

内 容 提 要

风荷载和地震作用是工程结构、特别是高柔结构的主要设计荷载,合理地进行结构抗风抗震设计计算,是保证高层结构安全的重要因素。本书以风荷载和地震作用有关规范以及其最新局部修订稿为基础,并且增补一些目前某些规范尚未列入但已需进行验算的有关内容。对高层建筑本身,除了实用方法、有限元法以外,本书还在各章对常用方法加以改进和补充,对高层结构自振频率周期振型阻尼比作了着重分析,还对一些专门问题如舒适度、鞭梢效应、振动控制、可靠度等都作了一定的叙述,以期读者看了本书后,能够较全面地了解高层建筑抗风抗震设计计算一些新鲜内容,以促进设计计算研究的发展。

本书共分十章,第一章讲述计算简图、抗风抗震计算及结构动力特性的基础内容;第二章和第三章分别介绍最新内容的风荷载和地震作用;第四章至第八章则介绍了各种高层建筑结构的简化分析方法,并分析了频率周期振型等动力特性问题;第九章为有限元法;第十章对八个专门问题作了一定的叙述。书中各章都有一些新鲜的内容,可供读者应用和讨论。本书可供从事高层建筑和风荷载、地震作用工作的科研工作者、工程技术人员以及大专院校土木建筑类的师生使用和参考。

责任编辑 方 芳
封面设计 李志云

高层建筑抗风抗震设计计算

张相庭 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

上海师大印刷厂印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 15.75 字数: 400 千字

1997 年 5 月第 1 版 1997 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—5000 定价: 20.00 元

ISBN 7-5608-1739-4/TU·221

前 言

风灾和地震灾害是自然灾害中对人类影响最大的两种灾害,据统计,这两种灾害造成的经济损失占总自然灾害损失的 90% 以上。经济损失最主要的成分是工程和建筑物破坏造成的损失。1993 年在美国洛杉矶召开的“结构工程减轻自然灾害”学术会议上,在提交的几百篇论文中,绝大多数的论文都涉及风和地震的作用。因此抗风抗震是工程结构防灾的首要任务。高层建筑是属于柔性建筑一类,风和地震作用是高层结构设计的主要的侧向荷载,起着几乎是决定性的作用,而柔性的高层建筑又是风和地震敏感的建筑,例如美国迈阿密的多座高层建筑被风损坏,罗马尼亚布加勒斯特多座高层建筑受地震而倒塌等等,至于附属建筑物如玻璃幕墙等被风或地震作用后破碎更是屡见不鲜。因此高层建筑抗风抗震的合理计算和分析有着十分重要的和迫切的意义。

本书的初稿曾在上海力学学会内部印行并在上海科学会堂作过公开讲座,编写的相关讲义曾在同济大学的大学生和主要在研究生中讲授,也曾在国内一些设计研究院全部或局部作过讲学。鉴于今年我国《建筑结构荷载规范》风荷载部分已与国际上发达国家一样,将地貌分为四类,并增设了一些条目,将出修订稿,因而过去刊行或发表的一些计算用表将作改动和增补,并已反映在一些待出版的高层建筑规范上;《建筑抗震设计规范》已于 1989 年出版,且于 1993 年印发了局部修订稿,因而也有了新鲜内容;而且随着近年来高层建筑的大量建造,也发掘了不少新的设计实践经验,因而重新整理这些讲稿,在新的背景和条件下作补充修改,并付之出版,以与广大高层建筑设计研究者交流、商榷,是一件十分必要和有意义的事情。

在编写本书时,力求有下列的特色:1. 密切结合有关规范的最新修订稿加以叙述,不但有规范上新老的计算用表,而且还增补了一些在某些情况下可能应用的方法和计算用表;2. 与一般高层建筑书籍不同,在大部分章节增加了工程上实用的、方法上有所改进的、对高层建筑动力特性有所着重的内容;3. 目前计算机应用较为普遍,计算程序以位移法系统居多,因而本书在新增内容中力图即使可以手算的实用方法中,也能应用已有的位移法统计程序进行分析;4. 结合作者负责制订的一些规范条目及高层建筑的计算实践,尽力做到把问题说得更清楚些,以便在某些地方引起设计研究者的注意。

本书共分十章。第一章是有关计算简图、抗风抗震计算及动力特性基础的内容;第二、第三章分别介绍风荷载及地震作用的以有关规范最新修订稿为依据的计算方法,也有一些规范尚未列入但重大工程上需要的内容;第四章为高层框架实用方法,介绍了改进了的 D 值法以及剪切杆法;第五章为剪力墙实用方法,介绍了与一般资料略有不同的计算公式;第六章为框剪结构,是前两章一些新鲜内容的综合,还有实例;第七章为框筒或筒中筒,以一些计算资料为基础,对一些实用方法作出补充;第八章是扭转耦合,除了阐述扭转形成的原因并导出有关公式外,对一般层中柱、墙或墙柱均存在时的情况作了分析,并作出了例子加以说明。第四章至第八章是高层结构简化分析部分,每章都有自振频率、周期和振型分析的内容,可供实际应用。第九章是数值分析方法,在分析常用的几种方法情况下,重点叙述杆件

有限元法。显然,在工程上,用有限元法计算高层结构要充分应用计算机来付之于实践。最后的第十章,对高层建筑计算中的一些专门问题如舒适度、鞭梢效应、振动控制、上下共同作用以及可靠度等八个专题作了分析,以供实际应用时注意和参考。

本书一些章节曾由曹国峰、王国砚、林晋红帮助抄写,林炽杰曾对第五章框支剪力墙新的公式加以复核,林炽杰、高升伟负责制图,同时同济大学出版社方芳女士为本书出版做了大量的工作,对此均表示深切的感谢。由于本书对部分常用内容提出了修正的方法,而且涉及的面广而深,还需得到高层建筑设计研究者的指教。

