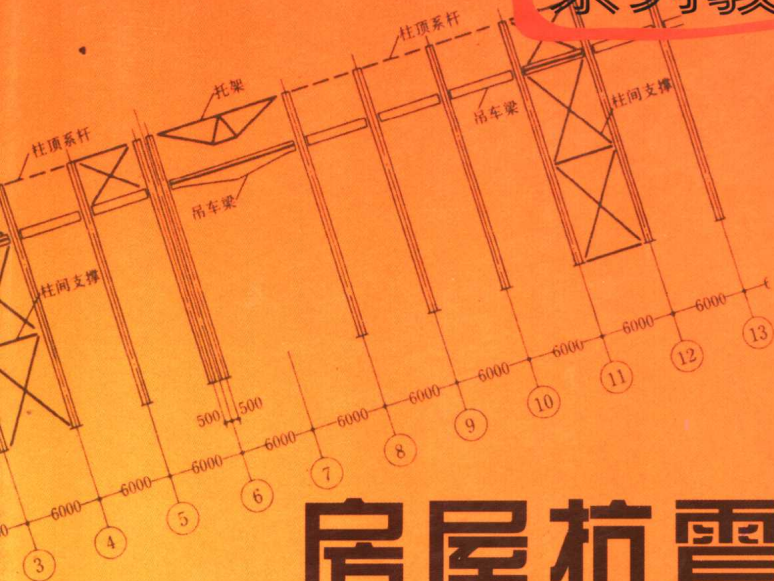


土建工长培训

系列教材



# 房屋抗震设计

(第三版)  
郭继武 郭瑶 编著



清华大学出版社

土建工长培训  
系列教材

# 房屋抗震设计

郭德良 魏瑶 编著  
(第三版)

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是土建工长培训系列教材之一,是根据新修订的《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)编写的。

随着我国建设事业的发展,建筑技术水平不断提高,对土建工长的业务能力要求也愈来愈高,因此,本书第三版的内容较前两版有较多的充实和调整。书中主要介绍了建筑结构抗震设计基本原则,场地、地基和基础,地震作用和结构抗震验算,以及常见结构的抗震设计。

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

本书除适合作为土建工长培训教材外,也可作为土建工程设计、工程施工人员学习新规范的参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

房屋抗震设计/郭继武,郭瑶编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2002  
(土建工长培训系列教材/郭继武主编)

ISBN 7-302-06137-8

I. 房… II. ①郭… ②郭… III. 房屋结构—抗震设计—技术培训—教材  
IV. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 097403 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑:汪亚丁

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:850×1168 1/32 印张:13.125 插页:1 字数:327千字

版 次:2003年4月第3版 2003年4月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-06137-8/TU·189

印 数:0001~5000

定 价:18.00元

# 《土建工长培训系列教材》

## 编 委 会

主任委员：郭继武

委 员：郭继武 任继良 纪士斌  
田会杰 宋莲琴

## 第三版说明

本书是土建工长培训教材之一,是根据新修订的《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)编写的。

随着我国建设事业的发展,建筑技术水平不断提高,对土建工长的业务能力要求也愈来愈高,因此,本书第三版的内容较前两版都有较多的充实和调整。书中主要介绍了建筑结构抗震设计基本原则,场地、地基和基础,地震作用和结构抗震验算,以及常见结构的抗震设计。

书中特别增加了钢筋混凝土抗震墙结构的设计与计算,在推导抗震墙墙肢内力公式时,我们没有采用一般专著或教材中以栅片剪应力为未知数的力法,而是以墙肢轴力作为未知数,采用材料力学一般公式推导的,这不仅概念清楚,而且公式也比较简单,为了便于应用,书中还编制了计算用表。此外,书中还给出了连梁剪力计算公式和相应计算用表,避免了一般专著或教材中需要采用递推公式才能求得连梁剪力的繁琐过程。书中对多肢墙的内力计算的精确解法也作了必要的讨论。

