

新世纪土木工程系列规划教材

高层建筑基础 分析与设计

◆ 袁聚云 梁发云 曾朝杰 赵锡宏 董建国 编著

新世纪土木工程系列规划教材

高层建筑基础分析与设计

袁聚云 梁发云 曾朝杰 赵锡宏 董建国 编著



机械工业出版社

本书针对高层建筑基础的特点及其最新发展,系统介绍了高层建筑基础的概念高层建筑基础的分析理论与设计方法。全书共分为14章,主要内容包括高层和超高层建筑结构体系、高层建筑地基勘察、高层建筑地基模型、天然地基上的高层建筑基础、高层建筑基础结构设计、高层建筑与地基基础共同作用的分析方法、高层建筑桩筏(箱)基础沉降计算理论、带裙房高层建筑与地基基础的共同作用分析、高层建筑基础的变刚度调平设计、高层建筑地基基础共同作用的实测与计算分析、高层建筑地基基础共同作用分析计算实例、高层建筑模拟施工加载计算及在基础优化设计中应用、高层建筑基础设计中的若干概念问题,各章后均附有思考题。

本书可作为高等学校土木工程专业高年级学生选修课和岩土工程、结构工程专业研究生的教材或参考书,亦可供其他相关专业师生以及从事土木工程设计和施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑基础分析与设计/袁聚云等编著. —北京:机械工业出版社,2011.1

新世纪土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-33066-0

I. ①高… II. ①袁… III. ①高层建筑—基础工程—高等学校—教材②高层建筑—建筑设计—高等学校—教材
IV. ①TU47②TU972

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第006192号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 臧程程

版式设计:张世琴 责任校对:樊钟英

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2011年3月第1版第1次印刷

169mm×239mm·24.25印张·470千字

标准书号:ISBN 978-7-111-33066-0

定价:43.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821 封面无防伪标均为盗版

前言

随着社会经济发展和科学技术进步，高层建筑发展十分迅速，建筑高度也在不断增加。高层建筑具有占地面积小、空间资源利用率高、改变城市面貌等优点，可有效缓解城市的人口集中、用地紧张、交通拥挤等问题。

高层建筑基础对于整个建筑物的安全和使用寿命有着举足轻重的作用和影响，因此，在高层建筑设计过程中，必须要解决好基础的分析与设计问题。高层建筑基础的分析与设计是高层建筑整体结构设计中的一个极其重要的环节，这不但涉及整幢建筑的使用功能与安全可靠，还直接关系到投资额度、施工进度以及对周边现有建筑的影响程度，尤其对于地质条件和环境状况比较复杂的情况。

本书针对高层建筑基础的特点，系统地介绍了高层建筑基础的分析与设计方法，本书是在汇编赵锡宏教授等多本有关高层建筑基础著作的基础上，根据高层建筑基础课程的教学要求编写而成的。编写的总体思想是阐明高层建筑基础的分析方法和计算原理，并重视结合相关规范进行讲解，但不局限或拘泥于规范的条文，强调对相关规范实质精神的理解和把握。其中包括高层建筑基础的概念、高层和超高层建筑结构体系、高层建筑地基勘察、高层建筑地基模型、天然地基上的高层建筑基础、高层建筑基础结构设计、高层建筑与地基基础共同作用的分析方法、高层建筑桩筏(箱)基础沉降计算理论、带裙房高层建筑与地基基础的共同作用分析、高层建筑基础的变刚度调平设计、高层建筑地基基础共同作用的实测与计算分析、高层建筑地基基础共同作用分析计算实例、高层建筑模拟施工加载计算及基础优化设计应用、高层建筑基础设计中若干概念问题等，共十四章。为便于教学使用，各章后均附有思考题。

本书由袁聚云、梁发云、曾朝杰、赵锡宏、董建国编著，

其中第一、三、五、六章由梁发云编写，第二、四、七、八、九、十一、十二章由赵锡宏、董建国、袁聚云编写，第十章由曾朝杰编写，第十三、十四章由曾朝杰、杜旭编写。最后由袁聚云和梁发云进行全书的统稿和定稿。

本书在编写中引用了许多专家、学者在科研、教学、设计和施工中积累的大量资料和研究成果，由于篇幅所限，本书仅列出主要参考文献，并按教材编写惯例将参考文献在文中一一对应列出，在此特向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。