张相庭

1996年9月22日

目 录

第一章 高层建筑结构选型、布置和计算基础	(1)
§ 1-1 高层建筑的结构选型及计算简图	(1)
§ 1-2 结构布置	(4)
§ 1-3 高层建筑结构强度、位移和加速度、角速度限值	(8)
§ 1-4 高层建筑的变形特征	(10)
§ 1-5 高层建筑抗风抗震计算	(12)
§ 1-6 结构自振频率、周期和振型计算的基础理论	(14)
§ 1-7 结构阻尼基础理论及阻尼系数值	(28)
第二章 风荷载及风致响应	(32)
§ 2-1 风力、结构风力及风效应	(32)
§ 2-2 基本风速和基本风压	(34)
§ 2-3 顺风向的等效风荷载	(36)
§ 2-4 横风向涡流脱落共振等效风荷载	(52)
§ 2-5 风力下空气动力失稳	(55)
第三章 地震作用及抗震计算	(56)
§ 3-1 地震作用的基本知识	(56)
§ 3-2 抗震设计原则和方法	(59)
§ 3-3 反应谱方法	(63)
§ 3-4 直接动力法(时程分析法)	(72)
第四章 高层框架结构抗风抗震简化计算	(76)
§ 4-1 D 值法	(76)
§ 4-2 剪切杆法(连续化法)	(87)
§ 4-3 自振频率或周期的计算	(92)
第五章 高层剪力墙结构抗风抗震简化计算	(98)
§ 5-1 剪力墙结构的力学特性	(98)
§ 5-2 整体墙的计算	(100)
§ 5-3 小开口整体墙的计算	(101)
§ 5-4 双肢墙和多肢墙的计算	(102)
§ 5-5 壁式框架的计算	(120)
§ 5-6 剪力墙的合理分类及计算	(123)
§ 5-7 框支剪力墙的计算	(128)
§ 5-8 自振频率或周期的计算	(134)
第六章 高层框剪结构抗风抗震简化计算	(140)
§ 6-1 框剪体系的静力计算	(140)

§ 6-2 自振频率或周期的计算	(143)
§ 6-3 计算实例	(147)
第七章 高层框筒或筒中筒结构的简化计算	(163)
§ 7-1 用等代柱转变为平面框架或框剪结构	(164)
§ 7-2 用虚拟杆件展开为平面框架或框剪结构	(166)
§ 7-3 自振频率或周期的计算	(167)
第八章 高层结构考虑弯扭作用的简化计算	(168)
§ 8-1 产生弯扭耦合作用的条件	(168)
§ 8-2 质量中心和刚度中心的计算	(169)
§ 8-3 高层结构弯扭作用的简化分析——抗侧力构件沿 x, y 向布置	(171)
§ 8-4 高层结构弯扭作用的简化分析——抗侧力构件任意布置	(179)
§ 8-5 自振频率或周期的计算	(180)
第九章 有限元法计算高层结构	(182)
§ 9-1 用拉格朗日方程推导单元运动方程	(183)
§ 9-2 位移模式为多项式时的单元刚度矩阵	(185)
§ 9-3 一致质量矩阵	(190)
§ 9-4 阻尼矩阵和荷载列阵(干扰力列阵)	(193)
§ 9-5 坐标变换	(194)
§ 9-6 结构的运动方程及动静计算	(196)
§ 9-7 楼板水平刚度为无穷大时的有限元法	(198)
第十章 高层建筑设计计算中的若干专门问题	(205)
§ 10-1 等效模式	(205)
§ 10-2 鞭梢效应	(213)
§ 10-3 风力作用下的舒适度分析	(219)
§ 10-4 按位移限值进行设计计算	(221)
§ 10-5 上部结构与地基基础的相互作用	(223)
§ 10-6 非线性振动	(224)
§ 10-7 振动控制	(226)
§ 10-8 可靠度和可靠指标	(235)
参考文献	(244)

第一章 高层建筑结构选型、布置和计算基础

随着科学技术的进步和城市建设中考虑节约用地的需要,高层建筑得到了很大的发展。我国自 70 年代开始,高层建筑在各大城市像雨后春笋般发展起来。单就上海市而言,截止 1995 年底,高层建筑已达 1523 幢,其中 1995 年就达 219 幢。国内 50 层以上高度 160m 以上也为数不少,例如 53 层 160m 的深圳国际贸易中心,高 165m 的上海商城,正在建造的 96 层高 460m 国际环球金融中心等。国际上最高的已建成的高层建筑是美国芝加哥西尔斯大厦,110 层,442m 高,1974 年建成。

国家不同,时期不同,对高层建筑的定义也就不同。大部分国家把 10 层及 10 层以上的住宅和约 25m 高度左右以上的其他建筑称为高层建筑,把 30 层或 100m 以上的建筑称为超高层建筑。

在低层建筑中,垂直荷载往往是主要的,但层数高达 5 至 10 层的多层建筑中,垂直荷载和水平荷载共同起着主要的作用;而在高层建筑中,水平荷载成为设计的决定因素,建筑愈高,它的作用就愈明显。高层建筑水平荷载主要是风荷载和地震作用,因此研究高层建筑的设计计算,就必须重点研究高层建筑抗风抗震的设计计算。本书主要为此目的而进行编写。

本章围绕高层建筑抗风抗震设计计算为目标,阐述常用的结构体系、结构布置、受力分析及有关动力特性的基本理论,为以后各章高层建筑抗风抗震计算打下充实的基础。

§ 1-1 高层建筑的结构选型及计算简图

结构选型通常根据建筑要求和使用要求,同时结合各类结构体系的受力特点,主要是水平荷载下的受力特点,兼顾施工技术条件和建设投资、材料和设备状况,综合确定所采用的结构类型。从结构安全和经济角度来看,抗风和抗震受力特点是最主要的。结构类型有很多种体系,但通常以下列四种结构体系应用最为普遍。

