

工程地震学概论

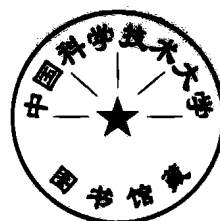
蒋 溥 戴丽思 著



地震出版社

工程地震学概论

蒋 溥 戴丽思 著



地震出版社

1993

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

本书系统介绍了工程地震学的基本原理、方法和典型的工程地震实例,从工程地震环境评价的角度,沟通了地质学、地震学、地震工程学、抗震学、工程地质学和地质工程学等学科之间的内在联系,从而建立上述各学科之间的边缘学科——工程地震学。全书共 10 章,分三个层次:1—4 章侧重于论述工程地震学相关的基本概念;5—7 章侧重于论述工程地震学基本原理和方法;8—10 章结合城市、水电、核电等方面介绍专门性工程地震研究。本书最后附有烈度表、地震动衰减、活断层、地震波速、及核电设计等资料和经验关系式,以便于实际查用。

本书适合于地震地质、地震工程、工程地质和地质工程、岩土工程等专业研究者和勘察人员参考,也适用于广大抗震、防灾和减灾等主管部门管理人员阅读,亦可作为有关大专院校、研究生院的教学参考书。

工程地震学概论

蒋 溥 戴丽思 著

责任编辑:朱向军 曹可珍

地震出版社出版

北京民族学院南路 9 号

北京丰华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 29.25 印张 727 千字

1993 年 10 月第一版 1993 年 10 月第一次印刷

印数: 0001—1500

ISBN 7-5028-0782-9/P·499

(1175) 定价: 30.00 元

前 言

工程地震学是近几年来人们在研究和解决工程活动中所遇到的地震和地质问题而逐步发展起来的一门新兴的学科。由于它能为工程抗震和防灾减灾提供科学基础和依据,因而受到国内外专家、学者、工程师乃至政府有关部门公务人员的关心和重视。

作者毕业于南京大学水文地质工程地质专业。1966年邢台强烈地震后,由中国科学院地质研究所工程地质研究转入地震研究,涉足最多的是工程地震领域。长期实践,深感工程地震研究的领域远比在校期间所了解工程地质学中关于地震章节所列领域宽得多,内容丰富得多,活动舞台大得多,尤其在我国的更是如此。60—70年代几次大震震害之惨重和教训之深刻给人的启示甚多。作为减轻地震灾害的支柱之一,工程地震研究在中国具有其得天独厚的有利条件。但另一方面,地震学、地质学、工程地质学和工程学等学科之间的陌生与隔阂,使许多从事多年工程地震工作与实践的地质学家、地震学家,甚至地震工程学家之间的联系还仅仅停留在初级的沟通上,这在一定程度上有碍于工程地震发展。作者借助于自己水文地质与工程地质的基础和工程实践,通过环境地震地质效应预测和综合评价,以满足工程抗震和防灾减灾的需要,形成了以地质环境为基础,以地震效应预测和综合评价为主导,以地震工程应用为目标的基本指导思想,并贯穿于工程地震的研究和实践中。这一基本指导思想也体现于作者在中国科学院和中国科学技术大学研究生院、地震科技学校等工程地震实践教学中。

工程地震这一术语在地震界、地质界、工程界并不陌生,但视其为一个独立的学科——工程地震学,或全面、系统地赋予其研究内容和问题以及解决这些问题的原理和方法等的学者似乎还不多。在为数甚少的工程地震学书籍中,谢毓寿先生(1965)的《工程地震》仅限于地震烈度的研究;日本学者金井清(1983)所著工程地震学侧重点在于地震学和结构振动学;胡聿贤先生(1988)将工程地震列为地震工程的一部分,也许代表了世界上众多的以结构抗震为主要目标的研究者的观点和做法。作者是至今为止屈指可数将工程地震学设计并系统构成独立学科的学者,并以《工程地震学概论》首先与读者见面。作为一个工程地震研究者,愿本书的出版能为沟通学科之间的联系,并由它吸引和汇集一大批承担工程、城市、矿山等工程地质环境质量评价的专业技术人员、勘察、设计人员、工程地质研究人员及其他地质学和地震学研究人员参与工程地震研究领域做出贡献。

本书分为三个层次,1—4章为第一层次,侧重于工程地震学相关的基本概念论述;5—7章为第二层次,侧重于工程地震学基本原理和方法论述;第三个层次包括8—10章,结合城市、水电、核电、火电等方面介绍专门性工程地震研究。导论是作者对工程地震学和发展、形成、概念范畴、学科发展等方面的概述。为增加本书可查性,最后附有常用烈度表、地震动衰减、活断层、地震波速、核电设计谱等方面资料和经验公式。

