

现代地震工程进展

XIANDAI DIZHEN GONGCHENG JINZHAN

主编：王亚勇 李爱群 崔杰

东南大学出版社

现代地震工程进展

主 编 王亚勇 李爱群 崔 杰

东南大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍了近年来我国科技工作者在地震工程领域的科研新成果。主要包括:专题报告;强震观测、地面运动与震害;场地效应和地基反应分析;结构地震反应分析;建筑结构抗震设计、鉴定、加固和改造;隔震与振动控制理论和应用;生命线工程和重大工程抗震;抗震试验技术和结构试验研究;城市防灾减灾及标准和规范。

本书可供地震工程、土木工程和相关领域教学、科研、设计和管理工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代地震工程进展/王亚勇,李爱群,崔杰主编.
南京:东南大学出版社,2002.10
ISBN 7-81089-056-5

I. 现... II. ①王... ②李... ③崔... III. 地震工程—研究 IV. P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 078659 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 溧阳市晨明印刷有限公司印刷
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:60 字数:1410 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

定价:128 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3795802)

学术委员会名单

主任委员	谢礼立				
副主任委员	周锡元	齐霄斋	吕志涛	张维嶽	冯启民
委 员	胡聿贤	陈厚群	周炳章	周福霖	林 皋
	刘志刚	戴国莹	廖振鹏	范立础	吴慧娟
	卢寿德	朱世龙	韦承基	唐家祥	王亚勇

组织委员会名单

主任委员	王亚勇				
副主任委员	贾 抒	金 星	李爱群		
委 员	欧进萍	张敏政	陶夏新	杜修力	薄景山
	孙柏涛	崔 杰	张雪兰	叶燎原	吕西林
	叶列平	刘伟庆	高孟潭	程绍革	苏经宇
	薛彦陶	李宏男	周 晶	李 杰	李英民
	吴胜兴	曹双寅			

主 编	王亚勇	李爱群	崔 杰
编 辑	李 虹	黄 镇	

主 办 单 位 中国建筑学会抗震防灾分会
中国地震学会地震工程专业委员会

承 办 单 位 东南大学

协 办 单 位 江苏省土木建筑学会 河海大学 南京工业大学

序

由中国建筑学会抗震防灾分会和中国地震学会地震工程专业委员会共同主办的第六届全国地震工程学术会议在南京召开了！这是我国地震工程界每四年一次的学术盛会。在历届会议上，我国地震工程界同仁们先后聚会上海、武汉、大连、哈尔滨、北京、南京，交流心得、切磋技艺、百家争鸣、以文会友。会上老友相逢，互致安好；新人辈出，豪语惊人。每次会议都有丰硕的成果，不仅体现在会议期间的专题发言和小组发言以及会后的讨论中，还集中体现在会议的论文集中。每次会议都成了认识和了解朋友的桥梁，会议留给大家的记忆永远新鲜，论文集的内容成了永远的参考。我们相聚一起共同的目标是：为了人类的防震减灾事业。

从1984年第一届会议开始，18年过去了，弹指一挥间。这期间，中国的地震活动形势发生了变化，1976年唐山地震以后的相对平静期结束，进入了地震的活跃期。这期间，中国的基本建设发生了巨变，城市面貌日新月异，房屋建设和工程建设的发展超出了人们的预料。这期间，全球地震造成的经济损失和对社会的冲击超过了人类历史长河中任一时期的记载。这期间，工程抗震防灾技术的发展突破传统模式，由“抗”而“防”而“制”而“控”。这期间，关心地震问题的不仅仅是地球物理学家、地震学家和工程师，还有社会学家、心理学家、经济学家、金融保险学家。防震减灾学成了一个综合诸子百家的大学科。

翻开每一届地震工程学术会议论文集可以发现，除了基础的、传统的议题外，还有许多反映当时国际最新、最前沿的内容。本届学术会议也不例外，论文集中所包含的振动控制理论和应用、工程结构性态检测与健康诊断等，不仅是当前国际地震工程界的热门话题；而且，即使是在传统的议题中，我们也能发现众多新的理念、新的方法和新的技术，在此不一一列举。

“海纳百川，有容乃大”，哲人的名言指导着本届学术会议的组织和论文集的编辑者。我们的宗旨是：让更多的同仁与会，让更多的新人亮相，让更多的学派争鸣，让更多的成果留给后人。我们相聚一起的目标还是：为了人类的防震减灾事业。

王亚勇

2002年10月

目 录

中国地震动参数区划图(2001)简介	胡聿贤 (1)
中国抗震设计规范 GB 50011 和国际标准 ISO 3010 之对比研究	王亚勇 (8)
最不利设计地震动的概念及确定	谢礼立 翟长海 (16)
重大工程场地设计地震动参数选择	陈厚群 郭明珠 (25)
超柔结构大非线性地震反应分析方法	冯启民 伍小平 (40)
1999 年土耳其地震和中国台湾地震近场强地面运动的特征	周锡元 王国权 徐国栋 (48)
工程结构隔震、减震与振动控制研究进展	李爱群 程文灏 (57)
跨世纪的地震工程研究	张敏政 (71)

