

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

混凝土建筑结构设计

吕晓寅 刘 林 主编

周长东 孙 静
贾英杰 袁 泉

副主编

中国建筑工业出版社

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

混凝土建筑结构设计

吕晓寅 刘 林 主 编

周长东 孙 静
贾英杰 袁 泉 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土建筑结构设计/吕晓寅, 刘林主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012. 12

(全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材)

ISBN 978-7-112-14764-9

I. ①混… II. ①吕…②刘… III. ①混凝土结构-
建筑结构-结构设计-高等学校-教材 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 243289 号

本书共 10 章, 内容有: 混凝土建筑结构的体系与布置; 结构设计的重要概念和基本规定; 作用、效应及承载力计算; 楼盖结构; 框架结构; 剪力墙结构; 框架-剪力墙结构; 筒体结构; 单层厂房结构; 结构设计总论等。

本书除作教材外, 还可作为建筑结构专业工程技术人员及其他人员自学用书。

* * *

责任编辑: 郭 栋 王砾瑶

责任设计: 李志立

责任校对: 陈晶晶 王雪竹

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

混凝土建筑结构设计

吕晓寅 刘 林 主编

周长东 孙 静 贾英杰 袁 泉 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24½ 字数: 607 千字

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月第一次印刷

定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-14764-9

(22801)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本书是按照现行的规范和规程，为适应教学和工程结构设计的需要而编写的。内容包括混凝土建筑结构的体系与布置；结构设计的重要概念和基本规定；作用、效应及承载力计算；楼盖结构；框架结构；剪力墙结构；框架-剪力墙结构；筒体结构；单层厂房结构；结构设计总论等，涵盖了建筑工程专业的大部分专业内容。

本书的设计计算方法是依据《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)、《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)等编写。

房屋结构设计是否合理，主要取决于结构体系、结构布置、构件的截面尺寸、材料选择、设计方法及构造措施等诸多方面的合理性。对于正在高校学习结构设计的在校生和结构设计的初学者而言，在学习本书时，应将注意力集中在综合运用所学知识、将实际工程结构简化为可分析模型、统筹分析整体结构的受力和变形等宏观问题上。只有从结构概念上掌握了分析工程实际问题的方法，才能更有效地进一步进行结构电算分析和施工图的绘制。

本教材的特点是：以规范为设计依据，注重灵活而正确地运用工程概念去解决实际问题。全书取材力求恰当、贯彻少而精的原则；突出重点，讲清难点；在讲述以手算为基础的简便计算方法的基础上，注重结构受力和变形特性的分析，以加强学生对基本工程概念的理解；注意与其他课程和教材的衔接与综合应用；为了便于教与学，主要章节内均有例题，并配有思考题和习题。

本书也适合建筑学专业工程技术人员及其他人员自学。在学习本书时，读者应具备结构力学及钢筋混凝土结构基本原理的知识。

本书共10章，其中第1、3、8章由刘林编写，第2、5章由吕晓寅编写，第4章由孙静编写，第6章由贾英杰编写，第7章由袁泉编写，第9章由周长东编写，第10章由刘林和吕晓寅共同编写。

由于作者水平有限，书中有不当之处，欢迎读者指教。

2012年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 房屋建筑的特点及发展	1
1.2 结构体系	6
1.3 结构布置	16
1.4 结构设计与可持续发展	26
思考题	30
第 2 章 结构设计的重要概念和基本规定	31
2.1 建筑抗震的重要术语	31
2.2 建筑抗震设防	34
2.3 建筑抗震设计	36
2.4 抗连续倒塌设计基本要求	48
2.5 重力二阶效应及结构稳定	50
思考题	51
第 3 章 作用、效应及承载力计算	52
3.1 竖向荷载	52
3.2 风荷载	56
3.3 地震作用	65
3.4 作用组合的效应	78
3.5 构件承载力计算	79
思考题	80
习题	80
第 4 章 楼盖结构	82
4.1 楼盖体系的分类和选型	82
4.2 单向板肋梁楼盖的设计和构造	84
4.3 双向板肋梁楼盖的设计和构造	112
4.4 无梁楼盖的设计和构造	118
4.5 楼梯的设计和构造	124
思考题	127
习题	128

第 5 章 框架结构	129
5.1 框架结构的组成、分类、布置、截面尺寸及计算简图	129
5.2 竖向荷载作用下内力的近似计算——分层法	133
5.3 水平荷载作用下内力近似计算	136
5.4 水平荷载作用下侧移近似计算	147
5.5 框架截面设计与构造要求	149
思考题	171
第 6 章 剪力墙结构	172
6.1 概述	172
6.2 剪力墙结构的受力分析	178
6.3 剪力墙的结构布置与概念设计	194
6.4 剪力墙结构截面设计及构造要求	209
思考题	217
第 7 章 框架-剪力墙结构	218
7.1 框架-剪力墙结构协同工作基本概念	218
7.2 框架-剪力墙结构内力位移简化计算	221
7.3 刚度特征值 λ 对结构荷载受力及位移的影响	230
7.4 框架-剪力墙结构设计及构造要求	231
思考题	237
第 8 章 筒体结构	238
8.1 分类和受力特点	238
8.2 一般规定	244
8.3 框架-核心筒结构布置、设计要点及构造要求	248
8.4 筒中筒结构布置、设计要点及构造要求	251
8.5 个案分析——上海中心大厦	254
思考题	261
第 9 章 单层厂房结构	262
9.1 概述	262
9.2 单层厂房的结构组成与布置	263
9.3 排架的内力计算	276
9.4 单层厂房柱	303
9.5 柱下独立基础	313
9.6 屋盖结构	320
9.7 吊车梁	328

