



全国普通高等学校土木工程专业
“卓越工程师教育培养计划”精品教材

高层建筑结构

High-rise Building Structure

郝庆莉 韩 青 主编

 江苏科学技术出版社

全国普通高等学校土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”精品教材

高层建筑结构

主 编：郝庆莉 韩 青
参 编：时金娜 郭莹莹
主 审：高 娃

编写委员会：（按姓氏音序排列）

白建文	包建业	曹玉生	刁 钰	高爱军
高 娃	郭佳民	郭莹莹	韩 青	郝庆莉
郝负清	贺培源	何晓雁	侯永利	李 永
梁悼生	刘炳娟	刘子杰	路 平	时金娜
王卓男	王安利	徐 蓉	杨晓明	张 磊
张淑艳	张振国			

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构/郝庆莉主编. —南京:江苏科学技术出版社,2013.3
全国普通高等学校土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”精品教材
ISBN 978-7-5537-0922-2

I. ①高… II. ①郝… III. ①高层建筑—建筑结构—高等学校—教材 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 042933 号

全国普通高等学校土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”精品教材 高层建筑结构

主 编 郝庆莉 韩 青
责任编辑 刘屹立
特约编辑 夏 莹
责任校对 郝慧华
责任监制 刘 钧

出版发行 凤凰出版传媒集团
凤凰出版传媒股份有限公司
江苏科学技术出版社
集团地址 南京市湖南路1号A楼,邮编:210009
集团网址 <http://www.ppm.cn>
出版社地址 南京市湖南路1号A楼,邮编:210009
出版社网址 <http://www.pspress.cn>
经 销 凤凰出版传媒股份有限公司
印 刷 天津泰宇印务有限公司

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 13.5
字 数 320 000
版 次 2013 年 3 月第 1 版
印 次 2013 年 3 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5537-0922-2
定 价 27.00 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

内 容 提 要

本书主要包括：高层建筑结构概述、高层建筑的结构体系与结构布置、高层建筑结构荷载与设计要求、框架结构内力与位移计算、剪力墙结构设计、框架-剪力墙结构设计、筒体结构。

本书满足高等学校“卓越工程师教育培养计划”的需要，可作为高等学校高层建筑结构课程的教材，也可供相关专业人员参考使用。

前 言

本书是根据教育部颁发的《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》等有关文件的精神，以及土木工程专业本科生教学大纲要求编写的。为使学生和读者了解最新国家标准及内容，本书依据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等新规范、新规程、新标准编写此教材。

为了全面推进素质教育，着力提升学生分析问题、解决实际问题的能力，本书无论是从编排体例、章节逻辑结构、理论阐释、例题解析，还是新技术、新工艺及新标准的应用方面，力求简明扼要、通俗易懂、实用有效。理论与实践、知识与能力、概念与例题的有机结合，是本书的重要特点。

本书将对高层建筑结构的基本知识、结构体系与结构布置、风荷载与地震作用、荷载效应组合与结构设计要求、多层框架结构设计、高层剪力墙结构设计、高层框架-剪力墙结构设计、高层筒体结构设计等问题进行讨论。在学习本书时，读者应具备结构力学及钢筋混凝土基本构件的知识。

本教材由内蒙古工业大学郝庆莉、韩青任主编，内蒙古工业大学时金娜、郭莹莹参编，内蒙古工业大学高娃担任主审。

在编写过程中参阅了较多的文献资料，谨向这些文献的作者致以诚挚的谢意。由于编者水平有限，编写时间仓促，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正，以便今后修订完善。

