

## 矿山安全理论与技术

# 我国冲击地压矿井类型及防治方法研究

齐庆新<sup>1,2</sup> 欧阳振华<sup>1,2</sup> 赵善坤<sup>1,2</sup> 李宏艳<sup>1,2</sup> 李晓璐<sup>1,2</sup> 张宁博<sup>1,2</sup>

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院 北京 100013;

2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室(煤炭科学研究院) 北京 100013 )

**摘要:** 针对我国煤矿开采深度增加和采掘范围扩大,导致冲击地压灾害强度和频度明显增加的问题,总结分析了冲击地压发生的条件,认为只有同时满足内在条件、结构条件和应力条件时才会发生冲击地压。根据我国煤矿近年来冲击地压发生的条件和特点,将冲击地压矿井分为浅部冲击地压矿井、深部冲击地压矿井、构造冲击地压矿井、坚硬顶板冲击地压矿井和煤柱冲击地压矿井5类。在深入分析不同矿井引发冲击地压力源的基础上,提出浅部冲击地压矿井的主要防冲措施是按顺序开采及控制顶板压力;深部冲击地压矿井的主要防冲措施是开采保护层,按顺序开采以及控制开采强度;构造冲击地压矿井主要采用长钻孔卸压的方法防治掘进期间冲击地压;坚硬顶板冲击地压矿井主要通过控制空顶长度防治冲击地压;煤柱冲击地压矿井主要采取诱发卸压措施防治冲击地压。

**关键词:** 冲击地压; 防冲方法; 矿井类型; 深部开采; 卸压措施

中图分类号: TD324 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)10-0001-05

## Study on Types of Rock Burst Mine and Prevention Methods in China

QI Qing-xin<sup>1,2</sup>, OUYANG Zhen-hua<sup>1,2</sup>, ZHAO Shan-kun<sup>1,2</sup>, LI Hong-yan<sup>1,2</sup>, LI Xiao-lu<sup>1,2</sup>, ZHANG Ning-bo<sup>4</sup>

(1. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization(China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

**Abstract:** According to the problem of the strength and frequency of rock burst increased obviously along with the increase of mining depth and mining range in China, the paper summarized and analyzed the conditions of rock burst occurred, the results showed that only meeting three conditions which included internal condition, structure condition, stress condition, the rock burst might arise. According to the conditions and characteristics of rock burst happened in recent years, rock burst mines were divided into five categories which included shallow rock burst mine, deep rock burst mine, structure rock burst mine, hard roof rock burst mine, coal pillar rock burst mine. On the basis of analysis about force source which initiated rock burst in different coal mines, which included the prevention measures aimed at shallow rock burst mine were mining by sequential and roof pressure control; the prevention measures aimed at deep rock burst mine were protection layer mining, mining by sequential and mining intensity control; the prevention measures aimed at structure rock burst mine were drillhole pressure relief; the prevention measures aimed at hard roof rock burst mine were the length of unsupported roof control; the prevention measures aimed at coal pillar rock burst mine were pressure relief.

**Key words:** rock burst; prevention method of rock burst; mine types; deep mining; pressure relief measures

## 0 引言

随着我国浅部煤炭资源的日趋枯竭,深部煤炭

资源逐渐成为我国主体能源的战略保障,山东、黑龙江、吉林、辽宁、河北、河南、安徽等省份的主要煤矿区已经逐渐进入深部开采,全国已有近50个矿井采

收稿日期: 2014-05-24; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.10.001

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2010CB226806); 国家自然科学基金资助项目(51174112, 51174272); 中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金资助项目(2013ZD002-04, 2013MS015); 煤炭科学研究院技术创新基金资助项目(2012CX04)

作者简介: 齐庆新(1964—), 男, 吉林九台人, 研究员, 博士生导师, 博士。E-mail: qiqingxin@x263.net

引用格式: 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 Qing-xin, OUYANG Zhen-hua, ZHAO Shan-kun, et al. Study on Types of Rock Burst Mine and Prevention Methods in China [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(10): 1-5.

