

Effect of Electromagnetic Emission of
Rock or Coal Fracture and Its Applications

煤岩破坏电磁辐射 效应及其应用

聂百胜 何学秋 朱郴韦 著



科学出版社

煤岩破坏电磁辐射效应及其应用

Effect of Electromagnetic Emission of Rock or Coal
Fracture and Its Applications

聂百胜 何学秋 朱郴韦 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

煤与瓦斯突出、冲击矿压等煤岩动力灾害现象严重威胁着煤矿的安全高效生产。本书在大量实验室试验和现场试验的基础上,结合信号处理、损伤力学、物理化学和电磁动力学等多学科的理论研究,比较系统地论述煤岩破坏电磁辐射的基本规律,揭示煤岩等多孔介质破坏过程与电磁辐射信息之间的关系,建立三维煤岩力电耦合的损伤力学模型,对其中的参数进行计算,利用该模型和试验结果建立煤岩动力灾害预警准则,并提出对煤岩体应力的测试方法,对煤岩体电磁辐射场进行模拟和验证,对电磁辐射天线进行模拟分析和选型,对电磁辐射天线进行测试分析。同时开发了矿用高速电磁辐射信号测试及分析系统,对煤矿井下工作面煤岩体和干扰噪声电磁辐射信号进行测试,分析其频谱特征;对煤岩样及煤矿掘进巷道的力电耦合场进行模拟;在煤矿井下对电磁辐射测试煤岩体应力状态和预测煤岩动力灾害进行试验研究,验证试验和理论分析结果。

本书可供从事煤岩动力灾害现象(煤与瓦斯突出、冲击矿压、矿山压力显现等)、电磁天线测试及分析、岩土工程等领域研究的科技工作者、研究生、本科生等阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤岩破坏电磁辐射效应及其应用=Effect of Electromagnetic Emission of Rock or Coal Fracture and Its Applications/聂百胜,何学秋,朱郴韦著. —北京:科学出版社,2016.3

ISBN 978-7-03-047631-9

I. ①煤… II. ①聂…②何…③朱… III. ①煤岩-影响-电磁辐射-辐射效应-研究 IV. ①P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 047235 号

责任编辑:吴凡洁 陈构洪 乔丽维 / 责任校对:胡小洁

责任印制:张 倩 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年3月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016年3月第一次印刷 印张:22 1/4

字数:425 000

定价:138.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

国家“十五”科技攻关项目(2005BA813B-3-09、2005BA813B-3-16)

国家自然科学基金仪器专项(50427401)

教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-07-0799)

北京市科技新星计划(2006A081)

中国博士后科学基金资助项目(2002032120)

国家自然科学基金项目(51304212)

中央高校基本科研业务费项目

中国矿业大学(北京)研究生教材及学术专著出版基金

前 言

煤岩动力灾害现象是煤岩体在外界应力作用下短时间内发生的一种具有动力效应和灾害后果的现象。煤岩动力灾害事故的危害是巨大的,不但造成大量的人员伤亡,还会造成巨大的财产和经济损失。如何有效预防煤岩动力灾害现象一直是煤矿生产中需要解决的技术难题。煤岩电磁辐射是煤岩体受载变形破裂的过程中以电磁波的形式向外辐射能量的一种现象或过程。煤岩电磁辐射现象的研究为煤岩动力灾害预测提供了新的技术手段,因其非接触、动态、连续监测的特点,受到研究人员的广泛关注。

作者及其课题组长期从事煤岩电磁辐射效应及其应用的研究。研究团队在国家“十五”科技攻关项目(2005BA813B-3-09、2005BA813B-3-16)、国家自然科学基金仪器专项(50427401)、教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-07-0799)、北京市科技新星计划(2006A081)、中国博士后科学基金资助项目(2002032120)、国家自然科学基金项目(51304212)、中央高校基本科研业务费项目、中国矿业大学(北京)研究生教材及学术专著出版基金等的资助下,经过连续的攻关研究,在煤岩破裂电磁动力学的理论研究及工程应用方面取得了大量的研究进展。本书对此进行了比较详尽的论述,希望能对从事这一领域研究的科技工作者有所启示。

