

厚硬关键层下强采动工作面过倾向煤柱矿压显现规律

常贯峰¹, 李鹏^{2*}, 华心祝³

¹安徽理工大学力学与光电物理学院 安徽淮南

²六盘水师范学院矿业与机械工程学院 贵州六盘水

³安徽理工大学矿业工程学院 安徽淮南

【摘要】基于上覆倾向煤柱对下伏煤层强采动过程中带来的强矿压、煤壁片帮等风险,通过 FLAC3D 软件进行工程建模,分析了上覆煤层开挖后底板应力分布特征,获得了工作面过倾向煤柱过程中应力的演变规律。结果表明:(1) 22 煤开挖后,煤柱正下方出现应力集中,应力最大值约为 18MPa,上覆煤柱强影响范围在煤柱两侧各 60m 左右。(2) 42202 工作面在过煤柱的过程中,工作面超前支撑压力影响范围与煤柱下方应力集中区逐渐贯通,并形成条带式应力集中区;并随着工作面推进逐渐发生旋转,直至工作面推过煤柱后,两应力集中区逐渐分离。(3) 工作面处于煤柱下方时,工作面超前支撑压力峰值最大,约 35MPa;工作面进煤柱前次之,约 33MPa;工作面出煤柱后最小,约 24MPa。工作面进煤柱前,超前支撑压力影响范围最大,约 150m~200m;工作面处于煤柱正下方时约 80m~100m;工作面过煤柱后的超前支撑压力影响范围最小,约 45m~70m。

【关键词】煤炭地下开采;关键层;强采动;倾向煤柱;岩层控制

【基金项目】安徽理工大学高层次引进人才科研启动基金资助(2023yjrc04);煤炭绿色智能开采贵州省科技创新领军人才工作站(黔科合平台 KXJZ[2024]036);贵州省煤炭资源开发与清洁利用工程研究中心(黔发改高技[2025]90 号)

【收稿日期】2025 年 6 月 11 日

【出刊日期】2025 年 7 月 10 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250303

Strata behavior of high-intensity mining face crossing dipping coal pillar under thick stiff key stratum

Guanfeng Chang¹, Peng Li^{2*}, Xinzhu Hua³

¹School of Mechanics and Optoelectronic Physics, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui

²School of mining and mechanical engineering, Liupanshui Normal University, Liupanshui, Guizhou

³School of Mining Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui

【Abstract】Based on the risks of strong mining pressure and coal wall fragmentation caused by the overlying inclined coal pillar during the strong mining process of the underlying coal seam, FLAC3D software was used for engineering modeling to analyze the stress distribution characteristics of the bottom plate after the excavation of the overlying coal seam, and the evolution law of stress during the process of the working face passing through the inclined coal pillar was obtained. The results showed that: (1) After the excavation of coal seam 22, stress concentration occurred directly below the coal pillar, with a maximum stress value of about 18MPa. The strong influence range of the overlying coal pillar was about 60m on both sides of the coal pillar. (2) During the process of passing through the coal pillar, the pressure influence range of the advanced support of the 42202 working face gradually connects with the stress concentration zone below the coal pillar, forming a strip-shaped stress concentration zone; And as the working face advances, it gradually rotates until the working face passes over the coal pillar, and the two stress concentration zones gradually separate. (3) When the working face is located below the coal pillar, the peak forward support pressure of the working face is about 35MPa; Before entering the coal pillar at the working face, the pressure was about 33MPa; The minimum pressure after the coal pillar exits the working face is about 24MPa. Before entering the coal pillar at the working face, the maximum impact range of advanced support pressure is about 150m~200m; When the working face is directly below the coal pillar, it is about 80m-

作者简介:常贯峰(1989-)男,讲师,博士,主要从事煤炭地下开采研究;

*通讯作者:李鹏(1991-)男,讲师,博士,主要从事采矿工程方面研究。

100m; The influence range of the advance support pressure after passing through the coal pillar on the working face is the smallest, about 45m~70m.

【Keywords】 Underground coal mining; Key stratum; Strong mining; Dip coal pillar; Strata control

1 引言

煤炭地下开采过程中, 针对不同的地质条件或生产需要进行煤柱的留设是采场矿压控制的有效手段之一。但面对多煤层开采时, 存在上覆煤层先采或下伏煤层先采的情况, 期间留设的煤柱会对其他煤层的开采带来一定影响, 特别是在强采动条件下, 由于采煤推进速度较快, 顶板岩层控制难度较大, 加之覆煤层遗留煤柱的影响, 下伏煤层工作面推进过程中存在安全风险较大。

关于多煤层开采岩层相互影响及其控制方面, 阎跃观等^[1]通过数值模拟计算和岩体力学结构分析, 研究多煤层时空协调开采地表移动规律和岩层控制机理, 提出了基于煤柱法向错距变化和煤柱空间形态变化的多煤层时空协调开采模式。刘一龙等^[2]探究了沟谷地形与煤层重复采动耦合作用下的覆岩破坏特征与规律是滑坡、涌水灾害防治的关键。综合采用集地表勘察、InSAR 动态观测、降雨-径流分析和数值模拟为一体的分析方法, 分析了沟谷区多煤层下行开采引发“覆岩移动-地表变形-径流积水”的空间扩展全过程。孙守义等^[3]通过围岩组分分析、现场电视探测和数值计算确定了轨道大巷围岩变形严重的主要因素。提出了“支护弱结构部位加强支护”的不均匀加固技术, 通过 Phase 软件模拟合理的大巷修复加固方案并提出“锚杆+锚索+钢筋梯+金属网+注浆”联合支护技术控制巷道围岩变形。张明^[4]等通过现场观测和理论分析, 探讨了超深井多煤层扰动下底板巷道变形的时空规律, 并提出相应的巷道变形控制思路及途径。董绪峰等^[5]建立了重复采动覆岩组合岩梁力学模型, 采用 FLAC3D 数值模拟软件建立由累计采高、工作面斜长、上覆岩层抗拉强度、工作面采深 4 种因素影响的数值模型, 分析了导水裂隙带与各个因素之间的关系。孟凡林等^[6]利用物理相似模拟实验、理论分析及数值模拟实验, 研究了一次采全厚条件下工作面顶板强矿压诱发机理及控制对策。认为低位关键层“砌体梁”结构性失稳形成小周期来压, 巨厚软弱岩组纵向裂隙周期性贯通并发生台阶下沉, 形成大周期来压, 大周期来压造成工作面顶板支承压压力跳跃式突增。张传玖等^[7]通过理论分析、现场监测与数值模拟相结合的研究手段, 分析多煤层开采层间覆岩破断特征及运移规律。分析了多煤层采动下层间覆

