

● 中国建筑工业出版社



建筑抗震设计实例

● 卢存恕 常伏德 吴富英 范国庆 编著



建筑抗震设计实例

卢存恕 常伏德 吴富英 范国庆 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目(CIP)数据

建筑抗震设计实例/卢存恕等编著. —北京:中国建筑工业出版社, 1998
ISBN 7-112-03682-8

I. 建… II. 卢… III. 抗震结构-结构设计 IV. TU352.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 29256 号

本书与已出版的《钢结构设计例题集》、《砌体结构例题集》属于姊妹篇。目的在于通过具体的手算给读者一个明确的设计概念,并在使用电算时能对计算过程心中有数,并采用手算进行核对。全书有多层砖房、框架结构、框架-抗震墙结构、底层框架砖砌房屋、多层内框架,以及单层工业厂房和单层空旷房屋等 12 个实例,详细阐述其设计计算过程以及将规范构造规定贯彻于构造作法中,还给出与电算结果的比较。计算方法以底部剪力法为基础,并给出若干其他手算方法,包括一些粗略算法。此外,对于需用电算的振型分解反应谱法(包括扭转振动)与时程分析法也列出三个简例。为方便读者阅读并全面了解抗震设计内容,书中第一章将建筑抗震规范前三章的内容作了简明扼要的介绍,书中尽可能将原理、规范规定与设计应用融为一体,以达到应用的目的。

本书可供工业与民用建筑结构设计技术人员和大专院校师生参考使用。

建筑抗震设计实例

卢存恕 常伏德 编著
吴富英 范国庆

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:21¼ 字数:513 千字

1999 年 2 月第一版 1999 年 2 月第一次印刷

印数:1—3500 册 定价:27.00 元

ISBN 7-112-03682-8

TU·2836(8982)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

目 录

序言	1
第一章 抗震实例设计与计算基本依据	2
§ 1-1 总则	2
§ 1-2 抗震设计基本要求	2
§ 1-3 水平地震作用和结构抗震验算	5
第二章 多层砖房	11
§ 2-1 结构方案选择中的抗震依据	11
§ 2-2 抗震验算的原则与计算公式	13
§ 2-3 多层砖房抗震设计实例一(住宅楼)	16
§ 2-4 多层砖房抗震设计实例二(教学楼)	34
§ 2-5 多层砖房的抗震构造措施	47
第三章 框架结构	60
§ 3-1 “规范”对框架房屋结构选型与布置的基本要求	60
§ 3-2 考虑抗震的框架结构计算	62
§ 3-3 框架结构抗震设计实例一(考虑砖填充墙的框架)	81
§ 3-4 框架结构抗震设计的粗略计算	124
§ 3-5 框架结构抗震设计实例二(办公楼)	127
§ 3-6 框架结构抗震构造措施	155
§ 3-7 框架结构抗震设计手算与电算结果的对比	163
第四章 框架-抗震墙结构	167
§ 4-1 抗震墙的分类及其等效刚度的计算	167
§ 4-2 框架-抗震墙协同工作分析结果的介绍	170
§ 4-3 整体小开口墙与双肢墙内力的简化计算	175
§ 4-4 框架-抗震墙结构抗震设计的基本要求与某些计算公式	183
§ 4-5 框架-抗震墙结构抗震设计实例一(含整体小开口墙)	186
§ 4-6 框架-抗震墙结构抗震设计实例二(含双肢墙)	204
§ 4-7 框架-抗震墙结构的抗震构造措施	219
第五章 底层框架砖房和多层内框架砖房	224
§ 5-1 底层框架-抗震墙砖房的抗震设计基本要求与计算规定	224
§ 5-2 底层框架-抗震墙砖房抗震设计实例	230
§ 5-3 底层框架-抗震墙砖房的抗震构造措施	244
§ 5-4 多层内框架砖房的抗震设计基本要求与计算规定	245
§ 5-5 多层内框架砖房抗震设计实例	248

§ 5-6 多层内框架砖房的抗震构造措施	255
第六章 单层钢筋混凝土柱厂房	256
§ 6-1 总体布置与结构选型	256
§ 6-2 抗震计算要点与相关公式	257
§ 6-3 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计实例一(等高双跨厂房)	270
§ 6-4 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计实例二(一低一高双跨厂房)	287
§ 6-5 单层钢筋混凝土柱厂房的抗震构造措施	294
第七章 单层空旷房屋	301
§ 7-1 结构选型	301
§ 7-2 计算方法与简要公式	301
§ 7-3 单层空旷房屋抗震设计实例一(无休息廊)	306
§ 7-4 单层空旷房屋抗震设计实例二(一侧有披屋)	310
§ 7-5 单层空旷房屋的抗震构造措施	313
第八章 振型分解反应谱法(包含扭转振动在内)与时程分析法简例	315
§ 8-1 振型分解反应谱法(不包含扭转振动)	315
【简例一】	
§ 8-2 考虑扭转振动的振型分解反应谱法	318
【简例二】	
§ 8-3 时程分析法	322
【简例三】	
参考文献	331
后记	332

