

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. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.1156

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. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.1156

## 冲击地压分类防治体系研究与应用

翟明华<sup>1</sup>,姜福兴<sup>2</sup>,齐庆新<sup>3</sup>,郭信山<sup>1</sup>,刘 懿<sup>2</sup>,朱斯陶<sup>2</sup>

(1. 山东能源集团有限公司,山东 济南 250014; 2. 北京科技大学 土木与资源工程学院,北京 100083; 3. 煤炭科学研究总院,北京 100013)

**摘 要:**针对煤矿冲击地压类型复杂、治理技术缺乏针对性等问题,提出了以“分类治理”为核心思想的冲击地压“分类-评价-解危-预警-检验-支护-管理”“七模块”治理技术体系。通过对矿井采深、地层条件、煤层条件、构造条件、开采方法和边界条件进行分析,提出了以 8 种不同的外部力源类型和 10 种典型巷道围岩结构形式两两组合的“深井冲击地压综合分类方法”;在分类基础上对冲击地压的评价、解危、预警、检验、支护和管理技术进行了分析和优选。“七模块”冲击地压治理技术体系在山东能源集团新巨龙煤矿等矿井的成功应用,可为冲击地压矿井的安全开采提供借鉴。

**关键词:**煤矿;七模块;冲击地压;防治体系

**中图分类号:**TD324

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-9993(2017)12-3116-09

## Research and practice of rock burst classified control system

ZHAI Minghua<sup>1</sup>,JIANG Fuxing<sup>2</sup>,QI Qingxin<sup>3</sup>,GUO Xinshan<sup>1</sup>,LIU Yi<sup>2</sup>,ZHU Sitao<sup>2</sup>

(1. Shandong Energy Group Company Limited, Jinan 250014, China; 2. School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 3. China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Aiming at lacking dedicated control technique of complex rockbursts in coal mines, the authors propose a 7-component framework for controlling rockbursts based on rockburst classification, the 7-component framework includes classification, evaluation, danger-breaking, early-warning, inspection, support and management. Through analyzing mining depth, overburden, coal seam, tectonics, mining method and boundary conditions, the eight external load types and ten typical surrounding rock structures of under-ground openings are identified. Subsequently, a comprehensive rockburst classification scheme is presented using different combinations of external loads and surrounding rock structures. The evaluation, danger-breaking, early-warning, inspection, support and management technology are analyzed and optimized based on rockburst classification. The 7-component rockburst control framework has been successfully applied in Xinjulong Coal Mine of Shandong Energy Group, and ensured the deep mining safety.

**Key words:** coal mine; seven module; rock burst; control system

随着我国煤矿开采深度和强度的不断增加,冲击地压已成为深部矿井开采面临的主要动力灾害之一<sup>[1-3]</sup>。据课题组统计,截止 2016 年底,我国冲击地压矿井数量已达到 167 对,超过 50 对矿井开采深度

达到或超过 1 000 m。其中山东省冲击地压矿井有 56 对,17 对矿井开采深度超过 1 000 m,山东能源集团冲击地压矿井占山东省 2/3,老区大多已进入千米深部,下属孙村煤矿采深已超过 1 500 m,为亚洲第一

收稿日期:2017-08-23 修回日期:2017-11-13 责任编辑:毕永华

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801408);国家自然科学基金资助项目(51674014);国家自然科学基金重点资助项目(51634001)

作者简介:翟明华(1960—),男,江苏盐城人,教授级高级工程师,博士。Tel:0531-66596716, E-mail:18678870716@163.com。通讯作者:朱斯陶(1990—),男,湖北荆州人,讲师,博士。E-mail:zhusitao123@163.com

深井,新区均为千米深井,这些矿井均面临着严重的冲击地压防治问题。为了防治冲击地压灾害,矿区采取了各种措施,“断面只能大不能小、仪器只能上不能下、支架只能强不能弱、措施只能加不能减”等,导致正常的采掘活动受到严重制约。因此,正确认识冲击地压发生的机理<sup>[4-8]</sup>,对冲击地压进行科学分类,有针对性治理,已经成为防治冲击地压灾害的必由之路。

本文通过分析山东能源集团权属冲击地压矿井的基本情况,总结了典型冲击地压矿井防治的经验,提出了冲击地压防治的“七模块”技术体系,该体系应用以来,基本控制住了 30 多对矿井灾害性冲击地压事故。

## 1 山东能源集团冲击地压灾害概况

### 1.1 山东能源集团冲击地压灾害基本情况

山东能源集团权属矿井具有深井多、煤层类型多、构造复杂、顶板底板冲击倾向性强等特点,导致冲击地压的类型和发生条件复杂,严重制约矿井的安全高效生产。如华丰煤矿曾发生破坏性冲击地压 108 次,累计造成 41 人重伤、7 人死亡<sup>[9]</sup>,是全国最为典型的冲击地压矿井;梁宝寺煤矿、古城煤矿、唐口煤矿等千米深井的主力矿井都发生过冲击地压事故<sup>[10]</sup>。特别是 2012 年,山东省发生冲击地压事故 4 次(死亡 12 人),其中山东能源集团权属煤矿发生 3 次(死亡 6 人),部分冲击地压现场照片如图 1 所示。2015 年以来,山东能源集团在彬长、上海庙、鄂尔多斯等外省矿区开发的矿井冲击地压灾害也非常突出。