9.8 单层厂房抗震设计	332
思考题	342
习题	342
第 10 章 结构设计总论	344
10.1 结构设计的流程	344
10.2 结构设计的依据	345
10.3 结构设计的步骤及内容	346
10.4 计算结果的评价准则	357
思考题	360
附录 A 等截面等跨连续梁在均布荷载和集中荷载作用下的内力系数表	361
附录 B 双向板在均布荷载作用下的挠度和弯矩系数表	368
附录 C 各种荷载作用下柱的标准反弯点高度比及修正值	373
附录 D 单阶柱柱顶反力与水平位移系数表	379
参考文献	382

第1章 绪 论

1.1 房屋建筑的特点及发展

1.1.1 房屋建筑的分类

房屋建筑具有很宽的范畴。根据使用功能不同,房屋建筑可分为民用建筑、工业建筑和农业建筑。其中,民用建筑又可分为居住建筑和公共建筑两大类,居住建筑是指供人们生活起居用的建筑物,如普通住宅、公寓、宿舍、别墅等,而公共建筑是指供人们政治文化活动、办公、商业、生活服务等公共事业所需的建筑物,如办公建筑、文教建筑、科研建筑、托幼建筑、医疗建筑、旅馆酒店建筑、商业建筑、体育建筑、交通建筑、通信建筑、展览建筑、生活服务建筑等;工业建筑是指生产性建筑,如厂房(机房)、仓库、辅助附属用房等;农业建筑是指农副业生产建筑,如温室、畜禽饲养场、水产品养殖场、农副产品加工厂、粮仓等。

根据建筑的层数和高度不同,房屋建筑通常可分为单层、多层、高层和超高层建筑。建筑高度是指室外地面到主要屋面板板顶或檐口的高度。《民用建筑设计通则》(GB 50352—2005)规定,住宅建筑1~3层为低层住宅,4~6层为多层住宅,7~9层为中高层住宅,10层及10层以上为高层住宅;除住宅建筑之外的民用建筑高度不大于24m者为单层或多层建筑,大于24m者为高层建筑(不包括建筑高度大于24m的单层主体建筑);建筑高度大于100m的民用建筑为超高层建筑。

根据所用的材料不同,房屋建筑可分为混凝土结构、钢结构、砌体结构、钢—混凝土混合结构等常见的类型。在不同国家、不同地区、不同条件下,如何正确选用材料,充分利用其优点、克服其缺点,是经济合理地建造房屋建筑的关键问题。

1. 混凝土结构

混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。素混凝土结构因材料的抗拉性能较差,主要用于受压为主的构件,如刚性基础和基础垫层等;钢筋混凝土结构经合理设计可使得钢筋和混凝土两种材料材性能优势充分互补,表现出良好的整体受力性能,且具有良好的抗震性能和防火性能,是目前我国最广泛应用的建筑结构形式;预应力混凝土结构是针对大跨钢筋混凝土结构抗裂性差的缺点,在构件受拉区预先施加预应力而形成的结构,其适用于跨度较大的梁板结构。目前国内最高的混凝土结构建筑是广州的中信大厦(80层、高390m)。

2. 钢结构

钢结构是以钢材为主要承重骨架而建造的结构。钢材强度高、韧性大、易于加工,因而钢结构具有结构断面小、自重轻、抗震性能好、施工方便等优点。其适用于低层、多层

建筑。当用于高层建筑,其造价较高。钢材耐火性能不好,需要用大量防火涂料,进而会增加工期和造价。目前国内最高的钢结构建筑是香港的中环中心(73层、高346m)。

3. 砌体结构

砌体结构是由砖砌体、砌块砌体或石砌体用砂浆砌筑组合在一起的结构,主要用于低层、多层建筑。由于取材容易,造价较低,施工方便,广泛地应用于我国多层房屋建筑中。但由于砌体是一种脆性材料,其抗剪、抗拉、抗弯等力学性能欠佳,因而砌体房屋的抗震性能往往较差。

4. 钢-混凝土混合结构

钢-混凝土混合结构是由钢和混凝土两种材料共同承受荷载的结构。这种结构可以使两种材料互相取长补短,取得经济合理、技术性能优良的效果。目前有两种组合方式。

(1) 用钢材加强钢筋混凝土构件形成组合构件。如钢骨混凝土构件和钢管混凝土构件。钢骨混凝土构件是将型钢(如工字钢、角钢或撑钢)配置在钢筋混凝土梁、柱中而形成的构件。钢管混凝土构件是指钢管内填充混凝土,做成外包钢的混凝土构件。前者可充分利用外包混凝土的刚度和耐火性能,又可利用钢骨减小构件断面和改善抗震性能,目前应用较为普遍。在高度较高的建筑中,地下室和底部几层的梁、柱构件常采用钢骨混凝土构件。

