



您可能感兴趣的文章、专题：

“煤矿智能化综述及关键技术”专题

“我国煤矿瓦斯防治理论技术研究进展”专题

“煤地质与煤结构”专题

“煤矿安全+智能化”专题

“深部煤层瓦斯精准抽采”专题

“中国煤科首席科学家”专题

“矿井冲击地压灾害防治技术及工程实践”专题

2020 年度《煤炭科学技术》“领跑者 5000”论文

2021《煤炭科学技术》封面文章

煤炭行业青年科学家论坛(2021 年)

采矿科学与工程



移动扫码阅读

王苏健,金声尧.类孤岛工作面复采方案优选分析研究[J].煤炭科学技术,2021,49(9):9-16. doi:10.13199/j.cnki.cst.2021.09.002

WANG Sujian, JIN Shengyao. Analysis study on selective preference of recovery mining project for island-like working face[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(9): 9-16. doi:10.13199/j.cnki.cst.2021.09.002

类孤岛工作面复采方案优选分析研究

王苏健^{1,2,3}, 金声尧^{1,2,3}

(1.陕西煤业化工技术研究院有限责任公司,陕西 西安 710070;2.煤炭绿色安全高效开采国家地方联合工程研究中心,陕西 西安 710065;3.陕西煤业化工集团有限责任公司“三秦学者”创新团队,陕西 西安 710070)

摘 要: 孤岛工作面是我国煤炭开采的一个技术难题,强矿压显现是孤岛工作面的重要特征,下石节煤矿类孤岛工作面因采动矿压显现剧烈而停采封面。为实现资源有益回收,延长矿井剩余服务年限,实现该类孤岛工作面安全复采,在综合现场调研、数值模拟计算以及理论分析等方法的基础上,总结分析了 220 工作面动压显现特征及其发生机制,提出了 220 工作面扩面和缩面 2 种改造方案,并综合对比评价了 2 种复采方案的动压、水、火、瓦斯防治的危险性以及经济效益情况。研究结果表明:220 工作面动压显现与周期来压、顶板活动紧密相关,超高应力、上位多层厚硬岩层、宽煤柱以及频繁煤炮等综合作用是矿压剧烈显现的根源。确定了扩面改造(内错 2301 采空区 15 m)、缩面改造(缩短 50 m)为最优复采方案。综合对比 2 种复采方案的整体风险性以及经济效益情况建议:220 工作面采用缩面 50 m 进行复采,安装简易机头、机尾单电机的综放推移方式,视情况再决定是否替换过渡支架以及安装正规机头和电机。

关键词: 类孤岛工作面;动压显现;工作面布置;复采

中图分类号:TD823.88

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2021)09-0009-08

Analysis study on selective preference of recovery mining project for island-like working face

WANG Sujian^{1,2,3}, JIN Shengyao^{1,2,3}

(1. Shaanxi Coal and Chemical Technology Institute Company Limited, Xi'an 710070, China; 2. The National Joint Engineering Research Center of the Green, Safe and Efficient Coal Mining, Xi'an 710065, China; 3. 'Sanqin Scholar' Innovation Team, Shaanxi Coal Industry Chemical Group Co., Ltd., Xi'an 710070, China)

Abstract: Island working face is a technical problem of coal mining in China, strong ground pressure behavior is significant characteristic of island working face, the island-like working face in Xiashijie Coal Mine stopped mining and closed working face due to strong mining pressure behavior. In order to realize the beneficial recycling of resources, extend the remaining service life of the mine, and realize the safe re-mining of the island-like working face, on the basis of comprehensive site survey, numerical simulation calculation and theoretical analysis, this paper summarizes and analyzes the dynamic pressure behavior characteristics and its mechanism of No. 220 working face, and puts forward two kinds of transformation schemes of No. 220 working face expansion and contraction. The results show that the dynamic pressure behavior of No. 220 working face is closely related to periodic roof weighting and roof activity, and the comprehensive effects of super-high stress, upper multi-layer thick and hard rock, wide coal pillar and frequent coal blasting are the root of strong mining pressure behavior. The optimal re-mining schemes is determined as expanding face reconstruction (15 m in internal displacement Goaf 2301) and reducing face reconstruction (shorten by 50 m). By comprehensively comparing the overall risks and economic benefits of the two mining schemes, it is suggested that the fully mechanized top coal caving mining should be carried out in the No. 220 working face with a reduced face of 50 m, and a simple machine head and a single motor at the tail should be installed, and whether to replace the transition support and install the regular machine head and electric machine should be decided according to the situation.

