

断层影响下的工作面矿压显现规律

Appearance Rule of Mine Pressure in Working Face under the Fault Influence

吕建波(中条山集团篦子沟矿业有限公司, 山西 运城 043703)

摘要:根据某矿业公司201、203工作面复杂地质及生产技术条件,对2号煤层进行综合机械化开采,采用FLAC^{3D}对201、203工作面回采时采场围岩的应力分布及其变形破坏规律进行数值模拟研究,取201、203工作面不同阶段的数值计算模拟结果为研究对象,分析其位移场、应力场和塑性区分布特征,揭示不同阶段下工作面受采动影响的矿压显现规律。

关键词:断层影响; 矿压显现规律; Rhino建模; FLAC数值模拟

中图分类号: TD235 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)04-0062-07

Abstract: According to the complex geology and production technical conditions of the 201 and 203 working faces of a mining company, the No. 2 coal seam is mined by the comprehensive machinery. FLAC3D is used to numerically simulate the stress distribution and the deformation and damage of the surrounding rock in the mining area during the mining of the 201 and 203 working faces. The numerical simulation results of the 201 and 203 working faces at different stages are taken as the research object. The distribution characteristics of the displacement field, stress field and plastic zone are analyzed, and the appearance rule of the mine pressure in different stages of the working face is revealed.

Key words: fault influence; appearance rule of mine pressure; Rhino modeling; FLAC numerical simulation

1 前言

随着我国煤层开采深度的逐年增加和采掘活动的影响,再加上断层构造带等地质特征因素的影响,工作面矿山压力显现异常复杂,由此引发的工作面顶板事故频发。许多矿井花费大量人力和支护材料进行维护和翻修,严重影响了矿井的正常接续和安全生产。

断层对围岩变形破坏的影响机理是围岩控制的关键。针对此问题,国内外学者进行了有益地探究。彭苏萍通过建立了高角度的不同开采方法的两组不同断层模型^[1],分析研究煤层顶板变形规律产生的矿压显现规律,从而得到煤岩体受采动影响断层活化断裂滑移失稳,煤岩体应力不正常现象。刘德乾利用离心模型实验法^[2],针对煤岩体的应力和变形特征进行了实验研究,通过研究开采过程中煤柱和顶底板应力的传递规律以及构造因素产生的影响,认为断层结构面的存在改变了顶板变形和受力的连续性,断层两侧顶板的受力状态明显不同,并沿结构面形成应力集中带。李志华以济三煤矿6303工作面地质条件为背景,

采用物理数学模型及数值模拟软件模拟^[3],研究了工作面分别从在断层上盘及下盘向断层开采时采动诱发矿压冲击情况,研究认为工作面距离断层越近,断层活化滑移量及滑移速度越大,工作面在断层下盘向断层开采会导致工作面发生冲击矿压危险性更高。

以上文献主要研究断层对围岩变形的影响,但受采动和断层共同影响对巷道围岩变形的研究却鲜有涉及。因此,本文以某矿201工作面为工程背景,采用数值模拟研究方法,研究断层活动效应下工作面受开采扰动下的矿压显现及围岩变形规律,揭示顶板变形破坏失稳机理,对现场工程实践具有一定的指导意义。

2 工程背景

该矿位于黄陵矿区平缓褶皱区南部,煤矿地质构造的基本形态为一宽缓的背斜和向斜构造组成。北部的南峪口背斜占据煤矿大部分区域,寺湾向斜主要位于原煤矿范围内。褶皱两翼地层平缓,倾角 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$,属于平缓褶皱。201工作面地处中低山林区,植被繁茂,对应地表无构筑物、河流分布。201工作面位于煤矿北部二盘区,呈东西向布置,北侧为规划的203工作面,西侧为井田边界,南侧为进风顺槽,东侧为北翼回风大巷。201工作面走向可采长度2272 m,倾斜长度180 m,埋深280 m。201工作面煤层近水平赋存,煤厚相对稳定,煤层倾角 $2^{\circ} \sim$

[作者简介] 吕建波(1972-),男,汉,山西临猗人,本科,工程师,从事生产技术管理工作。

[引用格式] 吕建波. 断层影响下的工作面矿压显现规律[J]. 中国矿山工程,2022,51(4):62-68.