岩移动量, 采用 3DEC 模拟研究了多煤层在不同开采距离下层间覆岩运移及破断特征, 提出了煤壁锚索+层间覆岩锚网锚杆强化支护技术。韦四江等^[8]为探讨多煤层重复采动回采巷道失稳机理与控制技术, 基于采掘工作面应力时-空演化关系, 提出了平煤六矿 22290 工作面风巷外段全生命周期内的围岩控制方法。张金贵^[9]基于相似模型试验和 UDEC 数值模拟研究了多煤层开采覆岩结构稳定性问题, 分析了多煤层下行重复采动条件下覆岩变形与裂隙演化特征。白小军^[10]采用理论分析和数值模拟相结合的方法, 对多煤层开采顶板破断演化规律及强矿压形成机理展开研究, 以修正的 Hoek-Brown 准则作为采动岩体强度准则, 模拟多煤层开采覆岩破断扩展演化过程。郭瑞瑞等^[11]为研究煤层群开采条件下覆岩移动规律及“三带”分布范围, 采用相似模型物理实验方法分析了两层煤先后开采的覆岩移动变化特征, 分别就覆岩垮落特征、应力变化、岩层下沉量 3 个方面进行了对比分析。魏世荣等^[12]基于理论和数值模拟的角度研究了采动裂隙带发育规律的影响因素, 分析了煤层的覆岩类型及其对覆岩破坏高度的影响。

多煤层开采覆岩结构演变规律及其控制是工程时间面临的关键性技术难题之一。尽管上述学者针对相关问题进行了大量研究, 但面对不同工程地质条件, 需要的关键控制技术不同, 本文针对厚硬关键层下伏煤层工作面强采动条件下穿过上覆倾向煤柱过程中的矿压显现规律进行数值分析, 研究成果可以为类似地质条件下的工程应用提供基础依据。

2 工程概况

2.1 地质条件

42202 综放工作面布置在 42 煤二盘区, 煤厚 5.38~7.18m, 煤层倾角 1~3°, 工作面长度 320m, 地面标高 1243.9~1344.3m, 煤层底板标高 916.11~933.42m。工作面沿煤层走向推进, 沿煤层底板回采, 采煤机割煤高度为 3.7m, 放顶煤高度为 2.42m, 一采一放, 放煤步距 865mm。老顶为粉砂岩, 厚度 5~26m; 直接顶为 2~21m 的砂质泥岩。初采期间 200m 范围, 埋深 330~340m, 距 42 煤层间距 60-65m; 末采期间 200m 范围, 埋深 380-390m, 距 42 煤层间距 75-80m, 其余区域埋深 340-400m, 距 42 煤层间距 60-80m, 总体呈仰采。

工作面上覆 22202 运顺与 22203 辅运之间的煤柱,

距离运输顺槽正帮 80m 位置, 宽 25m, 位于工作面约 39-52#支架上方, 此段可能顶板压力较大。

2.2 煤层位置关系

22 煤工作面开采后, 在底板中形成的采动应力, 22 煤预留保护煤柱集中应力将对 42 煤保护煤柱的留设造成影响, 研究 42 煤保护煤柱布置位置与 22 煤保

护煤柱位置关系, 有助于 42 煤工作面的矿压控制与回采作业。根据钻孔柱状信息及采区平面图得到 22 煤与 42 煤沿走向空间位置关系示意图如图 1 所示。

2.3 岩层综合柱状图

根据地质质料钻孔得到 2 盘区综合柱状信息如表 1 所示。

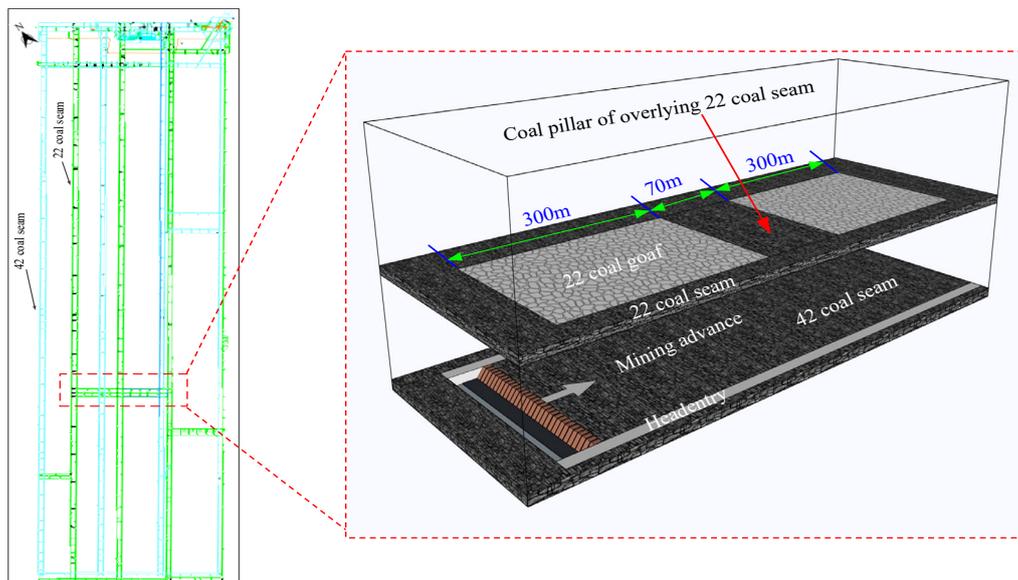


图 1 煤层位置关系图

表 1 2 盘区综合地层柱状信息

序号	岩性	累深/m	层厚/m	抗拉强度/MPa	抗压强度/MPa	弹性模量/MPa
1	表土	13	13	0.12	3	18
2	砂质泥岩	35	22	0.18	17.6	25.2
3	细粒砂岩	76	41	1.03	24.83	10.8
4	中粒砂岩	95	19	4.83	61.78	3.6
5	粗粒砂岩	115	20	0.84	18.19	2.05
6	砂质泥岩	128	13	0.13	30.66	7
7	细粒砂岩	145	17	0.62	17.43	9.66
8	砂质泥岩	187	42	0.18	17.66	25.2
9	中粒砂岩	224	37	0.62	18.15	3.64
10	砂质泥岩	242	18	0.18	17.66	25.2
11	细粒砂岩	260	18	1.44	26.17	11.1
12	砂质泥岩	276	16	0.18	17.66	25.2
13	粉砂岩	288	12	0.41	19.35	3.11
14	砂质泥岩	298.9	11	0.18	17.66	25.2
15	细粒砂岩	314.9	16	1.44	26.17	11.1
16	砂质泥岩	325.9	11	1.03	29.61	25.2
17	22 煤	329.1	3.2	0.18	17.66	25.2
18	砂质泥岩	347.1	18	2.21	24.5	9.98
19	细粒砂岩	372.1	25	0.76	32.4	7.25
20	砂质泥岩	382.1	10	0.62	20.8	8.38
21	砂质泥岩	395.8	16.7	0.76	32.4	8.38
22	42 上煤	403.4	4.6	0.18	17.66	25.2
23	砂质泥岩	416.4	30.1	1.05	17.1	17.4

