

高层建筑结构设计

华东交通大学 黄子云 袁志华 主编
长沙铁道学院 欧阳炎 主审

中国铁道出版社

1998年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书主要介绍高层建筑结构的概念设计、高层建筑的荷载及作用计算、常用结构体系、内力和位移的计算方法、钢筋混凝土框架及剪力墙结构截面设计及构造要求、高层建筑基础的选型和设计方法、高层建筑结构计算机分析及应用。

本书可作为高等院校建筑工程专业本(专)科学学生的教材和有关专业的参考书,也可供成人大专学生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构设计/黄子云,袁志华编著.-北京:中国铁道出版社,1998.11
ISBN 7-113-03165-X

.高... .黄... 袁... .高层建筑-结构设计 .TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 33386 号

书 名:高层建筑结构设计

著作责任者:华东交通大学 黄子云 袁志华 主编

出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:程东海

封面设计:李艳阳

印刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:78× 1092 1/16 印张:13.25 字数:332 千

版 本:1998 年 12 月第 1 版 1998 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1—4000 册

书 号:ISBN 7-113-03165-X/TU·590

定 价:17.70 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

高层建筑在我国的发展趋势已有目共睹,高等工科院校中“高层建筑结构设计”已成为建筑工程专业的重要课程。本书除主要讨论框架、剪力墙及框架—剪力墙结构体系的受力和结构设计外,还充实了概念设计的基本内容,介绍了常用的高层建筑基础设计的一般内容以及高层结构的计算机分析和应用,同时在重要章节内附有相应的设计例题或设计步骤。

本书是根据《混凝土结构设计规范(GBJ10—89)》、《建筑抗震设计规范(GBJ11—89)》、《建筑结构荷载规范(GBJ9—87)》、《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规程(JGJ3—91)》等编写的。

本书由华东交通大学、长沙铁道学院、上海铁道大学共同编写。华东交通大学黄子云编写绪论、第一、五章,袁志华编写第三、八章;长沙铁道学院杨建军编写第九章,陆铁坚编写第六、七章;上海铁道大学李家奎编写第二、四章。全书由黄子云、袁志华主编,长沙铁道学院欧阳炎主审。

编 者

1998 年

目 录

绪 论.....	1
第一章 高层建筑结构概念设计.....	5
第一节 高层结构的特点及设计要求.....	5
第二节 高层结构方案的合理选择.....	5
第三节 高层建筑结构布置.....	8
第四节 高层结构侧移的限值	14
第二章 高层建筑的荷载	15
第一节 概 述	15
第二节 竖向荷载	15
第三节 风 荷 载	16
第四节 地震作用	23
第五节 荷载效应组合及设计一般要求	33
第三章 框架结构的分析和设计	37
第一节 概 述	37
第二节 竖向荷载作用下框架内力近似计算	37
第三节 水平荷载作用下框架内力近似计算	40
第四节 水平荷载作用下框架侧移近似计算	52
第五节 框架的内力组合	55
第六节 截面设计及构造要求	57
第四章 剪力墙结构分析和设计	70
第一节 概 述	70
第二节 整体墙计算	73
第三节 整体小开口墙的计算	75
第四节 双肢墙及多肢墙的计算	81
第五节 壁式框架计算.....	106
第六节 剪力墙分类界限及有关参数.....	116
第七节 剪力墙截面设计与构造要求.....	119
第五章 框架剪力墙体系的结构分析和设计.....	136
第一节 概 述.....	136
第二节 水平荷载作用下框——剪结构空间协同工作的计算.....	136
第三节 总剪力墙和总框架的受力分析.....	141
第四节 综合讨论.....	146

第五节	框架剪力墙结构的截面配筋设计及构造要求.....	148
第六节	框——剪结构设计过程综述.....	151
第六章	扭转近似计算.....	160
第一节	概 述.....	160
第二节	质量中心、刚度中心及扭转偏心距	160
第三节	考虑扭转作用的剪力修正.....	162
第七章	底层大空间剪力墙结构设计及筒体体系简介.....	165
第一节	概 述.....	165
第二节	底层大空间剪力墙结构分析计算及构造要求.....	167
第三节	框筒及筒中筒结构的受力性能.....	172
第四节	框筒及筒中筒结构计算简介.....	173
第八章	高层建筑基础设计.....	177
第一节	概 述.....	177
第二节	筏形基础.....	180
第三节	箱形基础.....	182
第四节	桩 基 础.....	189
第九章	高层建筑结构计算机分析及其应用.....	195
第一节	概 述.....	195
第二节	三维空间分析的基本原理.....	197
第三节	三维空间分析程序简介.....	198
第四节	高层建筑结构分析中的若干问题.....	202
第五节	高层建筑结构计算机辅助设计的发展趋势.....	205
参考文献	206

