

建筑物抗震设计

梁发云 芦存恕等 编著

JIAN ZHU WU KANG ZHEN SHE JI

长 春 出 版 社

前 言

近年来,我国在建筑抗震方面,以几次大地震为对象,进行了广泛深入的现场调查、试验研究和理论探讨,取得了令人瞩目的进展。《建筑抗震设计规范》GBJ11—89(简称《规范》)集中反映了这些科研成果。《规范》从建筑物的设防标准、设计方法、地震作用计算、场地条件的划分、地基液化程度的判别到各类建筑物的具体抗震计算要点和构造措施等与原有《工业与民用建筑抗震规范》TJ11—78(简称《TJ11—78抗震规范》)相比,都作了较大变动。为了使广大建筑结构设计及施工技术人员以及管理人员掌握新的抗震规范,国家建设部抗震防灾办公室组织编写了本书。

本书内容,除土、木、石结构房屋一章没有编写外,其它所有内容与《规范》的编排基本一致。为便于读者理解和应用《规范》,书中的建筑物抗震计算,以手算形式为主,采用的计算方法也以简化计算为主。书中还附有各种类型的例题,以便使设计人员在具体设计时有所参考。

本书第一章由梁发云同志执笔;第二章由袁铁铮同志执笔;第三章和第五章由卢存恕同志执笔;第四章由朱家训同志执笔;第六章由王德清同志执笔;第七章由谢世雄同志执笔;第八章由杜岩同志执笔;第九章由唐寿斌同志执笔。全书由卢存恕同志统稿。

本书由龚思礼和叶耀先二同志审阅,编著过程中曾由王广军、周锡元、钟益村和王开顺等同志初审,吉林省抗震防灾办公室赵德仁同志作了许多组织工作。对以上同志及各方面给予支持并付出辛勤劳动的同志,在此深表谢忱。

由于作者对《规范》理解还不够深刻,书中难免会有缺点、错误,敬请广大读者批评指正。

编著者

1989年10月

建筑物抗震设计

梁发云 卢存恕 等编著

责任编辑：孙慧平

封面画：董 赤

封面设计：王爱忠

长春出版社出版

长春出版社发行

(长春市重庆路10号)

长春市东新印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32

1990年3月第1版

印张：13.6875 插页：5

1990年3月第1次印刷

字数：328 000

印数：1—7 000册

ISBN 7—80573—077—6/TU·2

定价：（精）7.40元

《抗震防灾丛书》编委会

主 编 陈寿梁

常务编委 高家富

梁发云

韩精忠

编 委 (按姓氏笔划为序)

叶耀先

刘志刚

陈寿梁

吴英健

钟益村

梁发云

高家富

韩精忠

《抗震防灾丛书》序

中国是世界上多地震的国家之一，自本世纪以来的80多年内，共发生破坏性地震2600余次，我国又是世界上遭受地震灾害最为严重的国家，自1966年邢台大地震以来，发生了近30次7级以上强震，给人民生命财产造成了巨大损失。震惊中外的1976年唐山大地震，伤亡40余万人。唐山大地震血的教训记忆犹新，我们必须认真总结地震灾害的经验，加强抗震防灾知识的宣传普及工作，以提高全民族的抗震意识，尽最大可能减轻地震灾害。根据国家抗震防灾主管部门的统一安排，决定编辑出版《抗震防灾丛书》，由长春出版社陆续出版。

本丛书由我国抗震防灾管理部门、研究单位和大专院校的专家、学者撰写，它从不同的侧面总结了建国40年来抗震防灾工作的经验。丛书包括《地震与抗震》、《建筑物抗震设计》、《建筑物抗震加固》、《城市抗震防灾规划》、《设备抗震鉴定与加固》、《村镇房屋抗震》、《震后恢复与重建》、《企业抗震防灾》共八种。

地震是人类社会的一项自然灾害，抗御地震灾害，是人类征服自然的伟大斗争。我们深信，通过人们的不懈努力，最终必将战胜地震灾害！

《抗震防灾丛书》编委会

1989年5月于北京

目 录

第一章 建筑物抗震设计总则	1
第一节 抗震设防标准.....	2
第二节 抗震设防范围.....	3
第三节 建筑物分类.....	4
第四节 建筑物的抗震设防标准.....	5
第五节 抗震设计基本要求.....	6
第二章 场地 地基和基础	13
第一节 场地.....	13
第二节 地基.....	17
第三节 基础.....	27
第三章 地震作用和结构抗震验算总则	32
第一节 建筑抗震设计的两个阶段.....	32
第二节 单质点体系的水平地震作用.....	34
第三节 多质点体系的水平地震作用.....	43
第四节 考虑扭转作用的简化计算.....	55
第五节 各类建筑抗震计算方法的选择.....	58
第六节 竖向地震作用的计算.....	60
第七节 截面抗震验算的总则.....	61
第八节 抗震变形验算.....	63
第四章 多层砌体房屋	69
第一节 结构布置的基本原则.....	70
第二节 砌体房屋的验算.....	73

