

国家自然科学基金资助项目 (51174002)、(51174016) 资助
煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室资助

中国矿业大学图书馆藏书



C01702601

冲击地压矿井微地震监测 试验与治理技术研究

成云海 姜福兴 著

CHONGJI DIYA KUANGJING
WEIDIZHEN JIANCE SHIYAN YU
ZHILI JISHU YANJIU

煤炭工业出版社

TD324

C-919

项目(51174002)、(51174016)资助
部共建教育部重点实验室资助

冲击地压矿井微地震监测试验与 治理技术研究

成云海 姜福兴 著



中国矿业大学图书馆藏书



C01702601

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

冲击地压矿井微地震监测试验与治理技术研究/成云海,
姜福兴著. --北京:煤炭工业出版社, 2011

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3941 - 7

I. ①冲… II. ①成… ②姜… III. ①煤矿—冲击地压—矿
井—变密度测井—研究 IV. ①TD324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 211095 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm × 1168mm^{1/32} 印张 6^{1/4}

字数 160 千字 印数 1—1 000

2011 年 11 月第 1 版 2011 年 11 月第 1 次印刷

社内编号 6762 定价 20.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

本书是“冲击地压矿井微地震监测试验与治理技术研究”项目研究成果的总结。该项目得到国家自然科学基金资助项目“深井采场覆岩破裂与冲击地压孕育机制及预警方法(51174002)”、“矿山微地震波自动识别的基础研究(51174016)”、煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室资助。项目研究了微地震定位监测技术原理与方法,追踪岩体破裂位置,确定微地震在岩体内部的发生和变化规律,尝试反演岩层空间结构运动与变化。根据覆岩运动预计应力,探索应力场变化规律和寻找高应力区域,为预报和防治冲击矿压提供依据。

项目对“工程地质”与“工程力学”耦合预测冲击发生可能性判据进行分析,提出动静态兼具的划定冲击地压可能发生区域的综合判据;根据断裂力学知识说明微地震发射机理和确定P波或S波定位的机理,阐述微地震预测预报冲击地压的力学原理及方法;对试验研究的具有冲击倾向的工作面进行覆岩空间结构分析与采动应力预计,对预测冲击地压可能发生的区域设计微震监测方案。通过对监测结果的数据分析,揭示微地震定位监测预报冲击地压的规律和总结工程应用方法,并对冲击地压的解危措施——大直径钻孔卸压参数进行三维数值仿真模拟计算,研究合理钻孔间距、深度等参数。项目研究采用层层深入、逐步推进的方法,力求形成提出问题、研究问题和解决问题的完整研究体系。

本书主要包括以下内容:

(1) 由“工程地质”结合“工程力学”进行分析,提供适于具体矿井动静态兼具的划定冲击地压可能性等级的综合判据,并在以后的实践中加以验证。

(2) 分析了微地震定位监测的地球物理原理, 确定了岩体破裂定位方法, 进行了定位精度评价。研究了基于岩层破裂场与采动应力场关系的微地震定位监测预测预报冲击地压的原理。

(3) 通过在华丰煤矿工程应用, 探索了微地震定位监测预警冲击地压的方法。

(4) 进行了冲击危险区域解危方法—深孔爆破方案设计、实施及评价。

本书在编写过程中, 得到了山东科技大学张兴民教授、汪华君博士、史红博士、司荣军博士、张淑同硕士、刘志河硕士(他在数值计算中做了大量工作), 新汶矿业集团公司副总工程师毛仲玉研究员、副总工程师张明研究员、技术中心副主任庞继禄高级工程师、博士后科研工作站站长郭信山副教授, 北京科技大学王存文博士等的鼎力指导、协调和帮助, 在此对上述人员表示衷心感谢。

