

建筑结构抗震设计计算实例

(按抗震规范《GBJ11—89》)

施耀新 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

1991年5月 北京

建筑结构抗震设计计算实例

(按抗震规范《GBJ11—89》)

施耀新 编著

1991年5月 北京

目 录

第一章 多层砖房

第一节 概 述	(1)
一、结构方案选择	(1)
二、房屋总高度、层数、横墙间距和局部尺寸限值	(2)
第二节 构造柱与圈梁	(3)
一、构造柱	(3)
二、圈 梁	(4)
第三节 地震作用与抗震强度验算	(5)
一、地震作用计算	(5)
二、水平楼层地震剪力分配	(7)
三、抗震强度验算	(9)
四、地基与基础	(9)
第四节 横向配筋砖砌体抗震强度验算	(10)
第五节 抗震构造措施	(14)

第二章 底层框架砖房

第一节 概 述	(15)
一、基本限值	(16)
二、墙体材料	(18)
三、框架截面尺寸	(19)
四、构造柱	(19)
第二节 地震作用与效应计算	(19)
一、地震作用计算	(19)
二、地震作用效应计算	(20)
三、转动刚度计算	(20)
第三节 抗震强度与变形验算	(25)
一、抗震强度验算	(25)
二、抗震变形验算	(25)
第四节 抗震构造措施	(27)

第三章 单层钢筋混凝土柱厂房

第一节 概 述	(28)
一、结构方案选择	(28)
二、支 撑	(30)

第二节	地震作用与抗震强度验算	(33)
一、	地震作用计算 (横向、纵向、屋盖支撑、天窗架、防风柱)	(33)
二、	抗震强度验算 (排架柱、柱间支撑、节点、地基和基础)	(54)
第三节	抗震构造措施	(58)

第四章 影剧院建筑

第一节	概 论	(60)
第二节	结构方案选择	(62)
第三节	地震作用与抗震强度验算	(65)
一、	地震作用计算	(65)
二、	抗震强度验算	(76)

第五章 抗震墙结构房屋

第一节	概 述	(80)
一、	结构抗震等级	(80)
二、	墙厚度	(81)
三、	楼 (屋) 面结构方案	(81)
四、	混凝土强度等级	(81)
第二节	抗震墙的分类与判别	(82)
一、	抗震墙分类	(82)
二、	抗震墙分类的判别	(82)
第三节	地震作用和基本周期	(90)
一、	地震作用计算	(90)
二、	抗震变形验算	(90)
三、	基本周期	(90)
第四节	楼层地震剪力分配	(93)
一、	整体墙和小开口整体墙的等效刚度	(93)
二、	联肢墙的等效刚度	(94)
三、	壁式框架的抗侧移刚度	(95)
四、	框支层结构的地震剪力分配	(97)
五、	扭转作用效应计算	(97)
第五节	侧力作用效应计算	(106)
一、	整体墙 ($\lambda < 1$) 的效应计算	(106)
二、	小开口整体墙 ($\lambda \geq 10$, 且 $\frac{I_0}{I} \leq Z$) 的效应计算	(106)
三、	双肢墙 ($1 \leq \lambda < 10$) 的效应计算	(108)
四、	联肢墙 ($1 \leq \lambda < 10$) 的效应计算	(109)
五、	壁式框架 ($\lambda \geq 10$, 且 $\frac{I_0}{I} > Z$) 的效应计算	(111)

第六节	重力荷载代表值作用效应和地震作用效应组合	(121)
第七节	抗震强度验算	(123)
一、	抗震墙抗震强度验算	(123)
二、	连梁抗震强度验算	(126)
三、	框支层楼板抗震设计	(126)
四、	框支柱抗震设计	(127)
五、	壁式框架抗震强度验算	(127)
六、	地基和基础抗震强度验算	(127)
第八节	抗震构造措施	(132)
第六章 框架—抗震墙结构房屋		
第一节	概 述	(133)
一、	结构抗震等级	(133)
二、	墙厚度	(134)
三、	柱截面尺寸	(134)
四、	梁截面尺寸	(135)
五、	混凝土强度等级	(136)
第二节	计算简图	(137)
第三节	抗侧力构件截面力学特性	(139)
第四节	结构基本周期	(143)
一、	顶点位移法	(143)
二、	经验公式	(143)
三、	等代刚度法	(143)
第五节	地震作用与效应计算	(145)
一、	地震作用计算	(145)
二、	地震作用效应计算	(145)
三、	抗震变形验算	(148)
第六节	重力作用效应和荷载效应组合	(153)
第七节	抗震强度验算	(155)
一、	框架梁抗震强度验算	(155)
二、	框架柱抗震强度验算	(157)
三、	框架节点核芯区抗震强度验算	(160)
四、	抗震墙抗震强度验算	(161)
五、	连梁抗震强度验算	(163)
六、	地基和基础抗震强度验算	(164)
七、	本例题框架部分的强度验算	(164)
第八节	抗震构造措施	(166)