本书在编写出版过程中，得到了机械工业出版社的大力支持，上海联境建筑工程设计有限公司董永胜总工程师对第十三章中的积分方程进行了校核，该公司一级注册结构工程师姜余洋提供了上海中环生活广场基础优化设计实例，同济大学地下建筑与工程系研究生李彦东和符金库同学为本书的文字输入和公式编辑做了大量的工作，在此一并表示衷心的感谢。

本书可作为高等学校土木工程专业高年级学生选修课和岩土工程、结构工程专业研究生的教材，亦可供其他相关专业师生以及从事土木工程设计和施工的技术人员参考。

由于作者水平和能力的局限，加之时间仓促，书中不妥之处在所难免，恳请读者提出宝贵的意见和建议。

编 者

目录

前言

第一章 绪论	1
第一节 高层建筑的发展历史及其特点	1
第二节 高层建筑基础工程的主要特点	6
第三节 高层建筑基础类型与适用性	7
思考题	12
第二章 高层和超高层建筑结构体系	13
第一节 概述	13
第二节 高层和超高层建筑结构设计控制因素	13
第三节 高层和超高层建筑的结构体系	15
第四节 高层和超高层建筑的工程实例	18
第五节 高层和超高层建筑的结构体系选择	35
第六节 超高层建筑的阻尼器设置	35
思考题	37
第三章 高层建筑地基勘察	38
第一节 地基勘察的基本要求	38
第二节 高层建筑地基勘察方法	42
第三节 室内试验指标与原位测试指标	46
第四节 地基检验与现场监测	51
思考题	54
第四章 高层建筑地基模型	55
第一节 概述	55
第二节 线弹性地基模型	55
第三节 非线性弹性地基模型	59
第四节 弹塑性地基模型	62
第五节 地基的柔度矩阵和刚度矩阵	73
第六节 地基模型的选择	74
思考题	76
第五章 天然地基上的高层建筑基础	77

第一节	地基承载力与基础埋置深度	77
第二节	地基稳定性验算	86
第三节	地基变形计算与验算	89
思考题		96
第六章	高层建筑基础结构设计	97
第一节	一般规定	97
第二节	筏形基础	99
第三节	箱形基础	120
思考题		137
第七章	高层建筑与地基基础共同作用的分析方法	139
第一节	概述	139
第二节	子结构分析方法的原理	140
第三节	线弹性地基模型的共同作用分析	143
第四节	非线性弹性地基模型的共同作用分析	145
第五节	弹塑性地基模型的共同作用分析	146
第六节	绝对刚性基础的共同作用分析	148
第七节	桩-土体系共同作用分析	149
第八节	共同作用理论在高层建筑基础分析中的意义	153
思考题		153
第八章	高层建筑桩筏(箱)基础沉降计算理论	154
第一节	高层建筑桩筏(箱)基础沉降计算的简易理论法	154
第二节	高层建筑桩筏(箱)基础沉降计算的半经验半理论法	164
第三节	高层建筑桩筏(箱)基础的沉降机理分析	170
第四节	高层建筑桩筏(箱)基础的变形控制设计理论	175
思考题		183
第九章	带裙房高层建筑与地基基础共同作用分析	185
第一节	概述	185
第二节	带裙房高层建筑基础的设计特点	186
第三节	带裙房高层建筑与地基基础共同作用理论	196
第四节	软土地区带裙房高层建筑基础的设计建议	201
思考题		213
第十章	高层建筑基础的变刚度调平设计	214
第一节	概述	214
第二节	基础变刚度调平设计方法分类	215
第三节	基础变刚度调平设计的计算方法	217