作者

2011年9月

目 录

1 概述	1
1.1 我国冲击地压矿井现状	1
1.2 冲击地压国内外研究综述	3
2 “工程地质”与“工程力学”耦合预测冲击发生可能性判据	20
2.1 微地震监测结合“工程地质”预测构造应力异常区	21
2.2 W_{ET} 与 I_c 耦合划定冲击发生可能性的综合判据	27
2.3 冲击地压震级及冲击显现等级的确定探析	33
2.4 小结	35
3 微地震定位监测预报冲击地压的原理与方法	36
3.1 地震监测矿震的原理、成果及局限性	36
3.2 微地震定位监测冲击地压的地球物理原理及定位方法	42
3.3 岩层破裂场与采动应力场的关系	70
3.4 微地震定位监测预测、预报冲击地压的原理与步骤	71
3.5 小结	71
4 微地震定位监测系统安装方案及监测数据处理方法的应用	73
4.1 试验现场条件	73

4.2	微地震监测系统安装	75
4.3	监测数据处理方法	88
4.4	小结	99
5	微地震定位监测预警冲击地压分析方法的应用	101
5.1	矿震、微地震与冲击地压频度的相关性分析	101
5.2	工作面超前压力集中范围	109
5.3	采场岩层三维空间岩体破裂与应力场分布	116
5.4	关键层运动诱发矿震的微地震探测初步研究	136
5.5	开采保护层的卸压效果评价及参数确定	147
5.6	微地震定位监测预警冲击地压方法	149
5.7	小结	150
6	冲击危险区域处理预案与解危方法	152
6.1	冲击危险区域处理预案——大直径钻孔卸压 技术研究	152
6.2	冲击危险区域解危方法——深孔爆破	162
6.3	基于微地震监测的卸压效果评价	171
6.4	冲击地压管理机制	175
6.5	小结	180
	参考文献	182

1 概 述

1.1 我国冲击地压矿井现状

新世纪、新形势下,矿业企业仍是推动我国经济发展和工业化建设的重要力量^[1,2]。其中能源矿产是矿产资源的重要组成部分,在我国,煤炭又排在能源矿产之首,占我国一次能源消费的67%,是我国最有保障和最主要的能源。1949年全国原煤产量为32.0 Mt,1980年全国原煤产量为620.0 Mt,平均每年产量增加19.19%,1996年全国原煤产量达到了1396.7 Mt,是1980年原煤产量的2.25倍。1997年以后,由于亚洲金融危机和国内经济结构调整,煤炭产销量大幅度下降,2000年降至近1000.0 Mt。最近几年,随着我国国民经济进入新一轮快速发展时期,能源需求大幅度上升,煤炭产量出现了空前的增长态势,从2001年到2004年,我国煤炭产量每年增长200.0 Mt以上,这在世界煤炭工业史上是前所未有的,但仍然满足不了国内更快增长的需求。2009年全国煤炭产量达到29.6亿t,2010年煤炭产量为32.4亿t,2011年全国煤炭产量将达到35亿t。

随着矿井采深增加,水、火、瓦斯、煤尘、冲击地压、热害等对煤矿安全生产的威胁日益严重。其中,冲击地压是世界性的难题。1738年世界上首例冲击地压在英国南斯坦福煤田发生,现已发生冲击地压的有南非、德国、英国、俄罗斯等20多个国家。1933年我国抚顺胜利矿最早发生冲击地压,1960年全国发生冲击地压的矿井只有6个,近几年来已超过100个,冲击地压已成为威胁矿井安全生产的主要动力灾害之一^[3-7]。

