

中等专业学校工业与民用建筑专业系列教材

建筑抗震设计基础

北京城市建设学校 郭继武 主编
郭继武 郭秋生 刘文新 编

中国建筑工业出版社



中等专业学校工业与民用建筑专业系列教材

建筑抗震设计基础

北京城市建设学校 郭继武 主编
郭继武 郭秋生 刘文新 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑抗震设计基础/郭继武主编; 郭秋生等编. -北京·中国建筑工业出版社, 1998
中等专业学校工业与民用建筑专业系列教材
ISBN 7-112-03404-3

I. 建… I. ①郭…②郭… III. 抗震结构-结构设计-专业学校-教材 IV. TU352.1
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 20950 号

本书为中专工业与民用建筑专业系列教材之一。是参照《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89) 及其“1993 年局部修订”编写的。书中叙述了抗震设计原则, 场地、地基和基础, 地震作用和结构抗震验算, 多层砌体房屋, 钢筋混凝土框架房屋, 底层框架和多层内框架砖房, 以及单层钢筋混凝土柱厂房的抗震设计。

为了便于读者掌握本书所叙述的基本理论和房屋抗震设计方法, 书中附有典型例题、思考题和习题, 供读者参考。

本书除可供各类中专层次的工民建、村镇建设专业的学生使用外, 也可供土建专业工程技术人员学习参考。

中等专业学校工业与民用建筑专业系列教材

建筑抗震设计基础

北京城市建设学校 郭继武 主编
郭继武 郭秋生 刘文新 编

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市飞龙印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10 3/4 插页: 1 字数: 259 千字

1998 年 6 月第一版 1999 年 11 月第三次印刷

印数: 8,501—11,500 册 定价: 11.80 元

ISBN 7-112-03404-3

G·282 (8563)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

出版说明

为适应全国建设类中等专业学校教学改革和满足建筑技术进步的要求，由建设部中等专业学校工民建与村镇建设专业指导委员会组织编写了一套中等专业学校工业与民用建筑专业系列教材，由中国建筑工业出版社出版。

这套教材采用了国家颁发的现行规范、标准和规定，内容符合建设部颁发的中等专业学校工业与民用建筑专业教育标准、培养方案的要求，并理论联系实际，取材适当，反映了目前建筑科学技术水平。

这套教材适用于普通中等专业学校工业与民用建筑专业和村镇建设等专业相应课程的教学，也能满足职工中专、电视中专、中专自学考试、专业证书和技术培训等各类中专层次相应专业的使用要求。为使这套教材日臻完善，望各校师生和广大读者在教学和使用过程中提出宝贵意见，并告我司职业技术教育处或建设部中等专业学校工民建与村镇建设专业指导委员会，以便进一步修订。

建设部人事教育劳动司

1997年8月

前 言

《建筑抗震设计基础》为中等专业学校工业与民用建筑专业系列教材之一。是根据建设部颁发的普通中等专业学校工业与民用建筑专业毕业生规格、专业教学计划、建筑抗震设计基础课程教学大纲（报批稿），并参照国家标准《建筑抗震设计规范》（GBJ11—89）及其“1993年局部修订”编写的。内容包括：抗震设计原则，场地、地基和基础，地震作用和结构抗震验算，多层砌体房屋，钢筋混凝土框架房屋，底层框架和多层内框架砖房及单层钢筋混凝土柱厂房。全书共七章。