本书的主要内容是煤岩破坏电磁辐射的基本规律及现场应用,重点阐述煤岩体变形破坏与电磁辐射信息之间的关系,建立煤岩力电耦合模型及动力灾害预警准则,并进行现场应用。全书共10章。第1章介绍矿山煤岩动力灾害及煤岩电磁效应的研究现状,对本书研究内容进行介绍。第2章试验研究单轴加载单一和组合煤岩变形破裂过程、煤岩冲击过程、摩擦过程、蠕变过程、松弛过程、卸载过程以及循环加载过程电磁辐射特征。第3章试验研究不同瓦斯吸附压力条件下煤岩单轴压缩破坏过程中的电磁辐射信号特征,分析孔隙瓦斯对电磁辐射信号特征的影响。第4章采用谱分析技术和希尔伯特-黄变换分析研究组合煤岩破坏过程中电磁辐射信号的能量特征和频率特征。第5章分析煤岩电磁辐射信号采集过程噪声来源和采掘工作面不同噪声源频谱特征,提出电磁辐射监测抗干扰技术和基于小波变换的电磁辐射信号降噪方法。第6章研究煤岩变形破裂过程电磁辐射自适应神经网络预测的原理及特点,并应用于声发射和电磁辐射序列的预测。第7章借助HFSS三维结构电磁场仿真软件对均匀、线性、各向同性煤岩中的电磁辐射场进行仿真模拟,分析煤岩及其周围空间电场和磁场的变化分布规律。第8章基于煤岩强度的统计损伤理论建立三维煤岩力电耦合的损伤力学模型,对试验结果进

行模拟,建立煤岩动力灾害的电磁辐射预警准则。第9章在现场应用电磁辐射测试系统测试煤体的应力状态分布,在线连续监测巷道围岩的稳定性。第10章利用电磁辐射监测系统对矿山煤与瓦斯突出、冲击矿压等煤岩动力灾害现象进行预测预报。

衷心感谢周世宁院士、宋振骐院士、谢和平院士、彭苏萍院士、袁亮院士、张铁岗院士和何满潮院士等的帮助和支持;感谢王恩元教授给予的指导和长期以来的帮助;感谢科技部、教育部、国家自然科学基金委员会、北京市科学技术委员会、中国博士后科学基金等对本书研究工作的资助和支持;感谢中国矿业大学(北京)、中国矿业大学、中国煤炭科学研究总院、山西晋煤集团、河北峰峰集团等单位的大力支持;感谢陈文学博士、何俊博士、李刚博士、刘芳彬博士、翟盛锐博士、张世杰博士、付京斌博士、刘文波硕士、曹民远硕士、窦军武硕士等参与的部分研究工作。在本书的编写过程中参阅了大量的国内外有关专业文献,谨向文献的作者表示感谢。