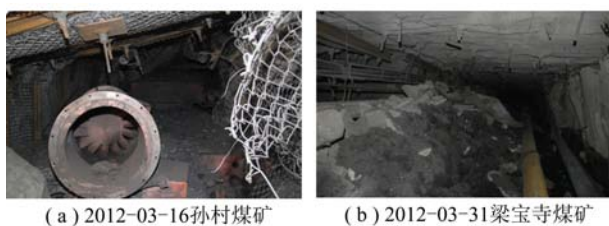


图 1 山东能源集团权属矿井冲击地压事故现场照片

Fig. 1 Rock burst accident scene photos in coal mines of Shandong Energy Group

### 1.2 冲击地压防治关键途径分析

通过分析冲击地压事故发生的原因,得到 4 个基本结论:

(1) 开采深度、地层结构、煤层的厚度及其冲击倾向性是决定冲击地压危险性的四大客观因素,其单独作用或组合作用都能引起冲击类型和冲击危险程度的明显变化。图 2 是山东能源集团冲击地压矿井的典型地层结构。

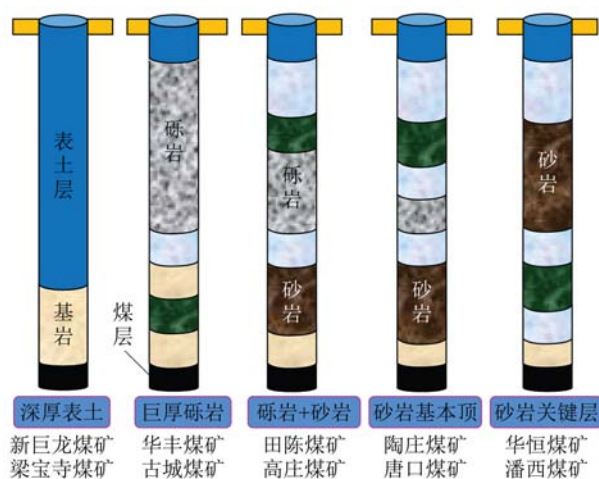


图 2 山东能源集团权属冲击地压矿井典型地层结构

Fig. 2 Typical stratum structure in coal mines of Shandong Energy Group

(2) 工作面开采设计、采掘速度和防冲体系的严密性是决定冲击地压危险性的三大主观因素,其单独作用或组合作用都能引起冲击类型和冲击危险程度的明显变化。

(3) 采用“同一技术和同一参数防治所有类型冲击地压”的简单做法是造成防治成本增加和不能有效防治冲击事故的重要原因。

(4) 只有基于冲击机理进行分类,在分类基础上实施针对性措施,才是冲击事故防治的有效途径。

为此,山东能源集团围绕“分类治理”,开展了分阶段、分层次的研究,最终建立了适用于具有冲击危险性矿井的“分类-评价-解危-预警-检验-支护-管理”的“七模块”分类治理防控体系。

## 2 以治理为目的的冲击地压分类研究

冲击地压是具有冲击倾向性的煤岩体在外部力源的作用下,围岩结构发生失稳破坏,局部灾害体突然冲出造成的动力灾害。可见,外力作用于围岩导致其冲击失稳是冲击地压的本质。因此,本文对冲击地压的分类,就是基于“外力”作用于“围岩”导致其“失稳”的分类。这是一种综合性分类,既考虑了引起冲击的外因,又考虑引起冲击的内因,并指出了既可以通过改变外因、也可以通过改变内因而来改变围岩“稳定性”,从而实现冲击地压的“分类防治”。图 3 是冲击地压综合分类与评价方法。

在上述综合分类体系中,笔者建立了诊断“外部应力”的系列计算方法和评估“围岩性质”的系列计算方法。通过引入应力集中系数、建立“载荷三带”理论模型等<sup>[11]</sup>,对外部力源影响下的围岩整体稳定性进行了研究;对“围岩-煤层-巷道”不同位置关系、

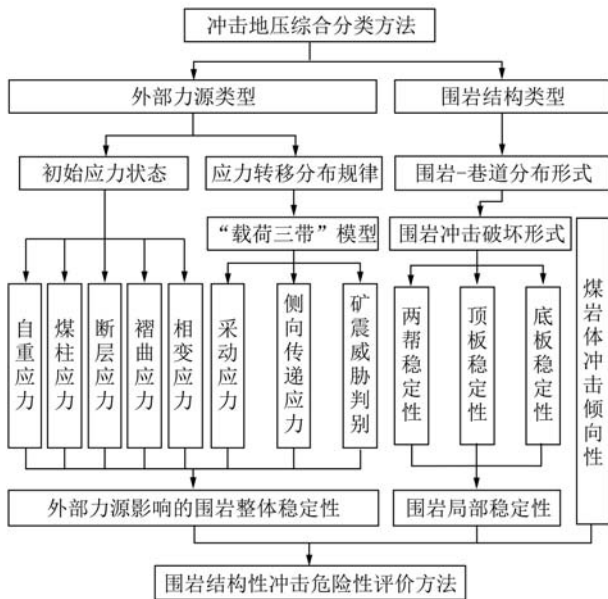


图3 冲击地压综合分类与评价方法

Fig. 3 Rock burst comprehensive classification and evaluation method

不同冲击类型进行了稳定性计算,得到围岩稳定性指标;结合围岩整体、局部稳定性指标以及煤岩体冲击倾向性指标,进行冲击地压危险性分类。以此为基础,形成了集冲击灾害类型与危险性于一体的冲击危险性评价方法。