本书虽力图达到基本宗旨,但正如我在《地震小区划概论》(1990)一书中说过:诚然如此,和其他学科比较起来,工程地震研究总还是年轻得多,其基本理论和方法还在进一步完善之中。书中可能有不恰当之处,请同仁赐教。

借本书出版机会,感谢在工程地震研究和实践中长期与作者合作的钱瑞华副研究员、王启鸣

副研究员、高青山工程师、梁小华、雷军助理研究员及其他同志，感谢有关合作者，感谢于克涛在本书出版中作出许多有益的实际贡献。

蒋 溥

1993 年 7 月

目 录

前言	
导论	(1)
第 1 章 震级和烈度	(11)
1.1 震级	(11)
1.1.1 震级的定义和种类	(11)
1.1.2 震级饱和与矩震级	(12)
1.1.3 震级-频度关系	(14)
1.1.4 最大可信震级和上限震级	(16)
1.1.5 特征震级	(16)
1.1.6 震级与破裂尺度关系	(18)
1.2 地震烈度	(21)
1.2.1 地震烈度概念和地震烈度表	(21)
1.2.2 烈度的物理指标赋值	(21)
1.2.3 工程上常遇的烈度概念	(21)
1.2.4 烈度在工程抗震中的作用	(23)
1.2.5 宏观烈度的地质效应	(23)
1.2.6 震中烈度-震级经验关系	(25)
1.2.7 烈度复核	(26)
1.2.8 烈度区划	(27)
1.3 震级烈度影响场	(28)
1.3.1 我国烈度衰减区域特征研究概况	(28)
1.3.2 烈度衰减方程的建立	(30)
第 2 章 地震动	(37)
2.1 地震动及其特征参数	(37)
2.1.1 地震动幅值	(37)
2.1.2 地震动谱	(43)
2.1.3 傅里叶变换和傅里叶振幅谱	(51)
2.1.4 地震动持续时间	(55)
2.1.5 地震动区划	(63)
2.2 地震动地质效应	(64)
2.2.1 地震动的震源效应	(64)
2.2.2 地震动的路径效应	(65)
2.2.3 地震动的土质效应	(66)
2.3 地震动衰减关系研究	(69)
2.3.1 相关变量和独立变量	(69)

2.3.2	衰减形式和曲线图式	(70)
2.3.3	近场和近源地震动衰减的研究	(72)
2.3.4	地震动衰减公式的比较	(75)
2.3.5	地震动-烈度衰减关系转换	(77)
2.4	地震动合成与模拟	(84)
2.4.1	比例法	(85)
2.4.2	拟合目标谱法	(90)
2.4.3	自回归滑动平均模型(ARMA)法	(94)
2.4.4	近场地面运动模拟	(97)
2.4.5	不同方法评估	(102)
2.5	地震动的测量	(103)
2.5.1	测量仪器	(103)
2.5.2	强震观测	(105)
2.5.3	强震观测资料	(106)
2.5.4	数字强震仪	(106)
2.5.5	强震记录在工程地震中作用和应用	(108)
第3章	地震活动性研究	(110)
3.1	地震活动性研究的基本资料	(110)
3.1.1	地震历史记载	(110)
3.1.2	地震编目资料可信度评价	(111)
3.2	地震活动空间不均一性特点研究	(112)
3.2.1	地震平面分布不均一性	(112)
3.2.2	地震活动频度不均一性	(112)
3.2.3	地震活动度不均一性	(113)
3.2.4	地震活动深度分布不均一性	(113)
3.3	地震活动时序特征	(113)
3.3.1	强震的活动期	(113)
3.3.2	地震活动的应变积累和释放过程	(114)
3.3.3	地震活动期最大熵谱分析	(116)
3.4	地震活动性趋势分析主要统计方法	(118)
3.4.1	地震活动性趋势分析概念	(118)
3.4.2	地震活动趋势极值统计分析	(118)
3.4.3	地震活动趋势线性预测	(121)
3.4.4	地震活动趋势马尔科夫模型分析	(123)
3.5	地震活动的重复、迁移和填空	(124)
3.5.1	地震活动的重复性	(124)
3.5.2	地震活动的迁移性	(126)
3.5.3	强震活动的填空性	(126)
3.6	震源机制和地震构造应力场	(127)
3.6.1	震源机制	(127)
3.6.2	地震应力场分析	(128)

