

# 煤矿冲击地压控制和管理

吕祎珂 康馨月

辽宁大学环境学院

DOI:10.12238/gmsm.v5i1.1318

**[摘要]** 煤矿冲击地压是指煤矿发生的剧烈的、灾难性的破坏,是煤矿井下严重的安全隐患。煤矿冲击地压问题引起了地质学者的广泛研究兴趣。本文结合目前的冲击地压形式,提出了冲击地压控制策略和管理的基本框架,包括冲击地压预防控制和减轻控制、管理方案制定和冲击地压管理三个关键阶段。

**[关键词]** 煤矿冲击; 控制策略; 降低风险; 管理方案

中图分类号: P2 文献标识码: A

## Control and Management of Rock Burst in Coal Mine

Yike Lv Xinyue Kang

School of Environment, Liaoning University

**[Abstract]** Rock burst in coal mine refers to the violent and catastrophic damage in coal mine, which is a serious potential safety hazard in coal mine. The problem of rock burst in coal mine has aroused extensive research interest of geologists. Combined with the current form of rock burst, this paper puts forward the basic framework of rock burst control strategy and management, including three key stages: rock burst prevention control and mitigation control, management scheme formulation and rock burst management.

**[Key words]** rock burst; control strategy; risk reduction; management scheme

### 引言

煤矿冲击地压是指煤矿在地下开采过程中发生的剧烈的、灾难性的动力灾害,已被公认为世界各地地下开采中最严重、最危险的灾害之一。在中国、俄罗斯和美国的煤矿冲击一直被认为是一种安全隐患,通常情况下是由于煤体释放大量的弹性能量,从而导致煤体的突然剧烈破坏,破坏设备设施,造成矿工受伤。半个多世纪以来,许多专家学者对冲击地压的控制和减轻煤层冲击做出了很大努力。即使经过国际矿业和岩土学者几十年的广泛研究,这些国家出现了冲击地压发生频率和严重程度也不断上升的趋势,但一直没有得到解决。本文主要针对当前冲击地压形式,提出冲击地压控制策略和管理。

### 1 冲击地压控制策略

冲击地压控制是冲击地压综合管理的重要内容,直接关系到矿山的安全生产。几十年来,研究人员和运营商一直在

研究岩爆或煤冲击的控制措施<sup>[1]</sup>。目前的控制技术可分为两组:预防控制和减轻控制。预防性控制通常在地下矿山开采初期实施,通过优化矿井设计,避免冲击地压的发生,而减轻控制则作为风险缓解措施,将冲击地压的风险降至最低。

#### 1.1 预防控制

为防止突发性煤矿事件采用预防控制或矿井设计优化等措施,主要包括矿井布置设计、矿柱设计以及在多煤层开采的保护煤层设计等。这些控制措施旨在避免高静态应力集中,减少主要由岩层破裂引起的动态事件的量级。因此,在采矿活动中实施预防性控制后,煤层积累的应变能会更均匀地分布在采场周围。在这一节中,讨论了巷道设计、关键支柱设计和其他布置设计。

巷道及立柱设计,在开采中闸门进路设计被认为是主要的预防措施之一。巷道柱有两个作用:(1)提供足够的新鲜空气,保证了头面和长壁面通风;(2)抵抗

桥台荷载。因此,合理的布置设计可以使巷道矿柱在荷载作用下发生变形和屈服,从而减少长壁工作面应力集中。为了降低煤矿冲击地压层的危险性,进行闸口设计和矿柱设计。无柱采矿法在中国和欧洲得到了广泛的应用,这种方法避免了高应变能储存在弹性芯中。该方法是将混凝土沿长壁板侧放置,筑造人工巷道。在去除大矿柱后,仍可以缓解应力集中和高应变能。此外,为了降低沿采空区一侧巷道进路的冲击风险,煤矿巷道进行了成功的错开布置。在不同的采矿系统中,其他矿山设计还需要考虑其他方面。在多煤层开采中,不合理的布置是导致冲击地压发生的一个因素。在上煤层留矿柱下开采,如采出井、链矿柱、阻挡线等,特别是结合深度大、顶底板质量大、强度大的煤层,发生冲击地压的风险较大。因此,应该避免这些情况。保护煤层开采理念是通过邻近煤层进行开采,使其冲击倾向性最小,从而减少煤矿冲

