

文章编号:1671-251X(2021)12-0032-08

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2021060036

厚硬顶板工作面采动影响下巷道群区域 防冲卸压技术研究

窦桂东¹, 贾增林¹, 高永刚¹, 张营²

(1. 陕西彬长小庄矿业有限公司, 陕西 咸阳 713500;

2. 中煤科工开采研究院有限公司, 北京 100013)



扫码移动阅读

摘要:在特殊地质与开采技术条件影响下,受冲击地压灾害威胁矿井的工作面附近巷道群区域往往处于高应力环境,具有较高的冲击危险性。针对厚硬顶板工作面采动影响条件下巷道群区域防冲卸压问题,以陕西彬长小庄矿业有限公司 40309 工作面为工程背景,通过分析现场监测获取的工作面回采末期微震、地音、应力数据,可知在工作面回采末期,外围联络巷、硐室及中央大巷等巷道群区域已处于工作面采动影响范围内,受采动影响,冲击危险性持续升高。理论分析认为,40309 工作面采动影响下巷道群区域冲击危险性产生的原因是在厚硬顶板条件下,巷道群区域集中动静载荷叠加积聚。针对 40309 工作面不同巷道区域,提出深孔、超深孔顶板预裂爆破防冲卸压方案,并进行工程实践与效果检验,结果表明:采用防冲卸压方案后,40309 工作面及附近巷道群区域微震频次、能量分别降低 55%,60%,地音监测危险等级中 c 级和 d 级占比下降 22.8%,巷道群区域应力集中程度明显降低,冲击危险性显著减小;工作面及附近硐室、联络巷、中央大巷区域巷道无变形及动力显现现象,防冲效果良好。

关键词:冲击地压;防冲卸压;厚硬顶板;巷道群;顶板预裂爆破;微震监测;地音监测;应力监测
中图分类号:TD324 文献标志码:A

Research on regional anti-burst and pressure relief technology of roadway group
affected by mining in thick and hard roof working face

DOU Guidong¹, JIA Zenglin¹, GAO Yonggang¹, ZHANG Ying²

(1. Shaanxi Binchang Xiaozhuang Mining Co., Ltd., Xianyang 713500, China;

2. CCTEG Coal Mining Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: Under the impact of special geological and mining technology conditions, the roadway group area near the working face of the mine threatened by the rock-burst disasters is often in the high stress environment with a high impact risk. In order to solve the problem of roadway group regional anti-burst and pressure relief under the impact of mining in thick and hard roof working face, taking the 40309 working face of Shaanxi Binchang Xiaozhuang Mining Co., Ltd. as the engineering background, through on-site monitoring, the microseismic, ground sound and stress data at the end of working face mining are obtained. And the analysis show that the peripheral connecting roadway, chamber and central main roadway at the end of the working face are within the impact range of working face mining, and the impact risk continues to increase due to the impact of mining. The theoretical analysis shows that the reason for the impact risk of roadway group under the impact of mining in 40309 working face is the superposition and

收稿日期:2021-06-14;修回日期:2021-12-06;责任编辑:李明。

基金项目:“科技助力经济 2020”重点专项(SQ2020YFF0426364)。

作者简介:窦桂东(1983—),男,山东泰安人,高级工程师,硕士,现主要从事煤矿灾害治理工作,E-mail:313934867@qq.com。通信作者:张营(1987—),男,山东泰安人,工程师,现主要从事矿山压力与岩层控制及煤矿动力灾害防治工作,E-mail:18854828200@163.com。

引用格式:窦桂东,贾增林,高永刚,等.厚硬顶板工作面采动影响下巷道群区域防冲卸压技术研究[J].工矿自动化,2021,47(12):32-38.

DOU Guidong, JIA Zenglin, GAO Yonggang, et al. Research on regional anti-burst and pressure relief technology of roadway group affected by mining in thick and hard roof working face[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(12): 32-38.

accumulation of concentrated dynamic and static loads in roadway group area under the condition of thick and hard roof. Aiming at different roadway areas of 40309 working face, the deep hole and ultra-deep hole roof presplitting blasting anti-burst pressure relief scheme is proposed, and the engineering practice and effect test are carried out. The results show that after adopting the anti-burst pressure relief scheme, the frequency and energy of microseisms in the 40309 working face and the nearby roadway group area are reduced by 55% and 60% respectively, the proportion of the c and d levels in the ground sound monitoring disaster level has decreased by 22.8%, the degree of regional stress concentration of the roadway group is significantly reduced, and the impact risk is significantly reduced. The working face and nearby chambers, connecting roadways and central roadways have no deformation and dynamic phenomena, and the anti-burst effect is good.

