

欧阳振华,许乾海,张宁博,等. 井工煤矿全生命周期冲击地压防治体系研究[J]. 矿业科学学报, 2024, 9(6): 932-942. DOI: 10.19606/j.cnki.jmst.2024905

OUYANG Zhenhua, XU Qianhai, ZHANG Ningbo, et al. Study on the prevention system of rockburst for the entire life cycle of underground coal mines[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2024, 9(6): 932-942. DOI: 10.19606/j.cnki.jmst.2024905

井工煤矿全生命周期冲击地压防治体系研究

欧阳振华,许乾海,张宁博,张天姿,易海洋,史庆稳,李文帅,王佳嘉

华北科技学院矿山安全学院,河北廊坊 065201

摘要: 现有冲击地压防治主要集中在矿井生产期间,导致难以从根本上遏制冲击地压灾害。基于全生命周期管理理念,将矿井周期划分为勘查、建设、生产和关停4个阶段,从不同阶段实施“源头”预防和治理措施。矿井勘查阶段重在对新建矿井可采煤层进行冲击倾向性评估和冲击危险性预测;矿井建设阶段重在结合各可采煤层及其顶底板冲击倾向性鉴定和冲击危险性评价结果,进行冲击地压矿井鉴定,建立健全防冲机构,完善管理制度,确定矿井产能并开展矿井防冲设计;矿井生产阶段分为采前、采中和采后3个阶段进行冲击地压防治。矿井关停阶段重点开展煤柱回收防冲安全性论证,并基于论证结果编制防冲专项措施。

关键词: 冲击地压; 矿井全生命周期; 冲击倾向性鉴定; 冲击危险性评价; 防冲技术

中图分类号: TD 324

文献标志码: A

文章编号: 2096-2193(2024)06-0932-11

Study on the prevention system of rockburst for the entire life cycle of underground coal mines

OUYANG Zhenhua, XU Qianhai, ZHANG Ningbo, ZHANG Tianzi,
YI Haiyang, SHI Qingwen, LI Wenshuai, WANG Jiajia

School of Mine Safety, North China Institute of Science and Technology, Langfang Hebei 065201, China

Abstract: The existing prevention and control of rockbursts in mining mainly focus on the production phase, making it challenging to fundamentally curb rockburst disasters. Based on the concept of lifecycle management, the lifecycle of coal mines can be divided into four stages: exploration, construction, production, and closure. "Source" prevention and control measures are implemented during different stages of the mine to address rockbursts. During the exploration stage, the emphasis is on assessing the rockburst proneness and predicting the risk of rockbursts in the newly developed coal seams. In the construction stage, the focus is on identifying the dynamic tendencies and evaluating the risk of rockbursts considering all minable coal seams, as well as the roof and floor strata. This involves conducting a rockburst identification for the mine, establishing a sound prevention mechanism, improving management systems, determining mine capacity, and implementing rockburst prevention designs. In the production stage, rockburst prevention and control measures are implemented in three stages: pre-mining,

收稿日期: 2024-05-25 修回日期: 2024-07-03

基金项目: 国家自然科学基金(52274120); 河北省自然科学基金重点项目(E2024508004); 中央高校基本科研业务费(3142018001, 3142023079); 廊坊市科学技术研究与发展计划(2023013209)

作者简介: 欧阳振华(1976—), 男, 湖南洞口人, 博士, 教授, 主要从事矿山动力灾害防治方面的研究工作。Tel: 18611732595, E-mail: oyzhua@163.com

during mining, and post-mining. During each stage, specific measures are undertaken to mitigate the risks associated with rockbursts. During the closure stage, safety assessments are conducted regarding the recovery of coal pillars to prevent rockbursts. Special prevention measures are developed based on the assessment results. By implementing these measures throughout the entire lifecycle of the mine, from exploration to closure, it becomes possible to address the issue of rockbursts comprehensively and effectively. This approach ensures that preventive actions are taken at the early stages of mine development and continues to manage and control rockburst risks during the operational phases, ultimately enhancing safety and reducing the impact of rockburst disasters.

Key words: rockburst; whole lifecycle of coal mines; rockburst proneness evaluation; rockburst hazard assessment; rockburst control technology

冲击地压是指煤矿井巷或工作面周围煤(岩)体由于弹性变形能的瞬时释放而产生的突然、剧烈破坏的动力现象^[1],严重时可导致数百米巷道瞬间破坏甚至完全闭合,同时还可能诱发瓦斯爆炸、瓦斯异常涌出、煤尘爆炸等次生灾害^[2]。随着我国煤矿开采逐渐进入深部,原岩应力显著增加,越来越多的矿井面临冲击地压风险。

为有效遏制冲击地压重特大事故的发生,政府加强了对煤矿冲击地压的管理,修改完善《煤矿安全规程》,并相继出台了《防治煤矿冲击地压细则》《冲击地压矿井鉴定暂行办法》等政策性文件和《冲击地压测定、监测与防治方法》(GB/T 25217)系列国家标准。国内外学者也针对冲击地压发生机理^[3-6]、危险性评价^[7-9]、监测预警^[10-11]、防治技术^[12-16]以及巷道支护^[17-18]等开展了大量研究,取得了丰富成果。然而,因为冲击地压现象极其复杂,研究手段相对有限,目前的冲击地压研究与防治存在诸多难题^[19-20]。当前,我国煤矿冲击地压防治技术主要集中于生产阶段,对矿井勘查、建设和关停阶段的研究较少,从而难以从根本上遏制冲击地压灾害。因此,如何在不同阶段正确运用和管理各类防冲技术,使其在最佳时期发挥出最大效益成了一个亟需解决的难题。

为了加强煤矿冲击地压源头治理^[21]和应急管理^[22],基于全生命周期冲击地压防治与管理理念,提出了全生命周期的防冲管理体系,为从源头防治煤矿冲击地压提供借鉴和参考。

1 井工煤矿全生命周期冲击地压防治思路

井工煤矿全生命周期可分为勘查、建设、生产和关停4个阶段,各阶段冲击地压防治思路如图1

所示。

(1) 勘查阶段:采用地应力测量设备和地应力场反演技术获取地应力分布情况。根据地质条件、开采方式和周边矿井等情况,对新建矿井进行可采煤层冲击倾向性和冲击危险性预评估,确定矿井冲击地压危险等级,将预评估结果作为矿井安全准入、初步设计和建井施工的依据。

