

高等学校房屋建筑专业系列教材

房屋结构抗震

王则毅 杨盛和 主编



重庆大学出版社

房屋结构抗震

王则毅 杨盛和 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书主要依据现行《建筑抗震设计规范(GBJ11—89)》及其1993年局部修订内容编写而成。书中主要阐述了房屋结构抗震设计的基本理论和基本方法,内容包括:房屋结构抗震设计的基本知识,场地、地基和基础,结构的地震反应分析和抗震验算,以及常见的多层砌体房屋和钢筋混凝土框架房屋的具体实用抗震设计方法和抗震措施。

为了便于读者掌握书中的基本理论和计算方法,书中各章均附有典型例题、思考题和习题,以供读者参考。

本书除供大专院校(包括电大、职工业大等)“房屋建筑专业”专科作教材外,还可以作为土建类非“房屋建筑专业”本科教材,亦可作教学参考书并供土建工程技术人员参考。

D294/12

房屋结构抗震

王则毅 杨盛和 主编

责任编辑 韩 洁

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆建筑大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:349 千

1999年2月第1版 1999年2月第1次印刷

印数: 1—6000

ISBN 7-5624-1712-1/TU·62 定价:17.00 元

前 言

本书是为了适应“房屋建筑专业”专科的房屋结构抗震设计课程的需要并结合编者多年教学经验编写的教材。书中突出了工程结构抗震的基本理论和基本方法,并反映了我国在结构抗震方面的科研成果及成就,旨在使读者对工程结构抗震有一个基本的了解,并能应用规范对常规的砌体结构和钢筋混凝土框架结构房屋进行抗震设计。因此,基本理论和基本方法的叙述力求深入浅出,简明扼要,密切结合现行规范,内容新,注重实用、具体,便于读者学习和应用规范。

本书第一章和第五章由杨盛和编写;第二章和第四章由石启印编写;第三章由王则毅编写。全书由盛秉志教授审阅,在审阅中提出了许多宝贵意见,编者表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,敬请读者批评赐教,不胜感谢。

编者

1998年9月

目 录

第一章 结构抗震设计基本知识	1
§ 1-1 构造地震	1
§ 1-2 地震波、震级和地震烈度	2
§ 1-3 地震震害	6
§ 1-4 工程结构的抗震设防	8
思考题	13
附录 1-1 中国地震烈度表(1980)	14
附录 1-2 中国地震烈度区划图(1990)中主要城市的基本烈度和全国重点抗震城市	15
第二章 场地、地基和基础	18
§ 2-1 场地	18
§ 2-2 地基基础的抗震验算	21
§ 2-3 地基土的液化	23
§ 2-4 地基的抗震加固处理	28
思考题	30
习题	30
第三章 结构的地震反应和抗震验算	32
§ 3-1 概述	32
§ 3-2 单自由度弹性体系的地震反应	32
§ 3-3 单自由度弹性体系的水平地震作用——反应谱法	36
§ 3-4 多自由度弹性体系的地震反应——振型分解法	42
§ 3-5 多自由度弹性体系的水平地震作用	57
§ 3-6 结构的竖向地震作用	64
§ 3-7 地震作用计算的一般规定	65
§ 3-8 结构抗震验算	66
思考题	70
习题	70
第四章 多层砌体房屋抗震设计	72
§ 4-1 概述	72
§ 4-2 震害及其分析	72
§ 4-3 建筑布置与结构选型	74

§ 4-4 多层砌体房屋的抗震验算	77
§ 4-5 多层砌体房屋的抗震构造措施	86
§ 4-6 抗震设计实例	94
思考题	99
习题	100
第五章 钢筋混凝土框架房屋抗震设计	102
§ 5-1 震害及其分析	102
§ 5-2 抗震设计一般规定	105
§ 5-3 框架结构抗震设计步骤及地震作用计算	112
§ 5-4 框架结构内力分析	116
§ 5-5 框架梁柱截面内力组合和截面及节点设计	127
§ 5-6 框架结构水平位移计算	143
§ 5-7 框架结构抗震构造措施	151
§ 5-8 底层框架砖房和多层内框架砖房抗震设计要点	171
§ 5-9 框架结构抗震设计实例	179
思考题	193
习题	194
附录 5-1 框架柱和框支柱的组合轴压力设计值 N 的限值(kN)	198
附录 5-2 框架梁、柱按实际配筋和材料强度标准值计算正截面受弯承载力计算表	200
附录 5-3 方形柱箍筋体积配箍率(%)	215
参考文献	217