5°,平均3°;煤层厚度在1.4~2.8 m之间,平均煤厚2.1 m,全区稳定可采,具褐色及褐黑色条痕,沥青及玻璃光泽,断口为阶梯状、参差状,呈条带状、线理状结构,具层状,块状构造,巷道顶板均无明显滴淋水情况出现,工程地质性质较好,顶底板局部区域岩体强度低、水稳性较差。在201工作面至203工作面之间存在与工作面推进方向平行且横贯井田境界东西两侧的3DF4断层,工作面地层柱状图如图1所示。

3 数值模拟研究

3.1 模型建立

为了研究3DF4断层对201、203工作面覆岩的影响,采用FLAC^{3D}对201、203工作面围岩的应力分布及其变形破坏规律进行数值模拟研究。根据地质资料和实验室岩石力学实验结果,得出煤层及主要岩层物理力学参数见表1。计算采用莫尔-库仑(Mohr-Coulomb)屈服准则判断岩体的破坏。

$$f_s = \sigma_1 - \sigma_3 \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} - 2c \sqrt{\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}$$

式中, σ_1 、 σ_3 分别是最大和最小主应力, c 、 φ 分别是黏结力和内摩擦角。当 $f_s > 0$ 时,材料将发生剪切破坏。在通常应力状态下,岩体的抗拉强度很低,因此,可根据抗拉强度准则判断岩体是否产生拉破坏。

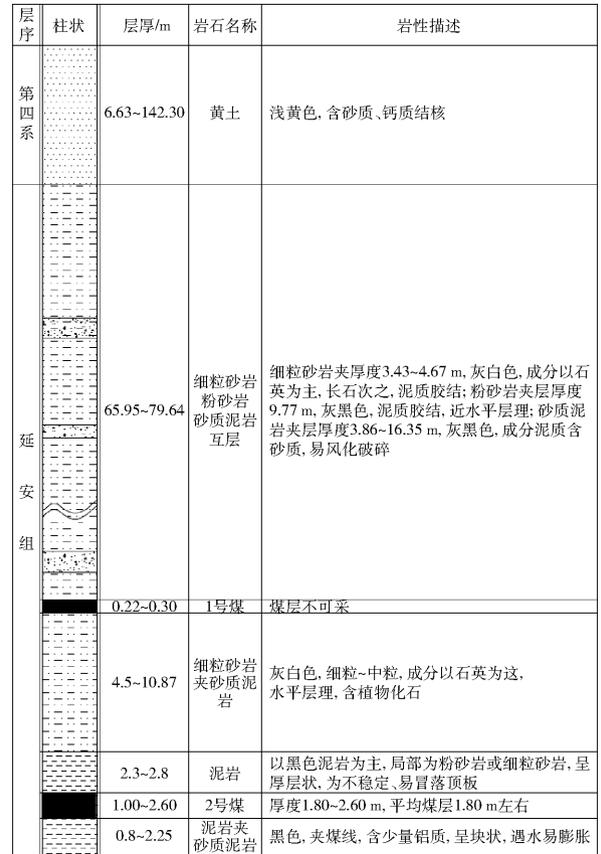


图1 工作面地层柱状图

表1 煤岩力学参数

序号	岩石名称	容重/ kg·m ⁻³	体积 模量/GPa	剪切 模量/GPa	泊松比	抗拉 强度/MPa	黏结力/ MPa	内摩擦 角/(°)
1	砂质泥岩1	2 310	8.30	8.00	0.09	2.00	3.5	38
2	泥岩1	2 420	4.167	2.86	0.22	1.4	1.0	30
3	2#煤	1 381	2.38	2.06	0.29	0.4	0.5	23
4	泥岩2	2 420	2.77	2.86	0.09	0.33	1.0	30
5	砂质泥岩2	2 310	4.16	2.10	0.09	2.00	3.5	38
6	砂质泥岩3	2 310	2.13	1.60	0.09	2.00	3.5	38
7	粉砂岩1	2 530	3.37	1.76	0.14	0.60	1.2	34
8	细粒砂岩	2 640	3.22	2.51	0.09	2.1	2.4	29
9	砂质泥岩4	2 530	2.13	1.76	0.09	1.90	3.5	38
10	粉砂岩2	2 530	3.37	3.81	0.14	2.4	4.7	24
11	黄土	1 910	7.68	0.80	0.31	34	1.28	18

根据计算模型建立煤层三维数值计算模型,FLAC^{3D}三维模型应用 rhinoceros 外置建模生成,尺寸为:长×宽=880 m×565 m,到模拟地表最高点高度为283 m,工作面推进方向沿x轴负方向,采用Mohr-Coulomb plasticity model本构模型,用brick单元模拟煤层及围岩,模型底部限制垂直移动,模型前

后和侧面采用位移约束限制水平移动,整个模型由1 122 291个单元组成,包括199 413个节点,三维数值模型如图2所示。

3.2 计算过程

整个数值模拟分为以下几个步骤:

(1)建立数值计算模型,固定边界,模型进行初

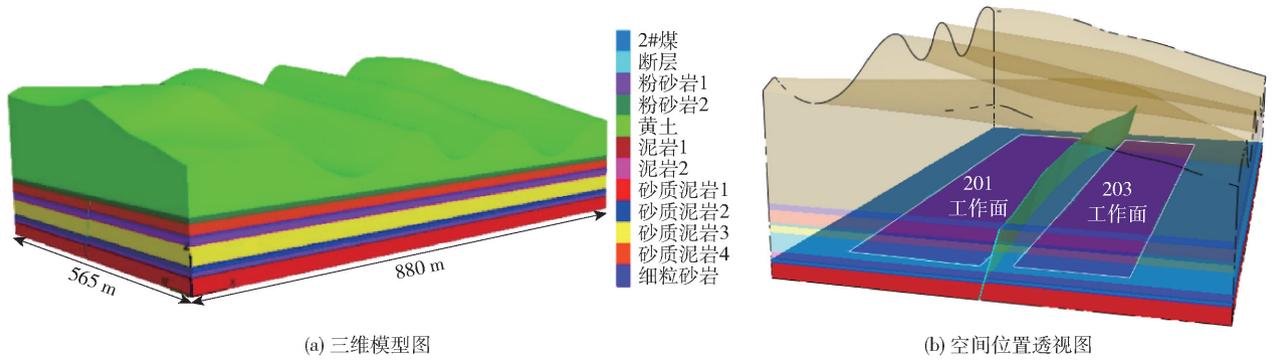


图2 三维数值模拟图

始平衡计算。

(2) 模拟开挖每次按照 10 m 进尺开挖,待计算平衡后开始下一刀的开挖模拟,201 工作面总计开挖 780 m,在 201 工作面开挖完后对 203 工作面进行开挖,再次开挖 780 m。

(3) 模型后处理,提取分析采场覆岩应力、位移等数据,分析总结 3DF4 断层对工作面覆岩的影响

3.3 模拟结果分析

1) 不同阶段下 201 工作面位移场分布特征

为了分析 3DF4 断层三种不同工况下对 201、203 工作面回采时采场围岩的力学影响,取 201、203

工作面不同阶段的数值计算模拟结果为研究对象,分析其位移场、应力场和塑性区分布特征,揭示不同阶段下工作面受采动影响的矿压显现规律。

图 3 所示为 201 工作面在断层三种不同工况下工作面回采时上下盘垂直位移场分布特征云图。从图中可以看出,断层阻隔了采场围岩的位移场连续分布,断层上下盘位移变化差异性较大,断层穿过 201 回风巷时采场围岩具有明显的位移变化趋势,断层上盘即 201 工作面围岩位移场范围最大,且最大位移为 0.243 m,顶板垂直位移向下,底板垂直位移向上,断层下盘最大位移量为 0.025 m,主要位于

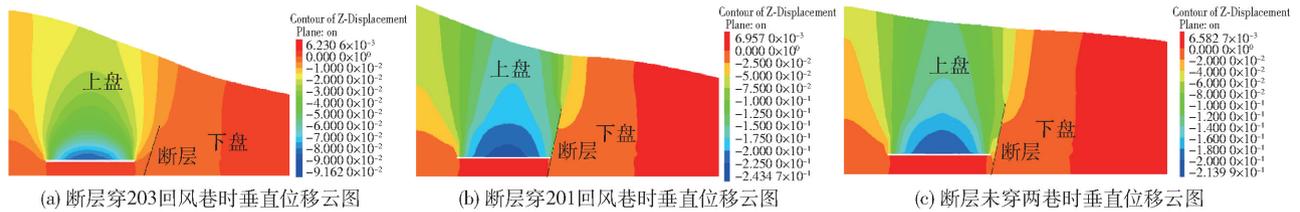


图3 不同阶段下 201 工作面垂直位移分布图

断层上部围岩区域。

图 4 所示为 201 工作面在断层三种不同工况下工作面回采时上下盘水平位移场分布特征云图。从图中可以看出,无论在何种工况下,由于 201 工作面的回采影响,断层上盘位移量较大,且位移方向竖直向下,而断层下盘位移变化量较小,位移方向基本为水平向右,即远离断层方向。图中明显看出,在断层穿 201 回风巷阶段时断层上下盘水平位移差异性最大,断层下盘水平位移主要朝远离断层方向,最大水平位移量为 0.026 2 m,且水平位移场范围最大;断层穿 203 回风巷时,最大位移量为 0.013 m;断层未穿两巷时,最大位移量为 0.02 m。

向下,下盘位移方向水平向右。根据上、下盘相对位移判断断层对采场围岩的影响为:断层穿 201 回风巷位置 > 煤柱未穿两巷位置 > 断层穿 203 回风巷位置。

2) 不同阶段下 201 工作面应力场分布特征

图 5 所示为 201 工作面在断层三种不同工况下工作面回采时上下盘垂直应力分布特征云图。从图中可看出,在 201 工作面回采时,断层两侧上下盘应力分布明显不连续,工作面两端有应力集中。断层穿 201 回风巷时,断层两侧应力分布不连续,但应力值大小基本均处于原岩应力;断层穿 203 回风巷时,断层上下盘应力分布明显不同,断层上盘由于 201 工作面的开采影响,201 工作面顶板及断层侧上盘基本处于卸荷区,只有断层侧工作面端头上方小范围应力集中,集中应力最大为 13.2 MPa,而断层下

