

# 上海市 地震动参数区划

上海市地震局 同济大学



地震出版社

# 上海市地震动参数区划

上海市地震局  
同济大学

地震出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

上海市地震动参数区划/上海市地震局, 同济大学. —北京: 地震出版社, 2004.12

ISBN 7-5028-2570-3

I. 上… II. ①上…②同… III. 震源参数-地震区划-上海市 IV. P315.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 094914 号

地震版 XT200400200

## 上海市地震动参数区划

上海市地震局 同济大学

责任编辑: 姚家榴

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: 北京地大彩印厂

---

版(印)次: 2004年12月第一版 2004年12月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 346千字

印张: 13.5

印数: 001~700

书号: ISBN 7-5028-2570-3/P·1206 (3197)

定价: 35.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

## 编 委 会

主 编 沈建文

副主编 楼梦麟 王 炜 高华平

编 委 宋俊高 宋治平 石树中 章振铨 王忠良

章 纯 刘文龙 丁颂华 李遇春 潘旦光

周江南 王 锋 李 斌

## 内 容 简 介

本书介绍“上海市地震动参数区划”项目研究工作的主要内容。书中根据大量上海市及邻近地区地震活动性分析、地震地质基础研究成果，采用多种方案得出潜在震源分布、地震活动性参数和地震动衰减规律，并构成逻辑树组合；还在国内区域性地震区划中首次采用以抗倒塌为目标确定设计地震动参数的区划思想；在研究上海的土层对地震动影响规律的基础上调整基岩地震动参数，得到地表设计地震动参数。

本书可供从事地震活动性研究、地震地质研究、区域性地震区划和地震安全性评价工作的工程人员和地震工作者参考。

## 前 言

地震引起的建构筑物 and 工程设施的倒塌和破坏是导致人员伤亡和经济损失的主要原因,只有确定科学合理的抗震设防要求,并按抗震设防要求和抗震设计规范进行严格的设计和施工,才能保证建筑物具备必要的抗震能力。

上海市是国际大都市,经济发达,人口高度集中。已有的震例表明,对于上海这样的大都市,如果建构筑物的抗震设防达不到要求,中等强度的地震就可以造成巨大的损失。反之,如果不适当地提高抗震设防的标准,大规模的城市建设将大大提高投资成本,甚至影响项目的立项、外资的引进和城市的开发。因而,地震区划和抗震设防标准的确定对于国家经济建设和城市防灾具有重要意义,对于上海这样处于大规模经济建设阶段的大都市尤其重要。

按照《中华人民共和国防震减灾法》,我国建设工程的抗震设防采用两种做法: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。对于一般工业和民用建筑,则按照地震区划图规定的抗震设防要求,进行抗震设防。

地震区划是依据当地可能的地震危险程度进行区域划分,这种划分综合考虑了地震环境、工程的重要性和可接受的风险水平、经济承受能力及所要达到的安全目标等因素,是一般建设工程抗震设防要求和编制社会经济发展及国土规划的依据。

随着震例的增加、资料的积累和人们对地震规律认识的深入,各国地震区划图和抗震设计规范均需不断地更新。我国1990年地震区划图(三代区划图)公布至今已逾十年,新的中国地震动参数区划图(四代区划图)已由2001年8月起正式执行。我国1989年公布的建筑抗震设计规范(GBJ11—89)也已更新,新的建筑抗震设计规范(GB 50011—2001)已由2002年1月1日起实施。

与此相似,上海市建筑抗震设计规程(DBJ08-9—92)是1992年开始使用的,其中采用的上海市地震区划图是上海市地震局《上海地区地震危险性分析与基本烈度复核》的结果。该结果是上海市“七五”科技发展计划重点项目“上海市抗震防灾基础技术研究”结果的一部分。我国四代区划图的主要特征是不再采用烈度的概念,而与世界上多数先进国家一样,直接采用地震动参数区划。显然,在这种情况下,上海市新地震区划图的编制和上海市建筑抗震设计规程的修订已势在必行。

另一方面,上述《上海地区地震危险性分析与基本烈度复核》使用的地震目录时间截止到1985年。1985年至今,台网记录的地震资料已大大增加。且该期间,上海邻近地区发生了引人注目的太仓沙溪4.9级地震(1990年)和长江口以东6.1级地震(1996年)。此外,该期间上海邻近地区断层研究工作也进一步积累了地震地质资料,国家新地震动参数区划图编制工作中也增加了大量华东地区的基础资料。上海市地震动参数区划图理应在利用这些资料的基础上有所进展。