第四节	基础变刚度调平设计的工程实例	228
思考题		247
第十一章	高层建筑地基基础共同作用的实测与计算分析	248
第一节	高层建筑的筏形基础	248
第二节	高层建筑的桩箱基础	252
第三节	高层建筑的桩筏基础	255
第四节	高层建筑的桩筏(箱)荷载分担	272
思考题		276
第十二章	高层建筑地基基础共同作用分析计算实例	277
第一节	高层平面框架结构与地基基础的共同作用分析	277
第二节	考虑填充墙的高层平面框架结构与地基基础的 共同作用分析	283
第三节	高层三维框架结构箱形基础与非线性地基的共同作用分析	288
第四节	高层空间框架结构-厚筏-地基共同作用分析	294
第五节	高层空间剪力墙结构箱形基础与弹塑性地基的 共同作用分析	304
第六节	高层空间剪力墙结构-桩-厚筏-地基的共同作用分析	313
第七节	高层筒体结构桩筏基础与地基的共同作用分析	317
思考题		324
第十三章	高层建筑模拟施工加载计算及在基础优化设计中的应用	325
第一节	概述	325
第二节	模拟施工过程竖向恒载加载的计算模型	326
第三节	模拟施工过程竖向恒载加载的解析方法	328
第四节	模拟施工加载解析解的工程应用	335
第五节	模拟施工加载的设计建议	345
思考题		347
第十四章	高层建筑基础设计中的若干概念问题	348
第一节	概述	348
第二节	选择合理的高层建筑基础形式	349
第三节	高层建筑联体基础概念设计要点	353
第四节	高层建筑基础设计若干概念辨析	355
思考题		372
附录		373
附录 1	MATHCAD1 程序: 模拟施工加载积分计算	373
附录 2	MATHCAD2 程序: 一次加载积分计算	373
参考文献		374

第一章 绪 论

【内容提要】 简要介绍高层建筑的定义，回顾国内外高层建筑的发展历史，特别是高层建筑近年来在我国的发展特点和趋势。通过与多层建筑的对比，说明高层建筑的主要特点，并从设计、施工和环境保护等方面出发，指出高层建筑基础工程的特点。介绍高层建筑几种常用的基础类型，结合工程案例，说明高层建筑基础选型的主要技术要求。

第一节 高层建筑的发展历史及其特点

一、高层建筑的定义

顾名思义，高层建筑就是高度高、层数多的建筑。高层建筑是相对而言的，全世界至今没有统一的划分标准，在中国，不同行业的规范或规程对高层建筑的规定也不尽相同。下面介绍几种比较有代表性的关于高层建筑的划分标准。

(1) 1972 年在美国宾夕法尼亚州召开的高层建筑国际会议上，将高层建筑划分为四类：第Ⅰ类，9~16 层，高度不超过 50m；第Ⅱ类，17~25 层，高度不超过 75m；第Ⅲ类，26~40 层，高度不超过 100m；第Ⅳ类，40 层以上，高度超过 100m。

(2) 根据 JGJ 3—2002《高层建筑混凝土结构技术规程》的规定，高层建筑结构是指 10 层及 10 层以上或房屋高度超过 28m 的建筑物。

(3) 根据 GB 50045—1995《高层民用建筑设计防火规范(2005 年版)》中的规定，防火设计中的高层建筑一般是指 10 层或 10 层以上的居住建筑(包括首层设置商业服务网点的住宅)以及建筑高度超过 24m 的公共建筑。

(4) 根据 GB 50096—1999《住宅设计规范(2003 年版)》的规定，住宅按层数划分，高层住宅的层数为 10 层及以上。

(5) 根据 JGJ 72—2004《高层建筑岩土工程勘察规程》的规定，高层建筑的起点定在 8 层，还包括高度 50m 以上的重要构筑物以及 100m 以上的高耸构筑物。

(6) JGJ 6—1999《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》未对高层建筑给出明确的定义，而该规范的前身 JGJ 6—1980《高层建筑箱形基础设计与施工规程》则规定高层建筑的起点为 8 层。目前，《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》正在修订之中。

从上面所列举的一些规定来看，对于岩土工程勘察和基础工程，将高层建

筑的起点定在 8 层比较合适。因此,高层建筑可定义为 8 层及 8 层以上或房屋高度超过 24m 的建筑物。

超高层建筑(Super High-rise Building)目前也还没有明确的规定,一般将 30 层以上或高度超过 100m 的建筑物称为超高层建筑。

二、高层建筑的发展历史

人类自古以来就有向高空发展的愿望和憧憬,在古代就有一些高层建筑的雏形,古代高层建筑多是高耸的塔楼结构,多具有服务于宗教或王公贵族的某种象征性意义。约公元 80 年前后,古罗马帝国的一些城市曾用砖石承重结构建造了 10 层左右的建筑;公元 1000 年前后,意大利曾建造了高达 98m 的塔楼。我国在古代也曾建造了不少的高塔,公元 523 年建造于河南登封市的嵩岳寺塔,为 40m 高的砖砌单筒体结构;公元 1055 年建成于河北定县的料敌塔,为高 82m 的砖砌双筒体结构,这些高塔多为外形封闭的正多边形,这种体形具有较大的刚度,有利于抗风和抗震,结构体系比较合理。