序 言

《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)颁布后,建筑物抗震设计的计算手段基本上分为两类。一类是以振型分解反应谱法为基础的电算手段(某些结构还要配以时程分析法为补充);另一类是以底部剪力法为基础的手算手段。一般说来,电算手段主要适用于对抗震设计要求较高较严的建筑,而手算则主要适用于大量普通建筑的抗震设防。由于电子计算机的迅速普及,目前一般有条件的设计院抗震设计计算工作几乎全部为电算所代替,即使是二、三层的框架结构,抗震设计也完全依赖于电算的结果。这种状况,其有利的一面是可以迅速出图,以满足建设方的需要;不利的一面是,这样下去将使设计者越来越脱离整个设计过程。手算是一种不可缺少的手段,特别是对经验不足的青年设计者,因为手算不仅能提供具体设计结果,同时使设计者参与了计算的全过程,而使他的抗震概念更加清晰。目前手算不易为人们接受的重要原因之一是缺乏以《建筑抗震设计规范》GBJ 11—89 为依据的具体抗震实例作参考。本书的目的正在于弥补这些不足。为使手算更加普及和便于推广,在满足一定精度要求下尽可能使手算简化是非常重要的原则。本书所选实例均以手算为准,只是为了对比才给出某些电算结果。同时为便于设计人员应用参考,本书在介绍各种建筑的抗震计算时,有的给出了若干种手算方法以备选择(其中包括某些粗略算法)。抗震构造措施是保证完成抗震设防的重要手段,很多构造措施都与大震时防止建筑物倒塌有关,但这些措施在规范中都是以条文形式出现的;如何将这些条文以图的形式表现出来,这将是编写本书的又一重要目的。

本书以多层砖房、框架结构、框架-抗震墙结构、底层框架砖砌房屋、多层内框架以及单层工业厂房和单层空旷房屋等 12 个典型实例的设计计算与构造措施为重点进行讲述。第一章集中介绍了与本书实例有密切关系、属于《建筑抗震设计规范》GBJ 11—89(包括 1993 年局部修订)前三章规定的抗震设计与计算的基本依据。其后每章开始也都作了类似的处理,同时也相应给出了一些常用的力学计算公式及数表。

振型分解反应谱法(包含扭转振动)与时程分析法是 89 规范中电算所使用的基本方法,由于理论上的复杂性这两部分内容不太容易为一般设计人员所接受,为此我们编选了三个简要实例,目的并非要设计人员去手算,而是通过这些实例进一步了解有关的基本概念,以便更好地去使用电算的结果。

本书一、二、三、四章由卢存恕负责,第五章由吴富英负责,第六章由常伏德负责,第七、八章由范国庆负责;此外常伏德负责编写有关各章的抗震构造措施及其插图绘制;吴富英绘制非构造措施部分的全部插图;范国庆负责电算及其成果整理;最后由卢存恕统稿。限于作者水平及计算的庞杂,缺点、错误定会有之,望广大读者批评指正。

第一章 抗震实例设计与计算基本依据

§ 1-1 总 则

《建筑抗震设计规范》GBJ 11—89(以后简称“规范”)针对目前中国的特点提出建筑物抗震的总目标是“小震不坏、中震可修、大震不倒”。小震又称多遇地震,是指 50 年超越概率为 63.2% 时的地震,此时的烈度称为众值烈度,它比基本烈度约低 1.55 度;中震时的烈度是指抗震设防烈度。“规范”指出,一般情况下设防烈度可采用基本烈度,与基本烈度相应的地震,其 50 年超越概率为 10% 左右;大震又称罕遇地震,这是一种高于本地区设防烈度 1 度左右的预估地震,其 50 年超越概率选定为 2%~3%。

抗震设防中的第一阶段设计主要要达到小震不坏的目标,这本质上属于弹性阶段的强度验算(尚包括部分结构的弹性刚度验算)。当结构满足该阶段设计要求后,再配以适当的构造措施,就可自动满足中震可修的目标,因为这一目标已不是强度问题,而是有限变形问题。抗震设防中的第二阶段设计主要要达到大震不倒的目标,本质上属于弹塑性变形的验算。这一阶段的设计,规范中仅给出了部分结构的验算公式与相应条件,其他结构大震不倒的目标主要靠构造措施保证。