本书第一、二版由张述勇编写,第三版由郭继武、郭瑶编写。本书前两版原名《结构抗震基本知识》,现更名为《房屋抗震设计》。

由于编者水平所限,书中难免存在疏漏之处,希望广大读者不吝指正。

编者

2002年8月于北京

# 目 录

<b>第 1 章 抗震设计原则</b> .....	1
1.1 抗震设防的意义 .....	1
1.2 构造地震 .....	5
1.3 地震波、震级与烈度 .....	9
1.4 震害现象 .....	20
1.5 抗震设防 .....	27
1.6 抗震设计的基本要求 .....	32
思考题 .....	40
<b>第 2 章 场地、地基和基础</b> .....	41
2.1 场地 .....	41
2.2 地基和基础的抗震设计 .....	46
2.3 可液化地基和抗液化措施 .....	55
思考题 .....	70
<b>第 3 章 地震作用和结构抗震验算</b> .....	71
3.1 概述 .....	71
3.2 单质点弹性体系的地震反应 .....	72
3.3 单质点弹性体系水平地震作用的计算 ——反应谱法 .....	77
3.4 多质点弹性体系水平地震作用的计算 .....	88
3.5 竖向地震作用的计算 .....	98

3.6 地震作用计算的一般规定 .....	101
3.7 结构抗震验算 .....	103
· 思考题 .....	109
<b>第 4 章 钢筋混凝土框架房屋 .....</b>	<b>111</b>
4.1 概述 .....	111
4.2 震害及其分析 .....	112
4.3 抗震设计一般规定 .....	114
4.4 框架结构水平地震作用的计算 .....	122
4.5 框架结构内力和侧移的计算 .....	123
4.6 框架结构梁、柱和节点的抗震设计 .....	164
4.7 抗震构造措施 .....	181
思考题 .....	189
<b>第 5 章 多层砌体房屋 .....</b>	<b>190</b>
5.1 概述 .....	190
5.2 震害及其分析 .....	191
5.3 抗震设计一般规定 .....	195
5.4 多层砌体房屋抗震验算 .....	198
5.5 抗震构造措施 .....	224
思考题 .....	236
<b>第 6 章 底部框架-抗震墙、多层内框架 砖砌房屋 .....</b>	<b>238</b>
6.1 概述 .....	238
6.2 震害及其分析 .....	239
6.3 抗震设计一般规定 .....	241

6.4	房屋抗震验算 .....	243
6.5	抗震构造措施 .....	261
	思考题 .....	264
<b>第 7 章</b>	<b>单层钢筋混凝土柱厂房 .....</b>	<b>265</b>
7.1	震害及其分析 .....	265
7.2	抗震设计一般规定 .....	269
7.3	单层厂房抗震设计计算 .....	273
7.4	抗震构造措施 .....	301
	思考题 .....	308
<b>附录 A</b>	<b>钢筋混凝土抗震墙结构房屋 .....</b>	<b>309</b>
A.1	概述 .....	309
A.2	抗震设计一般规定 .....	310
A.3	抗震墙结构内力和侧移的计算 .....	311
A.4	抗震墙截面设计 .....	398
A.5	抗震构造措施 .....	405
	思考题 .....	409
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>410</b>



# 第 1 章 抗震设计原则

## 1.1 抗震设防的意义

### 1.1.1 大地震给人们的启迪

抗震设防是减轻地震灾害最有效的、最根本的措施。

1976 年 7 月 28 日北京时间凌晨 3 时 42 分,在人口达百余万的工业城市唐山市,发生了里氏 7.8 级的强烈地震。震中位置在市区东南,震源深度约 11km,有明显的地震断裂带贯通全市。市区大部陷入地震烈度高达 11 度的极震区,房屋建筑普遍倒塌,幸存无恙者甚少。震害遍布唐山外围十余县,波及百余里外的北京、天津等重要城市。死伤数十万人,灾情之重,为世界地震史上所罕见。

与历史上其他大地震一样,唐山地震以其特点,给人们增添了新的认识和启迪,即抗震设防工作是减轻地震灾害最有效的、最根本的措施。

唐山是对地震没有设防的城市,尽管大量建筑是近代兴建的,但都没有经过抗震设计,以致酿成大灾。这个失误,主要来自对唐山地区的地震危险估计不足。有人统计了世界上 130 次伤亡巨大的地震震害资料,95%以上的伤亡是因为无抗震能力的建筑物倒塌而造成的。这些都表明,建筑物质量差、不抗震,是造成地震伤亡和损失的主要原因。

