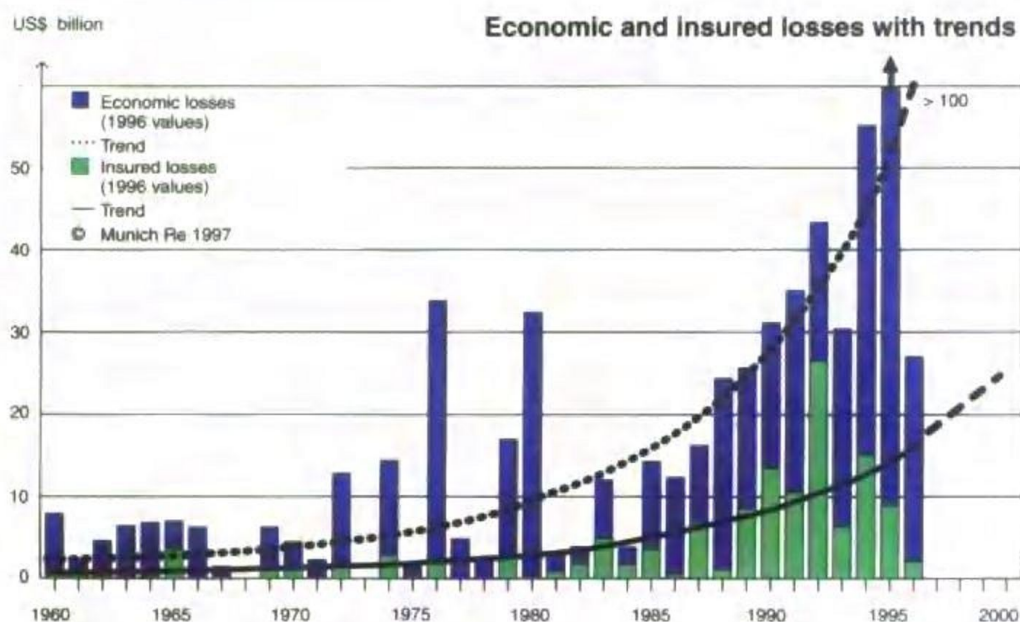


地震危险性分析和震害预测

陈颢 刘杰 陈棋福 陈凌 李闽峰 著

docriver 文川网
 入驻商家 古籍书城
 在文川网搜索古籍书城 获取更多电子书



Commercial Loss
in Millions

- more than \$1,000
- \$250 to \$1,000
- \$50 to \$250
- \$10 to \$50
- less than \$10

Newport-
Inglewood
Fault

地震出版社 Long Beach



地震危险性分析和震害预测

陈颢 刘杰 陈棋福 陈凌 李闽峰 著

地震出版社

内 容 提 要

本书首先介绍地震危险性分析和震害预测的基本概念和分析方法,在此基础上,重点介绍最近发展起来的新方法。简单的模型、关键的有限输入资料和使用用户界面友好的 GIS 和计算机技术是这种新方法的特点。国际地震学会(IASPEI)和国际地震工程学会(IAEE)于 1998 年批准并推荐使用这种方法。

本书介绍的方法可以用于地震危险性分析、震害预测、震后紧急反应和制订防震减灾规划等许多领域。

地震危险性分析和震害预测

陈颢 刘杰 陈棋福 陈凌 李闽峰 著

责任编辑:蒋乃芳

责任校对:张晓梅

*
地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路 9 号 邮政编码 100081

北京地大彩印厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经营

*
787×1092 1/16 10.125 印张 259 千字

1999 年 6 月第一版 1999 年 6 月第一次印刷

印数 001—700

ISBN 7-5028-1526-0 / P·930

(2115) 定价: 25.00 元

docsriver 文川网
入驻商家 古籍书城

在文川网搜索古籍书城 获取更多电子书

序

每年平均地震损失 200 亿美元!

今后 50 年中, 地震对全球造成的经济损失平均每年 200 亿美元。这是对全球地震灾害定量估计的首次尝试。

这个数值是怎样估计出来的?

这个数值可信吗?

可以对一个地区、一个国家今后的地震灾害进行类似的定量估计吗?

本书对上述问题作了简要而系统的回答。

灾害定量化问题, 即估计一个城市或一个地区, 受到未来地震的影响, 所造成的灾害有多大, 这显然是减轻自然灾害的核心科学问题。

早在 80 年代, 即在国际减灾十年活动之前, 美国学者针对加利福尼亚州的具体情况, 发展了一套估计地震危险性的概念、理论和方法。这套方法不仅在美国加利福尼亚州, 而且在全世界的其它地方都开始应用。1993 年由 IASPEI (国际地震学和地球内部物理学联合会) 和欧洲地震学会共同出版的《The Practice of Earthquake Hazard Assessment》一书(由 McGuire 等人主编), 汇集了全球近 70 个国家或地区用这种方法进行地震危险性分析的结果。本书的第一篇, 简要而系统地介绍了这些方法的基本概念、理论和实际应用。

90 年代, 随着国际减灾十年活动的开展, 对灾害定量化的需求更加迫切。传统分析方法存在的一些问题也日益暴露出来。这些问题可以概括为三个方面: 第一, 进行地震危险性分析工作较多, 而涉及到灾害定量化, 即地震危害性的工作较少; 第二, 传统的方法要求有极为详尽的地质、建筑、经济方面的大量资料, 在除加利福尼亚州的大多数地方, 得到这些资料是十分困难的, 特别是得到及时的资料几乎是不可能的; 第三, 传统的方法是建立在板块理论基础上的, 对于大陆地震, 板块理论的应用遇到了困难。

针对这些问题, 1991 年我们提出: 面对全球区域和地方性的地震灾害预测, 应发展新的普遍适用的方法。这个建议得到了 Shapira 博士(以色列)、Schenk 博士(捷克)、Kulhanek 教授(瑞典)、Sobolev 博士(俄罗斯)、Shedlock 博士和 McGuire 博士(美国)、Mayer-Rosa 博士(瑞士)等的赞同, 在 IASPEI 秘书长 Engdahl 的支持下, 成立了 IASPEI 直接领导的研究小组, 由我任组长, 进行了艰苦的八年努力。

1993 年, 新的地震灾害定量化方法的思想萌芽已经形成, 概括说来就是两点: 利用地震活动性资料代替传统的潜在震源进行地震危险性分析; 利用国内生产总值(GDP)代替建筑物分类统计进行地震危害性分析。在一次聚会上, 我向国际地震工程学会的前主席 Shah 博士谈到了这些原始的思想。Shah 是一位知识面极广、机智过人的科学家。谈话过程中我发现他的眼睛在闪光, 牢牢地盯着我, 紧紧地听我的每一个字, 一种预感涌上心头: 我们探索的新方法的大方向是正确的! 当时在座的还有美国 Risk Management Solution (RMS) 公司董伟民博士和国家地震局地球物理所的胡聿贤院士, 他们对这种新思路的赞同给了我以极大的鼓励。随后, 我们研究小组和 Shah 领导的国际地震工程学会(IAEE) 之间开展了长达五年的密切合作。我们在研究中需要的地理信息系统软件和部分数据都是

他们提供的。

研究过程中经费问题始终困扰着我们，最困难的时候，中国国家自然科学基金会提供了12万元的资助。正是由于国家自然科学基金会在科学上的独具慧眼，在运行机制上尊重知识创新，以及在关键时刻的支持，才取得了本书所展示的最终成果。研究工作的进展，特别是所取得的创新点，引起了国际上许多单位的关心。八年多为完善理论、发展方法而召开的4次国际会议，英国的Bowling保险公司、以色列的国家保险公司、美国的Chubb保险公司和RMS公司，以及联合国教科文组织都给了召开这些国际会议以很大的支持。慕尼黑再保险公司(Munich Re)和瑞士再保险公司(Swiss Re)也给了我们以很大的支持。世界银行(World Bank)适时给出了全球人口和经济统计资料，国际地学联合会(CIESIN)不仅无偿地提供全球人口分布资料，并多次刻录在CD-ROM上寄给我们。

本书的第二篇对所发展的新方法进行了详细的介绍。新的方法有三个明显的特点：第一是其理论模型简单、合理；第二是所需数据容易得到，方法实用、可行；第三是充分利用了诸如GIS等新技术，技术起点高，工作界面十分友好，灾害估计及时。第二篇还对这种新方法是否可信的问题，进行了重点的讨论。近年来发生的实际地震灾害和新方法事前的预测均作了对比。

1997年开始，经过长达一年多的由IASPEI和IAEE组织的专家评审，已对发展的估计地震灾害的实用方法作了肯定，并推荐在全球应用。1998年，用这种方法编制的全球第一张地震危险性图和地震灾害损失预测图，即将由IASPEI和IAEE共同出版，用这种方法编制的中美洲六国的地震危险性和危害性图集也将问世。

我和我的中国同事们是国际研究小组中的核心成员，在这样一个国际化的研究集体的合作下，看到这种方法在全球、在中美洲、在非洲的应用，我们感到喜悦，以中国学者为主的研究成果已经在国际上被应用。但我们更希望这样的成果能在它的祖国也得到应用。我们也相信，这样的成果是经得起时间检验的。过去几年，研究结果多在国际上以英文发表。为了更好地被应用、被检验，是我们以中文出版本书的目的。

趁本书出版的机会。我们再次感谢中国国家自然科学基金会，在新思想萌芽和与传统思想碰撞时，是他们给予我们以鼓励；在研究工作十分困难的关键时刻，是他们给予我们以支持。我们也十分感谢IASPEI的秘书长Engdahl博士，他不但长期支持这一探索，而且将他修改过的全球地震目录供给我们使用。国际地震工程学会前主席Shah博士和我国地震工程专家胡聿贤院士，他们的建议对于完成本书，是至关重要的。我还要感谢我的工作组的全体成员们，包括国际上的和国内的。他们为发展本书所介绍的方法都作出了积极的贡献。我的研究小组成员：陈棋福博士、刘杰博士、张福勤博士，以及陈凌、李闽峰、李娟、葛洪魁、吴晓东等同志为使新方法的系统化、软件化作了大量的工作。

自然科学中许多探索，都是漫长的过程。对书中存在的不足和缺点，我们衷心地希望得到批评和指正。

陳顥

1998年5月

目 录

第一篇 地震灾害预测基础

第一章 引言	(1)
1.1 地震灾害和国际减轻自然灾害十年(IDNDR)	(1)
1.2 减灾中核心的科学问题——灾害定量化	(4)
1.3 地震危险和建筑设计规范	(5)
1.4 灾害管理	(6)
第二章 地震危险性分析	(8)
2.1 地震的主要概念	(8)
2.2 地面运动参数	(12)
2.3 确定性地震危险性分析	(15)
2.4 概率性地震危险性分析	(16)
2.5 危险性分析中存在的问题	(20)
第三章 地震危害性分析	(21)
3.1 地震损失	(21)
3.2 易损性	(22)
3.3 分类清单方法	(26)
3.4 损失估计	(29)
3.5 分类清单方法的局限	(31)

第二篇 地震危险性分析和灾害预测新的实用方法

第四章 地震活动的年发生率	(34)
4.1 余震的删除	(34)
4.2 地震期望的年发生率	(38)
4.3 地震实际年发生率的时间变化特征	(38)
4.4 地震期望年发生率的层次相似性与 G-R 关系	(41)
4.5 讨论	(43)
第五章 基于面源模型和地震活动资料的地震危险性分析	(44)
5.1 危险性分析的基本公式	(44)
5.2 面源模型	(45)
5.3 最大历史地震	(46)
5.4 分区 b 值	(49)
5.5 地震烈度的衰减关系	(49)
5.6 地震危险性分析的工作步骤	(51)
5.7 全球地震危险图	(52)
5.8 讨论	(57)