击地压层的高静应力集中。作业人员应避免在保护煤层中留下残柱,如果由于地质构造等各种原因需要留下大柱,应实施监测方案。

### 1.2减轻控制

在某些情况下,即使实施了预防性控制,爆裂风险仍然存在。那么就需要通过措施来进行减轻控制。其主要包括操作控制和行政控制,尽量减少煤矿冲击地压的影响。行政控制是指限制操作人员暴露在高爆破风险区域的措施,例如自动采矿、定位远程控制设备,以及在活跃的采矿区域只允许最低数量的操作人员<sup>[2]</sup>。下面的部分主要关注操作控制。煤矿使用了各种技术来降低冲击风险,包括射击、水力压裂、注水、应力释放钻孔、撞击切割器和瓦斯爆炸装药。这些控制的目的是引入一个弱点,以减轻压力或软化系统的控制方式。在受限状态下,减压钻井诱导冲击损伤的基本原理尚不完全了解。

由于煤矿冲击地压发生的不可预测性,在高风险区,除了上述的对矿井下煤层的一系列操作控制外,地面支护通常是保障煤矿生产安全的最后一道防线。传统的支护体系主要关注重力引起的岩体变形,包括顶板塌落、膨大、底鼓和表面崩解,这与冲击地压支护体系的主要目的不同。实施冲击地压控制地面支护是为了抵御岩体的突发性和动态性破坏,避免开挖过程中的大变形。在爆炸易发地区的地面保障系统的关键特征是考虑能量吸收参数,即冲击地压支护的关键问题之一是保证支护系统能够适应冲击地压能量释放的水平。因此,需要确定预期的能量水平和能量吸收能力,能量吸收应更多地依赖岩体本身而不是支撑单元。这类类似于地面支护加固理论,即围岩本身加固比支护材料加固更重要。特别是在澳大利亚、加拿大和南非,有许多在深部含金属矿山中使用屈服支撑元素的例子。在冲击地压发生时,避免巷道变形是不可能的,但可以利用弹性支承将高应力集中降低到可接受的水平。在突发风险区域,屈服支撑比刚性支撑更适合。破坏发生的原因是动荷载高于常规刚性

支撑单元的承载能力,由于人工爆破不能真实地模拟岩爆过程,其局限性很大。屈服支撑系统以其较大的应变能力吸收动态能量,并在第二变形阶段通过预先设计的滑出过程提高能量吸收能力。

## 2 冲击地压管理

### 2.1不同的煤层预防方法

近年来,我国开发了一些突出煤层防治技术,并将其应用于突出煤层防治<sup>[3]</sup>。在煤矿开采的早期,通过合理的煤矿开采设计,可以在一定程度上避免煤矿冲击地压的发生。如前所述,在孤岛工作面开采、回采煤或岩柱开采以及硬顶条件下的采煤过程中,煤层撞击较多。这些不利地质条件的存在,在一些开采技术有限的煤矿中是不可避免的。因此,保护煤层设计、无柱回采、矿井优化布置、预掘进卸应力巷道等优化开采设计对防治煤层突进具有重要意义。由于高应力集中区域易发生冲击地压,在长壁工作面推进前,可以通过释放应力来降低冲击地压的倾向性。能量吸收支撑系统的应用可以通过增加阻尼系数在短时间内产生较大的变形,提供良好的支撑刚度,从而实现围岩变形过程中对冲击应变能的吸收。预钻孔、钻孔爆破、煤层注水、应力释放槽、人工放顶煤等应力释放技术在我国煤矿中得到了广泛应用。

### 2.2煤矿冲击地压控制建议

为了优化控制效果,应考虑两个方面:(1)首选控制策略需要与控制的层次一致,即:消除、替代、工程控制、行政控制和个人防护装备;(2)对控制效果进行实时评价,保证安全<sup>[4]</sup>。煤矿冲击地压控制的首要问题是平衡潜在冲击地压的卸压强度、地面支护能力和震级。