一、框架体系

采用横梁和竖柱组成的框架来承受水平荷载时,这种结构体系称为框架体系。图 1-1 为这种体系的平面图及计算简图。在一般楼面情况下,楼面水平变形很小,可假定平面刚度为无穷大,因而在对称结构情况下,各层水平位移相等。现将七榀框架画在一起,如图 1-1b 所示。

框架体系抗水平力的能力取决于柱的抗侧移能力,与柱的抗侧移刚度有关。由于柱的截面较小,惯性矩也小,因而框架的侧向刚度小,在风和地震作用下,变形较大,从而限制了框架结构的建造高度。框架体系一般用在 15 层以下的高层建筑较为合理。

二、剪力墙体系

采用墙体来承受水平荷载的体系,称为剪力墙体系。这里的剪力墙名称主要是承受水

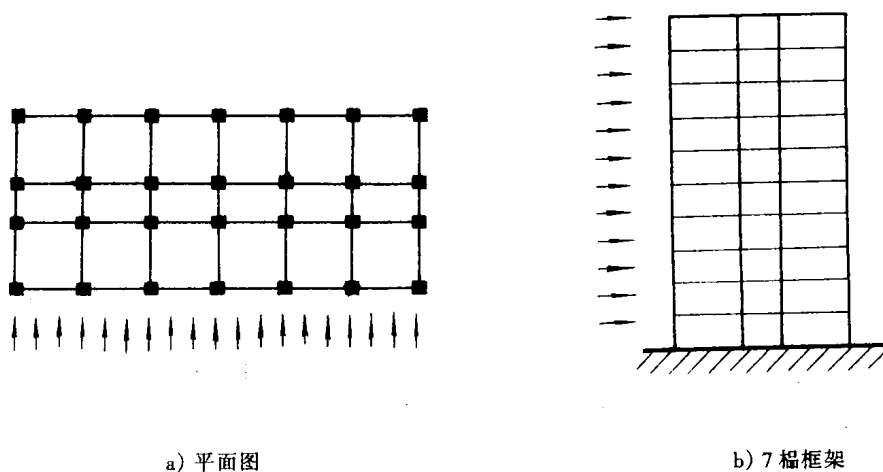


图 1-1 框架体系

平力的意义,故也称抗风墙或抗震墙。

剪力墙由于是由实心墙体或开洞墙体组成,即使是开洞墙体也比框架柱刚度大得多,因而抗侧移能力很强,通常多用于 15~30 层高层建筑中(美国曾造至 70 层)。我国在建造高层建筑初期,在 10~15 层高层建筑中也常用剪力墙体系。图 1-2 为一剪力墙体系的平面图和计算简图。与框架体系一样,在刚性平面楼板和对称结构的条件下,7 道剪力墙也可画在一起。剪力墙底部也有做成框架支承的,以适应建筑底部作为商店等需要大空间的条件。

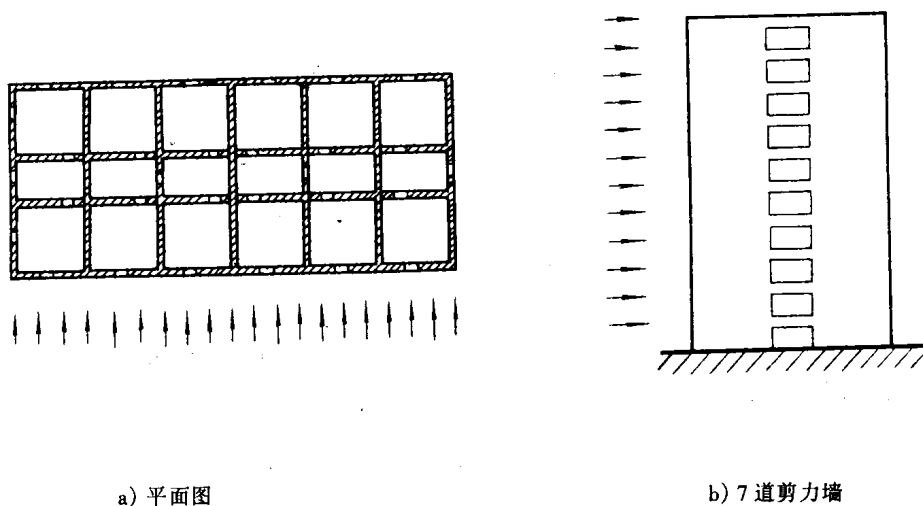


图 1-2 剪力墙体系

三、框架-剪力墙体系

采用框架和剪力墙共同承担水平力的体系,称为框架-剪力墙体系,或简称框剪体系。

框架侧向刚度差,但具有空间大、平面布置灵活的优点;剪力墙侧向刚度大,但平面布置不灵活。把两者结合起来,一般在框架结构中设置一些剪力墙,兼顾两者的优点,同时能承受一定的水平力。通常在 30 层以下的高层建筑中普遍得到应用。图 1-3 为一框剪体系的平面图及计算简图。与前一一样,当采用平面刚性楼板以及在结构对称条件下,各层水平位移相等。由于采用了两种结构形式,因而计算时在各层平面上用一刚性连杆将两者连接起来,以反映位移相等的要求,如图 1-3b 所示。

