物理力学参数见表1。

表1 岩体物理力学参数

层号	岩层岩性	厚度/m	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	粘聚力/MPa	抗拉强度/MPa	内摩擦角/(°)	密度/(kg·m ⁻³)
1	粗砂岩	13	12.15	6.94	3.36	1.86	38.3	2360
2	细砂岩	7	16.29	6.59	4.4	1.97	31	2580
3	泥岩	4	1.17	0.58	1.32	1.90	39.77	2650
4	4 [#] 煤	18	1.52	0.46	2.76	0.47	36.15	1500
5	泥岩	6	1.17	0.58	1.32	1.90	39.77	2650
6	铝质泥岩	18	0.55	0.36	1.25	1.52	39.0	2530

模型边界条件采用位移边界条件,左右及前后边界限制其水平位移,底部边界限制其水平及竖向位移,顶部不限制其任何方向位移,巷道埋深为650m,属于深埋巷道,其地应力规律与浅埋巷道有较大差别,主要表现为水平应力大于垂直应力,根据勘察资料及计算,垂直应力为14.95MPa,水平应力为22.7MPa。将垂直应力施加于模型上表面,将水平应力施加于模型前后及左右四个面。

3.2 回采工作面支承应力特征

工作面回采过程中使得其周围应力重新分布,应力重新分布情况影响着工作面前方支承压力的大小以及相邻巷道的稳定性。40202综放工作面在回采过程中其周围煤岩体竖向应力分布特征如图4所示,由图4可知:

1) 工作面前方5~17m出现应力增高区,呈曲条带状,最大竖向应力22MPa,应力增高系数为1.57;工作面前方0~5m为应力降低区,最大竖向应力低于原岩应力,原因在于此区域内煤体受采动影响后裂隙发育程度较为完整,其内部储存的能量得到进一步释放,使得应力减小;工作面前方17~60m范围内应力开始减小,工作面前方60m以外,应力逐渐恢复至原岩应力状态。

2) 工作面侧方(煤柱区域)7~13m内出现应力增高区,最大竖向应力26MPa,应力增高系数为1.86;工作面侧方0~7m内出现应力降低区,距工作面越近,应力释放越充分,最大竖向应力越小;工作面侧方13~20m范围内为应力缓慢降低区,最大竖向应力由应力增高区的26MPa逐渐降低至20MPa;工作面侧方20~26m为40203运输巷位置,

由于40203运输巷在掘进过程中产生的扰动已经使顶板上部围岩破坏,所以在特厚煤层采动影响下40203运输巷上方3m处竖向压力增加幅度较小;由此可以得知,在工作面前方及侧方应力分布情况为应力降低区—应力增高区—原岩应力区,与2.1及2.2小节理论一致。

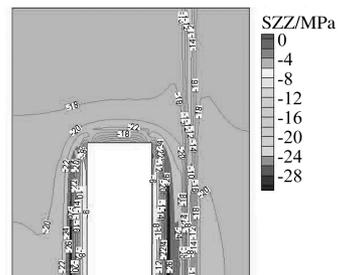
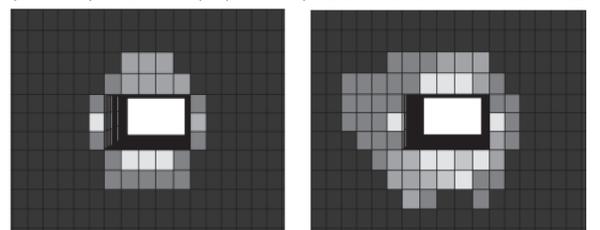


图4 深埋特厚煤层采动应力特征图

3.3 采动对邻近巷道影响

巷道掘进完成后的塑性区范围可以反映出巷道在掘进过程中对围岩的扰动情况以及支护方案是否能够有效合理地对巷道起到加固作用,由图5(a)可知,巷道掘进完成后两帮塑性区范围在0~1.0m。两帮部分区域产生了拉伸破坏,部分区域产生了剪切破坏。受回采动压影响后巷道塑性区分布如图5(b)所示,由图5(b)可知,受回采动压影响后巷道



