



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

高层与大跨 建筑结构施工

主 编 王绍君
副主编 曹正罡
主 审 刘宗仁

赠送电子课件



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

高层与大跨建筑结构设计施工

主 编 王绍君
副主编 曹正罡
主 审 刘宗仁



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书主要讲述高层与大跨建筑的基本概念、主要工程的施工技术和施工组织计划的一般规律,其主要特点是涉及知识面广,根据我国现行的规范、规程和标准,结合施工现场及实例深入介绍高层与大跨建筑结构施工技术的新材料、新技术、新工艺。

本书共分9章,内容包括绪论、高层建筑深基坑支护结构施工、高层建筑起重机械、高层建筑脚手架、高层建筑基础工程施工、高层建筑主体结构施工、高层建筑外墙围护结构施工、高层钢结构施工、大跨建筑结构施工。

本书适合作为高等学校土木工程专业本、专科学生的教材,也可作为土木工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高层与大跨建筑结构施工/王绍君主编. —北京:北京大学出版社, 2011.1

(21世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-18105-8

I. ①高… II. ①王… III. ①高层建筑—工程施工—教材 ②大跨度结构—建筑工程—工程施工—教材
IV. ①TU974 ②TU745.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第227861号

书 名: 高层与大跨建筑结构施工

著作责任者: 王绍君 主编

策 划 编 辑: 吴 迪

责 任 编 辑: 伍大维

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-18105-8/TU·0146

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京富生印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 25.75印张 608千字

2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

定 价: 46.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

北京出版社土木建筑系列教材(已出版)

序号	书名	主编	定价	序号	书名	主编	定价
1	建筑设备	刘源全 张国军	35.00	39	工程结构检测	周 详 刘益虹	20.00
2	土木工程测量	陈久强 刘文生	35.00	40	土木工程课程设计指南	许 明 孟苗超	25.00
3	土木工程材料	柯国军	35.00	41	桥梁工程	周先雁 王解军	52.00
4	土木工程计算机绘图	袁 果 张渝生	28.00	42	房屋建筑学(上: 民用建筑)	钱 坤 王若竹	32.00
5	工程地质	何培玲 张 婷	20.00	43	房屋建筑学(下: 工业建筑)	钱 坤 吴 歌	26.00
6	建设工程监理概论(第 2 版)	巩天真 张泽平	30.00	44	工程管理专业英语	王竹芳	24.00
7	工程经济学	冯为民 付晓灵	34.00	45	建筑结构 CAD 教程	崔钦淑	36.00
8	工程项目管理	仲景冰 王红兵	32.00	46	建设工程招投标与合同管理实务	崔东红	38.00
9	工程造价管理	车春鹂 杜春艳	24.00	47	工程地质	倪宏革 时向东	25.00
10	工程招标投标管理	刘昌明 宋会莲	20.00	48	工程经济学	张厚钧	36.00
11	工程合同管理	方 俊 胡向真	23.00	49	工程财务管理	张学英	38.00
12	建筑工程施工组织与管理	余群舟	20.00	50	土木工程施工	石海均 马 哲	40.00
13	建设法规	胡向真 肖 铭	20.00	51	土木工程制图	张会平	34.00
14	建设项目评估	王 华	35.00	52	土木工程制图习题集	张会平	22.00
15	工程量清单的编制与投标报价	刘富勤 陈德方	25.00	53	土木工程材料	王春阳 裴 锐	40.00
16	土木工程概预算与投标报价	叶 良 刘 薇	28.00	54	结构抗震设计	祝英杰	30.00
17	室内装饰工程预算	陈祖建	30.00	55	土木工程专业英语	霍俊芳 姜丽云	35.00
18	力学与结构	徐吉恩 唐小弟	42.00	56	混凝土结构设计原理	邵永健	40.00
19	理论力学	张俊彦 黄宁宁	26.00	57	土木工程计量与计价	王翠琴 李春燕	36.00
20	材料力学	金康宁 谢群丹	27.00	58	房地产开发与管理	刘 薇	38.00
21	结构力学简明教程	张系斌	20.00	59	土力学	高向阳	32.00
22	流体力学	刘建军 章宝华	20.00	60	建筑表现技法	冯 柯	42.00
23	弹性力学	薛 强	22.00	61	工程招投标与合同管理	吴 芳 冯 宁	39.00
24	工程力学	罗迎社 喻小明	30.00	62	工程施工组织	周国恩	28.00
25	土力学	肖仁成 俞 晓	18.00	63	建筑力学	邹建奇	34.00
26	基础工程	王协群 章宝华	32.00	64	土力学学习指导与考题精解	高向阳	26.00
27	有限单元法	丁 科 陈月顺	17.00	65	建筑概论	钱 坤	28.00
28	土木工程施工	邓寿昌 李晓目	42.00	66	岩石力学	高 玮	35.00
29	房屋建筑学	聂洪达 郗恩田	36.00	67	交通工程学	李 杰 王 富	39.00
30	混凝土结构设计原理	许成祥 何培玲	28.00	68	建筑表现技法	冯 柯	42.00
31	混凝土结构设计	彭 刚 蔡江勇	28.00	69	房地产策划	王直民	42.00
32	钢结构设计原理	石建军 姜 袁	32.00	70	中国传统建筑构造	李合群	35.00
33	结构抗震设计	马成松 苏 原	25.00	71	房地产开发	石海均 王 宏	34.00
34	高层建筑施工	张厚先 陈德方	32.00	72	室内设计原理	冯 柯	28.00
35	高层建筑结构设计	张仲先 王海波	23.00	73	建筑结构优化及应用	朱杰江	30.00
36	工程事故分析与工程安全	谢征勋 罗 章	22.00	74	高层与大跨建筑结构施工	王绍君	45.00
37	砌体结构	何培玲	20.00	75	工程造价管理	周国恩	42.00
38	荷载与结构设计方法	许成祥 何培玲	20.00				

