

高校土木工程专业规划教材  
GAOXIAOTUMUGONGCHENGZHUANYEGUIHUAJIAOCAI

# 建筑抗震设计 (第二版)

郭继武 编著

JIANZHUKANGZHENSHEJI

中国建筑工业出版社

高校土木工程专业规划教材

# 建筑抗震设计

(第二版)

郭继武 编著

中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

建筑抗震设计/郭继武编著. —2版. —北京: 中国  
建筑工业出版社, 2006  
高校土木工程专业规划教材  
ISBN 7-112-08550-0

I. 建... II. 郭... III. 建筑结构-抗震设计-高  
等学校-教材 IV. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 074745 号

高校土木工程专业规划教材

**建筑抗震设计**

(第二版)

郭继武 编著

\*

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

北京密云红光制版公司制版

北京密东印刷有限公司印刷

\*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 24 $\frac{3}{4}$  插页: 1 字数: 598 千字

2006 年 9 月第二版 2006 年 9 月第七次印刷

印数: 20001—23500 册 定价: 35.00 元

ISBN 7-112-08550-0

(15214)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

## 第二版前言

本书原第一版是根据作者编写的《建筑抗震设计》教材（高等教育出版社，1990），并参照《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）修订而成。并于2003年由中国建筑工业出版社出版发行，至2005年11月，共印刷六次，发行20000册。

考虑到编写本书第一版时，《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2002）和《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ3—2002）尚未出版，该书有关抗震设计内容未能编入。另外，本书第一版对抗震墙结构也未专门讲述。为了充实和完善教材内容，以适应教学需要，决定对第一版进行修订。

本书主要介绍了建筑结构在地震作用下动力反应的计算方法，以及建筑结构的抗震设计原理。内容包括：建筑结构抗震设计的基本要求，场地、地基与基础，地震作用和结构抗震验算原则，钢筋混凝土框架、抗震墙、框架-抗震墙房屋抗震设计，多层砌体房屋抗震设计，底部框架-抗震墙和多层内框架房屋抗震设计，以及单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计等。

在编写本书时，作者力求做到内容由浅入深，循序渐进，理论联系实际。尽量对规范有关条文、公式和计算系数的来源加以推证和说明。

本书第二版与第一版主要区别是，增加了抗震墙结构的抗震设计内容。叙述了抗震墙结构的类型及其判别方法。对双肢墙，书中采用了以墙肢轴力作为未知数的微分方程解法，并编制了计算用表。按这种方法建立的微分方程有概念清楚、计算参数少和应用方便等优点。对多肢墙，给出了以墙肢轴力作为未知数的微分方程组解法。并给出了各种抗震墙顶点侧移计算公式和计算用表。

为了使读者更好地掌握书中的基础理论知识和规范有关条文内容，书中列举了有代表性的例题。在解题过程中，力求步骤清晰，说明详尽。

在编写本书过程中，得到了中国建筑科学研究院工程抗震研究所原所长龚思礼研究员和北京工业大学赵超燮教授的帮助，在此一并致以谢忱。

在编写本书时，参考和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，请读者不吝指正。

本书按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)和高校土木工程专业课程教学大纲编写。书中主要介绍了建筑结构在地震作用下动力反应新的计算方法,以及建筑结构抗震计算原理。内容包括:建筑结构抗震设计的基本要求,场地、地基基础,地震作用和结构抗震验算原则,以及常用建筑的抗震设计。书中特别对二阶段设计法和反应谱理论,以及双肢墙、多肢墙的内力、位移和等效刚度新的计算方法作了重点介绍,并给出了计算用表。

为了便于读者学习《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)的主要内容及掌握书中的基本理论和计算方法,本书列举了一些典型例题和思考题,供读者参考。

本书适合作为高等学校土木工程专业教材,也可作为工程设计、施工技术人员学习新规范参考。

本书在使用过程中有何意见和建议,请与我社教材中心(jiaocai@cabp.com.cn)联系。

\* \* \*

责任编辑:朱象清 牛松

责任设计:董建平

责任校对:张景秋 张虹

# 第一版前言

在我们跨入 21 世纪的时候，适逢我国新的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 公布实施。为了满足教学的需要和供工程界广大读者学习新规范的参考，我们参照新规范有关内容编写了这本《建筑抗震设计》。书中主要介绍了建筑结构在地震作用下动力反应新的计算方法，以及建筑结构的计算原理。内容包括：建筑结构抗震设计的基本要求，场地、地基基础，地震作用和结构抗震验算原则，以及常用建筑的抗震设计。书中特别对二阶段设计法和反应谱理论，以及双肢墙的内力、位移和等效刚度作了重点介绍，并给出了计算用表。

