

「 21世纪建筑工程实用技术丛书 」

按新规范GB 50011-2010编写

建筑结构抗震

郭继武 编著


清华大学出版社

「21世纪建筑工程实用技术丛书」

按新规范GB 50011-2010编写

建筑结构抗震

郭继武 编著



清华大学出版社
北京

内 容 提 要

我国新版《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)于2010年12月1日开始实施。为了满足教学需要和广大读者对新规范的学习,参照新规范有关内容,编写了《建筑结构抗震》一书。本书是“21世纪建筑工程实用技术丛书”之一。本书主要介绍了建筑结构在地震作用下动力反应的计算以及建筑结构抗震计算原理。内容包括:抗震设计原则,场地、地基与基础,地震作用与结构抗震验算,钢筋混凝土框架房屋、多层砌体房屋。特别对新版抗震规范的一些新的内容作了必要的解释和说明。为了更好地理解书中所叙述的概念和规范有关条文,列举了一些有代表性的实例,供读者参考。

本书可作为高职高专及职业技术学院土木工程专业教材,也可作为工程设计、施工技术人员学习新规范的参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震/郭继武编著.--北京:清华大学出版社,2012.6

(21世纪建筑工程实用技术丛书)

ISBN 978-7-302-28975-3

I. ①建… II. ①郭… III. ①建筑结构—抗震设计—高等职业教育—教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第115569号

责任编辑:秦娜

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14 插 页:1 字 数:337千字

版 次:2012年6月第1版

印 次:2012年6月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00元

产品编号:044059-01

编 委 会

顾 问：郭继武

主 编：纪士斌

副主编：张福成

编 委：杨金铎 边 境 柳素霞 赵立新

闫立红 纪 婕 于英武

丛书总序

本套丛书是根据国家提出的《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，实施加强职业技术教育，提高高等职业和高等专科学校人才的培养质量，尽快满足建设类专业基层高素质技术管理干部的需要，本着建筑工程实用性原则而编写的。

为适应我国建筑类高等职业技术教育的发展，培养建筑工程高级技术型人才的需要，清华大学出版社组织多年从事建筑类高等职业技术专科教育，有丰富教学和实践经验的北京建筑工程学院、北京市建设职工大学等院校的教师和施工单位的工程技术人员编写了一套《21 世纪建筑工程实用技术丛书》，供高职、高专和职业技术学院建筑类专业教学应用，也可作为建设行业工程技术人员提高建筑专业知识的参考书。

本套丛书包括《建筑制图与识图》、《房屋构造》、《建筑力学》、《建筑材料》、《建筑工程测量》、《混凝土结构基本构件》、《房屋地基基础》、《建筑结构抗震》、《建筑施工技术》、《建筑施工组织与管理》、《建筑工程造价》和《建筑工程法律法规》共 12 本，均按国家现行标准并采用我国法定计量单位编写。本套丛书的主要特点是内容丰富、深入浅出、重点明确、理论联系实际，并编入新材料、新技术、新工艺和新设备四新的内容。书中附有必要的例题、案例，每章后还有思考题和习题，供读者参考。

由于时间紧迫，又限于编者水平，书中难免有疏漏之处，恳请业内同仁和读者提出批评指正。

《21 世纪建筑工程实用技术丛书》编委会

2012 年 3 月

我国新版《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(以下简称《抗震规范》)已于 2010 年 12 月 1 日开始实施。新版抗震规范较“2001 规范”在技术水平上有了较大的提高和发展,内容更加充实和完善,反映了我国近 10 年来建筑抗震的新技术和设计经验。

为了满足教学需要和广大读者对新规范的学习,根据高职高专土建专业的教学大纲,并参照新规范有关内容,编写了《建筑结构抗震》一书。它是清华大学出版社出版的“21 世纪建筑工程实用技术丛书”之一。

本书主要介绍了建筑结构在地震作用下动力反应的计算以及建筑结构抗震计算原理。全书共分 5 章,内容包括:抗震设计原则,场地、地基与基础,地震作用与结构抗震验算,钢筋混凝土框架房屋,多层砌体房屋。

在编写本书过程中,力求做到由浅入深、循序渐进、理论联系实际。在解释和说明规范的一些条文、公式时,力求简明扼要、便于理解,特别是对规范以下的一些内容从不同的角度进行了解释和说明:

- (1) 对土的液化初步判别式作了较详细的解释,并对初步判别式的图解作了说明。
- (2) 对土的液化判别标准贯入锤击数临界值公式中的系数来源作了说明和推证。
- (3) 对底部剪力法等效重力荷载系数 0.85 的来源作了说明,并给出了相应的计算公式。
- (4) 对《抗震规范》取竖向等效重力荷载系数为 0.75 的来源作了说明,并发现它相当于将高层建筑、烟囱和高耸结构看作是等截面、质量均匀直杆的等效重力荷载系数。
- (5) 划分钢筋混凝土房屋抗震等级的目的在于,对不同的抗震等级房屋采取不同的抗震措施。因此,在应用《抗震规范》中表 6.1.1 确定钢筋混凝土房屋抗震等级的烈度时,应按《建筑工程抗震设防分类标准》的 3.0.3 条,在各抗震设防类别建筑的抗震设防标准中采用抗震措施要求的设防烈度。
- (6) 给出了框架结构最不利内力组合的简洁计算公式。
- (7) 对砌体强度正应力影响系数 ζ_N 的公式进行了推证,并对《抗震规范》 ζ_N 值表进行了细化。

为了更好地理解书中所叙述的概念和规范的有关条文,列举了一些有代表性的实例,供读者参考。在编写本书时,参考了公开发表的一些文献和专著,谨向这些作者表示感谢。

由于编者水平所限,书中可能有疏漏之处,特别是有些看法仅为一孔之见,请读者不吝指正。

编者

2012 年 4 月

第 1 章 抗震设计原则	1
1.1 构造地震	1
1.2 地震波、震级和烈度.....	2
1.2.1 地震波.....	2
1.2.2 震级.....	3
1.2.3 地震烈度、地震烈度表和平均震害指数	3
1.2.4 烈度衰减规律和等震线.....	8
1.3 地震基本烈度和地震烈度区划图	9
1.3.1 地震基本烈度.....	9
1.3.2 地震烈度区划图	10
1.4 建筑抗震设防分类、设防标准和设防目标	10
1.4.1 建筑抗震设防分类	10
1.4.2 建筑抗震设防标准和目标	11
1.4.3 小震和大震	12
1.5 建筑抗震性能设计.....	14
1.6 地震的破坏作用.....	15
1.6.1 地表的破坏现象	15
1.6.2 建筑物的破坏	16
1.7 建筑抗震设计的基本要求.....	18
1.7.1 场地、地基和基础的要求.....	19
1.7.2 选择对抗震有利的建筑平面、立面和竖向剖面.....	19
1.7.3 选择技术和经济合理的结构体系	20
1.7.4 利用计算机进行结构抗震分析	20
1.7.5 对非结构构件的要求	21
1.7.6 结构材料性能与施工的要求	21
小结	22
思考题	23
第 2 章 场地、地基与基础	24
2.1 场地.....	24

2.1.1	建筑场地类别	24
2.1.2	建筑场地评价及有关规定	27
2.2	天然地基与基础	28
2.2.1	可不进行天然地基与基础抗震承载力验算的范围	28
2.2.2	天然地基抗震承载力验算	29
2.3	液化土地基	30
2.3.1	液化的概念	30
2.3.2	影响土液化的因素	31
2.3.3	液化土的判别	32
2.3.4	液化地基的评价	39
2.3.5	地基抗液化措施	42
2.4	桩基的抗震验算	43
2.4.1	桩基不需进行验算的范围	43
2.4.2	低承台桩基的抗震验算	43
2.5	软弱黏性土地基	45
	小结	45
	思考题	45
	习题	46
第3章	地震作用与结构抗震验算	47
3.1	概述	47
3.2	单质点弹性体系的地震反应	48
3.2.1	运动方程的建立	48
3.2.2	运动方程的解答	49
3.3	单质点弹性体系水平地震作用——反应谱法	51
3.3.1	水平地震作用基本公式	51
3.3.2	地震系数 k	52
3.3.3	动力系数 β	53
3.3.4	地震影响系数	54
3.4	多质点弹性体系的地震反应	59
3.4.1	多质点弹性体系的自由振动	59
3.4.2	多质点弹性体系地震反应	65
3.5	多质点弹性体系水平地震作用和地震效应	67
3.5.1	振型分解反应谱法	67
3.5.2	底部剪力法	71
3.5.3	水平地震作用下地震内力的调整	74
3.6	竖向地震作用的计算	76
3.6.1	概述	76
3.6.2	竖向地震作用的计算	76