古代高层建筑,由于受当时技术经济条件的限制,不论承重的是砖墙还是筒体结构,墙壁都很厚,使用空间小,建筑物越高,这个问题就越突出。如 1891 年美国芝加哥建造的一幢 16 层砖承重结构,其底部的砖墙厚度达 1.8m。显然,这种小空间的高层建筑不能适应人们生活和生产活动的需要。

现代高层建筑是在 18 世纪后期,随着钢铁、水泥和混凝土的相继出现而逐渐发展起来的。1801 年英国建造了 7 层高的曼彻斯特棉纺厂,堪称世界上最早的以铸铁框架作为承重结构的高层建筑。1871 年美国芝加哥发生大火,全市近两万幢建筑物化为灰烬,在随后的重建和城市扩建中,为了提高土地利用率和适应今后发展的需要,逐渐形成了建筑物向高空发展的趋势,芝加哥成为美国高层建筑的发源地。1885 年,芝加哥建造了 10 层,高 55m 的人寿保险公司大楼,它至今被公认为世界上第一幢具有现代意义的高层建筑,也是世界上第一幢高层钢结构建筑。

高层建筑的大量兴建和不断向高攀升是人类进入 20 世纪以后的事情。高层建筑最多、最具有代表性的当推美国。在美国的高层建筑中,以纽约和芝加哥最有代表性。纽约高层建筑以高耸雄伟的气魄,表达金融精英的社会愿望,而芝加哥高层建筑则以纯洁、简明的格局,显示现实的格调和经济发展的象征,图 1-1 为位于芝加哥密歇根湖畔的高层建筑群。

追溯高层建筑发展历史上的标志性建筑,首先当数 1902 年在美国辛辛那提建造的 16 层的登格尔斯大楼,它是世界上第一幢高层钢筋混凝土建筑。1931 年,纽约建成了著名的帝国大厦,102 层,高 381m,享有“世界最高建筑”的美誉达 40 年之久,从此高层建筑进入了超高层领域。进入 20 世纪 40 年代,美



图 1-1 芝加哥密歇根湖畔的高层建筑群

国建造高层建筑的势头因二战而停顿。二战后,美国各地乃至世界各国纷纷建造高层建筑。紧随 1972 年和 1973 年纽约先后建成世界贸易中心一号楼和二号楼(分别高 417m 和 415m)之后,芝加哥于 1974 年建成了西尔斯大厦,110 层,高 443m,一举成为全球第一高楼,此桂冠一直保持了 22 年,直至 1996 年,马来西亚建成吉隆坡双塔大厦(高 451.9m,共 88 层)。2003 年年底结构封顶的中国台北 101 大厦,以 508m 的高度(主体结构实际高 480m)使仅仅保持 7 年世界建筑之冠的马来西亚双塔大厦宣告让位。2004 年 9 月 21 日开始动工,2010 年 1 月 4 日竣工启用的哈利法塔(Khalifa Tower),原名迪拜塔(Dubai Tower),位于阿拉伯联合酋长国迪拜市,169 层,总高 828m,比台北 101 大厦足足高出 320m,并已超越多伦多的加拿大国家电视塔(553.3m),是目前世界上最高的建筑物。

高层建筑在世界各地迅速发展,建筑高度不断刷新,我国高层建筑发展虽然较迟,但发展步伐很快。我国现代高层建筑发展的起点可以追溯到 20 世纪 20 年代,1923 年上海建成了 10 层高的字林西报大楼,即今中山东路桂林大楼,它是我国第一座现代高层建筑。随后,上海、广州等沿海城市相继建造了数十座 10 层以上的高楼,其中最高的是建于 1934 年的上海国际饭店,地上 22 层,地下 2 层,地面以上高 82.5m,号称“远东第一高楼”;其次是同年建成的上海百老汇大厦,即今上海大厦,高 21 层。1949 年中华人民共和国成立后,在头 20 年中,我国的高层建筑建设开始了新的起点,但当时发展不快,层数也不高。其中较著名的建筑物有北京的民族饭店(12 层)、民族文化宫(13 层)、民航大楼(16 层)等。进入 20 世纪 60 年代后,我国高层建筑的发展加快,层数逐渐升高,著名的北京饭店新楼(高 17 层,80m)、广州宾馆(高 28 层,87.6m)、上海宾馆(高 27 层,91.5m)、广州白云宾馆(高 32 层,112m)等相继建成。其中广州宾馆

