

高校土木工程专业规划教材

GAOXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

高层建筑基础工程

主编 丁翠红

GAOCENG JIANZHU JICHU GONGCHENG

中国建筑工业出版社

高校土木工程专业规划教材
浙江工业大学重点建设教材

高层建筑基础工程

主编 丁翠红
参编 王国才 顾建文

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑基础工程/丁翠红主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009

高校土木工程专业规划教材

浙江工业大学重点建设教材

ISBN 978-7-112-10856-5

I. 高… II. 丁… III. 高层建筑-基础工程-高等学校-教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 043235 号

本书根据我国现行有关规范和规程的规定, 围绕高层建筑从选址、选型、场地抗震、基础设计计算分析、上部结构与地基基础共同作用理论到施工的各个环节展开。内容包括: 高层建筑发展概况、高层建筑基础工程的地位和特点、场地工程地质稳定性分析、地基承载力和沉降、常用高层建筑基础类型的设计分析方法、上部结构与地基基础的共同作用理论、高层建筑基础施工等。既注重理论分析, 更注重工程实用。

本书可作为土木工程专业高年级学生选修课教材, 也可作为土木工程专业研究生的教学参考书, 同时可供广大工程设计、施工人员阅读参考。

* * *

责任编辑: 王 跃 吉万旺

责任设计: 赵明霞

责任校对: 王雪竹 孟 楠

高校土木工程专业规划教材
浙江工业大学重点建设教材
高层建筑基础工程

主编 丁翠红

参编 王国才 顾建文

*

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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17¼ 字数: 416 千字

2009年6月第一版 2009年6月第一次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-10856-5

(18098)

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

高层建筑在我国城市建设中已相当普遍，但目前系统论述高层建筑基础工程方面的教材较少。高层建筑基础由于荷载大，且多为复杂的地下空间结构，普通的基础工程教材缺乏针对性，且较少涉及上部结构与地基基础共同作用理论和高层建筑基础施工问题，这些问题涉及当前高层建筑基础工程领域的前沿和热点。在高层建筑基础工程的设计中，不仅要注重强度和稳定问题，同时也必须考虑到上部结构与地基基础的共同作用和施工问题，这样才能使得高层建筑基础的设计经济合理且安全。

本书是作者在浙江工业大学开设高层建筑基础工程选修课讲义的基础上修改完善而成，以内容充实、涵盖面广、注重理论且注重实用为原则，本书内容努力做到不仅包括高层建筑基础工程的丰富内容，而且反映学科发展的热点、难点等技术问题。全书共分为10章：第1章为绪论；第2章阐述高层建筑工程地质及场地抗震相关问题；第3章讨论天然地基承载力和沉降相关问题；第4章为梁式基础的设计计算理论；第5章为筏形基础；第6章为箱形基础；第7章为桩基础；第8章为上部结构与地基基础的共同作用；第9章为高层建筑基础施工相关问题；第10章为基础CAD软件JCCAD功能及应用介绍。

本书由浙江工业大学丁翠红副教授主编，王国才副教授、顾建文教授级高级工程师参与编写。本书初稿曾得到浙江工业大学丁伯阳教授审阅并提出了宝贵意见，硕士研究生肖强为本书第10章算例做了大量工作，在此表示衷心感谢。本书的编写和出版被列入浙江工业大学重点教材建设项目。

由于水平有限，书中如有错误与不足之处，恳请读者批评指正。

编 者
2009年1月

尊敬的读者：

感谢您选购我社图书！建工版图书按图书销售分类在卖场上架，共设22个一级分类及43个二级分类，根据图书销售分类选购建筑类图书会节省您的大量时间。现将建工版图书销售分类及与我社联系方式介绍给您，欢迎随时与我们联系。

