

# 深基坑支护工程实例

杭州市建筑业管理局  
杭州市土木建筑学会

中国建筑工业出版社

# 深基坑支护工程实例

杭州市建筑业管理局  
杭州市土木建筑学会

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

近年来,高层建筑的兴建和地下空间开发利用带来的深基坑及其支护工程是一个既有岩土和结构工程的共性问题,又是一个因不同地区、不同工程地质、水文地质和施工条件下的个性问题,是当前建筑工程界关心的技术热点。

该书优选汇集杭州市已施工完毕的、开挖深度均在 5m 以上,也有超过 10m 和地下层数达 3 层的实例共 51 个。其中,也选入了浙江省、杭州市的设计、施工单位在省内和上海、福建等地几个有代表性的实例。同时,还编入有关深基坑支护工程的设计思路、理论与计算方法、杭州市区深基坑支护技术和地质概况综述,以及开挖工程中若干问题等方面的论述。是一本深基坑支护工程包含从理论研究到设计、施工、监测等多方面的具有实用意义的工程技术书籍。

全书分为论著与实例两部分。实例按支护类型分加固型支护(主要有水泥搅拌桩和喷锚网形式)和支挡型支护(主要有桩排支护、带内支撑的桩排支护和地下连续墙),以及其它类型如逆作法和混合支护等。

全书内容丰富翔实,图文、表式并茂。可供土建施工技术人员、监理人员学习参考。

\* \* \*

责任编辑 胡永旭

## 深基坑支护工程实例

杭州市建筑业管理局

杭州市土木建筑学会

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京顺义燕华印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24½ 插页: 1 字数: 596 千字

1996 年 12 月第一版 1996 年 12 月第一次印刷

印数: 1—6000 册 定价: 36.00 元

ISBN7-112-02955-4

TU·2256(8071)

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)

## 《深基坑支护工程实例》编辑委员会

**主 编：**益德清

**副主编：**虞振羽 蔡泽芳 周海龙

**编 委：**(以姓氏笔画序)

刘蒙安 应 浩 陆秀乔 陈玉跃 陈忠麟

陈静华 周海龙 俞增民 施祖元 陶友森

顾仲文 徐志恒 益德清 郭增御 寇秉厚

谢戍庚 虞振羽 蔡泽芳 樊良本 潘秋元

**顾 问：**叶德范 胡绍曾

**编 辑：**徐志恒 应 浩 刘蒙安 施祖元 黄仁大

# 序

改革开放以来,国民经济发展迅速。在社会主义现代化进程中,杭州与全国一样,多逾百幢的高层建筑拔地而起,城市面貌日新月异。同时,随着地下建筑层次增加,基础深度加深,如何可靠、安全、合理、经济地进行深基坑支护工程,在理论、设计与施工技术和监测方法上均为一项新的课题。

这些年来,杭州市在高层、超高层建设中,按照所处软土地区土层软硬交替、多层组合、层厚变化大等特征,除开挖较浅,采取放坡形式外,采用的支护类型有加固型支护、支挡型支护以及其它支护类型。经过实践,取得明显成效。

为总结交流这方面经验,杭州市建筑业管理局、杭州市土木建筑学会组织编写《深基坑支护工程实例》一书。收集整理杭州市已施工完毕的实例,由专家、学者组成的选编委员会优选,其中也选入浙江省、杭州市的设计、施工单位在省内和上海等地的几个有代表性的实例,并还编入有关深基坑支护工程的设计思路、理论与计算方法、杭州市区深基坑支护技术和地质概况的综述,以及开挖工程的若干问题等论述。这是一本对深基坑支护技术,从理论研究到设计、施工、监测、具有实用意义的书籍。希望本书的出版能对推进深基坑支护工程技术的发展有所贡献。



(杭州市副市长)  
一九九六年七月

# 前 言

我国社会和经济的迅速发展,加快了城市化的进程,高层建筑的兴建和地下空间的开发利用是各个城市建设中带普遍性的工程项目。改革开放以来,国内的一些大、中城市,尤其是一些经济发达和沿海开放城市,高层建筑如雨后春笋,并还在迅速地建设,建筑高度年趋提高,基础深度或地下建筑层数逐渐增加。