(a)掘进完成后巷道塑性区分布 (b)受回采动压影响巷道塑性区分布

图5 巷道塑性区分布图

塑性区范围扩大,正帮塑性区宽度由原来的1.0m扩大至3.7m;负帮塑性区宽度由原来的1.0m扩大至2.0m。马念杰^[11]分析了不同侧压力系数下巷道围岩塑性区发展情况,认为非均匀应力场系数大于1时,塑性区形状近似“蝶形”,由上文可知巷道围岩垂直应力为14.95MPa,水平应力为22.7MPa,计算得侧压力系数为 $1.52 > 1$,由图5可以看出巷道受采动影响后塑性区呈现出近似“蝶形”形状。

4 现场监测数据分析

4.1 锚杆受力监测数据分析

为反映在40202工作面回采动压影响下40203运输巷应力变化特征及变形情况,在40203运输巷内布置锚杆应力计,监测结果如图6所示。

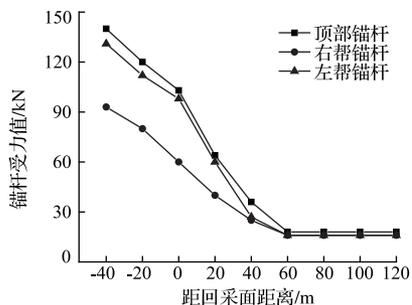


图6 锚杆受力图

由图6中锚杆受力监测数据可以看出,锚杆受力过程主要呈现为“稳定期—较慢增长期—快速增长期—缓慢增长区”四个阶段,当回采工作面距离监测点60m以上时,锚杆受力值处于稳定期;当回采工作面距离监测点60~40m时,锚杆受力值开始缓慢增长,说明回采动压的影响范围已经初步到达监测点;随着回采工作面的持续推进,当回采工作面距离监测点40~0m时,回采动压影响越来越剧烈,锚杆受力值开始快速增长,处于快速增长区;当回采工作面远离监测点时,锚杆受力值依旧在增长,但增长速率较缓,处于缓慢增长期。由此可知,与传统支护方法相比深埋大采高综放工作面采动影响范围更大,在对受此类回采动压影响的相邻巷道进行支护时,需要更深入地研究其应力演化规律。

4.2 塑性区范围分析

为获取回采动压影响后巷道帮部塑性区范围,采用矿用钻孔窥视仪对巷道两帮进行观察,窥视深度8m。40203运输巷正帮不同位置破坏区探测图如图7所示,由图7可知,在正帮6m处,巷道围岩呈

连续性,还未发生破坏,在4m处,巷道围岩开始出现破坏区域,4~0.5m处巷道围岩呈非连续性分布,说明正帮塑性区范围在0.5~4m处,由于巷道帮部发生大幅收敛,在0~0.5m处围岩破碎程度高,则0~0.5m处为围岩破碎区。

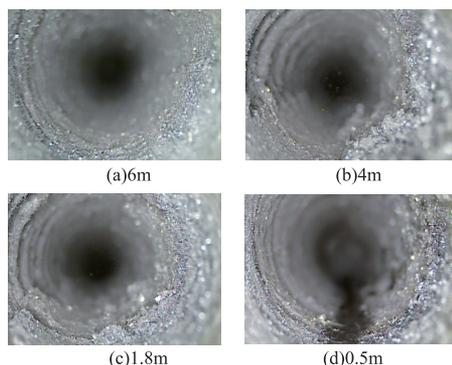


图7 正帮不同位置破坏区探测图

40203运输巷负帮不同位置破坏区探测图如图8所示,由图8可知,在负帮6~3m处,巷道围岩呈连续性,还未发生破坏,在2.2m处,巷道围岩开始出现破坏区域,2.2~0.5m处巷道围岩呈非连续性分布,说明负帮塑性区范围在0.5~2.2m处,与正帮一样,负帮也发生较大收敛,在0~0.5m处围岩破碎程度高,则0~0.5m处为围岩破碎区。

