

房屋结构 抗震设计

(第三版)

郭继武 倪吉昌

建筑结构基本知识丛书

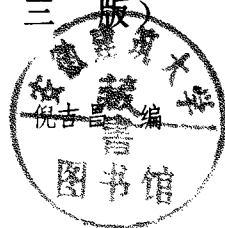
561
03

建筑结构基本知识丛书

房屋结构抗震设计

(第三版)

郭继武



中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书是《建筑结构基本知识丛书》(第三版)之一。是参照新的国家标准《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)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,以及砌体结构房屋,底层框架和多层内框架砖房,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,书中附有一定数量的典型例题,供读者参考。

本书可供具有初中以上文化水平的基本建设部门职工和青年自学参考,也可作为职工培训用书。

建筑结构基本知识丛书

房屋结构抗震设计

(第三版)

郭继武 倪吉昌 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市密云县印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 7¹/₈ 字数: 159 千字

1994年3月第三版 1994年3月第六次印刷

印数: 168,131—172,230册 定价: 3.70元

ISBN 7-112-02227-4/TU·1716

(7247)

丛书第三版出版说明

为满足广大建筑职工自学的需要，我社1976年组织出版了一套《建筑结构基本知识丛书》包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的知识，按专题分册出版，共十三分册，每册力求重点突出，并有一定独立性，读者可根据需要选读。从书自出版以来，深受广大读者的欢迎和关怀，各分册先后重印四、五次，有的印数达30多万册。

随着经济建设和建筑技术的发展，广大建筑职工和青年学习建筑结构知识的要求进一步提高。原《建筑结构基本知识丛书》的内容，虽经1980年间修订一次，但目前已不能满足读者的需要。为此，我们组织力量对“丛书”再次修订。这次修订，一方面保持原来的编写目的和原则，另一方面根据建筑技术发展和读者要求，深度起点不变，仍以适合初中毕业文化程度的读者能读懂为基础，而对原丛书的内容加以扩展、提高和调整，使读者学完后，能基本上达到中专毕业水平。同时，丛书以1989年新颁布的各种建筑结构规范为依据，并采用国务院颁布的“法定计量单位”。为了增强便于自学的特点，并适应广大乡镇建筑职工学以致用的需要，各分册中均加强概念和例题的联系，尽量补充应用实例，并注意某些带有专题性内容的介绍。这次第三版丛书新增加了“烟囱”、“水池”、“多层框架结构”、“结构动力学基础”等分册。今后将根据需要与可能，再作适当补充。

丛书的修订工作绝非尽善尽美，一定有不少缺点错误，望读者提出意见，以助不断完善。

目 录

第 1 章	抗震设计原则	1
1-1	构造地震	1
1-2	地震波、震级和地震烈度	2
1-3	基本烈度、近震和远震	8
1-4	建筑分类、建筑设防标准及 设防目标	12
1-5	地震破坏现象	17
1-6	地震设计的基本要求	22
第 2 章	场地、地基和基础	27
2-1	场地	27
2-2	强震地面运动	32
2-3	地基基础抗震验算	33
2-4	场地土的液化	36
2-5	软弱粘性土地基和不均匀地基	49
第 3 章	地震作用和结构抗震验算	51
3-1	概述	51
3-2	单质点弹性体系的地震反应	52
3-3	单质点弹性体系水平地震作用的计算 ——反应谱法	57
3-4	多质点弹性体系水平地震作用的计算	67
3-5	竖向地震作用的计算	75
3-6	地震作用计算的一般规定	78
3-7	结构抗震验算	79
第 4 章	多层砌体房屋	86
4-1	概述	86

4-2	震害及其分析	87
4-3	抗震设计一般规定	91
4-4	多层砌体房屋抗震验算	94
4-5	抗震构造措施	120
第 5 章	底层框架和多层内框架砖房	133
5-1	震害及其分析	134
5-2	抗震设计一般规定	136
5-3	房屋抗震验算	137
5-4	抗震构造措施	150
第 6 章	单层钢筋混凝土柱厂房	152
6-1	震害及其分析	152
6-2	抗震设计一般规定	156
6-3	单层厂房抗震设计计算	157
6-4	抗震构造措施	215

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（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（参见图1-1），一般把震源深度小于60km的震源称为浅源地震；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。