★建工版图书销售分类表（详见下表）。

★欢迎登陆中国建筑工业出版社网站www.cabp.com.cn，本网站为您提供建工版图书信息查询，网上留言、购书服务，并邀请您加入网上读者俱乐部。

★中国建筑工业出版社总编室 电 话：010—58934845
传 真：010—68321361

★中国建筑工业出版社发行部 电 话：010—58933865
传 真：010—68325420
E-mail: hbw@cabp.com.cn

建工版图书销售分类表

一级分类名称 (代码)	二级分类名称 (代码)	一级分类名称 (代码)	二级分类名称 (代码)
建筑学 (A)	建筑历史与理论 (A10)	园林景观 (G)	园林史与园林景观理论 (G10)
	建筑设计 (A20)		园林景观规划与设计 (G20)
	建筑技术 (A30)		环境艺术设计 (G30)
	建筑表现·建筑制图 (A40)		园林景观施工 (G40)
	建筑艺术 (A50)		园林植物与应用 (G50)
建筑设备·建筑材料 (F)	暖通空调 (F10)	城乡建设·市政工程· 环境工程 (B)	城镇与乡(村)建设 (B10)
	建筑给水排水 (F20)		道路桥梁工程 (B20)
	建筑电气与建筑智能化技术 (F30)		市政给水排水工程 (B30)
	建筑节能·建筑防火 (F40)		市政供热、供燃气工程 (B40)
	建筑材料 (F50)		环境工程 (B50)
城市规划·城市设计 (P)	城市史与城市规划理论 (P10)	建筑结构与岩土工程 (S)	建筑结构 (S10)
	城市规划与城市设计 (P20)		岩土工程 (S20)
室内设计·装饰装修 (D)	室内设计与表现 (D10)	建筑施工·设备安装技 术 (C)	施工技术 (C10)
	家具与装饰 (D20)		设备安装技术 (C20)
	装修材料与施工 (D30)		工程质量与安全 (C30)
建筑工程经济与管理 (M)	施工管理 (M10)	房地产开发管理 (E)	房地产开发与经营 (E10)
	工程管理 (M20)		物业管理 (E20)
	工程监理 (M30)	辞典·连续出版物 (Z)	辞典 (Z10)
	工程经济与造价 (M40)		连续出版物 (Z20)
艺术·设计 (K)	艺术 (K10)	旅游·其他 (Q)	旅游 (Q10)
	工业设计 (K20)		其他 (Q20)
	平面设计 (K30)	土木建筑计算机应用系列 (J)	
执业资格考试用书 (R)		法律法规与标准规范单行本 (T)	
高校教材 (V)		法律法规与标准规范汇编/大全 (U)	
高职高专教材 (X)		培训教材 (Y)	
中职中专教材 (W)		电子出版物 (H)	

注：建工版图书销售分类已标注于图书封底。

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 高层建筑发展概况	1
§ 1.2 高层建筑上部结构体系	4
§ 1.3 高层建筑中基础工程的地位和特点	6
思考题	8
第 2 章 高层建筑工程地质	9
§ 2.1 场地稳定性	9
§ 2.2 场地条件和震害的关系	11
§ 2.3 地基液化及软土震陷	14
§ 2.4 高层建筑工程地质勘察要点	19
思考题	20
第 3 章 天然地基承载力和沉降	21
§ 3.1 概述	21
§ 3.2 承载力	21
§ 3.3 沉降	30
§ 3.4 地基的稳定性	45
思考题	48
第 4 章 梁式基础	49
§ 4.1 高层建筑基础类型的选择与一般要求	49
§ 4.2 梁式基础简化分析方法	52
§ 4.3 文克尔地基上梁的计算	53
§ 4.4 地基上梁的数值解法	63
§ 4.5 柱下梁式基础设计	67
思考题	71
第 5 章 筏形基础	72
§ 5.1 概述	72
§ 5.2 筏形基础设计要求	72
§ 5.3 筏形基础计算	75
§ 5.4 筏形基础设计实例	82
思考题	87
第 6 章 箱形基础	88
§ 6.1 概述	88
§ 6.2 箱形基础的埋置深度及构造要求	89
§ 6.3 地基计算	90

§ 6.4	箱形基础结构设计	93
§ 6.5	箱形基础设计实例	99
	思考题	111
第 7 章	桩基础	112
§ 7.1	概述	112
§ 7.2	单桩竖向荷载下的工作性能	116
§ 7.3	单桩竖向承载力与沉降相关问题	118
§ 7.4	群桩竖向承载力与沉降问题	128
§ 7.5	桩基的水平承载力与变位	141
§ 7.6	桩基础设计概略	155
	思考题	159
第 8 章	上部结构与地基基础的共同作用	160
§ 8.1	概述	160
§ 8.2	地基模型和刚度矩阵	162
§ 8.3	共同作用分析方法	171
§ 8.4	箱(筏)形基础与地基共同作用的实测与分析	174
§ 8.5	桩箱(筏)基础与地基共同作用的分析与实测	180
	思考题	185
第 9 章	高层建筑基础施工	186
§ 9.1	深基坑支护结构	186
§ 9.2	降低地下水位	210
§ 9.3	地下连续墙与逆作法施工	217
§ 9.4	大体积混凝土基础施工温度应力	224
	思考题	231
第 10 章	PKPM 系列 CAD 软件 JCCAD 功能及应用介绍	232
§ 10.1	概述	232
§ 10.2	地质资料的输入	233
§ 10.3	基础人机交互输入	235
§ 10.4	基础梁板弹性地基梁法计算	242
§ 10.5	桩基承台计算和独基沉降计算	244
§ 10.6	桩筏及筏板有限元计算	245
§ 10.7	基础设计实例	247
	参考文献	267