编 者
2013年2月

目 录

1 高层建筑结构概述	(1)
1.1 高层建筑结构的特点	(1)
1.2 高层建筑结构的发展	(2)
2 高层建筑的结构体系与结构布置	(4)
2.1 结构体系	(4)
2.2 建筑体形和结构总体布置	(17)
3 高层建筑结构荷载与设计要求	(28)
3.1 风荷载	(28)
3.2 地震作用	(33)
3.3 荷载效应组合与结构设计要求	(43)
3.4 高层建筑结构计算的基本假定	(49)
4 框架结构内力与位移计算	(52)
4.1 框架结构的设计步骤与内容	(52)
4.2 框架结构布置的特殊要求和梁、柱截面尺寸估算	(52)
4.3 框架结构计算简图	(54)
4.4 多层多跨框架在竖向荷载作用下的内力近似计算——分层法	(55)
4.5 多层多跨框架在水平竖向荷载作用下的内力近似计算——反弯点法	(61)
4.6 多层多跨框架在水平荷载作用下的内力计算——改进反弯点法(D 值法)	(68)
4.7 水平荷载作用下侧移的近似计算	(75)
4.8 荷载效应组合及最不利内力	(77)
4.9 截面设计	(80)
4.10 框架节点的设计	(83)
4.11 框架梁、柱的受力性能	(85)
4.12 构造要求	(88)
5 剪力墙结构设计	(97)
5.1 概述	(97)
5.2 整体剪力墙和小开口剪力墙的计算	(103)
5.3 联肢墙的计算	(107)
5.4 壁式框架的计算	(133)
5.5 剪力墙结构的分类	(135)
5.6 剪力墙的截面设计	(141)

5.7	剪力墙构造要求	(149)
5.8	连梁截面设计及构造要求	(153)
6	框架-剪力墙结构设计	(158)
6.1	概述	(158)
6.2	框架-剪力墙结构的内力计算	(161)
6.3	框架-剪力墙结构协同工作性能	(179)
6.4	框架-剪力墙结构构件的截面设计及构造要求	(181)
7	筒体结构	(192)
7.1	筒体结构分类和结构布置	(192)
7.2	筒体结构的计算	(196)
附录	规则框架承受均布及倒三角形分布水平力作用时反弯点的高度比	(201)
参考文献		(206)

1 高层建筑结构概述

内容提要

熟悉:高层建筑结构的特点。

了解:高层结构的发展。

1.1 高层建筑结构的特点

1.1.1 多层与高层建筑的划分

多层与高层建筑结构主要依据建筑物的层数和高度进行划分,我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)(以下简称《高层规程》)将 10 层及 10 层以上或者高度大于 28 m 的建筑物定义为高层建筑;其他小于上述规定的二层及二层以上的房屋称为多层建筑。在实际工程中,多层与高层建筑在设计内容和施工要求等方面没有太多的差别,只是高层建筑因为高度较大,设计、施工上需要考虑的因素更多一些。

1.1.2 高层建筑的设计特点

1. 建造高层房屋能够节约土地,有利于城市的规划

高层建筑是城市人口密集、土地价格昂贵的产物。因此,在有限的土地面积上,建造层数更多的高层房屋,可以节约土地,解决城市用地紧缺问题;也可以腾出更多的场地进行绿化,增加城市景观,提供休闲娱乐场所,丰富居民生活。城市建筑向高空发展,不仅减少了房屋的占地面积,也缩短了城市道路的长度和城市地下管线的长度。

但高层建筑密集会对城市造成“热岛效应”,大量的玻璃幕墙还会引起城市的光污染。

2. 高层建筑的建造和运行费用高,需引起投资者的重视

高层建筑由于需要设置电梯、通风、消防等设备,其建造费用高于多层建筑,同时电梯的使用、通风消防设备的维护以及建筑物的清扫,都增加了建筑的使用费用。

3. 水平荷载将成为结构设计的主要控制因素

从结构设计角度看,房屋结构要同时承受竖向荷载和水平荷载,还要抵抗地震作用。在低层结构中,水平荷载产生的内力和位移很小,通常可以忽略;在多层建筑结构中,水平荷载所产生的内力位移效应随结构高度的增加而逐渐增大,在高层建筑结构中,水平荷载和地震作用将成为结构设计的主要控制因素。高层房屋在风荷载作用下,将产生较大的侧向位移,使室内人员感到不舒适;在不大的地震作用下,侧向变形过大,会使建筑装修出现裂缝或损坏,使电梯轨道变形影响正常使用;侧向变形还会引起结构附加弯矩,使结构主体产生裂缝或损坏,甚至倒塌。所以必须把高层建筑的侧向位移控制在一定范围内。

如图 1-1 所示为结构荷载效应(轴力 N 、弯矩 M 、位移 Δ)与高度的关系,由图可知,随着房屋高度的增加,弯矩(M)与位移(Δ)都呈指数曲线上升,其中位移增加最快,与高度成四次方关系;弯矩与高度成二次方关系,增加速度次之;轴力与高度呈线性关系,其效应不如位移和弯矩那么明显。结构的整体弯矩和侧向位移主要由水平荷载产生,可以说,随着房屋高度的增加,水平荷载将成为结构设计的主要控制因素。

