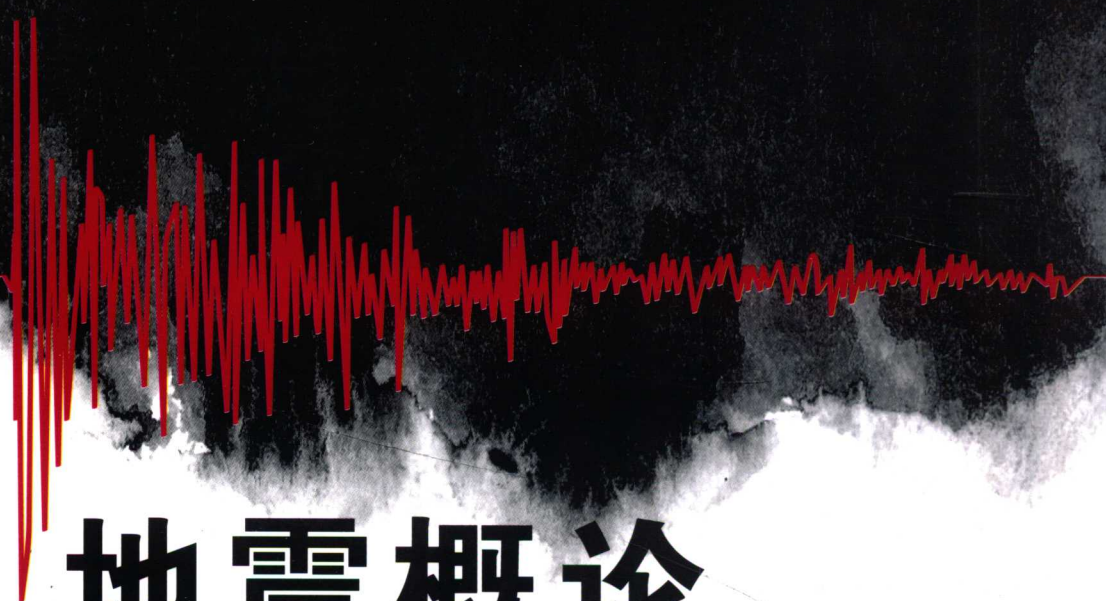


防灾减灾系列教材



地震概论

赵晓燕 于仁宝 主编

清华大学出版社

防灾减灾系列教材

地震概论

赵晓燕 于仁宝 主编

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分7章,第1章介绍历史上发生的灾害严重、对人类社会发展和地震学发展产生重大影响的地震事件,使读者从宏观角度对地震成因、地震能量、地震灾害特点、地震类型、地震学发展过程有所认识;第2章介绍地震成因、地壳板块构造、活动断层与地震、地震分布;第3章介绍地震烈度、地震烈度区划、地震安全性评价等防震减灾基本知识与技术;第4章介绍地震波类型、序列、传播规律与特点;第5章介绍地震基本参数及确定参数方法;第6章介绍地震观测系统、地震监测基本原理与方法、地震预测原理与思路;第7章介绍防震减灾法规、地震应急、地震自救与互救、地震预警等方面的知识与技术。

本书可作为大学生防震减灾教育教材以及地震科普宣传读物。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

地震概论/赵晓燕,于仁宝主编.--北京:清华大学出版社,2013.2

(防灾减灾系列教材)

ISBN 978-7-302-30870-6

I. ①地… II. ①赵… ②于… III. ①地震—教材 IV. ①P315

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 291711 号

责任编辑:石磊 陈明

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm

印 张:12

字 数:260千字

版 次:2013年2月第1版

印 次:2013年2月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:24.00元

“防灾减灾系列教材”编审委员会

主 任：薄景山

副主任：刘春平 迟宝明

委 员：（按姓氏笔画排序）

万永革	马胜利	丰继林	王小青	王建富	王慧彦
田勤俭	申旭辉	石 峰	任靖卫	刘耀伟	孙柏涛
吴忠良	张培震	李小军	李山有	李巨文	李 忠
杨学山	杨建思	沈 军	肖专文	林均岐	洪炳星
胡顺田	徐锡伟	袁一凡	袁晓铭	贾作璋	郭子辉
郭文栋	郭 迅	郭纯生	高尔根	高孟潭	梁瑞莲
景力平	滕云田				