第 1 章 绪 论

§ 1.1 高层建筑发展概况

高层建筑是近代经济发展和科学技术进步的产物。城市人口集中、用地紧张以及商业竞争的激烈化,促使了近代高层建筑的出现和发展。

高层建筑的建设始于 19 世纪末,20 世纪初在美国得到迅速发展,到第二次世界大战前,美国超过 200m 的高层建筑已经有 10 幢。受第二次世界大战影响,高层建筑在 20 世纪 30~40 年代停顿了十余年。

战后的经济恢复和发展,使高层建筑的发展又进入一个新的阶段。20 世纪 50 年代初,玻璃、铝合金等新型外墙材料开始使用,称为现代主义的新建筑风格迅速取代了上一个时期的古典主义风格,以简单的几何形体、大面积的金属和玻璃幕墙为代表的“玻璃盒子”作为现代化的标志,成为这一时期高层建筑的主流。

20 世纪 50~70 年代高层建筑层数和高度都有大幅度的突破,其中大部分在美国。1972 年两幢纽约世界贸易中心大厦建成(图 1-1,地上共 110 层,高 412m,2001 年受恐怖袭击倒塌)。不久,1974 年芝加哥建成了当时世界最高的西尔斯大厦(图 1-2,地上 110 层,高 443m,加上天线达 500m)。在这一时期,日本作为多地震国家废除了建筑物高度不得超过 31m 的限制,于 1968 年首次建成了 36 层的霞关大厦,以后陆续兴建了超过 100m 高度的 50 幢高层建筑,并建成了日本最高的东京阳光大楼(60 层,226m)。在非地震区,香港建成了 65 层的合和中心(216m),成为当时亚洲最高的钢筋混凝土高层建筑。

这一时期,美国西海岸以加利福尼亚为中心进行了广泛深入的高层建筑抗震设计研究,颁布了一系列抗震设计法规,建成了地震区最高的钢筋混凝土建筑——洛杉矶的加利福尼亚大厦(62 层,262m)。日本在冲破 31m 限制高度后,全力进行钢结构和型钢混凝土结构的抗震设计方法研究,建成了大批 100m 以上的高层建筑。

进入 20 世纪 80 年代,高层建筑的风格受后现代主义思潮的影响,建筑物的体型由单纯追求“简洁就是美”而转向多样化、复杂化。在色彩、线条、质感上更为丰富多变。

进入 20 世纪 90 年代,随着层数与高度的增长,钢筋混凝土建筑物的层数已超过 80 层。为减小墙、柱截面尺寸,高强混凝土、钢管混凝土和型钢混凝土都得到了应用。20 世纪 90 年代以来,亚洲成为经济发展最快的地区,高层建筑大量兴建,成为北美以外的世界高层建筑中心。值得注意的是,原来从高层钢结构起步的美国和日本,钢筋混凝土高层建筑迅速发展。其主要原因是:钢筋混凝土结构整体性好、刚度大、位移小、舒适性佳;钢筋混凝土结构耐腐蚀、耐火、围护方便;另外,即使在美国和日本,钢筋混凝土结构造价还是低于钢结构。

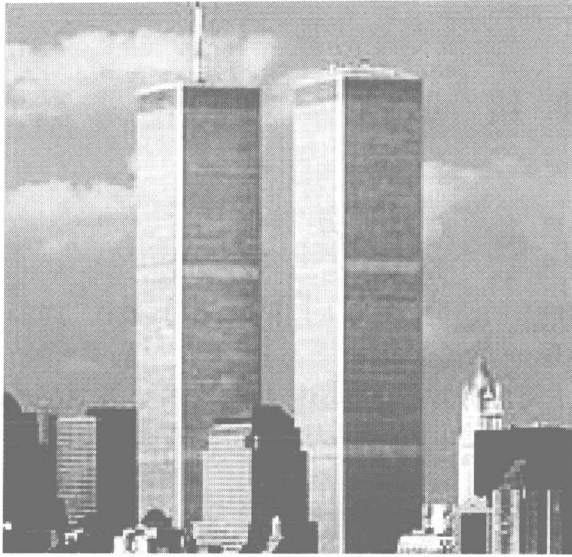


图 1-1 纽约世界贸易中心
(2001 年受恐怖袭击倒塌)

