

煤岩流变

电磁动力学

何学秋

王恩元 聂百胜 刘明举 张 力 著



科学出版社

www.sciencep.com

煤岩流变电磁动力学

何学秋

著

王恩元 聂百胜 刘明举 张 力

国 家 杰 出 青 年 基 金

国 家 自 然 科 学 基 金 重 点

国 家 自 然 科 学 基 金

资助项目

教 育 部 优 秀 跨 世 纪 人 才 基 金

国家“九五”、“十五”重点科技攻关计划

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

发生在煤岩、混凝土等多孔介质中的动力灾害现象主要有煤和瓦斯突出、冲击矿压、冒顶、滑坡、隧道及坝基失稳等。本书针对煤岩动力灾害现象,在大量实验室实验和现场实验的基础上,结合流变力学、物理化学和电磁动力学等多学科的理论研究,初步建立并比较系统地论述了煤岩动力灾害发生过程的流变机理和电磁辐射等能量辐射规律,揭示了煤岩等多孔介质在含不同孔隙流体条件下流变破坏过程与电磁辐射信息之间的关系,建立了煤岩力电耦合损伤力学模型,并利用该模型对受载煤岩样及矿山掘进巷道的力电耦合场进行了数值模拟;从实验和理论两方面分析了电磁辐射记忆效应规律;比较系统地探讨了煤岩破裂过程中电磁辐射产生的机理;初步探讨了外加电磁场对吸附气体的作用规律;建立并系统地论述了基于煤岩流变破坏电磁辐射理论的非接触监测和预测煤岩动力灾害的理论与技术,发明了监测装备;对所建立的煤岩破坏过程中电磁辐射监测的实验系统和信息处理技术及应用实例进行了介绍。

本书可供从事煤岩、混凝土动力灾害现象(煤与瓦斯突出、冲击矿压、滑坡、冒顶、隧道和坝基失稳、地震等)、含孔隙流体煤岩力学性态、岩土工程等领域的科技工作者、研究生、本科生参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤岩流变电磁动力学/何学秋等著. —北京:科学出版社,2003
ISBN 7-03-011660-7

I. 煤… II. 何… III. 煤岩—流变—电磁辐射—研究 N. P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 057167 号

责任编辑:童安齐 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:刘士平 / 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.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年10月第 一 版 开本:B5 720×1000

2003年10月第一次印刷 印张:30

印数:1—2 000 字数:578 000

定价:58.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

ELECTROMAGNETIC DYNAMICS OF COAL OR ROCK RHEOLOGY

By

HE Xueqiu

WANG Enyuan NIE Baisheng LIU Mingju ZHANG Li

The Project is sponsored by National Distinguished Youth Foundation (59925411), Key Project of National Natural Science Foundation (50134040), National Natural Science Foundation (59874028, 50074030, 50204010), National Ninth Five-year Key Science & Technology Project (96-223-01-04-03) and National Tenth Five-year Key Science & Technology Project (2001BA803B0408)

我们所能有的最好的经验是奥秘的经验。它是坚守在真正艺术和真正科学发源地上的基本感情。我只求满足于生命永恒的奥秘,满足于察觉现存世界的神奇结构,窥见它的一鳞半爪,并且以诚挚的努力去领悟在自然界中显示出来的那个理性的一部分,倘若真能如此,即使只领悟极小的一部分,我也就心满意足了。

——爱因斯坦

前 言

煤岩动力灾害现象是煤岩体等多孔介质在外力作用下发生的一种具有动力效应和灾害后果的现象。煤岩动力灾害在宏观上表现出多样性,其主要形式有地震、煤与瓦斯突出、冲击矿压、顶板塌陷、滑坡、坝基和隧道失稳等,涉及许多工程领域,但它们的共同本质是煤岩等多孔介质在外力作用下的流变破坏。因此,研究煤岩等多孔介质的破坏过程、破坏机理和破坏过程所伴随的物理现象,尤其是研究能够从宏观和细观两个层面真实反映破坏过程的可测量的能量辐射规律,如声发射、电磁辐射规律等,对于揭示这类灾害的机理和预测防治具有非常重要的意义。

