

建筑结构教学丛书

建筑抗震设计

(按新规范)

郭继武 编

高等教育出版社

计算系数

C_G 、 C_E 、 C_w ——作用效应（内力和变形）系数；

γ_G 、 γ_E 、 γ_w ——作用分项系数；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

ψ ——组合值系数，影响系数；

η ——地震作用效应（内力和变形）的增大或调整系数；

X_{ij} ——位移振型坐标（ j 振型；质点的 x 方向相对水平位移）；

Y_{ij} ——位移振型坐标（ j 振型；质点的 y 方向相对水平位移）；

α 、 α_{\max} ——水平地震影响系数、其最大值；

α_{\max} ——竖向地震影响系数的最大值；

ξ_y ——结构（构件）屈服强度系数；

ξ ——计算系数；

λ ——构件长细比，比例系数；

ρ ——配筋率，比率；

φ ——转角振型坐标，构件受压稳定系数。

其它

T ——结构自振周期；

N ——贯入锤击数；

I_{Lk} ——地震时地基的液化指数；

v_{sm} ——土层平均剪切波速；

n ——总数，如楼层数、质点数、钢筋根数、跨数等。

内 容 提 要

建筑结构教学丛书是分别根据建筑结构设计新规范(已出版)有关内容编写的,共四本。包括《建筑地基基础》、《混凝土结构与砌体结构》、《钢结构》和《建筑抗震设计》。

本书《建筑抗震设计》为丛书之一,是参照已出版的新规范《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)编写的。书中主要介绍了建筑结构在地震作用下的动力反应的计算方法,以及建筑结构抗震设计原理。内容包括:建筑结构抗震设计基本原则,场地、地基基础,地震作用和结构抗震验算,以及常见建筑的抗震验算及抗震构造措施。书中特别对“近震”和“远震”、抗震承载力和变形验算的二阶段设计法及反应谱理论,作了比较详细的介绍。

书中采用中华人民共和国法定计量单位。为了便于读者掌握书中的基本理论和计算方法,各章均附有典型例题和思考题,供读者参考。

本书适合作为工科土建类各专业教材,也可作为工程设计、施工技术人员学习新规范参考。

建筑结构教学丛书

建 筑 抗 震 设 计

(按新规范)

郭浩武 编

清华大学出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张 16.5 字数 410 000

1990年10月第1版 1990年10月第1次印刷

印数0601—11 410

ISBN7-04-002968-5/TE·164

定价 3.70元

前 言

我国新修订的各建筑设计规范业已颁布实施。新规范无论在内容上和技术水平上都较原规范有较大的充实、提高和发展。

为了便于广大读者尽快熟悉和掌握新规范主要内容，我们编写了一套建筑结构教学丛书，供学习参考。这套丛书共计四册，其中包括：《建筑地基基础》、《混凝土结构与砌体结构》、《钢结构》和《建筑抗震设计》。考虑到教学的要求和设计的实用，本丛书按教材体系编写，并体现了新规范的主要内容。

本书《建筑抗震设计》为丛书之一，是参照新规范《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)编写的。书中采用了国家规定的建筑设计通用符号、计量单位和基本术语。在编写过程中，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，供读者参考。

本书由北京建筑工程学院吴永平教授审阅，在审阅中提出了许多宝贵意见，在编写本书过程中，曾得到中国建筑科学研究院工程抗震研究所龚思礼研究员的帮助，在此一并致以谢忱。

书中部分例题计算和全部插图校对工作由张述勇讲师协助完成，在此也顺致谢意。在编写本书时，参考引用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，书中可能存在疏漏之处，请读者予以指正。

编 者

1990年3月于北京

主要符号

作用和作用效应

- F_{Ek} 、 F_{Evk} ——结构总水平、竖向地震作用标准值；
 G_E 、 G_{c0} ——地震时结构（构件）的重力荷载代表值、等效总重力荷载代表值；
 w_k ——风荷载标准值；
 S ——地震作用效应（弯矩、轴向力、剪力、应力和变形），或它与其它荷载效应的基本组合；
 M ——弯矩；
 N ——轴向力；
 V ——剪力；
 p ——基础底面压力
 u (Δu)、 Δ 、 δ ——侧移；
 θ ——楼层位移角；