第七章 砖填充墙框架结构房屋

第一节 概 述.....	(167)
一、结构抗震等级.....	(167)
二、砖填充墙.....	(168)
三、混凝土强度等级.....	(169)
第二节 框架结构单位水平力作用下位移计算.....	(169)
一、半框架法.....	(169)
二、D 值法近似计算法.....	(170)
第三节 砖填充墙侧移刚度计算.....	(173)
第四节 自振特性.....	(175)
一、自振周期及振型的精确计算.....	(175)
二、基本周期经验公式.....	(186)
第五节 地震作用与楼层地震剪力分配计算.....	(187)
一、地震作用计算.....	(187)
二、楼层地震剪力分配计算.....	(187)
第六节 地震作用效应计算.....	(189)
一、计算简图.....	(189)
二、砖填充墙对框架的附加作用效应.....	(190)
三、地震作用下框架结构的效应计算.....	(191)
第七节 抗震强度验算.....	(191)
一、框架部分抗震强度验算.....	(191)
二、砖填充墙部分抗震强度验算.....	(192)
三、地基和基础抗震强度验算.....	(193)
第八节 抗震构造措施.....	(194)
参考文献.....	(195)

第一章 多层砖房

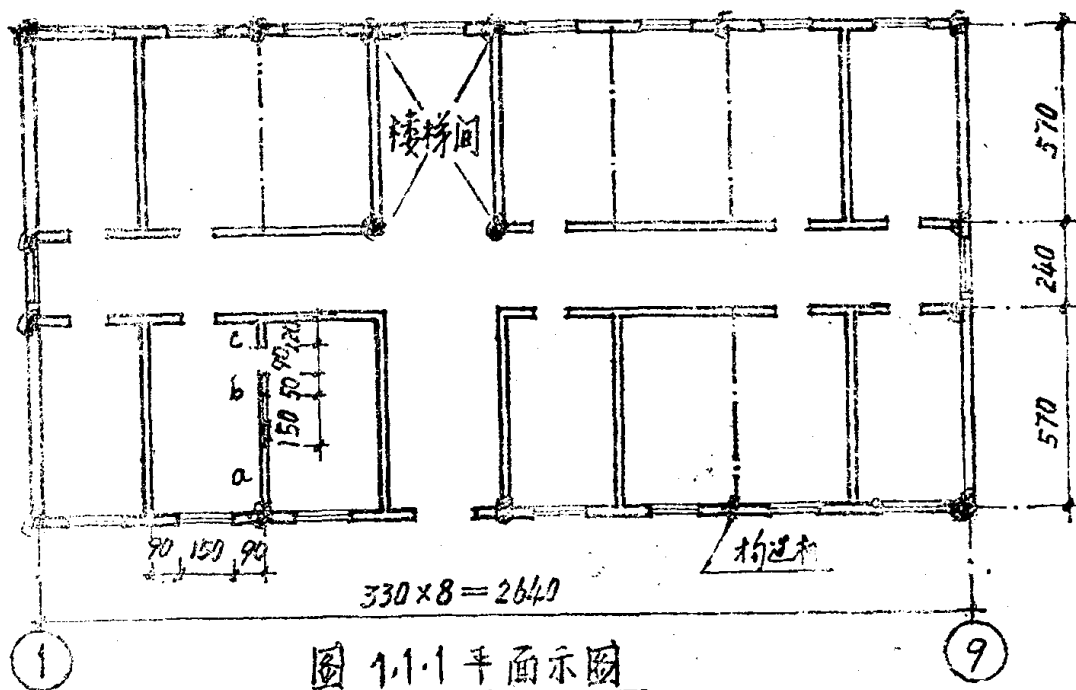
第一节 概 述

本例题选自高等学校试用教材《建筑结构抗震设计》一书例题4—1。现将这类房屋的抗震设计有关规定叙述如下：

一、结构方案选择

多层砖房建筑中主要抗侧力构件是墙体。为减少水平地震作用下的扭转效应，要求墙体在建筑平面范围内均匀布置，且要求每个抗震计算单元体的长度不宜太长（建筑平面的长度）：相邻楼层抗震墙体的数量也不宜有突变，其上下楼层抗侧移刚度比建议：7度时不应大于3、8度和9度时不应大于2；承重墙体方案，由震害总结说明应优先选择横墙承重方案，或纵横墙混合承重的结构体系；在同一轴线墙体上门（窗）洞口宜均匀布置，当洞口尺寸适宜时，由震害实例说明可获得理想的墙体破坏机理（窗间墙没有破坏、窗台下墙体有斜裂缝或x形裂缝）；此外，由震害实例说明楼梯间不宜设在房屋的尽端或转角处。

