

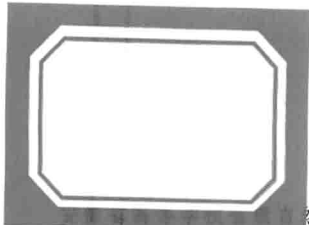
安徽省高等学校省级自然科学基金项目(KJ2013A088)资助
煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室资助
安徽理工大学博士基金项目资助

采动影响下断层滑移 诱发煤岩冲击机理研究

李志华 窦林名 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



国家自然科学基金项目(KJ2013A088)资助

煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室资助

安徽理工大学博士基金项目资助

采动影响下断层滑移诱发 煤岩冲击机理研究

李志华 窦林名 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书对采动影响下断层滑移诱发煤岩冲击机理进行了深入研究,主要包括:断层冲击地压相似模拟试验、采动影响下断层冲击地压数值模拟研究、断层滑移诱发煤岩冲击机理研究、采动影响下断层活化微震监测、断层冲击地压防治技术现场实践。

本书可供从事采矿工程、矿山安全等专业的科技工作者、研究生和本科生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

采动影响下断层滑移诱发煤岩冲击机理研究 / 李志华, 窦林名著. — 徐州: 中国矿业大学出版社, 2013. 7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1958 - 9

I. ①采… II. ①李… ②窦… III. ①矿山压力—冲击地压—研究 IV. ①TD324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第171510号

书 名 采动影响下断层滑移诱发煤岩冲击机理研究
著 者 李志华 窦林名
责任编辑 王美柱
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 890×1240 1/32 印张 5.625 字数 157 千字
版次印次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

随着对能源需求量的增加和开采强度的不断加大,浅部资源日益减少,国内外矿山都相继进入深部资源开采状态。开采深度的不断增加,工程灾害日趋增多,如矿井冲击地压、瓦斯爆炸、矿压显现加剧、巷道围岩大变形、流变、地温升高等,对深部资源的安全高效开采造成了巨大威胁。另外,深部开采引起的开采沉陷极有可能成为岩爆的诱因,同时地质结构面(弱面)的活化也可能导致岩爆,地质构造面附近的应力重新分布甚至有可能导致一系列的前震。

实践证明,冲击地压经常发生在向斜轴部,特别是构造变化区、断层附近、煤层倾角变化带、煤层褶曲、构造应力带。国外的生产实践也证明了地质构造对产生冲击地压构成影响。断层等构造附近常常会诱发冲击地压的发生,而断层在各个煤矿普遍存在,严重影响煤矿安全开采。为了保证矿井的安全生产和保护人民生命财产不受损失,深入研究采动影响下断层滑移对煤岩体冲击破坏的作用,对揭示煤岩动力灾害发生机理并实现有效地预测防治具有重要意义。

断层冲击地压是由于采矿活动引起断层突然相对错动而猛烈释放能量的现象。针对目前研究存在的问题,本书采用相似模拟试验、FLAC5.02D数值模拟、理论分析和工程实践等方法,研究了采动影响下断层冲击地压危险性变化规律,建立了断层滑移诱发煤岩冲击的力学模型,揭示了断层冲击地压力学机制,分析了采动影响下断层活化矿震活动规律,进行了断层冲击地压现场防治实践,并对顶板卸压爆破技术参数进行了优化设计。断层附近冲击地压机理十分复杂,影响因素也是多方面的。当工作面接近断裂破碎带时,因顶板被切断,失去传递力的作用,工作面前方顶板岩层将给工作面和断层间的煤柱造成加压产生较高的应力集中,并引起大范围顶板运动,常常

会出现强度较大的冲击地压。另外,受采动影响断层发生“活化”,当开采到某一位置时,整个断层围岩变形系统处于非稳定状态,将失稳而发生断层冲击地压。因此,在一定的采矿区域,分析和研究断层附近冲击地压影响因素及其变化规律,就可以为开采时冲击地压的预测防治打下基础。