抗力和材料性能

- $K(k)$ ——结构（构件）的刚度；
 R ——结构构件承载力；
 $[\theta]$ ——楼层位移角限值；
 f 、 f_k 、 f_E ——各种材料强度（包括地基静承载力）设计值、标准值和抗震设计值。

几何参数

- A ——构件截面面积；
 A_s ——钢筋截面面积；
 B ——结构总宽度；
 H ——总高度；
 L ——结构（单元）总长度；
 a ——距离；
 a_s 、 a'_s ——纵向受拉、受压钢筋合力点至截面边缘的最小距离；
 b ——构件截面宽度；
 d ——土层深度或厚度，钢筋直径；
 e ——偏心距；
 h ——构件截面高度；
 l ——构件长度或跨度；
 t ——抗震墙厚度，板厚。

目 录

主要符号 i

第一章 抗震设计原则

- § 1-1 构造地震 1
- § 1-2 地震波、震级和烈度 1
- § 1-3 基本烈度和烈度区划图 7
- § 1-4 建筑分类与建筑设防标准 9
- § 1-5 地震的破坏作用 11
- § 1-6 抗震设计的基本要求 13

第二章 场地、地基和基础

- § 2-1 场地 16
- § 2-2 地震时地面运动特性 19
- § 2-3 地基基础抗震验算 26
- § 2-4 场地土的液化 28
- § 2-5 软弱粘性土地基和不均匀地基 38

第三章 地震作用和结构抗震验算

- § 3-1 概述 40
- § 3-2 单质点弹性体系的地震反应 40
- § 3-3 单质点弹性体系水平地震作用——反应谱法 44
- § 3-4 多质点弹性体系的地震反应 49
- § 3-5 多质点体系水平地震作用和地震效应——振型分解反应谱法 58
- § 3-6 多质点体系水平地震作用近似计算方法——底部剪力法 62
- § 3-7 地震作用效应时程分析法的概念 66
- § 3-8 考虑水平地震作用扭转影响的计算 68
- § 3-9 竖向地震作用的计算 69
- § 3-10 结构自振周期和振型的近似计算 72
- § 3-11 地震作用计算的一般规定 86

§ 3-12 结构抗震验算 86

第四章 多层砌体房屋

- § 4-1 概述 91
- § 4-2 震害及其分析 91
- § 4-3 抗震设计一般规定 93
- § 4-4 多层砌体房屋抗震验算 95
- § 4-5 抗震构造措施 112

第五章 钢筋混凝土框架及框架-抗震墙房屋

- § 5-1 概述 120
- § 5-2 震害及其分析 121
- § 5-3 抗震设计一般规定 123
- § 5-4 框架和框架-抗震墙结构水平地震作用的计算 125
- § 5-5 框架内力和侧移的计算 127
- § 5-6 框架-抗震墙结构内力和侧移的计算 162
- § 5-7 框架梁、柱和节点的抗震设计 177
- § 5-8 抗震墙截面抗震设计 190
- § 5-9 抗震构造措施 194

第六章 底层框架砖房和多层内框架砖房

- § 6-1 震害及其分析 199
- § 6-2 抗震设计一般规定 200
- § 6-3 房屋抗震验算 201
- § 6-4 抗震构造措施 210

第七章 单层钢筋混凝土柱厂房

- § 7-1 震害及其分析 211
- § 7-2 抗震设计一般规定 212
- § 7-3 单层厂房抗震计算 213
- § 7-4 抗震构造措施 247

第一章 抗震设计原则

§ 1-1 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（岩层构造状态的变动）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，一般深度为5~40km。我国深源地震分布十分有限，仅在个别地区发生过深源地震，其深度一般为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物影响很小。