反之,如果在工程设计上采取措施,建筑物是能够抵御地震灾害袭击的。例如:1923 年日本关东发生里氏 8.2 级特大地震,



700 栋经过抗震设计的大楼,震后 75%完好无损,23%有不同程度的破坏,只有 2%全部震毁。1935 年智利康塞普森地震,使该城市变为一片废墟,1939 年该地又发生地震,死亡 4 万人。人们接受教训,以法律形式规定,地震区所有建筑必须进行抗震设防。当 1960 年智利康塞普森又发生特大地震时,这些经过抗震设防的房屋,大多完好无损,只有 500 人死亡。

国内多次抗震的实践也都证明了“对新建工程进行抗震设防是减轻地震灾害的一项带有根本性的措施”这一观点。例如,1981 年河北邢台发生里氏 6 级地震,没有一间房屋倒塌,也没有一人死亡。主要原因是该地区吸取了在 1966 年地震中倒塌 119 万多间房屋的惨痛教训,在重建家园和村镇规划中,采取了抗震措施。因此,当 15 年后再次遭遇地震时,就没有遭受严重损失。在我国地震史上,一次里氏 6 级左右的地震,发生在人口稠密的农村而没有遭受破坏是前所未有的。相反,在震后恢复重建中,不考虑抗震设防,再次遭遇地震,又同样遭受破坏的事例却屡见不鲜。例如,1974 年 4 月 22 日江苏溧阳发生里氏 5.6 级地震,全县倒塌和震毁近 8 万间房屋,震后不少房屋在重建或原样修复中没有采取抗震措施。5 年后,1979 年 7 月 9 日,在原震中又发生一次里氏 6 级地震,又使 34 万多间房屋倒塌和震毁,特别是上次地震破坏的房屋,经原样修复后,这次又原样破坏。

抗震设防包括对未设防的原有建筑进行抗震加固。经过抗震加固的工程,在近几年内发生的地震中,有的已经经受了考验,证明抗震加固与不加固大不一样。例如,天津发电设备厂,在唐山大地震前,用了 40 多吨钢材,加固了全厂 54 项主要建筑物,地震时全厂没有一个车间倒塌,没有一榀屋架塌落,保障了设备完好无损,震后 3 天就恢复了生产。相邻的天津重机厂,震前没有加固,地震时遭到严重破坏,停产半年,修复加固时,还用了 700 多吨钢材。在其后发生的地震中,还没有发现已经加固的房屋,再次遭遇

地震破坏的事例。这也充分说明抗震设防是一项重要的减灾措施。

地震是一种突发性的自然灾害,尽管目前在科学技术上还不能控制地震的发生,但是,上述事实却充分说明,预防和减轻地震灾害是可行的。

人类为了生存和发展,在与地震灾害的斗争中,积累了丰富的经验。特别是我国,总结了历次强震的震害经验,形成了一门新的科学,即“抗震防灾学”。“抗震防灾学”是通过工程技术手段,采取各种防范措施,以尽量减轻地震灾害的科学。《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)(以下简称为《抗震规范》)充分吸收了国内、国外大地震的经验教训、有价值的科学研究成果和工程实践经验,集中体现了我国地震工程和抗震工作者劳动的成果,是一本指导抗震防灾的重要文件,是一本“抗震防灾学”的好教材。

### 1.1.2 土建工长(技术员)学习抗震设防知识的必要性

土建工长(技术员)在地震区进行施工建设,肩负着抗震防灾的重任,必须掌握国家标准《抗震规范》的有关规定。

震害的经验告诉我们,要使工程建设真正达到减轻以致避免地震灾害的目的,必须把抗震设防工作贯彻始终,即自场址选择、规划设计开始,经施工,质量监督,直至竣工验收,都应贯彻《抗震规范》中抗震设防的有关规定。特别是工程建设的施工质量,处于整个工程建设的重要位置,工长(技术员)控制施工质量的好坏,将直接影响结构的抗震性能。澜沧—耿马地震的惨痛教训是很能说明这个问题的。

