

黄土动力学

LOESS DYNAMICS

王兰民 等 著

地震出版社

黄土动力学

王兰民 等著

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

黄土动力学/王兰民等著. —北京:地震出版社, 2003.10

ISBN 7-5028-2321-2

I. 黄… II. 王… III. 黄土—土动力学 IV. TU435

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 065470 号

内 容 提 要

本书是黄土动力学的学科创建专著, 它较系统地介绍了黄土动力学及其震害预防领域取得的创新研究成果。

本书共分十二章, 内容包括: 地震荷载作用下黄土的动力特性, 黄土场地的土层波速和地面脉动, 黄土地区的强震地面运动特征, 黄土地震滑坡、震陷、液化等灾害机理和防御与防治等诸多研究成果。

本书既可作为土动力学与岩土地震工程学方面研究、勘察、试验和设计专业技术人员以及城市与工程建设规划人员的参考书, 也可作为岩土工程、地震工程学科研究生和土建类专业本科生的教材。

黄土动力学

王兰民 等著

责任编辑: 姚家楣

责任校对: 张晓梅

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467972

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

版 (印) 次: 2003 年 10 月第一版 2003 年 10 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 717 千字 彩插: 2

印张: 28

印数: 0001 ~ 2000

书号: ISBN 7-5028-2321-2/P·1175 (2912)

定价: 68.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

编著委员会

主 编：王兰民

编 委：王兰民 石玉成 刘 旭 黄雅红 王亚强 林学文

王 峻 袁中夏 何开明 张冬丽 李 兰 廖胜修

刘红玫 康来讯 张新基 韩恒悦 兰青龙 才树华

陈永明 徐晖平

顾 问：梁守信 莫 庸 张振中 孙崇绍

序

“一夜之间走动的大山，犹如瀑布回旋的滑坡，吞没房屋与驼队的裂隙，巨浪般土海荡毁的村庄，这是甘肃大地震所造成的一些次生灾害的景象，正是这些次生灾害使该地震成为历史上最怵目惊心的大灾难之一。”“破坏的区域为 100 英里×300 英里，除了无数的村庄外，还包括了 10 个大城市。这一地区正是所谓的黄土王国的腹地，那里的土壤是粘土和粉状石英的混合物。成群连片的滑坡发生在一个较狭长的区域，疏松的土体瀑布般地滑落河谷，所到之处埋没万物。”这是国际饥饿救济委员会的 U.克劳斯 (Upton Close) 先生考察了 1920 年海原 (当时归甘肃省管辖) 8.5 级地震灾害现场后，于 1922 年在美国《国家地理杂志》(Vol. XLI, No.5)《大山走动的地方》一文中对本次地震所引起的黄土灾害的描述。事实上，由于地震所引起的黄土滑坡、液化滑移和不均匀震陷使得海原地震震害极其严重，震中区烈度为 XII 度，极震区面积达 20000 km²，死亡人数达 23 万余人。

除此以外，1303 年山西洪洞 8 级地震、1556 年陕西华县 8 级地震、1927 年甘肃古浪 8 级地震、1989 年塔吉克斯坦 5.5 级地震以及发生在黄土地区的其它许多 5 级以上地震也曾在黄土地区造成过严重的岩土地震灾害。现场震害调查和室内试验均表明，致灾严重的黄土地震滑坡、震陷和液化是由多孔隙、弱胶结的第四纪沉积物所特有的动力易损性所决定的。

本书作者以我国中西部地区 (特别是黄土高原地区) 以及美国和俄罗斯晚更新世以来的黄土场地为研究对象，以减轻和预防黄土地震灾害为目标，从多种学科的视角来观察问题，运用多种手段对黄土动力特性及其地震灾害预测预防技术进行了系统深入的研究，取得的主要成果有：