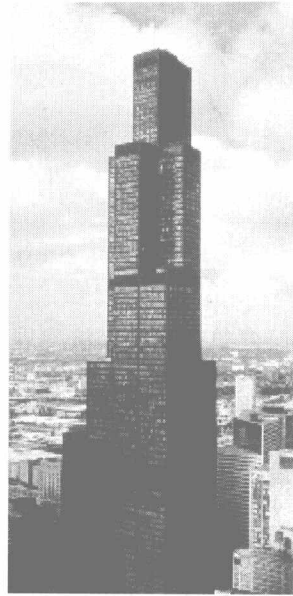


图 1-2 西尔斯大厦

1996 年马来西亚吉隆坡的石油大厦 (图 1-3) 完工, 它由两座姐妹楼组成, 塔高 95 层, 452m, 总建筑面积 67 万 m^2 , 地下 5 层, 超过美国西尔斯大厦成为世界最高建筑。目前世界最高建筑是 2004 年建成的台北国际金融中心大厦 (图 1-4, 又称 101 大厦), 高 508m (含天线), 安装有世界最大且最重的“风阻尼器”。高层建筑的竞争远远没有结束, 各国都在酝酿着更高的建筑, 不久又会有新的最高建筑出现。

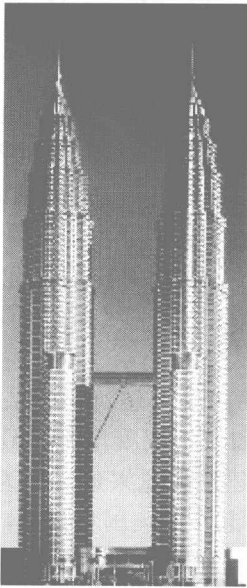


图 1-3 吉隆坡石油大厦

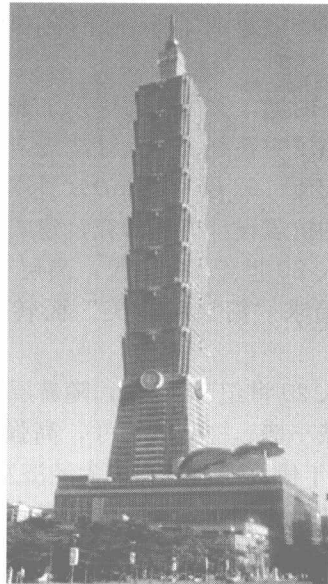


图 1-4 台北 101 大厦

我国内地高层建筑自 20 世纪 80 年代开始高速发展，首先同对外开放、外贸和旅游事业的发展要求有着密切的关系。其次，由于城市规划、城市改造的要求和建设用地紧张，使得相当多的办公楼、旅馆、医院、学校、文化建筑向高层发展，而量大面广的住宅建筑也由于城市征地困难、人口过于集中而越来越高层化。目前，我国大中城市的人口集中相当惊人，城市改造相当困难，建造高层建筑是势在必行。事实上，我国高层建筑中数量最多的是高层住宅，按幢数计，高层住宅占高层建筑总数的 80% 以上。进入 21 世纪，全世界最高的 10 座高层建筑中，我国已占了 6 座，发展速度十分惊人。

目前我国高层建筑发展有如下几个特点：

1. 层数增多，高度加大

近年来国内高层建筑层数越来越多，高度越来越大。20 世纪 60 年代国内最高建筑是广州宾馆（27 层，87m）；70 年代最高的是广州白云宾馆（33 层，117m）；80 年代，北京京广中心大厦（53 层，208m）；90 年代由于国民经济迅速增长，高层建筑的层数和高度增长很快，一些中等城市也建造了 30~40 层的大厦，广州中信广场大厦（391m）为目前最高的钢筋混凝土高层建筑，深圳信兴广场大厦（384m）也是当时国内著名的超高层建筑，它采用钢骨混凝土结构。1999 年建成的上海金茂大厦（图 1-5，地上 88 层，地下三层，总高度 420m），是一幢集办公、旅馆、购物、娱乐、餐饮、休闲于一体的综合性大楼，是 20 世纪国内最高建筑。金茂大厦占据国内最高建筑位置仅 9 年，2008 年竣工的上海浦东环球金融中心大厦（图 1-6，地上 101 层，高 492m）是目前我国大陆最高的建筑。