在高风险地区,应采用密集卸压技术,并使用监测系统。强化卸压措施有助于消除煤柱或屏障内侧的应力峰值集中。强化监测与评估包括实时在线监测、实时在线风险分类和减压工作后的风险水平评估。额外的地面支撑元件,如吸能电缆、锥螺栓和摩擦螺栓,对于缓解高风险区域至关重要。还应针对不同的危险区对个人防护装备进行评估,如身体盾牌和头盔。

### 2.3煤矿冲击地压管理方案

本节提出了三阶段冲击地压管理框架。由于冲击地压管理是非常复杂的,没有一种方法可以适用于所有的操作,该框架的目的是强调在具体的现场应用的冲击地压管理计划中的关键考虑因素;不是要制定一个通用的管理计划。这三个阶段包括:(1)识别冲击地压剖面;(2)制定冲击地压管理方案;(3)冲击地压管理。BurstRisk系统可以用来识别潜在的破裂倾向,这是一个煤炭破裂风险排名方法基于24开发案例的分析和23个情况下来自中国、澳大利亚和美国来定义三个类别的风险低、中、高<sup>[5-10]</sup>。利用BurstRisk系统,作业人员可以将自己的矿井条件与已知的煤矿冲击地压情况进行比较,然后评估作业的倾斜度,以便在可能发生煤矿冲击地压的情况下实施适当的控制<sup>[11-14]</sup>。遵循逻辑框架制定冲击地压管理方案,立法审查应包括主要危害管理计划的要求和所有相关考虑<sup>[15]</sup>。基于BurstRisk系统的岩土特征分析是为了确定适当的控制和监测技术,以便在不同的风险区域实施<sup>[16]</sup>。因此,对冲击地压管理方案的每一步都要进行全面的风险评估,以确保优选的监测和控制技术是适当和有效的。在制定关键控制管理策略中,关键控制被定义为防止事件发生或减轻事件后果的关键控制。关键控制的缺失或失败将显著增加风险,尽管存在其他控制。此外,防止一个以上不希望发生的事件或减轻一个以上后果的控制通常被归类为临界控制。对于通信盒,应明确控制措施和修改的角色和职责。

2.4冲击地压研究存在的影响及不足

冲击地压事故的潜在能源及其对冲击地压形成的影响<sup>[17-21]</sup>。通过以上分析,可以得出以下结论:(1)开采深度高、地质构造复杂是煤矿冲击地压历史的共同特征。根据国际经验,这些因素会导致煤中的应力和应变能集中。因此,建议这些煤矿采用冲击地压倾向性指数作为冲击地压危险性评价方法。(2)煤层上方地层厚重,煤层顶板薄弱。高刚度顶板是引

起塔煤层弹性能积累的潜在因素之一。但坚固的顶板不是荷载的来源,因为没有报道过与顶板承重有关的地震事件。(3)煤矿冲击地压更有可能是由小尺度动载荷引起的高应力煤的破坏<sup>[21-24]</sup>。在这种情况下,微震监测可以作为一种岩土工具,通过对小尺度动荷载的实时监测和定位来指示冲击地压危险性。然而,这是在有限的地质和地球物理资料下的初步结论。详细的地质作图和井喷现场周围充分的微震监测数据可以使分析更加定量。

### 3 结论

本文确定了当前对冲击地压控制管理策略和实施过程中存在的不足,如下所示:每个具体的煤矿都有自己的地质和开采条件,因此没有一种通用的控制方法能够预防所有类型的冲击地压的发生。操作人员必须考虑如何结合这些措施,并以更科学的方式使用它们,保障煤矿的安全生产。除此之外,对煤矿的控制技术机理有待进一步研究,使得生产人员有足够的控制措施来减轻煤冲击的影响,但有时以一种未知的方式处理,不深入了解关键对应参数,就无法正确使用缓解技术。

### 参考文献

[1] Li X, Gong F, Tao M, et al. Failure mechanism and coupled static-dynamic loading theory in deep hard rock mining: a review[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2017, 9(4): 767-782.