本书主要研究内容如下:

① 断层对工作面矿压显现的影响。通过对断层冲击地压的实验室相似模拟试验和 FLAC5.0 数值模拟试验,研究了工作面分别由断层上盘和断层下盘向断层推进时,断层对工作面超前支承压力和顶板下沉量的影响。

② 采动对断层稳定性的影响。采用实验室相似模拟试验和数值模拟试验,研究了工作面分别由断层上盘和断层下盘向断层推进时,工作面开采对断层面应力状态和断层滑移量的影响,从而反映出采动对断层稳定性的影响。

③ 不同断层、顶板物理力学属性下断层冲击危险性。通过断层冲击地压的数值模拟试验,研究了断层倾角、断层强度、断层性质、断层落差、顶板厚度和顶板强度对断层冲击地压的影响规律。

④ 断层滑移诱发煤岩冲击机理。建立了断层滑移诱发煤岩冲击的黏滑—黏弹脆性体突变模型,得到了断层滑移解析解,根据黏弹脆性体突变模型破坏特征,研究了断层滑移诱发煤岩冲击的两种力学机制,对比了两种破坏形式下释放能量大小,并对断层滑移速度影响因素进行了分析。

⑤ 采动影响下断层“活化”微震信号频谱特征及变化规律。采用波兰 SOS 微震监测系统对工作面过断层时的矿震活动进行了重点分区监测,研究了采动影响下矿震震动能量和震动次数变化规律。并对几起典型的断层冲击地压微震信号进行了频谱分析,研究了微震信号在频率特征、信号持续时间、释放能量等多方面的特征。

⑥ 选定典型的断层高冲击危险工作面,进行现场预测防冲实践。以济三矿 6303 工作面为现场实践点,进行断层冲击地压防治研

前 言

究。采用矿井地质构造预测数理统计法对矿井断层展布进行了预测评价。并对顶板卸压爆破技术参数进行了优化设计。

本书在撰写过程中,得到了中国矿业大学陆莱平博士、牟宗龙博士、陈国祥博士、曹安业博士、巩思园博士、贺虎博士、何江博士、江衡硕士、杜涛涛硕士、张明伟硕士,兖州矿业集团济三矿张广文总工、张士斌总工、冲击地压防治办公室郑有雷主任,临沂矿业集团古城矿管向清矿长、柳俊仓总工等的悉心指导、协调和帮助,在此对上述人员表示衷心的感谢。

本书研究成果得到了安徽省高等学校省级自然科学研究项目(KJ2013A088)、煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室项目、安徽理工大学博士基金项目的资助,特此感谢。

由于时间仓促,作者水平所限,书中疏漏和错误在所难免,恳请专家、同行批评指正。

著 者
2013年3月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 研究意义	1
第二节 研究现状	6
第三节 研究内容	17
第四节 研究方法	18
第二章 断层冲击地压相似模拟试验	20
第一节 引言	20
第二节 相似模拟模型设计	20
第三节 试验仪器及测点布置	24
第四节 工作面由断层下盘向断层推进时 试验过程及结果分析	26
第五节 工作面由断层上盘向断层推进时 试验过程及结果分析	42
第六节 本章小结	46
第三章 采动影响下断层冲击地压数值模拟研究	49
第一节 引言	49
第二节 模型的建立	50
第三节 断层对工作面支承压力的影响	54
第四节 断层导致的顶板型冲击地压	60
第五节 开采对断层面应力场的影响	65
第六节 开采对断层滑移量的影响	68