作者从1987年开始专门从事煤岩等多孔介质动力灾害现象的研究,特别是其流变破坏规律和能量辐射规律的研究。1995年,作者在国家自然科学基金会等单位的资助下出版了《含瓦斯煤岩流变动力学》和《含瓦斯煤岩破坏电磁动力学》两本著作,初步揭示了由气-固-液三相介质组成的煤岩多孔介质系统的特殊灾害动力学性态及其伴随的能量辐射现象。煤岩等多孔介质的流变破坏电磁动力学是从一个全新的角度来研究和揭示煤岩等多孔介质动力灾害现象的,前期工作是非常令人兴奋的可行开端。在此后的时间里,我们又开展了大量系统的理论和实验研究工作。到目前为止,我们的研究团队在国家杰出青年科学基金(59925411)、国家自然科学基金重点项目(50134040)、国家自然科学基金项目(59874028、50074030、50204010)、教育部优秀跨世纪人才基金(1995)、国家“九五”、“十五”重点科技攻关项目(96-223-01-04-03、2001BA803B0408)、江苏省自然科学基金项目(BK2001075)、中国博士后科学基金(2002032120)、河南省杰出青年科学基金项目(0212001900)等项目的资助下,经过十几年坚持不懈的攻关研究,形成了比较系统的煤岩多孔介质流变破坏电磁动力学的理论、实验及应用体系。本书对此进行了比较详尽地论述,希望对从事这一领域研究的科技工作者能有所启示。

本书主要研究了煤岩多孔介质动力灾害的流变破坏过程及其伴随的电磁辐射现象,重点是流变机理、电磁辐射机理、规律以及电磁辐射监测技术及装备,同时介绍了外加电磁场对媒体瓦斯储运的作用规律,主要介绍在该研究领域取得的重要进展。

全书共分14章。第1章介绍了含瓦斯煤岩动力灾害和电磁辐射现象,并对煤岩动力灾害现象的电磁辐射预测技术进行了介绍。第2章分析了含瓦斯煤岩变形破裂的力学过程及动力灾害发生的流变机理,从宏观和微观两方面分析了煤岩受载变形破裂过程及瓦斯气体对该过程的影响以及含瓦斯煤岩动力灾害发生的流变

机理。第3章介绍了电磁辐射信号分析的数学基础和方法,包括小波分析理论、频谱分析理论、信号的统计分析理论、分形理论等,并简要叙述了电磁波辐射与传播的基本原理。第4章介绍了含瓦斯煤岩电磁辐射的实验系统及实验结果。第5章分析了含瓦斯煤岩的电磁辐射规律,运用信号分析的数学方法对电磁辐射信号规律与特征进行了分析。第6章对影响电磁辐射的主要因素进行了分析,包括煤岩混凝土电性参数、加载条件、水分、温度、煤岩组分等因素对电磁辐射的影响。第7章探讨了电磁辐射的机理。第8章和第9章建立了煤岩力电耦合的损伤力学模型,并用FLAC数值分析方法和力电耦合模型对受载煤岩样及矿山掘进巷道电磁辐射分布特征进行了模拟分析。第10章研究了流变电磁辐射的记忆效应规律及机理。第11章和第12章主要介绍了外加电磁场对煤体瓦斯储运(吸附、解吸、放散及渗流)的影响规律及作用机理。第13章和第14章介绍了电磁辐射技术在矿井煤岩动力灾害预测、隧道稳定性和工作面前方应力状态评价中的应用。

本书所提出的理论、技术和方法可以推广到其他相关的煤岩、混凝土介质中的动力灾害研究及应用领域。

作者衷心感谢周世宁院士、钱鸣高院士的支持和帮助,窦林名教授、刘贞堂副教授参与的部分研究工作,国家自然科学基金委员会、原煤炭部、国家安全生产监督管理局、科技部和教育部等对我们研究工作的大力支持,中国矿业大学、贵州工业大学、平顶山煤业集团、徐州矿业集团、新汶矿业集团等单位的大力支持,林海燕博士、撒占友博士、王云海博士、肖红飞博士、王先义博士、马尚权博士等参与的部分研究工作。在本书的编写过程中参阅并引用了大量的国内外有关专业文献,谨向文献作者表示感谢。

