

孙纲廷 严兆坤 编著

高层钢结构设计

大连理工大学出版社

高层钢结构设计

孙纲廷 严兆坤 编著

大连理工大学出版社

内 容 简 介

本书对高层建筑钢结构的设计作了系统的分析与介绍。书中除了简要介绍钢结构高层房屋设计的基本概念和基础知识外,重点阐述了高层钢结构的结构体系、结构分析、钢构件设计、钢-混凝土组合构件设计及节点设计等基本理论和实用的设计方法,并概括介绍了两个工程设计实例。

本书可供结构工程专业的研究生、高年级大学生及有关土木工程专业技术人员参考。

高 层 钢 结 构 设 计

Gaoceng Gangjiegou Sheji

孙纲廷 严兆坤 编著

大连理工大学出版社出版、发行(大连市凌水河)

大连凌山印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 10³/。 字数: 239 千字

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数: 6021—1000册

责任编辑: 水舟

封面设计: 姜严军

责任校对: 杜祖诚

ISBN7-5611-0293-3/TU·6 定价: 2.12元

前 言

发展高层建筑是解决城市用地紧张的主要途径,随着层数和高度的增加,单一的钢筋混凝土结构已不能完全满足建筑的需要。高层钢结构房屋在80年代以前国内很少兴建,原因是多方面的,一是经济条件所限和缺少建筑用钢,二是客观上无迫切需要。

近年,我国贯彻开放政策以来,新技术和新设备的引进,合资工程的增多,新建工程的高度突破100米的越来越多了。在北京、上海、深圳等地自1983年以来已兴建了十几幢钢结构和钢-钢筋混凝土组合结构的高层房屋。但是其中多数为国外设计或与国外合作设计,少数为我国自行设计。因此,无论从高等学校的教学方面考虑,还是从工程技术部门的实际需要方面考虑,都要求有一本介绍有关高层钢结构设计的参考书籍。

本书初稿曾作为大连理工大学工民建专业的教材使用,内容包括高层钢结构设计的概论、材料、荷载作用、结构体系、结构分析、钢构件设计、钢-混凝土组合构件设计、节点设计以及设计实例介绍等。

我们期望熟悉钢结构并能完成一般建筑结构设计的工程技术人员,借助本书能够完成高层钢结构的设计工作。因此,书中简要地介绍钢结构高层房屋设计的基本概念和基础知识。重点阐述高层钢结构的结构体系、结构分析、构件与节点设计等基本理论和实用的设计方法,并概括介绍了两个工程设计实例。

本书可供结构工程研究生和高年级大学生及有关工程技术人员参考。

本书由烟台大学孙纲廷、大连理工大学严兆坤合作完成,第四章高层钢结构体系、第五章结构分析由严兆坤执笔,其余各章由孙纲廷执笔。书中有些内容是我们近几年从事科研,教学工作的体会。修订过程中,大连理工大学土木系钢结构教研室的黄才良、尹华南、张鹰等同志提出了许多宝贵意见,特此致谢。

由于时间紧迫,我们学识水平有限,错误和不妥之处在所难免,望予以批评指正。

孙纲廷 严兆坤

1989年7月于大连

目 录

前 言

第一章 概 论	1
§ 1-1 引言.....	1
§ 1-2 高层结构的设计特点.....	5
§ 1-3 结构型式与抗力系统.....	6
§ 1-4 高层建筑的结构规划.....	10
§ 1-5 高层建筑的侧向刚度.....	13
§ 1-6 高层建筑的基础.....	17
§ 1-7 高层钢结构房屋的防火.....	20
§ 1-8 高层钢结构房屋的防锈.....	25
§ 1-9 高层钢结构房屋的防雷.....	26
第二章 材 料	27
§ 2-1 高层建筑选材原则.....	27
§ 2-2 高层建筑结构材料.....	28
第三章 荷载作用	32
§ 3-1 概述.....	32
§ 3-2 竖向荷载作用.....	32
§ 3-3 风荷载作用.....	33
§ 3-4 地震荷载作用.....	38
§ 3-5 荷载效应组合.....	45
第四章 高层钢结构体系	47
§ 4-1 框架结构体系.....	48
§ 4-2 框架-抗剪桁架结构体系.....	49
§ 4-3 部分筒体结构体系.....	51
§ 4-4 筒体结构体系.....	53
§ 4-5 组合结构体系.....	56
第五章 结构分析	61
§ 5-1 框架结构的简化分析.....	61
§ 5-2 带状桁架结构体系的简化分析.....	69
§ 5-3 框架筒结构体系的简化分析.....	74
§ 5-4 筒中筒结构体系的简化分析.....	77
§ 5-5 结构二阶分析的近似方法.....	85