3.7	结构自振周期和振型的近似计算	79
3.7.1	瑞利法	79
3.7.2	折算质量法	80
3.7.3	顶点位移法	82
3.7.4	矩阵迭代法	83
3.8	地震作用计算的一般规定	92
3.8.1	各类建筑结构地震作用计算的规定	92
3.8.2	各类建筑结构的抗震计算方法	92
3.9	结构抗震验算	93
3.9.1	截面抗震验算	93
3.9.2	抗震变形验算	94
3.10	结构抗震性能设计	97
	小结	98
	思考题	99
	习题	99
第4章	钢筋混凝土框架房屋	100
4.1	概述	100
4.2	震害及其分析	101
4.2.1	框架梁、柱的震害	101
4.2.2	填充墙的震害	101
4.2.3	地基和其他原因造成的震害	102
4.3	抗震设计的一般规定	102
4.3.1	房屋最大适用高度	102
4.3.2	结构抗震等级	102
4.3.3	建筑形体及其构件布置的规则性	104
4.3.4	防震缝的设置	106
4.3.5	结构的布置	107
4.4	框架结构水平地震作用的计算	108
4.5	框架结构内力和侧移的计算	109
4.5.1	水平荷载作用下框架内力和侧移的计算	109
4.5.2	重力荷载作用下框架内力的计算	129
4.5.3	控制截面及其内力不利组合	134
4.6	框架梁、柱与节点的抗震设计	146
4.6.1	一般设计原则	146
4.6.2	框架梁的设计	147
4.6.3	框架柱的设计	150
4.6.4	框架节点设计	154
4.7	框架结构抗震构造措施	156

4.7.1	梁、柱及节点核心区箍筋的配置	156
4.7.2	钢筋的锚固与接头	159
4.7.3	框架填充墙的构造要求	161
小结	.....	161
思考题	.....	161
习题	.....	162
第 5 章	多层砌体房屋	163
5.1	概述	163
5.2	震害及其分析	164
5.3	抗震设计的一般规定	166
5.3.1	多层砌体房屋的层数和高度	166
5.3.2	房屋最大高宽比的限制	166
5.3.3	抗震横墙间距的限制	167
5.3.4	房屋局部尺寸的限制	167
5.3.5	多层砌体房屋的建筑布置和结构体系	168
5.4	多层砌体房屋抗震验算	168
5.4.1	水平地震作用的计算	168
5.4.2	楼层地震剪力及其在各墙体上的分配	169
5.4.3	墙体截面抗震承载力验算	174
5.5	抗震构造措施	186
5.5.1	多层砖砌体房屋抗震构造措施	186
5.5.2	多层砌块房屋抗震构造措施	192
小结	.....	194
思考题	.....	194
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	195
附录 B	框架结构基本周期实测值	209
参考文献	.....	210

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^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。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来的能量,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。

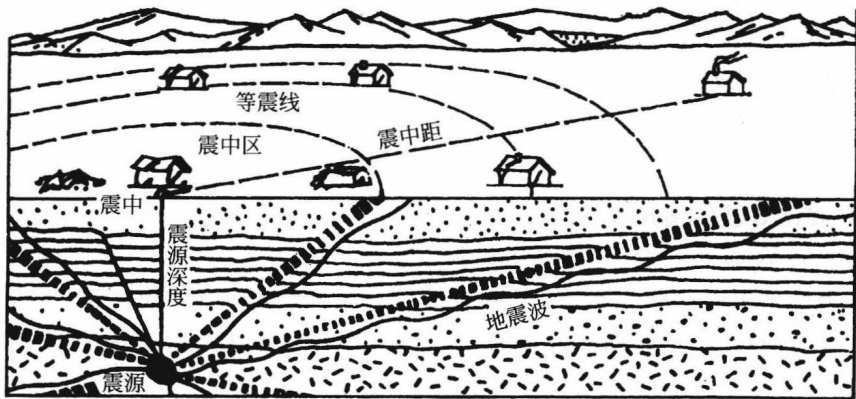


图 1-1 地震术语示意图

^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。

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

1.2.1 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位置不同，分为体波和面波。

1. 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，在地壳内的波速一般为 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。