3 数值模拟

3.1 数值计算模型构建

根据布尔台矿 2 盘区钻孔资料, 对 42 煤过上方 22 煤煤柱期间进行数值模拟, 模型图如图 2 所示。模型长 730m、宽 325m、高 434.8m, 总计 862680 个单元格, 完成计算后, 对 42202 工作面回采过煤柱期间应力、位移等的进行分析。

3.2 22 煤工作面开挖后应力分布特征

根据建立的数值计算模型, 对 22 煤工作面进行开挖, 待模型计算平衡后, 得到 42 煤层顶板应力分布应力云图, 如图 3 所示。

提取应力云图中 42202 辅运巷道顶板应力分布特征如图 4 所示。分析可知, 采空区内压力得到释放, 应力值较小, 约为 2MPa; 煤柱正下方 42202 辅运巷道顶板出现应力集中, 应力最大值约为 18MPa; 与煤柱边缘相聚 60m 以内时, 42 煤受 22 煤煤柱影响较大, 22 煤煤柱

的影响范围为工作面进出煤柱各 60m 左右。42 煤层标高原岩应力为 10MPa, 因此, 42 煤在回采过程中在距煤柱前后各 60m 范围内加强对巷道的维护及矿压防治。

3.3 关键部位应力分布特征

42202 工作面进入煤柱前的应力分布特征如图 5 所示。42202 工作面未进入煤柱时, 随着工作面的推进, 42202 工作面前方出现用力集中现象, 并逐渐进入煤柱影响范围, 使煤柱下方应力集中区出现非对称的特征。

随着工作面继续推进, 42202 工作面前方应力集中区与煤柱下方应力集中区逐渐贯通, 形成条带式集中区, 并随着工作面的不断推进, 应力集中区逐渐发生旋转, 直至工作面过煤柱后逐渐减小而消失。这种集中应力区的演变将会使煤柱下方岩层发生破坏, 从而使工作面及煤柱下方巷道矿压增大, 所以, 在以后的工作面过煤柱期间, 应当着重对工作面过煤柱阶段进行防治, 特别在工作面出煤柱时, 加强矿压的防治。

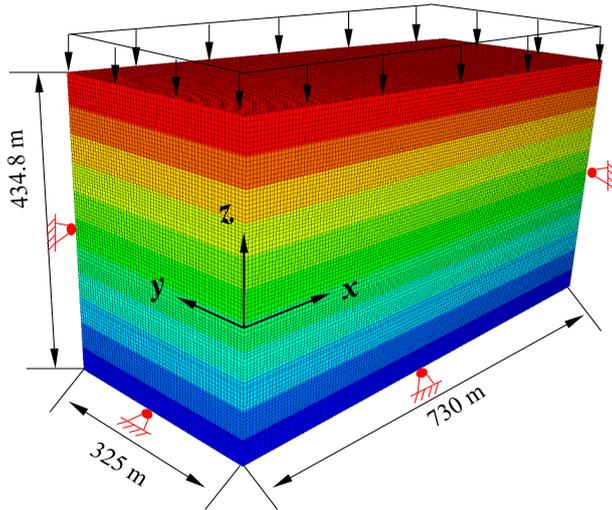


图 2 数值计算模型

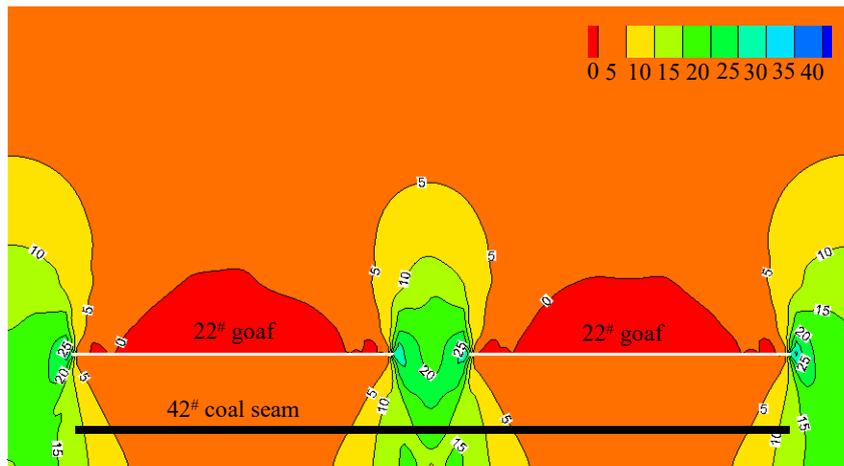


图 3 煤柱下方应力分布图

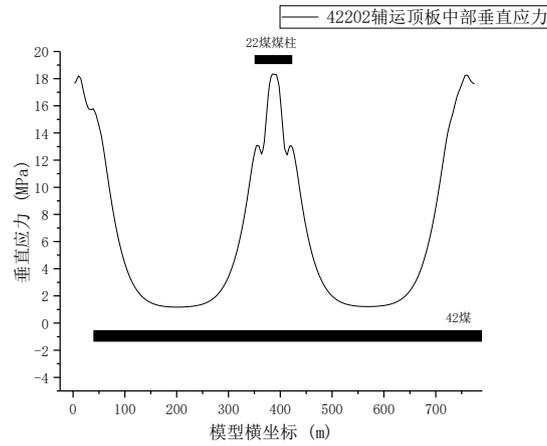


图4 42202 辅运巷道顶板垂直应力分布

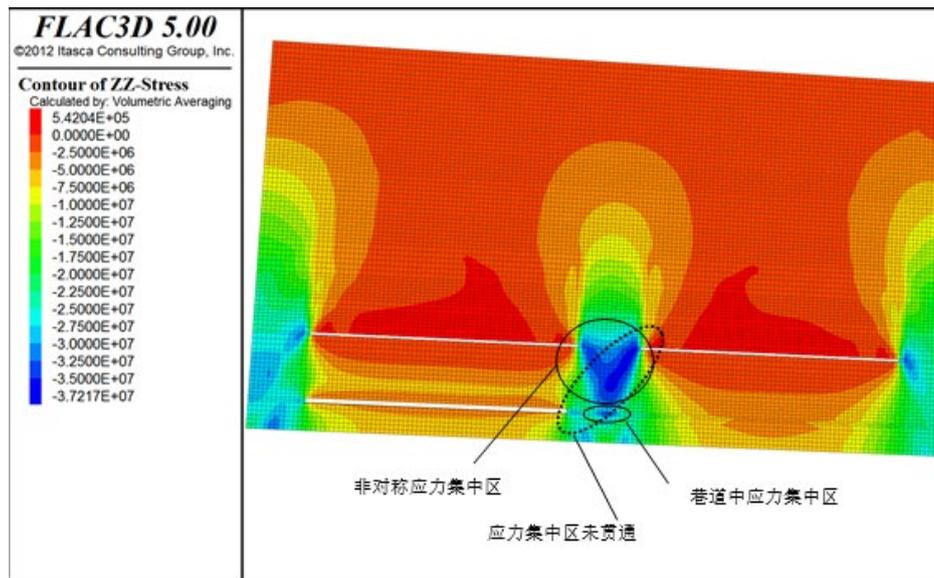


图5 工作面距煤柱 10m (进煤柱前)

