

研究生教学丛书

地震危险性 分析及其应用

章在墉 编著



同济大学出版社

地震危险性分析及其应用

章在墉 编著

期 限 表

请于下列日期前将书还回

同济大学出版社

内 容 提 要

本书系统地进行了地震危险性分析,并对如何减轻地震对人类带来的灾害进行了详细的讨论。其中包括:地震现象与工程震害,地震地面运动特征,地震危险性概率分析方法,贝叶斯方法在地震危险性分析中的应用,地震影响小区划,以概率为基础的地基失效小区划,一般工业与民用建筑震害预测,生命线系统震害预测,地震灾害损失估计,地震危险性和工程决策分析,抗震防灾规划的编制方法,地震危险性在确定地震保险费率中的应用。

本书适合作为高等院校地震专业、建筑学专业、力学专业的本科生和研究生教材,也可供地震防灾专业的工程技术人员阅读参考。

责任编辑 冯时庆

封面设计 陈益平

地震危险性分析及其应用

章在塘 编著

同济大学出版社出版

(上海市四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

崇明永南印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:22.5 字数:560 千字

1996 年 1 月第 1 版 1996 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—1500 定价:17.50 元

ISBN7-5608-1431-X/TU·171

“研究生教材”序

研究生教育是我国高等教育的最高层次，如何培养符合社会需要的人才，除多方面的工作外，研究生教材是培养人才和传授知识的重要工具。因而应高度重视教材建设，要有计划地、逐步地为各个学科的主要课程编写、出版各种具有不同风格和特色、反映国内外科学技术先进水平的教材，是有利于不断提高教学质量、更好地为社会主义现代化建设服务的工作。

教材既是教学经验的总结，又是科学的著作，我校各系（院、所）的学科、专业委员会通过培养研究生的过程，在科研、课程建设、导师队伍建设、研究生教学管理等方面积累了丰富的经验并取得了可喜的成果，为培养合格的研究生人才创造了良好的条件。

研究生课程，尤其是学位课程，是本专业学科最重要、最基本的课程，是研究生培养中的重要环节，在编写这些课程的教材时应注意以下基本要求：应努力运用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点阐述自然科学和技术科学的基本规律；应以本门课程在教学计划中的地位和作用为依据；应具有与本门学科发展相适应的科学水平；应贯彻理论与实际相结合的原则，以利于培养学生分析问题和解决问题的能力；应贯彻“少而精”的原则，要注意总结教学经验，体现循序渐进的原则，并应做到文字通顺，说理清楚，便于自学，避免繁琐。

研究生教材从编写到编辑、出版，都经过了认真的调查论证，但毕竟水平和经验都感不足，缺点和错误在所难免，希望通过反复的实践，广泛地听取校内外专家学者和使用者的意见，使其不断改进和完善。

同济大学研究生院

1995年5月

序

我国属于多地震的国家，震害频繁，尤以 1976 年的唐山大地震造成空前的生命财产巨大损失，震惊中外。故在世界范围的减轻地震灾害与地震危险的工作中，我国也积极参与。地震危险性分析这门学科是适应这方面的迫切需要而发展起来并为此服务的，其重要性不言而喻。

章在墉教授将他多年从事地震危险性分析及其应用的教学和科学研究的成果整理出版，供有关的教、学、研究和实际工作方面的人员参考，不仅将有助于这门学科在我国的发展，而且将促进它的实际应用，值得祝贺。

本专著内容丰富，密切联系我国实际，反映当前国内外最新成果，其前身是获得国内有关专家好评的教材，相信读者会给予相应的评价。

李国豪

1993 年 4 月

前 言

编写本书的意图是概略地介绍地震危险性分析及其应用的基本内容、主要研究方法、历史背景及发展过程、主要研究成果等。它是作者根据 1984 年以来多次讲授的内容陆续增补而成,与 1987 年版的内容相比,本书已将地基失效概率小区划及生命线工程系统震害预测两部分独立成章,新增地震保险一章(由肖光先执笔),并将城市与工矿企业抗震防灾规划编制方法合并为一章,全书共十三章,可作为地震工程学的补充教材。在此期间《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》及《中国地震烈度区划图(1990)》相继问世,故本书有关内容均作了相应的改动。

本书从简要地阐述地震现象与工程震害、地震动特征等开始,即转入地震危险性的讨论。由于地震危险性分析内涵丰富,外延广泛。它的中心问题是将地震发生的时间、空间、强度统计特征综合成一数学模型,凡能建立“衰减”关系式的任何地震动参数或地基失效类型都能作出概率区划。本书用概率方法将整个内容贯穿起来,并吸收了国内外主要科研成果,总结了工程实践经验,其中不少都引自作者历年来发表的科研报告。在拓宽外延方面,概率的地震影响小区划、工程结构震害预测、损失估计、工程决策分析、抗震防灾规划编制、地震保险费率确定等都是危险性分析的直接应用。