1988年11月6日在云南边境的澜沧县和耿马县,连续发生了里氏7.6级和7.2级两次强烈地震,波及面积达9万多平方公里,受灾人口达500多万,倒塌和震毁2万多间房屋,直接经济损失高



达 20 多亿元。这是自唐山大地震以来,破坏、损失最为严重的一次。这次地震发生在人烟稀少的边境农村,造成如此巨大的损失,有许多具有普遍意义的经验教训,是值得引以为戒的。其中,施工质量低劣造成的损失是一个非常沉痛的教训。该震区大量倒塌的新建工程,绝大部分属于越级设计,无照施工;大多数工程技术人员不懂得抗震设计规范,甚至缺乏基本的建筑设计知识;有的名为框架结构,实际是梁、柱的简单组合,柱截面面积过小,主筋搭接过短,而且箍筋稀少。这类建筑震害之重,出人意料。灾区新建房屋施工质量的低劣更是令人触目惊心,例如:混凝土配合比不合理,强度达不到设计要求;砖砌体的砂浆强度等级低,灰浆不饱满;砖墙不咬槎,有的 24 墙基本上是将两片 12 墙砌在一起,整体稳定性很差。边区人们盼望多年才建起来的医院、学校、住宅等大量建筑,就这样毁于一旦。

反之,在施工时,稍加重视,按《抗震规范》的规定施工,震害就不会如此严重。例如改变墙体砌筑方式,混凝土配比准确,砌砖时浸水,灰浆饱满保证砂浆与砌块粘结,留有足够的搭接长度等措施,均不困难,又利于抗震。

实践经验告诉我们,对于有些建筑物,只需采取简单的措施便可达到抗震防灾的目的。例如在砌体结构中增设圈梁、构造柱,在钢筋混凝土框架结构梁、柱端部及节点区内加密箍筋,都是十分容易操作的、能大大提高建筑结构抗震性能的措施。

因此,土建工长(技术员)学习结构抗震基本知识,掌握《抗震规范》的有关规定,掌握各种工程抗震技术手段以及各种抗震构造措施,是十分必要的,也是可行的。

为了便于学习,我们从地震的基本知识开始讲起,使大家建立起有关地震的概念,然后重点介绍建筑结构的抗震承载力验算和构造措施,以利于土建工长(技术员)能自觉地按抗震设防的要求施工,达到减轻或避免地震灾害的目的。

## 1.2 构造地震

### 1.2.1 地震的概念

我们称地面的震动叫地震。地震和风、雨、雪一样是一种很普遍的自然现象。地球上每天都要发生地震,一年中会发生五百多万次地震,最多的时候一天就要发生上万次,不过,99%的地震需用灵敏的仪器才能测到,剩余的1%,大约有5万次才是人们可以感觉到的地震。其中约有20次地震造成严重破坏,至于像唐山遭受到的那种大地震,大约每年全球发生一次。总之,地震的规律是:愈小的地震发生的次数愈多,愈大的地震发生的次数愈少。绝大多数的地震对人类不会造成危害,只有强烈的大地震,才会造成人类生命和财产的严重损失。

为什么会发生地震呢?这是由于地球在运动发展的过程中,地质构造作用使地壳积累了巨大的变形能,地壳中的岩层产生很大的应力,当这些应力超过某处岩层的强度极限时,岩石突然破裂、错动,从而将积累的变形能,转化为波动能传播出去,引起了地面的震动。我们把这种由于地质构造作用引起的地面震动,叫做构造地震,简称地震,即建筑抗震设计中所指的地震。

### 1.2.2 地震的分类

按形成地震的原因,可将地震分为:构造地震、火山地震、陷落地震、诱发地震。由于地壳运动,推挤地壳岩层使其薄弱部位发生断裂错动而引起的地震叫做构造地震;由于火山爆发而引起的地震叫做火山地震;由于地表或地下岩层突然大规模陷落和崩塌而造成的地震叫做陷落地震;由于建造水库、地下核试验而诱发的地震叫做诱发地震。构造地震是一种数量最多、影响最大的地震。

