

SEISMIC RESISTANCE OF
ENGINEERING BUILDING

工程建筑抗震

陈 赵
风 琳
杨 琳
主 编

东南大学出版社

工 程 建 筑 抗 震

赵 琳 陈风杨 岳晨曦 编
王忠民 苟 勇 赵承建

东南大学出版社

内 容 提 要

本书以新的《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)为依据编写而成。本书叙述简洁,注重实用。

全书共分八章,即概论、场地与地基、地震作用、多层砌体结构抗震设计、钢筋混凝土内框架和底层框架结构抗震设计、单层工业厂房抗震设计、建筑地震震害调查分析。

本书可作为高等工业院校工民建专业开设“工程建筑抗震”课程的教材,也可供广大工程技术人员参考。

工 程 建 筑 抗 震

赵 琳 陈凤杨 主编

东南大学出版社出版发行

南京四牌楼2号

淮安市文教印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:13.875 字数:328千字

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数: 1—2500册

ISBN 7-81023-450-1

TU·29

定价: 7.20元

前 言

我国是一个多地震国家，如何防震和抗震，已成为我国建筑设计工作者的一项重要任务。在众多大专院校师生和广大科研、设计、施工人员多年研究和实践的基础上，我国于1990年颁布了新的《建筑抗震设计规范》（GBJ11—89）。为了适应教学的需要，并使更多的人能较快的了解并掌握新规范的设计思想和设计方法，我们编写了这本书。本书曾于1989年作为内部讲义在部分学校使用，受到好评。为此，在东南大学土木系部分专家的鼓励和支持下，经整理、修改补充后正式出版。

本书注重实用，对一些繁琐的公式推导没有花过多篇幅，以使读者能对建筑抗震设计的原理有个一般的了解，并据此能进行一般的砌体结构、钢筋混凝土框架结构、钢筋混凝土底层框架和内框架结构、单层工业厂房的抗震设计及建筑地震震害调查分析。本书既是一本学习新规范和抗震理论的教材，又是一部供广大设计、施工人员使用的参考书。

全书共分八章，由赵琳、陈风杨任主编，参加编写工作的有：王忠民（一、四章）、荀勇（三、六章）、赵承建（三章）、陈风杨（二、四、五章）、岳晨曦（六、七章）、赵琳（八章）。

本书由武汉工业大学臧安民教授担任主审，审委会成员还有洪德泰、于吉太、冯联植等同志，乔吕德、支风生、钱江等同志也为本书做了大量工作。中国建筑科学研究院的吴春林、北京有色金属研究总院的潘可荣、南京市建筑设计院的陶鹤进等几位同志也审阅了部分章节，并提出了许多有益的意见。另外，淮阴工业专科学校自始至终给予我们大力协助和支持，在此，我们一并表示谢意！

本书参考和引用了国内许多书籍（见参考文献）的有关内容，在此向有关作者表示感谢！

由于时间匆忙，加上我们水平有限，书中错误与不妥之处在所难免，恳求各位读者予以指正。

编 者

1990年12月

目 录

第一章 概论

§ 1-1 地震的成因及分布	(1)
§ 1-2 地震波、地震震级和地震烈度	(3)
§ 1-3 震害现象及近、远震	(5)
§ 1-4 抗震设防及抗震设计的基本原则	(7)
§ 1-5 抗震鉴定与加固	(9)

第二章 场地、地基和基础

§ 2-1 建筑场地的分类及选择	(11)
§ 2-2 地基和基础的抗震验算	(15)
§ 2-3 地基的抗震措施	(16)

第三章 地震作用

§ 3-1 动力学基本知识	(25)
§ 3-2 建筑物自振周期的实用计算	(30)
§ 3-3 水平地震作用的计算	(36)
§ 3-4 竖向地震作用的计算	(40)
§ 3-5 地震对房屋的扭转作用	(41)
§ 3-6 建筑结构抗震验算原则	(43)

第四章 多层砌体房屋的抗震设计

§ 4-1 砌体结构的震害分析	(49)
§ 4-2 结构选型与布置原则	(51)
§ 4-3 多层砌体房屋的抗震计算	(53)
§ 4-4 多层砌体房屋的抗震构造措施	(60)
§ 4-5 计算实例	(66)
§ 4-6 砌体房屋的最小面积率法	(72)

第五章 钢筋混凝土框架结构的抗震设计

§ 5-1 钢筋混凝土框架震害分析	(83)
§ 5-2 结构布置原则	(83)
§ 5-3 钢筋混凝土框架结构的抗震计算	(86)
§ 5-4 框架结构抗震构造措施	(107)
§ 5-5 钢筋混凝土框架结构抗震设计实例	(113)