建筑物基础和地下工程的基坑开挖是施工的必需工序,深度不大的基坑由施工单位采取放坡或简易支护即可开挖,但深基坑特别是在城市中建筑、地下管网、地面设施、道路等密集地区以及地下水位较高地区的深基坑,往往难以用传统、简易的自然放坡的办法进行开挖,而大多要在采取基坑加固支护或支挡结构支护的方法之后再行开挖。

基坑开挖是一个综合性的岩土工程问题,它涉及到土力学中典型的强度、稳定和变形问题,如果深基坑采用支挡结构支护开挖,则还涉及到结构的强度、刚度以及土与支挡结构的共同作用等问题。对这些问题的认识和掌握,是随着土力学理论、分析方法、计算机应用技术、测试仪器、施工技术和装备等方面的进展以及工程经验的积累和丰富而逐步加以深化和提高了。

近一二十年来,我国深基坑开挖及支护工程技术,不论在理论研究、设计技术方面,还是在施工技术和监测方法方面,均有了十分明显的进步。浙江省、杭州市也同样。在这期间,杭州市的城市建设有了前所未有的进展,高层建筑的数量和高度逐年增加,利用地下空间的工程项目和建设规模不断扩大,高层建筑的地下室及地下工程的深度、层数也相应增加,已从地下一层逐步发展到二层,有的已达三层。工程建设的需要,进一步促进了杭州市深基坑支护工程技术的发展。

深基坑开挖和支护既有岩土工程和结构工程的共性问题,但在不同地区,由于其工程地质、水文地质情况和施工条件不尽相同,也具有明显的地域性和个性问题。因此,因地制宜从实际出发来确定设计和施工方案是至关重要的。不少的工程实践已表明:深基坑开挖和支护工程若缺乏正确的设计、计算分析或在施工中没有采取必要的技术措施,很易导致基坑塌方、支护失效或对附近建筑、管网、道路造成严重影响等后果。目前,国内已有不少城市都按本地区实际情况作出了一些技术规定和管理办法。例如,杭州市建筑业管理局根据杭州市政府“关于切实加强全市的深基坑开挖和支护工程的管理”的意见,成立了深

# 目 录

序 .....	叶德范
前言 .....	益德清

## 第一篇 论 著

1. 杭州地区深基坑支护技术综述 .....	徐志恒(3)
2. 杭州市区地质概况及工程地质、水文地质条件 .....	寇秉厚(14)
3. 软土地区基坑支护系统的设计思路及要点 .....	周海龙(28)
4. 深基坑支护结构设计理论和计算方法 .....	施祖元(32)
5. 深基坑开挖工程的若干问题 .....	潘秋元 应宏伟(56)

## 第二篇 支护工程实例

### 第一章 加固型支护

#### 第一节 水泥搅拌桩支护

1. 杭州天工艺苑工程地下室围护 .....	李士珍 倪炎荣 陈静华(75)
2. 杭州电信业务用房基坑支护 .....	余荣生 姚华军 周智民(80)
3. 杭州耀江国际大厦地下室基坑支护 .....	赵建军(84)

#### 第二节 喷锚网支护

4. 杭州市公交总公司大楼土钉墙基坑 支护 .....	张一志 孔剑华 寇秉厚 林国卫(91)
5. 杭州孔雀大厦土钉墙基坑支护 .....	林国卫 孔剑华 寇秉厚 张一志(97)
6. 余杭市星星购物中心基坑边坡喷锚网支护 .....	徐关兴 周东升(103)

### 第二章 支挡型支护

#### 第一节 桩排支护

7. 杭州市工商银行金融综合楼地下室基坑围护 .....	陈玉跃 沈小和(116)
8. 庆春路商贸大厦地下室围护 .....	张建强(121)
9. 杭州青春小区01号地块综合楼深基坑围护 .....	崔巍 李宏伟 俞增民(129)
10. 浙金广场地下室深基坑支护 .....	潘志文 王文豪 程益 刘以晖 顾仲文(135)
11. 杭州东方大厦地下室基坑支护 .....	姚华军 陆秀乔 周智民 周重孝(140)
12. 浙信大厦基坑支护 .....	徐先华 周明伟 祝昌曦(145)
13. 浙江省交通厅业务楼地下室围护 .....	黄茂涌(149)
14. 杭州金隆花园高层公寓楼地下室工程基坑 支护 .....	陈寿明 余亦铭 何其清(154)