### 3 冲击地压“七模块”防控体系研究

在冲击地压分类研究的基础上,笔者提出了以“分类治理”为核心思想的冲击地压“七模块”治理技术体系,即:矿井冲击地压综合“分类”→分类基础上的冲击危险性采前“评价”→分类基础上的冲击地压“解危”技术及优选→分类基础上的冲击危险性实时“预警”技术及优选→分类基础上的冲击危险性“检验”技术及优选→分类基础上的冲击危险区“支护”技术及优选→分类基础上的冲击危险区“管理”技术及优选。

#### 3.1 矿井冲击地压综合分类

通过对山东能源集团权属矿井采深、地层条件、煤层条件、构造条件、开采方法条件和边界条件进行分析,提出了8种不同的外部力源类型(图3)和10种典型的巷道围岩结构形式<sup>[12]</sup>(图4),通过两两组合的“深井冲击地压综合分类方法”。图4中箭头所指方向为发生冲击地压时,巷道围岩可能发生冲击破坏部位和方向,主要有顶板冲击、底板冲击和帮部冲击三种类型,由于薄煤层发生冲击地压的危险性较小,因此暂未考虑薄煤层冲击地压的类型。

#### 3.2 分类基础上的采前冲击危险性评价

针对国内外推广的冲击危险性宏观评价方法不

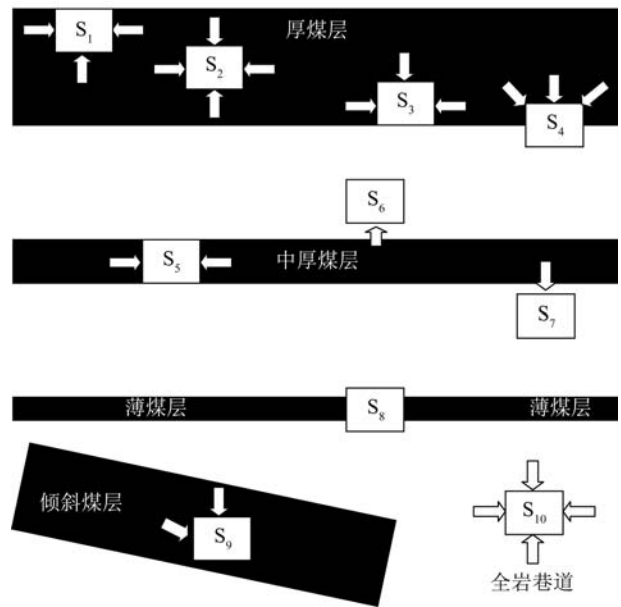


图4 山东能源集团巷道典型冲击显现方向

Fig. 4 Typical impact direction of roadways in Shandong Energy Group

能评价出危险区范围和危险程度的不足,在将诱发冲击地压外部力源半定量表达的基础上,提出了综合考虑自重应力、构造应力、采空区传递应力、煤柱应力和工作面开采全过程覆岩运动应力等因素的冲击危险性多因素耦合评价方法,目前已经成为我国煤矿冲击危险性评价的主要方法。

分类基础上的开采前冲击危险性评价流程如下:

(1)搜集试验工作面的开采设计和地质资料。包含试验工作面煤层赋存条件、采煤方法、钻孔柱状图、地质构造和支护设计等。

(2)试验工作面煤岩体冲击倾向性鉴定。依据国家标准对试验工作面附近煤层、顶板和底板的冲击倾向性进行鉴定<sup>[13-14]</sup>。

(3)分析试验工作面外部力源类型并计算应力大小,确定影响范围。笔者在文献[12]中提出了自重应力 $\sigma_{z1}$ 、煤柱应力 $\sigma_{z2}$ 、断层应力 $\sigma_{z3}$ 、褶曲应力 $\sigma_{z4}$ 和相变带应力 $\sigma_{z5}$ 的计算方法。工作面可能同时受一种或者多种外部力源的影响。

(4)根据试验工作面开采条件和钻机柱状图划分上覆岩层载荷三带范围并计算三带岩层自重。根据试验工作面钻孔资料,得到上覆岩层岩性、厚度和强度等特征参数,采用岩层质量指数法分别确定载荷三带的高度,计算采空区侧向传递应力 $\sigma_{z6}$ 和采动应力 $\sigma_{z7}$ 。

(5)计算外部力源影响下的巷道冲击危险性。将试验工作面存在的外部力源进行叠加,得到总应力 $\sigma_z$ 和巷道围岩整体稳定性系数 $I_A$ 。

(6)根据试验工作面开采设计资料确定巷道围岩结构类型。

(7)综合巷道整体稳定性指数、围岩局部稳定性指数和煤岩冲击倾向性指数,计算出巷道冲击地压危险范围和等级。

(8)根据巷道不同区域的危险等级,制定针对性的冲击地压监测预警和治理措施。

基于分类基础上的采前冲击危险性评价流程如图 5 所示。通过综合围岩整体稳定性指标、围岩局部稳定性指标和煤岩冲击倾向性指标对试验工作面进行冲击危险性评价,并进行分级分类,形成了集冲击灾害类型与危险性于一体的围岩结构冲击危险性评价方法。

### 3.3 分类基础上的冲击地压解危技术及优选

实施冲击地压解危措施时,应根据对冲击地压的分级分类,同时考虑目标位置的主导外部力源类型和巷道围岩结构类型,制定针对性的防治措施,当目标位置冲击地压危险性较大,且单一卸压解危措施效果不明显时,可根据现场实际情况采取多重解危措施进