第六章 底层框架和多层内框架砖房的抗震设计

§ 6-1 震害及其分析	(124)
§ 6-2 抗震计算	(125)

§ 6-3	抗震构造措施	(130)
§ 6-4	计算实例	(132)
第七章 单层钢筋混凝土厂房抗震设计		
§ 7-1	震害及其分析	(156)
§ 7-2	单层钢筋混凝土厂房抗震设计	(158)
§ 7-3	抗震构造措施	(177)
§ 7-4	计算实例	(187)
第八章 建筑地震震害调查分析		
§ 8-1	建筑震害调查原则	(207)
§ 8-2	建筑地震破坏等级划分标准	(209)
§ 8-3	建筑震害调查方法	(213)
§ 8-4	建筑震害调查成果的鉴定	(215)
参考文献		(216)

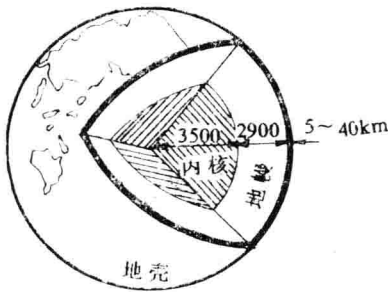
第一章 概 论

地面的震动叫地震。地震是一种普遍的自然现象，地球上每天都有地震发生，一年中约有500多万次地震发生，不过99%需用灵敏的仪器才能测到，剩下的1%，即约5万次才是人们可以感到的，其中约有20次地震造成严重破坏。至于象我国唐山1976年遭受的那种大地震，大约每年只有一次。绝大多数地震对人类不会造成危害，只有强烈的地震才会造成人类生命及财产的严重损失。

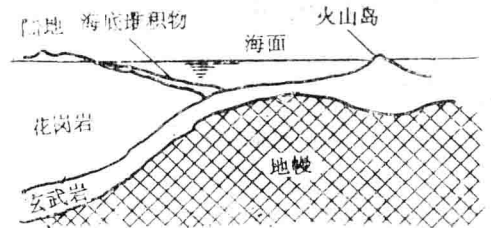
§1—1 地震的成因及分布

一、地球的构造

地球是个椭球体，平均半径约6400km。通过地震学的研究推测，地球内部构造主要由性质互不相同的三部分组成，如图1—1。



(a)



(b)

图1—1 地球的构造

1. 地壳 是地球最外部的一层硬壳，除地表覆盖着一层薄薄的沉积岩、风化土和海水外，上部主要由花岗岩类岩石组成，下部主要由玄武岩类岩石组成，呈连续分布。地壳厚度，各处不一，为5~40km。我国西藏高原厚度达60~80km，东南沿海地区仅约20km。

2. 地幔 由地壳以下到深度约2900km的部分。它几乎占地球全部体积的5/6。除顶部外，地幔由质地坚硬的橄榄岩组成，并且由上往下铁镍成分逐渐增加，比重为3.9~5.1。地幔顶部的物质呈熔融状态。

3. 地核 是地球的核心部分，为半径约3500km的球体。对地核成分和状态的认识，目前尚不十分清楚，因其不传播剪切波，故至少推测其表层可能为液体，而内核可能是铁镍组成的固态。

地球内部的温度随着深度的增加而升高，从地下100km处至地震发生的最深处地下700km，温度逐渐由1000°C升至约2000°C。地球内的温度来源于所含的放射性物质，并因其分布的不均匀性，导致了地幔内发生物质的对流。

二、地震的成因

关于地震的成因，有多种理论，目前尚无统一的认识。

地震学的研究认为，在各种地震中，占地震绝大多数，并且影响最大的是由于地质构造作用所产生的构造地震，因而也是工程抗震的研究重点。

构造地震是由于地壳在运动过程中，它的地质构造作用（如地幔对流、转速变化等）使地壳积累了巨大的弹性变形能，地壳中的岩层产生很大的应力，当这些应力积累超过某处岩层的强度极限时，岩石突然断裂、错动。积累的弹性变形能除一部分转化成热能和声能之外，其余的大部转化成波动能传播出去，从而引起地面的震动，也就是地震。

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部位。该部位是有一定深度和范围的体。震源正上方的地面位置叫“震中”，震中附近地面震动最厉害，也是震害最严重的区域，称为“震中区”。震中至震源的垂直深度称为“震源深度”。

