

GAOXIAOTUMUGONGCHENGZHUANYEJIAOCAI

高层建筑施工 (第二版)

赵志缙 赵 帆 编著

GAOCENGJIANZHUSHIGONG

中国建筑工程出版社

高校土木工程专业教材

高层建筑施工（第二版）

赵志缙 赵 帆 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑施工/赵志缙, 赵帆编著. —2 版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2004

高校土木工程专业教材

ISBN 7-112-07185-2

I. 高... II. ①赵... ②赵... III 高层建筑-工
程施工-高等学校-教材 IV. TU974

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 127897 号

本书为高等学校建筑工程专业系列教材之一, 内容包括: 概述, 基坑工程, 桩基工程, 大体积混凝土基础结构施工, 高层建筑施工用起重运输机械, 高层建筑施工用脚手架, 现浇混凝土结构高层建筑施工, 装配式混凝土结构高层建筑施工, 钢结构高层建筑施工等。

本书可作为高等学校建筑工程专业的教学用书, 也可供建筑施工人员参考。

* * *

责任编辑: 朱首明 刘平平

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 李志瑛 王 莉

高校土木工程专业教材

高层建筑施工 (第二版)

赵志缙 赵 帆 编著

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19½ 字数: 472 千字

2005 年 1 月第二版 2005 年 1 月第十四次印刷

印数: 37,601—42,600 册 定价: 27.00 元

ISBN 7-112-07185-2

TU·6420(13139)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

第二版前言

教学用书《高层建筑施工》第一版是 1996 年出版的，被很多高等学校用作教材或参考书，先后多次印刷，印数达数万册。

由于高层建筑施工工艺理论和技术发展很快，近年来又有不少新技术出现，而且有关的规范、规程变动亦较大。为了更贴近时代，及时介绍我国高层建筑施工成熟而先进的施工技术和有关计算理论，我们在《高层建筑施工》第一版的基础上，结合我国已公布实施的有关规范和规程，并参照这些年来高层建筑施工新技术发展情况，编写了这本《高层建筑施工》第二版。与第一版相比较，第二版有了较大的变化，由 11 章改写为 8 章，删去了一些过时的内容，也增加了不少新内容，尤其在基坑工程和高层建筑施工用脚手架等方面改动较大。

限于作者的水平，再加上时间仓促，存在不足之处在所难免，我们热忱欢迎读者给予批评指正，以便将来不断改进，使其日益完善。

本教材的第一章的四、五、六、七节；第三章；第六章；第七章由赵帆编写。概述；第一章的一、二、三节；第二章；第四章；第五章；第八章由赵志缙编写。

第一版前言

近年来我国高层建筑的发展规模愈来愈大，有的大城市一年施工的高层建筑达数百幢，不少中、小城市亦开始建造高层建筑。

为使学生能对高层建筑的施工有一个全面的了解，近年来不少高等学校的建筑工程专业开设了选修课“高层建筑施工”。有的学校亦为硕士研究生开设该课程或类似的课程。但该课程至今缺少一本较适用的教材或参考书，有的学校选用作者编著的《高层建筑基础工程施工》和《高层建筑结构工程施工》两本书作为参考书，但这两本书独立成体系，作为教材使用不方便。为此，作者试图重新编写一本《高层建筑施工》，作为选修课的教材试用。

该教材是在《高层建筑基础工程施工》和《高层建筑结构工程施工》两本书的基础上整理、修改和补充而写成的。

高层建筑施工的理论和工程实践发展很快，由于大规模的工程建设，我国的高层建筑施工技术亦飞快地发展，有的方面已接近或赶上世界先进水平。作者虽然希望在该教材中全面反映我国和世界上高层建筑施工的先进技术和经验，但限于作者的水平，再加上时间有限，相信本教材一定还存在许多不足之处，热忱欢迎读者给予批评指正，以便将来不断改进。