Key words: island-like working face; dynamic pressure behavior; layout of mining face; recovery mining

收稿日期:2021-01-28;责任编辑:曾康生

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划企业联合基金资助项目(2019JLZ-04)

作者简介:王苏健(1963—),男,陕西韩城人,教授级高级工程师。E-mail:hcwsj@163.com

通讯作者:金声尧(1990—),男,安徽岳西人,工程师。E-mail:jinsry@sxcti.com

0 引言

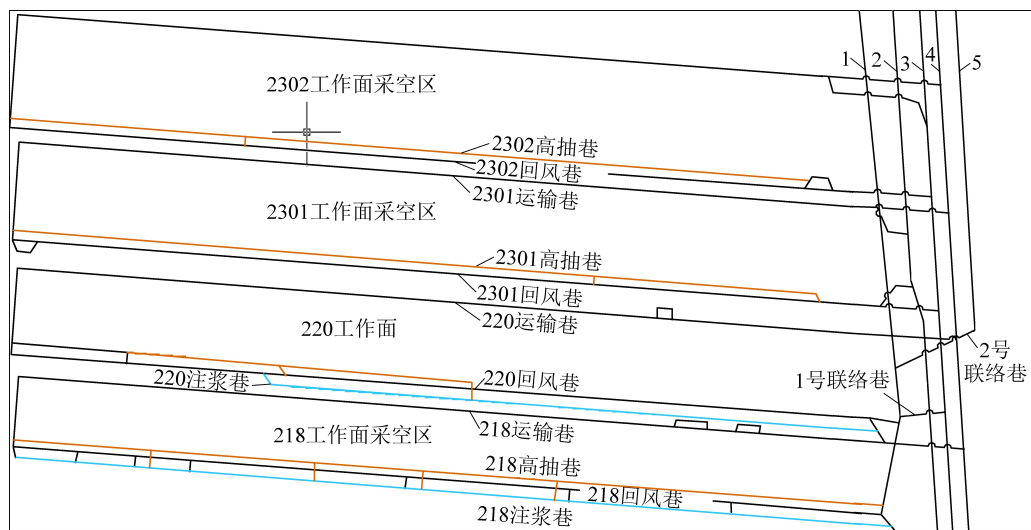
工作面的合理布局是开采设计的重大问题,合理的开采布局可以使工作面及巷道周边应力分布趋于均匀,不合理的开采设计布局,将会形成“孤岛”等强矿压显现工作面^[1-3]。孤岛工作面是我国煤炭开采的一个技术难题,工作面巷道位于邻近采空工作面的应力集中影响区,其不仅受到采动压力的影响,还受邻近工作面采空区瓦斯、水、火等的限制^[4-6],地质开采条件极为复杂。关于孤岛工作面的矿压特征,国内外学者开展了大量深入的研究,王宏伟等^[7]通过现场实测,得出工作面前方7.5~10 m是孤岛工作面最易发生冲击失稳的危险区域,顶板大面积来压和剧烈活动是冲击地压发生的前兆;李志华等^[8]对比分析了采空区下孤岛工作面矿压显现规律与一般孤岛工作面的差异性,上覆煤层的采动影响会引起下方孤岛面煤体的卸压;华心祝等^[9-10]研究了孤岛工作面沿空掘巷超前支承压力的分布特征,得出孤岛工作面超前支承压力增加明显,支护难度大幅增加,工程实践表明,锚网索和注浆加固联合支护可有效控制孤岛工作面沿空掘巷围岩的变形;曹安业等^[11-12]研究了孤岛工作面开采对强矿震的影响,认为工作面“T”型覆岩结构的破坏运动,是矿震活动的主要力源,并利用振动波CT技术对工作面冲击危险性进行动态预警;张学景^[13]针对大埋深、软岩孤岛工作面掘巷困难的现状,提出了沿空掘巷并通过采取支护、探放水、瓦斯治理、防突措施,有效地实现了孤岛工作面无煤柱沿空掘巷;朱广安等^[14]建立了孤岛工作面静载荷、动载荷应力估算模型,提出了支承压力估算

方法,并构建了孤岛工作面采前冲击危险评估体系;周世轩等^[15]分析了影响大采高孤岛工作面片帮冒顶的主要因素,并提出了“棕绳+注浆”全长锚固技术,有效控制了煤壁片帮的发生。以上这些研究丰富了孤岛工作面矿压显现规律的研究成果。

铜川下石节煤矿220工作面属于3⁻²煤和4⁻²煤合并分叉开采煤层,220工作面浅部218工作面为3⁻²煤和4⁻²煤合并开采,220工作面深部2301工作面为3⁻²煤开采,此时3⁻²煤与4⁻²煤层间距为8~30 m,且2301工作面采空区下计划设计222工作面,开采4⁻²煤。在220工作面开始回采时,218工作面和2301工作面均已回采完毕,220工作面类似于孤岛工作面开采,回采过程中动压显现剧烈,工作面压架、巷道变形严重,并于2017年5月10日停采。为了进一步保障下石节煤矿的正常生产运转,延长矿井有效剩余服务年限,笔者以下石节煤矿类孤岛工作面为工程背景,对其复采的可行性进行分析研究,引领类似条件煤矿进行资源回收有益探索。

1 工程概况

铜川下石节煤矿220工作面开采4⁻²煤层,工作面走向长度1 823 m,倾斜长度180 m,为一综采放顶煤工作面。煤层厚度7.0~14.6 m,平均厚度10.4 m,其中开采煤层厚度8.2 m,底煤厚度2.2 m,煤层密度1.40 g/cm³,地质储量376.7万t,可采储量350.3万t。220工作面浅部相邻4⁻²煤层218工作面采空区,采高11 m,面间煤柱50 m;深部与3⁻²煤层2301工作面采空区相距56 m,采高5 m左右,相对高差20~26 m。工作面相对位置如图1所示。