15. 杭州金潮大厦地下室基坑支护 ..... 黄宗富 陈静华 严平(160)
16. 杭州市电影公司 经济发展公司综合楼基坑  
支护..... 刘杰 龚景照 张洪钜(164)
- 第二节 带内支撑桩排支护
17. 浙江省保险公司业务和干部培训用房工程地下室基坑  
围护..... 蒋伟 俞增民(168)
18. 温州市长途通信枢纽大楼地下室  
围护..... 陈玉跃 斯逢辰 章庆祥 虞臣潘 刘良文(172)
19. 浙江省建设银行综合楼 A 楼深基围护 ..... 邵凯平(177)
20. 杭州市香溢大厦地下室围护 ..... 陈玉跃 叶旭明(181)
21. 国泰精品商厦深基坑支护 ..... 陆向阳 周文龙 金建儿 俞增民(190)
22. 庆春路 13 号、14 号地块联建大厦基坑  
围护..... 金路炎 薛建平 史薇薇 李宏伟 俞增民(197)
23. 杭州海华大酒店地下室深基坑支护 ..... 景士云 李宏伟 俞增民(202)
24. 杭州武林村综合楼地下室围护 ..... 陈志林 俞增民(207)
25. 浙江国贸大厦基坑围护 ..... 钱良根 章雷(214)
26. 上海远东大厦深基坑围护 ..... 徐伟 沈明 马学毅 鲁文毓 李静文(217)
27. 浙江省生产资料市场工程深基坑支护 ..... 毛红卫 孙健 李倩(224)
28. 杭州金城-工联大厦基坑支护 ..... 施祖元 刘兴旺 陈静华(228)
29. 杭州娃哈哈美食城大厦地下室基坑支护 ..... 孙策 顾仲文(233)
30. 杭州金山大厦地下室基坑支护 ..... 李钧强 叶哲华 余荣生(238)
31. 杭州粮贸中心大厦深基坑支护 ..... 许尚辉 孔国平(244)
32. 杭州庆春路 47 号地块个体商厦基坑支护 ..... 汪尤升 蔡袁强(249)
33. 富阳市百货大楼二期工程基坑支护 ..... 洪文兴 许玉加(257)
34. 杭州市电力调度大楼基坑支护 ..... 施祖元 杨学林 来棣华 程元元(263)
35. 杭州市财税局办公业务用房深基坑围护 ..... 来棣华 严国连(269)
36. 杭州凯旋门商业中心大厦深基坑施工的流砂治理 ..... 江 虹(274)
37. 杭州德雅花园高层公寓深基坑支护 ..... 潘锦扬 卢国豪 任祖范(280)
38. 天荒坪电站地下站房软土地基基坑围护桩倾斜事故的分析  
及处理..... 吴学先 黄仁大(287)
39. 杭州市电信局庆春路模块局深基坑  
支护..... 上虞市第五建筑工程公司技术科(394)
40. 人民日报驻浙记者站综合楼深基坑  
支护..... 上虞市第五建筑工程公司技术科(303)
- 第三节 地下连续墙支护
41. 浙江日报新闻大楼地下墙围护 ..... 马文援 陈小龙(311)
42. 浙江证券交易大楼基坑地下连续墙围护 ..... 马文援 蒋建洪(318)
- 第三章 其它
43. 杭州香港服装店地下室逆作法



施工.....	陆秀乔	金炜	叶哲华	周智民	寿张福(325)
44. 福建兴业银行泉州分行地下室基坑支护 .....					陈贤林(332)
45. 浙江省机电公司机电商场部分围护桩失效的补救技术 .....	陈玉跃				沈小和(335)
46. 杭州凯丰大厦深基坑支护 .....	林伊方				卞守中(342)
47. 杭州富春大厦地下室工程基坑支护 .....					徐少华(347)
48. 杭州金鹰饭店地下室基坑围护 .....	倪金荣				龚景照(350)
49. 浙江金马饭店基坑支护 .....	许尚辉	孔祥燕			孙跃(354)
50. 杭州娃哈哈营养食品厂生活综合楼地下室放坡 围护.....	金炜	叶哲华	应巧华	寿张福(361)	
51. 延安南路中央大厅深基坑开挖支护 .....	聂小勇	王焕珍			陈观胜(367)
<b>附录 杭州地区高层建筑深基坑围护工程简况.....</b>					<b>(372)</b>