电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源下载地址: <http://www.pup6.com/ebook.htm>, 欢迎下载。
欢迎免费索取样书, 请填写并通过 E-mail 提交教师调查表, 下载地址: <http://www.pup6.com/down/教师信息调查表 excel 版.xls>, 欢迎订购。
联系方式: 010-62750667, wudi1979@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信。

前 言

进入 21 世纪, 建筑行业迅猛发展, 高新技术的运用、科学的管理和科学方法的运用实施都需要全面提高人员素质和科学水平。施工是高等工科院校土木工程专业学生的主要专业课, 在培养学生掌握土木工程施工基本知识和独立分析、解决施工中遇到的问题的基本能力方面起着重要作用, 同时它也是学生从抽象的专业基础课与专业课走向实践、学以致用用的第一步。近年来随着我国设计与施工水平的提高, 高层与大跨建筑发展很快, 它是土木工程施工课程的补充和深入, 其基本概念和施工工艺适合本科、专科学生作为专业选修课程深入地学习, 其在施工中涉及的施工验算和设计问题也可以为研究生课题的选取和研究提供思路。

本书主要讲述高层与大跨建筑的基本概念、主要工程的施工技术和施工组织计划的一般规律, 其特点是涉及知识面广、实践性强, 突出各种高层与大跨建筑的结构特点, 强调其施工的难点, 有利于引发学生的学习兴趣, 以便于其弄清知识的内涵和外延、基本知识与实践的关系。本书具有以下特色:

- 既继承了传统《土木工程施工》和《高层建筑施工》教材的理论精华, 又与时俱进, 充分反映了我国施工技术的发展状况。
- 结构合理, 层次清晰, 内容精练, 方便教师教学, 及时地反映了学科前沿的新技术、新工艺、新方法、新规范、新标准, 并纳入到书中。
- 增加了高层建筑脚手架、钢-混组合结构施工、大跨空间建筑结构施工和外围护墙体的施工等方面的内容。
- 加强实践性应用知识的学习内容, 与实习等教学环节联系起来, 系统性强, 教师易于引导和教学。
- 可读性强, 学生易于学习和掌握。

讲授本书内容约用 48 学时。采用本书可以根据具体学时情况, 对内容进行取舍。

本书由哈尔滨工业大学刘宗仁教授担任主审, 哈尔滨工业大学王绍君副教授担任主编, 哈尔滨工业大学曹正罡讲师担任副主编。参加本书编写的有哈尔滨工业大学的刘宗仁(第 1 章)、姜庆远(第 2 章)、王绍君(第 2、3、4、5 章)、周威(第 6 章)、郭兰慧(第 8 章)、曹正罡(第 9 章), 北京城建集团的温丽劼(第 7 章)。本书在编写过程中, 承有关施工单位提供资料并大力支持, 谨此深表感谢!

由于编者水平有限, 时间仓促, 书中不妥之处敬请同仁和广大读者批评指正。

编 者

2010 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1	3.1.2 塔式起重机的分类和 特点	53
1.1 高层建筑	1	3.1.3 塔式起重机的选用	54
1.1.1 高层建筑的定义	2	3.1.4 塔式起重机类型的选择 ...	56
1.1.2 高层建筑结构体系	2	3.1.5 塔式起重机基础	57
1.1.3 高层建筑结构材料	2	3.1.6 附着式塔式起重机的 锚固	58
1.1.4 高层建筑施工技术	3	3.2 施工电梯	60
1.2 大跨建筑	3	3.2.1 分类	60
1.2.1 大跨建筑结构体系	3	3.2.2 技术性能	62
1.2.2 大跨建筑施工	4	3.3 井架起重机	62
1.3 本课程的特点	4	3.4 快速提升机	62
第 2 章 高层建筑深基坑支护结构 施工	5	3.5 混凝土泵送机械	62
2.1 深基坑工程的设计内容与安全 等级	5	3.5.1 混凝土搅拌站	62
2.1.1 深基坑工程的内容	5	3.5.2 混凝土搅拌运输车	64
2.1.2 深基坑支护结构的设计 原则与安全等级	6	3.5.3 混凝土泵	65
2.2 深基坑支护结构的形式	6	3.5.4 混凝土布料杆	66
2.2.1 支护挡墙选型	6	3.5.5 泵送混凝土施工	68
2.2.2 支撑系统形式	9	思考题	69
2.3 深基坑降水	11	第 4 章 高层建筑脚手架	70
2.3.1 集水坑降水	12	4.1 扣件式钢管脚手架	70
2.3.2 井点降水	14	4.1.1 扣件式钢管脚手架的 计算	72
2.4 支护结构的设计与施工	25	4.1.2 密目式安全立网全封闭 脚手架的计算	74
2.4.1 深层搅拌桩支护	25	4.2 碗扣式钢管脚手架	75
2.4.2 土钉墙支护	34	4.3 门式脚手架	76
2.4.3 排桩、地下连续墙支护 ...	39	4.4 桥式脚手架	77
思考题	51	4.5 悬挑(挂)式脚手架	79
第 3 章 高层建筑起重机械	53	4.5.1 悬挑式外脚手架	79
3.1 塔式起重机	53	4.5.2 外挂脚手架	80
3.1.1 塔式起重机的组成	53	4.5.3 吊篮	80
		4.5.4 附着式升降外脚手架	81