1—2号风井;2—轨道石门;3—暗风井;4—暗运输下山;5—二采区专用回风巷

图1 220工作面相对位置

Fig.1 Relative position of No.220 working face

220 工作面从回风巷 4⁻²煤层逐步分叉形成 4⁻²煤和 3⁻²煤层,在工作面回风巷道附近层间距平均为 1.2 m。沿煤层倾斜方向厚度逐渐增大,到运输巷附

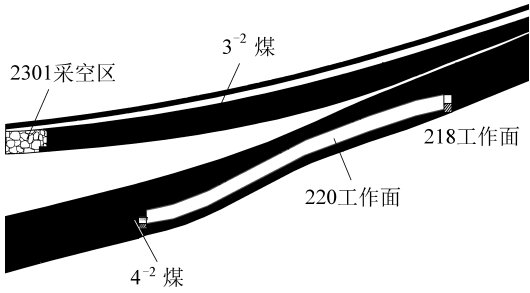


图 2 220 工作面倾向相对位置

Fig.2 Relative position of No.220 working face

近层间距达 1.6~13.5 m(在运输巷设计终采线附近层间距约 1.6 m,沿走向层间距逐渐变厚,最厚达 13.5 m),平均为 10.5 m。工作面倾向位置如图 2 所示。220 工作面因动压显现剧烈,于 2017 年 5 月 10 日停采,截至当前工作面推采 834 m,剩余 989 m。

2 220 工作面动压致灾机制

2.1 工作面回采期间动压显现特征

220 工作面自 2016 年 11 月始采至 2017 年 5 月终采,共发生较大影响的动压显现 24 起,对运输巷、回风巷及工作面均造成不同程度的破坏,矿压显现无明显规律性,具体描述见表 1。

表 1 220 工作面动压现象统计

Table 1 Statistics of dynamic pressure behavior in No.220 working face

序号	来压进尺/m	显现情况	序号	来压进尺/m	显现情况
1	185 m	超前 50 m 巷道变形,顶板下沉,最低处高 1.6 m	14	504	运输巷设备列车前段顶板下沉严重,最低高度 1.6 m
2	198	工作面 36—60 号支架煤炮声频繁,局部片帮严重	15	539	工作面煤壁片帮严重,顶板大面积自然垮落
3	219	回风巷 1 450—1 500 m 顶板破碎、下沉,底板、帮部均有变化,巷道最低处 1.3 m	16	565	超前段巷道变形严重,转载机头处顶板下沉严重,无法正常拉移
4	235	运输巷超前 50 m 转载机处巷顶板整体下沉,最低处 1.6 m	17	586	运输巷 30 m 范围内顶板下沉严重,最低处至带式输送机 0.5 m
5	260	工作面 16—40 号支架,局部出现切顶,整体煤壁片帮严重	18	611	机头、机尾处煤墙片帮严重;回风巷煤墙向外 80 m 范围巷道变形严重;运输巷煤墙向外 200 m 范围内巷道底鼓 0.3~0.5 m
6	275	运输巷超前 50 m 整体压力显现,转载机处方顶板下沉	19	650	运输巷 150 m 前后顶板整体破碎下沉,原有单体支护失效
7	290	回风巷 1 400—1 500 m 巷道变形严重,约有 25 m 长巷高仅 1.2 m	20	690	泵站所处 40 m 范围内巷道变形严重,局部顶板下沉挤压泵箱与 1 号压力泵
8	320	工作面出现大面积煤壁片帮	21	708	工作面内出现大面积片帮;泵站所处 40 m 范围巷道来压,泵箱上方顶板下沉,局部区域有网包
9	340	回风巷道超前 50 m 巷道变形,底鼓、帮鼓严重	22	738	运输巷整体出现变形,局部(超前 50 m 范围)顶板整体下沉、底板底鼓 0.5 m
10	385	工作面内局部煤壁片帮,回风巷超前巷道底鼓,运输巷超前巷道顶板破碎、下沉	23	810	运输巷煤壁向外 300 m 范围巷道整体出现变形,局部顶板整体下沉、底板底鼓 1.5 m
11	423	工作面内 75—92 号支架压力显示报警,转载机巷顶板下沉严重,帮部出现大面积网包	24	834	运输巷煤壁向外 230 m 范围巷道整体出现变形,局部顶板整体下沉、底板底鼓 1.5 m
12	450	工作面两巷超前 50 m 均出现整体变形,回风巷局部最低处 1.6 m,运输巷转载机头受顶板变形影响无法正常拉移			
13	498	工作面内煤鼓局部片帮;运输巷煤鼓向外 200 m,回风巷超前 50 m 范围内巷道顶板下沉、底鼓、帮鼓			

对 220 工作面的 24 次动压显现进行统计分析,按其显现位置划分,其中运输巷道显现 10 次,工作面显现 9 次,回风巷道显现 3 次,两巷超前 50 m 范围显现 2 次,可见主要显现发生在运输巷道和工作面内。根据动压显现时工作面位置统计:相邻 2 次动压显现发生时工作面位置相距 15~30 m 内的有 14 次,大于 30 m 的有 7 次,小于 15 m 的有 2 次。根据下石节煤矿 220 工作面矿压报告,220 工作面周期来压步距为 18 m 左右,初步推断动压显现与周期