本例题平面布置详图1.1.1所示，其结构方案布置满足上述要求。窗洞尺寸均为



1.5×2.1米，门洞除注明者外均为1.0×2.5米。楼（屋）面结构为预制钢筋混凝土园孔板、进深梁；纵横向混合承重的结构方案。

抗震设防烈度为7度,场地为II类、近震;地基土无砂土液化等地基失效现象。

二、房屋总高度、层数,横墙间距和局部尺寸等限值

1. 房屋总高度和层数限值。由震害实例说明多层砖砌体房屋的总高度,在同一地震烈度地区随着房屋总高度增高,其墙体的破坏亦随之严重。因此,在不同设防烈度下多层砖房的总高度或层数应加以严格限制,国外地震区多层砖房的设计规范亦作此严格限制。为此,我国现行《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)(以下简称《抗震规范》)也对多层砖房总高度或层数做严格限制(详表1.1.1)。

表 1.1.1 多层砖房尺寸限值表

类 别		设 防 烈 度			
		6	7	8	9
总高度 限值	高度(米)	24	21	18	12
	层数	八	七	六	四
房屋最大高宽比		2.5	2.5	2.0	1.5
横墙 最大间距 (米)	现浇、装配整体楼盖	18	18	15	11
	装配楼板	15	15	11	7
	木楼板	11	11	7	4
局部尺寸 限值 (米)	承重墙最小宽度	1.0	1.0	1.2	1.5
	承重外墙尽端最小尺寸	1.0	1.0	1.5	2.0
	非承重外墙尽端最小尺寸	1.0	1.0	1.0	1.0
	内墙阳角最小尺寸	1.0	1.0	1.5	2.0
	无锚固女儿墙最小高度	0.5	0.5	0.5	0.0

注: 1. 房屋总高度为: 自室外地面到房屋主体屋檐之间距离; 半地下室从地下室室内地面算起; 全地下室从室外地面算起; 当地下室为箱基时从箱基顶板算起。对横墙较少的办公楼和外廊式房屋按增加3米或一层后计算总高度或层数。

2. 横墙间距为两抗震墙之间距离。

3. 房屋高宽比计算, 对外廊式房屋宽度计算时, 外廊部分不计入宽度。

本例题为四层办公楼, 层高均为3.6米, 在楼梯间部位有局部突出屋顶间(层高为3.2米), 室内外高差30厘米, 无地下室。

本例题房屋总高度为: $H = 4 \times 3.6 + 0.3 + 3.0 = 17.7$ 米; 总层数为: $N = 4 + 1 = 5$ 层。本工程为办公楼设防烈度为7度, 横隔墙较少, 故总高度或层数应按增加3米或一层后计算。均满足表1.1.1要求。

2. 横墙最大间距限值。对多层砖房限制横墙间距的目的有两点: 其一是保证横墙有足够的抗震能力, 且限制其破坏程度; 其二是保证两个抗震横墙之间的楼盖出平面变形值不能太大, 这样也就减小了相邻楼层的出平面变形差值, 以达到某一容许值, 从而保证了两抗震横墙之间的纵墙有足够的平面外抗弯能力。上述两点目的是建立在楼盖为一个整体刚性板的条件下, 但从实际震害实例中, 对于装配式楼盖与墙体支承连接不良时, 预制楼板在墙身上有错位现象。

本例题为预制装配式楼盖, 系半刚性楼盖。根据上述“横墙最大间距限值”的有

关论述,当考虑纵墙具有足够平面外抗弯能力时,其最大间距为 $3 \times 3.3 \text{米} = 9.9 \text{米}$ 小于15米,满足要求,此时,假定楼板与墙身连接不良;当验算横墙抗震能力时,其最大间距为 $(2 \times 3.3 \text{米})$,即此时将楼板视为一个整体板,其走道一侧两道(③、⑥轴)未贯通的内隔墙所承担的地震荷载面积为最不利情况。唐山地震中天津缝纫机厂办公楼就有此震害现象,本例题的原著作者未考虑上述情况,笔者认为这是不足之处,主要是未能保证上述两道内隔墙具有足够的抗震能力。

3. 局部尺寸限值。对于多层砖房局部尺寸的限值规定,其目的主要是防止在地震作用下产生不应有的局部震害。如女儿墙高度超过50厘米时,在低烈度地区女儿墙根部产生水平断裂,在高烈度地区有可能产生局部倒塌伤人;对于外纵墙窗间墙宽度,许多国家抗震规范均指出应均匀分布;对于外墙转角和内墙阳角局部尺寸限值,主要是从震害总结中得到启示,以免除局部墙体产生破坏。