3.6.3	震源物理参数	(131)
3.6.4	震源参数在构造应力和应力场方面实际应用	(132)
第4章	地震区、带和潜在震源研究	(138)
4.1	地震区、带和潜在震源概念	(138)
4.1.1	地震区、带	(138)
4.1.2	地震危险区和潜在震源	(138)
4.2	地震成因机制和地震区、带划分	(139)
4.2.1	地震主要成因类型	(139)
4.2.2	地震的分布	(140)
4.2.3	构造地震成因的全球环境和成因分类	(142)
4.2.4	中国地震宏观成因环境和地震区、带划分	(147)
4.3	中国强震发生地质条件	(150)
4.3.1	深部构造和地球物理条件	(151)
4.3.2	强震与深大断裂	(152)
4.3.3	强震和活动断裂	(152)
4.3.4	强震与断陷盆地	(153)
4.3.5	不同级别强震标志	(154)
4.4	潜在震源勾画	(159)
4.4.1	潜在震源勾画基本要点	(159)
4.4.2	潜在震源空间尺度及边界确定	(160)
4.5	潜在震源类型	(164)
4.5.1	一般震源模型	(164)
4.5.2	断层破裂模型所考虑震源模型	(164)
4.6	潜在震源特征参数及其确定的基本方法	(165)
4.6.1	震级上限的确定	(165)
4.6.2	b 值的确定	(169)
4.6.3	年平均发生率 ν	(170)
第5章	地震危险性估算	(173)
5.1	地震危险性估算确定性方法	(174)
5.1.1	构造地震法	(174)
5.1.2	历史地震法	(174)
5.1.3	简单统计法	(175)
5.1.4	场地影响烈度统计分析	(176)
5.2	地震危险性概率分析	(177)
5.2.1	地震危险性概率分析的基本思路	(177)
5.2.2	康奈尔模型	(179)
5.2.3	断层破裂模型	(182)
5.2.4	椭圆衰减公式	(188)
5.2.5	地震危险性概率模型的不确定性分析	(191)
5.2.6	贝叶斯技术在地震危险性分析中的应用	(194)
5.2.7	地震活动时空不均一性在概率分析中的考虑	(198)

5.2.8 场地概率地震危险性表示方法	(201)
第6章 场地特征和场地地震反应分析	(205)
6.1 基岩地震动	(205)
6.1.1 基岩地震动和地震基岩概念	(205)
6.1.2 场地基岩地震动输入确定时地震强度背景的考虑	(207)
6.1.3 平均场地条件下地震动时程到基岩地震动时程演绎	(208)
6.2 场地地震工程地质单元及其划分	(209)
6.2.1 场地地质单元的定义和划分目的	(210)
6.2.2 场地地质单元划分的基本原则和方法	(210)
6.2.3 典型场地地质单元的划分	(212)
6.3 场地波速	(223)
6.3.1 波速在场地动力学特性评价中的作用	(223)
6.3.2 地震波的基本类型和特征	(226)
6.3.3 岩石和土层中波速情况	(227)
6.3.4 场地平均波速平均剪切模量	(231)
6.4 场地自振周期特征	(232)
6.4.1 场地自振周期概念	(232)
6.4.2 场地自振周期估算方法	(233)
6.5 场地土层刚度和阻尼系数	(235)
6.6 场地地震反应分析计算	(236)
6.6.1 场地地震反应分析流程	(236)
6.6.2 场地地震反应分析计算方法	(238)
6.6.3 根据地震反应分析结果确定场地标准反应谱	(260)
6.6.4 对地震反应分析结果几点启示	(264)
6.7 场地类别	(265)
6.7.1 场地类别考虑的基础	(265)
6.7.2 GBJ11-89 场地类别划分	(265)
6.7.3 远源场地和近源场地	(266)
6.8 场地抗震地段	(267)
6.9 场地抗震设防的地震动参数	(267)
6.9.1 地震作用	(267)
6.9.2 场地设防地震动参数	(269)
第7章 地震地质灾害及其工程评价	(272)
7.1 地震地质灾害类型和特点	(272)
7.2 断层工程地震评价	(275)
7.2.1 断层工程地震评价的主要内容	(275)
7.2.2 关于活断层的概念	(276)
7.2.3 工程活断层的概念	(278)
7.2.4 关于发震断层的概念	(282)
7.2.5 活断层和发震断层的鉴定方法	(284)
7.2.6 发震断层的强度与复发周期估计	(286)