第三节	构造措施.....	103
第五章	多层和高层钢筋混凝土房屋.....	113
第一节	结构选型与布置的一般规定.....	113
第二节	框架结构在水平结点荷载作用下的内力与位移简化计算公式.....	120
第三节	框架结构的抗震计算.....	131
第四节	框架-抗震墙结构的抗震计算	161
第五节	联肢墙与壁式框架抗震计算简介.....	197
第六节	抗震构造措施.....	224
第六章	底层框架和多层内框架砖房.....	231
第一节	结构造型与布置的一般规定.....	233
第二节	底层框架砖房的计算.....	235
第三节	多层内框架砖房的计算.....	268
第四节	底层框架和多层内框架砖房的抗震构造措施.....	282
第七章	单层工业厂房.....	285
第一节	结构选型的一般规定.....	285
第二节	单层钢筋混凝土柱厂房的抗震计算.....	287
第三节	单层砖柱厂房与单层钢结构厂房抗震计算要点.....	340
第四节	构件局部抗震强度验算.....	342
第五节	抗震构造措施.....	350
第八章	单层空旷房屋.....	364
第一节	抗震计算.....	364
第二节	抗震构造措施.....	386
第九章	烟囱和水塔.....	388
第一节	烟囱.....	388
第二节	水塔.....	413
主要参考文献.....		422
附录 震害图片.....		424

第一章 建筑物抗震设计总则

地震是一种自然现象，强烈的地震会造成人的生命和财产的严重损失。地震造成人员伤亡和经济损失的主要原因是房屋建筑的倒塌和工程设施的破坏，世界上130次人员伤亡较大的地震，其中95%以上是由于未进行抗震设防的建筑物倒塌所造成的。因此，提高建筑物的抗震能力，对建筑物进行抗震设防，是抗震防灾的关键和重点。

国内历次强震震害表明，凡是经过抗震设防的建筑，一般都经受住了地震考验，从而大大地减轻了地震灾害。如1976年唐山地震中，唐山市面粉厂是套用了按地震烈度为8度设防的图纸建成的，遭受10度强震时，没有产生严重破坏（见附录图片1）。1988年云南澜沧-耿马地震中，1985年建成的耿马电影院按地震烈度为8度设计施工，地震中仅有轻微破坏。

国外多次地震经验也证明，经过抗震设防的工程，大大减轻了灾害。1964年美国阿拉斯加发生M8.5级大地震，位于震中的安克雷奇城大部分建筑物进行了抗震设防，地震中很少倒塌。日本关东大地震，震级也高达M8.2级，700栋进行抗震设防的大楼，震后完好无损的占75%，有不同程度破坏的占23%，只有2%倒塌。

上述国内外事例说明对建筑物进行抗震设防是减轻地震灾害的有效措施，是贯彻执行地震工作以防预为主方针的具体体现。根

据我国目前的科学水平和经济条件，建筑物的设防标准还不能过高。一般说来，建筑物经抗震设防后，要达到减轻建筑物的地震破坏，避免人员伤亡，减少经济损失的目的。

第一节 抗震设防标准

《建筑抗震设计规范》GBJ11—89（简称《规范》）对新建工程提出的这个抗震要求可概括为：“小震不坏，大震不倒。”具体表述为三个水准。第一水准：当建筑物遭受低于所在地区的设防烈度的多遇地震影响时，不需修理，仍可满足正常使用的要求；第二水准：当遭受本地区设防烈度的地震影响时，可能损坏，但不需修理或经一般修理即可继续使用；第三水准：当遭受高于本地区设防烈度的罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

按第一水准要求，地震中结构应处于正常使用状态，可以视为弹性体系，采用弹性反应谱进行弹性反应分析，同时应使结构满足强度要求（钢筋应力在屈服限度内），按第二、第三水准的要求，地震中结构进入弹塑性工作阶段，结构依靠其变形能力和吸能能力来抗御地震，在此阶段，需要控制层间变形，以避免产生过大的不易修复的变形（即达到第二水准要求）或产生引起倒塌的变形（即达到第三水准），所以，都需要对结构进行变形验算，如不能满足变形要求时，需调整结构构件的强度与刚度水平并采取相应的构造措施。

