

多层及高层房屋结构设计

上册

DUO CENG JI GAO CENG FANG WU JIE GOU SHE JI



多层及高层房屋结构设计

(上 册)

《多层及高层房屋结构设计》编写组编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书分上下两册出版。上册主要介绍框架体系的结构计算和结构构造,包括位移法、矩阵位移法、迭代法、内力的近似计算(D 值法),以及内力组合和构件设计、节点设计等九章。下册主要介绍剪力墙体系、框架-剪力墙体系的内力计算、剪力墙的截面设计和结构构造、条形基础设计和箱形基础设计等六章。

本书可作为工业与民用建筑专业教学参考书,也可供建筑结构设计人员参考。

多层及高层房屋结构设计

《多层及高层房屋结构设计》编写组编

(上 册)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海中华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 426,000

1979年12月第1版 1979年12月第1次印刷

印数 1—38,000

书号: 15119·2027 定价: 1.70 元

前 言

多层及高层房屋,在现代化城市建设中占有重要的地位。随着我国工业、农业、国防和科学技术现代化的加速实现,这类房屋必然会大量地出现。为了适应教学上和建设工作上的需要,我们在教学实践的基础上编写了本书。

本书较广泛地反映了国内的有关研究成果。在编写时,对于结构布置和结构构造等内容,尽可能从原理上加以说明;在框架、框架-剪力墙和剪力墙等体系的内力分析方面,为了适应电子计算机的应用,除了介绍常用的迭代法和连续栅片法外,还介绍了矩阵位移法及其算法语言程序。我们在本书内编写算法语言程序的目的,不是为了推荐程序,而是希望通过这部分内容,使读者能够了解怎样读程序,并为进一步读更为复杂的程序打下基础。此外,还介绍了多层框架在垂直荷载和水平节点荷载作用下具有较好精确度的近似算法即分层法和 D 值法,并对 D 值法进行了讨论,提出了进一步改进的建议。对于多层及高层房屋的节点和基础,因类型繁多,不可能一一列举。为了节省篇幅,选择了几种常用的典型类型加以介绍,以期起到举一反三的作用。考虑到我国抗震设防区范围较广,在各有关内容中对抗震设计也都作了一定的介绍。

本书分上、下两册出版,由沈祖炎同志主编,潘士飏、沈勤斋、屠成松、沈荣芳、李谱隆、殷永安、黄鼎业、顾蕙若等同志参加编写。由于我们水平不高,实际经验缺乏,缺点错误在所难免,请读者批评指出。

在编写过程中,承北京市建筑设计院、国家建委建筑科学研究院结构所等单位,提供了许多资料和宝贵意见,谨致谢意。

《多层及高层房屋结构设计》编写组

1978年12月

44.589/61

目 录

第一章 多层及高层房屋的结构体系和布置	1
第一节 多层及高层房屋的结构体系	1
第二节 框架体系的结构布置	9
第三节 框架-剪力墙体系和剪力墙体系的结构布置	18
第四节 保证楼面结构整体性的构造措施	24
第五节 变形缝	25
第二章 荷载	29
第一节 概述	29
第二节 恒载和楼面活荷载	30
第三节 吊车荷载	35
第四节 风荷载	36
第五节 地震荷载	40
第六节 自振频率和振型计算	50
第三章 框架杆件的截面尺寸和框架体系的计算简图	65
第一节 框架杆件的截面形状和尺寸	65
第二节 框架体系的计算简图	66
第四章 位移法	72
第一节 概述	72
第二节 转角位移方程	73
第三节 基本未知量个数的确定	80
第四节 用平衡条件建立位移法基本方程	82
第五节 用附加约束法建立位移法基本方程	91
第六节 结构对称性的利用	94
第五章 矩阵位移法及其算法语言程序	98
第一节 单元刚度矩阵	98
第二节 坐标系转换	101
第三节 结构刚度矩阵	105
第四节 边界条件处理和基本方程的求解	108
第五节 杆端内力的计算	109
第六节 节点间荷载处理	110
第七节 平面杆件系统算法语言程序说明	112
第八节 平面杆件系统源程序	129
第六章 迭代法	135
第一节 迭代法的基本概念	135
第二节 用迭代法计算节点无线位移的框架	138
第三节 用迭代法计算节点有线位移的框架	143
第四节 迭代法对几种情况的处理	154

第七章 框架内力的近似计算(D 值法)	170
第一节 竖向荷载作用下框架内力的近似计算.....	170
第二节 水平荷载作用下框架内力的近似计算.....	173
第八章 内力组合和构件设计	211
第一节 节点弯矩的调幅.....	211
第二节 内力组合.....	211
第三节 连合梁设计.....	220
第四节 柱子设计.....	223
第五节 梁、柱抗震要求	226
第九章 节点设计	234
第一节 装配式多层框架节点设计的原则.....	234
第二节 梁与柱连接节点.....	236
第三节 柱与柱连接节点.....	255
第四节 现浇多层框架构件的连接节点.....	264
第五节 节点抗震设计.....	265