根据震源深度不同，可将构造地震分为浅源地震（震源深度 $\leq 60\text{km}$ ），中源地震（震源深度 $= 60\sim 300\text{km}$ ），深源地震（震源深度 $> 300\text{km}$ ）。其中以浅源地震的危害性最大（浅源地震释放的能量约为全球地震能的75%）。

除构造地震外，还有由于火山爆发、溶洞塌陷、水库蓄水、核爆炸等原因引起的地震，与构造地震相比，这些地震频度低、影响小、震害轻，不作为工程抗震研究的重点。本书所要论述的是构造地震的有关问题。

三、地震的分布

我们居住的地球从未安宁过，每天都有地震发生。小地震几乎到处都发生过，而大震只发生在某些地区。

1. 世界的地震活动概况

从1961年初开始到1967年底为止，根据世界各大洲七年内所发生的近30万次4级以上地震所编绘的世界地震分布图（图1—2），可以明显地看出地球上以下两条主要的地震活动带：

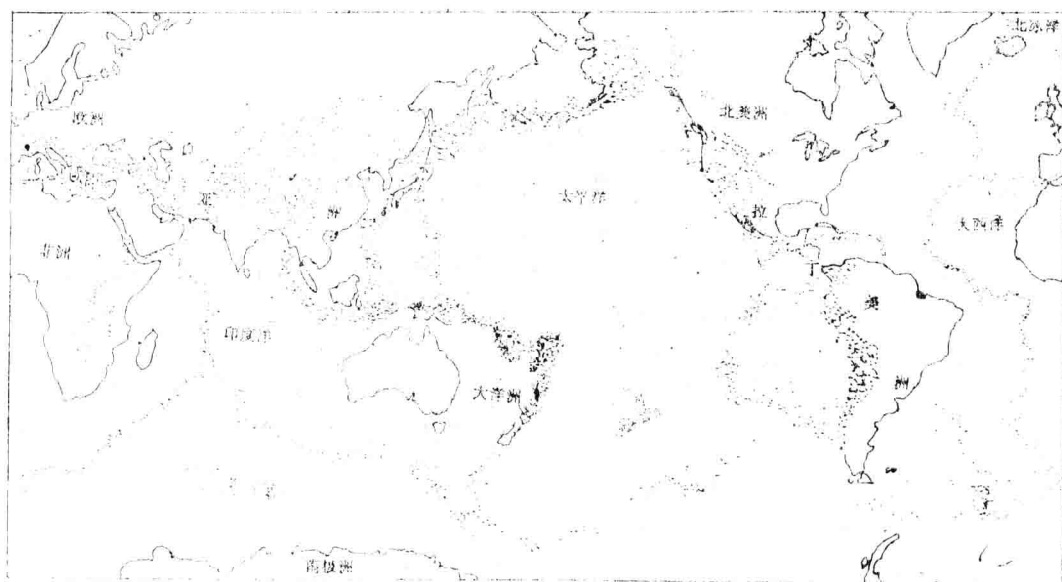


图 1—2 世界地震分布图

(1) 环太平洋地震带。沿南北美洲西海岸,阿留申群岛,转向西南至日本列岛,再经我国台湾省达菲律宾,新几内亚和新西兰。这一地震带的地震活动性最强,全球约80~90%的地震都集中在这一地带。这条带上曾发生几次著名的大地震,如1960年的智利8.9级大地震,1923年的日本关东大地震及1906年的美国旧金山大地震。

(2) 地中海南亚地震带。西起大西洋的亚速岛,经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区,过缅甸至印尼与环太平洋地震带相衔接。除分布在太平洋地震带的一部分中、深源地震外,大部分中、深源地震和一些大的浅源地震都发生在这一活动带。如1739年我国银川的8级地震,1920年我国海原的8.5级地震及1973年四川炉霍的7.9级地震等。

2. 我国的地震活动概况

从世界地震分布图(图1—2)可以看出,我国地处两大地震带的中间,是一个多地震的国家。

自公元前1831年开始有地震记载至今长达近4000年的记录表明,我国的地震分布相当广泛,全国除极个别省份外(例如浙江、江西),绝大部分地区都发生过较强的破坏性地震,有不少地区现代地震活动还相当强烈。我国较大地震地理分布的规律也有明显的成带性,可分为:

(1) 南北地震带。这条地震带北起贺兰山,向南经六盘山,穿越秦岭沿川西至云南省东部,纵贯南北,长达2000多公里。这条地震带宽度不一,大致在数十至百余公里左右。在这条地震带上发生过一些7级以上的强震,如1739年银川的8级地震、1920年海原(现宁夏境内)的8.5级地震、1970年云南通海的7.7级地震、1973年四川炉霍的7.9级地震、1976年四川松潘的7.2级地震等。