综合分析 201 工作面回采阶段断层处于巷道不同位置上、下盘相对位移可知,穿过巷道位置的断层上、下盘具有明显的相对位移,上盘位移方向竖直

盘基本均处于应力增加区,最大应力为 8 MPa;断层未穿两巷时,断层上下盘应力分布不连续,但断层侧

上下盘基本均处于应力增加区或原岩应力区域,工作面两端有应力集中,最大集中应力为 13.1 MPa。

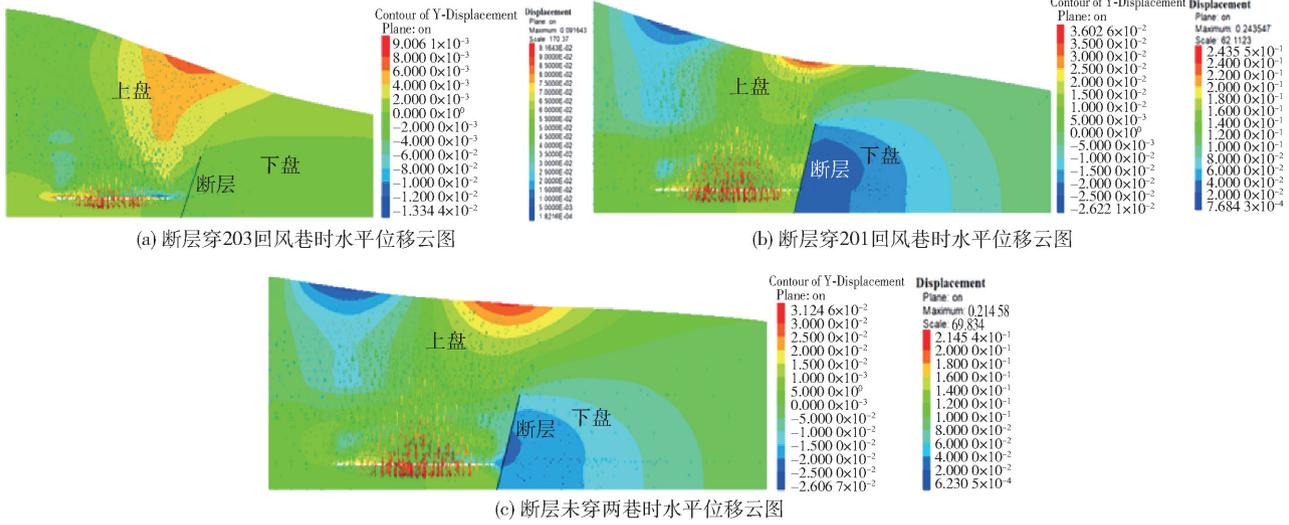


图 4 不同阶段下 201 工作面水平位移分布图

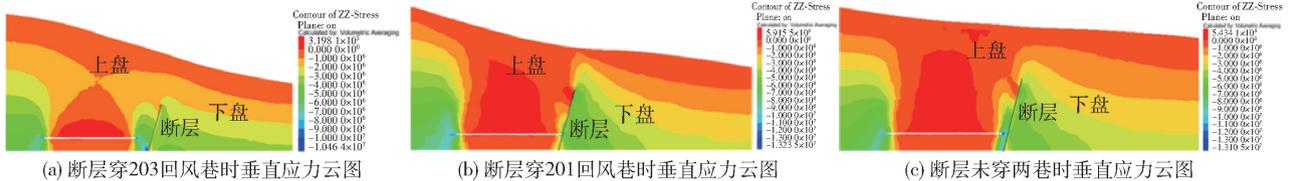


图 5 不同阶段下 201 工作面垂直应力分布图

图 6 所示为 201 工作面在断层三种不同工况下工作面回采时超前 10 m 上下盘应力场分布特征云图。从图中可以看出,断层穿 201 回风巷时,工作面前方 10 m 超前支承压压力范围最大,且断层下部受到明显的应力集中,最大垂直应力为 9.94 MPa,下盘断层侧围岩处于卸荷区,越偏向下盘方向,围岩应力越接近原岩应力。

图 7 所示为 201 工作面在断层三种不同工况下工作面回采时上下盘塑性区分布特征云图。从图中可以看出,随着 201 工作面的开采,工作面围岩受到塑性破坏,且上下盘的煤层及直接顶均受到扰动影响遭到破坏。在断层穿 201 回风巷以及未穿两巷阶段时,由于工作面已开采距离的增加,工作面上方覆岩和地表受到开采影响均产生破坏,主要以拉伸和剪切破坏为主。根据上、下盘塑性区分布范围判断断层对采场围岩的影响为:断层穿 201 回风巷位置 > 断层穿 203 回风巷位置 > 煤柱未穿两巷位置。