绪 论

一、高层建筑的概况

随着现代化城市的发展,科学技术日新月异的进步,高层建筑必然会以超常的速度发展起来,这已是一个不可逆转的潮流。

高层建筑尚无一个统一的严格定义,根据各国国情、地理环境、建筑材料、技术水平以及防火要求不同而有不同理解。我国把8层以上的房屋必须要安装电梯的要求确认为高层建筑,同时根据《高层民用建筑设计防火规范》的规定:10层及10层以上的住宅建筑和建筑高度超过24m的其它民用建筑应列入高层建筑的范畴。结合目前的国情,我们可以从以上三个方面去理解如何定义高层建筑。随时间推移,这种规定还会不断地修正。

1972年国际高层会议将世界高层建筑划分为四大类:

第一类高层建筑为:9~16层,不超过50m高度者;

第二类高层建筑为:15~25层,不超过75m高度者;

第三类高层建筑为:26~40层,不超过100m高度者;

第四类高层建筑为:40层以上,其高度100m以上者。

而将第四类高层建筑称之为超高层建筑。

在结构计算与分析、抗震设计措施以及防火要求方面高层建筑与低、多层建筑相比都有更高的要求,而超高层则更甚。

然而科技的进步为这一切铺平了道路,按照现有的理论水平,高层建筑的高度可达1600m。

美国是世界上高层建筑最发达的国家,最新统计资料表明,世界100幢最高层建筑中美国占58座。远在1885年美国芝加哥城建成了世界第一幢高层建筑——人寿保险公司大楼,共10层,采用了铸钢框架结构。1931年在纽约又建成了帝国大厦,102层,高381m(图1),这一高度雄居世界之首长达40余年。1974年芝加哥城又建成了世界最高楼——西尔斯大厦,110层,443m高(图2),成为世界高层建筑的重大标志。

1996年在马来西亚首都吉隆坡建成了佩重纳斯大厦,这是由两栋圆柱体大厦组成的钢筋混凝土结构双塔高层建筑,95层,452m高(图3)。这也是钢筋混凝土结构发展史上的新里程碑。

香港中环广场大厦(78层,374m高)和中国银行大厦(72层,368m高)(图4)已是世界第五和第六高度。

中华人民共和国成立后,特别在改革开放以后,高层建筑获得飞速发展,据统计我国已建成的20层以上的高层建筑已超过8000幢。

近10年来建成了许多世界级的高层建筑,如1991年广州建成了国际大厦(63层,199m高),1990年北京建成了京广中心大厦(57层,208m高),1995年广州建了中天大厦(80层,322m高),1996年深圳建成了地王大厦(81层,325m高)(图5)。在上海的浦东开发区将要建成一个中国的“曼哈顿高层群”。1998年建成上海金茂大厦,高度为420m。460m的上海环球金融中心(图6)也将于本世纪末竣工。

图 1 帝国大厦

图 2 西尔斯大厦

图 3 佩重纳斯双塔

图 4 中国银行大厦

图 5 深圳地王大厦

图 6 上海环球金融中心

高层建筑的建造水平不仅反映出科学技术水平的高低,也是一个国家工业发达程度和经济实力的写照。高层建筑在我国得到蓬勃发展,从一个侧面也标志着我国改革开放事业的巨大成就。

二、世界高层建筑发展方向

世界高层建筑发展的动向,这是广为关注的话题,在具体问题上各持己见,很难有统一论断。

1985年在美国芝加哥城为纪念世界第一座高层建筑落成100周年而召开的世界高层建筑会议上,讨论了前100年高层建筑的功过,也展望今后100年内高层建筑的发展。

高层建筑存在着造价昂贵、技术条件复杂、管理费用高、上下不方便居住不舒适等缺点,但也有占地面积少、减少城市基础设施、改善环境质量、改变城市布局和市容等一系列优点。事实上高层建筑是伴随着社会的进步、生产力的发展以及人类精神文明和物质文明的不断提高而发展起来的。在未来的日子里,人们将会提出更高的要求。