Key words: rock burst; anti-burst pressure relief; thick and hard roof; roadway group; roof presplitting blasting; microseismic monitoring; ground sound monitoring; stress monitoring

0 引言

随着我国煤矿开采深度及开采强度不断增加,冲击地压灾害日益严重,已成为煤矿开采面临的主要动力灾害之一^[1-2],严重制约煤炭资源的合理开发与利用。

多年来,我国在冲击地压理论研究领域成果丰硕,相继提出了冲击地压“三准则”^[3]、“三因素”^[4-5]、“弱化减冲”^[6-7]、“冲击启动”^[8-9]等理论。因煤矿地质及开采技术条件的差异性,基于冲击地压理论指导的防冲实践研究与应用不尽相同。窦林名等^[10]通过研究顶板预裂爆破防冲作用机制,结合冲击危险的分时、分区和分级特征,将分时、分区、分级顶板预裂爆破防冲技术应用于坚硬顶板型冲击地压防治工程实践。潘一山^[11]研究分析了冲击地压扰动响应失稳的机理及条件,从煤岩体变形系统控制量、扰动量和响应量角度对冲击地压的监测和防治进行了阐述。潘俊锋等^[12]通过分析巷道冲击启动机制,采用数值模拟方法研究了巷道应力集中区的爆破效应,提出了基于冲击启动理论的深孔区间爆破疏压技术。以上研究与实践在一定程度上对冲击地压防治具有指导与借鉴意义,但受矿井不同地质及开采条件的动态、叠加变化影响,冲击地压发生机理具有复杂与多样性,因此没有绝对成熟的防冲技术直接用于参考与借鉴。

受冲击地压灾害威胁的矿井,在特殊地质与开采技术条件影响下,工作面附近的巷道群区域往往处于高应力环境,具有较高的冲击危险性。例如陕西彬长矿区冲击地压矿井工作面顶板具有厚层坚硬特性,工作面大多设计为“一面三巷”或“一面多巷”(包括运输巷、回风巷、专用泄水巷、高抽巷等回采巷道)布置方式,且与工作面相连的多条盘区准备巷道及开拓巷道大多布置在煤层中,因此,工作面及附近

区域的回采巷道、联络巷、硐室及大巷布置较为集中,形成巷道群。工作面在回采末期往往对附近的巷道群产生采动影响,造成巷道群区域冲击危险性升高。本文以陕西彬长小庄矿业有限公司(以下称小庄煤矿)为工程背景,结合该矿40309回采工作面地质及开采技术条件,分析厚层坚硬顶板条件下工作面回采末期巷道群区域冲击地压影响因素及冲击危险性,研究适合该矿工作面回采末期巷道群区域防冲卸压手段,为工作面及矿井安全生产创造有利条件,为同类型矿井的冲击地压防治提供有益借鉴。

1 工程背景

小庄煤矿位于陕西彬长矿区中部,与矿区内孟村、胡家河、文家坡、亭南矿井相邻,井田面积为45.82 km²,设计生产能力为6.0×10⁶ t/a,服务年限为67.28 a。煤矿开采4煤层,平均厚度为18.01 m,属特厚煤层。经鉴定4煤层及其顶底板均具有弱冲击倾向性,经评价该煤层具有中等冲击危险。40309工作面为矿井回采的第5个工作面,于2021年3月回采结束。40309工作面倾向长度为195 m,走向长度为2 824 m,采用后退式走向长壁综合机械化放顶煤开采,全部垮落法管理顶板。工作面共布置胶带运输巷、回风巷、泄水巷、高抽巷4条回采巷道,通过联络巷与中央大巷联通,如图1所示。工作面附近布置有中央1号回风大巷、中央进风大巷、中央辅助运输大巷、中央胶带运输大巷、中央2号回风大巷共5条大巷,均布置在煤层中,留设大巷保护煤柱150 m。

40309工作面设计开采4煤层,煤层厚度为19~28 m,倾角为0~5°,埋深为531~731 m。直接顶为粉砂岩、细砂岩、薄层泥岩,稳定性较差,厚度为3~9 m;基本顶为粗砂岩,厚度为10~34 m,单轴抗压强度为58.3 MPa,属中等稳定性岩体;底板为铝

