

冲击地压实时监测预警技术与发展趋势

姜福兴¹, 曲效成², 于正兴², 王存文²

(1. 北京科技大学 矿山微地震研究中心, 北京 100083; 2. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 通过分析国内外冲击地压监测预警理论、技术和装备现状以及我国煤矿在冲击地压预警领域存在的问题, 提出了提高冲击地压监测预警水平的关键途径, 即正确确定冲击地压类型、判定冲击危险区域和确定相应的监测预警方法及关键指标。介绍了冲击地压发生“时间-空间-强度”实时在线监测预警系统的技术架构, 以及以“高精度微地震监测和冲击地压(应力动态)实时在线监测预警系统”为主、其他手段为辅的实时监测预警系统在多个煤矿的应用情况。提出了“危险区域-危险程度”一体化监测, 实时远程监测为主、人工抽样检验为辅和以治理为目的的监测是冲击地压实时监测预警技术的发展趋势。

关键词: 煤矿; 冲击地压; 监测预警; 微地震监测; 实时预警

中图分类号: TD67 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2011)02-0059-06

Real Time Monitoring and Measuring Early Warning Technology and Development of Mine Pressure Bumping

JIANG Fu-xing¹, QU Xiao-cheng², YU Zheng-xing², WANG Cun-wen²

(1. Mine Micro Seismic Research Center, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. School of Civil and Environment Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: With the analysis on the monitoring and measuring early warning theory, technology and equipment status of the mine pressure bumping at home and abroad and the problems existed in the mine pressure bumping early warning area in China coal mines, the paper provided the key access to improve the monitoring and measuring early warning level of the mine pressure bumping. The paper correctly set up the mine pressure bumping types, judged the mine pressure bumping location and determined the related monitoring and measuring early warning method as well as the key indexes. The paper introduced the technical frame of the “time-space-strength” real-time on line monitoring and measuring early warning system when the mine pressure bumping occurred and introduced the application conditions of the real-time monitoring and measuring early warning system with the “high accurate micro seismic monitoring and measuring and the mine pressure bumping (stress dynamic) real-time on line monitoring and measuring early warning system” as the main and the other means as the auxiliary to several coal mines. The paper provided that the monitoring and measuring integrated with “danger area-danger grade” and with the real-time remote monitoring and measuring as the main means and the manual sampling and inspection as the secondary means and with the control target monitoring and measure would be the development tendency of the mine pressure bumping real-time monitoring and measuring early warning technology.

Key words: coal mine; mine pressure bumping; monitoring and measuring early warning; micro seismic; real-time early warning

矿山动力灾害(矿震、冲击地压、煤与瓦斯突出、岩爆、突水等)监测预警与治理作为国际采矿界的难题, 仍然没有得到有效解决。随着我国矿山开采深度的快速增加, 矿山动力灾害呈现程度

越来越严重、范围越来越大的趋势, 近年来煤矿矿震和冲击地压造成的人员伤亡数量剧增, 有些矿井一次冲击摧毁巷道长度达到500 m以上, 因此, 矿震和冲击地压监测与治理已经成为很多煤矿生产安全的最薄弱环节, 冲击威胁何时来、发生冲击后会导什么后果, 是目前矿井面临的主要问题。笔者在文中介绍了在冲击矿井监测预警方面的体会, 期望通过学术交流, 共同把矿震和冲击地压监测预警

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40674017, 50774012); 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2010CB226803); “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAK24B04)

技术推进到新的高度,共同为减少动力灾害作出贡献。需要注意的是矿震和冲击地压在概念和内涵上有很大差别,但为了简化阐述,本文以下简称为冲击地压。

1 冲击地压监测预警技术现状与存在问题

1.1 冲击地压监测预警技术现状

根据山东、黑龙江、河南、河北、安徽、甘肃、江苏、辽宁、吉林、新疆、贵州、四川等省具有冲击危险矿井的调研,截至2010年,我国煤矿冲击地压监测预警的技术大都采用以下4种模式。