由于作者水平有限,加之有很多内容还需今后进一步地深入研究探索,书中疏漏谬误之处在所难免,敬请读者不吝指正。

目 录

前言

1 煤岩动力灾害与电磁辐射现象	1
1.1 煤岩动力灾害现象	1
1.2 矿山煤岩动力灾害预测技术	12
1.3 煤岩电磁辐射现象	16
1.4 煤岩动力灾害现象的电磁辐射预测预报技术	24
2 煤岩破坏的流变过程	28
2.1 煤岩变形破裂的微观机理	28
2.2 受载煤岩材料的变形破裂过程	31
2.3 孔隙气体对煤岩体的“蚀损”规律	35
2.4 含瓦斯煤变形及破裂过程的动态显微观测	43
2.5 煤岩破坏的流变过程	58
3 电磁辐射信号处理及分析基础	73
3.1 傅里叶变换与频谱分析	73
3.2 电磁辐射信号去噪的小波分析理论	75
3.3 信号相关分析的理论基础	87
3.4 信号的 R/S 分析理论	88
3.5 时间序列信号的分形特征	89
3.6 电磁波辐射与传播理论	91
4 煤岩电磁辐射实验研究	102
4.1 实验样品及基本参数测试	102
4.2 电磁辐射实验系统及实验方案	105
4.3 电磁辐射实验结果与初步分析	111
4.4 瓦斯气体对电磁辐射的影响	123
4.5 煤岩流变破坏过程的电磁辐射特征	135
5 煤岩电磁辐射规律	138
5.1 煤岩电磁辐射信号幅值特征	138
5.2 煤岩电磁辐射信号的频谱特征	141
5.3 煤岩电磁辐射的统计分析	155
5.4 煤岩电磁辐射的分形特征	158

6	电磁辐射的影响因素	160
6.1	电性参数对电磁辐射的影响	160
6.2	加载条件对电磁辐射的影响	167
6.3	水分对电磁辐射的影响	183
6.4	温度对电磁辐射的影响	188
6.5	煤岩组分和结构对电磁辐射的影响	189
7	煤岩体电磁辐射机理	191
7.1	煤岩体分离电荷机理	191
7.2	电磁辐射机理	200
7.3	孔隙气体对电磁辐射的影响机理	207
8	煤岩力电耦合的损伤力学模型	212
8.1	损伤力学基础	212
8.2	一维煤岩力电耦合的损伤力学模型	216
8.3	三维煤岩力电耦合的损伤力学模型	220
9	煤岩流变破坏力电耦合场模拟研究	229
9.1	FLAC 数值模拟方法	229
9.2	单轴压缩煤岩力电耦合的数值模拟	237
9.3	矿山掘进巷道煤岩力电耦合场数值模拟	256
10	煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应	294
10.1	煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应实验系统及方案	294
10.2	流变破坏电磁辐射记忆效应的实验结果	298
10.3	煤岩流变电磁辐射记忆效应的实质及机理	315
11	电磁场对煤体瓦斯储运的影响规律	332
11.1	引言	332
11.2	实验系统、煤样制备及实验方案	334
11.3	电磁场对煤体瓦斯吸附的影响规律	338
11.4	电磁场对煤体瓦斯解吸放散的影响规律	357
11.5	电磁场对煤体瓦斯渗流的影响规律	358
12	电磁场影响煤体瓦斯储运机理	361
12.1	电磁场影响煤体瓦斯吸附机理	361
12.2	瓦斯放散电磁作用机理	381
12.3	电磁场提高煤体瓦斯渗透性机理	384
12.4	断裂电磁辐射促进煤与瓦斯突出的作用机理	385
13	矿山煤岩动力灾害电磁辐射监测技术	389
13.1	煤岩动力灾害电磁辐射监测仪器	389

13.2	电磁辐射监测参数·····	391
13.3	流变电磁辐射预测煤岩动力灾害原理·····	394
13.4	煤与瓦斯突出的电磁辐射预测技术·····	398
13.5	冲击矿压的电磁辐射预测技术·····	407
13.6	注水过程的电磁辐射特征·····	421
14	电磁辐射监测技术在煤岩稳定性评价中的应用·····	424
14.1	隧道稳定性评价方法·····	424
14.2	隧道应力分布的电磁辐射评价技术·····	426
14.3	隧道稳定性的电磁辐射监测与分析·····	435
14.4	矿井工作面应力状态的电磁辐射监测技术·····	441
	参考文献·····	445