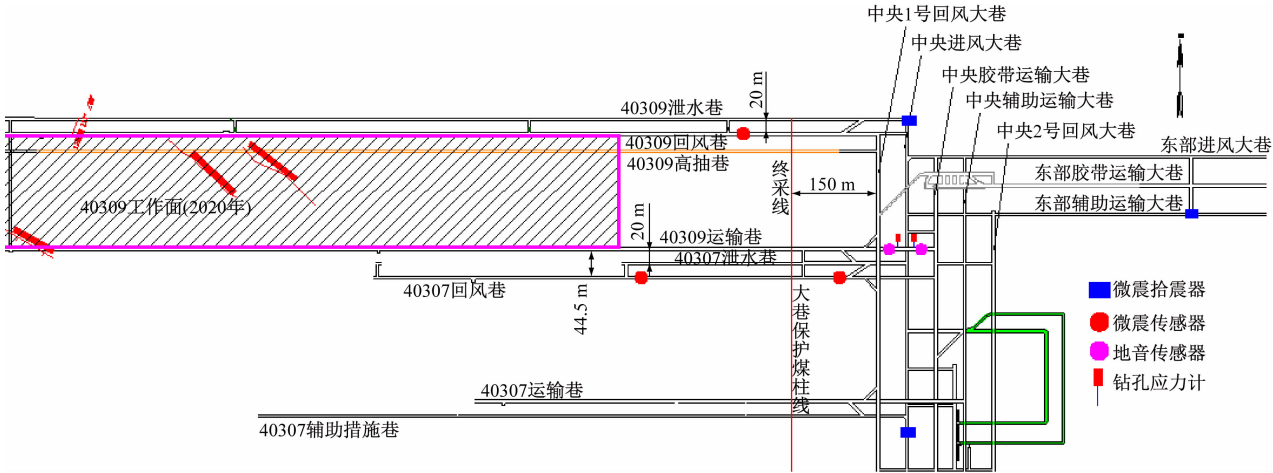


图 1 40309 工作面平面

Fig. 1 40309 working face plane

质泥岩、泥质粉砂岩、泥岩，遇水易膨胀，稳定性较差，厚度为 7~10 m。40309 工作面顶底板岩层柱状图如图 2 所示。

柱状	厚度/m	煤岩名称	岩性描述
	1.75	中砂岩	成分以石英为主，长石次之，分选中等，次圆-次棱角状，具斜层理及变形层理
	1.52	泥质粉砂岩	具水平层理，含岩屑及植物碎片化石
	34.03	粗砂岩	成分以石英、长石为主，含少量暗色矿物，次圆-次棱角状，孔隙式钙质胶结
	4.65	粉砂岩	具水平纹理，斜层理及小型波状层理
	0.82	泥岩	上部具水平纹理，可见垂直裂隙，下部0.35 m为炭质泥岩
	25.25	4煤	黑色-黑褐色、半亮-半暗煤，块状-粉末状，中夹炭质泥岩夹矸
	1.05	泥岩	炭质含量较高，易碎，中夹暗煤条带
	1.05	泥质粉砂岩	具小型波状层理，含植物化石碎片、炭屑及少量黄铁矿结核
	7.45	铝质泥岩	中夹浅灰色细砂岩薄层，均匀层理，遇水膨胀，易风化
	7.40	细砂岩	中夹灰白色中粒石英砂岩薄层及条带，具斜层理

图 2 40309 工作面顶底板岩层柱状图

Fig. 2 Histogram of roof and floor strata of 40309 working face

矿井在已回采的 4 个工作面处于回采末期，受厚层坚硬顶板、巷道布置集中、采掘扰动等因素影响，当工作面终采线距离外围联络巷、硐室及中央大巷等巷道群区域 150 m 时应力较为集中，巷道出现变形、底鼓，“煤炮”现象频繁，需采取防冲卸压措施，对工作面外围巷道群区域进行保护。

2 冲击地压监测分析

2.1 微震监测分析

采用 ARAMIS M/E 微震监测系统监测 40309 工作面及附近区域微震情况。在中央进风大巷及东部辅助运输大巷布置 3 台微震拾震器，在 40309 回风巷及 40307 回风巷布置 3 台微震传感器，组成微震台网对 40309 工作面及附近巷道群区域进行微震

监测，如图 1 所示。40309 工作面回采末期微震事件平面投影如图 3 所示。采用固定工作面方法^[13]绘制 40309 工作面回采末期沿工作面走向的微震频次、能量分布，如图 4 所示。可看出 40309 工作面回采末期微震频次、能量主要分布在工作面后方约 100 m、工作面前方约 180 m 范围内；工作面超前区域微震事件集中在工作面前方 0~180 m 范围，最远影响范围达到工作面前方 300 m，已影响至工作面附近联络巷、硐室及中央大巷区域，且工作面超前微震分布峰值范围为工作面前方 80~120 m，该区域为工作面超前应力集中区域；在 150 m 宽度的大巷保护煤柱条件下，工作面回采至终采区域时，在工作面附近联络巷、硐室及中央大巷形成应力集中区。