至于地震危险性分析在学科中的地位,还得从地震工程学说起。众所周知,地震工程学是一门介于地震学与土木工程学的边缘学科。地震学是一门应用数学物理科学,它所研究的中心问题是弹性波的产生、传播和记录,也就是通过地震参数测定研究地震发生机制、震源特性、波的主要类型、与传播有关的地质构造条件影响、衰减规律等进行分析,从而解决一个地区在未来的一定时期内的地震预报问题。而地震工程学是以地震学的研究成果为前提,在已知的潜在震源区划分和地震活动性参数情况下,通过场地选择、确定输入设计地震动参数、建立结构模型、进行结构动力反应分析,并按一定的设计准则以达到经济和安全的工程抗震设计。这里输入设计地震动参数的确定是地震学与地震工程学的共同交叉部分,但是地震学家和工程师们对这一问题的研究方法是不同的。

目前,输入设计地震动参数的研究方法大体上可分为四种。一是以强震观测资料为基础的用统计回归方法确定随震级、距离和局部场地条件而变化的各种地震动参数。二是以断层位错的震源破裂模型为基础,通常用位错函数和格林函数分别表示的震源和传播介质对地表地震动影响的数学模拟方法,从而确定其加速度时程,它是以一系列假定(震源参数、破裂方式、应力降等)为基础的理论估算,在工程实用上还有很多困难。三是用相似的地质构造类比法,其精度较低。四是以概率方法为基础的地震危险性分析,它从潜在震源区划分直到得出概率一致的基岩反应谱和加速度时程,已经形成了一整套方法和计算程序,便于工程实际应用,特别适用于结构抗震可靠度分析。近年来,地震危险性分析概率方法发展迅速,应用广泛,具有强大的生命力,这就奠定了它在地震工程学中的重要地位。究其原因,主要有以下几点:①地震发生的时间、空间、强度是一随机现象,用概率方法来描述它较确定性方法更为合理;②现在国际上普遍地把地震总危

险性定义为地震发生概率及其破坏后果的乘积，所以可直接用来定量地估算地震灾害损失；③地震危险性分析方法是建立在该地区的地质构造资料及地震活性等资料的基础上，一般说来较容易获得。而以强震观测资料为基础的统计回归方法是以昂贵的仪器设备和一定频度的中强地震发生为前提，由于资料积累很慢而不易普遍采用；以震源破裂模型为基础的理论方法在数学处理上难度大、不确定性因素多；构造类比法精度又低，三者在上应用上都有不少问题；④国外在重大工程（如核电站、大坝、油库等）场地选择及规划、或者对已建重大工程抗震能力的评估方面，如美国原子能委员会对场址地震背景、结构易损性与设备系统损坏分析、核事故原因分析、核泄漏后果与人员伤亡及环境影响等从 80 年代起已经形成一整套概率分析方法。毫无疑问，用于核电站的这套地震安全边缘研究计划极大地促进了危险性概率分析方法的发展。

近年来，地震危险性分析除了应用于结构动力分析外，还与工程结构和生命线工程的震害预测、城市规划、土地利用、地震保险以及面临地震威胁的社会经济、政府职能、地震立法、心理反应等研究结合起来，从而使地震工程逐步地由纯粹的工程结构范畴向着以减轻地震灾害为总目标的跨科性研究方向发展。从历届世界地震工程会议参加的人员来看，土木工程师、建筑师、地质学家和地球物理学家已经不再是传统的参加者，与此同时，社会经济学家、保险事业家、政府官员、心理学家等陆续登上了地震工程讲台。事实表明，已经有越来越多的各行各业专家参加了减轻地震危险性研究的行列。