(2) 建设阶段:在煤层揭露时,委托专业机构开展冲击地压矿井鉴定。若鉴定结果为冲击地压矿井,应进行矿井产能核定,符合准入要求的须按冲击地压矿井防冲建设要求,建立健全防冲组织管理,从优化开拓布局等方面开展防冲管理工作。

(3) 生产阶段:对于非冲击地压矿井,为进一步确定开采及接续区域的冲击危险性和变化情况,应对埋深大于400 m的采区(盘区)或水平进行煤层(及其顶底板)冲击倾向性鉴定、冲击危险性评价,若经评价具有冲击危险性,则该矿井定性为冲击地压矿井。对于冲击地压矿井,则须根据《防治煤矿冲击地压细则》等要求,分别对新水平、新煤层、新采区进行冲击倾向性鉴定、冲击危险性评价,对具有冲击危险性的开展防冲设计,同时对新的采掘工作面开展冲击危险性评价及防冲设计,采用“区域先行、局部跟进、分区管理、分类防治”的指导原则进行防冲管理。同时,应进一步完善防冲管理体系,加大科技投入力度,不断提升智能化防冲管理水平。

(4) 关停阶段:矿井在开采结束后,一般要回收煤柱^[14],为避免冲击地压灾害,应对煤柱回收防冲安全性进行论证,并基于论证结果编制防冲专项措施。

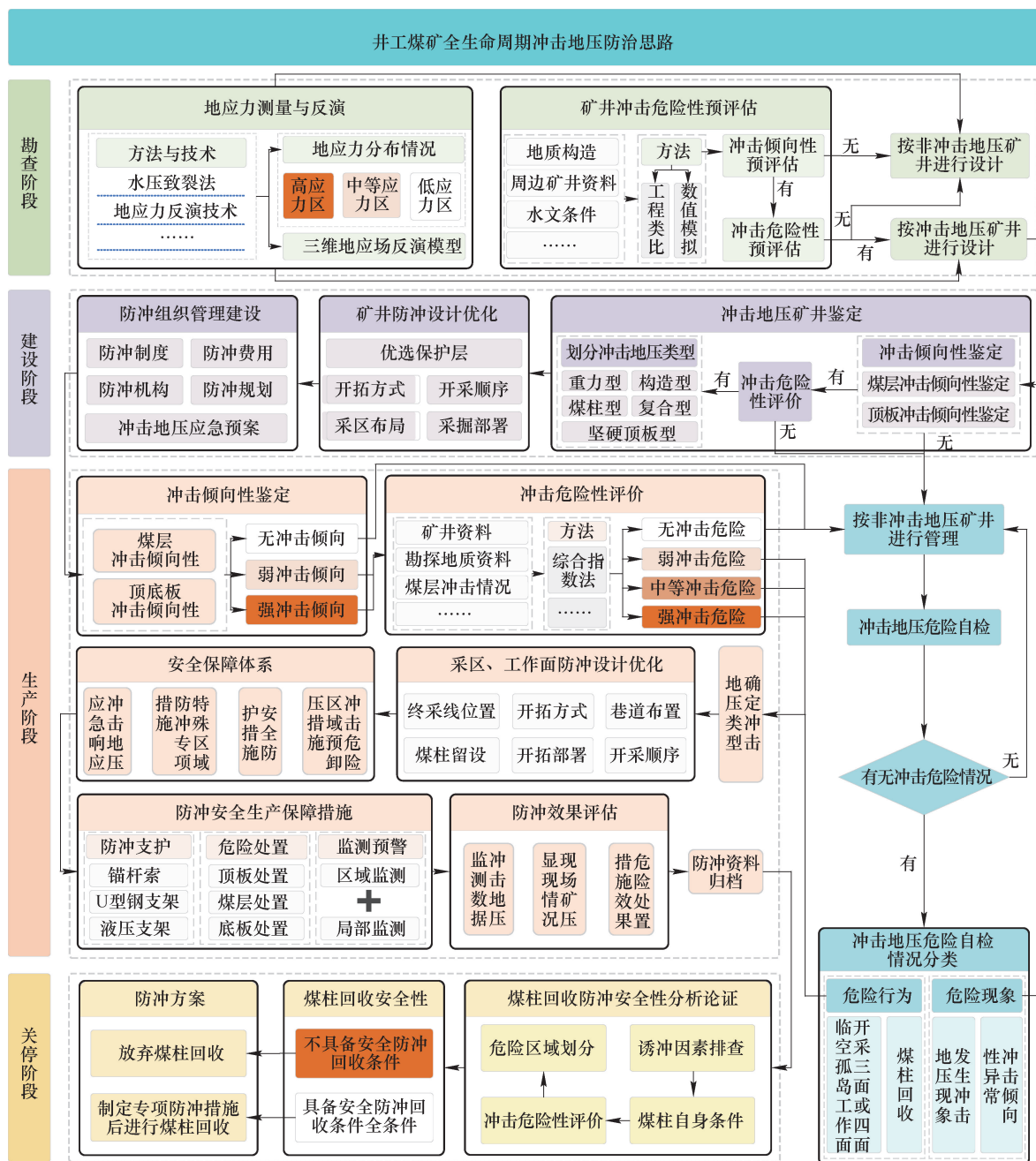


图1 井工煤矿全生命周期冲击地压防治思路

Fig. 1 Approach for rockburst prevention in the whole lifecycle of underground coal mines

2 勘查阶段冲击地压防治

2.1 地应力测量与反演

勘查阶段,可在实施地质钻孔的过程中,采用水压致裂法对勘查区域进行地应力实测^[19]。结合勘查过程中获得的钻孔资料,建立三维地质模型。以实测地应力结果与三维地质模型为基础,进行三维地应力场反演,得到矿区的地应力分布特征及规律,指导矿井设计。

2.2 煤岩冲击倾向性评估

冲击倾向性是煤岩介质的固有属性,反映了煤

岩积聚变形能并产生冲击破坏的能力。在勘查阶段,对通过钻孔获取的煤岩样进行物理力学性能测试,尤其是测试各可采煤层煤样的动态破坏时间、弹性能量指数、冲击能量指数和单轴抗压强度等参数,评估煤的冲击倾向性。通过测试顶板各岩层的密度、弹性模量、抗拉强度等参数,并结合顶板岩层揭露的厚度,测算顶板岩层弯曲能量指数,评估其冲击倾向性。