本教材的第一章、第三章、第六章、第八章由赵帆编写，概述、第二章、第四章、第五章、第七章、第九章、第十章、第十一章由赵志缙编写。

目 录

概述	1
第一章 基坑工程	5
第一节 基坑工程的内容、设计原则与安全等级	5
第二节 基坑工程勘察	6
第三节 支护结构设计	8
第四节 支护结构施工	54
第五节 地下水控制	121
第六节 基坑土方开挖	135
第七节 基坑工程监测	146
第二章 桩基施工	149
第一节 预制桩施工	149
第二节 混凝土灌注桩施工	162
第三章 大体积混凝土基础结构施工	176
第一节 混凝土裂缝	176
第二节 混凝土温度应力	179
第三节 防止混凝土温度裂缝的技术措施	201
第四节 大体积混凝土基础结构施工	210
第四章 高层建筑施工用起重运输机械	214
第一节 起重运输体系的选择	214
第二节 塔式起重机	215
第三节 外用施工电梯	230
第四节 混凝土泵和泵车	232
第五章 高层建筑施工用脚手架	240
第一节 落地钢管脚手架	240
第二节 附着升降脚手架	247
第六章 现浇混凝土结构高层建筑施工	250
第一节 钢筋连接技术	250
第二节 组合式模板施工高层建筑	256

第三节 大模板施工高层建筑	260
第四节 爬升模板施工高层建筑	265
第五节 滑动模板施工高层建筑	273
第七章 装配式混凝土结构高层建筑施工	282
第八章 钢结构高层建筑施工	291
第一节 钢结构材料与结构构件	291
第二节 高层钢结构安装	292
参考资料	304

概 述

为了解决城市用地有限和人口密集的矛盾,出现了高层建筑。国际交往的日益频繁和世界各国旅游事业的发展,更促进了高层建筑的蓬勃发展。同时,随着建筑科学技术的不断进步,在建筑领域内也出现了不少新结构、新材料和新工艺,这些又为现代高层建筑的发展提供了条件。

我国的高层建筑从 20 世纪 80 年代开始有了迅猛发展,北京、上海、广州、深圳等大城市都建造一大批高层建筑,有些甚至是世界著名的高层建筑(如金茂大厦等),仅上海市目前已建成的高层建筑就在 4500 幢以上,这在大城市都是少有的。由于经济的迅速发展,目前我国的高层建筑已由大、中城市发展到小城市,在一些经济发达地区的县级城市内亦建有不少的高层建筑。

一、高层建筑的定义

多少层或多么高的建筑物算是高层建筑?不同的国家和地区有不同的理解。而且从不同的角度,如结构、消防和运输来看待该问题,亦会得出不同的结论。1972 年召开的国际高层建筑会议确定为:

- 第一类高层建筑 9~16 层(最高到 50m)
- 第二类高层建筑 17~25 层(最高到 75m)
- 第三类高层建筑 26~40 层(最高到 100m)
- 超高层建筑 40 层以上(高度 100m 以上)

我国建设部《民用建筑设计通则》(JGJ 37—87)中规定,高层建筑是指 10 层以上的住宅及总高度超过 24m 的公共建筑及综合建筑。

二、高层建筑的发展

高层建筑在古代就有,我国古代建造的不少高塔,就属于高层建筑。如 1400 多年前,即公元 523 年建于河南登封县的嵩岳寺塔,10 层,高 40m,为砖砌单筒体结构。公元 704 年改建的西安大雁塔,7 层,高 64m。公元 1055 年建于河北定县的料敌塔,11 层,高达 82m,砖砌双筒体结构,更为罕见。此外,还有建于 1056 年,9 层,高 67m 的山西应县木塔等。这些高塔皆为砖砌或木制的筒体结构,外形为封闭的八边形或十二边形。这种形状有利于抗风和抗地震,也有较大的刚度,在结构体系上是很合理的。

同时,我国古代也出现了高层框架结构。如公元 984 年建于河北蓟县的独乐寺观音阁,即为高 22.5m 的木框架结构。其他如高 40m 的河北承德普宁寺的大乘阁等亦为木框架结构。

我国这些现存的古代高层建筑,经受了几百年、甚至上千年的风雨侵蚀和地震等的考验,至今基本完好,这充分显示了我国劳动人民的高度智慧和才能,也表明我国古代对高层建筑就有较高的设计和施工水平。

在国外古代亦建有高层建筑,古罗马帝国的一些城市就曾用砖石承重结构建造了 10

层左右的建筑。公元 1000 年前后，意大利建造过一些高层建筑。例如，公元 1100 ~ 1109 年，意大利的 Bologna 城就建造了 41 座砖石承重的塔楼，其中有的竟高达 98m 和 60m。19 世纪前后，西欧一些城市还用砖石承重结构建造了高达 10 层左右的高层建筑。