7.2.7	地震断层分类和定名	(289)
7.2.8	断层地表断错危险性评价	(293)
7.2.9	活断层工程对策	(297)
7.3	场地液化及其危害评价	(298)
7.3.1	场地“可液化地层”及其影响因素	(299)
7.3.2	可液化地层的液化判别	(303)
7.3.3	液化指数	(310)
7.3.4	液化等级划分	(311)
7.3.5	关于液化危险性概率估计	(312)
7.4	斜坡地震稳定性评价	(315)
7.4.1	斜坡破坏主要类型及特征	(315)
7.4.2	滑坡分类	(317)
7.4.3	关于滑坡体的定名	(318)
7.4.4	斜坡地震破坏	(318)
7.4.5	岩体结构和斜坡效应	(321)
第 8 章	城市工程地震研究	(329)
8.1	城市震害和工程地震	(329)
8.2	中国城市工程地震研究	(332)
8.2.1	城市工程地震研究概况	(332)
8.2.2	城市工程地震研究主要内容	(334)
8.3	城市地震小区划和设防区划	(335)
8.3.1	场地类别划分	(335)
8.3.2	城市地震动区划	(340)
8.3.3	城市地震地质灾害预测和区划	(342)
8.3.4	城市场地抗震条件评价和分区	(344)
8.3.5	城市综合小区划图编制	(347)
8.3.6	城市场地地震区划图系	(349)
第 9 章	水利水电工程地震研究	(352)
9.1	水利水电工程地震研究的基本要点	(352)
9.1.1	水工规范所涉及到的工程地震问题	(352)
9.1.2	水利水电工程地质勘察中涉及到的工程地震	(353)
9.1.3	当今水工设计原则所涉及的地震动	(353)
9.2	坝址区基本烈度复核	(354)
9.2.1	坝址区基本烈度复核的重要性和必要性	(354)
9.2.2	坝址区基本烈度复核的原则和方法	(355)
9.2.3	大柳树坝址基本烈度综合评定	(355)
9.3	坝址区地震危险性评价	(357)
9.3.1	坝址区地震危险性评价基本任务	(357)
9.3.2	坝址区地震危险性评价基本思路和方法	(358)
9.3.3	金沙江溪落渡坝址地震危险性评价	(359)
9.4	水库诱发地震	(376)

9.4.1	水库地震特点	(376)
9.4.2	中国水库诱发地震概况和特点	(377)
9.4.3	水库诱发地震基本成因环境	(379)
9.4.4	水库诱发地震危险性和危害性评价	(379)
第 10 章	核电和火电设施工程地震研究	(381)
10.1	核设施工程地震基本要求	(381)
10.1.1	核电对设计地震动要求	(381)
10.1.2	核电厂厂址选择对地震方面安全规定	(382)
10.1.3	核动力工程建设项目可行性研究中有关工程地震方面规定	(383)
10.1.4	核电厂址地震查勘	(384)
10.1.5	地区和厂址的筛选中地震地质因子	(387)
10.2	核电厂厂址地震安全性评价	(390)
10.2.1	初步调查的基本要求	(390)
10.2.2	地震设计基准的资料、调查及其方法	(390)
10.2.3	厂区的潜在地表断裂	(397)
10.2.4	地震引起的波浪	(398)
10.2.5	地震地质灾害	(400)
10.3	核电人工时程研究	(402)
10.3.1	现行核电人工时程合成的主要方法	(402)
10.3.2	核电工程地震动时程试验性研究主要技术途径	(402)
10.3.3	核电人工时程合成中某些讨论和建议	(403)
10.4	火电厂工程地震研究	(404)
10.4.1	火电厂工程地质勘探所涉及到的工程地震问题	(404)
10.4.2	火电厂工程地震稳定性评价	(404)
参考文献		(413)
附录 A	主要地震烈度表	(420)
附录 B	地震动参数与烈度关系	(426)
附录 C	现有的一些地震动衰减关系	(427)
附录 D	S 波速、深度经验关系资料	(443)
附录 E	关于活断层概念资料	(446)
附录 F	国内外有关核电设计谱资料表	(450)