§ 5-6 结构分析的矩阵位移法	86
§ 5-7 结构的二阶分析方法	94
第六章 钢构件设计	101
§ 6-1 概述	101
§ 6-2 不参与抵抗水平地震力的构件	101
§ 6-3 抵抗水平地震力的框架构件	102
§ 6-4 抗震中心连接支撑	103
§ 6-5 抗震偏心支撑体系	103
§ 6-6 非结构构件设计	104
第七章 钢-混凝土组合构件设计	106
§ 7-1 概述	106
§ 7-2 组合楼板	106
§ 7-3 组合梁	114
§ 7-4 带头栓钉连接件	120
第八章 节点设计	122
§ 8-1 节点设计总论	122
§ 8-2 梁与柱的连接	126
§ 8-3 柱与柱的连接	131
§ 8-4 梁与梁的连接	132
§ 8-5 柱脚	135
§ 8-6 抗剪支撑与梁、柱的连接	140
§ 8-7 钢梁与混凝土构件的连接	143
第九章 设计实例简介	144
§ 9-1 引言	144
§ 9-2 深圳发展中心大厦	144
§ 9-3 北京京城大厦	154
参考文献	159

第一章 概 论

§ 1-1 引 言

一、高层建筑是历史发展的必然产物

世界各地兴建的各种高层建筑犹如雨后春笋，日新月异。其数量之多，规模之大，设计技术之先进与艺术之动人，是过去从未有过的。

高层建筑之所以具有这样大的生命力，如此蓬勃地发展，是由高层建筑本身的必然性、可行性、优越性决定的。

1. 经济的发展，大工业的兴起，使人口集中到城市，造成用地紧张，地价昂贵。为了在较小的土地上建造更多的建筑面积，建筑物不得不向高层发展。世界50亿人口日、亚洲30亿人口日均已过去，我国11亿人口日也已经随着1989年4月14日日历的翻过而成为历史。地球只有那么大，耕地已经少得可怜，为了生存，变低层为高层、超高层是理所当然的。

2. 近几十年，科学技术的发展，能够提供高层建筑所必需的条件：轻质高强的材料；新型的结构型式；现代的设计理论、计算手段、施工技术，尤其是现代化的设备设施，如电梯、水暖、空调、供电、自控等。正如建筑历史学家Fletcher所说：电梯是高层建筑的母亲。这形象的语言，说明只有具备现代的物质技术条件，才能建造高层、超高层建筑。

3. 高层建筑具有明显的优越性。建筑物向高空发展，可以缩短道路及各项管线设施的长度，从而节省市政建设投资。高层建筑增加人们聚集密度，缩短相互联系的距离，从而节省时间、提高效率。高层建筑可以节省出更多的城市用地，用以绿化或用于公共服务设施建设，有利于美化环境。

高层建筑方兴未艾，发展高层势在必行。

二、高层建筑的定义域

由于各个国家经济技术水平不同，对高层建筑的叫法也不尽一致。比如，有的叫“多层建筑”，有的叫“高层建筑”、“超高层建筑”，有的叫“摩天大楼”，等等。同时，对高层建筑，由于各个国家消防登高车辆最大工作高度不同，消防车供水能力不同，对高层建筑起始高度的规定也有差异。例如西德规范规定，经常有人停留的最上一层地板高出地面22m者，称为高层建筑；日本把8层以上或建筑高度超过31m者称为高层建筑，并把30层以上的旅馆、办公楼和20层以上的住宅称之为超高层建筑；法国提出居住建筑高50m以上，其它建筑高28m以上为高层建筑；而英国则把高24.3m以上者称为高层建筑；比利时规范规定，入口路面以上25m者称为高层建筑；苏联规范规定，10

层及10层以上居住建筑或层数在7层以上的其它公共建筑,称为高层建筑;美国规范规定,22~25m或7层以上,称为高层建筑,等等。

联合国科教文组织所属的世界高层建筑委员会建议按高层建筑的高度(包括住宅建筑)分成四类:

- 第一类: 9~16层(最高到50m);
- 第二类: 17~25层(最高到75m);
- 第三类: 26~40层(最高到100m);
- 第四类: 40层以上(即超高层建筑)。

目前我国对高层建筑尚无统一的标准,有以下几种不同的规定和意见:

1. 《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规定》(JZ 102—79)第一章第3条:
“本规定适用于8层以上的高层民用建筑…”。也就是说,该规定认为从8层起即算是高层住宅。但此规定仅局限于钢筋混凝土结构,对其它材料的结构没有作明确的阐述。

2. 1983年6月1日开始执行的《高层民用建筑设计防火规范》第1.0.3条:
“本规范适用于下列新建、扩建和改建的高层民用建筑及与其相连的附属建筑:
一、10层及10层以上的住宅建筑(包括底层设置商业服务网点的住宅);
二、建筑高度超过24m的其它民用建筑。

本规范不适用于建筑高度超过100m的民用建筑和单层主体建筑高度超过24m的体育馆、会堂、剧院等公共建筑以及高层民用建筑中的人民防空地下室。”

这一规定意味着,10层及10层以上住宅建筑为高层,而建筑高度超过100m的民用建筑为超高层。

3. 中华人民共和国国家标准《住宅建筑设计规范》(GBJ96—86)第1.0.6条:
“住宅的层数划分应符合下列规定:

- 一、低层住宅为一层至三层;
- 二、多层住宅为四层至六层;
- 三、中高层住宅为七层至九层;
- 四、高层住宅为十层至三十层。”

该规范规定的“高层住宅”为10~30层,意味着超过30层为超高层,

以上几方面有待进一步研究、统一、明确。

三、钢结构高层建筑的发展

钢结构高层建筑的发源地在美国,1886年在芝加哥建造的11层家庭保险公司大楼(Home Insurance Company)被认为是世界第一幢钢结构高层房屋,但外墙仍采用自承重砖墙。到1889年在第二号雷特大楼(Leiter Building II)中全部采用框架承重体系,为后来建造更高的建筑创造了条件。

20世纪以后,随着钢结构设计技术的发展,高层建筑在结构与构造的技术上逐渐成熟,并向更高的层数发展。1913年在纽约建造的Wool worth大楼,采用钢框架体系,主体结构为31层,高122m,塔楼再升高29层,总计达到60层,总高244m。内部设电梯26部,防火楼梯4部,并有特设的其它防火设备。大楼内设有餐厅、商店、浴室、游泳池,并有各种办公室,可容纳办公人员万人以上。

1931年纽约兴建了帝国大厦(Empire State Building), 102层, 高为381m。其中有65部电梯, 并设有商店、餐馆、银行、游泳池、浴室、俱乐部及办公用房。其规模之大几乎等于一座小的城市, 是20世纪前半期世界上最高的建筑物。

第二次世界大战爆发, 使高层建筑的活动暂停了一个时期。第二次世界大战结束后, 高层建筑在美国重新兴起。并向超高层发展, 继而在欧洲、亚洲、澳洲以及第三世界各国相继建造了许多高层建筑, 形成了高层建筑的繁荣时期。

1945年标准石油公司在纽约建造了82层的大楼, 高346m。1968年建造在芝加哥的约翰·汉考克大厦(Hancock Centre), 100层, 高344m。上有106m的电视天线, 是一幢综合性高层办公建筑, 包括商业、办公及公寓等多种功能。建筑物面层是茶色玻璃和黑色铝板; 其平面为长方形, 外形上窄下宽; 结构为钢结构内筒加钢桁架外筒, 在立面钢构架内加X形斜撑。

1973年建造在纽约的世界贸易中心(World Trade Centre)是由两幢相同的高412m、110层的塔形建筑及部分低层建筑组成, 打破了帝国大厦保持了42年最高建筑的纪录。高塔平面为正方形, 尺寸为63m×63m, 结构采用筒中筒, 内筒由电梯井及辅助用房组成, 外筒由钢框架组成。考虑抗风, 该楼装有减振器, 每层100个, 总计2万个以上。顶部设计计算位移900mm, 实测位移仅280mm。

1974年在芝加哥建成的西尔斯大厦(Sears Tower), 110层, 总高度442m, 达到芝加哥航空事业管理局规定的房屋高度极限, 是当前世界上最高的建筑。结构由9个标准方筒组成群筒体系, 外形特点是逐级上收。西尔斯大厦的出现标志着现代建筑技术的新发展。

目前, 亚洲的最高建筑是日本东京的“阳光大厦”, 总计60层, 高达226m。日本的高层建筑起步较晚, 但在60年代中期以后得到迅速发展。从1965年建成了高78m、21层的第一座钢结构高层建筑开始, 1968年建成了高147m、36层的超高层钢结构霞关大厦办公楼, 到1982年止, 在近20年中, 平均每年建成高层建筑20幢, 最多一年建成40幢, 截止1982年约有高层建筑400幢。主要集中在工商业发达、人口集中的大城市, 如东京、大阪等地。高度在150m以上的有10幢, 均为钢结构, 见表1.1.1。目前日本新建高层建筑, 20层以上绝大多数采用钢结构, 10~20层大都采用劲性钢筋混凝土结构。

表1.1.1 东京10幢150m以上高层钢结构建筑

序号	建 筑 名 称	高度(m)	层 数	建成年份
1	“阳光60”办公大楼	226	60	1978
2	新宿中心大楼	216	54	1979
3	新宿三井大楼	211	55	1974
4	新宿野村大楼	203	53	1978
5	新宿住友三角大楼	200	52	1974
6	安田火灾海上保险新本社	193	43	1976
7	京王广场旅馆	170	47	1971
8	国际通讯Minato大楼	165	40	1974
9	东京世界贸易中心	152	40	1970
10	KDD电讯大楼	151	32	1974