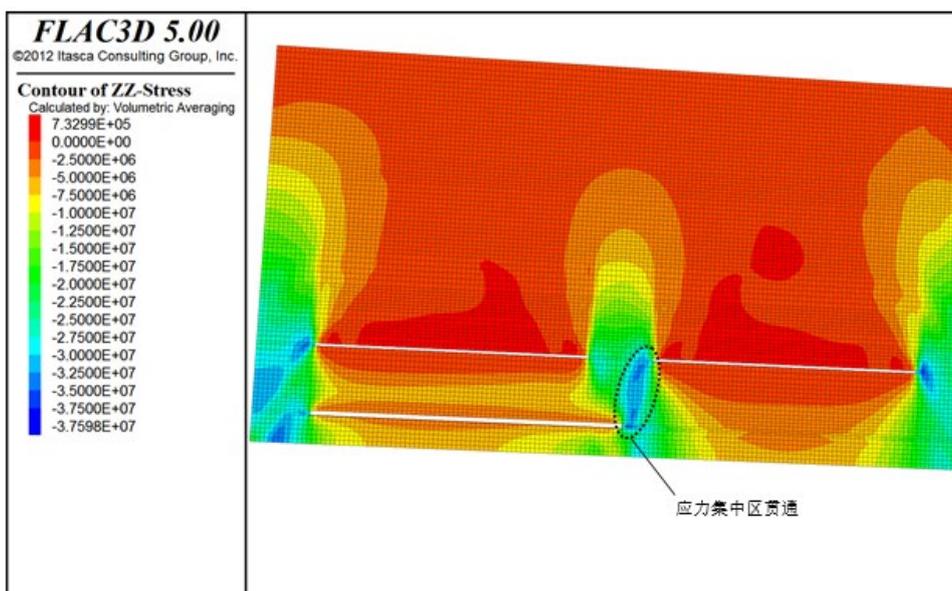


图6 工作面进入煤柱 35m

当工作面推过煤柱后,42202 工作面前方应力集中区与煤柱下方应力集中区逐渐分析,并逐渐减弱。煤柱上方应力集中区呈对称分布特征,工作面前方应力集中区保持较小的数值随着工作面向前发展。

4 工作面前方应力分布特征

4.1 工作面进入煤柱前

图 8 为 42202 工作面距离上方煤柱 80m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 8 可知,工作面距离进煤柱 80m 时,煤柱正下方出现应力峰值集中区,最大峰值压力约为 27MPa,工作面超前支撑压力影响范围受煤柱影响较大,在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围达到 200m 左右;从应力云图可以看出工作面已经进入煤柱压力影响圈。

图 9 为 42202 工作面距离上方煤柱 60m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 9 可知,工作面距离进煤柱 60m 时,煤柱正下方出现应力峰值集中区,最大峰值压力约为 33MPa,工作面超前支撑压力影响范围受煤

柱影响较大,在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围达到 200m 左右;从应力云图可以看出工作面已经进入煤柱压力影响圈。

图 10 为 42202 工作面距离上方煤柱 40m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 10 可知,工作面距离进煤柱 40m 时,煤柱正下方出现应力峰值集中区,最大峰值压力约为 34MPa,工作面超前支撑压力影响范围受煤柱影响较大,在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围达到 150m 左右;从应力云图可以看出工作面已经进入煤柱压力影响圈。

图 11 为 42202 工作面距离上方煤柱 20m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 11 可知,工作面距离进煤柱 20m 时,煤柱正下方出现应力峰值集中区,最大峰值压力约为 33MPa,工作面超前支撑压力影响范围受煤柱影响较大,在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围达到 150m 左右;从应力云图可以看出工作面已经进入煤柱压力影响圈。

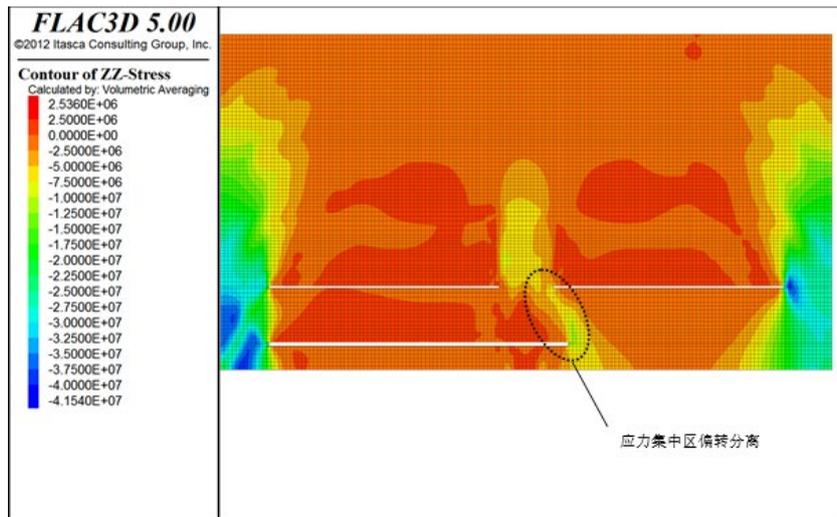
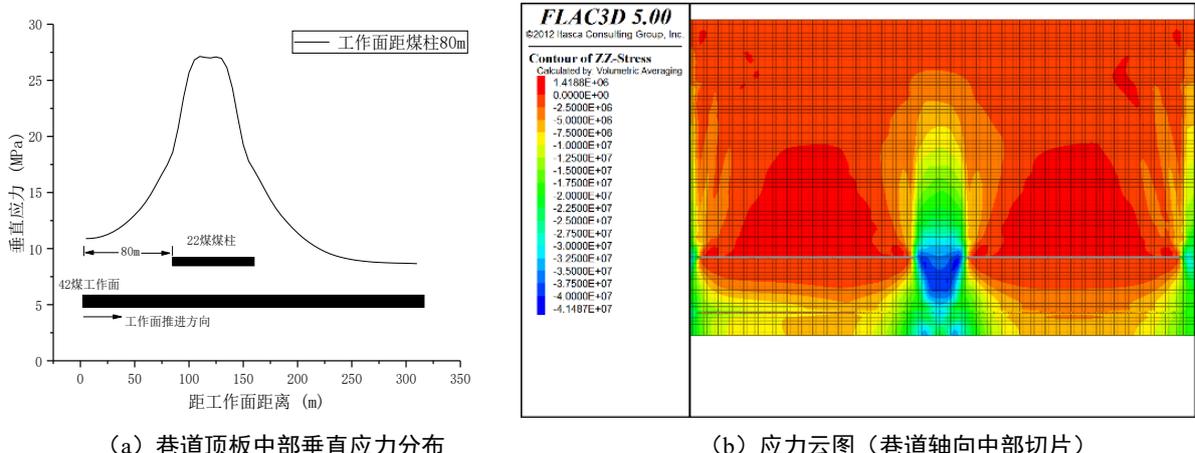