古代的高层建筑，由于受当时技术经济条件的限制，不论是承重的砖墙或筒体结构，壁都很厚，使用空间小，建筑物越高，这个问题就越突出。如 1891 年在美国芝加哥建造的 Monadnock 大楼，为 16 层的砖结构，其底部的砖墙厚度竟达 1.8m。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。因而，采用高强和轻质材料，发展各种大空间的抗风、抗震结构体系，就成为高层建筑结构发展的必然趋势。

近代高层建筑是从 19 世纪以后逐渐发展起来的，这与采用钢铁结构作为承重结构有关。1801 年英国曼彻斯特棉纺厂，高 7 层，首先采用铸铁框架作为建筑物内部的承重骨架。1843 年美国长岛的黑港灯塔，亦采用了熟铁框架结构。这就为将钢铁材料用于承重结构开辟了一条途径。此后一段时间内所建造的 10 层左右的高层建筑，大多采用内部铁框架与外承重砖墙相结合的结构型式。1883 年美国芝加哥的 11 层保险公司大楼，首先采用由铸铁柱和钢梁组成的金属框架来承受全部荷重，外墙只是自承重，这已是近代高层建筑结构的萌芽了。

1889 年美国芝加哥的一幢 9 层大楼，首先采用钢框架结构。1903 年法国巴黎的 Franklin 公寓采用了钢筋混凝土结构。与此同时，美国辛辛纳提城一幢 16 层的大楼也采用了钢筋混凝土框架结构。开始了将钢、钢筋混凝土框架用于高层建筑的时代。此后，从 19 世纪 80 年代末至 20 世纪初，一些国家又兴建了一批高层建筑，使高层建筑出现了新的飞跃。不但建筑物的高度一跃而为 20 ~ 50 层，而且在结构中采用了剪力墙和钢支撑，建筑物的使用空间显著扩大了。

19 世纪末至 20 世纪初是近代高层建筑发展的初始阶段，这一时期的高层建筑结构虽然有了很大的进步，但因受到建筑材料和设计理论等限制，一般结构的自重较大，而且结构型式也较单调，多为框架结构。

近代高层建筑的迅速发展，是从 20 世纪 50 年代开始的。由于轻质高强材料的发展，新的设计理论和电子计算机的应用，以及新的施工机械和施工技术的涌现，都为大规模地、较经济地修建高层建筑提供了可能。同时，由于城市人口密度的猛增，地价昂贵，迫使建筑物向高空发展也成了客观上的需要，因而不少国家都大规模地建造高层建筑，到目前为止，在不少国家内，高层建筑几乎占了整个城市建筑面积的 30% ~ 40%。

目前，美国的高层建筑数量较多，160m 以上的就有 100 多幢。目前世界上最高的建筑是 450m 高的马来西亚吉隆坡城市中心大厦，此外，109 层高达 445m 的西尔斯大厦（美国芝加哥）；1972 年建于纽约的 110 层、高 412m 的世界贸易中心双塔大厦（已毁）；1931 年建于纽约的 102 层、高 381m 的帝国大厦；88 层、高 420.5m 的上海金茂大厦；68 层、高 384m 的深圳地王商业大厦；80 层、高 389.9m 的广州中天广场以及台北 101 大厦等也都是闻名于世的高层建筑。其他如英国、法国、日本、加拿大、澳大利亚、新加坡、俄罗斯、波兰、南非等国家和我国香港地区等也修建了许多高层建筑。

我国的高层建筑始于 20 世纪初。1906 年建造了上海和平饭店南楼，1922 年建造了天津海河饭店（12 层），1929 年建造上海和平饭店北楼（11 层）和锦江饭店北楼（14 层），1934 年建造上海国际饭店（24 层）和上海大厦（20 层）以及广州爱群大厦（15 层），至

1937 年抗日战争开始,我国约建有 10 层以上的高层建筑 35 幢,主要集中在上海、广州、天津等沿海大城市。高 82.5m 的国际饭店当时是远东最高的建筑。

20 世纪 50 年代,我国在北京、广州、沈阳、兰州等地曾建造了一批高层建筑。60 年代,在广州建造 27 层、高 87.6m 的广州宾馆。70 年代,在北京、上海、天津、广州、南京、武汉、青岛、长沙等地兴建了一定数量的高层建筑,其中广州于 1977 年建成的 33 层、高 115m 的白云宾馆,当时除港澳地区外是国内最高的建筑。进入 80 年代,我国的高层建筑蓬勃发展,各大中城市和一批县级城市都兴建了大量高层建筑。金茂大厦、中天广场、地王大厦等高度在 100m 以上的超高层建筑我国建造的数量十分庞大。