(1) 在黄土抗震基本理论方面，建立了黄土在地震荷载作用下的动力本构模型，证实了曼辛不规则加卸荷准则对黄土的适用性，定量研究了不同地震荷载对黄土动模量、动变形、动强度和动阻尼的影响，并提出了测试黄土动强度、动模量、动阻尼、震陷和液化的动三轴试验方法；提供了黄土地区主要大、中城市各类土层的动力参数。

(2) 在黄土工程地震方面,建立了黄土地区的强震地面运动衰减规律,揭示了不同类型地貌(塬、梁、峁、阶地)和不同土层结构条件对地震动放大效应的影响规律;进一步研究了黄土场地剪切波速、地脉动特征和土层分布等在估计场地地震动放大效应中的应用,并建立了相应的公式。

(3) 在黄土震害机理研究方面,通过试验研究,找出了引发黄土震陷的内因、外因及其主要影响因素,提出了我国西北地区计算黄土震陷系数的经验公式和预测震陷量的计算方法;并从土动力学、水电化学和微结构多学科角度以及现场爆破观察到并证实了黄土液化的客观存在性和机理,建立了饱和黄土孔压和应变增长模型;同时还研究了黄土地震滑坡的类型和机理;提出了用随机搜索法确定黄土斜坡最危险滑裂面、用随机地震荷载下动强度参数求解地震安全系数的斜坡地震稳定性分析方法;揭示了黄土体地震变形破坏机理。

(4) 在黄土地震灾害的防御和防治方面,定量研究了黄土地基湿陷性处理技术对防治黄土震陷和液化的作用,根据建立的击实黄土动力特性的理论,研究了黄土地基抗震密实处理技术,并分别为上面两项技术提出了相关的技术标准建议;此外,还提出了黄土地震滑坡、震陷、液化的三级区划指标与方法,开发了基于 GIS 的黄土地震灾害预测区划计算机系统,并进行了实例应用。

毋庸置疑,专著《黄土动力学》为我国土动力学创建了一个特色学科,同时,也丰富了整个土动力学与岩土地震工程学的研究内容。据我了解,中国黄土地区的面积约占全国总面积的 6.6%,世界上黄土的总面积约有 $13 \times 10^6 \text{ km}^2$,比整个欧洲的面积还要大 200 多万 km^2 ,可是我们还没有一本专门讨论和研究这类土的抗震问题的专著。因此本书的出版对促进土动力学和岩土地震工程学的发展以及防治和减轻黄土地震灾害具有重要价值和贡献。对于我国黄土地区的社会和经济发
展、国土规划利用、城市建设规划和工程建设,特别是西部大开发中的基础设施与重大工程建设具有十分重要的现实意义。

谢 礼 立

中国工程院院士
2003 年 5 月

PREFACE

'Mountains that moved in the night; landslides that eddied like waterfalls, crevasses that swallowed houses and camel trains, and villages that were swept away under a rising sea of loose earth, were a few of the subsidiary occurrences that made the earthquake in Kansu (Gansu) one of the most appalling catastrophes in history.' 'The area of destruction, 100 by 300 miles in extent, contains ten large cities, besides numerous villages. In it is the heart of the so-called loess country, where the soil is a mixture of clay and powdered quartz. A narrower region was comprised in the landslide district, where the loose earth cascaded down the valleys and buried every object in its path.' These were described by Mr. Upton Close of International Famine Relief Committee in his paper entitled 'Where the Mountains Walked' presented in The National Geographic Magazine (Vol.XLI, No.5, 1922) of United States after his field investigation on the earthquake disasters caused by the 1920 Haiyuan (It belonged to Gansu province in the 1920's.) 8.5 earthquake. Actually, due to the large scale of landslides, liquefaction-induced sliding flow of soil deposit and inhomogeneous seismic subsidence caused by the earthquake on the loess site, the disasters were extremely serious. The seismic intensity in the epicenter was as high as XII degree and the meizoseismal area was as large as 20 000 km². The death toll was claimed over 230 000.