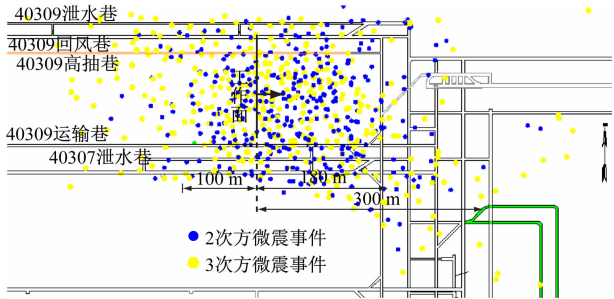


图 3 微震事件平面投影

Fig. 3 Plane projection of microseismic events

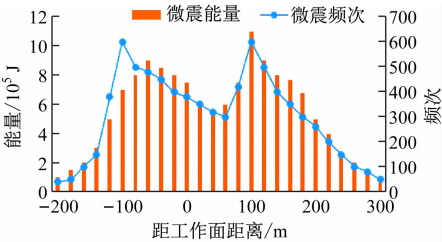


图 4 微震频次、能量分布

Fig. 4 Microseismic frequency and energy distribution

2.2 地音监测分析

在 40309 工作面靠近联络巷、硐室及中央大巷

区域布置2个地音传感器(编号为2,3)。在工作面回采末期,2个地音传感器监测能量、频次较正常回采期间均上升,地音监测危险等级分布如图5所示。可看出a—d级分别有86,42,43,15次。a级和b级次数占总评价班次的68.8%,c级和d级次数占31.2%。与工作面正常回采期间相比,c级和d级占比增加24.7%,表明在工作面回采末期,联络巷、硐室及中央大巷区域的冲击危险性升高。

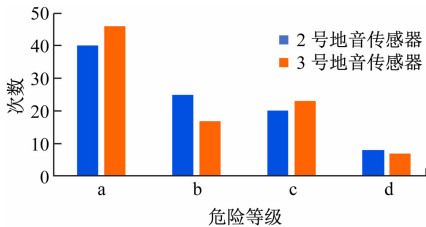


图5 地音监测危险等级分布

Fig. 5 Hazard level distribution of ground sound monitoring

2.3 应力监测分析

40309工作面回采末期,在靠近联络巷、硐室及中央大巷区域布置2个钻孔应力计(编号为170,171)。随着工作面回采,2个钻孔应力计监测值呈逐渐增大趋势,如图6所示。可看出170号钻孔应力计监测值由9 MPa增大至10.7 MPa,应力集中系数达2.37;171号钻孔应力计监测值由8 MPa增大至9.6 MPa,应力集中系数达2.13。这表明在工作面回采末期,工作面外围联络巷、硐室及中央大巷区域受采动影响,应力水平持续升高。

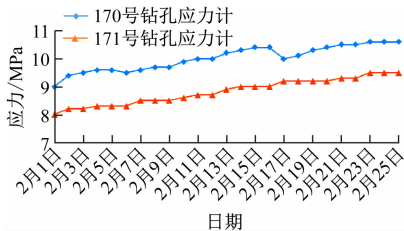


图6 应力监测曲线

Fig. 6 Stress monitoring curves

通过对40309工作面回采末期冲击地压监测数据进行分析可知,在工作面回采末期,外围联络巷、硐室及中央大巷已处在工作面采动影响范围内,且受采动影响,冲击危险性持续升高。

3 冲击危险原因分析

结合40309工作面回采末期地质及开采技术条件对冲击影响因素进行分析。40309工作面回采末期巷道群区域冲击地压发生机制如图7所示。工作面煤层基本顶为厚层坚硬粗砂岩顶板,在开采过程中难以及时垮落而形成悬顶,工作面外围联络巷、硐室及中央大巷均布置在煤层中,巷道布置集中且存在多处巷道交岔口、立交区域,导致巷道群应力集

中。在40309工作面回采末期,煤层上覆坚硬顶板未及时垮落,造成悬顶而储存较高的弯曲弹性能,传递至工作面前方煤体造成工作面超前支承应力集中。工作面超前支承应力与巷道群应力相互叠加,导致工作面回采末期外围联络巷、硐室及中央大巷区域集中静载荷大量积聚。上覆岩层一旦达到极限跨距破断,将产生强烈的动载,传递至巷道群区域与集中静载荷进一步叠加,当动静载荷叠加值大于煤岩体最小冲击载荷时,将导致工作面巷道群区域发生冲击显现,冲击危险性较高。因此在工作面回采末期,主要针对上述区域采取有效的防冲卸压措施,降低冲击危险性。