1. 在建筑规模和建筑高度上都将会有新的突破,强调建筑物的多功能和高效益。目前世界各国都在酝酿着建筑高度500m的新突破。

如正在设计中的美国纽约电视大厦(Television City Tower)高度为509m;芝加哥Miglin—Beitler Tower大厦为125层,屋顶高483m,最高点594m;美国费尼克斯塔楼(Phoenix Tower)高516m。这些设计都可能在本世纪末实现。另外,还有法国的Millennium Tower大厦,150层,800m高;日本也有高度为1000m的竖向城市设计。

2. 在结构设计方法方面,着重技术深化。除广泛普及计算机辅助设计的设计手段外,更应发展智能设计;建立全面完整的数据库,建立可靠的专家系统,利用网络传输,实现设计数据共享。

3. 创造新的设计概念,采用新的结构形式

(1) 巨型结构

大规模、新高度的高层建筑多数靠巨型结构来实现。由大梁井筒或带支撑的水平、竖向桁架组成的巨型框架是所采用的巨型结构的主要型式。由于井筒体积巨大,有人也称其为城堡式建筑。它具有强大的支承能力,又可造成很大的空间,为建筑的造型设计提供了新的思路。

(2) 蒙皮结构

蒙皮结构是在空间构架的纵、横肋上蒙上一层金属板,形成共同工作体系,蒙皮可承受面内拉、压和剪应力,它相当于连续分布的支撑,起到空间受力的效果。美国已用这种结构形式建造成One Mellon银行大厦。

(3) 带加强层结构

在屋顶或房屋中部设置刚度很大的水平梁(桁架),形成加强层,可使内筒(内框架)与外柱更好地共同工作,可发挥外柱轴力的抗倾覆力矩作用,亦可减少结构的水平位移和核心部分的内力。

(4) 立面设置大洞口

这样的设计一方面可以使立面造型有变化,又可减少迎风面的风压力。如日本东京NEC大厦,我国台湾省高雄银行以及将要建成的上海环球金融中心都采用了这种设计手法。

(5) 设置制振机构

可以利用大质量(水池、钢筋混凝土块)或摩擦板作为阻尼装置以消耗因风振和地震作用

造成的巨大能量,减少建筑物的水平位移。如美国纽约世界贸易中心便采用了粘滞阻尼装置,使其顶端最大位移量仅为 280mm。

4. 新材料新设备的应用

用于高层建筑中的新型材料主要是高强混凝土,我国现在普遍使用 $C_{20} \sim C_{30}$ 级混凝土。美国目前已达 $C_{80} \sim C_{100}$ 的水平, $C_{120} \sim C_{135}$ 级混凝土已在劲性钢筋混凝土中应用,特殊工程中达 C_{400} 级。

钢管混凝土在国外也越来越多被采用。美国华盛顿州 Seattle 市的 Two Union Square 大厦(共 58 层)全部竖向荷载的 60% 由中央四根钢管混凝土柱承受,其柱直径 3.05m 内填 C_{135} 高强混凝土。其外围 14 根小钢管柱直径很小,预留出了很大的使用空间。钢管混凝土柱不但承载能力高而且延性也非常好。

在高层建筑中还必须发展轻骨料混凝土、轻混凝土,同时还要发展纤维混凝土、聚合物混凝土及预应力混凝土等。混凝土除强度指标外,还应对减少其温度变形、收缩及徐变变形提出更高的要求,对墙体的隔音和耐火要求更为严格。

此外,消防云梯的攀登高度也要逐步提高,这涉及到高层建筑起始高度的定位问题。在香港特区的云梯高度已超过 40m。

5. 采用更先进的施工技术和机具

未来的高层建筑可能采用直升机吊装构件,在危险地段和部位可使用机器人操作。

第一章 高层建筑结构概念设计

第一节 高层结构的特点及设计要求

建筑结构随着其高度 H 不断增加,面临的许多问题已不再是局限于“线性比例”递增的模式,而呈非线性关系发生变化。我们可以从以下几个方面去理解。

(1) 建筑结构所承受的荷载和作用由以竖向力作用为主转变为以水平力作用为主。例如,风荷载和地震作用在高层建筑结构的受力分析中起着越来越大的作用,顶部位移值是以高度 H 的四次方指数关系上升(图 1—1)。