丛 书 序

防灾减灾是亘古以来的事业。有了人类就有了防灾减灾,也就有了人类对防灾减灾的认识。人类社会的历史就是一部人与自然不断协调、适应和斗争的历史。防灾减灾又是面向未来的事业,随着我国经济社会的高速发展,我们需要更多优秀的专业人才和新生力量,为亿万人民的防灾减灾工作作出更大贡献。因此,大力发展防灾减灾教育,是发展防灾减灾事业的重要的基础性工作。

防灾科技学院是我国唯一的以防灾减灾专业人才培养为主的高等学校,拥有勘查技术与工程和地球物理学两个国家级特色专业建设点。多年来,学院立足行业、面向社会,以防灾减灾类特色专业群建设为核心,在城市防震减灾规划编制、地震前兆观测数据处理、城市震害预测及应急处理等领域取得了一系列科研成果,在汶川地震、玉树地震等国内重大地震灾害的应急处理工作中作出了应有的贡献。学院坚持科学的办学方针,在整个教学体系中既注重专业技术知识的讲授,又注重社会责任方面的教育和培养,为国家培养了一大批优秀的防灾减灾专业人才,在行业职业培训、应急科普等领域开展了大量卓有成效的工作。

为系统总结学院在重点学科建设和人才培养方面所取得的科研和教学成果,进一步深化教学改革,全面提高教学质量和科研水平,服务我国防灾减灾事业,我们组织编写了这套“防灾减灾系列教材”。系列教材覆盖了防灾减灾类特色专业群的主要专业基础课和专业课程,反映了相关领域的最新科研成果,注重理论联系实际,强调可读性和教学适用性,力求实现系统性、前沿性、实践性和可读性的有机结合。系列教材的编委和作者团队既有学院的教师,也有来自中国地震局相关科研院所的专家。他们均为相关领域的骨干专家和教师,具有较深厚的科研积累、丰富的教学经验和实际防灾减灾工作经验,保证了教材编写的质量和水平。希望本套教材的出版和发行能够为我国防灾减灾领域的专业教育、职业培训和科学普及工作发挥积极的作用。

编写防灾减灾系列教材是一项新的尝试,衷心希望业内专家学者和全社会关心防灾减灾事业的读者对本系列教材的编写工作提出有益的建议和意见,以便我们不断改进完善,逐步将其建设成为一套精品教材。清华大学出版社对本套系列教材的编写给予了大力支持,在此表示衷心的感谢。

本书编委会

2012年10月

地震(earthquake)又称地动、地振动,是地壳快速释放能量过程中造成振动,并会产生地震波的一种自然现象。全球每年发生地震约 550 万次。地震常常造成严重的人员伤亡,能引起火灾、水灾、有毒气体泄漏、细菌及放射性物质扩散,还可能造成海啸、滑坡、崩塌、地裂缝等次生灾害。地震灾害是最严重的、造成死亡人数最多的自然灾害,被称为群灾之首。近年来,随着大地震的频繁发生,地震灾害损失不断增加,重大地震灾害乃至巨灾仍时有发生,我国面临的地震灾害形势严峻复杂,灾害风险进一步加剧。

中国是全球地震灾害最为严重的国家之一,其位于世界两大地震带——环太平洋地震带与欧亚地震带之间,受太平洋板块及印度洋板块的推挤,地震断裂带充分发育。20 世纪至今,中国共发生 6 级以上地震 800 多次,遍布除贵州、浙江两省和香港特别行政区以外所有的省、自治区、直辖市;死于地震的人数达 66 万之多,占全球地震死亡人数的 40%。中国地震活动频度高、强度大、震源浅、分布广,是一个震灾严重的国家。随着城市化进程和城市现代化的快速发展,地震的致灾损失日益加重,且呈非线性加速增长趋势,城市地震灾害问题日益突出,由此引发的社会灾害亦不容忽视,防震减灾工作任重道远。

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分 04 秒,四川省汶川地区发生了 8.0 级特大地震,造成了巨大的人员伤亡和严重的经济损失。在对汶川大地震进行多方面的经验和教训总结时,有关专家学者提出:(1)需要尽快在我国义务教育体系中,增加对地震及其他灾害的危机意识教育,并增设相关课程;(2)需要在城市所有社区及广大乡村,建立年度的、不同规模的防灾常规演习制度,并对社会的每个公民进行灾后自救互救知识与技术的培训。