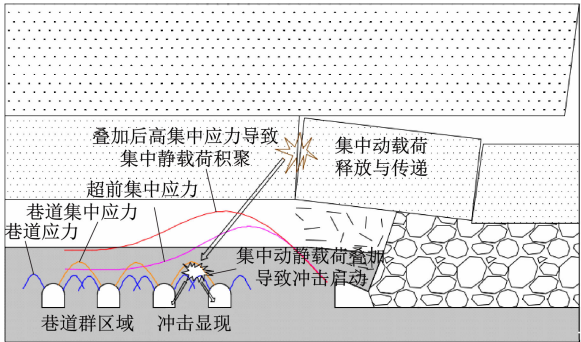


图7 巷道群区域冲击地压发生机制

Fig. 7 Mechanism of rock burst in roadway group area

4 防冲卸压方案制定

根据冲击地压动静载叠加原理^[14-15],冲击地压防治要从降低采掘围岩静载荷水平和矿震诱发的动载荷强度角度出发^[16-18]。大量研究表明,预裂爆破法可降低煤岩体动静载荷积聚,从而避免冲击地压危害^[19-20]。在顶板岩层中实施预裂爆破后,岩体破裂破坏了顶板岩层的完整性及连续性,降低了顶板岩层的整体结构强度,一方面能够减弱顶板岩层储存弯曲弹性能的能力,降低顶板岩层破断垮落时诱发的动载强度,另一方面可减小周围煤体的静载强度,削弱工作面超前集中应力传递,使煤体内应力峰值、应力集中程度及范围降低。

针对40309工作面整体上采用“分区分源”防冲卸压方案,顶板预裂爆破位置如图8所示。在40309运输巷采用深孔顶板预裂爆破方案,消除40309运输巷及附近巷道群区域因厚硬顶板产生的集中动静载荷源;在40309运输巷、回风巷终采区域,采用超深孔顶板预裂爆破方案,消除40309工作面厚硬顶板集中动静载荷源;在中央1号回风大巷采取深孔顶板预裂爆破方案,使40309工作面终采区域与中央大巷巷道群区域之间的厚硬顶板形成破裂裂隙,削弱40309工作面附近中央大巷区域厚硬顶板的连续性结构,减弱工作面超前集中应力传递,

降低中央大巷区域的应力集中水平。

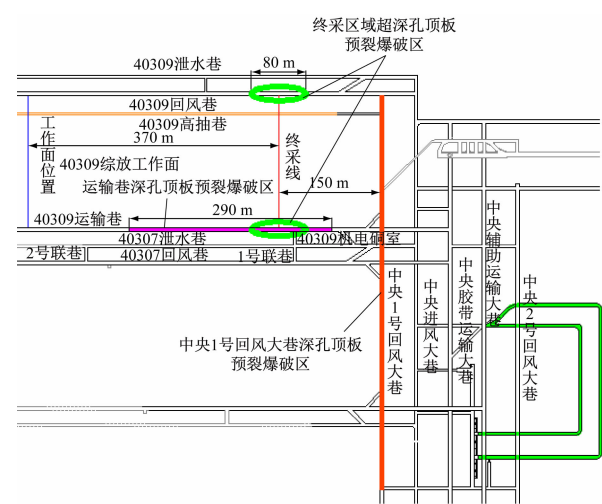


图 8 顶板预裂爆破位置

Fig. 8 Roof presplitting blasting position

4.1 40309 运输巷深孔顶板预裂爆破方案

通过预裂爆破降低 40309 工作面回采末期厚硬顶板破断释放的强烈动载、超前支承应力及侧向支承应力，削弱40309运输巷超前影响区域及 40309

表 1 40309 运输巷深孔顶板预裂爆破孔技术参数

Table 1 Technical parameters of roof presplitting blasting holes in 40309 transport roadway

钻孔号	孔深/m	仰角/(°)	方位角/(°)	孔径/mm	装药段长度/m	封孔段长度/m	间距/m
1	44	80	0	75	24	20	20
2	48	65	0	75	26	22	20
3	56	50	0	75	31	25	20
4	43	85	90	75	24	19	20
5	46	73	90	75	25	21	20