除美国、日本之外，世界其他地区，如西欧、北美、东欧等不少国家也都相继在发展高层建筑。

我国的钢结构高层建筑，解放前发展很少。上海的“中国银行大楼”，建于1936年，建筑物分东西两部分：东部为17层钢结构，西部为4层钢筋混凝土结构。是由英商怡和洋行与我国建筑师联合设计的。解放后发展也不多。直至80年代以来，随着改革开放和经济建设的不断发展，钢结构高层建筑在祖国大陆上才有了良好的开端。已经建成和正在建造的高层钢结构有十几幢，集中在北京、上海、深圳。除上海的金沙江大酒店系国内自行设计、制造和施工外，其他建筑大都由国外或国内与国外合作设计，其中有部分施工图由国内负责完成，制造和施工分别由国外进行承包，见表1.1.2。

表1.1.2 高层钢结构房屋建筑

名称	金沙江大酒店	瑞金饭店	静安希尔顿酒店	锦江饭店分馆	深圳发展中心大厦
地点	上海金沙江路	上海瑞金一路	上海静安路	上海瑞金二路	深圳罗湖区
层数	14/2 (地下)	27/1 (地下)	44/1 (地下)	44/1 (地下)	39/1 (地下)
总高	约42m	106.9m	143.6m	153.09m	153.975m
面积	主楼16560m ²	32004m ²	52000m ²	48200m ²	75000m ²
用途	服务，行政，外宾客房，内宾客房	外商公寓，餐厅，健身房，办公室，宴会厅，停车设备层	顶层有停机坪	商业，宴会，服务，客房，旋转厅，顶层有停机坪	展览室，俱乐部，旅馆，办公楼，顶层有停机坪
设计	上海机电设计研究院	日本三井建设总公司	工程顾问：奥雅纳	香港黄董国际有限公司（结构为潘衍寿设计，采用香港、美国规范）	建筑：美国施雅锡公司 结构：华森建筑和工程设计顾问公司 钢结构：中国建筑标准设计研究所
制造	上海冶金金属结构厂（引进美国西亚图H型钢生产设备）	日本	焊接箱形柱：日本； H型钢：上海宝钢	上海冶金金属结构厂；焊接箱形柱由日本制造	日本川崎制铁公司
施工	上海宝钢第二十冶金建设公司分指挥部	日本三井建设总公司；中国城乡部一局四公司；石油建设总公司；江苏省南通机械公司（劳务）	日本NKK	日本NKK；上海机械化施工公司参加	中建三局一公司
投资	钢：1650元/t	79亿日元	9000万美元	—	4700万美元

续表1.1.2

高层钢结构房屋建筑

名称	香格里拉饭店	长富宫饭店	中国国际贸易中心	京城大厦	京广中心
地点	紫竹院路	建国门	大北窑	亮马桥	呼家楼
层数	26/2 (地下)	26/1 (地下)	40/2 (地下)	52/4 (地下)	53/3 (地下)
总高	82.75m	94.08m	155.25m	182.8m	208m
面积	56710m ²	50516m ²	85743m ²	135 000m ²	137 331m ²
用途	观光饭店	饭店	办公楼	27层以下办公楼 28层以上公寓	住宅、宾馆、办公楼
设计	日本大成建设株式会社与中国建筑总公司江苏省分公司设计院合作	日本株式会社竹中工务店与北京市建筑设计院共同设计;施工图由中国建筑技术发展中心负责	日本建设株式会社	日本清水建设株式会社与北京建筑设计院共同设计;施工图由中国船舶工业总公司第九设计研究院负责	日本熊谷株式会社与北京建筑设计院共同设计
制造	日本大成建设株式会社	北京市建筑机械厂	日本大成建设株式会社	上海沪东造船厂	日本熊谷株式会社
施工	日本大成建设株式会社	北京市第一建筑工程公司	法国SAE	北京市第五建筑工程公司;北京市机械化施工公司(分包)	日本熊谷株式会社
投资	1000美元/m ²	1 亿美元	3.8亿美元	1 亿美元	1 亿美元

我国政府十分重视钢结构高层建筑的发展,国务院对钢结构高层建筑国产化问题作过多次指示。当前,建筑界正在按照国务院的要求,为我国的钢结构高层建筑尽快国产化而努力奋斗。

§ 1-2 高层结构的设计特点

高层建筑的结构设计与一般建筑的结构设计是不同的。其不同点在于:

一般建筑的结构设计,主要是竖向荷载(楼面活载、屋面活载、结构自重、墙体自重等)控制设计。竖向荷载主要引起结构物中的竖向压力,并且与建筑物的高度成正比。而水平荷载引起的内力主要是弯矩和剪力,房屋的层数越高,该层承受的风力和地震力越大。