思考题	82	6.4.2 预应力筋锚固体体系	196
第5章 高层建筑基础工程施工	83	6.4.3 张拉设备	206
5.1 高层建筑地基基础分类与选型 ...	83	6.4.4 有粘结预应力工艺	213
5.1.1 高层建筑常用基础形式及特点	83	6.4.5 无粘结预应力工艺	225
5.1.2 高层与裙房部分基础的连接方式	85	6.4.6 预应力张拉计算	227
5.1.3 常见高层建筑基础选型实例	86	思考题	230
5.2 高层建筑地基基础布置	86	第7章 高层建筑外墙围护结构施工	232
5.2.1 筏形基础一般布置形式 ...	86	7.1 外墙材料	232
5.2.2 箱形基础的结构布置	88	7.1.1 粘土类砖	232
5.2.3 桩基础的布置及原则	88	7.1.2 非粘土类砖	235
5.3 高层建筑地基基础设计简介	89	7.1.3 混凝土砌块	236
5.3.1 筏板尺寸的确定与构造要求	90	7.2 高层建筑外墙围护结构施工工艺	240
5.3.2 箱形基础截面计算与构造要求	92	7.2.1 施工准备	240
5.3.3 桩及桩基承台的基本构造与混凝土灌注桩的设计	95	7.2.2 操作工艺	241
思考题	98	7.2.3 质量标准	248
第6章 高层建筑主体结构施工	99	7.2.4 施工常见质量问题	250
6.1 模板工程	99	7.3 建筑节能和保温隔热	252
6.1.1 大模板	99	7.3.1 建筑围护结构节能	252
6.1.2 竹木胶合板模板	113	7.3.2 复合保温外墙的技术特点	253
6.1.3 飞模(台模)	119	7.3.3 外墙外保温材料	255
6.1.4 滑模施工	134	7.3.4 GKP 外墙外保温施工技术	256
6.1.5 爬升模板	142	思考题	263
6.2 钢筋工程	149	第8章 高层钢结构施工	264
6.2.1 钢筋的品种与规格	149	8.1 高层钢结构体系的结构形式	264
6.2.2 高层混凝土结构钢筋连接	154	8.1.1 框架结构体系	264
6.3 混凝土工程	172	8.1.2 框架-支撑结构体系	265
6.3.1 混凝土的拌制	172	8.1.3 框架-剪力墙结构体系 ...	268
6.3.2 混凝土运输与浇筑	177	8.1.4 框架-筒体结构体系	269
6.3.3 泵送混凝土运输与浇筑	189	8.2 高层钢结构构件的制作与拼装 ...	271
6.4 预应力工程	191	8.2.1 钢结构材料	271
6.4.1 预应力筋	192	8.2.2 钢结构连接	273
		8.2.3 钢构件制作	279
		8.2.4 钢结构节点加工制作与连接	283

8.2.5 钢构件的组装与拼装	289	9.1 大跨空间结构概念及发展历史 ...	311
8.3 钢结构的施工	290	9.2 大跨空间结构的特点	314
8.3.1 确定整体施工方案	290	9.3 大跨空间结构的分类	315
8.3.2 基础和支承面施工	294	9.3.1 薄壳结构	315
8.3.3 柱的施工过程	294	9.3.2 空间网格结构	318
8.3.4 梁的连接过程	297	9.3.3 门式刚架结构	328
8.3.5 压型钢板组合楼板的 施工	298	9.3.4 薄膜结构	330
8.3.6 混凝土的浇筑	300	9.3.5 张弦结构	333
8.4 高层钢结构的涂装工程	302	9.3.6 悬索结构	336
8.4.1 钢结构表面除锈	302	9.4 大跨空间结构施工技术	341
8.4.2 防腐涂料的涂装	303	9.4.1 薄壳结构施工	341
8.4.3 防火涂料的涂装	304	9.4.2 空间网格结构施工	350
8.5 钢结构构件质量检测	306	9.4.3 钢管桁架施工	364
8.5.1 基础和支撑面的质量 控制	306	9.4.4 门式刚架结构施工	370
8.5.2 安装和校正	307	9.4.5 薄膜结构施工	373
8.5.3 压型钢板的质​​量控制	310	9.4.6 张弦结构施工	377
思考题	310	9.4.7 悬索结构施工	383
第9章 大跨建筑结构施工	311	思考题	402
		参考文献	404

