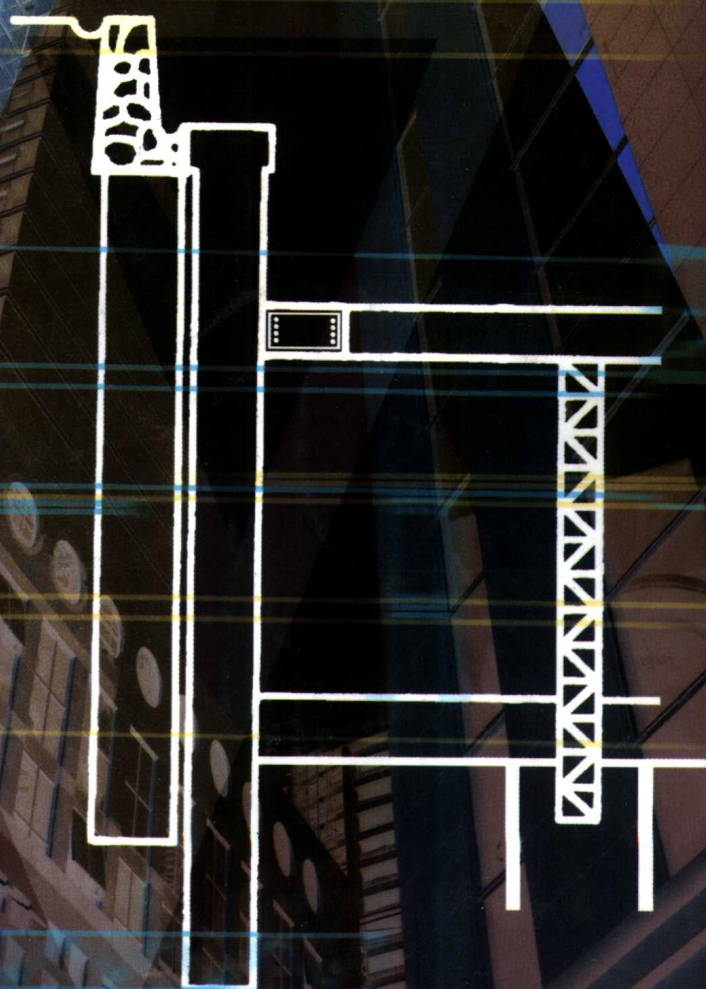


深基础 工程实践与研究

杭州市建筑业管理局 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

深 基 础

工 程 实 践 与 研 究

杭州市建筑业管理局
浙江大学土木工程学系
杭州市土木建筑学会
杭州结构与地基处理研究会



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

该书共分三部分,包括专题论述、基坑工程和基础工程。

该书结合数十个实际工程,对深基坑、桩基、地基处理等深基础的施工方法、施工技术及施工流程进行了分析和探讨,总结了近几年来在深基础工程实践与研究方面的成果,特别是施工中的经验和教训;同时,对某些问题还进行了专题论述。

该书对建筑工程深基础的设计、施工监理、监测和管理都有具体的、现实的指导意义。

图书在版编目(CIP)数据

深基础工程实践与研究/杭州市建筑业管理局主编. -北京:中国水利水电出版社, 1999.9

ISBN 7-5084-0131-X

I. 深… II. 杭… III. 深基础-工程实践 IV. TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 41278 号

书 名	深基础工程实践与研究
作 者	杭州市建筑业管理局 主编
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sale@waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云红光照排厂
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 23.75 印张 550 千字
版 次	1999 年 9 月第一版 1999 年 9 月北京第一次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	58.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《深基础工程实践与研究》编辑委员会

顾问 陈继松 沈 滨

名誉主编 益德清 龚晓南

主 编 余子华

副主编 周海龙 俞增民

编 委 (以姓氏笔画序)

丁龙章 方伟国 王苗夫 王泉根 边利民

刘念祖 刘蒙安 刘世民 华锦耀 李宝良

余子华 陈玉跃 陈静华 陈忠麟 陈云敏

吴 飞 周海龙 施祖元 姜贤放 俞增民

寇秉厚 高洪舟 顾仲文 徐志恒 黄仲华

曾宪纯 谢戊庚 谢康和 鲁勤健 黎自强

樊良本 蔡泽芳 潘秋元

编 辑 俞建霖 温晓贵 黄仁大 徐敏杰

序

改革开放以来，杭州市与全国一样，经济建设、城市建设和建筑业都得到了飞跃发展，中高层、超高层建筑如雨后春笋拔地而起。随着高层建筑的不断崛起，深基础工程和地下空间的开发和利用已日益成为软土地区建筑工程中一个引人注目的技术难点和热点问题。深基础工程的设计和施工是一个涉及工程、水文、地质、工程结构、工程施工、工程管理的系统工程，是融岩土工程、结构工程、施工技术于一体的综合性学科，是建筑科技进步和发展的标志之一。广大科研、教学、设计、施工人员通过孜孜不倦的努力和探索，特别是从90年代以来，在高层建筑深基础工程施工技术方面取得了新的突破和成果。为及时总结和交流这方面的经验，杭州市建筑业管理局、浙江大学土木工程学系、杭州市土木建筑学会、杭州结构与地基研究会联合组织编写了地区性技术书籍——《深基础工程实践与研究》，并作为杭州市首届深基础施工技术研讨会的研讨专集。该书收集整理了广大设计、科研单位、大专院校和施工、监理、监测单位及监督管理部门在深基础技术方面的科研和实践成果，具有较强的针对性和实用价值。希望该书的出版，能对推进建筑技术进步及深基础施工技术的发展有所裨益。