第一篇 强震观测、地面运动与震害

由强震观测记录实时快速计算反应谱和地震图	金星 李山有 马强 (79)
地震动特征周期的确定方法	江静贝 符圣聪 刘华 (86)
中国水工结构强震监测介绍	郭明珠 唐柏林 苏克忠 (91)
行波作用下土层的地震反应	楼梦麟 潘旦光 范立础 (95)
弹性介质中地震动空间变化规律初探	丁海平 袁一凡 金星 刘启方 (101)
水平成层半空间自由场的时步数值模拟	李山有 周正华 (106)
近海海洋工程岩土与地层结构反演	汤爱平 (112)
近场地震的方向性及速度脉冲特性效应	邬鑫 朱晞 (118)
三维地震动反应谱相关性的统计分析	李英民 赖明 (124)
利用竖向地脉动台阵记录反演场地浅层速度结构	师黎静 陶夏新 (131)
设计地震动参数选取中有关影响因素的研究	林建生 (138)
设计用随机地震动功率谱模型参数的取值	薛素铎 王雪生 曹资 (148)
印度 2001 年古吉拉特地震(M7.7)的现场考察	张敏政 (154)
1999 年 11 月 29 日辽宁省海城——岫岩 5.6 级地震震害调查	李东春 廖旭 钟以章 (160)
地下管线工程震害探讨	滕桃居 李约汉 肖靖 储卫星 (166)
建筑钢结构震害及其原因	刘洁平 张令心 (171)

第四系松散土层与地震地表破裂关系探讨	万 波 吴小兵 谷晓曦 (177)
--------------------------	-------------------

第二篇 场地效应和地基反应分析

不规则荷载下饱和砂土孔压增长初步研究	孙 锐 袁晓铭 孟上九 (185)
覆盖土层中的局部应变带萌生与进化	赵纪生 陶夏新 (190)
黄土的结构与动力特性及其震害特点	丁伯阳 汪国烈 申屠龙潭 (196)
南京地区新近沉积土的动剪切模量和阻尼比的初步研究	刘雪珠 陈国兴 胡庆兴 (201)
建筑物不均匀震陷的计算方法与实验验证	孟上九 袁晓铭 孙 锐 (206)
公路桥梁地基震害形式与处理方法	刘宏伟 庄惠平 张 伟 张海波 谢永亮 (212)
桩基在不同土界面处的受力分析	阳 波 顾红军 陈海天 张海波 (215)
粘性土挡土墙地震土压力解析解	陈学良 陶夏新 (218)

第三篇 结构地震反应分析

配钢筋混凝土空心小砌块墙受剪承载力研究	叶燎原 屈俊童 雷鸿君 (227)
基于演化-单纯形算法和结构模态参数反演结构物理参数的方法	杜修力 曾 迪 (233)
一种高效的全局数值优化方法:演化-单纯形算法	杜修力 曾 迪 (242)
短肢剪力墙的研究	彭 飞 黄东升 程文灏 (252)
大型渡槽横向地震反应分析	陈 淮 祁 冰 杜晓伟 (256)
考虑槽身与水相互作用的渡槽自振特性分析	李同春 佟宏伟 (261)
挡土墙地震反应的波动模拟	陈学良 袁一凡 (266)
地震作用下简支梁桥碰撞反应分析	帅纲毅 朱 晞 (272)
高振型对合肥电视塔地震反应的影响分析	张志强 李爱群 何建平 王建磊 (278)
MDOF 结构的弹塑性地震反应位移模式分析	经 杰 叶列平 钱稼茹 (284)
关于结构静力弹塑性分析(push-over)的探讨	曲卓杰 吴胜兴 (289)
江苏方正大厦弹塑性地震反应分析	扶长生 (294)
淮河入海水道淮安立交地涵抗震分析研究	张燎军 (304)
混凝土重力坝动态特性及反应的几点估计	侯顺载 (309)
建筑结构竖向震动控制研究	毛利军 李爱群 苏经宇 (313)
竖向地震动场的空间相干函数模型	刘先明 叶继红 李爱群 (318)
控制特征参数法确定结构合理振型数的研究	史铁花 韦承基 (324)
连拱坝地震反应分析	张艳红 胡 晓 (330)

龙滩大坝底孔坝段的三维有限元动力分析	章 青 彭宣茂 (337)
楼层反应谱及次结构系统的动力反应分析	张建霖 (342)
铁路简支梁桥抗震分析	倪燕平 廖蜀樵 (347)
吐鲁番苏公塔的抗震性能研究	尹力峰 唐丽华 刘志坚 胡伟华 赵进军 (353)
淤积泥砂对水平地运动作用时刚性坝面动压力的影响研究	王进廷 杜修力 T.K.Hung (362)
升船机建筑结构随机地震反应分析	王汉东 陈清军 (368)
HHT 变换在地震波谱分析中的应用	罗奇峰 石春香 (373)
预应力混凝土框架结构抗震设计中有关问题探讨	孟少平 吴 京 (377)
长周期结构的抗震设计反应谱的取值问题	李龙安 张金武 何友梯 (381)
单柱与双柱桥墩抗震性能试验与理论计算对比研究	韦 晓 范立础 (389)
考虑结构地震损伤影响的能力谱分析方法	周 云 王克峰 赵 彤 (395)
钢筋混凝土框架塑性破坏及失稳倒塌研究	焦双健 冯启民 (402)
建筑物震害预测易损性分析方法研究	魏 巍 冯启民 (412)