在编写本书过程中，力求做到由浅入深，循序渐进，重点突出，理论联系实际。为了便于读者掌握书中的基本理论和计算方法，各章附有一定数量的典型例题、思考题和习题供参考。

书中采用了国家规定的建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语。

本书由北京城市建设学校郭继武主编，参加本书编写工作的有：郭继武、郭秋生、刘文新。

本书由北京建筑工程学院吴永平教授审阅，在审阅过程中提出了许多宝贵意见和建议，在此顺致谢意。

在编写本书时，曾参考了公开发表的一些文献和资料，谨向这些作者表示感谢。

由于编者水平所限，书中疏漏之处，在所难免，恳请使用本书的老师和读者予以指正。

目 录

第一章 抗震设计原则	1
第一节 构造地震	1
第二节 地震波、震级和地震烈度	1
第三节 基本烈度、近震和远震	5
第四节 建筑分类、建筑设防标准及设防目标	7
第五节 地震的破坏现象	10
第六节 抗震设计的基本要求	12
第二章 场地、地基和基础	16
第一节 场地	16
第二节 强震地面运动	19
第三节 地基基础抗震验算	19
第四节 场地土的液化	21
第五节 软弱粘性土地基和不均匀地基	29
第三章 地震作用和结构抗震验算	31
第一节 概述	31
第二节 单质点弹性体系的地震反应	31
第三节 单质点弹性体系水平地震作用的计算——反应谱法	34
第四节 多质点弹性体系水平地震作用的计算	40
第五节 竖向地震作用的计算	44
第六节 地震作用计算的一般规定	46
第七节 结构抗震验算	47
第四章 多层砌体房屋	53
第一节 概述	53
第二节 震害及其分析	53
第三节 抗震设计一般规定	55
第四节 多层砌体房屋抗震验算	57
第五节 抗震构造措施	73
第五章 钢筋混凝土框架房屋	82
第一节 概述	82
第二节 震害及其分析	82
第三节 抗震设计一般规定	84
第四节 框架结构水平地震作用的计算	86
第五节 框架内力和侧移的计算	86

第六节	框架梁、柱和节点的抗震设计	112
第七节	抗震构造措施	120
第六章	底层框架和多层内框架砖房	125
第一节	震害及其分析	125
第二节	抗震设计一般规定	126
第三节	房屋抗震验算	127
第四节	抗震构造措施	136
第七章	单层钢筋混凝土柱厂房	138
第一节	震害及其分析	138
第二节	抗震设计一般规定	140
第三节	单层厂房抗震设计计算	140
第四节	抗震构造措施	158
参考文献	163

第一章 抗震设计原则

第一节 构造地震

在建筑抗震设计中，所指的地震是由于地壳构造运动使岩层发生断裂、错动而引起的地面振动。这种地震就称为构造地震，简称地震。

强烈的构造地震影响面广，破坏性大，发生频率高，约占破坏性地震总量^①的90%以上。因此，在建筑抗震设计中，仅限于讨论在构造地震作用下建筑的设防问题。

地壳深处发生岩层断裂，错动的地方称为震源。震源至地面的距离称为震源深度（图1-1）一般把震源深度小于60km的地震称为浅源地震；60~300km的称为中源地震；大于300km的称为深源地震。我国发生的绝大部分地震都属于浅源地震，其深度一般为5~40km。我国深源地震区分布十分有限，仅在个别地区发生过深源地震，其深度为400~600km。由于深源地震所释放出的能量在长距离传播中大部分被损失掉，所以对地面上的建筑影响很小。

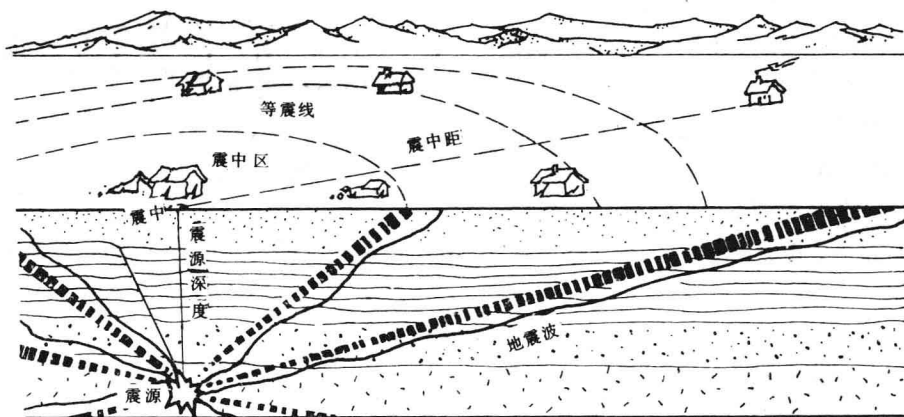


图1-1 地震术语示意图

震源正上方的地面称为震中。震中邻近地区称为震中区。地面上某点至震中的距离称为震中距。

第二节 地震波、震级和地震烈度

一、地震波

当震源岩层发生断裂、错动时，岩层所积累的变形能突然释放，它以波的形式从震源

^① 除构造地震外，还有由于火山爆发、溶洞陷落等原因引起的地震。

向四周传播，这种波就称为地震波。

(一) 体波

在地球内部传播的波称为体波。体波又分为纵波和横波。

纵波是由震源向四周传播的压缩波，又称为 P 波。介质的质点的振动方向与波的传播方向一致。这种波的周期短、振幅小、波速快，在地壳内它的速度一般为 200~1400m/s。纵波引起地面竖直方向的振动。

横波是由震源四周传播的剪切波，又称 S 波。介质的质点的振动方向与波的传播方向垂直。这种波的周期长、振幅大、波速慢，在地壳内它的速度一般为 100~800m/s。横波引起地面水平方向的振动。