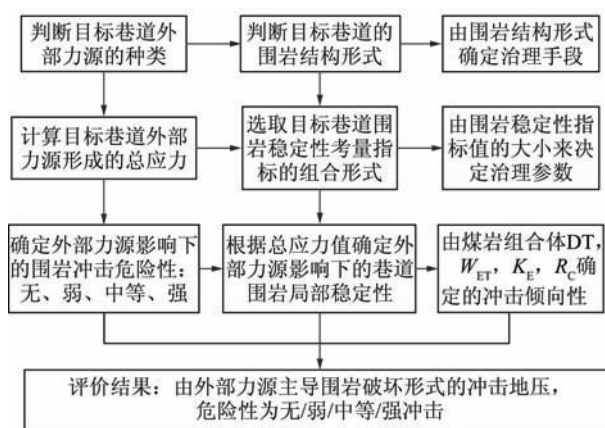












图 5 冲击地压危险性分类评价流程

Fig. 5 Classification and evaluation process of rock burst risk. 不要盲目实施多种卸压解危手段,既增加工人劳动强度,也难以降低或消除冲击危险。

不同主导外部力源类型与围岩结构组合条件下的可用解危措施见表 1。针对不同的冲击危险级别和现场实际条件,采取的局部卸压解危参数以及优先度有所不同,具体卸压解危参数应根据现场实际情况来最终确定。

表 1 外部力源类型与围岩结构组合下的局部解危措施

Table 1 External force source type and structure of surrounding rock under the combination of local relief measures

结构	力源						
	自重应力	煤柱应力	断层构造应力	褶曲构造应力	相变构造应力	采动应力	侧向传递应力
 S <sub>1</sub>	断底/钻孔卸压	断底/钻孔/爆破卸压	断底/钻孔卸压	断底/钻孔卸压	断底/钻孔卸压	断顶/断底/爆破/钻孔卸压	断底/爆破/钻孔卸压
 S <sub>2</sub>	断底/钻孔卸压	断底/钻孔卸压	断底/钻孔卸压	断底/钻孔卸压	断底/钻孔卸压	断顶/断底/钻孔卸压	断底/钻孔卸压
 S <sub>3</sub>	钻孔卸压/煤层注水/强支护	爆破/钻孔卸压/强支护	钻孔卸压/强支护	钻孔卸压/强支护	钻孔卸压/强支护	断顶/钻孔卸压/强支护	断顶/钻孔卸压/强支护
 S <sub>4</sub>	钻孔卸压/煤层注水/强支护	爆破/钻孔卸压/强支护	钻孔卸压/强支护	钻孔卸压/强支护	钻孔卸压/强支护	断顶/钻孔卸压/强支护	断顶/钻孔卸压/强支护
 S <sub>5</sub>	爆破/钻孔卸压	爆破/钻孔卸压	钻孔卸压	钻孔卸压	钻孔卸压	断顶/钻孔卸压	钻孔卸压
 S <sub>6</sub>	断底卸压/煤层注水	断底卸压	断底卸压	断底卸压	断底卸压	断顶/断底卸压、煤层注水	断底卸压
 S <sub>7</sub>	煤层注水/强支护	强支护	强支护	强支护	强支护	断顶卸压/煤层注水/强支护	强支护
 S <sub>8</sub>	断顶/钻孔卸压	断顶/爆破/钻孔卸压	断顶/钻孔卸压	断顶/钻孔卸压	断顶/钻孔卸压	断顶/钻孔卸压	断顶/钻孔卸压
 S <sub>9</sub>	断顶/断底/钻孔卸压	断顶/断底/钻孔卸压	断顶/断底/钻孔卸压	断顶/断底/钻孔卸压	断顶/断底/钻孔卸压	断顶/断底/钻孔卸压	断顶/断底/钻孔卸压
 S <sub>10</sub>	水力压裂/强支护	水力压裂/强支护	水力压裂/强支护	水力压裂/强支护	水力压裂/强支护	断顶卸压/强支护	断顶卸压/强支护

### 3.4 分类基础上的冲击危险性实时预警技术及优选

诱发冲击地压的关键因素主要有围岩整体或局部稳定性、应力高度集中和煤岩体的冲击倾向性。岩体的冲击倾向性可以依据国家标准在实验室测出,但围岩应力的集中程度和稳定性能够分别通过微震与

应力监测手段进行掌握<sup>[15]</sup>。

以“冲击地压分类评价方法”为理论基础,建立工作面外部力源类型与围岩结构组合下的监测预警方法见表2,表3为工作面不同冲击危险程度对应的监测预警方法。

表2 外部力源类型与围岩结构组合下的监测预警方法

Table 2 External force source type and structure of surrounding rock under the combination of monitoring and early warning method