本例题有关局部尺寸均满足表1.1.1的有关要求,但外纵墙在转角处墙肢宽度较小,且小于窗间墙的宽度。在苏联的抗震规范上规定转角处的外墙宽度应大于一般窗间墙宽度最小限值加25厘米。由此可见转角处墙肢宽度在本例题上小于一般窗间墙宽度,这是不足之处。

4. 房屋最大高宽比问题。多层砖房高宽比限值,主要是限制多层砖房在水平地震作用下墙体产生整体弯曲的破坏程度。近年来国内历次大地震中,多层砖房产生大量整体弯曲破坏现象者,笔者是在唐山大地震中天津地区(地震烈度为7~8度)的多层砖房震害调查中首次所见,例如按1974年《抗震规范》7度设防的天津市1974年标准住宅图,约有30%的住宅在首层窗台标高处的纵墙产生水平通裂,该裂缝扩展到横向墙体上,在横墙上该裂缝沿斜向消失到地坪附近。该标准图房屋最大高宽比为1.5~1.8。这个问题在我国现行《抗震规范》上首次做此规定(详表1.1.1)。

本例题房屋总宽度为: $B = 2 \times 5.7 + 2.4 = 13.8 \text{米}$,总高度为: $H = 4 \times 3.60 + 0.30 = 14.7 \text{米}$,所以 $H/B = 1.05$,符合表1.1.1的要求。

第二节 构造柱与圈梁

《抗震规范》所规定的设防:即目标“小不震坏、设防烈度地震可修、大震不倒”。对于多层砖房建筑而言,由于其主要抗侧力构件的材料动力性能决定了,如要实现上述设防目标,必须借助于其他材料所做构件才能得以达到预期效果。国内外抗震科学研究和地震震害调查说明,对于多层砖房建筑中根据设防烈度和房屋层数之不同,在其抗震墙体中适当设置现浇的钢筋混凝土构造柱和圈梁,就能大大提高抗震墙体的变形能力。

现行《抗震规范》上对构造柱和圈梁的设计规定,是不考虑其对抗震墙体抗侧能力的提高因素。

一、构造柱

多层砖房抗震墙体中设置的现浇钢筋混凝土柱,由于其柱的设置位置、柱截面

尺寸、材料强度等级等不是由计算确定，而是由经验和必要的试验研究所确定。故称之为“构造柱”。有关构造柱的设置部位详表1.2.1。

表 1.2.1 构造柱设置部位

类别	设 防 烈 度				部 位
	6	7	8	9	
下列各种层数均须设置					外墙四角；错层或大房间的纵横墙相交处；较大洞口两侧；
层数	四、五	三、四	二、三		7~9度时的楼电梯间的纵横墙相交处；
	六~八	五、六	四	二	同上；隔开间横墙与外纵墙相交处；山墙与内纵墙相交处；
		七	五、六	三、四	楼电梯间同上；每开间横墙与外纵墙相交处；9度时横墙与内纵墙相交处；

- 注：1. 外廊式或单面走廊的多层砖房，两侧纵墙均为外墙。应根据房屋增加一层后的层数；
 2. 教学楼、医院等横墙较少的房屋，应根据房屋增加一层后层数。若同时为第一款的房屋，则应按房屋实际层数增加两层后层数。
 3. 外墙有局部墙体突出时，构造柱宜设在阳角部位。

有关构造柱的构造要求应符合如下几点：

1. 最小截面尺寸为 24×18 厘米；纵向钢筋宜为 $4\phi 12$ ，箍筋间距不大于25厘米、且在柱上下端宜适当加密，对于7度超过六层、8度超过五层和9度时，纵向钢筋宜为 $4\phi 14$ ，箍筋间距不大于20厘米、柱上下端宜适当加密；房屋四角的构造柱截面尺寸和纵向钢筋宜适当加大；

2. 应先砌墙后浇柱。柱与墙相接处预留马牙槎，马牙的高度和净距宜小于30厘米，楼面处为马牙的净距以加大构造柱截面且便于检查混凝土浇捣质量。柱与墙之间应沿墙高每隔50厘米设 $2\phi 6$ 拉接钢筋，钢筋伸入墙内长度每侧不小于1米；

3. 构造柱在楼面处应与圈梁相连接；如为现浇楼板时（无圈梁），楼板应与构造柱可靠连接；对于隔层设现浇圈梁时，应增设配筋砖带，砖带高度不小于4皮砖、砂浆强度等级不低于M5；