来压、顶板活动存在一定联系。

2.2 220 工作面开采应力分布特征

2.2.1 数值模型建立

根据下石节煤矿地质资料,在数值模型中,220 工作面所采 4⁻²煤层厚 10.4 m,23012 工作面所采 3⁻²煤层厚 5 m,倾角 7°;直接顶、基本顶和底板等岩层均按实际平均厚度给定,基本顶厚 20 m,直接顶厚 20 m;220 工作面长 180 m,工作面两侧分别为区段煤柱和采空区,模型尺寸:倾向×走向×垂向=398

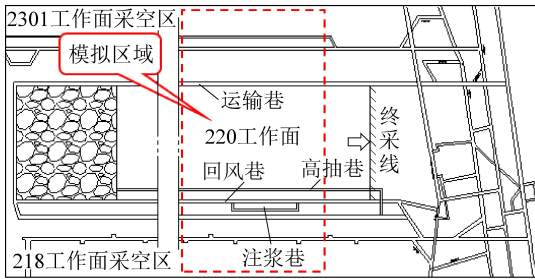
m×140 m×177 m。巷道埋深设定为 582 m,模型上方未模拟岩层,按等效载荷代替。等效载荷按式(1)计算为

$$p = \sum H \rho g \quad (1)$$

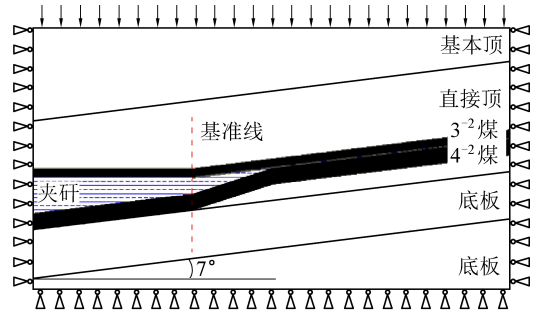
式中: H 为煤层上方未模拟煤岩的厚度, m; ρ 为相应的煤岩层密度,取平均 2 500 kg/m³; g 为重力加

速度,取 9.81 m/s²。

底板泥岩共模拟 40 m,工程平面及模型建立如图 3a 所示,整个模型 4 个立面均固定法向位移,底面同样固定法向位移。模拟中 220 运输巷道上方夹矸厚度为 12 m,如图 3b(基准线)所示。煤岩层物理力学参数按实验室测定数据给定,见表 2。



(a) 工程平面图



(b) 沿倾向的模型剖面图

图 3 工程平面图及模型建立

Fig.3 Project plan and model building

表 2 煤岩物理力学参数

Table 2 Physical and mechanical parameters of coal and rock layers

序号	岩性	密度/(kg·m ⁻³)	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)	抗拉强度/MPa
1	粉砂岩	2 876	8.14	4.87	34.0	41	2.40
2	砂、泥岩互层	2 431	4.93	2.13	31.0	35	2.60
3	3 ⁻² 煤	1 340	0.57	0.34	5.2	18	0.42
4	粉砂岩	2 876	8.16	3.68	27.0	39	1.90
5	4 ⁻² 煤	1 330	0.57	0.37	4.8	17	0.43
6	泥岩	2 886	9.43	6.36	32.0	28	0.81

2.2.2 应力分布特征

220 工作面所处区域的应力分布如图 4 所示,由图 4 可知,2301 采空区和 218 采空区之间的垂直应力呈马鞍形分布,距离采空区越近应力越高,中部煤体的应力最低,采空区的侧向影响范围最大可达 90 m,应力峰值至采空区平距约 25 m,应力集中系数最高达 1.9。为进一步分析煤层应力的分布特征,对煤体应力提取分析,由于煤层巷道大多留 2 m 底煤,这里将数据提取的路径设定为距离煤层底板垂直高 4 m 位置,提取的采空区侧向支承压力分布曲线如图 5 所示。分布曲线显示 220 运输巷所在位置的

应力水平明显高于 220 回风巷和注浆巷,解释了 220 运输巷动力显现更为强烈的原因,也说明了数值模拟结果与实际相吻合。

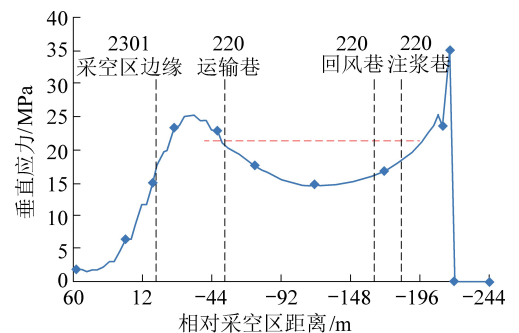


图 5 采空区侧向支承压力分布曲线

Fig.5 Distribution curve of lateral bearing pressure in goaf

根据数值模拟分析,现有的 220 运输巷受 2301 采空区侧向支承压力影响显著,其应力水平处于较高水平,垂直应力达到 21 MPa,较高的应力水平大大增加了巷道的动压危险性,在该高应力环境下进行巷道修复所产生的扰动极易诱发动压显现,且频繁的煤炮和修复使得巷道周围煤岩体破碎,巷道支护效果大幅降低,修复后的巷道仍面临较严重的动