第七节	断层物理力学属性对冲击的影响	75
第八节	顶板物理力学属性对冲击的影响	82
第九节	本章小结	86
第四章	断层滑移诱发煤岩冲击机理研究	88
第一节	引言	88
第二节	基于“砌体梁”的断层影响区顶板 平衡结构力学分析	89
第三节	断层影响区矿山压力显现特征	90
第四节	断层滑移诱发煤岩冲击机理	93
第五节	本章小结	105
第五章	采动影响下断层活化微震监测	107
第一节	引言	107
第二节	微震法基本原理	107
第三节	矿震分区监测技术	109
第四节	采动诱发断层活化微震信号频次分析	117
第五节	典型断层冲击微震信号频谱分析	122
第六节	本章小结	126
第六章	断层冲击地压防治技术现场实践	129
第一节	断层冲击地压事故分析	129
第二节	矿井地质构造预测与应用	133
第三节	断层冲击发生前后电磁辐射信号分析	142
第四节	顶板卸压爆破参数优化设计	146
第五节	断层冲击地压治理措施及效果检验	150
第六节	本章小结	158
参考文献		159

第一章 绪 论

第一节 研究意义

冲击地压是矿山开采中发生的煤岩动力现象之一。这种动力灾害通常是在煤岩力学系统达到极限强度时,聚积在煤岩体中的弹性能量以突然、急剧、猛烈的形式释放,在井巷发生爆炸性事故,造成煤岩体震动和破坏,动力将煤岩抛向井巷,同时发出强烈声响,造成支架与设备、井巷的破坏及人员的伤亡等^[1,2]。冲击地压还可能引发其他矿井灾害,尤其是瓦斯、煤尘爆炸、火灾以及水灾,干扰通风系统,强烈的冲击地压还会造成地面建筑物的破坏和倒塌等。因此,冲击地压是煤矿重大灾害之一。

1738年冲击地压第一次发生于英国的南史塔福煤田,迄今为止,其危害几乎遍布世界各采矿国家,我国煤矿冲击地压灾害极为严重,自1933年抚顺胜利矿发生冲击地压以来,我国已经有近50对矿井累计发生过4000多次冲击地压,造成数以百计的人员伤亡,巷道破坏达30多千米。随着矿井开采深度的增加,冲击地压发生的危险性也在逐步增加。原来没有发生过冲击地压的矿井,现在也开始发生;原来发生过冲击地压的矿井,现在发生的强度越来越大,发生的次数越来越多。冲击地压作为采矿诱发的地震,虽然震级不如大地地震,但由于其震中距地表近,属浅表层地震,其局部危害性非常严重。

实践证明,冲击地压经常发生在向斜轴部,特别是构造变化区、断层附近、煤层倾角变化带、煤层褶曲、构造应力带^[3,4]。例如,龙凤矿在向斜

轴部准备工作面时,经常发生冲击地压。当巷道接近断层或向斜轴部时,冲击地压发生的次数明显上升,而且强度加大。例如,在龙凤矿 50 次冲击地压中,36 次(72%)与断层有关。62%是巷道接近断层时发生的,14%是巷道处于断层线附近时发生的,而只有 10%是在巷道离开断层时发生的。其中,34%发生在巷道距断层 5~20 m 范围内。

岩层在其受力足够大时,就产生破裂。当岩层破裂发生侧向位移时,这种破裂就称为断层。断层通常是锁住不动的,当其两侧的应力积累到足以引起沿断层的断裂时,则发生位移,形成黏滑,当断层处于黏滑状态,其周围岩石可因位移而积累弹性能,当断层上的应力达到某一临界值时,断层滑动(储存在附近岩石中的弹性能一部分以地震能辐射出去)形成强烈震动。