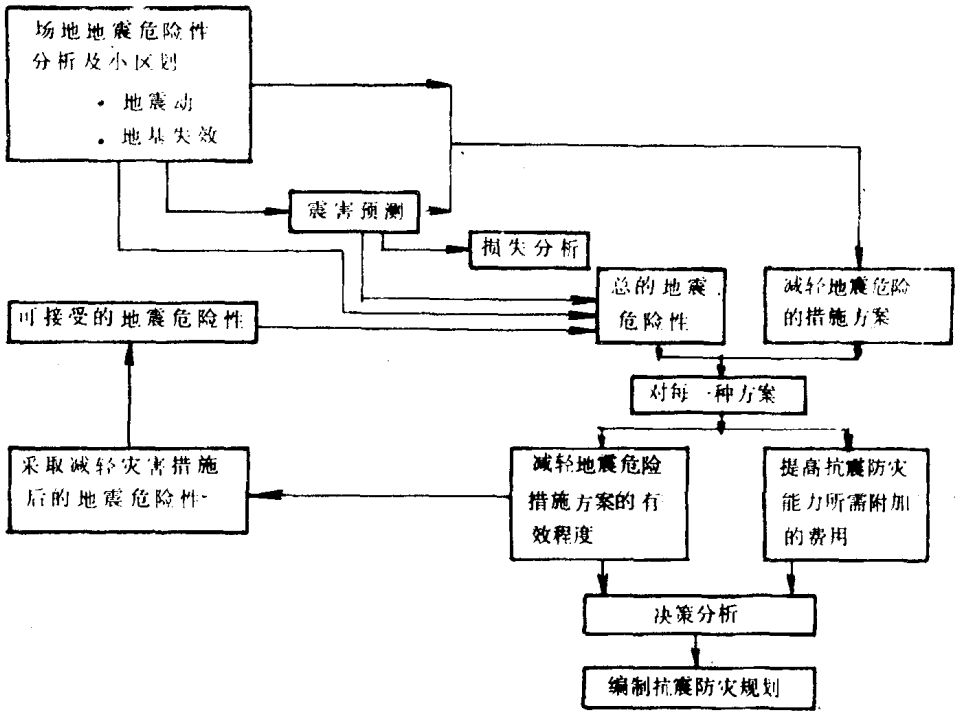
自从 1976 年联合国教科文组织召开的关于判定和减轻地震危险政府间会议后，有可能遭受地震损失的各会员国政府，正在把更多的力量投入到减轻地震危险的有关学科的研究中去，现在已经建立了国际地震危险咨询委员会，向联合国教科文组织及联合国救灾协调组织提供咨询服务，同时促进了这一领域的国际性协作和交流，改进和发展减轻地震危险的培训和教育计划，加强科学上和行政上的有效联合行动。

1984 年，美国科学院院长、前总统特别科学助理法兰克·普勒斯（Frank Press）博士，在美国召开的第八届世界地震工程会议开幕式上发表讲话，他强调人类战胜自然灾害的重要性；强调了科学家和工程师们在减轻灾害中的作用；强调了政府在减轻灾害中的作用；最后还倡议在世界范围内酝酿、发动和开展一个“国际减轻自然灾害十年”的活动（简称 IDNDR——International Decade of Natural Disaster Reduction）。地震是常见的一种自然灾害，尽管发生概率很低，但因破坏大，后果十分严重。在地震预报还没过关的今日，减轻灾害是保障生命安全和减轻经济损失的根本关键所在。普勒斯博士的讲话正在越来越多地得到广泛响应。国际地震工程协会举行的国家代表大会和执行委员会通过决议，热烈响应“国际减轻自然灾害十年”的活动，并表示要在国际地震工程协会领导下，迅速开展实施计划。在美国，已成立了一个以豪斯纳（G.W.Housner）教授为首的开展 IDNDR 活动的特别委员会，并由美国科学院负责整个活动计划。其它一些多地震国家也正在陆续作出积极响应。在减轻地震危险性计划中，对一个地区的地震危险性分析并作出预测占有特别重要的地位，它是一切问题的前提。

一些多地震的国家，随着经济发展，为了使投资巨大的工程设施免遭地震破坏，对减轻地震危险性问题也日益引起注意。如美国根据 1977 年减轻地震危害法（公共法 95-124），由美国地质调查局和美国国家科学基金会组织领导着全国的评定和减轻地震危险的研究工作。原苏联科学院主席团地震学与地震工程学部际委员会早在 1968 年就成立了地震危险性数值评定方法研究委员会，吸取近年来研究成果，正在重新编制地震危险区划图。日本国立防灾科学研究中心、京都

大学防灾研究所城市设施系统耐震研究中心、东京大学生产技术研究所国际减灾工程中心等机构把减轻地震危险，建立防灾城市作为重要任务，并在实践中已取得不少成果。虽然，我国至今没有名义上称为减轻地震危险委员会这一类机构，但国家地震局组织所属各单位经多年努力共同编制的“中国地震烈度区划图”（1990）本身就是长期地震危险性概率预报图件。至于减轻地震危险的社会地震学方面的研究，在我国还只是刚刚起步。

关于地震危险性分析与各方面的关系，可以借助于下面框图说明。



不论是地震区内新建项目的场地选择、城市规划、土地利用规划、结构抗震设计参数确定，还是现有建筑物抗震加固或制订震后重建规划以及地震区城市的震害预测、经济损失估计、应急计划、城市抗震防灾规划等，都需要详尽的地震危险性资料，因此，需要大力开展这方面的科研工作和咨询服务，以加速四化建设。