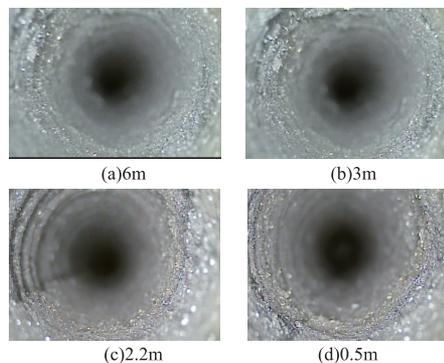


图8 负帮不同位置破坏区探测图

综上所述,在特厚煤层采动影响下,临近巷道围岩塑性区范围增大,越靠近采空区采动对围岩影响越大,塑性区范围增加幅度也更大;离采空区较远一侧的巷道围岩,由于巷道的存在起到了一定的卸压作用,使得采动应力在传递过程中发生中断,对围岩影响较小,则塑性区范围增加幅度也 smaller。

5 结论

1) 小庄矿深埋特厚煤层回采过程中对工作面前方产生的采动影响范围达到60m,在工作面前方5~

17m处出现应力增高区,应力增高系数为1.57。工作面侧方7~13m处出现应力增高区,应力增高系数为1.86。

2)受深埋特厚煤层采动影响后,邻近巷道围岩塑性区范围发生较大变化,使得整个巷道围岩塑性区呈不对称分布,靠近采空区一侧围岩塑性区宽度扩大了270%,而距采空区较远一侧围岩塑性区宽度只扩大了原来的一倍。

3)深埋特厚煤层比浅埋煤层回采过程中产生的采动影响范围更深远,对邻近巷道造成的破坏更显著。

参考文献:

- [1] 王金华,黄志增,于雷.特厚煤层综放开采顶煤体“三带”放煤理论与应用[J].煤炭学报,2017,42(4):809-816.
- [2] 杨培举,刘长友,吴锋锋.厚煤层大采高采场煤壁的破坏规律与失稳机理[J].中国矿业大学学报,2012,41(3):371-377.
- [3] 苗磊刚,石必明,穆朝民,等.大采高采动覆岩变形的相似模拟试验研究[J].中国安全科学学报,2016,26(1):116-121.
- [4] 胡千庭,田成林,谭云亮,等.重复采动条件下坚硬顶板力学试验研究[J].中国矿业大学学报,2018,47(1):67-72.
- [5] 张建国.平煤超千米深井采动应力特征及裂隙演化规律研究[J].中国矿业大学学报,2017,46(5):1041-1049.
- [6] 高明忠,金文城,郑长江,等.采动裂隙网络实时演化及连通性特征[J].煤炭学报,2012,37(9):1535-1540.
- [7] 贾后省,李国盛,王路瑶,等.采动巷道应力场环境特征与冒顶机理研究[J].采矿与安全工程学报,2017,34(4):707-714.
- [8] 刘金海,姜福兴,朱斯陶.长壁采场动、静支承压力演化规律及应用研究[J].岩石力学与工程学报,2015,34(9):1815-1827.
- [9] 孟毅.采动软岩大巷围岩破坏演化规律及控制技术[J].煤炭工程,2017,49(11):50-54.
- [10] 刘春波.马兰矿近距离煤层开采围岩采动应力分布特征分析[J].煤炭工程,2017,49(7):68-71.
- [11] 马念杰,赵希栋,赵志强,等.深部采动巷道顶板稳定性分析与控制[J].煤炭学报,2015,40(10):2287-2295.

(责任编辑 张宝优)