本书所选实例,一般尽可能都给出第一阶段设计的全过程,部分结构(如框架结构、底框砖房和单层厂房)还给出了第二阶段设计。

“规范”根据建筑的重要性将建筑分为甲、乙、丙、丁四类。同时规定乙类或丁类建筑可按本地区设防烈度提高一度或降低一度采取抗震措施。

89“规范”明确指出,其适用范围为设防烈度 6~9 度地区。对于 6 度地区除必须安排抗震构造措施外,一般可不进行地震作用计算。

§ 1-2 抗震设计基本要求

一、近震与远震

89“规范”第一次明确给出设计近震与设计远震的规定,这一规定将直接影响场地的特征周期及其他一些方面。规范条文说明中指出“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列出如下:

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、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。

二、场地

“规范”将从抗震角度出发将各类地段划分为有利、不利和危险地段,同时对不同地段的地质、地形、地貌给出了具体规定。在选择建筑场地时,宜选择有利地段,避开不利地段,不应在危险地段建造甲、乙、丙类建筑。

“规范”根据土层剪切波速 v_s 及平均剪切波速 v_{sm} 的大小将场地土的类型分为坚硬场地土($v_s > 500\text{m/s}$)、中硬场地土($500 \geq v_{sm} > 250$)、中软场地土($250 \geq v_{sm} > 140$)和软弱场地土($v_{sm} \leq 140$)。同时规定场地覆盖层厚度应为地面至剪切波速大于 500m/s 的土层顶面的距离。考虑场地土的类型和场地覆盖层厚度两个因素“规范”将建筑场地按表 1-1 划分为四类。

建筑场地类别划分 表 1-1

场地土 类 型	场地覆盖层厚度 $d_{0v}(\text{m})$				
	0	$0 < d_{0v} \leq 3$	$3 < d_{0v} \leq 9$	$9 < d_{0v} \leq 80$	$d_{0v} > 80$
坚硬场地土	I				
中硬场地土		I		II	
中软场地土		I	II		III
软弱场地土		I	II	III	IV

“规范”规定,当建筑场地为 I 类场地时,除 I 类建筑外建筑可按原烈度降低一度采取抗震构造措施,地震作用仍按原烈度计算,但 6 度时构造措施不降低。

三、地基及其液化

“规范”规定:砌体房屋,多层内框架砖房,底层框架砖房,水塔,地基主要受力层范围内不存在软弱粘性土层的一般单层厂房、单层空旷房屋和多层民用框架房屋及其基础荷载相当的多层框架厂房可不进行天然地基及基础的抗震承载力验算。需要进行天然地基基础抗震验算的结构,应按“规范”具体要求验算。

在基础选型上,“规范”指出,同一结构单元不宜设置在性质截然不同的地基上,也不宜部分采用天然地基部分采用桩基。

对于饱和的砂土或粉土,“规范”指出需进行液化判别。液化判别分初判与标贯判别两种。初判与地质年代、粉土粘粒含量、上覆非液化土层厚度、地下水位深度等因素有关(详见规范)。只有当初步判别确认需进一步进行液化判别时,才采用标准贯入试验判别。

“规范”规定,地面下 15m 深度范围内的液化土,其标准贯入锤击数实测值(未经杆长修正) $N_{63.5}$ 小于标准贯入锤击数临界值 N_{cr} 时,即

$$N_{63.5} < N_{cr} \tag{1-1}$$

时,该点应判为液化。 N_{cr} 应按下式计算

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{\frac{3}{\rho_c}} \tag{1-2}$$

式中 N_0 ——标准贯入锤击数基准值,应按表 1-2 采用;

d_s ——饱和土标准贯入点深度(m);

ρ_c ——粘粒含量百分率,当小于 3 或为砂土时,均应采用 3。

标准贯入锤击数基准值

表 1-2

近、远震	烈 度		
	7	8	9
近 震	6	10	16
远 震	8	12	—

地基土层剖面上出现若干液化点时,其整个剖面的液化程度用液化指数 I_{LE} 衡量,规范给出

$$I_{LE} = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{N_i}{N_{cri}}\right) d_i w_i \quad (1-3)$$

式中 n ——15m 深度范围内每一个钻孔标准贯入试验点的总数;

N_i 、 N_{cri} ——分别为 i 点标准贯入锤击数的实测值和临界值,当实测值大于临界值时应取临界值的数值;

d_i —— i 点所代表的土层厚度(m),可采用与该标准贯入试验点相邻的上、下两标准贯入试验点深度差的一半,但上界不小于地下水位深度,下界不大于液化深度;

w_i —— i 土层考虑单位土层厚度的层位影响权函数值(单位为 m^{-1}),当该层中点深度不大于 5m 时应采用 10m,等于 15m 时应采用零值,5~15m 时应按线性内插法取值。