第四篇 建筑结构抗震设计、鉴定、加固和改造

论结构抗震设计方法	叶列平 经 杰 (419)
基于性能/位移的能力-需求曲线设计方法	叶列平 李 琪 (430)
基于功能的结构抗震加固策略探讨	李 刚 程耿东 (437)
带加强层框架-芯筒结构的非线性推覆分析	朱杰江 吕西林 王震波 (444)
基于能量分析法的地震损伤性能控制设计	瞿岳前 梁兴文 田 野 (451)
双向地震作用下高桥墩耦合效应分析	江 辉 朱 晞 (457)
水平地震作用下板柱结构的计算	杜新年 吴 强 程文灏 (463)
地震作用下钢筋混凝土框架结构的强度分析	李少泉 沙镇平 (467)
高楼顶部钢结构塔楼的抗震计算方法综述	陈道政 李爱群 丁幼亮 (473)
混凝土砌块组合墙结构抗震性能研究	熊立红 丁世文 夏敬谦 (479)
超高层建筑结构抗整体倒塌设计的一个建议	钱国桢 屠忠尧 骆 敏 (485)
大型矩形清水池抗震新体系——斜撑设缝矩形清水池	郭天木 (487)
“抗震概念设计”在抗震加固中的应用	衣洪建 程绍革 黄世敏 (492)
认真分析震损原因,搞好震损建筑物抗震加固	赵振武 吴光玉 赵晓兵 杨建国 (498)
某办公楼的抗震鉴定与加固技术	程绍革 陈善阳 司玉海 (502)
某医院综合楼抗震鉴定加固技术探讨	陈善阳 程绍革 戴国莹 (508)
钢筋混凝土桥梁的快速鉴定与评估系统	王海林 李云峰 张文丽 (514)

国际友谊博物馆文物库房加固改造	张 军 郭 浩 唐曹明 肖 青 杜燕红	(518)
鼓浪屿历史风貌建筑的结构加固	陈兰英	(522)
纤维加固混凝土轴心受压柱承载力计算	陈忠范 李建龙	(527)
消能技术在抗震加固中的研究与应用	宋智斌 韦承基 薛彦涛	(532)
消能减震技术在建筑抗震加固中的应用	杨 沈 王亚勇 张维嶽	(538)
消能减震结构有效阻尼比的计算方法研究	丁幼亮 李爱群 叶正强	(544)
浅述结构抗震设计中的一些常见问题	毛卫雷 钱国桢 冯 立	(549)
曲线高架梁桥的抗震计算和参数分析	王修信 殷宝才 周文源	(552)
巨型钢框架结构地震响应时程分析	周晓峰 傅克祥 董石麟	(562)

第五篇 隔震与振动控制理论和应用

偏心橡胶垫隔震结构扭转耦联振动简化抗震计算	李宏男 吴香香 王苏岩	(571)
高层隔震结构的地震响应分析	康锦霞 魏德敏 韩海崴	(575)
隔震技术的发展方向	楼永林 王敏权	(579)
宿迁市总工会文化宫基础隔震设计研究	赵世峰 程文灏 李爱群 张富有	(585)
隔震技术在简支梁桥中的应用	廖蜀樵 倪燕平	(590)
一种建筑基础绝缘隔震稳定体系	杨 洪	(595)
阻尼隔振垫的性能与应用介绍	宋新初 钱国桢 庄表中	(599)
大型渡槽结构减振隔震几个关键问题初探	郭永刚 周红卫 夏 嫵	(603)
橡胶支座的应用前景与质量忧患	周明华	(609)
结构半主动变刚度控制的研究	杨润林 周锡元 刘锡荟	(615)
模糊神经网络半主动 TLCD 对偏心结构的减震控制	金 峤 李宏男	(621)
基于模态分析的滑动状态减震控制在斜拉桥结构中的应用	王克海 朱 晞	(626)
幂指关系粘滞流体阻尼器的力学性能研究	杨国华 李爱群 程文灏	(631)
工程结构的形状记忆合金超弹性阻尼减振技术	倪立峰 李秋胜 李爱群	(637)
形状记忆合金复合梁的主动振动控制研究	李忠献 刘建涛 陈海泉	(642)
升船结构地震鞭梢效应基于神经网络的 MR 智能半主动控制	瞿伟廉 涂建维	(648)
基于形状记忆合金超弹性阻尼器的结构振动控制研究	韩玉林 李爱群 林萍华 张志强 张晓格 黄 镇	(656)
用于建筑物减震的液流式减震器	陈福州 刘建辉 方维凤 吴云泉 陈太林	(661)
双重软钢斜支撑的耗能减震机理研究	姚 侃 李连国 薛红萍 黄 伟	(664)
巨型框架多功能减振结构体系在地震和强风作用下的振动分析	蓝宗建 杨东升 王恒华 田玉基	(668)
防震新科技 HADAS 于建筑结构之实例探讨	陈清祥 任谅恭	(674)

