

Chongji Diya Yuce Yu Fangzhi Shiyong Jishu

冲击地压预测与 防治实用技术

潘立友 张立俊 刘先贵 著

**Chongji Diya Yuce Yu
Fangzhi Shiyong Jishu**

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

冲击地压预测与防治实用技术

潘立友 张立俊 刘先贵 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了作者最近十多年来在冲击地压预测与防治方面的研究成果和一些新的观点,较详尽地论述了工作面和巷道冲击地压危险性预测方法,及针对不同煤层条件采取的相应组合预测手段;建立了缺陷介质的冲击地压应力分布和能量释放理论、工程控制方法;在深井冲击地压防治方面,论述了以围岩应力控制为核心的冲击地压矿井的深部开采设计、开采保护层、放顶煤开采时对冲击地压的控制和局部解危措施,及孤岛煤柱冲击地压危险性评价等内容。

本书可供煤矿生产、设计、科研系统的有关技术人员和矿业院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

冲击地压预测与防治实用技术/潘立友,张立俊,刘

先贵著. —徐州:中国矿业大学出版社,2006.8

ISBN 7 - 81107 - 389 - 7

I. 冲… II. ①潘…②张…③刘… III. ①矿山

—冲击地压—预测②矿山—冲击地压—防治

IV. TD324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 083525 号

书 名 冲击地压预测与防治实用技术

著 者 潘立友 张立俊 刘先贵

责任编辑 耿东锋

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 7.25 字数 188 千字

版次印次 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

冲击地压是具有破坏性的突发灾害,是一种力学过程十分复杂的动力现象,是影响煤矿安全生产的灾害事故之一,也是世界范围内地下开采煤矿普遍遇到的共同难题。随着煤矿开采深度的不断增加,冲击地压问题日趋严重,已成为我国矿山亟待解决的重大技术课题。

我国是世界上冲击地压较严重的国家之一,现在有冲击地压的矿井超过 100 对。随着开采深度的增加,发生冲击地压的矿井越来越多,冲击地压发生的频度和强度亦随之愈来愈大。通过长期的生产实践、试验研究和借鉴国外先进技术和经验,在冲击地压的机理、显现规律、预测方法和防治措施等的研究方面取得了明显进展,现场防治工作亦获得显著成效。然而,就我国目前煤矿冲击地压事故防治的实际情况而言,由于冲击地压发生的原因和条件的复杂性和多样性,特别是深部开采高应力导致的地压显现大和冲击危险性加剧的特点,目前的研究和防治工作要完全控制这一灾害还有相当距离,冲击地压仍是矿井(特别是深井)的主要灾害之一,一些理论和实践问题亟待进一步解决。一些深井开采的共同特点是,受构造影响,深部矿压显现和冲击地压现象十分严重。开展对深井多种灾害和构造型冲击地压的预测和防治研究已成当务之急。

最近十多年来,我们在冲击地压危险性评价、冲击地压预测及其防治等方面做了大量的研究和工程实践工作,并取得了一定的成果,现整理成书,期望它对我国深井冲击地压危险性预测与防治有所帮助。

本书的编写出版,得到了许多专家、学者及现场工程技术人员的支持。中国科学院院士宋振骥教授多年来从研究思想上给予启

迪;华永芳高级工程师对书稿的编写给予指导,并提出宝贵意见;开滦(集团)公司、新汶矿业集团公司、兖矿集团公司等单位提供了大量实测资料;山东科技大学为这些成果的取得创造了良好的研究条件,在此向他们一并表示感谢。

参加本书编写人员还有姚庆华、陶三宝、王崇革、田志超、孔令峰、李成林。本书作者多来自山东科技大学矿山灾害预防控制省部共建教育部重点实验室。

作 者

2006 年 5 月

目 录

1 绪论	1
1.1 冲击地压概述	1
1.1.1 冲击地压现象描述	1
1.1.2 国内外冲击地压发生概况	2
1.1.3 冲击地压分类	3
1.1.4 冲击地压研究发展现状	7
1.2 冲击地压研究的基本任务	12
1.3 冲击地压的研究内容	13
1.4 基于应力场控制的冲击地压预测与防治研究 指导思想及其要点	13
2 应力场与冲击地压显现特征	15
2.1 构造应力引起的冲击地压	15
2.1.1 顶板破坏特征	15
2.1.2 底板岩层破坏特征	20
2.2 原始应力场引起的冲击地压	25
2.2.1 冲击地压发生的临界深度	25
2.2.2 原始应力场中掘进煤巷发生冲击的条件	26
2.3 采动应力场引起的冲击地压	26
2.3.1 采动应力场与巷道冲击地压显现特征	26
2.3.2 采动应力场与工作面冲击地压特征	28
3 冲击地压危险性预测研究	32
3.1 常规监测方法	33
3.1.1 开采判定法	33
3.1.2 钻屑法	47
3.1.3 地音法	53