第一章 多层及高层房屋的结构体系和布置

第一节 多层及高层房屋的结构体系

多层房屋和高层房屋之间没有明确的界限,目前一般指9层以上的房屋为高层房屋,9层以下的房屋为多层房屋。

随着房屋高度的增加,如何有效地提高结构抵抗水平荷载的能力和侧向刚度(图 1-1-1)等,也就逐渐成为主要问题,并必然对结构体系带来变化。目前在多层及高层房屋中常用的结构体系主要有:混合结构体系、框架体系、框架-剪力墙体系、剪力墙体系和筒式体系五大类。本章主要介绍后四种体系。

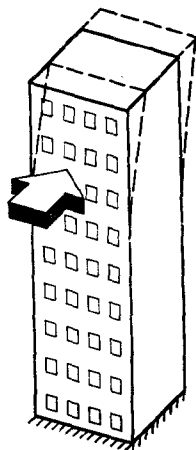


图 1-1-1

一、框 架 体 系

框架体系具有平面布置灵活,容易满足生产工艺和使用要求,梁、柱等构件便于定型化,制造和施工能够工厂化、机械化等优点,所以应用极为广泛。目前,在多层工业厂房、仓库以及需要较大空间的多层民用房屋中,一般都采用框架体系。例如图 1-1-2 所示的某仓库工程为 4 跨 4 层的横向框架体系,图 1-1-3 所示的某实验楼工程为 9 跨 5 层的纵向框架体系。图 1-1-4 所示为北京工人体育场可容纳 8 万观众的主体建筑,采用的也是框架体系。另外,在 15 层以下的高层民用房屋中,也常采用框架体系,例如图 1-1-5 所示的北京中央电报大楼(高 68.35m, 建筑面积 20192m²)。

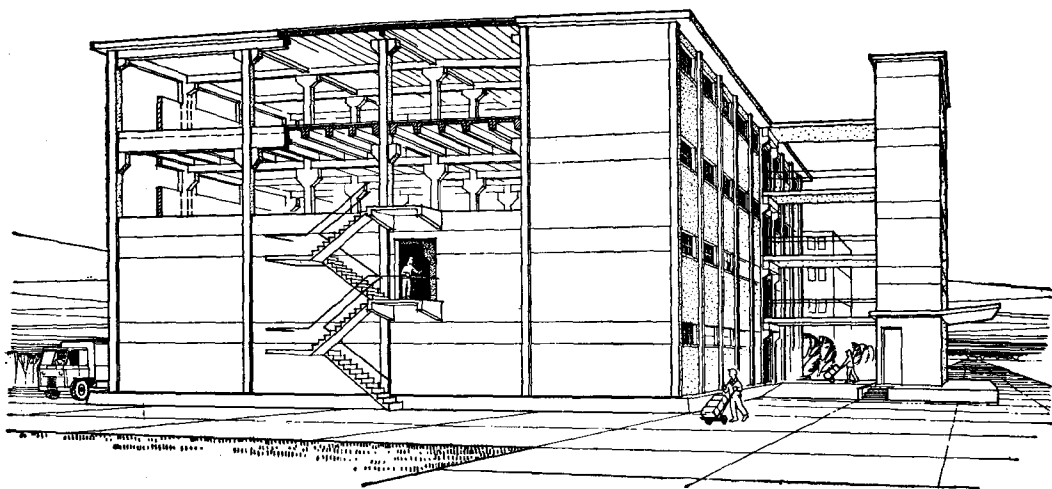
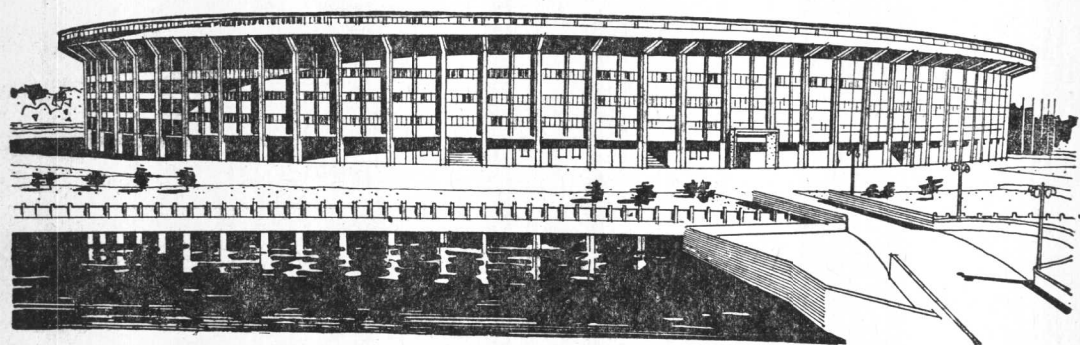
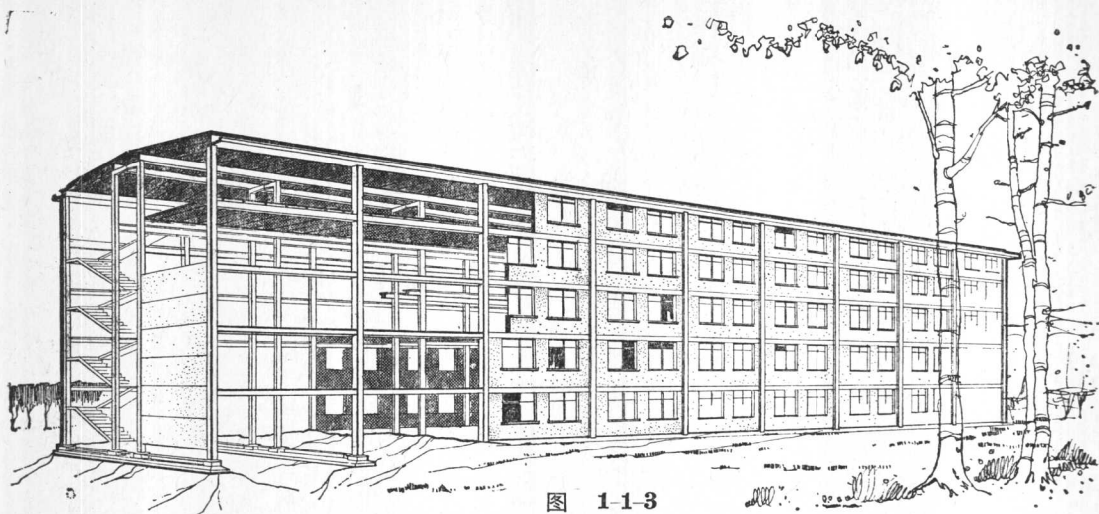