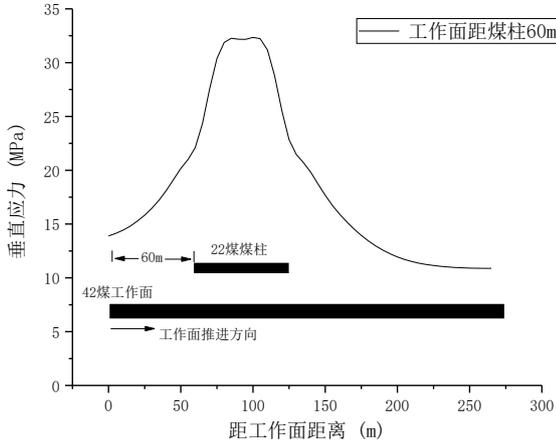
图 7 工作面出煤柱后 20m



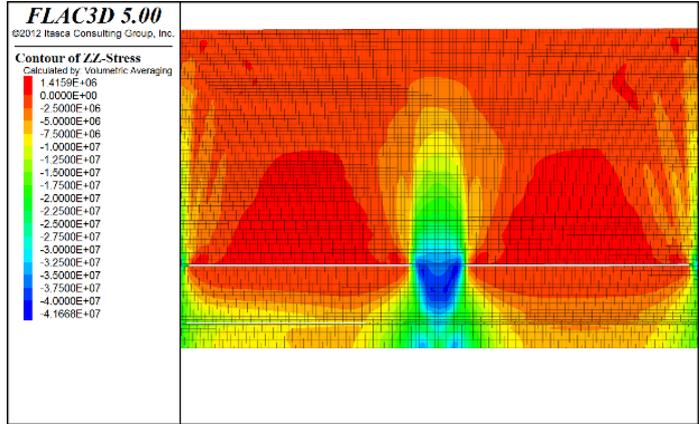
(a) 巷道顶板中部垂直应力分布

(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

图 8 42202 工作面距煤柱 80m

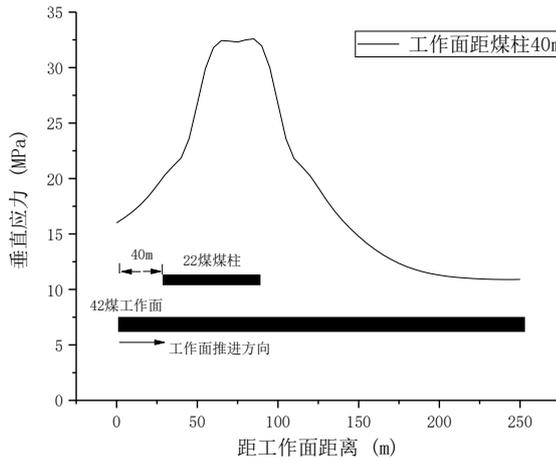


(a) 巷道顶板中部垂直应力分布

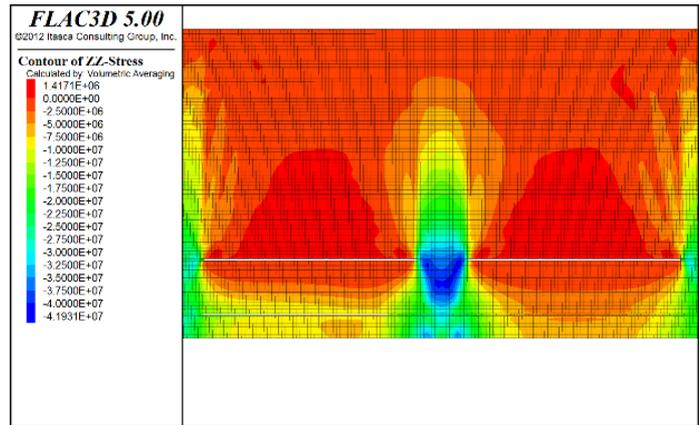


(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

图9 42202 工作面距煤柱 60m

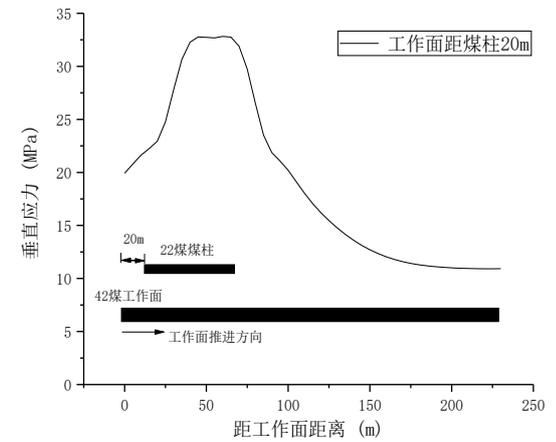


(a) 巷道顶板中部垂直应力分布

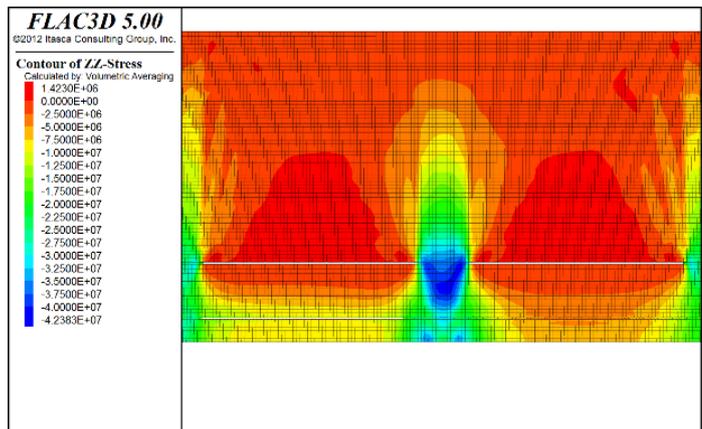


(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

图10 42202 工作面距煤柱 40m



(a) 巷道顶板中部垂直应力分布



(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

图11 42202 工作面距煤柱 20m

4.2 工作面处于煤柱下方

图12为42202工作面进入煤柱20m处的顶板垂直应力分布特征。从图12可知,工作面处于煤柱的正下

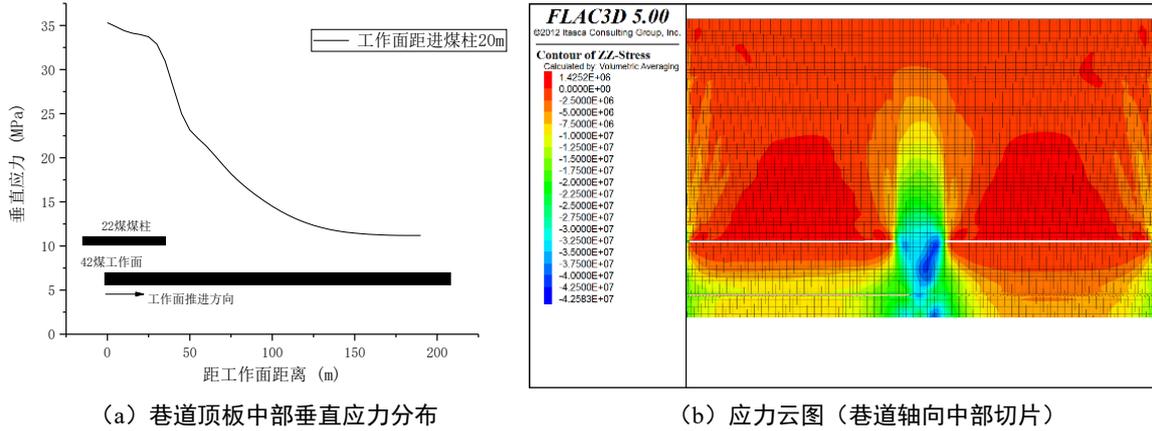
方,煤柱正下方出现应力峰值集中区,最大峰值压力约为35MPa,工作面处于超前支撑压力的正下方,垂直应力开始从峰值逐渐下降,在煤柱的影响下超前支撑压力