深超过 1 000 m, 山东能源新矿集团孙村煤矿采深已经达到 1 500 m, 是目前我国采深最大的煤矿。与此同时, 我国煤矿开采强度也在逐年增大, 2012 年我国煤炭产量达到 36.6 亿 t, 是 2000 年产量的 2.65 倍。随着煤矿开采深度的增加和强度的增大, 我国冲击地压矿井的数量明显增多。1985 年, 我国冲击地压矿井共 32 个, 2012 年, 已有 142 个冲击地压矿井分布在山东、黑龙江、辽宁等近 20 个省(市、自治区)。冲击地压矿井数量增加的同时, 冲击地压灾害发生的频度和强度也在明显增加。2008 年 6 月 5 日和 2011 年 11 月 3 日, 义煤集团千秋煤矿发生了 2 起重大冲击地压事故, 造成多人伤亡。2012 年以来, 山东能源枣矿集团联创公司、山东能源新矿集团孙村煤矿、山东能源肥矿集团梁宝寺煤矿、山东枣庄朝阳矿业公司、阜新矿业集团五龙煤矿、龙煤集团峻德煤矿等均发生了造成多人伤亡的冲击地压事故。冲击地压已成为威胁我国深部煤炭资源开采的主要动力灾害之一。冲击地压是近几年采矿工程界、岩石力学界研究的热点问题之一。先后提出强度理论、能量理论、冲击倾向性理论、变形失稳理论、“三准则”理论、“三因素”理论<sup>[1-2]</sup>、强度弱化减冲机理<sup>[3]</sup>等冲击地压发生机理; 发展钻屑法、应力监测法、声发射监测法、微震监测法、电磁辐射监测法等冲击地压监测预警方法; 实施合理开采布置、开采保护层、煤层注水、煤层卸压爆破、大孔径钻孔卸压、深孔断顶爆破、深孔断底爆破等方法防治冲击地压。这些研究成果对指导矿山安全生产, 防止冲击地压事故发生, 扭转我国煤矿安全形势发挥了重要的作用。但是, 目前对冲击地压发生机理的认识还不足, 没有突破性的研究; 监测预警水平还相对较低, 很多矿井采取“大而全”的综合防冲措施, 缺少针对性。基于此, 笔者针对我国冲击地压灾害防治现状, 在阐述冲击地压现象的基础上, 从防治冲击地压的角度, 对我国冲击地压矿井类型进行分类, 针对性地提出具体的防治方法, 给出其防冲理论依据。

## 1 冲击地压现象

冲击地压是矿山井巷和采场周围煤岩体由于变形能释放而产生的以突然、急剧、猛烈的破坏为特征的动力现象。冲击地压与岩爆、矿震、煤与瓦斯突出同属于煤岩动力灾害, 但是它又明显不同于岩爆、矿震和煤与瓦斯突出。冲击地压与岩爆最显著的差异在于构成结构体的岩性明显不同, 冲击地压发生在

煤矿井巷, 而岩爆多发生在含脆性岩体的非煤矿山和井巷工程中, 冲击地压的破坏程度、影响范围比岩爆要大的多。冲击地压和岩爆常会导致矿震的发生, 而矿震则不一定会导致冲击地压或岩爆的发生。冲击地压与煤与瓦斯突出最大的不同在于前者没有气体的参与。

冲击地压的发生是有条件的, 并非相同地质条件的矿井都会发生冲击地压。即使同一矿井, 也不是所有的地区都会发生冲击地压。冲击地压发生的条件, 不同的学者有不同的认识。笔者认为发生冲击地压必须具备 3 个条件: ①内在条件, 即煤岩体具有冲击倾向性; ②应力条件, 即有超过煤岩体破坏强度的应力作用其上; ③结构条件, 即具有弱面和容易引起突变滑动的层状介面。只有同时具备这 3 个条件才会导致冲击地压的发生, 否则不会发生冲击地压。因此, 可以认为冲击地压实质是具有冲击倾向性的煤岩结构体在高应力(构造应力、自重应力)作用下发生变形, 局部形成高应力集中并积聚能量, 在采动应力的扰动下, 沿煤岩结构弱面或接触面发生黏滑并释放大量能量的动力现象。

## 2 冲击地压矿井类型分析

国际上通常把冲击地压分为应变型冲击地压和滑移型冲击地压<sup>[4-5]</sup>。国内按不同分类方法把冲击地压分为不同类型, 按煤岩体类别可分为煤层冲击和岩层冲击; 根据冲击力源加载形式可分为重力型冲击地压、构造型冲击地压、震动型冲击地压和综合型冲击地压; 按震级及抛出煤量可分为轻微冲击地压、中等冲击地压和强烈冲击地压; 按显现强度可以分为弹射、煤炮、微冲击和强冲击。纵观我国煤矿冲击地压发生条件和特点, 笔者将冲击地压矿井分为以下 5 类。