第六章	采用宏观经济指标进行的地震损失评估	(60)
6.1	地震损失的基本概念	(60)
6.2	社会财富的宏观指标: 国内生产总值(GDP)	(61)
6.3	社会财富的地理分布	(64)
6.4	GDP 损失率与地震烈度的统计关系	(75)
6.5	讨论与小结	(78)
第七章	地震危害的分析讨论	(80)
7.1	全球地震危害的基本分析	(80)
7.2	中国大陆地震危害的分析	(85)
7.3	设定地震的模拟分析	(92)
7.4	讨论	(97)
第八章	采用不同方法不同数据得到的地震危险性结果的对比研究	(98)
8.1	地震危险图的建立	(98)
8.2	对比性研究	(99)
8.3	小结	(103)
第九章	地理信息系统及 WorldRisk	(139)
9.1	地理信息系统	(139)
9.2	WorldRisk 及其功能	(143)
9.3	WorldRisk 应用示例	(145)
9.4	讨论	(148)
参考文献		(149)

第一篇 地震灾害预测基础

第一章 引言

1.1 地震灾害和国际减轻自然灾害十年(IDNDR)

在人类历史上, 自然灾害, 特别是地震, 造成了严重的人员伤亡和财产损失(表 1.1)。如图 1.1 所示的我国明朝《嘉靖实录》对地震灾害的记载, 仅 1556 年 1 月 23 日陕西关中 8 级大地震, 就造成 83 万人死亡。严重的地震灾害可以摧毁建筑、道路、港口、大坝, 甚至毁灭城市或乡镇, 尤其是对人类赖以生存的生命线工程的巨大破坏, 致使地震灾区与外界紧密联系的粮食、饮用水和电力供应中断, 以及通讯联系、医疗保障和垃圾等废物的处理能力大大下降, 这在一定程度上加剧了地震灾害的威胁。

表 1.1 世界上主要灾害性地震

年	震级	位置	死亡/人	年	震级	位置	死亡/人
365	未知	希腊: 克利特岛	50 000	1920	8.6	中国宁夏海原	200 000
526	未知	叙利亚地区	250 000	1923	8.3	日本横滨	103 000
893	未知	印度	180 000	1927	8.3	中国甘肃古浪	200 000
1138	未知	叙利亚	100 000	1932	7.6	中国甘肃昌马	70 000
1293	未知	日本	30 000	1935	7.5	印度北部	60 000
1455	未知	意大利	40 000	1939	7.8	智利	40 000
1556	未知	中国陕西关中	830 000	1939	7.9	土耳其埃尔津詹	23 000
1667	未知	高加索	80 000	1960	5.8	摩洛哥阿加迪尔	12 000
1693		西西里	60 000	1970	7.7	秘鲁钦博特	67 000
1737		印度加尔各达	300 000	1976	7.8	中国唐山	242 000
1755	8.7	葡萄牙里斯本	60 000	1976	7.5	危地马拉	23 000
1783		意大利	50 000	1978	7.7	伊朗东北部	25 000
1797		厄瓜多尔	41 000	1985	8.1	墨西哥城	9 500
1868		厄瓜多尔和哥伦比亚	70 000	1988	6.8	亚美尼亚	25 000
1908	7.5	意大利南部	58 000	1990	7.7	伊朗西北部	40 000
1915	7.5	意大利中部	32 000	1995	7.2	日本阪神	5 492

注: 这里给出的死亡数据包括火灾、滑坡和海啸造成的死亡。数据主要出自Gere和Shah(1984)。阪神的数据出自瑞士再保险公司的《The Great Hanshin Earthquake: Trial, Error, Success》一书。

在过去 20 年中, 由自然灾害造成的全球财产损失估计可达 250~1 000 亿美元。如图 1.2 和 1.3 所示, 随着世界人口的不断增长和向城市聚集及都市化进程, 地震灾害在现代社会变得日益严重, 并显示出与时间相关联的特征。例如 1976 年的唐山地震瞬间摧毁了整座工业城市, 造成 24 万多人死亡和数十万受伤(Chen Yong et al., 1988), 1995 年的阪神地震造成 1 000 多亿美元的损失, 这个损失甚至超过过去十年全球地震的总损失。虽然从

地裂泉湧中有魚物或城郭房屋陷入地中或平地突
 成山阜或一日數震或累日震不止河渭大泛華嶽終
 南山鳴河清數日官吏軍民壓死八十三萬有奇三十
 七年正月庚申陝西地震三月丁丑昌平州地震五月
 丁卯蒲州地震連震三日聲如雷六月甲申又震十月丙
 午華州地震聲如雷至壬子又震戊午夜大震傾陷廬
 舍甚多三十八年七月辛巳南京地震有聲三十九年
 四月嘉興湖州地震屋廬搖動如帆河水撞激魚皆躍
 起四十年二月戊戌甘肅山丹衛地震有聲壞城堡廬
 舍六月壬午太原大同榆林地震寧夏固原尤甚城垣
 墩臺府屋皆摧地湧黑黃沙水壓死軍民無算壞廣武
 紅寺等城四十一年正月丙申京師地震是歲寧夏地
 震圯邊牆四十五年正月癸巳福建福興泉三府同日

明史卷三十 志 三

图 1.1 1556 年陕西关中 8 级大震的历史记录，该地震造成 83 万人死亡

经济角度讲，自然灾害造成的损失在发达国家较高，但是，这种损失的影响在发展中国家更严重，会造成较多的人口死亡和较高的相对经济损失，如 1960 年 2 月 29 日摩洛哥发生的 5.8 级地震(死亡 13 100 人)、1972 年 12 月 23 日尼加拉瓜发生的 6.2 级地震(死亡 6 000

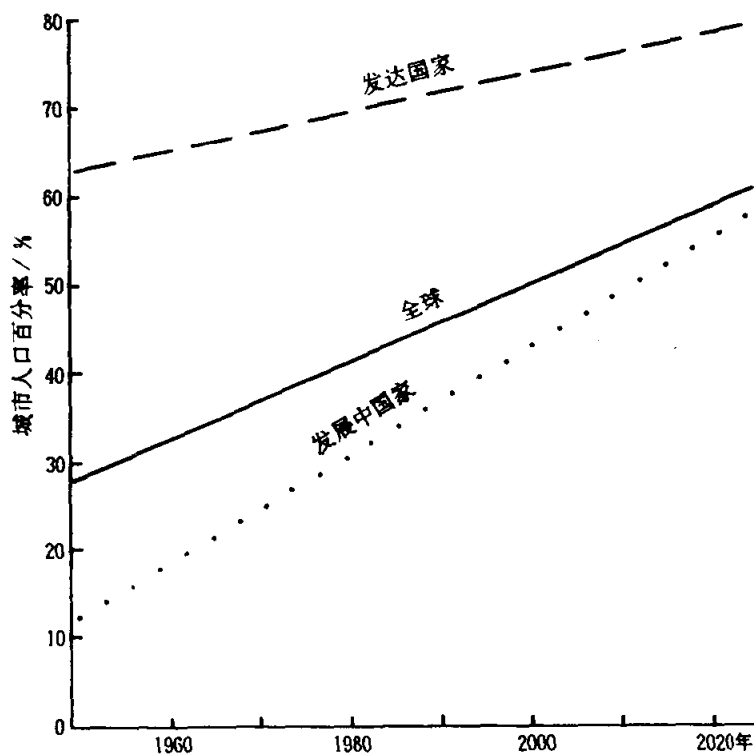


图 1.2 世界人口城市化进程

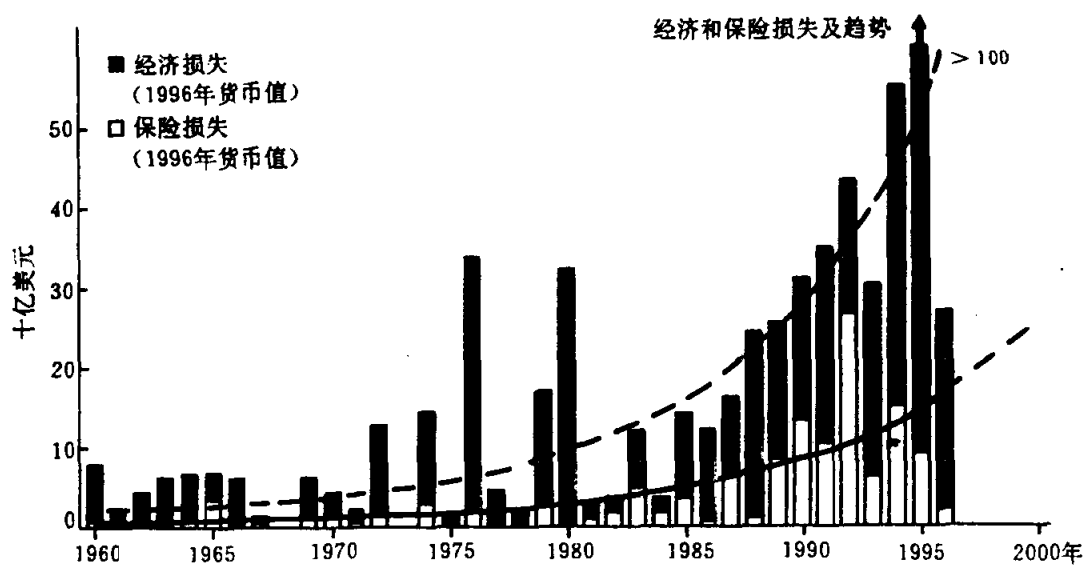
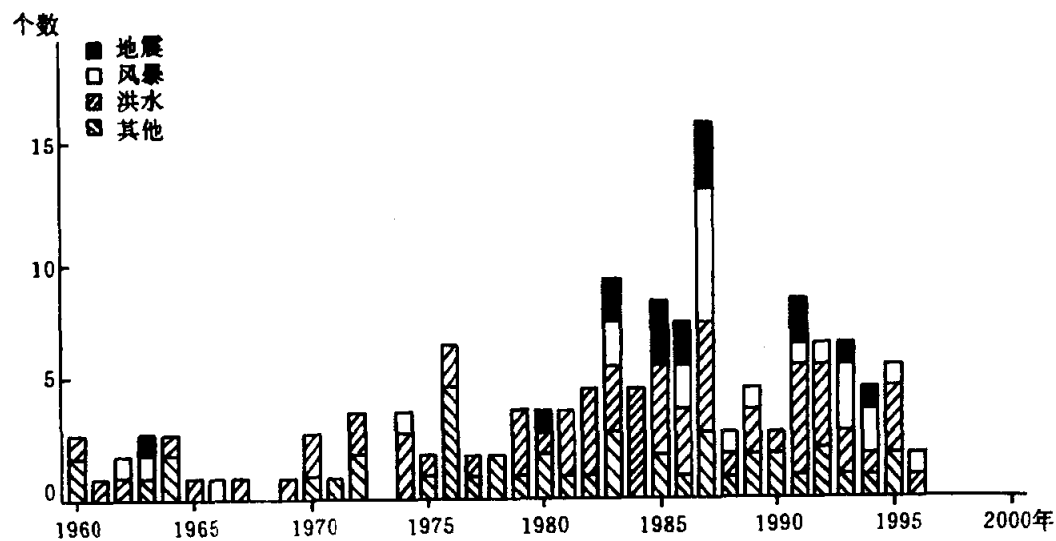