1) 钻检模式。用直径42 mm电煤钻检验煤粉量和宏观动力现象,判断冲击危险性。

2) 手工测量配合钻检模式。用手持式电磁辐射仪或安装钻孔应力计,配合钻检结果判断冲击危险性。

3) 单参量实时在线监测模式。单独采用某一类监测指标,如微地震、应力、电磁辐射、地音等在线监测系统,配合钻检结果判断冲击危险性。

4) 多参量实时在线联合监测模式。采用微地震、应力、电磁辐射、地音、位移等在线监测系统,配合钻检结果判断冲击危险性。

由于不同的煤矿对技术的掌握程度和关键指标确定的合理性差别很大,导致监测预警的准确性和可靠性差别很大,预警效果不能满足煤矿的需求。

1.2 冲击地压监测预警存在的问题

冲击地压灾害的突然性和后果的严重性要求监测预警系统具有实时、远程和准确的功能,目前,上述4种模式存在以下主要问题。

1) 钻检模式尽管小范围内比较准确、可靠,但是,现场暴露的问题是:打钻地点不一定是危险地点,不能保证检验点以外的安全性;合理钻孔深度的确定;预警指标受人为操作影响;指标的合理性;操作人员的人身安全;不能实时检验,经常发生漏检等,因此,钻检模式不能作为实时监测预警的主要手段。

2) 手工测量配合钻检模式比单纯的钻检模式有所进步,依靠手持式电磁辐射仪或安装钻孔应力计,能够提供更多的前兆信息,但是,现场反映手持式电磁辐射仪存在比对标准难以确定、干扰大、松动爆破后真实的辐射值测不准等现象,不能进行实时监测。简单的钻孔应力计监测不能控制全部冲

击危险区域,数据处理也不及时,因此,手工测量配合钻检模式不能满足“全天候”监测预警的需要,仍然存在时间和空间上的漏测。

3) 单参量实时在线监测尽管实现了实时在线监测,但是仍不能达到准确预警的要求。例如,微地震监测能够得到发生震动的原因、影响的范围和程度,但微地震监测只是监测到已经发生的震动事件,不能进行有效地提前预警;电磁辐射在线监测系统受到井下用电设备的干扰,可靠性不够;地音尚处于试验阶段,且监测范围较小。单参量实时在线监测系统不能满足大范围、连续、实时、全面的预警需求。

4) 多参量实时在线联合监测模式是冲击地压监测预警的发展方向,多参数可以实现信息的互补。例如,微地震监测与应力在线监测系统配合,微地震能够监测到诱发冲击的位置、主体和能量,危险区域以及发展趋势,应力在线监测能够在微地震找到的危险区域内,监测到危险的程度,从而实现冲击危险性的“红、黄、蓝”三色预警。另外,微地震与电磁辐射的配合,微地震与地音的配合等,都能够得到较全面的信息。目前,多参量实时在线联合监测存在的问题是数据处理缺乏冲击地压控制理论的指导,监测系统数据分析深度不够,有些矿山购买了监测系统,却没有专人负责而使监测流于形式。

煤矿冲击地压监测预警不能满足需要的深层次问题是冲击机理不清楚。例如,矿震的预警方法和冲击地压的预警方法差别很大,同一煤矿引起冲击的原因差别也很大,特别是冲击或矿震引起煤与瓦斯突出的机理和预警方法没有研究清楚,这些因素是导致进展缓慢的主要原因。

2 提高冲击地压危险性预警水平的关键

煤矿冲击地压监测预警的总体工程要求如下。

1) 能够在掘进和回采前,宏观预测冲击危险区域和危险程度,为监测预警系统布置提供依据。

2) 能够在掘进和回采过程中,实时监测预警危险区域的冲击危险性,为实施提前消除冲击的措施提供准确的位置和时间。

3) 能够实时在线检验消除冲击措施的效果。

4) 通过数据分析,能够确定发生冲击的类型和震源,为针对性的防治提供依据。

满足上述要求的途径,是正确确定冲击地压类型、判定冲击危险区域和确定监测预警方法及关键指标。

2.1 确定冲击地压类型

发生冲击地压的原因很多,只有针对性地进行监测和预警,才能取得理想的效果。

冲击地压分类方法很多,各有其优缺点,本文仅从监测和控制角度出发,把冲击地压分为自发冲击和诱发冲击 2 大类。

自发型冲击的震源在采掘工作面附近,因此在采掘工作面附近能够实施可靠的监测和控制。例如:底板冲击,直接顶或基本顶引起的冲击,煤帮冲击,采掘工作面附近煤柱、相变或断层引起的冲击等。