(2) 高层建筑结构的动力反应不可低估。

(3) 结构轴向变形,剪切变形以及温度、沉降因素的影响加剧。

(4) 由此而带来的材料用量、工程造价呈抛物线关系增长。

图 1—1 结构内力与高度 H 的变化呈曲线关系

由此可知多层特别是高层结构有其内在的特殊性,有着影响因素多、处理问题复杂、涉及范围广和结构设计难度大的特点。

多层和高层结构与一般结构设计原则和方法一样,都应保证结构在荷载作用下具有足够的承载能力和刚度,保证其正常使用安全可靠,还应满足“合理”和“经济”的原则。

因此,多高层结构在设计中必须要有精确的力学计算和受力分析。但这还不够,一些复杂的部位或不确定因素的作用下是无法通过数值计算来进行设计,这就需要通过概念设计的方法解决问题。我们可以把一些无法依靠力学计算的复杂问题以及在设计规范中又难以作出具体规定的问题,由设计者借助于前人的成功经验和教训、科学实验数据,运用“概念”去进行分析和判断,使设计出的结构更符合实际情况,反映真正的工作机理,以达到“安全、可靠、经济、合理”要求。

“概念设计”可以包括确定结构方案、进行合理的结构布置(含基础)、选取正确的结构分析模型,判断薄弱部位,加强构造措施等,其内容十分广泛。“概念设计”作出的分析和判断应该是问题的科学性和实践性的结合,也是理论知识在工程实际运用中的体现。所以说“概念设计”也是一个十分重要的问题。

第二节 高层结构方案的合理选择

目前我国高层结构中采用最多的抗侧力结构形式有框架结构体系、剪力墙结构体系、框架—剪力墙结构体系和筒体结构体系。

一、框架结构体系

纯框架结构体系(图 1—2)是一种以承受竖向荷载为主的柔性抗侧力结构体系。其抗侧能力差,但能形成较大的空间,使建筑平面布置灵活,立面变化多。

一般说来,框架结构的抗侧刚度较小,水平位移大,但采取一些有效措施,选用重量轻且又能承受较大变形的隔墙材料后,亦具有较好的抗震性能。如北京已建成了高 18 层,局部 22 层的长城饭店,成为我国地震设防区最高的现浇框架结构。

图 1—2 框架结构平面布置

二、剪力墙结构体系

剪力墙亦称为抗震墙或结构墙,主要是用以抵抗水平力,目前我国剪力墙全部采用钢筋混凝土墙体(图 1—3 为典型剪力墙结构布置)。

剪力墙属刚性抗侧力结构,现浇钢筋混凝土剪力墙结构的整体性好、施工速度快、抗侧刚度大、侧向变形小,因此其抗震性能好。但剪力墙体系中剪力墙的间距小,不能形成较大的空间,只适用于建造高层住宅或高层公寓等建筑。

图 1—3 剪力墙结构平面

底层处欲求得较大的空间,可把剪力墙的底层做成框架柱,则称其为框支剪力墙(图 1—4)。这种结构底层柱的刚度小,形成上、下刚度突变,对抗震极为不利。故在地震区不允许单独采用这种结构形式。

图 1—4 框支剪力墙

三、框架——剪力墙结构体系

把框架和剪力墙两种结构体系的优点结合起来,在框架体系中的一定位置,布置一定数量的纵、横向剪力墙后,便形成框架——剪力结构体系。如图 1—5 为典型的框架——剪力墙结构体系。

总体上说这是一种刚柔性的抗侧力结构,在地震区和非地震区都得到广泛的应用。框

架——剪力墙结构体系多用于高层写字楼,需设置大空间的商场等,其用途广泛。

四、筒体结构体系

由剪力墙组成的封闭体(允许开洞)称为筒体。筒体比单片剪力墙的集合有更大的承载能力和抗侧能力,它是一种空间结构形式。

(一) 框架——筒体体系

在外围筒体上开有很多洞口,则筒体便是由间距很密的柱与截面很高的梁(窗裙梁)组成,也是一种形似框架实为筒体的密柱深梁结构,称为框架筒体结构。如深圳国贸大厦的外筒便是一例。外筒为框筒,内部为框架的结构体便是框架——筒体结构体系。