三、高层建筑施工技术的发展

从 20 世纪 80 年代以来,尤其是近年来通过大量的工程实践,我国的高层建筑施工技术得到很大的发展,已达到世界先进水平。

在基础工程方面,高层建筑多采用桩基础、筏式基础、箱形基础、或桩基与箱形基础的复合基础。存在着深基坑支护、桩基施工、大体积混凝土浇筑、深层降水等施工问题。由于深基坑的增多,支护技术发展很快,多采用钻孔灌注桩、地下连续墙、深层搅拌水泥土墙、加筋水泥土墙和土钉墙等。计算理论和施工工艺有很大改进。支撑方式有传统的内部钢管(或型钢)和混凝土支撑,亦有在坑外用土锚拉固。内部支撑形式也有多种,有对撑、角撑、桁架式边撑和圆环式支撑等。土锚的钻孔、灌浆和预应力张拉工艺亦有很大提高。在地下连续墙用于深基坑支护方面,还推广了“两墙合一”和逆作法技术,能有效的降低支护结构费用和缩短施工工期。近年来土钉墙和复合土钉墙的推广在降低支护结构费用方面亦有显著效果。

在深基坑施工降低地下水位方面,已能利用轻型井点、喷射井点、真空深井泵和电渗井点技术进行深层降水,而且在预防因降水而引起附近地面沉降方面亦有一些有效措施。

桩基础方面,混凝土方桩、预应力混凝土管桩、钢桩等预制打入桩皆有应用,有的桩长已达 70m 以上,但由于打桩设备和工艺的改善,亦能顺利打入。近年在推广预应力混凝土管桩方面发展较快。在减少打桩对周围有害影响方面亦总结了一些经验,采用了一些有效措施。近年来混凝土灌注桩有很大发展,还可施工直径 3m、长 104m 或直径 2.5m、长 110m 的灌注桩、成孔机械、成孔工艺和动力试验都有很大提高。而且还可提高混凝土灌注桩的承载力和减少沉降,对于钻孔灌注桩发展了后压浆技术、挤扩多分支承载力盘灌注桩和挤扩多支盘灌注桩。在沉管灌注桩方面也发展了夯压成型(夯扩桩)灌注桩。而且还研究试用了全套管法(贝诺特法)施工技术,使混凝土灌注桩桩身能相割,具有了防水能力,在支护结构排桩中可取消防水帷幕。

大体积混凝土裂缝控制的计算理论日益完善,为减少或避免产生温度裂缝,各地都采用了一些有效措施。由于预拌混凝土和泵送技术的推广,大大提高了大体积混凝土浇筑速度,上海世贸商城 24000m³ 的基础底板 36h 即浇筑完毕。在测温技术和信息化施工方面亦积累了不少经验。

在结构工程方面,已形成组合模板、大模板、爬升模板和滑升模板的成套工艺,对钢结构超高层建筑的施工技术亦有了长足的进步。组合模板方面除 55 系列钢模板外,还推广了肋高 70、75mm 的中型组合钢模板;还有 55、63、70、75、78、90 系列的钢框竹(木)胶合板模板,板块尺寸更大,使用更方便。还研究推广了早拆体系,能减少模板配

置数量。大模板工艺在剪力墙结构和筒体结构中已广泛应用，已形成“全现浇”、“内浇外挂”、“内浇外砌”成套工艺，且已向大开间建筑方向发展。楼板除各种预制、现浇板外，还应用了各种配筋的薄板叠合楼板。爬升模板首先用于上海，工艺已成熟，不但用于浇筑外墙，亦可内、外墙皆用爬升模板浇筑，在提升设备方面已有手动、液压和电动提升设备，有带爬架的，亦有无爬架的，尤其与升降脚手结合应用，优点更为显著。滑模工艺可施工高耸结构、剪力墙或筒体结构的高层建筑，亦可施工一些特种结构（如沉井等），在支承杆的稳定以及施工期间墙体的强度和稳定计算方面亦有很大改进。此外，对一些特种模板也有发展，如上海金茂大厦施工用的“分体组合自动调平整体提升式钢平台模板系统”和新型附着升降脚手和大模板一体化系统等。