2. 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 波到达的时间差，可确定震源的距离。

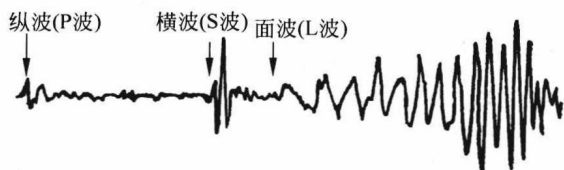


图 1-2 地震曲线图

1.2.2 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。

一般来说, $M < 2$ 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。

1.2.3 地震烈度、地震烈度表和平均震害指数

1. 地震烈度、地震烈度表

地震烈度是指地震时在一定地点引起的地面震动及其影响的强弱程度。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与破坏程度等,总结出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指标,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,使人们有可能记录到地面运动参数,如地面运动加速度峰值、速度峰值来定义地震烈度,从而出现了含有物理指标的定量烈度表。由于不可能随处取得地震仪记录,因此,用定量烈度表评定地震现场的地震烈度还有一定困难。比较好的方法是将两种烈度表结合起来,使之兼有两种功能,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,该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的功能。

《中国地震烈度表》(GB/T 17742—1999)自发布实施以来,在地震烈度评定中发挥了重要作用。由于国家经济发展,城乡房屋结构发生了很大变化,抗震设防的建筑比例增加。因此,由中国地震局对《中国地震烈度表》(GB/T 17742—1999)进行了修订,并由国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会联合发布了新的《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008),参见表 1-1。

表 1-1 中国地震烈度表(GB/T 17742—2008)

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度 m/s ²	峰值速度 m/s
I	无感	—	—	—	—	—	—
II	室内个别静止中的人有感觉	—	—	—	—	—	—
III	室内少数静止中的人有感觉	—	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	室内绝大多数、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,个别房屋墙体抹灰出现细微裂缝,个别屋顶烟囱掉砖	—	悬挂物大幅度晃动,不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~0.44)	0.03 (0.02~0.04)

① 参见北京建筑工程学院,南京工程学院合编. 建筑结构抗震设计. 北京:地震出版社,1981.

续表

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度 m/s ²	峰值速度 m/s
VI	多数人站立不稳,少数人惊逃户外	A	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好	0.00~0.11	家具和物品移动;河岸和松软土出现裂缝,饱和砂层出现喷砂冒水;个别独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)
		B	个别中等破坏,少数轻微破坏,多数基本完好				
		C	个别轻微破坏,大多数基本完好	0.00~0.08			
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	A	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.09~0.31	物体从架子上掉落;河岸出现塌方,饱和砂层常见喷砂冒水,松软土上裂缝较多;大多数独立砖烟囱中等破坏	1.25 (0.90~1.77)	0.13 (0.10~0.18)
		B	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好				
		C	少数中等和/或轻微破坏,多数基本完好	0.07~0.22			
VIII	多数人摇晃颠簸,行走困难	A	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏	0.29~0.51	干硬土上出现裂缝,饱和砂层绝大多数喷砂冒水;大多数独立砖烟囱严重破坏	2.50 (1.78~3.53)	0.25 (0.19~0.35)
		B	个别毁坏,少数严重破坏,多数中等和/或轻微破坏				
		C	少数严重和/或中等破坏,多数轻微破坏	0.20~0.40			
IX	行动的人摔倒	A	多数严重破坏和/或毁坏	0.49~0.71	干硬土上多处出现裂缝,可见基岩裂缝、错动,滑坡、塌方常见;独立砖烟囱多数倒塌	5.00 (3.54~7.07)	0.50 (0.36~0.71)
		B	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏				
		C	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.38~0.60			

续表

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度 m/s ²	峰值速度 m/s
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	A	绝大多数毁坏	0.69~0.91	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)
		B	大多数毁坏				
		C	多数毁坏和/或严重破坏	0.58~0.80			
XI	—	A	绝大多数毁坏	0.89~1.00	地震断裂延续很大;大量山崩滑坡	—	—
		B		0.78~1.00			
		C					
XII	—	A	几乎全部毁坏	1.00	地面剧烈变化,山河改观	—	—
		B					
		C					