由于作者水平有限,加之很多内容仍需今后进一步深入研究探索,不足之处在所难免,敬请读者不吝指正。

作 者

2015年10月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 矿山煤岩动力灾害研究进展	1
1.1.1 煤与瓦斯突出现象	1
1.1.2 煤与瓦斯突出机理研究现状	2
1.1.3 冲击矿压机理研究进展	8
1.2 煤岩电磁效应研究现状	11
1.2.1 电磁辐射在地震预报方面研究现状	11
1.2.2 煤岩电磁辐射机理研究现状	13
1.2.3 煤岩电磁辐射特征研究现状	14
1.2.4 电磁辐射预测预报煤岩灾害动力现象研究现状	15
1.2.5 目前电磁辐射需要研究的课题	17
1.3 本书主要研究内容	18
第 2 章 受载煤岩电磁辐射的试验研究	19
2.1 试验系统、试验方案及试验样品	19
2.1.1 试验样品及其制备方法	19
2.1.2 试验系统	21
2.1.3 试验研究内容	23
2.2 单轴压缩电磁辐射特征	24
2.2.1 单轴压缩煤岩混凝土电磁辐射的试验结果	24
2.2.2 煤样受载后快速卸载过程的电磁辐射时序试验结果	32
2.2.3 煤岩样冲击过程的电磁辐射特征	33
2.2.4 煤岩摩擦过程的电磁辐射特征	35
2.3 组合煤岩破坏过程的电磁辐射特征	38
2.3.1 组合煤岩样单轴压缩下应力分析	38
2.3.2 组合煤岩的单轴强度条件分析	40
2.3.3 受载组合煤岩的电磁辐射试验结果	41
2.4 煤岩电磁辐射幅值规律	45
2.4.1 单轴压缩煤岩混凝土电磁辐射的幅值变化特征	45
2.4.2 单轴压缩组合煤岩电磁辐射的幅值变化特征	48

2.4.3	冲击过程电磁辐射的强度变化特征	50
2.4.4	摩擦过程电磁辐射的强度变化特征	53
2.5	煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应规律	54
2.5.1	循环加载应力的确定	54
2.5.2	煤岩破坏电磁辐射记忆效应试验结果	55
2.5.3	瓦斯、水对煤岩破坏电磁辐射记忆效应的影响	61
2.6	小结	63
第3章	含瓦斯煤岩受载破坏电磁辐射试验研究	65
3.1	试验系统及方案	65
3.1.1	试验系统	65
3.1.2	试验方案	70
3.2	试样制备及试验准备	71
3.3	煤岩力学特性及电磁辐射特征	72
3.3.1	煤岩单轴压缩破坏力学特性及电磁辐射特征	72
3.3.2	含瓦斯煤岩单轴压缩破坏的变形特征	79
3.3.3	孔隙瓦斯对煤岩峰值强度的影响	81
3.3.4	孔隙气体对煤岩弹性模量的影响	83
3.3.5	含瓦斯煤岩受载破坏过程中的电磁辐射特征	84
3.4	小结	88
第4章	煤岩电磁辐射信号频谱特征研究	90
4.1	组合煤岩电磁辐射试验研究	90
4.1.1	组合煤岩样的制作	90
4.1.2	单一煤体单轴压缩电磁辐射信号特征	91
4.1.3	组合煤岩电磁辐射信号特征	93
4.2	煤岩变形破坏电磁辐射信号频谱分析	95
4.2.1	煤体单轴压缩电磁辐射信号频谱分析	95
4.2.2	组合煤岩变形破坏电磁辐射信号频谱分析	101
4.2.3	傅里叶谱与功率谱的对比分析	112
4.3	基于小波变换的电磁辐射信号特征分析	112
4.3.1	基于小波的电磁辐射信号特征分析的基本方法	112
4.3.2	煤体单轴压缩电磁辐射信号小波特征频谱分析	113
4.3.3	组合煤岩电磁辐射信号小波特征频谱分析	122
4.3.4	频谱分析与小波分析的结果比较	137
4.4	基于希尔伯特-黄变换(HHT)电磁辐射频谱分析	137
4.4.1	HHT分析法	137