Besides, the 1303 Hongdong 8 earthquake in Shaanxi, the 1556 Huaxian 8 earthquake in Shanxi, the 1927 Gulang 8 earthquake in Gansu, the 1989 Tajik 5.5 earthquake and others with the magnitude over 5 all caused serious geotechnical disasters in the loess sites. Both post-quake field investigation and laboratory study have shown that the cause of landslides, seismic subsidence and liquefaction was mainly attributed to the dynamic vulnerability of the porous and weak cemented Quaternary deposit – loess.

This monograph studied loess formed since later Pleistocene in Middle and West of China (especially, that in the Loess Plateau), Middle of United State and Russia. With the purpose of minimizing seismic hazard, the author has been conducted by using various approaches a systematic research on the loess dynamics and the prevention of seismic disasters due to the failure of loess during earthquake from the different angles of multidiscipline, in collaboration with his colleagues in Lanzhou Institute of Seismology, China Seismological Bureau. The main achievements can be summarized as follows:

(1) On the theory of loess earthquake resistance: The dynamic constitutive model of loess for irregular seismic loading was established; Manson's law was proved to be validated to loess under irregular loading; A quantitative study on the loading effects on the dynamic modulus, deformation, strength and damping ratio of loess has been presented. Furthermore, the dynamic triaxial test approach for dynamic modulus, deformation, strength and damping ratio were developed and the relevant dynamic parameters of loess can be thus provided for engineering purpose in China.

(2) In the aspect of engineering seismology of loess: Ground motion attenuation law was established for loess sites; The amplification effects of different topographic units (Yuan, Liang, Mao and terrace) and different strata conditions on ground motion were assessed; Furthermore, methodologies by using of shear wave velocity, earth tremor characteristics and strata distribution were created for estimating amplification factors of ground motion on the loess site and corresponding formulas were presented.

(3) In the study on mechanism of loess earthquake disasters: The internal and external factors that caused seismic subsidence of loess were identified based on laboratory tests; An empirical formula for seismic subsidence coefficient and a quantitative method of predicting subsidence of loess in Northwest China were proposed; A series of observations have successfully verified the existence of loess liquefaction and revealed its mechanism based on the studies on soil dynamics, hydrochemistry, microstructure and field explosion test; The pore water pressure and strain development models for saturated loess were established; Seismic landslides in loess deposits are classified and their mechanisms were expounded; The random search methods for the most likely sliding plane and calculation of seismic safety coefficient of loess slopes in terms of dynamic strength that can be obtained from irregular seismic loading test were proposed.

(4) In the field of seismic hazard prevention: The quantitative study on the effect of collapsible treatment of loess ground on the seismic subsidence and liquefaction has been also conducted; The technique for the seismic compacting treatment of loess ground was developed based on the theoretical study of the dynamic characteristics of compacted loess; Criteria for taking the measures in preventing the seismic liquefaction, settlement and collapse of loess soil were recommended for practical application. Besides, the authors also presented indices and method for the zoning of seismic landslide, seismic subsidence and liquefaction, developed a GIS system for geotechnical seismic disasters zoning and applied it in practice.

Undoubtedly, 'Loess Dynamics' creates a new and special subject for Soil Dynamics. At the same time, it enriches the research courses of Soil Dynamics and Geotechnical Earthquake Engineering. As far as I know, the loess area comprises 6.6% of Chinese territory while the whole area of loess distributed over the world is about 13×10^6 square kilometers which is by two millions square kilometers larger than the total area of Europe. Until the publishing of this book, we haven't had any book available of this kind. Hence, this monograph will contribute greatly the development of Soil Dynamics and Geotechnical Earthquake Engineering and seismic hazards prevention and reduction in loess areas as well. Particularly, with the implementation of 'Great West Development' strategy in China, this book will play a vital role in practice for the social and economic development, land use planning, urban development, infrastructure and key project constructions in loess areas of China.