图1.2.1是一个最简单的悬臂构件结构。

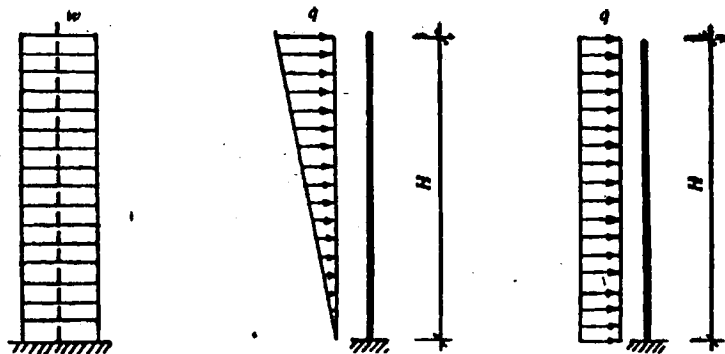


图1.2.1 结构所受荷载作用

竖向荷载作用:

$$\text{轴力 } N = wH \quad \text{侧移 } \Delta = 0$$

均布水平荷载作用:

$$\text{弯矩 } M = \frac{qH^2}{2} \quad \text{侧移 } \Delta = \frac{qH^4}{8EI}$$

倒三角形分布荷载作用:

$$\text{弯矩 } M = \frac{qH^2}{3} \quad \text{侧移 } \Delta = \frac{11qH^4}{120EI}$$

由水平力产生的弯矩和高度的二次方成正比, 水平力产生的侧向位移与高度的四次方成正比。因此, 水平荷载是控制高层建筑结构设计的主要因素。所以, 在高层建筑中一般采用抗压、抗剪、抗弯性能均好的钢结构和钢筋混凝土结构, 而很少选用仅能承受压力的砖石结构。

高层建筑设计, 不仅要保证结构物的安全, 进行结构承载力验算, 还必须验算在水平荷载作用下房屋有多少侧移(房屋水平晃动), 并采取措施, 加以限制。这是因为:

1. 过大的侧移会使人感到不舒服, 甚至不能适应。或者引起电梯运行困难, 影响人们的正常生活和工作。
2. 过大的侧移会使房屋填充墙和建筑装修开裂, 甚至脱落。这不仅会影响建筑物的美观、隔声和保暖, 严重时还能砸坏室内的家具、设备以致造成人身的安全事故。
3. 过大的侧移会使房屋的主要承重结构出现裂缝, 房屋上下各层的重心不在同一竖直位置上, 形成偏心。这样, 将导致房屋各个构件产生附加内力, 甚至引起整个房屋严重破坏、倒塌。

因此, 我们必须采取必要的结构措施, 选择合适的结构型式和抗侧力系统, 来控制高层房屋的侧向位移。

§ 1-3 结构型式与抗力系统

一、结构型式

高层建筑的结构型式很多, 以材料来分有: 砖石、钢筋混凝土、钢结构以及钢-钢

钢筋混凝土组合结构等。简述如下：

砖石结构在高层建筑中很少采用。因为砖石结构强度较低，尤其是抗拉、抗剪性能更差，难以抵抗高层建筑中水平力引起的弯矩和剪力。

钢筋混凝土结构强度高，抗震性能好，并具有良好的可塑性，建筑平面布置灵活，且取材方便，造价便宜耐火性能好，结构刚度大。近几十年来，钢筋混凝土结构已被广泛地应用在世界各地的高层建筑中，成为高层建筑中的一种主要型式。目前，用钢筋混凝土建造的最高建筑是美国芝加哥的水塔广场大厦，共76层，总高度为262m。