在钢筋技术方面，推广了钢筋对焊、电渣压力焊、气压焊以及机械连接（套筒挤压、锥螺纹和直螺纹套筒连接）；在植筋方面亦有不少发展。

在混凝土技术方面除大力发展预拌混凝土外，近年来还推广预拌砂浆；在高性能混凝土和特种混凝土（纤维混凝土、聚合物混凝土、防辐射混凝土、水下不分散混凝土等）方面亦有提高。

在脚手架方面，针对高层建筑施工的需要研制了自升降的附着式升降脚手架，已推广使用，效果良好。

在超高层钢结构施工方面，无论是厚钢板焊接技术、高强螺栓和安装工艺方面都日益完善，国产的 H 型钢钢结构已成功的用于高层住宅。

此外，在砌筑技术、防水技术和高级装饰装修方面都有长足进步。随着我国高层和超高层建筑的进一步发展，传统技术会进一步提高，一些新结构、新技术、新材料亦将不断出现。

第一章 基 坑 工 程

第一节 基坑工程的内容、设计原则与安全等级

近年来我国随着经济建设和城市建设的快速发展，地下工程日益增多。高层建筑的多层地下室、地铁车站、地下车库、地下商场、地下人防工程、桥墩等施工时都需开挖较深的基坑。

大量深基坑工程的出现，促进了设计计算理论的提高和施工工艺的发展，通过大量的工程实践和科学研究，逐步形成了基坑工程这一新的学科，它涉及多个学科，受土质、环境、气候等多变因素影响大，而且深大基坑投资巨大，因而深受注意，是土木工程学科内目前发展最迅速的学科之一。对其正确设计和施工，能带来巨大的经济效益，对加快工程进度和保护工程周围环境能发挥重要作用。

一、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（无支护开挖）和在支护体系保护下开挖（有支护开挖）。前者既简单又经济，但需具备放坡开挖的条件，即基坑不太深而且基坑平面之外有足够的空间供放坡之用。因此，在空旷地区或周围环境允许放坡而又能保证边坡稳定条件下应优先选用。

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，此时就只能采用在支护结构保护下垂直或基本垂直进行开挖。

在有支护开挖的情况下，基坑工程一般包括下述内容：

- (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。

对上述内容，以下将较详细的阐述。

二、基坑支护结构的设计原则与方法

基坑支护结构设计的原则为：

(1) 安全可靠：支护结构要满足强度、稳定和变形的要求，确保基坑施工及周围环境的安全；

(2) 经济合理：在支护结构安全可靠的前提下，从造价、工期及环境保护等方面经过技术经济比较，最终确定具有明显优势的方案；

(3) 便利施工：在安全可靠经济合理的原则下，要考虑施工的可能性和方便施工。

根据现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》，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。

基坑支护结构的极限状态，分为以下两类：

1. 承载能力极限状态

对应于这种极限状态的是支护结构达到最大承载能力，或土体失稳、过大变形导致支护结构或基坑周边环境破坏。

2. 正常使用极限状态

对应于这种极限状态的是支护结构的变形已妨碍地下结构施工，或影响基坑周边环境的正常使用功能。

基坑支护结构均应进行承载能力极限状态的计算，对于安全等级为一级及对支护结构变形有限定的二级建筑基坑侧壁，尚应对基坑周边环境及支护结构变形进行验算。

三、基坑支护结构的安全等级

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

基坑侧壁安全等级及重要性系数 表 1-1

安全等级	破坏后果	重要性系数 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

注：有特殊要求的建筑基坑侧壁安全等级可根据具体情况另行确定。

建筑基坑分级的标准各种规范不尽相同，表 1-2 为现行国标《建筑地基基础工程施工质量验收规范》对基坑分级和变形监控值的规定。

基坑变形的监控值（cm） 表 1-2

基坑类别	围护结构墙顶位移监控值	围护结构墙体最大位移监控值	地面最大沉降监控值
一级基坑	3	5	3
二级基坑	6	8	6
三级基坑	8	10	10

注：1. 符合下列情况之一，为一级基坑：

- (1) 重要工程或支护结构做主体结构的一部分；
- (2) 开挖深度大于 10m；
- (3) 与临近建筑物、重要设施的距离在开挖深度以内的基坑；
- (4) 基坑范围内有历史文物、近代优秀建筑、重要管线等需严加保护的基坑。