影响范围达到 100m 左右; 从应力云图可以看出工作面已经进入煤柱压力影响圈并接近于最大压力影响区。

图 13 为 42202 工作面进入煤柱 40m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 13 可知, 工作面越过中心煤柱距离 40m 时, 煤柱依然处于应力峰值集中区, 最大峰值压力约为 35MPa, 工作面超前支撑压力影响范围受煤柱影响逐渐变小, 在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围达到 60m 左右; 从应力云图可以看出工作面还

在煤柱压力影响圈。

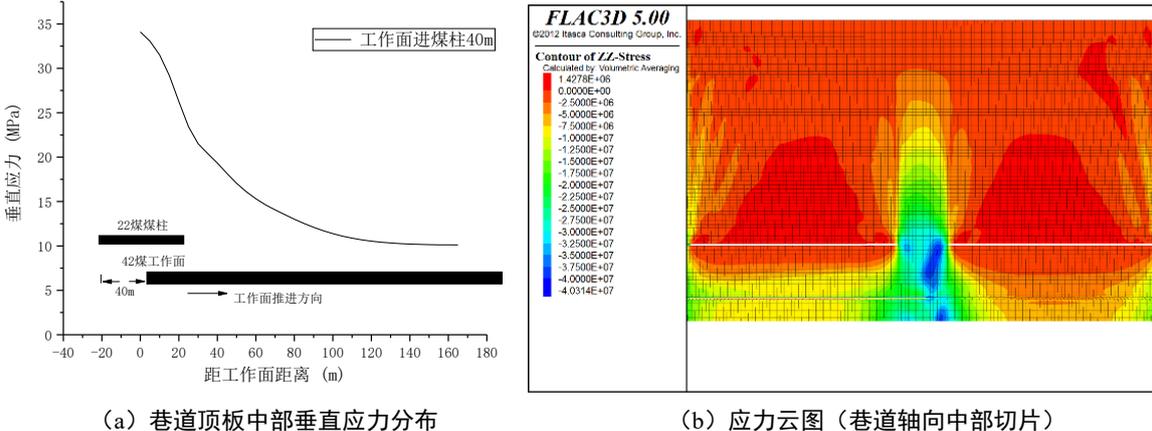
图 14 为 42202 工作面进入煤柱 60m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 14 可知, 工作面越过中心煤柱 60m 时, 煤柱正下方依然处于应力峰值集中区, 最大峰值压力约为 35MPa, 工作面超前支撑压力影响范围受煤柱影响范围相对减小, 在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围达到 60m 左右; 从应力云图可以看出工作面已经越过煤柱压力最大影响圈。



(a) 巷道顶板中部垂直应力分布

(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

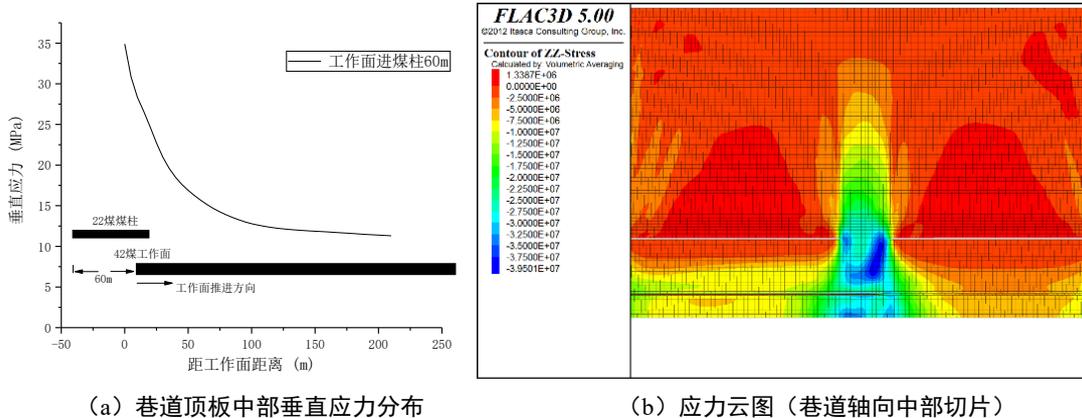
图 12 42202 工作面进煤柱 20m (煤柱下)



(a) 巷道顶板中部垂直应力分布

(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

图 13 42202 工作面进煤柱 40m (煤柱下)