根据上述实际情况,上海市科委和建委安排“上海市地震动参数区划”项目的立项。本项目的编号为:上海市科技发展基金项目022512065;上海市建设技术发展基金项目A0206101。

本项目的任务是:编制上海市地震动参数区划图,以更新上海市“七五”重点科研项目《上海地区地震危险性分析与基本烈度复核》的地震烈度区划结果,与新修订的《上海市建筑抗震设计规程》一起,确定上海市一般工业与民用建筑的抗震设防标准。

本项目由上海市地震局和同济大学合作完成,项目负责人为沈建文。

上海市地震局领导对该项目极为重视,项目立项后,上海市地震局领导组织地震工程研究所、勘察院、地震预报研究所、地震地质研究所等协同攻关。

本次编图工作的总体原则是:充分吸收国内外有关地震区划的最新思想和科研成果,尽可能应用“七五”以来上海市邻近地区取得的新成果和新资料,科学地反映上海的实际情况和特点,兼顾抗震设防政策的连续性、中国地震动参数区划的成果,兼顾一般工民建与重大工程的抗震设防标准,编制完成具有国际先进水平的、反应上海特点的、适合上海市一般工程的地震动参数区划图,使上海市地震动参数区划图具有科学性、先进性和工程可用性。

本项目取得的主要成果和进展如下:

### 1. 地震活动性研究

研究确定了上海邻区3级以上地震目录和上海邻区5级以上地震目录,对上海市及邻近地区的地震活动性进行了系统的研究,并在此基础上对地震趋势作了预测分析。

完成以下专题研究:

- 基本地震资料
- 华北地区的地震活动性
- 上海及邻区的地震活动性
- 地震震源机制解与应力场
- 上海及邻区的地震活动参数的空间分布

- 地震活动的统计学方法分析
- 上海及邻近地区介质 Q 值和部分小震应力降
- 上海及其邻近地区地震活动性研究的综合分析

## 2. 地震地质基础研究

在系统研究上海市及邻近地区地震地质基础资料的基础上，编制完成了以下基础图件和有关说明书，并利用 MapInfo 将基础图件和相关的属性数据计算机化。

- 上海市及邻近地区地理图(1:100 万)
- 上海市及邻近地区地震震中分布图(1:100 万)
- 上海市及邻近地区地形图(1:100 万)
- 上海及邻近地区 N+Q 等厚线图(1:100 万)及说明书
- 上海及邻近地区深部构造图(1:100 万)及说明书
- 上海及邻近地区活动断裂图(1:100 万)及说明书
- 上海及邻近地区地震构造图(1:100 万)及说明书
- 上海及邻区重力异常图(1:100 万)

并完成了上海及邻近地区盆地研究。

## 3. 潜在震源方案及其地震活动性参数的确定

按地震统计资料，分北、中二区统计  $\beta$  值和  $\alpha$  值，并根据地震活动性趋势分析调整发生率。收集了中国地震动参数区划图的潜在震源方案。结合本区的实际情况和近几年本区的新工作成果，确定了三套新潜在震源方案，确定潜源信度等，分别在区内将各震级档的发生率加权分配给各潜源，确定潜源地震活动性参数。

完成专题研究：

- 上海及邻近地区地震地质研究
- 上海及邻近海域的潜在震源区划分
- 上海市及邻近地区潜源的  $\beta$  值及发生率的确定

## 4. 上海市及邻近地区的地震动衰减规律研究

收集了美国西部大量强地面运动记录资料和烈度原始调查资料，重建上海市及邻近地区的烈度衰减规律，采用借用法建立了上海市及邻近地区的地震动衰减规律。

完成以下专题研究：

- 美国西部烈度衰减规律
- 上海市及邻近地区烈度衰减规律



- 上海市及邻近地区地震动衰减关系

## 5. 上海市地表覆盖土层对地震动的影响

收集补充上海地区的钻井资料和土动力学实验室试验数据,进行了大量的土层反应分析计算,统计了上海地区多年来重大工程的地震安全性评价结果,得到上海地区的土层反应的统计结果。

完成专题研究:

- 行进地震波作用下土层动力反应分析
- 上海地区土层地震反应分析中几个问题的研究
- 上海典型土层的地震反应分析和设计反应谱

## 6. 地震危险性分析与上海市地震动参数区划图的编制

上海市基岩地震动参数区划考虑了潜源、潜源参数及衰减规律的不确定性,用概率法得到上海市行政区近 800 个控制点 50 年 10% 及 2% 的基岩水平峰值加速度。根据上海地区土层反应的统计结果,调整得到上海行政区地表两个概率水准的水平峰值加速度。采用美国以抗倒塌为目标的区划思想,取 50 年 10% 的地表地震动和 50 年 2% 地表地震动 2/3 的较大值作为上海市的抗震设防标准,编制上海市地震动参数区划图,讨论确定上海市抗震设计反应谱与特征周期。

本项目的特色如下:

吸取了具有国际先进水平的以抗倒塌为目标的地震动参数区划思想,并加以改进,编制了上海市峰值加速度区划图,为上海市一般工业与民用建筑截面抗震验算和变形验算分别确定了加速度反应谱的特征周期和反应谱平台高度。

进行了大量的地震活动性分析工作,并注意与地震危险性分析的衔接,体现了综合概率法的优点。

在用借用法建立上海及邻近地区的地震动衰减规律时,选择美国西部的地震动记录和烈度原始调查资料,以求较高的可靠性和可比性。

结合上海的特点,研究了上海的土层对地震动的影响,根据上海地区大量重大工程的地震安全性评价结果统计分析,调整地表设计地震动参数。

尽力排除现行工程地震工作各环节中存在的失误或主观不确定性,用逻辑树的方法综合分析了潜源方案、地震活动性参数、衰减等多种客观不确定性。

尽量采用先进技术,在地震活动性分析、地震地质研究、潜在震源方案试算和地震区划图编制中广泛使用了 GIS 技术,对传统的基础资料进行图像、信息综合分析,充分利用基础资料的功能,大大提高了图件编制的效率。

地震动参数区划的结果以及相关图件以电子地图的形式存储,便于管理、使用、更新、维护。

应用 INTERNET 网络技术,收集了大量的地震动记录、烈度原始调查资料等,了解地震区划的最新进展,探讨交流区划技术。

“上海市地震动参数区划”的立项和实施过程中,得到了上海市科委胡加仓、马兴发、孙利源,上海市建委朱建豪、丁明、鲁英,中国地震局震害防御司卢寿德、杜玮,上海市地震局火恩杰、张丽娟等有关领导的大力支持和帮助;得到了中国地震局地球物理研究所高孟潭、鄢家全、黄玮琼、俞言祥,中国地震局分析预报中心丁国瑜院士、陈国星、张国民等研究员的指导和协助,得到了江苏省地震局李起彤研究员的协助和帮助。

中国地震局地球物理研究所、中国地震局分析预报中心、浙江省地震局、江苏省地震局和中国地震局哈尔滨工程力学研究所等兄弟单位为本项目提供了有关技术资料。

在此我们表示诚挚的感谢。

本书是“上海市地震动参数区划”研究工作及成果的总结,由原《上海市地震动参数区划》总报告、分报告和专题研究经整理、压缩、修订编写。由于水平有限,错误和不周之处在所难免,希望同行专家和读者批评指正。

本书的前言和第一章由沈建文编写,第二章由王炜、宋治平、章纯、刘文龙等编写,第三章由高华平、章振铨、王忠良、李斌等编写,第四章由沈建文、高华平、章振铨等编写,第五章由石树中、沈建文编写,第六章由楼梦麟编写,第七章由沈建文编写。