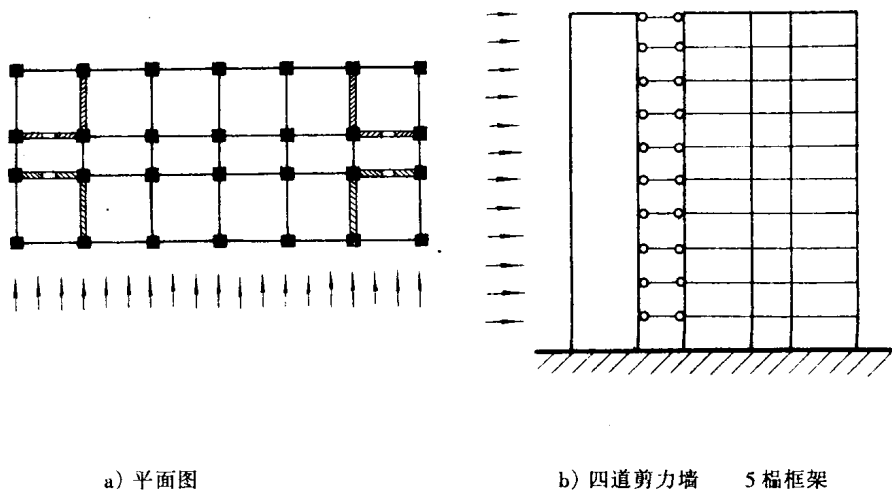


图 1-3 框剪体系

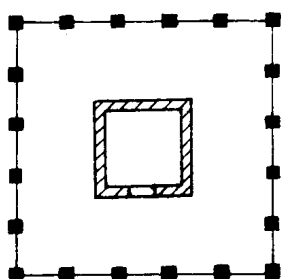
四、筒式体系

把墙体或密排柱(小柱距,3m 及以下居多)与窗裙梁(深梁)围成筒状而组成承受水平力的体系,称为筒式体系。如图 1-4 所示。把普通框架(柱距大)与筒体组合在一起,或单单由密排柱与窗裙梁组成而围成单筒,后者因结构类似框架,两者均可称为框筒体系。由于筒体本身具有空间受力结构形式,即可承受水平力,又可承受偏心引起的水平扭矩,因而侧向刚度极强,一般用在 30 层以上超高层建筑中。

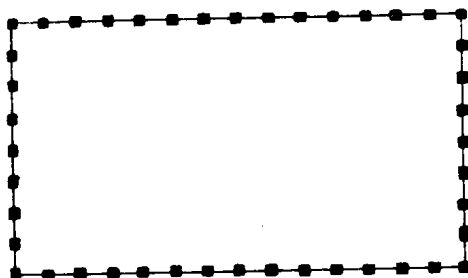
- 筒式体系一般可分为框筒体系和纯筒体系。
1. 框筒体系,由内筒为剪力墙筒体,外侧围为普通框架(大柱距)而成,如图 1-4a 所示。
 2. 纯筒体系,它可有单筒(图 1-4b,有时也称框筒),筒中筒(图 1-4c,双筒)及群筒(图 1-4d)等形式。筒体愈多,刚性愈强。深圳国贸大厦就是采用筒中筒的形式,美国西尔斯大厦采用九个方块筒体而形成,类似于图 1-4d 的形式。

在水平荷载作用下,以风荷载为例;筒中顺风向墙体起着主要的抗侧移作用,横风向的翼缘起着支持的作用,因而结构性能类似于框剪或剪力墙体系,但应力分布有所变化,我们将在第七章中详细加以描述。

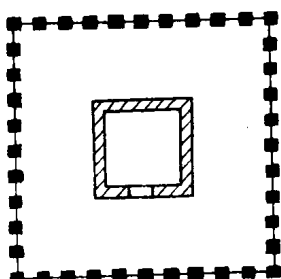
为了便于查阅,我们将以上四种结构体系常用的范围及适用的最大高度列于表 1-1(以现浇的钢筋混凝土结构和钢结构为依据),对不规则结构、框支剪力墙结构、或Ⅳ类场地土上的高层结构,适用最大高度应适当降低。



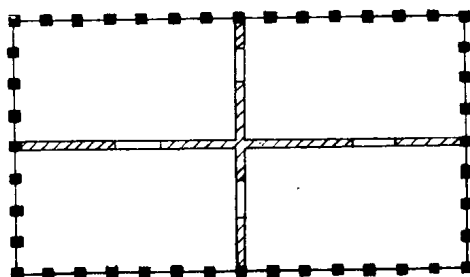
a) 框筒体系



b) 单筒体系(框筒体系)



c) 筒中筒体系



d) 群筒体系

图 1-4 筒式体系

各种结构体系常用的层数范围及适用最大高度

表 1-1

结构体系			框 架	框 剪	剪力墙	筒 式
常用范围	层数		10 ~ 15	10 ~ 30	15 ~ 30	30 及以上
	高度(m)		25 ~ 55	30 ~ 120	50 ~ 120	90 及以上
最大高度(m)	设计烈度	6°	同非抗震设计			
		7°	55(110)	120(200)	120(200)	120(350)
		8°	45(90)	100(180)	100(180)	100(300)
		9°	25(70)	50(140)	50(140)	50(250)

* 括弧内数字用于高层钢结构。

§ 1-2 结构布置

在已知条件下,结构布置好坏将影响到风力和地震作用的值,因此应予以注意。这里分三个方面讨论布置问题。

一、平面布置

1. 扭转可产生附加的很大的风力和地震作用效应,因此结构平面布置时应力图避免。在布置 x, y 方向的抗侧力构件(框架、剪力墙等)时,应注意刚度中心与风力或地震力这些水平力中心靠拢,以免产生过大的扭转效应。刚度中心是结构抵抗侧力构件所产生的力的