图 1-1-2



随着轻质材料的发展,正在开始采用轻板框架体系。这种体系,即使层数较少时,也大有取代混合结构的趋势。

在多层工业厂房、仓库、冷库和菜场等建筑中,还采用如图 1-1-6a 所示的类似于框架体系的无梁结构。图 1-1-6b 所示的就是一种用升板法施工的无梁结构。无梁结构由板、柱帽和柱子组成,具有板底平整、室内净高可有效利用等优点。当采用升板法施工时,更具有节约模板、节约场地等显著优点,但用钢量较大。

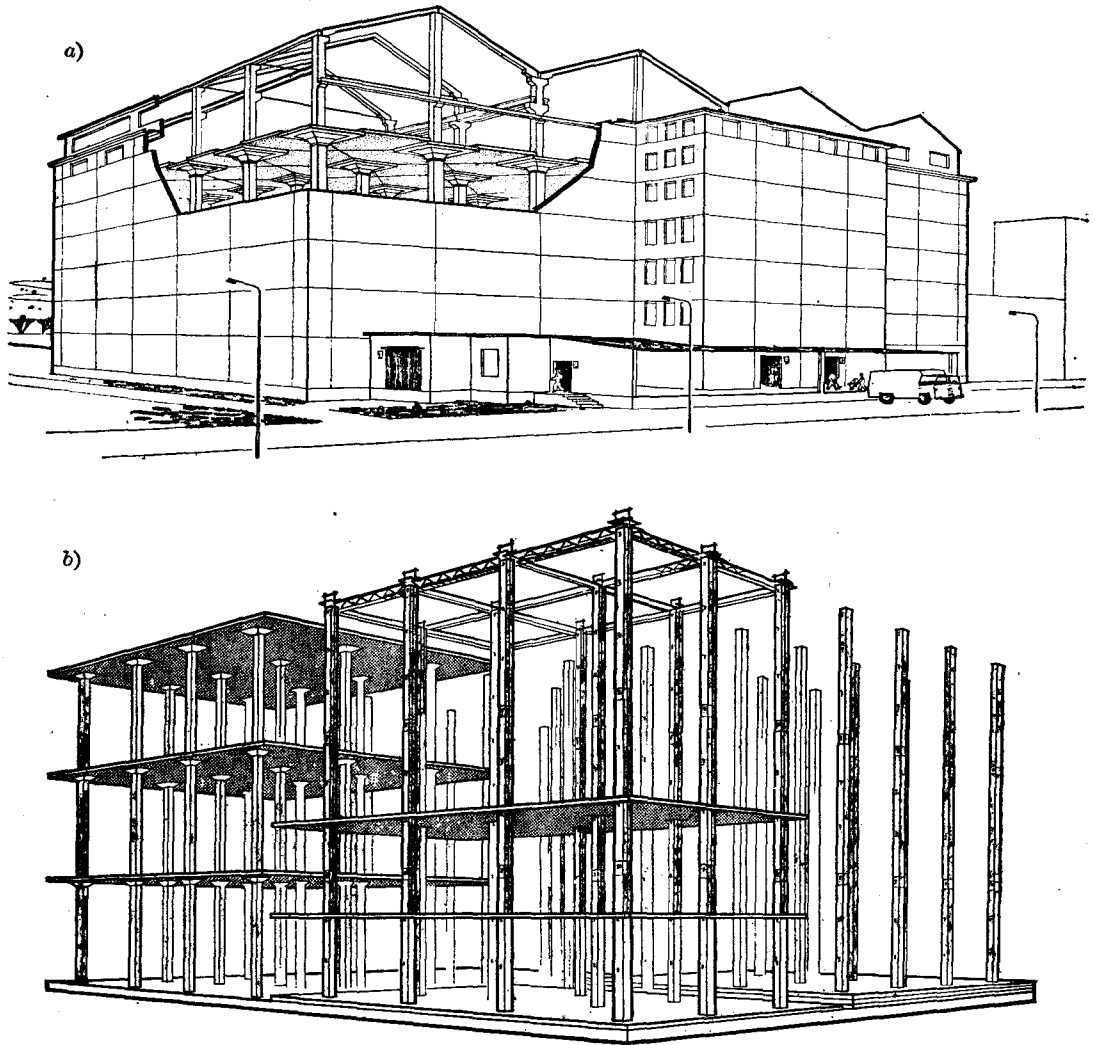


图 1-1-6

二、框架-剪力墙体系

当多层房屋向更高的层数发展时,采用框架体系会产生不少矛盾。首先,从强度方面来看,由于层数和高度的增加,竖向荷载和水平荷载(风力、地震力)产生的内力都要相应加大,特别是水平荷载产生的内力增加得更快(图 1-1-7)。因此,当高度达到一定数值后,在框架

内将产生相当可观的内力。其次,从刚度方面来看,随着房屋高度的增加,高宽比也逐渐增大,由于框架结构本身柔性较大(图 1-1-8),在水平荷载作用下,侧向变位 Δ 也往往成为必须控制的因素。