全书由沈建文和宋俊高统稿。

# 目 录

第一章 上海市地震动参数区划总体技术思路 .....	( 1 )
第一节 地震区划的进展 .....	( 1 )
第二节 上海市与地震区划有关的若干实际问题和特点 .....	( 2 )
第三节 上海市地震动参数区划的设防概率标准 .....	( 3 )
第四节 上海市地震动参数区划的总体技术思路 .....	( 5 )
第二章 上海及邻区的地震活动性分析 .....	( 8 )
第一节 基本地震资料 .....	( 8 )
第二节 华北地区的地震活动性 .....	( 19 )
第三节 上海及邻区的地震活动性 .....	( 23 )
第四节 地震震源机制解与应力场 .....	( 38 )
第五节 上海及邻区的地震活动参数的空间分布 .....	( 50 )
第六节 地震活动的统计学方法分析 .....	( 68 )
第七节 上海及邻近地区介质 Q 值和部分小震应力降 .....	( 78 )
第八节 上海及其邻近地区地震活动性综合分析 .....	( 84 )
第三章 上海及邻近地区地震构造研究 .....	( 88 )
第一节 构造背景 .....	( 88 )
第二节 地震构造主要形式 .....	( 100 )
第四章 上海市地震动参数区划的潜在震源方案 .....	( 116 )
第一节 地震区带与上海市地震动参数区划的统计分区 .....	( 116 )
第二节 工作区子区内地震活动性参数的确定 .....	( 117 )
第三节 潜在震源的划分方案与潜源地震活动性参数 .....	( 122 )
第五章 上海及邻近地区的基岩地震动衰减规律 .....	( 131 )
第一节 建立本区地震动衰减规律的借用法 .....	( 131 )
第二节 美国西部烈度衰减规律 .....	( 132 )
第三节 美国西部的地震动衰减规律 .....	( 137 )
第四节 上海及邻近地区烈度衰减规律 .....	( 139 )
第五节 上海及邻近地区地震动衰减关系 .....	( 145 )

第六章 上海地区土层反应的影响.....	(150)
第一节 上海地区土层地震反应分析中几个问题的研究.....	(150)
第二节 上海典型土层的地震反应分析和设计反应谱.....	(173)
第七章 危险性分析结果与上海市地震动参数区划图(2003).....	(182)
第一节 上海市地震动参数区划图的编制方法.....	(182)
第二节 据上海市安评结果统计上海地区土层反应效应.....	(188)
第三节 上海市地震动参数区划图.....	(191)
第四节 上海市行政区地震区划的演变和意义.....	(196)
参考文献.....	(198)

# 第一章 上海市地震动参数区划总体技术思路

上海市是国际大都市，其抗震设防、防震减灾工作的水平不仅会影响投资环境，对上海自身直接产生经济和社会效益，同时也会对我国乃至世界产生影响。

上海市编制地方地震区划图和建筑抗震设计规程，目的是要在全国区划图和规范的基础上，针对上海市的自身特征，编制和制定出更适合上海市实际情况的抗震设防标准。

为此，上海市地震动参数区划必须尽量采用先进技术，必须反映上海特点、结合上海实际。

## 第一节 地震区划的进展

### 1.1 地震区划图及其表示方法

据胡聿贤院士的分类，地震区划可以分为地震活动性区划、震害区划和地震动区划三类。地震活动性区划以地震的发生为指标，包括地震发生的地区、大小和频次等，用作研究地震危险性的基础。震害区划以地震造成的灾害为指标，包括人员伤亡和社会经济损失，为政府土地利用、城市规划提供参考。地震动参数区划以设计地震动参数为指标，包括地震动参数的幅值、频谱和持续时间等，用作抗震设计的依据(胡聿贤，1988)。

地震烈度区划始于上世纪30年代，早在1933年，苏联学者就研究过地震烈度区划图，1949年戈尔什科夫等编制的烈度区划图就具有法律意义，工程设计单位必须使用。就性质而言，地震烈度区划属于震害区划，但由于早期常把烈度视为地震动的一种表示方式，地震烈度区划图也可以看作地震动参数区划图的形式之一。

地震动参数区划图的参数有加速度、速度、位移、持续时间和反应谱等，就做法而言可以分为二类：一类是利用烈度与地震动参数的统计关系，先作烈度区划，然后将烈度换算为地震动速度和加速度；另一类则直接按地震动参数区划，不涉及烈度。由于强震记录有限，能用当地强震记录建立地震动衰减直接进行地震动区划的国家很少。用当地烈度衰减等资料通过某种借用技术建立地震动衰减进行地震动区划也许可视为介于上述两种方法的折中方案。

### 1.2 国际地震区划的发展趋势

地震区划既是经济建设中的重要基础工作，又是防震减灾工作的重要环节。世界各国对地震区划都很重视。1980年代以前，地震区划都以地震烈度表示，且编图都采用确定性方法。1978年，美国首先提出以有效峰值加速度(EPA)和有效峰值速度(EPV)这两个地震动参数为指标的地震区划原则，并在1980年代用概率方法完成了地震区划图。之后，加拿大、哥伦比亚、罗马尼亚、西班牙、日本、墨西哥、智利、秘鲁和我国台湾等先后完成了类似的地震区划图(胡聿贤，2001)。