(2) 部分抗侧力结构用钢结构,另一部分采用钢筋混凝土结构(或部分采用钢骨混凝土结构)。这种结构可称为混合结构,多数情况下核心筒或剪力墙为钢筋混凝土构件,框架梁柱为钢构件。钢-混凝土混合结构已成为超高层建筑的主要结构类型。

本书以钢筋混凝土多高层建筑为主进行讲解,但书中讨论的结构体系和布置、荷载和设计要求、各种结构体系的内力和位移计算,其原理和方法也适合于高层建筑钢结构和混合结构。

1.1.2 多层与高层建筑的区分

目前世界各国对多层和高层建筑没有统一的划分标准,这主要是由于对高层建筑的界定在国际上尚缺乏统一的标准。尽管如此,高层建筑被公认是一种因其高度的影响,而在国家或地区的规划、设计和建造中,需要特殊对待的建筑类型。

美国高层建筑与城市居住委员会(CTBUH)对高层建筑的界定综合考虑了以下三方面因素。

(1) 当地的平均建筑高度。比如,一个12层的建筑在上海、香港和芝加哥这样的城市就不能称为是高层建筑,而在欧洲的大多城市则可视是高层建筑;

(2) 高宽比。一些建筑高度并不高,但高宽比较大,可视是高层建筑,相反,一些建筑高度较高,但高宽比较小,仍不应称其为高层建筑;

(3) 应用了一些公认的高层建筑技术,如采用特殊的垂直运输技术、抗风支撑和阻尼系统设计等。这样的建筑可视是高层建筑。

尽管CTBUH认为仅凭借层数和高度来界定高层建筑是片面的,但考虑到层数和高度仍不失为最便捷的界定尺度,因此建议14层或50m作为多层和高层的界限。

在我国现行规范中,没有专门关于多层钢筋混凝土结构设计的规范,《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(以下简称《混规》)重点是构件的设计,《建筑抗震设计规

范》(GB 50011—2010)(以下简称《抗规》)也没有对多层与高层钢筋混凝土结构设计的差异作出相应规定。在工程实际中的处理方法是,所有的钢筋混凝土多高层建筑均必须遵守《混规》和《抗规》。对于高层钢筋混凝土建筑,除了必须遵守《混规》和《抗规》外,还必须遵守《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)(以下简称《高规》)。《高规》1.0.2条规定,该规程适用于10层及10层以上或房屋高度大于28m的住宅建筑以及房屋高度大于24m的其他高层民用建筑混凝土结构。对于不符合《高规》中高层界定的钢筋混凝土民用建筑,也可参照《高规》的相关规定执行。

从结构的角度来看,房屋建筑要承受竖向荷载和水平荷载,还可能承受地震作用。实际上多层建筑和高层建筑由于荷载效应的不同,在结构设计特别是抗震设计上有着较大差异。对于多层房屋结构,水平力(尤其是风荷载)产生的影响较小,结构以抵抗竖向荷载为主,侧向位移小,通常可忽略不计。而对于高层房屋结构,水平力(风荷载和水平地震作用)产生的效应(如内力和位移)随高度迅速增大,如图1-1所示,若将房屋结构看成是一根简单的竖向悬臂构件,竖向荷载产生的轴力与高度成正比;水平力产生的弯矩与高度的二次方成正比;水平力产生的侧向顶点位移与高度的四次方成正比。

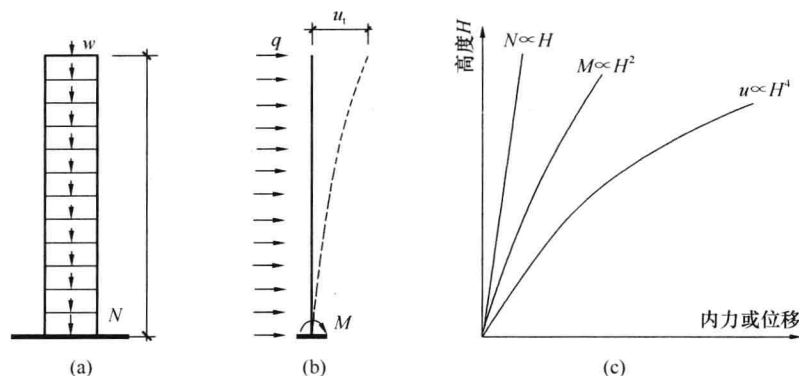


图 1-1 房屋高度对结构内力和位移的影响

(a) 竖向荷载引起的轴力; (b) 水平荷载引起的弯矩和侧移;