(二) 面波

在地球表面传播的波称为面波。又称 L 波。它是体波经地层界面多次反射、折射形成的次生波。其波速较慢，约为横波波速的 0.9。所以，它在体波之后到达地面。这种波的介质质点振动方向复杂，振幅比体波的大，对建筑物的影响也比较大。

图 1-2 为某次地震由地震仪记录下来的地震曲线图。由图中可见，纵波 (P 波) 首先到达，横波 (S 波) 次之，面波 (L 波) 最后到达。分析地震曲线图上 P 波与 S 波的到达时间差，可确定震源的距离。

二、震级

地震的震级是衡量一次地震大小的等级，同符号 M 表示。

由于人们所能测到的只是地震时传播到地表的振动，这也正是对我们有直接影响的那一部分地震能量所引起的地面振动。因此，也就自然地用地面振动振幅大小来度量地震的震级。1935 年里希特 (Richte) 首先提出了震级的定义：震级大小系利用标准地震仪 (指固定周期为 0.8s，阻尼系数为 0.8，放大倍数 2800 的地震仪)，在距震中 100km 处的坚硬地面上，记录到的以微米 ($1\mu\text{m}=10^{-3}\text{mm}$) 为单位的最大水平地面位移 (振幅) A 的常用对数。

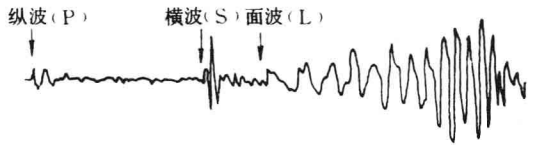


图 1-2 地震曲线图

$$M = \lg A \quad (1-1)$$

式中 M ——地震震级，一般称为里氏震级；

A ——由地震曲线图上量得的最大振幅 (μm)。

例如，在距震中 100km 处坚硬地面上，用标准地震仪记录到的地震曲线上的最大振幅 $A=10\text{mm}$ ($10^4\mu\text{m}$)。于是，该次地震震级为：

$$M = \lg A = \lg 10^4 = 4$$

实际上，地震时距震中 100km 处不一定恰好有地震台站，而且地震台站也不一定有上述的标准地震仪。因此，对于震中距不是 100km 的地震台站和采用非标准地震仪时，需按修正后的震级计算公式确定震级。

震级与地震释放的能量有下列关系：

$$\lg E = 1.5M - 11.8 \quad (1-2)$$

式中 E ——地震释放的能量 (尔格)。

由式 (1-1) 和 (1-2) 计算可知, 当地震震级增加 1 级时, 地面振幅增大大约 10 倍, 而能量增加近 32 倍。

一般说来, $M < 2$ 的地震, 人们感觉不到, 称为微震; $M = 2 \sim 4$ 的地震称为有感地震; $M > 5$ 的地震, 对建筑物就要引起不同程度的破坏, 统称为破坏性地震; $M = 7 \sim 8$ 的地震称为强烈地震或大地震; $M > 8$ 的地震称为特大地震。

三、地震烈度和烈度表

地震烈度是指地震时在一定地点震动的强烈程度。相对震源而言, 地震烈度也可以把它理解为地震场的强度。

用什么尺度来衡量地震烈度? 在没有地震仪器观测的年代, 只能由地震宏观现象, 如人的感觉、器物的反应、地表和建筑物的影响和破坏程度等, 总结出的宏观烈度表来评定地震烈度。我国早期的“新中国地震烈度表”(1957)^① 就属于这种宏观烈度表。由于宏观烈度表未能提供定量的数据, 因此不能直接用于工程抗震设计。随着科学技术的发展, 地震仪的问世, 使人们有可能用记录到的地面运动参数, 如地面运动加速度峰值、速度峰值来确定地震烈度, 从而出现了含有物理指标的定量烈度表。但是由于不可能随处取得地震的仪器记录, 所以用定量烈度表评定现场烈度还有一定困难。最好的方法是这两种烈度表结合起来, 使之兼有两者的功能, 以便工程应用。

1980 年由国家地震局颁布实施的《中国地震烈度表 (1980)》, 就属于将宏观烈度与地面运动参数建立起联系的地震烈度表。所以, 新烈度表既有定性的宏观标志, 又有定量的物理标志, 兼有宏观烈度表和定量烈度表两者的功能, 《中国地震烈度表 (1980)》参见表 1-1。