2. 三级基坑为开挖深度小于 7m，且周围环境无特别要求的基坑。

3. 除一级和三级外的基坑属于二级基坑。

4. 当周围已有的设施有特殊要求时，尚应符合这些要求。

第二节 基坑工程勘察

为了正确地进行支护结构设计和合理组织基坑工程施工，事先需对基坑及其周围进行下述勘察：

一、岩土勘察

在建筑地基详细勘察阶段，宜同时对基坑工程需要的内容进行勘察。

勘察范围取决于开挖深度及场地的岩土工程条件，宜在开挖边界外开挖深度 1~2 倍范围内布置勘探点，对于软土勘察范围尚宜扩大。

勘探点的间距可为 15~30m，地层变化较大时，应增加勘探点查明分布规律。

基坑周边勘探点的深度不宜小于 1 倍开挖深度，软土地区应穿越软土层。

岩土勘察一般应提供下述资料：

(1) 场地土层的类型、特点、土层性质；
(2) 基坑及围护墙边界附近，场地填土、暗浜、古河道及地下障碍物等不良地质现象的分布范围与深度，表明其对基坑工程的影响；

(3) 场地浅层潜水和坑底深部承压水的埋藏情况，土层渗流特性及产生流砂、管涌的可能性；

(4) 支护结构设计和施工所需土、水指标；

1) 土的常规物理试验指标；

2) 土的抗剪强度指标；

3) 室内或原位试验测试的土的渗透系数。

土的抗剪强度指标内摩擦角 φ 和黏聚力 c ，一般宜采用直剪试验的固结快剪取得，要提供峰值和平均值。

当支护结构需要时，还可采用原位测试方法测定土的基床系数等指标。

二、水文地质勘察

应提供下列情况和数据：

(1) 地下各含水层的视见水位和静止水位；

(2) 地下各含水层中水的补给情况和动态变化情况，与附近水体的连通情况；

(3) 基坑底以下承压水的水头高度和含水层的界面；

(4) 分析施工过程中水位变化对支护结构和基坑周边环境的影响，提出应采取的措施。

三、基坑周边环境勘察

应包括以下内容：

(1) 查明影响范围内建（构）筑物类型、层数、基础类型和埋深、基础荷载大小及上部结构现状；

(2) 查明基坑周边各类地下设施，包括给水、排水、电缆、煤气、污水、雨水、热力等管线的分布与性状；

(3) 查明基坑四周道路的距离及车辆载重情况；

(4) 查明场地四周和邻近地区地表水汇流和排泻情况，地下水管渗漏情况及对基坑开挖的影响。

此外，在进行支护结构设计之前，尚应对下述地下结构设计资料进行收集和了解：

(1) 主体工程地下室的平面布置以及与建筑红线的相对位置，这对选择支护结构型式及支撑布置等有关；

(2) 主体工程基础的桩位布置图，这与支撑体系中的立柱布置有关，应尽量利用工程

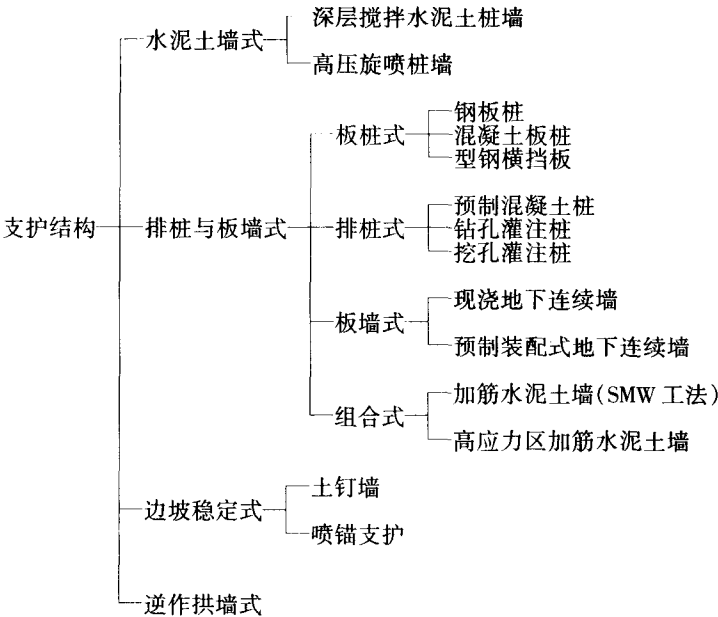
桩作为立柱桩以降低造价；

(3) 主体结构地下室层数、各层楼板和底板的布置与标高以及地面标高，这与确定开挖深度，选择围护墙与支撑型式和布置以及换撑等有关。

第三节 支护结构设计

一、支护结构选型

支护结构按其工作机理和围护墙形式分为下列几种类型：



排桩与板墙式，一般由围护墙、支撑体系（或土锚）及防水帷幕等组成。

水泥土墙式，依靠本身自重和刚度保护坑壁，一般不设支撑，特殊情况下采取措施后亦可局部加设支撑。