为了简化建筑物抗震设计，《规范》实际采用了两个阶段设计。

第一阶段设计主要是强度验算。首先按第一水准的地震动（小震）参数求出结构在弹性状态下的地震作用标准值和地震作用效应，然后将它与恒载等其它荷载效应组合，并采取经抗震调

整系数调整后的构件承载力，进行截面的抗震设计。对建筑物进行第一阶段设计，除达到了第一水准的强度要求外，还隐含着达到了第二水准的变形要求。对大多数结构可只进行第一阶段设计，而通过概念设计和抗震构造措施来达到第三水准设计要求。

第二阶段设计是弹塑性变形验算。对特别重要的建筑和地震时易倒塌的结构，除进行第一阶段设计外，还要验算薄弱部位的弹塑性层间变形并采取相应的构造措施，以满足第三水准(大震)的要求。绝大多数的一般结构，不需进行第二阶段设计。

第二节 抗震设防范围

1978年国家制定的《工业与民用建筑抗震设计规范》TJ11—78(简称《TJ11—78抗震规范》)规定，建筑物建筑设防烈度起点为7度。鉴于20多年来我国发生的一系列中强地震多发生在基本烈度为6度的地区，而地震烈度为6度以上的地区几乎遍布全国各个省区。建筑物的破坏和人员伤亡，90%以上也发生在这些地区。为减轻6度区今后可能发生的大地震震害，《规范》增加了6度地区进行抗震设防的要求。6度地区的建筑采取相应的抗震措施之后，抗震能力比不设防时有实质性的提高，但其抗震能力仍是较低的，不能有过高估计。总的原则是以较小的投资，尽量使建筑物遭遇6度甚至7度地震影响时，不致有较大的损坏。

由于6度区新建工程的设防所增加的投资还不到土建造价的1%，因此这样做可达到以少量投资保障建筑物在地震时不致有较大破坏的目的，从全局和长远看是值得的。

《GBJ11—89 抗震规范》的抗震设防范围为6~9度地区。对抗震设防烈度为10度地区的建筑抗震设计，应按专门的规定执行。

第三节 建筑物分类

建筑物的使用性质不同地震时其破坏所造成的后果也不一样。一些建筑物的破坏可能仅造成经济的损失，而另一些建筑物的破坏可能造成大量的人员伤亡、重大经济损失或严重的政治影响，因此对于各种用途的建筑物，应根据其破坏后果的严重程度分别提出不同的抗震设防要求。为此，规范将建筑物按其用途的重要程度划分为四类：

甲类建筑：即特别重要的建筑。指遭地震破坏后导致不可挽回的严重损失的建筑物。这类建筑物的破坏可能引起放射性污染，剧毒气体扩散，大爆炸及其它政治、经济、社会的严重后果。

乙类建筑：指国家确定的52个重点抗震城市生命线工程的建筑和地震时救灾需要的建筑等。它包括城市的供电，供水、供气、通讯、广播、交通、医疗、消防、粮食等系统的建筑，还包括人员大量集中的公共建筑、指挥机关和其它重要建筑。国家重点抗震城市已分批公布过，目前确定了52个城市为全国重点抗震城市。它们是：北京、天津、唐山、石家庄、秦皇岛、邯郸、太原、大同、呼和浩特、包头、大连、丹东、锦州、长春、吉林、南京、连云港、徐州、合肥、蚌埠、淮南、烟台、德州、枣庄、九江、厦门、泉州、漳州、安阳、焦作、三门峡、湛江、海口、汕头、成都、自贡、渡口、西昌、昆明、下关、车川、西安、宝鸡、咸阳、兰州、天水、嘉峪关、西宁、银川、石嘴山、乌鲁木齐、喀什。

丙类建筑：指甲、乙、丁类以外的一般的工业与民用建筑。

丁类建筑：指次要的建筑。这类建筑如遇地震破坏，不致造

成人员伤亡和较大经济损失。

第四节 建筑物的抗震设防标准

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叫抗震设防烈度。一般情况下，设防烈度等于所在地区的地震基本烈度。由于建筑的分类不同，对各类建筑的抗震设计要求也不同，现将对各类建筑的要求分述如下：

甲类建筑：此类建筑物的抗震设计需采取专门处理，如采取专门的设防安全水准，按专门研究的地震动参数计算地震作用，并采用《规范》规定以外的设计方法和采取特殊的抗震构造措施。该类建筑的抗震设计应按国家规定的批准权限审批后执行。