第一章 结构抗震设计基本知识

§ 1-1 构造地震

地震俗称地动,是一种具有突发性的自然现象。据统计,全世界每年大约发生 500 万次地震,其中绝大多数(约占 99%)地震属于小地震,只有用灵敏的仪器才能测到,而人们能够感觉到的有感地震,仅占一年中地震总数的 1%左右,至于会造成严重破坏灾害的强烈地震则为数更少,平均每年大约发生十几次。

地震按其成因可分为:构造地震、火山地震、塌陷地震等;此外,水库蓄水或深井注水也能诱发地震。在上述诸类型地震中,构造地震的破坏性最大,影响面最广,发生次数最多(约占全球地震发生总数的 90%以上)。因此,构造地震是工程抗震研究的重点,在建筑抗震设防中所指的地震就是构造地震,简称地震,建筑抗震设计主要是进行构造地震作用下的建筑物抗震设防。

构造地震是由于地壳构造运动(岩层构造状态的变动),推挤地壳岩层,使其薄弱部位发生突然断裂和猛烈错动而引起的地面运动。岩层的这种断裂和错动,是由于其中不断加强而积聚的地应力超过了薄弱部位岩石的强度极限所致。岩层断裂、错动时,岩层中所积蓄的巨大变形能突然大量释放,引起剧烈振动,这种振动以波的形式传至地表引起地面颠簸和摇晃,这种地面运动就是所谓的地震。

构造地震与地质构造密切相关。一般说来,这种地震往往发生在地应力比较集中、构造比较脆弱的地段,即原有断层的端点或转折处、不同断层的交汇处。地球上的主要地震带就是大致分布在这种地质构造附近的一些地区。

地震开始发生的地方叫震源。构造地震的震源是指地壳深处发生岩层断裂、错动的部位。震源正上方的地面位置,或震源在地表的投影叫震中。震中附近地面运动最剧烈,也是破坏最严重的地区,叫震中区或极震区。地面上某处到震中的水平距离叫做震中距。地面上某处到震源的距离叫震源距。震源到地面(或震中)的垂直距离,称为震源深度。

按震源的深浅,地震又可分为:浅源地震、中源地震和深源地震,相应的震源深度依次为 60km 以内、60km~300km 和 300km 以上。迄今为止,所观测到的最深地震的震源深度约为 700km。世界上绝大部分地震是浅源地震,震源深度集中在 5km~20km 左右,一年中全世界所有地震释放能量的约 85%来自浅源地震。一般说来,对于同样大小的地震,当震源深度较浅时,则波及的范围较小,而破坏的程度较重;当震源深度较大时,波及的范围也较大,而破坏的程度相对较轻。例如 1960 年 2 月 29 日摩洛哥艾加迪尔城 5.8 级地震,震源深度为 3km,震中区破坏极为严重,震中烈度竟达 9 度,破坏仅局限在震中附近 8km 范围内;1974 年 4 月 22 日江苏溧阳发生了与上述震级相近的 5.5 级地震,而震源深度为 18km,震中烈度仅 7 度强,在离震中 20km 范围内有所破坏。比较两次地震可见,后者震中破坏比前者要轻得多,这是一个震

源浅、破坏重、影响范围小的典型震例。

§ 1-2 地震波、震级和地震烈度

一、地震波

地震引起的振动以波的形式从震源向各个方向传播并释放能量,这就是地震波。地震波按其在地壳中传播位置的不同,分为体波和面波。

1. 体波

体波是在地球内部传播的波,它包括两种形式的波,即纵波和横波。

在纵波由震源向外的传播过程中,其介质质点的振动方向与波的前进方向一致,使介质不断地压缩和疏松,所以纵波又称压缩波或疏密波。如在空气中传播的声波就是一种纵波。纵波的特点是周期短、振幅小。

在横波的传播过程中,其介质质点的振动方向与波的前进方向垂直,故横波又称为剪切波。横波的周期较长、振幅较大。

根据弹性理论,纵波波速 V_P 与剪切波波速 V_s 可分别按下列公式计算:

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

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

式中 E ——介质的弹性模量;

ρ ——介质的密度;

μ ——介质的泊松比;

G ——介质的剪切模量, $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ 。

在一般情况下,令 $\mu = 0.22$,可得

$$V_P = 1.67V_s \tag{1-3}$$

由此可知,纵波的传播速度比剪切波的传播速度快。根据已有资料的统计,剪切波在不同土层介质中的传播速度范围(适用于深度小于 10m 的情况)如表 1-1 所示。

表 1-1 各类土剪切波速值范围

土质类别	填土 (包括杂填土)	粘性土 (包括粉质粘土等)	砂土 (粉、中、粗)	砾石、卵石、碎石	风化岩	岩石
$V_s/(m \cdot s^{-1})$	90~270	100~450	150~500	200~500	350~500	>500