3.1.4	微震法	54
3.1.5	电磁辐射前兆信息的识别	58
3.1.6	围岩动态监测预报	63
3.2	坚硬顶板运动型冲击地压的预测	68
3.2.1	监测区域	68
3.2.2	监测过程	69
3.2.3	前兆信息识别	69
3.3	应力型冲击地压危险性预测	69
3.3.1	声发射模式	69
3.3.2	主震型冲击地压的预测方法	73
3.3.3	分布型冲击地压预测	75
3.3.4	群震型冲击地压预测	76
3.4	煤体应力变化前兆信息的识别	77
3.4.1	无限域中的包含体的力学解答	77
3.4.2	刚性钻孔应力计	79
3.4.3	应力变化前兆的识别	81
3.5	掘进巷道冲击地压预测方法	83
3.6	切眼掘进期间冲击地压危险性预测	84
3.7	初采期间冲击危险性预测	85
3.8	初次来压期间冲击危险性预测	87
3.9	正常推进期间冲击危险性预测	88
3.9.1	预测范围	88
3.9.2	特殊地点预测	89
3.9.3	循环监测	89
3.10	综合预测法	89
4	冲击地压防治技术	91
4.1	冲击地压矿井合理开采设计	92
4.1.1	井田的合理开拓	92

4.1.2	合理的开采顺序	92
4.1.3	巷道布置原则	95
4.1.4	采掘推进方向	99
4.1.5	煤柱应力	102
4.1.6	采用适宜的采煤方法	105
4.1.7	采空区处理方法	107
4.2	开采保护层	107
4.2.1	保护作用和保护范围	109
4.2.2	开采原则	112
4.3	煤层预注水	113
4.3.1	煤层注水防治冲击地压的原理	113
4.3.2	注水方式	116
4.3.3	煤层注水的工艺参数	116
4.3.4	煤层注水适用条件	121
4.3.5	有关措施	121
4.4	常规解危技术	122
4.4.1	卸压爆破	122
4.4.2	钻孔卸压	123
4.4.3	诱发爆炸	124
4.4.4	厚层坚硬顶板预处理	125
4.5	构造应力场内巷道冲击地压防治	128
4.5.1	改变巷道围岩约束条件防治冲击地压	129
4.5.2	改变巷道宽度	129
4.6	缺陷介质的冲击地压控制研究	132
4.6.1	缺陷介质特征	132
4.6.2	断层型缺陷体的支承压力分布特征	133
4.6.3	断层区域冲击地压显现特征	134
4.6.4	断层冲击地压的力学机制	135

4.6.4	空洞型缺陷	137
4.7	不规则煤柱区域冲击地压防治	143
4.8	高应力巷道解危技术	144
4.9	放顶煤开采防治冲击地压	145
4.9.1	放顶煤开采的采场结构模型	146
4.9.2	放顶煤开采前方煤体活动特点的 实测研究	147
4.9.3	放顶煤开采顶板结构特征	148
4.9.4	放顶煤开采与分层开采数值模拟	148
4.9.5	放顶煤开采对冲击地压的控制作用	151
4.10	推进速度与冲击地压显现关系	152
4.10.1	实验研究结果	152
4.10.2	合理推进速度与影响因素分析	155
5	孤岛煤柱冲击地压危险性评价研究	156
5.1	孤岛煤柱冲击地压模型	157
5.1.1	孤岛煤柱的脆性破坏	157
5.1.2	孤岛煤柱的滑移破坏	160
5.1.3	孤岛煤柱的特殊破坏	161
5.1.4	孤岛煤柱冲击地压危险性分析	162
5.2	孤岛煤柱数值模拟及分析	164
5.2.1	15 m 煤柱模拟分析	164
5.2.2	50 m 煤柱模拟分析	167
5.2.3	数值模拟结果分析	170
5.3	孤岛煤柱冲击地压危险性评价	170
5.3.1	指标的建立	171
5.3.2	孤岛煤柱冲击地压评价方法	173
附录		182
参考文献		213

