

深基坑工程 信息化施工技术

SHENJIKANG GONGCHENG
XINXIHUA SHIGONG JISHU

林鸣 徐伟 主编 ● 杨玉泉 王旭峰 副主编 ●

中国建筑工业出版社

深基坑工程信息化施工技术

林 鸣 徐 伟 主 编
杨玉泉 王旭峰 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

深基坑工程信息化施工技术/林鸣, 徐伟主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2006
ISBN 7-112-08290-0

I. 深... II. ①林...②徐... III. 信息技术-应用-深基础-基础 (工程) IV. TU473.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 040307 号

基坑信息化施工是指充分利用前段基坑开挖监测到的岩土及结构体变位、行为等大量信息, 通过与勘察、设计的比较和分析, 在判断前段设计与施工合理性基础上, 反馈分析与修正岩土力学参数, 预测后续工程可能出现新行为与新动态, 进行施工设计与施工组织再优化, 以指导后续开挖方案、方法、施工, 排除险情, 实现最佳工程。本书内容包括: 深基坑工程概述、信息工程技术与工程施工信息化、深基坑工程信息化施工、监测手段及信息采集、数据处理技术、安全指标体系与安全性评价、深基坑工程紧急预案、深基坑工程应用实例等。

本书可作为建设工程项目中从事设计、监测和施工工作的有关人员学习和参考, 可作为建筑施工企业技术人员及勘察设计单位技术人员的培训教材, 也可作为大专院校土木工程类专业学生的学习参考材料。

责任编辑 郦锁林

责任设计 赵明霞

责任校对 张景秋 孙 爽

深基坑工程信息化施工技术

林 鸣 徐 伟 主 编

杨玉泉 王旭峰 副主编

*

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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15½ 字数: 380 千字

2006 年 6 月第一版 2006 年 6 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 35.00 元

ISBN 7-112-08290-0

(14244)

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.cabp.com.cn>

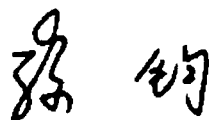
网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

序 言

土木工程领域中深大基坑支护的结构施工与其土方开挖技术是人们当前十分关注的问题。由于土体工程结构的受力特点及其荷载和抗力的复杂性，其设计和施工过程始终在追求结构选型与受力上的合理性、可靠性和经济性；特别是对一些开挖深度较大而周围土工环境维护要求又高的深大基坑工程，在施工过程中加强对其支护结构变形位移以及基坑周围环境土工变化方面的监测与预报，以实时反馈的数据信息在必要时有针对性地调整、修正工程的设计参数与施工工序，以确保深大基坑施工全过程的稳定与安全。这是一条经多处工程实践认定为行之有效的技术路线。

本书作者林鸣、徐伟等自 20 世纪 90 年代以来主持并参与了若干深大基坑工程的设计和施工实践，从 2000 年开始还负责了江苏润扬长江公路悬索大桥北锚碇深大基坑工程设计施工的科研实践，积累了许多第一手的宝贵资料，其信息化施工的数据及其具体实施方法将为后续的其他重点工程的设计施工提供有益的技术经验与保障。为此，在本书中进一步系统总结分析有关深大基坑工程信息化设计施工方面的技术经验和方法有着十分重要的工程应用价值。作者们撰写出版本书以供土木工程相关领域工程技术人员参考借鉴，也必将有着良好的助益。

值此农历丙戌年仲春佳日，适闻新书结稿，十分高兴，在此预祝本书的成功付梓问世。是为序。



2006 年仲春佳日，于同济园

孙钧先生，同济大学教授、中国科学院院士，中国土木工程学会顾问、名誉理事（前副理事长）。

前 言

改革开放以来,我国经济高速发展,大量高层建筑的兴建带来大规模基坑工程,也使基坑工程事故不断,东南沿海开放城市高达基坑总数 1/3。主要表现为支护结构大位移与破坏,基坑塌方及大面积滑坡,基坑周围道路开裂与塌陷,相邻地下设施变位与破坏,临近建筑物开裂与倒塌,使国民经济与人民生命财产造成重大损失。对全国 37 个大中城市 166 起重大基坑事故调查与统计分析发现,任何一起基坑事故都与监测不力或险情预报不准直接有关,与没有实施基坑信息化施工直接相关联。

基坑工程信息化施工基础是基坑工程环境监测,它是检验设计正确性和发展岩土工程理论的重要手段,又是及时指导正确施工、避免发生事故的必要措施,基坑工程环境监测是基坑在开挖施工处理中,用科学仪器设备与手段对基坑支护结构及周边环境(如土体、建筑物、道路、地下设施等)的位移、变形、倾斜、沉降、应力、开裂、基底隆起、地下水位动态变化、土层孔隙水压力变化等进行综合监测。基坑信息化施工是指充分利用前段基坑开挖监测到的岩土及结构体变位、行为等大量信息,通过与勘察、设计的比较和分析,在判断前段设计与施工合理性基础上,反馈分析与修正岩土力学参数,预测后续工程可能出现新行为与新动态,进行施工设计与施工组织再优化,以指导后续开挖方案、方法、施工,排除险情,实现最佳工程。