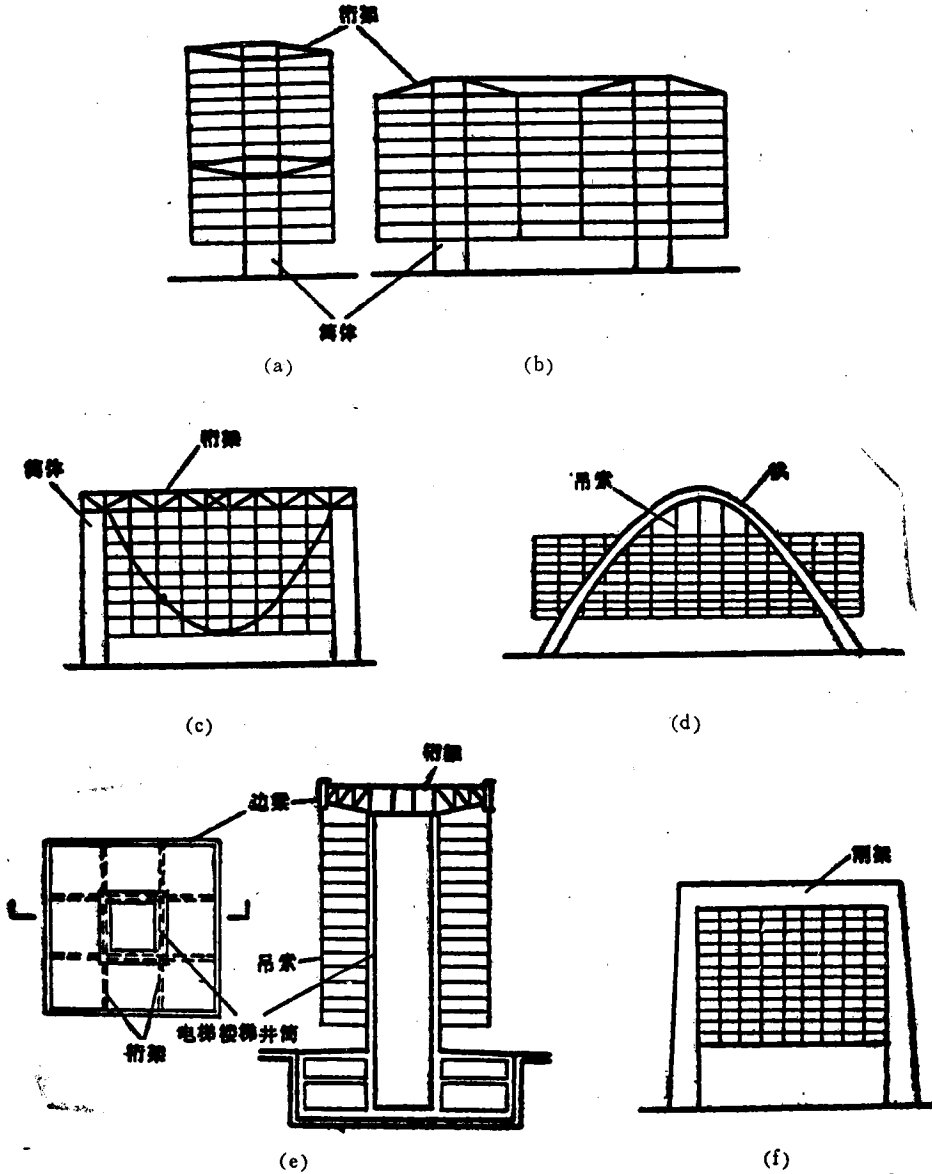


图1.3.1 悬挂结构

钢结构是高层建筑的另一种主要结构型式。它的主要优点是强度高、自重小、有良好的延性、抗震性能好、施工速度快，并能适应建筑上的大跨度、大空间以及多用途的

各种要求。用钢结构建造的高层房屋的层数和高度均遥遥领先于钢筋混凝土结构。许多国家的超高层建筑均采用钢结构。根据1983年的统计,在当时的世界最高的100座建筑中,结构材料以钢为主。100座超高层建筑中,全部为钢筋混凝土结构(RC)的仅有13座,并且层数都比较低;钢-钢筋混凝土组合结构(S+RC)的有18座;全部为钢结构(S)的约占70%。

钢-钢筋混凝土组合结构是近几十年出现的。它吸取了两种结构的优点,把钢框架与钢筋混凝土筒体结合起来。目前S+RC结构已有很多种组合方式。一种是施工时先安装一定层数的钢框架,利用钢框架承受施工荷载。然后,用钢筋混凝土把外围的钢框架浇灌成外部筒体来抵抗水平荷载。这种结构的施工速度与钢结构相近。但是,用钢量少,又有很好的耐火性。美国新奥尔良50层的单壳广场大厦就是这种组合的典型例子。

S+RC结构的另一种方式是悬挂式。这是近20年来国外的一种新型高层结构体系。各种悬挂式结构示意图见图1.3.1。可以由一个或几个钢筋混凝土承重筒体,在其顶部及中部分段设置一些钢桁架,并从桁架上引出若干吊杆与下面各层的楼面结构相连而成;也可以是由一个巨大的钢筋混凝土刚架或拱,利用其顶部悬挂的钢拉杆与下面各层楼面相连而成。

悬挂式结构的主要优点是:

1. 基础工程量小。因为悬挂式结构的基础集中在承重筒体或刚架柱脚下面,基础面积比较集中。

2. 基础不均匀沉降的影响较小。因为大部分构件采用悬挂吊杆,基础不均匀沉降不影响它们的内力。

3. 节约钢材。吊杆只承受拉力,不需要考虑受压而产生的纵向压曲,因此杆件截面可以减至最小。

4. 造型别致,平面布置灵活。如加拿大温哥华新西岸的传送大楼,高12层,楼面荷载依靠顶部八根钢拉杆连系,固定在中部的钢筋混凝土井筒上,筒内设置电梯、楼梯和管道系统,底层楼面离地面9m。

再如英国伦敦保险公司办公楼,是一座30层悬挂结构建筑物,有供3000名职员用的办公室,面积26100m²。门厅为两层高。第3~14层以及第17~28层为开敞平面大办公室和较小的单独办公室。在建筑物的中部和顶部,有两层楼高的设备间。13层为数据处理中心。上层地下室作饭店和厨房用,这层下面为货物输送设备和存放178辆汽车的停车场。在4层地下室的下两层里,设仓库及保险库。在中央井筒里,有12个电梯和两个楼梯。

建筑外部尺寸为37.50×37.50m。地面以上高度118m。井筒为22.85×15.25m的矩形平面。

每层楼盖梁的里端支承在混凝土井筒的龛槽内;而梁的外端则与外墙四周的钢拉杆连接。在建筑的中部和顶部,吊杆将它下面十二层楼的荷载传给伸出井筒外的悬臂构架。风荷载通过楼盖也传给井筒。