根据液化指数的大小,“规范”将液化程度分为三个等级, $I_{LE} > 15$ 时为严重液化; $5 < I_{LE} \leq 15$ 为中等液化; $0 < I_{LE} \leq 5$ 为轻微液化。

对于不同类别建筑的地基,发生不同等级的液化时,“规范”详细给出了抗液化的具体措施,此处从略。

四、防震缝

“规范”规定:建筑的防震缝可按建筑结构的实际需要设置。体型复杂的建筑也可不设防震缝,但必须按“规范”要求安排好薄弱环节的构造措施;如设置防震缝,则应将建筑分成规则的结构单元。规则结构的平、立面布置宜对称,质量、刚度变化宜均匀。防震缝应留有足够宽度。伸缩缝、沉降缝应符合防震缝的要求。

五、结构与构件

抗震结构体系宜设置多道抗震防线。结构应具有必要的强度、良好的变形能力和耗能能力。对结构中可能出现的薄弱部位要加强构造措施以提高抗震能力。

砌体结构构件应按“规范”要求设钢筋混凝土圈梁和构造柱;混凝土构件应尽可能满足强柱弱梁、强剪弱弯、强节点弱构件等原则。

注意处理好非结构构件与主体结构的连接。

六、材料与施工

“规范”规定,抗震结构对材料和施工质量的特别要求,应在设计文件上注明。同时制定了材料性能指标的最低要求:

粘土砖的强度等级不应低于 MU7.5,砖砌体的砂浆强度等级不宜低于 M2.5。混凝土的强度等级,抗震等级为一级的框架梁、柱和节点不宜低于 C30,构造柱、芯柱、圈梁和扩展基础(桩除外)不宜低于 C15,其他各类构件不宜低于 C20。钢筋的强度等级,纵向钢筋宜采用Ⅱ、Ⅲ级变形钢筋,钢箍宜采用Ⅰ、Ⅱ级钢筋,构造柱、芯柱可采用Ⅰ级或Ⅱ级钢筋。

结构施工中,对主要受力钢筋不宜以强度等级比原设计高的钢筋代替,要替换时,应按照钢筋受拉承载力设计值相等的原则进行换算。

为确保砌体抗震墙与构造柱、底层框架柱的连接,“规范”规定:这些部位的施工“应先砌墙后浇混凝土柱。”

§ 1-3 水平地震作用和结构抗震验算

一、通用建筑抗震计算方法的选取与结构验算的原则

建筑物抗震计算包括两个方面,首先是计算建筑物在地震过程中所产生的地震作用(或称地震力),其次是计算在该地震力作用下,结构各部分所产生的内力(一般还要计算在竖向荷载作用下的内力及风荷载引起的内力),通过组合,最后进行结构构件的抗震验算。

本书所处理的是一般通用建筑,计算手段采用手算,在这一前提条件下,根据“规范”精神,应采用底部剪力法进行这些类建筑的抗震计算。“规范”对底部剪力法作出了如下的规定:高度不超过 40m,以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构,以及近似于单质点体系的结构,可采用底部剪力法等简化方法。这一规定,对于一般多层砖房、多层框架房屋、底层框架砖房、多层内框架房屋、单层工业厂房,以及单层空旷房屋都是适用的,对于 40m 左右的框架-抗震墙体系房屋也可近似采用。

“规范”指出,上述一般通用建筑结构,可不考虑竖向地震作用的影响,而主要考虑水平地震作用的影响,同时规定:一般情况下,可在建筑结构的两个主轴方向分别考虑水平地震作用并进行抗震验算,各方向的水平地震作用应全部由该方向抗侧力构件承担;质量和刚度明显不均匀、不对称的结构,应考虑水平地震作用的扭转影响。