4.4.2 电磁辐射信号的 HHT 分析	142
4.5 小结	158
第 5 章 煤岩电磁辐射信号噪声频谱特征及抑制研究	159
5.1 煤岩电磁辐射信号的传播途径	159
5.2 煤岩电磁辐射信号采集过程噪声分析	160
5.2.1 电磁辐射信号实验室采集过程中噪声来源	160
5.2.2 电磁辐射信号现场采集过程中噪声来源	161
5.3 煤岩电磁辐射监测抗干扰技术	161
5.3.1 屏蔽技术	161
5.3.2 滤波技术	162
5.4 电磁辐射信号的小波降噪方法	163
5.4.1 小波变换降噪模型和降噪过程	163
5.4.2 小波变换降噪阈值选取与确定	165
5.5 基于小波理论的电磁辐射信号降噪	167
5.5.1 单一煤样电磁辐射信号的小波去噪	167
5.5.2 组合煤岩电磁辐射信号的小波去噪	171
5.6 工作面电磁辐射信号的噪声抑制技术	177
5.6.1 不同噪声源的电磁辐射信号频谱特征	177
5.6.2 工作面电磁辐射信号去噪	185
5.7 小结	190
第 6 章 煤岩变形破坏电磁辐射的非线性预测方法	192
6.1 煤岩破裂过程声发射和电磁辐射信号的混沌特征	192
6.1.1 关联维数及其计算	192
6.1.2 声发射和电磁辐射信号的混沌特征	194
6.2 煤岩变形破坏电磁辐射的神经网络预测方法研究	195
6.3 自适应 BP 神经网络的基本原理及实现步骤	196
6.4 煤岩变形破裂电磁辐射自适应神经网络预测原理	198
6.4.1 电磁辐射参数时间序列维数的选定	198
6.4.2 自适应神经网络预测原理	198
6.5 自适应神经网络在煤岩电磁辐射信号预测中的应用	199
6.6 小结	201
第 7 章 煤岩电磁辐射接收天线特征参数及模拟研究	202
7.1 引言	202
7.1.1 天线定义	202
7.1.2 天线基本参数	204

7.1.3	天线极化波	209
7.2	煤岩电磁辐射接收天线特征参数及测量方法	210
7.2.1	电磁辐射接收天线设计原则	211
7.2.2	电磁辐射接收天线基本特性	213
7.2.3	电磁辐射接收天线参数测量	216
7.3	煤岩电磁辐射接收天线模拟技术	220
7.3.1	HFSS 软件及其相关技术定义	220
7.3.2	煤岩电磁辐射场仿真研究	222
7.3.3	电磁辐射接收天线仿真研究	227
7.4	小结	237
第 8 章	煤岩力电耦合模型及动力灾害预警准则	239
8.1	引言	239
8.1.1	损伤力学及其发展	239
8.1.2	煤岩强度的统计损伤理论	241
8.1.3	煤岩材料的损伤力学模型	241
8.1.4	基于 Weibull 分布的煤岩强度统计损伤模型	242
8.1.5	基于正态分布的煤岩强度统计损伤模型	244
8.1.6	三维煤岩力学损伤本构关系	245
8.2	煤岩力电耦合的损伤力学模型	247
8.2.1	基于电磁辐射脉冲数的一维煤岩力电耦合模型	248
8.2.2	基于电磁辐射脉冲数的三维煤岩力电耦合模型	249
8.2.3	基于电磁辐射强度的煤岩力电耦合模型	252
8.3	力电耦合模型相关参数计算	253
8.3.1	力电耦合模型的相关参数意义	253
8.3.2	力电耦合模型参数的计算方法	253
8.3.3	计算结果	253
8.4	煤岩力电耦合模型的应用	255
8.4.1	煤岩均匀性对电磁辐射的影响	255
8.4.2	不同围压对煤岩电磁辐射的影响	256
8.4.3	单轴压缩煤岩样突然卸载时的电磁辐射特征	257
8.4.4	循环加载过程的电磁辐射特征	258
8.5	矿山煤岩电磁辐射预警准则	259
8.5.1	电磁辐射监测预警指标	259
8.5.2	煤岩动力灾害电磁辐射预警准则	259
8.5.3	预警临界值及动态趋势系数的确定	261