2009 年 3 月 2 日,国家减灾委、民政部发布消息,经国务院批准,自 2009 年起,每年 5 月 12 日为全国“防灾减灾日”。通过设立“防灾减灾日”,定期举办全国性的防灾减灾宣传教育活动,有利于进一步唤起社会各界对防灾减灾工作的高度关注,增强全社会防灾减灾意识,普及推广全民防灾减灾知识和避灾自救技能,提高全民的综合减灾能力,最大限度地减轻自然灾害的损失。

我国防震减灾法第四十四条明确规定:“县级人民政府及其有关部门和乡、镇人民政府、城市街道办事处等基层组织,应当组织开展地震应急知识的宣传普及活动和必要的地震应急救援演练,提高公民在地震灾害中自救互救的能力。机关、团体、企业、事业等单位,应当按照所在地人民政府的要求,结合各自实际情况,加强对本单位人员的地震应急知识宣传

教育,开展地震应急救援演练。”

从汶川地震中学地理老师平时演练地震避险,因而在地震到来时率学生成功逃生,到印度洋海啸小女孩从平时学的科普知识中发现了海啸的前兆成功躲避并预警他人,这些事例都表明了普及地震知识的重要性和必要性。防灾科技学院作为国家仅有的防灾减灾类高等院校,义不容辞地肩负着普及地震科学知识,加强对社会公众的地震危机意识教育,培训防震避震技能,提高防灾减灾能力的社会责任。通过开设院级必修课——地震概论,可以使学生了解地震的成因、地震参数及地震分布、地震监测预测、地震防御、地震应急救援等防震减灾知识与技术,树立预防为主、监测预报的思想观念;提高学生自救互救能力和防震减灾的意识,懂得居安思危。防灾科技学院的全体学生通过本课程的学习,可以将地震知识辐射推广至全社会,为我国的防震减灾事业作出贡献。

本书共分7章,第1章介绍历史上发生的对人类社会发展和地震学发展产生重大影响的地震事件,使读者从宏观角度对地震成因、地震能量、地震灾害特点、地震类型、地震学发展过程有所了解,为后续章节的学习打下基础;第2章介绍地震成因、地壳板块构造、活动断层与地震、地震分布,使读者对地震孕育发生的过程有较深入的理解,并能对地震现象、活动断层等地质问题进行科学的解释;第3章介绍地震烈度、地震烈度区划、地震安全性评价等防震减灾基本知识与技术,使读者了解我国地震形势与地震风险,掌握一些建筑物及生命线工程的抗震技术与要求,提高防震减灾意识;第4章介绍地震波类型、序列、传播规律与特点,使读者了解地震波传播理论知识及在研究地球结构、地球物理勘探中的应用;第5章从微观角度介绍地震基本参数及确定参数方法,使读者对地震事件有更深入的理解;第6章介绍地震观测系统、地震监测基本原理与方法、地震预测原理与思路,使读者了解地震监测预测技术及现状;第7章介绍防震减灾法规,地震应急,地震自救与互救,地震预警等方面的知识与技术,以提高读者地震应急与救护能力;附录部分给出了《中华人民共和国防震减灾法》(2008.12.27)、《破坏性地震应急条例》(1995.2.11)等内容供读者查阅。

全书内容丰富,涵盖了地震监测预报、震灾预防、应急救援的防震减灾三大工作体系方面的知识,较为系统地介绍了防震减灾的基本知识;在案例的选取上尽量用新的资料与数据,例如以汶川地震救援作为案例,介绍地震应急、救助、灾民安置,以“3·11”日本大地震为例,介绍核辐射次生灾害问题;在对地震科学问题作出解释时,通过宏观地震现象描述与分析,逐步深入到微观地震研究,对地震科学问题进行较深入理解;针对普通群众对地震关注的热点和焦点,用科学的态度和理性的思维来分析人们对地震的疑惑;对理论知识的介绍,尽量避免复杂公式推导,力求做到深入浅出、图文并茂,通俗易懂。

本书是在“编写—试用—征求意见—修改”的基础上完成的,适用于非地球物理学专业学生使用,课时为32学时。第1章由路鹏教授编写,第2章由赵晓燕副教授编写,第3章由于仁宝与武巴特尔编写,第4章由赵晓燕副教授及李迎秋编写,第5章由盛书中编写,第6章和第7章由熊仲华教授编写。赵晓燕、于仁宝负责对全书文字、图表进行审阅和修改。