诱发型冲击的震源远离采掘工作面,因此在采掘工作面附近难以实施可靠的监测和控制。例如:距离煤层 100 m 以上的巨厚坚硬岩层断裂诱发的冲击、区域性大断层诱发的冲击、强烈褶皱诱发的冲击、区域性相变带诱发的冲击、区域性矿柱失稳诱发的冲击等。

因此,成功预警和治理冲击地压的第 1 步,是确定冲击的类型。

确定冲击类型的方法主要有 2 种:采用矿山压力理论与构造力学分析;高精度微地震监测。

2.2 判定冲击危险区域

正确判定冲击危险区域的关键在于对冲击机理的正确理解,目前的评价方法分为 2 个层次:第 1 层次是宏观评价,主要包括冲击地压危险性的综合指数评价法和冲击地压危险性发生可能性指数评价法。综合指数评价法得到宏观的冲击危险性,可能性指数评价法得到冲击危险性指数和临界深度等宏观指标。宏观评价方法能够给出整体的冲击危险性,为确定采掘工作面的防冲策略提供依据。

第 2 层次是微观评价法,主要是指冲击地压的多因素耦合评价法,该方法首先从工作面煤岩结构、地质构造、覆岩空间结构运动、煤柱及相变、工程类比等方面进行单因素评价和确定危险区域,然后根据对单因素分析得到的危险区进行多因素耦合分析,得到比较准确的冲击地压区域和危险程度,最后根据冲击危险程度的不同,制定针对性的冲击地压防治方案。

这些评价方法已在很多矿区应用,取得了良好

效果。评价结果是监测预警测区布置的主要依据。

2.3 确定监测预警方法和关键指标

冲击地压具有突然性和毁灭性,监测人员不能在有危险的地点作业,因此,监测预警技术必须向远程化、智能化、实时化和无人化方向发展。监测人员的主要任务是在地面处理数据和在井下维护仪器,而不是在危险的地点实施监测和检验(目前很多矿山处于危险的人工作业状态)。

冲击地压监测预警采取实时远程监测为主、人工抽样检验为辅的模式。

实时远程监测分为区域性和临场性监测 2 类,区域性监测手段以微地震监测系统为主,该系统能够得到震动位置、能量大小、发展趋势等宏观数据,临场性监测以危险性预警为目的,监测手段以冲击地压(应力动态)在线监测系统为主,该系统能够得到实时的冲击危险区域和危险程度,为提前采取卸压措施提供可靠位置和卸压程度等参数。现场对比应用的结果表明,应力动态监测较其他手段具有更高的敏感性、更强的抗干扰性和可靠性。

确定冲击地压危险性预警的关键指标时,首先根据工程类比确定初值,再进行人工抽样检验,逐步调整预警指标到合理的量值。

3 区域性监测预警技术分析

区域性监测技术主要是指震动监测技术,采用的监测系统大致可以分为地震监测系统、微地震监测系统和声发射(或地音)监测系统 3 大类。3 类系统没有好坏之分,只有针对监测目标的适用与否之分。

由于矿山震动监测技术与开采、地质、设备、人员等因素密切相关,监测环境比较复杂,目前应用的效果差别很大。

3.1 微地震监测方法概况

以地震监测原理为基础开发的监测系统一般应用于整个矿区大震级事件的监测,一个煤矿只设置 1~2 个点,因此,定位误差一般在 500 m 以上。

微地震监测包含多种监测系统,按照定位误差来分,分为高精度微地震和普通微地震系统 2 大类。按照被监测事件的频率来分,大致分为 10~200、30~600 和 100~1 000 Hz 及以上频段,对应的微地震检波器也分为低频、中频和高频 3 种。各种监测系统有各自的适用范围。一般来讲,微地震

监测系统既兼顾了监测区域的范围(20 km²以内),又能够达到较高的精度(定位误差10 m以内),能够满足大多数矿山尺度的需求。

声发射(或地音)监测系统以监测高频震动为主,由于高频震动容易衰减,因此,监测的范围较小,另外,矿井中高频信号很多,干扰也多,事件数量很多,因此,定位比较困难,大部分声发射(或地音)监测只作为岩层活动性分析之用,不作为冲击地压预警的主要监测手段。