对难以取样测试煤岩物理力学性能的矿区,可以根据地质条件、开采方式和周边矿井的情况,参照冲击倾向性鉴定规定等评估可采煤层及其顶底

板岩层的冲击倾向性。

2.3 煤层及矿井冲击危险性预测

冲击危险性反映了矿井发生冲击地压的可能性和危险程度^[15]。对具有冲击倾向性的煤层,要结合各煤层开采深度、厚度、煤的冲击倾向性、同一水平煤层发生冲击地压的次数、煤层上方100 m范围顶板岩层厚度特征参数、坚硬厚岩层与煤层的间距、顶板岩层厚度特征参数,以及开采区域内构造引起的应力增量与正常值之比等,评估各可采煤层的冲击危险性,确定其是否为冲击地压煤层,并以所有可采煤层中冲击危险性的最高等级确定拟建矿井的冲击地压危险等级。评价结果作为矿井立项、初步设计和指导建井施工的依据。

3 建设阶段冲击地压防治

井工煤矿建设阶段应严格按照《煤矿安全规程》《防治煤矿冲击地压细则》《冲击地压矿井鉴定暂行办法》等相关规定和要求开展煤层冲击倾向性鉴定和冲击危险性评价,及时、准确界定冲击地压矿井,并基于界定结果进行矿井开拓布局防冲优化、防冲组织管理建设,具体冲击地压防治如图2所示。

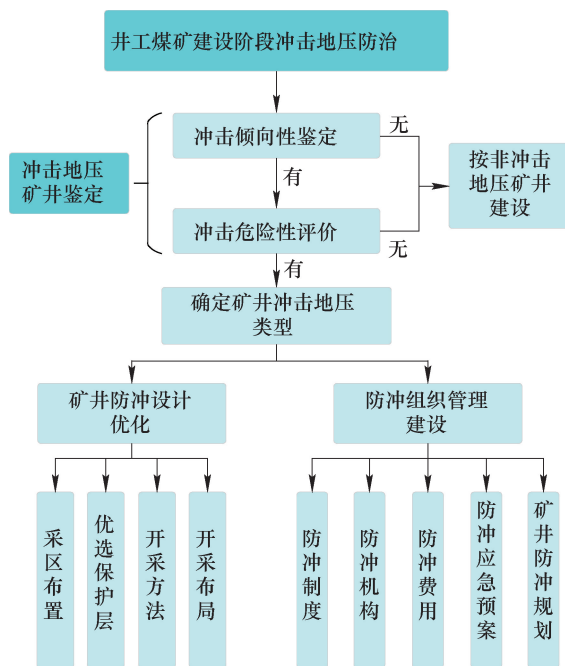


图2 井工煤矿建设阶段冲击地压防治

Fig. 2 Prevention of rockburst during the construction phase of underground coal mines

3.1 冲击地压矿井鉴定

矿井建设阶段,根据实际揭露情况,委托鉴定机构严格按照国家标准《冲击地压测定、监测与防

治方法 第1部分:顶板岩层冲击倾向性分类及指数的测定方法》(GB/T25217.1—2010)和《冲击地压测定、监测与防治方法 第2部分:煤的冲击倾向性分类及指数的测定方法》(GB/T25217.2—2010),对所有开采煤层、布置煤巷和半煤岩巷的煤层进行煤岩冲击倾向性鉴定。开展煤岩冲击倾向性鉴定的机构,应为有冲击地压研究基础与评价能力的独立法人单位,应当有冲击地压防治专业研究队伍等基本条件。开展煤岩冲击倾向性鉴定工作的项目负责人,必须从事冲击地压防治工作10年以上,并取得高级职称。

经鉴定具有冲击倾向性的煤层,必须进行冲击危险性评价。评价方法优先采用综合指数法确定冲击危险性,还可采用其他经实践证明有效的方法。冲击地压危险等级可分为无、弱、中等和强4级。

煤层或者其顶底板岩层鉴定为有冲击倾向性,且评价为具有弱、中等或强冲击危险性的煤层,界定为冲击地压煤层,有冲击地压煤层的矿井为冲击地压矿井。冲击地压矿井的等级,根据各煤层冲击危险性的最高等级确定。

3.2 矿井防冲设计优化

评价具有冲击地压危险的矿井、水平、煤层、采区,如果设计不合理极易发生冲击地压,我国多起冲击地压事故都是开采设计不合理造成的。矿井的开采方式一旦形成将难以改变,因此新建矿井和冲击地压矿井的新水平、新采区、新煤层,从设计阶段开始就应该考虑冲击地压的防治,编制好防冲设计,避免不合理的开采设计诱导冲击地压的发生。

3.2.1 保护层开采

矿井具有多个可采煤层时,优先开采冲击倾向性弱和冲击危险性小的煤层,使相邻煤层的应力条件得到改善,从而使冲击危险性降低。

3.2.2 采掘布局

划分采区时,应保证合理的开采顺序,最大限度地避免形成煤柱等应力集中区。煤柱特别是岛形或半岛形煤柱承受的压力很高,要承受几个方面的叠加应力,最易产生冲击地压。上层遗留的煤柱也会向下传递集中压力,导致下部煤层开采时也易发生冲击地压。

遇到地质构造时,采取能避免或减缓应力集中和叠加的开采程序。在向斜和背斜构造区,应从轴部开始开采,在构造盆地应从盆底开始开采;在有断层和采空区的条件下,应从断层或采空区开始

开采。

设计采(盘)区推进方向时,应朝一个方向推进,避免相向开采导致应力叠加诱发冲击地压。

设计巷道布设层位时,将有冲击危险煤层的开拓或准备巷道、永久硐室、主要上(下)山、主要溜煤巷和回风巷布置在底板岩层或无冲击危险煤层中,有利于减小冲击地压危险性。

3.2.3 采煤方法

不同的采煤方法,矿山压力的大小及分布也不同。设计采煤方法时,尽量采用不留煤柱、垮落法顶板控制的长壁开采法。

长壁式开采法工作面成一条直线,一般只掘2条巷道和开切眼,对煤层切割少,且无须在工作面前方支承压力带内掘巷,顶板多能随工作面推进顺序垮落,即使顶板难以垮落,也可采取水力压裂或爆破等预处理措施,促使顶板随工作面开采及时垮落,有利于降低冲击地压危险性。