本书由林鸣、徐伟主编;杨玉泉、王旭峰副主编;编写人员:骆艳斌、孙旻、李劭晖、谢小松、宋灿、陈灿、郑建军、郭征红、吴芸、滕鑫。

各章的主要编写者是:第一章由林鸣、徐伟、王旭峰、郭征红编写;第二章由王旭峰、杨玉泉、宋灿编写;第三章由林鸣、徐伟、王旭峰、骆艳斌编写;第四章由杨玉泉、徐伟、王旭峰、孙旻编写;第五章由林鸣、杨玉泉、骆艳斌、李劭晖编写;第六章由林鸣、徐伟、王旭峰、谢小松编写;第七章由王旭峰、徐伟、郑建军编写;第八章由徐伟、杨玉泉、王旭峰、骆艳斌编写;第九章由林鸣、徐伟、王旭峰、陈灿、吴芸编写;全书最后由林鸣、徐伟、王旭峰统一审校加工。

在本书的编写过程中得到了叶可明院士的悉心指导和帮助,得到了中港第二航务工程局、上海岩土工程勘察设计研究院等单位的大力支持,并参考了国内外众多学者的研究成果,在此一并表示衷心感谢。

本书可作为建设工程项目中从事设计、监测和施工工作的有关人员学习和参考,可作为建筑施工企业技术人员及勘察设计单位技术人员的培训教材,也作为大专院校土木工程类专业学生的学习参考材料。

限于水平,本书难免有错误和遗漏之处,也会存在部分理解不全面的地方,还望读者对此来函、来电,不吝赐教,以帮助我们改正不足,全体编写人员对此表示深深的感谢。

让我们共同努力,为进一步提高我国土木工程领域特别是深基坑工程信息化施工的水平做出更大的贡献。

目 录

第一章 深基坑工程概述	1
第一节 深基坑工程的概念.....	2
第二节 深基坑工程的用途.....	3
第三节 深基坑工程的结构形式.....	4
第四节 深基坑工程的结构设计.....	7
第五节 深基坑工程的施工	10
第六节 深基坑工程的相关科研	11
第七节 深基坑工程的发展趋势	11
第二章 信息工程技术与工程施工信息化	13
第一节 信息化技术概述	13
第二节 信息化技术在土木工程中的应用	13
第三节 信息化施工技术发展	15
第四节 深基坑工程动态设计	17
第三章 深基坑工程信息化施工	19
第一节 深基坑工程信息化施工必要性	19
第二节 深基坑工程的事故分析	20
第三节 深基坑工程的监测	25
第四节 深基坑工程监测的预警	26
第五节 深基坑工程监测对施工的指导	27
第四章 监测手段及信息采集	29
第一节 深基坑工程监测的目的和意义	29
第二节 深基坑工程监测设计的基本原则	30
第三节 监测级别和项目的确定	31
第四节 测试方法及原理	32
第五节 监测元件的基本原理和选择	37
第六节 监测元件的埋设	52
第七节 监测数据的采集和处理	61
第八节 监测的预警系统	71

第五章 数据处理技术 I ——有限元开挖模拟	73
第一节 有限元模拟开挖步骤	73
第二节 基坑开挖有限元计算的土体本构模型及参数	73
第三节 二维平面有限元计算模型	74
第四节 三维空间有限元计算模型	75
第五节 单元分析	76
第六节 等效结点荷载	84
第六章 数据处理技术 II ——反演分析与神经网络技术	86
第一节 有限元反分析法概述	86
第二节 位移反分析法工程应用	87
第三节 深基坑施工变形预测的研究现状	98
第四节 神经网络位移预测	100
第七章 安全指标体系与安全性评价	112
第一节 监测的预警系统	112
第二节 时变可靠度理论及工程应用	113
第三节 施工力学在深基坑工程中的应用	117
第八章 深基坑工程紧急预案	120
第一节 基坑支护结构事故分类	120
第二节 基坑开挖降水施工中常见问题及应对措施	125
第三节 嵌岩深基坑工程紧急预案实例	127
第九章 深基坑工程应用实例	134
第一节 北锚基坑工程概述	134
第二节 北锚基坑工程的监测与监控	140
第三节 北锚基坑工程的智能预测与控制研究	168
第四节 北锚基坑工程的有限元分析及基坑安全性预测分析	177
第五节 北锚基坑工程的信息施工实施	186
第六节 阳逻大桥南锚基坑工程概述	192
第七节 南锚基坑工程的监测与监控	197
第八节 阳逻大桥南锚碇基础工程监测数据及分析	209
第九节 南锚碇基坑开挖过程模拟	220
结束语	238