目 录

第一章 地震现象与工程震害	(1)
1.1 地震的成因和类型	(1)
1.2 我国的地震分布及特点	(2)
1.3 以什么度量地震大小	(2)
1.4 工程震害特点	(9)
第二章 地震地面运动特征	(11)
2.1 地面运动研究的基本方法	(11)
2.2 地面运动参数与烈度关系	(23)
2.3 地面运动参数的确定	(30)
2.4 设计地震动选择	(50)
2.5 各国抗震规范中地震地面运动系数的确定	(59)
第三章 什么是地震危险性	(71)
3.1 定义	(71)
3.2 两种方法	(72)
第四章 地震危险性分析概率方法	(77)
4.1 基础资料	(77)
4.2 理想化震源模型——潜在震源区划分	(79)
4.3 各潜在震源区的地震活动性参数(β, v, M_u)	(82)
4.4 地震动衰减公式的选择	(89)
4.5 地震发生的概率模型	(107)
4.6 地震危险性概率分析方法	(112)
4.7 地震危险性的不确定性及其对地震动参数的影响	(119)
4.8 地震危险性分析中的不确定性校正	(126)
4.9 地震危险性概率区划图的编制	(128)
4.10 风险水平——超越概率大小的选择	(130)
4.11 基于概率的地震动持续时间危险性分析	(133)
第五章 贝叶斯方法在地震危险性概率分析中的应用	(139)
5.1 平稳泊松过程的局限性	(139)
5.2 泊松过程的贝叶斯分布	(140)
5.3 震级(或烈度)多项分布的贝叶斯修正	(144)
5.4 震级的贝叶斯指数——伽马分布	(148)
5.5 贝叶斯极值分布	(149)
第六章 地震影响小区划	(151)

6.1	地震影响小区划的主要内容、任务和种类	(151)
6.2	地震小区划发展简史	(155)
6.3	地震小区划的烈度调整法	(156)
6.4	地震小区划的仪器方法	(167)
6.5	建立在宏观调查资料基础上的小区划方法	(174)
6.6	多因素地震小区划方法	(175)
6.7	地震动参数小区划的理论方法	(176)
6.8	地基失效小区划	(196)
6.9	用各种参数表示的地震小区划	(198)
6.10	我国的地震小区划	(199)
6.11	有效的地震小区划	(203)
第七章	以概率为基础的地基失效小区划	(206)
7.1	引言	(206)
7.2	液化的概率分析方法	(207)
7.3	地表断裂的概率分析方法	(216)
7.4	震陷的概率分析方法	(217)
7.5	滑坡的概率分析方法	(220)
第八章	一般工业与民用建筑震害预测	(222)
8.1	震害预测的基本概念	(222)
8.2	震害预测的由来和发展	(224)
8.3	基于宏观震害资料的统计分析方法	(225)
8.4	易损性法	(229)
8.5	震害预测的专家系统法	(233)
8.6	基于可靠度理论的破坏概率法	(236)
8.7	蒙特卡洛模拟法	(238)
8.8	谱矩阵法	(239)
8.9	震害期望值法	(243)
8.10	同时考虑地基失效对震害率的修正	(246)
8.11	建筑物震害预测中概率水准一致性问题	(247)
8.12	震害预测的步骤	(251)
第九章	生命线工程系统的震害预测	(253)
9.1	什么是生命线工程系统	(253)
9.2	生命线工程系统的构件易损性	(255)
9.3	简单的生命线工程系统网络可靠度计算	(260)
9.4	复杂的生命线工程系统网络可靠度计算	(263)
9.5	生命线工程系统网络可靠性准则	(269)
9.6	供水管网系统震害预测	(272)
第十章	地震损失估计	(279)

10.1 地震损失估计的意义 (279)

10.2 地震损失估计的产生和形成 (280)

10.3 地震损失的影响因素及分类 (281)

10.4 地震损失估计的要求 (283)

10.5 地震损失的可比性 (284)

10.6 地震经济损失与国力——综合指标 (285)

10.7 城市地震直接损失的估计方法 (285)

10.8 地震直接损失的统计分析法 (288)

10.9 一个地区建筑物的地震损失估计 (289)

10.10 地震间接损失的经济模型 (293)

10.11 地震损失估计的不确定性 (300)

10.12 生命损失估计 (301)

第十一章 地震危险性与工程决策分析 (306)

11.1 决策分析的目的和条件..... (306)

11.2 措施费用的效益分析..... (307)

11.3 最小费用分析(Kelvin 法则) (310)

11.4 可接受的危险性..... (312)

11.5 剩余危险性..... (313)

11.6 危险性一致设计原则..... (314)

11.7 工程抗震决策实例..... (315)

第十二章 抗震防灾规划的编制方法 (323)

12.1 城市抗震防灾规划的编制方法..... (323)