(2) 东西地震带。这是由我国一组很古老的构造带所形成。从地震地质角度来看,主要的东西向构造带有两个:北面的一个沿陕西、山西、河北北部的狼山、阳山、燕山向东延伸,直至辽宁北部的千山一带;南面的一个自帕米尔起,经昆仑山、秦岭直至大别山地区,主要是古生代褶皱系统,也是由一系列的大断裂带所组成。

我国西部地区地壳活动性大,新构造运动非常明显,所以我国西部地震活动较东部为强。

§1—2 地震波、地震震级和地震烈度

一、地震波

当地球的岩层突然断裂时,岩层积累的弹性变形能突然释放,其中的一部分转化为声、热能,其余的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。

在地球内部,地震波是一种体波,它包括纵波与横波。

纵波是由震源向外传递的压缩波亦称P波,这种波质点的振动方向与波的前进方向一致,可在固体、液体内传播。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500~600m/s的速度传播。

横波是由震源向外传递的剪切波，亦称S波，这种波质点的振动方向与波的前进方向相垂直，仅能在固体内传播，不能在液体内传播。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300~400m/s的速度传播。

利用P波与S波传播速度的差异，可从地震记录仪上得到二者到达的时间差，从而可推算出震源的位置。

由于地球的层状构造特点，体波通过分层介质时，将会在界面上反复发生反射和折射。在地球这一特殊界面上，当体波经过地层界面多次反射后，投射到地面时，又激起两种仅沿地面传播的面波——Rayleigh波（简称R波）和Love波（简称L波）。面波振幅大而周期长，振幅随深度增加而减小，速度为S波的90%左右，面波的传播是平面的，比体波衰减慢，故能传播到很远的地方。P、S、R、L四种波的波速顺序是：P波最快，S、L波次之，R波最慢。

二、震级

震级就是地震的级别，用以说明地震的大小，用符号 M 表示。

目前国际上比较通用的是里氏震级，其原始定义是1935年由里克特（Richter）给出的，即震级大小系利用标准地震仪（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处记录的以微米（ μm ）为单位的最大水平地动位移（振幅）的普通对数值。其表达式为：

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

式中， M 为震级； A 为地震仪记录曲线上的最大振幅。如 $A = 100\text{mm} = 10^5 \mu\text{m}$ ，则该次地震的震级 $M = \lg 10^5 = 5$ ，即该次地震的级别为里氏5级。

很明显，地震时距震中恰好100km处不一定有地震仪，即便有也未必是标准地震仪，因此，就有必要对不在距震中100km处的非标准地震仪所确定的震级进行修正。具体办法是通过大量观测，运用统计方法，找出各种因素对震级值影响的经验关系，从而对不在距震中100km处的各种非标准地震仪的记录进行修正而得到本次地震的里氏震级。

一般地说小于2级的地震，人们感觉不到，称作微震；2~4级地震，称为有感地震；5级以上就要引起不同程度的破坏，统称为破坏性地震；其中7级以上称为强烈地震或大地震。迄今为止，所记录的世界最大地震是1960年5月22日发生在智利的8.9级地震。

震级表示一次地震能量的大小，也是表示地震规模的指标。一次地震只有一个震级。震级与地震波能量间有如下的经验公式：

$$M = \frac{2}{3} \lg E - 12.54 \quad (1-2)$$

式中， E 为地震波的能量（焦耳）。

由式（1-2）可以推算出震级每增大一级，地震波能量将增大31倍。应当指出，地震波能只是地震时所释放的全部能量的一部分。

三、地震烈度与烈度表

1. 地震烈度

地震烈度是指某一地区，地面及房屋建筑遭受到一次地震影响的强弱程度。对应于一次地震，震级只有一个，但因各地区距震中远近不同，地质情况和建筑情况不同，所受到地震的影响不一样，所以烈度不同。一般地说，震中区烈度最大，离震中愈远烈度愈小。

地震烈度是根据人的感觉，家俱和物品的振动情况，房屋和构筑物遭受破坏等各方面情况综合起来，从宏观角度对地震影响作出的定性描述。所以，可以认为烈度是表示地震影响程度的一个尺度。评定烈度的标准叫烈度表。目前，我国使用的是 12 度烈度表。