从目前的情况看，国际上地震区划图的发展有如下趋势和特点：

(1) 地震烈度区划图逐渐为地震动参数区划图取代;

(2) 地震动参数区划以同时给出可以表述反应谱中短周期形状参数的逐渐增多,如加速度和速度、加速度和反应谱特征周期、若干周期的反应谱值等;

(3) 编制区划图的确定性方法逐渐为概率方法取代,设防标准大多取 50 年超越概率 10%(相当于 475 年一遇的风险水平)。

1996 年由美国国家减轻地震灾害项目(NEHRP)支持,美国联邦紧急事务管理局组织开展了美国新的地震区划图的编制工作,美国地质调查局负责具体编制,该区划图已于 1997 年编制完成。值得注意的是:该图提供以抗倒塌目标(50 年超越概率 2%)为基础的设计地震动参数。

### 1.3 中国地震区划图

我国政府对地震区划工作非常重视。国家地震主管部门曾先后组织编制了四代地震烈度区划图。其中影响较大的“第三代”地震区划图的编图原则为:

- (1) 采用地震危险性分析的概率法;
- (2) 反应我国地震活动时空不均匀的特点;
- (3) 吸收地震预测方面的科研成果。

已由 2001 年 8 月实施的我国“第四代”《中国地震动参数区划图(GB18306—2001)》标志着我国地震区划工作进入了一个新的阶段,达到了一个新的高度。《中国地震动参数区划图》编图工作大量采用了 INTERNET 和 GIS 等先进技术,区划图直接给出工程设计所需要的反应谱最主要的加速度峰值和反应谱拐点周期,满足反应谱设计阶段的要求,使这幅地震区划图成为国际上最先进的地震区划图之一。

## 第二节 上海市与地震区划有关的若干实际问题和特点

### 2.1 上海市的地震区划和抗震设防工作

上海市政府和有关管理部门上海市科委、上海市建委对上海市的抗震设防工作极为重视。上海市是我国目前仅有的编制采用地方建筑抗震设计规程和编制地方地震区划图的城市。

上海市目前使用的《建筑抗震设计规程(DBJ08-9—92)》是 1992 年开始使用的<sup>①</sup>,其中采用的上海市地震烈度区划图是上海市地震局《上海地区地震危险性分析与基本烈度复合》的结果。该成果是上海市“七五”科技发展计划重点项目“上海市抗震防灾基础技术研究”结果的一部分(上海市地震局,1992)。项目开始于 1985 年,编图工作历时近 3 年。上海地区地震危险性分析与基本烈度复核的成果是本次上海市地震动参数区划的基础和需要考虑的背景。

### 2.2 上海市重大工程的地震安全性评价工作

上海市重大工程的地震安全性评价工作始于 20 世纪 90 年初,至今完成 30 多项,包括金

<sup>①</sup> 同济大学主编,1992,上海市标准《建筑抗震设计规程(DBJ08-9—92)》。

茂大厦、浦东国际机场、洋山新港工程、磁悬浮列车、崇明越江通道等几乎所有影响较大的交通工程,宝钢、外高桥船厂、外高桥电厂等影响较大的企业,上海化学工业园区、张江高科技园区、吴泾化工区等影响较大的工业开发区。2001年12月,陈良宇市长签发《上海市工程建设抗震设防管理办法》的上海市人民政府令,该办法已由2002年3月开始实施。上海市一般工民建按地震区划图确定设防标准和重大工程通过地震安全性评价确定抗震设防标准的做法将在法制的轨道上取得更好的进展。上海市重大工程已有的安评结果和未来还将深入开展的安评工作也将是本次上海市地震动参数区划的基础和需要考虑的背景。

## 2.3 中国地震动参数区划图

中国地震动参数区划图编图中收集的上海邻近地区的基础资料将是上海市地震动参数区划的最主要的参考资料,中国地震动参数区划给出的上海市行政区的地震动参数区划结果也将是上海市地震动参数区划需要考虑的最主要的背景。