1 绪 论

1.1 冲击地压概述

冲击地压是世界范围内煤矿矿井中最严重的自然灾害之一。灾害是以突然、急剧、猛烈的形式释放煤岩体变形能,煤岩体被抛出,造成支架损坏、片帮冒顶、巷道堵塞、伤及人员,并产生巨大的响声和岩体震动,震动时间从几秒到几十秒,冲出的煤岩从几吨到几百吨,记录到的矿山最大震级已超过里氏 5 级。冲击地压发生的原因极为复杂,影响因素较多,灾害后果较为严重,已成为岩石力学研究中的一个重大课题。我国绝大多数矿山的煤层与岩层都具有强烈或明显的冲击倾向,在一定的临界深度下煤岩体发生冲击地压极为严重。随着我国煤矿开采深度的不断增加,冲击地压灾害越来越严重,已经成为制约我国矿山生产和安全的主要重大灾害之一。尽管国内外学者在冲击地压发生机理、监测手段及控制等方面取得了重要进展,但由于冲击地压具有极为复杂的特征,到目前为止,远没有从根本上解决其有效预测和防治问题。

1.1.1 冲击地压现象描述

冲击地压是矿山压力的一种特殊显现形式,可描述为:矿山采动(采掘工作面)诱发高强度的煤(岩)体变形能瞬时释放,在相应采动空间引起强烈围岩震动和挤出现象。冲击地压引起人员伤亡和设备损坏,不仅发生在推进的工作面现场,而且可能波及变形能释放范围的巷道、硐室,特别是存在高应力集中的空间部位。

冲击地压的显现具有突发性、瞬时震动性及破坏性等特征。

我国煤矿冲击地压的突出特点为:类型多样,条件复杂及发展趋势严重。

冲击地压发生前一般没有明显的宏观前兆,常由诱发因素引起,如爆破、顶板来压、回柱(移架)等。通过对国内外大量冲击地压案例分析,可将冲击地压现象描述为以下主要特征:

(1) 冲击地压的发生与地质构造有密切关系,往往发生在褶皱、断层及煤层变异性突出的部位,主要与构造应力的控制有关。

(2) 发生冲击地压的煤层顶板往往具有坚硬的岩层,坚硬岩层聚集高强度的变形能,是冲击地压发生的主要能量来源。

(3) 发生在超前巷道的冲击地压,以巷道两帮煤体抛出为主要特征,将巷道堵塞,甚至完全充实巷道空间。

(4) 发生在工作面的冲击地压,一般表现为大面积冲击现象,冲击地压形成的煤体运动和冲击波将支护体推倒。

(5) 发生在留有底煤的采场,冲击地压时,以底鼓和煤岩压入采场空间为主要显现特征。

2001年11月3日23时22分,在华丰煤矿-750 m水平3407(1)工作面发生的冲击地压,震级2.4级,冲击地压发生前没有明显的前兆,突然一声巨响后,伴随连续小的爆裂声音,围岩强烈震动,煤尘飞扬,连续8 min对面看不见人,并伴有强烈的冲击波,工作面下头50 m,下出口50 m,巷道出现堵塞现象,8~35 m的巷道上帮位移严重,支柱折损严重,地面有明显震感。

1.1.2 国内外冲击地压发生概况

国际上主要井工开采的国家冲击地压都十分普遍。包括我国在内,德国、南非、前苏联、波兰、美国、加拿大等20多个国家和地区受到冲击地压灾害的威胁。如前苏联首次发生冲击地压是在20世纪40年代的基泽尔煤田,20世纪80年代前194个矿

井的 847 个煤层有冲击危险性,并发生了 750 次有严重后果的冲击地压;波兰全国 67 个煤矿中有 36 个煤矿的煤层具有冲击危险性,自 1949 年至 1982 年,共发生破坏性冲击地压 3 097 次;德国从 1949 年至 1978 年,共发生破坏性冲击地压 1 001 次。因此,国际上对冲击地压的研究给予了极大的关注。我国最早记录的冲击地压于 1933 年发生在抚顺胜利煤矿,随后,在北京矿务局的门头沟、房山、城子、大沟峪、大台、木城涧等 6 个煤矿,开滦矿务局的唐山矿等 2 个煤矿,抚顺的龙凤矿、老虎台矿,南桐的砚石台矿、南桐矿,枣庄的陶庄矿、八一矿、柴里矿,大同忻州窑矿、煤峪口矿、永定庄矿,沈阳中心台矿,北票台吉矿,阜新高德矿、五龙矿,通化铁厂矿,舒兰营城矿,鹤岗南山矿,鸡西滴道矿,以及天池、五一、擂鼓、花鼓山、冰沟、欢城等地方煤矿都发生了严重的冲击地压。近年来,新汶华丰矿、孙村矿,徐州三河尖矿、旗山矿、权台矿,兖州东滩矿等相继成为新的冲击地压矿井。截至 2005 年,我国发生冲击地压的矿井已达 110 多个。我国煤矿矿井大多建于上世纪五六十年代,随着时间的推移和矿产资源开发向深部转移,这些矿井将逐步进入深部开采,冲击地压灾害问题将更加严重、更加突出、更为普遍。专家预测,冲击地压的预测与防治将成为 21 世纪岩石力学研究的难题之一。由于冲击地压问题极其复杂,对冲击地压的研究目前尚未建立比较符合实际的冲击地压发生及破坏过程的理论,因而影响了对冲击地压的预测、预报及防治。