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。

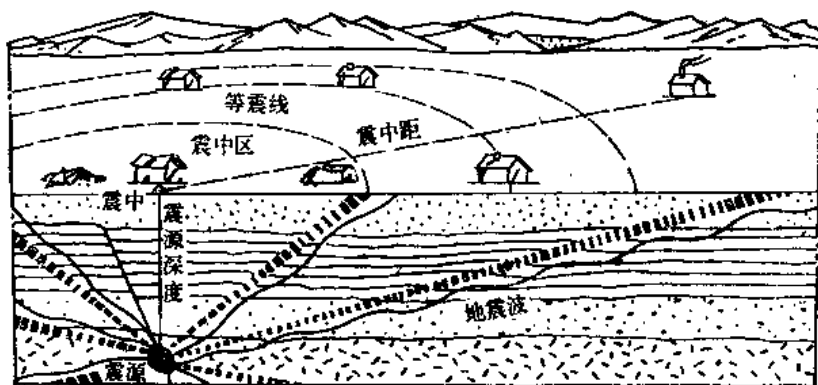


图1-1 地震术语示意图

§ 1-2 地震波、震级和烈度

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向四周传播，这种波就称为地震波。

^① 除构造地震外，还有由于火山爆发，溶洞陷落、核爆炸等原因所引起的地震。

地震波按其在地壳传播的位置不同，分为体波和面波。

(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。纵波的波速可按下式计算：

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1-1)$$

式中 E ——介质的弹性模量；

μ ——介质的泊松比；

ρ ——介质密度。

纵波引起地面垂直方向振动。

横波是由震源向四周传播的剪切波，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，在地壳内它的波速一般为100~800m/s。横波的波速可按下式计算：

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-2)$$

式中 G ——介质的剪切模量。

其余符号意义与前相同。

横波引起地面水平方向振动。

当取 $\mu = 1/4$ 时，由式 (1-1) 和式 (1-2) 可得，

$$v_p = \sqrt{3} v_s \quad (1-3)$$

由此可见，P波比S波传播速度快。

(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波和S波的到达的时间差，可确定震源的距离。

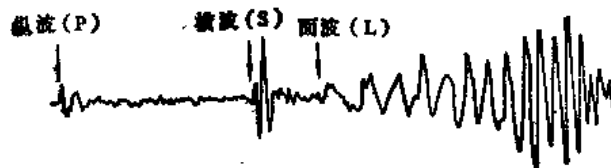


图1-2 地震曲线图

二、震级

地震的震级是衡量一次地震大小的等级，用符号 M 表示。

由于人们所能观测到的只是传播到地表的振动，也正是对我们有直接影响的那一部分地震能所引起地面振动，所以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 (Richter) 首先提出了震级的定义，即：震级大小系利用标准地震仪(指周期为0.8s, 阻尼系数为0.8, 放大倍数2800的地震仪)在距震中100km处记录的以微米($\mu\text{m}=10^{-8}\text{mm}$)为单位的最大水平地面位移(振幅) A 的常用对数值：

$$M = \lg A \quad (1-4)$$

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，用标准地震仪记录到的地震曲线图的最大振幅 $A=10\text{mm}$ (即 $10^4 \mu\text{m}$)，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：

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1-5)$$

式中 E ——地震释放的能量。

由式 (1-3) 和式 (1-4) 计算可知，当地震震级相差一级时，地面振动振幅增加约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； $M > 7$ 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、烈度表和平均震害指数

(一) 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。

用什么尺度衡量地震烈度？在没有仪器观测的年代，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，强震仪的问世，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、速度峰值来定义烈度，从而出现了含有物理指标的定量烈度表。由于地震不可能随处取得仪器记录，因此用定量烈度表评定地震现场烈度还有一定的困难。最好的方法是将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。

^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。

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					
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		
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、屋架震动作响，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 (5~8)
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 (178~358)	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、塌方常见。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。基岩上拱桥破坏		
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之。

④ 使用本表时可依据地区具体情况，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。

⑥ 烟囱指工业或取暖用的锅炉房烟囱。

⑦ 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。

(二) 平均震害指数

由于建筑种类繁多，结构类型各异，故如何划分其震害程度，作出较符合实际的数量统计，以便正确地应用“烈度表”评定出宏观烈度，是一个十分重要的问题。

《中国地震烈度表(1980)》采用的平均震害指数法是解决评定建筑物破坏情况量化的一种有效方法。这个方法把建筑物破坏程度由完好到全部倒塌之间，分成若干级，每级用震害等级 i 表示，参见表1-2。