(c) 轴力、弯矩和侧移与高度的关系

由图1-1可见,随着高度增大,侧向位移增加最快,弯矩次之。这说明高层建筑设计中,不仅需要结构具有足够的承载力,而且必须使结构具有足够的抵抗侧向力的刚度(简称为抗侧刚度),使水平荷载产生的侧向变形限制在一定范围内。过大的侧向变形产生的负面影响主要表现在:

(1) 使人不适并产生恐慌,影响使用。在风荷载作用下,必须保证人在建筑物内正常工作与生活。在地震作用下,过大的侧向位移,更会造成人们的不安。

(2) 使结构产生附加内力,在地震作用下会引起房屋倒塌。这是因为建筑物上的竖向荷载在侧向变形下将产生附加弯矩,即所谓 $P-\Delta$ 效应,这也是大震作用下房屋倒塌的主要原因之一。

(3) 使填充墙或建筑装修出现裂缝或损坏,还会使电梯轨道变形。

(4) 使主体结构出现裂缝,甚至损坏。

高层建筑结构与多层建筑结构相比,结构专业在各专业中占有更重要的地

位。不同的结构体系的选择,直接关系到建筑平面布置、立面体型、楼层高度、机电管道的设置、施工技术要求、施工工期的长短和投资造价的高低。

此外,高层建筑减轻自重比多层建筑更有意义。从地基承载力和桩基承载力考虑,如果在同样的地基和桩基条件下,减轻房屋自重意味着不增加基础的造价和地基的处理措施,可以多建层数,这在软弱土层上有突出的经济效益。

1.1.3 房屋建筑的发展

1. 国外房屋建筑发展概况

国外房屋建筑的发展,根据各个阶段的特点,大体可分为三个阶段。

(1) 第一阶段是19世纪中期以前,由于主要建筑材料是砖石和木材,以及设计手段和施工技术的限制,一般只能建造6层及以下的建筑。

(2) 第二阶段是19世纪中期开始到20世纪50年代初。由于1855年发明了电梯系统,才使得人们能够建造更高的建筑。现代的高层建筑最早诞生于美国,1885年在美国芝加哥建成的家庭保险大楼(Home Insurance Building)(10层、高42m),采用铸铁框架承重结构,被认为是世界上第一幢高层建筑。它标志着一种区别于传统砌筑结构的新结构体系的诞生,在结构体系和材料应用等方面开创了历史新纪元。美国纽约于1898年建成公园街大厦(Park Row Building)(30层、高118m),是19世纪世界上最高的建筑。1931年美国纽约曼哈顿建造了102层、高381m的著名帝国大厦(Empire State Building),它保持世界最高建筑达41年之久。世界上最早的钢筋混凝土框架结构高层建筑,是1903年在美国辛辛那提建造的英格尔斯大楼(Ingalls Building)(16层、高64m)。这一时期,虽然高层建筑有了比较大的发展,但受到设计理论和建筑材料的限制,结构材料用量较多、自重较大,仅限于框架结构,且未考虑地震影响。

(3) 第三阶段从20世纪50年代开始,由于在轻质高强材料、抗风抗震结构体系、新的设计理论、计算机在设计中的应用、施工技术及施工机械等方面都取得了较大的进步,使得房屋建筑,尤其是高层建筑得到了大规模的迅速发展。1972年在纽约建造了世界贸易中心大楼(World Trade Center)(110层、高412m),钢结构。1974年美国在芝加哥建成西尔斯大厦(Sears Tower)(110层、高443m),钢结构,该建筑于2009年更名为威利斯大厦(Willis Tower,又译韦莱大厦)。1955年波兰华沙建成的文化科学宫(Palace of Culture and Science)(42层、高231m)。日本于1964年废除了建筑高度不得超过31m的限制,于1968年建成了36层的霞关大厦,高147m,以后陆续兴建了多幢超过100m的高层建筑。

20世纪90年代,亚洲成为经济发展最快的地区,日本、韩国、中国、新加坡、马来西亚、阿联酋和沙特等国家,陆续建成了超过300m的高层建筑。1997年建成的马来西亚吉隆坡石油双塔(Petronas Twin Towers),88层,高452m。2010年建成的阿联酋迪拜塔(Burj Dubai Tower)是目前全球最高的建筑(163层、高828m)。

2. 国内房屋建筑发展概况

我国是房屋建筑发展历史悠久的国家。早在公元524年建造的河南嵩岳寺塔,为15层单筒木结构,高50m;公元704年在西安建造的大雁塔,为砖木结构,共7层,总高64m;公元1055年在河北定县建造的料敌塔,11层筒体结构,高82m;堪称世界木结构

奇迹的山西应县木塔，建于公元 1056 年，9 层，高 67m，是迄今保存得最完好、最古老、最大的木塔。这些古老的高塔建筑经受住了几百年乃至上千年的风吹雨打，甚至若干次大地震的考验。这说明我国古代在建筑设计、结构体系选择、施工技术和方法上具有很高的水平。