4. 突出于房屋主体的屋顶小房间四角应设置构造柱，该柱应与房屋主体部分构造柱贯通，如不能贯通时应伸入房屋主体顶层的墙体内；

5. 构造柱可不设基础，但应伸入室外地面下50厘米，或锚入地圈梁内。

本例题设防烈度为7度，但因横墙较少，房屋层数应按五层要求设置构造柱，详图1.1.1所示。

构造柱的构造要求可按本文所述一般情况确定。

二、圈梁

多层砖房中圈梁，由地震震害表明应采用现浇钢筋混凝土圈梁，预制圈梁效果较差。圈梁对预制楼板的楼盖结构的整体性和板平面外的刚度起较好的约束作用，可以加强墙体的连接和阻止墙面上裂缝的延伸，对整幢房屋的总体刚度亦有积极作

用,尤其是圈梁与构造柱组合成纵横两向均有配筋的墙体,可大大提高了抗震墙体的抗震变形能力。圈梁的设置部位和纵向钢筋的最小直径等详表1.2.2。

表 1.2.2 圈梁设置要求 (部位与配筋量)

类 别		设 防 烈 度		
		6、7	8	9
墙 类	外墙、内纵墙	屋盖及隔层楼盖处	楼(屋)盖处	楼(屋)盖处
	在内横墙上间距	同上;屋顶处间距不大于7米 楼层处间距不大于15米;	同上;屋顶处所有横墙上, 楼盖处不大于7米;	同上,所有横墙;
配 筋	最小纵向筋	4φ8	4φ10	4φ12
	最大箍筋间距	25厘米	20厘米	15厘米

有关圈梁的构造应符合下列要求:

1. 截面高度不应小于12厘米。配筋应符合表1.2.2要求,但对砖拱楼、屋盖房屋圈梁的配筋应按计算确定,且不应少于4φ10;
2. 圈梁宜设在楼、屋盖平面标高位置,或紧靠楼板标高下皮;
3. 圈梁在同一楼层平面范围应封闭。当采用楼面梁代替圈梁时,应采取措施加强楼面梁与圈梁的连接;
4. 现浇或装配整体式楼板可不另设圈梁。

本例题按表 1.2.2 中设防烈度为 7 度一档有关要求设置圈梁。由于本工程楼屋盖采用预制板,因此,中间走道部位沿房屋纵向应布置圈梁(拉梁),与横墙上圈梁或楼面梁应拉通,且必须保证构造柱所在位置墙身上设置圈梁。

第三节 地震作用与抗震强度验算

一、地震作用计算

《抗震规范》对多层砖房的地震作用计算规定,一般情况下只考虑建筑物两个主轴方向的水平地震作用,不考虑竖向地震作用。且由于多层砖房抗扭转地震作用的能力较强,实际震害亦表明纯扭转地震作用致使建筑物破坏者较少,为此,笔者认为对多层砖房而言亦可略计扭转地震作用。

多层砖房建筑地震作用计算方法,由于这类房屋的总高度均小于40米,且其质量和刚度沿高度分布比较均匀。因此,可以采用《抗震规范》推荐的底部剪力法。即结构底部总的水平地震作用标准值按下述公式计算:

$$F_{EK} = \alpha_1 G_{e,q} = \alpha_{m,x} G_{e,q} \quad (1.3.1-1)$$

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum_{i=1}^n G_i H_i} \cdot F_{EK} \quad i = 1, 2, 3 \dots n \quad (1.3.1-2)$$

式中: F_{EK} —结构总水平地震作用标准值;

α_1 —为基本自振周期时的水平地震影响系数。对多层砖房建筑, 因其基本周期均为0.30秒左右, 故可近似地取用水平地震影响系数最大值 α_{max} (详表1.3.1);

G_{eq} —结构等效总重力荷载。取总重力荷载代表值的85%, 即

$$G_{eq} = 0.85 \sum_{i=1}^n G_i;$$

F_i —质点 (i) 的水平地震作用标准值;

G_i —质点 (i) 的重力荷载代表值。取楼层 (i) 的楼板标高处上、下楼层各一半建筑物自重和楼面 (i) 的自重及其楼面上的使用荷载准永久值。

准永久值系数相当于《抗震规范》的表4.1.3组合值系数 (详表1.3.2);

H_i —质点 (i) 的计算高度。

表 1.3.1 α_{max}

烈 度	α_{max}
6	0.04
7	0.08
8	0.16
9	0.32

表 1.3.2 组 合 值 系 数

可 变 荷 载 种 类		组 合 值 系 数
雪 荷 载		0.5
屋 面 积 灰 荷 载		0.5
屋 面 活 荷 载		0
按实际情况的楼面活荷载		1.0
按等效均布的	藏书库、档案库	0.8
楼面活荷载	其它民用建筑	0.5

对于突出于屋面的屋顶间、附墙烟囱、女儿墙等, 采用底部剪力法计算地震作用效应值, 应乘以增大系数3.0, 此增大值不往下传递。

本例题地震作用计算标准值为 (按公式1.3.1-1、2),

1. 各楼层重力荷载代表值: $G_5 = 210\text{kN}$, $G_4 = 3760\text{kN}$, $G_3 = 4410\text{kN}$, $G_2 = 4410\text{kN}$, $G_1 = 4840\text{kN}$ 。