是首座高度超过上海国际饭店的高楼。1976年建成的广州白云宾馆是我国首座高度逾百米的高层建筑。改革开放后,随着国民经济持续高速发展,高层建筑以惊人的速度迅猛发展,全国各大中城市无处不建高楼。1990年建成的北京京广中心,高57层,208m,是我国首座高度逾200m的高层建筑。1996年建成的广州中天广场,高80层,322m,是我国首座高度逾300m的高层建筑。1998年建成的上海金茂大厦,高88层,420.5m,是我国首座高度逾400m的高层建筑。2008年建成的上海环球金融中心,高492m,101层,是目前我国内地的第一高楼。特别值得一提的是,2008年11月开工建设的上海中心大厦,由地上121层主楼、5层裙房和5层地下室组成,总高度达632m,2009年7月主楼桩基完成施工,2010年3月,底板浇筑完成,整幢大厦将于2014年竣工,建成后的上海中心大厦将成为中国第一高楼及世界第二高楼。

据有关资料报道,截至2005年年底,上海18层以上的高层建筑有4000多幢,排名世界第一,到2010年前又建成了1000幢左右的高层建筑,图1-2为上海黄浦江边陆家嘴金融区高层建筑群。



图1-2 上海黄浦江边陆家嘴金融区高层建筑群

随着高层建筑的大量建造和广泛使用,人们对迅速崛起的高楼大厦有了警觉和异议,高楼带来的安全、交通、采光以及空气质量等问题日益严重,部分隐患难以消除,而且高度超过300m的摩天大楼已经失去了节约用地的经济意义。此外,由于高层建筑荷重巨大,其绝对沉降量影响范围大、作用时间长。上海市的实测沉降资料表明,高容量的高层建筑对地质环境的影响非常显著。在1977年至1985年之间,上海的平均沉降速度为6.8mm/年,而在1985年至1990年之间,高楼林立的陆家嘴地区平均沉降速度则增至12~15mm/年,其中高层建筑等城市工

程建设对中心城区地面沉降量的影响上升到约占总影响量的30% (其余70%是由于城市地下水的过分开采等引起), 如不采取措施, 据此推断每10年累计沉降量可达0.12~0.15m, 约等于一级台阶的高度。上海市为此实施了较为严格的地下水以及回灌地下水等措施, 近年来, 上海地区的平均沉降速度下降至约6mm/年。因此, 必须从正反两个方面来看待日益发展的高层建筑。

三、高层建筑的主要特点

现代高层建筑是随着社会经济发展、科学技术进步和人们生活需要而逐渐发展起来的。高层建筑具有占地面积小, 节省公用设施投资, 改变城市面貌等优点, 满足了城市因人口集中、用地紧张及商业竞争引起的需求。

当建筑物高度增加时, 水平荷载(风荷载及地震作用)对结构起的作用将越来越大。除了结构内力将明显加大外, 结构侧向位移增加更快, 这是高层建筑与多层建筑受力的主要区别。图1-3表示的是基础结构内力(轴力 N , 弯矩 M)、侧向位移(Δ)与建筑高度(H)的关系, 由该图可看出, 基础结构弯矩和基础侧向位移都随高度的增加成指数曲线上升。

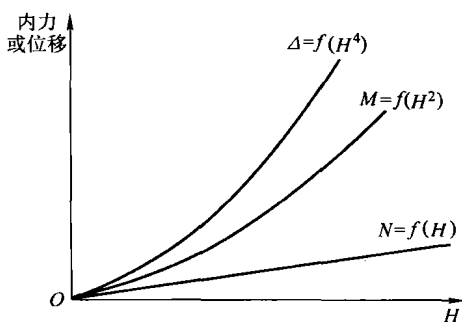


图1-3 基础结构内力、侧向位移与建筑高度的关系

高层建筑相对于多层建筑具有以下的一些主要特点:

(1) 建造高层建筑可以在相同的建设场地中, 以较小的占地面积获得更多的建筑面积, 可部分解决城市用地紧张和地价高涨的问题。设计精美的高层建筑还可以增加城市景观。但过于密集的高层建筑也会对城市造成热岛效应或影响建筑物周边区域的采光。

(2) 随着建筑物高度的增加, 相应地刚度也增大, 对稳定性, 特别是对整体倾斜的要求就更为严格。同时, 还有主楼与低层裙房之间的沉降差等问题。

(3) 随着建筑物高度的增加, 不仅竖向荷载随之增大, 而且风荷载和地震荷载引起的倾覆力矩也成倍增长。因此, 高层建筑的分析和设计比一般多层建筑复杂得多, 侧向荷载(风荷载和地震作用)是高层结构的控制因素。

(4) 由于竖向交通和防火等要求, 使得高层建筑造价和运行成本加大。据2000年的有关资料报道, 上海金茂大厦每天的运营成本在100万元左右; 而当年在建设上海环球金融中心期间, 投资方为争得“世界第一高楼”之名, 不惜以超过10亿日元/m的代价, 把设计高度从466m增加到492m, 整幢大楼的造价也从750亿日元飙升至1050亿日元, 约为金茂大厦5.6亿美元总投资金额的2倍。

第二节 高层建筑基础工程的主要特点

高层建筑基础对整个建筑物的安全和寿命有着举足轻重的影响,其造价和工期分别占建筑物土建总造价和总工期的 $1/3$ 左右。国内外也不乏高层建筑因其基础处理不当,而造成整个建筑物突然倾覆的事例。如南美洲某高层建筑,设计时未查明地质情况,致使设计时桩长不足,未达到坚硬土层,桩基承载力也不足,结果当结构施工到顶尚未装修时便开始倾斜,几天后,整个大楼一夜之间倾覆于地面。由于基础工程事故而造成不同程度损失的工程实例,更是不胜枚举。如上海某宾馆,地基为深厚软土,采用振冲碎石桩加固地基,基础形式为箱形基础,由于这种加固方法在软土中的设计理论尚不够成熟,对施工质量与加固效果还缺乏完善的检测手段,加之施工管理不严,偷工减料,该高层建筑刚刚建成便产生不能允许的沉降与倾斜,裙房局部挤压损坏,不得不采取昂贵的措施再次加固地基。

一般建筑物基础工程的传统概念,在高层建筑中已被构成地下空间的基础结构所代替。高层建筑基础工程包括基础结构和基坑工程两大密切相关的部分,这是高层建筑基础工程的基本特点。高层建筑基础工程主要具有以下几方面的特点:

(1) 高层建筑的地基基础必须能提供足够的竖向承载力和水平向承载力。高层建筑的重量随着层数的增加而增加,其基础承受的竖向荷载大而集中。例如,50层的钢筋混凝土结构,其基底总压力往往可达 1MPa 。与此同时,风荷载和地震作用引起的倾覆力矩成倍增长。因此,高层建筑要求地基和基础结构必须能承受较大的竖向和水平向荷载,以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范围内。

(2) 为了满足稳定性和利用地下空间的要求,高层建筑的基础一般具有较大的埋置深度,甚至超过 20m (上海环球金融中心最大挖深约 26m)。基坑开挖将直接导致土体沉降与位移,并引起路面、管线、房屋损坏;而降水措施(如井点降水)也可能导致土体沉降与位移。基础结构的埋置深度越大,基坑开挖深度相应也增加,于是带来了复杂的基坑工程问题。另外,由于地下空间的开发利用日益受到重视,高层建筑基础的埋深还有不断加深的趋势。因此,高层建筑的深基坑开挖问题成了高层建筑基础工程设计和施工方案的重要组成部分。

(3) 高层建筑常建于城市建筑物和人口密集之处,在软土地区往往要打长桩,而长桩施工对周围环境的影响范围大。为了防止打桩产生的噪声和振动影响周围居民的生活,防止沉桩挤土危及邻近的建构筑物、道路交通和地下管线设施,必须采取经济合理且有效的防护措施。