综合分析 201 工作面回采阶段断层处于巷道不同位置时上、下盘垂直应力可知,穿过巷道位置的断层上、下盘应力分布明显不连续。根据上、下盘应力范围及应力值大小判断断层对采场围岩的影响为:断层穿 201 回风巷位置 > 断层穿 203 回风巷位置 > 煤柱未穿两巷位置。

4) 不同阶段下 203 工作面位移场分布特征
图 8 所示为 203 工作面在断层三种不同工况下工作面回采时上下盘垂直位移特征云图。从图中可以看出,在 201 工作面开采结束后,开采 203 工作面

3) 不同阶段下 201 工作面破坏场分布特征

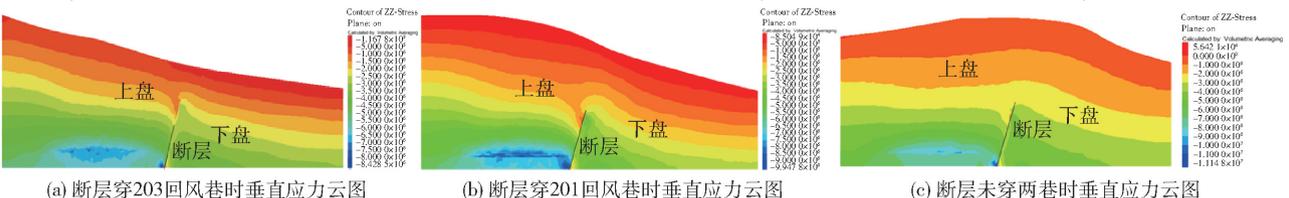


图 6 不同阶段下 201 工作面超前 10 m 垂直应力分布图

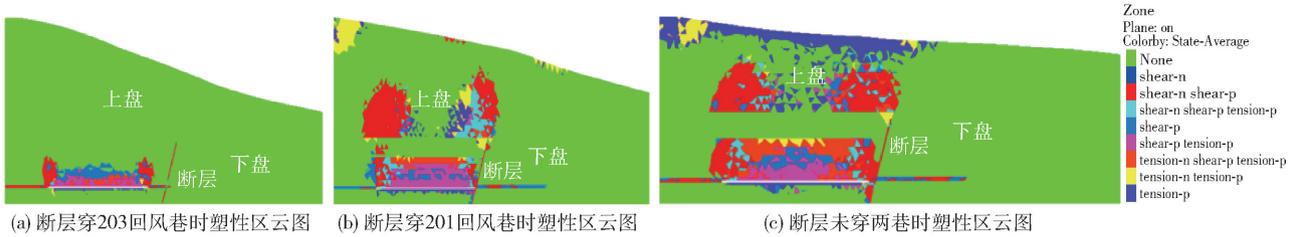


图7 不同阶段下201工作面塑性破坏分布图

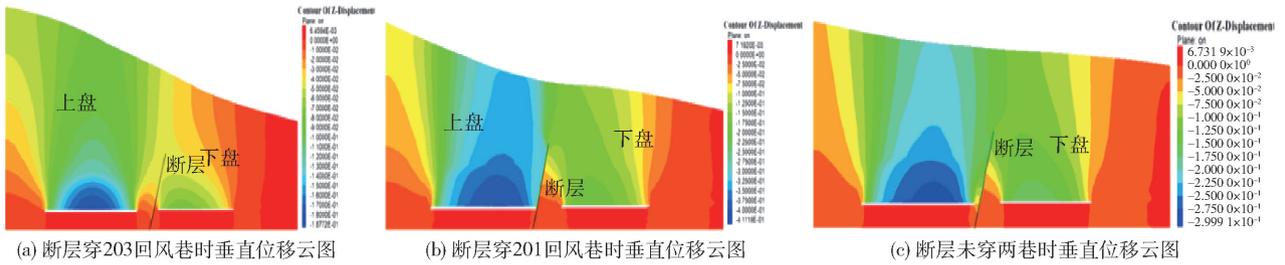


图8 不同阶段下203工作面垂直位移分布图

时,工作面围岩有明显的位移变化。断层穿过 201 回风巷时 203 采场围岩的位移变化量最大,最大位移为 0.225 m,顶板垂直位移向下,底板垂直位移向上。断层下盘煤柱及上方覆岩也有明显的位移,最大位移量为 0.05 m,位移量小于工作面顶板位移量。

图9所示为203工作面在断层三种不同工况下工作面回采时上下盘水平位移场分布特征云图。从图中可以看出,由于201工作面已经采结束,断层上盘位移量较大,且位移方向竖直向下,而断层下盘位移变化量较小,位移方向基本为右下方方向。图中

明显看出,在断层穿 201 回风巷阶段时断层下盘位移场范围最大,水平位移最大值为 0.05 m,断层穿 203 回风巷时水平位移最大值为 0.022 5 m,断层未穿两巷时的最大水平位移量为 0.035 m。