四、烈度衰减规律和等震线

对应于一次地震, 在其波及的地区内, 根据烈度表可以对该地区内每一地点评定出一个烈度。我们将烈度相同的地区的外包线称为等烈度线或等震线。理想化的等震线应该是一些规则的同心圆。但实际上, 由于建筑物的差异、地形和地质的影响, 等震线多是一些不规则的封闭曲线。等震线一般取地震烈度级差 1 度。一般说来, 等震线的度数随震中距的增加而递减。但有时由于地形、地质的影响, 也会在某一烈度区出现局部高于或低于该烈度区烈度 1 度的烈度异常区。

中国地震烈度表 (1980)

表 1-1

烈度	人的感觉	一般房屋		其他现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均震 害指数		水平加速度 (cm/s^2)	水平速度 (cm/s)
1	无感觉					
2	室内个别静止中 的人感觉					
3	室内少数静止中 的人感觉	门、窗轻微作响		悬挂物微动		

① 参见北京建筑工程学院、南京工学院合编《建筑结构抗震设计》地震出版社, 1981。

续表

烈度	人的感觉	一般房屋		其他现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均震 害指数		水平加速度 (cm/s ²)	水平速度 (cm/s)
4	室内多数人感觉。室外少数人感觉。少数人梦中惊醒	门、窗作响		悬挂物明显摆动, 器皿作响		
5	室内普遍感觉。室外多数人感觉。多数人梦中惊醒	门窗、屋顶、屋架颤动作响, 灰土掉落, 抹灰出现微细裂缝		不稳定器物翻倒	31 (22~44)	3 (2~4)
6	惊慌失措, 仓惶逃出	损坏——个别砖瓦掉落、墙体微细裂缝	0~0.1	河岸和松软土上出现裂缝。饱和砂层出现喷砂冒水。地面上有的砖烟囱轻度裂缝、掉头	63 (45~89)	6 (5~9)
7	大多数人仓惶逃出	轻度破坏——局部破坏、开裂, 但不妨碍使用	0.11~0.30	河岸出现塌方。饱和砂层常见喷砂冒水。松软土地裂缝较多。大多数砖烟囱中等破坏	125 (90~177)	13 (10~18)
8	摇晃颠簸, 行走困难	中等破坏——结构受损, 需要修理	0.31~0.50	干硬土上亦有裂缝, 大多数砖烟囱严重破坏	250 (178~353)	25 (19~35)
9	坐立不稳。行动的人可能摔跤	严重破坏——墙体龟裂、局部倒塌, 修复困难	0.51~0.70	干硬土上有许多地方出现裂缝, 基岩上可能出现裂缝。滑坡, 坍方常见。砖烟囱出现倒塌	500 (354~707)	50 (36~71)
10	骑自行车的人会摔倒。处不稳状态的人会摔出几尺远。有抛起感	倒塌——大部倒塌, 不堪修复	0.71~0.90	山崩和地震断裂出现。基岩上的拱桥破坏。大多数砖烟囱从根部破坏或倒塌	1000 (708~1414)	100 (72~141)
11		毁灭	0.91~1.00	地震断裂延续很长。山崩常见, 基岩上拱桥毁坏		
12				地面剧烈变化、山河改观		

注: 1. 1~5度以地面上人的感觉为主, 6~10度以房屋震害为主, 人的感觉仅供参考, 11、12度以地表现象为主。11、12度的评定, 需要专门研究。

2. 一般房屋包括用木构架和土、石、砖墙构造的旧式房屋和单层或数层的、未经抗震设计的新式砖房。对于质量特别差或特别好的房屋, 可根据具体情况, 对表列各烈度的震害程度和震害指数予以提高或降低。
3. 震害指数以房屋“完好”为0, “毁灭”为1, 中间按表列震害程度分级。平均震害指数指所有房屋的震害指数的总平均值而言, 可以用普查或抽查方法确定。
4. 使用本表时可根据地区具体情况, 作出临时的补充规定。
5. 在农村可以自然村为单位, 在城镇可以分区进行烈度的评定, 但面积以1平方公里左右为宜。烟囱指工业或取暖用的锅炉房烟囱。