从表中可见,土层土质由软至硬,在其中传播的剪切波波速由小到大。剪切波波速在地基土动力性质评价中占有重要地位。

2. 面波

面波是沿地球表面及其附近传播的波。一般认为,面波是体波经地层界面多次反射、折射

所形成的次生波。

面波包括两种形式的波,即瑞雷波(R波)和乐甫波(L波)。瑞雷波传播时,质点在波的传播方向和地表面法向所组成的平面内作与波前进方向相反的椭圆运动,而与该平面垂直的水平方向没有振动,因而瑞雷波在地面上呈滚动形式。乐甫波传播时,质点在地平面内产生与波前进方向相垂直的运动,因而乐甫波在地面上呈蛇形运动。面波的传播速度较慢,约为剪切波波速的90%。面波振幅大而周期长,只在地表附近传播,比体波衰减慢,故能传播到很远的地方。

综上所述,地震波的传播以纵波最快,剪切波次之,面波最慢。所以在一般地震波记录图上(图1-1),纵波最先到达,剪切波次之,面波到达最晚,然而就振幅而言,后者最大。通常也把纵波称为P波(即初波),把剪切波称为S波(即次波)。利用纵波和剪切波到达的时间差 T_{sp} ,可估算出震源

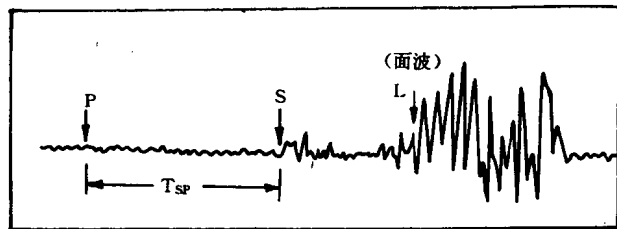


图1-1 地震波记录图

的距离。在震中区,鉴于震源机制和地面扰动的复杂性,三种波的波列几乎是难以区分的。

地震现象表明,纵波使建筑物产生上下颠簸,剪切波使建筑物产生水平方向摇晃,而面波则使建筑物既产生上下颠簸又产生左右摇晃。一般是在剪切波和面波都到达时振动最为剧烈。由于面波的能量比体波大,所以造成建筑物和地表的破坏,以面波为主。在震中区,由纵波产生的竖向振动所造成的破坏也不容忽视。

二、震级

地震的震级是表示地震本身强度的大小的尺度,是衡量地震震源释放出的总能量多少的指标。目前国际上比较通用的是里氏震级,其原始定义是1935年由美国学者里克特(C·F·Richter)给出的,即地震震级 M 为

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

式中, A 是标准地震仪(指摆的自振周期0.8s,阻尼系数0.8,放大倍数2800倍的地震仪)在距震中100km处记录到的以微米($1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$)为单位的最大水平地动位移(单振幅); $\lg A$ 为 A 的常用对数值。例如,在距震中100km处地震仪记录的振幅是1mm,即1000 μm ,其对数为3,根据定义,这次地震就是3级。

震级与地震释放的能量 E (尔格)之间有如下关系:

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

由此可知,震级每差一级,地震释放的能量就相差32倍之多。一个6级地震所释放出的能量为 6.31×10^{20} 尔格,相当于一个两万吨级的原子弹所释放的能量。

实际中,当距震中不是100km和采用非标准地震仪时,需按修正后的相应震级计算公式确定震级。

一般地说,小于2级的地震,人们感觉不到,只有仪器才能记录下来,叫做微震;2~4级地震,人就感觉到了,叫有感地震;5级以上地震就要引起不同程度的破坏,统称为破坏性地震;7

级以上的地震,则称为强烈地震或大地震;8级以上的地震,称为特大地震。1960年5月22日发生在智利的8.5级地震,是陆地上记录到的世界上最大一次地震。

三、地震烈度

地震烈度是指某一地区的地面和各类建筑物遭受到一次地震影响的强弱程度,是衡量地震引起的后果的一种度量。对于一次地震来说,震级只有一个,但它对不同地点的影响是不一样的。一般地说,震中区地震影响最大,震中烈度最高;距震中越远,地震影响越小,烈度越低;反之,距震中越近,烈度就越高。此外,地震烈度还与地震震级、震源深度、地震波传递介质、表土性质、建筑物动力特性、施工质量等诸多因素有关。在某一烈度区里,有时会因局部场地的地形、地质条件等的影响,出现局部烈度较高或较低的“烈度异常区”。值得注意的是,地震震级和烈度是完全不同的概念,两者的关系,可用炸弹来比喻,震级好比炸弹的装药量,烈度则是炸弹爆炸对周围不同地点造成的破坏程度。