注:表中给出的“峰值加速度”和“峰值速度”是参考值,括号内给出的是变动范围。

现将新的地震烈度表的内容和查表时注意事项简述如下。

1) 地震烈度评定指标

新的烈度表规定了地震烈度的评定烈度指标,包括人的感觉、房屋震害程度、其他震害现象、水平向地震动参数。

2) 地震烈度等级

地震烈度仍划分为 12 等级,分别用罗马数字 I、II、…、XII 表示。

3) 数量词的界定

数量词采用个别、少数、多数、大多数和绝大多数,其范围界定如下:

- (1) 个别为 10% 以下;
- (2) 少数为 10%~45%;
- (3) 多数为 40%~70%;
- (4) 大多数为 60%~90%;
- (5) 绝大多数为 80% 以上。

4) 评定烈度的房屋类型

用于评定烈度的房屋,包括以下三种类型:

- (1) A 类:木构架和土、石、砖墙建造的旧式房屋;
- (2) B 类:未经抗震设防的单层或多层砖砌体房屋;
- (3) C 类:按照 VII 度抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。

5) 房屋破坏等级及其对应的震害指数

房屋破坏等级分为:基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏五类,其定义和对应的震害指数见表 1-2。

表 1-2 建筑破坏等级与震害指数

破坏等级	震害程度	震害指数 d
基本完好	承重构件和非承重构件完好,或个别非承重构件轻微损坏,不加修理可继续使用	$0.00 \leq d < 0.10$
轻微破坏	个别承重构件出现可见裂缝,非承重构件有明显裂缝,不需要修理或稍加修理即可继续使用	$0.10 \leq d < 0.30$
中等破坏	多数承重构件出现轻微裂缝,部分有明显裂缝,个别非承重构件破坏严重,需要一般修理后方可使用	$0.30 \leq d < 0.55$
严重破坏	多数承重构件破坏较为严重,非承重构件局部倒塌,房屋修复困难	$0.55 \leq d < 0.85$
毁坏	多数承重构件严重破坏,房屋结构濒临崩溃或已倒毁,已无修理可能	$0.85 \leq d < 1.00$

6) 地震烈度评定

(1) 评定地震烈度时, I ~ V 度应以地面上以及底层房屋中人的感觉和其他震害现象为主; VI ~ X 度应以房屋震害为主,参照其他震害现象,当用房屋震害程度与平均震害指数评定结果不同时,应以震害程度评定结果为主,并综合考虑不同类型房屋的平均震害指数; XI 度和 XII 度应综合房屋震害和地表震害现象。

(2) 以下三种情况的地震烈度评定结果,应作适当调整:

① 当采用高楼上人的感觉和器物反应评定地震烈度时,适当降低评定值;

② 当采用低于或高于 VII 度抗震设计房屋的震害程度和平均震害指数评定地震烈度时,适当降低或提高评定值;

③ 当采用建筑质量特别差或特别好房屋的震害程度和平均震害指数评定地震烈度时,适当降低或提高评定值。

(3) 当计算的平均震害指数值位于表 1-1 中地震烈度对应的平均震害指数重叠搭接区间时,可参照其他判别指标和震害现象综合判定地震烈度。

(4) 农村可按自然村,城镇可按街区为单位进行地震烈度评定,面积以 1km^2 为宜。

(5) 当有自由场地强震动记录时,水平向地震动峰值加速度和峰值速度可作为综合评定地震烈度的参考指标。

2. 平均震害指数

由于建筑种类不同,结构类型各异,所以,如何评定某一地区房屋的震害程度,做出比较符合实际的数量统计,以便正确地应用地震烈度表评定出宏观烈度,这是一个十分重要的问题。

《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008)采用“平均震害指数”确定房屋的宏观烈度。所谓平均震害指数,是指同类房屋震害指数的加权平均值,即

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^5 d_i n_i \quad (1-6)$$

若令 $\lambda_i = \frac{n_i}{N}$, 则平均震害指数又可写成:

$$D = \sum_{i=1}^5 d_i \lambda_i \quad (1-7)$$

式中: d_i ——房屋破坏等级为 i 的震害指数;