CONTENTS

Forward

1	Dynamical catastrophes and electromagnetic emission (abb. EME)	
	phenomenon of coal or rock	1
1.1	Dynamical catastrophes of coal or rock	1
1.2	Forecasting technology of dynamical catastrophes of coal or rock in mines	12
1.3	EME phenomenon of coal or rock	16
1.4	EME forecasting technology of dynamical catastrophes of coal or rock	24
2	Rheological process of coal or rock fracture	28
2.1	Micro-mechanism of coal or rock fracture	28
2.2	Deformation and fracture process of coal or rock	31
2.3	“Corrosion and damage” rules of porous gases on coal or rock body	35
2.4	Dynamic microscopic observation during the deformation and fracture of gassy coal	43
2.5	Rheological process of coal or rock fracture	58
3	Basic principles of EME signals processing	73
3.1	Fourier transform and spectrum analysis	73
3.2	Wavelet theory denosing EME signals	75
3.3	Theoretical foundation of signals correlative analysis	87
3.4	Rescale/Statistics analysis of signals	88
3.5	Fractal of time series signals	89
3.6	Emission and propagation theory of electromagnetic wave	91
4	Laboratory investigations of EME	102
4.1	Sampling and electronic parameters measure	102
4.2	Methodology and experimental system	105
4.3	Experimental results and pre-analyses of EME	111
4.4	Effects of gases on EME	123
4.5	EME features during the rheological process	135
5	EME rules of coal or rock	138
5.1	Intensity of EME signals	138
5.2	Spectrum of EME signals	141

5.3	Statistical analysis of EME signals	155
5.4	Fractal of EME signals	158
6	Affecting factors for EME	160
6.1	Electronic parameters of coal or rock	160
6.2	Load conditions	167
6.3	Wet and Water	183
6.4	Temperature	188
6.5	Compositions and structure of coal or rock	189
7	EME mechanism	191
7.1	Producing mechanism of separative electronic charges	191
7.2	EME mechanisms	200
7.3	Mechanism of gases affecting EME	207
8	Damage mechanics model under stress and electricity of coal or rock ...	212
8.1	Damage mechanics	212
8.2	One-dimension damage mechanics model under stress and electricity of coal or rock	216
8.3	Three-dimension damage mechanics model under stress and electricity of coal or rock	220
9	Numerical simulation of stress and electricity field of coal or rock	229
9.1	Numerical simulation method of FLAC	229
9.2	Numerical simulation of coal or rock under uniaxial compression	237
9.3	Numerical simulation of drivage in coal mine	256
10	EME memory effect of rheological fracture of coal or rock	294
10.1	Methodology and experimental system	294
10.2	Experimental results of EME memory effect	298
10.3	Mechanism of EME memory effect	315
11	Rules of electromagnetic field (abb. EMF) affecting gases storage and flow in coal	332
11.1	Introduction	332
11.2	Experimental system, sampling and methodology	334
11.3	Rules of EMF affecting gas adsorption in coal	338
11.4	Rules of EMF affecting gas diffusion in coal	357
11.5	Rules of EMF affecting gas permeation through coal	358
12	Mechanism of EMF affecting gases storage and flow in coal	361
12.1	Mechanism of EMF affecting gas adsorption in coal	361

12.2	Mechanism of EMF affecting gas diffusion in coal	381
12.3	Mechanism of EMF affecting gas permeation through coal	384
12.4	Mechanism of EME promoting coal and gas outburst	385
13	Monitoring technology of dynamical catastrophes of coal or rock in mines by EME	389
13.1	Equipments	389
13.2	Monitoring parameters	391
13.3	Principles	394
13.4	Application in coal and gas outburst forecasting	398
13.5	Application in rock outburst forecasting	407
13.6	EME characteristic during the process of water infusion in coal seam	421
14	EME technological applications in the coal or rock stability	424
14.1	Introduction	424
14.2	Evaluation of tunnel stress distribution	426
14.3	Assessment of tunnel stability	435
14.4	Assessment of stress state in working faces	441
References		445