Xie Lili

Academician of Chinese Academy of Engineering

March 2003

前 言

黄土动力学 (Loess Dynamics) 是土动力学的一个创新分支学科, 它主要研究动力荷载 (地震、爆炸和动力机械等引起的) 作用下黄土的力学性能、变形、土体稳定性和致灾性。它对于黄土地区的防震减灾和工程建设具有重要的科学指导意义和应用价值。

本书内容是在科技部、中国地震局及其有关部门和基金会的的大力支持和资助下, 作者历辛十余年所取得的研究成果的系统集成。现以此专著致谢上述支持和如下课题资助:

(1) 中华人民共和国科技部, 国家社会公益研究专项 (2000-35), 黄土地震灾害减轻与预防技术研究, 2000 ~ 2003。

(2) 国家自然科学基金课题, 黄土液化机理和判别指标与方法研究(批准号: 59679014), 1997 ~ 1999。

(3) 中国地震局“九五”重点项目, 中国地震局黄土地震工程开放实验室建设 (批准号: 95-03-05), 1998 ~ 2001。

(4) 中国地震局“九五”重点项目, 黄土地基抗震处理技术研究 (批准号: 95-05-02-03-03), 1996 ~ 2000。

(5) 地震科学联合基金课题, 黄土地震灾害区划指标与方法研究(批准号: 196133), 1996 ~ 1999。

(6) 地震科学联合基金“八五”重点课题, 黄土液化及其预测方法的试验研究(批准号: 9300026), 1993 ~ 1995。

(7) 地震科学联合基金课题, 地震作用下黄土斜坡失稳的机理、类型及预测, (批准号: 9300026), 1993 ~ 1995。

(8) 地震科学联合基金“八五”重点课题, 随机地震荷载作用下黄土动力特性的试验研究(批准号: 9100001), 1991 ~ 1992。

(9) 中国地震局“跨世纪人才培养系统工程”专著出版资助项目, 《黄土动力学》, 2000 ~ 2002。

在本书撰写过程中,作者从中国地震局工程力学研究所、西安理工大学、浙江大学、河海大学、清华大学、同济大学、大连理工大学、哈尔滨工业大学、北方交通大学、兰州大学、铁道部科学研究院西北分院、北京市勘察研究院、甘肃省建筑科学研究院、陕西省地震局、宁夏自治区地震局、山西省地震局和兰州铁路局工务处等单位的专家、教授石兆吉、门福录、袁晓铭、谢定义、巫志辉、郭增玉、李宁、曾国熙、龚晓南、陈云敏、刘汉龙、高云峰、张建民、周建、黄茂松、高广运、栾茂田、张克绪、赵成刚、韩文峰、苗天德、王恭先、张在明、汪国烈、黄雪峰、张豫川、王则耀、原廷宏、白铭学、吴伯荣、郭星全等人提供的交流和帮助中获得了较多的教益。作者还从国际土力学与岩土工程协会主席 Kenji Ishihara 教授、美国孟菲斯大学地震研究与信息中心 Howard H.Hwang 教授、美国密苏里大学罗拉分校 Shamsheer Prakash 教授、德国柏林工业大学 S.A. Savidis 教授、日本中央大学 Takeji Kokusho 教授、日本东京电机大学 Susumu Yasuda 教授、日本京都大学 Tadanobu Sato 教授和俄罗斯科学院西伯利亚分院地壳研究所 T.G.Ryashenco 教授等提供的学术交流与合作研究中获得了教益、成果和支持,李正蒙为本书录入、排版做了大量细致的工作,在此对他们深表谢意!