表中数量词的说明: 个别: 10%以下; 少数: 10%~50%; 多数: 50%~70%; 大多数70%~90%; 普遍, 90%以上。

图 1-3 为 1976 年唐山地震的等震线。

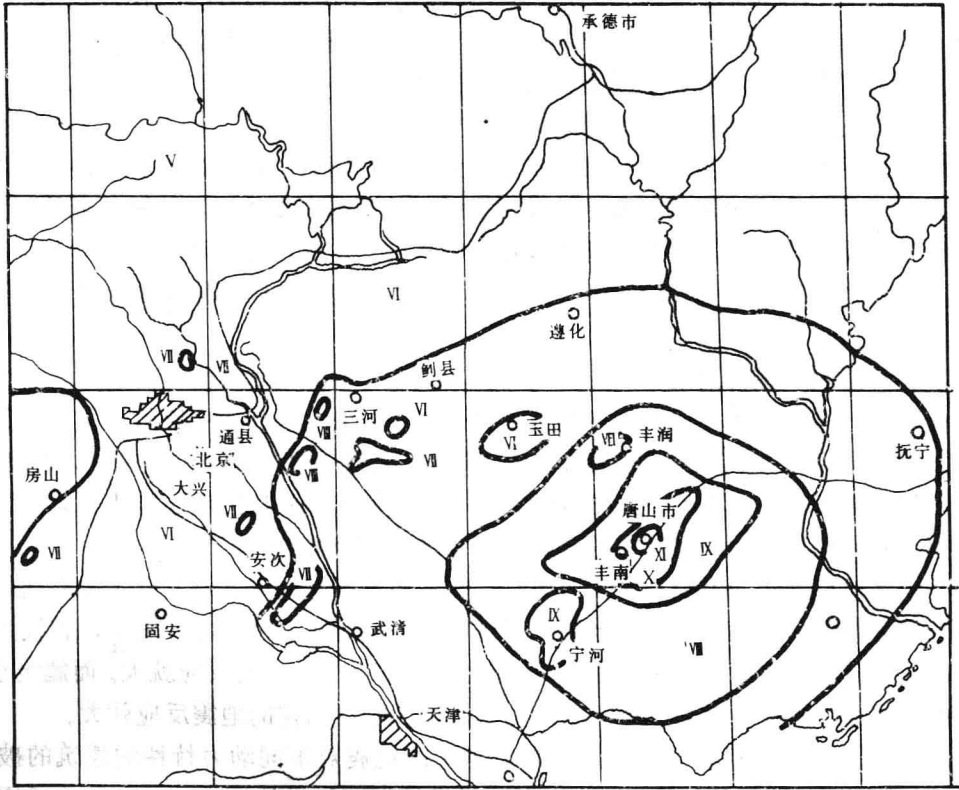


图 1-3 唐山地震等烈度线 (1976)

我国有关单位根据 153 个等震线资料，经过数理统计，给出了地震烈度衰减规律表达式：

$$I = 0.92 + 1.63M - 3.94 \lg R \tag{1-3}$$

式中 I ——地震烈度；

M ——地震震级；

R ——震中距 (km)。

根据式 (1-3) 即可算出某次地震某地区的地震烈度。

第三节 基本烈度、近震和远震

一、基本烈度和烈度区划图

强烈地震是一种破坏性很大的自然灾害。它的发生具有很大的随机性。因此，采用概率统计方法预测某地区在未来一定时间内，可能遭遇的地震危险程度是有工程意义的。为此，《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89) (以下简称《抗震规范》) 提出了新的基本烈度的概念。

一个地区的基本烈度是指该地区在 50 年期限内，一般场地条件下^①，可能遭遇超越概率为 10% 的地震烈度。

国家地震局和建设部于 1992 年联合发布了新的《中国地震烈度区划图》(1990)。该图给出了全国各地的基本烈度的分布^②，可供国家经济建设和国土利用规划、一般工业与民用建筑抗震设计及制定减轻和防御地震灾害对策应用。

图 1-4 为北京地区地震烈度区划图 (1990)。

编制烈度区划图分两步进行：第一步先确定地震危险区，即未来 100 年内可能发震的地段，并估计每个危险地区可能发生的最大震级，从而确定震中烈度；第二步是预测这些地震的影响范围，即根据烈度衰减规律确定影响烈度。由此可见，烈度区划图上所标明的某一地点的基本烈度，总是相应于一定震源的，当然也包括几个不同震源所造成同等烈度的影响。

二、设计近震和设计远震

近年来的地震震害表明，某地区当遭受到来自不同的震级和震中距的地震，而其宏观烈度又大体相同时，则该地区不同动力特性的结构的震害是不同的。一般来讲，震级较大、震中距较远的地震对长周期的高柔结构的破坏，比同样宏观烈度的震级较小、震中距较近的破坏重。对周期较短的刚性结构的破坏，则有相反的趋势。

某一地区遭受到相同宏观烈度，而震级、震中距不同的地震，对具有不同周期的结构所造成的破坏差异的主要原因是，地震波频谱特性不同所致。地震研究表明，震级大、震中距长的地震波主要为低频分量。因此，长周期的高柔结构的地震反应就大。而震级小，震中距短的地震波，主要为高频分量。因此，短周期的刚性结构的地震反应就大。