就近代高层建筑而言，在相当长的一段时期内发展较慢，以至于在 1980 年 CTBUH 统计的“世界各主要城市中的高层建筑”记录中，中国上榜的高层建筑只有 2 座。20 世纪 50 年代我国开始自行设计、建造高层建筑，如北京的民族饭店（14 层）、民航大楼（16 层）等。60 年代建成的广州宾馆（27 层），其高度与新中国成立前最高的上海国际饭店相同。70 年代北京、上海、广州等地建成了一批剪力墙结构住宅和旅馆。1975 年广州白云宾馆（剪力墙结构，33 层，112m）的建成，标志着我国自行设计建造的高层建筑高度开始突破 100m。20 世纪 80 年代改革开放后，高层建筑的规划设计活动在一些大城市迅速开展起来。一大批 100m 以上的超高层建筑崛起于沿海开放地区。首先是在广州、深圳、上海、北京、南京、天津、武汉、西安等大城市中大量建设，继而又在一些经济建设发展较快的中小城市中，有如雨后春笋般地大量发展起来，整体的建设规模和建设速度都是空前的。20 世纪 90 年代我国高层建筑进入飞跃发展的阶段，随着我国经济实力的增强，高层建筑在我国得到了前所未有的发展。具有代表性的建筑有：上海环球金融中心（高 492m、101 层），上海金茂大厦（高 421m、88 层）、香港国际贸易中心（高 484m、108 层）、南京紫峰大厦（高 450m、66 层）、深圳京基 100 大厦（高 442m、100 层）、广州国际金融中心（高 439m、103 层）等。

表 1-1 为 2012 年 CTBUH 公布的世界前十幢最高的建筑，我国有六幢建筑榜上有名。2004 年建成的台北 101 大厦（高 508m、地上 101 层、地下 5 层）目前是中国第一高楼，如图 1-2 所示；2008 年建成的上海环球金融中心（高 492m、101 层）目前是中国大陆第一高楼，如图 1-3 所示。

世界前十幢最高的建筑（CTBUH 2012 年发布）

表 1-1

序号	名称	城市	建成年份	层数	高度 (m)	结构类型	用途
1	迪拜塔	阿联酋	2010	163	828	钢-混凝土	多功能
2	台北 101 大厦	台北	2004	101	508	钢-混凝土	办公
3	上海环球金融中心	上海	2008	101	492	钢-混凝土	多功能
4	香港国际贸易中心	香港	2010	108	484	钢-混凝土	多功能
5	石油双塔 1	吉隆坡	1998	88	452	钢-混凝土	办公
6	石油双塔 2	吉隆坡	1998	88	452	钢-混凝土	办公
7	紫峰大厦	南京	2010	66	450	钢-混凝土	多功能
8	威利斯大厦	芝加哥	1974	110	442	钢	办公
9	京基 100 大厦	深圳	2011	100	442	钢-混凝土	多功能
10	广州国际金融中心	广州	2010	103	439	钢-混凝土	多功能

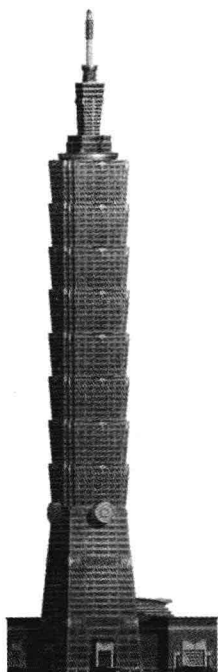


图 1-2 台北 101 大厦

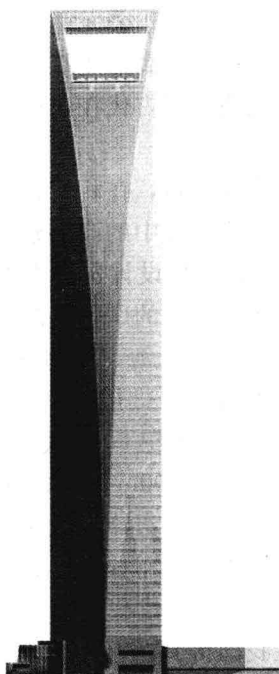


图 1-3 上海环球金融中心

1.2 结 构 体 系

结构体系是指结构抵抗外部作用的构件的组成方式。结构体系由水平分体系、竖向分体系和基础分体系三部分构成。

1.2.1 水平分体系

水平分体系有楼盖结构和屋盖结构两部分。楼（屋）盖体系作为房屋的水平构件，起着支承竖向荷载和传递水平荷载的作用。由于楼（屋）盖面积大、层数多，其工程造价一般占整个土建造价的 30% 以上，而且随着房屋层数的增加，其比例也逐渐加大；另外，楼（屋）盖也严重影响建筑物的舒适性和美观性。降低楼盖结构层的高度，对减小总建筑高度、节约能源有重要意义。

屋盖是房屋建筑屋顶的结构组成部分，其主要类型有：屋面板、屋面梁构成的板-梁体系；屋面板、檩条、桁架构成的桁架体系；屋面板、网架构成的网架体系；拱板、壳体构成的拱体系和壳体系；由索或薄膜构成的索体系和膜体系。