# 第一篇 论 著



# 1. 杭州地区深基坑支护技术综述

徐志恒(杭州市建筑业管理局)

## 一、概况

随着改革开放,经济的发展,杭州地区高层、超高层建筑在近两年得到了迅速的发展,据初步统计,目前已报建的高层建筑超过了 100 幢之多,建设面积达 146 万  $m^2$ ,占在建工程施工面积的 36% 之多,一些高层、超高层建筑,如东方、凯旋门等大厦以及金隆花园、国贸中心大楼等一系列工程,目前正处在紧张的施工阶段(报建工程项目详见附录)。高层建筑的兴建和地下空间的开发利用,促进了基坑支护的发展。由于城市土地利用对提高容积率的需要,以及建筑结构和功能上的要求,地下工程已由过去的一层发展到三层,开挖深度也由过去的 4m 左右发展到目前的十几米。从发展的观点来看,无论是民用建筑或者是市政交通工程,都有向地下或高空索取空间的趋势。

从杭州地区的实际情况看,深基支护工程具有以下四个特点:

1. 深基坑支护施工的环境条件比较差。因为高层、超高层建筑都集中在市中心闹市区及主要街道的两旁,市区的建筑密度大,人口密集,交通拥挤,施工场地狭小,束缚了深基坑支护施工的手脚。

2. 地下基坑的开挖越来越深。建设单位为节约土地,要求充分利用原有基地面积,充分利用地下空间,设置人防、车库、机房及消防等设施,故地下室的深度和层数相应增加,地下基坑的开挖越来越深。

3. 必须设置技术可靠可行的支护结构来确保安全。在软土地基中进行深基坑开挖,进行深基础施工,对周围环境势必会造成一定的影响,施工中既要考虑到邻近建筑物的安全,还要考虑到对周围地下的煤气、上水、下水、电讯、电缆等管线的影响,为减少对这一系列建筑物及设施的损坏性影响,必须设置技术可靠可行的支护结构来确保安全。

4. 施工难度日益增大。随着竞争机制的增加,业主对造价、工程进度、工程质量的要求也越来越高,相应增加了施工的难度。

总之,深基坑支护工程现实是任务重、条件差、要求进度快、质量高、造价低,这就给施工单位带来了一个又一个新的难题。

## 二、环境与地质

杭州地区地处长江三角洲区域,位于钱塘江下游北岸,杭嘉湖平原的西南部,山地与平原的交接地带,除了环抱西湖明珠的西南部为低山丘陵外,杭州的北、东、南为广阔的堆积平原,是属于比较典型的软土质地区。从众多的地质钻探资料综合分析来看,杭州地区的第四纪沉积层是有沉积成因类型多、相变复杂、厚度变化大,多次堆积和侵蚀交替作用,使得地层具有相变多而复杂,垂直方向土层软硬交替、多层组合,层厚变化大的明显特征。

平原区第四纪地层,成因类型有海相、河海相、冲海相、湖沼相、河流相等多种,沉积厚度也明显受到基岩面起伏所控制。基岩埋深约为 35~55m,近山前地带约为 20~30m 左右,东部最大厚度超过 60m。

由于历史沿革等方面的原因,杭州地区高层建筑多集中在市区老城区范围,均属于第四纪软土地区,上部表土层为工业垃圾、杂填土、素填土层(厚度约 1~3m),下卧土层主要分为二种类型:

1. 软塑至流塑状态的饱和粘性土(属湖海相淤泥质土层)。该土分层设置,厚度一般为 3~5m,深的可达到 10m 以上。其主要特征是:含水量一般在 30%~45%,而土颗粒很细,当受到振动后,土体结构破坏,地基土的强度降低。孔隙比一般在 1~1.30,压缩量很大,压缩系数在 1.1~5.0MPa 之间,强度低,渗透系数小,一般为  $1.5 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-6}$  cm/s,透水性低,增加了降低地下水位的难度,地下原水位较高,常见水位在地表下 1m 左右,这对深基开挖带来不利影响。