(a) 巷道顶板中部垂直应力分布

(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

图 14 42202 工作面进煤柱 60m (煤柱下)

4.3 工作面通过煤柱后

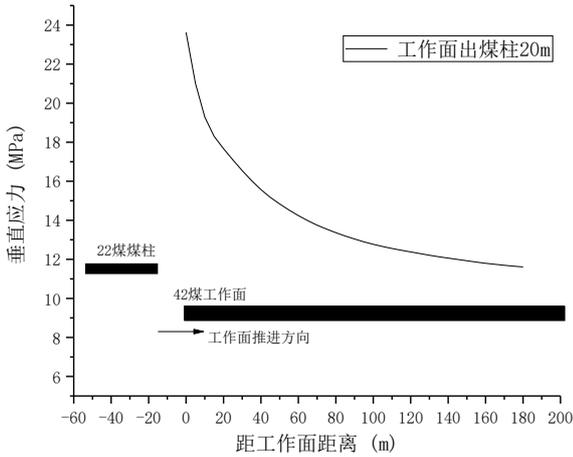
图 15 为 42202 工作面通过煤柱后 20m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 15 可知, 工作面距离进煤柱 0m 时, 煤柱基本不受垂直应力的作用, 工作面依然处于较大的垂直应力作用下, 最大峰值压力约为 24MPa, 工作面超前支撑压力影响范围受煤柱影响相对较小, 在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围达到 60m 左右; 从应力云图可以看出工作面处于煤柱压力影响圈的边缘。

图 16 为 42202 工作面进入煤柱 40m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 16 可知, 工作面距离出煤柱 40m 时, 煤柱基本不受垂直应力影响, 工作面处于较大的垂直应力的作用下, 最大峰值压力约为 18MPa, 工作面超前支撑压力影响范围受煤柱影响减小, 在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围为 60m 左右; 从应力云图

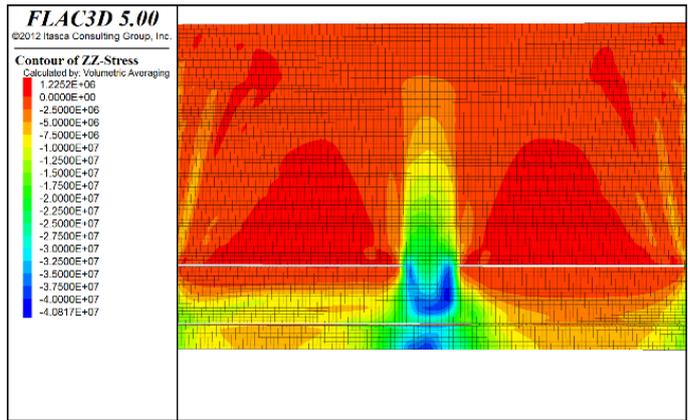
可以看出工作面基本已经不在煤柱压力影响圈。

图 17 为 42202 工作面进入煤柱 60m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 17 可知, 工作面距离出煤柱 60m 时, 煤柱没有受垂直应力影响, 工作面依然有较大的垂直应力, 最大峰值压力约为 17MPa, 工作面超前支撑压力影响范围受煤柱影响比较小, 在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围达到 40m 左右; 从应力云图可以看出工作面已经不在煤柱压力影响圈内。

图 18 为 42202 工作面进入煤柱 80m 处的顶板垂直应力分布特征。从图 18 可知, 工作面距离出煤柱 80m 时, 煤柱不受垂直应力的作用, 工作面处于垂直应力的作用下, 最大峰值压力约为 16MPa, 工作面超前支撑压力影响范围受煤柱影响较小, 在煤柱的影响下超前支撑压力影响范围达到 40m 左右; 从应力云图可以看出工作面已经不在煤柱压力影响圈。