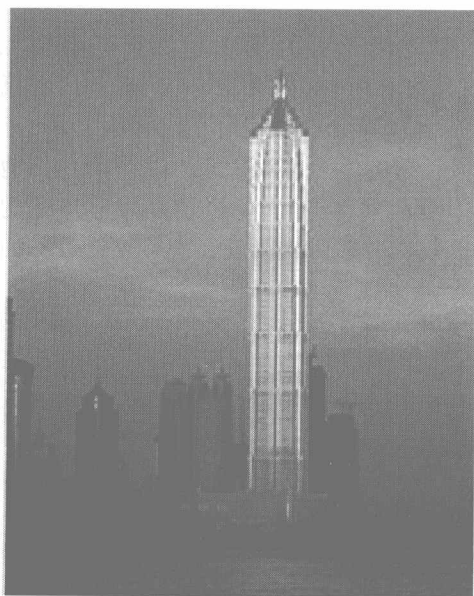


图 1-5 上海金茂大厦

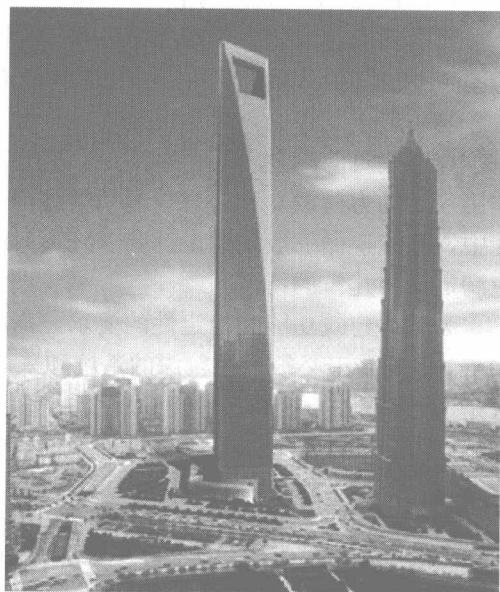


图 1-6 上海浦东环球金融中心

2. 高层建筑向多用途、多功能发展

早期高层建筑多为单一用途，如高层住宅、高层旅馆、高层办公楼等。随着层数增多，高层公共建筑为满足不同用户的需要，同时也为适应现代化社会高效率、快节奏的要求，而发展为高层综合大厦。它的上部为旅馆、住宅；中部为办公用房；而下层和裙房则

布置商店、餐厅、银行和娱乐设施；地下部分为停车场或地铁车站。这样在一条垂直线上就可以满足用户的各种需要。

3. 平面和立面体形日益复杂

我国高层建筑 20 世纪 80 年代之前体形大多规则，平面多为矩形、L 形、槽形、多边形，一般比较简单。近年来，结构平面形状日益复杂，立体体形也较多外挑内收，并且出现大量多塔楼共用一个裙房的建筑。这一方面是客观的需要，建筑功能、建筑艺术和城市规划要求打破单一方盒子格局；另一方面也由于结构分析水平的提高，微型计算机的广泛应用，使复杂结构分析成为可能。

4. 结构体系日趋多样化

1990 年以前，我国高层建筑基本上是钢筋混凝土三大常规体系：框架体系、剪力墙体系、框架-剪力墙体系。进入 20 世纪 90 年代后，建筑功能和建筑艺术要求提高，平面布置与竖向体形日益复杂，而且层数增多、高度加大以及设防烈度提高，常规三大体系难以满足要求。以空间整体受力为特征的筒体结构得到了广泛应用。正在兴建和已建成的 100m 以上高层建筑中，采用筒体结构的占 70% 以上。近几年，一些更新颖的结构如悬挂结构、巨型框架结构、巨型桁架结构等已经得到应用。

§ 1.2 高层建筑上部结构体系

1.2.1 高层建筑的特点

我国现行的《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002) 规定 10 层及 10 层以上或房屋高度超过 28m 的建筑为高层建筑。通常将高度超过 100m 的高层建筑称为超高层建筑。

与一般建筑相比，高层建筑的显著特点是向高空发展，所以其总重量很大、重心高。由于高层建筑向高空发展，水平力亦成为其结构设计中的主要控制因素。水平力包括地震作用（为动力荷载）和风力（包括静力荷载和动力荷载两部分）。所以在高层建筑结构设计中，除应遵循一般结构设计要求外，对结构的承载能力、侧向刚度、抗震性能等方面均应满足高层建筑的特点。

为满足建筑功能和稳定性的要求，高层建筑基础一般具有较大的埋置深度，甚至超过 20m。基础施工必须开挖较深的基坑和采取相应的降水措施，这在地下水丰富以及软土地区是十分困难的。随着层数和高度的增多，高层建筑的设计与施工难度越来越大，造价越来越高，工期越来越长，环境效应问题也越来越突出。

1.2.2 常用的高层建筑结构体系

目前国内高层建筑结构以钢筋混凝土结构为主，其结构体系主要有：

1. 框架结构体系

框架结构由梁、柱构件通过节点连接而成（图 1-7）。框架梁、柱既承受垂直荷载，也承受水平力。框架节点是应力集中的地方，也是保证结构整体性的关键部位。地震震害表明，节点常常是导致结构破坏的薄弱环节。