8.5.4 煤岩动力灾害电磁辐射预警技术	262
8.6 小结	263
第9章 电磁辐射监测煤岩体应力状态技术及应用	264
9.1 电磁辐射评价煤岩体应力状态技术原理	264
9.2 煤岩体前方应力区域电磁辐射评价技术	268
9.2.1 掘进工作面应力状态电磁辐射测试	269
9.2.2 回采工作面前方应力状态电磁辐射测试	271
9.3 采掘应力场电磁辐射监测评价技术	274
9.3.1 掘进巷两帮应力状态电磁辐射监测技术	274
9.3.2 回风巷煤壁应力状态电磁辐射监测技术	277
9.4 回采工作面周期来压电磁辐射监测技术	278
9.4.1 回采工作面前方非接触式电磁辐射测试结果	278
9.4.2 回采工作面非接触式电磁辐射测试结果	281
9.4.3 回采工作面顶板周期来压钻孔电磁辐射测试结果	282
9.5 小结	285
第10章 煤岩电磁辐射监测技术的应用研究	286
10.1 电磁辐射监测技术	286
10.2 电磁辐射测试装备	287
10.2.1 KBD5 便携式电磁辐射监测仪的组成及功能	287
10.2.2 KBD7 煤岩动力灾害非接触电磁辐射监测仪	292
10.3 电磁辐射监测技术在煤与瓦斯突出预测中的应用	297
10.3.1 3 ₂ 48 运输联巷基本情况	297
10.3.2 KBD7 电磁辐射监测仪测试与分析	298
10.3.3 电磁辐射的影响因素分析	307
10.3.4 电磁辐射规律分析与实施步骤	313
10.4 电磁辐射监测技术在冲击矿压预测中的应用	317
10.4.1 冲击矿压发生前后的电磁辐射变化规律	317
10.4.2 电磁辐射与微震震级间的关系	319
10.5 煤岩电磁辐射监测技术发展趋势	320
10.5.1 “智慧线”通信技术	320
10.5.2 “智慧线”技术在煤岩电磁辐射监测中的应用	322
10.6 小结	324
参考文献	325

Contents

Preface

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Advances in coal or rock dynamic disasters research	1
1.1.1 The phenomenon of coal and gas outburst	1
1.1.2 The review of mechanism of coal and gas outburst	2
1.1.3 The review of mechanism of rock burst	8
1.2 The situation of the electromagnetic emission of coal or rock	11
1.2.1 The review of electromagnetic emission (EME) in earthquake prediction	11
1.2.2 The review of EME mechanism of coal or rock	13
1.2.3 The review of EME characteristics of coal or rock	14
1.2.4 The review of EME in prediction of coal or rock dynamic disasters	15
1.2.5 The research topic of EME	17
1.3 The research contents	18
Chapter 2 EME experimental study of coal or rock under load	19
2.1 Experimental system and test plan	19
2.1.1 Test samples and their preparation method	19
2.1.2 Experimental system	21
2.1.3 Experimental research contents	23
2.2 Characteristics of EME under uniaxial compression	24
2.2.1 EME experimental results of coal, rock and concrete under uniaxial compressive	24
2.2.2 EME experimental results of coal during quick uploading	32
2.2.3 EME characteristics of coal or rock in the impact process	33
2.2.4 EME characteristics of coal or rock in the friction process	35
2.3 EME characteristics of coal-rock combination fracture	38
2.3.1 Stress analysis of coal-rock combination under uniaxial compression	38
2.3.2 Strength analysis of coal-rock combination under uniaxial compression	40
2.3.3 EME experimental results of coal-rock combination under load	41