本书的前言、第一章、第二章第一节至第五节、第三章、第四章、第十章、第十一章由王兰民执笔,第二章第六节由王峻执笔,第五章第一节至第四节由黄雅红执笔,第五章第五节和第六节由康来讯执笔,第六章、第九章由石玉成执笔,第七章由刘旭执笔,第八章由林学文、石玉成、王兰民执笔,第十二章由王亚强执笔。参加本专著主要研究工作的还有梁守信、莫庸、张振中、袁中夏、何开明、张冬丽、李兰、廖胜修、刘红玫、张新基、韩恒悦、兰青龙、才树华、陈永明、徐晖平。全书由王兰民审阅、统稿。

作者

2003年3月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 黄土概述	(1)
第二节 黄土的地震易损性	(5)
第三节 黄土动力学及其震害研究综述	(6)
第四节 黄土动力学研究的科学意义和社会经济价值	(7)
第五节 黄土动力学的研究内容	(8)
参考文献	(9)
第二章 随机地震荷载作用下黄土的动力特性	(12)
第一节 试验设备、地震波荷载和试样	(12)
第二节 地震波荷载作用下黄土动力试验方法	(15)
第三节 黄土的弹塑动本构模型	(23)
第四节 不同地震荷载对黄土动力特性的影响	(29)
第五节 动强度参数在黄土斜坡地震稳定性分析中的应用	(33)
第六节 黄土动力参数的分布特征	(37)
参考文献	(45)
第三章 黄土的震陷及其预测	(47)
第一节 黄土震陷的定义和影响因素	(47)
第二节 黄土的震陷性与其微结构特征的关系	(52)
第三节 黄土残余应变的经验公式与震陷量估算方法	(57)
第四节 黄土震陷实例分析和工程实录	(63)
第五节 黄土地基震陷量的数值计算方法	(70)
参考文献	(83)
第四章 黄土液化机理与预测	(85)
第一节 试验与测量仪器、荷载时程、试样和试验方法	(85)
第二节 黄土液化机理	(91)
第三节 黄土液化的孔压和应变标准及其增长规律	(94)
第四节 黄土液化产生的条件	(96)
第五节 饱和黄土场地爆破地震动试验	(105)
第六节 黄土液化的工程判别指标与方法	(110)

第七节 黄土地基液化的数值计算分析·····	(117)
参考文献·····	(141)
第五章 黄土地震滑坡及其预测·····	(144)
第一节 大地震引起的滑坡·····	(145)
第二节 中强地震引起的滑坡·····	(150)
第三节 黄土地震滑坡的特征与机理·····	(151)
第四节 黄土斜坡地震稳定性分析·····	(154)
第五节 昌马断裂带地震滑坡的展布特征与形成条件·····	(171)
第六节 昌马断裂带地震滑坡最大水平滑距的分析研究·····	(178)
参考文献·····	(181)
第六章 黄土波速及其工程应用·····	(183)
第一节 波速及其在工程中的应用·····	(183)
第二节 黄土波速测试方法·····	(189)
第三节 波速随土层的变化规律·····	(198)
第四节 黄土波速的区域分布规律·····	(205)
参考文献·····	(208)
第七章 弹性波动理论及其在黄土波速分析中的应用·····	(210)
第一节 土体中的应力与应变·····	(210)
第二节 Biot 理论弹性应力-应变关系中弹性参数的显式表达式·····	(214)
第三节 双相介质中能量密度及波动方程·····	(216)
第四节 双相介质中的一些弹性波速问题·····	(227)
第五节 黄土波速的分析计算·····	(234)
参考文献·····	(244)
第八章 黄土场地地面脉动及其工程应用·····	(249)
第一节 地面脉动及其工程意义·····	(249)
第二节 地面脉动的测试及数据分析·····	(252)
第三节 地面脉动的频谱特征·····	(256)
第四节 地脉动与场地地震动特征的对比分析·····	(264)
第五节 地面脉动在地震小区划和工程场地评价中的应用·····	(272)
参考文献·····	(280)
第九章 黄土地区地震动特征·····	(282)
第一节 黄土地区的地震动分布特征·····	(282)
第二节 大中城市的地震危险性分析·····	(285)
第三节 大中城市的地震小区划·····	(292)