震级与烈度是两个相互联系，又有区别的概念。对于震源深度为 15~20km 的浅源地震，震级和震中烈度的对应关系大致如表 1—1 所示。震级愈大，震中烈度愈高。

震级与震中烈度的关系 表 1—1

震 级	2	3	4	5	6	7	8	> 8
震中烈度	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

2. 基本烈度与设计烈度

地震基本烈度是指某地区今后一定时间内，在一般场地条件下可能遭受的最大烈度，各个地区的基本烈度是根据当地的地质地形条件和历史地震情况，由有关部门确定的。经国家地震局批准的现行《中国地震烈度区划表》（1980年颁布）中所确定的烈度为基本烈度。

设计烈度是根据建筑物的重要性，在基本烈度的基础上，按区别对待的原则进行调整确定的。

对于特别重要的建筑物，经国家有关部门批准，设计烈度可按基本烈度提高一度采用。

对于重要的建筑物，设计烈度可按基本烈度采用。

对于次要建筑物，设计烈度可比基本烈度降低一度采用。为了避免建筑物在设计烈度降低后，地震时会有较大破坏，甚至在高烈度区的倒塌危险，它的构造措施可仍按基本烈度考虑，以保证建筑物的基本抗震要求。

为了保证 6 度区的建筑物都具有一定的抗震能力，当基本烈度为 6 度时，设计烈度不再降低。

对于临时性建筑物，可不考虑设防。

§1—3 震害现象及近、远震

地震的破坏现象可归纳为以下三个方面。

一、地表的破坏现象

强烈地震发生后，常常在地震区看到地裂缝、冒水喷砂以及滑坡、塌陷等破坏现象。

地裂缝的产生是地下断层的错动和地面运动的结果。潮湿松软的土层，河堤岸边，

陡峻的山坡等处都是容易产生地裂缝的地方。地裂缝穿过房屋、公路、地下构筑物时，会造成墙和基础的断裂或错位，严重时会造成房屋倒塌。在选择建筑场地时，应充分考虑这一不利因素的影响。

冒水喷砂是由于地震波强烈的振动，在地下水位较高，砂层埋藏较浅的地区，使含水层受到挤压，地下水从地裂缝或土质松软的地方冒出地面，而在含有砂层的地方，地下水则夹带砂子喷出的现象。冒水喷砂常导致地面下陷，建筑物下沉、倾斜等危害。

二、建筑结构破坏

破坏性地震发生时，不仅各类建筑物会遭到不同程度的破坏，也使人民生命财产蒙受损失。造成各类工程结构破坏的原因可归纳为以下三个方面。

1. 主要承重结构强度不足

任何承重结构都有其特定功能，适于承受一定的外力。对于设计时没有考虑地震影响或设防不足的结构，在地震作用下，构件所要承受的外力会突出增大许多倍，致使构件因强度不足而破坏。例如承重砖墙，当地震作用使其主拉应力大于砌体主拉力设计强度时，墙面就要开裂破坏；又如，钢筋混凝土柱被剪断、压酥都属于强度不足引起的破坏。

2. 结构整体性丧失

不管是房屋建筑还是其它构筑物，都是由许多不同的构件所组成，其结构整体性好坏能否保证房屋或构筑物在地震作用下不致发生倒塌的关键。

如果构件间连接薄弱，支撑数量不足，在地震力作用下，各部分构件和主要承重结构并不一定破坏，而往往是由于局部的节点强度不足，延性不好或锚固连接太差而破坏，导致整个建筑物的倒塌。

3. 地基失效

在地震的强烈作用下，地基承载力可能下降甚至丧失，也可能由于地基饱和砂层液化造成建筑物的沉陷、倾倒或坍塌。这种破坏不可能只靠加强上部结构的办法来解决，而需要采取必要的地基抗震措施，加强建筑物的抗震稳定性。

三、地震次生灾害

地震除直接造成地表和建筑物等的破坏外，还可能引起火灾、水灾、污染等严重的次生灾害，这种由地震引起的灾害，有时比地震直接造成的损失还大，尤其是在大城市或大工业区。例如1923年日本关东大地震，据统计，震倒房屋13万栋，由于地震时正值午饭时刻，许多地方同时起火，加之路道堵塞，自来水管遭破坏，救火工作受到限制，致使大火蔓延烧毁房屋竟达45万栋之多！1906年美国旧金山大地震，震后三天火灾中，共烧毁521个街区的2.8万幢建筑物，使原来虽被震坏但并未倒塌的房屋，被大火夷为一片废墟。因此，切实做好地震区水库、堤坝，贮存易燃易爆、剧毒物品的设备，城市公用设施的抗震、防震工作，对减少次生灾害是十分重要的。