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。煤岩动力灾害现象给人类带来了巨大的灾难,造成了无法估量的损失。本章对地震、火山喷发、山崩、滑坡等动力灾害现象进行了简略介绍,对我们的主要研究对象——矿山含瓦斯煤岩动力灾害现象的机理、预测方法等进行了详细论述,并对煤岩受载电磁辐射现象和煤岩动力灾害现象的电磁辐射预测技术研究现状进行了评述。

1.1 煤岩动力灾害现象

1. 煤岩动力灾害现象

煤岩动力灾害现象是煤岩体在外界应力作用下在短时间内发生的一种具有动力效应和灾害后果的现象。煤岩动力灾害现象范围很广,涉及地震、火山喷发、山体或边坡滑坡、桥梁垮塌、隧道失稳、煤与瓦斯突出、冲击矿压、顶板塌陷等。煤岩动力灾害现象的危害是巨大的,除带来大量的人员伤亡之外,还给国民经济造成巨大的损失。

(1) 地震^[1~3]

地震灾害是一种全球性的、具有瞬时突发性的自然现象,是岩石圈的某一有限区域内能量的突然释放所引起的震动。世界最早的地震文字记载是中国史书《竹书纪年》中“泰山震”,它记录了公元前 1830 年发生的一次地震。地震灾害自古以来就是威胁人类生存和发展的主要自然灾害之一,它包括由地震引起的各种灾害以及由地震诱发的各种次生灾害,如强烈地震发生时建筑设施倒塌,同时会引起山崩、滑坡、地基液化、地裂缝、喷砂、冒水等现象,造成人员伤亡和经济损失。而且破坏性地震还能引发火灾、水灾、海啸、泥石流和城市管道、交通、通信等生命线工程破坏、计算机网络瘫痪等次生灾害。

地震的频繁发生给人类生命和财产造成了极大损失。美国地质调查局地震信息中心最近在因特网上公布了 1900 年以来全球 10 次最大的地震,见表 1.1。根据美国地质调查局国家地震信息中心(USGS NEIC)的互联网数据,2001 年全世界因地震死亡人数达 2.1 万多人,明显高于往年,图 1.1 是 2001 年全世界灾害性地震的震中分布。2001 年死亡人数最多的一次地震是 1 月 26 日发生在印度古吉拉特邦震级为里氏 7.7 级的大地震,导致两万人死亡;最大的一次地震是 6 月 23 日

发生在秘鲁海岸外的里氏 8.4 级地震,导致 75 人死亡。萨尔瓦多于 1 月 13 日和 2 月 13 日共经历了两次地震。美国西雅图-塔科马地区于 2 月 28 日发生里氏 6.8 级地震,有 400 人受伤,造成经济损失达 15 亿美元。

表 1.1 1900 年以来全球 10 大地震

序号	发震时间	发震地点	震中经纬度		能量/MW
			$\varphi/(^{\circ})$	$\lambda/(^{\circ})$	
01	1960-05-22	智利	-38.2	-72.6	9.5
02	1964-03-28	阿拉斯加	61.1	-147.5	9.2
03	1952-11-04	堪察加半岛	52.75	159.5	9.0
04	1906-01-31	厄瓜多尔	1.0	-81.5	8.8
05	1957-03-09	阿拉斯加	51.3	-175.8	8.8
06	1958-11-06	南千岛群岛	44.4	148.6	8.7
07	1965-02-04	阿留申群岛	51.3	178.6	8.7
08	1950-08-15	中国察隅	28.5	96.5	8.6
09	1922-11-11	智利	-28.5	-71.0	8.5
10	1938-02-01	印度尼西亚	-5.25	130.5	8.5