国外的生产实践也证明了地质构造对产生冲击地压构成影响。最早的冲击地压矿井——英国的南史塔福煤田,煤层厚度 6~8 m,倾角近于 3°,在开采深度 700 m 处经常遭受强烈的冲击地压危害^[5]。煤层的直接顶上部赋存有 4 m 厚的硬砂岩。煤层被很多断层所破坏。特别容易遭受冲击地压的一些地区,都分布于断层交叉处和断层面构成的三角地带。无疑,该煤田的地质破坏是形成冲击地压的原因之一。原苏联学者阿维尔申在其关于冲击地压的专著中指出:地质构造与冲击地压有关。冲击地压常常在褶皱轴处发生,在背斜轴处冲击地压就很多。例如,基泽洛夫煤田冲击地压始发深度为 220~250 m,在 480~570 m 深处冲击地压发生频繁而强烈。其中,乌里茨基矿和加里宁矿煤层上部被厚而坚硬的石灰岩层或石英砂岩所覆盖,特别容易遭到冲击地压危害的区段,大多存在断层等大型地质构造的破坏或者是煤层尖灭了。同时认为冲击地压的基本原因是矿山压力,其数值和特性主要取决于重力作用;但在特殊情况下,由地质变动产生的附加应力(构造应力等)作用也很重要。宜格洛夫研究了构造复杂矿床的断裂破坏对冲击地压的影响,这些矿床的特点是具有大裂隙和密集交错的正断层。通过对冲击地压显现的分析研究认为,多数冲击地压是由于断裂破坏引起的,并发生在巷道内距断

裂面 10~12 m 处;断裂破坏带附近最可能出现冲击地压的岩体宽度,决定于矿体边缘部分构造破坏影响带和支承压力带的宽度;断裂破坏带附近存在构造影响带,此处岩石和矿石的强度较低并具有塑性特性;在断裂破坏区周围应力较大,其最大值出现在由强度较小的弹性岩石向整体岩石转变的交界处,此处最可能发生冲击地压。加拿大的舒德布利镍铜矿 1984 年发生了两起大型岩爆事故,其原因就是岩体沿大断层的滑动引起的矿震,并由此导致顶板垮落。

(1) 兖州济三矿断层附近冲击地压情况

济三矿在 2004 年 11 月 30 日,当 6303 工作面推进 1 310 m 时,在工作面前方 66 m 的断层以外,6303 工作面辅顺 1 376~1 406 m 共 30 m 段发生煤体突出,实体煤帮瞬间突出 1.5~2 m,同时伴有巨大的声响,掀翻该范围内的电机设备列车。随后在断层附近又发生了几次规模较小的冲击地压(图 1-1)。这几次动力现象虽然未给矿井生产带来严重影响及造成人员伤亡,但对矿井技术和安全造成了严重的威胁。为了保证矿井的安全生产和保护人民生命财产不受损失,研究断层冲击地压的机理及其防治对于煤矿目前和未来的发展有着极其重要的意义。

(2) 北京木城涧矿断层附近冲击地压情况

木城涧矿 32 队回采 450 水平西四采区三槽煤,其工作面为东一壁至东三壁。东以主南上山为边界线,西以边界切巷为界线,南、北以 F_{3-1} 、 F_{3-2} 断层为界,上部与东部局部回采。在东一壁工作面回采之前,因相邻工作面发生强烈冲击地压,断层下盘的东上顺槽受波及而出现过冲击地压现象。2005 年 4 月 26 日,该工作面仅推进大约 63 m,便发生一次强烈的冲击地压,造成人员伤亡,巷道多处片帮严重和堵塞,部分地段巷道失稳,给矿井的安全生产带来了很大的威胁(图 1-2)。2005 年 7 月 25 日,工作面推进到只剩 28 m 时,因工作面上部和东部已局部回采,又处于 F_{3-1} 和 F_{3-2} 两条大断层之间,工作面实际上已呈孤岛煤柱开采状态。下午 3 时中顺槽下帮发生冲击地压,长度约为 25 m,上顺槽变形严重,空间已比较小。