1.1.3 冲击地压分类

冲击地压是一种复杂的矿山动力现象。其形成的力学环境、发生的地点、宏观和微观上的显现形态多种多样,冲击破坏强度和所造成的破坏程度也各不相同。由于对冲击地压发生的机理存在不同的理论,因此有着各种各样的判别准则。客观上,不同矿井的

冲击地压的成因和显现特征也不同,即使同一矿井,由于地质构造(变化)、开采条件和开采方法的差异,也使得冲击地压的成因、性质、特征、震源部位和破坏程度不同。综上所述,冲击地压存在不同的种类,不能用同一机理去解释不同冲击地压的成因和现象,更不能用单一方法或措施去预测和防治冲击地压。目前最主要的、最有价值的分类有以下几种。

1.1.3.1 根据冲击地压的能量特征按冲击时释放的地震能大小分(见表 1-1)

表 1-1

按能量特征分类表

冲击地压级别	地震能/J	震中的地震裂度/级
微冲击(射落、微震)	<10	<1
弱冲击	$10 \sim 10^2$	$1 \sim 2$
中等冲击	$10^2 \sim 10^4$	$2 \sim 3.5$
强烈冲击	$10^4 \sim 10^7$	$3.5 \sim 5$
灾害性冲击	$>10^7$	>5

(1) 微冲击

表现为小范围的岩石抛出和矿体微震动,包括射落和微震。射落是表面的局部破坏,表现为单个煤(岩)块弹出,并伴有射击的声响。微震是母体深部不产生粉碎和抛出的局部破坏,常伴有声响和岩体微震动。

(2) 弱冲击

表现为少量煤(岩)抛出的局部破坏,伴有明显的声响和地震效应,但不造成严重的破坏。

(3) 中等冲击

急剧的脆性破坏,抛出大量的煤(岩)体,形成气浪,造成几米长的巷道支架损坏和垮落、推移或损坏机电设备。

(4) 强烈冲击

使长达几十米的巷道支架破坏和垮落,损坏机电设备,需要做大量的修复工作。

(5) 灾害性冲击

使整个采区或一个水平内的巷道发生垮落。个别情况下波及全矿,造成整个矿井报废。

1.1.3.2 根据参与冲击的岩体类别分

(1) 煤层冲击

产生于煤体—围岩力学系统中的冲击地压,是煤矿冲击地压的主要显现形式。

(2) 岩层冲击

是高强度脆性岩石瞬间释放弹性能,岩块从母体急剧、猛烈地抛出。对于煤体,是顶底板岩层内弹性能的突然释放,又称围岩冲击。按冲击位置又分顶板冲击和底板冲击。

1.1.3.3 根据冲击力源分

(1) 重力型

主要受重力作用引发的冲击地压,没有或只有少量构造力的影响。

(2) 构造型

主要受构造力引起的冲击地压。

(3) 中间型

是重力和构造力共同作用引发的冲击地压。

1.1.3.4 按统计方法分类

原煤炭工业部于1983年9月颁布的《冲击地压煤层安全开采暂行规定》中公布了我国煤矿冲击地压统计分类方法。该分类法采用了世界上流行的、在我国也得到公认的两类分类指标。

(1) 根据冲击地压的破坏后果分

① 一般冲击电压

对生产的破坏后果轻微,不需要进行修复。此类包括地震台记录到但未能定位的各种冲击、震动现象。由矿井冲击地压防治组填写Ⅱ类记录卡。

② 破坏性冲击地压

对生产造成一定的破坏,需进行修复工作。此类冲击地压包括井下实际发生并已观测到的、达到各矿自定破坏性标准的冲击地压。由矿井冲击地压防治组负责进行现场调查,填写Ⅰ类记录卡。