震源在地面上的垂直投影点称为震中。震中邻近地区称为震中区，在地震影响范围内，地表某处与震中的距离称为震中距。

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。

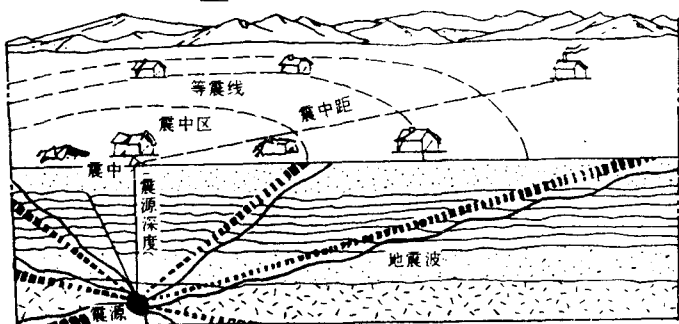


图 1-1 地震术语示意图

1-2 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空间位置不同，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 $200 \sim 1400 \text{ m/s}$ 。纵波引起地面垂直方向的振动。

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，在地壳内它的速度一般为 $100\sim 800\text{m/s}$ ，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。

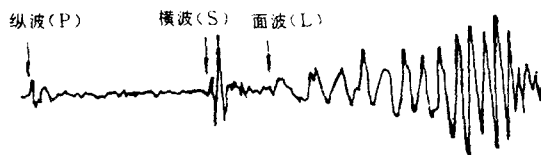


图 1-2 地震曲线图

二、震级

地震的震级是衡量一次地震所释放能量大小的尺度，用符号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年里希特首先提出了震级的定义：震级大小系利用标准地震仪（指固有周期为 0.8s ，阻尼系数 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 的常用对数值:

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

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图上的最大振幅 $A = 10\text{mm}$ (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, 应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, 当地震震级相差1级时, 地面振幅增加约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, 统称为破坏地震; $M = 7 \sim 8$ 的地震称为强烈地震; $M > 8$ 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，总结出的宏观烈度来评定地震烈度。我国早期的“新中国地震烈度表”(1957)●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)》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、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。

图1-3为1976年唐山地震的等震线。

● 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 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、	损坏一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	大多数入仓惶逃出	轻度破坏一局部破坏、开裂、但不妨碍使用	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)

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)
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。平均震害指数指所在房屋的震害指数的总平均值而言, 可以用普查式抽查方法确定;
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。

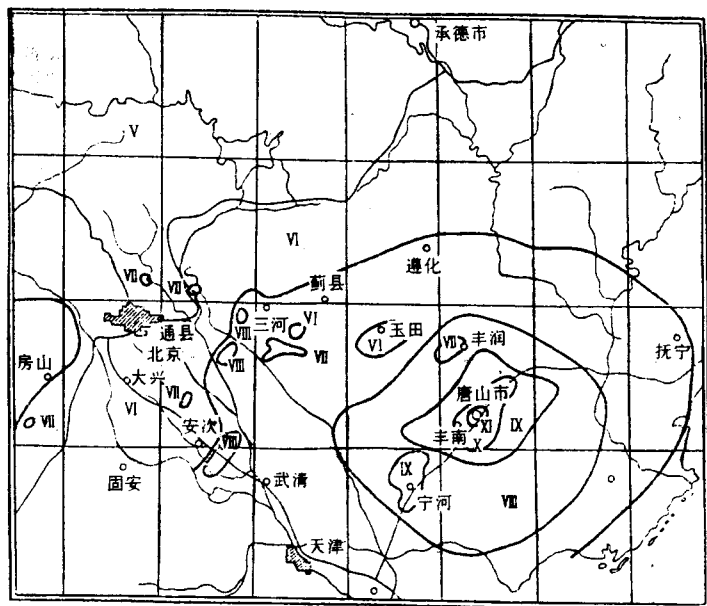


图 1-3 唐山地震等烈度线 (1976)

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：

$$I = 0.92 + 1.63M - 3.94 \lg R \quad (1-3)$$

式中 I ——地震烈度；

M ——地震震级；

R ——震中距。

1-3 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具有工程意义的。为此，《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)●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●，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●，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)。