楼盖结构按其构件的组成方式又可分为有梁和无梁楼盖。

有梁楼盖根据梁、柱的结构布置情况，又可分为单向板肋梁楼盖、双向板肋梁楼盖、井式楼盖和密肋楼盖。井式楼盖和密肋楼盖的区别是，密肋楼盖中梁与梁的间距较小，通常将两个方向梁间距不大于 1.5m 的楼盖称为密肋楼盖。

无梁楼盖是一种双向受力楼盖，又分为实心无梁楼盖和空心无梁楼盖，其中，实心无

梁楼盖是一种成熟的结构形式；空心楼盖是在普通混凝土楼板中填充一些圆柱状或块状的空心、轻质、价廉的一次性填充内模，以达到减小混凝土的用量、减轻楼盖自重的目的。无梁楼盖的楼板直接支承在柱或墙等竖向结构构件上，使楼层空间布置摆脱梁的制约，房间间隔的变化灵活，适合于大跨度、大空间和灵活变化空间的商场、教学楼、图书馆及停车场等建筑。

此外，还有后张无粘结预应力现浇板、压型钢板-混凝土组合楼盖、钢梁-混凝土组合楼盖、网架-混凝土组合楼盖等多种形式。

楼盖结构应具有适宜的舒适度。楼盖结构的竖向振动频率不宜小于 3Hz，竖向振动加速度峰值不应超过表 1-2 的限值规定。

楼盖竖向振动加速度限值

表 1-2

人员活动环境	峰值加速度限值 (m/s^2)	
	竖向自振频率不大于 2Hz	竖向自振频率不小于 4Hz
住宅、办公	0.07	0.05
商场及室内连廊	0.22	0.15

注：楼盖结构竖向自振频率为 2~4Hz 时，峰值加速度限值可按线性插值选取。

1.2.2 竖向分体系

竖向分体系主要由柱、墙、筒等竖向构件构成。它既是竖向承重结构体系（主要承受由竖向荷载产生的效应），又是竖向抗侧力结构体系（主要承受水平风荷载和水平地震作用产生的效应）。尤其在高层建筑中，抵抗水平力成为设计的主要矛盾，因此竖向抗侧力体系的确定和设计成为结构设计的关键问题。房屋建筑中基本的抗侧力单元有框架、剪力墙、实腹筒（又称井筒）、框筒及支撑等，由这几种单元可以组成下列多种结构体系。

1. 框架结构

由梁和柱构件组成的结构单元称为框架。全部竖向荷载和侧向荷载由框架承受的结构体系为框架结构。

框架结构的优点是建筑平面布置灵活，可以做成有较大空间的会议室、餐厅、车间、营业室、教室等。需要时，可用隔断分隔成小房间，或拆除隔断改成大房间，因而使用灵活。外墙用非承重构件，可使立面设计灵活多变。如果采用轻质隔墙和外墙，就可大大降低房屋自重，节省材料。

框架抗侧刚度主要取决于梁、柱的截面尺寸。通常梁柱截面惯性矩小，侧向变形较大，这是框架结构的主要缺点，也因此而限制了框架结构的使用高度。

在高度不大的高层建筑中，框架体系是一种较好的体系。当有变形性能良好的轻质隔断及外墙材料时，钢筋混凝土框架可建造到 30 层左右。地震区因地震作用下结构的侧移限制，框架结构建造高度不宜太高。图 1-4 是框架结构的一些平面布置形式。

2. 剪力墙结构

由钢筋混凝土剪力墙承受竖向荷载和抵抗侧向力的结构称为剪力墙结构。剪力墙同时也起着围护及分隔空间的作用。剪力墙结构包括全部落地剪力墙结构、部分框支剪力墙结构和短肢剪力墙结构。

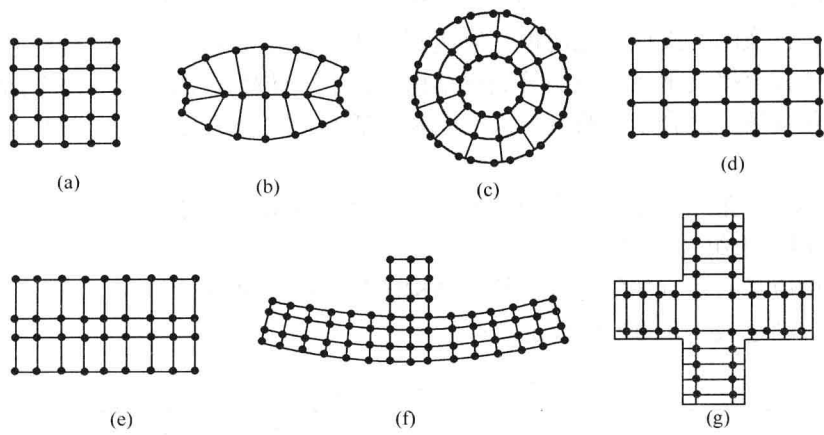


图 1-4 框架结构平面布置方案示意

部分框支剪力墙结构是指上部楼层部分剪力墙因建筑的要求不能直接连续贯通到底层，需要通过设置转化结构构件，如梁、桁架、斜撑、箱形结构等，将荷载传递到下部结构构件的一种较为复杂的结构形式。