本书具有以下特点：

- (1) 场地土的卓越周期公式推导方法新颖；
- (2) 对土的液化初步判别式作了详尽的解释，并对图解法的作图公式作了推导；
- (3) 对标准贯入试验判别式作了必要的解释和推导；
- (4) 对底部剪力法等效重力荷载系数计算公式作了推演；
- (5) 对竖向地震作用等效重力荷载系数计算公式作了推演；
- (6) 推导了砌体强度正应力影响系数的计算公式；
- (7) 给出了框架结构最不利内力组合取值简捷表达式；
- (8) 给出了计算框架-抗震墙中抗震墙内力的等效荷载公式；
- (9) 推导了双肢墙和对称三肢墙以墙肢轴力为未知数的内力的表达式，并给出了位移和等效刚度计算公式；
- (10) 推导了用于底部框架砖房的框架和抗震墙平面转动刚度的表达式。

在编写本书过程中，中国建筑科学研究院工程抗震研究所原所长龚思礼研究员和北京工业大学赵超燮教授给予了很多帮助，在此一并致以谢忱。

在编写本书时，参考和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，请读者指正。

# 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；  
 $G_E$ 、 $G_{eq}$ ——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），与其他荷载效应的基本组合；  
 $S_k$ ——作用、荷载标准值的效应；  
 $M$ ——弯矩；  
 $N$ ——轴向压力；  
 $V$ ——剪力；  
 $p$ ——基础底面压力；  
 $u$ ——侧移；  
 $\theta$ ——楼层位移角。

## 材料性能和抗力

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

## 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；  
 $H$ ——结构总高度、柱高度；  
 $L$ ——结构（单元）总长度；  
 $a$ ——距离；  
 $a_s$ 、 $a'_s$ ——纵向受拉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；  
 $h$ ——计算楼层层高，构件截面高度；  
 $l$ ——构件长度或跨度；  
 $t$ ——抗震墙厚度、楼板厚度。

## 计 算 系 数

$\alpha$ ——水平地震影响系数；  
 $\alpha_{\max}$ ——水平地震影响系数最大值；  
 $\alpha_{v\max}$ ——竖向地震影响系数最大值；  
 $\gamma_G、\gamma_E、\gamma_w$ ——作用分项系数；  
 $\gamma_{RE}$ ——承载力抗震调整系数；  
 $\zeta$ ——计算系数；  
 $\eta$ ——地震作用效应（内力和变形）的增大或调整系数；  
 $\lambda$ ——构件长细比，比例系数；  
 $\xi_y$ ——结构（构件）屈服强度系数；  
 $\rho$ ——配筋率，比率；  
 $\varphi$ ——构件受压稳定系数；  
 $\psi$ ——组合值系数，影响系数。

## 其 他

$T$ ——结构自振周期；  
 $N$ ——贯入锤击数；  
 $I_{LE}$ ——地震时地基的液化指数；  
 $X_{ij}$ ——位移振型坐标（ $j$ 振型 $i$ 质点的 $x$ 方向相对位移）；  
 $Y_{ij}$ ——位移振型坐标（ $j$ 振型 $i$ 质点的 $y$ 方向相对位移）；  
 $n$ ——总数，如楼层数、质点数、钢筋根数、跨数等；  
 $v_{se}$ ——土层等效剪切波速；  
 $\Phi_{ij}$ ——转角振型坐标（ $j$ 振型 $i$ 质点的转角方向相对位移）。



# 目 录

## 主要符号

## 第 1 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 地震基本烈度和地震烈度区划图	7
§ 1-4 建筑抗震设防分类、设防标准和设防目标	8
§ 1-5 地震的破坏作用	11
§ 1-6 建筑抗震设计的基本要求	14