4.2 终采区域超深孔顶板预裂爆破方案

通过采取超深孔顶板预裂爆破措施，对 40309 工作面终采区域上覆坚硬顶板进行整体预裂，降低对工作面附近中央大巷区域的动载影响。在 40309 运输巷、40309 回风巷终采区域施工 2 个超深顶板预裂爆破孔(编号为 6,7)，施工范围为设计终采线前后各 40 m，如图 10 所示。根据 40309 工作面钻孔柱状图及巷道高程，设计顶板预裂爆破层位为煤层上覆基本顶粗砂岩，因此设计顶板预裂爆破孔垂深为 43 m，装药段垂深为 24 m，封孔段垂深为

表 2 40309 运输巷、回风巷终采区域顶板预裂爆破孔技术参数

Table 2 Technical parameters of roof presplitting blasting holes in mining-stop areas of 40309 transport roadway and return airway

钻孔号	孔深/m	仰角/(°)	方位角/(°)	孔径/mm	装药段长度/m	封孔段长度/m	间距/m
6	82	30	0	75	45	37	40
7	90	30	180	75	42	48	40

4.3 中央 1 号回风大巷深孔顶板预裂爆破方案

在中央 1 号回风大巷采用深孔顶板预裂爆破方

机电硐室、40307 泄水巷、40307 回风巷及联络巷等巷道密集区域的动静载叠加影响，降低上述区域的冲击危险性。顶板预裂爆破孔采用交叉扇形孔布置，每组 5 个，其中沿工作面倾向布置 3 个，沿工作面走向布置 2 个，如图 9 所示。根据 40309 工作面钻孔柱状图及巷道高程，设计顶板预裂爆破层位为煤层上覆基本顶粗砂岩，因此设计顶板预裂爆破孔垂深为 43 m，装药段垂深为 24 m，封孔段垂深为 19 m。深孔顶板预裂爆破孔技术参数见表 1。

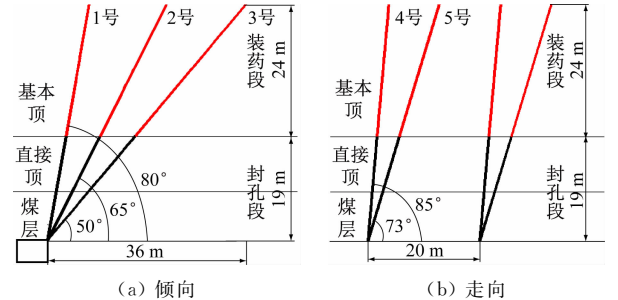


图 9 40309 运输巷深孔顶板预裂爆破孔布置

Fig. 9 Layout of roof presplitting blasting holes in 40309 transport roadway

19 m。结合现场施工环境、钻机及机具、矿用炸药特性参数设计合理的爆破孔技术参数，具体见表 2。

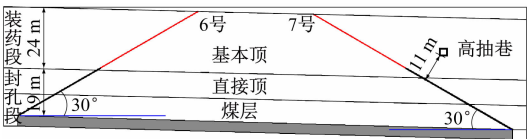


图 10 40309 运输巷、回风巷终采区域顶板预裂爆破孔布置

Fig. 10 Layout of roof presplitting blasting holes in mining-stop areas of 40309 transport roadway and return airway

案，降低中央大巷巷道集中区域因 40309 工作面超前集中应力与巷道集中应力相互叠加产生的高集中

应力,降低集中静载荷积聚,增强大巷保护煤柱、巷间煤柱的稳定性及承载能力,避免因高集中应力导致巷道支护失效或破坏,提高巷道支护体的抗冲击能力,降低中央大巷巷道集中区的冲击危险性。为避免顶板预裂爆破对周围巷道产生影响,朝向40309工作面方向布置1个顶板预裂爆破孔(编号为8),如图11所示。根据中央大巷区域钻孔柱状图,顶板岩层爆破层位为煤层直接顶以上的基本顶砂岩层,设计顶板预裂爆破孔垂深为52 m,装药段垂深为34 m,封孔段垂深为18 m。深孔顶板预裂爆破孔技术参数见表3。

表3 中央1号回风大巷深孔顶板预裂爆破孔技术参数

Table 3 Technical parameters of roof presplitting blasting hole in central No. 1 return airway