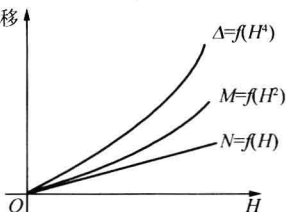


图 1-1 结构内力与高度关系

4. 高层结构的抗震设计应受到加倍重视

作用于房屋结构的水平荷载主要是风荷载和水平地震作用。特别是在地震区,地震作用对高层建筑的危害比多层建筑严重得多,高层结构的抗震设计应受到加倍重视。

5. 高层建筑设计更注重各工种间的协调

高层建筑设计需要考虑的因素多,因此建筑、结构、给水、通风等多工种的相互配合、协调就显得尤为重要。

1.2 高层建筑结构的发展

高层建筑是随着社会生产的发展和人类的生活需要而发展起来的,是商业化、工业化和城市化的结果。科学技术的进步,轻质高强材料的出现以及机械化、电气化、计算机在建筑中的广泛应用等,又为高层建筑的发展提供了物质和技术条件。世界上第一幢近代高层建筑是美国芝加哥的家庭保险公司大楼。该楼建于 1884 年,1886 年完工,第一次采用框架结构,10 层,高 55 m。

100 多年来,高层建筑的高度、体型和结构体系都在发展和创新。我国在近 30 余年间高层建筑得到了迅猛的发展。30 年前在我国中等城市很少看到高层建筑,而现今在一般的城市中高层建筑比比皆是。据 2010 年统计,在世界十大高楼中,海峡两岸及香港已囊括七栋。其中台北 101 大楼,认证高度为 508 m,超越位于马来西亚吉隆坡、高 452 m 的双子星大楼,其他六栋依次为:上海环球金融中心、南京紫峰大厦、深圳京基金融中心、广州国际金融中心、上海金茂大厦、香港国际金融中心。而 2004 年 9 月 21 日动工,2010 年 1 月 4 日竣工启用的迪拜哈利法塔以总高 828 m 的高度成为了世界第一高楼。图 1-2 给出了目前世界十大超高层建筑。

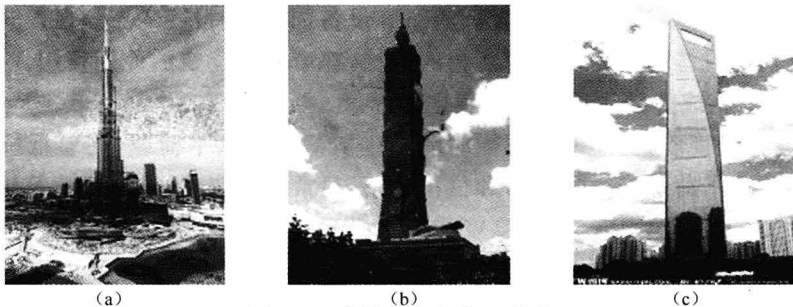


图 1-2 世界十大超高层建筑

(a) 迪拜哈利法塔, 828 m; (b) 台北 101 大楼, 508 m; (c) 上海环球金融中心, 492 m



(d)



(e)



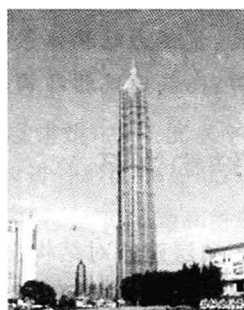
(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

续图 1-2 世界十大超高层建筑

(d) 吉隆坡双子星大楼, 452 m; (e) 南京紫峰大厦, 450 m; (f) 深圳京基金融中心, 446 m;
(g) 芝加哥西尔斯大厦, 443 m; (h) 广州国际金融中心, 432 m; (i) 上海金茂大厦, 421 m; (j) 香港国际金融中心, 416 m

高层建筑是现代城市的点缀或标志性建筑, 在设计中不但要着重于使用功能, 同时又要充分表现其美学功能。随着科学技术和经济的发展, 高层建筑的功能和形式越来越多样化, 商业、办公、公寓、娱乐等功能集于一体; 室内外环境相互融合。这些, 充分显示了科学和经济的发展对建筑领域的提升。