结构	力源						
	自重应力	煤柱应力	断层构造应力	褶曲构造应力	相变构造应力	采动应力	侧向传递应力
 S <sub>1</sub>	底板/两帮应力监测	底板/两帮应力监测	底板/两帮应力监测/微震监测	底板/两帮应力监测	底板/两帮应力监测	底板/两帮应力监测/微震监测	底板/两帮应力监测
 S <sub>2</sub>	底板/两帮应力监测、钻屑监测	底板/两帮应力监测、钻屑监测	底板/两帮应力/微震监测、钻屑监测	底板/两帮应力监测、钻屑监测	底板/两帮应力监测、钻屑监测	底板/两帮应力/微震监测、钻屑监测	底板/两帮应力监测、钻屑监测
 S <sub>3</sub>	两帮应力监测	两帮应力监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测
 S <sub>4</sub>	两帮应力监测	两帮应力监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测
 S <sub>5</sub>	两帮应力监测	两帮应力监测	两帮应力/微震监测	两帮应力监测	两帮应力监测	两帮应力/微震监测	两帮应力监测
 S <sub>6</sub>	底板应力/钻屑监测	底板应力/钻屑监测	底板应力/钻屑监测	底板应力/钻屑监测	底板应力/钻屑监测	底板应力/微震监测	底板应力/钻屑监测
 S <sub>7</sub>	微震监测	微震监测	微震监测	微震监测	微震监测	微震监测	微震监测
 S <sub>8</sub>	两帮应力监测	两帮应力监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测	两帮应力/微震监测
 S <sub>9</sub>	底板/两帮应力、钻屑监测	底板/两帮应力、钻屑监测	底板/两帮应力、钻屑/微震监测	底板/两帮应力、钻屑监测	底板/两帮应力、钻屑监测	底板/两帮应力、钻屑、微震监测	底板/两帮应力、钻屑监测
 S <sub>10</sub>	微震监测	微震监测	微震监测	微震监测	微震监测	微震监测	微震监测

表3 不同冲击危险程度对应的监测预警方法

Table 3 Monitoring and early warning method of different risk level

灾害体位置	弱冲击危险	中等冲击危险	强冲击危险
两帮冲击	钻屑法抽检	应力在线监测、预警区钻屑法抽检	应力与微震联合监测、预警区钻屑法抽检
顶板冲击	钻屑法抽检	应力在线监测、预警区钻屑法抽检	应力与微震联合监测、预警区钻屑法抽检
底板冲击	钻屑法抽检	应力在线监测、预警区钻屑法抽检	应力与微震联合监测、预警区钻屑法抽检

### 3.5 分类基础上的冲击危险性检验技术及优选

随着工作面的开采,采空区上覆岩层的载荷三带范围和结构也随之发生变化,工作面前方煤体应力集中区也是不断变化的,有可能发生应力恢复,因此防冲工程并不能确保一劳永逸,而是具有一定的时效性。为了保障目标区域煤体处于低应力状态,需要对卸压效果进行检验。应力监测检验和钻屑法检验是两种常用的卸压效果检验方法。

#### (1) 基于应力监测的卸压效果检验

通过在卸压保护区内布置钻孔应力计来对煤岩

体的应力状态进行实时监测。当卸压解危措施效果不好或煤岩体应力恢复时,矿井监测人员可实时获取煤岩体应力情况,并根据监测情况对卸压措施进行优化,确保卸压措施的有效性。

基于应力监测的卸压效果检验流程如图 6 所示,现场应用时还需根据煤岩体的物理力学性质和开采条件来确定最优布置方式。

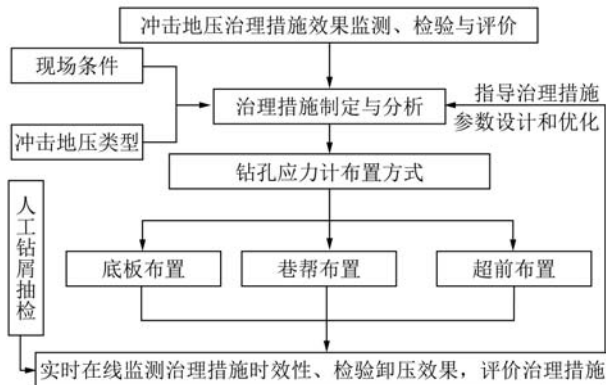


图 6 基于应力监测的卸压效果检验流程

Fig. 6 Test flow chart of pressure relief effect based on monitoring of stress

### (2) 基于钻屑法的人工检验方法

巷道周围煤岩体的应力是随着采掘活动不断变化的,而支承压力峰值位置也是随着煤体屈服或顶板运动不断转移。由于钻孔应力实时监测为点监测方法,当支承压力峰值位置转移出应力计监测范围时,需要采用人工检验的钻屑法进行补充,确保监测检验无盲区。

### 3.6 分类基础上的冲击危险区超前支护技术及优选

优选巷道超前支护是解决严重冲击地压工作面巷道大变形协调控制技术难题的主要措施,尤其是在实施强卸压措施后,沿空巷道变形失稳易诱发超前支护被挤死或压死(图 7),严重影响安全生产。



图 7 沿空巷超前支护照片

Fig. 7 Photos of advanced support in gob-side entry

常用超前支护方式主要是单体支柱和液压超前支架<sup>[16-17]</sup>。前者优点是不破坏巷道原有支护、灵活性好、保护顶板完整性;缺点是支护强度较低、稳定性差、抵抗扰动与冲击能力差。后者的优点是支护强度大、稳定性高、抵抗扰动与冲击能力强;缺点是破坏巷

道原有支护、不适应围岩变形且灵活性差。

有效的巷道超前支护应满足以下 3 个基本要求:

(1) 支护强度高。能够抵抗工作面超前开采扰动,协同巷道原有支护控制围岩变形。

(2) 稳定性高,适应性强。能够抵抗冲击地压的破坏,适应围岩变形。

(3) 便于前移。能够在巷道发生变形后快速、顺利前移,不影响工作面的安全推采。

针对采煤工作面超前巷道冲击地压与大变形协调控制的难题研发的高强度单元式超前支架(型号: ZQ4000/20.6/45),能够避免原超前支护方式存在的缺点,有以下优点:

(1) 支护强度高。单元式超前支架设计额定工作阻力为 2 000 kN,确保对顶板支护强度超过 0.5 MPa,能够抵抗工作面超前开采扰动,降低巷道围岩变形破坏。

(2) 无反复支撑。单元式超前支架设计为循环拆支式,一次支撑后至工作面端头撤除,避免了常规超前支架对顶板的反复升降破坏,保证巷道顶板完整性。

(3) 抗冲击能力强。单元式超前支架立柱双伸缩设计,行程大;配双流量安全阀,冲击载荷瞬时加载时,能够迅速卸压。

(4) 牵移机动性好。单元式超前支架设计有侧向推移、牵拉油缸,降架后出架、靠帮容易;有稳车牵引、轻型单轨吊牵引或液压履带车牵引 3 种牵引方式;降架、出架、牵引、靠帮、支撑各步操作灵活机动。

高强度单元式超前支架(图 8)在山东能源集团权属煤矿广泛应用,实现了超前巷道防冲安全和工作面端头不扩刷的双重目标。



图 8 沿空巷高强度单元式超前支架支护照片

Fig. 8 Photo of high strength unit advance support in gob-side entry

### 3.7 分类基础上的冲击危险区管理技术及优选

为强化矿井冲击危险区域防冲安全管理,提升现

场施工人员个体防护意识,杜绝破坏性冲击事故发生,在冲击危险区封闭限员管理、冲击危险区物料安全管理和冲击危险区人员防护管理等方面制定了专项管理技术规定。如冲击危险区封闭限员管理主要包含回采工作面封闭限员管理规定、掘进工作面封闭限员管理规定和采掘扰动影响区限员管理规定等。

#### 4 冲击地压“七模块”防控体系的现场应用

以新巨龙矿井为例,该矿 2302N 工作面是二采区北翼第二个综放工作面,主采 3 煤层平均厚 9.2 m,倾角平均  $3^\circ$ ,为近水平煤层,煤层结构简单,容重约  $13.5 \text{ kN/m}^3$ ;埋藏深度 720 ~ 840 m,上覆巨厚表土层平均厚约 650 m,基岩最薄处约 70 m;2302N 工作面走向长 1 628 m,倾向宽 262 m,采用综合机械化放顶煤采煤工艺,割煤高度为 4 m,放煤高度为 5.2 m。根据工作面附近钻孔柱状图,煤层顶板岩层赋存特征变化较大,基岩受风化较严重。经鉴定,2302N 工作面开采 3 煤层为弱冲击倾向性,顶板为中等冲击倾向性。

##### 4.1 工作面冲击地压综合分类及冲击危险性评价

根据 2302N 工作面地质资料及开采技术条件,得到影响冲击地压的外部力源主要有自重应力  $\sigma_{z1}$ 、断层应力  $\sigma_{z2}$ 、边界残余应力  $\sigma_{z3}$ 、采空区侧向支承压力  $\sigma_{z4}$  和采动应力  $\sigma_{z5}$ 。

2302N 工作面上、下平巷和开切眼均沿煤层底板施工,对比图 4 可知,工作面巷道围岩结构为  $S_3$  型。

将 2302N 工作面 5 种外部力源及其影响区域进行叠加,划分出冲击危险区如图 9 所示,图中蓝色、黄色和红色虚线分别为弱、中等和强冲击危险判别线。

2302N 工作面回采区域存在 8 个弱冲击危险区(绿色)、4 个中等冲击危险区(黄色)和 8 个强冲击危险区(红色)。

根据 2302N 工作面 5 种外部力源叠加得到的应力曲线,通过插值方法可画出 2302N 工作面应力分布,如图 10 所示。

##### 4.2 工作面冲击地压解危技术优选

根据 2302N 工作面外部力源类型和围岩-巷道结构类型,在表 1 中选择对应的卸压解危措施。

根据表 1 可知,综合选择的治理解危措施包括:钻孔卸压、煤层注水、深孔断顶以及强支护。

2302N 工作面实际采用钻孔卸压参数为:直径 $\times$ 孔深 $\times$ 间距 =  $150 \text{ mm} \times 25 \text{ m} \times (1 \sim 3 \text{ m})$ ,弱、中、强冲击危险区钻孔间距分别为 3, 2 和 1 m。