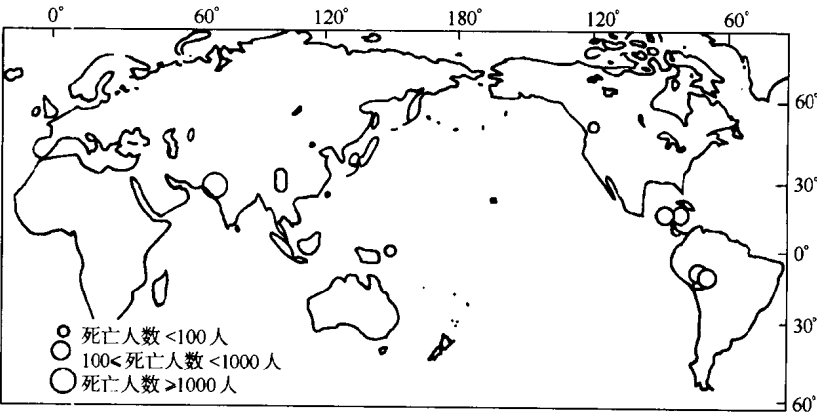


图 1.1 2001 年全世界灾害性地震的震中分布

我国地处欧亚地震带和环太平洋地震带两大地震带之间,是一个地震活动频度高、强度大、震源浅、分布广的国家^[1]。1900 年以来,中国死于地震的人数达 55 万之多,占全球地震死亡人数的 53%;20 世纪全球两次造成死亡 20 万人以上的大地震都发生在我国,一次是 1920 年宁夏海原 8.5 级地震,死亡 23.4 万人;另一次是 1976 年唐山 7.8 级地震,死亡 24.2 万人。1949 年以来,100 多次破坏性地震袭击了 22 个省(自治区、直辖市),其中涉及东部地区 14 个省份,造成 27 万余人丧生,占全国各类灾害死亡人数的 54%,地震成灾面积达 30 多万平方公里,房屋倒

塌达 700 万间。1949 年至 1999 年损失在 1 亿元人民币的地震^[2]见表 1.2。

表 1.2 1949 年至 1999 年造成 1 亿元以上损失的地震

序号	时间	地点	震级	直接经济损失/万元	序号	时间	地点	震级	直接经济损失/万元
1	1966-03-22	河北宁晋	7.2	210 300	17	1989-10-19	山西大同—阳高	6.1	37 299
2	1969-07-18	山东渤海	7.4	10 730	18	1989-11-20	四川重庆	5.4	15 315
3	1969-07-26	广东阳江	6.4	10 174	19	1990-02-10	江苏常熟—太仓	5.1	13 663
4	1970-01-05	云南通海	7.7	64 380	20	1990-04-26	青海共和—兴海	6.9	27 427
5	1974-05-11	云南部通	7.1	19 287	21	1990-10-20	甘肃景泰—古浪	6.2	15 000
6	1975-02-04	辽宁海城	7.3	173 259	22	1994-09-16	闽东南台湾海峡	7.3	12 712
7	1976-05-29	云南龙陵	7.4	29 862	23	1995-07-12	中缅边界	7.2	11 987
8	1976-07-28	河北唐山	7.8	2 831 558	24	1995-10-24	云南武定	6.5	45 496
9	1979-07-09	江苏溧阳	6.0	50 346	25	1996-02-03	云南丽江	6.9	137 450
10	1983-11-07	山东菏泽	5.9	55 146	26	1996-03-19	新疆伽师—阿图	6.8	21 277
11	1985-03-29	四川自贡	5.0	17 183	27	1996-05-03	内蒙古包头	6.4	82 470
12	1985-08-23	新疆乌恰	7.4	16 555	28	1997-01-21	新疆伽师	6.2	20 844
13	1986-08-16	黑龙江德都	5.4	24 330	29	1997-01-21	新疆伽师	6.6	25 544
14	1988-11-06	云南澜沧	7.6	330 825	30	1998-01-10	河北张北	6.3	45 831
15	1989-04-16	四川巴塘	6.7	41 904	31	1998-11-19	云南宁蒗	6.1	28 071
16	1989-09-22	四川小金	6.6	30 487	32	1999-11-01	山西阳高	5.6	25 340

另外,中国的地震活动的时间分布也是不均匀的,呈现出活跃与平静相间的规律性。20 世纪以来,中国及邻国地震活动已经历了 4 个地震活跃幕,它们的时间分布分别是:1897~1912 年、1920~1934 年、1944~1957 年、1966~1976 年。目前,中国正处于 1985 年开始的活跃幕的中期^[3],这也是我国大陆地区地震活动的第 5 个高潮期,根据多数地震专家的研究判定,其间可能发生多次 7 级,甚至更大的地震,强震的主体活动地区将在我国西部。