(杭州市建筑业管理局局长)

1999年8月

前 言

杭州市首届深基础施工技术研讨会于 1999 年 9 月召开,作为这次会议的研讨专集——《深基础工程实践与研究》也随之出版发行。《深基础工程实践与研究》以论文集的形式从不同的侧面总结反映了近几年来杭州市在深基坑、桩基、地基处理等深基础施工技术的理论研究和科学实践方面的成果。它不仅将是这次研讨会主要内容的翔实纪录,也将成为杭州市建筑业的一份重要技术资料。

深基础施工技术综合性强、涵盖范围广,它不仅涉及到岩土力学中的强度、稳定和变形问题及水文地质问题,还涉及到结构的强度、刚度以及土与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的。

确保深基础施工安全,尤其是确保旧城改造中深基坑支护安全、减小和避免深基开挖对周围环境影响,已是当前深基础施工的重要课题,杭州市建筑业管理局对此相当重视,相继出台了《杭州市深基坑围护工程暂行管理办法》、《杭州市深基坑工程施工监测的若干规定》,深度超过 5m 的深基坑设计与施工方案均实行专家论证及备案制度。实践证明,这些措施和规定对于保证基坑施工安全、降低造价、方便施工等都是十分有效的。

这次入选论文共 74 篇,是以杭州市近几年来深基础的设计、施工、监测为主,有杭州市重大工程实例、重大关键技术和重大问题的探讨,是一本较全面反映杭州市深基础施工技术的专集。本书入选的论文内容主要有:深基坑工程包括喷锚网支护、桩排支护、带内撑桩排支护、地下连续墙支护;逆作法施工;深基坑土方开挖、降水;地下室施工;深基坑开挖的环境影响;桩基优化;管桩应用;大口径灌注桩施工;基坑监测、预报及软件应用等。这次选编入册的内容对今后深基础工程的设计、施工、监理、监测和管理具有一定的借鉴作用和参考价值。

参加本书撰稿的作者大多是在浙江省、杭州市长期从事工程建设设计、施工、科研、教学、管理等部门的工程技术人员、专家和教授,对深基础工程技术有着丰富的经验。

本书出版工作是在杭州市建筑业管理局、浙江大学土木工程学系、杭州市土木建筑学会、杭州结构与地基处理研究会组织下进行的,在征稿和选编中,得到了浙江省、杭州市有关部门和单位的大力支持,在此谨表谢意。

由于本书征稿、选编的工作时间较短,文稿内容的水准、质量和表述方面存在一些差异,在选编审稿过程中虽力求改进,但限于水平,书中缺点错误在所难免,敬请作者和读者批评指正。

余子华

1999 年 8 月

目 录

序 前 言

第一篇 专 题 论 述

1	杭州地区深基坑开挖支护与监测技术的回顾与展望	沈 滨	余子华
8	深基坑支护结构设计	陈忠麟 朱俊隆 倪士坎 潘秋元 谢康和	应宏伟
17	深基坑支护结构计算中存在的问题及整体空间有限元分析	丁龙章 陈水福	曾宪纯
21	软土地基深基坑围护的技术经济分析	余子华 俞洪良	严辛垚
27	关于基坑支护安全预警的若干问题		周海龙
31	基坑“逆作法”技术要点	杨学林 施祖元	益德清
37	地下连续墙在杭州地区基坑工程中的应用		余子华
42	地下连续墙技术在建筑工程中的应用及发展	刘兴旺 益德清 施祖元	吴世明

第二篇 基 坑 工 程

49	黄龙广场深基坑开挖挡土结构设计与施工	柴汉峰	游有均
54	杭州市环城北路地下停车库基坑围护施工及监测分析	龚华中 刘世明	王少峰
60	杭州西湖国际饭店“全逆作法”施工	史芳云 杨菊祥	章建华
65	杭州四堡污水处理厂消化池基坑开挖与回灌系统应用	俞建霖 徐曰庆 龚晓南	陈观胜
74	杭州铁路新客站及站前广场地下室基坑围护设计	章 华	陈忠麟
79	某开口支护事故分析		李益为
82	杭州铁路新客站站前高架广场地下室工程的施工	楼新安 姚国荣	景鑫炎
87	创业服务大楼基坑围护实例	金 炜 叶哲华 姚华军	葛 伟
92	直径 120m 双环内支撑在涌金广场基坑围护工程中的应用	丁 勇 李 倩	顾仲文
96	涌金广场大直径双环内撑基坑围护结构整体空间有限元分析及测试验证	丁龙章 陈水福 曾宪纯	顾仲文
103	杭州市江心岛综合楼基坑支护	李宇进	潘正红
110	杭州双牛大厦基坑围护工程施工	庞宝根 王烈铨	温明明
116	萧山新世纪广场深基坑支护实例	金善昌 张士平 崔秀光 徐惠源	俞增民
120	先张法预应力管桩在基坑围护中的应用	朱建康	斯 新
124	浙江省建工大楼深基坑围护结构设计与施工	应静波 姜保林 何浩敏	宣传忠
129	杭州解百商城地下工程施工技术探讨	马文援 蒋建洪	丁士龙