CONTENTS

Preface	
Introduction	(1)
Chapter 1 Magnitude and Intensity	(11)
1.1 Magnitude	(11)
1.2 Intensity	(21)
1.3 Empirical relation between magnitude and intensity	(28)
Chapter 2 Ground Motion	(37)
2.1 Ground motion and its characteristic parameters	(37)
2.2 Effect of geological condition with magnitude and distance	(64)
2.4 Synthesis and simulation of ground motion	(84)
2.5 Measurement of strong ground motion	(103)
Chapter 3 Study of Seismicity	(110)
3.1 Basic date for studying seismicity	(110)
3.2 Temporal-spatial nonuniformity character of seismicity	(112)
3.3 Time series character of seismicity	(113)
3.4 Major statistical analysis in studying of seismicity	(118)
3.5 Return,moving and gap of seismicity	(124)
3.6 Source mechanism and field of seismic tectonic stress	(127)
Chapter 4 Seismic province and Potential Source	(138)
4.1 Conception of seismic province and potential source	(138)
4.2 Genesis and mechanism of earthquake and zoning seismic province	(139)
4.3 Occurrence geologic condition of strong earthquake in China	(150)
4.4 Drawing of potential soruce	(159)
4.5 Type of potential source	(164)
4.6 Method of determining potential source	(165)
Chapter 5 Estimate of Seismic Hazard and Risk	(173)
5.1 Deterministic analysis of seismic hazard and risk	(174)
5.2 Probabilistic analysis of seismic hazard and risk	(177)
Chapter 6 Property of Site and Earthquake Response Analysis of Site	(205)
6.1 Rock ground motion	(205)
6.2 Geological unit of site and its zonation	(209)
6.3 Mean S-wave velocity of site	(223)
6.4 Predominant period of site	(232)
6.5 Rigidity and damping coefficient of site soil layer calculation	(235)
6.6 Seismic response of site	(236)

6.7 Type of site.....	(265)
6.8 Antiseismic condition of site and its zoning	(267)
6.9 Ground motion parameters for antiseismic design at site.....	(268)
Chapter 7 Geological Hazard Induced by Earthquake and Engineering Evaluation ...	(272)
7.1 Type and characteristic of geological hazard induced by earthquake in China	(272)
7.2 Engineering seismology evaluation of fault	(275)
7.3 Evaluation of liquafication and its risk for a site	(298)
7.4 Evaluation of slope instability induced by earthquake	(315)
Chapter 8 The Study of Engineering Seismology for Urban and City	(329)
8.1 The hazards and engineering earthquake for urban and city	(329)
8.2 The study of engineering seismology in China	(332)
8.3 The microzonation and antiseismic zoning in urban and city	(335)
Chapter 9 The Study of Engineering Seismology for Hydro-Electric Structure.....	(352)
9.1 Some problems in the study of engineering seismology for hydraulic-electric structure	(352)
9.2 The design intensity of dam site	(354)
9.3 The evaluation of seismic hazard of dam site	(357)
9.4 The study of earthquake induced by storage of reservoir	(376)
Chapter 10 The Study of Engineering Seismology for Nuclear Power Station and Thermal Power Station	(381)
10.1 Some requirements of engineering seismology for nuclear power station	(381)
10.2 Some seismic problems in selecting site of nuclear power station	(390)
10.3 Generating ground motion for nuclear power design	(402)
10.4 The study of engineering earthquake for thermal power plant	(404)
Reference	(413)
Appendix A Major intensity scales	(420)
Appendix B Relationship of intensity to ground motion	(426)
Appendix C Relationship of ground motion to magnitude and distance.....	(427)
Appendix D Relationship of S-wave to depth and N of soil layer	(443)
Appendix E About conception of active fault.....	(446)
Appendix F The design spectrum of nuclear power station	(450)

导 论

1. 地震危害

地震是一种突发性的自然灾害，其对人类的危害主要表现在两个方面，一是地震导致人员伤亡，二是地震导致人类赖以生存环境的破坏。1976年7月28日凌晨3时42分（北京时间），河北唐山发生里氏7.8级强烈地震。顷刻间，百余万人口工业城市——唐山市夷为平地，死亡24.2万人，重伤16.4万余人。震害遍布唐山外围十余县，并波及到北京、天津、秦皇岛等市。直接经济损失近百亿元，震后重建投资达百亿元。纵观世界震害历史，唐山地震的灾难虽为罕见，但地震的危害并非空前绝后。图1绘出了1949—1969年间世界几个主要国家在地震中遇难人数。