“规范”指出,设防烈度为 6 度时的建筑可不进行截面抗震验算。

二、单质点体系水平地震作用的计算公式

图 1-1 所示的单层工业厂房(a)或单层空旷房屋(b),均可简化为图(c)所示的单质点振动体系,其水平地震作用 F_{Ek} “规范”规定可用下式计算

$$F_{Ek} = \alpha \cdot G \tag{1-4}$$

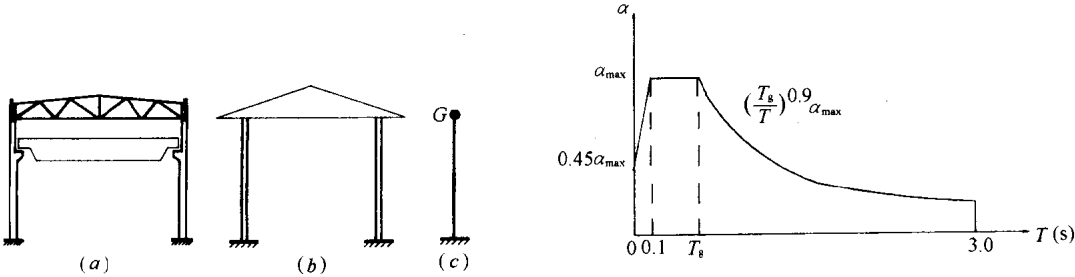


图 1-1

图 1-2

式中 α 称为建筑结构的水平地震影响系数。它是与近震、远震、场地类别、设防烈度和结构自振周期有关的量值。其值可利用“规范”给出的地震影响系数曲线(见图 1-2)进行确定。图 1-2 又称为设计反应谱,图中横坐标 T 是建筑物的自振周期(单位为 s),图中 T_g 称为场地的特征周期,它与场地类别和近震、远震有关,其值应按表 1-3 采用。图中水平地震影响系数最大值 $\alpha_{\max}$ 与烈度有关,并随小震(与截面抗震验算对应)与大震(与弹塑性变验算对应)取值不同,其值应按表 1-4 采用。设计反应谱曲线由三段组成,使用时要注意区别,特别是当建筑物的自振周期 T 小于场地的特征周期 T_g 时,一定不要按曲线公式去计算 α 值。

特征周期值 $T_g(s)$ 表 1-3

近、远震	场 地 类 别			
	I	II	III	IV
近 震	0.20	0.30	0.40	0.65
远 震	0.25	0.40	0.55	0.85

水平地震影响系数最大值 $\alpha_{\max}$ 表 1-4

小、大震	设 防 烈 度			
	6	7	8	9
小 震	0.04	0.08	0.16	0.32
大 震	/	0.50	0.90	1.40

公式(1-4)中的 G 称为建筑的重力荷载代表值,其值“规范”规定,应取结构和构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数,应按表 1-5 采用。

组 合 值 系 数 表 1-5

可变荷载种类	组合值系数	可变荷载种类		组合值系数
雪荷载	0.5	按等效均布荷载考虑的楼面活荷载	藏书库、档案库	0.8
屋面积灰荷载	0.5		其他民用建筑	0.5
屋面活荷载	不考虑	吊车悬吊物重力	硬钩吊车	0.3
按实际情况考虑的活荷载	1.0		软钩吊车	不考虑

注:硬钩吊车的吊重较大时,组合值系数宜按实际情况采用。

三、底部剪力法

多层框架结构或多层砖房等进行抗震计算时,可如图 1-3 所示,将每一楼层视为一个质点,形成多质点体系(每个质点仅考虑一个自由度),结构总水平地震作用标准值(即结构底部剪力) F_{Ek}

“规范”规定,应按如下公式进行计算:

$$F_{Ek} = \alpha_1 \cdot G_{eq} \tag{1-5}$$

式中 α_1 是与结构基本自振周期(或第一周期)相对应的水平地震影响系数值,可利用设计反

应谱去计算。多层砖房、底层框架和多层内框架砖房,由于基本自振周期偏短,从安全出发,由设计反应谱中可以得到 $\alpha_1 = \alpha_{\max}$, 因此对这几类房屋就可不必再去计算结构的基本自振周期。式中 G_{eq} 称为结构等效总重力荷载,“规范”规定其值可取总重力荷载代表值的 85%, 即有

$$G_{\text{eq}} = 0.85 \sum_{i=1}^n G_i \quad (1-6)$$

成立。式中 G_i 为集中于第 i 层楼板处的重力荷载代表值,其荷载取值的范围,应包括第 $i-1$ 层的上半部与 $i+1$ 层的下半部。

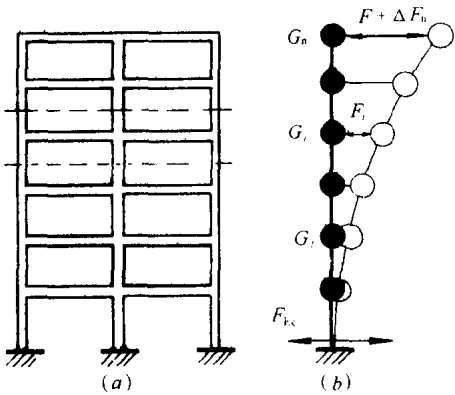


图 1-3

底部剪力法在计算出结构总水平地震作用标准值 F_{Ek} 后,首先取其一小部分

$$\Delta F_n = \delta_n F_{\text{Ek}} \quad (1-7)$$

(称为顶部附加水平地震作用)加于顶层。式中 δ_n 称为顶部附加地震作用系数,多层钢筋混凝土房屋可按表 1-6 采用,多层内框架砖房可采用 0.2,其他房屋可不考虑。其次将剩余部分按各质点的重量与计算高度乘积进行分配,此时质点 i 的水平地震作用标准值,应按下式进行计算