1) 浅部冲击地压。在 2001 年 11 月第 175 次中国科学院香山科学会议后, 国内学术界基本上达成一个共识, 把采深小于 400 m 的矿井界定为浅部矿井, 把采深为 800~1 500 m 的矿井界定为深部矿井。基于此, 笔者把采深小于 400 m 的冲击地压矿井界定为浅部冲击地压矿井。我国典型的浅部冲击地压矿井包括神华新疆能源公司的宽沟煤矿和乌东煤矿、同煤集团煤峪口煤矿。2011 年 3 月 24 日, 神华新疆能源公司乌东煤矿北采区(原铁厂沟煤矿)发生一起冲击地压事故, 造成人员伤亡, 大量设备损坏, 巷道严重变形。这次冲击地压事故发生在埋深

157 m 的 +642 m 水平 43 号煤层综采工作面, 是国内最浅的冲击地压。

2) 深部冲击地压矿井。深部冲击地压矿井是指采深大于 800 m、小于 1 500 m, 并且是由于上覆岩层自重应力而引起冲击地压的矿井。典型的深部冲击地压矿井有新汶华丰煤矿、新汶孙村煤矿、徐州三河尖煤矿、抚顺老虎台煤矿等。山东新汶矿区华丰煤矿进入深部开采后, 自 1991 年首次发生冲击地压以来, 共发生冲击地压 28 000 余次, 其中破坏性冲击地压 108 次, 造成工作面停产 12 次, 造成多人伤亡, 超过 2 000 m 巷道被破坏。

3) 构造冲击地压矿井。构造冲击地压矿井是指由断层、褶皱、向斜等地质构造区集聚应力而引起冲击地压的矿井。义马煤田位于东北边界的岸上断层、西北边界的扣门山—坡头断层及南部边界的 F16 逆冲断层所组成的三角形断块范围内, 位于这一范围内的跃进煤矿和千秋煤矿都是典型的构造冲击地压矿井。2011 年 11 月 3 日, 千秋煤矿 21221 掘进工作面发生能量  $3.5 \times 10^8$  J、震级 4.1 级的冲击地压事故, 造成严重的人员伤亡事故。其他典型的构造冲击地压矿井还有赵各庄煤矿、华亭煤矿等。

4) 坚硬顶板冲击地压矿井。坚硬顶板冲击地压矿井是指由于顶板坚硬不能及时垮落, 大面积悬顶而导致应力和能量积聚而引起冲击地压的矿井。山东枣庄联创公司(原陶庄煤矿)是典型的坚硬顶板冲击地压矿井, 2012 年 3 月 1 日, 发生 1 起导致人员伤亡的冲击地压事故, 就是由所采煤层基本顶厚度为 24.3 ~ 35.0 m 的坚硬厚砂岩顶板诱发的。同类冲击地压矿井还有大同矿区忻州窑煤矿、七台河矿区桃山煤矿、北京西山矿区大台煤矿等。

5) 煤柱冲击地压矿井。煤柱冲击地压矿井是指由于人为留设的不合理煤柱中积聚应力和能量后引起冲击地压的矿井。发生过煤柱冲击地压的矿井很多。山东省天安矿业公司星村煤矿 E3101 工作面开采过程中受煤柱影响先后在 2008 年 6 月 3 日和 7 月 8 日发生了 2 起冲击地压事故。此外, 兖州矿区东滩煤矿、临沂矿区古城煤矿、肥城矿区梁宝寺煤矿、枣庄矿区朝阳煤矿发生过煤柱冲击地压。

### 3 不同类型冲击地压的防治方法

#### 3.1 冲击地压发生的条件

笔者认为, 冲击的发生必须同时满足内在条件、

应力条件和结构条件, 三者缺一不可。因而, 可以把冲击地压的防治, 看作是对这 3 个条件的破坏, 使煤矿采掘工作面的煤岩体不能同时具备 3 个条件, 即可达到防治冲击地压的目的。

这 3 个条件中, 内在条件是指煤岩体的冲击倾向性, 是煤岩体的固有属性, 一般不容易改变; 结构条件是指煤岩体中具有弱面和容易引起突变滑动的层状介面, 这是伴随着成煤地质运动而来的, 也很难改变。煤岩体中的应力可概括地分为原岩应力和采动应力, 原岩应力通常不可控制, 采动应力是可以控制的。因而, 冲击地压的防治, 最有效的方法是改变应力条件, 确切地说, 是测定采动应力的大小、方向, 实施应力的释放和转移, 使煤岩体中不具备导致冲击地压发生的应力条件。