1. 地震烈度表

地震烈度表是评定烈度大小的标准和尺度,它是根据地震时人的感觉、器物的反应、建筑物破损程度和地貌变化特征等宏观现象综合判定划分的。目前除日本采用从0到7的8个等级划分外,我国和世界绝大多数国家采用1~12等级划分的地震烈度表。1980年由国家地震局颁布实施的《中国地震烈度表(1980)》见本章附录1-1。宏观烈度的评定具有综合或平均、粗略、主观判断的特点,缺乏具体的物理指标作为依据。不过,它不仅是区分地震区遭受地震影响的标度,而且对于处理历史地震资料、研究地震活动等方面有重要作用。

2. 震中烈度与震级的关系

一般说来,震中烈度是地震大小和震源深度两者的函数。但是,对于发生最多的浅源地震,当震源深度为10km~30km时,可近似认为震源深度不变,震中烈度 I_0 只与震级 M 有关,两者的大致对应关系如表1-2所示。

表 1-2 震中烈度与震级的大致对应关系

震级 M	2	3	4	5	6	7	8	8 以上
震中烈度 I_0	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

3. 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遭遇的最大烈度是具有工程意义的。为此,提出了基本烈度的概念。

一个地区的地震基本烈度是指该地区在设计基准期50年内,一般场地条件下,可能遭遇超越概率为10%的地震烈度值,即现行《中国地震烈度区划图(1990)》规定的烈度。

上述一般场地条件是指该地区内普遍分布的地基土质条件及一般地形、地貌和地质构造条件。

国家地震局于1992年5月颁布了现行的《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。供全国建筑规划和中小型工程设计应用。全国一些主要城市的地震基本烈度列于本章附录1-2。该图是根据地震危险性分析的概率方法编制的。该方法是把地震

的发生及其对某地区的影响视为随机现象,根据区域性地震地质构造、地震活动性及历史地震资料等,划定潜在震源区,分析震源区地震活动性特征,确定从震源到场地的地震衰减规律,并采用概率分析的方法给出以概率形式表达的所在地区的地震烈度区划或其它地震动参数。

抗震设计中采用的抗震设防烈度,系指按国家批准权限审定作为一个地区抗震设防依据的地震烈度,一般情况下可采用地震基本烈度。

四、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度,对不同动力特性的结构的破坏作用是不同的。一般说来,震级较大、震中距较远的地震对长周期的高柔结构的破坏,比同样烈度而震级较小、震中距较近的地震造成的破坏要重。对周期较短的刚性结构则有相反的趋势。例如,1957年7月28日墨西哥地震时,远离震中407km的墨西哥城,许多软土上的高柔建筑物遭到了严重破坏,而低矮的老旧建筑物却很少破坏。造成这种现象的原因是,地震波中的高频(短周期)分量随着传播距离的增加而迅速衰减,低频(长周期)分量衰减得慢,因而震级大、震中距长的地震波主要为低频分量,且长周期地震波在软土地基中又比短周期地震波放大得多,加之类共振现象的存在,致使在远离震中区的软土地基上的高柔建筑物遭到较严重的破坏。而震级较小、震中距较近的地震波,高频分量没有衰减或衰减较少,所以,对短周期的刚性结构的地震影响就要大些。

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,我国《建筑抗震设计规范(GBJ11—89)》(以下均简称《抗震规范》)规定,在抗震设防烈度相同的情况下,一个地区所受的地震影响按震中距的远近不同而划分为设计近震和设计远震,简称近震和远震。

划分的原则是:当建筑物所在地区遭受的地震影响来自本设防烈度区或比该地区设防烈度大一度的地区的地震时,为设计近震;当建筑物所在地区遭受的地震影响可能来自设防烈度比该地区设防烈度大二度或二度以上地区的地震时,为设计远震。如图1-2所示,图中等震线为烈度区划图上烈度相同区域的外包线,比等震线中心(震中)最高烈度低二度或二度以上的地区,按远震考虑,否则按近震考虑。