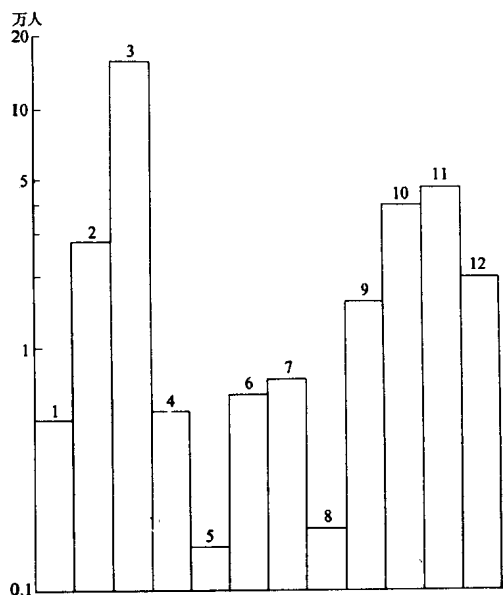


图1 1949—1969年地震死亡人数统计图

1. 阿根廷；2. 智利；3. 中国；4. 厄瓜多尔；5. 希腊；6. 印度；
7. 伊朗；8. 意大利；9. 日本；10. 巴基斯坦；11. 土耳其；12. 前苏联

我国是个多地震国家，也是世界上地震历史记载最早国家，有文字可考历史近4000余年。《竹书记年》中曾有“夏帝发”，“七年泰山震”记载，可能为公元前1831年发生的泰山地震。自进入本世纪以来，90余年发生破坏性地震达2600余次，其中 $M>6.0$ 中强破坏性地震超过500次，平均每年5—6次。

强烈地震给中国人民带来灾难尤为严重。1556年1月23日陕西华县8级地震中死亡83万人，这是自世界上有地震记载以来有据可查的遇难人员最多的一次地震。20世纪世界各国强震导致死亡人数总共约为101万人（陈寿梁，1988），其中发生在中国仅两次地

震引起死亡 44.2 万，约占总数 43.7%。20 世纪 70 年代，是世界上地震灾害较大的 10 年。这 10 年中，全世界死于地震灾害的总人数达 41.29 万人，而中国占 63.7%。地震造成伤残的总人数为 38.8 万人，中国占 56% 强。建国以来至 1987 年 10 月的统计，在我国大陆地区发生 $M>5$ 地震 879 次，其中造成破坏和伤亡的共 113 次，占 12.85%。造成严重破坏的 $M>7$ 级以上强震有 12 次，受灾面积 9.25 万平方公里，伤亡人数达 48.1 万多人，震毁房屋达 607.5 万间（表 1），其直接损失达 300 亿元（陈寿梁，1988）。

表 1 中国大陆 12 次 7 级以上强震灾害统计表

序号	地震	地震时间	震级	基本 烈度	震中 烈度	受灾面积 (km ²)	死亡人数 (人)	伤残人数 (人)	倒塌房屋 (间)
1	康定	1955.4.14	7.5	X	IX	5000	84	224	636
2	乌恰	1955.4.15	7.0	IX	IX	16000	18	/	200
3	宁晋	1966.3.22	7.2	VI	X	23000	7938	8613	1191643
4	渤海	1969.7.18	7.4	/	/	/	9	300	15290
5	通海	1970.1.5	7.7	IX	X	1777	15621	26783	338456
6	炉霍	1973.2.6	7.9	IX	X	6000	2199	2743	47100
7	永善	1974.5.11	7.1	VIII	IX	2300	1641	1600	66000
8	海城	1975.2.4	7.3	VI	IX	920	1328	4292	1113515
9	龙陵	1976.5.29	7.4	VIII	IX	/	73	279	48700
10	唐山	1976.7.28	7.8	VI	XI	32000	242769	164851	3219186
11	松潘	1976.8.16	7.2	VI—IX	VIII	5000	38	34	5000
12	乌恰	1985.8.23	7.4	IX	VIII	526	70	200	30000

（据陈寿梁，1988）

从全国范围来看，历史地震烈度分布图（图 2）反映了以往地震破坏程度。若从建筑物破坏程度粗略估计，即以地震烈度达 IX 以上的为强烈破坏、VIII 度为严重破坏、VII 和 VI 度为轻微破坏这一相对定性尺度来评价，则历史地震造成强烈破坏地区达 34 万平方公里，约占国土面积 3.5%；严重破坏面积达 71.3 万平方公里，约占国土面积 7.4%；轻微破坏区面积为 470 万平方公里，约占国土面积 49%。因此，就全国范围而言，历史上地震受灾面积达国土一半。在这些不同程度的破坏区内，其中宁夏、兰州、海口等城市位于 IX 度强烈破坏区内。北京、太原、台北、西安和昆明等则位于 VIII 度的严重破坏区内。