第1章 绪论

改革开放 30 多年来,国民经济迅速发展,人民生活水平日益提高,城乡建设规模扩大带动了建筑业的发展与繁荣,全国各地不断涌现出一些设计新颖、规模宏大、技术含量高、施工难度大的高层建筑,尤其是 2008 年北京奥运会申办成功,一些具有高、精、尖技术含量和施工水平的国际级体育场馆、机场航站楼等大跨建筑相继建成,它们向世界展示了中国的综合国力与中国人民的文化生活和城市面貌。与此同时也标志着我国的建筑施工技术水平取得了长足进步。

1.1 高层建筑

1885 年世界第一幢采用铁框架和部分钢梁建成的高层建筑诞生,它是位于美国芝加哥的家庭保险公司大楼(Home Insurance Building),共 10 层,高 55 m。它在结构体系、材料应用等方面开创了历史新纪元。

公元 523 年,我国在河南登封就建造了 10 层的嵩岳寺塔,公元 9 世纪在云南大理建造了千寻塔,公元 11 世纪在河北定县建成 11 层的料敌塔,这些都是砖砌筒体的典型高层建筑。

我国近代的高层建筑始于 1915 年前后,在 20 世纪 20~40 年代建成 10 层左右的建筑约 100 幢,其中最高的是 23 层的上海国际饭店。

20 世纪 50 年代陆续在北京、广州、沈阳等地建成 8~9 层的旅馆、办公楼。1959 年北京建成 13 层的民族文化宫和 12 层的民族饭店。

20 世纪 60 年代北京建成 14 层的民航大楼,天津建成 12 层的南开大学主楼,广州建成 18 层的人民大厦和 27 层的广州宾馆。

20 世纪 70 年代在全国 20 多个城市兴建了一批高层建筑,其中广州 1977 年建成 33 层高 115 m 的白云宾馆,中国香港 1973 年建成 52 层高 178 m 的康乐大厦。

20 世纪 80 年代随着改革开放的进程,外事、旅游以及城市住房的迫切需要,全国各大城市普遍开始兴建高层建筑。中国香港 1980 年建成 65 层高 216 m 的合和中心,1985 年建成 70 层高 315 m 的中国银行香港分行,深圳 1985 年建成 50 层高 180 m 的国际贸易中心。

20 世纪 90 年代国内已开始大量兴建 100 m 以上的高层建筑,其中已建成的超过 150 m 的 100 多幢高层建筑中,上海的 88 层高 420 m 的金茂大厦,深圳的 80 层高 325 m 的地王大厦,广州的 80 层高 322 m 的中信广场位居前三位。

进入 21 世纪以来,超高层建筑在城市节地、提升城市形象、拉动社会投资、扩大旅游和商贸活动等方面有其独特的作用,远非普通建筑可以比拟。因此近年来我国经济实力雄厚的地区竣工、在建和拟建的超高层建筑如雨后春笋,钢结构技术的发展更是助长了建

筑超高层化态势,高度超过 100 m 的建筑从 20 世纪 90 年代中期的不足 200 栋一跃发展到目前的近 900 栋。2007 年建成的上海环球金融中心工程 101 层高 492 m,2008 年 3 月设计奇特、高度达 234 m 的中央电视台新台址主体封顶,在建的还有广州珠江新城西塔工程(塔身高度 432 m),广州新电视塔工程(塔身高度 454 m,总高度 610 m)。

1.1.1 高层建筑的定义

1972 年召开的国际高层建筑会议规定高层建筑按照建筑层数多少划分为四类:

第一类高层建筑:9~16 层(最高到 50 m);

第二类高层建筑:17~25 层(最高到 75 m);

第三类高层建筑:26~40 层(最高到 100 m);

第四类高层建筑:40 层以上(高度 100 m 以上为超高层建筑)。

不同国家和地区对高层建筑有不同的定义,我国在 1983 年以前,曾以 8 层作为高层建筑的起点,1984 年以后,以 10 层以上的住宅建筑和总高度超过 24 m 的公共建筑及综合建筑作为高层建筑。新修订的《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)规定 10 层及 10 层以上或房屋高度大于 28 m 的建筑物为高层建筑。

1.1.2 高层建筑结构体系

20 世纪 80 年代以前,高层建筑基本结构体系有:框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构、框支剪力墙结构、框架-筒体结构等。

20 世纪 80 年代中期,逐渐出现一些新颖的结构形式,如悬挂结构、巨型框架结构、桁架结构、刚性桁架结构等,它们以整体受力为主要特点,从而更好地满足了建筑功能的要求。

现代公共建筑逐渐趋向多功能综合性大厦,同一建筑物内的商店、餐厅、办公楼、旅馆和住宅,要求在不同的楼层上有不同的结构布置,这就促使结构竖向发生结构形式和刚度的突变,形成多变的体型和复杂的竖向布置。例如利用承托梁、过渡层等过渡,对结构的设计和施工提出了更高的要求。