3.2 微地震监测技术应用中存在的问题分析

微地震监测技术在我国大面积应用只有几年的时间,在煤矿应用的微地震监测系统中,国外引进的以波兰为主,有10余套,国内研发的微地震监测系统也已经安装了10余套,从使用情况来看,约有一半的矿山能够用得很好,解决了很多难题,但也有近一半的矿山使用不当,主要存在以下4方面的问题。

1) 选型不当。主要存在的选型问题是:选择地震监测系统监测冲击地压,导致定位误差很大,经常出现这个矿发生冲击,定位到了另外一个矿的情况;选择声发射(或地音)监测系统监测冲击地压,导致监测不到大能量震动信号,只能监测到小能量高频信号。

2) 缺乏应用软件。微地震监测的针对性很强,需要针对具体的采掘和地质条件进行数据分析,因此,需要功能强大的应用软件,但由于部分国外仪器是针对金属矿山或单一用途开发的,只提供数据采集软件和简单的分析软件,需要用户自己开发适用的应用软件,导致难以推广。

3) 数据处理和监测结果反馈不及时。由于我国缺乏大量的专业人员,导致数据处理和监测结果反馈不及时,不能及时指导生产。部分原因是矿山企业不重视,没有配备专门的人员进行管理。根源是存在“冲击地压不是天天冲,没必要天天有人监测”的错误认识。正是因为冲击地压不是天天冲,也导致了监测人员产生不被重视的感觉。

4) 数据分析缺乏矿山压力与岩层运动的理论指导。微地震数据分析人员需要具有地质和矿山压力与岩层运动的理论知识,特别是冲击地压的理论功底,才能用好微地震监测系统。

3.3 正确使用微地震监测系统的建议

根据笔者研究、制造和应用微地震监测系统

10多年的体会,提出以下建议,供参考。

1) 以多用途为目标进行微地震监测系统的选型。微地震监测系统投资较大,维护投入大,应尽可能兼顾多种用途,例如,我国已经成功地将高精度微地震监测系统应用于突水预警、支架选型、煤柱宽度确定、瓦斯突出预警、工作面长度设计等领域。因此,建议选择“区间分布式(实现大范围监测)、区内集中式(实现高精度监测)”架构的微地震监测系统,这类系统一般需要24通道以上,实现既能够监测冲击地压,又能够监测突水、顶板运动等,实现一机多用的目的。

2) 建立微地震技术支持体系。建立专用的微地震监控室、配备专门人员、进行系统培训、研制应用软件、建立远程技术支持系统等,形成完备的技术支持体系。

3) 建立微地震监测管理体系。建立微地震监测管理制度,特别是监测结果报表体系、分析结果汇报制度、仪器维护与管理制度等,形成快速反应管理体系。

4 冲击危险性实时监测预警技术分析

冲击危险性实时监测预警技术近年来有长足进展,但还不能达到完全可靠预报的程度。冲击发生前的可监测前兆信息大致分为变形、电磁辐射、红外、震动等4类。俄罗斯、波兰和中国设计研究的电磁辐射仪已经得到广泛应用,起到了重要的作用,但由于干扰严重,目前正在对有变频装备、水、松散介质环境下的准确性进行攻关,该技术在国内外已经应用得很少。根据国内外的现场应用调研,电磁辐射仪在完整坚硬煤层中效果很好,但是遇到含水、放炮卸压带、用电设备多等条件后,准确性受到很大影响。

采用由煤体变形转换成压力监测预警冲击地压的技术,国内外在20世纪70年代就有报道,随着电子技术的发展,监测精度和数据采集技术有了明显提高,国内数十家仪器厂都生产在线和非在线的产品,但是,由于各自指导监测预警的矿压理论有很大差别,导致监测系统结构、布置参数、数据处理方式、预警指标和方法等有很大差别。2009年以来,笔者所在课题组的研发人员基于当量钻屑量原理和多因素耦合的冲击危险性确定方法,研发了冲击地压(应力动态)在线监测预警系统,目前

已在 10 多个矿山使用, 对“自发冲击型”动力灾害的预警效果达到了 90% 以上, 但对“诱发冲击型”动力灾害的预警效果不理想, 但是能够检验发生“诱发冲击型”前, 巷道是否处于低应力区, 从而能够判定是否需要卸压, 达到减轻震动灾害的目的。