房柱式等柱式采煤法由于掘进的巷道多和在采空区遗留的煤柱多,顶板不能及时充分垮落,造成支承压力较高。在工作面前方掘进巷道势必受到叠加压力的影响,增加了冲击地压危险性。

水力采煤法虽然系统简单高效,但遗留的煤垛在采空区形成支撑,使顶板不能及时规则垮落,加之开采时经常在支承压力带开掘水道和枪眼,工作面推进速度快、开采强度大,易造成大面积悬顶,诱发冲击地压。

3.2.4 顶板控制

设计顶板控制方法时,采用全部垮落法。我国冲击地压矿井大多是开采坚硬厚顶板煤层,可采用注水、爆破等方法促使顶板弱化或垮落,减缓冲击地压。

3.2.5 巷道支护

设计工作面巷道支护形式时,采用高预应力全长锚注锚索、让压锚杆、高强度护表钢带、高强度护网、大直径托盘等具有强抗变形和护表能力的主动支护方式,并配合采用可缩式U型钢棚、液压单元支架或者门式支架等受冲击后仍有安全空间的加强支护方式。

3.2.6 矿井生产能力

设计矿井生产能力时,按照《关于加强煤矿冲击地压源头治理的通知》《关于防范遏制矿山领域重特大生产安全事件的硬措施》等的要求,冲击地压矿井生产能力应不低于0.9 Mt/a且不大于8 Mt/a。

3.3 防冲组织管理建设

冲击地压矿井应建立健全防冲管理制度、防冲

机构、防冲费用、冲击地压应急预案和矿井防冲规划等防冲组织管理内容。

3.3.1 防冲管理制度

完善的防冲制度体系是防冲管理的核心。冲击地压矿井应以《煤矿安全规程》《防治煤矿冲击地压管理细则》等国家防冲规范性文件为基本骨架,结合矿井实际情况合理建立健全符合矿井实际的冲击地压防治管理制度,具体可包括防冲工作矿长办公会议制度、冲击地压预测预报制度、微震事件分析处理制度、防冲安全投入保障制度等。

3.3.2 防冲机构

成立冲击地压防治工作领导小组,明确矿井主要负责人(法定代表人、实际控制人)是冲击地压防治的第一责任人,对防治工作全面负责;总工程师是冲击地压防治的技术负责人,对防治技术工作负责;其他负责人对分管范围内冲击地压防治工作负责。设立专门的防冲机构,配备专业防冲技术人员与施工队伍,且保证防冲队伍人数满足矿井防冲工作的需要。

3.3.3 防冲费用

冲击地压矿井应按照《企业安全生产费用提取和使用管理办法》要求提取防冲安全费用,确保落实冲击地压危险性预测、监测预警、防范治理、效果检验、安全防护等综合防治措施以及开展冲击地压防治新技术、新工艺、新装备等研发有足额的经费。

3.3.4 矿井防冲规划

冲击地压矿井应制定中长期防治规划和年度防冲计划。中长期防冲规划每3~5年编制1次,若在执行期间出现重大变更,应在年度计划中进行相应的补充阐明。

中长期防冲规划的内容,应涵盖防冲管理机构及队伍组成和规划期内的采掘接续、冲击地压危险区域划分、冲击地压监测与治理措施的指导性方案、冲击地压防治科研重点、安全费用、防冲原则及实施保障措施等。

年度防冲计划主要包括上年度冲击地压防治总结及本年度采掘工作面接续、冲击地压危险区域排查、安全费用、防冲安全技术措施、年度培训计划等。

3.3.5 冲击地压应急预案

冲击地压应急预案是冲击地压矿井或有冲击地压矿井的煤矿企业,为应对冲击地压生产安全事故而制定的专项应急预案,贯穿应急管理工作的始终。冲击地压矿井建设期应遵循合法性、可行性、

科学性和规范性 4 个基本原则^[22], 阶段性编制冲击地压应急预案, 编制内容主要包括应急资源调查、风险评估、应急能力评估、预案体系设计等内容, 且每年至少组织 1 次应急预案演练。

4 生产阶段冲击地压防治

设计阶段确定的冲击地压矿井, 以及设计阶段虽未确定为冲击地压矿井但在生产阶段出现了冲击地压现象的矿井, 在生产阶段首先需要确定冲击地压矿井类型。冲击地压可分为重力型、构造型、坚硬顶板型、煤柱型和复合型^[21]。根据煤层冲击地压评价结果、矿井地质构造、动力显现特征等资料, 可确定冲击地压矿井类型, 实施冲击地压的“分类防治”。

井工煤矿生产阶段冲击地压防治, 可划分为采前、采中和采后 3 阶段分别开展。在采前阶段, 矿井首先应对接续采区、工作面进行冲击倾向性鉴定和冲击危险性评价, 确定冲击地压类型, 并基于评价结果和冲击地压类型优先采用定向超长钻孔水压致裂、大直径钻孔等预卸压措施进行防冲; 采中阶段, 应加强冲击地压监测, 根据监测预警结果和冲击地压类型, 采用顶板深孔爆破、煤层卸压爆破等针对性防冲措施进行解危, 并进行效果检验, 进一步降低冲击地压危险; 采后阶段, 应结合冲击地压监测数据和现场矿压显现情况, 评估冲击地压防治效果, 为后续工作面防冲工作提供借鉴和参考。

4.1 采前冲击地压防治

4.1.1 煤岩冲击倾向性鉴定

在开采新采区、新水平和新煤层前, 应对工作面进行冲击倾向性鉴定, 可通过实验设备测试煤的动态破坏时间、弹性能量指数、冲击能量指数、单轴抗压强度和顶板岩层的弯曲能量指数 5 个指标进行鉴定, 确定煤岩冲击倾向性等级。

4.1.2 冲击危险性评价

对拟新开采的具有冲击倾向性的煤层、采区及其采掘工作面, 采用综合指数法或其他经实践证明有效的方法^[23], 进行冲击危险性评价。评价结果分为无冲击危险、弱冲击危险、中等冲击危险和强冲击危险 4 级。经评价具有冲击地压危险的煤层、采区和采掘工作面, 应结合其不同区域具体的地质和开采技术条件, 采用多因素耦合法确定冲击危险区域及其范围。