从浅部冲击地压、深部冲击地压、构造冲击地压、坚硬顶板冲击地压和煤柱冲击地压来看, 冲击地压现象均是应力作用导致煤岩体突然破坏的结果, 只不过应力的来源、大小和表现形式等要素不同而已。这 5 类冲击地压灾害的防治, 应根据不同类型冲击地压矿井应力的来源不同, 实施不同的防治冲击地压措施。

#### 3.2 浅部冲击地压矿井防治方法

浅部冲击地压矿井, 由于埋深浅, 一般不会有较大的原岩应力, 形成冲击地压的力源绝大部分来自于顶板的垮落而造成的动压。浅部开采多与坚硬顶板有关, 易发生集中动载荷型冲击地压<sup>[6]</sup>。因而, 浅部冲击地压矿井的防治冲击地压最主要的措施是控制顶板, 防止坚硬顶板中形成集中压力, 一般可以采用顶板预裂爆破的方法, 利用爆炸产生的动压“震裂”效应和静压爆生气体的“气楔”作用, 使顶板产生预裂隙破坏其整体连续性而非崩落, 破坏高应力及能量积聚和连续传递的条件, 同时随着工作面的推进, 使顶板在超前支承压力及支架初撑力作用下及时垮落, 降低应力集中程度, 避免高应力形成, 从而起到防治冲击地压的作用。

#### 3.3 深部冲击地压矿井防治方法

深部冲击地压矿井, 尤其是超过千米埋深的矿井, 由于其上覆岩层产生的自重应力常会大于煤体的抗压强度, 这类矿井冲击地压矿井防冲的关键的是要避免上覆岩层的自重直接作用在采区煤岩体上。对于深部冲击地压矿井, 开采保护层<sup>[7-8]</sup>是最有效的防治冲击地压方法之一。依托某深部矿井煤层赋存的地质条件, 模拟开采保护层前后保护层开

采前采后工作面应力分布如图1所示。

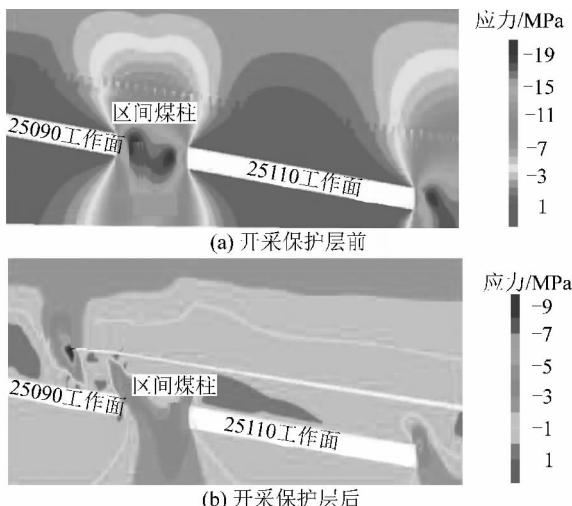


图1 保护层开采前后工作面应力分布

由图1可知,实施保护层开采后,被保护工作面及其巷道围岩的应力峰值显著减小,尤其是在区间煤柱位置,峰值应力由18.6 MPa下降到5.0 MPa,并且应力峰值的位置远离工作面和巷道表面,起到应力释放和应力转移的双重作用,从而避免了冲击弹性能的积聚,起到防冲的作用。此外,深部冲击地压矿井还需要按顺序开采,控制开采强度。

### 3.4 构造冲击地压矿井防治方法

在断层、相变、褶皱等地质构造发育的矿井,由于地质构造异常的区域常赋存有可能完全不同于其他区域的构造应力,在采掘影响下,应力场变得非常复杂,采动影响下断层附近应力分布如图2所示,在掘进期间、尚不具备空间实施解危措施时,就会发生冲击地压。



图2 采动影响下断层附近应力分布

断层、相变、褶皱等不同类型的构造诱发冲击地压的机理差异较大<sup>[9-10]</sup>,这类冲击地压矿井的防冲是最难的。比较常用的方法是在掘进期间,在煤岩体应力集中区域或可能的应力集中区域施工一系列长度较深的钻孔,使孔周边处于二向应力状态的煤体在达到极限强度后发生破坏,钻孔附近区域煤体力学特性发生弱化,降低了煤层的脆性和煤层存储