综合分析 203 工作面回采阶段断层处于巷道不同位置位移可知,根据工作面围岩位移判断断层对采场围岩的影响为:断层穿 201 回风巷位置 > 断层穿 203 回风巷位置 > 煤柱未穿两巷位置。

5) 不同阶段下 203 工作面应力场分布特征

图 10 所示为 203 工作面在断层三种不同工况下工作面回采时围岩垂直应力分布特征云图。从图

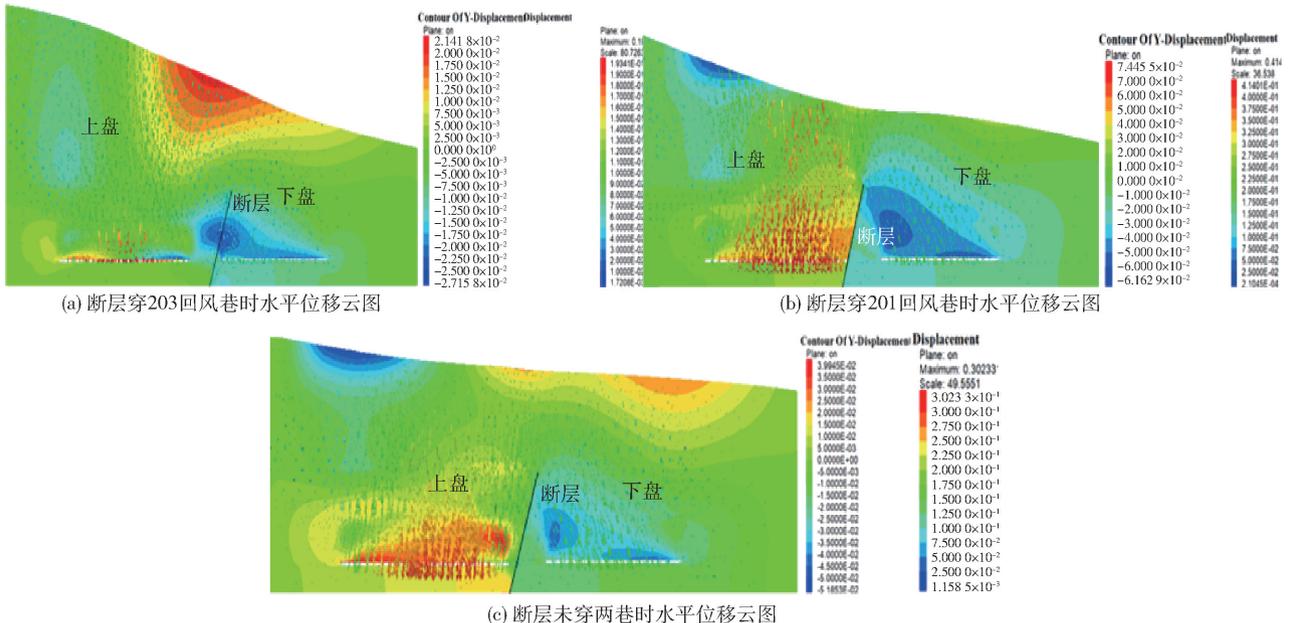


图9 不同阶段下203工作面水平位移分布图

中可以看出,203工作面回采时,工作面围岩应力重新分布,工作面顶板及其上方覆岩出现卸荷区,工作面两端产生应力集中区。下盘断层侧围岩处于应力集中区域,应力集中范围大于工作面另一侧围岩。在断层穿201回风巷时,应力集中最大值为14 MPa。

图11所示为203工作面在断层三种不同工况下工作面回采时工作面超前10 m围岩应力场分布特征云图。从图中可以看出,断层穿201回风巷时,断层下盘超前工作面10 m时的应力集中范围最大,且应力值最大可达11 MPa。