近年来,我国不断有冲击地压事故发生。据北京地震局台网测定,1998年6月19日中午12点40分,在北京市门头沟煤矿

发生了相当于 2.8 级地震的矿震，震中位于北纬 $39^{\circ}52'$ ，东经 $116^{\circ}06'$ 。门头沟区、石景山区震感明显，没有人员伤亡的报告。据门头沟煤矿有关人士介绍，此次矿震为地应力突然变化形成的冲击地压所致，发生在距地表 700 m 左右的采空区，因发生时间在中午，对地下采煤工作面的人员安全未形成威胁。而门头沟矿区本身就是冲击地压多发矿区，形成的最大矿震曾达 3.9 级。新华网沈阳电，2003 年 5 月 3 日 20 时 36 分，抚顺老虎台煤矿因冲击地压引发 3.3 级矿震，当时在井下作业的抚顺老虎台矿部分矿工因躲避不及而在井下遇险，其中 2 人当场死亡，1 名矿工经抢救无效死亡，其余 9 名伤员从井下被救上来后，三米多高工作面只剩下几十厘米。据《华西都市报》报道，2004 年 4 月 1 日 9 时 55 分，四川绵竹天池煤矿一号井发生冲击地压事故，井内 5 名正作业的矿工全部被埋，经过 14 个小时生死营救，4 月 2 日凌晨，5 名被埋矿工全部脱险，离专家推测的生命极限仅仅有 1 个小时。2004 年 6 月 27 日，北京昊华公司木城涧煤矿发生的冲击地压，属于典型的压缩性冲击地压，该冲击地压造成一人死亡，三人重伤，五人轻伤。尤为惨痛的是 2005 年 2 月 14 日，辽宁阜新矿业（集团）有限责任公司孙家湾“2·14”矿难，导致 214 名工人死亡，事故直接原因是冲击地压造成 3316 工作面风道外段大量瓦斯异常涌出，3316 风道里段掘进工作面局部停风造成瓦斯积聚，致使回风流中瓦斯浓度达到爆炸界限；工人违章带电检修照明信号综合保护装置，产生电火花引起瓦斯爆炸。

山东省新汶矿业集团公司华丰煤矿是我国典型的冲击地压矿井。根据地面地震台网监测，自 1991 年 1 月首次发生冲击地压以来，共发生 0.5 级以上矿震 28000 余次，1.0 级以上矿震 2900 余次，1.5 级以上矿震 490 余次，大于 2.0 级以上的 7 次，最大震级 2.9 级。共发生破坏性冲击地压 104 次，造成工作面停产的冲击地压 11 次，严重影响了矿井的安全生产。华丰煤矿冲击地压造成多次人身伤亡事故，发生 3 起多人伤亡事故，累计造成 41 人重伤，4 人死亡。根据统计，华丰煤矿破坏性冲击地压共破

坏巷道 2000 余米, 平均顶底板移进 1.2 m, 两帮移进 0.8 m, 摧毁巷道 500 余米, 断面收缩率 75% 以上, 其中大部分顶底板闭合, 需要停产大修; 多次给采煤工作面造成严重影响, 累计破坏工作面长度 400 余米, 平均底板鼓起 1.1 m, 煤壁向老空区移进 0.5 m, 支架倒塌, 共损坏单体液压支柱 407 根, 铰接顶梁 503 根。同时, 冲击地压造成了严重的设备、设施损坏, 损坏开关、电机多台, 损坏风门多道、矿车多辆等。冲击地压事故已累计对矿井造成直接经济损失 850 万元。

航空业内有一个关于飞行安全的“海恩法则”, 这个法则形象地说就是一起重大的飞行安全事故背后有二十九起事故征兆, 每个征兆背后还会有三百起事故苗头。因此, 预防冲击地压事故需要从预防事故苗头上做大量工作, 杜绝事故的发生。根据国土资源部资源普查资料, 我国探明煤炭储量可采百年以上, 中国煤炭资源按深度分布的储量 1000 m 以下的煤炭储量 2.5 万亿 t, 约占总储量的 53%, 因此, 冲击地压作为现有的和将来的采矿难题, 预防和解危是一项重要、长期的艰巨任务。