2.4 EME amplitude law of coal or rock 45

2.4.1 EME amplitude variation of coal, rock and concrete under uniaxial
compressive 45

2.4.2 EME amplitude variation of coal-rock combination under uniaxial
compressive 48

2.4.3 EME intensity variation in the impact process 50

2.4.4 EME intensity variation in the friction process 53

2.5 EME memory effect law of coal or rock rheological fracture 54

2.5.1 Cyclic loading stress 54

2.5.2 EME memory effect experimental results of coal or rock fracture 55

2.5.3 Influence of gas and water on EME memory effect of coal or rock
fracture 61

2.6 Summary 63

**Chapter 3 EME experimental study of coal or rock containing gas
fracture 65**

3.1 Experimental systems and test plan 65

3.1.1 Experimental system 65

3.1.2 Experimental plan 70

3.2 Preparation of samples and experimental 71

3.3 Mechanical properties and EME characteristics of coal or rock 72

3.3.1 Mechanical properties and EME characteristics of coal or rock under
uniaxial compression 72

3.3.2 Deformation characteristics of coal containing gas under uniaxial
compressive 79

3.3.3 Influence of pore gas on the peak intensity of coal or rock 81

3.3.4 Influence of pore gas on the elastic modulus of coal or rock 83

3.3.5 EME characteristics of coal or rock containing gas fracture 84

3.4 Summary 88

Chapter 4 EME spectral characteristics of coal or rock 90

4.1 EME experimental study of coal-rock combination 90

4.1.1 Preparation of coal-rock combination samples 90

4.1.2 EME characteristics of coal under uniaxial compression 91

4.1.3 EME characteristics of coal-rock combination fracture 93

4.2 EME spectrum analysis of coal or rock fracture 95

4.2.1 EME spectrum analysis of coal under uniaxial compression 95

4.2.2	EME spectrum analysis of coal-rock combination fracture	101
4.2.3	Comparison between the Fourier spectrum and power spectrum	112
4.3	Analysis of EME based on wavelet transform	112
4.3.1	Basic analysis method of EME based on wavelet transform	112
4.3.2	EME wavelet spectrum analysis of coal under uniaxial compression	113
4.3.3	EME wavelet spectrum analysis of coal-rock combination fracture ...	122
4.3.4	Comparison between the spectral analysis and wavelet analysis	137
4.4	EME spectrum analysis based on Hilbert-Huang Transform (HHT)	137
4.4.1	HHT Method	137
4.4.2	HHT analysis of EME	142
4.5	Summary	158
Chapter 5	Noise spectral characteristics in EME of coal or rock and its suppression	159
5.1	EME pathways of coal or rock	159
5.2	Noise analysis in EME of coal or rock during signal acquisition process	160
5.2.1	Noise sources in EME during signal acquisition process at the laboratory	160
5.2.2	Noise sources in EME during signal acquisition process on site	161
5.3	Jamming technology of EME monitoring of coal or rock	161
5.3.1	Shielding technology	161
5.3.2	Filtering Technology	162
5.4	De-noising method of EME using wavelet transform	163
5.4.1	De-noising mode and process using wavelet transform	163
5.4.2	Threshold of de-noising using wavelet transform	165
5.5	De-noising of EME based on wavelet theory	167
5.5.1	EME de-noising of coal using wavelet transform	167
5.5.2	EME de-noising of coal-rock combination using wavelet transform	171
5.6	De-noising technology of EME in coal face	177
5.6.1	EME spectral characteristics of different noise sources	177
5.6.2	De-noising of EME in coal face	185
5.7	Summary	190

Chapter 6 EME nonlinear prediction method of coal or rock fracture	192
6.1 Chaos characteristics of acoustic emission and EME of coal or rock fracture	192
6.1.1 Correlation dimension and its calculation	192
6.1.2 Chaos characteristics of acoustic emission and EME	194
6.2 EME neural network prediction method of coal or rock fracture	195
6.3 The basic principle and implementation steps of adaptive BP neural network	196
6.4 Principles of adaptive neural network prediction for EME of coal or rock fracture	198
6.4.1 Time series dimension of EME parameters	198
6.4.2 Principles of adaptive neural network prediction	198
6.5 Applications of adaptive neural network prediction in EME of coal or rock	199
6.6 Summary	201
Chapter 7 Characteristic parameters and simulation study of EME receiving antenna of coal or rock	202
7.1 Introduction	202
7.1.1 Antenna definition	202
7.1.2 The basic parameters of antenna	204
7.1.3 Antenna polarized wave	209
7.2 Characteristic parameters and measurement of EME receiving antenna of coal or rock	210
7.2.1 Design principles of EME receiving antenna	211
7.2.2 Basic characteristics of EME receiving antenna	213
7.2.3 Parameter measurement of EME receiving antenna	216
7.3 Simulation technology of EME receiving antenna of coal or rock	220
7.3.1 HFSS software and its technical definition	220
7.3.2 EME filed simulation study of coal or rock	222
7.3.3 Simulation study of EME receiving antenna	227
7.4 Summary	237
Chapter 8 Electromechanical coupling model for EME of coal or rock and guidelines of disaster warning	239
8.1 Introduction	239