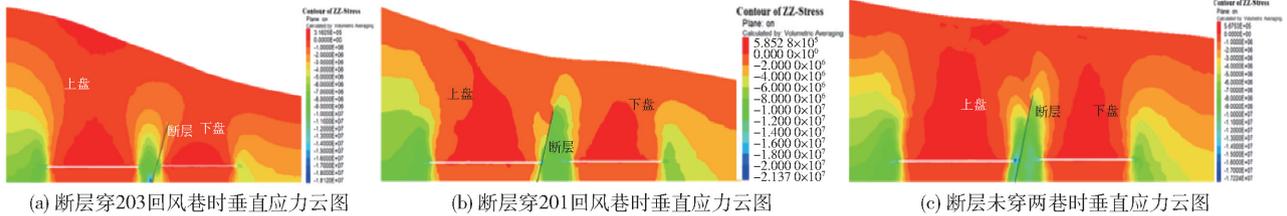


图10 不同阶段下203工作面垂直应力分布图

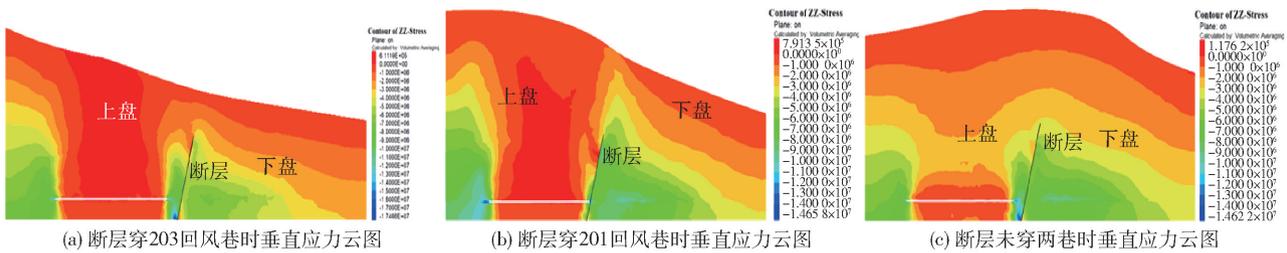


图11 不同阶段下203工作面超前10 m垂直应力分布图

综合分析203工作面回采阶段断层处于巷道不同位置时围岩垂直应力可知,穿过巷道位置的断层上、下盘应力分布明显不连续。根据上、下盘应力范围及应力值大小判断断层对采场围岩的影响为:断层穿201回风巷位置 > 煤柱未穿两巷位置 > 断层穿

203回风巷位置。

6)不同阶段下203工作面塑性区分布特征

图12所示为203工作面在断层三种不同工况下工作面回采时上下盘塑性区分布特征云图。

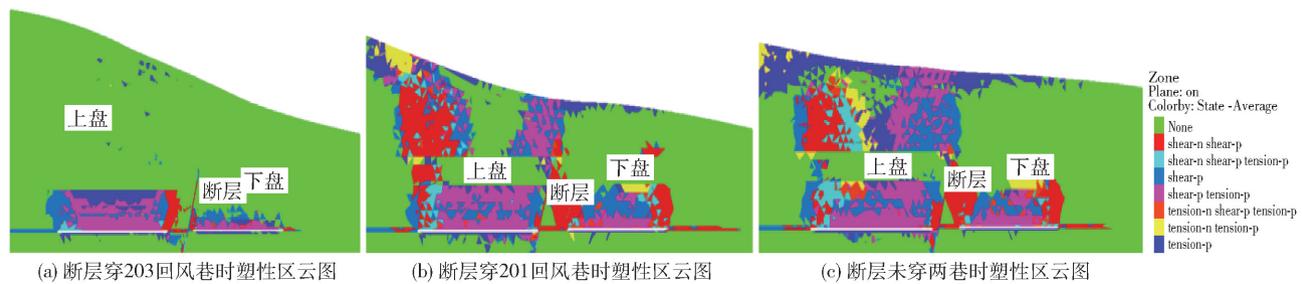


图12 不同阶段下203工作面塑性破坏分布图

从图中可以看出,随着203工作面的开采,工作面围岩受到塑性破坏,且上下盘的煤层及直接顶均受到扰动影响遭到破坏。在断层穿201回风巷以及未穿两巷阶段时,由于工作面已开采距离的增加,工作面上方覆岩和地表受到开采影响均产生破坏,主要以拉伸和剪切破坏为主。

由图13垂直应力对比图可以看出,不同阶段的工作面超前支承压力范围都处于0~10 m,在断层穿203回风巷时,201工作面的支承压力峰值高于203工作面应力峰值,在断层穿201回风巷及位于煤柱阶段,203工作面的支承压力峰值相对高于201工作面压力峰值,但整体上201工作面的平均垂直应力大于203工作面平均垂直应力。