(4) 基础结构大,则混凝土施工难度也相应增大,如何组织大体积混凝土

的一次性浇筑施工,以及对可能产生的温度裂缝、收缩裂缝进行预防和控制,是高层建筑基础工程的重要课题。例如,正在建造中的上海金融中心的基础底板混凝土浇筑量达到 $6 \times 10^4 \text{ m}^3$, 是全世界民用建筑领域一次性连续浇筑量最大的基础底板工程。如果混凝土产生裂缝,将影响其抗渗、抗侵蚀性能,危及基础结构或地下室的正常使用和长期寿命。

(5) 高层建筑基础工程的造价和施工工期在建设总造价和总工期中所占的比例,与上部结构形式和层数、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。对于钢筋混凝土结构和一般的地质条件而言,采用箱形基础和筏形基础的高层建筑,其基础工程的费用约占建筑总造价的 $10\% \sim 20\%$, 相应的施工工期约占建筑总工期的 $20\% \sim 25\%$; 采用桩基的高层建筑,以上两项的比例分别为 $20\% \sim 30\%$ 和 $30\% \sim 40\%$ 。

多层建筑常用的基础形式、设计理论与施工方法不能简单地照搬用于高层建筑,其中任何一方面考虑不周或不当,都将导致不良、甚至造成严重的后果。轻则产生过大的沉降、倾斜和不均匀沉降,造成结构局部损坏或影响使用功能;重则将导致整个建筑的倾覆或破坏。

总之,基础工程的设计与施工对高层建筑本身及其周围环境的安全至关重要,基础工程的造价与工期对高层建筑总造价与总工期有着举足轻重的影响。

第三节 高层建筑基础类型与适用性

高层建筑基础的合理选型是整体结构设计中的一个重要环节,它不但涉及整幢建筑的使用功能与安全可靠,还直接关系到投资额度、施工进度以及对周边现有建筑物的影响程度。正如上节所提到的,基础的经济技术指标对高层建筑的总造价有很大的影响,在整个工程造价中占有较高的比例,尤其是在地质状况比较复杂的情况下。

一、高层建筑基础类型

高层建筑常用的基础类型主要有十字交叉条形基础、筏形基础、箱形基础、桩筏基础、桩箱基础等。

(一) 十字交叉条形基础 (Cross-shaped Strip Foundation)

1. 基础形式

十字交叉条形基础为在柱网下纵横双向设置的钢筋混凝土条形基础,如图 1-4 所示。

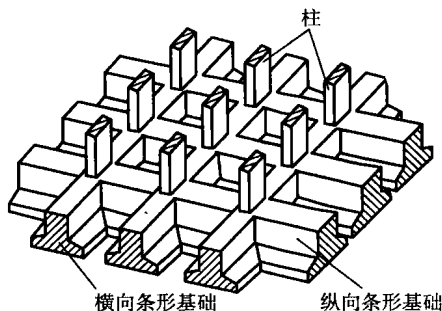


图 1-4 十字交叉条形基础

2. 适用范围

通常在下列情况下宜采用十字交叉条形基础：

(1) 上部结构传来的荷载不是太大，柱网较为均匀，柱距较小且各柱荷载差异较小时。

(2) 地基土质均匀，地基土承载力很高且压缩性较小时。

(3) 建筑物无地下室要求时。

(二) 筏形基础(Raft Foundation)

1. 基础形式

若上部结构传来的荷载很大，当十字交叉条形基础不能提供足够的底面积时，可将条形基础的底面扩大为满堂基础，称为筏形基础。它类似一块倒置的楼盖，比十字交叉条形基础具有更大的整体刚度，有利于调整地基的不均匀沉降，能够较好的适应上部结构荷载分布的变化。特别对于有地下室的房屋或大型贮液结构，如水池、油库等，筏形基础是一种比较理想的基础结构形式。筏形基础可在6层住宅中使用，也可在50层以上的高层建筑中使用，如美国休斯敦市的52层壳体广场大楼就是采用天然地基上的筏形基础，厚度为2.52m。

筏形基础通常分为平板式和梁板式两种类型。平板式筏形基础是一块等厚度的钢筋混凝土平板(图1-5a)，筏板厚度的确定比较困难，目前在设计中一般是根据经验确定，可按每层50~70mm确定筏板厚度(筏板厚度不得小于200mm)，对于高层建筑，当考虑上部结构的刚度时，筏板厚度通常小于根据经验方法所确定的厚度；当柱荷载较大时，可按图1-5b局部加大柱下板厚或设墩基以防止筏板被冲剪破坏。若柱距较大，柱荷载相差也较大时，板内也会产生较大的弯矩，此时宜在板上沿柱轴纵横向设置基础梁(图1-5c、图1-5d)，即形成梁板式筏形基础，这时板的厚度虽比平板式小得多，但其刚度较大，能承受更大的弯矩。在这两种筏形基础的方案选择时，应注意它们各自的适用范围及其优缺点。