## 2.4 上海及邻近地区的厚土层与衰减特征

上海及邻近地区三、四百米的厚软土常是人们的议论的话题,华东地区烈度衰减较慢也是引人注目的地区特点。这些问题理应在上海市地震动参数区划工作中给以充分的注意。

# 第三节 上海市地震动参数区划的设防概率标准

## 3.1 多级抗震设计思想及其发展

毫无疑问,从防灾的需要考虑,建构筑物必须进行抗震设计。但从建设投资的经济效益考虑,一般建构筑物没有必要设计得可以抗御千年难遇的大地震,甚至要求其在大地震时保持在弹性范围。故对于大小不同的地震提出级别不同的设计要求,或多级抗震设计思想,是自然的想法。三水准设防思想是国际工程界的共同愿望,据胡聿贤院士1985年的统计(胡聿贤,1988),当时世界上40个抗震设计规范中,有7个提出了这一要求,但都是隐含的。

首先对三水准设防具体化的是日本1981年建筑抗震设计规范。该规范提出了二级设计的做法。第一级为常规设计或使用极限状态设计,取地震力系数为 $k=0.2$ ,其作用在于要求建筑物有足够强度,以保持小震不坏;第二级设计是倒塌极限状态设计,取地震力系数 $k=1.0$ ,按倒塌极限状态计算地震反应,其作用在于使结构物既有足够的极限强度又有足够的极限变形能力,以保证大震不倒。

我国《建筑抗震设计规范(GBJ11—89)》中,明确把三水准设防思想表述为:“小震不坏、中震可修、大震不倒”。我国新《建筑抗震设计规范(GB 50011—2001)》中继续采用该设计思想。上述二规范中,三水准的设防目标也通过“二阶段设计”来实现。第一阶段设计是承载力验算,即采用“小震”地震动参数计算结构的弹性地震作用标准值和相应的地震作用效应,进行结构构件的截面承载力验算。以期在满足“小震”承载力可靠度的同时,满足“中震可修”的目标。对于有特殊要求的建筑、地震时易于倒塌结构等,除进行第一阶段设计外,还需进行结构薄弱部位“大震”地震作用下的弹塑性变形验算,要求变形不超过容许的限值以防倒塌(中华人民共和国建设部等,2001)。

从我国现行抗震设计规范可以看出,对应于第二水准或“中震”的设计基本地震加速度,在抗震设计中没有直接作为标准,而是通过折减(相当于乘以我国《工业与民用建筑抗震设计规范(TJ—78)》结构系数 $C$ )成为实际使用标准的, $C$ 值反应的是实际弹塑性结构与理想的弹性结构的差异,用以考虑结构非线性变形的吸能能力。故二阶段三水准的设计思想实际上是通过结构在小震中的弹性反应的计算,估计和控制中震乃至大震时结构的非弹性变形,以保证中震可修和大震不倒。

### 3.2 二级抗震设计与超越概率标准

与我国 GBJ11—89 规范相配套的 1990 年发布的《中国地震烈度区划图》采用概率方法编制,给出的是 50 年超越概率 10% 的地震烈度,并称为基本烈度。GBJ11—89 规范和有关文件根据较少数据统计认为,“小震”烈度平均比中震低 1.55 度,就峰值加速度而言,小震大体为中震的 1/3,对应于基本超越概率 63%;“大震”烈度平均比中震高 1 度,就峰值加速度而言,大震大体为中震的 2 倍,对应于基本超越概率(2~3)%。

上面提到的结构影响系数  $C$  值因结构不同而异,一般结构的  $C$  值在 0.25~0.5 之间,常粗略认为接近 1/3。故认为用小震取代中震作截面验算与用  $C$  值折减,效果相当。

1992 年,高孟潭等<sup>①</sup>采用编制 1990 区划图的大量基础数据进行统计分析,研究表明,50 年超越概率 10% 与 50 年超越概率 63% 之间,50 年超越概率 10% 与 50 年超越概率 2%~3% 之间,烈度差值较为离散,小、中震的烈度差为 0.5~2.8 度,中、大震为 0.3~1.2,其分布与区域有关(高孟潭等,1992)。由此引起的问题是:用小震作截面验算未必能统一控制不同地区,实现中震可修和大震不倒的目标。

### 3.3 以抗倒塌为目标的地震区划的新理念

1976 年 7 月唐山大地震,伤亡人数超过 40 万。1999 年 8 月土耳其地震,伤亡人数近 5 万。1999 年 9 月台湾地震,伤亡人数过 1 万。大地震造成的人员伤亡令人触目惊心。