剪力墙结构适用于高层住宅,目前正向大开间、少内纵墙、短肢剪力墙方向发展,框支剪力墙结构适用于商住楼、旅馆等需要设置底部大空间的高层建筑;框架结构和框架-剪力墙结构用于各类公共建筑,并向大柱网、暗梁方向发展;筒体结构主要用于高耸的塔形建筑,其外柱柱距逐步加大,形成框架-筒体结构,以满足建筑要求。框架-筒体结构以及筒体结构具有良好的水平刚度,能够形成大空间,适用于建筑高度超过 100 m 的超高层建筑。

1.1.3 高层建筑结构材料

高层建筑按照结构材料分,主要有钢筋混凝土结构、钢结构、钢-混凝土组合结构(如型钢混凝土结构、钢管混凝土结构等)和混合结构(如钢框架与混凝土核心筒组成的框筒结构体系等)。

2000年从世界上已建最高的100栋建筑物的结构材料分析,其中钢结构占45%,钢-混凝土组合结构和混合结构占26%,钢筋混凝土结构占19%。

国内已建的最高的100栋建筑中,大量的高层和超高层建筑还是混凝土结构。但是随着国家建筑技术政策的转变,建筑设计与施工水平的提高以及建筑材料的发展,钢结构与钢-混凝土组合结构和混合结构在高层和超高层建筑中所占比例正逐年增大,并将成为今后国内外高层建筑尤其是超高层建筑采用的主要结构材料。

1.1.4 高层建筑施工技术

我国施工技术水平的提高保证了我国高层建筑的顺利发展。由于高层建筑地下埋深及嵌固深度的要求,一般要有一层或数层地下室,作为设备层、车库、人防、辅助用房等,基础工程施工技术解决了桩基和大体积混凝土施工等问题,开发并运用了多项深基坑支护技术,如逆作法、地下连续墙、土钉墙、SMW工法等。

混凝土结构工程施工模板技术推陈出新,出现了门类繁多的模板体系,如钢框木(竹)胶合板模板、台模、早拆模板体系等。粗钢筋连接技术也有所突破和创新,如出现了套筒挤压连接、锥螺纹连接和直螺纹连接等新技术。此外,混凝土施工机械化水平也迅速提高,混凝土泵的输送距离大大增加。

目前我国钢结构施工技术已接近国际先进水平,高强螺栓的连接代替了部分焊接,成为钢结构安装的主要手段之一,大型起重设备的运用可以一次完成大吨位、大体积的钢构件的吊装。

现代科学技术正在逐步运用于高层建筑施工中,如采用激光技术进行导向和测量;利用计算机技术进行土方开挖监测、大体积混凝土施工温度控制、模板滑升施工精度控制等。

1.2 大跨建筑

大跨空间结构是一个极富生命力的结构领域,结构形式不断推陈出新,随着人们物质与文化生活水平的提高,一些大型公共建筑(如体育馆、展览馆、大型商场、车站、候机楼、厂房、仓库等)越来越需要大空间,结构上要求实现大跨度,随之也带来了施工技术的不断革新。目前大跨度建筑的发展甚至可以代表一个国家建筑科技的发展水平。

1.2.1 大跨建筑结构体系

大跨建筑结构形式,主要分为平面杆系结构、空间杆系结构、张力结构。平面杆系结构包括桁架、拱、门式刚架等;空间杆系结构包括网架结构、立体桁架结构、网壳结构等;张力结构包括悬索结构、膜结构、索-膜结构等。空间杆系结构和张力结构在荷载作用下呈三维受力状态,都具有空间工作性能。

平面杆系结构中发展最快的一种结构形式是轻型门式刚架,它从屋面、墙面、墙架、保温层到承重结构形成了完整的体系,适用于建造大中型厂房、仓库、现代商业、文化娱

乐设施和体育场馆等公共建筑。这种结构重量轻、造价低、具有高度的系列化和装配化,施工速度快,造型美观大方。北京西郊机场飞机库采用的轻钢门式刚架结构跨度 72 m,施工安装工期仅 3 个月。

网架、网壳结构可采用装配式螺栓球节点连接,大大加快了施工进度。

悬索结构能适应建筑造型多样化的要求,能实现较大跨度,近年来也得到了可喜的发展。

膜结构是以膜材为主体材料并与钢结构及钢索联合组成的新型结构体系,已成为目前国际上大跨空间建筑及景观建筑的主要结构形式之一。在北京奥运会的国家体育场、水立方中都采用了膜材。

1.2.2 大跨建筑施工

大跨建筑结构构件的加工、制作基本都在工厂内完成,也可与下部钢筋混凝土结构同时进行,在施工现场完成对钢结构的安装以及钢索或膜片的安装、定位、张拉等施工过程,其特点是施工速度快,施工周期短。大跨建筑安装施工有多种施工方法,应根据结构形式、构造特点、施工条件等多种因素选择合适的施工方法。