第四节	典型黄土剖面的地震反应分析·····	(306)
第五节	黄土覆盖层厚度对地震动参数的影响规律·····	(314)
第六节	黄土地貌的地震动放大效应·····	(320)
第七节	场地地震动参数的估算·····	(324)
第八节	黄土场地的爆破地震动效应·····	(327)
	参考文献·····	(331)
第十章	黄土地基抗震处理方法与技术标准·····	(333)
第一节	击实黄土抗震性能的试验研究·····	(333)
第二节	强夯法对提高黄土地基抗震性能的效果·····	(345)
第三节	化学处理法对提高黄土地基抗震性能的效果·····	(351)
第四节	挤密桩法和换土垫层法对于提高黄土地基抗震性能的效果·····	(356)
第五节	湿陷后黄土地基的抗震性能·····	(364)
	参考文献·····	(367)
第十一章	黄土地震灾害区划指标与方法研究·····	(369)
第一节	黄土地震灾害的最大致灾距·····	(369)
第二节	黄土震害与地震动影响·····	(374)
第三节	黄土地震灾害的其它影响因素·····	(381)
第四节	黄土地震灾害区划指标与方法·····	(386)
	参考文献·····	(392)
第十二章	GIS 在黄土地震灾害预测区划中的应用·····	(393)
第一节	概 述·····	(393)
第二节	地理信息系统及 MAPGIS 二次开发简介·····	(394)
第三节	黄土震害三级区划的 GIS 实现方法·····	(401)
第四节	黄土地震灾害预测区划系统的程序编制·····	(409)
第五节	区划成果图及说明·····	(421)
	参考文献·····	(429)

CONTENTS

Chapter I Introduction	(1)
1. Overall Condition of Loess	(1)
2. Seismic Vulnerability of Loess	(5)
3. Loess Dynamics and the Study on Seismic Hazards of Loess	(6)
4. Scientific Significance and Social and Economic Value of Loess Dynamics	(7)
5. The Contents of Study on Loess Dynamics	(8)
Reference	(9)
Chapter II Dynamic Characteristics of Loess under Irregular Seismic Loading	(12)
1. Apparatus, Seismic Loading and Samples Used in the Test	(12)
2. The Dynamic Test Methods of Loess under Seismic Loading	(15)
3. Dynamic Elastic Plastic Constitutive Model of Loess	(23)
4. The Influence of Different Seismic Loadings on Dynamic Characteristics of Loess	(29)
5. Application of Dynamic Strength in Seismic Stability Analysis of Loessial Slopes	(33)
6. The Distribution Characteristics of Dynamic Parameters of Loess	(37)
Reference	(45)
Chapter III Seismic Subsidence and Its Prediction	(47)
1. Definition of Seismic Subsidence of Loess and Its Influencing Factors	(47)
2. The Relationship between Seismic Subsidence and Microstructure of Loess	(52)
3. The Empirical Formula of Residual Strain and The Method of Evaluating Seismic Subsidence Quantity of Loess	(57)
4. Analysis on Cases of Loess Seismic Subsidence and Engineering Cases	(63)
5. The Method of Numerical Computation on Seismic Subsidence Quantity of Loess Ground	(70)
Reference	(83)
Chapter IV The Mechanism and Prevention of Loess Liquefaction	(85)
1. The Measuring Instruments, Loadings, Samples and Test Method	(85)
2. The Mechanism of Loess Liquefaction	(91)

3. The Standards and Development of Pore Pressure and Strain of Loess Liquefaction	(94)
4. The Conditions Causing Liquefaction of Loess	(96)
5. Explosive Test of Saturated Loess Site	(105)
6. Criteria and Predicting Method of Loess Liquefaction	(110)
7. Numerical Computation Analysis on Liquefaction of Loess Ground	(117)
Reference	(141)

Chapter V Seismic Landslides of Loess and Its Prediction (144)