未来高层建筑的发展, 主要体现在以下几方面: 一是建筑材料, 向轻质、高强方向发展; 二是施工技术, 向机械化、高效率、快速安全方向发展; 三是设计手段, 向着快速、精确、可靠方向发展; 四是结构体系, 向着多样、经济、可靠、抗震性能更合理的发展方向。

2 高层建筑的结构体系与结构布置

内容提要

掌握:高层建筑结构体系。

熟悉:抗侧力结构体系的适用高度;建筑体形和结构总体布置。

了解:高层建筑的结构类型。

2.1 结构体系

由于高层建筑对结构强度、刚度、延性以及抗震性等方面的要求较高,所以,无论是在结构体系或是结构布置以及选用的材料方面都需要提高其承载能力、抗侧刚度、抗震性能。在设计和施工中要充分考虑高层建筑对性能、环境以及造价等多方面因素,选择合适的结构形式、结构体系和结构布置。

2.1.1 高层建筑的结构类型

按材料性能将高层建筑结构分为钢结构、钢筋混凝土结构和钢-钢筋混凝土组合结构。

1. 钢结构

钢结构材料强度高、韧性好、易于加工;高层钢结构具有构件断面小、自重轻、抗震性能好的特点;而且钢构件可以在工厂加工制作,在现场安装,有利于提高施工速度和构件的制作质量。但是,高层钢结构用钢量大、造价高、耐火性差,需要做特殊的处理。

2. 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构材料来源丰富、造价低、混凝土的可塑性强,易于建造各类形式的构件或房屋;混凝土材料强度虽然低于钢材,但混凝土构件的截面大、刚度大,有利于抵抗结构的侧向位移。钢筋混凝土结构的施工工期长,结构自重、承载力低,建造高度受到限制。目前世界上最高的钢筋混凝土高层建筑是朝鲜平壤市的柳京饭店,地面以上 101 层,高 305.4 m,芝加哥的水塔广场大厦位居其次,共 76 层,高 262 m。

3. 钢-钢筋混凝土组合结构

这种结构吸收了钢结构和混凝土结构两种结构的优点,克服了各自的缺点,根据工程需要,进行不同方式组合,取得了经济合理、技术性能优良的效果。目前有以下几种组合方式。

(1) 型钢混凝土组合方式。即把型钢、钢管等钢材放在混凝土构件内部,形成型钢混凝土(或称为劲性钢筋),以充分利用外包混凝土的刚度和耐火性能,又可利用型钢减小构

件断面和改善抗震性能,目前应用比较普遍。还有一种方式是在钢管内部填充混凝土,利用混凝土提高构件的刚度。

(2)混合结构组合方式。即在结构中,一部分抗侧力结构用钢结构,另一部分用钢筋混凝土结构(或部分采用钢骨混凝土结构)。在这种混合结构中,多数用钢筋混凝土做筒体或剪力墙,用钢材做框架梁、柱。如上海的金茂大厦,就是用钢筋混凝土做核心筒、外框用钢骨混凝土和钢柱的混合结构。

我国在高层建筑中仍以使用钢筋混凝土材料为主,目前正在加强对轻质混凝土的研究和推广,钢结构高层建筑已有了相当的数量,随着我国经济实力和钢产量的提高,钢结构建筑也一定会得到良好的发展。

2.1.2 高层建筑的结构体系

结构体系是指结构抵抗外部作用的构件组成方式。在高层建筑中,抵抗水平力成为结构设计的主要矛盾,因此,抗侧力体系的确定和设计成为结构设计的主要问题。

高层建筑的基本抗侧力单元是框架、剪力墙(抗震墙)、筒体(包括实腹筒和框架筒)以及支撑,由这几种抗侧力单元可以组合成多种结构体系。

1. 框架结构

1)结构的构成

由梁、柱构件组成并形成刚性节点的平面结构体系称为框架。如果整幢结构都由框架作为抗侧向力单元,承受结构的竖向和水平作用,就称为框架结构体系,有时称为纯框架结构。(框架的梁柱可以是钢的也可以是钢筋混凝土的;从施工方面看,可以是整体现浇也可以是装配式或装配整体式。)

框架结构的优点:

(1)建筑平面布置灵活,分隔方便,容易形成大空间,立面无约束,可以设计得灵活多变;

(2)填充墙采用轻质材料,减轻房屋重量,减小地震作用,减少材料用量;