粘滞阻尼支撑结构减震效果的参数影响	陆伟东	刘伟庆	陈 瑜	(680)
GIS 技术在城市防震减灾中的应用	徐敬海	刘伟庆	邓民宪	(685)
含减震支撑的 RC 框架结构弹塑性有限元分析	高晓安	周锡元	常兆中	姚德康 (689)
寒冷环境中橡胶隔震体系的若干性能及工程应用	李 慧	杜永峰	宋 或	周茗如 孙玉萍 金少蓉 (695)

第六篇 生命线工程和重大工程抗震

生命线工程研究的若干进展	李 杰	(703)
生命线系统相互作用下的地震可靠度	汤爱平 欧进萍	谢礼立 (713)
相关失效生命线工程系统地震可靠度的分析方法	何 军	李 杰 (721)
非自主有色 Petri 网理论在复合生命线工程系统仿真中的应用	江建华	刘 威 李 杰 (728)
大型电力系统抗震可靠性分析模型及计算	李 天	李 杰 沈祖炎 (734)
城市供水管网抗震可靠度分析	卫书麟	刘 威 李 杰 (741)
基于供需随机性分析的道路抗震可靠度分析	陈艳艳 高爱霞	史建港 王光远 (746)
深埋隧道工程抗震防震方案探讨	田艳凤 张 超	李赞成 余 玲 (751)
防灾楼结构遥测台阵	周雍年	章文波 (755)
混凝土大坝老化、损伤的动力诊断	胡 晓	张翠然 (759)

第七篇 抗震试验技术和结构试验研究

带暗支撑剪力墙抗震性能试验及设计研究	曹万林	张建伟	(767)
钢结构住宅体系墙板及墙板节点足尺模型振动台试验	赵 欣	李国强	孙飞飞 (776)
配筋空心砌块砌体承重墙抗震性能研究	陈忠汉	朱茂存	刘 强 何若全 (782)
中海名都高层住宅结构的模拟地震振动台试验研究	周 云	高向宇	阴 毅 陈长缨 张 平 (786)
高层钢管混凝土柱-剪力墙结构振动台试验研究	徐忠根	任 珉	周福霖 邓建强 (792)
300 米级高拱坝振动台模型试验研究	郭永刚	王 济	胡 晓 陈厚群 (796)
佛子岭连拱坝动力试验及模态参数识别	张翠然	胡 晓	(802)
龙羊峡重力拱坝非线性动力模型试验和计算分析研究	李德玉	胡 晓	涂 劲 王 济 禹 莹 (808)
钢骨混凝土开洞低剪力墙抗震性能试验研究	王曙光	蓝宗建	周鲁敏 陈鲤梁 (814)

铅芯橡胶支座性能试验对比研究	朱玉华	吕西林	冯德民	(820)
轻钢龙骨复合承载墙体抗震性能研究	董 军	夏冰青	马 宏	于 旭 (824)
土与结构动力相互作用体系振动台模型试验研究	陈国兴	王志华	宰金珉	张菁莉 (829)
GCS 型开关柜抗震性能模拟地震振动台试验研究	蒋华戈	闫维明	李 力	(837)
结构振动的实时动态显示	杨永春	杨素军		(843)
结构检测数据的无线传输系统	董 亮	俞子荣	高晓安	(847)
碳纤维抗弯加固钢筋混凝土梁的试验研究	何峥嵘	陈忠范	Stephen K L Lee	(852)
Pall 型摩擦阻尼器的试验研究与数值分析	吴 斌	张纪刚	欧进萍	(857)
砖砌体墙片的抗震加固试验	翁大根	贺 强	吕西林	Tetsuo Kubo (865)

第八篇 城市防灾减灾及标准和规范

一次特殊的工程地震事件——美国“9.11 事件”地震记录分析	李文艺			(873)
分布式防震减灾系统的可行性	姚保华	陶夏新		(879)
抗震结构目标可靠度的优化决策模型	李鸿晶	冯启民		(887)
城市防震减灾信息应用系统	刘本玉	苏经宇	江见鲸	(892)
防震减灾基础数据库的建立与应用	刘本玉	苏经宇	江见鲸	(897)
基于 MAPGIS 的首钢防震减灾管理信息系统的设计与实现	魏 亮	李鹏程	李永录	王建文 (902)
西安市建筑物抗震性能普查与城市抗震防灾	薛武平	骆险峰	赵 兵	(908)
辽宁鞍山市抗震设防区划研究	吴小兵	钟以章		(913)
对抗震设计规范中地震作用规定的三点修改建议	耿淑伟	陶夏新	王国新	(919)
新规范的抗震设防标准	胡德鹿	骆险峰		(926)
浮放设备抗震技术标准	王云剑	陈汝斌		(932)
日本铁路结构抗震设计标准的主要特征	王海波			(937)
搞好工程抗震,提高城市综合抗震能力	吴光玉	杨建国	刘新泉	赵晓兵 (942)