二、设计近震和设计远震

近年来的地震经验表明，某地区当遭受到来自大小不同的震级的地震，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自振周期长的高柔结构的破坏，比同样宏观烈度的震级较小、震中距较近的破坏重。对自振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，震级大的地震，其振幅大，持续时间长，地震波中低频分量多。而震级小的地震，其振幅小，持续时间短，地震波中高频分量多。

● 以下简称规范。

● 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。

● 该图未包括我国海域部分及小的岛屿。

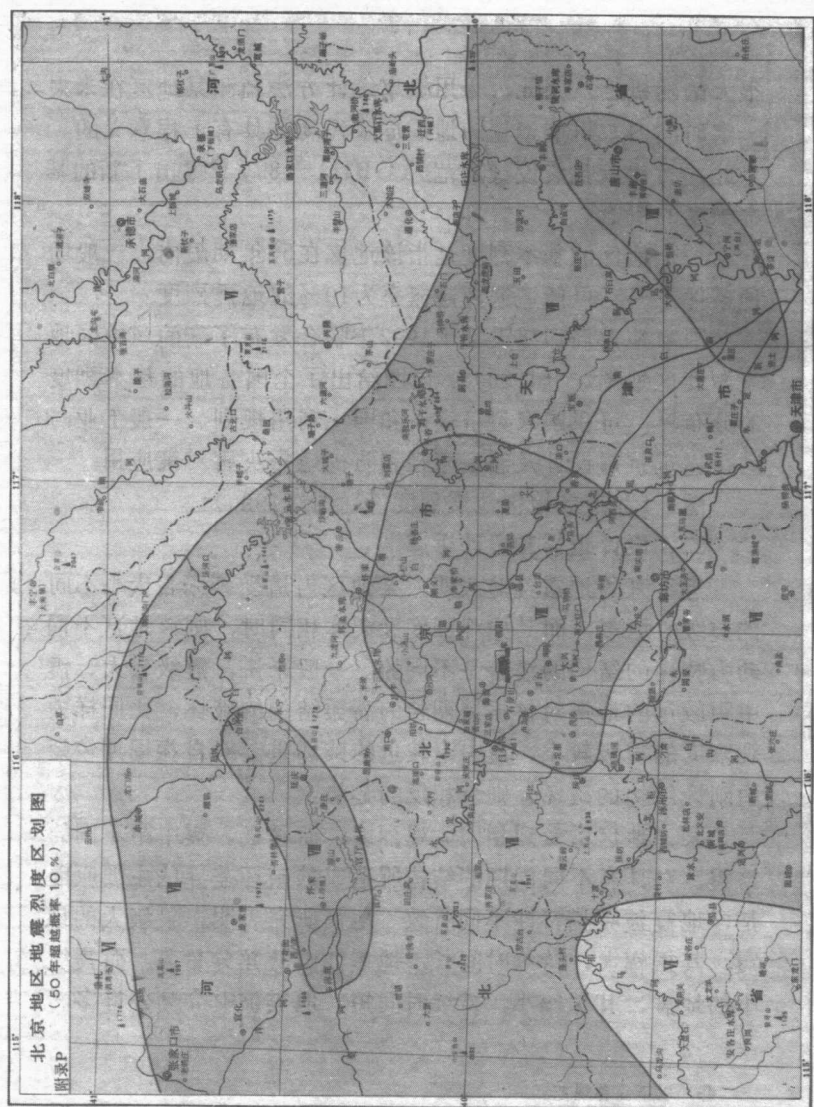


图 1-4 我国部分地区地震烈度区划图 (1990)

地震波中的高频分量随传播距离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。因此，长周期的高柔结构的地震反应就大。而震级小，震中距短的地震波高频分量多，且在传播过程中没被衰减或衰减很少。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》规定：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，接近震考虑；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)。

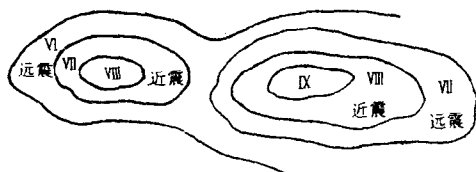


图 1-5 近震与远震的划分

根据上述原则，从现行的比例尺为1:400万的《中国基本烈度区划图》(1990)上，确定以下地区要考虑远震，其余地区接近震考虑：

8度远震：独山子、泸定、石棉。

7度远震：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度远震：赤峰、济宁、青岛、济南、潍坊、阳泉、安