12.2 工矿企业抗震防灾规划的编制方法..... (328)

第十三章 地震危险性在确定地震保险费率中的应用 (334)

13.1 国外地震保险研究概况..... (334)

13.2 我国地震保险..... (335)

13.3 确定地震保险费率的基础..... (336)

13.4 地震保险费率的计算..... (338)

13.5 结语..... (340)

第一章 地震现象与工程震害

地震是一种现代地质构造活动过程中产生的自然现象。据估计，全世界每年发生的地震约在数百万次左右，其中绝大部分是不为人们所觉察而只有灵敏的地震仪才记录到的小地震。很多地震又发生在海洋深处，或者人烟稀少的山区或沙漠地方，因而不为人们所注意。但是，一旦强烈地震袭击人口稠密的地方，必将造成严重的后果，如 1976 年唐山大地震 ($M=7.8$) 一瞬间就毁灭了百万人口的工矿城市，造成 40 余万人的伤亡和接近 300 亿元人民币的经济损失（包括间接损失）。这是我国近代地震史上损失最严重的一次地震。所以只有当大地震威胁到人口密集、经济集中的地方才会产生社会经济后果，才会引起有关方面的重视。这就是为什么当前在全国的基本烈度为 VI 度及 VI 度以上城镇需要编制抗震防灾规划，以减轻地震灾害的根本原因。

1.1 地震的成因和类型

1.1.1 构造地震

在天然地震中，构造地震占绝大多数。很多地震学家认为，由于地壳运动，使岩层中逐渐积累应力，当弹性应力积累到超过岩石强度时，由于岩层断裂而将应变能突然释放，以弹性波形式传播到地表引起振动，这就是地震发生原理。突然释放后，受力形变岩层迅速弹回到平衡位置，这种成因学说叫做弹性回跳学说。

1.1.2 火山地震

在我国，地震分布虽然很广，但火山地震几乎没有。火山地震一般指由于火山爆发而引起的振动，或指与火山活动有关的浅源振动。这类地震由于震源浅，能量小，因而影响范围有限。

1.1.3 陷落地震

由于大规模的地下洞穴崩塌，地层陷落等原因而造成的小范围振动。

1.1.4 由人类活动引起的构造地震

水库地震（又称诱发地震）一般指新建水库蓄水后，在重力作用下周围断层面或岩层裂隙中因水的润滑作用而使之发生错动。如我国广东省河源县新丰江水库地震及 1967 年印度科依纳水库地震都是这方面的实例。

深井注水同样会诱发小地震。如 1962 年美国科罗拉多州丹佛附近洛矶山兵工厂向 12 000 英尺深井注入废液后，附近地区开始发震，并与注液速率相关。

地下核爆炸也有可能在无意中触发地震，如美国 1964 年内华达地下核试验时曾触发过大量地震。一般说来，核爆炸引起地震主要在爆炸点邻近地区，其强度较爆炸本身引起的小。

1.2 我国的地震分布及特点

我国是一个多地震国家，地震记载十分丰富，可以追溯到 3 000 多年以前，这些为研究我国地震活动性及特点提供了重要依据。1900 年以来直到解放前，我国仅有个别地震台，且精度较差。解放后，逐步建立了地震台网，并对历史上一些大震和 1900 年以来的破坏性地震进行了调研，比较准确地确定了这些历史地震的震中位置和震级。

根据已有资料，我国境内强震分布十分广泛，除浙江及贵州两省外，全国各省都有 6 级地震发生，除东北和南海地震区外都发生过 8 级以上强烈地震。主要分布在台湾、青藏高原（包括青海、西藏、云南、四川西部、宁夏、甘肃南部）、新疆和华北地区，而东北、华南和南海地区分布较少。其中有不少地震集中发生在世界两大地震带，即环太平洋地震带和地中海—南亚地震带内。

这些强震具有数量多、分布广、强度大和震源浅的特点。我国地震活动性具有明显的地区性和成带性，主要属于大陆板内地震类型。每个地震区、带中的地震不是孤立发生，而是作为一个整体经历着孕育、发展、发生过程。因而在时间上有平静期和活跃期之分，在空间上则有空白性、迁移性及重复性等特点。

“中国地震烈度区划图（1990）”（图 1.1），将全国分出五类烈度区： $<VI$ ， VI ， VII ， $VIII$ 和 $\geq IX$ 。其中 $<VI$ 度区总面积为 201 万平方公里， VI 度区总面积为 361 万平方公里， VII 度区总面积 320 万平方公里， $VIII$ 度区总面积 68 万平方公里， $\geq IX$ 度区总面积 9.5 万平方公里，分别占全国陆地总面积的 21%，38%，33%，7%和 1%。可见，我国 40% 以上国土面积在未来 50 年中都面临着 10% 超越概率地震灾害的潜在危险（ $I \geq VII$ ），需要采取工程抗震措施的地区（ $I \geq VI$ ）所占面积达 80%，所以抗震问题在我国是多么的重要。