第一章 深基坑工程概述

基坑工程是建筑工程技术的一个重要组成部分, 基坑工程的成败事关工程全局。一方面基坑的开挖深度越来越深, 技术难度越来越大; 另一方面是基坑工程的事故不断发生, 特别是一些深基坑工程的重大事故, 例如 1995 年秋, 北京某广场基坑开挖到设计标高后, 在基坑底四周砌起高度为 2m、240cm 厚的砖墙准备基础板施工、修整电梯坑时, 将挖出的砂子扔到砖墙外侧, 堆砂将长达 5m 的砖墙压倒, 造成一名工人死亡。1995 年汉口市某 18 层住宅楼, 由于基础方案选择不当, 施工时错误地提高基础桩顶标高并没有采取有效的基坑开挖支护措施, 造成基础群桩倾斜, 最终导致上部结构倾斜过大, 于 1995 年 12 月 26 日对该住宅楼进行控爆拆除。随着一声爆炸声起, 这栋价值 2000 多万元的大楼即颓然倒塌。1998 年 5 月 6 日, 珠海市某工地发生基坑坍塌特大事故, 造成 5 人轻伤, 直接经济损失 1377.6 万元。这些事故的教训非常深刻。基坑事故后果严重, 给国家经济和人民生命财产造成不同程度的损失, 小到虚惊一场, 大到造成的直接经济损失达数百万元甚至数千万元, 造成人员伤亡、延误工期、追加造价以及影响周围居民正常生活等负面效应, 加大了投资方的负担, 同时也给城市建设和企业形象造成不良影响。因此, 许多城市的建设管理部门都将基坑工程设计与施工列为严格管理控制的工程技术领域, 制定了各种技术的或行政的法规进行管理。工程界也是十分重视这一领域的研究与技术开发, 基坑工程已成为工程界所关注的技术热点与难点, 成为近年来土木工程中最为活跃的技术领域之一, 是土木工程最新发展的一个重要标志。

自上个世纪 80 年代以来, 随着经济的不断发展, 我国城市化进入了一个新的发展时期, 我国城市的数量、规模以及城市人口都有了巨大的增长。同时作为城市化的产物之一——高层建筑不仅在数量上越来越多, 而且在高度上越来越高。最近十余年来, 我国各大中城市万幢高层建筑拔地而起, 其中高度超过百米以上的大约有 200 座, 上海金贸大厦高度为 420.5m, 深圳地王大厦高度为 325m, 广州中天大厦 323m。它们巍然耸立, 已跻身于世界百座超级巨厦之列。

随着高层建筑的发展, 基坑工程的规模也迅速发展, 其主要标志是开挖深度越来越大, 已发展至 20m、30m 以上, 如武汉的国贸大厦基坑开挖到地面以下 16.8m; 北京市经贸委大楼, 地下 4 层结构, 基础埋置深度为地面以下 30m; 福州新世纪大厦的基坑最大深度达 24m, 北京京城大厦基坑深度为 23.76m; 上海金茂大厦主楼基坑开挖到地面以下 19.8m。许多基坑的平面面积已超过 10000m^2 , 基坑平面尺寸最大的上海港汇广场大厦为 $275\text{m} \times 182\text{m}$, 开挖面积达 50000m^2 。

与此同时, 我国大城市的地下交通也在迅速发展, 北京地铁继其第一期、第二期工程之后, 又建成复八线, 目前正在修建 3~10 号线地铁; 上海地下铁道 1 号、2 号线通车后不久, 目前又在建多条地铁线, 此外许多大城市如广州、深圳、天津、青岛等都在兴建地下铁道。这些地下铁道的车站有百余座, 其基坑的最大深度达 22m。上海徐家汇地铁车站

的开挖宽度为 23m，长度 660m，为亚洲最大的地铁车站。此外，在各地兴建了许多大型地下市政设施（如上海人民广场地下变电站）、地下商场（如石家庄站前地下商场建筑面积 40000m²）和工业深基坑（如上海宝钢热轧厂铁皮坑深达 32m）。

特别指出的是，近年来在桥梁建设中出现了一些超深基坑，深度达 50m、60m。如润扬长江公路大桥北锚碇基础基坑平面尺寸为 69m×50m，深度达 50m。江阴长江公路大桥北锚碇基础工程基坑平面尺寸为 69m×51m，沉井下沉深度达 58m。这些都是国内外罕见的超深基坑工程。

这些大型基坑工程的建成，标志着我国基坑工程技术达到了一个很高的水平，在这最近十余年中，我国深基坑工程数量之集中，规模之浩大，监测资料之丰富，都是其他国家望尘莫及的；但是，基坑工程事故率之高，也是首屈一指的。深基坑工程引起了学术界和工程界的普遍关注，目前已将大量的人力投入到这一领域的工程研究中来，取得了丰硕的成果。

第一节 深基坑工程的概念

随着经济建设的发展和人们生活水平的提高，近年来我国的各类建筑与市政工程得到了飞速发展。多层建筑及高层建筑的地下室、地下车库、地铁车站等工程施工，都会面临深基坑工程。