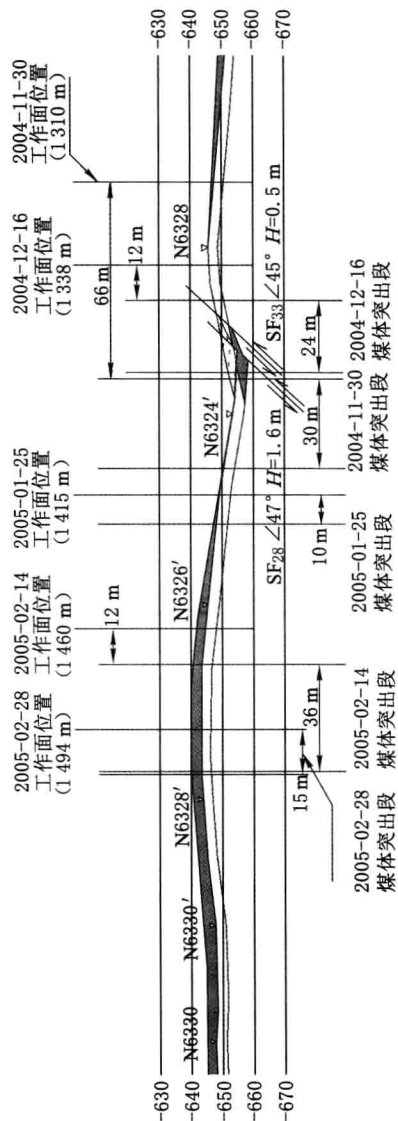


图 1-1 6303 工作面辅助顺冲击地压概况图

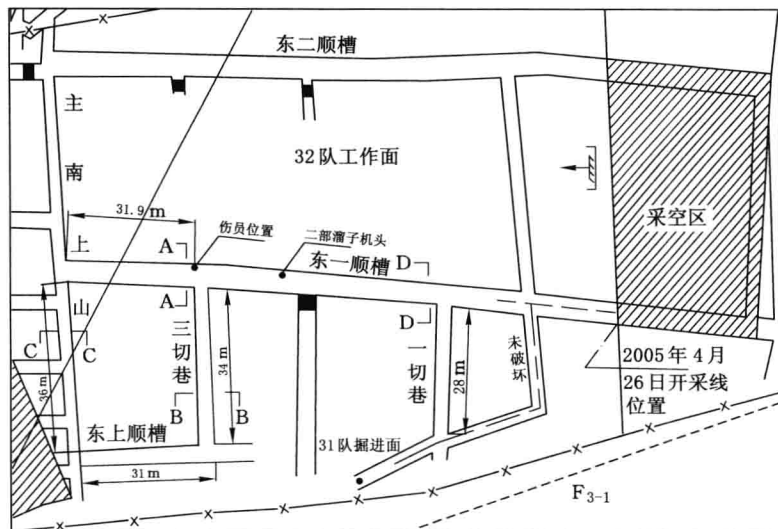


图 1-2 木城洞矿 2005 年 4 月 26 日冲击地压位置

(3) 山东古城矿断层附近冲击地压情况

古城矿 2106 工作面位于 F_9 和 DF_4 两条斜交断层下盘,在工作面回采期间,先后多次发生较严重的压力异常显现,造成巷道变形严重,部分地段巷道失稳,甚至将巷道内的胶带机掀翻,将支柱推倒或压折(图 1-3)。自 2004 年 11 月 25 日以来,发生多次冲击地压事故,最严重一次发生时间为 2005 年 1 月 1 日,折断轨道顺槽超前支护单体液压支柱 46 棵。

随着对能源需求量的增加和开采强度的不断加大,浅部资源日益减少,国内外矿山都相继进入深部资源开采状态^[6-10]。随着开采深度的不断增加,工程灾害日趋增多,如矿井冲击地压、瓦斯爆炸、矿压显现加剧、巷道围岩大变形、流变、地温升高等,对深部资源的安全高效开采造成了巨大威胁。另外,深部开采引起的开采沉陷极有可能成为岩爆的诱因,同时地质结构面(弱面)的活化也可能导致岩爆,地质构造面附近的应力重新分布甚至有可能导致一系列的前震