在高层建筑中，采用框架结构会使建筑平面布置灵活，易于满足设置大房间的要求，立面处理也易于表现建筑艺术的要求。但框架结构的侧向刚度小，属柔性结构，抗震性能相对较差。

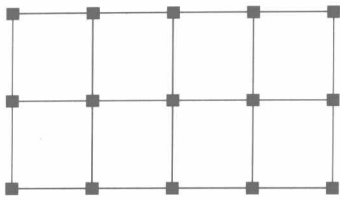


图 1-7 框架结构体系

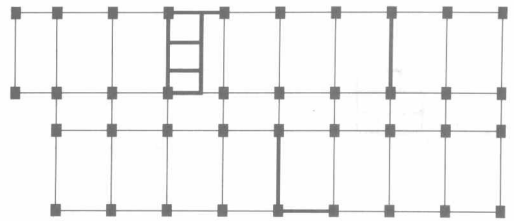


图 1-8 框架—剪力墙结构体系

2. 框架—剪力墙结构体系

在框架结构平面中适当位置布置钢筋混凝土剪力墙，也可利用楼梯间、电梯间墙体作为剪力墙，便形成框架—剪力墙结构体系（图 1-8）。在水平力作用下，框架、剪力墙协同工作，框架主要承受垂直荷载，因其具有一定的侧向刚度，也承受一部分水平剪力。而大部分水平剪力由剪力墙承受，剪力墙也承受一定的垂直荷载，但剪力墙在体系中的主要作用是抗侧力。由于剪力墙的作用，框架受力状况和内力分布得到改善。与框架体系相比，框架—剪力墙体系属中等刚性结构，在水平力作用下的位移显著减小。从位移限制条件来说，框架—剪力墙结构所能建造的房屋层数比框架结构多，具有良好的抗震性能。

采用该结构体系，通常都能结合建筑使用要求布置剪力墙，建筑平面布置灵活，一般能满足设置大房间的要求，是一种适应面较广的结构体系。

3. 剪力墙结构体系

主体结构全部为剪力墙时，就构成剪力墙结构体系（图 1-9）。剪力墙承受全部水平荷载和垂直荷载。相当于前面两种体系而言，剪力墙结构体系为刚性结构，它的刚度很大，空间整体性好。历次地震证明，剪力墙结构有较好的抗震性能。其结构自重较大，基础处理要求较高。一般剪力墙结构不容易布置大的房间，适用于住宅、旅馆等要求较多隔墙的建筑，住宅、旅馆往往要在底层布置商店、门厅、大厅、会议室和餐厅等大面积房间，这时要采用底层为框架的剪力墙结构称为框支剪力墙结构体系，是剪力墙结构体系的一种特殊形式（图 1-10）。

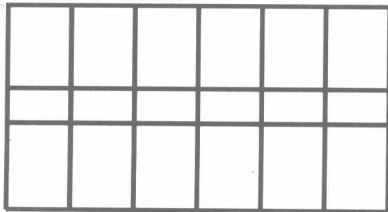


图 1-9 剪力墙体系

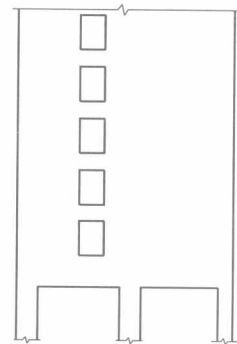


图 1-10 框支剪力墙体系

4. 筒体结构体系

层数增多、高度加大、抗震设防烈度提高后，以平面结构状态工作的框架、框架—剪力墙、剪力墙三大常规体系往往难以满足要求，从而产生了空间受力的筒体结构。

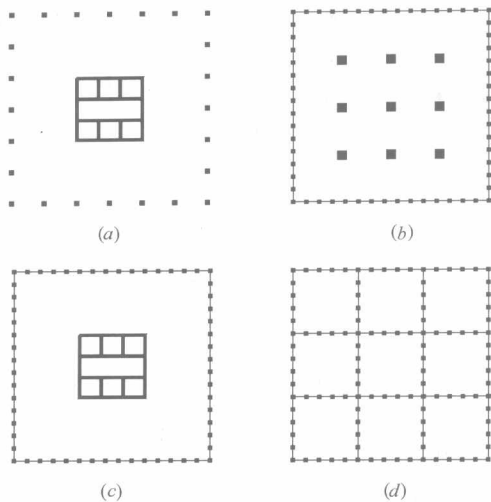


图 1-11 筒体结构体系

- (a) 内筒体单筒结构；(b) 外筒体单筒结构；
(c) 筒中筒结构；(d) 成束筒结构

单筒结构体系：有两种，一种是四周采用框架，而利用电梯井、楼梯间、管道井和服务间等在平面中心部分形成一个筒核心（称为内筒），作为抵抗水平力的主要结构，外框架则承受垂直荷载或者很小的水平力，内筒体单筒结构其受力状态类似于框—剪结构体系（图 1-11a）；另一种是将四周外墙设计成外筒体（密柱筒体）以作为抵抗水平力的结构，而内柱只承受垂直荷载，这种形式称为外筒体单筒结构体系（图 1-11b）。