通常在研究工程抗震时,将其作为重点。

震动的发源处称为“震源”。构造地震的震源是指地下岩层产生剧烈地相对运动的部位。这个部位不是一个点,而是一个有一定深度和范围的体。震源正上方的地面位置叫“震中”,震中附近的地面震动最厉害,也是破坏最严重的地区,称之为“极震区”或“震中区”。地面某处至震中的水平距离称为“震中距”。我们把地面上破坏程度相似的点连成的曲线叫做“等震线”。震中至震源的垂直距离称为“震源深度”(图 1-1)。

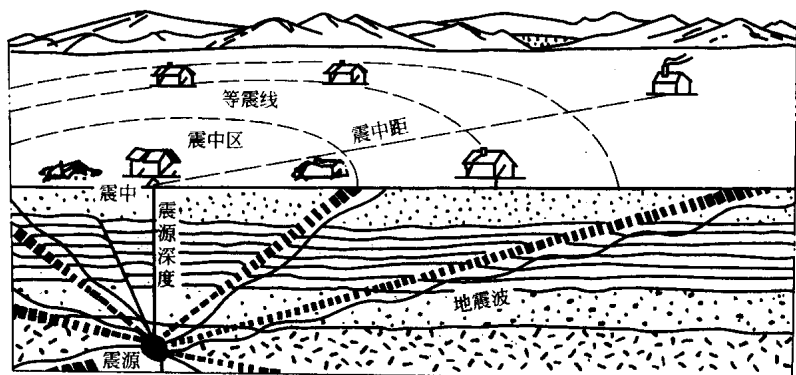


图 1-1 地震名词解释示意图

根据震源深度不同,可将构造地震分为浅源地震(震源深度不大于 60km)、中源地震(震源深度在 60~300km 之间)、深源地震(震源深度大于 300km)3 种。一年中全世界所有地震释放能量的 85% 来源于浅源地震,故浅源地震造成的危害最大。

值得注意的是,有些地震震级不高,但震源浅,造成的危害却很大。例如,1960 年 2 月 29 日摩洛哥发生里氏 5.9 级地震,死亡达万人以上;1970 年 5 月 6 日南斯拉夫发生里氏 6.5 级地震,造成的经济损失达 100 亿美元,仅次于 1923 年日本关东发生的里氏

8.2级特大地震(损失300亿美元)。引起唐山大地震的断裂岩层深约11km,属于浅源地震,发震构造断裂带总长约8km,展布范围达30m,总体走向为北30°东,穿过唐山市东南部,这个区域就是震中,市内铁路两侧约47km<sup>2</sup>的范围属于极震区。

### 1.2.3 我国是一个多地震的国家

从依据世界各大洲所发生的地震绘制的地震分布图,可以明显地看出地球上以下两组主要的地震活动带:

1) 环太平洋地震带 沿南北美洲西海岸至日本,经我国台湾省,到菲律宾和新西兰。

2) 欧亚地震带 西起地中海,经土耳其、伊朗和我国西部及西南地区,过缅甸、印度尼西亚,与环太平洋地震带相衔接。

我国地处两大地震带的中间,是一个多地震的国家,也是世界上有地震历史记载最丰富的国家。四千多年的地震史料表明,我国的地震分布相当广泛,大部分地区都发生过较强的破坏性地震。近二三十年,自1966年邢台地震以后,接着发生了1970年的通海地震、1975年的海城地震以及1976年的唐山大地震。

地震给人类带来了巨大的灾害,中国人民遭受的地震灾害尤为严重。地震造成的人员伤亡中,中国居首位。1556年陕西华县发生了里氏8级地震,死亡83万人;1976年唐山发生了里氏7.8级地震,死亡24.2万人。世界地震史上死亡人数最多的一次在中国(即华县地震),而近代大地震中,死亡人数最多的一次地震也在中国(即唐山地震)。20世纪70年代,是近代世界上地震灾害较大的10年。在这10年中,全世界死于地震灾害的总人数达41.29万人,中国占63.7%;地震造成伤残的总人数为38.8万人,中国占56%强。在这10年内,日本发生14次地震,死亡129人;美国发生12次地震,死亡65人;而中国发生10次地震,死亡人数却高达26.3万人。我国建国以来至1989年仅在大陆地区就发生