1.3 本课程的特点

本课程结合教学实际,重点介绍高层与大跨建筑施工中的主要施工技术问题,是一般建筑施工技术课程内容的延伸。本课程也是一门实践性很强的课程,有些内容直接来自工程施工的经验总结。学习本课程必须坚持理论联系实际的学习方法。本课程根据已修订的《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002),《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—1999),《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002),《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2002),《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—1998),《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001),《网架结构设计规程》(JGJ 7—1991)等规范、规程,结合国内高层与大跨建筑施工的新技术、新工艺编写,介绍了当前工程实践中主要的施工工艺与方法,尤其对大跨空间结构体系中目前应用较多的结构形式进行了详细的分类,并从结构形式出发,对结构的主要受力特点、适用范围、结构优缺点等方面进行了细致地阐述。本课程还结合我国部分重点大跨空间结构工程实例,对其施工技术、工艺流程、施工方法进行了系统的介绍,特别是针对一些新型的大跨空间结构体系以及一些目前还没有形成系统施工规程的新型结构体系施工方法等问题进行了探讨,便于学生在学习中结合现场参观教学以及生产实习等教学环节真正做到融会贯通。

第2章

高层建筑深基坑支护结构施工

教学提示

本章介绍了深基坑工程的内容、设计原则与安全等级，深基坑支护结构的形式，重点介绍了水泥土搅拌桩、土钉墙、排桩与地下连续墙等常用支护形式的设计计算内容及施工工艺流程。分析了地下水流的性质，介绍了降低地下水位的常用方法。简单介绍了基坑涌水量的计算方法。

教学要求

要求重点掌握深基坑支护结构的形式与施工方法，初步了解深基坑工程的安全等级与设计原则，深基坑常用井点降水方法及其适用条件，熟练进行基坑涌水量的计算。

2.1 深基坑工程的设计内容与安全等级

高层建筑上部结构荷载很大，传到地基上，一般的独立基础通常不能满足技术要求。因此往往需要建造补偿性基础，补偿性基础埋深较大，为了充分利用地下空间，常常设计有多层地下室，所以高层建筑的基础施工时基坑开挖深度比较大。例如北京中银大厦基坑深—22.715 m、上海金茂大厦基坑深—19.65 m、武汉中南商业广场基坑深—17.4 m等。

在城市中开挖深度较大的基坑，会给施工带来很多困难，尤其在软土地区或城市建筑物密集地区。施工场地邻近的已有建筑物、道路、纵横交错的地下管线等对沉降和位移很敏感，不允许采用较经济的放坡开挖，往往需要在支护条件下进行基坑开挖。支护结构的设计和施工，有很多影响因素，如土层种类及其物理力学性能、地下水情况、周围形境、施工条件和施工方法、气候等因素都对支护结构产生影响；设计时荷载取值、计算理论等方面也存在相应问题。在实际施工过程中稍有疏忽或未严格按照设计规定进行施工，很容易产生恶性事故，造成巨大的经济损失和社会影响，同时也会拖延工期。虽然支护结构多为施工期间挡土、挡水、保护环境等所采用的临时结构，但设计和施工都应在保证施工安全的前提下，尽力做到经济合理和便于施工。

2.1.1 深基坑工程的内容

基坑土方开挖的施工工艺一般有两种：放坡开挖和在支护体系保护下开挖。放坡开挖既简单又经济，在空旷地区或周围环境允许放坡而又能保证边坡稳定的条件下一般优先选

用，但在城市中心建筑物稠密地区，往往不具备基坑放坡开挖的条件，因此常常采用在支护结构保护下垂直或基本垂直进行开挖。

支护开挖深基坑工程一般包括以下内容：

- (1) 基坑工程勘察。
- (2) 基坑支护结构的设计和施工。
- (3) 控制基坑地下水位。
- (4) 基坑土方工程的开挖和运输。
- (5) 基坑土方开挖过程中的工程监测。
- (6) 基坑周围的环境保护。

2.1.2 深基坑支护结构的设计原则与安全等级

基坑支护结构设计的原则为：安全可靠；经济合理；便利施工。

根据现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120—1999），基坑支护结构应采用分项系数表示的极限状态设计方法进行设计，分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。

根据《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120—1999），基坑侧壁的安全等级分为三级（表 2-1），设计时不同等级采用相对应的重要性系数 γ_0 。

表 2-1 基坑侧壁安全等级及重要性系数

安全等级	破坏后果	γ_0
一级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对周边环境及地下结构施工影响很严重	1.10
二级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对周边环境及地下结构施工影响一般	1.00
三级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对周边环境及地下结构施工影响不严重	0.90