乙类建筑：乙类建筑的地震作用，应按本地区的抗震设防烈度计算，除《规范》有具体规定者外，可按本地区设防烈度提高一度采取抗震措施，抗震设防烈度为 9 度时可适当提高。

丙类建筑：地震作用按当地的抗震设防烈度计算，抗震构造措施也按当地的抗震设防烈度考虑。

丁类建筑：地震作用仍按本地区抗震设防烈度计算，抗震构造措施可按本地区抗震设防烈度降低一度考虑，但当抗震设防烈度为 6 度时，可不降低。乙、丙、丁三类建筑，当抗震设防烈度为 6 度时，除《规范》具体规定者外，可不进行地震作用计算。临时性建筑不进行建筑抗震设防。

抗震设防烈度作为一个地区抗震设防的依据，一般情况下采用基本烈度，它不同于《TJ11—78 抗震规范》单个建筑的设计烈度；对做过地震小区划的城市或地区，也可按国家主管部门批准的地震动参数考虑抗震设防。

第五节 抗震设计基本要求

由于地震动的不确定性和复杂性，以及结构力学模型与实际情况的差别，使“计算设计”很难有效地控制结构的抗震性能，70年代以来，随着对地震灾害经验的不断总结，抗震研究的深化，以及设计方法的交流，人们发现：对结构抗震设计来说，“概念设计”比“计算设计”更为重要。也就是说，结构抗震不能完全依赖“计算”，而决定因素是良好的“概念设计。”

下面就概念设计的主要内容和抗震设计中的一些基本要求分述如下：

一、考虑近震、远震的地震影响，选择对抗震有利的场地和地基

地震经验表明，在宏观烈度相似情况下，处在大震级远震中距下的柔性建筑，其震害要比中、小级近震中距的情况重得多，理论分析也发现，震中距不同时，反应谱频谱特性并不相同。因此《规范》明确规定：当建筑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地区的地震时，抗震设计应按《规范》有关设计近震的规定执行；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，抗震设计应按《规范》有关设计远震的规定执行。设防烈度为9度时只考虑近震的地震影响。鉴于竖向地面运动随震中距的增大而衰减较快，故竖向地震作用计算不分近震、远震。

按现行的烈度区划图，我国大多数地区只考虑近震影响，要考虑远震影响的城镇大致如下：

8度远震：独子山、泸定、石棉

7度远震：侯马、连云港、徐州、淮阳、蚌埠、德州、枣庄、五原、南投、乌鲁木齐、喀什、伊宁、渡口、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、株洲、湘潭、益阳、莆田。

建筑物的抗震能力与场地条件有着密切关系。历次地震调查表明，同类型建筑物由于建造的场地不同，破坏程度会有很大差别。

首先应避免在危险地段建造甲乙丙类建筑，特别应避免在高烈度区有活动断层的地段进行建筑。

凡地形开阔平坦，场地土质坚硬或土质为密实均匀的中硬土等有利地段，可作为建筑抗震有利的场地。凡陡坡、深沟、峡谷地带，河岸和边坡的边缘等都不宜建造房屋，如不可避免时，应采取相应的抗震措施。

从房屋地基条件考虑，岩石、半岩石和密实的地基对房屋抗震最有利（见附录图片1）。因此，当建筑物场地为Ⅰ类场地时，建筑可按设防烈度降低一度采取抗震构造措施。而软弱粘性土，松软的人工填土，以及旧池塘、故河道、河滩、地基土软弱不均匀的地段，特别是易于发生饱和土液化的地区，都对房屋抗震不利，不宜在这些地方建造建筑物。

房屋的地基和基础设计时，应符合如下要求：同一建筑单元不宜设置在性质截然不同的地基土上；同一建筑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埋置在同一标高上，而对于地基软弱粘性土，可液化土，新近填土、或严重不均匀土层，应加强基础的整体性和刚性；对桩基还应采用低承台。

二、选择合理的平面、立面布置

选择有利抗震的建筑平面，可减轻某些建筑部位的震害程度。矩形、方形、圆形的平面，因形状规整，地震时能整体协调一致，并可使结构处理简化，有较好的抗震能力。□形、L形、V形的平面，因形状凸出凹进，地震时转角处应力集中，易于破坏，需从结构布置和构造上加以处理（见附录图片2、3）。