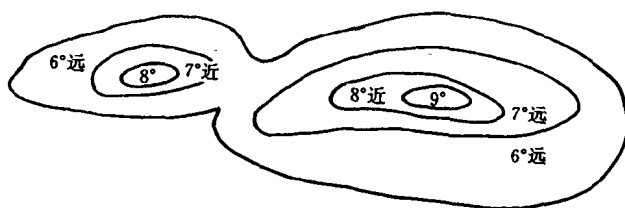


图1-2 设计近震和远震的规范划分法

利用烈度随震中距增加而减少的特点来划分震中距远近是一种简化方法。由上述方法,可根据《中国地震烈度区划图(1990)》确定一个地区设防烈度是属于近震还是远震。我国大部分地区按近震考虑,只有部分地区按远震考虑(参见本章附录1-2)。一般是将设防烈度为6、7、8度的地区的地震影响分为近震和远震,而9度区和10度区,一般震中距不会太大,故都属于近震。

§ 1-3 地震震害

中国处在世界上两个最活跃的地震带之间,东濒环太平洋地震带,西部和西南部是欧亚地震带所经过的地区,是世界上多地震国家之一。自本世纪以来的 80 多年内,共发生破坏性地震 2600 余次,其中 6 级以上破坏性地震 500 余次,平均每年 5.4 次,8 级以上地震 9 次。同时,地震活动分布范围广,按现行的烈度区划图,地震基本烈度 6 度及其以上的地震区面积占全国面积的 79%,7 度和 7 度以上的地震区面积占全国面积的 41%,8 度和 8 度以上的地震区占全国面积的 8%。在历史上,全国除个别省(如贵州省)外,都发生过 6 级以上地震。有不少地区现代地震活动还相当强烈,台湾省大地震最多,新疆、西藏次之,西南、西北、华北和东南沿海地区也是破坏性地震较多的地区。因此,中国是世界上地震灾害最严重的一个国家,地震造成的人员伤亡,居世界首位,造成的经济损失也十分巨大。建国以来至 1988 年,在大陆地区发生 7 级及 7 级以上强震共 13 次,造成的人员伤亡及经济损失见表 1-3。目前,以 1985 年新疆乌恰 7.4 级地震为标志,我国大陆地震活动起伏增强趋势十分明显。这种状态可能要持续到本世纪末、下世纪初。

表 1-3

1950~1988 年中国 7 级以上地震的灾害

序号	地震	地震时间	震级 (M)	基本 烈度	震中 烈度	受灾面积 /km ²	死亡人数 /人	伤残人数/人	直接经济损失 /亿元
1	康定	1955.04.14	7.5	10	9	5 000	84	224	
2	乌恰	1955.04.15	7.0	9	9	16 000	18		
3	邢台	1966.03.22	7.2	6	10	23 000	7 938	8 613	10.0
4	渤海	1969.07.18	7.4				9	300	
5	通海	1970.01.05	7.7	9	10	1 777	15 621	26 783	3.0
6	炉霍	1973.02.06	7.9	9	10	6 000	2 199	2 743	
7	永善	1974.05.11	7.1	8	9	2 300	1 641	1 600	0.9
8	海城	1975.02.04	7.3	6	9	920	1 328	4 292	4.0
9	龙陵	1976.05.29	7.6	8	9		73	279	1.4
10	唐山	1976.07.28	7.8	6	11	32 000	242 769	164 851	近 100
11	松潘	1976.08.16	7.2	6~9	8	5 000	38	34	
12	乌恰	1985.08.23	7.4	9	9	526	70	200	1.0
13	澜沧	1988.11.06	7.6	8	9	91 732	748	7 751	20.5

注:空白格处表示缺少统计数据。

地震灾害主要表现在三个方面:地表破坏,建筑物破坏以及各种次生灾害。

一、地表破坏

地震造成的地表破坏一般有地裂缝、喷水冒砂、地面下沉及滑坡塌方等。

1. 地裂缝

在强烈地震作用下,常常在地面产生裂缝。地裂缝主要有构造地裂缝和重力地裂缝。构造地裂缝与地质构造有关,是地壳深部断层错动延伸至地面的裂缝,缝长可达几公里到几十公里,缝宽几米到几十米。重力地裂缝是出现在道路、故河道、河堤、岸边、陡坡等土质松软潮湿地方的裂缝,形状大小不一,规模较前一种小,缝长可由几米到几十米,深多为1m至2m。这种裂缝在地震区分布极广,是由于土质软硬不匀及微地貌重力影响,在地震作用下形成的,与土质原稳定状态密切相关。

地裂缝穿过的地方可引起房屋开裂和道路、桥梁等工程设施的破坏。

2. 喷水冒砂

在地下水位较高、砂层埋藏较浅的平原及沿海地区,地震的强烈振动使地下水压力急剧增高,会使饱和的砂土或粉土层液化,地下水夹带着砂土颗粒,经地裂缝或其它通道喷出地面,形成喷水冒砂现象。喷水冒砂严重的地方会造成房屋下沉、倾斜、开裂和倒塌。