图 1.3 1960~1996 年巨大自然灾害

人，经济损失达国民生产总值的 40%)，以及 1993 年 9 月 29 日印度发生的 5.8 级地震(死亡 30 000 人)。

几乎所有的国家都不同程度地遭受过自然灾害的打击，而且自然灾害不因国家或政治性的人为地理边界所局限。这些特点使联合减轻地震等自然灾害成了国际社会的普遍共识。减轻自然灾害的国际合作计划的想法是由 Frank Press 于 1984 年在第八届世界地震工程大会发言中首次提出的，他在国际地震工程学会(IAEE)的基调发言中，提出了自 1990 年开始国际减轻自然灾害十年的倡议。这次会议后，随着这个发言稿的发行，人们开始对这种国际合作产生兴趣。

1989 年 12 月 22 日，联合国大会通过的 43 / 236 号决议，宣布本世纪 90 年代为“国际减轻自然灾害十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction)，这项决议是基于较高层次上对减轻自然灾害的技术与科学理解。在 1991 年 12 月 19 日联合国通过

的 46/182 号题为“加强联合国人道主义紧急援助的合作”决议中，强调了预防自然灾害对经济增长和可持续发展的重要性。1992 年 6 月在巴西里约热内卢召开的“联合国环境与发展大会”上，特别提请关注社会经济的贫困、人口增长、人造温室效应等因素对自然灾害的影响。

实践经验表明，如果我们合理应用已具备的足够知识，就可以大幅度地降低人员和财产在自然灾害中的损失。因此，“国际减轻自然灾害十年”(IDNDR)科学目标在联合国“国际减轻自然灾害十年”科学技术委员会的声明中明确表述为：到 2000 年，所有国家(有些通过区域性的合作协议)制订并实施各自的减灾计划以达到可持续发展的目的，计划内容包括：

- (1) 各类灾害(地震、火山、滑坡、风暴、洪水等)的全国危害评估；
- (2) 国家和(或)地区的灾害预防和减灾紧急行动计划；
- (3) 建立全球、国家和地区性的灾害警报系统。

1.2 减灾中核心的科学问题——灾害定量化

地震减灾中的一个关键问题是：在未来的地震中，一个城市或一个地区遭受多大的损失？损失估计研究由两部分组成：第一部分是地震危险性分析，主要研究对未来地震产生的强地面运动的界定和定量描述；第二部分是地震危害性分析，主要研究建筑物和其它人造设施在地震破坏时的易损性分析，以及由这些破坏造成的损失。

由联合国开发署专家组(自然灾害和易损性分析，联合国开发署专家组会议报告，1980 年 7 月 9~12 日，日内瓦)给出的地震危险性、易损性和地震危害性的定义如下：

定义 1.1 地震危险性^①

地震危险性被定义为某种大小的宏观烈度或地面运动参数(地面运动加速度、速度和位移)在给定地点上给定时间周期内被超越的概率。

定义 1.2 易损性^②

易损性是指一个确定区域内由地震发生造成损失的期望程度，易损性可采用从 0(无破坏)到 1(完全破坏)的标量形式来表示。

定义 1.3 地震危害性^③

地震危害性是由地震造成损失的期望程度，因此，它是地震危险性和易损性的乘积：

$$\text{危害性} = \text{危险性} \times \text{易损性}$$

危害性分析中包括对一个地区的人口、财产、建筑物和经济活动程度(如公共服务等)的分析等。

① Earthquake Hazard is defined as the probability that a certain value of a macroscopic intensity or a ground motion parameter (i.e. particle acceleration, velocity and displacement) will not be exceeded at a specific site in a specific period of time.

② Vulnerability is the expected degree of loss within a defined area resulting from the occurrence of earthquake, vulnerability is expressed on a scale from 0 (no damage) to 1 (full damage).

③ Seismic risk is the expected degree of losses caused by earthquakes and therefore the product of seismic hazard and vulnerability.

地震危险性描述了与地震有关的危险的自然现象(如地面震动、断层破裂和土壤液化)的潜在可能, 这些现象可对社会(如建筑物的破坏或生命损失)造成灾难性后果。地震危害性是这些结果发生的可能性。地震危险性分析的结果可以是对附近一个8级地震的震动烈度的描述, 或是对国家或区域不同地区有同等机会被超越的地震动分布图。地震危害性分析的结果可以是附近一个8级地震造成的破坏的概率(以某种货币为单位), 或是由地震活动引发的“核”事故造成的死亡概率。地震危害是地震危险和它造成结果的乘积概率。为了计算地震危害, 必须首先知道地震危险。如果事先不知道, 那么, 确定地震危险性就成为危害性估计过程的一部分。

地震灾害的定量化是减轻自然灾害和危害性管理的基础, 其中的地震危险性分析和地震灾害评估是关键的科学问题(图 1.4)。

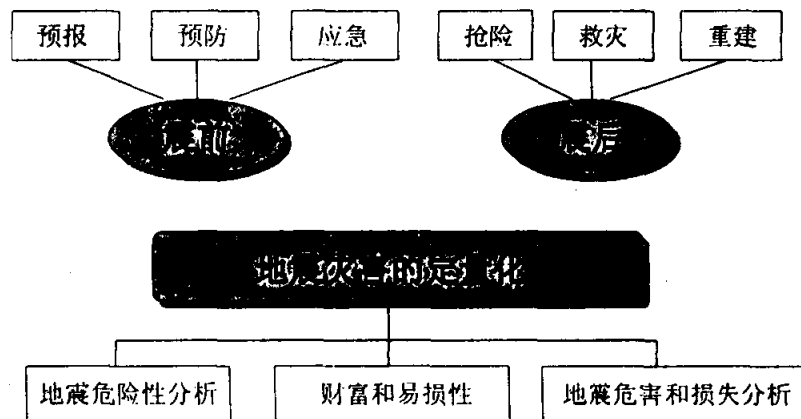


图 1.4 灾害的定量化是国际减轻自然灾害十年(IDNDR)的基本科学问题

1.3 地震危险和建筑设计规范

地震危险性分析的结果为抗震设计提供了基础, 它是减轻地震灾害的主要工程措施。进行地震危险性分析的地震学家实际上从事着减灾工程的一部分工作, 或社会减灾工作的一部分。这种分析的最终成果是对具有某种实际用途的地震危险或威胁的表述, 这种成果可以是单个值为特征的简单的地震地面运动参数, 如修正的麦加利烈度(MMI)或峰值地面加速度(PGA), 或是较复杂的多参数形式, 如反应谱。在任何情况下, 它们均可被用于达到某些实际目的。

地震规范的基本原则是, 当建筑物按抗震进行设计时, 建筑物的破坏可以减轻, 经济损失降低到最小, 以及人员损失被避免; 在经常发生的小地震作用下, 建筑物不会或只有轻微破坏, 不需要修复就能继续使用; 在达到设防烈度的地震作用下, 建筑物被破坏, 但经过常规或不经过修复仍能使用(设防烈度是经当局认可的, 用作一个区域抗震设计的基础, 在大多数情况下, 设防烈度等效于基本烈度); 在一个很少发生的显著地震或破坏性地震的作用下, 建筑物将遭受不可修复的破坏, 但既不会造成倒塌, 也不造成危及人的生命安全的破坏。这些原则与许多国家的抗震规范是一致的。可以说, 规范中所有措施, 无论是确定在抗震计算中用于改进建筑物的延展性和完整性所采用的值, 还是用于限定建筑物高度或其它尺度, 或用于其它目的都被写入, 以实现地震规范的基本目标。

作为地震危险性分析的首项成果, 在美国由 F. P. Ulrich 依据全美地震学家的建议,

于 1948 年给出了全美地震危险概率图, 该图由美国海岸和大地测量调查局在 1948 年发布。修订的版本被太平洋海岸建筑官员大会采纳, 列入 1952 年版的统一建筑规范(UBC)中。UBC-85 中的地震区划图是根据 Algermisson 在 60 年代的工作演变而来, 它基于所记录到的最大振动烈度, 但并不考虑这种振动发生的频度。现在, 最新的美国规范是 1991 年版的统一建筑规范(UBC-91)。

在中国, 于 1957 年给出了第一个烈度标准——《中国地震烈度新标准》——以及相应的烈度区划图。它非常接近修正的麦加利烈度(共 12 度)标准。1977 年, 重新编制了《中国地震烈度标准(1977)》。该标准综合了宏观描述、峰值地面加速度(PGA)和峰值地面速度(PGV)物理测量结果。基本烈度被定义为未来 50 年区域可能遭受到的最高烈度。1992 年, 发布了第三版的《中国地震烈度区划图(1990)》。在该图中, 基本烈度被重新定义为未来 50 年具有 10%超越概率的烈度。这个危险性分析的结果是《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》的基础, 该规范提出后广泛用于抗震建筑设计(建设部, 1989)。规范中提出了三种不同层次的抗震, 既抵御未来 50 年“较小”地震而不受破坏, 模型烈度的超越概率为 63%; 抵御未来 50 年“中等”地震且只有可被修复的破坏, 基本烈度的“中等”地震发生的超越概率是 10%, 基本烈度与模型烈度之间的平均差别是 1.55 度; 抵御未来 50 年“主要”地震, “主要”地震发生的超越概率是 1.5%~3.0%, “主要”地震的烈度近似比基本烈度高 1 度。

《International Handbook of Earthquake Engineering - Code, Programs, and Examples》一书收集了 34 个国家的地震规范(Mario Paz, 1994)。由于新发生的地震产生的连续强地面运动造成的严重破坏, 使得地震规范多次被重新审阅和修订。自 80 年代以来, 结构抗震研究已从静态分析转成动态分析。借助于物理模型和计算机的快速发展, 动态分析为建筑物对强运动地震提供了更为精确的设计方法。然而, 尽管在建立物理模型上取得进展, 但当所遭受到的未来地震的特征不知道的情况下, 至今仍不能精确预测结构物的反应。可以想见, 地震规范将随着危险性分析研究的深入而得到进一步改善。

1.4 灾害管理

危害性评估和对危害性的认识, 将随着社会管理的进步, 逐步与地震危险性分析相结合。虽然灾害管理的客观目标是明确的, 但是显而易见, 并不能得到一个全球普遍接受的危害性评估的价值系统, 因为总是存在各种各样的主观因素。

1994 年发生的美国加州北岭地震和 1995 年发生的日本阪神地震, 使我们非常痛苦地意识到我们的社会正处于巨大的地震危险之中。世界上有许许多多城市(人口大于百万)正处于地震高活动的地区, 而且可以肯定, 它们准备的防震措施不如北岭和阪神的那样好。这样, 我们就需要问我们自己这样一个问题: “我们准备好了吗?” “我们确实有效地应用我们的知识以减轻未来地震的影响吗?” 一旦确定某个地区地震危险的水平和了解各种因素对地震危险的影响, 下一步就是发展减灾和管理的策略。

过去, 当减灾和管理的策略被发展并被建议执行时, 并没有考虑它们的实用性、实现的能力、费用以及谁付款、谁受益等问题。如果同意减灾不是免费的, 以及用于改善安全的总经费并不是随意确定的这些观点, 那么就应当评估灾害管理方面的投资。这表明像别的商品一样, 安全也可以买得到。在现实的世界中, 如果减灾所用的额外花费仅等于获

利，那么，这些资源将不会用于减轻地震危险。采用花费—获利分析的方法可制订许多不同的方案以进行比较，但每种方案在做决定时，都需要花费一定数量的钱用于挽救生命。

有效的灾害管理依赖于一系列行动的完成。不同阶段的行动之间常互相重叠关联，但将它们作为一个封闭的环来完成是直观、重要的，因为灾害管理中一个主要目标是从经验和反馈中学习。