因此,当层数较高(15 层以上)或地震烈度较高(8 度以上)时,如要满足强度和刚度的要求,框架下面几层的梁、柱截面尺寸就会增大到不经济甚至不合理的地步。例如某些 18 层房屋,底层柱的截面可达 $95 \times 95 \text{ cm}$ 。为了解决这个矛盾,往往需要增设一些刚度较大的剪力墙来代替部分框架(图 1-1-9),使水平荷载的大部分由剪力墙来承担,用以提高结构的抗侧力性能,而框架主要承受竖向荷载。这样就产生了新的结构体系——框架-剪力墙体系。

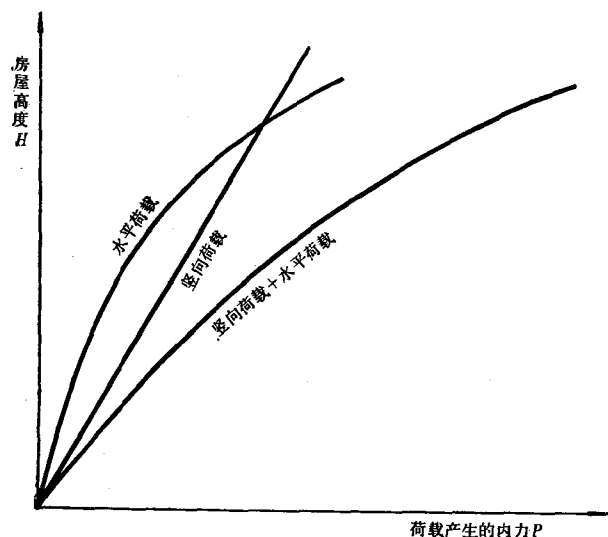


图 1-1-7

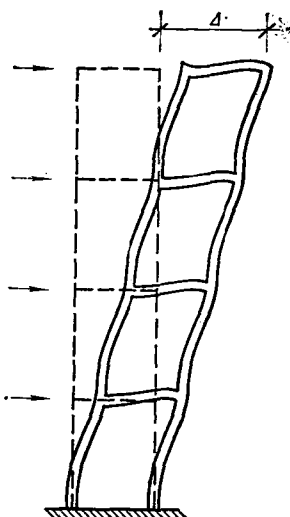


图 1-1-8

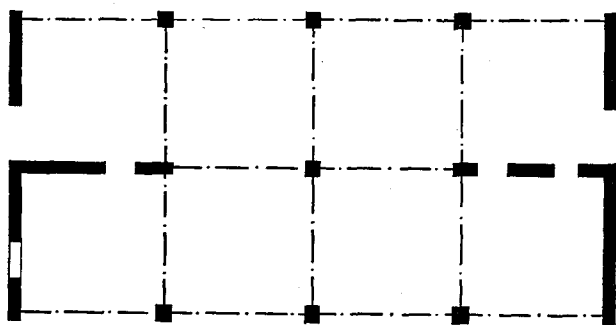


图 1-1-9

框架-剪力墙体系用在 15~25 层的民用房屋中居多,如 18 层的新北京饭店(图 1-1-10)和 17 层的上海提篮桥旅馆(图 1-1-11)等。在 8~15 层范围内,采用框架-剪力墙体系,也常较框架体系经济。