133	杭州第二长途电信枢纽楼深基坑施工	王泉根	朱国华	潘红才
140	预应力锚杆在基坑围护中的应用			陈传水
146	某工程地下连续墙深基坑支护结构方案整体空间分析	丁龙章	徐敏杰	曾宪纯
153	关于地下连续墙“二墙合一”的设计与施工实践	龚和新	李 涛	谢宝林
157	浙江大酒店地下工程围护施工			丁士龙
162	浙江省新华书店图书音像发行大厦地下室深基坑围护	邬 涛	吕未屏	孔加银
167	杭州钢铁集团公司业务大楼基坑围护设计与施工	马永良	江海波	杨 军
173	浙江省建工综合楼地下室基坑支护	姚华军	余荣生	金 玲
178	中大花园地下车库基坑支护	叶哲华	余荣生	徐旭彪
182	深基坑土钉支护的设计与施工	程永锋	王 腾	金 炜
187	深基坑土钉喷锚围护的应用			方茂才
193	杭州市第三人民医院病房楼基坑土钉墙围护			方宏青
199	深基坑土钉墙支护中险情的排除	王泉根	何培新	谢康和
203	浙江省交通厅2、3号办公楼基坑边坡喷锚网支护设计与施工			戴红忠
207	孝女路联建大楼喷锚网支护	潘德来	曹林杰	朱瑞亮
211	软土地基中双排桩式围护结构的性状探讨	李宝良	刘 杰	何培新
215	深基坑开挖组合支护(连拱式)工程应用	孙百明	蔡袁强	张永祥
219	浅谈阳光城商贸大厦深基坑围护		林 欣	
223	井点降水在基坑开挖中的应用		林韵强	孔维斌
228	复杂地质条件下深基坑降水与土方开挖施工		何兆忠	龚景照
232	地下室土方开挖方案的探讨	王荣富	王烈铨	钱 磊
236	非电导爆系统网络型接力式捆联网路在城市拆除爆破中的应用		薛培兴	陈正光
241	抛石挤淤埋填河浜地段基坑围护工程的设计与施工			陈旭挺
245	大型地下净化池的设计与施工	吴碧波	欧夏裕	方崎琦
249	温州国贸大厦基坑支护的监理			温明明
252	基坑开挖亟需注意的一个问题			史雅语
255	杭州解百商城地下室“半逆作法”施工技术	俞增民	罗 海	徐佩林
259	金融综合大楼基坑围护结构整体空间分析			邱建人
264	深基坑施工中的围护监测分析		欧世成	李益为
266	基坑工程监测数据处理系统的研制与应用			韦国岐
271	新华大厦基坑工程的施工及现场监测	俞建霖	姜昌伟	万 凯
276	深基坑工程设计软件系统——“围护大全”软件	闻卫东	边利民	徐日庆
283	深基坑开挖过程中邻近地下管线安全性的判别	李大勇	祝 勤	孙理达
				黄启峰

第三篇 基 础 工 程

289	杭州多层住宅桩基优化途径初探			林 柏	姜贤放
293	桩基的施工与检测	陈云敏	王立忠	柯 瀚	
301	预应力管桩在杭州的应用研究	张忠苗	朱红兵	俞小光	
307	先张法预应力混凝土管桩的施工技术			朱建康	斯 新

312	杭州粉砂土地区静力压桩应用技术	王伟堂	叶 飞	张菊中	姜建新	许仁爱
318	复杂地质条件下大直径钻孔灌注桩的施工				方伟国	李 勇
322	不稳定土层中钻孔灌注桩施工的泥浆控制				裘天鹰	余子华
325	应用推广新工艺 $\phi 500/\phi 1000$ 扩底钻孔灌注桩					王身荣
329	超长振动沉管灌注桩的质量控制		陆 怡	高庆新	周 斌	
333	灌注桩质量事故处理实例			陆庆斌	叶向礼	
336	全套管护壁与泥浆护壁灌注桩成孔效益比较				楼元仓	
339	复杂地质条件下的挖孔桩施工				孔加银	
343	喷射井点降水在挖孔桩中的应用				朱连根	
346	高压喷射灌浆技术在深厚卵砾石层中的应用				张金海	孙樟林
350	振动沉管砂石桩在松散砂性土地基中的应用	顾关强	寇秉厚	王学军		
360	台州发电厂江堤及排涝系统改造工程桩基施工过程监测分析				傅坚刚	
366	钻孔扩底灌注桩替代夯扩桩的工程实践与探索				张 铸	
370	鸣谢					