1.3 以什么度量地震大小？

根据不同的目的和用途，度量地震大小往往采用不同的定义。地震学家常用震级或根据以弹性波形式传播到地表的振幅换算的地震波能量来衡量地震大小；而工程师们在没有仪器记录之前是以地表破坏、结构破坏和人的感觉综合评定结果用烈度来衡量地震大小，在科学发达的今天，强震观测记录（包括加速度幅值、频谱、持续时间）已经成为定量测定地震大小的主要手段；对于政府部门、经济学家、社会学家来说，衡量地震大小的主要社会经济指标，一是经济损失总值，二是人员伤亡数。

1.3.1 震级

震级的定义是 1935 年美国里克特(C.F.Richter)提出的，它用来说明某次地震本身的强度大小。它被规定用于加州南部近震。震级的最初定义是在距震中为 100km 处设置的伍德—爱迪生(Wood-Anderson) 扭转地震仪以特定的仪器常数（固有周期为 0.8s，最大放大倍数为 2800，阻尼系数为 0.8，接近临界阻尼）记录到的最大振幅 A (以 μm 计) 的对数，即

$$M = \lg \frac{A}{A_0} \quad (1.1)$$

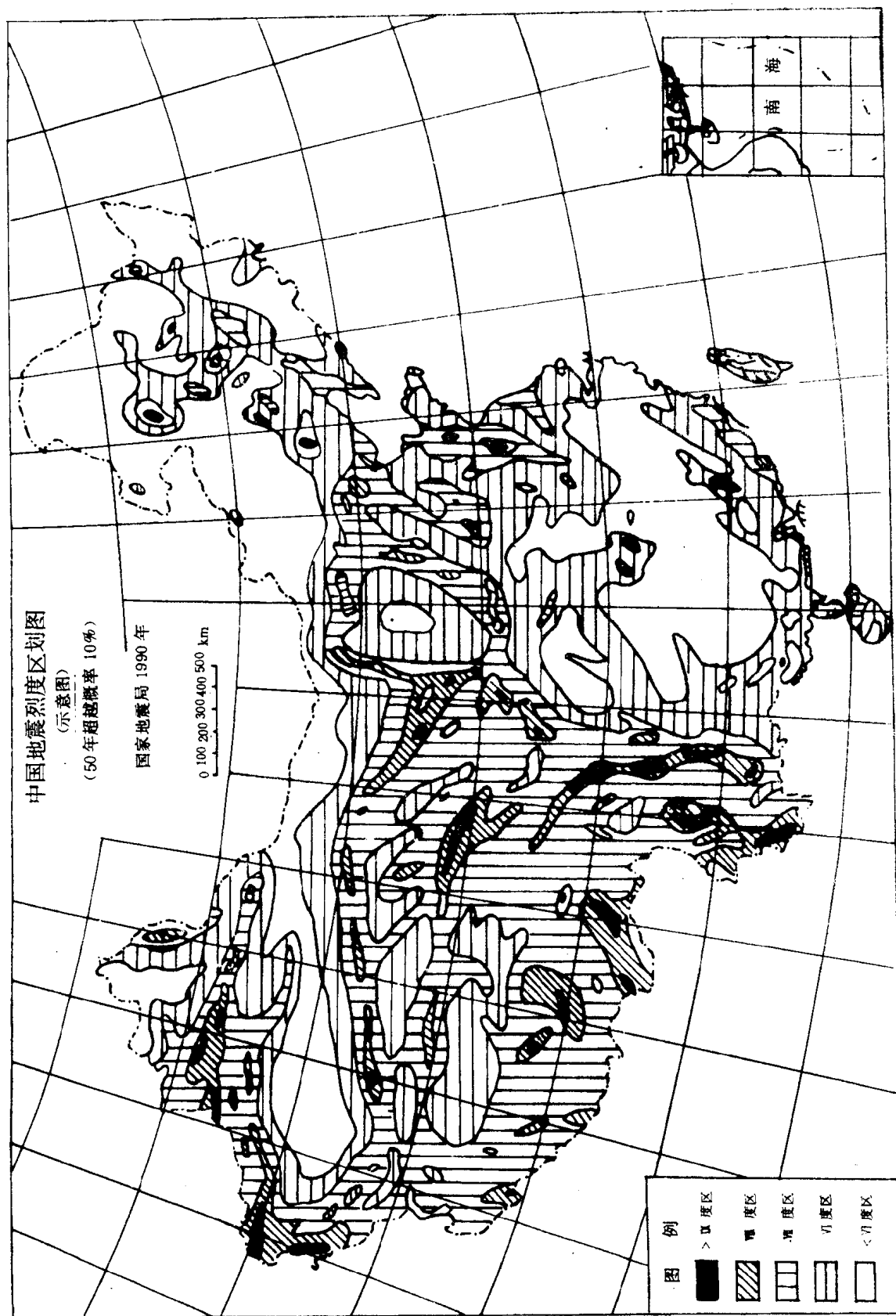


图 1.1 中国地震烈度区划图(1990)