在多层工业厂房中,由于生产工艺等原因,往往不能设置剪力墙,因此框架-剪力墙体系的采用常常受到限制。在设计烈度为 8 度以及 8 度以上的抗震设防区,5 层以上的厂房,一般必须采用框架-剪力墙体系。



图 1-1-10



图 1-1-11

三、剪力墙体系

随着房屋层数和高度的进一步增加, 需要设置较多数量的剪力墙来提高房屋的抗侧力性能, 这样就形成了剪力墙体系(图 1-1-12)。

剪力墙体系适用于建筑上要求有很多间隔墙的 15 层以上住宅、旅馆等高层民用房屋。例如在 20 层的北京和平宾馆新楼的设计中, 比较了剪力墙体系和框架-剪力墙体系两种方案, 采用剪力墙方案除了可节约钢材 $1/3$ 左右外, 而刚度也可提高 4 倍以上。一些调查研究也说明, 一般在 16~20 层的居住房屋中, 剪力墙体系(大型板材方案)每平方米居住面积的用钢量约 40 kg, 而框架体系则需 60 kg。目前, 采用剪力墙体系的高层房屋已达 70 层。我国广州的 32 层白云宾馆高 106.6 m, 也采用了剪力墙体系(图 1-1-13)。

装配式预制大板体系实质上也是剪力墙体系, 由于连接节点的整体性、强度和延性较

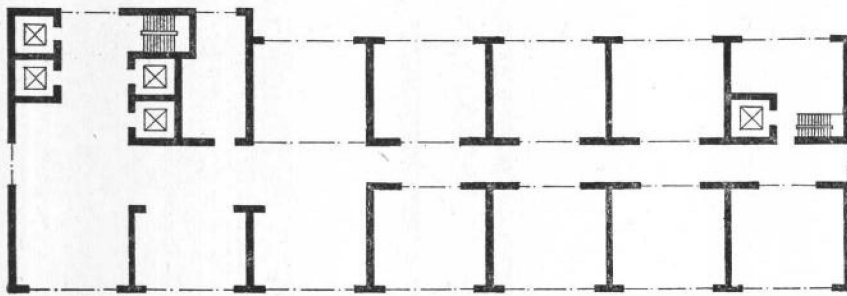


图 1-1-12



图 1-1-13

差,抗震性能较低,目前都用于10层以下的民用房屋中。预制大板体系有利于建筑工业化的发展,有着广阔的发展前景。

四、筒式体系

当房屋由高层向超高层(一般指房屋高度超过100m)发展时,结构的抗侧力体系由以上介绍的平面结构体系向空间结构体系发展,即在房屋中设置刚性筒体以抵抗水平力。近年来,在高层房屋中,筒式体系发展很快,常利用房屋中的电梯井、楼梯间、管道井以及服务间等作为核心筒体(图1-1-14a、b),也有利用四周外墙作为外筒体的(图1-1-14c)。核心筒式和外筒式两种体系都属单筒体系。此外,还有兼用外筒和内筒组成双筒式体系,也称筒中筒体系(图1-1-14d、e)。