第一篇 专题论述



杭州地区深基坑开挖支护与 监测技术的回顾与展望

沈 滨 余子华 □ 杭州市建筑业管理局

一、引言

随着城市建设的飞速发展，杭州地区高层、超高层建筑和大中型地下市政设施日益增多，深基坑工程已呈现出“数量多、规模大、深度深、难度大”的趋势。杭州市目前最深的基坑——杭州市第二长话枢纽中心地下室开挖深度已达 19.4m；杭州新西湖国际饭店深基坑开挖面积达 18000m²，开挖深度达 14.5~16.5m，不仅是杭州目前面积最大的深基坑，而且也是目前国内最大的“全逆作法”施工的深基坑；杭州解百商城设 3 层地下室，基坑面积约 8000m²，开挖深度达 15.8~16.6m，是全省最深的“半逆作法”施工的基坑；涌金广场基坑中直径为 120m 和 100m 的钢筋混凝土双圆环内支撑体系，创下了国内同类工程之最。从数量上看，每年经过专家论证并且到市建管局备案的开挖深度超过 5m 的深基坑工程大约有 40~50 个。可以说，量多面广的基坑工程已成为杭州市深基础工程的主要内容之一，也促进了杭州地区基坑支护技术的发展。

在开挖工程中，由于地质条件、荷载条件、材料性质、施工条件和外界其它多种因素的复杂影响，基于各种简化条件下的理论计算值还不能全面、准确地反映工程的各种变化。因而，在理论分析指导下有计划地进行现场监测十分必要。特别是对于地基较差、开挖深度较大的大中型工程或周围环境要求严格的工程，进行现场监测及信息化施工更为重要。深基坑开挖监测技术也是随着支护技术的发展而不断完善的。

二、杭州地区的地质和环境条件

深基坑支护具有较强的地域性。在全国范围内，杭州地区的地质条件和环境条件都是较差的。

从地质上分析，杭州地区地处长江三角洲，位于钱塘江下游北岸，杭嘉湖平原的西南

部,除了环抱西湖的西南部为低山丘陵外,杭州东、南、北面均为堆积平原,属于比较典型的软粘土地区。杭州地区的第四纪沉积层成因类型多、厚度变化大,由于多次堆积和侵蚀交替作用,使地层具有竖直方向土层软硬交替、层厚变化大的明显特点。基坑工程比较集中的杭州老城区范围内,均属于第四纪软土地区,上覆地表土层为工业垃圾、杂填土、素填土层(厚度约1~6m),下卧土层根据其地处城区的位置不同分为两种类型。

1. 饱和软粘土层(属湖海相淤泥及淤泥质土层)

饱和软土层厚度一般为3~5m,深的可达15m以上。其主要特征为:含水率一般在30%~45%,最大可达60%;孔隙比一般为1.0~1.30,最大可达1.60;渗透系数一般为 $1.5 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。这种典型软土,强度低、渗透性差、易扰动,开挖容易引发基坑侧壁位移过大、坑底隆起失稳等事故,并可能导致周围建筑或道路管线损坏。

2. 以粉土为主的饱和粉细砂土层

以粉土为主的饱和粉细砂土层的主要分界线以中河路为界,往南延伸至延安南路,往北在凤起路交界处折向东北方向并延伸至东新路以东,宽约4km,厚度约为5~15m,含水量极为丰富,其含水率一般在35%~50%,而且渗透系数在 $1.0 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-4} \text{cm/s}$,透水性强,且透水层承压水多与河湖连通,如止水或降水不当,易引发流砂、管涌,并导致基坑附近建(构)筑物沉降过大等事故。

从环境上分析,杭州的深基坑工程大多集中在老城区,基坑周围的道路、管线和建筑物都比较复杂,尤其是未打桩的旧宅、城市煤气管道、电缆线等,对基坑开挖引起的地基位移十分敏感,稍有不慎,即会产生不良后果或引发民事纠纷。

三、杭州地区的基坑支护技术

除开挖深度较浅的基坑采用放坡形式外,杭州地区常用的支护形式分为加固型和支挡型两种。加固型支护主要有水泥搅拌桩或高压旋喷桩重力式挡墙、土钉墙等;支挡型支护主要有悬臂支护系统、带撑(锚)桩排系统、双排桩门架式支护系统等。而基坑围护体系一般包括挡土体系和止水降水体系,故支护体系中除前述支护结构外,还往往辅以防渗、降排水、基坑内外土体加固等其它技术措施,以保证支护体系的整体效果。

(一) 基坑围护结构的常用型式

1. 放坡开挖结构

放坡开挖是选择合理的边坡以保证开挖过程中边坡的稳定性,包括坡面自身的稳定和边坡的整体稳定性。这种开挖方式适用于地基土质较好、开挖深度较浅、施工现场有足够场地的工程,其开挖支护费用一般较低。实际施工过程中,为了增加基坑边坡稳定性和减少挖土方量,还常在坡脚采取草包、块石堆砌小挡墙或设适量短桩等挡土措施。一般在粉砂土地基上且开挖较浅的基坑可以采用这种支护型式,如位于杭州大学路的浙江省卫生厅直属系统高层住宅楼基坑等。