3. 地面下沉(震陷)

在强烈地震作用下,地面的震陷多半发生在松软而压缩性高的土层中,如大面积回填土、孔隙比大的粘性土和非粘性土。地震使土颗粒间的摩擦力大大降低或使链状结构破坏,土层变密实,造成地面下沉。此外,在岩溶洞和采空(采掘的地下坑道)地区也可能发生震陷。对于工程结构,特别是超静定结构,不均匀沉陷引起的内力重分布可导致结构破坏乃至倒塌。

4. 滑坡、塌方

在陡峻的山区、坡地、河岸和黄土坎地区等,强烈地震时往往会出现陡崖失稳引起的崩塌、山石滚落、陡坡滑移等现象,导致公路阻塞,交通中断,冲毁房屋和桥梁,堵塞河流,造成上游水位上涨,淹没大量土地。

二、建筑物的破坏

在强烈地震作用下,各类建筑物发生严重破坏,是造成生命财产重大损失的主要原因。按建筑物破坏的形态和直接原因,可分以下几类:

1. 结构丧失整体性而造成的破坏

结构构件的共同工作主要由各构件之间的连接及各构件之间的支撑来保证。在强烈地震作用下,构件连接不牢,节点破坏,支承长度不够和支撑失效等都会使结构丧失整体性而造成破坏。

2. 承重结构承载力不足或变形过大而造成的破坏

地震时,地面运动引起建筑物或构筑物振动,从而产生惯性力,使建筑物或构筑物的内力和变形增大较多,而且往往改变其受力方式,导致建筑物或构筑物的承载力不足或变形过大而遭受破坏。如墙体开裂,钢筋混凝土柱剪断或混凝土被压酥裂,房屋倒塌,砖烟囱折断和错位等。

3. 地基失效引起的破坏

强烈地震时,地裂缝、滑坡、震陷和地基土液化等,可使地基开裂、滑动、不均匀沉降等,从而丧失稳定性,降低或丧失承载力,造成建筑物整体倾斜、拉裂以至倒塌而破坏。

三、次生灾害

地震的次生灾害是指地震间接产生的灾害,如地震诱发的火灾、水灾、有毒物质污染、海啸、泥石流等。由次生灾害造成的损失有时比地震直接产生的灾害造成的损失还要大,尤其是在大城市、大工业区。例如,1923年日本东京大地震,诱发了火灾,震倒房屋13万幢,而烧毁的房屋达45万幢;死亡人数10万余人,其中房屋倒塌压死者不过数千人,其余都是被火烧死的。1960年智利沿海发生大地震,海浪在海湾外高达20m~30m,并以每小时640km的速度横扫太平洋,22小时后,海啸袭击了17000km以外的日本本州和北海道的太平洋沿岸地区,浪高3m~4m,冲毁了海港设施、码头和沿岸建筑物,有些大渔轮也被海浪抛上高出海面2m多的码头达40多米远。1970年秘鲁大地震,瓦斯卡兰山北峰泥石流从3750m高度泻下,流速达每小时320km,摧毁、淹没了村镇、建筑,使地形改观,死亡达25000人。

§ 1-4 工程结构的抗震设防

一、抗震设防的目标

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。

在现阶段,国际上抗震设防目标的总趋势是:在建筑使用寿命期间,对不同频度和强度的地震,要求建筑应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。这在技术上是可行的,经济上也是合理的。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,结合我国经济能力,《抗震规范》提出了“三水准”的抗震设防目标:

第一水准:当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震(简称“小震”)影响时,建筑一般不受损坏或不需修理仍可继续使用。

第二水准:当遭受本地区设防烈度(基本烈度)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可继续使用。

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

上述抗震设防目标,其实质就是采用了三个烈度水准,即多遇烈度、基本烈度和罕遇烈度。反映了遵照规范设计出的建筑,在多遇的“小震”作用下,建筑物基本处于弹性阶段,一般不会损坏,能正常使用;在相应基本烈度的地震(即中震)作用下,建筑物将进入弹塑性状态,但不至于发生严重破坏;在罕遇的“大震”作用下,建筑物将产生严重破坏,可有较大的非弹性变形,但不至于倒塌,虽然没有修理价值,但可以避免人员和设备的严重损失。上述设防目标亦可概括为“小震不坏,中震可修,大震不倒”。