土钉墙由密集的土钉群、被加固的原位土体和喷射的混凝土面层等组成。

现将常用的几种支护结构介绍如下：

(一) 围护墙选型

1. 水泥土墙

水泥土墙是用深层搅拌机就地将土和输入的水泥浆强制搅拌，形成连续搭接的水泥土柱状加固体围护墙。

水泥土加固体的防渗系数不大于 10^{-7}cm/s ，能止水防渗。因此这种重力式围护墙具有挡土和防渗的双重功能。

水泥土围护墙截面呈格栅形，相邻桩搭接长度不小于 200mm。截面置换率对于淤泥不宜小于 0.8，淤泥质土不宜小于 0.7，一般黏性土、黏土、砂土不宜小于 0.6。格栅长宽比不宜大于 2。

墙体宽度 b 和插入坑底深度 h_d ，根据坑深、土层分布及其物理力学性能、周围环境

情况、地面荷载等计算确定。墙体宽度以 500mm 进级, 即 $b = 2.7、3.2、3.7、4.2\text{m}$ 等。插入深度前后排可稍有不同。

水泥土的强度取决于水泥掺入比 (水泥重量与加固土体重量的比值), 水泥土围护墙常用的水泥掺入比为 12% ~ 14%。其龄期 1 个月的无侧限抗压强度 q_u 应不低于 0.8MPa。

水泥土墙的优点是: 由于坑内无支撑, 便于机械化快速挖土; 具有挡土、防渗双重功能, 比较经济。其缺点是: 不宜用于深基坑, 一般坑深不宜大于 6m; 位移相对较大, 尤其在基坑边长大时; 墙体厚度相对较大, 红线位置和周围环境要作得出才行, 而且施工时要防止对周围环境的影响。

水泥土墙宜用于坑深不宜大于 6m; 基坑侧壁安全等级为二、三级者; 地基土承载力不宜大于 150kPa 的情况。

高压旋喷桩墙的加固材料亦为水泥浆, 它是利用高压经过旋转的喷嘴将水泥浆喷入土层与土体混合形成柱状水泥加固体, 相互搭接形成桩墙用来挡土和止水。其施工费用高于深层搅拌水泥土墙, 但它可用于空间较小处。

2. 钢板桩

钢板桩有两种: 槽钢钢板桩和热轧锁口钢板桩。

(1) 槽钢钢板桩

这种简易的钢板桩围护墙由槽钢并排或正反扣搭接组成。槽钢长 6 ~ 8m, 型号由计算确定。打入地下后顶部接近地面处设一道拉锚或支撑。由于其截面抗弯能力弱, 一般用于深度不超过 4m 的基坑。由于搭接处不严密, 一般不能完全止水。如地下水位高, 需要时可用轻型井点降低地下水位。一般只用于一些小型工程。其优点是材料来源广, 施工简便, 可以重复使用。

(2) 热轧锁口钢板桩 (图 1-1)

热轧锁口钢板桩的形式有 U 形、L 形、一字形、H 形和组合型。建筑工程中常用前两种, 基坑深度较大时才用后两种, 但我国较少用。

钢板桩由于一次性投资大, 施工中多以租赁方式租用, 用后拔出归还。

钢板桩的优点是材料质量可靠, 在软土地区打设方便, 施工速度快而且简便; 有一定的挡水能力 (小趾口者挡水能力更好); 可多次重复使用; 一般费用较低。其缺点是钢板桩刚度不够大, 用于较深的基坑时支撑 (或拉锚) 工作量大, 否则变形较大; 在透水性较好的土层中不能完全挡水; 拔除时易带土, 如处理不当会引起土层移动, 可能危害周围的环境。

常用的 U 型钢板桩, 多用于周围环境要求不甚高的深 5 ~ 8m 的基坑, 视支撑 (拉锚) 加设情况而定。

3. 型钢横挡板 (图 1-2)