本书除作为非地球物理专业学生的地震概论课程教材之外,也可作为地震知识的科普

读本和非专业人员的地震专业知识学习资料。

在本书的编写过程中,得到了有关专家和教师的支持,薄景山教授在百忙中抽出时间审阅了编写大纲,顾谨萍研究员、李世愚研究员对全部书稿进行了细致的审阅,孟晓春教授、田启文教授、李德伦教授审阅了部分章节,并提出宝贵意见,在此表示深切的谢意。

由于编写时间紧、涉及内容较多,难免存在疏漏之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2012 年 5 月

第 0 章 绪言	1
0.1 地震灾害研究	2
0.2 地震学的应用	3
0.3 地震学研究进展	4
第 1 章 地震对人类社会的重大影响	6
1.1 华县地震——有历史记载伤亡之最	7
1.2 三河、平谷地震——推动封建统治者革除弊政	8
1.3 邢台地震——揭开中国地震监测预报序幕	9
1.4 海城地震——世界上唯一成功准确预报的主震型地震	11
1.5 唐山地震——20 世纪让人刻骨铭心的地震劫难	14
1.5.1 历史将永远铭记的这一个时刻	14
1.5.2 灾后重建见真情	16
1.5.3 地震预报是世界科学难题,经验性预报没有普遍的适用意义	17
1.5.4 震后思考——抗震设防是关键	18
1.6 南黄海地震——稳定社会的快速、准确的震后地震趋势预报	19
1.7 巴楚—伽师地震——启动农村民居地震安全工程	20
1.8 江西九江地震——少震、弱震区仍可能发生破坏性地震	21
1.8.1 震级不高但震害不小	21
1.8.2 此次地震再次提醒人们应重视规划选址与抗震	22
1.8.3 防震减灾宣传教育	22
1.8.4 必须重视农村的抗震设防	23
1.9 汶川 8.0 级大地震——共和国为平民的生命哀悼	24
1.9.1 悲情巴蜀	24
1.9.2 震后思考	26
1.10 美国旧金山地震——促进地震研究发展和地震安全性评价立法	27

1.11 日本关东地震——震后次生灾害远远大于主震灾害	29
1.12 智利地震——引发跨太平洋海啸	30
1.13 印尼大地震——启发人们健全防灾预警系统	30
1.14 东日本大地震——敲响世界“核”警钟的大地震	32
1.14.1 大地震引发海啸	33
1.14.2 地震的破坏以及对日本领土的影响	33
1.14.3 重大核泄漏事故	34
1.14.4 “核辐射”恐慌与防护	34
习题 1	36
第 2 章 地震的成因与地震活动特征	37
2.1 古人对地震的认识	37
2.2 地震成因	38
2.3 地震类型	41
2.4 断层运动与地震	43
2.4.1 断层	43
2.4.2 活断层与地震的关系	45
2.5 板块构造学说	46
2.6 世界地震活动分布	50
2.6.1 板块构造与地震活动	50
2.6.2 全球地震活动	51
2.7 中国地震活动特征	53
习题 2	56
第 3 章 地震烈度与抗震设防	59
3.1 地震烈度及地震烈度表	59
3.1.1 地震烈度	59
3.1.2 评定地震烈度大小的宏观指标	60
3.1.3 中国地震烈度表	61
3.1.4 地震烈度影响因素	65
3.1.5 地震烈度分布图	67
3.1.6 地震烈度异常区	69
3.2 基本烈度与地震危险性区划	70
3.2.1 基本烈度	70
3.2.2 《中国地震动参数区划图》	71

3.2.3 抗震设防和防震减灾	71
3.2.4 抗震设防目标和分类	72
3.2.5 抗震设防烈度	74
习题 3	76
第 4 章 地震波的传播	78
4.1 地震波	79
4.1.1 地震波的组成	79
4.1.2 P 波和 S 波的速度	81
4.2 地震波的传播	83
4.2.1 地震波在分界面上的传播	83
4.2.2 地震波在地球内部的传播	84
4.2.3 地震走时	85
4.3 地震波的序列	87
4.4 地震波的应用	88
4.4.1 地震波是打开地心之门的金钥匙	88
4.4.2 地震波是一盏照亮地球内部的明灯	89
4.4.3 地震波的其他应用	91
习题 4	92
第 5 章 地震参数及地震序列	94
5.1 地震基本参数	96
5.1.1 发震时刻、震源位置参数的测定	97
5.1.2 地震震级	100
5.1.3 地震震级与地震烈度的区别与联系	102
5.2 地震能量	102
5.2.1 能量的积累和释放	103
5.2.2 震级和能量的关系	103
5.3 地震序列	105
5.3.1 地震活动期间地震序列的结构	105
5.3.2 余震预测	107
习题 5	108
第 6 章 地震监测预报	110
6.1 中国地震监测预报的历史回顾	111