电荷类监测预警正处于试验阶段, 红外类监测预警处于实验室研究阶段, 声发射监测的可靠性也在研究之中。

5 冲击地压实时在线监测预警技术应用案例分析

建立矿井冲击地压发生“时间-空间-强度”实时在线监测预警系统, 是预防动力灾害的有效途径, 目前, 已经在山东省梁宝寺、龙固、滕东、北徐楼、朝阳等千米深井厚煤层强冲击煤矿, 建立了以“高精度微地震监测和冲击地压(应力动态)实时在线监测预警系统”为主、其他手段为辅的实时监测预警系统, 取得了良好的效果。

图 1 是典型的微地震和应力在线监测系统联合预警架构图。微地震监测系统实现掘进和回采工作面周围大范围的震动监测预警, 应力在线监测系统预警危险区域的危险程度。两者配合使用后, 实现了图 2 所示应力变化的前兆监测和震动结果监测的一体化。

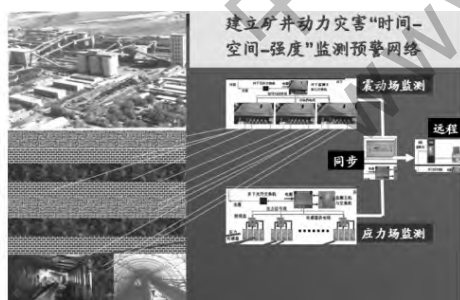


图 1 高精度微地震和应力在线监测系统联合预警架构

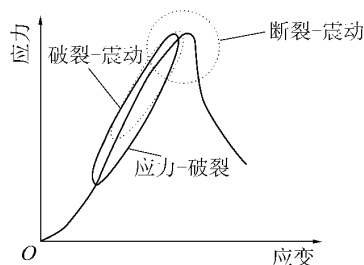


图 2 应力变化和震动一体化监测原理示意

图 3 是冲击地压监测预警过程示意, 图中表示了由应力变化指示的自发性冲击和诱发性冲击的“黄色预警、红色预报”关系图, 在地面监控室, 对应着应力动态云图的黄色和红色区域。图 4 是梁宝寺煤矿一次成功的预报云图。

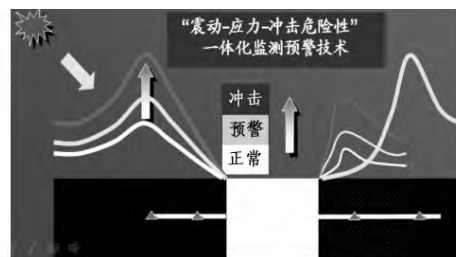


图 3 冲击地压监测预警过程示意

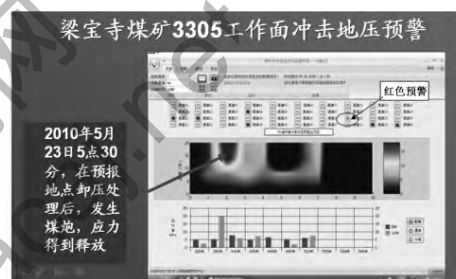


图 4 梁宝寺煤矿成功预报冲击地压的实例云图

6 冲击地压实时监测预警技术的发展趋势

1) “危险区域-危险程度”一体化监测的发展趋势。努力使冲击地压监测预警更准确、更安全、更智能是总体发展趋势, 具体到监测技术方面, 必须做到区域监测和临场预警相结合, 即冲击前震动的活动范围与重点区域危险性的一体化监测。采用的装备是区间分布与区内集中式的高精度微地震监测系统与冲击地压(应力动态)在线监测预警系统, 因为采用震动信息(属于已经发生的滞后信息)预报冲击地压是不可靠的, 而仅依靠临场应力动态预警冲击也是不全面的, 因为它不能监测到工作面外围的震动发展趋势。这一趋势可以归结为“危险区域-危险程度”一体化监测趋势。除了震动和应力变化信息外, 其他类型的信息如电荷、电磁辐射、红外、声发射等将随着技术的成熟, 逐步丰富和完善“危险区域-危险程度”一体化监测体系的信息源。

2) “实时远程监测为主、人工抽样检验为辅”的发展趋势。把繁重、复杂和危险的冲击地压监测预警工作由先进的仪器来承担, 是将来的发展趋势, 技术人员的工作主要是安装和维护仪器、数据