筒中筒结构体系：由薄壁墙体内筒和密柱外筒组成，楼盖把内、外筒连成一个抵抗水平力的整体，具有很好的抗风、抗震能力（图 1-11c）。

成束筒结构体系：由若干个单筒集成一体，形成空间刚度极大的结构。每一个单元筒能单独形成一个筒体结构，沿建筑高度方向，

可以中断某些单元筒，且通过单元筒的平面组合，可以形成很大的楼层面积。例如，美国芝加哥的西尔斯大厦，平面尺寸为 $68.7\text{m} \times 68.7\text{m}$ ，由 9 个方形单元筒组合而成，每个单元筒尺寸为 $22.9\text{m} \times 22.9\text{m}$ ，在建筑物三个不同标高处中断了某些单元筒（图 1-11d）。

5. 悬挂式结构体系

它是在国外迅速发展起来的一种结构体系，具有自重轻、基础集中在一个或多个承重筒体或者拱趾处、基础面积小、结构布置对称灵活、能扩大有效使用面积、钢材消耗少、基础工程量小、基础不均匀沉降的影响小、有利于抗震等特点。但是在设计中应妥善处理吊杆与核心之间的相对位移，垂直荷载与基础之间的可能偏心等问题。目前这种体系建造的高层建筑已达 25 层高。

其他还有巨型框架和巨型桁架结构体系等。为了争取建筑使用空间高度，降低造价，近几年出现了板柱—剪力墙结构体系。但目前用得最广泛的还是框架、框架—剪力墙、剪力墙和筒体四大类结构体系。

上部结构类型不同，对基础的要求也不同。上部结构刚度较小，如框架体系、板柱—剪力墙体系，要求基础刚度较大；上部结构刚度大，如剪力墙体系、墙体较多的框架—剪力墙体系以及筒体结构，则对基础刚度的要求较小。

§ 1.3 高层建筑中基础工程的地位和特点

高层建筑基础工程对整个建筑物的安全和寿命有举足轻重的影响，国内外已不乏有高层建筑因其基础处理不当而造成整个建筑物倾覆的事例。有的建筑物因存在基础隐患，建成后不得不予以爆毁，以保证生命财产的安全。其他因各类基础工程事故而造成的损失和

教训亦时有发生。

高层建筑基础工程造价和工期大约分别占建筑物土建总造价和总工期的三分之一左右。具体工程造价与基础结构形式、桩型以及地质复杂程度和环境条件等因素有关。一般采用天然地基箱形基础和筏形基础的高层建筑，其基础工程费用（包括围护）约占总土建造价的10%~20%，工期占总工期的20%~25%；采用桩基础的高层建筑，其基础工程费用（包括围护）约占总土建造价的20%~30%，工期占总工期的30%~40%。

与一般建筑物基础不同，高层建筑基础已被构成地下空间的地下室或深大基础结构所代替，基础施工通常需要进行基坑围护。因此，高层建筑基础工程涵盖了基础结构和基坑工程两大部分。高层建筑基础通常具有以下特点：

(1) 对稳定性，尤其是整体倾斜的要求高。

因为上部结构高度高、重量大，稍有倾斜就会在结构中产生明显的次应力，威胁整个建筑的安全。

(2) 地基基础必须能提供较大的竖向承载力和水平承载力。

高层建筑的重量随其层数的增加而增加，基础的竖向荷载大而集中。例如，50层钢筋混凝土结构，其基底总压力可达 $1\text{MN}/\text{m}^2$ ，而柱荷载常可达数十兆牛顿。同时，风荷载和地震作用引起的倾覆力矩成倍增长。因此高层建筑要求其地基和基础结构必须能承受较大的竖向和水平向荷载，确保建筑物在风荷载和地震作用下具有足够的稳定性，并使建筑物的沉降和倾斜控制在允许的范围内。

(3) 基础埋深大，常有多层地下室，基坑工程复杂。

为满足高层建筑稳定性和利用地下空间的要求，基础结构埋深大，因而开挖深度大，带来了复杂的基坑工程问题。

(4) 施工环境效应问题多。

高层建筑常建于城市建筑物和人口密集处，打桩和深基坑施工对周围环境影响大。打桩会产生挤土效应，打桩的噪声和振动影响居民的生产、工作、学习和安居，深基坑开挖和降水会危及邻近建筑物、道路和地下管线安全，必须采取经济合理而有效的环保措施。