合力中心。水平力中心对地震作用来说,就是质量中心(见第三章),对风荷载来说,顺风向的风力常分为平均静风力和脉动动风力,前者决定于受风面积,后者作用于质量中心。因此要使地震作用下不产生扭转,应使刚度中心与质量中心一致。要使风荷载下不产生扭转,应使刚度中心与受风面积中心、质量中心三心一致;一般情况下,由于受风面积中心常布置得与质量中心接近或一致,因而也是刚度中心与质量中心一致问题。当然在具体布置时,常难完全做到两者一致,但可控制水平力中心与刚度中心的偏心距 e 不超过垂直水平力方向的建筑物边长 L 的 5%,即 $\frac{e}{L} \leq 0.05$ 。这样布置对结构有利,否则要考虑扭转的影响。所以对于规则的建筑物平面,对称布置对抗风抗震是有利的。

2. 结构平面中,拐弯抹角,凹凸过多,将使受力不均匀,凹角处会产生应力集中,对结构不利,而且国内外震害表明,拐角多的,震害也是最重的。另外外伸长度(见图 1-5 中的 C)应尽可能小,以免增大不对称应力的可能性。图 1-5 中有圆圈符号的处所宜采取加强措施;外力愈大,外伸长度或有关比值应愈小,地震作用下各尺寸的建议比值如表 1-2 所示。

L、C、E(图 1-5)的限值 表 1-2

设计烈度	L/B	L/B'	C/D	E/B
7°	≤ 6	≤ 5	≤ 2	≥ 1
8°	≤ 5	≤ 4	≤ 1.5	≥ 1

注:(1) $\frac{L}{B}$ 值 7°时宜 ≤ 4 , 8°时宜 ≤ 3 ,当超过时宜采用剪力墙结构,为有效地发挥筒体结构空间作用, $\frac{L}{B}$ 宜 ≤ 1.5 ,不超过 2。
(2) $\frac{C}{D}$ 值一般宜 ≤ 1 。
(3) 如不能采用表 1-2 的平面尺寸要求或 9°地区,应进行深入的抗震验算和采用加强的构造措施。

3. 圆形、椭圆形或接近这类形状的建筑对抗风是有利的,圆形抗弯刚度要比同面积的方形大 3 倍,而风压由于体型系数影响(见第二章)要比边长虽略小 $\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}d\right)$ 的方形要小 50% 以上。

二、竖向布置

1. 加大建筑物的宽度 B 或限制高宽比 $\frac{H}{B}$ 之值,能减少水平侧移,增大抗倾覆和稳定的安全性。高宽比的限值见表 1-3。

高宽比 $\frac{H}{B}, \frac{H}{B'}$ 的限值 表 1-3

设计烈度	框 架	框-剪,单筒体	剪力墙,多筒体
无设防要求	≤ 5	$\leq 5(6)$	$\leq 6(6)$
7°	$\leq 4(5)$	$\leq 5,4(6)$	$\leq 6(6)$
8°	$\leq 3(4)$	$\leq 4,3(5)$	$\leq 5(5)$
9°	2(3)	$\leq 3(4)$	$\leq 4(5)$