## 第 2 章 场地、地基与基础

§ 2-1 场地	18
§ 2-2 地震时地面运动特性	21
§ 2-3 天然地基与基础	28
§ 2-4 液化土地基	30
§ 2-5 桩基的抗震验算	42
§ 2-6 软弱黏性土地基	44

## 第 3 章 地震作用与结构抗震验算

§ 3-1 概述	46
§ 3-2 单质点弹性体系的地震反应	46
§ 3-3 单质点弹性体系水平地震作用——反应谱法	50
§ 3-4 多质点弹性体系的地震反应	59
§ 3-5 多质点体系水平地震作用和地震效应	68
§ 3-6 地震作用反应时程分析法原理	76
§ 3-7 考虑水平地震作用扭转影响的计算	82
§ 3-8 竖向地震作用的计算	83
§ 3-9 结构自振周期和振型的近似计算	87
§ 3-10 地震作用计算的一般规定	101
§ 3-11 结构抗震验算	102

## 第 4 章 钢筋混凝土框架、抗震墙与框架-抗震墙房屋

§ 4-1 概述	107
§ 4-2 震害及其分析	108
§ 4-3 抗震设计一般规定	109
§ 4-4 框架、抗震墙和框架-抗震墙结构水平地震作用的计算	115
§ 4-5 框架结构内力和侧移的计算	117
§ 4-6 抗震墙结构内力和侧移的计算	154

§ 4-7 框架-抗震墙结构内力和侧移的计算 .....	222
§ 4-8 框架梁、柱与节点的抗震设计 .....	259
§ 4-9 抗震墙截面设计 .....	269
§ 4-10 抗震构造措施 .....	273

## 第 5 章 多层砌体房屋

§ 5-1 概述 .....	282
§ 5-2 震害及其分析 .....	282
§ 5-3 抗震设计一般规定 .....	285
§ 5-4 多层砌体房屋抗震验算 .....	287
§ 5-5 抗震构造措施 .....	304

## 第 6 章 底部框架-抗震墙、多层内框架砖砌房屋

§ 6-1 概述 .....	312
§ 6-2 震害及其分析 .....	312
§ 6-3 抗震设计一般规定 .....	314
§ 6-4 房屋抗震验算 .....	315
§ 6-5 抗震构造措施 .....	327

## 第 7 章 单层钢筋混凝土柱厂房

§ 7-1 震害及其分析 .....	329
§ 7-2 抗震设计一般规定 .....	331
§ 7-3 单层厂房抗震计算 .....	333
§ 7-4 抗震构造措施 .....	365

附录 A 我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度 和设计地震分组 .....	370
--	-----

附录 B 框架结构和框架-剪力墙结构基本周期实测值 .....	383
---------------------------------	-----

参考文献 .....	384
------------	-----

# 第1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使深部岩石的应变超过容许值，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，一般简称地震。

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<sup>①</sup>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。例如，1976年7月28日的唐山大地震，震源深度为11km；而1999年9月21日的台湾大地震，震源深度仅为1.1km。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。



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。

## § 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

<sup>①</sup> 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。

向四周传播，这种波就称为地震波。

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；

$\mu$ ——介质的泊松比；

$\rho$ ——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。

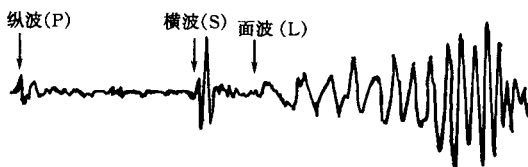


图 1-2 地震曲线图

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。

## 二、震级

衡量一次地震释放能量大小的等级，称为震级，用符号  $M$  表示。

由于人们所能观测到的只是地震波传播到地表的振动，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的振幅大小来度量地震震级。1935年里克特（C.F. Richter）首先提出了震级的定义，即：震级系利用标准地震仪（指周期为0.8s，阻尼系数为0.8，放大倍数为2800的地震仪）距震中100km处记录的以微米（ $1\mu\text{m} = 1 \times 10^{-3}\text{mm}$ ）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（ $\mu\text{m}$ ）。

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。相对震中而言，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）<sup>①</sup>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。

1999年由国家地震局颁布实施的《中国地震烈度表》（GB/T 17742—1999），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