地震后现场调查和研究表明,地震造成的人员伤亡绝大多数是建构筑物的倒塌引起的。因而,防倒塌、保障人员生命是防震减灾的基本目标,也是国家文明程度和现代化水平的体现。美国 1997 年版地震区划图已经为全美提供了以抗倒塌为目标为基础的设计地震动参数,提出了具有统一防倒塌水平的设计地震的概念(1998)。为了实现该目标,设计地震动借助于最大考虑地震(Maximum Considered Earthquake)地面运动来定义。根据经验,设计地震动取最大考虑地震地面运动的 2/3。在美国的大部分地区最大考虑地震(MCE)地面运动为 50 年超越概率 2% 的地震动。

### 3.4 上海市地震动参数区划的设防概率标准

高孟潭、张晓梅等(2000)指出:随着我国经济发展和人民防灾意识的提高,基于防倒塌设防目标的设计地震动参数区划图势在必行,将是继四代区划图之后,编制区划图的新目标(张晓梅等,2000)。

上海是国际大都市,经济发达且仍在高速发展,人口高度密集。基于防倒塌设防目标的

<sup>①</sup> 高孟潭、韩炜,1992,抗震设计中大、中、小地震的确定,地震工程研究文集。



设计地震动区划图的必要性和紧迫性对于上海无疑更显而易见。由于我国《建筑抗震设计规范》和《上海市建筑抗震设计规程》仍以 50 年超越概率 10% 作为基本设计地震动, 本项目将对上海市建筑抗震的设防概率进行讨论, 并提出建议。

## 第四节 上海市地震动参数区划的总体技术思路

### 4.1 地震活动性研究

地震活动性研究是在收集整理地震目录的基础上, 探讨研究区域的地震环境, 其可对工程产生影响的地震的活动规律, 时间和空间的分布特征, 探讨划分地震区带的可能方案, 提供划分潜在震源并确定其地震活动性参数的基础。本项目有关工作包括编制地震目录, 研究华北、华东、上海及邻区的地震活动性, 地震震源机制解与应力场, 地震活动参数的空间分布, 上海及邻近地区介质  $Q$  值与部分小震应力降, 地震活动的统计学方法分析。

### 4.2 地震地质基础研究

地震地质基础研究是从大地构造、岩石圈结构、地球物理场、新构造运动和活动性断裂研究着手, 探讨本区地震构造的主要特点, 寻找区域内构造活动和地震活动的相互关系, 为地震区划提供地震构造区划分、确定发震构造和潜在震源的依据。本项目在系统研究上海市及邻近地区地震地质基础资料的基础上, 研究上海及邻近地区盆地构造, 编制上海及邻近地区  $N+Q$  等厚线图、深部构造图、活动断裂图、重力异常图和地震构造图及说明书。

### 4.3 潜在震源方案及其地震活动性参数的确定

本项目的有关工作包括收集中国地震动参数区划图的潜在震源方案, 结合本区的实际情况和近几年断层研究的新成果, 确定几套新的潜在震源方案, 用类似中国地震动参数区划中根据潜源参数信度加权, 分配确定潜源地震活动性参数, 用多潜源方案考虑不确定性。

### 4.4 上海市及邻近地区的地震动衰减规律研究

收集美国西部大量的强地面运动记录资料和烈度原始调查资料, 剔除无仪器记录而按震中烈度换算震级的早期烈度资料, 尽可能选择有可比性的烈度和地震动资料, 分别建立美国西部基岩地震动衰减规律和烈度衰减规律。收集上海及邻近地区的烈度资料, 剔除震中位置不确定性较大的历史地震资料, 重建上海市及邻近地区的烈度衰减规律。采用借用法建立了上海市及邻近地区的基岩地震动衰减规律。

### 4.5 上海市地表覆盖土层对地震动的影响

地表土层对于地震动的动力反应对区划结果有重要影响, 但目前对土层反应特别是厚软土层反应的研究尚不充分, 故本项目收集补充上海地区的钻井资料和土动力学实验室试验数据, 并安排了土层反应的基础性研究工作。

讨论了用有限元法进行一致地震输入和行波地震输入条件下土层动力反应分析时的计算方法问题, 如: 土层中有限土域的取值范围对计算精度的影响; 时域内土层地震反应分析方