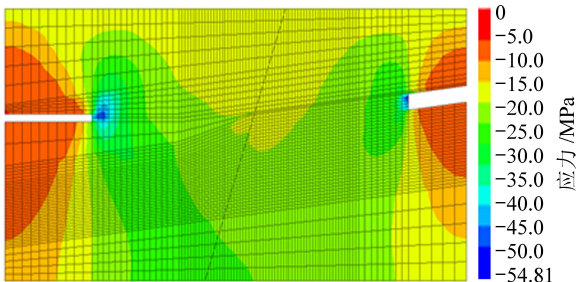


图 4 220 工作面应力状况

Fig.4 Stress conditions of No.220 working face

压显现危险。

2.3 工作面动压致灾机制分析

综合分析 220 工作面地质开采条件,初步分析 220 工作面动压致灾机制如下:

1) 220 工作面平均开采深度为 582.3 m,较大的开采深度加上其类孤岛工作面开采,导致其垂直应力相当于原岩应力的 2.5~3.0 倍,据此推断其当量采深可达 1 500 m 以上,整体上属于超高应力区。

2) 220 工作面上方存在多层单层厚度超过 10 m 的砂岩顶板,厚层顶板破断或滑移过程中,大量的弹性突然释放,形成强烈震动。

3) 4⁻²煤层上方高位覆岩为巨厚砾岩层^[16],厚度近 300 m,距煤层约 180 m,该岩层完整性好,强度高,难以垮落,加上工作面留设 50 m 宽煤柱护巷,地表基本无沉陷或裂缝,存在大面积悬顶,顶板岩层的垂直应力通过煤柱传递到工作面 and 回采巷道,巷道围岩应力明显增大。

4) 220 运输巷与 2301 采空区高差 2~20 m,平距 56 m,220 运输巷除受 2301 采空区垂直支撑压力的作用外,还受水平压力的挤压作用,巷道受力状况进一步恶化。

5) 巷道掘进及回采期间煤炮频繁,煤炮震动加剧了煤岩体的破碎,从巷道维修实际情况来看,巷道围岩破碎区已经达到 4 m 左右,且离层明显。破碎区已经远超出锚杆的锚固范围,锚杆支护基本失效。

3 220 工作面复采可行性数值模拟分析

3.1 220 工作面复采方案提出

针对 220 回采工作面面临的动压剧烈显现问题,结合 220 工作面地质开采技术条件以及动压致灾机制的初步分析结果,基于此提出以下 2 种复采方案。

1) 方案一:另掘一条运输巷,将 220 的运输巷重新布置在 2301 采空区下方的 4⁻²煤层中,该方案相应的将延长 220 回采工作面倾向长度,具体如图 6 所示。

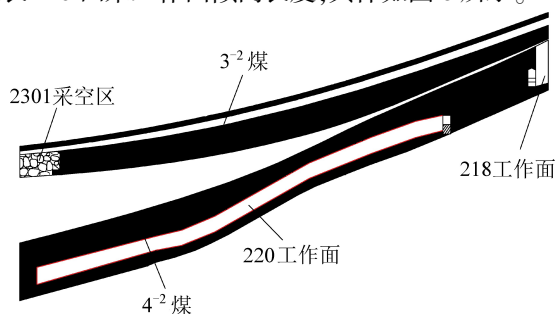


图 6 方案一设计示意

Fig.6 Schematic of design for Scheme 1

2) 方案二:另掘一条运输巷,将运输巷向 220 工作面内部布置,即增加运输巷与 2301 采空区之间的距离,缩短 220 工作面的倾向长度,具体如图 7 所示。

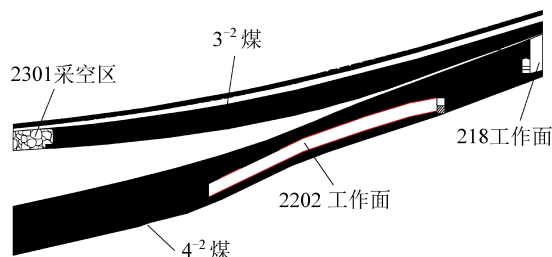


图 7 方案二设计示意

Fig.7 Schematic of design for Scheme 2

3.2 方案一应力分布特征

方案一采用延长 220 回采工作面倾向长度,重新布置运输巷在 2301 采空区下方。方案一的模拟分析包括 5 个工况,分别为工况 1—工况 5,即 220 运输巷与 2301 采空区内错 0、5、10、15、20 m 五种情况,如图 8 所示。通过模拟对各工况下的应力分布情况进行分析。

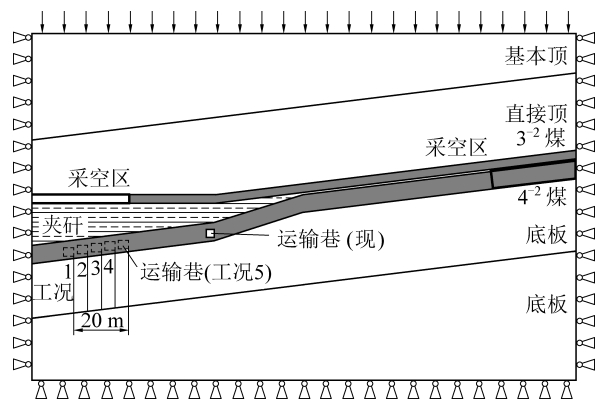


图 8 方案一模拟工况示意

Fig.8 Schematic of simulation working conditions of scheme 1

图 9 为方案一各工况下 220 运输巷道两侧围岩的垂直应力分布曲线,其中定义运输巷靠 220 工作面一侧帮部为上帮,另一侧为下帮。由图 9 比较现在的 220 运输巷与方案一各工况的应力分布情况,可知巷道和采空区内错 0 时,采空区下方的巷道下帮煤体压力开始降低,但是上帮煤体受采空区边缘的侧向支撑压力影响应力值反而有所升高,相应的动压危险性增大。内错 10、15 和 20 m 均有较好的卸压效果,内错 10 m 时两帮至巷道 16 m 范围的围岩内支撑压力已经低于现在 220 运输巷的应力,内错 20 m 时两帮至巷道 26 m 范围的围岩内支撑压力已经低于现在 220 运输巷的应力。