短肢剪力墙结构是指具有较多短肢剪力墙的剪力墙结构。短肢剪力墙是指墙肢厚度小于 300mm，且截面高厚比大于 4 但不大于 8 的剪力墙构件。

现浇钢筋混凝土剪力墙结构的整体性好，刚度大，在水平荷载作用下侧向变形小，承载力要求也容易满足，因此剪力墙结构适合于建造较高的高层建筑。经过合理设计，剪力墙结构可以成为抗震性能良好的延性结构。从历次国内外大地震的震害情况分析可知，剪力墙结构的震害一般比较轻。

剪力墙结构的缺点和局限性也是很明显的。主要是剪力墙间距不能太大，平面布置不灵活，不能满足公共建筑的使用要求。此外，结构自重往往也较大。

剪力墙结构适用于住宅、公寓、饭店、医院病房楼等平面墙体布置较多的建筑。图 1-5 是一些剪力墙结构平面布置示例。

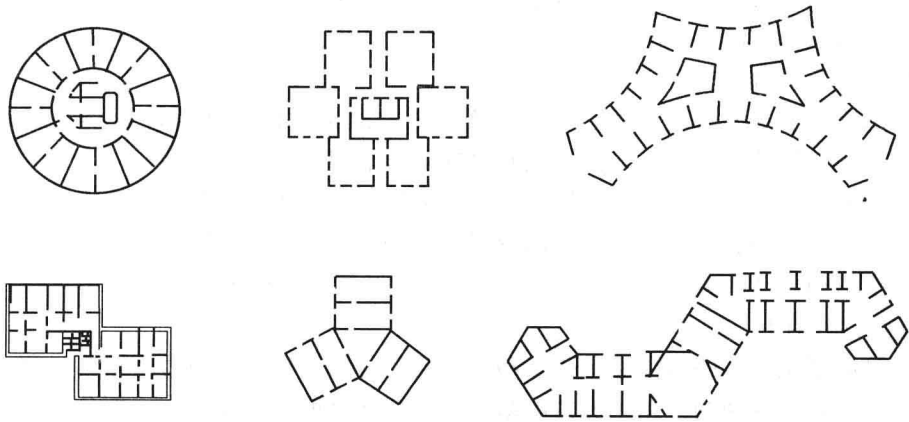


图 1-5 剪力墙结构平面布置方案示意

3. 框架-剪力墙结构

在框架结构中设置部分剪力墙，使框架和剪力墙两者结合起来，取长补短，共同抵抗水平荷载，就组成了框架-剪力墙结构体系。在结构上，这是提高材料利用率的一种途径，在建筑布置上，则往往利用剪力墙作电梯间、楼梯间和竖向管道的通道，也十分合理。

框架-剪力墙结构中，由于剪力墙刚度大，剪力墙将承担大部分水平力（有时可达80%~90%），是抗侧力的主体，与框架结构相比，整个结构的侧向刚度大大提高。框架主要承担竖向荷载，提供了较大的使用空间，同时也承担少部分水平力。

框架-剪力墙结构比框架结构的刚度和承载能力都有较大地提高，在地震作用下层间变形减小，因而也就减小了非结构构件（隔墙及外墙）的损坏，这样无论在非地震区还是地震区，这种结构形式都可用来建造较高的高层建筑，目前我国得到广泛的应用。

4. 板柱结构和板柱-剪力墙结构

板柱结构是指钢筋混凝土无梁楼板和柱组成的结构。在板柱结构中设置剪力墙，或将楼、电梯间做成钢筋混凝土筒，就成为板柱-剪力墙结构。

此类结构采用现浇钢筋混凝土，水平构件以板为主，仅在外圈采用梁柱框架，竖向构件有柱、剪力墙或核心筒，抗水平地震作用主要靠剪力墙或核心筒，板柱结构的侧向刚度较小，因此纯板柱结构不宜用于高层建筑。

此类结构由于无楼层梁便于机电管道通行，有利于减小层高，在城市规划限制房屋总高度的条件下能争取增加层数，从而可增大建筑面积以取得更好的经济效益。此类结构适用于商场、图书馆的阅览室和书库、仓储楼、饭店、公寓、多高层写字楼及综合楼等房屋。

5. 筒体结构

筒体结构属于整体空间受力结构，在水平荷载作用下可视为固定于基础上的箱形悬臂构件，它比单片的平面结构具有更大的侧向刚度和承载力，且具有很强的抗扭能力。随高度的增高，其空间作用越明显，一般宜用于60m以上的高层。