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．北京：地震出版社，1981

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（GB/T 17742—1999）》参见表 1-1。

中国地震烈度表（GB/T 17742—1999）

表 1-1

烈度	在地面上人的感觉	房屋震害程度		其他震害现象	水平向地面运动	
		震害现象	平均震害指数		峰值加速度 (m/s <sup>2</sup> )	峰值速度 (m/s)
I	无感					
II	室内个别静止中人有感觉					
III	室内少数静止中人有感觉	门、窗轻微作响		悬挂物微动		
IV	室内多数人、室外少数人有感觉，少数人梦中惊醒	门、窗作响		悬挂物明显摆动，器皿作响		
V	室内普遍、室外多数人有感觉，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，有檐瓦掉落，个别屋顶烟囱掉砖		不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~0.44)	0.03 (0.02~0.04)
VI	多数人站立不稳，少数人惊逃户外	损坏——墙体出现裂缝，檐瓦掉落，少数屋顶烟囱裂缝、掉落	0~0.10	河岸和松软土出现裂缝，饱和砂层出现喷砂冒水；有的独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)
VII	大多数人惊逃户外，骑自行车的人有感觉，行驶中的汽车驾乘人员有感觉	轻度破坏——局部破坏，开裂，小修或不需要修理可继续使用	0.11~0.30	河岸出现坍方；饱和砂层常见喷砂冒水，松软土地地裂缝较多；大多数独立砖烟囱中等破坏	1.25 (0.90~1.77)	0.13 (0.10~0.18)
VIII	多数人摇晃颠簸，行走困难	中等破坏——结构破坏，需要修复才能使用	0.31~0.50	干硬土上亦出现裂缝；大多数独立砖烟囱严重破坏；树梢折断；房屋破坏导致人畜伤亡	2.50 (1.78~3.53)	0.25 (0.19~0.35)
IX	行动的人摔倒	严重破坏——结构严重破坏，局部倒塌，修复困难	0.51~0.70	干硬土上出现许多地方有裂缝；基岩可能出现裂缝、错动；滑坡坍方常见；独立砖烟囱许多倒塌	5.00 (3.54~7.07)	0.50 (0.36~0.71)
X	骑自行车的人会摔倒，处不稳状态的人会摔离原地，有抛起感	大多数倒塌	0.71~0.90	山崩和地震断裂出现；基岩上拱桥破坏；大多数独立砖烟囱从根部破坏或倒毁	10.00 (7.08~14.14)	1.00 (0.72~1.41)

续表

烈度	在地面上人的感觉	房屋震害程度		其他震害现象	水平向地面运动	
		震害现象	平均震害指数		峰值加速度 (m/s <sup>2</sup> )	峰值速度 (m/s)
XI		普遍倒塌	0.91 ~ 1.00	地震断裂延续很长; 大量山崩滑坡		
XII				地面剧烈变化, 山河改观		

- 注: 1. 表中的数量词: “个别”为10%以下; “少数”为10%~50%; “多数”为50%~70%; “大多数”为70%~90%; “普遍”为90%以上。
2. 用本标准评定烈度时, I度~V度以地面上人的感觉及其他震害现象为主; VI度~X度以房屋震害和其他震害现象综合考虑为主, 人的感觉仅供参考; XI度~XII度以地表震害现象为主。
3. 在高楼上人的感觉要比地面上室内人的感觉明显, 应当适当降低评定值。
4. 表中房屋为未经抗震设计或加固的单层或数层混砖和砖木房屋。相对建筑质量特别差或特别好以及地基特别差或特别好的房屋, 可根据具体情况, 对表中各烈度相应的震害程度和平均震害指数予以提高或降低。
5. 平均震害指数可以在调查区域内用普查或随机抽查的方法确定。
6. 在农村可按自然村为单位, 在城镇可按街区进行烈度的评定, 面积以1km<sup>2</sup>左右为宜。
7. 凡有地面强震记录资料的地方, 表列水平向地面峰值加速度和峰值速度可作为综合评定烈度的依据。

## (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(1999)》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</i>	破坏程度级别	破坏程度	震害等级 <i>i</i>
I	全部倒塌	1.0	IV	局部倒塌	0.4
II	大部倒塌	0.8	V	裂缝	0.2
III	少部倒塌	0.6	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:

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

式中  $n_i$ ——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,  $N_j = \sum_{k=1}^m (n_i)_k$ 。