里氏 5 级以上地震 943 次,其中造成破坏和伤亡的约 130 次,造成严重破坏的里氏 7 级以上强震有 13 次,受灾面积达 18 万  $\text{km}^2$ ,伤亡人数达 49 万人,震毁房屋达 832 万多间。上述一系列数字足以引起人们对抗震设防工作的高度重视。因此,在我国地震多发地区进行抗震设防,贯彻执行地震工作以预防为主方针,意义十分重大。

### 1.2.4 目前我国面临严峻的地震形势

1966 年至 1976 年,是 20 世纪我国地震史上的第四个地震活跃期。自 1976 年唐山大地震后,我国的地震活动处于相对平静的阶段,连续 8 年没有发生过里氏 7 级以上的强烈地震。1985 年 8 月 23 日新疆乌恰发生里氏 7.4 级地震,这是我国将进入一个新的地震活跃期的信号。1988 年 11 月 5 日、6 日青海唐古拉山和云南澜沧—耿马连续发生 3 次里氏 7 级以上大地震,预示着我国的地震活动已经进入了第五个活跃期。

据统计,全国里氏 5 级以上地震,从 1987 年的 18 次增至 1988 年的 33 次,1989 年的 36 次,其中里氏 6 级以上地震 9 次。地震活动显著增强,大大高于 20 世纪以来平均每年发生 14 次里氏 5 级以上地震和 5.4 次里氏 6 级以上地震的平均水平。

全球地震活动也十分活跃,自 1986 年至 1989 年,共发生了里氏 7 级以上强震 59 次,其中里氏 8 级以上强震 3 次。1990 年 1 月至 5 月还不到半年,就已经发生了 14 次里氏 7 级以上地震。

近年,我国的地震活动是十分活跃的。1995 年 7 月 12 日 5 点 46 分,在云南省孟连县中缅边界缅甸境内发生了里氏 7.3 级强烈地震;1995 年 10 月 24 日 6 点 46 分,在云南省武定县又发生了里氏 6.5 级强烈地震;1996 年 2 月 3 日 19 点 14 分,在云南省丽江纳西族自治县内,与中甸县交界处,再次发生了里氏 7 级强烈地震,并于 2 月 5 日凌晨零点 59 分发生了里氏 6 级强余震。



以上数字是地震活动的现实情况,说明了地震形势的严峻。但是,更严峻的,不是已经发生的地震,而是未来可能发生的大震。历史资料告诉我们,每一个地震活跃期中,都将发生一系列里氏 7 级以上强烈地震和几次接近里氏 8 级以致 8 级以上的毁灭性地震。所以严峻的不是已经发生过的地震,而是未来即将发生的地震。里氏 7 级以上强震连续发生的高峰期尚未到来,可能即将到来,我们要有所准备。

## 1.3 地震波、震级与烈度

### 1.3.1 地震波

#### 1.3.1.1 什么是地震波

当地球的岩层突然断裂的时候,岩层积累的变形能突然释放。这种地震能量一部分转化为热能,一部分以波动的形式向四周传播。这种传播地震能量的波就是地震波。

#### 1.3.1.2 地震波的分类

在地球内部,地震波是一种体波,它包括纵波和横波。

纵波是由震源向外传递的压缩波,也叫 P 波,这种波质点振动的方向与波的前进方向一致。其特点是周期短,振幅小,能引起地面上下颠簸(竖向振动),传播速度快,在地壳内一般以  $v_p = 500 \sim 600 \text{m/s}$  的速度传播。

横波是由震源向外传播的剪切波,也叫 S 波,这种波质点振动的方向与波的前进方向垂直。其特点是周期长,振幅大,能引起地面摇晃(水平振动),传播速度比纵波慢一些,在地壳内一般以  $v_s = 300 \sim 400 \text{m/s}$  的速度传播。

利用纵波与横波传播速度的差异,可以从地震记录上得到纵