中国地震动参数区划图(2001)简介

胡聿贤

(中国地震局地球物理研究所,北京 100081)

摘 要:本文首先说明中国地震动参数区划图(2001)^[2]是根据《中华人民共和国防震减灾法》^[1]提出的、为一般工程使用的抗震设防要求。和 1990 年中国地震烈度区划图相比,它所采用的参数,从古老的、宏观定性的、非物理量的地震烈度,过渡到直接以地震动参数表示的、可以直接为工程抗震设计规范所使用的、可以定量的物理量;它克服了我国上一代地震区划图不能反映地震大小、远近对反应谱形状影响的缺点。本区划图有两张,一张是Ⅱ类场地 50 年超越概率为 10% 的峰值加速度分区图,分区值为 $<0.05\text{ g}$, 0.05 g , 0.10 g , 0.15 g , 0.20 g , 0.30 g , $\geq 0.40\text{ g}$ 等 7 个区;另一张是Ⅱ类场地反应谱特征周期 $T_g = 2\pi V/A$ 分区图,其分区值取为 0.30 s , 0.35 s 和 0.40 s 3 档。这 2 张分区图给出的都是以多见的平坦稳定的一般(中硬)场地为对象,对于其他场地,则按表 1 的规定进行调整。本文着重说明了本区划图的内容、特点、依据、和与 1990 年区划图的差异,特别是本区划图直接给出了工程抗震设计所需要的反应谱。区划图还在附录中规定了有关技术标准在由地震烈度向地震动过渡的规定。

关键词:地震动;中国地震区划图;峰值加速度;反应谱特征周期

1 编制本届地震区划图的目的

1) 地震区划图的目的

地震区划图是根据一个地区的地震活动特性、按给定目的、区划出来的地区内可能发生的地震动强弱程度的分布图。本文介绍的仅限于为一般工程抗震设计所用的地震区划图,即中国地震动参数区划图(2001),它包括两张图(见图 1、图 2)、一个表及有关的规定和说明。

按《中华人民共和国防震减灾法》^[1]第 17 条的规定,“本条第 3 款规定以外的建设工程,必须按照国家颁布的地震烈度区划图或者地震动参数区划图规定的抗震设防要求,进行抗震设防。”第 3 款即为“重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程必须进行地震安全性评价;并根据地震安全性评价的结果,确定抗震设防要求,进行抗震设防。”据此,所谓一般工程指的是重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程以外的工程。因此,地震动区划图或地震动参数区划图的规定是为一般工程提供抗震设防要求,而不适用于重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程。

本次编图的目的是根据我国新颁布的《中华人民共和国防震减灾法》,在当前的科学进展和要求的基础上,为我国量大面广的一般工程提供抗震设防要求,以尽可能地减少人民生命财产的损失、保持正常的生产和生活环境。

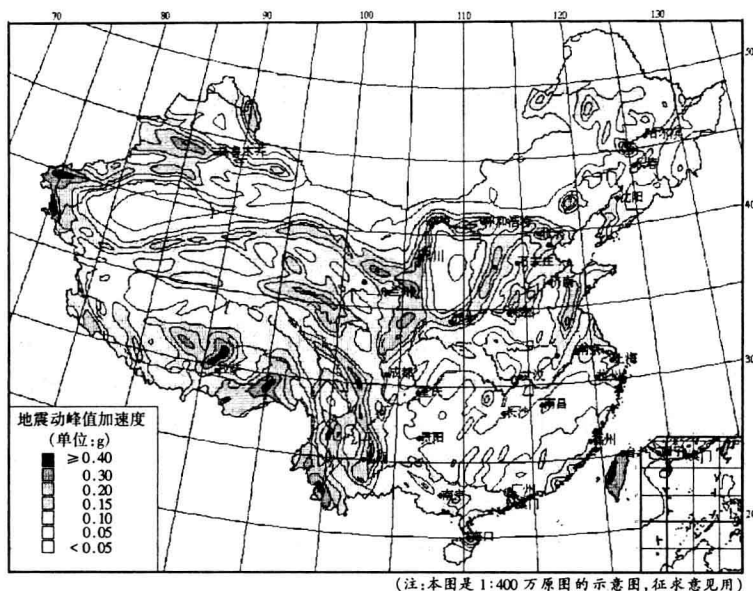
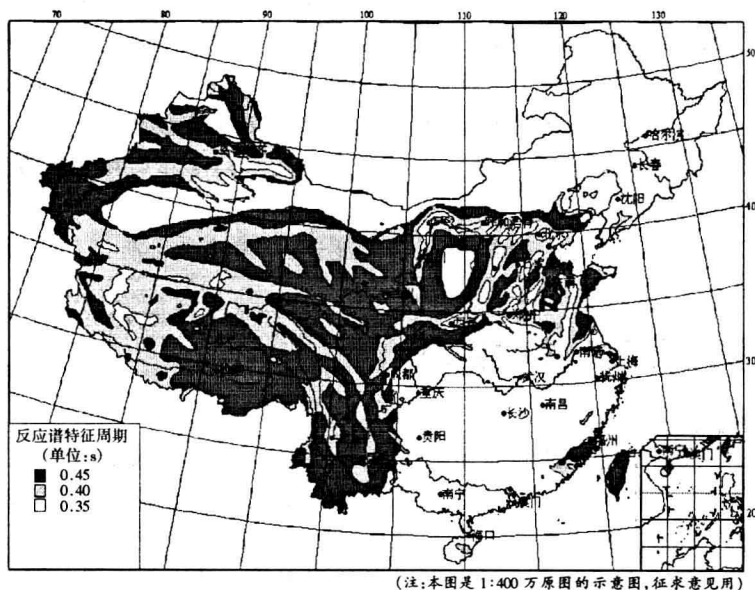