立面上各部分参差不齐有局部凸出或质量悬殊、刚度突变的，地震时容易发生局部严重损坏（见附录图片4、5）。

建筑物的质量和刚度，分布应力求对称和均匀，以减少地震时可能因受扭而破坏。

建筑物的体形比较复杂，应采取必要的措施，如：设置防震缝，将建筑物分隔成规则的结构单元，相邻的上部结构应完全分开并留足够的缝宽；伸缩缝、沉降缝应符合防震缝的要求。

对于建筑物体形复杂不设防震缝的，应选取符合实际的计算模型，采用专门的抗震设计方法、如采用时程分析，多维振型分析和变形分析等，估计其局部应力集中、塑性变形集中和扭转影响，以判明建筑物的易损部位，调整局部强度或采取加强延性的构造措施。

三、选择合理的抗震结构体系

大量的震害表明，采取合理的抗震结构体系，加强结构的整体性，增强结构各构件的连接是减轻地震破坏，提高建筑物抗震能力的关键。

抗震结构体系应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径；结构体系应具有多道防线，避免因部分结构或构件失效而导致整个体系丧失抗震能力；结构体系应具备必要的强度良好的

变形能力和耗能能力；结构体系的实际刚度和强度分布要合理，避免因局部削弱或突变形成薄弱部分，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，应采取措施提高其变形能力（见附录图片6）。

结构构件应避免脆性破坏，并采取相应措施提高变形能力。

对砖结构宜采用钢筋混凝土圈梁和构造柱，配筋砌体或钢筋混凝土和砌体组合柱等措施（见附录图片7）。

对钢筋混凝土构件（梁、墙、柱）应通过尺寸选择、纵向钢筋及箍筋的合理配置以避免剪切先于弯曲破坏，避免混凝土的受压破坏先于钢筋的屈服，避免钢筋锚固粘结先于构件破坏。

钢结构构件应合理控制尺寸，防止局部和整个构件失稳。

加强各构件之间的连接。构件的节点强度，预埋件的强度都不应低于其连接构件的强度，对装配式结构应加强各构件的连接以保证结构的整体性，对抗震支撑系统，应能保证地震时的结构稳定。屋盖支撑系统的不完善，容易导致屋盖系统失稳致使房屋倒塌，因此在支撑系统的布置上应特别注意保证屋盖系统的整体稳定性。

构件的连接除必须保证强度外，还要求超过弹性变形后，能保证具有相当的继续变形的能力——“延性”。结构的“延性”对结构吸收地震能量减少地震作用具有重要意义。

四、注意非结构构件的处理

建筑物的非结构构件一般是指附属结构构件（如女儿墙、高低跨封墙、雨蓬、门脸）装饰物（如贴面、顶棚、悬吊重物）。围护墙和隔墙等非主要承重和承力部件。这些非结构构件在通常的

结构分析方法中常被略去不计，然而这些附属部件对结构动力特征产生了比较显著的影响，而且在地震时参与工作起到了减轻主体结构震害的作用，同时，不同程度地改变了地震作用在主体结构中的分布规律以及构件的受力状态，附属部件本身也因此而发生不同程度的震害。所有这些情况不能不在结构总体设计中给予充分注意和认真对待。

处理好非结构构件和主体结构的关系，可以防止附加灾害，减少损失。附属结构构件在人流出入口、通道及重要设备附近时，由于其破坏容易伤人或砸坏设备，因此应与主体结构有可靠的连接和锚固，一般房屋应尽量不做或少做这类装饰性的附属物；带有这类装饰性附属物的天棚，过去多采用板条抹灰吊顶或石膏板天棚，地震时常发生大面积塌落。当前已出现大批新型轻质材料，新建的舞台、观众厅的天棚应采用轻质材料，并与龙骨牢固连接，装饰贴面与主体结构也应可靠连接，避免贴镶或悬吊较重的装饰物，如果必须贴镶和悬吊这类装饰物则应设置可靠的防护措施。对于采用高级饰面材料的空旷房屋，在确定结构方案时，是选择提高结构刚度、控制结构变形的办法保护建筑装饰，还是采取柔性连接的墙板来适应结构变形，以达到同样的保护目的。这就需要设计者从材料、施工、经济等多方面综合考虑、分析后确定。

对围护墙和隔墙应考虑结构抗震的不利或有利影响，更要注意避免不合理的设置而导致主体结构的破坏。1985年墨西哥地震中，一些框架结构房屋一塌到底；而隔墙和围护墙采用砌体，并嵌砌于框架之间的房屋，没有倒塌，只是主体结构有些轻微的破坏。所以，要充分利用砌体填充墙对主体结构地震内力的有利影响，避免不利影响。还要注意隔墙和围护墙在平面上的对称均匀分布，以及沿竖向的连续均匀分布。砌体填充墙与框架或