二、小震和大震

从概率统计上说,小震应是发生机会较多的地震,因此,可将小震定义为烈度概率密度曲线上的峰值所对应的烈度,即众值烈度或称多遇烈度时的地震,如图 1-3 所示。根据我国华北、西北和西南地区地震发生概率的统计分析,我国地震烈度的概率分布符合极值 III 型,当设计基准期为 50 年时,则 50 年内众值烈度的超越概率为 63.2%,这就是第一水准的烈度。各地的基本烈度,即第二水准的烈度,也就是全国地震烈度区划图所规定的烈度,它在 50 年内的超越概率大体为 10%。大震是罕遇的地震,它所对应的烈度在 50 年内的超越概率约为 2%~3%,这个烈度又可称为罕遇烈度,作为第三水准的烈度。

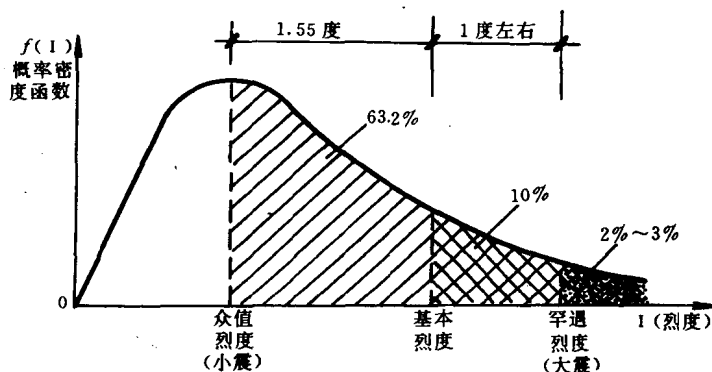


图 1-3 三种烈度关系示意图

基本烈度是抗震设防的依据。因此,众值烈度和罕遇烈度应与基本烈度相联系。由烈度概率分布的分析可知,基本烈度与众值烈度的平均差值为 1.55 度,而罕遇烈度比基本烈度高 1 度左右(图 1-3)。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。相应于基本烈度为 6、7、8、9 度的罕遇烈度即大震烈度分别约为 7 度强、8 度、9 度弱、9 度强。

三、二阶段的抗震设计方法

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,在第一水准烈度时,建筑物在多遇地震作用下,基本处于弹性工作状态,应进行承载力验算,以满足强度要求。在第二、第三水准烈度时,建筑物在相当基本烈度的地震和罕遇地震作用下,已进入弹塑性工作阶段,主要靠变形能力和耗能能力来进行抗震,因此,应控制建筑结构的层间弹塑性变形,避免产生不易修复的变形(第二烈度水准的要求)或倒塌和危及生命的严重破坏(第三烈度水准的要求),所以,应对建筑物做变形验算。但在具体做法上,为了简化计算,《抗震规范》采取了下述二阶段设计法。

第一阶段设计:在结构方案布置符合抗震原则的前提下,取与基本烈度相对应的众值烈度(相当于小震)的地震动参数,用弹性反应谱法求得结构在弹性状态下的地震作用及其效应,按该小震作用效应和其它荷载效应的基本组合,验算结构构件截面的抗震承载力,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,保证必要的强度可靠度要求;再通过采取必要的合理抗震构造措施,保证结构具有足够的变形能力。

分析研究表明,对大多数建筑结构来说,进行上述的第一阶段设计就可以满足三个烈度水准的抗震设防要求,不必再进行第二阶段的抗震设计。

第二阶段设计:按与基本烈度相对应的罕遇烈度(相当于大震)的地震动参数进行结构薄弱层(部位)的弹塑性变形验算,并采取相应的构造措施,以满足第三水准的设防要求(大震不倒)。对少部分结构,如质量、刚度明显不均匀的结构、有特殊要求的重要结构和地震时易倒塌的结构等,尚需进行第二阶段的抗震设计。

四、建筑物的分类及其抗震设防标准

1. 建筑物的重要性分类

《抗震规范》从抗震防灾的角度,根据建筑物使用功能的重要性,按其受地震破坏时产生的后果严重程度,将建筑物分为四类,以便区别对待,在抗震设计时,提出不同的设计要求。具体分类如下:

甲类建筑——特殊要求的建筑,如核电站。这类建筑如遇地震破坏会导致严重后果(如放射性物质的污染、剧毒气体的扩散和大爆炸等)或对政治、经济、社会产生不可挽回的重大影响。该类建筑必须经国家规定的批准权限批准。

乙类建筑——重要的建筑,如国家重点抗震城市(附录 1-2)的生命线工程的建筑(包括给水、供电、交通、电讯、煤气、热力、医疗、消防等)等。

丙类建筑——甲、乙、丁类以外的一般建筑,如大量的一般工业与民用建筑等。

丁类建筑——次要的建筑,如遇地震破坏不易造成人员伤亡和较大经济损失的一般仓库、人员较少的辅助性建筑等。

2. 建筑物的抗震设防标准

抗震设防标准是通过建筑物抗震设计时地震作用计算和抗震措施来实现的。抗震设防标准的依据是设防烈度,它是根据建筑物的重要性和其所在地区基本烈度确定的,一般采用基本烈度。根据建筑物的重要性,各类建筑的抗震设计,应符合下列设防标准:

(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《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降低一度采取抗震措施,但设防烈度为 6 度时可不降低。

设防烈度,《抗震规范》适用于设防烈度为 6 度~9 度地区的一般建筑抗震设计为 6 度和 6 度以上的地区为抗震设防区。建筑物愈重要,设防烈度愈高,抗震设防的标准也愈高。基于我国的地震经验,抗震措施是提高建筑物抗震能力的最有效办法,所以在确定抗震措施时,对于不同重要性类别的建筑物采用经调整的设防烈度。

五、抗震设计的基本要求

由于地震动的随机性,加之建筑物的动力特性、所在场地、材料及结构内力的不确定性,地震时建筑物破坏的机理和过程十分复杂,目前对此的认识尚不充分,地震时造成破坏的程度也

很难准确预测。因此,要进行精确的抗震计算是困难的。70年代以来,人们在总结大地震灾害经验中提出了“概念设计”,并认为它比“数值(或参数)设计”更为重要,结构的抗震性能在更大程度上取决于良好的“概念设计”。

建筑结构的概念设计是指在进行结构抗震设计时,从概念上,特别是从结构总体上考虑抗震的工程决策,即正确地解决总体方案、材料使用和细部构造,以达到合理抗震设计的目的。

正确进行概念设计,将有助于明确抗震设计思想,灵活、恰当地运用抗震设计原则,使人们不致陷于盲目的计算工作,做到合理设计,保证结构具有足够的抗震可靠度。

应当指出,强调概念设计重要,并非不重视数值计算。这正是为了给抗震计算创造有利条件,使计算分析结果更能反映地震时结构反应的实际情况。

根据概念设计原理,在进行抗震设计时,要考虑以下方面:场地条件和场地土的稳定性;建筑平、立面布置及外形尺寸;抗震结构体系的选取、抗侧力构件布置及结构质量的分布;非承重结构构件与主体结构的关系;材料与施工等。并且应遵守下列一些要求:

1. 建筑场地

(1)宜选择对建筑抗震有利地段,如坚硬或开阔平坦密实均匀的中硬场地土等地段。

(2)宜避开对建筑抗震不利地段,如软弱场地土,易液化土,非岩质的陡坡,采空区,河岸和边坡边缘,场地土在平面分布上的成因、岩性、状态明显不均匀(如故河道、断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷及半填半挖地基等)等地段,条状突出的山嘴和高耸孤立的山丘等。当无法避开时,应采取适当的抗震措施。

软弱土、液化土、新填土、明显不均匀土层等,在地震中易造成沉陷、液化、不均匀沉降,导致地基失效,危及上部建筑物。条状突出的山脊、孤立的小山包上的建筑物的震害一般比平地上同类地基上的同类建筑重,对强震观测结果表明,局部孤立突出的地形对地震强度有放大作用。

(3)不应在危险地段建造甲、乙、丙类建筑。对建筑抗震危险的地段,一般是指地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等的地段以及基本烈度8度和8度以上的发震断裂带上地震时可能发生地表错位的地段。

滑坡、崩塌、地陷、地裂等将造成地基的剧烈变动和永久错位,一旦出现,建筑物将难以抗御而破坏、倒塌,靠抗震设计很难达到抗震设防一般目标所提出的要求。

2. 地基和基础设计

(1)同一结构单元不宜设置在性质截然不同的地基土上,也不宜部分采用天然地基,部分采用桩基。

(2)地基有软弱粘性土、可液化土、新近填土或严重不均匀土层时,宜加强基础的整体性和刚性。

3. 建筑的平面、立面布置

(1)为了避免地震时建筑发生扭转和应力集中或塑性变形集中而形成薄弱部位,建筑的平、立面布置宜规则、对称,建筑的质量分布和刚度变化宜均匀,楼层不宜错层。

(2)建筑的防震缝可按建筑结构的实际需要设置。对体型复杂的建筑应采取:①不设防震缝,但应选用符合实际的结构计算模型,进行较精细的抗震分析,估计其局部的应力和变形集中及扭转影响,判明其易损部位,采取措施提高抗震能力;②设置防震缝,将建筑分隔成规则的结构单元。防震缝应根据烈度、场地类别、房屋类型等留有足够的宽度,其两侧的上部结构应完