- 灾前计划：包含较广泛的活动，如防护工程的建设，土地使用计划和疏散计划的形成、分配和维护。
- 应急：这一阶段主要是反映灾害发生时的警戒程度，例如：发布紧急事件的警报安排、当局执行疏散计划的效率等。近几年对于应急工作给予了较多的注意。
- 反应：在事件发生前后立刻需要完成的事情，包括对警报的反应、紧急救灾活动。破坏和损失的估计可基于地震危险和危害的评估模型，通过使用计算机模拟进行计算(Moore et al., 1985; Chen et al., 1992)。
- 恢复和重建：经过严重破坏后，需要做许多较长期的工作，以使灾区恢复“正常”。这种破坏甚至也能发生在具有较好抗灾准备的地区。

第二章 地震危险性分析

地震危险性定义为某种大小的宏观烈度或地面运动参数(地面运动加速度、速度和位移)在给定地点上给定时间周期内被超越的概率(自然灾害和易损性分析, Report of Expert Group Meeting, 9~12, July, 1979, NUDRO, Geneva, 1980)。

与其它自然灾害的分析类似, 地震危险性分析由两部分组成: ①确定灾害的来源, 这里是给出地震的大小和空间位置; ②确定这些震源在给定位置造成的影响, 这里通常是给出由地震造成的地面运动。

2.1 地震的主要概念

与其它现象相比, 地震或许更能显示地球是一个不断运动、充满活力的行星。由于地球内部构造力的作用, 地球每天都不断发生改变。最普通的地震类型是构造地震。地球最上面的地壳是由各种具有弹性的岩石所组成, 当岩石中的应力达到某种水平, 超过地壳较软弱的部分(如地质断层)的破裂强度时, 断层两侧突然相对滑动, 产生地震。描述地震震源最普通的参数是震源或震中(震源在地球表面正上方的投影)位置, 以及描述地震震动强度和能量释放的参数。

众所周知, 地壳并不是一个连续的外壳, 它就像一个较完整的拼图板。地壳的每一块都被称为板块。大多数地震发生在板块边缘(图 2.1), 称为板间地震。从图 2.1 可以看出, 大陆内部也有一些地震, 称之为板内地震。由于人类居住在大陆地区, 因此板内地震对人类更危险。这也是我们在地震危险性分析中将较多的注意力放在板内地震的原因。

使用仪器测量地震大小最常用的方式是采用震级标度, 它首先是由 Richter 在研究美国加州地方震时发展起来的。这种震级是通过计算对位于震源一定距离上实际地面运动的最大振幅取对数(以 10 为底)得到的(图 2.2)。地面运动(地震波)的振幅范围一般在微米至厘米之间。图 2.2 显示一个 4 级地震的最大位移振幅是 3 级地震的 10 倍, 而 5 级地震的振幅是 3 级地震振幅的 100 倍。

地震的震级并不直接与地震释放的能量相等, 但存在某种联系。粗略地讲, 地震能量增加的速度比里氏震级增加的速度要快得多。在大多数情况下, 震级 m 和地震波能量释放之间有如下经验关系 (Gutenberg and Richter, 1954):

$$\lg (E / 10^{-7} \text{ J}) = 11.8 + 1.5m \quad (2.1)$$

这表明, 当震级 m 增加 1 时, 地震波能量增加约 30 ($\approx 10^{1.5}$) 倍。例如一个 6.5 级地震的能量释放大概是一个 5.5 级地震(相当于 1945 年广岛原子弹爆炸释放的能量)释放能量的 30 倍; 而一个 7.5 级地震的能量释放大概是一个 5.5 级地震释放能量的 $30 \times 30 \approx 1000$ 倍(相当于大约 1000 个广岛原子弹爆炸释放的能量)。

地震通常被看作是各种自然力量中最具有摧毁性的力量。图 2.3 给出了地震的能量释放与自然界别的能量释放之间的比较。

全球现代地震台网每年可记录到百万次以上的地震, 其中的 99% 不具有危险, 因为它们是小地震。在地震活动研究中, 一个重要的关系是地震大小与发生的频次之间的关

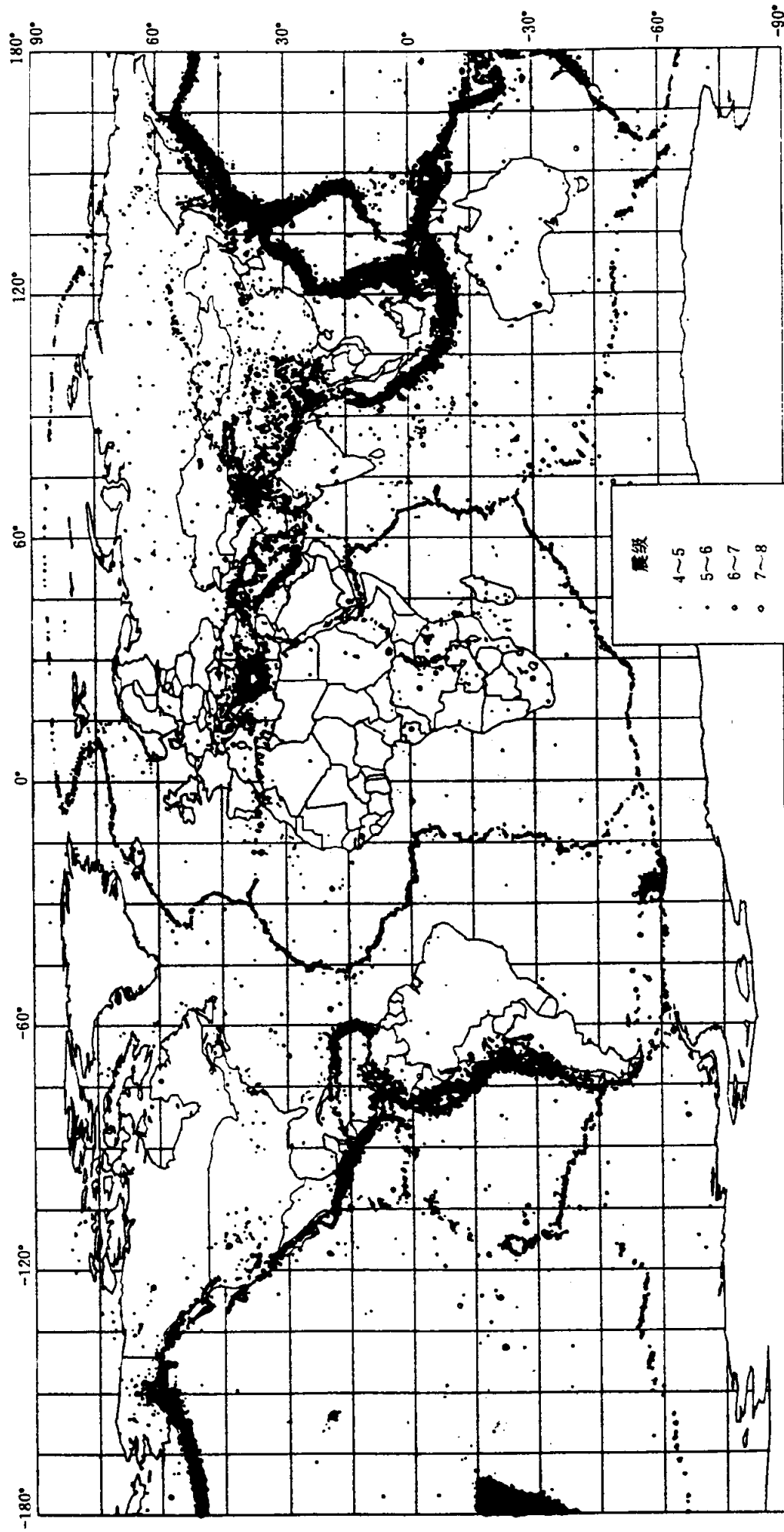


图 2.1 全球地震震中分布图(1964~1994 年)
 大多数地震发生在板块边缘, 但大陆内部也发生一定数量的地震, 其中一些地震可造成严重灾害

docsriver 文川网
入驻商家 古籍书城

在文川网搜索古籍书城 获取更多电子书

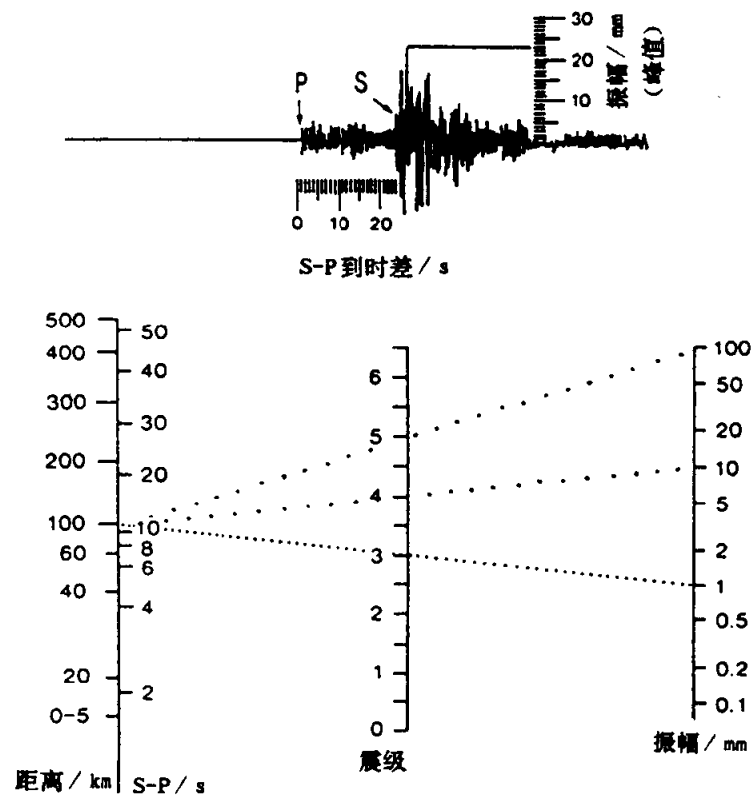


图 2.2 里氏震级标度

点线连接的是由 3 级地震引起 1 mm 最大地震波振幅时，记录场点与地震震源之间的距离(本图为 100 km)，从上面的地震图上，可得到震中距(通过 S-P 到时差)和地震波的最大振幅，然后确定该地震震级

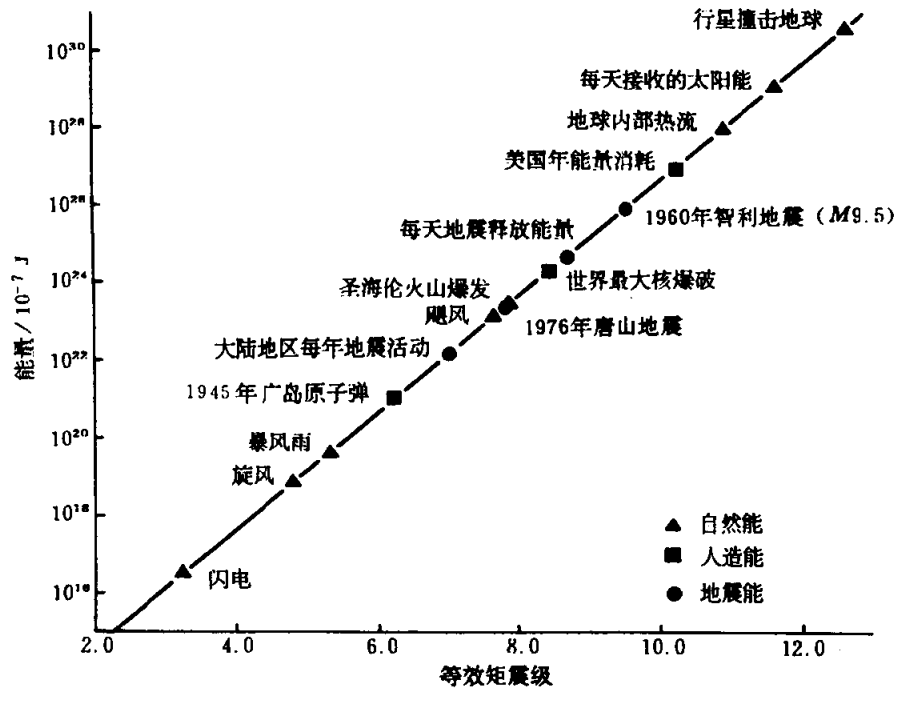


图 2.3 地震与其它种类的能量释放的比较

系。Gutenberg 和 Richter 首先提出：在一个给定的区域，一定时间内发生的频次可写成

$$\lg N(\geq m) = A - bm \quad (2.2)$$

这里， $N(\geq m)$ 是震级大于等于 m 的地震个数； A 和 b 是通过统计研究确定的经验常数。这种地震频次和震级之间半对数的关系(也称为 G-R 关系)的物理基础至今仍不是很清楚，一种观点认为，这种分布或许反映由分维断层控制的地震发生的随机特性(Bak and Tang, 1988, 1989; Burridge and Knopoff, 1967)。但是，无论其物理含义如何，G-R 关系已被证实可被应用于全球或区域尺度上一个较宽的震级范围内。图 2.4 给出了 1964~1995 年全球地震频次-震级关系图。因此，该关系是对长时间地震发生概率进行估计的一个基本关系。