综合上述分析及图 9,将扩面改造方案的各工况卸压效果汇总见表 3。从对 220 运输巷围岩应力

的降低情况来看,扩面越长卸压效果最优,但结合工作面长度布置,确定最优的扩面改造方案为内错2301工作面采空区15 m。

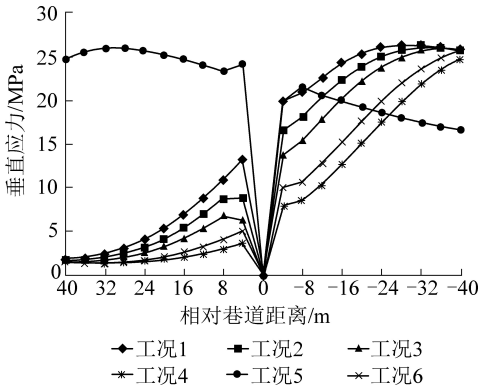


图9 方案一:各工况下220运输巷两帮应力

Fig.9 Scheme 1:stress of two sides of No.220 transport lane under each working condition

表3 扩面改造各工况卸压情况统计

Table 3 Statistics on pressure relief of various working conditions in face expansion and reconstruction

工况	错距/m	下帮		上帮	
		卸压程度/%	卸压范围/m	卸压程度/%	卸压范围/m
工况1	0	45	>40	无	无
工况2	5	64	>40	16	12
工况3	10	74	>40	28	16
工况4	15	79	>40	51	20
工况5	20	85	>40	60	26

3.3 方案二应力分布特性

该方案采用缩短220工作面的倾向长度,向煤层浅部重新掘进220运输巷。方案二的模拟分析包括4个工况,分别为工况6—工况9,即220工作面的水平宽度缩短20、40、60和80 m四种情况,如图10所示。通过模拟对各工况下的应力分布情况进行分析。

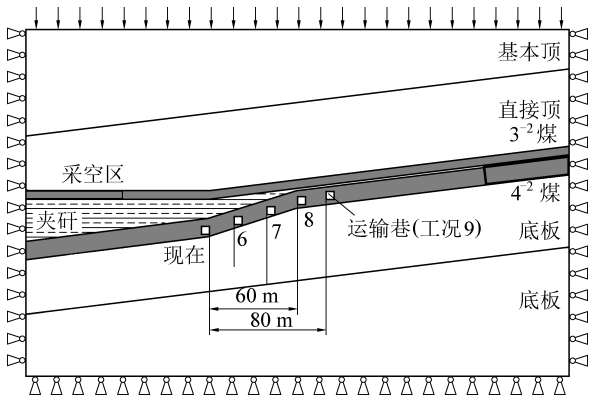


图10 方案二模拟工况示意

Fig.10 Schematic of simulation working condition of Scheme 2

方案二各工况下220运输巷道两侧围岩的垂直应力分布曲线如图11所示。由图11比较现在所在位置的220运输巷与方案二各工况的应力分布情况,可知随着220运输巷距离2301采空区越远,对巷道下帮的卸压效果要大于上帮。工况6中工作面水平宽度缩短20 m时卸压效果最为显著,工况7、8相比于工况6虽然卸压效果进一步增大,但增大的幅度有所减小。并且注意到,虽然工况7中水平宽度缩短40 m后应力有所降低,但是巷道两帮依然具有一定应力集中,距巷道20 m范围内上、下帮应力集中系数最大可达1.3。因此,方案二的卸压效果有限,工作面水平宽度缩短40 m上下两帮,依然具有一定的应力集中,缩短60 m后巷道两帮的应力集中不明显。

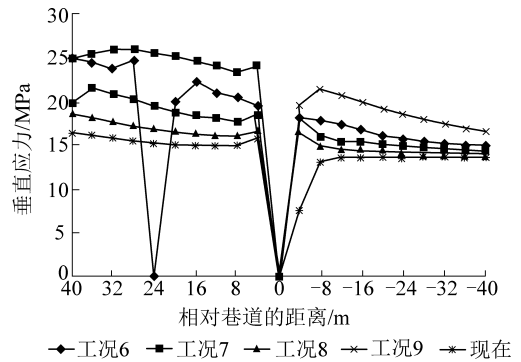


图11 方案二:各工况下220运输巷道两帮应力曲线

Fig.11 Scheme 2:stress curves of two tunnels of No.220 transport lane under various working conditions

综合上述分析及图11,将缩面改造方案的各工况卸压效果汇总见表4。从对220运输巷围岩应力的降低情况来看,缩面距离越大卸压效果越优,但结合工作面长度布置,确定最优的缩面改造方案为工作面倾向长度缩短40~60 m,建议缩短50 m。