图 1 中国地震动峰值加速度区划图

图 2 中国地震动反应谱特征周期 T_g 区划图

2) 地震区划图的现状

我国已经有过 3 代地震区划图,分别完成于 1955, 1975, 1985 年,都是按地震烈度来划分的,区划的结果是 $< VI$ 、 VI 、 VII 、 $VIII$ 、 IX 、或 $\geq IX$ 。在现行的 50 多个外国的地震区划图中,约 10 个近十余年编制的区划图则是按 2 个地震动参数区划的。后者中已为正式工程抗震设计规范采用的有:加拿大(1985 年),美国(1997 年),罗马尼亚(1992 年),西班牙(1992 年) 和我国(2000 年)。

2 新编中国地震动参数区划图的内容

1) 新编中国地震动参数区划图(2001)的主要内容是两图、一表、一规定

中国地震动参数区划图(2001)采用的概率水平为50年超越概率10%,与中国地震烈度区划图(1990)相当。采用的比例尺为1:4000000。主要内容可以概括为两图、一表、一规定。

(1) II类场地50年超越概率为10%的峰值加速度分区图。分区值为 $< 0.05g, 0.05g, 0.10g, 0.15g, 0.20g, 0.30g, \geq 0.40g$ 。形式上相当于在烈度分区中增加了Ⅶ度半,Ⅷ度半两档。采取上述分区形式是为了更好地与《中国地震烈度区划图(1990)》相衔接,并能够较顺利地与各行业规范和抗震设计标准相衔接。这种分区方式能够满足面广量大的一般工业、民用建筑的需要。

(2) II类场地阻尼比为0.05的加速度反应谱特征周期 T_g 分区图。特征周期的定义是地震动峰值速度 V 与峰值加速度 A 的比,即 $T_g = 2\pi V/A$,其分区值取为0.30s,0.35s和0.40s三档。考虑了地震环境或大小远近对反应谱形状的影响,用以取代过去抗震设计规范中关于近震、远震的规定。本次提出的分区图将会增强城市里大量涌现的十几层和更高层房屋的抗震水平。

两图分别见图1和图2;“一表”为 T_g 值土层调整表,见表1。

表1 不同场地土和反应谱分区的拐点周期 T_g (s)值

特征周期分区	场地类型划分			
	坚硬	中硬	中软	软弱
I区	0.25	0.30	0.45	0.65
II区	0.30	0.35	0.55	0.75
III区	0.35	0.40	0.65	0.90

2) 采用2个地震动参数区划图的必要性

震动参数区划图有2个独立的参数,即:地震动加速度 A 和反应谱特征周期 T_g 。地震区划图的参数从单一独立的地震烈度(或由此规定的地震动加速度)改变为两个相互独立的地震动参数的主要原因是工程抗震设计发展的要求。近十余年国内外地震工程界一致认为,不但应该考虑场地工程地质条件对设计地震反应谱的影响,还应同时考虑在同一地震烈度或地震动加速度下、近震和远震对设计地震反应谱的影响。1992年的我国建筑抗震设计规范用一种简单的方法,在单一的地震烈度区划指标下,可以在地震区划图上粗略地区分地震的远近。后因地震科技的发展,地震区划图的方法从给定地震改变为概率地震之后,这种简单的方法就无法应用,因而在第3代区划图使用期间,地震的远近对反应谱的影响无法考虑;而采用双参数的地震动区划图之后,这一问题就迎刃而解,用加速度 A 表示加速度反应谱平台的高低,用特征周期 T_g 表示平台右边的宽度。

现有资料也可以提供所需要反应谱的这些数据,部分结果如图3、图4所示。

采用地震动参数区划图还可以方便地进一步考虑其他地震动参数的要求。国际和国内社会的迅速发展带来了特高大结构,如:特高楼大厦、通讯高塔、大跨度桥梁,和一般房屋相比,它们有不同的动力特性,设计时要更长周期的设计反应谱,因而需要引入第3个独立的地震动参数,如地震动位移。近代一些大地震,如台湾省的集集地震,多次表明有此必要。