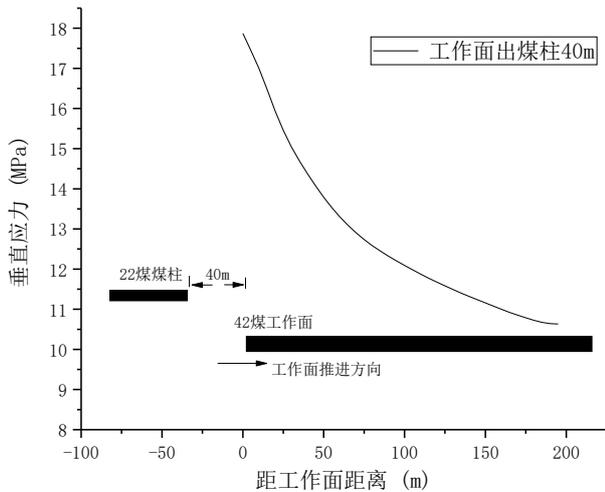


(a) 巷道顶板中部垂直应力分布

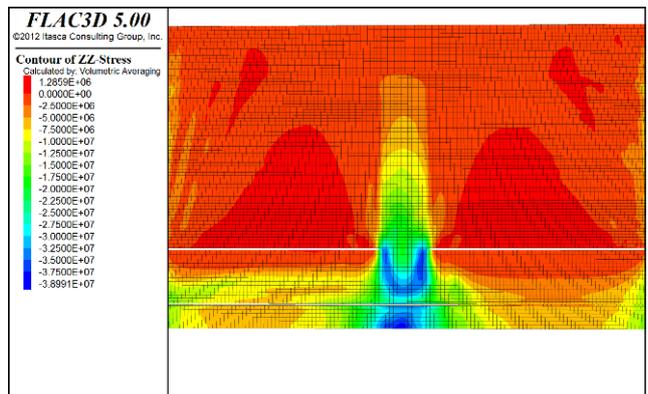


(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

图 15 42202 工作面出煤柱 20m

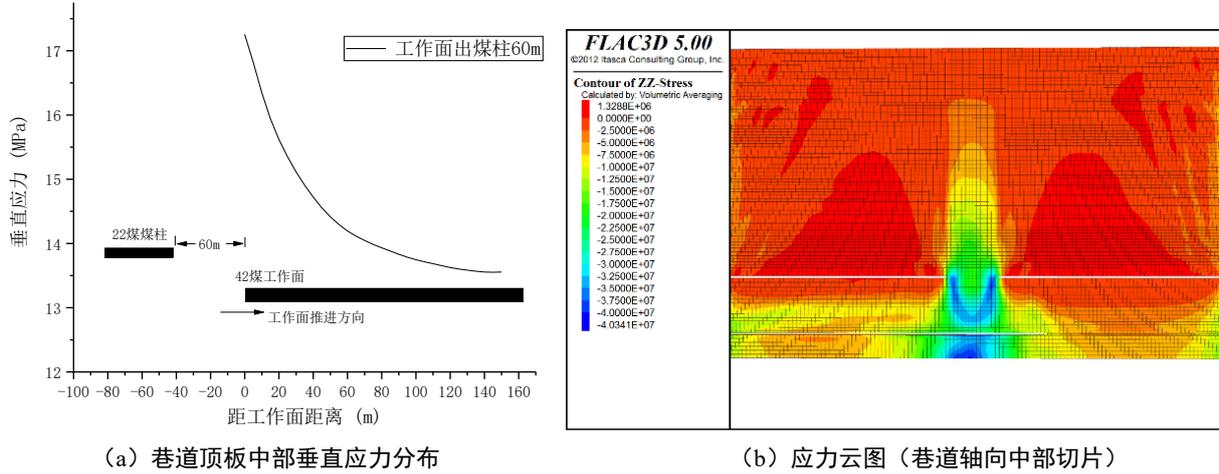


(a) 巷道顶板中部垂直应力分布



(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

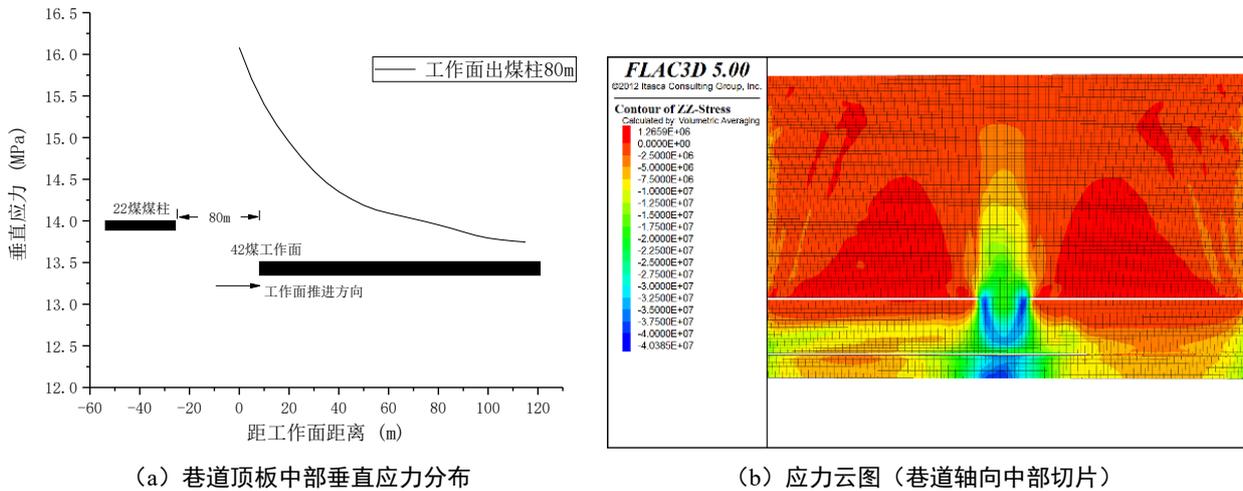
图 16 42202 工作面出煤柱 40m



(a) 巷道顶板中部垂直应力分布

(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

图 17 42202 工作面出煤柱 60m



(a) 巷道顶板中部垂直应力分布

(b) 应力云图 (巷道轴向中部切片)

图 18 42202 工作面出煤柱 80m

综上所述, 从 42202 工作面出煤柱 20m 时前方应力曲线可知: 出煤柱后超前工作面压力影响范围约为工作面前方 50m, 显著影响范围约为工作面前方 30m, 压力峰值在工作面前方 10m 左右。

5 结论

(1) 22 煤开挖后, 煤柱正下方出现应力集中, 应力最大值约为 18MPa; 与煤柱边缘相聚 60m 以内时, 42 煤受 22 煤煤柱影响较大, 影响范围为煤柱沿走向向外延伸各 60m 左右。

(2) 42202 工作面在过煤柱的过程中, 工作面超前支撑压力影响范围与煤柱下方应力集中区逐渐贯通, 并形成条带式非对称集中区; 随着工作面的不断推进, 条带应力集中区逐渐发生旋转, 直至工作面推过煤柱后, 两应力集中区逐渐分离。

(3) 工作面处于煤柱下方时, 工作面超前支撑压力峰值最大, 最大值约为 35MPa; 工作面进煤柱前次

之, 最大值约为 33MPa; 工作面出煤柱后最小, 最大值约为 24MPa。工作面进煤柱前, 超前支撑压力影响范围最大, 约为 150m~200m; 工作面处于煤柱下方时其值次之, 约为 80m~100m; 工作面过煤柱后的超前支撑压力影响范围最小, 约为 45m~70m。

参考文献

[1] 阎跃观, 朱元昊, 戴华阳, 等. 多煤层时空协调开采模式与岩层控制机理[J]. 采矿与安全工程学报, 2022, 39(06): 1143-1153.

[2] 刘一龙, 杨天鸿, 马凯, 等. 沟谷区多煤层开采覆岩破坏及径流水害防治研究[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(07): 243-254.

[3] 孙守义, 赵长政, 张云, 等. 多煤层重复采动穿层大巷围岩变形特征及修复加固技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2020, 37(04): 681-688.

- [4] 张明,姜福兴,王建超,等.超深井多煤层扰动下巷道变形的时空规律[J].采矿与安全工程学报,2018,35(02):229-237.
- [5] 董绪峰,高卫富,朱海锋,等.近距离倾斜多煤层重复采动覆岩裂隙发育规律研究[J].煤矿安全,2025,56(06):184-191.
- [6] 孟凡林,王震,孙治豪,等.近距离煤层采空区下厚煤层开采强矿压机理及控制研究[J].中国矿业,2024,33(09):130-138.
- [7] 张传玖,李宣良,贾士耀,等.多煤层采动层间覆岩破断规律及稳定性控制研究[J].矿业研究与开发,2024, 44(08):104-112.
- [8] 韦四江,黄英俊,谭毅,等.多煤层重复采动回采巷道失稳机理与控制技术[J].河南理工大学学报(自然科学版),2024, 43(05):1-9.
- [9] 张金贵,姬中奎,呼少平,等.近距离多煤层下行重复采动覆岩变形与裂隙演化特征研究[J].中国矿业,2024,33(05):152-163.
- [10] 白小军,王志乾,李广治,等.多煤层开采破断顶板群结构发育扩展规律研究[J].煤炭技术,2023,42(11):48-52.
- [11] 郭瑞瑞,郑凯歌,席杰,等.煤层群开采覆岩运移规律及“三带”高度确定[J].煤矿安全,2023,54(08):106-117.
- [12] 魏世荣,赵延林,戚春前,等.多煤层开采导水裂隙带发育与覆岩破坏高度规律[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2022,37(02):18-26.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