地震经验表明，在宏观烈度相似的情况下，处在大震级远震中距下的柔性建筑，其震害要比中、小震级近震中距的情况重得多，理论分析也发现，震中距（建筑物或构筑物到震中的距离）不同，建筑物或构筑物的地震反应谱频谱特性也不相同。换言之，在基本烈度相同的情况下，建筑物所受地震的影响并不相同，它与产生该烈度的地震震级有关。有鉴于此，《建筑抗震设计规范》(G B J11—89)(以下简称《规范》)引入设计

近震（简称近震）和设计远震（简称远震）的概念。这一概念是对设防烈度的补充。

按现行烈度区划表，我国绝大多数地区只考虑近震影响，需考虑远震影响的城镇大致如下：

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、五原、南投、乌鲁木齐、喀什、伊宁、攀枝花、拉萨、高雄。

6度远震：赤峰、济宁、青岛、济南、泰安、潍坊、阳泉、安丘、商丘、盐城、滁县、盐津、招远、承德、本溪、哈密、库尔勒、永昌、武威、托克逊、吐鲁番、景洪、景谷、定西、雅安、株州、湘潭、益阳、莆田。

§1—4 抗震设防及抗震设计的基本原则

一、抗震设防的基本原则

1. 抗震设防的一般目标

抗震设防就是指对建筑物进行抗震设计和采取抗震构造措施以达到抗震的效果。抗震设防的依据是抗震设防烈度。抗震设防烈度是一个地区作为抗震设防依据的地震烈度，按国家规定权限审批或颁发的文件执行，一般情况下，采用基本烈度。顺便说明，《规范》适用于设防烈度为6～9度的地震区的抗震设计，当设防烈度为10度时，应按有关专门规定执行。

房屋抗震设防的方针是预防为主，其目的是在现有科学技术水平和经济条件下，减轻工业与民用建筑的地震破坏，避免人员伤亡，减少经济损失。

抗震设防的一般目标是：

（1）当遭到多遇的、低于本地区设防烈度的地震影响时，建筑物一般不受损失或无需修理仍可继续使用，即“小震不坏”。

（2）当遭受本地区设防烈度的地震时，建筑物可能有一定损坏，经一般修理或无需修理仍可继续使用，即“中震能修”。

（3）当遭受高于预估的本地区设防烈度的罕遇地震时，建筑物不致倒塌或发生危及人类生命的严重破坏，即“大震不倒”。

概括起来，抗震设防的一般目标就是要做到“小震不坏，中震能修，大震不倒”。

2. 建筑物的类别及其设防标准

（1）建筑的类别。建筑物的重要程度不同，其设防标准也就不同。为此《规范》按建筑物的重要性将其分为甲、乙、丙、丁四类。

甲类建筑 特别重要的建筑物，即那些一旦震坏将对政治、经济、社会有重大影响的建筑物。如国家级大会堂、纪念堂、原子能反应堆等。

乙类建筑 重要的建筑物。即那些一旦震坏会对救灾工作带来严重影响的建筑物。它包括救护、医疗、广播、通讯、交通枢纽、供水、供电、消防救火等方面的有关建筑物。

丙类建筑 甲、乙、丁以外的一般工业与民用建筑均属此类，这类建筑是大量的。如厂房、办公楼、教学楼、商店、住宅等。

丁类建筑 指次要的建筑物。如一般的仓库，人员较少的辅助建筑物。

(2) 建筑物的设防标准。甲类建筑应作专门的抗震设计处理。如提出设防安全水准，地震动设计参数以及采用规范规定以外的设计和特殊的构造措施。

乙类建筑的地震作用计算按本地区设防烈度考虑，抗震构造措施则按本地区的设防烈度提高一度考虑。

丙类建筑的地震作用和抗震构造措施均按本地区的设防烈度考虑。

丁类建筑的地震作用计算仍按本地区的设防烈度考虑，抗震构造措施可按本地区的设防烈度降低一度考虑，但设防烈度为 6 度时不予降低。

总之，建筑物愈重要，设防烈度愈高，其抗震设防的标准亦愈高。

二、抗震设计的基本原则

为使建筑物具有较好的抗震性能，除了对地震作用效应进行定量计算之外，还应对建筑结构进行合理的布置、选型以及采取正确的构造措施。两方面同等重要，不可厚此薄彼。

根据大量的宏观调查和对各类建筑物震害分析的结果，总结出下列的抗震设计基本原则。

1. 选择对抗震有利的场地、地基和基础。

建筑物的抗震能力与场地条件有密切的关系。此已为历次地震调查所证明。

选择建筑场地时，首先应避免在有活动断层的地段上进行建设。

从地形地貌看，宜选择地势平坦开阔的地方作为建筑场地，在陡坡、深沟、峡谷地带不宜建造房屋。

从地基条件考虑，干燥密实的地基土对抗震最为有利。如建筑物必须处于软弱地基土上时，则应进行地基处理。并特别注意采取措施增加上部结构的刚度。另外还要注意同一建筑单元不宜设置在性质截然不同的地基上。