2. 水泥土重力式围护结构

水泥土重力式围护结构常采用深层搅拌法形成,有时也采用高压旋喷法。它是由数排

水泥土桩排列在一起相互搭接而成,具有较大厚度,与其包围的天然土体形成重力式挡墙支挡周围土体,并保持基坑边坡稳定。水泥搅拌桩重力式挡墙常用于软粘土地区开挖深度在6m以内的基坑工程;采用高压旋喷法施工则可以在砂类土中形成水泥土挡墙。近年来也有采用较大功率的深层搅拌机械在砂土地基中形成水泥土挡墙的工程实例。这种围护结构具有施工噪音低、振动小,对环境的影响小、造价低、便于土方开挖等优点,缺点是通常变形较大。如中山花园高层住宅楼基坑、黄龙体育中心主体育场地下室局部基坑、天工艺苑商城等工程就采用了这种支护结构。

3. 悬臂式围护结构

悬臂式围护结构常采用不设内支撑和锚杆的钢筋混凝土排桩墙、木板桩、钢板桩、钢筋混凝土板桩、地下连续墙等型式,钢筋混凝土桩常采用钻孔灌注桩、人工挖孔桩、沉管灌注桩及预制桩,一般在桩顶设压顶梁以增强整体性。悬臂式围护结构依靠足够的人土深度和结构的抗弯能力来维持整体稳定和结构的安全,适用于土质较好、开挖深度较浅的基坑工程。如杭州经济发展大楼、浙江省石油公司大楼等基坑工程采用了这种支护型式。

4. 内支撑围护结构

当开挖较深、土质软弱或基坑邻近建筑物密集时,重力式和悬臂式支护将不能满足结构强度和基坑变形的要求,在这种情况下常采用内撑式围护结构。内撑式围护结构由围护结构体系和内支撑体系两部分组成。围护结构常采用钢筋混凝土排桩和地下连续墙型式。内支撑体系可采用水平支撑和斜支撑,其中水平内支撑又包括对撑、斜角撑和圆环梁支撑等型式。从材料上划分内撑有钢筋混凝土支撑和钢管(或型钢)支撑两种。钢筋混凝土支撑的刚度大、变形小,但混凝土的收缩和徐变对支撑体系的受力有一定影响;钢管支撑的优点是可重复利用,并可施加预应力。目前在杭州地区较多采用钢筋混凝土内支撑。

内支撑围护结构的适用范围广,可适用各种土层和基坑深度。如杭州标力广场、工联大厦、金潮大厦、杭州娃哈哈美食城、浙江省外贸粮油大楼、浙江大酒店、三瑞大厦、双牛大厦、涌金广场等大量深基坑工程采用内支撑围护结构获得了成功。

特别是当利用地下室的结构梁板体系作为内支撑体系时,则应视为内撑式围护结构的特例。此时可以结合“全逆作法”或“半逆作法”的施工方法,达到节约围护费用和缩短施工周期的目的。杭州新西湖国际饭店工程就采用地下连续墙围护和“全逆作法”的施工方法,在3层地下室的基坑工程中取得成功;杭州解百商城工程则采用地下连续墙同时作为地下室外墙和围护墙的“二墙合一”方案,采用地下室部分结构梁板体系作为内支撑和“半逆作法”施工,也取得了成功。上述基坑支护工程的成功,不仅是杭州地区甚至浙江地区超深大基坑的支护设计水平的一次飞跃,也为“全逆作法”和“半逆作法”的地下结构施工树立了榜样。

5. 拉锚式围护结构

拉锚式围护结构由围护结构体系和锚固体系组成。其围护结构与内撑式围护结构体系相同,常采用钢筋混凝土排桩和地下连续墙型式。锚固体系可分为锚杆式和地面拉锚式。地面拉锚式需要有足够的场地设置锚桩或锚固物;锚杆式需要地基土能提供较大的锚固力。锚杆式一般适用于砂土或粘土地基,而在软粘土中很少使用。浙江歌舞团排练厅、市

政府办公大楼等基坑工程都曾局部采用拉锚式围护结构。

6. 土钉墙围护结构

土钉墙围护结构是边开挖基坑，边在土坡中设置土钉，在坡面上铺设钢筋网，并通过喷射混凝土形成混凝土面板，从而形成加筋土重力式挡墙起到挡土作用。土钉墙围护适用于地下水位以上或人工降水后的粘性土、粉土、杂填土，一般不适用于淤泥质及地下水位以下且未经降水处理的土层，周围管线密集的基坑也应慎用。杭州阳光城、丰乐苑高层住宅、孔雀大厦、红星大厦等基坑工程成功地采用了土钉墙进行支护。