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum_{i=1}^n G_i H_i} F_{\text{Ek}} (1 - \delta_n) \quad (1-8)$$

式中 H_i 为质点 i 的计算高度。

顶部附加地震作用系数 表 1-6

$T_g(\text{s})$	$T_1 > 1.4 T_g$	$T_1 \leq 1.4 T_g$
≤ 0.25	$0.08 T_1 + 0.07$	不 考 虑
$0.3 \sim 0.4$	$0.08 T_1 + 0.01$	
≥ 0.55	$0.08 T_1 - 0.02$	

注: T_1 为结构基本自振周期。

“规范”规定,采用底部剪力法时,突出屋面的屋顶间、女儿墙、烟囱等的地震作用效应,宜乘以增大系数 3,此增大部分不应往下传递。顺便指出,如将局部屋顶间视为第 n 个质点,则顶部附加地震作用 ΔF 应加在第 $n-1$ 个质点上。

利用底部剪力法计算结构水平地震作用时,除某些短周期房屋外,均需给出结构的基本自振周期。“规范”除极个别情况外,一般并未给出通用结构基本自振周期的计算公式,而仅给出采用理论计算或经验公式确定自振周期时应注意的问题。本书推荐如下半理论半经验公式作为计算多质点体系结构的基本自振周期公式:

$$T_1 = 2\psi \sqrt{\sum G_i u_i^2 / \sum G_i u_i} \quad (1-9)$$

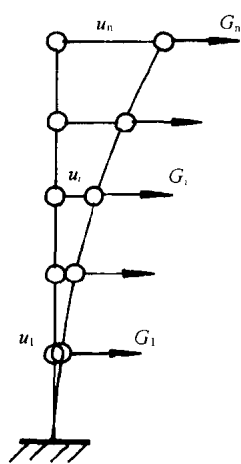


图 1-4

式中 u_i 代表结构受如图 1-4 所示荷载(将各质点重力荷载代表值 G_i 等水平加于相应质点)作用下所产生的 i 点的水平位移;根式前的系数 ψ 是非结构构件影响的调整系数,随结构的不同而变化,具体取值见以后章节。公式(1-9)不仅适用于多质点体系,同时也适用于单质点体系,不过此时公式将呈如下形式:

$$T_1 = 2\psi \sqrt{u_1} \quad (1-10)$$

其他计算结构基本自振周期的公式,将在以后有关各章中介绍。

四、截面抗震验算设计表达式

“规范”指出,结构构件的截面抗震验算,应采用下列设计表达式:

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (1-11)$$

式中 S 为结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合(设计值),对一般通用结构(不考虑竖向地震作用效应与风荷载),应按下式计算:

$$S = \gamma_G C_G G_E + \gamma_{Eh} C_{Eh} E_{hk} \quad (1-12)$$

式中 γ_G ——重力荷载分项系数,一般情况应采用 1.2,当重力荷载效应对构件承载力有利时,可采用 1.0;

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数,应采用 1.3;

G_E ——重力荷载代表值;

E_{hk} ——水平地震作用标准值;

C_G 、 C_{Eh} ——分别为重力荷载与水平地震作用的作用效应系数。

公式(1-12)中 $C_G G_E$ 与 $C_{Eh} E_{hk}$ 实质上即为重力荷载代表值与水平地震作用标准值引起的结构构件内力(弯矩 M 、剪力 V 和轴力 N)。

公式(1-11)中的 R 为结构构件承载力设计值,应按各有关规范规定计算。式中 γ_{RE} 称为承载力抗震调整系数,它是与材料、结构构件的形式以及构件的受力状态有关的量,具体数值应按表 1-7 采用。

承载力抗震调整系数

表 1-7

材 料	结 构 构 件	受 力 状 态	γ_{RE}
钢	柱	偏压	0.7
	钢结构厂房柱间支撑		0.8
	钢筋混凝土厂房柱间支撑		0.9
	构件焊缝		1.0
砌 体	两端均有构造柱的抗震墙	受剪	0.9
	其他抗震墙	受剪	1.0
钢 筋 混 凝 土	梁	受弯	0.75
	轴压比小于 0.15 的柱	偏压	0.75
	轴压比不小于 0.15 的柱	偏压	0.80
	抗 震 墙	偏压	0.85
	各类构件	受剪、偏拉	0.85