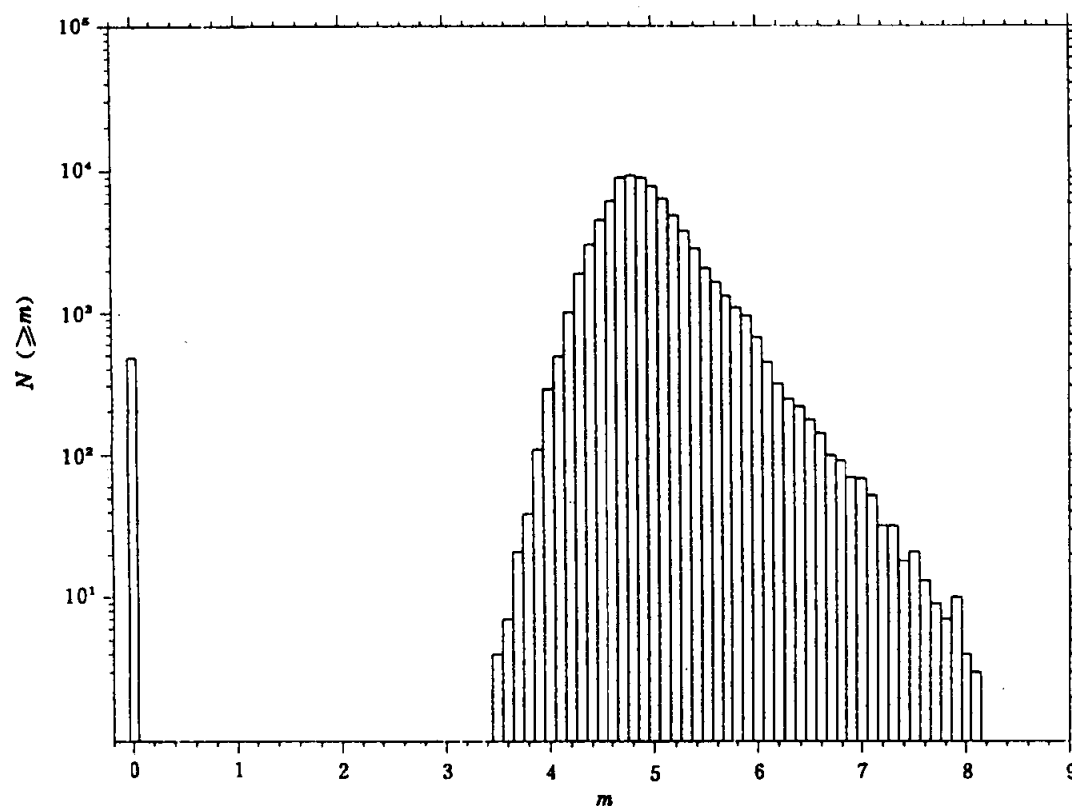


图 2.4 全球地震频度-震级关系(Engdahl, 个人通讯)

式(2.2)中的常数 b 被称为 b 值，它随区域的不同而有所不同，但是通常位于 0.8~1.2 之间(Evernden, 1970)。随着监测仪器精度的改善和台站的增加，80 年代全球监测能力达到 $m=5$ ，90 年代达到 $m=4.5$ 。基于这些数据，许多作者发现全球的平均 b 值大约为 1(Dziewonski et al., 1989; Purcaru and Berkhemer, 1982)。

从表 2.1 可以看出，尽管频次随幂律快速降低，但是，大多数的能量是由较小数量的大地震释放的，小地震释放的能量仅占总能量释放的很小一部分。

令人奇怪的是：地球表面之下所有的地震能量释放均对人类无直接危险，人类并不是由地震“摇动致死”。最大的危险是由地震引起的地面运动与人类自身建造的建筑之间的相互作用产生的，例如在一个倒塌的建筑物中被压的危险、失火的危险、由被破裂的水库引发的洪水卷走或淹死的危险，以及由地震引发的滑坡掩埋的危险都是客观存在的。

表 2.1 各种震级的地震频度

描 述	震级	每年的次数	近似的能量释放 / 10^{-7} J
巨大地震	≥ 8	1~2	$>5.8 \times 10^{23}$
大地震	7~7.9	18	$(2 \sim 42) \times 10^{22}$
毁灭性地震	6~6.9	120	$(8 \sim 15) \times 10^{20}$
破坏性地震	5~5.9	800	$(3 \sim 55) \times 10^{19}$
中等地震	4~4.9	6 200	$(1 \sim 20) \times 10^{18}$
小地震	3~3.9	49 000	$(4 \sim 72) \times 10^{16}$
监测到但无感地震	2~2.9	300 000	$(1 \sim 26) \times 10^{15}$

资料取自 Gutenberg and Richter (1954).

地震造成的破坏包括以下四个方面:

- 地面振动: 通常引起最严重的破坏。由于拥挤的建筑造成人员和财产不能很快被疏散, 因此当地面振动引起倒塌时, 可产生巨大损失。
- 地表破裂: 地表在狭窄的断层带上的水平和垂直位移。虽然与地面振动相比, 影响区域很小, 但它能严重破坏位于断层附近的建筑。
- 地面下沉: 是产生破坏的间接原因。但它可能比较普遍并能造成一些最具破坏性的生命损失。
- 海啸: 由地震产生的席卷岸边的海洋波。它可在距震中数千公里的岸边引起破坏。当海啸越过海岸线或护堤时, 造成下游地区被淹, 引起严重损失。

在本书中, 有关地震危险的讨论仅局限于地面振动。在地震危险性分析中, 重点放在研究某种大小的地面运动被超越的概率。因此, 本章首先给出一些地面运动参数的描述。

2.2 地面运动参数

地面运动参数主要来自对地震波的测量。地震波引起的地面运动分成两类: 弱运动(指在较远距离或由小地震产生的小振幅运动)和强运动(指附近地区或由大地震产生的大振幅运动)。地震危险性分析中的地面运动指的是强运动。强地面运动地震学是地震学的一个分支, 它主要研究地震震源附近高振幅的运动, 在这种情况下, 地震波不能明显地被分成几类波形, 并且这种地震波在断层扩展面上的破裂效果是显著的。传统上, 工程师们感兴趣的是加速度, 特别是峰值地面加速度(PGA), 它与地震波的动力密切相关并能精确地测量到。PGA 的单位是 g , 它是地球表面的重力加速度($1 g$ 近似为 9.8 m/s^2)。

图 2.5 是一套典型的强地面运动记录, 它是 1984 年美国加州 Morgan Hill 附近发生的一次 $m=6.1$ 地震在距震中 44 km 处记录到的。图中水平时间尺度是秒, 垂直分量分别是加速度、速度和位移。如图所示, 加速度的时间进程在较高频率上特别丰富, 而位移在低频、速度在中间的频率较丰富。虽然强运动最初的目的是测量加速度, 但以后增加了速度测量, 因为它直接与运动动能相关, 而位移的测量到目前仍较少使用。

为了估计由地震引起的地面运动, 必须首先确定相应的衰减关系。衰减是指地震能量或地震波的振幅在一定条件下, 随从震源到场点的距离的增加而降低。地面加速度的衰减被认为由以下两个因素组成: 几何扩展和吸收。几何扩展与 $1/r^n$ 成正比, 吸收与 e^{-cr} 成

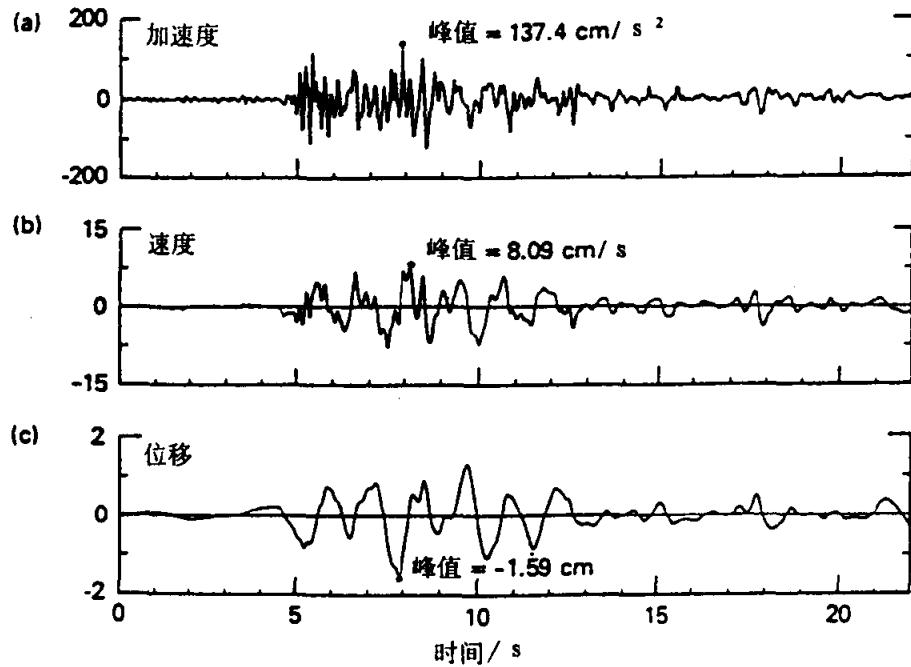


图 2.5 由仪器记到的强地面运动(Shakal et al., 1986)

(a)加速度; (b)速度; (c)位移

正比，这里 n 和 c 是给定常数，它们随区域不同而不同，并依赖所考虑的频率； r 是震源和场点之间的距离。图 2.6 给出了 PGA 的典型衰减曲线。由于震源特征，特别是断层类型和应力情况对衰减关系有重要影响，因此有关衰减关系经验的(有可能是理论的)研究是处理地震危险分析最适当的方式。