1.2 冲击地压国内外研究综述

冲击地压是井巷或工作面周围煤(岩)体, 由于弹性变形能的瞬时释放而产生的突然、剧烈破坏的动力现象。冲击地压发生时, 围岩迅速释放能量, 煤岩突然被破坏, 造成暴风、冒顶片帮、支架折断、巷道堵塞、地面震动、房屋损坏和人员伤亡。冲击地压所辐射的能量, 从煤岩微小裂纹破裂的 10^{-5} J, 到大尺度煤岩破坏的 10^9 J, 相当于里氏震级 -6 ~ 5 级。

冲击地压发生的根本原因是应力集中与突然释放。采动岩体运动导致矿山压力重新分布, 动态矿山压力作用于围岩并使其破裂是引发矿井工程重大灾害事故发生的根本原因。因此, 系统深入地研究采动岩体的空间结构及其与矿山压力的动态关系, 在此基础上采用先进技术监测岩体破裂和研究灾变的机理是预防和控制矿井重大灾害事故的必由之路。研究出一套具有便于操作、经

济实用且不会导致防冲措施扩大化特点的冲击地压的动态防治体系, 是进行冲击地压监测和治理所遵守的基本原则。

虽然冲击地压的发生已有二百多年的历史, 但直到 21 世纪, 特别是近 30 ~ 40 年来才真正引起各国研究者的注意。各国都已成立了相应的专业研究机构。研究工作从对冲击地压进行广泛调查统计分析开始, 进而发展到实验室的理论研究和现场的实际测定。对冲击地压的研究及防治工作最有成效的国家是原苏联, 其次是波兰和原联邦德国。我国冲击地压方面的研究工作始于 1978 年, 重庆大学在天池煤矿所进行的煤层注水试验。之后, 国内开展了若干部委级重点科研项目研究, 积累了一定经验。20 世纪 80 年代中期引进了监测系统和仪器, 为提高研究水平奠定了先进的技术基础。近年来, 通过中外科技合作和人才交流, 吸取了国外的先进防治冲击地压技术和科研思想。在这些有利的环境条件下, 煤炭科学研究总院北京开采研究所、枣庄矿务局、北京矿务局和西安仪表厂等单位, 在 1990 年底完成了“冲击地压预测与防治”和“冲击地压监测装置”两项国家“七五”科技攻关专题。在此基础上, 制定了我国“冲击地压危险煤层安全开采规程”及“冲击地压防治及预测暂行技术规范”, 使我国冲击地压的研究与防治工作在较短的时间内取得了突破性进展^[26]。

冲击地压问题的研究, 主要集中在冲击地压机理研究、危险性评价、监测与预测预报技术的研究和治理措施研究三个方面。

冲击地压的机理研究主要有: 刚度理论、强度理论、能量理论、冲击倾向性理论、“三准则”理论、变形系统失稳理论、突变理论、分形理论、“三因素”理论、扩容理论、煤柱冲击地压时间效应理论、动态失稳理论、冲击地压和突出的统一失稳理论等^[8-21]。上述理论对于深入揭示冲击地压的形成机制发挥了重要的作用。

1.2.1 冲击地压相关研究理论

1. 刚度理论

Cook 和 Hodgeim 于 20 世纪 60 年代提出刚度理论, 当煤岩

体受力屈服后的刚度 $|KR|$ 大于顶底板和支架的刚度 $|KC|$ 时,便发生冲击地压;而当 $|KR| < |KC|$ 时,煤岩体处于稳定状态,不发生任何冲击动力现象。

2. 强度理论

强度理论由 G. Braener 提出,认为煤体处于顶底板的夹持之中,夹持特性决定了煤—围岩体系的力学特性。当煤体和围岩的交界处达到极限平衡条件时,煤体便发生失稳而发生冲击地压,即冲击地压发生的应力条件为

$$\sigma \geq \sigma^*$$

在此基础上,在 20 世纪 70 年代提出的煤岩夹持理论,该理论能够较好地解释煤岩体力学系统的极限平衡条件,但对煤岩体发生冲击地压的动力学特征描述不足,无法解释在许多 $\sigma \geq \sigma^*$ 的情况下,却不发生冲击地压的事实^[13]。