钻孔号	孔深/m	仰角/(°)	方位角/(°)	孔径/mm	装药段长度/m	封孔段长度/m	间距/m
8	54	75	270	75	35	19	10

5 效果验证

采取上述防冲卸压方案后,40309工作面微震频次较之前降低了5 192,降幅达55%,微震能量降低了 1.40×10^7 J,降幅达60%,如图12所示,其中3次方微震事件能量、频次大幅降低,主要为2次方及以下小能量微震事件;2号、3号地音通道监测危险等级中,a—d级分别有121,32,9,5次,a级和b级次数占总评价班次的91.6%,c级和d级次数占8.4%,c级和d级占比较之前降低22.8%;170号、171号钻孔应力计监测值分别降低至6.7,5.6 MPa,应力集中系数分别降低至1.49,1.24;在40309工作面回采末期及终采后,工作面及附近硐室、联络巷、中央大巷区域巷道无底鼓、变形及动力显现现象。

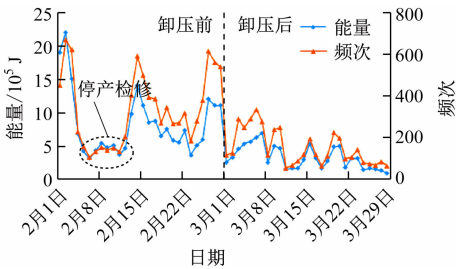


图12 采取防冲卸压方案前后微震频次、能量分布
Fig. 12 Microseismic frequency and energy distribution before and after adopting the anti-burst and pressure relief scheme

6 结论

(1) 由40309工作面回采末期冲击地压监测数据分析可知,工作面回采末期外围联络巷、硐室及中央大巷受采动影响,冲击危险性持续升高。

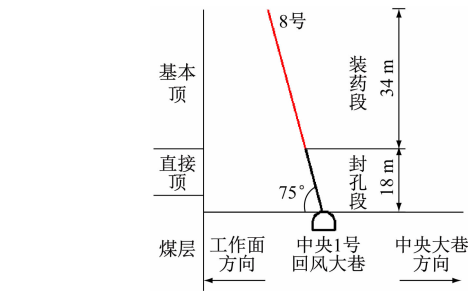


图11 中央1号回风大巷深孔顶板预裂爆破孔布置
Fig. 11 Layout of roof presplitting blasting hole in central No. 1 return airway

(2) 结合40309工作面回采末期地质及开采技术条件对冲击地压影响因素进行分析,确定煤层上覆厚硬顶板及巷道集中布置等为工作面回采末期冲击地压主要影响因素,工作面外围联络巷、硐室及中央大巷等巷道布置集中区域为主要冲击危险区。

(3) 根据冲击地压主要影响因素及危险区域,针对性地采取深孔、超深孔顶板预裂爆破防冲卸压方案,并设计了合理的卸压参数。

(4) 实施深孔、超深孔顶板预裂爆破防冲卸压方案后,微震、地音及应力监测值大幅降低,工作面及附近硐室、联络巷、中央大巷区域巷道无变形及动力显现现象,防冲效果良好。

参考文献(References):

[1] 潘俊锋,毛德兵,蓝航,等.我国煤矿冲击地压防治技术研究现状及展望[J].煤炭科学技术,2013,41(6): 21-25.
PAN Junfeng, MAO Debing, LAN Hang, et al. Study status and prospects of mine pressure bumping control technology in China [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(6): 21-25.

[2] 齐庆新,李一哲,赵善坤,等.我国煤矿冲击地压发展70年:理论与技术体系的建立与思考[J].煤炭科学技术,2019,47(9):1-40.
QI Qingxin, LI Yizhe, ZHAO Shankun, et al. Seventy years development of coal mine rockburst in China: establishment and consideration of theory and technology system [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(9): 1-40.

[3] 李玉生.冲击地压机理及其初步应用[J].中国矿业学院学报,1985,15(3):37-43.
LI Yusheng. Rockburst mechanism and its