7. 双排桩门架式围护结构

在较深的基坑中，为方便坑内挖土施工，缩短工期，目前在工程中常采用双排钢筋混凝土灌注桩、压顶梁和联系梁形成空间门架式围护结构体系。它的支护深度比悬臂式结构深，但从受力机理来看，仍属悬臂型，因而在土压力作用下，其变形可能较大。金潮大厦、凯丰大厦、金鹰饭店等工程采用的基坑围护结构就属于典型的双排门架式结构。

(二) 止水、降水和排水措施

近年来，杭州地区由于基坑围护结构破坏引发的工程事故所占比例较小，而由地下水带来的诸多问题却屡见不鲜，可以说，深基坑开挖支护工程能否成功，采取有效措施处理好地下水是另一个关键。

除对于渗透性很小的地基中可以既不设置止水帷幕也不降低地下水位，而在开挖过程中采取明沟排除少量积水外，由于杭州大部分区域地基浅层均有一层透水性较好的粉土层，因此，为了保证土方开挖和地下室施工能顺利进行，常需通过降低地下水位或设置止水帷幕使水位保持在基坑底面 0.5~1.0m 以下。

1. 基坑止水帷幕

水泥土重力式挡土结构、地下连续墙围护结构本身又是止水帷幕；而工程中运用较多的排桩结构，则需要另外设置止水帷幕以共同形成挡土、挡水的基坑支护体系。

目前，在杭州地区应用较多的止水帷幕有两种形式：深层搅拌法水泥土止水帷幕和高压旋喷法水泥土止水帷幕。此外，也有采用素混凝土连续排桩作为止水帷幕，或素混凝土桩嵌于钢筋混凝土支护桩之间两者结合止水取得成功的范例。

深层搅拌法水泥土帷幕视土层情况采用数排水泥搅拌桩相互叠合形成，一般应至少 2 排，相邻搅拌桩搭接长度应不小于 100mm。这种止水措施适用于粘土、淤泥质土和粉土地基，也可与注浆法结合形成复合型帷幕。

高压喷射注浆法水泥土止水帷幕一般可与排桩共同形成帷幕（如高喷桩嵌在相邻挡土排桩之间），或采用单排高喷桩相互搭接单独形成帷幕。这种止水措施适用于粘土、淤泥质土、粉土、砂土及碎石土等地基，适用范围比深层搅拌法帷幕更广，但费用也远高于后者，故一般工程应优先考虑后者。

近年来，华园大酒店、浙江饭店、延龄饭店等工程，采用素混凝土排桩或素混凝土嵌桩这种比较新的止水方式也获得了成功。但个别工程采用这种止水方式时，由于素混凝土桩之间或素混凝土桩与支护桩之间搭接不好和基坑侧壁的粉砂土层透水性大等原因而产生

了局部管涌。因此,采用素混凝土桩止水时应注意清除杂填土中障碍物、保证桩的垂直度,使桩间能有效搭接;同时也应注意相邻桩的成孔时间,以防相邻桩的断桩或成孔时的水土流失而影响止水桩的质量。

2. 降、排水措施

对于渗透性较好的地基中的深基坑开挖,有针对性地选择降水方案,在开挖前进行预降水,可以达到提高土体强度、减小坑后水压力、防止流砂涌砂、稳定边坡等目的。在杭州地区,降水措施常采用井点降水,常用井点类型有单(多)级轻型井点、喷射井点、深井井点和电渗井点等,可根据基坑范围、开挖深度、工程地质条件、周围环境等合理选择,而目前应用较广泛、技术比较成熟的仍是轻型井点,深井井点技术也仅在解百商城和凯悦国际大酒店等少数深大基坑中应用。少数工程也采用集水坑降水,但一般降水深度有限且效果不佳。

为减小地下水位下降对周围建筑物和地下管线的影响,有时需在基坑外侧设置回灌井点。

四、杭州地区的基坑监测技术

深基坑开挖工程往往在繁华的市区进行,场地周围建筑物和地下管线密集,基坑开挖所引起的土体变形将直接影响这些建筑物和管线的正常使用:当地基变形过大时甚至会造成邻近结构和设施的破坏,同时,过大变形又会使周围管线内的地表水渗漏,可能加剧土体变形。因此,在深基坑施工过程中,只有对基坑支护结构、基坑周围土体和相邻构筑物进行综合、系统的监测,才能对工程情况有全面的了解,确保工程的顺利进行。

近年来杭州市建筑业管理局加大了对深基坑开挖工程的设计、施工和监测的管理力度,实施了深基坑支护方案专家论证备案制;并制定了“杭州市深基坑工程施工监测的若干规定”,对深基坑工程的监测从管理角度提出了明确的要求,除了要求对深基坑支护结构自身的监测外,还特别强调了对深基坑周围建(构)筑物和地下管网、市政设施的监测,以尽量减少或预防开挖对周围环境的影响。规定还强调要做好对基坑周边环境原有状况的调查和记录工作,对易引起民事纠纷的建筑物要事先进行危房鉴定。规定还把基坑监测分为常规监测和专业监测,常规监测由施工单位负责进行,专业监测由建设单位委托有资质的专业监测单位进行,深基坑监测应以专业监测为主。