地震是最不可预知,最具破坏性的自然动力现象,全世界每年有 100 万次的地震发生。地震的频繁发生以及造成的巨大后果给地震预测提出了严峻的研究课题,但是从世界范围说,目前地震预报仍处于探索阶段,尚未完全掌握地震孕育发展的规律,我们的预报主要是根据多年积累的观测资料和震例,进行经验性预报。因此,不可避免地带有很大的局限性。我国所进行的地震综合预报是在对各单项地震前兆及异常机理研究的基础上,运用现有震例的经验和对孕震过程的理论认识,通过对各种资料的综合分析进行判断并提出震情分析意见的预报方法。20 世纪 70 年代以来,地震孕育过程和前兆机理的研究有了很大进展。美国和前苏联曾提出过膨胀-扩张模式和雪崩-不稳定裂隙形成模式,我国也提出了震源组合模式和膨胀蠕

动模式等。这些理论在一定程度上对地震孕育和前兆成因机理进行了综合解释,对地震综合预报方法的发展、提高,以及进一步开展物理性预报是有益的探索。但地震预报实践越来越揭示了孕震过程和地震前兆的复杂性,各种理论尚不能圆满地解释各种前兆现象的特征。显然,地震孕育过程和前兆机理远比人们预想的要复杂。我国目前的地震预报水平和状况大体可以做如下概括:对地震孕育发生原理、规律有所了解,但远没有完全认识;在一定条件下能够对某些类型的地震做出一定程度的预报,但还不能预报所有的地震;以年度为度量的中期预报已有一定的可信度,但以天为度量的短临预报的成功还只限于极少数特殊类型的地震。

尽管如此,地震综合预报已在实践中积累了一定的经验,从经验性预报向物理性预报方法推进已成为科学探索的目标。当然,实现这一目标还须经过长期的艰苦探索。

(2) 火山喷发^[4,5]

地壳之下 100 至 150km 处,有一个“液态区”,区内存在着高温、高压下含气体挥发份的熔融状硅酸盐物质,即岩浆。它一旦从地壳薄弱的地段冲出地表,就形成了火山,所以火山是地球内部炽热的熔融状态的岩浆等物冲出地表面所形成的,火山爆发是地球最有威力的自然现象之一,自然界最具爆发性,威力最强的火山,释放出的能量比核子武器大数千倍,它们在地球诞生时便开始塑造地球表面,是炽热地心的窗口。火山活动能喷出多种物质,在喷出的固体物质中,一般有被爆破碎了的岩块、碎屑和火山灰等;在喷出的液体物质中,一般有熔岩流、水、各种水溶液以及碎屑物和火山灰混合的泥流等;在喷出的气体物质中,一般有水蒸气和碳、氢、氮、氟、硫等的氧化物。除此之外,在火山活动中,还常喷射出可见或不可见的光、电、磁、声和放射性物质等,这些物质有时能致人于死地,或使电、仪表等失灵,使飞机、轮船等失事。在过去的 500 年里,约有几百万人死于火山之灾。地球上的火山每年平均有 60 座喷发,每年大约有 3.6 亿的人口受到火山威胁。20 世纪已经有 10 多万人死于火山爆发,财产损失约计 200 亿美元。人类历史上伤亡最大的一次火山喷发,发生于公元前 1470 年欧洲爱琴海的希腊桑托林岛,该火山喷发时喷出的物质达 625 亿 m^3 ,扬出 50m 高的巨浪席卷了地中海岛屿和海岸,这次灾难将一个叫米诺斯的人类文明毁灭了。除地球外,月球、火星、金星、木星上均有火山活动。火山活动和地震是一对孪生兄弟,1999 年 8 月至 10 月是大地震频发的时期,火山活动也激增,全球发生火山爆发 17 起。

火山出现的历史很悠久。有些火山在人类有史以前就喷发过,但现在已不再活动,这样的火山称之为“死火山”;不过也有的“死火山”随着地壳的变动会突然喷发,人们称之为“休眠火山”;人类有史以来,时有喷发的火山,称为“活火山”。世界上有很多火山,已知的“死火山”约有 2000 座;大约共有 850 座活火山,其中有 100 余座藏于海底。在过去 400 多年里,爆发过的活火山就有 500 多座。火山的数量虽多,但它的分布却是很有规律的,它们都出现在地壳中的断裂带。人们把火山分为