式中, A_0 为 $1\mu\text{m}(=0.001\text{mm})$ 。对于其他距离的地震震级可根据最大振幅随距离的变化算出。为了使得震级定义赋予更广泛的意义, 现行的震级定义为

$$M = \lg \frac{A}{T} + f(R, H) + C_s + C_r \quad (1.2)$$

式中 T ——地震波周期(s);

R ——震中距(度);

H ——震源深度(km);

C_s ——台站校正系数;

C_r ——区域性校正系数。

f 按不同的波和同一波的不同分量而有所不同, 决定于理论和经验的组合, 它对距离效应(几何扩张和吸收对振幅产生影响)和震源深度效应进行校正。

因为震级是用来表征某一次地震本身强度的大小, 所以, 根据不同台站所作的测定, 或用同一台站的不同记录或不同地震波记录所作的测定在一定误差范围内应该一致。目前一般的计算误差为 0.2—0.3 级。

理论上震级没有上限, 但从实际情况看来, 震级是有上限的, 因为积累形变的地层有一个极限强度, 它不能贮存超过一定上限的能量。目前已知的最大地震震级约达 8.9 级, 如 1960 年 5 月 22 日智利大地震。反之, 从公式也可以看出, 当小震时可能会出现负的震级。

为了使得震级这一估算地震强度的重要参数具有严格的基础, 避免因好几种震级标尺不一致带来的混乱, 目前, 我国在确定浅源地震 (0—69km)、中源地震 (70—300km) 和深源地震 (> 300km) 的震级时, 常用古登堡 (B. Gutenberg) (1954) 定义的面波震级 M_s 和古登堡与里克特 (1956) 定义的体波震级 M_B :

$$M_s = \lg A + 1.656 \lg R + 1.818 + C_s \quad (1.3)$$

$$M_B = \lg \left(\frac{A}{T} \right) + f(R, H) + C_s \quad (1.4)$$

式(1.3)中的 A 为面波的最大地动位移的水平分量, 以 μm 计, 面波相应周期为 17—23s; 式(1.4)中 A 是宽频带地震仪记录的体波 PZ , PH , PPZ , PPH , SH 波群中的最大位移振幅, 以 μm 计。

由上可见, 震级的主要意义在于根据释放的能量对地震进行分类。因为震级是以地震记录上最大振幅的普通对数为依据, 所以面波震级每增加一级, 相当于能量增加 25—30 倍, 震级与释放的地震波总能量的统计关系为

$$\lg E = 12.24 + 1.44 M_s \quad (\text{当 } M > 5) \quad (1.5)$$

$$\text{或} \quad \lg E = 4.78 + 2.57 M_B \quad (1.6)$$

式中, E 的单位为 erg ($1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$)。

1.3.2 烈度

震级是由仪器记录计算得到的, 而烈度是用来说明地震效应的专门名词, 它根据地震造成的地面破坏、建筑物破坏等效应经专人详细调查后综合评定的, 即所谓宏观烈度。对于一次地震来说, 震级只有一个值, 而烈度随着不同地点变化可以有很多个。将这些不同地点的地震破坏效应

资料用适当的地震烈度表转换成一定的烈度值，再将它相等值各点连成曲线，就是所谓等震线图（图 1.2）。等震线图是一次地震破坏的非仪器记录，它是仪器记录的重要补充。当然，它并不是表示地震动强烈程度的一种精确的工程标准。