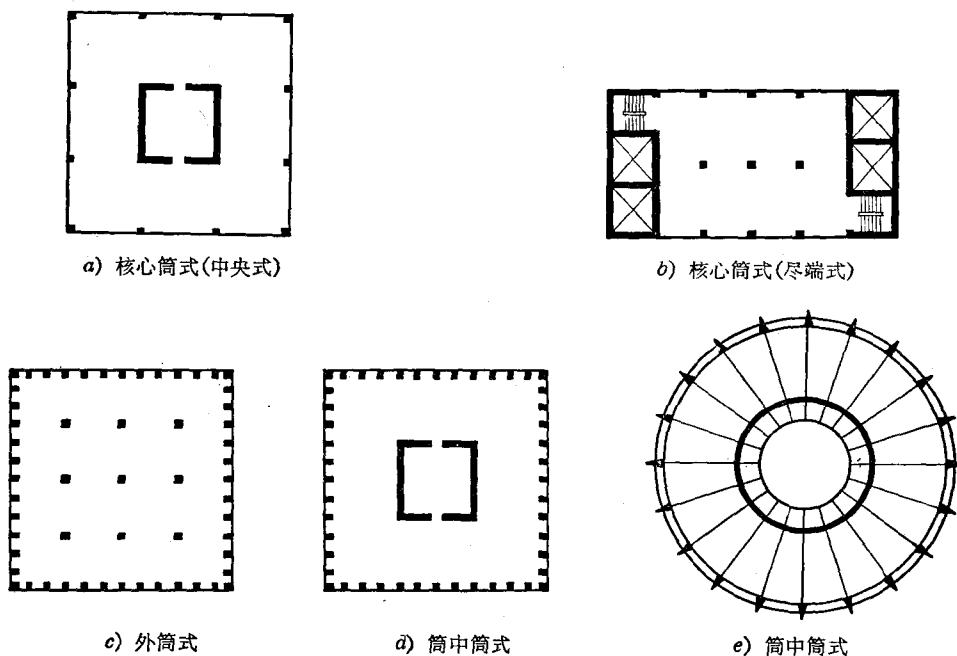


图 1-1-14

筒体常与框架结合在一起,水平荷载由筒体承受,框架主要承受竖向荷载,它在建筑布置和使用方面都比较灵活。单筒式体系一般适用于10~30层房屋,至于30层以上的超高层房屋,则常采用刚度很大的筒中筒体系。

筒式体系在我国古代的高塔建筑中早已采用,开始是砖砌单筒体系,以后逐步发展到砖砌双筒体和木结构双筒体。例如,河南登封县嵩岳寺塔(图1-1-15)是砖砌单筒体,高40m,共10层,建于公元523年。河北定县料敌塔是砖砌双筒体,高82m,共11层,建于公元1055年。山西应县木塔是木筒体结构,高67.31m,共9层,建于公元1056年。这些高塔至今保存完好,显示了我国古代劳动人民的高度智慧和才能。西安的大雁塔,高60余m,共7层,改建于公元704年,它经历了地震的考验,巍然屹立。这些古代工程的宝贵遗产,对我国发展高层建筑是很有参考价值的。

综上所述,随着房屋由低层向高层发展,结构的抵抗侧力问题逐渐成为关键问题,结构

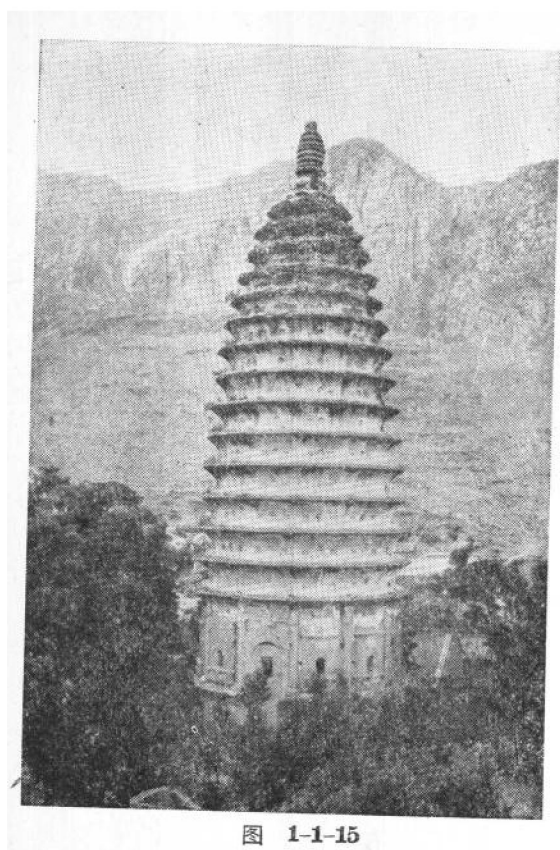


图 1-1-15

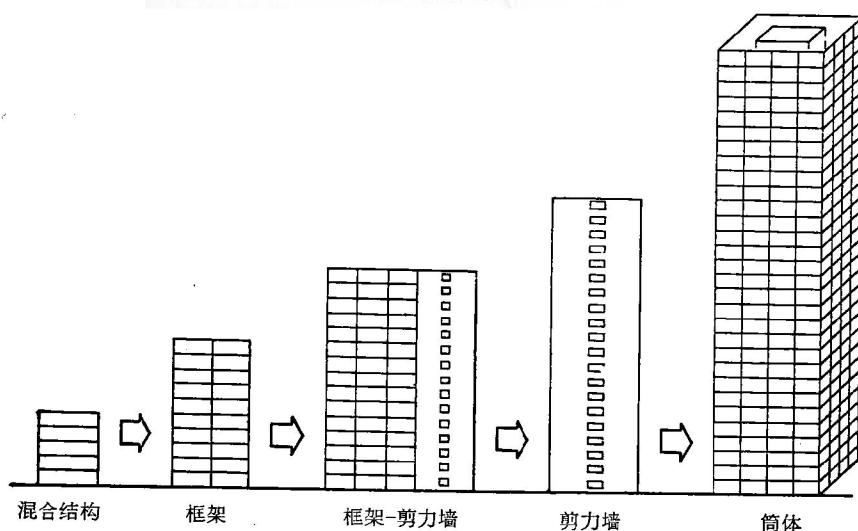


图 1-1-16

的体系也就由混合结构发展为钢筋混凝土结构, 由空腹的框架体系发展为实腹的剪力墙体系, 由平面结构体系发展为空间结构体系——筒式体系(图 1-1-16)。

不同层数房屋适用的结构体系大致可归纳如表 1-1。

以上我们仅就结构这一因素来分析问题。实际工程中, 还必须考虑建筑、施工、材料和经济指标等因素。如办公大楼, 因房间大小不一, 又需要考虑适应使用变化的灵活性, 采用