弹性能的能力。同时,大钻孔为煤体内部高应力的释放提供了空间,降低此区域的应力集中程度或者使高应力向煤体深部转移,使可能发生的煤体不稳定破坏过程变为稳定破坏过程,实现对局部煤岩体高应力状态的缓解,当多个卸压孔的应力降低区连在一起形成一条卸压带,使巷帮高应力区煤体的整体应力集中系数下降,储存的高弹性能量得以释放,破坏了冲击地压发生的应力条件,使其得以消除或者有效控制。实施钻孔卸压后煤岩体应力分布如图3所示。

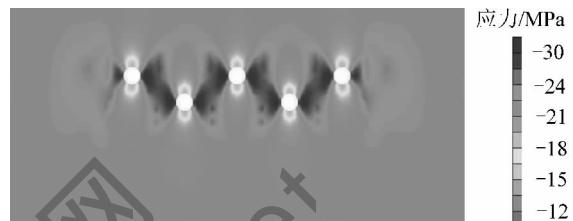


图3 实施钻孔卸压后煤岩体应力分布

由图3可知,实施钻孔卸压后,相邻钻孔之间的高应力区得到有效控制。在水平方向的相邻钻孔在各自的侧向高应力区无法叠加,钻孔周边的卸压区得到最大发展。同时,在竖直方向上,下部卸压空间不仅缓解了自身周边的高应力区,而且在空间上各钻孔的卸压效果联系起来,形成空间卸压区,应力降低效果明显。

### 3.5 坚硬顶板冲击地压矿井防治方法

开采具有巨厚坚硬顶板煤层的矿井,由于顶板岩层具有较好的储能条件(岩体坚硬、致密、完整性好、岩层厚、悬顶距离大等),极易发生冲击地压。这类矿井,需要改善顶板条件,获得有效的应力释放和卸压效果,避免冲击地压的发生。深孔断顶爆破是处理坚硬顶板冲击地压最有效的方法之一<sup>[11-12]</sup>。2012年某冲击地压矿井实施断顶爆破前后,利用钻孔应力计实测得到的钻孔应力变化曲线,如图4所示<sup>[13]</sup>。

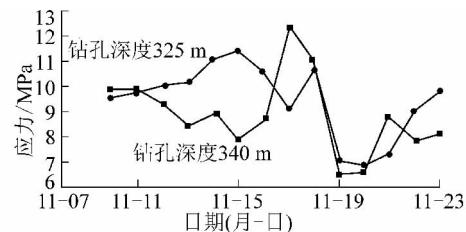


图4 爆破区域钻孔应力变化

由图4可知,首次实施深孔断顶爆破后2个测点的应力得到明显缓解,应力降低非常明显。巷帮

围岩一定范围内高应力集中是冲击地压发生的根本应力来源,深孔断顶爆破可以通过爆破作用改变煤岩体所处的应力环境,缓解压力,降低冲击危险性。

### 3.6 煤柱冲击地压矿井防治方法

煤柱冲击地压的发生与作用在煤柱上的力密切相关<sup>[14~16]</sup>,开采过程中在煤柱两侧形成采空区,侧向支承压力作用于煤柱上,在煤柱上形成2个减压区和2个应力集中区(图5)。2个应力集中区形成2个冲击地压高危险区,如果煤柱宽度不合理,这2个应力集中区有可能叠加,使得冲击危险性更加突出。作用在煤柱高冲击危险区煤岩体上的强剪切力使煤柱失稳破坏诱发冲击地压,煤柱中的高应力集中区的存在是诱发煤柱冲击地压的根本原因。

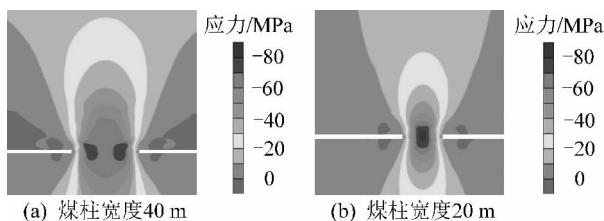


图5 不同宽度煤柱中应力集中情况

因此,治理煤柱冲击地压的方法应该着眼于消除煤柱中的高应力集中区,实施诱发卸压等措施,使应力适当得以释放。防治煤柱冲击地压最根本的方法是避免形成煤柱,消除高应力集中中存在的物质基础。