图 1—5 框架剪力墙结构平面布置

图 1—6 框筒及筒中筒结构典型平面

(二) 筒中筒结构体系

通过刚性楼面把外筒和内筒连在一起所形成的空间结构称为筒中筒体系,体系中的外筒多为框筒,内筒多为实腹筒,图 1—6(b)为典型的筒中筒结构平面。筒中筒结构平面可以为矩形、正方形、圆形、三角形及其它。日本新宿住友大厦采用三重筒体,而香港的合和中心是采用三重圆形筒体构成。

(三) 成束筒结构体系

将多个筒体合并在一起,组成一个空间结构称之为成束筒结构体系。成束筒结构有着比其它筒体更好的抗侧能力。美国芝加哥城西尔斯大厦便是这种结构形式的代表作。如图 1—7 所示,西尔斯大厦的结构平面是由九个筒体合并成一个正方形,随着高度增加,筒的数目不断减少,使一个最简单的平面形成一个丰富的实体造型。

各种结构体系高层建筑的最大高度皆应按表 1—1 的规定选用。

除此之外,高层结构还可以采用悬挂式和巨形框架式等结构形式,如图 1—8 所示,其被悬挂楼层或支承在巨形框架上的小框架都是以用筒体作为柱体构件的大型空间构架来悬挂或支承局部楼层,形成各种建筑造型新颖、建筑功能复杂、传力系统明确的大型高层结构。

图 1—7 西尔斯大厦

图 1—8 巨形框架

表 1—1 房屋适用的最大高度(m)

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6度	7度	8度	9度
框架	现浇	60	60	55	45	25
	装配整体	50	50	35	25	—
框架—剪力墙和 框架筒体	现浇	130	130	120	100	50
	装配整体	100	100	90	70	—
现浇剪力墙	无框支墙	140	140	120	100	60
	部分框支墙	120	120	100	80	—
筒中筒及成束筒		180	180	150	120	70

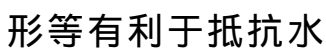
注：房屋高度指室外地面至檐口高度，不包括局部突出屋面的水箱、电梯间等部分的高度。

当房屋高度超过表中规定时，设计应有可靠依据并采取有效措施。

位于Ⅲ类场地的建筑或不规则建筑，表中高度应适当降低。

第三节 高层建筑结构布置

一、结构布置的原则

(一) 平面布置简单、规则、对齐、对称，宜采用方形、矩形、圆形、Y形、形等有利于抵抗水平荷载特别是水平地震作用的建筑平面，平面中若有突出部位，其突出长度L宜减少，凹角处宜采取加强措施(图1—9)。L、l、l等值宜满足表1—2的要求。

(二) 力求结构的刚心、质心尽可能地和水平外力合力的作用线重合，减少偏心，否则应考虑其不利影响，有时甚至要付出很高的代价。

(三) 控制结构的高宽比。高层建筑的高宽比不宜超过表1—3的限值。

(四) 沿竖向结构刚度和质量分布均匀，不要发生太大的突变，尽量避免夹层、错层和抽柱等现象。否则对结构的受力极为不利。

图 1—9 建筑平面

(五) 合理地设置变形缝

表 1—2 L、l、l 的限值

设防烈度	L/B	L/B _{max}	l/b	l/B _{max}
6度和7度	6	5	2	1
8度和9度	5	4	1.5	1

表 1—3 高宽比的限值

结构类型	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6度7度	8度	9度
框架	5	5	4	2
框架—剪力墙、框架—筒体	5	5	4	3
剪力墙	6	6	5	4
筒中筒、成束筒	6	6	5	4

1. 当高层建筑结构未采取可靠措施时,其伸缩缝的间距不宜超过表 1—4 的限制。

表 1—4 伸缩缝的最大间距

结构类型	施工方法		最大间距(m)
框 架 框架—剪力墙	装 配 式		75
	现 浇	外墙装配	65
		外墙现浇	55
剪 力 墙	外墙装配		65
	外墙现浇		45

注: 当屋面无保温或隔热措施时,或位于气候干燥地区、夏季炎热且暴雨频繁地区的结构,可适当减小伸缩缝的间距。混凝土的收缩较大或室内结构因施工外露时间较长时,伸缩缝间距应适当减小。