处理和抽样检验预警临界值的合理性,因此,“实时远程监测为主、人工抽样检验为辅”的模式是重要的发展趋势。

3) 以治理为目的的监测预警发展趋势。监测灾害的最终目的是治理灾害,因此,冲击地压监测的另一个重要发展趋势是监测与治理相结合。具体体现在以下 5 个方面: ①监测为治理提供具体位置和危险程度,为确定治理方案提供依据; ②监测卸压的效果,评价卸压方案的合理性; ③监测卸压对支护的影响,防止卸压带支护失效; ④监测为基于防冲的开采设计提供依据; ⑤监测为制定冲击危险工作面的安全管理提供避灾参数。

志谢: 感谢山东省新矿集团、兖矿集团、梁宝寺煤矿、古城煤矿、星村煤矿、朝阳煤矿、滕东煤矿、北徐楼煤矿、鲁能菏泽煤电公司,黑龙江省双鸭山矿业集团公司、鸡西矿业集团公司,河南省义马煤业集团公司、焦作煤业集团,山西省大同塔山煤矿,河北省冀中能源峰峰集团有限公司等为本文提供相关支持所做出的贡献和精诚的合作。

参考文献:

- [1] 王恩元,何学秋,窦林名,等. 煤矿采掘过程中煤岩体电磁辐射特征及应用 [J]. 地球物理学报, 2005, 48 (1): 216-221.
- [2] 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.

- [3] QI Qing-xin, LI Hong-yan, WANG You-gang. Theory and Test Research on Permeability of Coal and Rock Body Influenced by Mining [J]. Journal of Coal Science & Engineering (China), 2009, 15 (2): 143-147.
- [4] 高明仕,窦林名,张农,等. 岩土介质中冲击震动波传播规律的微震试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26 (7): 1365-1371.
- [5] 潘一山,赵扬锋,官福海,等. 矿震监测定位系统的研究及应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26 (5): 1002-1011.
- [6] 唐礼忠,杨承祥,潘长良. 大规模深井开采微震监测系统站网布置优化 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (10): 2036-2042.
- [7] 潘一山,孙步洲,章梦涛,等. 断层冲击地压发生的理论与试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17 (6): 642-649.
- [8] 姜福兴,杨淑华,成云海,等. 煤矿冲击地压的微地震监测研究 [J]. 地球物理学报, 2006, 49 (5): 1511-1516.
- [9] 姜福兴, XUN Luo, 杨淑华. 采场覆岩空间破裂与采动应力场的微震探测研究 [J]. 岩土工程学报, 2003, 25 (1): 23-25.

作者简介: 姜福兴 (1962—), 男, 江苏常州人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为冲击地压与微地震监测技术、矿山压力与岩层控制。Tel: 010-62332900, E-mail: jiangfuxing1@163.com

收稿日期: 2010-12-29; 责任编辑: 赵 瑞

(上接第 9 页)

3) 根据邢东矿具体的煤层赋存条件和开采技术条件, 穿采巷道采用直径为 20 mm 的 20MnSi 钢锚杆, 并按 0.8 m × 0.8 m 的间排距布置时, 巷道的临界宽度为 5.93 m。工程实践中考虑一定的安全储备, 穿采巷道的实际宽度取 5 m (采 5 m), 并按 1: 1 的关系设计采留比, 成功地实现了永久损失煤柱穿巷开采的工业性试验, 取得了良好的社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] 张文海, 张吉雄, 赵计生. 矸石充填采煤工艺及配套设备研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24 (1): 83-87.
- [2] 陈炎光, 陆士良. 中国煤矿巷道围岩控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [3] 胡炳南, 张文海, 高庆潮, 等. 矸石充填巷式开采永久煤柱试验研究 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34 (11): 50-

52.

- [4] 华安增. 矿山岩石力学基础 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1983.
- [5] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [6] 刘长武, 褚秀生. 软岩巷道锚注加固原理与应用 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000: 11.
- [7] 蔡嗣经. 矿山充填力学基础 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994: 6.
- [8] 秦乐尧, 刘长武, 方延强. 近距离巷道群覆岩活动的扩大压力拱理论与岩柱荷载研究 [J]. 金属矿山, 2009 (12): 20-24

作者简介: 节茂科 (1954—), 男, 河北清河人, 高级工程师 (教授级), 主要从事煤矿生产技术与科技创新方面的工作。Tel: 0319-2068493, E-mail: jiemaoke@sohu.com

收稿日期: 2010-08-16; 责任编辑: 曾康生