建筑物破坏级别与震害等级 表1-2

破坏程度级别	破坏程度	震害等级 i
I	全部倒塌	1.0
II	大部倒塌	0.8
III	少部倒塌	0.6
IV	局部倒塌	0.4
V	裂缝	0.2
VI	基本完好	0

某类(如第 j 类)房屋震害程度，用震害指数表示：

$$I_j = \frac{\sum_{k=1}^m (n_j \cdot i)_k}{N_j} \quad (1-6)$$

式中 n_j ——被统计的某类房屋(如砖房) i 级破坏的栋数；

k 、 m ——不同震害等级序号和数量；

i ——震害等级；

N_j ——被统计的该类房屋总栋数， $N_j = \sum_{k=1}^m (n_j)_k$ 。

式(1-6)的物理意义是表示该类房屋的平均震害程度。通过各类房屋不同震害指数的计算，可以对比各类房屋之间抗震性能的优劣。如某类房的震害指数 I 愈大，则说明该类房屋愈不抗震。

为了确定某地区房屋平均震害情况，就要求出该地区各类房屋(有代表性的结构)的平均震害指数。即

$$I_m = \frac{\sum I_j}{N} \quad (1-7)$$

式中 $\sum I_j$ ——各类房屋震害指数之和；

N ——不同类别房屋的类别数。

求得某一地区的平均震害指数，即可作为评定该地区地震烈度的依据。根据统计资料，《中国地震烈度表(1980)》给出了平均震害指数与地震烈度之间的对应关系。可供查用。

应当指出，只有当抗震能力相差不大的一般房屋(如木构件和土、石、砖墙构造的旧式房屋)才可用平均震害指数法按表1-2来确定地震烈度。对于抗震能力相差悬殊的房屋，应采用综合震害指数按表1-2确定地震烈度。所谓综合震害指数，就是将不同类型房屋的震害指数，换算到同一标准(例如统一换算到一般房屋标准)上加以统计。这样，就要给出其它类

型房屋与一般房屋震害指数之间的换算关系。关于砖柱房屋、穿斗房屋^①与木柱房屋震害指数换算关系，我国有关单位已进行了大量工作，并给出了它们之间的震害指数换算曲线。至于其它类型房屋与一般房屋震害指数换算关系的资料尚未见到，这需要进行大量的统计工作才能完成。

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。我们将烈度相同的区域的外包线，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、地质、地形的影响，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为1度。一般地说，等震线的度数随震中距的增加而递减。但有时由于局部地形、地质的影响，也会在某一烈度区域内出现一小块高于该烈度1度或低1度的异常区。图1-3为1976年唐山地震的等震线。