1. Landslides Induced by Great Earthquakes	(145)
2. Landslides Induced by Middle Strong Earthquakes	(150)
3. The Characteristics and Mechanism of Seismic Loessial Landslides	(151)
4. Analysis on Seismic Stability of Loess Slopes	(154)
5. Distribution and Conditions of Seismic Landslides along the Changma Fault	(171)
6. The Maximum Horizontal Sliding Distance of Landslides along the Changma Fault	(178)
Reference	(181)

Chapter VI Wave Velocity of Loess and Its Application in Engineering (183)

1. Wave Velocity and Its Application in Engineering	(183)
2. The Method of Wave Velocity Measurement of Loess	(189)
3. The Changes of Wave Velocity with the Depth of Soil Strata	(198)
4. Regional Distribution of Wave Velocity of Loess	(205)
Reference	(208)

Chapter VII Elastic Wave Theory and Its Application in Analysis on Wave Velocity of Loess (210)

1. Stress and Strain in Soil Deposits	(210)
2. Expression of Elastic Parameters in Elastic Stress and Strain Relationship of Biot Theory	(214)
3. Energy Density and Wave Equation in Two Phases Medium	(216)
4. Some Problems on Elastic Wave Velocity in Two Phases Medium	(227)
5. Analysis and Calculation of Wave Velocity of Loess	(234)
Reference	(244)

Chapter VIII Earth Tremor on Loess Sites and Its Application in Engineering (249)

1. The Mechanics and Its Engineering Meaning of Earth Tremor	(249)
2. Measurement and Data Analysis of Earth Tremor	(252)
3. Characteristics of Frequency Spectrum of Earth Tremor	(256)

4. Comparison between Earth Tremor and Ground Motion of Sites	(264)
5. The Application of Earth Tremor in Seismic Microzonation and Evaluation of Construction Sites	(272)
Reference	(280)

Chapter IX Characteristics of Ground Motion in the Loess Area (282)

1. Distribution of Ground Motion in the Loess Area	(282)
2. Seismic Risk Analysis of Large and Middle Cities	(285)
3. Seismic Microzonation of Large and Middle Cities	(292)
4. Seismic Response Analysis of Typical Loess Profiles	(306)
5. The Influence of Loess Deposit Thickness on Ground Motion Parameters	(314)
6. The Effect of Loess Topography on Ground Motion Amplification	(320)
7. Evaluation of Site Ground Motion Parameters	(324)
8. The Effect of Loess Sites on Explosive Ground Motion	(327)
Reference	(331)

Chapter X The Methods and Technical Standards of Seismic Treatment of

Loess Ground (333)

1. Laboratory Study on Seismic Capacity of Compacted Loess	(333)
2. The Efficiency of Improving Seismic Capacity of Loess Ground by Dynamic Tamping	(345)
3. The Efficiency of Improving Seismic Capacity of Loess Ground by Chemical Treatment	(351)
4. The Efficiency of Improving Seismic Capacity of Loess Ground by Compaction Piles and Replacement Method	(356)
5. Seismic Capacity of Collapsed Loess Ground	(364)
Reference	(367)

Chapter XI Study on Indices and Method

of Seismic Loessial Hazards Zonation (369)

1. The Maximum Distance to Loess Failure Sites	(369)
2. The Influence of Ground Motion on Seismic Loessial Hazards	(374)
3. The Other Factors of Influencing Seismic Loessial Hazards	(381)
4. Indices and Method of Seismic Loessial Hazards Zonation	(386)
Reference	(392)

Chapter XII Application of GIS in Zonation of Seismic Loessial Hazards (393)

1. Introduction	(393)
2. GIS and Second Developing Class Libraries of MAPGIS	(394)

3. The Method of GIS based Seismic Loessial Hazards
 Zonation with Three Grades (401)

4. Compilation of Software System for Seismic Loessial Hazards Zonation (409)

5. The Zoning Maps and Its Illustrations (421)

Reference (429)