型钢横挡板围护墙亦称桩板式支护结构。这种围护墙由工字钢 (或 H 型钢) 桩和横挡板 (亦称衬板) 组成, 再加上围檩、支撑等则形成一种支护体系。施工时先按一定间距打设工字钢或 H 型钢桩, 然后在开挖土方时边挖边加设横挡板。施工结束拔出工字钢或 H 型钢桩, 并在安全允许条件下尽可能回收横挡板。

横挡板直接承受土压力和水压力, 由横挡板传给工字钢桩, 再通过围檩传至支撑或拉锚。横挡板长度取决于工字钢桩的间距, 而厚度由计算确定, 多用厚度 60mm 的木板或预制混凝土薄板。

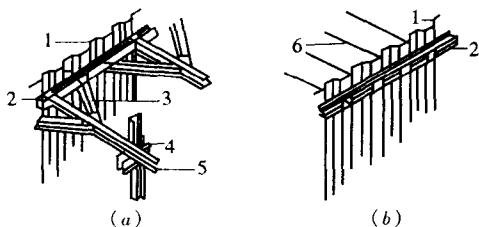


图 1-1 钢板桩支护结构

(a) 内撑方式; (b) 锚拉方式

1—钢板桩; 2—围檩; 3—角撑; 4—立柱与支撑;
5—支撑; 6—锚拉杆

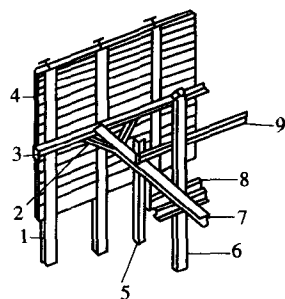


图 1-2 型钢横挡板支护结构

1—工字钢 (H 型钢); 2—八字撑;
3—腰梁; 4—横挡板; 5—垂直联系杆件; 6—立柱; 7—横撑; 8—立柱上的支撑件; 9—水平联系杆

型钢横挡板围护墙多用于土质较好、地下水位较低的地区。

4. 钻孔灌注桩 (图 1-3)

根据目前的施工工艺, 钻孔灌注桩为间隔排列, 缝隙不小于 100mm, 因此它不具备挡水功能, 需另做挡水帷幕, 目前我国应用较多的是厚 1.2m 的水泥土墙, 用于地下水位较低地区则不需做挡水帷幕。

钻孔灌注桩施工无噪声、无振动、无挤土, 刚度大, 抗弯能力强, 变形较小, 在全国都有应用。多用于基坑侧壁安全等级为一、二、三级, 坑深 7~15m 的基坑工程, 在软土地区多加设内支撑 (或拉锚), 悬臂式结构不宜大于 5m。桩径和配筋计算确定, 常用直径 600、700、800、900、1000mm。

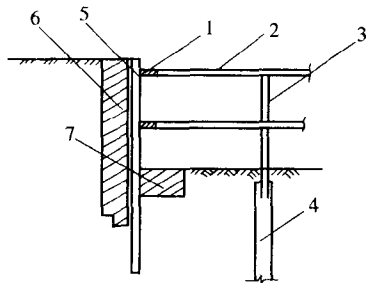


图 1-3 钻孔灌注桩排围护墙

1—围檩; 2—支撑; 3—立柱; 4—工程桩; 5—钻孔灌注桩围护墙; 6—水泥土搅拌桩挡水帷幕; 7—坑底水泥土搅拌桩加固

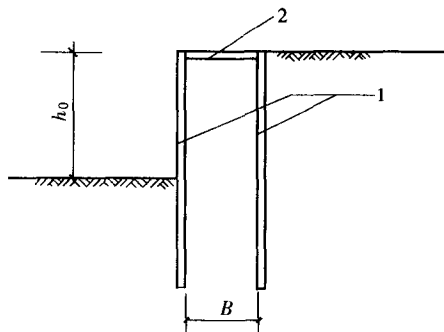


图 1-4 双排桩围护墙

1—钻孔灌注桩; 2—联系横梁

有的工程为不用支撑简化施工, 采用相隔一定距离的双排钻孔灌注桩与桩顶横梁组成空间结构围护墙, 使悬臂桩围护墙可用于 -14.5m 的基坑 (图 1-4)。

如基坑周围狭窄, 不允许在钻孔灌注桩后再施工 1.2m 厚的水泥土桩挡水帷幕时, 可考虑在水泥土墙中套打钻孔灌注桩。