2302N 工作面实际采用双向长钻孔注水方式,注水孔垂直巷道走向布置,沿空巷注水孔直径  $\geq$

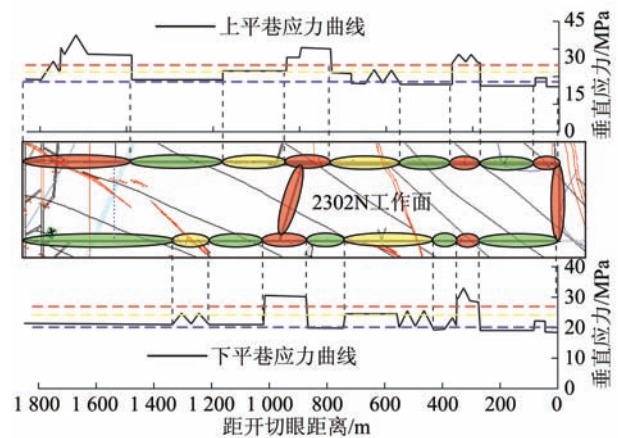


图 9 2302N 工作面冲击地压危险区划分

Fig. 9 Distribution of rock burst risk areas in LW2302N

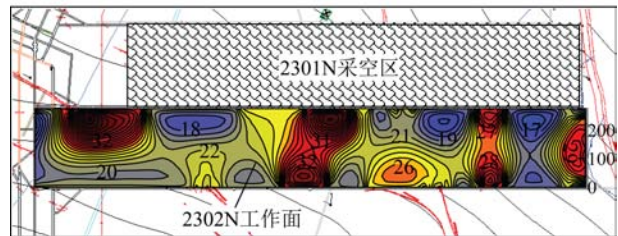


图 10 2302N 工作面应力分布(单位:MPa)

Fig. 10 Nephogram of stress distribution in LW2302N (unit: MPa)

73 mm、间距 10 m、孔深 90 m,每孔注水量为  $480 \text{ m}^3$ ;实体巷注水孔直径  $\geq 73 \text{ mm}$ 、间距 10 m、孔深 160 m,每孔注水量为  $920 \text{ m}^3$ 。采用动压注水与静压注水相结合的方式注水施工,动压注水压力不低于 12 MPa,静压注水压力不低于 3 MPa。

由于 2302N 工作面为深厚表土薄基岩综放工作面,开切眼附近基岩厚度约 70 m 且受风化严重,因此本工作面可不采用爆破断顶措施。

2302N 工作面开采前对沿空巷顶板和两帮及实体巷顶板进行了锚索梁补强支护,确保工作面开采期间围岩变形后的断面能够满足生产要求。

##### 4.3 工作面冲击地压监测预警技术优选

根据 2302N 工作面外部力源类型和围岩-巷道结构类型,在表 2, 3 中选择对应的监测方法。综合选择的监测预警措施包括:微震监测、应力实时监测及钻屑法抽检,微震、应力监测方案如图 11 所示。

微震监测方案:2302N 工作面开采前在沿空、实体巷自开切眼向外间隔 50 m 布置一组检波器,检波器根据工作面推进度随撤随安装,保证上、下平巷各自不少于 6 组检测器(超前 300 m)正常运行。

应力监测方案:2302N 工作面开采前在沿空、实体巷自开切眼向外间隔 25 m 安装一组应力测站,每组测站包含深、浅两个应力测点,深度分别为 8 和

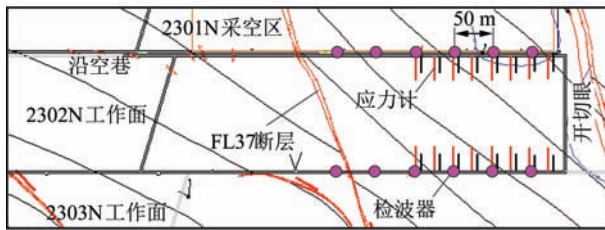


图 11 2302N 工作面冲击地压监测预警布置

Fig. 11 Monitoring and early warning layout drawing of rock burst in LW2302N

14 m, 应力测站根据工作面推进度随撤随安装, 保证上、下平巷各自不少于 8 组测站(超前 200 m)正常运行。

2302N 工作面开采过程中, 当冲击地压实时监测预警系统或其他监测判定该区域煤体应力集中时, 采取钻屑法监测手段进行检验。

新巨龙煤矿为了解决多种冲击地压监测系统相对独立、数据实时共享性差和综合预警困难的问题, 联合北京科技大学开发了煤矿冲击地压监控预警平台系统(图 12), 实现了冲击地压多参量实时联合分析预警等功能, 有效提高了矿井冲击地压监测预警水平。



图 12 新巨龙矿井冲击地压监控预警平台

Fig. 12 Rockburst monitoring and early warning platform in Xinjulong Coal Mine

#### 4.4 工作面冲击危险区超前支护技术和管理技术优选

2302N 工作面沿空巷超前支护距离为 120 m, 自工作面切顶线向外 120 m 范围内采用 60 组 ZQ4000-20.6/45 高强度单元式超前支架进行超前支护; 实体巷超前支护距离为 80 m, 自工作面切顶线向外 80 m 范围内采用 40 组高强度单元式超前支架进行超前支护。

2302N 工作面生产期间严格落实工作面冲击危险区封闭限员管理、防冲物料固定管理和人员防护管理等多项防冲管理规定, 确保冲击危险区施工人员安全。

2302N 工作面自 2015-01-15 开始生产, 至 2016-02-21 安全开采结束, 在此期间, 工作面仅在向 FL37 断层推采期间出现微震事件总能量预警, 但工作面超前煤体应力监测并未预警, 且在工作面前方 60 m 范围内采用钻屑法检验并无煤粉量超标和动力现象, 因此判定钻孔卸压效果较好, 工作面两侧巷道无冲击危险, 可继续推进。

“七模块”冲击地压防治体系在山东能源集团新巨龙煤矿等 30 多对矿井推广应用, 这些矿井的灾害性冲击地压事故得到了基本控制, 保障了安全生产。

## 5 结 论

(1) 针对煤矿冲击地压类型复杂、治理技术缺乏针对性问题, 提出了以“分类治理”为核心思想的冲击地压“分类-评价-解危-预警-检验-支护-管理”“七模块”治理技术体系, 并在山东省得到了推广应用。