2.2 深基坑支护结构的形式

2.2.1 支护挡墙选型

深基坑支护结构按工作机理和挡墙形式，一般分为以下类型，如图 2.1 所示。
支护结构中常用的挡墙结构有下列一些类型。

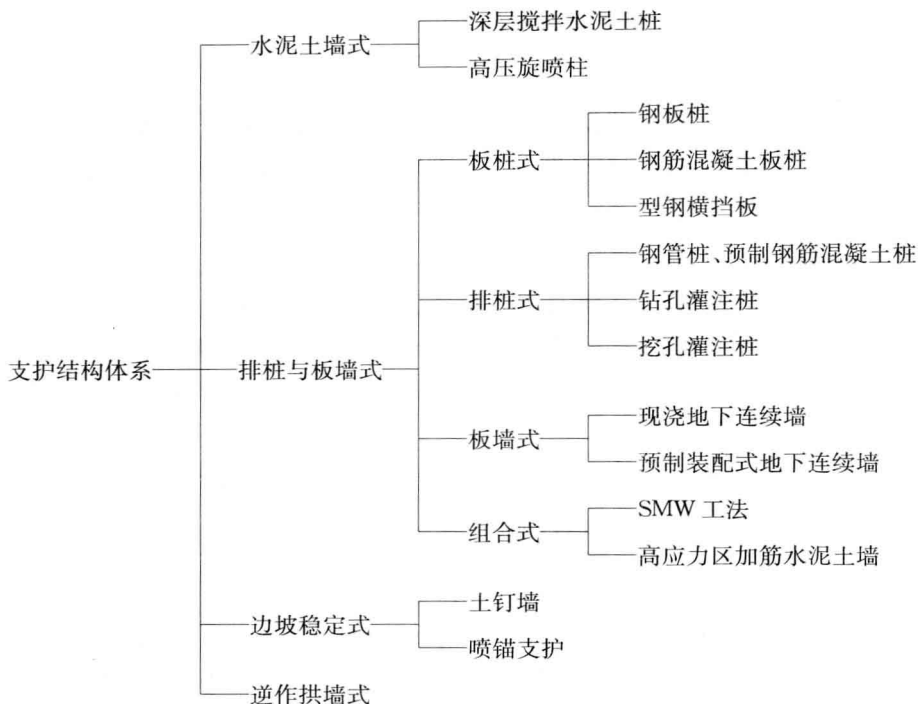


图 2.1 深基坑支护类型

1. 钢板桩

钢板桩常用的有简易的槽钢钢板桩和热轧锁口钢板桩。

1) 槽钢钢板桩(图 2.2)



图 2.2 槽钢钢板桩截面形式

由于其抗弯能力弱，用于开挖深度为 3~4 m 的基坑，顶部往往设一道支撑或拉锚。

2) 锁口钢板桩(图 2.3)

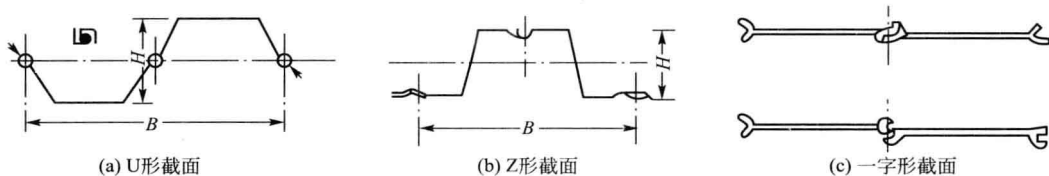


图 2.3 锁口钢板桩截面形式

适用于开挖深度为 5~10 m，地下水位较高的基坑支护，施工简单，但板桩柔性大，一般需与水平支撑、斜撑、角撑结合或用锚杆拉结。

2. 钢筋混凝土板桩

钢筋混凝土板桩截面带企口有一定的挡水作用，顶部设圈梁，用后不再拔除，永久保

留在地基土中，也多用于钢板桩难以拔除的地段。

3. 钻孔灌注桩

常用直径为 $\phi 600 \sim 1\,000$ ，做成排桩挡墙，顶部浇筑钢筋混凝土圈梁，设内支撑体系，是支护结构中应用较多的一种。钻孔灌注桩挡墙刚度较大，抗弯能力强，用于开挖深度为 $6 \sim 10\text{ m}$ 的基坑。

4. 地下连续墙

地下连续墙已成为深基坑的主要支护结构挡墙之一，常用厚度为 $600 \sim 1\,000\text{ mm}$ ，上海至今已完成一百多万平方米地下连续墙。尤其是在地下水位高的软土地区，当基坑深度大且邻近的建(构)筑物、道路和地下管线相距甚近时，它往往是首先考虑的支护方案。

5. 深层搅拌水泥土桩

深层搅拌水泥土桩做成挡墙在软土地区近年来应用较多，过去多用于地基加固工程。它是用特制进入土深层的深层搅拌机将喷出的水泥浆固化剂与地基土进行原位强制拌和而制成水泥土桩，相互搭接，硬化后即形成具有一定强度的壁状挡墙，既可挡土又可形成隔水帷幕。对于平面呈任何形状、开挖深度不很深的基坑(一般不超过 6 m)，皆可用作支护结构，比较经济。目前在上海地区应用广泛，效果较好。深层搅拌水泥土桩挡墙，属重力式挡墙，深度大时可在水泥土中插入加筋杆件，形成加筋水泥土挡墙，必要时还可辅以内支撑等。