对基础的设计要求是：同一结构单元宜采用同一类型的基础，不宜部分采用天然地基，部分采用桩基；同一建筑单元的基础（或桩承台）宜埋置在同一标高上；地基有软弱粘性土、可液化土和严重不均匀土层时，宜加强基础的整体性和刚性；桩基宜采用低承台桩。

2. 选择有利于抗震的平面和立面布置

建筑物的平、立面布置宜规则、对称，质量和刚度变化均匀，避免楼层错层；对体型复杂的建筑物可设置抗震缝。抗震缝应同伸缩缝、沉降缝协调布置，且相邻的上部结构应完全分开，并留足够的缝宽。若伸缩缝或沉降缝兼作抗震缝，则其构造应首先满足抗震缝的要求。

3. 合理规划，避免地震时发生次生灾害

避免地震时发生次生灾害是抗震设计的一个很重要的内容。在建筑规划上应为地震时人员疏散和搭设抗震临时建筑留有余地。公共建筑更应考虑疏散问题，一般可与防火疏散同时考虑。

烟囱、水塔等高耸构筑物应与居住房屋等保持足够的安全距离。

应特别注意使易于酿成火灾、爆炸和气体中毒等次生灾害的工业建筑物远离人口稠

密区，以防地震时发生爆炸、火灾等事故而造成更大的灾难。

4. 选择技术上经济上合理的抗震结构体系

究竟哪种结构体系有利于抗震，在技术上经济上合理很难一言以蔽之。不过，一般来说抗震结构体系的选择可遵循下列原则：

(1) 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递路线；

(2) 应采用超静定结构以增加抗震防线，增强整个结构体系的抗震能力。

(3) 应具备必要的强度，良好的变形能力和耗能能力；

(4) 宜具有合理的刚度和强度分布，避免因局部削弱或突变形成薄弱部位，产生过大的应力集中或塑性变形集中；对可能出现的薄弱部位，应采取措施提高抗震能力。

另外，大量的宏观调查表明，建有地下室的建筑一般地震破坏较轻，故在多层和高层建筑中，可用加深建筑物地下深度的办法来提高建筑物的抗震能力。

5. 抗震结构构件应有利于抗震

抗震结构的构件应力求避免脆性破坏。为此，对砌体结构构件应按规定设置钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱、或采用配筋砌体和组合砌体柱等，以改善其延性；对钢筋混凝土结构构件（梁、柱、墙等）应合理地选择尺寸，配置纵向钢筋，避免剪切先于弯曲破坏、混凝土的压溃先于钢筋的屈服、钢筋锚固失效先于构件破坏；对钢结构构件则应防止局部压屈或整体失稳。

6. 结构构件间应有可靠的连接

为此，应保证构件节点的承载力不低于其连接构件的承载力；预埋件的锚固承载力不低于连接件的承载力；装配式结构的连接应能保证结构的整体性。

7. 非结构构件应有可靠的连接和锚固

女儿墙、高门脸、雨篷、吊顶、装饰贴面、围护墙等属非结构构件，它们应与主体结构有可靠的连接和锚固，以免地震时倒塌伤人毁物造成附加灾害，加重地震损失。特别是在人流出入口、通道、重要设备附近等处应注意加强抗震措施。

8. 确保施工质量，贯彻设计意图

建筑物在强震作用下的表现，既是对抗震设计水平的检验，也是对施工质量的检验。施工质量的好坏直接影响建筑物的抗震效果。

建筑物的施工要特别注意符合图纸上合理的抗震要求，注意原材料规格和性能的选择，所有的接头、节点和焊接部位都要实行预检和隐检验收。要切实保证混凝土和砌筑砂浆的标号，严格做到混凝土振捣密实，砌筑砂浆饱满。各种施工缝都是薄弱环节，必须注意再次施工时的结合问题。