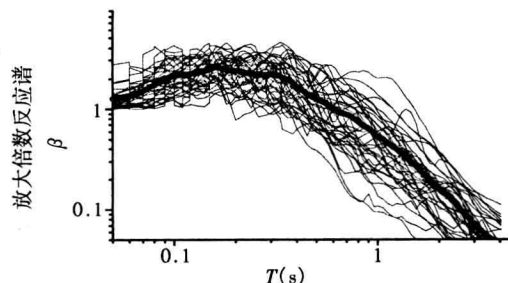
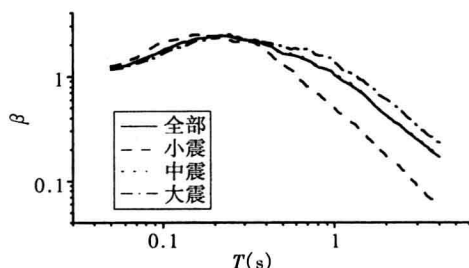
图3 小震近震($4.5 < M < 6.5, 0 < R < 20 \text{ km}$)

图4 地震大小、近远对反应谱形状的影响

3 编图基本情况

编图工作于1996年11月启动。根据编图工作大纲的要求,完成了基础资料搜集整理工作,共完成基础图件14幅,完成了历史地震目录和仪器记录地震目录的编制。为更好地反映近十年科研成果和科学的反映参数不确定性的影响,完成了4套潜在震源区划分方案及相应地震活动性参数的确定。系统地研究了美国西部地区强地震地面运动记录 and 我国现有的强地震地面运动记录,合理地确定了我国的峰值加速度衰减关系和速度峰值速度衰减关系。完成了3次区划图的预编,并在此基础上系统地进行了工程应用研究工作。在课题的执行过程中与各部委有关专家保持了密切的联系,共进行了两次大型的工程应用咨询会议。编图工作中还广泛征求了中国地震局系统专家和各省局的意见,并根据这些意见对编图的基础资料和预编的结果进行了认真的分析论证,在此基础上进行了一系列改进。于1999年3月完成了征求意见稿。

1999年5月6日~17日分别在南宁、西安和太原再次征求了各省局有关管理人员和专家的意见。本着科学、合理和有益于防震减灾事业的精神,反复研究了省局的意见,对个别地点的区划结果进行了局部修正。完成了区划图初稿。

4 编图计算结果与成图原则及其结果的调整

根据所提出的潜在震源区4套方案与中国地震烈度区划图(1990)的潜在震源区方案及相应的地震活动性参数、中国东部和西部地区地震动参数衰减关系,共构造了5套计算方案。将全国及邻区按 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 划分出4万多个场点。对每套方案计算格点50年超越概率10%的加速度值和速度值。

50年超越概率10%的危险水平的选取考虑中国地震烈度区划图(1990)的概率水平和国际上地震区划危险水平的选取。

考虑到参数不确定性影响和与中国地震烈度区划图(1990)的过渡,对分析计算结果进行了加权处理,得到每个场点“基岩”场地的50年超越概率为10%的加速度值和速度值。

根据格点的“基岩”加速度值和速度值转换为II类场地加速度值和速度值,并由加速度值 A 和速度值 V 计算格点的反应谱特征周期 T_g 。由II类场地加速度值和 T_g 格点值绘制等值线图。根据分区原则,在等值线图的基础上,编制地震动参数的分区图。考虑到计算结果的精度和不确定因素,及与现行区划和规范的协调问题,确定了各个分区的界限值。

加速度分区值如下:

0.05 g (0.04 g, 0.09 g)

0.10 g (0.09 g, 0.14 g)

0.15 g (0.14 g, 0.19 g)

0.20 g (0.19 g, 0.28 g)

0.30 g (0.28 g, 0.38 g)

≥ 0.40 g ≥ 0.38 g

反应谱特征周期 T_g 的分区值如下:

0.30 s: ≤ 0.35 s

0.35 s: (0.35 s, 0.40 s)

0.40 s: ≥ 0.40 s

5 中国地震动参数区划图(2000)与中国地震烈度区划图(1990)的比较

5.1 地震动峰值加速度区划图

1) 两张区划图设防标准的对比

与中国地震烈度区划图(1990)相比,本次地震加速度区划编图结果的抗震设防水平基本连续,设防水平有所提高,这一改变在科学上是合理的,适当提高部分重要工程的设防标准也符合我国当前的安全要求。

大部分省会一级的城市设防水平没有改变,34个城市中有6个设防水平有所提高。其中南昌由 $\leq$ VI 区提高为 0.05 g 设防;天津、香港、郑州由 VII 度提高为 0.15 g 设防;海口和台北由 VIII 度提高为 0.30 g 设防。除南昌外,所有省会城市的设防水平变化没有跨越“烈度档次”。

原中国地震烈度区划图(1990) VII 内 89% 县及县以上城镇,设防水平变化没有超过烈度档次;VIII 内 88% 县及县以上城镇,设防水平变化没有超过烈度档次;一部分城镇的设防水平变化为“半个烈度”档次。位于原图 IX 度区内的城镇设防水平有所降低。总体设防水平保持连续。