自 80 年代中期浙江大学土木工程学系率先在杭州友好饭店深基坑开挖中承担基坑监测以来,杭州地区的深基坑开挖监测技术也随着支护技术的发展而不断完善。基坑监测的效果也比较明显。不少工程就是通过有效的监测,及时采取了措施而避免了事故的发生。如杭州中山北路某高层建筑基坑工程就是通过测斜得知坑底以下位移发展过快,及时采取了抢险措施而制止了事态的恶化;有些工程通过支撑的应力测试而避免了支撑的破坏。

(一) 基坑监测的目的

对深基坑工程地下施工过程中实施现场监测主要有以下几个目的和作用:①提供围护

结构和基坑总体及局部的稳定和安全状况,在预先确定结构破坏报警值的情况下预先报警,以尽量避免或减少可能带来的损失;②将监测数据与理论计算值进行比较,验证基坑围护设计计算的准确性,并判断前一步施工工艺和施工参数是否符合预期要求,以确定和优化下一步的施工参数,做好信息化施工;③根据监测数据反推设计参数以优化设计,并总结工程经验,为完善设计提供依据。

(二) 基坑围护总体监测方案的确定

基坑围护总体监测方案的确定必须满足以下原则。①监测内容满足工程需要并符合工程特点;②满足围护设计提出的基本要求;③满足市政单位提出的对地下管网的要求;④测试方法得当并且提供准确及时。

基坑工程的现场监测对象应包括围护结构、地基土体、地下水、周围环境等几个环节。

(三) 监测内容和要求

在基坑工程中,现场监测的主要项目有:①基坑支护结构的位移,包括桩(墙)的测斜和桩(墙)顶部的隆沉量及水平位移;②坑后土体的侧向位移;③基坑坑底的隆起量;④支护结构内、外侧土压力;⑤基坑内外侧的孔隙水压力及地下水位;⑥支撑立柱的竖向和水平位移;⑦基坑围护桩(墙)的内力(弯矩);⑧支撑、围檩的变形、内力(弯矩、轴力);⑨基坑邻近建筑物和道路、管线的沉降和水平位移。

在工程中选择监测项目时,应根据工程实际及环境需要而定。一般而言,闹市区的大中型工程均需监测这些项目;中小型工程可以选测几项。而杭州地区实际工程中,测斜、支撑结构轴力和地下水位的监测一般必不可少,因为它们能综合反映基坑变形、受力和水位变化等情况,直接反馈基坑的安全度。

基坑监测应满足观测工作有计划、监测数据可靠、观测及时、记录报告完整形象等技术要求。

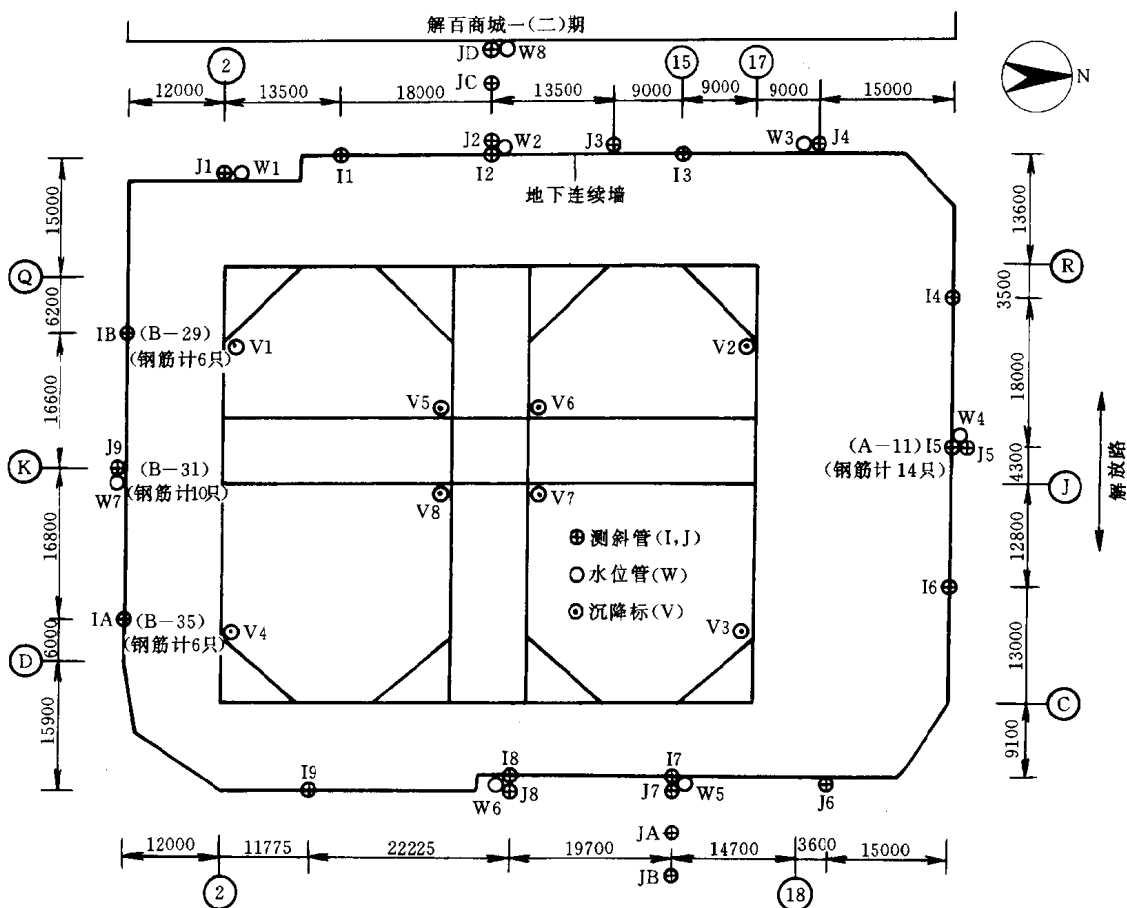
杭州地区深基坑开挖施工监测的内容和范围也比较广泛。杭州新西湖国际饭店和解百商城等基坑工程的监测内容就比较全面。