6.2	地震前兆现象	114
6.2.1	宏观前兆	115
6.2.2	微观前兆	119
6.3	地震监测方法	121
6.4	地震预测及其工作程序	126
6.4.1	地震预测	126
6.4.2	地震预测的工作程序与内容	128
6.4.3	地震预测现状	129
习题 6		132
第 7 章	防震减灾	133
7.1	防震减灾法律法规	133
7.1.1	防震减灾工作	133
7.1.2	防震减灾法律法规体系	135
7.1.3	《防震减灾法》(2008. 12. 27)	137
7.1.4	《防震减灾法》在政府履行社会管理职能中的作用	137
7.1.5	地震谣言	138
7.2	防震减灾规划	141
7.2.1	防震减灾规划的属性及其法定效力	141
7.2.2	防震减灾规划的宗旨	142
7.2.3	防震减灾规划的编制、批准和组织实施	142
7.2.4	防震减灾规划的编制原则和依据	142
7.2.5	防震减灾规划的内容	142
7.2.6	防震减灾规划编制的民主程序	143
7.2.7	防震减灾规划的公布和修改	143
7.3	地震预警	144
7.3.1	什么是地震预警	144
7.3.2	地震预警技术(系统)	145
7.3.3	中国地震预警现状	146
7.4	地震应急救援	148
7.4.1	震前应急准备	148
7.4.2	震时应急避险	152
7.4.3	震后应急救援	152
7.4.4	地震的自救与互救	153
7.5	震后安置重建	154

7.5.1 震后安置重建的工作重点·····	154
7.5.2 震后安置重建的基本原则·····	155
7.5.3 过渡性安置的方式·····	155
7.5.4 震后安置重建工作中的职责·····	155
7.5.5 震后安置重建应注意的几个问题·····	156
习题7·····	157
附录 A 《中华人民共和国防震减灾法》(2008. 12. 27)·····	159
附录 B 《破坏性地震应急条例》(1995. 2. 11)·····	172
参考文献·····	177

第 0 章

绪 言

地震是地壳运动的一种形式,一般指地壳的天然震动,同台风、暴雨、洪水、雷电等一样是一种普通的自然现象。全球每年约发生 500 万次地震,其中 99% 以上的地震人感觉不到,而在人感觉到的将近 1 万次地震中,仅有 100 次左右造成灾害,其中 7 级以上有可能造成巨大灾害的地震约十几次。但是,地震灾害造成人员伤亡和经济损失特别严重。据统计,地震灾害造成的死亡人数占有自然灾害死亡人数的 54%,所以说地震灾害是群灾之首。由于中国所处的地理位置特殊,地震灾害具有频度高、强度大、分布广、震源浅、灾害重的特点。

自从有了地震灾害,人类就没有停止与地震灾害的斗争。在科学不发达的过去,人们对地震发生的原因,常常借助于神灵的力量来解释。随着科学的发展,人们对地震的认识逐渐从神话中走出。地中海及周边国家的地震活动很高,那里的人们首次尝试对地震作出自然解释,开始用地震的物理原理取代民间传说和神话,其代表人物是古希腊科学家萨勒斯(公元前 580 年)。他认为:地球大陆是漂在海洋上的,水的运动造成了地震。随后科学家进一步认为是岩石圈的运动造成了地震,或火山爆发引起了地震。