2. 以粉土为主的饱和粉细砂土层。该土层的主要分界线以市中心的中河路为界,往南沿伸至延安南路直到南山路山边,经北与凤起路交界处折向东北方向沿伸至东新路以东大约有 4km 宽的广宽地带,均是饱和粉土和粉砂土层,厚度约在 5~15m 左右,含水量极为丰富,一般在 35%~50%,渗透系数在  $1 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-4}$  cm/s,透水性强,而且透水层承压水多与河湖沟通,如井点降水不当,流砂、管涌将随时可能发生,将会给深基支护的设计施工造成极大的困难。

### 三、杭州地区目前常用的几种支护方式

基坑的开挖,根据开挖深度不同采用放坡形式开挖,但大多数是在有支挡结构的条件下开挖。前者仅适用开挖深度较浅的基坑,而对于开挖深度大于 4m 的软土地区,则需要借助支护系统下进行开挖。目前杭州地区常用的支护形式分为加固型支护和支挡型支护两大类。加固型支护主要有水泥搅拌桩支护系统、喷锚网支护系统;支挡型支护主要有桩排支护系统、钢筋混凝土桩排支护系统、框架式桩排、带有内支撑桩排系统和地下连续墙支护系统,而这些支护系统中,往往辅以止水防渗、支撑拉锚、加固土体、降水排水、挖土卸载等一系列的技术措施组成因地制宜的每一具体工程的支护方式,以达到深基支护工程的整体最优效益。下面是几种主要支护方式(详见表 1):

#### (一)支挡型支护

采用悬臂式支护在地下室为 1~2 层,实际开挖深度在 4~7m 时使用较为普遍,有钻孔灌注桩、沉管灌注桩、人工挖孔桩等多种悬臂支挡型式。桩长根据地质情况正确选用土性参数进行土压力计算后确定深入坑底深度一般应控制在不小于 1.2~1.5 倍的基坑深度,坑边的防水幕墙可根据渗水情况,采用水泥搅拌桩和粉喷桩止水和加固土体,深度一般不少于坑底下 3m,在坑顶处沿基坑排桩顶部设置压顶梁锁口,以加强桩排和围护结构的整体性和刚度,增加桩身的抗弯强度。

#### 1. 钻孔灌注桩支护

近年来杭州市区使用较广泛,其特点是施工时无振动,对周围邻近建筑物、道路和地下管线影响危害比较少,具有一定的优越性。但缺点是桩的施工速度较慢,且场地泥浆处理较困难,工期较长。位于市区胜利路交通厅综合大楼,挖深 5.6m,就是采用  $\phi 700$  钻孔灌注桩作支护,桩长 12m,桩后用双排水泥搅拌桩  $\phi 500$  形成防水幕墙和加固土体(图 1)。杭州丰

表 1

支护结构的形式和适用范围

支护结构形式	截面抗弯刚度	防渗性能	整体性能	施工情况	施工进度	造价	基坑挖方规模		适用条件	备注
							深度(m)	宽度		
悬臂式灌注桩	较好	较好	较好	施工简便,对环境的影响小,污染脏乱	慢	一般	可达 8~10	较宽	适应性强,确定桩长、桩径较灵活	
	一般	差	一般	施工方便,噪音振动较大	快	省	可达 4~7	一般	各种软粘土地基,常与水泥石浆配合	
	好	较好	较好	施工简便,对环境的影响小,人力操作	慢	一般	可达 8~12	较宽	适用无承压水粘土地基,需配合井点降水	
悬臂式钢板桩	一般	较好	较好	施工方便,噪音振动大,打桩拔桩影响大	快	较高	可达 8~10	较宽	对土层适应性强,可回收,与内支撑拉锚配合	
	好	一般	好	施工方便,噪音振动大,变形小,机械化程度高	快	高	可达 8~12	较宽	对土层适应性强,可回收使用,支撑少	
	差	差	差	施工方便,噪音振动大,地基变形大	快	省	小于 4	一般	粘土、砂土,对软粘土地基不利,配合井点	
深层水泥搅拌桩	一般	较好	好	环境影响小,无噪音,无振动,施工方便,坑内无支撑	较慢	省	可达 4~7	宽	淤泥质粘土,组合灵活,基坑变形大	
高压旋喷桩	一般	好	好	环境影响小,无噪音、无振动	较慢	较高	可达 4~7	较宽	用于地下水渗流较大场地,桩径任意可加筋	
地下连续墙	好	好	好	环境影响小,无噪音、无振动,机械化程度高	较慢	高	可达 30	宽	适应性强,对软弱地基有利,技术要求高	
喷锚网	一般	一般	一般	施工方便,环境影响小,无噪音、无振动	快	省	可达 6~10	宽	粉土、砂土,基地更合适	