分别在断层不同位置阶段201和203工作面选取同一开采距离下的位移和垂直应力数据,对其数据进行分析,对比如图13和图14所示。

由图14垂直位移对比图可以看出,不同阶段下201工作面的垂直位移量总是大于203工作面的垂

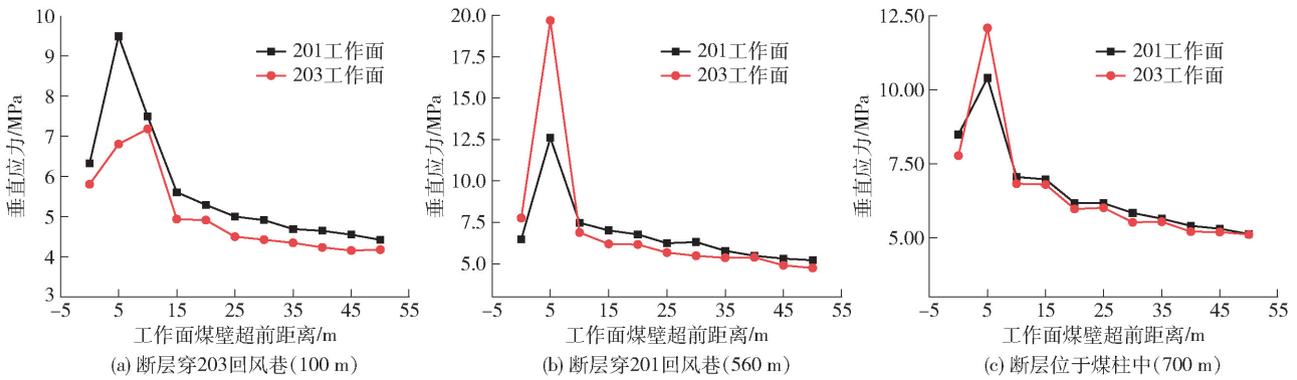


图 13 不同阶段下 201 和 203 工作面垂直应力对比

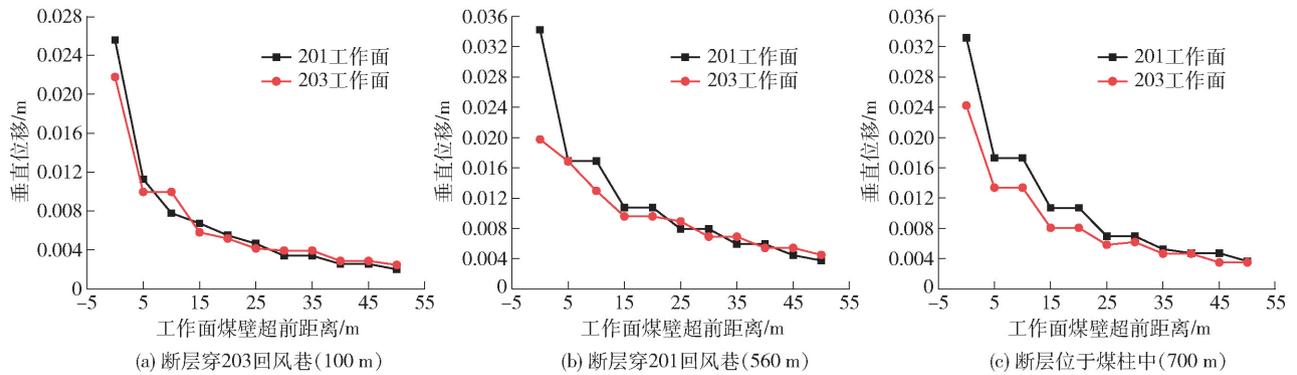


图 14 不同阶段下 201 和 203 工作面顶板垂直位移对比

直位移量,其中 201 工作面在断层穿 201 回风巷阶段的垂直位移量最大,随着距煤壁距离的增加,工作面前方顶板位移变化量明显减小,逐渐趋于稳定。

3 结论

(1)综合分析了在断层三种不同工况下对 201、203 工作面回采时采场围岩的力学行为影响,取 201、203 工作面不同阶段的数值计算模拟结果为研究对象,分析其位移场、应力场和塑性区分布特征,揭示不同阶段下工作面受采动影响的矿压显现规律。

(2)201 工作面在断层三种不同工况下工作面回采时,断层阻隔了采场围岩的位移场连续分布,断层上下盘位移变化差异性较大;断层上盘位移量较大,断层下盘位移变化量较小,断层下盘水平位移主要朝远离断层方向。在 201 工作面回采时,断层两侧上下盘应力分布明显不连续,工作面两端有应力集中。随着 201 工作面的开采,工作面围岩受到塑性破坏,工作面上方覆岩和地表受到开采影响均产生破坏,主要以拉伸和剪切破坏为主。

(3)在 201 工作面开采结束后,开采 203 工作面时,工作面围岩有明显的位移变化,断层上盘位移

量较大,且位移方向竖直向下,而断层下盘位移变化量较小,位移方向基本为右下方方向。工作面围岩应力重新分布,工作面顶板及其上方覆岩出现卸荷区,工作面两端产生应力集中区。下盘断层侧围岩处于应力集中区域,应力集中范围大于工作面另一侧围岩。随着 203 工作面的开采,工作面围岩受到塑性破坏,且上下盘的煤层及直接顶均受到扰动影响遭到破坏。

(4)在断层不同位置阶段工作面超前支承压力范围都处于 0 ~ 10 m,且整体上 201 工作面的平均垂直应力大于 203 工作面平均垂直应力。不同阶段下 201 工作面的垂直位移量总是大于 203 工作面的垂直位移量。

【参考文献】

[1] 彭苏萍,孟召平,李玉林. 断层对顶板稳定性影响相似模拟试验研究[J]. 煤田地质与勘探,2001,4(3):1-4.

[2] 刘德乾. 埋深煤体采动过程顶板聚压与煤柱受力的关联性及其断层结构影响[D]. 徐州:中国矿业大学,2009.

[3] 李志华. 采动影响下断层滑移诱发煤岩冲击机理研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2009.