结构施工中，不宜以屈服点更高的钢筋代替原设计中的主要钢筋，当需要替换时，宜按照钢筋的实际屈服点进行换算。

另外，构造柱、芯柱和底层框架砖房的砖填充墙框架的施工，应先砌墙后浇混凝土柱；砌体结构的纵、横墙交接处应同时咬槎砌筑或采取拉结措施。

§1—5 抗震鉴定与加固

抗震鉴定就是依据现行的抗震鉴定标准，对已成建筑结构各部分的抗震性能进行逐

一调查（包括设计、施工的原始资料）和验算并提出加固处理意见。鉴定的对象是那些处于地震区而未考虑抗震设防的建筑物。

抗震加固就是在抗震鉴定的基础上，针对建筑结构的薄弱环节采取加强抗震构造措施的补救方法以提高建筑结构的抗震性能，使其达到抗震设计规范所规定的抗震标准。

唐山原是一座没有抗震设防的城市，1976年的大地震提醒人们：在地震区，建筑物的抗震设防是非常必要的。

鉴于唐山大地震的惨痛教训，为切实贯彻以预防为主抗震方针，自1977年起，全国大部分地区都开展了对原有建筑物的抗震鉴定工作，对不满足抗震要求的建筑采取补救性的加固措施。

为了适应抗震鉴定和加固的需要，原国家基本建设委员会于1977年11月颁布了《工业与民用建筑抗震鉴定标准》，其后，有关部门又制订了《民用砖房抗震加固技术措施》，《工业与民用建筑抗震加固技术措施》。这些工作有力地推动了全国房屋建筑及一些构筑物抗震加固工作的开展。在近年来发生的6～7级强震的地震区，加固了的建筑物经受了地震的考验，说明抗震加固确实是减轻地震灾害的有效措施。

第二章 场地、地基和基础

强烈地震发生以后,在地震区往往可以看到地裂缝、冒水喷砂、滑坡、崩塌、沉陷等场地震害现象。

地裂缝 由于强烈的地震作用,使地下断层发生强烈错动,而地下断层的活动常使上覆土层(或岩层)产生移动,从而导致地面裂缝。这种裂缝长可达数千米以至几千米,宽度达0.1m。裂缝两侧常伴有上下错动和前后错动。其走向一般与地下断裂带走向一致。因此地裂缝对研究地下断裂带有很大帮助。处于古河道、河湖堤等松散地段,在地震时,由于震陷作用也会引起地裂缝。这类裂缝与上述裂缝相比,其规模小,无规律,形状不一,纵横交错。唐山地震时这种裂缝出现较多,仅天津市区就有73处共184条。

冒水喷砂 由于地震波的强烈振动,在地下水位较高的地区,地下水由于含水层受到挤压,往往经地裂缝或土质松软的地方冒出地面,在含有砂层或粉质粘土的地方,地下水就夹带砂子喷出地表。喷砂冒水一般持续时间不长。严重的地方,可造成房屋不均匀下沉和开裂。

滑坡塌方 在陡峭的山坡,以及土的抗剪强度较低的层面,常常在地震力的反复作用下使斜坡土体的抗剪强度降低而发生破坏,如1971年云南通海地震,山坡的一座小村庄滑移了100多米。又如1920年海原8.5级强烈的地震使某河床两侧白垩系红色地层组成的巨大的山体相向滑落,形成大规模滑坡。此滑坡面峭壁高达60m以上,长约1500m,塌落的土石超过 10^6m^3 。这些土石将河床堵塞,形成长约2000m,平均宽为200m,面积约为 0.4km^2 的堰塞湖。

此外,还有崩塌、地陷等震害现象,多次震害的情况表明,在某一相邻区域内,房屋的平立面、建筑质量,结构形式等都相同的建筑物,震害程度却有很大的差异,即会出现“重灾区里有轻灾,轻灾区里有重灾”这一烈度的异常现象。研究结果表明这一现象与建筑地段、场地类别有关、因此为了避免出现上述的震害现象,合理选择建筑场地,本章将根据《抗震规范》(G BJ11—89)介绍建筑场地段的划分、场地土的类型划分、建筑场地类别的确定、土的液化判别及等级划分等内容,并指出了地基基础的抗震验算方法和抗震措施。

§ 2—1 建筑场地的分类及选择

关于建筑场地的分类,规范首先对建筑地段作了划分,然后对土质作了分类,再根据土质与场地覆盖层厚度确定建筑场地的类别、要求尽量能在有利地段的较好建筑场地上建造房屋。

一、建筑场地地段的分类

《抗震规范》(G BJ11—89)根据建筑场地土的地质、地形、地貌特征将建筑场地地段划分为对抗震有利、不利和危险三个地段。