地震危害一方面造成人类生命损失和对赖以生存的环境的破坏，另一方面亦给予人们在抗御这一突发性自然灾害中以教训。我国是一个发展中国家，社会经济发展和人类活动范围扩大亦面临着地震的威胁。为了最大限度减轻地震灾害的损失，人类在生存和发展的征途中，围绕着选择和建立能抵御地震危害的安全环境，逐步地形成和发展工程地震。

2. 工程地震概念

工程地震或工程地震学术语来自于英文 Engineering Earthquake 和 Engineering Seismology。日本学者末恭二（K.Suyehiro）1931—1932 年在美国加州理工学院、加州大学、斯坦福大学及麻省理工学院发表一系列讲演时首先使用“Engineering Seismology”这一术语，但日文译为“地震工学”（K.Kanai, 1983）。在中国，工程地震术语应用应首推谢毓寿先生（1965）所著《工程地震》一书。

几十年来,围绕工程建设中一些地震学和地质学问题,工程地震学也在初步地完善和发展着。在一些书籍 (Hollis, F. P., 1958, Bibliography of Engineering Seismology; J. Solnes, 1974, Engineering Seismology and Earthquake Engineering, Noordhof-leiden) 中,沿用了工程地震学术语,但未明确提出相应的概念和含义。为数有限的有关书籍 (Медве, С.В., 1962, Инженерная Сейсмология; 谢毓寿, 1965, 工程地震; K. Kanai, 1983, Engineering Seismology; 胡聿贤, 1988, 地震工程学) 对工程地震概念作了些简要论述,现摘要如下。

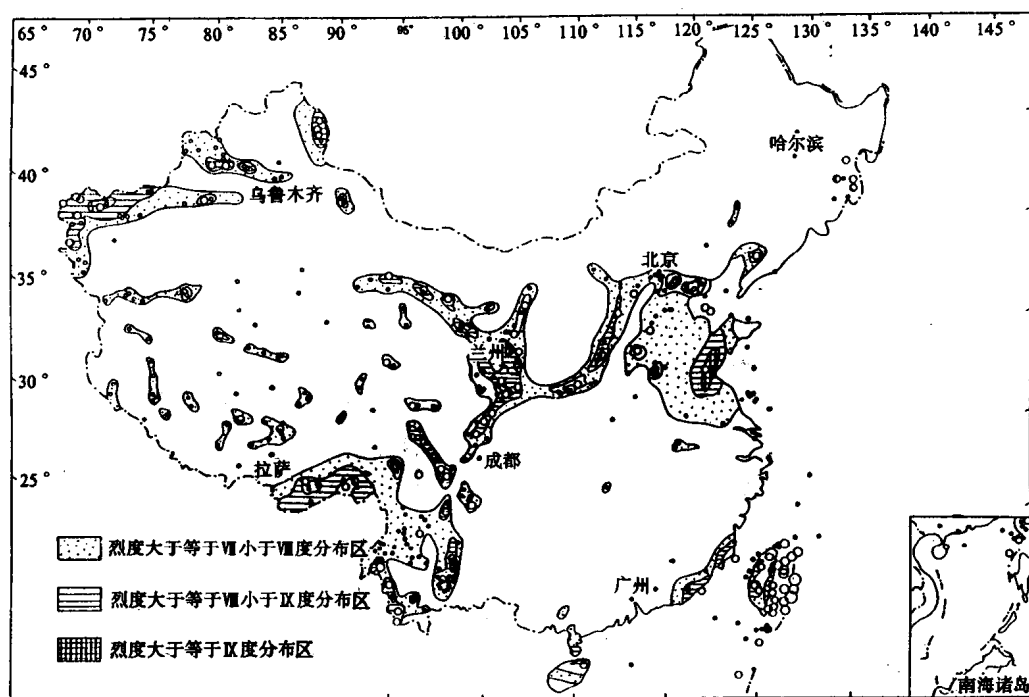


图2 中国历史地震最大影响烈度图

为了解决工程建设中日益迫切的抗震问题,一门新的科学——工程地震学诞生了。工程地震学主要内容:从研究地震时地表的运动及其对建筑物的影响入手,通过对建筑物的力学分析,找出经济有效的抗震措施。研究耐震结构的设计方法,是抗震工作人员的任务,而地震工程工作者的主要任务,则是提出抗震措施所依据的基本数据。工程地震学的主要任务,是提出地震区里各具体地点可能遭受到的地震最大烈度,以便工程师们采取经济合理的措施,以确保建筑物的安全 (谢毓寿, 1965)。