剪力墙体系就较少,而住宅、旅馆、宿舍等则可优先考虑剪力墙体系。又如采用大模板或滑升模板施工,则宜优先考虑剪力墙体系和筒式体系。若采用装配式结构,则宜优先考虑框架体系。多层厂房由于工艺使用的要求,需要大空间,层数又不多,因此也宜采用框架体系。

表 1-1

层 数	≤5	≤10	11~15	16~20	21~25	26~30	>30
混 合 结 构	工业 ←→ 民用	用					
框 架	←→		←→				
框架-剪力墙		←→			←→		
剪 力 墙		配筋	砌体剪	力墙	←→		←→
单 筒 体			←→			←→	
双 筒 体					←→	←→	←→

第二节 框架体系的结构布置

一、柱网尺寸及层高

框架结构房屋的柱网尺寸及层高,一般需根据生产工艺、使用要求、建筑用材以及施工、建筑和结构等各方面的因素,作全面考虑来确定,其原则是力求做到平面形状简单整齐,有利于建筑的统一化和定型化。

(一) 工业厂房

根据多年来的建设经验,并从促进定型化考虑,一般宜采用以下的参数。

1. 柱距 采用 6m。

2. 跨度 应根据柱网的布置为内廊式或跨度组合式而定。

(1) 内廊式(图 1-2-1a): 当生产工艺要求有较好的生产环境和防止工艺互相干扰时,在平面布置上常采用对称两跨、中间走廊的形式,即内廊式,并用隔墙将工作区和交通区隔开。这种平面布置在仪表、电子、电器业用得较多。目前常用的尺寸有两种: 6+2.4+6m、6.9+3+6.9m。

(2) 跨度组合式(图 1-2-1b): 主要用于生产要求有大统间,便于布置生产流水线的厂房中。底层多数为金工、总装车间或仓库,有的还设有起重设备,大多数机械厂房及仓库采用之。使用时如有需要,也可在较大跨度中用隔墙隔成内走廊。随着轻质隔墙材料的发展,内廊式已逐渐为跨度组合式所代替。

常用的跨度有 6m、7.5m、9m、12m 四种。用上述跨度可组成各种等跨或不等跨厂房。由于吊装机械的伸臂长度有一定限制,房屋总宽度一般不超过 36m。

随着预应力混凝土构件的发展以及适应生产工艺的变化,6m 跨度已逐渐为 7.5m 和 9m 所代替,并逐渐发展到 12m 跨度。

3. 层数 从节约用地来说,厂房层数宜多些。但是厂房层数的确定,与生产工艺设备、垂直及水平运输设备、产品性质、基建投资等关系十分密切;同时还与地质条件、是否属于抗

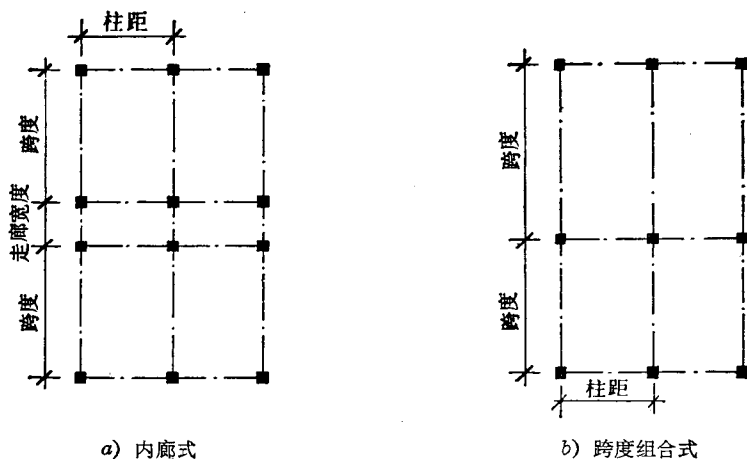


图 1-2-1

震设防区以及楼面使用荷载的大小等密切相关。

机械厂房由于设备与产品较重,多数有起重设备,层高较高,楼面使用荷载又较大,故以二、三层居多。轻工、仪表、电子和电器业厂房,由于大多数产品体积较小,重量较轻,一般采用电梯就能解决垂直运输问题,故近年来多数采用四、五层。

4. 层高 层高与车间内有无吊车以及工艺设备、管道布置(如吸尘、通风管)和空中传送设备等有关;同时还与车间跨度、采光、通风等因素有关。由于底层往往有较大的设备和产品,甚至设有起重运输设备,因此底层的层高一般比楼层为高,在同一幢厂房中,楼层层高宜取同一种尺寸。