(3)整体性、抗震性能好,设计合理时结构具有较好的塑性变形能力。

其缺点是:侧向刚度小,抵抗侧向变形能力差。正是这一点,限制了框架结构的建造高度。

2)结构的位移特征

框架结构在水平力作用下的受力变形特点,如图 2-1 所示。其侧移由两部分组成:一部分是由梁柱弯曲变形产生的,另一部分是由柱轴向变形产生的侧移。

在水平荷载作用下,框架梁柱所产生的内力包括弯矩(图 2-2)、剪力和轴力,在弯矩作用下,梁柱发生弯曲,且有反弯点,如图 2-1(b)所示,梁柱弯曲引起框架的整体侧向位移。由于框架结构下部的梁柱内力大,所以,层间变形大,愈到上部层间变形愈小,框架的整体变形呈现剪切型(图 2-3)。如图 2-1(c)所示,反映出框架在水平荷载作用下,柱的拉伸和压缩使结构出现侧移。这种侧移在上部各层较大,愈到底部层间变形愈小,使整个结构呈现弯曲型变形。在全部侧向位移中主要是由梁柱弯曲引起的,随着建筑高度的增加,柱轴向变形引起的侧移会逐渐增大,但合成以后框架的变形仍然呈现剪切型特征。

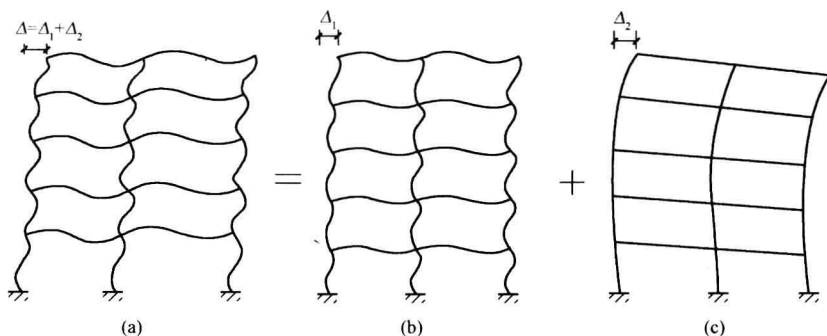


图 2-1 框架侧向变形

(a) 总变形; (b) 梁柱弯曲变形; (c) 柱轴向变形

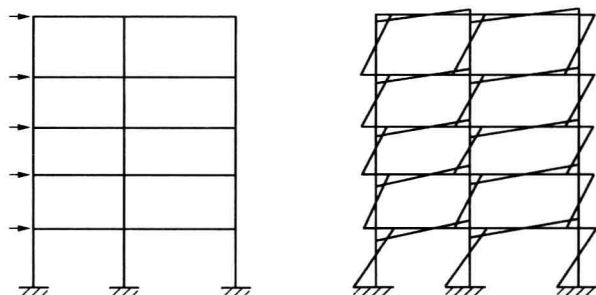


图 2-2 框架弯矩图

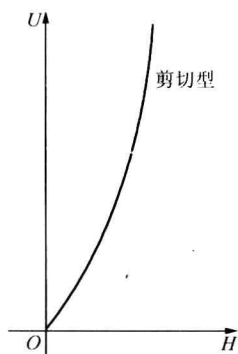


图 2-3 框架位移特征

框架抗侧移的能力,即框架的抗侧移刚度,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,因而也限制了框架结构的使用高度。

通过合理设计,钢筋混凝土框架可以获得良好的延性,即设计成“延性框架”。延性框架具有较好的抗震性能。但是,框架结构的层间变形比较大,在地震区,会引起非结构构件的破坏,需要慎重设计。

框架结构构件类型少,易于标准化、定型化,可以采用预制构件,也易于采用定型模板做成现浇结构,有时还可以采用现浇及预制梁板的半现浇半预制结构。现浇结构的整体

性好,抗震性能好,在地震区应优先采用。

综上所述,在高度不大的高层建筑中,框架体系是一种较好的体系;目前我国的框架结构以 20 层以下为宜。

2. 剪力墙结构

在钢筋混凝土结构中,利用建筑物墙体(一般是实心的钢筋混凝土墙片)作为承受竖向荷载、抵抗水平荷载的结构,成为抗侧力单元,称为剪力墙结构体系。墙体同时也作为维护及分隔房间的构件。