③ 冲击地压事故

由于冲击地压及其伴随现象(冒顶、瓦斯突出等)造成的人员伤亡事故,或由于井巷或采场被破坏造成中断工作 8 h 以上的冲击地压。此类冲击地压由矿井总工程师负责组织现场调查,填报Ⅰ类记录卡,写出事故调查报告。

(2) 按显现强度分

根据地震仪或微震监测系统观测记录确定的冲击地压显现强度,按里氏地震计分为 6 级,见表 1-2。

表 1-2 按显现强度分

等级	1	2	3	4	5	6
里氏地震级	0.5~1.0	1.1~1.5	1.6~2.0	2.1~2.5	2.6~3.0	≥3.0

1.1.3.5 按工作空间分

按工作空间,冲击地压分为两类:掘进工作面发生的冲击地压与采煤工作面发生的冲击地压。其亚分类又包括受构造应力影响型与受重力影响型,与重力有关的冲击又分为原始应力型与采动应力型两类。

考虑到深井冲击地压具有的地质构造区域性、开采的连续性以及开采区域的边界性,将深井冲击地压分为以下 3 类:

(1) 构造型

构造区域(如向背斜轴部、次级向背斜区域、大的断层带、次生断层区及其他异常区域)内发生的冲击地压称为构造型冲击地压。

(2) 重力型

指开采中易于形成高集中应力的区域发生的冲击地压,是深井冲击地压的重点解危区。

(3) 边界型

指采场上部及四周具有复杂的开采条件的采场发生的冲击地压。

1.1.4 冲击地压研究发展现状

对冲击地压预测的研究还没有达到时间、地点及强度的定量阶段,防治方面还没有形成完整体系。

1.1.4.1 冲击地压发生的原因及实现的条件

强度比较高的煤(岩)层,受构造运动和采场推进影响而形成的高度应力集中和高能级弹性变形能的储存,是冲击地压发生的根本原因。而没有采取释放应力和能量的措施,在可能有高度应力集中和高能级弹性能释放的部位推进采掘工作面,是冲击地压得以实现的条件。

1.1.4.2 冲击地压影响因素

(1) 自然地质条件

主要的地质因素包括以下几类:

煤层性质:煤的强度、冲击倾向性、弹脆性等力学性质,煤的厚度、埋深、含水率、孔隙度、煤层结构等物理性质。

煤层顶底板岩层性质:坚硬岩层的厚度、强度、冲击倾向性等。

地质构造:褶皱构造、断裂构造展布形态,局部地应力异常,煤层厚度和倾角突变等。

(2) 生产技术因素

主要包括以下两方面:

① 人为造成高应力集中区,为冲击地压的发生提供力源条件;

② 人工作业造成应力状态的突变和煤层约束条件的改变。

1.1.4.3 冲击地压发生理论

为了深刻认识冲击地压理论的发展现状,找到适合我国煤矿冲击地压预测与防治的理论与技术体系,简要回顾有代表性的冲击地压发生的理论(假设)是十分必要的。

(1) 强度理论

早期的强度理论认为冲击地压是煤岩体局部应力超过强度而产生的,并对煤岩体形成应力集中的原因提出了各种假说,如压力拱理论和悬臂梁理论等。这一理论称为冲击地压的强度理论。强度理论进一步发展为近代强度理论,以“矿体—围岩”系统为研究对象,考虑了系统的极限平衡,认为冲击地压发生的应力条件是:

$$\sigma \geq \sigma^* \quad (1-1)$$

20 世纪 70 年代强度理论得到进一步的发展,提出了煤岩的夹持理论,认为煤体处于顶底板“夹持”之中,夹持特性决定了煤岩体系统的力学特性。该理论较好地揭示了煤体—围岩力学系统的极限平衡条件。

强度理论解释了冲击地压的一些现象,具有简单、直观和便于应用的特点,但对冲击地压动力学特征的描述不够。采场周围煤岩体经常出现局部应力超过其强度极限的现象,但并没有都发生冲击地压,这说明强度理论提出的判据不够充分。

(2) 刚度理论

刚度理论是由 Cook 等人在 20 世纪 60 年代根据刚性压力机理论而提出的,认为试件的刚度大于试验机构的刚度时,破坏是不稳定的,对于煤岩体就会呈现突然的脆性破坏。20 世纪 70 年代,Black 视矿山结构的刚度大于矿山负荷系统的刚度是产生冲击地