## 4 结 论

1) 冲击地压的发生是有条件的,只有同时具备内在条件、结构条件和应力条件这3个条件,才会发生冲击地压。冲击地压灾害的防治的实质是改变这3个条件,使之不会同时具备。

2) 不同类型的冲击地压矿井,尽管防治方法存在不同,但防冲的本质是相似的,即改变应力分布形式或应力条件。

## 参考文献:

- [1] 齐庆新,史元伟,刘天泉.冲击地压粘滑失稳机理的实验研究[J].煤炭学报,1997,22(2):143~148.
- [2] 齐庆新,刘天泉,史元伟.冲击地压的摩擦滑动失稳机理[J].矿山压力与顶板管理,1995,12(3/4):174~177.
- [3] 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):1156~1161.
- [4] Andy Ruina. Slip Instability and State Variable Friction Laws [J]. Journal of Geophys Research, 1983, 83: 10359~10370.
- [5] Rice J R, Ruina. Stability of Steady Frictional Slipping [J]. Journal of Applied Mechanics, 1983, 50: 343~349.
- [6] 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):21~25,41.
- [7] 沈荣喜,王恩元,刘贞堂等.近距离下保护层开采防冲机理及技术研究[J].煤炭学报,2011,36(S0):63~67.
- [8] 石必明,刘泽功.保护层开采上覆煤层变形特性数值模拟[J].煤炭学报,2008,33(1):17~22.
- [9] 陈国祥,窦林名,乔中栋等.褶皱区应力场分布规律及其对冲击矿压的影响[J].中国矿业大学学报,2008,37(6):751~755.
- [10] 王存文,姜福兴,刘金海.构造对冲击地压的控制作用及案例分析[J].煤炭学报,2012,37(S1):263~268.
- [11] 齐庆新,雷毅,李宏艳等.深孔断顶爆破防治冲击地压的理论与实践[J].岩石力学与工程学报,2007,26(S0):3522~3527.
- [12] 高明涛,王玉英.断顶爆破治理冲击地压技术研究与应用[J].煤炭学报,2011,36(S1):326~331.
- [13] 赵善坤,欧阳振华,刘军等.超前深孔顶板爆破防治冲击地压原理分析及实践研究[J].岩石力学与工程学报,2013,32(S1):3768~3775.
- [14] 王永秀,齐庆新,陈兵等.煤柱应力分布规律的数值模拟分析[J].煤炭科学技术,2004,32(10):59~62.
- [15] 王存文,姜福兴,王平等.煤柱诱发冲击地压的微震事件分布特征与力学机理[J].煤炭学报,2009,34(9):1169~1173.
- [16] 张修峰.华丰煤矿煤柱冲击地压发生规律及防治[J].岩石力学与工程学报,2005,24(S0):4765~4768.

(上接第40页)

- [7] 王建民,张锦,邓增兵等.时空Kriging插值在边坡变形监测中的应用[J].煤炭学报,2014,39(5):874~879.
- [8] 张玉浩,张立宏.边坡稳定性分析方法及其研究进展[J].广西水利水电,2005(2):13~16.
- [9] Sarma S K. Stability Analysis of Embankments and Slopes [J]. Journal of Geotechnical Engineering Division, 1979, 105(12): 1511~1524.
- [10] Bishop A W. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes [J]. Geotechnique, 1955, 5(1): 7~17.
- [11] Morgenstern N R, Price V E. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces [J]. Geotechnique, 1965, 15(1): 79~93.
- [12] 张雄.边坡稳定性的刚性有限元评价[J].成都科技大学学报,1994(6):47~52.
- [13] 殷建华,陈健,李焯芬.岩土边坡稳定性的刚体有限元上限分析法[J].岩石力学与工程学报,2004,23(6):898~905.
- [14] 连镇营,韩国城,孔宪京.强度折减有限元法研究开挖边坡的稳定性[J].岩土工程学报,2001,23(4):407~411.
- [15] 杨巨文.胜利东二号露天煤矿首采区边坡稳定性分析[J].煤炭科学技术,2013,41(S1):58~59.
- [16] 蔡利平,李钢,史文中.增地节地型露天矿排土场优化设计[J].煤炭学报,2013,38(12):2208~2214.