3. 能量理论

Cook 等人在 20 世纪 60 年代对南非 15 年的冲击地压防治情况总结后指出,当煤—围岩体系在其力学平衡状态遭到破坏,所释放出的能量大于所消耗的能量时,就发生冲击地压。随后 Dunk House 给出了能量平衡的方程式,佩图霍夫对产生冲击地压的能量结构作了分析^[20]。能量理论把顶底板看作纯弹性状态,而冲击倾向性极小的煤岩即使像豆腐渣这样的材料在高压下也可能发生冲击地压,所以,仅仅强调任何一方都是片面的^[22]。

4. 冲击倾向性理论

冲击倾向性理论是指煤岩体发生冲击破坏的固有能力或属性。该理论^[23]认为,当煤岩体的冲击倾向度 K_E 大于它的临界值 K_{EC} 时,便会发生冲击地压。国内外已提出的用以衡量煤岩体冲击倾向性的指标概括起来主要体现在煤岩体动态破坏时间 D_t 、弹性能指数 W_{ET} 及冲击能量指数 K_E 三个指标。

弹性能指数的确定是对煤层进行单轴压缩试验,达到峰值的 80% ~ 90% 时卸载,弹性能量为 Φ_{SP} , 损失能量为 Φ_{ST} , 则弹性能指数为

$$W_{ET} = \frac{\Phi_{SP}}{\Phi_{ST}}$$

冲击能量指数

$$K_E = \frac{F_S}{F_X}$$

其中, F_S 为煤的全过程应力应变曲线峰值之前的面积; F_X 为峰值之后的面积。

5. “三准则”理论

该理论是我国学者李玉生在总结了强度理论、能量理论和冲击倾向性理论之后所提出来的。其基本观点是将上述三种理论结合起来, 并且认为强度准则是煤岩体的破坏准则, 而能量准则和冲击倾向性准则是煤岩体突然破坏准则, 只有当三个准则同时满足时, 才能发生冲击地压。

6. 变形系统失稳理论

煤岩体变形系统失稳理论提出了煤岩体系统发生冲击地压的失稳判据, 即

$$\delta \pi = 0$$

$$\delta^2 \pi < 0$$

式中 π ——煤岩系统的总势能泛函;

$\delta \pi$ ——总势能泛函 π 的变分。

它揭示了冲击地压是由于采掘空间中煤岩体结构稳定性不够而发生的失稳破坏过程^[29,30]。

7. 突变理论

煤岩体的突变理论是从 1972 年 Thom 创立的突变论而发展起来的一种较新的理论。该理论主要从建立煤岩体的尖点突变模型出发, 对影响煤岩体的主要控制因素, 即顶底板压力、刚度和煤岩的损伤扩展耗散能量的定量分析, 来定性解释发生冲击地压的机理。

8. 分形理论

该理论是利用分形几何学的方法来研究冲击地压发生的机理

和预测预报手段，主要对冲击地压和岩爆的分形特征及微地震活动时空变化的分形特征进行了试验研究。这一理论目前的主要研究成果是，在冲击地压和岩爆发生前，微地震活动相对均匀地分布在高应力区，这时分形维数值较高；而临近冲击地压发生时，微地震活动集聚，其分形维数值降低，即分形维数值随岩石微断裂的增多而减小，最低的分形维数值则出现在临近冲击地压发生时。

9. “三因素”理论

齐庆新等学者在研究冲击地压的发生与煤岩体摩擦失稳的关系时，提出的“三因素”理论认为冲击地压发生的过程是煤岩地层受力的瞬间黏滑过程，是煤岩层满足剪切强度准则而突然滑动并在滑动过程中伴随着动能释放的动力过程。由此而得到了“三因素”机理模型，即内在因素（煤岩的冲击倾向性）、力源因素（高度的应力集中或高变形能与外部的动态扰动）和结构因素（具有软弱结构面和易于引起突变滑动的层状界面）是导致冲击地压发生的最主要因素。