采区、工作面因开采深度、地质构造、顶板岩层、煤层变化、煤柱宽度和底煤留设等的不同, 致使

冲击地压的影响因素存在差异, 诱发冲击地压的“力源”也不一样。评价具有冲击地压危险的采区、工作面应在深入辨识其冲击地压影响因素的基础上, 分析可能诱发的冲击地压类型, 并根据冲击地压类型采取针对性措施。冲击地压按照煤岩体释放的主体, 可划分为煤体压缩型、顶板断裂型和断层错动型, 具有冲击危险的采区、工作面, 应根据地质条件, 结合冲击地压的影响因素确定冲击地压工作面类型, 并作为防冲设计的依据。

4.1.3 冲击地压防范

矿井应基于冲击危险性评价结果和冲击地压类型优先采用定向超长钻孔水压致裂、大直径钻孔等预卸压措施对不同冲击危险区域实施预卸压。

对于中等冲击危险区域, 在采掘作业前应对采煤工作面支承压力影响区域、掘进煤层巷道迎头及后方巷帮采取预卸压措施; 对于强冲击危险区域, 在采掘作业前应对采煤工作面回采巷道、掘进煤层巷道迎头及后方的巷帮实施全面预卸压。

4.1.4 采区、工作面防冲优化设计

经评价为具有冲击危险的采区、工作面, 应根据冲击危险性评价结果和冲击地压类型等资料编制科学的防冲设计, 主要内容包括采区内工作面开采顺序确定、采区上下山巷道布置、工作面回采巷道布置、开切眼与停采线位置确定、区段煤柱留设、工作面长度确定等。

4.2 采中冲击地压防治

冲击地压常发生在矿井采掘生产阶段, 这一阶段是冲击地压防治最为重要的一环, 应建立完善的矿井安全生产防冲保障措施, 确保工作面安全生产。

4.2.1 冲击监测预警

冲击地压灾害孕育-启动过程中往往伴随着顶板下沉、巷道收敛、采动应力增加等响应量变化, 为冲击地压监测预警奠定了基础。冲击地压矿井应根据工作面冲击危险性评价结果, 建立区域、局部相结合的监测预警体系^[24]。认定具有冲击危险的区域, 开采活动全过程都应进行冲击危险监测预警工作。

矿井在监测预警体系建设时, 应当按照冲击危险性等级, 配备相应的监测和防治装备, 合理选择微震监测系统, 在此基础上增加钻屑法监测、应力监测、地音监测、电磁辐射监测中的 1 种或者几种监测措施。对于具有中等及以上冲击危险性的区

域,应建立起矿区、采区和工作面多尺度监测预警体系,如图3所示。

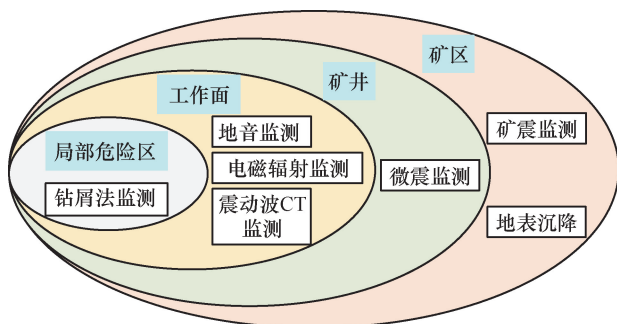


图3 冲击地压多尺度监测预警体系
Fig. 3 Multi-scale monitoring and early warning system for rockburst

4.2.2 特殊区域防冲专项措施

(1) 应力集中区域。采掘工作面临近幅度在30 m以上、长度在1 km以上的褶曲、落差大于20 m的断层及其他大型地质构造、巷道贯通或错层交叉、采空区、煤柱等应力集中区域时,应制定专项防冲措施。

(2) 采掘强扰动区域。在冲击危险区域的巷道扩修时,制定专门的防冲措施,严禁多点作业,采动影响区域内严禁巷道扩修与回采平行作业。

4.2.3 安全防护措施

4.2.3.1 防冲支护体系

防冲支护体系主要包括巷道支护、工作面支护和工作面超前支护3部分。一方面可以提升冲击地压发生的临界应力,使冲击不易发生;另一方面可以降低抛向巷道空间的剩余动能,减小冲击带来的影响。

矿井应遵循减小震源震动强度、设置吸能弱结构、提高巷道支护强度3个原则^[25],结合冲击地压类型、冲击危险性评价结果、地质条件、开采方式和围岩特征等情况进行力学分析和支护参数设计,选择科学有效的防冲支护体系,保证支护-围岩系统的完整与稳定性,约束围岩向巷道内变形,使巷道满足生产需求,如图4所示。

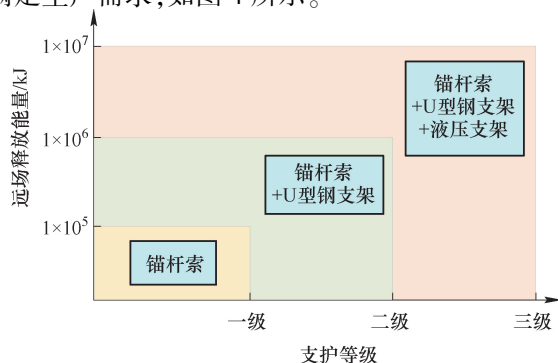


图4 防冲支护体系

Fig. 4 Anti-rockburst prevention support system

厚煤层沿底托顶煤掘进的巷道选择锚杆锚索支护时,锚杆直径不得小于22 mm、屈服强度不低于500 MPa、长度不小于2 200 mm,必须采用全长或加长锚固;锚索直径不得小于20 mm,延展率必须大于5%。锚杆锚索支护系统应当采用钢带(槽钢)与编织金属网护表,托盘强度与支护系统相匹配,并适当增大护表面积,不得采用钢筋梯作为护表构件。煤层倾角大于25°的沿顶掘进巷道,高帮侧须增加锚索支护。

煤层埋藏深度超过800 m的厚煤层沿底托顶煤掘进的巷道,遇顶板破碎、淋水、过断层、过老空区、高应力区时,应采用锚杆锚索和可缩支架(可缩性棚式支架、单体液压支柱和顶梁、液压支架等)复合支护形式加强支护,并进行顶板位移监测,防止冲击地压与巷道冒顶复合灾害事故发生。

采掘工作面支护设计时,具有冲击危险的采煤工作面,安全出口与巷道连接处超前支护范围不得小于70 m;综采放顶煤工作面或具有中等及以上冲击危险区域的采煤工作面,安全出口与巷道连接处超前支护范围不得小于120 m。超前支护优先采用液压支架。煤巷掘进工作面后方具有中等及以上冲击危险的区域,应当再采用可缩支架加强支护。