8.1.1	Damage mechanics and its development	239
8.1.2	Statistical damage theory of coal or rock strength	241
8.1.3	Damage mechanics model of coal or rock materials	241
8.1.4	Statistical damage model of coal or rock strength based on the Weibull distribution	242
8.1.5	Statistical damage theory of coal or rock strength based on normal distribution	244
8.1.6	Damage Mechanical model of three dimensional coal or rock	245
8.2	Damage mechanics model of coal or rock based on electromechanical coupling model	247
8.2.1	1-D electromechanical coupling model of coal or rock based on the pulses of EME	248
8.2.2	3-D electromechanical coupling model of coal or rock based on the pulses of EME	249
8.2.3	Electromechanical coupling model of coal or rock based on the intensity of EME	252
8.3	Parameters calculation of electromechanical coupling model	253
8.3.1	Parameters significance of electromechanical coupling model	253
8.3.2	Parameters calculation	253
8.3.3	Calculation results	253
8.4	Application of electromechanical coupling model of coal or rock	255
8.4.1	Influence of the uniformity of coal or rock on the EME	255
8.4.2	Influence of different confining pressure on the EME of coal or rock	256
8.4.3	Characteristics of EME when uniaxial compression sudden unloading of coal or rock	257
8.4.4	Characteristics of EME during cyclic loading	258
8.5	EME warning criteria of coal or rock	259
8.5.1	Early warning indicators of EME monitoring	259
8.5.2	EME warning criteria of coal or rock dynamic disasters	259
8.5.3	Warning thresholds and dynamic trends coefficients	261
8.5.4	EME warning technology of coal or rock dynamic disasters	262
8.6	Summary	263

Chapter 9	EME monitoring technology of coal or rock stress and applications	264
9.1	Technical principles of coal or rock stress evaluation by EME	264
9.2	EME monitoring technology of stress region in front of coal or rock	268
9.2.1	EME monitoring of stress state on the excavation face	269
9.2.2	EME monitoring of stress state in front of working face	271
9.3	EME monitoring technology of mining stress field	274
9.3.1	EME monitoring technology of stress state in cutting roadway	274
9.3.2	EME monitoring technology of stress state in return airway	277
9.4	EME monitoring technology of cycle pressure in working face	278
9.4.1	Non-contact monitoring results of EME in front of working face	278
9.4.2	Non-contact monitoring results of EME in working face	281
9.4.3	EME monitoring study of periodic roof pressure in working face	282
9.5	Summary	285
Chapter 10	Field applications of EME monitoring technology of coal or rock	286
10.1	EME monitoring technology	286
10.2	EME monitoring equipment	287
10.2.1	KBD5 portable EME monitor	287
10.2.2	KBD7 non-contact EME monitor	292
10.3	EME monitoring technology in coal and gas outburst prediction	297
10.3.1	Basic situation of transportation lane 3 ₂ 48	297
10.3.2	EME test and analysis using KBD7 monitor	298
10.3.3	Factors analysis of EME	307
10.3.4	Law analysis and implementation steps of EME	313
10.4	EME monitoring technology in rock burst prediction	317
10.4.1	Variation of EME before and after rock burst occurred	317
10.4.2	Relationship between EME and magnitude of microseismic	319
10.5	Trends of EME monitoring technology	320
10.5.1	“The Smartcable” communication technology	320
10.5.2	EME monitoring technology based on “The Smartcable”	322
10.6	Summary	324
References		325