五、抗震变形验算

1. 弹性变形验算

框架和框架-抗震墙结构应进行小震下的层间弹性位移验算,其目的是,防止由于主体结构弹性变形过大而引起非结构构件(包括围护墙、隔墙和各种装修)出现过重破坏。这种验算属于抗震设计第一阶段的内容。“规范”规定:框架(包括填充墙框架)和框架-抗震墙结构(包括框支层)宜进行低于本地区设防烈度的多遇地震作用下结构的抗震变形验算,其层间弹性位移应符合下式要求:

$$\Delta u_e \leq [\theta_e]H \tag{1-13}$$

式中 Δu_e ——多遇地震作用标准值产生的层间弹性位移;
 $[\theta_e]$ ——层间弹性位移角限值,可按表 1-8 采用;
 H ——层高。

层 间 弹 性 位 移 角 限 值 表 1-8

结 构 类 型	条 件	$[\theta_e]$
框 架	考虑填充墙抗侧力作用	1/550
	其 他	1/450
框架-抗震墙	装修要求高的公共建筑	1/800
	其 他	1/650

2. 弹塑性变形验算

弹塑性变形验算是属于抗震设计第二阶段的内容,满足该项验算可以达到大震不倒的目标。“规范”指出,8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度时高大的单层钢筋混凝土柱厂房;7 度、8 度和 9 度时,楼层屈服强度系数 ξ_y 小于 0.5 的框架结构、底层框架砖房宜进行高于本地区设防烈度预估的罕遇地震作用下薄弱层(部位)的抗震变形验算。

结构的薄弱层或薄弱部位,单层厂房指上柱,底层框架砖房显然指底层框架,框架结构的薄弱层需要用楼层屈服强度系数 ξ_y 的大小来判别。取构件实际配筋和材料强度标准值计算的楼层受剪承载力 V_{rk} 与楼层在罕遇地震作用下弹性地震剪力 V_r 之比为楼层屈服强度系数,有

$$\xi_y = \frac{V_{rk}}{V_r} \tag{1-14}$$

显然 ξ_y 值越小层间抗剪能力就越差。“规范”规定, ξ_y 沿高度分布不均匀的结构,薄弱层取 ξ_y 最小的楼层和 ξ_y 相对较小的楼层,一般不超过 2~3 处;而当 ξ_y 沿高度分布均匀时薄弱层可取底层。

不超过 12 层,且层刚度无突变的框架,框架填充墙结构及单层钢筋混凝土柱厂房,其薄弱层(部位)的层间弹塑性位移 Δu_p 可由结构在罕遇地震作用下按弹性分析的层间位移 Δu_e 乘以弹塑性位移增大系数 η_p 而得出,即

$$\Delta u_p = \eta_p \Delta u_e \tag{1-15}$$

式中 η_p 的值可由表 1-9 选取,但薄弱层的 ξ_y 应不小于相邻层 ξ_y 平均值的 0.8 倍,当 ξ_y 不大于平均值的 0.5 倍时,取表内相应数值的 1.5 倍;其他情况可采用内插法取值。

弹塑性位移增大系数

表 1-9

结 构 类 别	总层数 n 或部位	ξ_y			
		0.5	0.4	0.3	0.2
多层均匀结构	2~4	1.30	1.40	1.60	2.10
	5~7	1.50	1.65	1.80	2.40
	8~12	1.80	2.00	2.20	2.80
单层厂房	上柱	1.30	1.60	2.00	2.60

“规范”规定,结构薄弱层(部位)层间弹塑性位移应符合下式要求:

$$\Delta u_p \leq [\theta_p] H \tag{1-16}$$

式中 H ——薄弱层(部位)的层高或单层厂房上柱高度;

$[\theta_p]$ ——层间弹塑性位移角限值,可按表 1-10 采用。

层间弹塑性位移角

表 1-10

结 构 类 别	$[\theta_p]$	结 构 类 别	$[\theta_p]$
单层钢筋混凝土排架	1/30	底层框架砖房中的框架	1/70
框架和填充墙框架	1/50		

第二章 多层砖房

多层砖房相对框架结构房屋而言,由于其自重重大,周期短,因此所产生的水平地震作用较大,而砖砌体的抗剪能力又远低于钢筋混凝土结构,所以多层砖房的抗震能力要低于框架结构房屋。但是多层砖房,特别是经过抗震设防后的多层砖房,其抗倒塌的能力仍然是很强的。根据我国目前经济状况和房屋使用条件,在一定时期内,这种房屋还会大量存在。因此在地震区搞好多层砖房的抗震设计与验算是有着重要意义的。