(2) 通过对矿井采深、地层条件、煤层条件、构造条件、开采方法和边界条件进行分析, 提出了以 8 种不同的外部力源类型和 10 种典型的巷道围岩结构形式两两组合的“深井冲击地压综合分类方法”。

(3) 针对山东能源集团权属矿井面临冲击地压与大变形协调控制的难题开发的适合冲击危险巷道的高强度单元式超前支架, 提高了超前支护强度和抗冲击能力, 确保了工作面正常推进速度, 实现了超前巷道防冲安全和工作面端头不扩刷的双重目标。

(4) “七模块”冲击地压防治体系在山东能源集团新巨龙煤矿等矿井成功应用, 保障了工作面的安全开采。研究结果对冲击地压矿井的安全开采具有借鉴意义。

## 参考文献(References):

- [1] 潘一山, 李忠华, 章梦涛. 我国冲击地压分布、类型、机理及防治研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(11): 1844-1851.  
PAN Yishan, LI Zhonghua, ZHANG Mengtao. Distribution, type, mechanism and prevention of rockburst in China[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(11): 1844-1851.
- [2] 姜耀东, 潘一山, 姜福兴, 等. 我国煤炭开采中的冲击地压机理和防治[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2): 205-213.  
JIANG Yaodong, PAN Yishan, JIANG Fuxing, et al. State of the art review on mechanism and prevention of coal bumps in China[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(2): 205-213.
- [3] 齐庆新, 欧阳振华, 赵善坤, 等. 我国冲击地压矿井类型及防治方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(10): 1-5.  
QI Qingxin, OUYANG Zhenhua, ZHAO Shankun, et al. Study on types of rock burst mine and prevention methods in China[J].



- Coal Science and Technology, 2014, 42(10):1-5.
- [4] 姜福兴, 魏全德, 姚顺利, 等. 冲击地压防治关键理论与技术分析[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6):6-9.  
JIANG Fuxing, WEI Quande, YAO Shunli, et al. Key theory and technical analysis on mine pressure bumping prevention and control[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(6):6-9.
- [5] 齐庆新, 窦林名. 冲击地压理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008:32-43.
- [6] 潘俊锋, 宁宇, 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.
- [7] 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(5):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(5):690-694.
- [8] 高明仕, 窦林名, 张农, 等. 冲击矿压巷道围岩控制的强弱力学模型及其应用分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(2):359-364.  
GAO Mingshi, DOU Linming, ZHANG Nong, et al. Strong-soft-strong mechanical model for controlling roadway surrounding rock subjected to rockburst and its application[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(2):359-364.
- [9] 王存文, 姜福兴, 孙庆国, 等. 基于覆岩空间结构理论的冲击地压预测技术及应用[J]. 煤炭学报, 2009, 34(2):150-155.  
WANG Cunwen, JIANG Fuxing, SUN Qingguo, et al. The forecasting method of rock-burst and the application based on overlying multi-strata spatial structure theory[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(2):150-155.
- [10] 刘金海, 姜福兴, 王乃国. 深厚表土长大综放工作面顶板运动灾害控制[M]. 北京: 科学出版社, 2013:162-165.  
LIU Jinhai, JIANG Fuxing, WANG Naiguo. Control of disasters resulting from roof movement of barge fully mechanized caving face with deep alluvium[M]. Beijing: Science Press, 2013:162-165.
- [11] 姜福兴, 刘懿, 张益超, 等. 采场覆岩的“载荷三带”结构模型及其在防冲领域的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(12):2398-2408.  
JIANG Fuxing, LIU Yi, ZHANG Yichao, et al. A three-zone structure loading model of overlying strata and its application on rock-burst prevention[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016, 35(12):2398-2408.
- [12] 姜福兴, 刘懿, 翟明华, 等. 基于应力与围岩分类的冲击地压危险性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(5):1041-1052.  
JIANG Fuxing, LIU Yi, ZHAI Minghua, et al. Evaluation of rock burst hazard based on the classification of stress and surrounding rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(5):1041-1052.
- [13] GB/T 25217. 1—2010 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[S].  
GB/T 25217. 1—2010 Methods for test, monitoring and prevention of rock burst—Part 1: Classification and laboratory test method on bursting liability of roof strata[S].
- [14] GB/T 25217. 2—2010 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[S].  
GB/T 25217. 2—2010 Methods for test, monitoring and prevention of rock burst—Part 2: Classification and laboratory test method on bursting liability of coal[S].
- [15] 刘金海, 翟明华, 郭信山, 等. 震动场、应力场联合监测冲击地压的理论与应用[J]. 2014, 39(2):353-363.  
LIU Jinhai, ZHAI Minghua, GUO Xinshan, et al. Theory of coal burst monitoring using technology of vibration field combined with stress field and its application[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(2):353-363.
- [16] 朱斯陶, 姜福兴, 刘金海, 等. 深井厚煤层冲击地压与大变形协调控制机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(S2):4262-4268.  
ZHU Sitao, JIANG Fuxing, LIU Jinhai, et al. Research on mechanism of rock burst and large deformation coordination controlling in thick coal seam of deep shaft[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(S2):4262-4268.
- [17] 潘一山, 肖永惠, 李忠华, 等. 冲击地压矿井巷道支护理论研究及应用[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2):222-228.  
PAN Yishan, XIAO Yonghui, LI Zhonghua, et al. Study of tunnel support theory of rockburst in coal mine and its application[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(2):222-228.