在纯剪力墙结构中,由于剪力墙要承受房屋的竖向荷载,所以,墙体的间距就受到楼板跨度的影响,一般为 3~8 m,仅适用于诸如旅馆、住宅类较小开间的建筑。剪力墙结构由于墙体间距的限制,使得其平面布置不灵活,建筑空间小,不能满足公共建筑的使用要求,而且结构自重较大,施工工期较长。

换言之,剪力墙结构的缺点是:受楼板跨度的限制,剪力墙间距不能太大,建筑平面布置不够灵活。

通常剪力墙均采用现浇钢筋混凝土结构,其整体性好,承载力高,抗侧移刚度大,在水平荷载作用下的结构变形小,容易满足抗震要求,适合于建造 30~40 层的高层建筑。实践证明,经过合理的设计,剪力墙结构也可以具有良好的延性。剪力墙内配置钢骨,成为钢骨混凝土剪力墙,可以改善剪力墙的抗震性能。

剪力墙结构的优点是:

- (1)整体性好、刚度大,抵抗侧向变形能力强;
- (2)抗震性能较好,设计合理时结构具有较好的塑性变形能力。

因而剪力墙结构适宜的建造高度比框架结构要高。当剪力墙的高宽比较大时,是一个以受弯为主的悬臂墙,在水平荷载作用下,侧向变形呈弯曲型(图 2-4),其特点是层间位移由下至上逐渐增大。

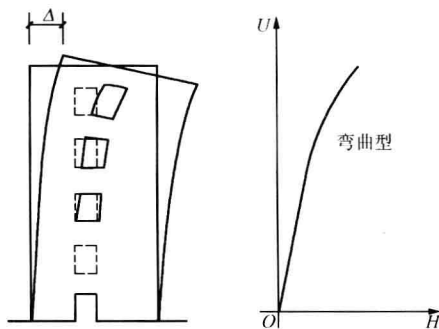


图 2-4 剪力墙结构变形

为了克服剪力墙结构开间小、自重大的缺点,一些工程师提出了改进楼板做法,加大剪力墙间距,做成大开间剪力墙结构的想法。于是就产生了框支剪力墙结构(也称底部大空间剪力墙结构)。

底部大空间剪力墙结构:在剪力墙结构中,将底层或下部几层的部分剪力墙取消,形成部分框架支撑上部剪力墙的形式,以扩大使用空间。如图 2-5 所示为带有底层商店的板式楼和塔式住宅楼平面图。在旅馆、饭店中也常用这种结构。

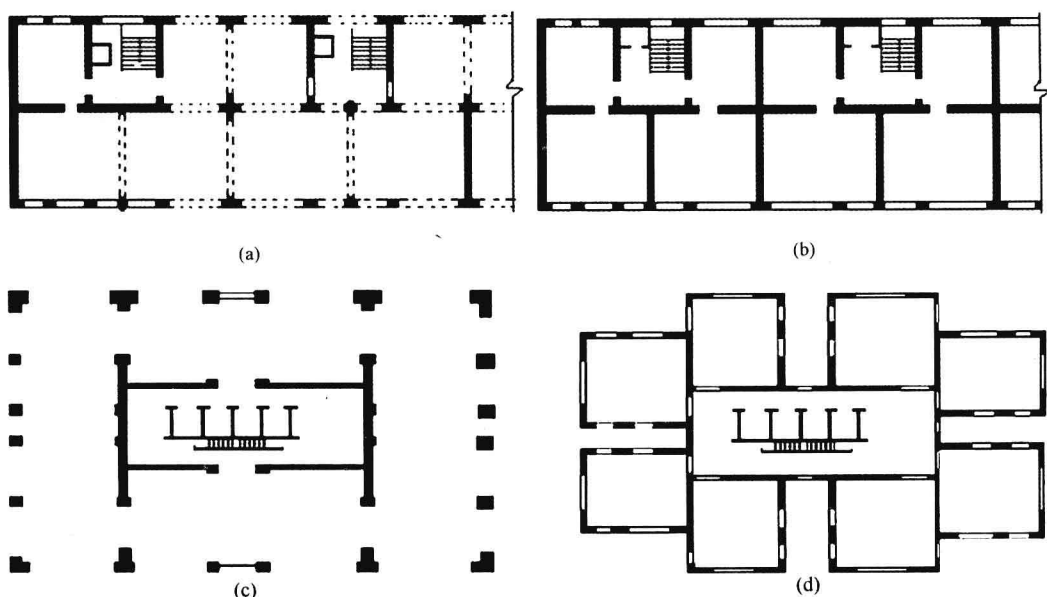


图 2-5 底层大空间剪力墙结构

(a)、(b)板式楼首层、标准层平面；(c)、(d)塔式楼首层、标准层平面图

框支剪力墙结构的下部为框架柱，与上部剪力墙的刚度相差悬殊，在地震作用下将产生很大的侧向变形(图 2-6)，容易造成建筑物的严重破坏。因此，在地震区不允许采用完全的框支剪力墙结构，需要有一定数量的落地剪力墙，以保证结构的刚度不发生突变。