房屋建筑、市政工程或地下建筑物在施工时需开挖的地坑，即为基坑。一般认为深度在 6m 以上或者有支护结构的基坑即为深基坑。为保证深基坑施工、主体地下结构的安全与周围环境不受损害，都要进行基坑支护、降水和开挖，并进行相应的勘察、设计、施工和监测等工作，这项综合性的工程就称为深基坑工程。

基坑工程是土力学基础工程中一个古老的传统课题，同时又是一个综合性的岩土工程问题，既涉及土力学中典型的强度、稳定与变形问题，同时还涉及土与支护结构的共同作用问题。这些将随着土力学理论、测试技术、计算技术以及施工机械、施工技术的发展而进步。

深基坑工程具有以下特点：

- (1) 建筑趋向高层化，基坑向大深度方向发展；
- (2) 基坑开挖面积大，长度与宽度有的达数百米，工程规模日益增大，给支撑系统带来较大的难度；
- (3) 在软弱的土层中，基坑开挖会产生较大的位移和沉降，对周围建筑物、市政设施和地下管线造成影响，因此对深基坑稳定和位移控制的要求很严；
- (4) 深基坑施工工期长、场地狭窄，降雨、重物堆放等对基坑稳定性不利，基坑工程施工条件差；
- (5) 在相邻场地的施工中，打桩、降水、挖土及基础浇筑混凝土等工序会相互制约与影响，增加协调工作的难度；
- (6) 岩土性质千变万化，地质埋藏条件和水文地质条件的复杂和不均匀性，造成勘察所得的数据离散性很大，难以代表土层的总体情况，并且精度较低，给深基坑工程的设计和施工增加了难度；

(7) 深基坑工程施工周期长，从开挖到完成地面以下的全部隐蔽工程，常需要经历多次降雨、周边堆载、振动、施工不当等许多不利条件，其安全度的随机性较大，事故的发生往往具有突发性。

第二节 深基坑工程的用途

改革开放以来，尤其是近十年国内深基坑工程的迅猛发展是有目共睹的。随着工程规模、难度、质量的不断提高，基坑已不再局限于单纯的施工结构、国防战备设施或是小规模模的地下室等，其在城市建设、道路交通、水利水电方面发挥着越来越重要的作用。

一、城市地下空间的大规模利用

随着城市建设的发展，人们的生活空间、活动空间日益紧张。在不断建设高楼大厦、公路高架的同时，城市地下空间的合理利用也为各方所重视。大型的地下室、停车场、仓库、大型管道的深沟槽、越江隧道的暗埋矩形段以及地铁线路、车站的建设都促使了大规模、高质量的深基坑工程的出现。这一点在发展较快、人口较拥挤的大城市表现得尤为突出。众所周知，上海作为冲积平原上的国际性大都市，其地质情况对基坑工程十分不利，同样的基坑工程在上海所需要付出的代价就会大得多，其施工难度也受到城市用地紧张、地下管线复杂繁多的影响，基坑围护的要求也较高；然而正是在这样的条件下，上海的深基坑工程无论是规模、难度、质量都走在了国内甚至是世界的前列。

二、大跨悬索桥的锚碇工程

锚碇工程在大跨悬索桥结构中发挥着十分关键的作用，跨江跨海的悬索桥往往需要一个超深基坑来实现其锚碇的稳定。日本明石海峡悬索桥西端锚碇工程就是这一类基坑工程的杰出代表。与城市中的基坑工程相比，由于其工地四周的空间往往比较空旷，由此施工精度的要求也不是那么苛刻，但是其在基坑深度上会远远超出前者，必然给设计、施工、监测等各方面带来更多的困难和风险。国内的江阴长江公路大桥北锚碇基础工程和润扬长

部分国内深大基坑工程表 表 1-2-1

工 程 名 称	基 坑 平 面	基 坑 深 度	围护结构形式
上海金茂大厦基础工程	2 万 m ² (开挖面积)	- 19.65m(最大开挖深度)	地下连续墙(1m 厚)钢筋混凝土桁架支撑
上海恒隆广场基础工程	2.5 万 m ² (开挖面积)	- 18.20m(最大开挖深度)	地下连续墙(1m,0.8m 厚)钢筋混凝土支撑与钢管支撑结合
上海万象国际广场基础工程	7680 m ² (开挖面积)	- 20.15m (最大开挖深度)	地下连续墙(1.2m,1m 厚)钢筋混凝土桁架支撑
上海地铁徐家汇站	60.6m(长)22.3m(宽)	- 19.00m (最大开挖深度)	地下连续墙(0.8m 厚)与内衬(0.35m 厚)复合结构
江阴长江公路大桥北锚碇基础工程	69m(长)51m(宽)	- 58m(沉井下沉深度)	大型沉井(壁厚 2m)
润扬长江公路大桥南汉悬索桥北锚碇基础工程	69m(长)50m(宽)	- 48m(最大开挖深度)	地下连续墙(1.2m 厚)钢筋混凝土桁架支撑