金井清(K.Kanai, 1983)所著“工程地震学”(Engineering Seismology)没有明确给予工程地震学的含义,但书中涉及的内容主要有地震仪;烈度、震级和地震动;地震波;地基振动;结构的振动;震害和基础;抗震设计标准及震害概论等。

工程地震学是地震学的一个分支。它涉及的问题是强震的测量分析和预测。虽然不存在一个精确的定义,但是,强震是指能够引起结构整体或其构件产生明显破坏的地震动。以往经验说明,地震动超过 1%—10%重力加速度时达到常规结构的破坏域。当然,实际的值取决于地震动的频率和持续时间和结构的动力特性。基本上有两种类型的工程地震学

家：一是研究工程地震学家，他们根据地震的基本特征，提出强震的估计模型；另一是实践的工程地震学家，他们应用这些模型，为工程分析和设计的需要提供设计地震动（K. W. Campbell, 1987）。

工程地震学研究的问题是中、长期地震预报中的潜在震源区划分、潜在震源区地震活动性规律、地震动参数的选择，以及这些参数的估计等等。由于地震活动性、地震动参数衰减规律都具有很大的随机性，所以，对地震活动性规律和地震危险性估计都要求给出概率的含义。根据地震危险性估计的地震动工程参数值，对一个大地区进行划分，即为地震动区划；重点考虑场地条件影响的区划，称为小区划；以地震烈度为指标的区划称为烈度区划；以具有概率定义的地震或地震动作出的区划，称为危害性或危险性区划（胡聿贤，1988）。地震危险性分析和地震区划胡聿贤（1988）合称为工程地震，并作为地震工程学一个分支。

上述有关工程地震学的概念还都是从地震工程，或者说是从结构抗震学角度提出的。从工程地震学的形成和发展及其与结构抗震学关系上看，上述观点是合理的。但作为一门相对独立的科学，还要从研究内容和所要解决的主要问题及其有关原理和方法等方面，全面地理解工程地震的含义。作者根据近些年工程地震的实践和国内外工程地震研究现状及现状，提出如下的工程地震学概念。

工程地震学是研究和解决人类工程活动中的地震和地质问题，为工程抗震和防灾减灾提供科学基础和依据的科学。人类工程活动中所研究的地震和地质问题主要集中在地震的孕育、发生、发展规律及其效应（危险性和危害性）评价和预测方面。具体来说，要解决的问题包括：什么地方会发生破坏性地震；为什么会发生地震，特别是为什么会发生破坏性地震；在什么时间发生；破坏性地震发生后影响如何；为减轻地震灾害人类工程活动应遵循哪些基本原则等等。要回答这些问题，这里涉及到地震孕育和发生的构造环境、地震的成因机制、地震发生、发展的时间和空间规律、地震迁移和重复规律、强震地面运动及其影响场和运动场、各种类型地震效应、工程活动场地的选择和工程抗震、鉴定和加固的地震地质依据等。

从根本上说，工程地震研究也是围绕了一个总目标——减轻地震灾害。为达到这一目标，它是通过对地震的孕育、发生、发展规律的深入研究，作出地震效应或地震危险性与危害性的合理评价与预测，为工程抗震、防灾减灾提供科学依据来实现的。因此，在某种程度上，工程学是一门预测性科学，它是建立在地震预测预报、特别是中长期地震预测预报成果的基础上的。根据人类工程活动的需要对地震危险性作出评价，其最终又是为了工程抗震和防灾及减灾的应用。因此，这是一门应用性较强的应用基础学科。从专题任务上，来看工程地震包括地震区划、场地地震效应预测和地震小区划（包括地震动效应和场地地震地质灾害预测和区划）；工程区域和场地地震稳定性评价；工程设计地震参数预测（包括地震烈度鉴定和地震动参数预测）；活断层工程评价和对策；诱发地震及其对工程影响等方面任务和专题。虽然各自有其相对独立的问题和研究内容，但他们是相互联系的。地震区划是对一个较大范围（面）地震效应如地震烈度和地震动效应的评价和预测。工程区域和场地地震稳定性评价、工程设计地震动参数预测、场地地震效应预测和地震小区划、活断层工程评价和对策等，则是对一个具体工程点的地震效应评价和预测。从地震效应预测的角度来看，除了研究深度、广度和表达方法等方面有所差别而外，这几方面任务都涉及到震源环境研究，影响场和场地效应研究，其最终有共同归宿。图3从地震效应预测角度或地震危险性评价角度，概括了工程地震研究主要内容。