一些研究者从理论和实践的角度证明了岩石的突然破坏（即冲击地压）应发生在全应力—应变曲线峰值后的某处，而峰值只是岩石的破坏点，过峰值时并未发生突然破坏，这一点非常重要；并指出在研究岩爆时，既要考虑岩石的破坏前区，又不可忽视岩石的破坏后区（指的是全应力—应变曲线过峰值的后半部分）。同时，还反映了岩爆发生的时刻。

学者潘立友在研究冲击地压的预测预报时，提出了冲击地压的扩容理论，认为扩容突变阶段是冲击地压预测预报的前兆。

众多学者还从其他不同侧面提出了对冲击地压形成机理的新认识，如基于黏弹塑性理论的煤柱冲击地压时间效应理论、动态失稳理论、冲击地压和突出的统一失稳理论等。上述理论对于深入揭示冲击地压的形成机制发挥了重要的作用。

1.2.2 冲击地压预测预报的现状 & 微地震定位监测技术的发展趋势

1.2.2.1 冲击地压预测预报的现状

冲击地压预测可按不同原则进行不同的分类。根据我国

《冲击地压煤层安全开采暂行规定》中提出的冲击地压基本工作程序，冲击地压预测分为煤岩层冲击危险预测和采掘区域冲击地压危险预测。通过实验室测定煤岩层的冲击倾向性而对开采区域的煤岩层的冲击危险性作出预测；在现场施工中，针对具体的工程地质结合工程力学，同步实施监测，对采掘过程中煤岩层的冲击危险性作出预测。

尽管国内外许多学者在冲击地压机理的认识和监测手段方面取得了重要进展，但还没有从根本上解决冲击地压预测问题，仍然是采矿业急待攻关研究的项目。采矿实践表明，现场监测仍然是目前预警冲击地压发生的最好方法。

冲击地压危险性评价及预测预报主要有力学方法，包括根据采矿地质条件确定冲击地压危险的综合指数法、模拟分析法、钻屑法、煤岩层冲击倾向性法等；地球物理方法，包括微地震法、声发射法、电磁辐射法、振动法、重力法等。具体预测内容如下^[24-26]：

1. 煤岩性质及地质、开采条件预测

煤岩物理力学性质是发生冲击地压的内因，只有具有冲击倾向的煤层，才能积聚大量弹性能并瞬间迅速释放形成冲击地压。为预测发生冲击地压的危险性，还必须分析掌握地质、开采因素，这些因素有煤层埋藏深度、厚度及倾角、顶底板岩性及厚度、地质构造情况、邻近层的煤层性质及开采情况、相邻工作面开采情况、所用的采煤方法及顶板管理方式、工作面长度和推进速度、抵达断层、褶曲及开采边界的时间等。

2. 钻屑法

在 20 世纪 50 年代提出的钻屑法是通过在煤体中钻小直径钻孔，通过向煤壁钻孔道，根据每米钻孔钻屑量多少，估算该处应力状态判断冲击地压危险程度。钻屑法的关键是找出极限煤粉量，所谓极限煤粉量是指在煤体一围岩系统达到极限平衡状态时所产生的煤粉量。

原联邦德国将钻屑检测和钻孔卸压合在一起设计专门设备，

如有危险继续向前钻孔卸压。钻屑法简单易行，在冲击地压预测中发挥了很大作用。但是不能对目前日益增多的顶底板冲击地压和强度高的断层冲击地压进行预测；对软弱煤层钻孔煤粉量应力变化不明显，难以分辨。检测结果受人的因素影响；不能进行空间和时间上连续监测，观察冲击地压危险的变化；检测效率低，仅作为一种辅助的预测手段。