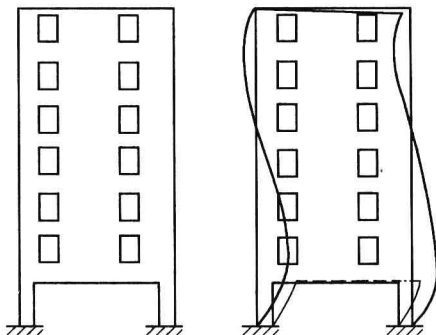


图 2-6 框支剪力墙侧向变形

在底层大空间剪力墙结构中，一般应把落地剪力墙布置在两端或中部，并使纵向、横向墙围成筒体，在底层还要采取加大墙厚、提高混凝土强度等级等措施，加强底层墙的刚度，使整个结构上下差别减小。上部则应采用开间较小的剪力墙布置方案。因为框支剪力墙承受的剪力大部分要通过楼板传到落地剪力墙上，落地剪力墙之间的距离要加以限制，墙的距离与楼板宽度之比不超过 3，抗震设计时不超过 2~2.5，同时还要加强底层大空间与上部剪力墙之间的过渡层楼板的整体性和刚度，这层楼板应采用厚度较大的现浇钢筋混凝土板。

3. 框架-剪力墙结构

1) 框架-剪力墙结构体系的定义

在框架结构中设置部分剪力墙,使框架与剪力墙两者结合起来,使结构既具备了纯框架结构和纯剪力墙结构的优点,同时克服了纯框架结构抗侧移刚度小和纯剪力墙结构平面布置不够灵活的缺点,相互取长补短,共同抵抗水平荷载,这就形成了框架-剪力墙结构体系。如果把剪力墙布置成筒体,又可称为框架-筒体结构。筒体的承载能力、侧向刚度和抗扭能力都较单片剪力墙有大幅度提高。在结构上,这是提高材料利用率的一种有效途径;在建筑布置上,则往往利用筒体作电梯间、楼梯间和竖向管道,也是十分合理的。

2) 框架-剪力墙结构的特点

(1) 框架-剪力墙结构是一种双层抗侧力结构。结构中剪力墙的刚度大,能够承担大部分水平剪力(有时可达全部水平剪力的 80%~90%),与剪力墙相比框架刚度小,承担的水平剪力相对较少,框架的主要作用是承担结构的大部分竖向荷载,为建筑提供较大使用空间。

(2) 一般的剪力墙与框架间用连梁相连,在罕遇地震作用下,连梁往往先屈服,使剪力墙的刚度降低,由剪力墙抵抗的部分剪力转移到框架。如果框架具有足够的承载力和延性来抵抗地震作用,则双重抗侧力结构的优势可以得到充分发挥,避免在罕遇地震作用下的严重破坏甚至倒塌。

(3) 框架-剪力墙结构既有框架结构布置灵活、延性好的特点,也有剪力墙结构刚度大、承载力高的特点,是一种比较好的抗侧力体系,广泛应用于高层建筑,其适用高度与剪力墙结构大致相同(可建造 30~40 层的房屋)。

3) 框架-剪力墙结构位移特征

在水平荷载作用下,框架本身呈剪切型变形,剪力墙呈弯曲型变形,由于楼板和连梁的作用,使得框架和剪力墙(或框架与筒体)的变形协调,即在同一标高处的侧向(水平)位移相等。根据框架和剪力墙各自变形的特点可知,在结构底部,框架的侧移减小,在结构上部,剪力墙的侧移减小,侧移曲线的形状呈弯剪型。层间位移沿建筑物高度均匀分布(图 2-7),很好地改善了框架结构及剪力墙结构的抗震性能,有利于减少小震作用下非结构构件的破坏。