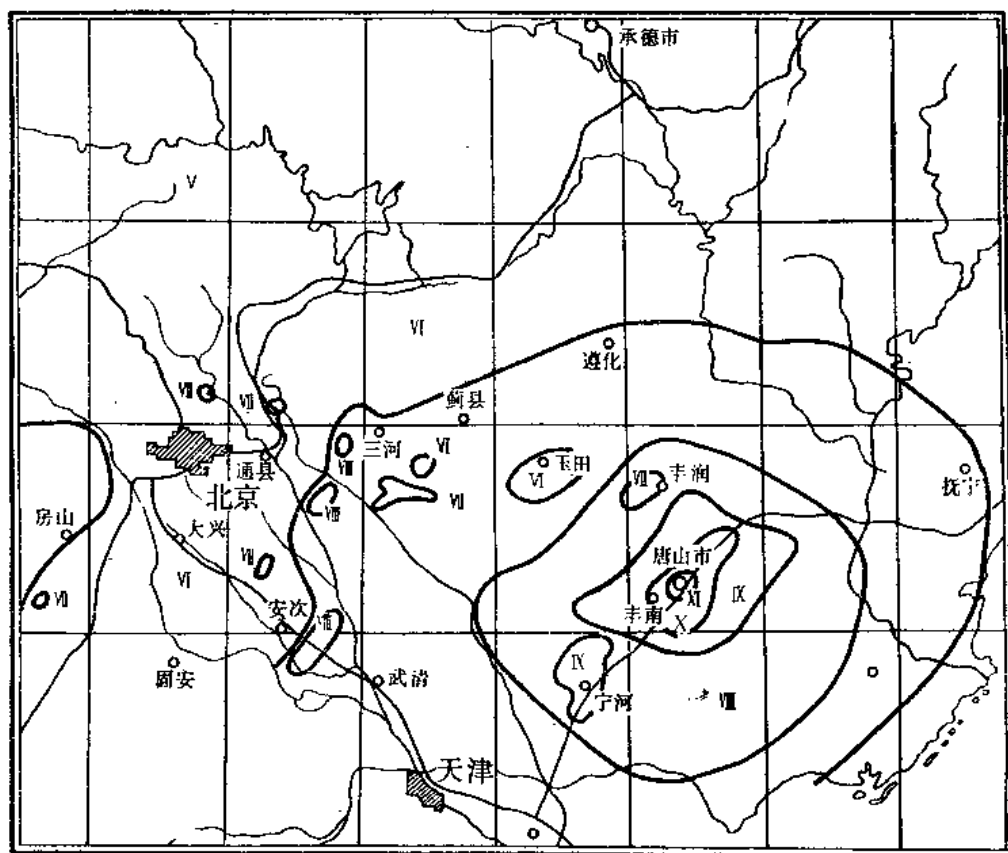


图1-3 唐山地震等烈度线

我国有关单位根据153个等震线资料，经过数理统计分析，给出了烈度 I 、震级 M 和震中距 R 之间的关系式，

$$I = 0.92 + 1.63M - 3.49 \lg R \quad (1-8)$$

以及震中烈度 I_0 与震级 M 之间的关系式，

$$I_0 = 0.24 + 1.29M \quad (1-9)$$

① 我国南方所采用的一种老式房屋。

根据式 (1-8) 和式 (1-9), 可在 $M-\lg R$ 坐标系中绘出等烈度区 (图1-4)。实际上, 它是烈度衰减规律的另一表达形式, 它有助于了解不同震级 M 和震中距 R 对烈度 I 衰减的影响。

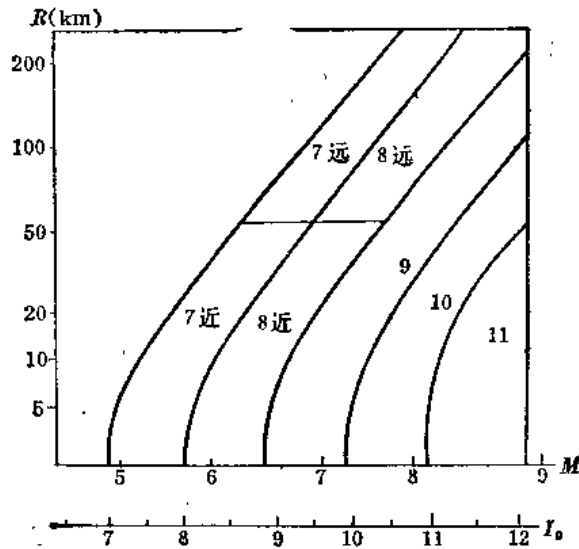


图1-4 等烈度区及近震、远震的划分

§ 1-3 基本烈度和烈度区划图

一、基本烈度和烈度区划图

强烈地震是一种破坏作用很大的自然灾害。它的发生具有很大的随机性。因此, 采用概率方法预测某地区, 在未来一定时间内可能发生的最大烈度是具有工程意义的。为此, 《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)^① 提出了基本烈度的概念。

一个地区的基本烈度是指该地区今后一定时间内 (一般指100年), 在一般场地条件下^② 可能遭遇的最大烈度。

国家地震局于1977年颁布了《中国地震烈度区划图》, 该图给出了全国各地的基本烈度的分布。供全国建筑规划和中小型工程设计应用。

图1-5 所示为我国河北省和山西省部分地区烈度区划图。

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, 并估计每个危险地段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、近震和远震