为了区别同样宏观烈度下不同震级和震中距的地震对不同动力特性的建筑的破坏作用，“抗震规范”将烈度为 7 度和 8 度区划分为设计近震和设计远震（分别简称近震和远震）。烈度为 9 度区和 10 度区。一般震中距不会太大，故都属于近震。

如何划分近震和远震，《抗震规范》给出了定义：在烈度区划图中，比等震线中心最高烈度低 1 度或相等的地区，按近震考虑；比等震线中心最高烈度低 2 度和 2 度以上地区，按远震考虑（图 1-5）。

国家地震主管部门责成中国建筑科学研究院工程抗震研究所，根据《抗震规范》、烈度区划图及烈度衰减规律，提出了设计远震地区，如表 1-2 所示。其余地区按设计近震考虑。

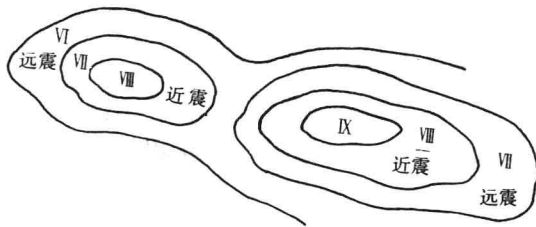


图 1-5 近震和远震的划分

① 一般场地条件是指地区内普遍分布的场地土质条件及一般的地形、地貌、地质构造等条件。

② 该图未包括我国海域部分及小的岛屿。

考虑设计远震的市县

表 1-2

烈度	市 县	烈度	市 县
8 度 远震	山东: 郯城 江苏: 新沂, 邳县, 睢宁 新疆: 喀什, 疏勒, 疏附, 独山子 西藏: 林周, 米林, 林芝, 隆子 四川: 泸定, 炉霍 甘肃: 天祝	6 度 远震	黑龙江: 肇源, 肇州 辽宁: 凌源, 喀喇沁 河北: 迁安, 迁西, 遵化, 兴隆, 易县, 平泉, 崇礼, 丰宁, 馆陶, 广平 山东: 东平, 巨野, 高密, 胶南, 胶州 江苏: 涟水, 灌南, 淮安, 洪泽, 金湖
7 度 远震	山东: 临沭, 临沂, 苍山 江苏: 东海, 沐阳, 泗阳, 淮阴, 徐州, 灌云, 连云港 安徽: 灵璧, 泗县, 五河 内蒙: 托克托, 和林格尔, 武川 甘肃: 永登, 成县, 舟曲 青海: 达日, 兴海, 都兰 新疆: 新和, 拜城, 精河, 奎屯, 乌苏, 沙湾, 石河子, 玛纳斯, 伽师, 岳普湖 西藏: 墨竹工卡, 达孜, 曲水, 贡嘎, 措美, 丁青, 类乌齐, 尼玛 云南: 元江, 红河, 元阳, 个旧, 开远, 曲靖, 陆良, 弥勒, 安宁, 兰坪, 云龙, 华坪, 宁蒗 四川: 黑水, 会东, 布拖, 昭觉, 越西, 甘洛, 荣经, 天全, 丹巴	6 度 远震	安徽: 萧县, 淮北, 宿州, 怀远 广东: 大浦, 梅州, 五华, 揭西, 陆河 海南: 琼中, 万宁 山西: 五寨, 岚县, 中阳, 石楼, 大宁, 阳城, 陵州 陕西: 铜川, 淳化, 洛南, 南县, 柞水 河南: 卢氏, 洛宁, 滎池, 义马, 沁阳, 巩县, 密县 内蒙: 东胜, 伊金霍洛旗, 察右中旗, 四子王旗, 乌拉特后旗, 阿拉善左旗 甘肃: 安西, 泾川 青海: 共和 新疆: 哈密, 吐鲁番, 奇台, 沙雅, 皮山, 且末 云南: 墨江, 宜威 四川: 红原, 稻城, 键为, 筠连

第四节 建筑分类、建筑设防标准及设防目标

一、建筑重要性分类

在进行建筑抗震设计时,应根据建筑的重要性不同,采取不同的建筑抗震设防标准。“抗震规范”将建筑按其重要性的不同,分为以下四类:

甲类建筑——特殊要求的建筑,如遇地震破坏会导致严重后果(如放射性物质的污染、剧毒气体的扩散和爆炸等)和经济上重大损失的建筑等。

乙类建筑——国家重点抗震城市的生命线工程的建筑(如消防、急救、供水、供电等)或其它重要建筑。

丙类建筑——甲、乙、丁类以外的建筑。如一般工业与民用建筑(公共建筑、住宅、旅馆、厂房)。

丁类建筑——次要建筑,如遇地震破坏不易造成人员伤亡和较大经济损失的建筑(如一般仓库、人员较少的辅助性建筑)。

甲类建筑应按国家规定的批准权限批准执行;乙类建筑应按城市抗震救灾规划或有关部门批准执行。

二、抗震设防标准

抗震设防是对建筑进行抗震设计,包括地震作用、抗震承载力计算、变形验算和采取

抗震措施，以达到抗震的效果。

抗震设防标准的依据是设防烈度。在一般情况下采用基本烈度。

各类建筑抗震设计，应符合下列要求：

(1) 甲类建筑的地震作用，应按专门研究的地震动参数计算；其他各类建筑的地震作用，应按本地区的设防烈度计算，但设防烈度为 6 度时，除《抗震规范》有具体规定外，可不进行地震作用计算。

(2) 甲类建筑应采取特殊的抗震措施；乙类建筑除《抗震规范》有具体规定外，可按本地区设防烈度提高一度采取措施，但设防烈度为 9 度时可适当提高；丙类建筑应按本地区设防烈度采取抗震措施；丁类建筑可按本地区设防烈度降低一度采取抗震措施，但设防烈度为 6 度时可不降低。

三、抗震设防目标、“小震”和“大震”

(一) 抗震设防目标

近 10 年来，不少国家抗震设计规范的抗震设防目标都采取了新的设计思想。总的趋势是，在建筑使用期间，对不同频度和强度的地震，要求建筑具有不同的抵抗能力。即对一般较小的地震，由于其发生的可能性大，因此要求遭遇到这种多遇地震时，结构不受损坏。这在技术和经济上都是可以做到的；对于罕遇的强烈地震，由于其发生的可能性小，当遭遇到这种强烈地震时，要求做到结构完全不损坏，这在经济上是不合算的。比较合理的做法是，应允许损坏，但在任何情况下，不应导致建筑倒塌。

基于国际上这一趋势，结合我国的具体情况，《抗震规范》提出了“三水准”的抗震设防目标。

第一水准：当遭受到多遇的低于本地区设防烈度的地震（简称“小震”）影响时，建筑一般应不受损坏或不需修理仍能继续使用。

第二水准：当遭受到本地区设防烈度的地震影响时，建筑可能有一定的损坏，经一般修理或不经修理仍能继续使用。

第三水准：当遭受到高于本地区设防烈度的罕遇地震（简称“大震”）时，建筑不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

在进行建筑抗震设计时，原则上应满足“三水准”抗震设防目标的要求，在具体做法上，为了简化计算起见，《抗震规范》采取了二阶段设计法，即

第一阶段设计：按小震作用效应和其它荷载效应的基本组合验算构件的承载力，以及在小震作用下验算结构的弹性变形。以满足第一水准抗震设防目标的要求。

第二阶段设计：在大震作用下验算结构的弹塑性变形，以满足第三水准抗震设防目标的要求。

至于第二水准抗震设防目标的要求，只要结构按第一阶段设计，并采取相应的抗震措施，即可得到满足。这已为工程实践所证实。

概括起来，“三水准、二阶段”的抗震设防目标的通俗说法是：“小震不坏、中震可修、大震不倒。”

(二) 小震和大震的定义及其取值

按三水准、二阶段进行抗震设计时，首先遇到的问题是如何给小震和大震下定义，以及在各基本烈度区小震和大震的烈度如何取值。

地震是自然界的随机现象。因此,抗震设计中的小震和大震应采用概率方法进行定量分析。

根据地震危险性分析^①,一般认为,我国烈度概率密度函数符合极值Ⅲ型分布(图1-6):

$$f_{\text{III}}(I) = \frac{k(\omega - I)^{k-1}}{(\omega - I_m)^k} \cdot e^{-\left(\frac{\omega - I}{\omega - I_m}\right)^k} \quad (1-4)$$

其分布函数

$$F_{\text{III}}(I) = e^{-\left(\frac{\omega - I}{\omega - I_m}\right)^k} \quad (1-5)$$

式中 ω ——地震烈度上限值,取 $\omega=12$;

I_m ——众值烈度,即烈度概率密度曲线

上峰值所对应的烈度,由各地震区在设计基准期内统计确定。例如,北京地区

$I_m=6.19$;

I ——地震烈度;

k ——形状参数。

式(1-5)中参数 ω 和 I_m 有明确的意义。现仅讨论参数 k 的确定方法。

由于不少国家以50年内超越概率为10%的地震强度作为设计标准,为了简化计算,可统一按这个概率水平来确定形状参数 k 。

现以北京地区为例,说明按上述原则确定 k 的方法。

已知北京地区 $I_m=6.19$ 度,在50年内超越概率为10%的地震烈度为7.82度,而 $\omega=12$ 度, $F(I)=0.90$,将这些数值代入式(1-5),得 $k=6.834$ 。即北京地区的烈度概率分布函数为:

$$F_{\text{III}}(I) = e^{-\left(\frac{\omega - I}{\omega - I_m}\right)^{6.834}} \quad (1-6)$$