乐苑高层商住楼,挖深 5m,也是采用  $\phi 600@800$  钻孔灌注桩挡土支护,桩长 12m,并在桩后  $\phi 800$  三重管高压旋喷桩止水和加固土体。此外朝晖新村省粮食局高层住宅、古荡小区多功能综合大楼、省石油大楼、市工商银行解放路支行办公楼等均属此类支护方式。

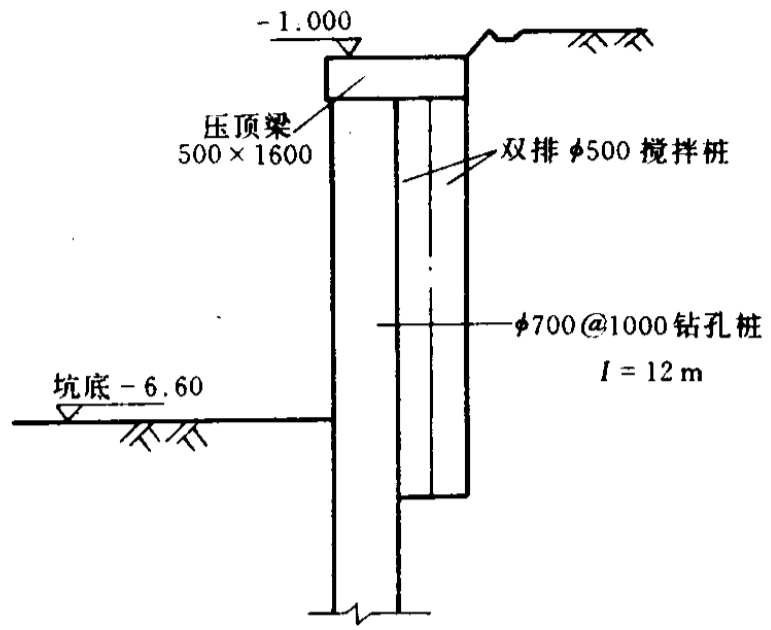


图 1 省交通厅综合楼悬臂式支护

支护排桩钻孔桩直径一般选用  $\phi 600 \sim 1000$ ,随着桩径的增加,应用时与内支撑或拉锚结合,适用基坑开挖深度达 9~10m,这种支护桩结构优点是抗弯刚度大,比较安全可靠。

### 2. 沉管灌注桩支护

该桩桩径为  $\phi 377$  和  $\phi 426$  两种,适用于基坑开挖深度不超过 7m,一般应用时可由几排桩前后交错组合而成。杭州市区应用较多的是设置前后二排交错排列的双排支护,中间加 1~2 排水泥搅拌桩( $\phi 500 \sim 700$  单头或双头型),组成比较厚实的悬臂挡土止水支护结构,其优点是造价比较经济,施工进度快。

### 3. 挖孔灌注桩支护

桩径一般选用  $\phi 1000$  以上,适用于土质较好的,无承压水的粘土、粉土地区。因是采用人工边挖边衬砌方法,所以优点是施工简便,工作面点多面广。缺点是工期较长,如遇水土流失,将会造成危害,故在深基支护中还未推广使用。

### 4. 钢板(管)桩支护

钢板(管)桩是一种目前在上海、北京等大城市中广泛应用的基坑挡土支护结构形式,通常采用槽钢和拉森型钢板桩,常用断面形式有 U 型、Z 型、直腹板式 H 型,冷轧薄型钢和钢管。应用时,常将钢板桩与内支撑型钢(钢管)或外拉锚锭、土中锚杆结合作为支护结构。其优点是施工速度快,尺寸预制定型,可重复使用,适用于施工场地狭小,地下室为 1~2 层,开挖深度在 8~10m 以内的较好土层地区,因此在一定条件下采用将会取得较好的经济效益。但钢板桩需定型生产,一次投资大,施工时打钢板桩对周围环境影响较大,对土的扰动大,在拔桩时如处理不好,基坑周边的土体将会产生较大的沉降和位移,严重时将影响四周房屋、管线的安全,甚至会造成拔不出陷入的状况,另外,钢板桩多次使用也会造成锁口变形,直接影响桩的止水功能。