6. 旋喷桩挡墙

旋喷桩是钻孔后将钻杆从地基土深处逐渐上提，同时利用插入钻杆端部的旋转喷嘴，将水泥浆固化剂喷入地基土中形成水泥土桩，桩体相连形成帷幕墙，可用作支护结构挡墙，在较狭窄地区亦可施工。它与深层搅拌水泥土桩一样，亦为重力式挡墙，只是形成水泥土桩的工艺不同。在施工旋喷桩时，要控制好上提速度、喷射压力和喷射量，否则质量难以保证。

7. 土钉墙

所谓的土钉通常是指在基坑开挖过程中，在基坑边壁上钻出的、与土壁接近垂直的深孔，然后插入钢筋并压力注入水泥浆或水泥砂浆，从而形成的与周围土体全长紧密结合的加筋注浆体。当土体不易成孔时，可将管壁上带有注浆小孔的钢管直接击入或顶入土中，然后在钢管内压力注浆形成土钉。

土钉墙是采用较密排列的土钉加固基坑侧壁土体，并在基坑侧壁上设置配筋混凝土护面等，从而形成的支护结构。

土体抵抗荷载变形的刚度较差，抗剪强度较低，抗拉强度很小。而土钉相对具有较大的弹性模量，较高的抗剪、抗拉强度，并具有一定的抗弯刚度。土钉墙技术在基坑边壁土体中放置一定长度和分布密集的土钉，土钉与周围土体紧密结合共同工作，形成复合土体，提高了土体的整体刚度，弥补了土体自身强度的不足，从而显著提高了基坑边坡的整体稳定性。

排桩等支护体系虽然可以承受土体的侧压力，并限制土体的位移，但它没有改变土体内的受力性质，属于被动制约机制的支护结构，而土钉墙与土体形成复合土体，提高了土体的

强度和整体刚度,属于主动制约机制的支护结构。

土钉墙支护适用于地下水位以上或经降水后的杂填土、粘性土、粉土及有一定胶结能力和密实程度的砂土。对于含水丰富的粉砂、细砂、淤泥和淤泥质土等软弱土层不宜采用。

土钉墙工程主要由土钉、混凝土面层和防水系统组成,如图 2.4 所示。

8. 逆作拱墙

当基坑平面形状适合时,可采用拱墙作为围护墙,如图 2.5 所示。

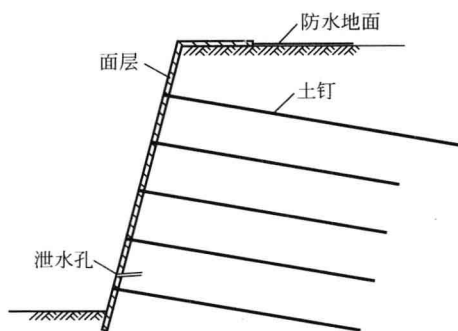


图 2.4 土钉墙的组成

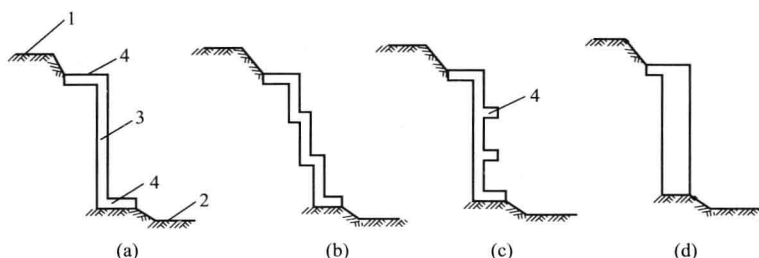


图 2.5 拱墙截面示意图

1—地面 2—基坑底 3—拱墙 4—肋梁

圆形拱墙壁厚不宜小于 400 mm,其他拱墙壁厚不宜小于 500 mm。混凝土强度等级不宜低于 C25。拱墙水平方向应通长双面配筋,钢筋总配筋率不小于 0.7%。

拱墙在垂直方向应分道施工,每道施工高度视土层直立高度而定,不宜超过 2.5 m。待上道拱墙合龙且混凝土强度达到设计强度的 70%后,才可进行下道拱墙施工。上下两道拱墙的竖向施工缝应错开,错开距离不宜小于 2 m。拱墙宜连续施工,每道拱墙施工时间不宜超过 36 h。

逆作拱墙宜用于基坑侧壁安全等级为三级者;淤泥和淤泥质土地场不宜应用;拱墙轴线的矢跨比不宜小于 1/8;基坑深度不宜大于 12 m;地下水位高于基坑底面时,应采取降水或截水措施。

2.2.2 支撑系统形式

当基坑深度较大,悬臂的挡墙在强度和变形方面不能满足要求时,即需增设支撑系统。支撑系统分两类:基坑内支撑和基坑外拉锚。

支护结构的内支撑常用的有钢结构支撑和钢筋混凝土结构支撑两类。钢结构支撑多用圆钢管和 H 型钢。为减少挡墙的变形,用钢结构支撑时可用液压千斤顶施加预顶力。

1. 基坑内支撑

1) 钢结构支撑

钢结构支撑为工具式支撑,拼装和拆除方便、迅速,可多次重复使用,并且能根据控