20 世纪伊始,科学家们开始深入研究地震波,从而为地震科学及整个地球科学掀开了新的一页。这期间相继提出的比较有影响的假说有三:一是 1911 年美国学者里德提出地球内部不断积累的应变能超过岩石强度时产生断层,断层形成后,岩石弹性回跳,恢复原来状态,于是把积累的能量突然释放出来,引起地震,这是所谓的“弹性回跳说”;二是 1955 年日本学者松泽武雄提出地下岩石导热不均,部分熔融而体积膨胀,挤压围岩,导致围岩破裂产生地震,这是所谓的“岩浆冲击说”;三是美国学者布里奇曼提出地下物质在一定临界温度和压力下,从一种结晶状态转化为另一种结晶状态,体积突然变化而发生地震的“相变说”。虽然地震之谜迄今没有完全解开,但随着物理学、化学、古生物学、地质学、数学和天文

学等多学科的交叉渗透,深入发展,地震研究取得了长足的进步,逐渐形成了一门独立学科——地震学。

0.1 地震灾害研究

人类对地震灾害的研究始于对它的恐惧,一般通过以下几个方面进行。

1. 地震调查

直接对地震区域各种地震现象进行调查、分析、研究和评估。这是了解掌握地震发生全过程必不可少的重要环节,特别是对震中及极震区的调查。调查是综合性的,目的包括判断地震的性质、成因,防震,抗震以及地震预测等。

2. 地震区划

按一定标准划出各个地震活动带的活动情况和危险程度。地震区划方法各异、通常以地震的地理分布、次数和强度为依据,即以统计的方法划分地震带;还可以用地震地质的方法,也就是根据地震地质条件结合统计结果,进行地震的地区划分;也有根据地震能量和频度分布情况来划分的。地震区划作为建筑工程抗震设防的依据或要求,是国家经济建设和国土利用规划不可缺少的基础资料。

3. 地震预防

专门研究地震对建筑物,人造结构物的影响和破坏规律。为了寻求最科学最合理的抗震设计,在地震发生时不至于受到严重破坏,从而需要研究地震作用条件下的结构动力学及结构材料力学问题,同时研究场地地质、土壤条件,对建筑场地进行安全性评价。

4. 地震预测

地震学研究的一个极为重要的目标就是尽可能准确地预测地震。为地震预报提供依据的方法和手段很多,有的是寻找与地震内在因素有关的现象和数据,如大地形变、地应力、能量积累、断层移动、大地构造因素等;有的是寻找与地震发生的外部因素有关的现象和数据,如气象条件、天文情况等;有的则是依据地震前的许多前兆现象来预报。

5. 地震物理研究

地震的发生过程基本上是一种物理过程,可以作为一种物理现象来研究,有以下几个方面:

(1) 地震波理论

研究地震波的传播途径和规律以及能量的传播过程。

(2) 地震机制

研究地震的成因、震源附近地区应力和应变情况以及地震发生的力学过程。

(3) 地震过程的固体物理学

由地震发生过程中得到的全球性的各种数据,推断地球内部物质的物理性质,如温度、压力、密度、刚性、弹性模量、电磁性质等随深度的变化规律,以及在特殊条件下地球深处高

温高压下固体介质的各种特性和变化规律。

(4) 地震信息

地球的地壳、大洋、地壳内的地幔、地核都能传递地震信息,研究地震信息在地球本身传递的规律,有助于了解地球内部及地壳的构造。

6. 地震控制

用各种方法,改变地震发生的地点,改变发震的时间,改变地震释放能量的过程,化大为小,化整为零,减少地震的破坏和损失。这还是地震学研究的一个相当遥远的目标。

0.2 地震学的应用

地震有可怕的一面,也有可利用的一面。科学家用地震波资料研究地球内部结构,用地震波探测地下矿产资源,并形成了一门应用科学——地震勘探;地震学者还在核爆监测及维护世界和平中作出了重要贡献。

地震波由震源发出,可以穿过地球的任何深度而又返回地面,从而带来地球内部的信息,特别是地球内部各个深度的地震波传播速度信息。而这个速度与该处介质的密度和弹性有关,所以地震观测是研究地球内部结构最基本的方法。地震观测内容包括地震波的波形变化和到达时间,以及大地震时地球自由振荡的频谱。根据观测结果可以独立地计算地球内部的结构。同其他的地球物理数据配合时,还可以确定地球内部组成的物理性质和物理状态。

地震勘探技术的基本原理是利用地震波在不同岩层分界面上所产生的反射、折射或衍射来确定这些界面的几何关系,从而寻找地下的地质构造,特别是储油构造。由于所用的震源是人工控制的,因而对地震波传播的时间观测可以达到很高的精度。地震勘探技术是石油勘探中必不可少的技术手段,其发展速度很快,现在还利用地震波在油、气中传播的特点,向直接寻找油、气田方向迈进。