理论分析和震害表明, 不同大小的地震 (震级或震中烈度) 对某一地区所引起的相同烈

① 以下简称《规范》。

② 一般场地条件是指地区内普遍分布的地基土质条件及一般地形、地貌、地质构造条件。

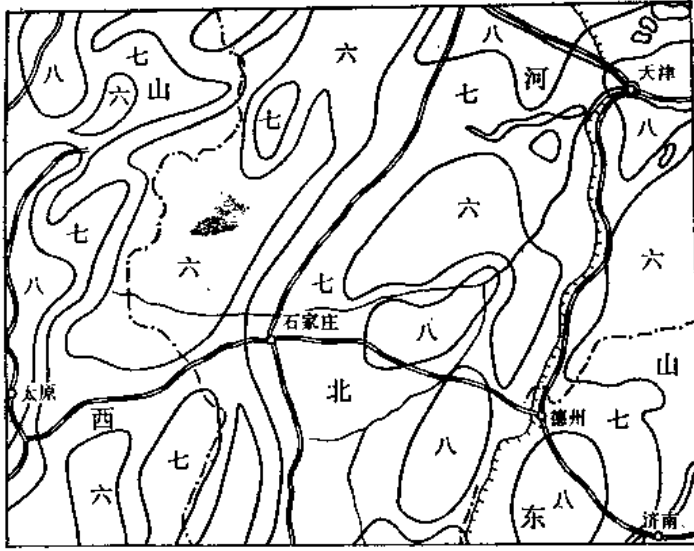


图1-5 河北省、山西省部分地区烈度区划图

度，对不同动力特性的结构的破坏作用是不同的。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，比同样烈度的震级较小震中距较近的破坏要重。对周期较短的刚性结构则有相反的趋势。

在同样烈度下，震级、震中距不同的地震，对不同周期的结构所造成的破坏的差异的主要原因是，地震波频谱特性不同所致。地震观测表明，地震波中的高频分量随传播距离的衰减比低频分量要快，即震级大、震中距长的地震波主要为低频分量。所以，对长周期的高柔结构的地震反应就大。而震级较小、震中距较短的地震波，高频分量没有被衰减或衰减较少。所以，对短周期的刚性结构的地震反应就要大些。

为了区别同样烈度下不同震级和震中距的地震对不同动力特性的建筑物的破坏作用，《规范》将烈度为7度和8度区的地震影响划分为近震和远震两种情况。震中距小于或等于50km的称为近震，震中距大于50km的称为远震。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。

由图1-4可见，如果把7度和8度区划分近震和远震的震中距以50km为界的条件改为以烈度来表示，则可将近震和远震定义为：

近震：当某地区所遭受的烈度比震中烈度低一度或相等时的地震；

远震：当某地区所遭受的烈度比震中烈度低二度或二度以上时的地震。

根据我国有关部门所提供的资料表明，我国现行烈度区划图上所标注的基本烈度区，绝大部分地区只需考虑近震影响，需考虑远震影响的城镇大致有如下一些：

8度：独山子、泸定、石棉

7度：侯马、连云港、徐州、淮阴、蚌埠、德州、枣庄、渡口、乌鲁木齐、喀什、伊宁、拉萨、五原、南投、高雄

6度：赤峰、济宁、青岛、济南、潍坊、阳泉、安丘、本溪、商丘、盐城、定西、承德、哈密、库尔勒、永昌、武威、托克逊、吐鲁番、滁县、莆田、景洪、景谷、雅安、株洲、湘潭、益阳、盐津、招远、泰安。

§ 1-4 建筑分类与建筑设防标准

一、建筑重要性分类

在进行建筑设计时，应根据建筑的重要性不同，采取不同的抗震设防标准。《规范》将建筑按其重要程度不同，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；政治上有特殊要求的建筑或其它特别重要的建筑等。

乙类建筑——国家重点抗震城市生命线工程的建筑（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、厂房等）。

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灾救灾规划或有关部门批准执行。

二、抗震设防标准

抗震设防是指对建筑进行抗震设计，包括地震作用、抗震承载力计算和采取抗震措施，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；其它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《规范》有具体规定外，可不进行抗震作用计算。