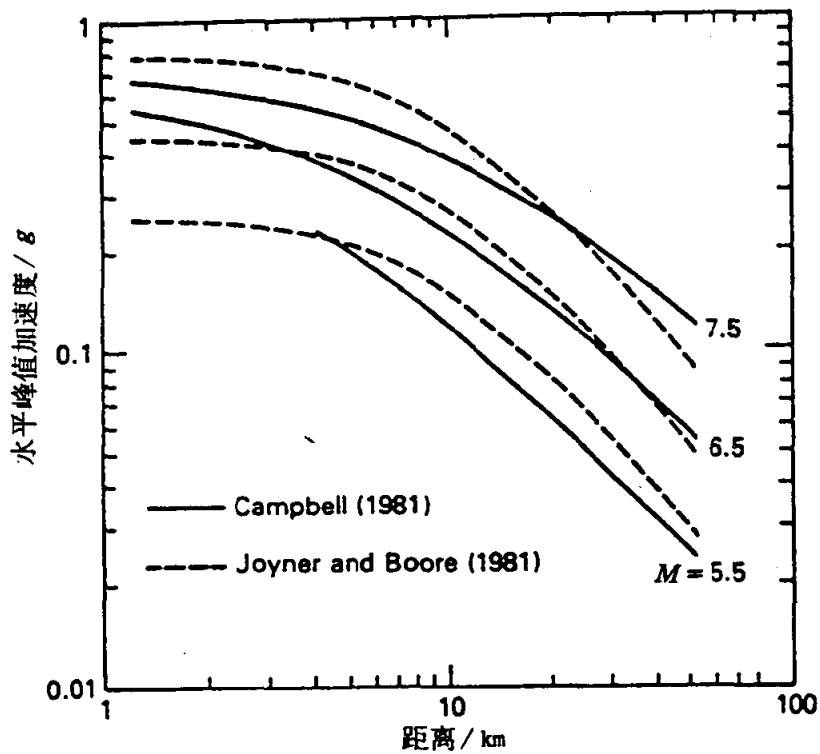


图 2.6 峰值地面水平加速度的衰减
(Campbell, 1981; Joyner and Boore, 1981)

除对加速度、速度和位移的时间进程进行研究外，地面运动也可以用别的方式进行研究。例如：富利叶分析将时间进程转换成振幅和相位谱，它可直接描述记录到的运动的频率特征。从时间域到频率域简单而方便地进行转换或相反转换是非常重要的，这是因为表示某种物理过程的一些数学操作常在某个域中比另一个域中更容易实现。地震学家广泛使用富利叶分析来研究震源和传播特性，然而，工程师们发展了另一种谱类型，这就是反应谱，它被证实在建筑物的设计和分析中是很有用的。反应谱是地震学与工程学之间的桥梁。基于地震震源模型(如断层模型，障碍物模型，凹凸体模型等)，地震学家可为建立反应谱提供有价值的信息，并且强运动记录在建筑物的抗震设计和分析中是非常有用的。

地震中最强烈的振动是在较近距离上频率范围在 0.5~5 Hz 的振动。一个典型的 10 层楼建筑的固有周期为 1 s，增加一层大约加大 0.1 s，因此，20 层的建筑的固有周期大约是 2 s。较高的建筑比较低的建筑有较好的延性，并通常设计成随风有一定弯曲，因此，20 层以上的建筑是比较抗震的，但它们对远震的长周期敏感，如墨西哥城在 1985 年墨西哥地震时的明显破坏。因此，抗震设计中应包括各种震动模型对建筑物的反应和频率的估计。

应当强调的是，采用多参数描述地面运动确实是需要，这是因为地面运动对建筑物破坏的影响取决于地面运动的振幅、持续时间和频率。

除上述所提的地面运动参数外，还有另一类描述地面运动效果的参数，这就是烈度，而对烈度分类制订的表称为烈度表。烈度是表示某一场地的地震动强度，并将观察到的各种破坏程度与一特定数值联系起来。烈度表最初是由意大利人 M. S. de Rossi 和瑞士人 F. A. Forel 于 19 世纪末提出的。从地震危险的角度讲，Rossi-Forel 烈度表被证明在评估地面运动上具有重要价值。常常，烈度表的选择具有区域或国家特点，例如：欧洲南部采用的是 12 级的 Mercalli-Cancani-Sieberg 烈度表(MCS)。日本气象厅(JMA)采用的烈度表是 7 级烈度表，其中参考了典型的日本建筑(如带格子的滑门和木制房屋)在地震中的

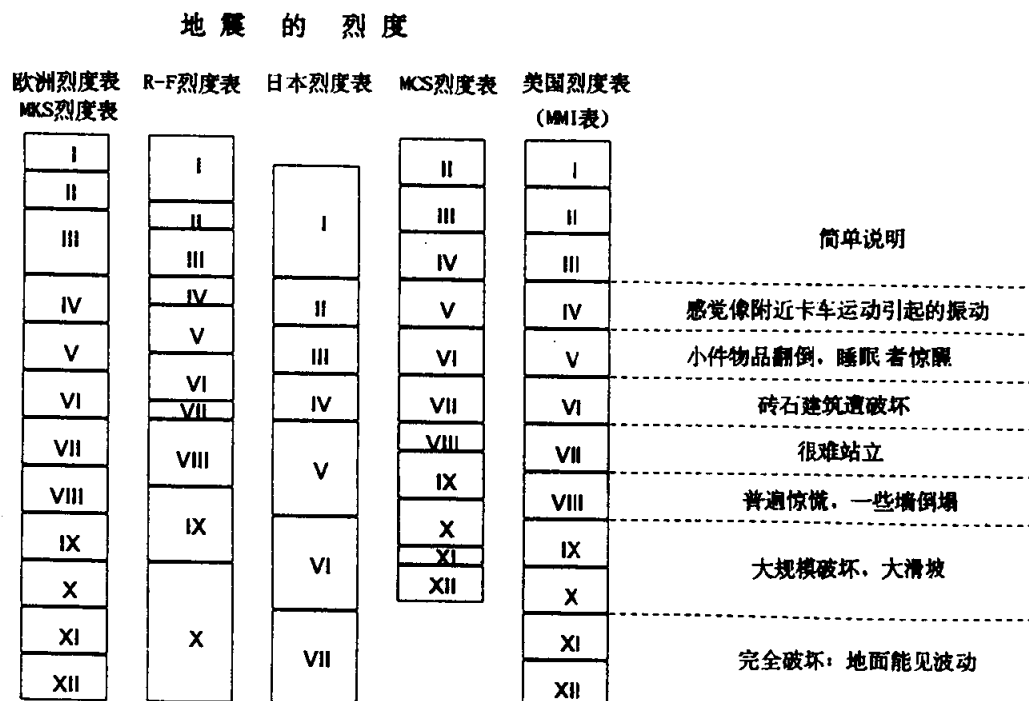


图 2.7 不同烈度表之间的比较

影响。Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK)烈度表(12级)是由中、东欧科学家发展起来的。中国和美国目前所使用的烈度表是修正的 Mercalli 烈度表(MMI), 该烈度表增加了人的感觉和他们周围能被观测的事物遭到破坏的效果。图 2.7 给出了各种烈度表之间的比较。各种烈度表的详细描述可参见欧洲地震委员会出版的书(Grunthal, 1993)。

烈度被广泛地用作危险性参数, 它的优势在于它能唯一地描述一个地震对地表的影响, 并综合许多参数(如地面加速度、地震的持续时间、土层影响)。烈度的衰减关系表示地震对场点的影响随距离的变化程度, 它已被许多作者研究(Howell and Schltz, 1975; Gupta and Nattli, 1976; Chandra, 1979), 有关烈度衰减的详细讨论在第五章中给出。

所有上面提到的地面运动参数将在地震危险性分析中应用。

2.3 确定性地震危险性分析

在介绍地震危险性分析方法之前, 首先讨论地震的影响。通常, 地震的影响是指对一个给定的地震震源, 在一个确定场点造成的地面运动的估计。场点上的地面运动被认为受以下三种因素影响: 震源、地震波的传播路径和场地条件。对全球或大尺度危险性分析, 重点放在研究地面运动在传播路径上的影响。有两种类型的地震危险性分析方法: 确定性分析和概率性分析。

确定性地震危险性分析在很大程度上是充分利用每一个地震事件对所研究场点危险性造成的影响。确定性地震危险性分析一个简单的例子是: 场点X上地震危险是峰值加速度 $0.5g$, 它是由距该点 10 km 处的断层Y上发生一个6.5级地震造成的。

这种分析方法需要定义三个基本因素: (断层Y上的)一个震源、控制地震的大小(6.5级)和确定危险性的描述方式(这里采用峰值加速度, $0.5g$)。基本步骤在图 2.8 中给出(TERA Corporation, 1980)。

步骤1是潜在震源的定义。潜在震源可以是清楚了解和明确定义的断层, 也可以是不甚了解和缺乏地质构造定义的断层。单个震源的形状可以是点、线、面或体, 这取决于所选取的震源类型和在地质空间上确定它的能力。图 2.8 中给出了一些例子。为方便起见, 在进行地震危险评估的场点与各种震源之间用连线联接, 该线表示各种震源与场点的最近距离。

步骤2是控制地震的选择。首先将步骤1中给出的每个震源的潜在地震以最大地震的形式来定义, 它可以是合理推测的地震、最大可信地震, 或其它类型的地震描述。选择的主要标准是以保守方式挑选确定总体水平最重要的因素之一。地震震级或震中烈度常被用于定义地震大小。在震源和场点之间, 有一个相关的距离(常选取最近距离)。控制地震就在所推测的这些地震之中, 由它产生的地面运动或其它参数, 是所考虑的所有地震震源对场点产生影响的主要因素。该地震被认为是定义地震危险最重要的地震事件。目前, 也许不只一个控制地震, 这是因为对场点造成最大地面运动的地震事件并不总是很清楚。在分析的结论中也存在不只一个控制地震, 这种情况可能发生在在一个震源与另一个震源同样重要, 或在危险性描述中采用不只一个地面运动参数, 如峰值地面加速度和峰值地面速度, 这样不同的地震控制不同的参数。

步骤3是地震对场点影响的确定, 通常以某种地面运动描述, 一般情况下, 可以通过确定地震的地面运动衰减关系来完成。衰减可以是地震能量, 也可以是地震波振幅随离开

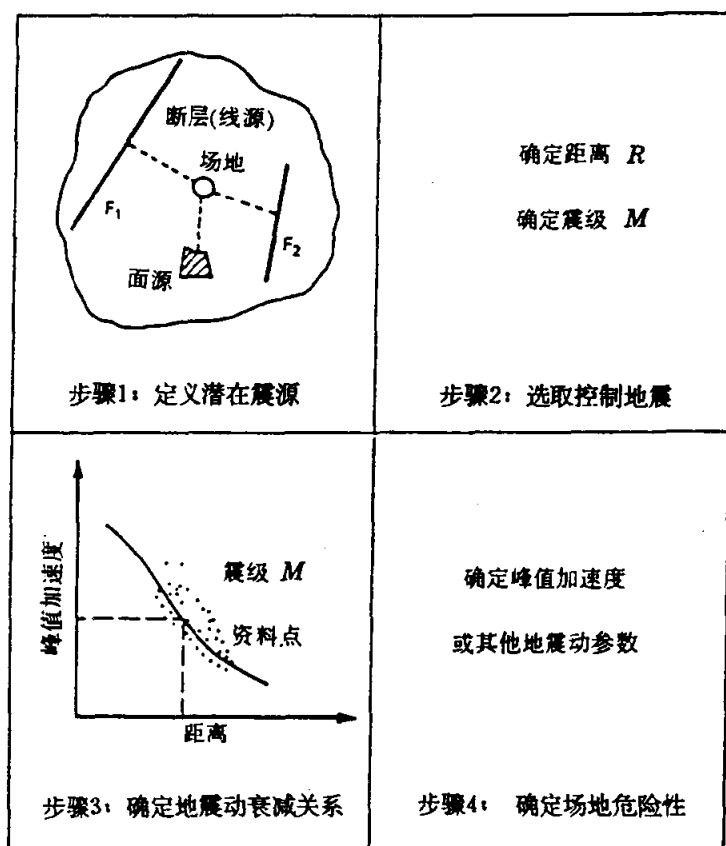


图 2.8 确定性地震危险分析的基本步骤(TERA Corporation, 1980)