则: $G_{eq} = 0.85 \sum_{i=1}^5 G_i = 14985.5\text{kN}$

2. 结构总水平地震作用标准值 (7度):

$$F_{EK} = \alpha_{max} \cdot G_{eq} = 0.08 \times 14985.5 = 1198.84\text{kN}$$

3. 各楼层水平地震作用标准值列表计算如表1.3.3 (按公式1.3.1-2);

表 1.3.3

水平地震作用标准值计算

楼 层	层 高 (m)	H_i (m)	G_i (kN)	$G H_i$ ($\times 10^2$)	$\frac{G_i H_i}{\sum G_i H_i}$	F_i (kN)	V_i (kN)
屋 顶 间	3.2	18.4	210	38.64	0.023	27.57	82.71
四	3.6	15.2	3760	571.52	0.339	406.41	433.98
三	3.6	11.6	4410	511.56	0.303	363.25	797.23
二	3.6	8.0	4410	352.80	0.209	250.56	1047.79
首 层	3.6	4.4	4840	212.96	0.126	151.05	1198.84

注: $H_1 = 3.6 + 0.3 + 0.5 = 4.4$ 米。屋顶间 $V_i = 3 \times F_n$, 但不向下层传。

二、水平楼层地震剪力分配

1. 分配原则: 对于现浇或装配整体式钢筋混凝土楼屋盖结构, 属于刚性楼盖, 其楼层地震剪力可按各抗侧力构件的等效刚度的比例分配; 对于木楼屋盖结构, 属于柔性楼盖, 可按各抗侧力构件所承担楼面面积上重力荷载代表值的比例分配; 对于普通的装配式预制楼屋盖结构, 属于半刚性楼盖, 可按上述两种分配结果的平均值计算楼层地震剪力。

2. 抗侧力构件刚度计算。多层砖房的抗侧力构件由地震作用方向诸墙肢组成, 墙肢的抗侧力刚度: 对于墙肢的高度(层高或洞口高度)与墙肢的长度(无洞口的墙肢长度或有洞口时窗间墙的宽度)之比值小于1时, 只计算剪切刚度; 当墙肢的高度与长度之比值为1~4时, 应同时计算剪切和弯曲变形对刚度的影响; 当墙肢的高度与长度之比值大于4时, 不计算该墙肢的刚度。

单位力作用下墙肢的变形计算: $\Delta = \Delta_M + \Delta_V$ 分别计算 $\Delta_M = H^3/3EI$, $\Delta_V = \xi H/GA$ 。取 $G = 0.3E$, $\xi = 1.2$ 。

$$\text{则: } \Delta = \frac{4H}{Ebt} \left[1 + \left(\frac{H}{b} \right)^2 \right] \quad (1.3.2)$$

式中: H —层高或洞口高度;

b —墙肢的长度或窗间墙的宽度;

t —墙肢的厚度;

E —砖砌体的弹性模量。

公式(1.3.2)第一项为剪切变形, 第二项为弯曲变形。其墙肢的抗侧力刚度为:

$$K = 1/\Delta \quad (1.3.3)$$

本例题横向抗侧力刚度计算如下(本工程外墙厚度均为⁴⁸36厘米、内墙均为24厘米):

①、⑨轴均有一窗洞, 洞高 $H = 2.1$ 米, 则该轴墙分为两个墙肢, 由于 $H/b < 1$ 只计算剪切变形: $\Delta_{1,9} = 4H/Ebt = 4 \times 210/E \times 639 \times 24 = 5.48 \times 10^{-2}/E$,

②、④、⑤、⑥、⑧轴墙肢, $H/b < 1$, 则每道横墙只计算剪切变形:

$$\Delta = 4H/Ebt = 4 \times 360/E \times 606 \times 24 = 9.9 \times 10^{-2}/E,$$

③轴墙有一个门洞和一个窗洞，将墙分成a、b、c三个墙肢。墙肢a的 $H/b = 210/184 = 1.14$ ，墙肢b的 $H/b = 250/50 = 5$ ，墙肢c的 $H/b = 250/132 = 1.89$ 。则：诸墙肢的变形为：墙肢b， $H/b > 4$ ，不计刚度。

$$\Delta_a = 4H/Ebt \left[1 + \left(\frac{H}{b} \right)^2 \right] = \frac{4 \times 210}{E \times 184 \times 24} \left[1 + \left(\frac{210}{184} \right)^2 \right]$$

$$= 43.80 \times 10^{-2}/E,$$

$$\Delta_c = 4H/Ebt \left[1 + \left(\frac{H}{b} \right)^2 \right] = \frac{4 \times 250}{E \times 132 \times 24} \left[1 + \left(\frac{250}{132} \right)^2 \right]$$

$$= 144.79 \times 10^{-2}/E。$$

则本工程首层横向诸墙肢的刚度为：

$$K_{1,9} = 1/\Delta_{1,9} = 18.25E, \quad K_{2,4,5,6,8} = 10.1E, \quad K_a = 2.28E, \quad K_c = 0.69E。$$