筒体结构的基本抗侧力单元有三种：① 实腹筒（井筒）（图1-6a），由楼电梯间或竖

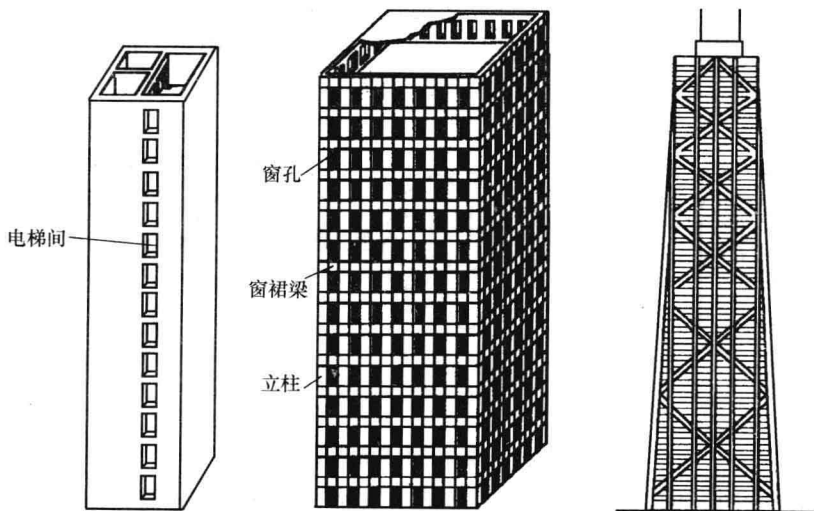


图 1-6 筒体结构的三种基本抗侧力单元

(a) 实腹筒；(b) 框筒；(c) 桁架筒

向设备管井组成，水平截面为箱形，呈竖向放置的薄壁悬臂梁；② 框筒（深梁密柱）（图 1-6b），由布置在房屋四周的密集立柱和高跨比很大的窗裙梁所组成的多孔筒体；③ 桁架筒（图 1-6c），四壁是由竖杆和斜杆形成的桁架组成。

由上述三种基本抗侧力单元组成的筒体结构，可根据房屋高度、水平荷载大小，采用四种不同的形式：框筒结构、框架-筒体、筒中筒及成束筒。

（1）框筒结构

框筒结构是指在外框筒内部布置只承受竖向荷载的梁柱体系，该结构是由美国著名结构工程师坎恩（Fazler R. Khan）首次提出的。水平荷载全部由外框筒承担。它适用于房屋平面接近正方形或圆形的塔式建筑中。这种体系在 1965 年建成的美国芝加哥 43 层切斯特纳特公寓大楼（Dewitt Chestnut Apartment Building）中得到应用。该楼平面尺寸为 $38.1\text{m} \times 24.7\text{m}$ ，密集外柱的柱距为 1.68m ，窗裙梁高 0.61m ，楼面为厚 0.2m 的无梁楼盖。为扩大这种体系的入口通道，通常采用巨大的拱、横梁或桁架等支承上部结构，以减少底层密集立柱的数目。横梁或桁架有时可高达 $1 \sim 2$ 层，通常利用这个空间作为设备层。

框筒结构体系，在水平荷载作用下外框筒的剪力滞后效应较大，结构的潜能（包括内部梁柱及外框柱）和空间效应发挥较差，目前已基本不用，但在框筒结构基础上发展起来的框架-筒体结构、筒中筒结构、成束筒结构成为建造 50 层以上高层建筑的主要结构体系。例如，美国 1931 年建造 102 层的帝国大厦时，采用了钢框架—剪力墙体系，用钢量达 0.21t/m^2 ；1972 年建造 110 层世界贸易中心时，采用了钢的筒中筒结构，用钢量为 0.18t/m^2 ；1974 年建造 110 层的西尔斯大楼时，采用了钢的成束筒结构，用钢量仅为 0.16t/m^2 。

（2）框架-筒体结构

框架-筒体结构的布置有多种可能，常用的有以下两种类型：第一类框架-筒体是利用房屋中部的电梯间、楼梯间、设备间等墙体做成剪力墙内筒。它适用于房屋平面为正方形、圆形、三角形、Y 形或接近正方形的矩形平面的塔式高楼（图 1-7）；第二类框架-筒体是把剪力墙筒体布置在房屋的两端。它适用于房屋平面为矩形的高层房屋，如图 1-8（a）所示；当然，矩形平面的高层房屋也可以将筒体布置在中央，但这时应在房屋的两端加设剪力墙，如图 1-8（b）所示。

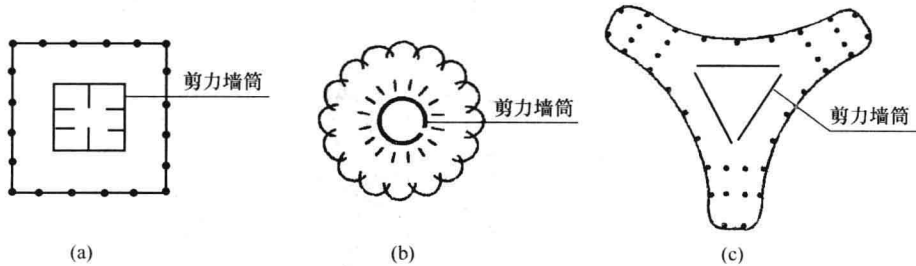


图 1-7 框架-筒体结构形式之一

近年在我国建成的超高层建筑，大多是用钢筋混凝土做核心筒，用钢筋混凝土和钢柱做框架的混合结构，如深圳的地王大厦（ 384m 、69 层）和上海的金茂大厦（ 421m 、88 层）。