4.2.3.2 限员管理与安全防护

人员进入冲击地压危险区域时,必须严格执行“人员准入制度”,实行挂牌限员管理,采煤和掘进作业规程中应当明确规定人员进入的时间、区域和人数。冲击地压煤层的掘进工作面200 m范围内进入人员不得超过9人;回采工作面及两巷超前支护范围内进入人员,生产班不得超过16人,检修班不得超过40人。同时,进入冲击地压危险区域尤其是强冲击危险区的人员,应采取穿戴防冲服等特殊的个体防护措施,对人体胸部、腹部、头部等主要部位加强保护。

有冲击危险的采掘工作面应设置压风自救系统,在距采掘工作面25~40 m的巷道内、爆破地点、撤离人员与警戒人员所在位置、回风巷有人作业处等地点,至少设置1组压风自救装置。

4.2.3.3 设备安全防护措施

有冲击危险的采掘工作面,供电、供液等设备应当放置在采动应力集中影响区外,且距离工作面不小于200 m;不能满足上述条件时,应当放置在无冲击地压危险区域。

强冲击危险区域不得存放备用材料和设备;巷道内杂物应当清理干净,保持行走路线畅通;对冲击危险区域内的在用设备、管线、物品等应当采取固定措施,管路应当吊挂在巷道腰线以下,高于

1.2 m 的必须采取固定措施。

4.2.3.4 冲击地压防治培训措施

冲击地压矿井必须依据冲击地压防治培训要求,定期对井下相关的作业人员、班组长、技术员、区队长、防冲专业人员与管理 人员进行冲击地压防治的教育和培训,保证防冲相关人员具备必要的岗位防冲知识和技能。

4.2.4 冲击地压危险处置

当冲击地压监测系统发出危险预警信号时,矿井必须坚持“先处置后开采”的原则,在具备良好的危险处置条件下,对预警区域进行冲击危险处置,如图 5 所示。

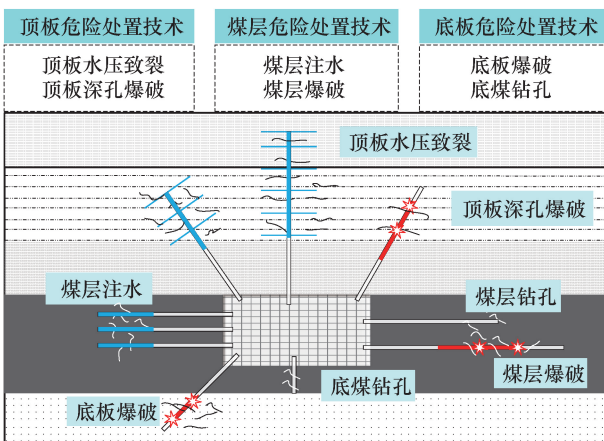


图 5 冲击危险处置技术

Fig. 5 Rockburst prevention techniques

根据处置区域的不同,可将冲击危险处置分为顶板处置、底板处置和煤层处置。危险处置技术主要包括煤层注水、煤层卸压爆破、顶板深孔爆破、顶板水压致裂、底煤钻孔卸压和底板深孔爆破等^[26]。矿井应根据冲击地压类型及主控因素,按照不同的冲击危险等级,择优选取 1 种或多种具有针对性且有效的危险处置措施。

4.2.5 防冲效果检验

危险处置措施实施后,在恢复生产前,应对处置区域进行处置效果检验。若检验结果为无冲击危险,则可以在采取安全防护措施 的条件下进行开采作业;否则,需要优化危险处置技术,直至危险消除。冲击危险处置流程如图 6 所示。

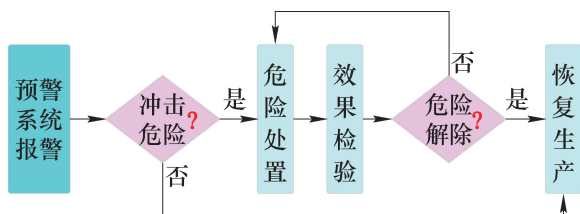


图 6 冲击危险处置流程

Fig. 6 Rockburst hazard treatment process

4.2.6 冲击地压应急响应

根据《煤矿生产安全事故报告和调查处理规定》,按照事故灾难的可控性、严重程度和影响范围,冲击地压事故应急响应级别分为 1 级(特别重大事故)响应、2 级(重大事故)响应、3 级(较大事故)响应、4 级(一般事故)响应等,应急响应流程如图 7 所示。

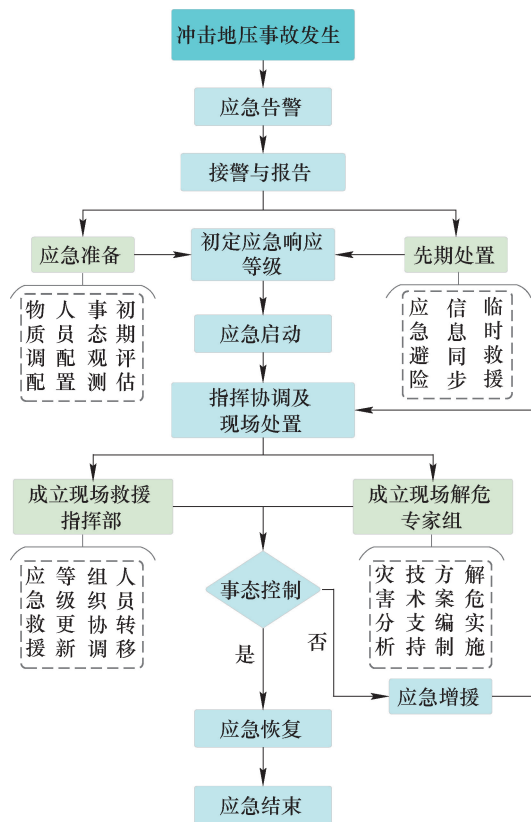


图 7 冲击地压应急响应程序

Fig. 7 Rockburst emergency response procedures

井下作业人员发现冲击地压事故后,应立即报告矿调度室,同时向现场跟班领导和组长报告,并在事故现场成立现场应急自救小组,处置出现的紧急情况。矿井调度室人员接到冲击地压事故报告时,应详细询问、记录有关情况,并视冲击地压事故的严重程度,及时向相关领导报告。各级政府及有关部门和事发煤矿企业根据事态观测和初期评估确定冲击地压事故级别后,按照分级响应的原则和标准,启动相应的应急响应,调集应急救援队伍、医疗队伍、应急救援物资设备,派出应急指挥协调人员和专家赶赴突发事故灾难现场进行应急救援和恢复。现场指挥部及应急工作小组随时跟踪事态发展,及时评估灾情信息,按照应急响应标准提升响应等级,执行扩大响应程序。