2. 在设计中宜调整平面形状和尺寸,采取构造和施工措施,不设伸缩缝、防震缝和沉降缝。当需要设缝时,应将高层建筑结构划分为独立的结构单元。

3. 需要抗震设防的建筑,当必须设缝时,其伸缩缝、沉降缝均应符合防震缝宽度的要求。

表 1—5 防震缝的最小宽度

结构类型	设 防 烈 度			
	6	7	8	9
框 架	$4H + 10$	$5H - 5$	$7H - 35$	$10H - 80$
框架—剪力墙	$3.5H + 9$	$4.2H - 4$	$6H - 30$	$8.5H - 68$
剪力墙	$2.8H + 7$	$3.5H - 3$	$5H - 25$	$7H - 55$

注:表中 H 为相邻结构单元中较低单元的屋面高度(m),H 至少取 15 m。

下列情况宜设防震缝:

- (1)平面各项尺寸超过表 1—1 的限值而无加强措施者;
- (2)房屋有较大错层者;
- (3)各部分结构的刚度或荷载相差悬殊而又未采取有效措施者。

防震缝的最小宽度宜满足表 1—5 的要求。防震缝应沿房屋全高设置,基础可不设防震缝,但在防震缝处基础应加强构造和连接。

在合理地进行了结构布置和采取了可靠措施后,尽可能不设缝,或做到三缝合一。

二、各种主要结构形式结构布置的要求

(一) 框架结构体系

1. 柱网布置

在一般情况下应根据使用要求和建筑平面确定框架结构的柱网布置,在考虑层高因素后初步确定梁和柱截面型式和尺寸。各种情况下的框架结构柱网布置举例见图 1—10 和图 1—11。

在高层建筑中梁柱必须做成刚接。其柱网尺寸在 6 ~ 8 m 间较为经济、合理。

柱网可布置成横向框架承重、纵向框架承重和纵横向框架混合承重方案,对于板式建筑多采用前者。若有特殊需要,如欲求得在横梁下有较大吊顶空间高度时,可选取纵向框架承重方案。往往第三种方案用得更多。

2. 楼面、屋面层

高层建筑结构设计中应有“楼(层)面层在自身平面内的抗弯刚度为无限大的假定”这就要

求其楼(屋)面层除按承受竖向荷载作用时满足设计要求外,还应保持一定的整体刚度。

图 1—10 框架柱网布置举例

图 1—11 北京民航大楼框架柱网布置

当房屋高度超过 50 m 时,宜采用现浇楼面其厚度不应小于 100 mm,房屋高度不超过 50 m 时,除现浇楼面外,还可采用装配整体式楼面,也可采用与框架梁或剪力墙有可靠连接的预制大楼板楼面。

屋面、结构转换层、平面复杂或开洞过大的楼层应采用现浇楼面结构。

(二) 剪力墙结构体系

1. 剪力墙结构的平面布置

(1) 剪力墙应双向或多向布置,宜拉通对直,纵横墙体交叉(图 1—12),以形成 T 形、工形或 L 形截面(图 1—15),不可布置成不利于抗震设计的鱼骨形(图 1—13)和发生“十字头”(图 1—14)现象。

图 1—12 Y 形平面剪力墙布置

图 1—13 剪力墙布置成“鱼骨形”

(2) 较长的剪力墙可用楼板(无连梁)或弱的连梁分为若干个独立墙段。每个独立墙段可以是实体墙、整体小开口墙、联肢墙或壁式框架。每个独立墙段的总高度与长度之比不宜小于 2。

2. 剪力墙的竖向布置

(1) 剪力墙沿竖向应贯通全高,墙厚宜逐步减薄,避免刚度突变,造成应力集中。

(2) 剪力墙的门窗洞宜上下对齐、成列布置,形成明确的墙肢和连梁,不宜采用错洞墙。洞口设置应避免墙肢刚度相差悬殊。

(3) 墙肢截面高度与厚度之比不宜小于 3。

图 1—14 “十字头”现象

图 1—15 各种结构平面的剪力墙布置举例

(三) 框架——剪力墙结构体系

1. 剪力墙的平面位置

(1) 地震设防区剪力墙应沿房屋的纵横两个方向布置。

(2) 剪力墙宜对称布置在建筑物的端部附近, 布置在平面形状变化处(如楼梯间、电梯井)以及恒载大的地方(图 1—16)。剪力墙越靠近端部越能增加结构整体的抗扭转能力。必须注意将剪力墙的位置调整到抗侧刚度中心尽量和质心接近, 以减少地震作用时产生的扭转。