从概率意义上讲,小震的定义为在设计基准期内发生地震概率频度最大的地震。即在烈度概率密度曲线上峰值所对应的烈度(众值烈度)。

不超越众值烈度的概率,可由式(1-5)计算:

$$F_{\text{III}}(I_m) = e^{-1} = 0.368 = 36.8\%$$

而超越概率为

$$1 - F_{\text{III}}(I_m) = 1 - 0.368 = 0.632 = 63.2\%$$

基本烈度是抗震设防的依据。因此,小震和大震都应和基本烈度相联系,从中找出它们之间的关系。

根据我国有关单位对华北、西南、西北45个城镇的地震概率分析,基本烈度大体为在设计基准期内超越概率为10%的地震烈度,并得到在设计基准期内超越概率为10%的地震烈度与众值烈度差的平均值为1.55度。这样,我们可以认为,基本烈度与众值烈度差的平均值为1.55度。例如,对于基本烈度为8度地区,其众值烈度,即小震烈度可取6.45度。

地震的发生无论在时间、地点和强度方面都具有很大的随机性。强烈地震给人们生命

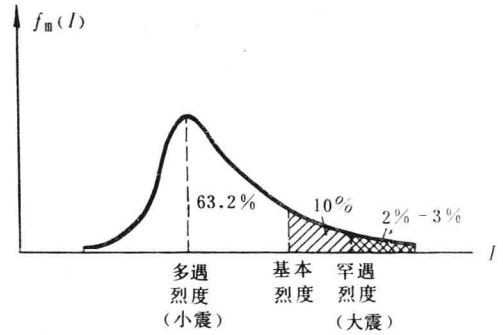


图1-6 烈度概率密度函数

① 地震危险性分析,是指用概率统计方法评价未来一定时间内,某工程场地遭受不同程度地震作用的可能性。

和财产将造成极其严重的损失。对于确定在设计基准期内的大震，从概率意义上讲，应为小概率事件，即在设计基准期内，相应大震烈度的超越概率应小于5%。

《抗震规范》取2%~3%的超越概率作为大震烈度的概率水准。由式(1-5)不难求得，相应于基本烈度6、7、8和9度的大震烈度约为7度强、8度强、9度弱和9度强。例如北京地区的大震烈度，如取在设计基准期内的超越概率为2%，则可由式(1-6)算得大震烈度为8.7174度。即9度弱。这样，大震烈度比基本烈度高一度左右。

第五节 地震的破坏现象

一、地表的破坏现象

(一) 地裂缝

在强烈地震作用下，常常在地面产生裂缝。根据产生的机理不同，地裂缝分为重力地裂缝和构造地裂缝两种。重力地裂缝是由于在强烈地震作用下，地面作剧烈震动引起的惯性力超过了土的抗剪能力所致。这种裂缝长度可由几米到几十米，断续总长度可达几公里，但一般都不深，多为1~2m。图1-7为唐山地震中的重力地裂缝情形。构造地裂缝是地壳深部断层错动延伸至地面的裂缝。美国旧金山大地震圣安德烈斯断层的巨大水平位移，就是现代可见断层形成的构造地裂缝。

(二) 喷砂冒水

在地下水位较高、砂层或粉土层埋深较浅的平原地区，地震时地震波的强烈振动使地下水压力急剧增高，地下水夹带砂土或粉土经地裂缝或土质松软的地方冒出地面，形成喷砂冒水现象(图1-8)。喷砂冒水现象一般要持续很长时间，严重的地方可造成房屋不均匀下沉或上部结构开裂。

(三) 地面下沉(震陷)

在强烈地震作用下，地面往往发生震陷，使建筑物破坏。图1-9为1976年唐山地震因地陷引起房屋破坏的情形。

(四) 河岸、陡坡滑坡

在强烈地震作用下，常引起河岸、陡坡滑坡，有时规模很大，造成公路堵塞、岸边建筑物破坏。

二、建筑物的破坏

在强烈地震作用下，各类建筑物遭到严重破坏，按其破坏形态及直接原因，可分以下几类：

(一) 结构丧失整体性

房屋建筑或构筑物都是由许多构件组成的。在强烈地震作用下，构件连接不牢，支承



图1-7 唐山地震中的重力地裂缝