表4 缩面改造各工况卸压情况统计

Table 4 Statistics on pressure relief of various working conditions of face reducing and reconstruction

工况	错距/m	下帮		上帮	
		卸压程度/%	卸压范围/m	卸压程度/%	卸压范围/m
工况6	20	18	>40	17	>40
工况7	40	23	>40	26	>40
工况8	60	34	>40	31	>40
工况9	80	41	>40	39	>40

4 220工作面复采方案整体综合对比分析

4.1 复采方案整体风险性分析

4.1.1 方案一的整体风险性分析

220工作面扩面改造后,新运输巷掘进危险小,

成巷速度快;且后期回采时运输巷矿压显现程度也将有所降低,维修工程量少。但存在以下 6 个问题:①改造后的工作面开采需过 220 工作面原运输巷,存在通风、防灭火及顶板控制问题,技术难度较大;②需要对原有运输巷进行修复,以满足加架期间运输、通风的要求,修复期间安全隐患较大;③工作面内部支架等设备的回撤与安装难度大;④需要优化通风系统,扩面后通风系统复杂、不稳定;⑤水害危险性大,且需要边掘边探,效率低,防治水难度大;⑥220 工作面下部与上层 2301 采空区导通,增加了防火、防瓦斯难度。

4.1.2 方案二的整体风险性分析

220 工作面缩面改造后,新运输巷远离侧向支承压力峰值区域,巷道和采场动压显现会有所降低。但仍存在以下 4 个问题:①工作面拆撤设备技术难度大、时间长,顶板维护及防灭火问题突出;②改造后工作面下端头区域需要装置电机,如果不采用过渡支架,需要采用垂直布置,此时应保证端头处巷道宽度在 4.5 m 以上,由于下平巷压力大,变形严重,巷道宽度难以保证,如果采用平行布置,则必须将下部 4 个基本架替换为过渡支架,支架替换难度极高;③新运输巷掘进和工作面回采期间,仍受孤岛煤柱影响,且新老运输巷之间又增加一个煤柱,巷道应力仍然较高,相对方案一的动压危险性高;④资源浪费严重。

4.2 经济效益对比分析

整体来看,根据 2 种方案的经济效益分析,2 种方案的复产工期均不影响工作面接续,从资源回收来看方案一较优,从新增投入来看,方案二较优。综合分析 2 种方案的经济效益见表 5。

表 5 2 种方案的综合经济效益

Table 5 Comprehensive economic benefits of two schemes

类别	方案一	方案二
资源回收/万元	213.30	119.20
新增投入/万元	2 357.63	782.40
复产工期/d	140	140
满足工作面接续否	满足	满足

4.3 220 工作面复采方案

通过上述 2 种方案的对比分析表明:方案一工作面撤架及加架难度大,回采工艺复杂,管理难度高;方案二动压危险问题有所降低,回采期间的防治水、火、瓦斯等问题也有所减轻。综合安全、经济等角度考虑,建议 220 工作面采用方案二,即安装简易机头、机尾单电机的综放推移方式,视情况再决定是否替换过渡支架以及安装正规机头和电机。

4.4 220 工作面复采安全技术措施

1) 启封密闭时,应先将 220 工作面回风巷外侧密闭墙破开一通风孔,检查密闭墙内外气体浓度,检测无危险后,方可继续启封。

2) 当新掘巷道距启封工作面 10~30 m 时,应及时施工高位瓦斯抽采钻孔,对即将启封的工作面内瓦斯进行抽采,并实时监测抽采瓦斯浓度。

3) 应加强动压显现防治工作管理,最大限度地降低采动压力的显现强度和频率,保证矿井安全顺利生产。

4) 工作面回采过程中需实时监测 220 复采工作面和老空区水情变化,出现工作面来压不规律、非来压周期长时间压架、淋水,架前、架间或架后溃砂等现象时,应及时停产撤人观察,稳定之后采取相应的防治措施。

5) 建议复采工作面日推进度控制在 4.8 m 左右,开采过程中应根据微震监测及动压显现情况适当进行调整,避免停采滞采。

5 结 论

1) 深部的高原岩应力状态、类孤岛邻近工作面开挖后顶板多层厚硬岩层破断后的强烈震动、类孤岛邻近工作面开挖后稳定期水平应力采动应力加持,上方高位巨厚砾岩层的应力传递以及类孤岛工作面掘进开挖过程中的频繁煤炮震动松弛围岩的共同作用下,类孤岛工作面采动压力显现剧烈,被迫停采。

2) 提出了扩面改造和缩面改造 2 种复采方案。从降低围岩应力角度,扩面越长卸压效果越优,缩面越短卸压效果越优,结合工作面长度布置,确定扩面改造(内错 2301 采空区 15 m)、缩面改造(缩短 50 m)为最优复采方案。

3) 根据 2 种方案的经济效益分析,从新增投入角度看,缩面改造方案较优。综合安全等因素,建议 220 工作面采用缩面减架 50 m,安装简易机头、机尾单电机的综放推移方式,视情况再决定是否替换过渡支架以及安装正规机头和电机。该方案有待 220 工作面复采后进一步进行工程验证。

参考文献(References):

- [1] 黄万朋,邢文彬,郑永胜,等.近距离煤层上行开采巷道合理布局研究[J].岩石力学与工程学报,2017,36(12):3028-3039.
HUANG Wanpeng, XING Wenbin, ZHENG Yongsheng, et al. Reasonable layout of roadways for upward mining technology of close coal seams[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(12): 3028-3039.