(2) 甲类建筑应采取特殊的抗震措施；乙类建筑除《规范》有具体规定外，可按本地区设防烈度提高一度采取抗震措施，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

近十年来，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：在建筑使用寿命期间，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。这在技术上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。

基于国际上的这一趋势，结合我国目前的具体情况，《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, 《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结构构件的承载能力, 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, 《规范》是以抗震构造措施来加以保证的。

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, 大震不倒”。

(二) 小震和大震

在按三水准, 两阶段进行建筑抗震设计时, 首先遇到的问题是定义小震和大震, 以及在各基本烈度区小震和大震的烈度如何取值。

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

$$f_{\text{III}}(I) = \frac{k(\omega - I)^{k-1}}{(\omega - \varepsilon)^k} \cdot e^{-\left(\frac{\omega - I}{\omega - \varepsilon}\right)^k} \quad (1-10)$$

其分布函数

$$F_{\text{III}}(I) = e^{-\left(\frac{\omega - I}{\omega - \varepsilon}\right)^k} \quad (1-11)$$

式中 ω ——地震烈度上限值, 取 $\omega = 12$;

ε ——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, $\varepsilon = 6.19$ 度;

I ——地震烈度;

e ——无理数, $e = 2.718$;

k ——形状参数。

式(1-11)中参数 ω 和 ε 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, 为了简化计算起见, 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, 说明确定形状参数 k 值的方法:

已知北京地区 $\varepsilon = 6.19$ 度, 在50年内超越概率为10%的烈度 $I = 7.82$ 度, 而 $\omega = 12$ 度,

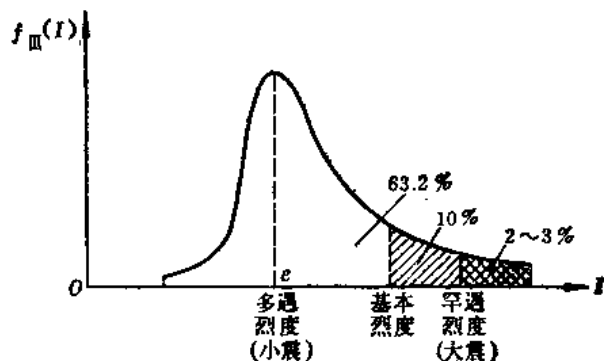


图1-6 烈度概率密度函数

^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。

这时 $F_1(I) = 0.90$ 。将上列数据代入式 (1-11), 得 $k = 6.834$ 。

从概率意义上讲, 小震应是发生频度最大的地震。即烈度概率密度分布曲线上的峰值所对应的烈度 (众值烈度)。因此, 采用众值烈度作为小震烈度是适宜的。

不超越众值烈度的概率, 可由式 (1-11) 计算:

$$F_1(I) = e^{-1} = 0.368 = 36.8\%$$

而超越概率

$$1 - F_1(I) = 1 - 0.368 = 0.632 = 63.2\%$$

基本烈度是抗震设防的依据。因此, 小震和大震烈度应与基本烈度相联系, 从中找出它的关系。

根据我国有关单位对华北、西南、西北45个城镇的地震烈度概率分析, 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, 并分别计算出这45个城镇在设计基准期内超越概率为10%的地震烈度与众值烈度的平均差值为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度的地区, 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。强烈地震作用给人们生命财产将造成极其严重的损失。对于确定在设计基准期内防止建筑倒塌的大震作用, 从概率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%。

《规范》取2~3%的超越概率作为大震烈度的概率水准。由式 (1-11) 可得, 相应于基本烈度为6、7、8和9度的大震烈度分别约为7度强、8度、9度弱和9度强。即大震烈度比基本烈度高一度左右。

§ 1-5 · 地震的破坏作用

一、地表的破坏现象

1. 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, 地面作剧烈震动而引起的惯性力超过了土的抗剪强度所致。这种裂缝长度可由几米到几十米, 其断续总长度可达几公里, 但一般都不深, 多为1~2米。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。

2. 喷砂冒水

在地下水位较高、砂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, 地下水经地裂缝或土质松软的地方冒出地面, 当地表土层为砂层或粉土层时, 则夹带着砂土或粉土一起喷出地表, 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。

3. 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