江公路大桥南汉悬索桥北锚碇基础工程也无疑成为了国内超深基坑工程的里程碑。当然深基坑工程的应用并不仅仅只有这两个方面，事实上在工程建设的各方面都有其灵活的渗透，只是在基坑的规模、难度这两个方面确实表现得较为突出。从表 1-2-1 可以看出大规模的超深基坑在两个方面发挥着突出的作用。

第三节 深基坑工程的结构形式

基坑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，在空旷地区或周围环境所允许时能保证边坡稳定的条件下应优先选用。但是对于深度较大的深基坑通常在城市中心地带、建筑物稠密地区，不具备放坡开挖的条件。因为放坡开挖需要基坑平面以外有足够的空间供放坡之用，如在此空间内存在邻近建（构）筑物基础、地下管线、运输道路等，都不允许放坡。此时就只能采用在支护结构保护下进行垂直开挖的施工方法。

基坑工程中采用的围护墙、支撑（或土层锚杆）、围檩、防渗帷幕等结构体系总称为支护结构。对于支护结构的要求，首先是要创造条件便于基坑土方的开挖，保证基坑的稳定，还要满足变形控制的要求，以确保基坑周围原有建筑物、构筑物、地下管线及道路等的安全。采用支护结构开挖基坑，基坑工程的费用要提高，一般情况下工期亦要延长。但在一定条件下又是必需的，因此对支护结构应进行精心设计和施工。

基坑支护结构通常可分为桩（墙）式围护体系和重力式围护体系两大类，根据不同的工程类型和具体情况，这两类又可派生出多种围护结构形式。

桩（墙）式围护体系一般由围护墙结构、支撑（或锚杆）结构以及防水帷幕等部分组成。根据围护墙材料，桩（墙）式围护体系又可分为钢筋混凝土地下连续墙、柱列式钻孔灌注桩、钢板桩和钢筋混凝土板桩等形式。根据对围护墙的支撑方式，又可以分为内支撑体系和土层锚杆体系两类。桩（墙）式围护体系的墙体厚度相对较小，通常是借助墙体在开挖面以下的插入深度和设置在开挖面以上的支撑或锚杆系统来平衡墙后的水、土压力和维持边坡稳定。对于开挖深度不大的基坑，经过验算也可以采用无支撑、无锚杆的悬臂式桩（墙）式围护体系。重力式围护体系一般指不用支撑及锚杆的自立式墙体结构，厚度相对较大，主要借助其自重、墙底与地基之间的摩擦力以及墙体在开挖面以下受到的土体被动抗力来平衡墙后的水压力和维持边坡稳定。在基坑工程中，重力式围护体系的墙体在开挖面以下往往需要有一定的埋入深度。目前，在我国各地常用的水泥土围护体系以及格构式地下连续墙一般都归在重力式围护体系中，其受力性能类似于悬臂式桩（墙）式围护结构，但在板式围护结构中一般不计墙体自重及墙底摩擦阻力对墙体稳定的影响。

支护结构的传统方法是钢板桩加支撑系统或钢板桩锚拉系统，其优点是材料可以回收，但拔出时会引起土体的变形。目前经常采用的主要深基坑支护类型有：

一、水泥土搅拌桩围护

它是加固软土地基的一种新方法，是利用水泥、石灰等材料作为固化剂，通过深层搅拌机械，将软土和固化剂（浆液或粉体）强制搅拌，利用固化剂和软土之间所产生的一系

列物理-化学反应，使软土硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的桩体。其优点是由于采用重力式挡墙，不需要支撑，便于基坑内机械化快速挖土；具有挡土、止水的双重功能；搅拌桩施工时无环境污染（无噪声、无振动、无排污）；一般情况下造价较低。其缺点首先是位移相对较大，尤其在基坑长度较大时。为此可采用中间加墩、起拱等措施以限制过大的位移；其次是厚度较大，只有在红线位置和周围环境允许时才能采用，而且在水泥土搅拌桩施工时要注意防止影响周围环境。深层搅拌法最适宜于各种成因的饱和软黏土，包括淤泥、淤泥质土、黏土和粉质黏土等。近几年来被广泛用于 5~7m 深基坑围护结构，如图 1-3-1 所示。

二、排桩围护内加支撑（或土锚），外侧加一排水泥土桩抗渗帷幕

基坑开挖时，对不能放坡或由于场地限制不能采用搅拌桩围护，开挖深度在 6~10m 左右时，即可采用排桩围护，如图 1-3-2 所示。



图 1-3-1 水泥土搅拌桩基坑

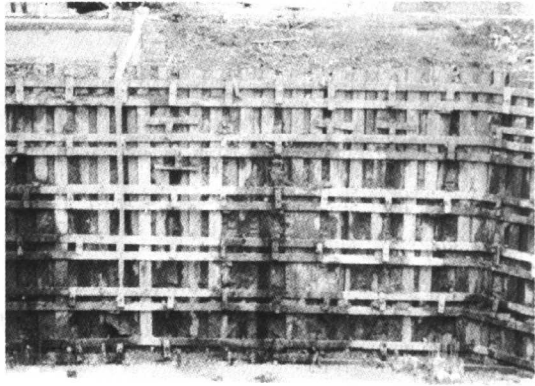


图 1-3-2 钢板桩加土钉围护结构

排桩围护结构按结构形式可以分为：

1. 柱列式排桩围护

当边坡土质尚好、地下水位较低时，可利用土拱作用，以稀疏钻孔灌注桩或挖孔桩支挡土坡。

2. 连续排桩围护

在软土中一般不能形成土拱，支挡桩应该连续密排。密排的钻孔桩可以互相搭接，或在桩身混凝土强度尚未形成时，在相邻桩之间做一根素混凝土树根桩把钻孔桩排连起来。也可以采用钢板桩、钢筋混凝土板桩。