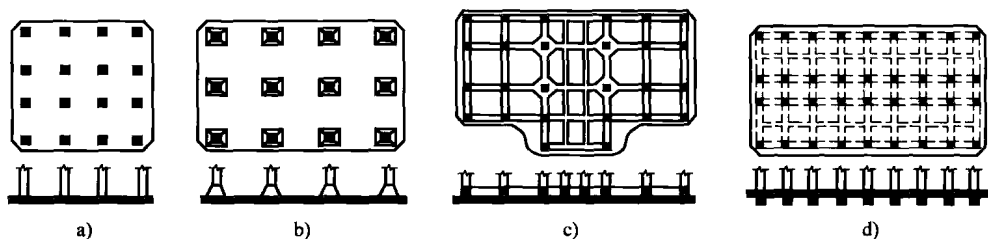


图 1-5 筏形基础

a)、b) 平板式 c)、d) 梁板式

梁板式筏形基础由于其自身平面内的梁、板抗弯刚度相差悬殊，所以基础

的主要抗力构件是基础梁。因此基础梁的截面高度与配筋都很大,而筏板主要起扩散地基反力和基底防水的作用。梁板式筏形基础的优点是基础的混凝土用量要比平板式筏形基础少,其缺点是所需的基础截面高度比相应的平板式筏形基础大,梁的钢筋用量多。梁板式筏形基础一般只适用于柱网布置比较规则、柱下荷载比较均匀的框架结构。

平板式筏形基础的优点是基础截面高度小,具有较大的整体刚度,其内力与弯曲变形的整体挠曲率都较小,节省挖方和降水的工作量,施工进度快;其缺点是混凝土的用量比梁板式筏形基础大。

2. 适用范围

通常在下列情况下考虑采用筏形基础:

- (1) 当采用十字交叉条形基础不能满足建筑物的允许变形和地基承载力要求时。
- (2) 当建筑物柱距较小,而柱荷载很大,将基础连成整体才能满足地基承载力要求时。
- (3) 在风荷载或地震作用下,欲使基础有足够的刚度和稳定性时。

(三) 箱形基础(Box Foundation)

1. 基础形式

当上部结构荷载较重,底层墙柱间距较大,地基承载力相对较低,采用筏形基础不能满足要求时,可采用箱形基础。箱形基础是由钢筋混凝土底板、顶板和纵横交错的隔墙组成的一个空间的整体结构。箱形基础通常如图 1-6a 所示,为了加大箱形基础的底板刚度,也可采用“套箱式”的箱形基础(图 1-6b)。

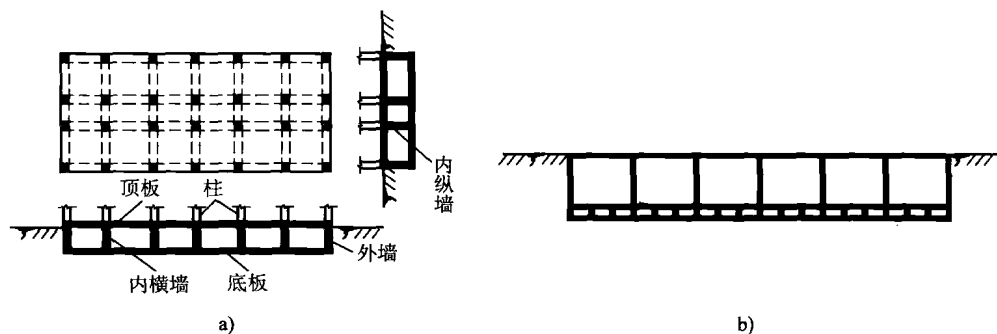


图 1-6 箱形基础

a) 常规式 b) 套箱式图

2. 受力特点与适用性

- (1) 箱形基础比筏形基础具有更大的抗弯刚度和整体性。箱形基础可视为绝对刚性基础,其相对弯曲通常小于 0.33% ,能够抵抗并协调由于软弱地基在