冲击地压事故得以控制,危险、危害和诱发源

消除后,应急处置结束,现场应急指挥部撤销,应急响应终止。在应急响应终止后,应对冲击地压事故处置情况进行密切监控,防止次生、衍生灾害的发生。

冲击地压事故应急响应结束后,工作面在恢复生产前,应制定专门的防冲措施,分析事故原因,提出恢复生产方案。制定的防冲措施须经专家进行论证,具备安全生产条件时方可恢复生产。

4.3 采后防冲效果评估

采后应结合冲击地压监测数据、现场矿压显现情况和危险处置措施效果反馈,评估矿井各时期冲击地压防治效果,并将防冲相关资料归档处理,为后续工作面的防冲工作提供借鉴和参考。

5 关停阶段冲击地压防治

井工煤矿生产阶段,为避免开采活动产生的应力波造成巷道变形或失稳,往往会预留大量煤柱作为支撑,以确保巷道结构的稳固性,在开采结束进入关停阶段后,一般要对煤柱进行回收。在煤柱回收时,面临着围岩应力集中、煤柱蠕变、开采条件复杂、过老巷顶板难以控制、巷道帮鼓、底鼓等问题,容易发生冲击地压灾害。因此,冲击地压矿井在煤柱回收前,应基于矿井资料和地质因素等对煤柱自身条件和工作面冲击危险性评价进行综合论证分析,确保煤柱回收的安全性。煤柱回收防冲安全性论证分析流程如图8所示。

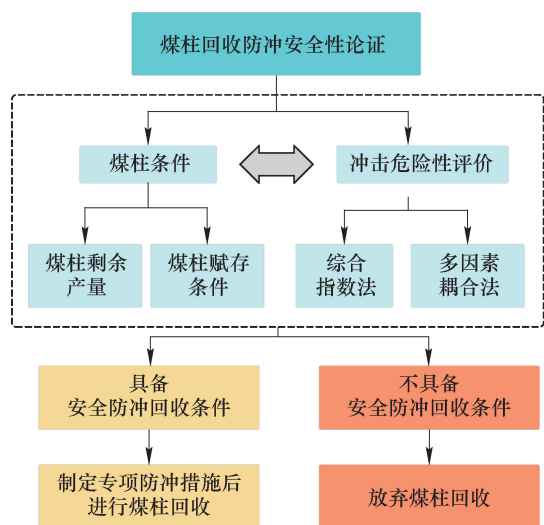


图8 煤柱回收防冲安全性分析

Fig. 8 Safety analysis of rockburst prevention in coal pillar recovery

论证为不具备安全防冲回收条件的工作面,应当放弃煤柱回收。论证为具备安全防冲回收条件

的工作面,应加强冲击地压监测预警,制定专项防冲措施,加强巷道支护,控制采掘速度,避免冲击地压发生。

6 结论

(1) 提出了井工煤矿全生命周期冲击地压防治思路,将其划分为勘查、建设、生产和关停4个阶段,明确了不同阶段的主要防冲工作,为冲击地压源头治理奠定了基础。

(2) 煤矿勘查阶段的防冲工作主要是对拟开采的煤层进行煤岩冲击倾向性预测和冲击危险性预评估,结合预测与预评估结果,初步确定矿井是否为冲击地压矿井,为矿井建设提供依据。

(3) 煤矿建设阶段,首要的防冲工作是对揭露的煤层及其顶底板岩层进行冲击倾向性鉴定和冲击危险性评价,确定矿井是否为冲击地压矿井。若为冲击地压矿井,应开展防冲优化设计,确定煤层的开采顺序、采掘布局、采煤方法、顶板管理方式、巷道支护形式等,建立健全冲击地压管理制度、防冲机构,配备专职防冲人员。

(4) 煤矿生产阶段是冲击地压易发期,可细分为采前、采中和采后3阶段,分别开展冲击地压防治工作。其中,采前冲击地压防治主要集中于冲击危险性评价与防冲设计,以及预卸压防冲;采中是冲击地压防治的重中之重,包括冲击地压监测预警,卸压、支护、防护、限员等各项防冲措施的落实,冲击地压危险处置以及应急响应等。

(5) 煤矿关停阶段应对回收煤柱防冲安全性进行论证,具备安全回收条件的煤柱要制定专项防冲措施,不具备安全回收条件的煤柱杜绝回收。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 文一. 孙家湾煤矿“2.14”特大瓦斯爆炸:事故调查专题报道[J]. 安全与健康,2005(11): 4-8.
WEN Yi. “2.14” extraordinary gas explosion in sunjiawan coal mine—special report on accident investigation[J]. Safety & Health at Work, 2005(11): 4-8.