首层横向总刚度为：

$$K = (18.25 \times 4 + 10.1 \times 9 + 1.28 + 0.69)E = 166.87E。$$

考虑到本工程横向墙体的抗震强度，仅对③轴的墙肢和⑥轴的墙肢为最不利情况，故楼层地震剪力分配分别计算如下（仅计算首层③、⑥轴墙肢）：

1. 首先按抗侧力刚度比值分配：

$$V_a = (K_a/K)V_0 = 2.28/166.87 \times 1198.84 = 16.38\text{kN},$$

$$V_c = 0.69/166.87 \times 1198.84 = 4.96\text{kN},$$

$$V_0 = 10.1/166.87 \times 1198.84 = 72.56\text{kN},$$

2. 再按抗侧力构件所承担楼面面积上重力荷载之比值分配，由于单位建筑面积上重力荷载比较均匀，所以可按建筑面积比值分配：

$$\text{③轴承担的建筑面积为：} A_3 = 14.28 \times 3.3 = 47.124\text{m}^2,$$

$$\text{⑥轴承担的建筑面积为：} A_6 = 14.28 \times 4.95 = 70.686\text{m}^2, \text{ 总建筑面积为：}$$

$$A = 26.88 \times 14.28 = 383.85\text{m}^2。 \text{ 则：}$$

$$V_a = \frac{47.124}{383.85} \times 1198.84 \times \frac{2.28}{(2.28 + 0.69)} = 112.99\text{kN},$$

$$V_c = \frac{47.124}{383.85} \times 1198.84 \times \frac{0.69}{(2.28 + 0.69)} = 34.19\text{kN},$$

$$V_0 = \frac{70.686}{383.85} \times 1198.84 = 220.77\text{kN}$$

3. 由于本工程为装配式预制楼板，为半刚性楼盖，其墙肢所分配的楼层地震剪力取上述计算的平均值：

$$V_a = (16.38 + 112.99) \times 0.5 = 64.69\text{kN}$$

$$V_c = (4.96 + 34.19) \times 0.5 = 19.58\text{kN},$$

$$V_0 = (72.56 + 220.77) \times 0.5 = 146.67 \text{ kN}.$$

三、抗震强度验算

多层砖房墙体水平截面的抗震承载力（抗震强度）验算按下述公式计算：

$$V \leq f_{vE} A / \gamma_{RE} \quad (1.3.4)$$

式中：V—墙肢所分配的楼层地震剪力设计值。按《抗震规范》规定地震作用效应的设计值为标准值乘以地震作用分项系数，当仅考虑水平地震作用时地震作用分项系数为1.3；

f_{vE} —砌体抗震抗剪强度设计值。取：

$$f_{vE} = \xi_N \cdot f_v;$$

ξ_N —砌体强度的正应力影响系数（详表1.3.4）；

f_v —砌体非抗震的抗剪强度设计值。按我国现行《砌体设计规范》采用；

A—墙肢水平截面面积；

γ_{RE} —承载力抗震调整系数。对自承重墙体取 $\gamma_{RE} = 0.75$ ，对其他墙体取 $\gamma_{RE} = 0.9$ （墙肢两端均有构造柱）或1.0。

表 1.3.4 正应力影响系数 (ξ_N)

砌 体	σ_0 / f_v						
	0.0	1.0	3.0	5.0	7.0	10.0	15.0
实心粘土砖	0.8	1.0	1.28	1.5	1.7	1.95	2.32

注： σ_0 为墙半高处截面上重力荷载代表值作用下的平均压应力。

本例题砌体的强度等级，首层选用砖的强度等级为MU₁₀、砂浆强度等级为M₅， $f_v = 0.14 \text{ MPa}$ 。

首层③、⑥轴诸墙肢在墙高半高处截面上平均压应力为（计算从略） $\sigma_0^{\text{③}} = 0.69 \text{ MPa}$ ， $\sigma_0^{\text{④}} = 0.64 \text{ MPa}$ ， $\sigma_0^{\text{⑤}} = 0.47 \text{ MPa}$ 。

根据表1.3.3诸墙肢的正应力影响系数为：

$$\xi_N^{\text{③}} = 1.53, \quad \xi_N^{\text{④}} = 1.49, \quad \xi_N^{\text{⑤}} = 1.37.$$