(3) 纵向剪力墙宜布置在结构单元的中间区段内。房屋纵向较长时, 不宜集中在两端布置, 否则宜留施工后浇带以减少温度、收缩应力的影响。

(4) 当剪力墙墙肢截面高度大于 8 m 时, 可用门窗口或施工洞形成联肢墙。

(5) 剪力墙布置不宜过分集中, 每道剪力墙承受的水平力不宜超过总水平力的 40%。

2. 剪力墙的间距

图 1—16 北京饭店结构平面

图 1—17 南昌经济大楼结构平面

图 1—18 珠海外贸中心结构平面

为保证框架——剪力墙结构体系协同工作, 剪力墙的间距不能过大。其横向剪力墙的间距

宜满足表 1—6 的要求。

表 1—6 剪力墙的间距

楼面形式	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6 度、7 度	8 度	9 度
现 浇	5 B 并且 60m	4 B 并且 50m	3 B 并且 40m	2 B 并且 30m
装配整体	3.5 B 并且 50m	3 B 并且 40m	2.5 B 并且 30m	—

剪力墙之间楼面有较大的洞口时,剪力墙的间距应予减小。

3. 剪力墙的数量

归根结底剪力墙的数量应由计算决定。在框—剪体系中整个建筑物的侧移是否满足要求,很大程度上决定于剪力墙的数量,应最后通过总体侧移的计算来确定其数量(包括截面尺寸)。但进行初步设计时可利用简略的估算法定出剪力墙的数量,当在结构计算后不符合要求时,应调整其数量后再重新进行计算。

横向剪力墙数量可采用“壁率”估算,即

$$\text{壁率} = \frac{\text{楼层范围内横向剪力墙的总长度(单位为 cm)}}{\text{该楼层的建筑面积(单位为 m}^2\text{)}}$$

其涵义为楼层中每单位建筑面积内含有横向剪力墙的长度,其值以 5~12 为宜,随结构高度不同作相应调整。

4. 楼板、楼板与剪力墙、框架的连接

(1)抗震设计的框架—剪力墙结构采用装配式楼面时,6、7 度时宜每层设现浇层;8、9 度时应每层设现浇层,面层厚度不应小于 40 mm,混凝土强度等级不应低于 C₂₀,并应双向配置直径 4~6、间距 130~250 mm 的钢筋网。

(2)当框架—剪力墙结构采用装配式楼面时,预制板应均匀排列,板缝拉开的宽度不宜小于 40 mm,板缝大于 40 mm 时应在板缝内配钢筋,形成板缝梁,并宜贯通整个结构单元。预制板板缝、板缝梁混凝土强度等级不应低于 C₂₀。

(3)预制板搁置于墙上或梁上的最小长度为 35 mm,同时墙上下贯通的截面不应小于总截面面积的 60%,预制板板端留出胡子筋,长度不小于 100 mm,缝内设置 1 根直径为 8 的通长钢筋,板孔堵头应留出不小于 50 mm 空腔,空腔内用不低于 C₂₀ 的细石混凝土灌实。当采用叠合板时,预制预应力薄板的厚度不应小于板跨的 1/100,且不应小于 50 mm,在施工阶段应设支撑。

(4)预制板与剪力墙平行时,应在预制板的板面上设置拉筋,拉筋的一端锚入墙内,另一端钩入板底。非抗震设计时拉筋间距不大于 1 500 mm,且每一开间内不少于两根,直径不小于 8;抗震设计时,间距不大于 800 mm,且每一开间内不少于 4 根,直径不小于 8。预制板与纵墙间也可留有一定宽度的现浇带,内配计算确定的纵向钢筋。其它方面的问题与框架、剪力墙结构体系要求相同。

(四) 底层大空间剪力墙结构布置

1. 底层应设落地剪力墙和(或)落地筒体。在平面为长方形的建筑(板式建筑)中,落地横向剪力墙的数目与全部横向剪力墙数目之比,非抗震设计时不宜少于 30%;需要抗震设防时不宜少于 50%。

2. 底层落地剪力墙和筒体应加厚,并可提高混凝土强度等级以补偿底层的刚度。上下层