3. 组合式排桩围护

在地下水位比较高的软土地区，可采用钻孔灌注桩排桩与水泥土桩防渗墙组合的形式。

按基坑开挖深度及支挡结构受力情况，排桩围护可分为以下几种：

1. 无支撑（悬臂）围护结构

当基坑开挖深度不大，即可利用悬臂作用挡住墙后土体。

2. 单支撑结构

当基坑开挖深度较大时，不能采用无支撑围护结构，可以在围护结构顶部附近设置单支撑（或拉锚）。

3. 多支撑结构

当基坑开挖深度较深时，可设置多道支撑围护结构，以减少挡墙的内力。这种排桩支护适用于较深的基坑，但造价较高。

三、地下连续墙围护加内支撑（或土锚）

这种支护结构是利用特制的成槽机械在泥浆（又称稳定液，如膨润土泥浆）护壁的情况下进行开挖，形成一定槽段长度的沟槽，再将在地面上制作好的钢筋笼放入槽段内。采用导管法进行水下混凝土浇筑，完成一个单元的墙段，各墙段之间用特定的接头方式（如用接头管或接头箱做成的接头）相互连接，形成一道连续的地下钢筋混凝土墙。地下连续墙围护呈封闭状，并在基坑开挖后，加上支撑或锚杆系统，就可以挡土和止水，便于深基础的施工。如将地下连续墙作为建筑的承重结构则经济效果更好，如图 1-3-3 所示。



图 1-3-3 地下连续墙施工现场

地下连续墙具有如下优点：

（1）墙体刚度大、整体性好，因而结构和地基变形都较小，既可用于超深围护结构，也可用于主体结构；

（2）各种地质条件。对砂卵石地层或要求进入风化岩层时，钢板桩难以施工，但可以采用合适的成槽机械施工的地下连续墙结构；

（3）可减少工程施工时对环境的影响。施工时振动少，噪声低；对周围相邻的工程结构和地下管线的影响较小，对沉降及变位较易控制；

（4）可进行逆作法施工，有利于加快施工速度，降低造价。

但是，地下连续墙施工法也有不足之处，这主要表现在：

（1）对废泥浆处理：不但会增加工程费用，如泥水分离技术不完善或处理不当，会造成新的环境污染；

（2）槽壁坍塌问题：如地下水位急剧上升，护壁泥浆液面急剧下降，土层中有软弱疏松的砂性夹层，泥浆的性质不当或已变质，施工管理不善等均可能引起槽壁坍塌，引起邻近地面沉降，危害邻近工程结构和地下管线的安全。同时也可能使墙体混凝土体积超方，墙面粗糙和结构尺寸超出允许界限；

（3）地下连续墙如用作施工期间的临时挡土结构，则造价可能较高，不够经济。

地下连续墙围护比排桩与深层搅拌的造价要高，要根据基坑开挖深度、土质情况和周围环境，并经技术比较认为经济合理，才可采用。一般来说，当在软土层中基坑开挖深度大于 10m，周围相邻建筑或地下管线对沉降与位移要求较高，或用作主体结构的一部分，或采用逆作法施工时，可采用地下连续墙。

四、土钉墙支护

它是在基坑开挖过程中将较密排列的细长杆件土钉置于原位土体中，并在坡面上喷射钢筋网混凝土面层。通过土钉、土体和喷射混凝土面层的共同作用，形成复合体。土钉墙支护充分利用土层介质的自承力，形成自稳定结构，承担较小的变形压力。土钉主要承受拉力，喷射混凝土面层调节应力分布，体现整体作用。同时由于土钉排列较密，通过高压灌注浆扩散后使土体性能提高。在实际施工中是边开挖边支护。

土钉墙支护适用于基坑周围不具备放坡条件，地下水位较低，邻近无重要建筑或地下管线，基坑外地下空间允许土钉占用时，可采用土钉支护。在软土与地下水位较高的地区可采用复合型土钉支护，即在外侧打一排水泥土搅拌桩止水帷幕，如图 1-3-4 所示。