(5) 基础结构大体积混凝土施工难度大。

大体积混凝土施工养护期间和后期可能产生的温度裂缝、收缩裂缝必须进行预防和控制。如果措施不力产生过多裂缝，将危及基础结构的正常使用和工程寿命，或影响其抗渗、抗侵蚀性能而成为不可补救的缺陷。

总之，高层建筑基础的合理设计与施工不仅关系到高层建筑自身的安全和寿命，而且关系到周围环境的安全，其造价和工期对总造价和总工期有举足轻重的影响。

当前，我国高层建筑基础工程设计施工中主要的热点技术问题有以下方面：

(1) 地基的强度和变形问题，主要反映在地基的选择和沉降控制；

(2) 高层建筑上部结构与地基基础共同作用设计理论的进一步研究与应用；

(3) 新桩型的开发研究及其施工工艺，对各类桩基础的承载力与沉降的合理确定或计算问题；

(4) 深基坑支护结构的合理计算、设计以及土方开挖时空效应的深入研究与利用，深基坑施工环境影响的监控与保护；

(5) 基础底板大体积混凝土的施工技术问题。

这些问题的研究和解决将使得高层建筑基础结构的设计和施工更加合理有据，并有力地推动岩土工程理论和技术的发展提高。

思考题

- 1-1 何谓高层建筑？高层建筑结构有何特点？
- 1-2 高层建筑有哪些常用的结构体系？
- 1-3 高层建筑基础工程在整个高层建筑工程中地位如何？有何特点？

第 2 章 高层建筑工程地质

§ 2.1 场地稳定性

2.1.1 区域稳定性和场地稳定性

区域稳定性是指研究地区活断层的活动特性和活断层活动引发的地震强度大小。若仅着眼于地震对建筑物的破坏性,那么,区域稳定性主要以地震基本烈度来评价。由于地震的活动往往是突然发生,常给工程建设造成严重的破坏和损失,地震基本烈度越高,地震对建筑物的破坏作用就越强。因此,若震中发生在城市或其附近,城市将遭受巨大的地震灾害,如 1976 年我国唐山 7.8 级大地震和 2008 年四川汶川 8.0 级大地震,人民的生命财产遭受巨大损失。所以区域稳定性问题也是城市总体规划阶段应首先论证的工程地质问题。

地震基本烈度主要由地震部门负责提供,它是指该地区在未来 50 年内一般场地条件下可能遭遇的超越概率为 10% 的地震烈度值。抗震设防烈度是由国家规定权限批准的一个地区作为建筑物抗震设防依据的地震烈度,一般情况下可采用基本烈度。

在强震作用下,地震区内各点的震害程度,并不完全符合随震中距增加而自然衰减的原理。场地一般是指工程群体所在地,在同一烈度区内,结构相同的建筑物,震害有时亦相差很大,这是由于不同建筑场地的工程地质条件不同所致。所以,在同一地震基本烈度地区内各不同地质条件的场地,其稳定性亦不同。因此建筑场地的选择必须在城市地震基本烈度区划的基础上,通过勘察进一步验证和查明建筑场地及其附近的地质结构和抗震条件,经综合分析研究,才能选出较为理想的建筑场地。在地震烈度较高地区,应选择相对稳定的“安全岛”地段修建高层建筑,只有这样,场地的稳定性才能得到可靠的保证。就场地的抗震性能优劣来说,主要有以下方面因素要考虑:

(1) 地质构造条件。非褶皱带优于褶皱带,老褶皱带优于新褶皱带,非发震活断层往往形成高烈度异常区,而老断层无加重震害趋势。

(2) 地基特性。在震中距相同的情况下,基岩上的建筑物比较安全。第四纪沉积物抗震性能的顺序是:洪积物>冲积物>海、湖沉积物及人工填土。

(3) 场地固有周期。当场地岩土体的固有周期与建筑物自振周期相同或相近时会出现共振效应。

(4) 砂基液化。饱和疏松砂性土在受到地震时会出现液化状态,丧失承载力。

(5) 孤立突出的地形使震害加剧,低洼沟谷使震害减弱。

(6) 地下水埋藏愈浅,地震烈度增加愈大。

2.1.2 地震对建筑物的破坏作用

我国地处环太平洋地震带和地中海—喜马拉雅地震带之间,是一个多地震的国家。地震对高层建筑的破坏作用十分复杂,地震时的地面运动是多维的,即三个方向的平动分量