底层层高有 4.2m、4.5m、4.8m、5.4m、6.0m、7.2m、8.4m 七种。

楼层层高有 3.9m、4.2m、4.5m、4.8m、5.4m、6.0m、7.2m 七种。

其中 7.2m 和 8.4m 层高适用于有 1~3t 悬挂吊车和 5t 桥式吊车的车间。

(二) 民用房屋

民用房屋种类繁多,功能要求各有不同,柱网及层高等变化也大,尺度一般较工业厂房为小。柱网和层高通常按 300mm 进级。柱网尺寸一般均在 4m 以上,常用的范围是 4~7m。层高常采用 3m、3.6m、3.9m、4.2m 等。

二、框架结构的方案和布置

框架结构可以采用多种不同的结构方案和布置,它是由许多因素决定的,主要有:

(1) 工艺使用要求,如房屋形状和柱网布置是否规则整齐,柱网尺寸是否符合模数化、定型化,厂房内部是否允许设置剪力墙以及房屋的高宽比和工艺对结构纵、横向刚度的要求等;

(2) 预制构件和建筑材料的供应情况;

(3) 施工和吊装能力,如能否采用预应力混凝土构件,预制构件的运输、吊装能力以及焊接能力等;

(4) 建造地区的自然条件,如地质条件、抗震设防等级以及施工场地大小等;

(5) 是否经济合理,施工是否方便。

一般在选择结构方案和布置时,要综合以上因素具体分析。首先确定框架的类别,然后确定承重框架的布置方向和梁、柱连接的节点方案。这样,框架结构的方案和布置就大致可以确定下来。框架结构方案和布置的好坏将直接影响工艺、使用、工程质量、经济指标和施工期限,因此必须予以足够的重视,进行必要的方案比较。

(一) 框架的类别

根据施工方法的不同,框架结构可分为整体式框架、装配式框架和装配整体式框架三类。

1. 整体式框架

框架的全部构件系在现场整体浇注。这种框架的主要优点是整体刚度和抗震性能良好,但是需用模板太多,而且费工,施工工期也长。目前,整体式框架已较少采用。一般在工艺布置复杂、构件类型太多、预制有一定困难或抗震要求较高的厂房中才采用。

这类框架如能采用工具式模板或提模方法施工,可以节约模板和缩短工期。

2. 装配式框架

框架的全部构件均为预制,然后进行吊装。这种框架的主要优点是节约模板、缩短工期和大量采用预应力混凝土构件,但是连接节点的用钢量大,而且在荷载大、振动大、要求框架有较大刚度时,连接节点的构造较难处理。

3. 装配整体式框架

框架的构件采用部分预制、部分现浇,一般有三种做法:

- (1) 预制长柱迭合梁^①;
- (2) 预制短柱迭合梁;
- (3) 现浇柱迭合梁。

这三种做法的梁、柱连接节点详见第九章。它们的主要特点都是采用迭合梁,利用迭合梁的后浇部分使梁与柱连成整体。因此梁、柱连接节点比全装配框架易于做成刚性连接。

装配整体式框架的整体性和侧向刚度都比全装配框架好,在目前采用得最为广泛。

当柱长在20m以内时,柱子可以整根吊装,因此预制长柱迭合梁方案在3~4层厂房中采用较多。但是,由于柱子内钢筋往往需由起吊因素控制,柱子需现场预制,节点的用钢量和焊接工作量较大,构件吊装时又需重型履带式起重机配合,因此还不是很理想的方案。

预制短柱和现浇柱迭合梁这两种方案,由于梁、柱节点构造对荷载还有一定限制,因此适用于跨度较小(如9m以内)、荷载较小的轻工业厂房及民用房屋中。这两种方案的节点刚度和框架整体性都比较好,尤以现浇柱迭合梁方案更好,在烈度较高的地震区应优先采用。它们的主要优点是节点构造简单,用钢量和焊接工作量少,吊装方便,柱子不需设牛腿,房屋内部整洁,空间可以充分利用。缺点是现场施工工序多,节点施工要求高,工期较长。

(二) 框架的节点方案

框架节点根据构造的不同,可分为铰接节点和刚接节点两类。例如如图1-2-2a所示为装配式框架中梁与柱的顶部连接节点。柱顶和梁底部都预埋钢板,并焊接在一起。由于钢板在自身平面外的刚度很小,因此这样的构造只能使梁端部与柱顶不发生相对的移动,不能阻止微小的相对转动。也就是说,这种节点只能承担压力和剪力,不能承担弯矩(严格一点说,只能承担很微小的弯矩)。因此,常把这种节点简化为铰接节点,如图1-2-2a右图所示。图

^① 迭合梁就是将梁的下半部先预制好,待吊装就位后,再浇筑其上部。