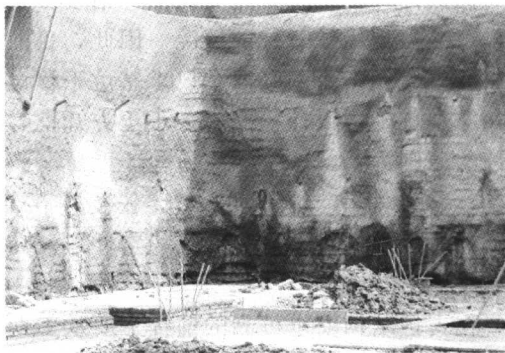


图 1-3-4 土钉墙支护基坑

基坑围护工程是面对各种各样的地基土和环境条件进行施工作业，存在以下一些不确定性：

1. 外力的不确定性

作用在支护结构上的外力往往随着环境条件、施工方法和施工步骤等因素的变化而改变。

2. 变形的不确定性

变形控制是支护结构设计的关键，但影响变形的因素很多，围护墙体的刚度、支撑（或锚杆）体系的不足和构件的截面特性、地基土的性质、地下水的变化、潜蚀和管涌以及施工质量和现场管理水平等等都是产生变形的原因。

3. 土性的不确定性

地基土的非均质性（成层）和地基土的特性不是常量，在基坑的不同部位、不同施工阶段土性是变化的，地基土对支护结构的作用或提供的抗力也随之而变化。

4. 一些偶然变化所引起的不确定性因素

施工场地内土压力分布的意外变化、事先没有掌握的地下障碍物或地下管线以及周围环境的改变等，这些事未曾预料的因素都会影响基坑工程的正常施工和使用。

支护结构的计算理论和计算手段，近年来有了很大的提高，多利用有限元法进行计算。但如上所述影响支护结构的因素很多，因此其内力和变形的计算值和实测值往往存在一定差距。为有利于信息化施工，在基坑土方开挖过程中，随着掌握支护结构内力和变形的发展情况，地下水位的变化、基坑周围保护对象（邻近的地下管线、建筑物基础、运输道路等）的变形情况，对重要的基坑工程都要进行工程监测。

第四节 深基坑工程的结构设计

深基坑工程是地下工程施工中内容丰富且富有变化的领域，是土木工程中最为复杂的

技术领域之一。它不仅要保证施工过程中的稳定，而且要严格限制周边的地层位移以确保环境安全。因此深基坑工程设计必须高度重视。

深基坑工程设计，是应用勘察资料，进行支护结构、降水、土方开挖方案、监测和环境保护方案等的设计。基坑工程设计的特殊性是与施工密不可分，其施工的每一阶段，外荷载、结构体系等都在变化。施工工艺和施工顺序的变化、支撑形成时间的长短、支撑拆除的顺序和方式、基坑尺寸的大小及气温的变化，都影响最后的计算结果。因此，详细了解各个施工工况对正确进行支护设计十分重要。此外，基坑工程设计虽然有了长足的进步，但其计算理论并非完美无缺，诸多影响因素在计算中也难以全面反映，而且施工过程中也可能出现一些意外的情况。因此，目前进行深基坑设计，要采取理论计算、监测数据和工程经验相结合的办法，以求基坑工程设计更加合理和经济。

深基坑工程设计，要服务于土方开挖、地下结构施工和环境保护。因此，深基坑工程设计的原则为：

1. 安全可靠

满足支护结构本身强度、稳定性以及变形的要求，确保周围环境的安全；

2. 经济合理性

在支护结构安全可靠的前提下要从工期、材料、设备、人工以及环境保护等方面综合确定具有明显技术经济效果的方案；

3. 施工便利并保证工期

在安全可靠经济合理的原则下，最大限度地满足方便施工（如合理的支撑布置，便于挖土施工），缩短工期。

根据中华人民共和国行业标准《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120—99）的规定，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，可分为下列两类：

1. 承载能力极限状态

对应于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

对应于支护结构的变形已妨碍地下结构的施工，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计算，对于安全等级为一级及对支护结构变形有限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。

《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120—99）规定，基坑侧壁的安全等级分为 3 级，不同等级采用相应的重要性系数 γ_0 。基坑侧壁的安全等级如表 1-4-1 所示：

基坑侧壁的安全等级及重要性系数 表 1-4-1

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基坑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基坑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基坑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。

支护结构设计,应考虑其结构水平位移、地下水的变化、对周边环境和竖向变形的影响。对于安全等级为一级和对周边环境变形有限定要求的二级建筑基坑侧壁,应根据周边环境的重要性,对变形适应能力和土的性质等因素,确定支护结构的水平变形限值。

当地下水位较高时,应根据基坑及周边区域的工程地质条件、水文地质条件、周边环境情况和支护结构形式等因素,确定地下水的控制方法。当基坑周围有地表水汇流、排泄或地下水管渗流时,应妥善对基坑采取保护措施。

对于安全等级为一级及对支护结构有变形有限定的二级建筑基坑侧壁,应对基坑周边环境及支护结构变形进行验算。

基坑工程分级的标准,各地也不尽相同,各地区、各城市根据自己的特点和要求作了相应的规定,以便于进行岩土勘察、支护结构设计、审查基坑工程方案等之用。

例如上海根据基坑工程的重要性,上海市标准《基坑工程设计规程》(DBJ 08-61—97),按基坑重要性分为以下三级:

(1)符合下列情况之一时,属于一级基坑工程:

- ① 支护结构作为主体结构的一部分时;
- ② 基坑开挖深度大于等于 10m 时;
- ③ 距基坑边两倍开挖深度范围内有历史文物、近代优秀建筑、重要管线等需严加保护时。

(2)挖深度小于 7m,且周围环境无特别要求时,属于三级基坑工程;

(3)除一级和三级基坑工程以外的,均属于二级基坑工程。

对于地铁、隧道等大型地下设施安全保护区范围内的基坑工程,以及城市生命线工程或对位移有特殊要求的精密仪器使用场所附近的基坑工程,应遵照有关的专门文件和规定执行。

由以上的基坑工程分级,可以看出一级基坑工程最重要,二级基坑工程次之,最后是三级基坑工程。对于不同等级的基坑工程,其勘探测试孔的深度、提供的各土层物理、力学试验指标的统计值、支护结构设计采用的土体抗剪强度指标、支护结构设计所采用的安全系数都不同。因此,在进行深基坑工程设计和施工之前,首先要确定其等级,然后分别按不同的要求进行设计和施工。

在进行深基坑工程设计之前,应收集下列资料:

- (1)岩土工程勘察报告;
- (2)邻近建筑物和地下设施的类型及分布图;
- (3)地界线及红线图、邻近地下管线图、建筑总平面图、地下结构平面和剖面图等。

上述资料,有的由勘察、设计单位提供,有的向有关的市政管理部门收集,有的还需通过检验和调查才能取得。

深基坑工程设计的主要内容,一般应包括:

- (1)护体系的方案比较和变形计算;
- (2)支护结构的承载力和变形计算;
- (3)基坑稳定性验算;
- (4)围护墙的抗渗计算;
- (5)降水方案;

- (6) 挖土方案；
- (7) 监测方案与环境保护要求。

在进行深基坑工程设计时，应考虑荷载有：

- (1) 土压力、水压力；
- (2) 地面超载；
- (3) 影响范围内建（构）筑物产生的侧向荷载；
- (4) 施工荷载及邻近基础工程施工（如打桩、基坑开挖、降水等）的影响；
- (5) 需要时，宜结合工程经验考虑温度影响和混凝土收缩、徐变引起的作用及挖土和支撑施工时的时空效应。

第五节 深基坑工程的施工

深基坑工程的成功与否，不仅与设计计算有关，而且与施工方案正确与否、是否严格按照设计计算所采用的施工工况进行施工及施工质量的好坏等密不可分。深基坑工程施工，是否严格遵照设计要求进行是很关键的问题。回顾过去基坑工程施工中发生的事故，除设计错误或考虑不周者外，绝大多数皆与此有关。为此，深基坑工程施工要严格按照设计要求有关的施工规范、规程进行施工。

基坑工程的施工组织设计或施工方案应根据支护结构形式、地下结构、开挖深度、地质条件、周围环境、工期、气候和地面荷载等有关资料编制。内容应包括工程概况、地质资料、降水设计、挖土方案、施工组织、支护结构变形控制、监测方案 and 环境保护措施等。对于有支护结构的基坑土方开挖，其开挖的顺序、方法等必须与设计工况相一致，遵循“开槽支撑、先撑后挖、分层开挖、严禁超挖”的原则。

与上部结构相比，基坑工程的施工由于无法摆脱空间、时间、自然环境、人为等众多因素的影响，往往带有更大的风险性和随机性，深基坑表现得尤为突出。这对深基坑工程的施工工艺、施工组织、施工管理以及信息分析和特殊事件的处理等方面提出了更高的要求。

对水泥围护结构，施工过程中搅拌是否均匀，搭接长度是否足够，水泥掺量是否符合设计要求，相邻桩的施工间歇时间是否超过规定，土方开挖前的养护时间是否达到设计要求，土方开挖是否分层开挖等一系列问题，都影响水泥土围护结构的承载力、稳定和抗渗能力。该围护结构的成败在很大程度上取决于施工质量。

板式支护体系由围护墙、围檩与支撑体系、防渗透止水结构等组成。围护墙结构常用形式有桩排式围护墙和板墙式围护墙。对这类支护体系，同样，施工质量产生巨大的影响。如钢板桩的施工，垂直度如何，相互咬合是否严密，支撑是否顶紧等，都影响板桩墙的变形和抗渗能力。

目前应用较多的钻孔灌注桩围护墙，其桩位偏差和桩身垂直度偏差，桩孔成孔的质量，钢筋笼加工质量和下放位置、混凝土的强度等级，防渗帷幕水泥土搅拌桩的施工质量，支撑和围檩的施工质量和形成时间等，都影响这种支护体系的强度、稳定、变形和抗渗能力。一旦某个环节的施工质量不保证，土方开挖后会带来一些麻烦，须及时补救，重者则会带来后果严重的事故。