- [3] 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.
- [4] 张宁博, 赵善坤, 邓志刚, 等. 动静载作用下逆冲断层力学失稳机制研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2019, 36(6): 1186-1192.
ZHANG Ningbo, ZHAO Shankun, DENG Zhigang, et al. Mechanical instability mechanism of thrust fault under static and dynamic loading[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2019, 36(6): 1186-1192.
- [5] 刘文超, 赵毅鑫. 红庆河矿典型工作面冲击地压灾变机理及防治[J]. 矿业科学学报, 2023, 8(6): 803-816, 827.
LIU Wenchao, ZHAO Yixin. Mechanism and prevention of typical coal burst disaster at the working face of Hongqinghe coal mine[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2023, 8(6): 803-816, 827.
- [6] 姜福兴, 刘焯, 刘军, 等. 冲击地压煤层局部保护层开采的减压机理研究[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(2): 368-375.
JIANG Fuxing, LIU Ye, LIU Jun, et al. Pressure-releasing mechanism of local protective layer in coal seam with rock burst[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2019, 41(2): 368-375.
- [7] LIU Y, OUYANG Z H, YI H Y, et al. Study of the multilevel fuzzy comprehensive evaluation of rock burst risk[J]. Sustainability, 2023, 15(17): 13176.
- [8] 马念杰, 张文龙, 李军, 等. 冲击地压机理要素分析与评价[J]. 矿业科学学报, 2021, 6(6): 651-658.
MA Nianjie, ZHANG Wenlong, LI Jun, et al. Analysis and evaluation of essential factors for rock burst mechanism[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2021, 6(6): 651-658.
- [9] 滕腾, 贾文建, 易鹏, 等. 微波热力冲击下硬脆砂岩冲击倾向性演化规律试验研究[J]. 矿业科学学报, 2024, 9(2): 209-216.
TENG Teng, JIA Wenjian, YI Peng, et al. Experimental study on the evolution patterns of bursting liability of hard and brittle sandstone under microwave thermal shock[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2024, 9(2): 209-216.
- [10] 王传朋. 煤矿静载型冲击地压地音监测预警技术[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(6): 94-101.
WANG Chuanpeng. Monitoring and warning technology of acoustic emission in static loading rock burst of coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(6): 94-101.
- [11] 潘俊锋, 冯美华, 卢振龙, 等. 煤矿冲击地压综合监测预警平台研究及应用[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(6): 32-41.
PAN Junfeng, FENG Meihua, LU Zhenlong, et al. Research and application of comprehensive monitoring and early warning platform for coal mine rock burst[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(6): 32-41.
- [12] 欧阳振华. 煤矿冲击地压灾害防治技术体系[J]. 煤矿安全, 2014, 45(11): 168-171.
OUYANG Zhenhua. Prevention technology system for rock burst in coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(11): 168-171.
- [13] 潘俊锋. 矿井建设时期冲击地压防治程序与技术[J]. 煤矿开采, 2015(4): 111-114.
PAN Junfeng. Rock-burst prevention processes and technology in mine construction phrase[J]. Coal Mining Technology, 2015(4): 111-114.
- [14] 王志强, 王树帅, 苏泽华. 工作面回采与支架回撤协同作业新技术[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(2): 21-29.
WANG Zhiqiang, WANG Shushuai, SU Zehua. New technology of collaborative work between face mining and bracket withdrawal[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(2): 21-29.
- [15] 姜福兴, 张翔, 朱斯陶. 煤矿冲击地压防治体系中的关键问题探讨[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(1): 203-213.
JIANG Fuxing, ZHANG Xiang, ZHU Sitao. Discussion on key problems in prevention and control system of coal mine rock burst[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(1): 203-213.
- [16] 祁和刚, 夏永学, 陆闯, 等. 冲击地压矿井智能化防冲控采技术的思考[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(1): 151-158.
QI Hegang, XIA Yongxue, LU Chuang, et al. Thinking about intelligent technology of rockburst prevention and controlled mining in rockburst mine[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(1): 151-158.
- [17] 康红普, 吴拥政, 何杰, 等. 深部冲击地压巷道锚杆支护作用研究与实践[J]. 煤炭学报, 2015, 40(10): 2225-2233.
KANG Hongpu, WU Yongzheng, HE Jie, et al. Rock bolting performance and field practice in deep roadway with rock burst[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(10): 2225-2233.
- [18] 许海亮, 郭旭, 宋义敏, 等. 吸能让位防冲支护结构与围岩协同作用体系研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(12): 111-116.
XU Hailiang, GUO Xu, SONG Yimin, et al. Research

- on synergistic action system of energy-absorbing demising anti-impact support structure and surrounding rock [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2021, 17(12): 111-116.
- [19] 袁亮,王恩元,马衍坤,等. 我国煤岩动力灾害研究进展及面临的科技难题[J]. *煤炭学报*, 2023, 48(5): 1825-1845.
YUAN Liang, WANG Enyuan, MA Yankun, et al. Research progress of coal and rock dynamic disasters and scientific and technological problems in China [J]. *Journal of China Coal Society*, 2023, 48(5): 1825-1845.
- [20] 窦林名,田鑫元,曹安业,等. 我国煤矿冲击地压防治现状与难题[J]. *煤炭学报*, 2022, 47(1): 152-171.
DOU Linming, TIAN Xinyuan, CAO Anye, et al. Present situation and problems of coal mine rock burst prevention and control in China [J]. *Journal of China Coal Society*, 2022, 47(1): 152-171.
- [21] 齐庆新,马世志,孙希奎,等. 煤矿冲击地压源头防治理论与技术架构[J]. *煤炭学报*, 2023, 48(5): 1861-1874.
QI Qingxin, MA Shizhi, SUN Xikui, et al. Theory and technical framework of coal mine rock burst origin prevention [J]. *Journal of China Coal Society*, 2023, 48(5): 1861-1874.
- [22] 欧阳振华. 冲击地压应急管理[M]. 北京: 应急管理出版社, 2023.
OUYANG Zhenhua. *Emergency management of rock burst* [M]. Beijing: Emergency Management Press, 2023.
- [23] 王爱文,王岗,代连朋,等. 基于临界应力指数法巷道冲击地压危险性评价[J]. *煤炭学报*, 2020, 45(5): 1626-1634.
WANG Aiwen, WANG Gang, DAI Lianpeng, et al. Evaluation on the rock burst risks of roadway using critical stress index method [J]. *Journal of China Coal Society*, 2020, 45(5): 1626-1634.
- [24] 袁亮. 煤矿典型动力灾害风险判识及监控预警技术“十三五”研究进展[J]. *矿业科学学报*, 2021, 6(1): 1-8.
YUAN Liang. Risk identification, monitoring and early warning of typical coal mine dynamic disasters during the 13th Five-Year Plan period [J]. *Journal of Mining Science and Technology*, 2021, 6(1): 1-8.
- [25] 高明仕,俞鑫,徐东,等. 基于冲能吸能平衡效应的冲击地压巷道分级支护研究[J]. *岩土力学*, 2024, 45(1): 38-48.
GAO Mingshi, YU Xin, XU Dong, et al. Graded support of rock burst roadway based on balance theory of impact energy and absorbed energy [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2024, 45(1): 38-48.
- [26] 郝琪,曹安业,王常彬,等. 硬厚致灾岩层预裂爆破防冲参数优化及工程实践[J]. *采矿与安全工程学报*, 2024, 41(3): 481-492.
HAO Qi, CAO Anye, WANG Changbin, et al. Optimization of anti-impact parameters and engineering practice of pre-split blasting for hard-thick disastrous rock strata [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2024, 41(3): 481-492.

(责任编辑:陈骏)