- [2] 曹民远,孙秉成,刘旭东.急倾斜煤层高应力条件让压掘进巷道布局优化[J].煤炭工程,2017,49(S2):14-17,21.
CAO Minyuan, SUN Bingcheng, LIU Xudong. Layout optimization of post-weighting excavation roadway under high stress steep coal seam [J]. Coal Engineering, 2017, 49(S2): 14-17, 21.
- [3] 王毅,曹安业,窦林名,等.开采布局不合理引发冲击危险的研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(6):827-832.
WANG Yi, CAO Anye, DOU Linming, *et al.* Study on the rock burst risk caused by the irrational layout of the mining exploitation [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(6): 827-832.
- [4] 柴建平.孤岛工作面回采巷道围岩稳定性控制研究[J].煤炭科技,2019,40(1):18-20.
CHAI Jianping. Research on stability control of surrounding rock in coal winning roadway in isolated working face [J]. Coal Science and Technology Magazine, 2019, 40(1): 18-20.
- [5] 申银朋.孤岛煤柱工作面安全开采方案优选[J].煤炭科技,2018,39(4):73-74.
SHEN Yinpeng. Selection of safety mining plan for isolated coal pillar working face [J]. Coal Science and Technology Magazine, 2018, 39(4): 73-74.
- [6] 赵富贵.煤矿孤岛工作面回采巷道围岩控制技术研究[J].煤炭科技,2018,39(3):125-127.
ZHAO Fugui. Research on surrounding rock control technology of coal winning roadway in isolated working face of coal mine [J]. Coal Science and Technology Magazine, 2018, 39(3): 125-127.
- [7] 王宏伟,姜耀东,杨忠东,等.长壁孤岛工作面煤岩冲击危险性区域多参量预测[J].煤炭学报,2012,37(11):1790-1795.
WANG Hongwei, JIANG Yaodong, YANG Zhongdong, *et al.* Multi-variable assessment of coal bump risk during extraction of an island longwall panel [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(11): 1790-1795.
- [8] 李志华,华心祝,杨科,等.采空区下孤岛工作面矿压显现规律研究[J].煤炭工程,2013,45(11):72-74,78.
LI Zhihua, HUA Xinzhu, YANG Ke, *et al.* Study on mine strata pressure behavior law of coal mining face in seam island under goaf [J]. Coal Engineering, 2013, 45(11): 72-74, 78.
- [9] 华心祝,刘淑,刘增辉,等.孤岛工作面沿空掘巷矿压特征研究及工程应用[J].岩石力学与工程学报,2011,30(8):1646-1651.
HUA Xinzhu, LIU Shu, LIU Zenghui, *et al.* Research on strata pressure characteristic of gob-side entry driving in island mining face and its engineering application [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(8): 1646-1651.
- [10] 刘淑.孤岛工作面沿空掘巷矿压特征及围岩控制技术研究[D].淮南:安徽理工大学,2010.
- [11] 曹安业,朱亮亮,李付臣,等.厚硬岩层下孤岛工作面开采“T”型覆岩结构与动压演化特征[J].煤炭学报,2014,39(2):328-335.
CAO Anye, ZHU Liangliang, LI Fuchen, *et al.* Characteristics of T-type overburden structure and tremor activity in isolated face mining under thick-hard strata [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(2): 328-335.
- [12] 曹安业,王常彬,窦林名,等.临近断层孤岛面开采动力显现机理与震动波CT动态预警[J].采矿与安全工程学报,2017,34(3):411-417.
CAO Anye, WANG Changbin, DOU Linming, *et al.* Dynamic manifestation mechanism of mining on the island coalface along fault and dynamic pre-warning of seismic waves with seismic tomography [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2017, 34(3): 411-417.
- [13] 张学景.大理深软岩孤岛工作面无煤柱沿空掘巷技术研究[J].煤炭科学技术,2018,46(2):144-149.
ZHANG Xuejing. Research on gob side entry driving with non-pillar technology of large depth soft rock island working face [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 144-149.
- [14] 朱广安,窦林名,丁自伟,等.孤岛工作面采前冲击危险性评估研究[J].岩土工程学报,2018,40(5):819-827.
ZHU Guangan, DOU Linming, DING Ziwei, *et al.* Pre-evaluation for rock burst risks in island longwall panel before mining [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2018, 40(5): 819-827.
- [15] 周世轩,李红斌.大采高孤岛工作面片帮原因及控制技术研究[J].煤炭科学技术,2017,45(5):98-102.
ZHOU Shixuan, LI Hongbin. Study on rib spalling cause and control technology of high cutting island coal mining face [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(5): 98-102.
- [16] 杨伟利,姜福兴,杨鹏,等.巨厚岩浆岩失稳的大孤岛工作面防冲研究[J].岩石力学与工程学报,2017,36(S1):3382-3391.
YANG Weili, JIANG Fuxing, YANG Peng, *et al.* Prevention of rockburst in large island longwall panels induced by instability of super-thick magmatic strata [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(S1): 3382-3391.