目前世界各采煤国家最广泛应用于工作面冲击地压危险预测的还是钻屑法。

3. 地球物理方法

用于预测冲击地压的地球物理方法包括地音法、微地震法、地震法、冲击波速法、地电、地磁监测及地层层析成像分析法、微重力异常法等，这些方法可从不同角度测定煤岩体的应力集中情况及高压状态下煤岩体内产生的动力现象。

此外，在实际应用中，预测冲击地压的方法还有水分法、钻孔应力计检测煤岩体应力与地应力、顶板动态监测、地表岩移测量、经验类比法、动力区划法、基于黏弹塑性理论的煤柱冲击地压时间效应预测等。近年来，随着系统科学和非线性动力学等一系列新理论的应用，又出现了一些新的冲击地压预测方法，如冲击地压的非线性动力学（分叉、混沌和幂律关系、分形、突变）反演及预报方法、冲击震级预测的灰色系统方法、极值预测方法、基于煤层冲击倾向性试验的模糊综合评判方法等。这些新方法极大地丰富了冲击地压预测理论。

1.2.2.2 微地震定位技术用于冲击地压预测预报的现状与发展趋势

1. 微地震定位技术用于冲击地压预测预报的现状

微地震定位监测技术（简称 MS）涉及地质学、岩石（损伤、断裂）力学、动态信号测试与分析等多门基础学科的知识。微地震事件的实质是一个围岩应力、应变、变形、开裂、失稳及破坏等一系列动态演变过程的一种表现形式，由于微地震监测可在 4D 空间全方位地描述岩层的运动、破坏、应力降及其破坏模

式和破坏范围,因而有着超越传统方法的独特优势,以往监测手段落后,精度不足,且仪器设备昂贵,存在经济方面的制约,造成微地震监测技术的发展比较缓慢。近年来,数字技术的发展使岩石微地震监测技术得以迅速发展^[27-35]。

冲击地压是应力超过强度而导致破裂的发生和发展,煤岩力学性质由于包括损伤在内的广义应变局部化,力学性质呈现由于应变产生软化而导致物理或材料失稳破坏,已为许多学者所共识。因而研究在强度前后各种辐射信息作为冲击地压预测手段日益增多。事实上 20 世纪 80 年代国外已经就有利用煤炭岩石破裂发出的声波和微地震进行全矿冲击地压预测的监测。由于声发射是岩石微破裂的一种直接表现,用声发射研究岩石破坏及冲击地压监测预报已越来越引起关注。文献 [36] 得出了声发射累积 Ω 值表示的岩石损伤表达式

$$\sigma = E\varepsilon \left(1 - \frac{\Omega}{\Omega_0} \right)$$

上式说明了声发射累积是岩石损伤程度的直接反映,通过监测到的不同声发射特征来推断岩石破坏演化类型;文献 [37] 研究了岩石声发射的围压效应;文献 [38, 39] 研究了岩石破坏过程中声发射的对应规律;文献 [40] 研究了用声发射探测脆性材料损伤方法;文献 [41] 研究了类似岩石材料破坏扩展过程中的声发射频带宽度;文献 [42] 用带孔的 LacduBnnent 花岗岩试块,研究了孔边微裂纹扩展的声发射特征。特别是文献 [43] 研究了冲击地压孕育过程中的声发射的分形特征,这与文献 [44] 用声发射分析研究坚硬顶板冒落前兆得出的结论相一致。文献 [45] 从发射与岩石材料损伤关系出发,论证了用声发射监测冲击地压的科学性,并基于现场实测研究,提出了冲击地压的声发射四种前兆模式:“单一突跃型”、“波动型”、“指数上升型”和“频繁低能量前兆型”,还分析了松动爆破对防治冲击地压的效果,这对冲击地压的预测预报,具有重要应用价值。很显然,针对具体的围岩条件,研究冲击地压发生的声发射前兆