地震波还可以用做传递信息的工具。第二次世界大战期间,曾试图利用地震波追踪海上风暴,利用接收火炮射击时地面的振动波来确定火炮阵地的精确位置。在现代,唯一有效的监视地下核爆炸的方法就是侦察和辨别核爆炸所产生的地震波。在这个课题上,苏联、美国和中国等都做了大量工作。十几万吨以上当量的地下核爆炸无论发生在多么遥远的地方,都可以用地震方法侦察到。

地震学,即对地震的科学研究,与化学、物理学或地质学相比较是一个年轻的学科;然而在仅仅 100 年里,它在解释地震成因、地震波的性质、地震强度的显著变化以及整个地球的地震活动明显的分区特征等方面取得了显著进步。地震学是探测地球内部的最有效的深部探测器。近年来,通过地震波可以探测出地球内部岩石密度和刚度小到 10% 的变化,这些新研究进展大多依靠层析成像方法。

0.3 地震学研究进展

地震学的研究起源于人类抵御地震灾害的需要。早期的地震学主要从地质学的角度研究记载地震的宏观现象和地震的地理分布。中国是世界上地震学发展最早的国家之一。据《竹书记年》记载：“夏帝发七年(公元前 1831 年)泰山震”。《通鉴外记》又载：“周文王立国八年(公元前 1177 年)，岁六月，文王寝疾五日，而地动东西南北不出国郊”。中国也是最早发明地震仪器的国家。《后汉书选》中载，河南人张衡阳嘉元年(公元 132 年)造候风地动仪。这是世界上最早的地震仪，在当时的首都洛阳第一次记录了甘肃发生的地震。

中国古代关于地震的记载是很丰富的，尤其是明清时代地方志流行，其中关于地震的记载极为丰富，有很多研究地震的重要史料。但是长期的封建统治以及对科学技术的轻视，使得地震学没有得到发展，有关地震的记载仅仅是对自然灾害的记述，没有进一步的研究、分析和总结。与此相反，同一时期国外的地震学研究却有了长足的进步。

20 世纪初，对于地震波的记录和分析使地震学从宏观描述向数理科学的方向发展，扩展了研究领域，出现了一些分支学科，并有了多方面的应用。

在 19 世纪，地震学开始被公认为是一个独立研究领域。然而由于人们推测地震的成因已有上千年历史，当对这些自然事件早期的迷信让位于较科学的分析时，激发了人们对地动原因的缜密思考，直到 20 世纪早期科学家们才获得了对强烈地动直接来源的现代理解。

第二次世界大战以后，地震学的各个方面几乎都有了显著进步。由美国科学家里德研究 1906 年旧金山地震奠基的地震成因研究，得到了扩展和加深。人们现在具备一个关于整个地球变形的理论，它可以解释为什么大地震常发生于日本和加利福尼亚等一些地方，而加拿大或法国的辽阔原野则几乎没有大地震。这个地质理论也能解释山脉、火山和大洋中深海沟的形成，并说明它们在地球表面的特定分布。这种对地球上相互联系的格架理论认识的形成，很大程度上是与地震学研究分不开的。

关于地震发生的机理，有震源机制的研究和震源物理的研究。地震预测也是现代地震学研究的一个课题，探索地震预测的途径需要深入研究地震成因。20 世纪对地震波的研究已经取得大量的成果，其中最重要的成果是利用地震波探查地球内部构造，取得了基本的认识。第二次世界大战后，地震波被用来监测地下核爆炸。人们在对地震波的记录和观测中，还取得了地球自由振荡的资料，证实了理论研究的结果。用地震波勘探地下矿藏，则是地震学在经济建设中的重要应用。在抗御地震灾害方面，工程地震学已经形成比较完善的学科体系，在工程抗震中发挥了重要作用。

利用地震波的前提是必须了解地震波动的性质。穿过地球岩石传播的地震波具有相当的复杂性。然而正是地震波携带着沿途的地质和构造变化的信息。地震学家已经可以越来越熟练地从日益灵敏的地震仪记录的地震波图像中提取这种信息。

科学家正联合建立全球地震台网，这个地震观测的全球性网络，在近几十年来日益加