井筒纵剖面及标准层梁的布置示意图分别见图1.3.2(a)(b)。

据不完全统计,全世界已建成的悬挂式结构近70幢。南非共和国1970年在约翰内斯

堡所建的标准银行办公大楼，悬挂层数27层，高度139m。香港上海汇丰银行是目前层数最多的悬挂结构。悬挂层数41层。

改革开放以来，我国开始引进高层建筑钢结构技术，并兴建了一批高层钢结构房屋，通过这些高层钢结构房屋的兴建，得到了技术锻炼，为国产化准备了条件。现在看来，完全国产化的困难是钢材供应。高层建筑所需的大量型钢，国内目前供应的规格还不全，特别是宽翼型钢尚处于准备生产阶段，厚板材质也有待进一步完善。

为了加速发展我国钢结构高层建筑并尽快实现全部国产化，采用S+RC结构是一种比较理想而又可行的办法。在美国，建造35~40层的高层房屋，S+RC结构的造价约为钢筋混凝土结构造价的63.3%，约为钢结构造价的54%，其用钢量和需要的钢结构技术，均能为当前我国国力所接受。

二、抗力系统

水平荷载是高层建筑的主要荷载，高层建筑结构必须同时承受竖向荷载作用和水平荷载作用。因而，高层结构设计必须有明确的抗侧力意识。也就是说，高层建筑的结构体系必须包括两个抗力系统：即抗重力系统和抗侧力系统。

抗重力系统和抗侧力系统的不同设置和不同组合便形成了各种不同的高层建筑结构体系。钢结构高层房屋可采用的结构体系如下：

1. 框架体系：由梁、柱组成空间框架结构，框架既是抗重力系统又是抗侧力系统，同时承受竖向荷载和水平荷载。

2. 框架-抗剪桁架体系：框架作为抗重力系统，承受竖向荷载作用。竖向桁架作为抗侧力系统，承受水平荷载作用。

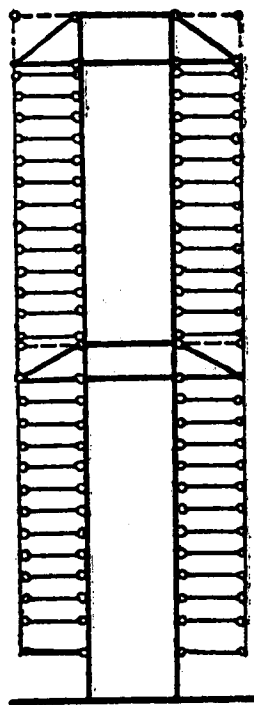
3. 框架-剪力墙体系：框架作为抗重力系统，剪力墙作为抗侧力系统。剪力墙可采用钢结构，也可采用钢筋混凝土结构。

4. 框架-核心筒体系：外围框架作为抗重力系统。内部的电梯井等形成核心筒，主要承受水平荷载作用。核心筒为钢筋混凝土结构，也可为钢结构。

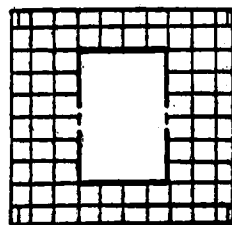
5. 外框筒体系：由周边的密排柱组成外框筒承受水平荷载，内部柱主要承受重力荷载作用。

6. 筒中筒体系：外框筒与核心内筒组成一体，共同工作。

另外，还有悬挂体系、带加劲桁架的框架-抗剪桁架体系及半筒、桁架筒、群筒体



(a) 井筒纵剖面



(b) 标准层梁的布置

图1.3.2 英国伦敦保险公司办公楼

系等。设计时可以根据具体工程的特点,适当的组合、布置抗重力系统和抗侧力系统,创造出更科学、更巧妙的新体系。

各种体系的详细讨论分析见“高层钢结构体系”。

§ 1-4 高层建筑的结构规划

一、结构规划的一般原则

根据高层建筑物的使用性质和房屋高度,首先选择合适的结构体系。确定结构体系后,便可着手进行结构规划。结构规划应结合建筑设计进行,使建筑物不仅具有优美的体型,并应使房屋结构受力合理、施工方便、造价经济。应注意做到下列几点:

(一) 柱网和抗侧力系统的设计必须符合房屋的使用要求。钢框架柱网,宜采用 6 至 9 m。

(二) 房屋开间、进深、层高宜尽量统一,以便减少构件类型、规格,有利于工业化。

(三) 结构布置,应使构件受力合理,传力直接,便于施工。

(四) 高层建筑应选用轻质高强材料,以便减轻自重、缩小截面、节省材料、有利抗震。

(五) 建筑物的水平投影最小尺寸不宜小于建筑物总高(自室外地坪算起)的 $1/5 \sim 1/7$ 。悬挂体系的水平投影尺寸只考虑中央核心筒部分。

(六) 应综合考虑建筑物的使用要求、建筑高度、地基条件及基础结构等多方面因素,设置一层或多层地下室。

二、地震区结构规划原则

在地震区,建造高层建筑时,除遵守结构规划的一般原则外,尚应特别注意下列各点:

(一) 应选择对抗震有利的结构体系

1. 高层钢结构可采取钢架、支撑桁架和剪力墙作为加强刚度及抵抗水平位移的措施。在强震条件下,可采用偏心支撑框架体系,以利于耗散地震能量(图1.4.1)。

2. 高层钢结构的支撑加劲结构(钢支撑桁架、钢或钢筋混凝土剪力墙等)宜沿着互相垂直的两个方向布置,相互交叉连成一体,并力求对称布置。沿竖向从上到下尽量贯通。加劲结构与主体结构构件(梁、柱等)应有可靠连接。

3. 采用外框筒结构体系时,可以结合体系的特点,采用窄柱距的外柱和宽柱距的内柱,以便于内部空间的充分利用和外围护结构的设置。沿建筑物外围的密排柱中距一般宜控制在3m左右,以利于发挥筒体作用和便于围护结构的布置。

4. 对于30至60层的房屋,宜优先采用S+RC结构体系,以充分发挥钢及混凝土的各自特点,节约钢材。例如采用钢筋混凝土核心筒及钢框架体系;下部几层为现浇钢筋混凝土,上部为钢结构的体系;以及柱子为劲性钢筋混凝土构件,而梁为钢结构构件或

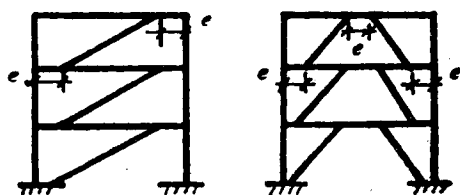


图1.4.1 偏心支撑

钢筋混凝土构件等组合结构体系。

5. 若底层或其它某些层必须布置大空间时, 应注意减缓刚度突变。可采用核心井筒或部分剪力墙及垂直支撑系统等, 以保证大空间层必要的刚度。有大空间时, 还须注意该层顶板的整体刚度, 以便有效地将上层的剪力传递给下层的抗剪结构, 因此应采用现浇楼盖。

6. 高层钢结构的刚性楼板是传递水平力的重要部件, 应优先采用压型钢板或预应力薄板加现浇混凝土叠合层或现浇混凝土楼板, 必要时还可增设水平钢支撑以加强楼板刚度。不宜采用预制钢筋混凝土楼板。

(二) 应合理安排建筑布局

1. 建筑物的平面形状, 应力求简单、规则、对称。宜优先采用圆形、正方形、等边多边形、矩形等规则平面, 并在中部布置钢结构或钢筋混凝土结构核心筒以承受水平荷载, 核心筒宜与楼梯、电梯间和设备管道间等相结合, 如井筒在平面上不是位于中间, 则应尽量对称布置, 使房屋的刚度中心与房屋的质量中心尽量接近, 以减小地震力对房屋产生的扭转。

2. 建筑物的立面体型不宜有复杂的变化。如柱子、剪力墙的截面沿高度应上下一致, 避免错位、截面面积明显缩小或取消等情况, 致使结构物刚度和重心上下不一致。此外, 同一层楼面应尽量在同一个标高上, 不宜设计成错层和局部夹层, 而使楼面无法有效地传递水平力。楼梯间和电梯间在平面上形成缺口, 不宜布置在受力复杂或易产生应力集中的拐角部位。当采用外框筒结构体系时, 有时外立面某些层将密柱距改为宽柱距, 这时要注意刚度突变的不利影响。

(三) 应重视薄弱环节

高层房屋中的外围护墙、内隔墙、楼梯、顶棚等在地震中是薄弱环节, 结构设计中应予以足够的重视, 妥善处理好各个部件与主体结构构件的连接, 以适应变形要求。对女儿墙、阳台、雨蓬、挑檐等易损构件, 应采取有效的锚固和拉结措施, 以免地震时坠落造成事故。

(四) 应确保结构整体性

建造在地震区的高层建筑, 应从设计、施工质量上予以重视, 保证结构的整体性, 使房屋各部分结构能有效地组合在一起, 发挥空间工作作用, 提高抗震能力。例如, 结构要多道设防, 使结构计算图式的超静定次数较多。这样, 在经受地震后即使有个别构件破坏, 也不会造成整个房屋的失稳和破坏。

(五) 应尽量降低高层房屋的重心

减轻房屋自重, 把重量大的设备、设施布置在下面各层, 降低房屋的重心, 有利抗震。

上述各点对地震区高层建筑结构设计十分必要, 须严格遵循。在进行非地震区高层建筑设计时, 参照执行, 同样可以得到安全、适用、经济合理的效果。

三、变形缝设置

在高层建筑结构规划中, 变形缝的设置是首先要考虑的问题之一。变形缝分为温度缝(亦称温度伸缩缝)、防震缝和沉降缝。