则诸墙肢的抗震承载力为（按公式（1.3.4））：

$$V_{\text{③}} = 1.53 \times 0.14 \times 1840 \times 240 / 1.0 = 94590.7 \text{ N} > 1.3 \times 64690 = 84097 \text{ N}$$

$$V_{\text{④}} = 1.49 \times 0.14 \times 1320 \times 240 / 1.0 = 66084.48 \text{ N} > 1.3 \times 19580 = 25454 \text{ N}$$

$$V_{\text{⑤}} = 1.37 \times 0.14 \times 6060 \times 240 / 1.0 = 278953.92 \text{ N} > 1.3 \times 146670$$

$$= 190671 \text{ N}.$$

则：该工程墙体满足七度设防要求。

四、地基与基础

多层砖房的地基与基础的抗震强度验算，由震害调查说明可以不考虑地震作用。但是对于同一幢建筑物（同一结构抗震计算单元）的基础，基底宜设在同一标高，且采用同一种基础结构类型。此外，对于地基易产生震陷的软弱地基土，其基

础应采用整体刚度（室内地面以下部分）较好的基础结构类型。

对于多层砖房建筑所在场地可能产生滑坡、地基土液化等地基失效时，应按现行《抗震规范》第三章有关规定进行地基处理（本文鉴于篇幅限制不详介绍）。

第四节 横向配筋砖砌体抗震强度验算

多层砖房中办公楼、教学楼等建筑物，其横向的抗震墙体较少，当其楼层数较多、且横墙布置均较稀时，或者墙体水平截面上正应力较低时。这样的横向抗震墙在抗震强度验算时可能不满足计算要求。此时，如采取加大墙厚或提高砌体的砂浆强度等级已不再可能时，则只能采用横向配筋砌体来提高抗震墙的抗震承载能力。因此，现行《抗震设计规范》有关配筋砌体的规定是为满足抗震墙的抗震承载能力，其配筋数量应由计算确定。其计算可按如下公式验算：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (f_{VE} \cdot A + 0.15f_y A_s) \quad (1.4.1)$$

式中： f_y —钢筋抗拉强度设计值；

A_s —一层间墙体分布在竖向截面中钢筋总的截面面积；

f_{VE} 、 A 、 γ_{RE} 详本章有关计算公式。

砖砌体中水平灰缝里配置水平钢筋，即为横向配筋砖砌体。关于横向配筋砖砌体最少配筋量问题，参考钢筋混凝土结构中最少配筋量的标准，建议对墙厚为24厘米时配 $2\phi 6$ ，对墙厚为36厘米时配 $3\phi 6$ ，其竖向间距每隔五皮砖缝配一道；砌体的砂浆强度等级不宜低于M5；钢筋表面砂浆最小厚度不宜小于2毫米；钢筋距砖墙外表面不宜小于6厘米；钢筋最好经初冷拉后施工，以保证钢筋在灰缝里平、直配置，其搭接长度为40~50倍钢筋直径。

现根据上述有关计算要求和配筋砌体构造要求，举一工程实例供读者参考。

横向配筋砖砌体多层砖房抗震计算例题

一、工程概况

本例题选自天津财经学校教学楼工程。根据例题需要，对平面布置做了调整，详图1.4.1所示。设防烈度为8度，II类场地，近震，地基土无液化等不良土层。

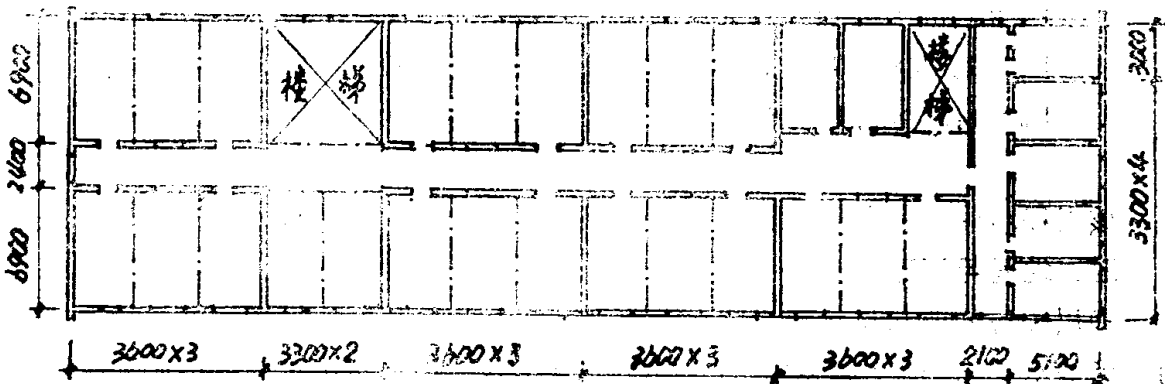


图1.4.1 平面示图