[2] 潘一山,代连朋.煤矿冲击地压发生理论公式[J].煤炭学报,2021,46(03): 789-799.

[3] 赵善坤,齐庆新,李云鹏,等.煤矿深部开采冲击地压应力控制技术理论与实践[J].煤炭学报,2020,45(S2):626-636.

[4] Vardar O, Zhang C, Canbulat I, et

al. A semi-quantitative coal burst risk classification system[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2018, 28(5): 721-727.

[5] 赵苡萱.煤矿安全实现“八个跨越”推动冲击地压治理——记国家煤矿安全监察局10月14日新闻发布会[J].劳动保护,2019,(11):82-83.

[6] 康红普,徐刚,王彪谋,等.我国煤炭开采与岩层控制技术发展40a及展望[J].采矿与岩层控制工程学报,2019,1(2): 7-39.

[7] 王建亭.基于山东省煤矿冲击地压灾害的风险因素分析[J].江西煤炭科技,2019,(04):16-19.

[8] 张尔辉,朱权洁,温经林,等.煤矿冲击危险性多因素耦合评价软件的开发与应用[J].中国矿业,2020,29(08):122-128.

[9] 曹代勇,占文锋,李焕同,等.中国煤矿动力地质灾害的构造背景与风险区带划分[J].煤炭学报,2020,45(07):2376-2388.

[10] 刘晨光.矿井冲击地压预防措施研究[J].能源与环保,2020,42(06):53-57.

[11] 王崇革,方洲,金云灿,等.基于融合赋权-云模型的煤矿冲击地压危险性评价[J].中国矿业,2020,29(6):97-103.

[12] 袁亮.煤矿典型动力灾害风险判别及监控预警技术研究进展[J].煤炭学报,2020,45(05):1557-1566.

[13] 赵毅鑫,周金龙,刘文岗.新街矿区深部开采邻空巷道受载特征及冲击失稳规律分析[J].煤炭学报,2020,45(05): 1595-1606.

[14] 朱斯陶,姜福兴,刘金海,等.复合厚煤层巷道掘进冲击地压机制及监测预警技术[J].煤炭学报,2020,45(05):1659-1670.

[15] 路凯旋,徐连满.我国矿井冲击地压临界深度研究[J].煤炭技术,2020,39(05):31-33.

[16] 毕娟,李希建.组合赋权的TOPSIS在冲击地压危险性评价中的应用[J].矿业安全与环保,2020,47(2):114-119.

[17] 刘金海,姜福兴,朱斯陶,等.典型深厚表土煤层冲击地压模式研究[J].煤炭学报,2020,45(05):1753-1763.

[18] 姚明远,马伟,曹丽娜,等.地音监测技术在煤矿冲击地压预警中的应用研究[J].煤炭科学技术,2021,49(07):57-62.

[19] 潘俊峰,齐庆新,刘少虹,等.我国煤炭深部开采冲击地压特征、类型及分源防控技术[J].煤炭学报,2020,45(01): 111-121.

[20] 陈卫军.充填筑帮沿空掘巷无煤柱开采治理冲击地压研究[J].内蒙古煤炭经济,2020,(01):17-20.

[21] 曹民远,陈建强,闫瑞兵,等.基于数据分析的近直立煤层冲击地压致灾因素研究[J].煤炭科学技术,2019,47(12): 32-37.

[22] 赵永芳,张凌云,于丽雅.SPA-ITFN模型在冲击地压评价中的应用[J].矿业研究与开发,2019,39(11):37-42.

[23] 赵柔嘉.推进煤矿安全生产形势总体平稳发展[J].中国安全生产,2019,14(11):22-25.

[24] 井亚社.煤矿冲击地压灾害监测预警技术研究[J].科技创新与应用,2019,(31):157-158.

### 作者简介:

吕祎珂(1996--),女,汉族,河南省洛阳市人,硕士研究生,研究方向:冲击地压监测预测。

康馨月(1997--),女,汉族,辽宁省沈阳市人,硕士研究生,研究方向:冲击地压监测预测。