注:1. 筒式体系 $\frac{H}{B}$ 宜 ≥ 3 。
2. 括弧内为钢结构。

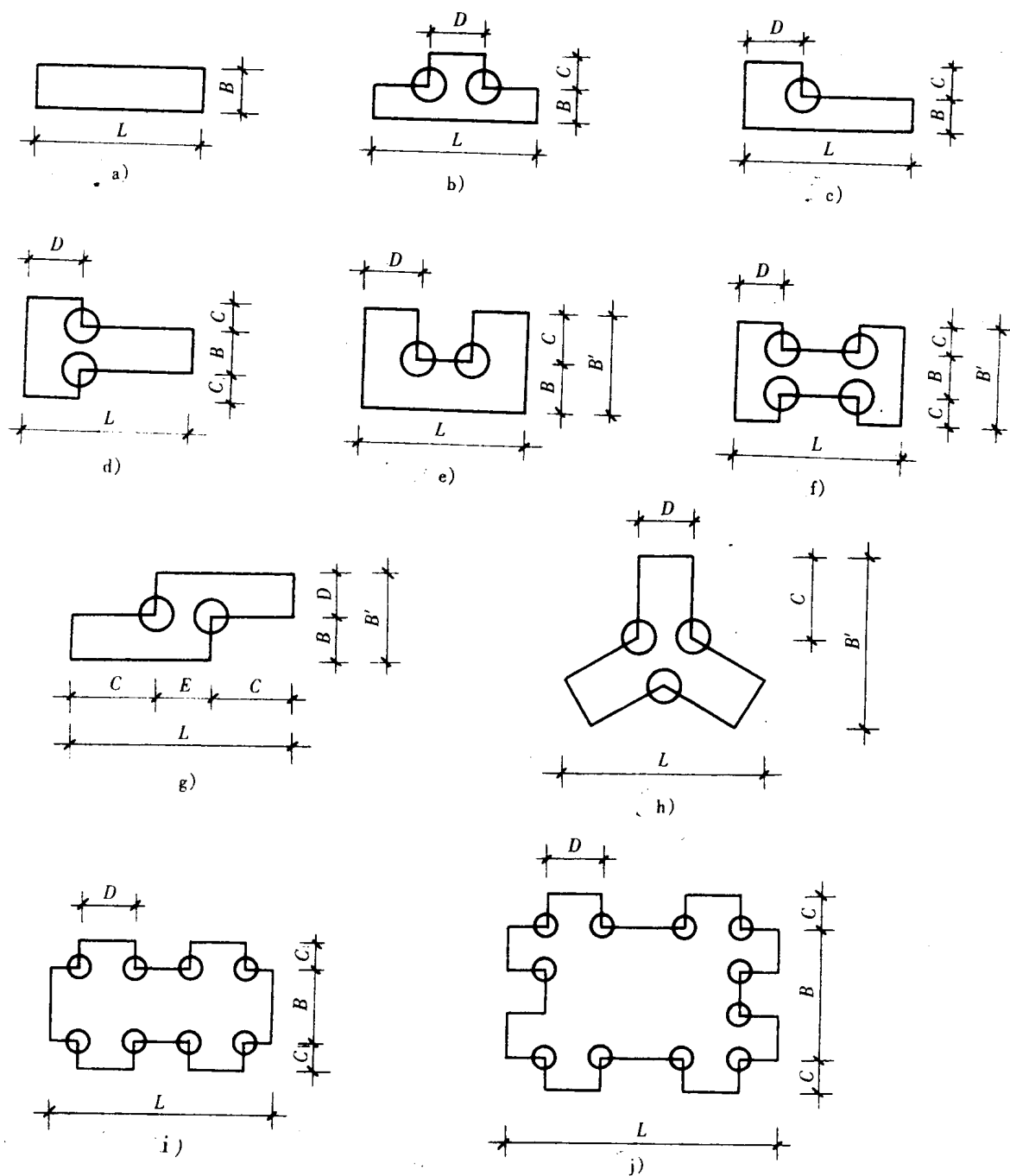


图 1-5 建筑平面及凹凸尺寸

2. 要尽量做到建筑物竖向刚度和强度均匀而连续,避免突变或不连续。由于刚度突变造成震害的例子是很多的,包括国外和我国唐山的震害实例。

为了做到刚度不发生突变,在结构内部布置上,要尽量不突然在某些楼层取消剪力墙,而设置大空间的房间,如建筑功能上必须取消,所取消墙数不宜多于半数。对于底层如功能上需要全部取消剪力墙改为框架变成框支剪力墙时,这时要采取加大框架柱的截面,提高混

凝土强度等措施,尽量减少刚度变化的程度。在结构外形上,要力图避免尺寸的突然变化,一般以每次尺寸变化在 100mm 以内。对于顶部设置塔楼,外形尺寸突然收进时,要产生风力下或地震作用下的鞭梢效应,大大增加风和地震效应,所以塔楼如属必须时,要设置在建筑平面的中间部分,使塔楼刚度中心与主体刚度中心接近,以减少扭转影响,同时,塔楼高度要尽量降低。在建筑材料上,混凝土标号每改变一次以改变一级为宜,下面钢筋混凝土上面钢的结构要注意避免变化处刚度的太大变化,并在构造上要采取完整的措施,保证不开裂。

为防止各层上下刚度变化太大,宜控制相邻层的弯曲刚度比和剪切刚度比。

$$\left. \begin{aligned} \eta_f &= \frac{E_{n+1} I_{n+1} / h_{n+1}}{E_n I_n / h_n}, \quad 0.5 \leq \eta_f \leq 2, \quad (\text{宜 } \eta_f \approx 1) \\ \eta_s &= \frac{G_{n+1} A_{n+1} / h_{n+1}}{G_n A_n / h_n}, \quad 0.5 \leq \eta_s \leq 2, \quad (\text{宜 } \eta_s \approx 1) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

当结构变形主要是弯曲变形(如剪力墙,见本章第四节)时,取 η_f ,当结构变形主要是剪切变形(如框架,见本章第四节)时,取 η_s ,当两者影响较为接近均需考虑(如框剪体系)时,两个刚度比均需控制。

对于顶层上的塔楼,设其高为 h_t ,宽为 b_t ,塔楼平面面积为 A_t ,主体结构高为 H ,宽为 B ,楼层平面面积为 A ,则塔楼尺寸宜控制在下列范围内:

$$\left. \begin{aligned} \frac{h_t}{H} &\leq \frac{1}{5} \\ \frac{h_t}{b_t} &\leq 1 \\ \frac{b_t}{B} &\geq 0.75 \\ \frac{A_t}{A} &> 0.70 \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

如不满足上述要求,应严格考虑风或地震作用下鞭梢效应的影响,具体计算见第二、三章。

3. 从抗风抗震计算角度,上小下大的塔式结构是有利的。顶部的力影响要比中下部为大,当顶部的受风面积小时,风力也小,而顶部小质量也小时,地震力和风振力也小。因此,塔式建筑或质量和受风面积都上小下大结构,对抗风抗震来说,是有利的竖向布置结构形式。

三、变形缝布置

高层建筑中的变形缝可分三类,即沉降缝、温度缝、防震缝,用以消除或降低结构中的差异、材料的收缩和温度变形以及复杂体型各部分受力反应不协调的不利作用。设缝后如宽度不够,会发生两边建筑的碰撞,所以应尽量调整平面尺寸和形状,尽量不设缝,或设暂时性缝,待沉降等基本稳定后,再浇成整体,不留永久性的缝,设缝时要做到“三缝合一”。

(一) 沉降缝

在高层建筑中,如设置 2~3 层的附加建筑或裙房,层数与主体相差较大,荷载也相差很大,因此需设置沉降缝以免由于沉降差而引起过大的内力造成损坏。沉降缝需从上到下与主体结构完全脱开,其宽度至少 80mm,对于软土地基,应适当放大。

目前的做法是,对于采用直至基岩的端承桩时,因沉降差极小,可不设沉降缝。对于需设缝的高层建筑,可先施工高层主体部分,后施工低层部分,减少两者的沉降差,待沉降基本稳定后,再浇为整体,不留永久性沉降缝。

(二) 温度缝

为减少混凝土材料的收缩及温度变化所带来的长度变化对结构的危害,可在结构中设置温度缝。温度缝宽度一般为 50mm,其最大间距可参考表 1-4,如果采取一些构造措施,其间距可超出表 1-4 所列的值。

钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距(m) 表 1-4

结构类型	现 浇		装 配
	外挂板	外墙现浇	
框架,框剪	70	50	90
剪力墙	60	50	70

(三) 防震缝(防振缝)

当建筑各部分层数、刚度等相差悬殊、体型复杂、凹凸过多,尺寸超过表 1-2 时,可以产生较大的扭转和复杂的受力状态,因此宜将各部分分开而设置防震缝。防震缝应在地面以上沿全高设置,一般应三缝合一,但不作沉降缝时,基础可不设防震缝。防震缝应有足够的宽度,应考虑两部分结构非同相位振动,故宽度应不得小于两部分最大水平位移的和,以免振动时发生碰撞而损坏。防震缝最小宽度可按下述经验公式计算:

$$d = 70 + C(H - 15m) \quad (\text{mm}) \tag{1-3}$$

式中 H 为较低的房屋高度(m),低于 15m 按 15m 计算, C 为系数,由设计烈度确定,见表 1-5。 d 的最小值为 70mm。

确定防震缝最小宽度的系数 C 值表 表 1-5

结 构	烈度	7°	8°	9°
框 架		7.5	10	—
框 剪		5	6.7	10
剪力墙		3.75	5	7.5

§ 1-3 高层建筑结构强度、位移和加速度、角速度限值

高层结构设计计算时,强度和刚度是安全的重要指标,必须予以保证,为了满足居住者舒适度要求,还要计算加速度和角速度,以保证居住者没有不舒适的感觉。

一、强度要求

(一) 风荷载

风是几乎每天都会遇到的,而且一年之中有一段时期可以到达很大之值,所以抗风设计通常都考虑在弹性范围之内,进行弹性计算,不考虑弹塑性变形的出现,力与位移的关系如

图 1-6a 所示。

(二) 地震作用

地震是偶然发生的,在一定设计年限内有可能发生达到一定的值,所以抗震设计允许结构进入弹塑性变形范围,以使地震作用时,来保证“小震(多遇地震)不坏(弹性设计),大震(罕遇地震)不倒(弹塑性设计)”。允许大震时考虑弹塑性变形,可使结构充分节约材料,不致为了若干年才有可能发生一次的大震而搁置大量的资金,而另一方面保证它不倒是安全的措施,在即使发生大震时,建筑物不倒坍,设备人身安全仍有所保障,建筑物在大震后仍有可能修复等等。允许进入弹塑性的力与位移的关系如图 1-6b 所示。其中结构允许的最大极限位移 Δ_l 与结构屈服时的位移 Δ_y 之比 μ 称为延性比,是抗震计算时的重要抗震指标。

$$\mu = \frac{\Delta_l}{\Delta_y}$$

(1-4)

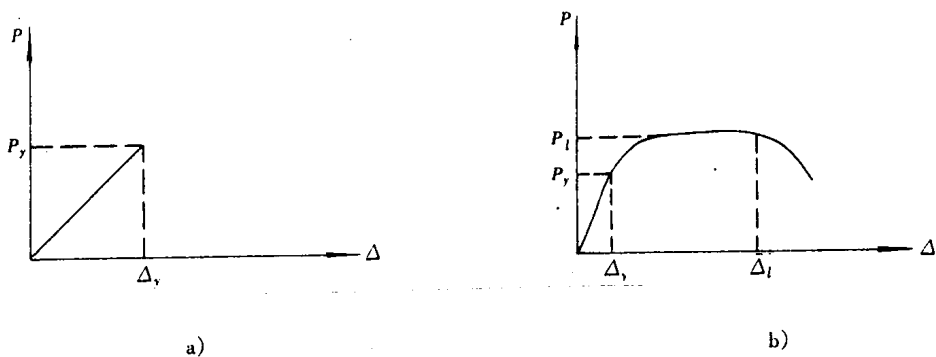


图 1-6 风荷载和地震作用的限值

二、位移限值

位移主要指侧向位移。侧向位移过大,将会引起结构开裂、倾斜、损坏,在一定频率范围内可使居住者感觉不舒服。位移有顶点侧向位移 Δ (也常用 y_H 表示)和层间相对侧向位移 δ ,通常以 $\frac{\Delta}{H}$ 和 $\frac{\delta}{h}$ 相对值来表示。具体限值见表 1-6,表 1-7。

$\frac{\delta}{h}$ 限值

表 1-6

结构类型			风荷载	地震作用
框 架	填 充 墙	实心砖	$\frac{1}{400} \quad \left(\frac{1}{400}\right)$	$\frac{1}{550} \quad \left(\frac{1}{300}, \frac{1}{70}\right)$
		空心砖	$\frac{1}{500} \quad \left(\frac{1}{400}\right)$	$\frac{1}{550} \quad \left(\frac{1}{300}, \frac{1}{70}\right)$
框 剪			$\frac{1}{600} \quad \left(\frac{1}{400}\right)$	$\frac{1}{650} \quad \left(\frac{1}{300}, \frac{1}{70}\right)$
剪 力 墙			$\frac{1}{800} \quad \left(\frac{1}{400}\right)$	$\frac{1}{1000} \quad \left(\frac{1}{300}, \frac{1}{70}\right)$
筒 体			$\frac{1}{700} \quad \left(\frac{1}{400}\right)$	$\frac{1}{800} \quad \left(\frac{1}{300}, \frac{1}{70}\right)$