- preliminary application [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1985, 15 (3): 37-43.
- [4] 齐庆新, 李晓璐, 赵善坤. 煤矿冲击地压应力控制理论与实践[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 1-5.
QI Qingxin, LI Xiaolu, ZHAO Shankun. Theory and practices on stress control of mine pressure bumping [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(6): 1-5.
- [5] 齐庆新, 潘一山, 舒龙勇, 等. 煤矿深部开采煤岩动力灾害多尺度分源防控理论与技术架构[J]. 煤炭学报, 2018, 43(7): 1801-1810.
QI Qingxin, PAN Yishan, SHU Longyong, et al. Theory and technical framework of prevention and control with different sources in multi-scales for coal and rock dynamic disasters in deep mining of coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(7): 1801-1810.
- [6] 窦林名, 陆菜平, 牟宗龙, 等. 冲击矿压的强度弱化减冲理论及其应用[J]. 煤炭学报, 2005, 30 (6): 690-694.
DOU Linming, LU Caiping, MOU Zonglong, et al. Intensity weakening theory for rockburst and its application[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30 (6): 690-694.
- [7] 窦林名, 陆菜平, 牟宗龙, 等. 煤岩体的强度弱化减冲理论[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2005, 24 (3): 169-175.
DOU Linming, LU Caiping, MOU Zonglong, et al. The theory of intensity weakening for rockburst in coal mine [J]. Journal of Henan Polytechnic University, 2005, 24(3): 169-175.
- [8] 潘俊锋, 宇宇, 毛德兵, 等. 煤矿开采冲击地压启动理论[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(3): 586-596.
PAN Junfeng, NING Yu, MAO Debing, et al. Theory of rockburst start-up during coal mining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31 (3): 586-596.
- [9] 潘俊锋. 煤矿冲击地压启动理论及其成套技术体系研究[J]. 煤炭学报, 2019, 44(1): 173-182.
PAN Junfeng. Theory of rockburst start-up and its complete technology system[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(1): 173-182.
- [10] 窦林名, 阚吉亮, 李许伟, 等. 断顶爆破防治冲击矿压技术体系及效果评价研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(1): 24-32.
DOU Linming, KAN Jiliang, LI Xuwei, et al. Study on prevention technology of rock burst by break-tip blasting and its effect estimation[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(1): 24-32.
- [11] 潘一山. 煤矿冲击地压扰动响应失稳理论及应用[J]. 煤炭学报, 2018, 43(8): 2091-2098.
- PAN Yishan. Disturbance response instability theory of rockburst in coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(8): 2091-2098.
- [12] 潘俊锋, 宇宇, 秦子晗, 等. 基于冲击启动理论的深孔区间爆破疏压技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(7): 1414-1421.
PAN Junfeng, NING Yu, QIN Zihan, et al. Dredging technology of pressure with deep-hole interval blasting based on theory of rock burst start-up[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(7): 1414-1421.
- [13] 夏永学, 蓝航, 毛德兵, 等. 基于微震监测的超前支承压力分布特征研究[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40 (6): 868-873.
XIA Yongxue, LAN Hang, MAO Debing, et al. Study of the lead abutment pressure distribution base on microseismic monitoring [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40 (6): 868-873.
- [14] 窦林名, 何江, 曹安业, 等. 煤矿冲击矿压动静载叠加原理及其防治[J]. 煤炭学报, 2015, 40 (7): 1469-1476.
DOU Linming, HE Jiang, CAO Anye, et al. Rock burst prevention methods based on theory of dynamic and static combined load induced in coal mine [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40 (7): 1469-1476.
- [15] 窦林名, 白金正, 李许伟, 等. 基于动静载叠加原理的冲击矿压灾害防治技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(10): 1-8.
DOU Linming, BAI Jinzheng, LI Xuwei, et al. Study on prevention and control technology of rockburst disaster based on theory of dynamic and static combined load [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(10): 1-8.
- [16] 韩泽鹏, 窦林名, 王正义, 等. 动静载影响下大倾角工作面巷道两帮应力分布规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(9): 183-188.
HAN Zepeng, DOU Linming, WANG Zhengyi, et al. Research on stress distribution law of two ribs in large dip angle working face under influence of dynamic and static loads [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(9): 183-188.
- [17] 翟明华, 姜福兴, 齐庆新, 等. 冲击地压分类防治体系研究与应用[J]. 煤炭学报, 2017, 42(12): 3116-3124.
ZHAI Minghua, JIANG Fuxing, QI Qingxin, et al. Research and practice of rock burst classified control system [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(12): 3116-3124.
- [18] 窦林名, 姜耀东, 曹安业, 等. 煤矿冲击矿压动静载的

“应力场-震动波场”监测预警技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(4): 803-811.

DOU Linming, JIANG Yaodong, CAO Anye, et al. Monitoring and pre-warning of rockburst hazard with technology of stress field and wave field in underground coalmines[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(4): 803-811.

[19] 牟宗龙, 窦林名, 张广文, 等. 坚硬顶板型冲击矿压灾害防治研究[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(6): 737-741.

MOU Zonglong, DOU Linming, ZHANG Guangwen, et al. Study of prevention methods of rock burst disaster caused by hard rock roof[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 35(6): 737-741.

[20] 李振雷, 何学秋, 窦林名. 综放覆岩破断诱发冲击地压的防治方法与实践[J]. 中国矿业大学学报, 2018, 47(1): 162-171.

LI Zhenlei, HE Xueqiu, DOU Linming. Control measures and practice for rock burst induced by overburden fracture in top-coal caving mining [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2018, 47(1): 162-171.