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。

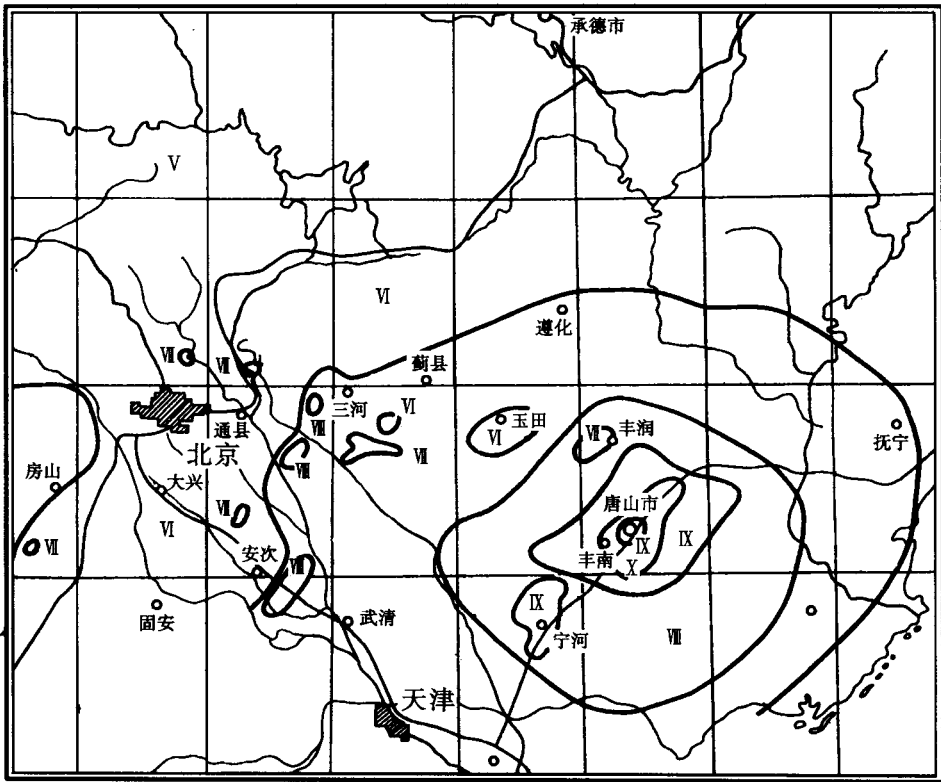


图 1-3 唐山地震等烈度线

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，就要给出其他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<sup>①</sup>

① 我国南方所采用的一种老式房屋。



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。至于其他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。

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  $R$  (km) 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:

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

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。

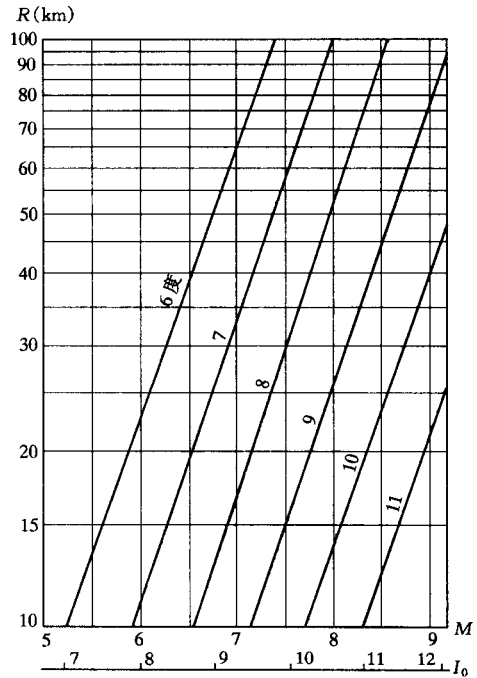


图 1-4 等烈度区的划分

## § 1-3 地震基本烈度和地震烈度区划图

### 一、地震基本烈度

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,采用概率方法预测某地区未来一定时间内可能发生的最大烈度是具有实际意义的。因此,国家有关部门提出了基本烈度的概念。

一个地区的基本烈度是指该地区在今后 50 年期限内,在一般场地条件下<sup>①</sup>可能遭遇超越概率为 10% 的地震烈度。

### 二、地震烈度区划图

① 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。