注:未加括弧为钢筋混凝土结构,加括弧为钢结构,地震作用项括弧内或前一数字为多遇地震,后一数字为罕遇地震。

$\frac{\Delta}{H}$ 限值

表 1-7

结构类型			风荷载	地震作用
框 架	填充墙	实心砖	$\frac{1}{450} \quad \left(\frac{1}{500} \right)$	$\frac{1}{250} \quad \left(\text{可不验算,或取}\frac{1}{200} \right)$
		空心砖	$\frac{1}{500} \quad \left(\frac{1}{500} \right)$	$\frac{1}{300} \quad \left(\text{可不验算,或取}\frac{1}{200} \right)$
框 剪			$\frac{1}{800} \quad \left(\frac{1}{500} \right)$	$\frac{1}{300} \quad \left(\text{可不验算,或取}\frac{1}{200} \right)$
剪 力 墙			$\frac{1}{1000} \quad \left(\frac{1}{500} \right)$	$\frac{1}{500} \quad \left(\text{可不验算,或取}\frac{1}{200} \right)$
筒 体			$\frac{1}{900} \quad \left(\frac{1}{500} \right)$	$\frac{1}{400} \quad \left(\text{可不验算,或取}\frac{1}{200} \right)$

注:未加括弧为钢筋混凝土结构,加括弧为钢结构。

应该指出,对于钢筋混凝土结构,由于应力与应变关系实际并非线性,在较小应力下混凝土也会因为抗拉强度低而开裂,因而实际刚度应比弹性刚度有所降低,变形大(地震作用)则折算刚度低,风荷载下不允许出现裂缝,折算刚度可以高一些,具体值见表 1-8。不同资料略有出入。

钢筋混凝土结构刚度折算系数

表 1-8

结构类型		风荷载	地震作用
墙、柱、框架梁	现 浇	0.85	0.65
	预制装配	0.7~0.8	0.5~0.6
框剪体系中的连系梁	现 浇	0.7	0.35
	预制装配	0.5~0.6	0.25~0.3

三、加速度限值

研究表明,为了满足经常性风荷载作用下人体不产生不舒服的感觉,除了振幅以外,还与频率有关,两者到达某一关系时才形成不舒服感。通常对弯曲振动,以加速度为度量指标,扭转振动,以角速度为度量指标,前者为位移振幅乘以圆频率的平方,后者为扭转角振幅乘以圆频率,表 1-9 是国内外有关规范的建议值。

风力下满足舒适度要求的加速度和角速度限值

表 1-9

振动类型	弯曲振动加速度(m/s^2)		扭转振动角速度 (rad/s)
	旅馆、公寓	办公楼	
限 值	0.2	0.3	0.001

§ 1-4 高层建筑的变形特征

每一结构有它自己的受力和变形特征,高层建筑主要有三种变形形式。

一、框架结构——剪切型

图 1-7a 所示为一框架结构,每一节点受相同的集中力作用,整个结构类似于受侧向均布荷载(顶点水平集中力如为 $\frac{P}{2}$,则十分近似于均布荷载)。如各层截面特性相同,则愈到底层,由于剪力愈大,因而相对层位移也愈大,如图 1-7b 所示。这样的变形曲线为向右凸出曲线,相当于杆件中只考虑剪切变形的位移曲线,因而框架结构变形形式属于剪切型。

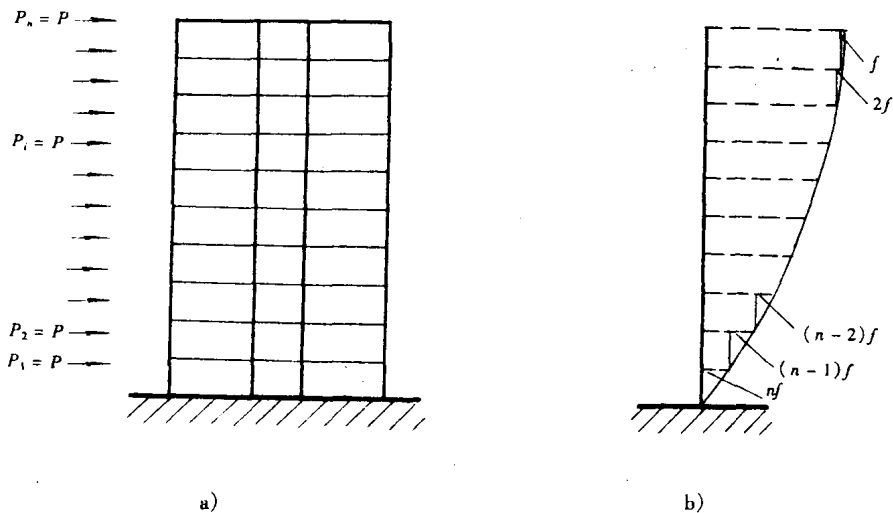


图 1-7 框架结构的变形形式——剪切型

二、剪力墙——弯曲型

图 1-8a 所示为一剪力墙,受均布荷载作用。由于愈到底部,弯矩愈大,因而层相对转角也愈大,如图 1-8b 所示。这样的变形曲线为向左凸出曲线,相当于杆件中只考虑弯曲变形的位移曲线,因而剪力墙的变形形式为弯曲型。

剪力墙的变形除了由弯曲变形引起外,还有由剪切变形所引起,但一般情况下,弯曲变形是主要的,因而常把弯曲型作为剪力墙变形形式的代表。

三、框剪结构——弯剪型

框架结构属于剪切型(图 1-7),剪力墙结构属于弯曲型(图 1-8),因此由框架与剪力墙组成的框剪结构,必然是二者调和而成。一般言之,上部接近框架剪切型,下部接近剪力墙弯曲型,而成整体的弯剪型,如图 1-9 所示。

应该指出,框剪结构变形形式是两类结构组合后而组成的变形形式,因而也可称为组合弯剪型。如果剪力墙既考虑弯曲又考虑剪切,它形成的变形形式是同一类结构两种变形的叠加,因而也可称为叠加弯剪型,这与框剪结构组合弯剪型是有区别的。

筒中筒结构属于框剪组合类型,因而也属于组合弯剪型变形形式。