震源的距离而衰减，它是由地球介质的吸收和扩散造成的。当加速度或烈度被用作地面运动参数时，估计一定震级的地震在不同距离上产生的地面运动的衰减关系，可通过对观测数据的曲线拟合来得到。如果在步骤 2 中，控制地震并没有确定，那么，它可以通过造成最大地面运动的地震来确定。

步骤 4 是场点危险性的确定，在大多数情况下，它是步骤 3 的直接输出。通常它是对场点危险性的一个简单描述。场点的危险性可采用峰值地面加速度、速度或其它参量来描述。

确定性分析方法的详细论述可参见《Earthquake Hazard Analysis》一书的第三章(Reiter, 1990)。

2.4 概率性地震危险性分析

在地震危险性分析中最重要的事情是确定未来地震的震源：多大和在哪里？由于确定性预测方法的缺陷，概率语言较好地适合将地震过程描述成为一个由许多复杂动力系统所组成的事件(Turcotte, 1992)。

在大多数概率性地震危险性分析中所采用的方法，是由 Cornell 在他的经典文章《Engineering Seismic Risk Analysis》中提出的(Cornell, 1968)。在这篇文章中，他引入了一种对工程项目的场点进行地震危险性评估的方法，所得结果以地面运动参数(如修正的 Mercalli 烈度或峰值加速度)的年超越概率与平均复发周期关系的形式给出(图 2.9)。该方法综合了所有地震潜源和它们的平均地震活动率对场点的影响。

Cornell 方法可向工程师们提供地面运动参数的年超越概率与它们的平均复发周期

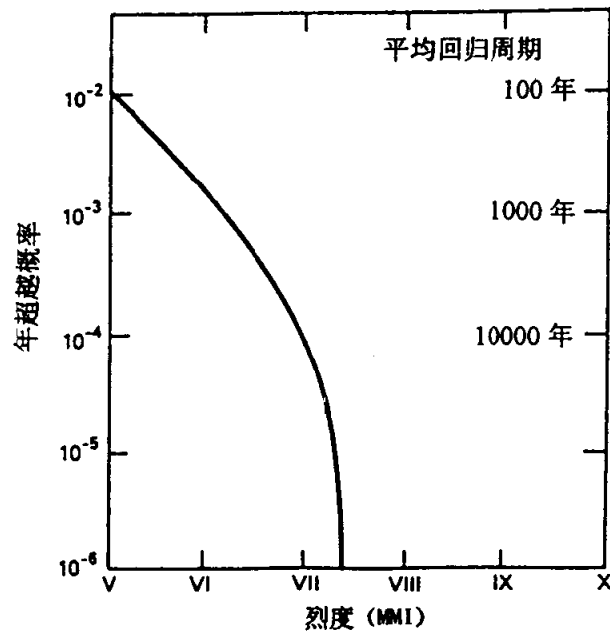


图 2.9 Cornell 危险性分析方法的例子：场点给定的修正 Mercalli 烈度的年超越概率与平均复发周期(Cornell and Merz, 1975)

之间所期望的关系。与确定性方法中通过不太确切定义的单一个数字，比如“最大可信”烈度(或“最大可信地震(MCE)”)或“安全估计地震(SEE)”相比，由 Cornell 方法得到的信息是通过如修正 Mercalli 烈度的年超越概率与平均复发周期关系曲线这种形式来表示，因此更加有用和完整。最基本的资料仅是要求地震学家对各种地震潜源的平均活动水平给出最佳估计。

由 Cornell 提出的潜在震源和平均复发周期这两个概念是地震危险性概率分析的基础。

潜在震源可以是点、线(如地表断层)和面的形式，它是代表未来地震发生的空间。为了描述地震潜源，就必须确定它的形状，给出它的大小、边界和各种震级的地震的平均发生率。

根据 Cornell 模型，地震潜源必须具有如下三个特征：

- 地震发生均匀分布，即一个给定大小的地震在整个潜源中发生的可能性是一样的。
- 在每个潜源中，地震震级和频度关系满足G-R关系。
- 每个潜源中地震在时间上的分布是泊松分布，这意味着地震发生是无“记忆”的，即每个地震的发生与其它地震无关。如果一个地震今天发生在一条断层上，它不会对下一次任意震级的地震发生的位置产生任何影响。很明显，这条假定与包含前震和余震的地震数据是不一致的，并且它将破坏当我们根据地震空区、应变释放和其它物理方法预测的地面运动，被用于确定地震在时间和空间上的联系时的考虑。这种无记忆的假定被称为泊松模型，并被用于做一些有用的近似。

依据 Cornell 方法和潜在震源的概念，概率性地震危险性分析方法被广泛地在世界各地使用。图 2.10 给出了该方法的分析步骤，这些步骤与确定性地震危险性分析方法类似，但也有一些明显的差别。

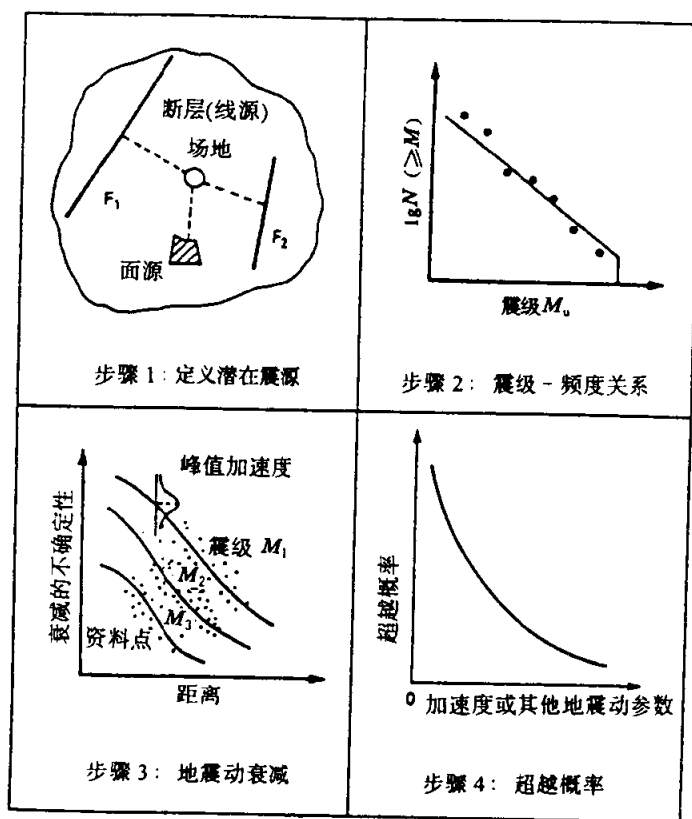


图 2.10 概率性地震危险分析的基本步骤(TEA Corporation, 1980)

步骤 1 是地震震源的定义。它与确定性分析方法中步骤 1 大体相似，但这些震源被明确地定义成地震潜在震源，具备上述三个特征，即给定震级的地震在空间上具有均匀的发展可能性、满足 G-R 关系并在时间上遵守泊松分布。

步骤 2 是确定每个震源的地震活动的复发特征。这一步与确定性分析方法中的步骤 2 基本上完全不同。它不是挑选一个控制地震，而是把每个震源通过采用地震概率分布或复发关系来代表。复发关系表示给定震级的地震在一定的时间内发生在震源任何地方的可能性。每个震源选定一个最大震级，它代表所考虑的最大地震的大小。每个震源的复发关系(G-R 关系)经常采用由图 2.10 中的一条直线表示，纵轴是给定震级地震个数的对数，横轴是震级。图 2.10 步骤 2 中的 M_0 是表示潜源的最大震级。

由于地震被假定在潜源各处都可以发生，因此震源内所有可能的位置与场点的距离都必须考虑。而在确定性方法中，仅考虑每个震源距场点最近的距离。因此，在概率性分析中，需考虑一系列不同大小的地震与场点的距离以及相关的发生率。

步骤 3 是地震影响的估计。这基本上与确定性分析类似，所考虑的不同大小的地震要求一套不同的地震衰减或地面运动曲线，每个均与一定大小地震的地面运动参数随距离的变化有关。图 2.10 显示了这些曲线，并给出数据拟合时的不确定性。

步骤 4 是确定场点的危险性。它与确定性分析中仅计算场点危险情况的简单程序完全不同。在这种情况下，具有不同发生概率位于不同位置上的不同震源的所有地震的影响，都被综合在一起。一个区域的地震危险通常是以一定时间周期内给定值的地面运动被超越的概率。设有 N 个地震带对场点的地震危险性有贡献，若第 n 个地震带对场点造成地震动 z 的年超越概率为 $P_n(Z \geq z)$ ，则场点总的地震动年超越概率为

$$P(Z \geq z) = 1 - \prod_n^N [1 - P_n(Z \geq z)] \quad (2.3)$$

其中, Z 是地面运动参数(即加速度或烈度); z 是地面运动的一个给定值。

在上面分析中, 最关键的步骤是 $P_n(Z \geq z)$ 的确定, 这将在下面做进一步讨论。为简单起见, 公式中参数略去了关于地震带的角标, 所有参数都描述同一地震带。

在地震危险性概率分析中, 采用两种截然不同的方法确定某种地震参数: 一类是统计, 另一类是设定。地震带是地震活动分析的基本统计单元, 它应具有统计上的完整性和地震活动趋势的一致性。地震时间过程符合分段的泊松过程, 在 t 年内, 年平均发生率为 v , 则

$$P_{kt} = \frac{(vt)^k}{k!} e^{-vt} \quad (2.4)$$

式中, P_{kt} 为统计区内未来 t 年内发生 k 次地震的概率。从式(2.4)中, 可得到未来 t 年内, 至少发生一次地震的概率为

$$P(t) = 1 - e^{-vt} \quad (2.5)$$

地震带内大小地震的比例遵从修正的震级—频度关系, 相应的震级—频度密度分布函数为

$$f_M(M) = \frac{\beta \exp[\beta(M - M_0)]}{1 - \exp[-\beta(M_{uz} - M_0)]} \quad (2.6)$$

式中, $\beta = b \times \ln 10$; M_{uz} 为地震带的震级上限。

在每个地震带内, 可划分出若干潜在震源区。潜在震源区是地震参数的设定成分。采用震级分类方法将地震带中的地震事件依据它们的震级分成几档。地震带中每档震级的平均年发生率被合理地分配到相应的潜在震源区内。这种方法细致地考虑了地震危险性分析中地震活动的时空不均匀性, 另外, 该方法并没有低估大的地震事件对场点危险性的影响。地震带中第 i 个潜源每档震级的平均年发生率 v_{iM_j} 可以表示为

$$v_{iM_j} = \frac{2v \exp[-\beta(M_j - M_0)] \operatorname{sh}(-\beta \Delta M)}{1 - \exp[-\beta(M_{uz} - M_0)]} f_{iM_j} \quad (2.7)$$

其中, v 是地震带的平均年发生率; ΔM 是震级分档间隔; M_j 是分档间隔中心对应的震级值; f_{iM_j} 为潜在震源震级分布的地震空间分布函数或空间权重(W_{iM_j})。

f_{iM_j} 的物理含义是一次震级 $M_j \pm \frac{1}{2} \Delta M$ 的地震落在第 i 个潜在震源区内的概率。它作为震级的条件概率, 可以反映地震带内地震强度空间分布的非均匀性。对指定震级档的 f_{iM_j} , 在整个地震带内是归一化的, 即有

$$\sum_{i=1}^{N_s} f_{iM_j} = 1 \quad (2.8)$$

其中, N_s 为地震带潜在震源区总数。

根据分段泊松分布模型和全概率定理, 地震带内所发生的地震, 影响场点的地震动

(烈度或峰值加速度)的值 Z 超越给定值(z)的年超越概率为

$$\begin{aligned}
 P(Z \geq z) &= 1 - \exp \left[- \sum_{i=1}^{N_M} v_{iM_j} P(Z \geq z|E) f_i(\theta) d\theta dA | A_i \right] \\
 &= 1 - \exp \left[- \frac{2v}{\beta} \sum_{i=1}^{N_M} P(Z \geq z|E) f_M(M) \text{sh} \left(- \frac{1}{2} \Delta M \right) f_i(\theta) f_{iM_j} d\theta dA | A_i \right] \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