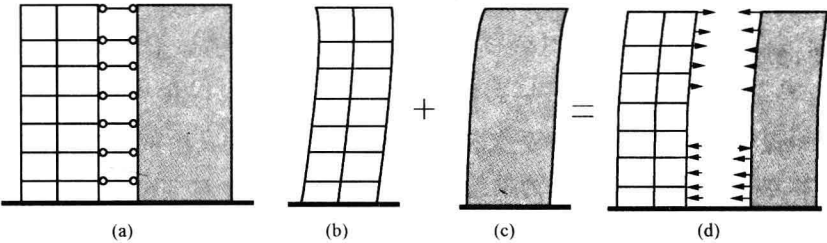


图 2-7 框架-剪力墙结构在侧向力作用下协同工作

4) 框架-剪力墙结构的布置要求

(1) 框架-剪力墙结构布置的关键是剪力墙的数量和位置。框架-剪力墙结构中,结构的抗侧刚度主要由剪力墙的抗弯刚度确定,顶点位移和层间变形都会随剪力墙 $\sum EI$ (全

部剪力墙抗弯刚度之和) 的加大而减小。也就是说,剪力墙多一些,结构的刚度大一些,侧向变形就小一些。为了满足变形的限制要求,建筑物越高,要求 $\sum EI$ 越大。但剪力墙太多,不但在布置上困难,而且也没有必要。在地震作用下,侧向位移与 $\sum EI$ 并不成反比关系。根据实际工程计算,在其他条件不变的情况下, $\sum EI$ 增加 1 倍, Δ/H 和 δ/h 仅减少 13%~19% (Δ, δ 分别为顶点侧移和最大层间变形; H, h 分别为建筑物总高和层高)。这是因为增加剪力墙的数量及抗弯刚度 $\sum EI$ 时,结构刚度加大,地震作用就会加大。实例分析表明,当 $\sum EI$ 增大 1 倍,地震力增大 20%。因此,过多增加剪力墙的数量是不经济的。

通常,剪力墙的数量以使结构的层间位移角不超过规范规定的限制为宜,或者说以满足位移作为设置剪力墙数量的依据较为适宜。剪力墙的数量也不能过少,以避免框架承担过大的剪力。在基本振型地震作用下剪力墙部分承受的倾覆力矩小于结构总倾覆力矩的 50% 时,说明剪力墙的数量偏少。这种情况下,虽然其适用高度可以比框架结构高一些,但其框架部分的抗震要求应提高,与框架结构的抗震要求相同。

(2) 框架和剪力墙都只能在自身平面内抗侧力,抗震设计时,框架-剪力墙结构设计成双向抗侧力体系,结构的两个主轴方向都要布置剪力墙。

(3) 剪力墙的间距。剪力墙的布置可以灵活,但由于剪力墙承担了大部分水平力,成为主要的抗侧力单元,因而不宜仅设置一道很长的墙。妥当的办法是,将剪力墙分散一些,当做成单片墙时,不宜少于 3 道,最好是做成筒体形状。剪力墙间距见表 2-1。

表 2-1 剪力墙间距(取较小值) (单位:m)

楼、屋盖类型	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6 度、7 度	8 度	9 度
现浇	5.0B,60	4.0B,50	3.0B,40	2.0B,30
装配整体	3.5B,50	3.0B,40	2.5B,30	—

注:①B 为楼面宽度,单位为“m”;
②现浇层厚度大于 60 mm 的叠合楼板可以作为现浇板考虑。

4. 框架-支撑结构

1) 定义

在框架中设置支撑斜杆,即为支撑框架,一般用于钢结构。由框架和支撑框架共同承担竖向荷载和水平荷载的结构,称为框架-支撑结构。

2) 位移特点

支撑框架侧移:支撑框架与支撑斜杆形成竖向桁架,在水平力作用下,所有杆件承受轴力,改变了框架在水平力作用下的受力性能。支撑框架的侧移主要由杆件的轴向拉伸及压缩变形引起,其侧移曲线的形状,类似于剪力墙的侧移曲线,呈弯曲型,即层间位移角由下而上逐渐增大。与杆件的弯曲刚度相比,杆件的轴向刚度大得多,因此,支撑框架的侧向刚度比框架大得多。

与框架-剪力墙结构类似,在楼盖的作用下,框架和支撑框架在水平力作用下的侧移