(四) 基坑监测在工程中的具体运用

在建的杭州解百商城位于杭州市解放路与浣纱路交叉口,西以吴山路为界,南与国货路为邻,地处中心闹市区,是一座大型的商业建筑。该商城设地下室3层,基坑开挖深度约15.8m,其平面基本呈99m×76m的矩形。地基主要土层为轻微超固结粘土,其中在开挖面以上有1层厚约3m的淤泥质粘土。采用0.8m厚地下连续墙既作为基坑围护挡墙,又作为地下室外墙(“二墙合一”),并利用各层地下结构周边梁板兼作围护墙水平支撑体系的支护方案,采用“半逆作法”施工。地下室土方开挖从1997年5月下旬开始,至11月中旬完全挖除;整个地下室结构施工于12月底全部结束。

在深基开挖和地下室结构施工期间的监测任务为:①地下连续墙墙身水平位移监测;

②连续墙墙后土体沿深度的水平位移监测；③地下连续墙墙体内竖向弯矩或主筋应力监测；④支撑轴力和地下结构主梁（水平方向）内力、钢筋应力监测；⑤坑外地下水位监测；⑥地下结构立柱顶水平位移和竖向位移监测；⑦坑内土体的隆起量监测；⑧对邻近建筑和道路的沉降进行监测。主要测点平面布置见图 1。



深基坑支护结构设计

陈忠麟 朱俊隆 倪士坎 □ 杭州市建筑设计研究院
潘秋元 谢康和 应宏伟 □ 浙江大学岩土工程研究所

一、工程概况

解百商城位于杭州市解放路以南，现解放路百货大楼东侧，西湖湖滨一公园东南角，建筑物地下室面积 $99.0\text{m} \times 78.0\text{m}$ ，地面以上结构 8~10 层，总高度 40.5m，地下室 3 层，开挖深度 15.80m。

地基基础采用大直径灌注桩，同时考虑基底④号土层的天然地基承载能力，灌注桩以⑨号砂砾土层为持力层，一桩一柱，考虑桩土共同作用，桩径不小于 0.8m，建筑物基本柱网尺寸为 $9.0\text{m} \times 9.0\text{m}$ ，双向“井”字梁楼板，抗侧力结构板厚取 250mm，人防地下室板厚 300mm，其它板厚均为 120mm。

二、场地地质条件

据杭州市勘察测绘院提供的资料，该场地土层地质描述如下。

①-1~3 层：杂填土，素填土。

②-1~5 层：砂质粉土或粘质粉土，一般为稍密~中密，其中②-5 号粘质粉土层性质较差，松软，多含有机腐殖质。

③层：淤泥质粘土，流塑，系高压缩性土层，但在坑底以下压缩层范围之内不出现。

④-1~4 层：粘土或粉质粘土（可塑~硬可塑），层厚一般在 8.0m 以上，地下室基底大部分范围落在该土层上。

⑧~⑨层：分别为褐黄色、夹灰绿色粘土，可塑，含多量氧化铁，夹粉土薄片，局部夹中细砂及少量角砾。⑨号土层为砂砾层，含卵石约 20%，含角砾 20%~25%，含中粗砂砾约 35%~40%，该土层是较为理想的桩基持力层；⑧号土层层面距地面约 30.0m。

设计地下室基底大部分落在④号粘土层上，地下连续墙墙底位置近⑧号土层，桩基设计在含砾⑨号砂砾层上。

三、围护结构设计方案的选择

据了解，目前国内开挖 3 层及 3 层以上的地下室以采用锚杆（或内支撑）和地下连续墙相结合的方案居多。

（1）采用锚杆（预应力锚杆居多）和地下墙相结合，这一类支护结构宜用在浅层地质条件较好的地区，但由于场地周围条件（建筑物、管线等设施）的限制以及锚杆和连续墙