式中, N_M 为震级分档档数; $f_i(\theta)$ 是第 i 个潜在震源区方向函数, θ 是可能的主破裂方向; A_i 是第 i 个潜在震源区的面积; $P(Z \geq z|E)$ 是第 i 个潜在震源区内发生特定事件(震级为 $M_j \pm \frac{1}{2} \Delta M$, 特定的椭圆长轴取向)时场点地震动(烈度或峰值加速度)超越给定值的概率。

2.5 危险性分析中存在的问题

潜在地震震源的概念和概率分析方法在地震危险性分析中发挥着重要作用。在各式各样的潜源中, 线形震源, 即断层模型, 在确定性和概率性危险性分析中得到广泛应用。然而, 在将断层模型应用于地震危险性分析中也存在着一些不容忽略、需要仔细考虑的问题:

- 已存在的断层与地震发生之间的关系仍是一个值得讨论的问题。例如: 1976年唐山地震, 1983年美国的 Coalinga 地震和 1994年美国的北岭地震均未发生在已知的断层上;
- 即将破裂的断层长度的最大极限是多少? 在估计破裂长度的可能性时, 主要采用地质证据, 如断层分段的识别(它是采用诸如一些力学障碍体作为断层走向的改变进行断层分段的)和地震学证据(如历史地震分布)。这些主要是研究如何确定相关的最大地震;
- 第三个问题是从震源到场点的衰减因素的估计。虽然这方面研究取得显著的进展, 但是一些地震事件, 如 1985年墨西哥地震, 1988年亚美尼亚地震和 1989年美国洛马·普列埃塔地震表明: 将地震动的衰减关系用于建筑物的抗震设计还有较长的路要走;
- 最后, 在世界上大多数地区, 得到用于建立断层模型所需的详细的地质、活断层、古地震和地壳形变等数据是非常困难或花费巨大的。

第三章 地震危害性分析

地震危害性分析是估计地震造成的损失。地震危害性是地震危险性与易损性的乘积:

$$\text{地震危害性} = \text{地震危险性} \times \text{易损性}$$

地震危害性是指未来地震造成的相对损失, 因此, 地震的绝对损失可由下式估计:

$$\text{损失} = \text{地震危害性} \times \text{社会财富}$$

3.1 地震损失

地震损失的研究存在多种分类方法(Sakagami et al., 1980)。本文将地震损失粗略地分成如下三类(美国应用技术委员会(Applied Technology Council), 1985):

- 直接物质破坏
- 社会损失
- 经济损失

直接物质破坏一般是指地震对给定的建筑物(或结构物或设施)造成破坏的币值损失。直接物质破坏包括对设施(结构部件和非结构部件)的破坏和设施内设备的破坏, 设备包括除结构部件和非结构部件以外任何东西, 如家具、文件柜、计算机、加工设备、器具和货物等。

地震引起的社会损失是非常复杂的, 它包括人体健康、政治、社会和心理等方面的影响。在大多数情况下, 社会损失仅被局限于评估由地震直接或间接造成的伤亡。但与地震发生相关的失业、家庭破裂、城市毁坏和城市重建等对社会的冲击也是不可忽视的损失。

地震造成的经济损失一般包括各类设施直接物质破坏造成的币值损失, 以及地震影响区内的工业生产和商业的损失。虽然在遭受地震破坏的社区, 由于外界援助用于重建社区, 导致商业活动和工业生产方面的资金输入, 使地震灾区的工业和商业整体上有一定增加, 但在地震发生后, 受灾地区的商业活动和工业生产能力立刻瞬间发生急剧下降。

地震经济损失可分为直接经济损失和间接经济损失。直接经济损失是指由于地震或与地震相关的破坏造成的社会财产损失, 包括建筑物自身破坏损失、室内财产损失和其它工程设施的损失; 间接经济损失是指由于地震直接经济损失的承受主体因功能失效造成的损失, 包括地震后企业停工减产造成的损失, 停工减产对社会生产及商品流通的影响带来的损失, 以及与救灾有关的费用消耗等。

表 3.1 给出的几个设定地震分析结果表明: 间接经济损失和社会损失在地震损失中占有相当大的比例, 且对不同地区发生的地震, 所占的比例也有所不同。地震的间接经济损失和社会损失, 易受各种复杂因素或偶然性影响, 较难进行科学的预测评估。因而, 本书的地震灾害分析研究主要集中在对地震的直接经济损失的分析预测和评估方面。

有许多因素影响地震损失, 例如: 结构类型对地震损失有重要影响; 如果结构设计考虑抗震并达到抗御地震所需的强度和形变能力, 那么该结构就可以经受住地震, 在地震中遭受较小破坏甚至没有破坏。常用的现代轻重量木框架住宅建筑在某种程度上是这类建筑

docsriver 文川网
入驻商家 古籍书城

在文川网搜索古籍书城 获取更多电子书

表 3.1 几个设定地震的损失(据危害管理系统公司(RMS), 1995a, b, c)

损 失 分 类	设 定 地 震 的 损 失		
	东京(M_s 7.9)	洛杉矶(M_s 7.9)	旧金山(M_s 8.3)
直接经济损失 / 百万美元	1 000 000	115 000	115 000
商业中断(含额外生活花销) / 百万美元	1 050 000	30 000	29 000
生命线工程 / 百万美元	35 000	8 000	10 000
总经济损失 / 百万美元	2 100 000	175 000	170 000
人员伤亡 / 人	5 000	4 000	1 000

的代表。

同样，结构特征也在地震破坏评估中起重要作用，它包括：建筑材料、地基的材料、结构基础、高度、结构体系、结构配置、结构的连续性、设计质量、建筑质量、使用年限以及与其它邻近结构物可能的撞击影响等。

3.2 易损性

根据以上的讨论，造成地震损失的主要因素和现象是(ATC, 1985):

- 结构物或设施的类型和工程特征
- 地震动的严重程度或烈度
- 次生灾害
- 结构物或设施的占用率

在上面四个因素中，第二个因素是地震危险性分析的研究结果，它已在上一章中进行了描述。其它三个因素均与地震危害性中的易损性研究有关。

易损性是在给定地区估计由地震发生造成的损失，常以一个从 0(没有破坏)到 1(完全破坏)的标量来表示。

总体上讲，目前表示地震动的参数有两大类：①地震烈度；②用于工程分析的地面震动的定量量度。这里，我们仅讨论地震危害性评估中的前一类参数。

过去 200 年间，全世界发展了许多地震烈度表，它们在描述地震效果时是非常有用的。由于这些评定地震影响的烈度表的提出比采用仪器测定地面运动早得多，因此，所评定的标度只能是定性的。在许多分类表中，修正的 Mercalli 烈度(MMI)表(Wood and Neumann, 1931)是最常用的表，由于它大部分是基于无钢筋的砖石房屋、烟囱和一些老式建筑在地震中的表现制订的，因此，修正的 Mercalli 烈度(MMI)表最适合老式的寿命较短的结构物(即一二层房屋)，但对许多现代类型的建筑在地震中的表现的评估并不理想。

地震烈度表最严重的局限是它们不能直接用于工程分析。因此，当采用地震烈度描述地面运动特征以建立严格的地面运动—破坏关系时，就需要各种类型的结构物和整个烈度范围内的统计资料。图 3.1 和图 3.2 给出了一些地面运动—破坏的统计关系(Akkas and Erdik, 1984; Sauter and Shah, 1978)。

在解释修正的 Mercalli 烈度时，一个非常重要的问题是烈度 X、XI、XII 度的含义。有些人认为，较高的震动烈度不会大于 IX 到 X 度；更严重的破坏现象，比如 XI 和

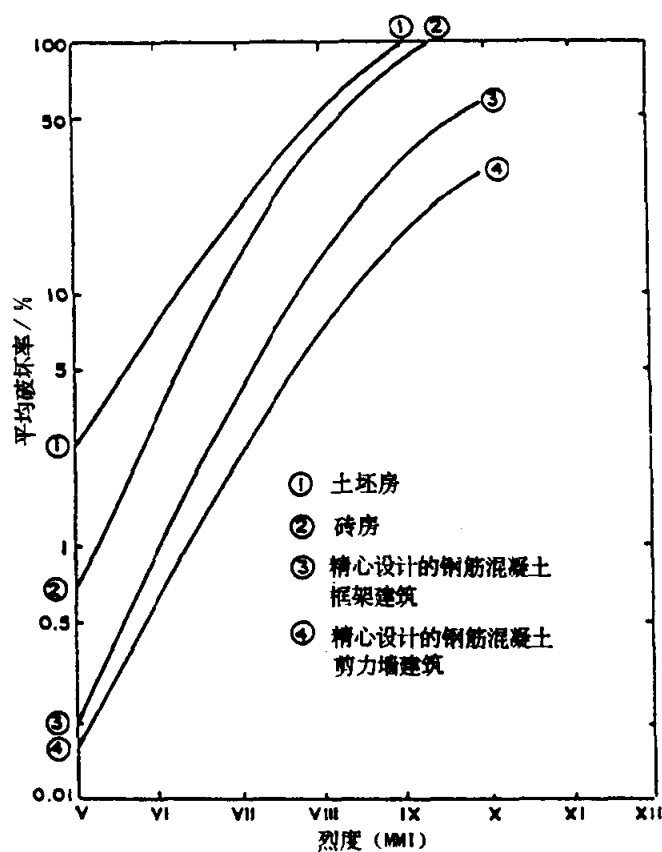


图 3.1 不同类型建筑的烈度—破坏关系(Akkas and Erdik, 1984)

XII 度，是土壤塑性形变的结果，常被称为“地质效应”。在较高的修正的 Mercalli 烈度上，几种现象，如地面破裂、断层破裂、海啸、大坝或水库的坍塌、地表沉降或倾斜的发生，常被称为次生灾害，并被证实能对地震损失产生显著影响。

如何描述易损性？许多人正在尝试找到一种描述易损性的宏观方法，因为地震危险性分析中所用的烈度也是一种宏观参数。最初，最直接的表达是损失率(Damage Factor)和破坏率(Damage Ratio)。几乎所有类型的地震损失，无论是对任何设施或其中一部分，都可以合理地简化成这类表达式。上面所提的比率的定义如下：

$$\text{损失率(DF)} = \frac{\text{地震损失(Dollar Loss)}}{\text{重置价值(Replacement Value)}} \quad (3.1)$$

$$\text{破坏率(DR)} = \frac{\text{破坏的建筑物数}}{\text{建筑物总数}} \quad (3.2)$$

在同一地震烈度下，一组类似的结构，其平均损失率(Mean Damage Factor)定义为

$$\text{平均损失率(MDF)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\text{损失})_i}{(\text{重置价值})_i} \quad (3.3)$$

这里 n 为样本中结构物的数目。从给定所研究地理区域的统计样本数据，可以采用上述方法计算破坏率和平均损失率。有两种方法可以表示烈度与损失率的关系。第一种方法是给出这些参数与震动烈度的关系曲线，常称为地震动—破坏关系曲线(Steinbrugge et al., 1969)。图 3.3 给出了平均损失率曲线的一个例子。