初步统计结果表明,291 个县级以上城镇升高半度,其中人口稠密城市 37 个;而 38 个县级以上城镇设防标准降低“半度”,其中人口稠密城市 5 个(台南、咸阳、三门峡、白银、临河)。总体设防水平呈上升趋势。约 400 个县及县以上城镇设防水平提高了一个档次,其中由原不设防区域提高到 0.05 g 设防的城镇占 50%,由 VI 度提高到 0.10 g 设防的占 40%,由 VII 度提高到 0.20 g 或由 VIII 度提高到 0.40 g 设防的仅占 10% 左右。VI 度以上区域提高 1 度设防的城镇只有 5% 左右。

原烈度区划图在中南地区有较大的不设防地区,但仍有许多潜在震源区,根据此次编图结果,基本上凡有潜在震源区分布的地区,其设防水平至少为 0.05 g。这些地区包括重要交通枢纽,大型水利设施,和人口稠密的城镇。近年的地震活动情况表明,这些地区 4 级左右的地震就会造成较大的损失和影响。有些地区历史曾经发生过 5 级左右的地震。这些地区的抗震设防水平确定为 0.05 g 后,不会增加太多的建设投资,却可以受到很好的防震减灾效果。

2) 设防变化的主要原因

(1) 新资料、新成果的应用。

新编区划图较好地反映了 1986 年以来积累的地震构造研究,地震台网记录、重大工程专门研究成果,一些区域的设防有了较为明显的变化。例如,燕山-阴山北缘的 0.10 g 的区域

较原区划图的Ⅶ度,适当北延,包括了1998年1月张北地震所在区域,反应了人们对这一地区北西向地震活动带的认识;张掖-玉门地区的 0.20 g 的形态与原Ⅷ度的形态有较大的变化,反映了近10年来该地区地震活断层填图研究的新成果;雷州半岛西部的区划结果也有了一定的变化,这主要是因为北部湾2次6级以上地震发生后,人们对该地震危险性认识的变化;库尔勒附近地区地震设防水平也有较大变化,主要是采用了近年来在该地区开展的重大工程详细地质研究的结果。

大量的事例表明新区划图反映了近10年来我国地震基础研究的新成果和10年来积累的大量资料。中国地震局“85”和“95”有关的重点项目的成果,提高了工程抗震设防的科学水平。

(2) 国际合作获得的基础资料改善了一些边境地区地震区划结果。

编图期间与俄罗斯科学院进行了有关地震区划方面的合作研究。新疆地震局也与中亚国家有关单位和科学家进行了地震危险性评估和地震区划的合作研究,获得了大量的基础资料,获得了西北边疆地区地震危险性的新认识。在新疆西北部边境地区的潜在震源区和地震活动性参数的确定方面,都取得了较大的进展。该地区的地震区划结果与中国地震烈度区划图(1990)相比,有了相当大的变化。原来这一地区有相当大的区域是基本烈度小于Ⅵ度的地区。在此次提出的编图结果中,边境附近划分了一个 0.10 g 的区域,相当大的区域为 0.05 g 的区域。

(3) 考虑板缘地震与板内地震的差异,改进危险性评估方法,台湾省地区的地震区划结果更为科学合理。

台湾省地区是典型的板缘地震活动地区。地震非常频繁。对于重现期为500年地震区划来说,台湾省地区有足够的地震资料进行统计分析。本次区划在该地区使用了与大陆其他地区不同的地震危险性评价模型。地震区划结果与中国地震烈度区划图(1990)相比变化相当大。基本形态和设防水平完全不同。但与台湾省地区抗震设计规范中发表的区划图,具有很好的一致性。新的地震区划图反映了台湾省地区的地震活动规律和特点,具有较强的科学性。

(4) 采用地震动参数编图,一些地区的设防水平更为科学合理。

由于烈度分区代表的设防水平变化太大,一些重要城市和地区的抗震设防水平难以科学地确定。例如,天津市在中国烈度区划图(1982)上为Ⅷ度区,而在中国地震烈度区划图(1990)上为Ⅶ度,烈度变化1度,加速度变化1倍。这种设防水平变化与天津所处的地震环境及天津的政治经济地位是不相协调的。在新编的地震区划图上,天津市的设防水平为 0.15 g 。东南沿海地区的一些重要城镇也有类似的情况。

5.2 地震加速度反应谱特征周期区划

1) 基本形态

加速度反应谱特征周期主要取决于对场点50年超越概率10%影响最大的地震的震级。震级越大, T_g 值越大。东部大部分地区 T_g 值为 0.30 s (华北地区高震级潜在震源区周围除外)。台湾省和西部大部分地区的 T_g 值为 0.35 和 0.40 s 。

2) 与现行规范规定的值对比

与相应现行规范规定的 T_g 值相比,本次编图提供的结果偏于保守。

从近年来得到的大量的加速度资料可以看出,加速度反应谱的特征周期一般都比较长。