(foreshocks)。

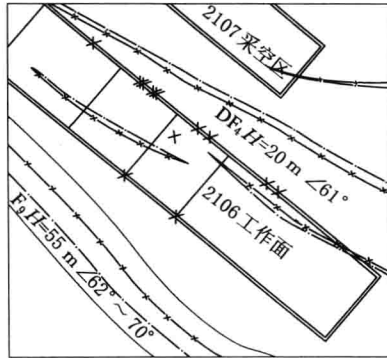


图 1-3 古城矿 2106 工作面冲击地压位置

第二节 研究现状

一、冲击地压研究现状

冲击地压自 1738 年在英国的南史塔福煤田的莱比锡矿报道以来,广大采矿工作者对冲击地压的研究就从来没有停止过。对于冲击地压问题的研究,主要集中在三个研究方向上:一是冲击地压发生机理的研究;二是冲击地压危险性评价、监测与预测预报技术的研究;三是冲击地压治理措施的研究。

冲击地压机理是预测和防治冲击地压发生的理论基础,是国内外学术界和工程界的重要研究内容。各国学者在对冲击地压现场调查及实验室研究的基础上,从不同角度相继提出了一系列的重要理论,如强度理论、刚度理论、能量理论、冲击倾向理论、三准则理论和变形系统失稳理论等。

窦林名^[1]运用煤层和顶底板的刚度来说明冲击地压的发生。当煤层和顶底板的刚度均大于零,则煤岩体处于稳定状态;当煤层的刚

度小于零,但煤层和顶底板的刚度之和大于或等于零,则煤岩体处于亚稳定或静态破坏状态;当煤层和顶底板的刚度之和小于零时,煤岩体将产生剧烈破坏,发生冲击地压。并通过在 Poynting-Thomson 模型加入两个脆性单元建立了弹塑脆性突变模型,用来研究煤岩体流变—突变破坏。

唐春安等^[11,12]运用尖点突变模型研究了煤岩的非稳定破坏。提出了冲击地压理论的失稳模式,工作面岩体(煤)—围岩的原有变形系统,可分成两种不同力学性质的介质所组成的变形系统,一种是具有应变弱化性质的岩体(煤)介质,另一种是仍具有弹性性质或应变硬化性质的岩体(煤)介质。当系统处于非稳定平衡状态,在受到外界微小扰动时,初始的平衡状态被打破,达到新的平衡状态,这种平衡状态的转移便是失稳。此过程释放的能量使岩体(煤)破坏、滑移,乃至驱动发生地震。

何满潮^[13]认为岩爆是采掘导致的岩层突然破坏现象,利用自行设计的深部岩爆过程实验系统,对深部高应力条件下的花岗岩岩爆过程进行单轴压缩、加载岩爆和卸载岩爆实验,在实验室条件下成功地再现了花岗岩的岩爆过程。根据卸载后至发生岩爆现象的时间,将岩爆分为滞后岩爆、标准岩爆和瞬时岩爆。

通过组合煤岩冲击倾向性试验,研究了顶板—煤体—底板冲击地压过程中的基本力学现象^[15-18]。得到组合煤岩试样中顶板强度越大,强度越强;组合煤岩试样的弹性模量随着煤样百分比的增加而减小。组合煤岩试样的冲击能指数随着顶板与煤样高度比值的增加而增加;冲击能指数随着煤样百分比的增加而降低;弹性能指数随着煤样百分比的增加而呈现增加的趋势。组合煤岩试样中顶板岩样厚度越厚,冲击倾向性相应就越强;组合煤岩试样中煤层厚度越大,则其弹性能指数就越大。

李铁等^[19,20]以抚顺老虎台矿为例,研究采矿诱发地震(简称矿震)孕育的机理。求解出 27 个较强矿震的震源机制,发现老虎台矿震与该区域天然地震的震源机制差异明显,得出卸荷产生的次生

应力场是孕育矿震的主要应力来源、卸荷重力应力场诱发作用突出的结论。地下开采破坏了原有的应力平衡状态,引起围岩应力重分布,出现应力状态改变和高应力集中,导致矿震的发生。