### (二)内支撑支护

随着地下室层数的增加,基坑开挖越来越深,作为挡土结构所承受的侧向压力将逐步增加,悬臂式支护和自立式挡土已不能满足要求,为了减少变形,保证支护结构强度安全,就必

须对挡土结构施加拉锚或支撑,如场地限制,无法拉锚,采用设置同内支撑的组合支护系统,是比较安全可靠的。实践证明,特别是对那些开挖深(地下二层以上)、跨度大、邻近建筑物密集的深基坑,确保建筑物和管线的安全,这是行之有效的、可靠的防护措施。支撑系统是基坑支护很重要的一环,支撑的方式很多,有对撑和斜撑方式,有钢支撑和钢筋混凝土支撑。钢支撑安装方便,速度快,并可施加预应力,而钢筋混凝土支撑可与围檩浇捣一起形成,是一个刚度很大的支撑系统,对减少支护结构的水平位移十分有利。

目前杭州地区采用的内支撑主要有以下几种:

- (1) 钻孔灌注桩排桩加钢筋混凝土内支撑。
- (2) 沉管灌注桩加钢筋混凝土内支撑。
- (3) 悬臂板桩加钢筋混凝土内支撑。
- (4) 地下连续墙加钢筋混凝土内支撑。
- (5) 各类悬臂桩型加钢管内支撑。

无论采用何种支护结构,除了基坑开挖深度在 4m 以内之外,对支护结构的强度、嵌入深度、支撑受力及构造都必须进行设计和详细计算,一定要做到结构可靠,经济合理,确保安全。

挡土墙的土压力计算,通常采用朗肯土压力理论计算,特别是主动土压力部分,其计算值与工程的实测数据较为接近,通过实测数据表明,经过井点降水,土体固结,其内摩擦角  $\varphi$  和内聚力  $c$  值均有提高,对桩板墙的主动土压力将减少。因此在土压力计算时,对  $c$ 、 $\varphi$  值的取值十分重要,不能生搬硬套,特别在井点降水和地面有可靠防渗排水措施的情况下,可将  $\varphi$  和  $c$  值略为提高,许多工程实践表明,采用了提高的  $\varphi$  和  $c$  值设计计算的板桩墙及其支护结构是安全可靠的。

### 1. 水平内支撑

新华联商厦,位于庆春路与中河路交叉口东北角,主楼 18 层,框剪结构地下室两层,开挖深度 9.55m,基坑呈不规则多边形,面积 5500m<sup>2</sup>,长边为 96m,基坑围护采用单排  $\phi 800@1000$  钻孔灌注桩,桩长 18~19m,桩后布置  $\phi 500$  高压旋喷桩止水固土并深入坑底 3m,在标高 -3.6m 处,采用一道水平混凝土十字型布置内支撑,支撑间隔为 10m $\times$ 10m,支撑截面 700mm $\times$ 700mm,基坑内外布置井点降水,以防止流砂、涌砂现象,坑外井点顶标高为 -3.2m,坑内二级井点顶标高 -7m。实践证明,在粉土地地区建造深基础,在保证围护结构受力安全的条件下,防水涌土、流砂,是围护施工的主要环节。因此,围护体系中钻孔桩、支撑和高压旋喷桩是不可分割的整体,而围护结构支撑的位置及布置形式是提高基坑开挖施工速度的关键,根据杭州地区成功的经验,10m 间距的支撑下土体开挖较为便利,设置单道支撑比设置双道支撑可以省去二道支撑的浇捣及养护时间,大大提高施工速度(见图 2)。

### 2. 斜内支撑

杭州娃哈哈美食城位于庆春路与中山中路交界处,建筑面积 25000m<sup>2</sup>,由主体和球体建筑组成,地下室两层,基坑开挖深度 9.55m,平面成不规则矩形,长 $\times$ 宽=67m $\times$ 60.5m,基坑支护采用钻孔桩加两道不同型式的斜内支撑的施工方案,支护桩为  $\phi 1000@1300$ ,桩长 18m,桩间止水采用压力注浆,注浆深度 13.4m,第一道支撑与桩顶帽梁相结合,标高 -2.6m,截面 1200mm $\times$ 1000mm,因受力较小,在四边大角处设置桁架式斜角撑,使中间留出空间,便于挖土,主支撑断面 800mm $\times$ 800mm,混凝土 C30,第二道支撑中心标高设