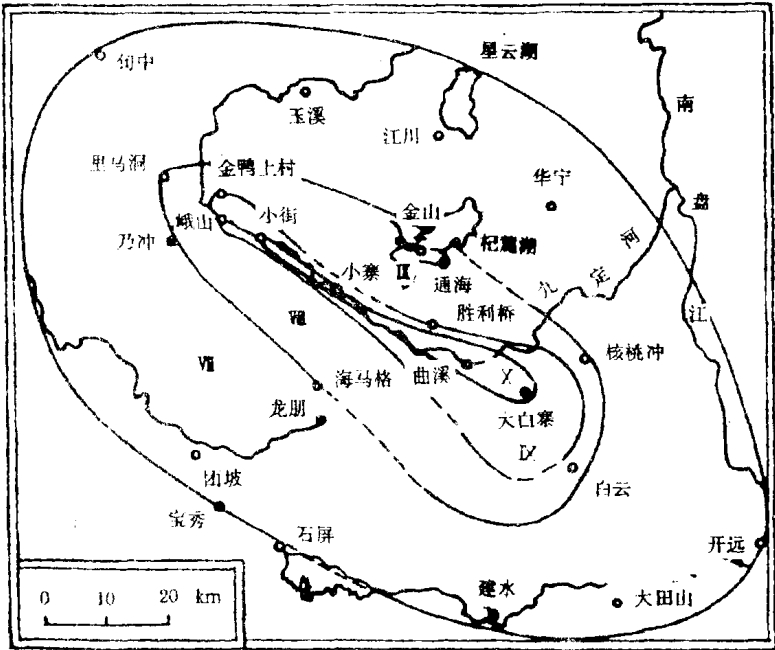


图 1.2 1970.1.5.云南通海地震等震线图

据中国科学院地球物理研究所编：“中国地震等震线图集”，1972 年 2 月

根据等震线图可以发现，宏观震中是等震线中最大烈度等值线的中心点，由于地质构造的不均匀性，宏观震中往往与仪器测定的震中有偏差。这可以解释为仪器测定的震中是根据初至 P 波读数确定，它与断层的初始破裂点位置有关，而宏观震中是根据破坏强弱程度确定，这里还掺杂了局部场地条件影响、结构抗震性能、调查人的主观判断和经验等。

震级和烈度的关系，一般说来是震级越大，烈度越高，距离越远，烈度衰减。在环境条件基本相同情况下，震级越大，震源越浅，震中距越小，烈度就越高。它们之间的关系式为

$$M = 1 + \frac{2}{3} I_0 \tag{1.7}$$

式中 I_0 ——震中烈度。

根据中国地震历史资料，傅承仪和梅世蓉分别求得了如下关系：

傅承仪公式

$$M = (0.68 \pm 0.03) I_0 + (1.39 \pm 0.17) \lg H - (1.40 \pm 0.29) \tag{1.8}$$

梅世蓉公式

$$M = \frac{2}{3} I_0 + \frac{4}{5} \lg H - \frac{1}{2} \tag{1.9}$$

或参阅谢毓寿编制的表 1.1。

表 1.1 震中烈度与震级和震源深度关系

震中烈度 I_0	震源深度 $H(\text{km})$				
	5	10	15	20	25
震级 M					
2	3.5	2.5	2	1.5	1
3	5	4	3.5	3	2.5
4	6.5	5.5	5	4.5	4
5	8	7	6.5	6	5.5
6	9.5	8.5	8	7.5	7
7	11	10	9.5	9	8.5
8	12	11.5	11	10.5	10

综上所述,从工程观点看来,烈度的概念是含混不清的,它并不是表示地震动强烈程度的一种精确的工程标准。虽然烈度是根据地震造成的地面破坏和建筑物破坏效应等现象综合评定的统计平均,但破坏程度轻重并不等于地震动强烈程度大小。以建筑物为例,质量很差的脆弱结构可以在不太强烈的地震动作用下造成严重破坏,甚至倒塌,而经过精心设计的抗震结构在强烈地震作用下可以完好无损,所以不能简单地按破坏程度或效应确定地震动大小,要知道破坏程度或效应只是反映了地震后果,而地震后果并不等于地震作用,工程上需要的是反映地震作用或反映地震破坏力大小的烈度。由于地震作用是通过地震后果来反映的,所以常常容易混淆不清。正确的理解是:地震烈度是一定地点的地面震动强弱程度的尺度,是指该地点范围内地震破坏力的平均水平总评价,而不是针对哪一种建筑物。反映地震后果的烈度对总结震害经验和救灾工作仍有一定意义。反映地震作用的烈度(按地震破坏力大小分等)却是作为地震区划的标准和工程设防标准所必需的。

中国地震烈度区划图(1990)上所标注的地震烈度值,系指在50年期限内,一般场地条件下,可能遭遇超越概率为10%的烈度值。50年内超越概率为10%的风险水平是目前国际上普遍采用的一般建筑物抗震设防标准。

至于地震烈度表(如表1.2)是以地震破坏宏观现象来评定烈度大小的依据,除日本外,一般按12级分度(表1.3),它的根本缺点是定性、繁琐、凭主观判断,缺乏足够物理意义,并且随着建筑质量和设计水平的提高而需不断地进行修改。因此它最终必将被定量的物理标准所代替。

烈度表的特点如下:

- I—V度 以人的感觉为主,物体反应为辅;
- VI—X度 以房屋破坏为主,人的感觉和某些其它现象为辅;
- XI—XII度 以自然地表破坏现象为主。