张晓春、黄庆享等^[21-24]从细观损伤出发建立了煤矿片帮型冲击地压发生的层裂板结构失稳破坏模型,当岩板受一定载荷作用时(小于加载瞬时临界载荷),由于材料的黏弹性性质,经过一段时间后,施加的载荷将超过岩板在某一时刻所能承受的最大载荷,导致岩板屈曲失稳,甚至形成动力失稳。这种动力失稳的能量来源主要是岩板的变形能,屈曲的分叉特性必将导致贮存的变形能突然释放,以致围岩发生冲击。

冲击地压的预测是冲击地压防治的基础。冲击地压预测预报方法很多,目前常用的冲击地压预测方法主要有以下三类:第一类是以钻屑法为主的岩石力学方法,第二类是以声发射和微震监测为主的采矿地球物理方法,第三类是以综合指数法为主的经验类比分析方法。

(1) 钻屑法

钻屑法是通过在煤体中打小直径(42~50 mm)钻孔,根据排出的煤粉量及其变化规律以及钻孔过程中出现的动力现象鉴别冲击危险的一种方法,是各国普遍采用的一种方法。钻屑法设备简单,检测结果直观,便于现场操作和判别。但钻屑法也存在以下两个方面的不足:一是钻屑法施工消耗的人力多,施工的时间长,而且容易受施工环境和条件的制约;二是其监测结果的可靠性受施工设备及操作人员的技术和经验等人为因素的影响。

(2) 电磁辐射法和微震监测法

研究表明,煤岩变形破裂时,将会产生电磁辐射现象^[25-43]。电磁辐射与煤的应力状态有关,应力高时电磁辐射信号就强,电磁辐射频率就高,应力越高,则冲击危险越大。电磁辐射强度和脉冲数两个参数综合反映了煤体前方应力集中程度的大小,因此可用电磁辐射法进行冲击地压预测预报。

岩石在应力作用下发生破坏,并产生矿震和声波^[44-46]。微震监测系统的主要功能是对全矿范围进行矿震监测,是一种区域性监测方法。自动记录矿震活动,实时进行震源定位和矿震能量计算,为评价全矿范围内的冲击地压危险提供依据。相比于其他传统监测手段,该系统具有远距离、动态、三维、实时监测的特点,还可以根据震源情况确定破裂尺度和性质。

(3) 综合指数法

综合指数法是在进行采掘工作前,在分析影响冲击地压发生的主要地质和开采技术因素的基础上,确定各个因素对冲击地压的影响程度及其冲击危险指数,然后综合评定冲击地压危险状态的一种区域预测方法。

蔡美峰等^[47-50]将神经网络引入开采与矿震活动性关系的研究中,以影响矿震活动性的开采强度、开采深度等因素为输入,分别以单位时间内矿震累积震级和矿震次数为输出,并将训练后的网络用于矿震活动性预测。结果表明,神经网络能够充分表达开采与矿震活动性之间的高度非线性关系,用它预测的矿震活动性规律在准确性上优于回归方法所得结果。根据地应力场现场实测和岩石力学试验,整体上揭示了玲珑金矿岩石内聚集较高弹性应变能和深部岩体中分布较大弹性能的现象,并且这些弹性能释放具有很高的冲击特性。

蒋金泉等^[51-53]采用混沌预测方法构造冲击地压的预测模型,实现冲击地压监测数据的混沌预测。用实例对冲击危险区域的电磁辐射序列及顶板下沉速度序列等进行预测运算和分析,达到较高的预测精度。

潘一山等^[54]研制了一套国内首台具有自主知识产权的矿区千米尺度破坏性矿震监测定位系统,通过对每天矿震发生的时间、次数、位置、震级进行统计分析,可对未来的矿震发生趋势进行预测。

陆菜平等^[55-58]通过微震信号的时-频分析技术,总结提炼了不同微震信号的重要波形特征,不同微震信号在频率特征、信号持续时