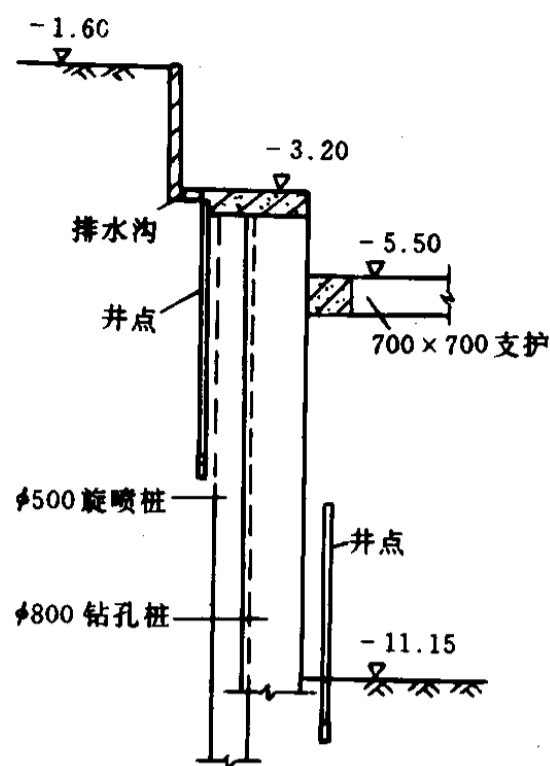


图2 新华联商厦一层水平内支撑支护

在-6.6m处,因受力较大,且整个基坑形状不规则,为充分发挥混凝土抗压能力强的优势,采用圆环梁支撑形式,由内、外环梁和支撑杆组成,连成一体共同作用。外环梁直径62.8m,与围护桩四边相切,截面1200mm×1000mm,C30混凝土,内环梁直径49m,截面1000mm×1000mm,C30混凝土,内外环梁均支撑在12根支撑桩上,支撑桩上即采用500mm×500mm角钢格构柱,下部为φ800钻孔灌注桩,格构柱插入钻孔桩2m,放射形支撑杆间隔15°,共24根,截面600mm×600mm,C30混凝土,这些支撑杆对坑壁围护桩提供支撑水平力,形成可靠的支护体系,充分发挥了钢筋混凝土圆环的优势,对各支撑内力进行调整,使整个围护体系受力均匀合理,即安全可靠,又方便土方和浇捣混凝土的施工。

### (三)加固型支护

#### 1. 水泥搅拌桩自立式挡土支护结构

它是由数排水泥搅拌桩排列在一起互相搭接,重叠而成,并具有较大厚度的重力式挡土墙。挡土墙的宽度和插入深度,应根据地质资料,通过计算基坑侧壁土压力作用下保持平衡,并应满足抗倾覆、抗隆起、抗滑移和基坑整体稳定性而确定。水泥搅拌桩用作挡土结构,由于其施工噪声低、振动小和无污染,对环境影响小,且造价低,一般可不用内支撑等优点,所以它的应用得以较快发展。搅拌桩挡土墙其桩的排列,通常3~4排以下做成实心墙体,而多排排列,通常可做成格构式(图3),以节约水泥。为了克服搅拌桩抗弯刚度小的弱点,有些工程在搅拌桩内插入竹筋和钢筋,以提高桩体的抗弯抗剪性能和整体刚度。水泥搅拌桩的水泥掺量一般为13%~15%,适用于开挖深度在4~6m单层地下室的基坑。水泥搅拌桩应用于基坑支护,另一作用是可作为止水帷幕和土体加固,采用搅拌桩作重力式挡土墙支护技术。如对天工艺苑商业中心的复建,中山花园涉外高层住宅楼和金都花园蝶式高层住宅楼群建设中,都得到了成功的运用。

#### 2. 高压旋喷桩支护

把需要支护的基坑侧壁土体采用高压旋喷工艺,将水泥浆、化学浆液与土体混合形成柱列式加固体,连成帷幕,作挡土结构,用于基坑支护,它还可作为止水帷幕使用于基坑的防渗和加固。如单独作为支护体,与水泥搅拌桩一样,为自立式挡墙,它具有施工方便、灵活