§ 2-1 结构方案选择中的抗震依据

一、对房屋的总高度和层数的限制

“规范”对地震区多层砖房的总高度^①和层数,有较严格的限制。“规范”规定,粘土砖的最小墙厚必需为 240mm,在此基础上,6 度区只能盖八层而且总高度不应超过 24m;7 度区相应为七层和 21m;8 度区为六层和 18m;9 度区为四层 12m,同时规定,对医院、教学楼等横墙较少的房屋总高度,应比上述规定相应降低 3m,层数相应减少一层;各层横墙很少的房屋,应根据具体情况再适当降低总高度和减少层数。对砖房的层高,“规范”指出,不宜超过 4m。

多层砖房的总高度和层数,目前是一个较为敏感的问题。例如在 7 度区建造一幢教学楼,“规范”规定,其总高度和层数只能为 18m 和 6 层,如果层高控制在 3.6m,考虑到挑檐高度与室内外地面高差的影响,为了不超过 18m,严格讲只能盖 4 层。这种状况往往难于被建房者所接受。“规范”之所以对多层砖房的总高度和层数有这样严格的限制,是依据大量震害调查的实际结果,通过认真细致的分析而确定的。所以设计者在处理这一问题时要全面分析,妥善解决。

对多层砖房的总高度和层数作出限值的同时,“规范”还对房屋最大高宽比作出限制。“规范”规定,房屋总高度与总宽度的最大比值,6、7 度时为 2.5;8 度时为 2.0;9 度时为 1.5。同时指出,单面走廊房屋的总宽度不包括走廊宽度。这一规定,就单面走廊房屋而言,实质上对其总高度作了更严格的限制。

二、对房屋结构体系的要求

震害表明,不论多层砖房的倒塌率或严重破坏率,都以横墙承重结构为最小;纵横墙共同承重次之;而纵墙承重为最高。因此“规范”要求,应优先采用横墙承重或纵横墙共同承重的结构体系。在墙体布置上,“规范”要求,纵横墙的布置宜均匀对称,沿平面内宜对齐,沿竖向应上下连续;同一轴线上的窗间墙宜均匀。

多层砖房,在设防烈度为 6、7 度时可不设置防震缝,只有在高烈度的某些情况下,才要

① 房屋的总高度指室外地面到檐口的高度,半地下室可从地下室室内地面算起,全地下室可从室外地面算起。

求设置防震缝。“规范”要求,设防烈度为 8 度和 9 度且有下列情况之一时宜设置防震缝,缝两侧均应设置墙体,缝宽可采用 50~100mm:

- 1) 房屋立面高差在 6m 以上;
- 2) 房屋有错层,且楼板高差较大;
- 3) 各部分结构刚度、质量截然不同。

房屋的尽端与转角处,都是抗震的薄弱部位,从安全出发“规范”要求:楼梯间不宜设置在这些部位。该项要求往往与建筑设计不相协调,希望设计人员注意,妥善解决。

三、对抗震横墙最大间距和房屋局部尺寸的限制

抗震横墙是多层砖房抵抗横向地震的基本构件,如其强度和刚度不足,不仅会引起自身的开裂与过大变形,还会引起纵墙出平面的弯曲,形成纵墙的水平通缝,当横墙间距过大时,即使横墙本身满足抗剪强度要求不致破坏,但因楼板在水平方向的过大变形,同样会引起纵墙出平面弯曲,因此,“规范”规定,多层砖房抗震横墙的间距,不应超过表 2-1 的要求:

抗震横墙最大间距(m)				表 2-1
楼、屋盖类别	烈 度			
	6	7	8	9
现浇和装配整体式钢筋混凝土	18	18	15	11
装配式钢筋混凝土	15	15	11	7
木	11	11	7	4

建筑设计中,多层砖房的顶层端部有时要设置横墙很少的大房间,此时应特别注意,横墙最大间距不要超过表 2-1 的要求。

多层砖房的承重窗间墙和外墙尽端拐角两侧等处,往往由于尺寸不足而成为抗震的薄弱环节,在地震力作用下,这些环节的破坏,有时将导致整体结构的破坏。过高的无锚固的女儿墙同样属于抗震的薄弱环节。为了提高这些薄弱环节的抗震能力,“规范”对多层砖房的某些局部尺寸作出了特别规定,见表 2-2。

房屋的局部尺寸限值(m)				表 2-2
部 位	烈 度			
	6	7	8	9
承重窗间墙最小宽度	1.0	1.0	1.2	1.5
承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.5	2.0
非承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.0	1.0
内墙阳角至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.5	2.0
无锚固女儿墙(非出入口处)的最大高度	0.5	0.5	0.5	0.0

本节所述各种限制与要求,在多层砖房的建筑设计与结构安排时都应给与充分注意。