

深基坑工程实用技术

黄运飞 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书全面系统地论述了有关深基坑开挖与支护的工程技术,主要包括现状评述,无支护开挖,侧土压力,支护结构内力计算,稳定性验算,护坡桩、地下连续墙、锚杆、土钉墙、水泥土挡墙、灌浆加固设计与施工,基坑开挖与封底,地下水的治理,施工监测与信息施工,综合技术与优化设计,基坑事故治理,计算机应用及工程投标技巧等。书中有理论、重实践、讲应用。

本书可供从事建筑基坑工程勘察、设计、施工、监测、监理技术人员阅读和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

深基坑工程实用技术/黄运飞编著. —北京:兵器工业出版社,1996.11
ISBN 7-80132-070-0

I. 深… I. 黄… III. 深基础-军事坑道-工程施工-技术 IV.E951.1

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第20235号

兵器工业出版社 出版发行
(北京市海淀区车道沟10号 100081)
新华书店总店科技发行所发行
各地新华书店经销
北京昌平百善印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 41.875 字数: 1019千字

1996年11月第一版 1996年11月第一次印刷

印数: 1—1000册 定价: 80.00元

作者简介

黄运飞，男，博士，教授级高工，1963年9月2日生于四川省邻水县，1989年9月获中国科学院地质所博士学位。目前是政府特殊津贴、全国青年岗位能手、兵器工业中青年杰出专家称号获得者。主要致力于岩土工程研究、工程实践及计算机应用，已出版著作有《计算工程地质学—理论·程序·实例》（兵器工业出版社，1992）、《煤—瓦斯介质力学》（煤炭工业出版社，1993）、《家用电脑实用知识一点通》（中国商业出版社，1995），主编了多部会议文集。目前主要从事的研究是：岩土体自承能力及其利用、结构与岩土体共同作用、岩土体改造的综合技术。现任：



中国兵器工业勘察设计研究院

北京中兵岩土工程公司

中国建筑学会工程勘察委员会

中国地质学会工程地质委员会

北京地质学会

中国深基础工程协会检测委员会

中国兵工建设协会计算机应用委员会

中国兵器工业总公司科技专家委员会

国际工程地质协会

总工程师

总经理

委员

委员

理事

常务委员

副主任

委员

会 员

目 录

1 概述	(1)
1.1 我国深基坑工程现状.....	(1)
1.2 基坑开挖支护方法分类.....	(12)
1.3 基坑开挖支护与地下结构的关系.....	(16)
1.4 基坑开挖对相邻建筑的影响.....	(16)
1.5 基坑工程的勘察要点.....	(27)
2 无支护开挖	(29)
2.1 土坡破坏形式.....	(29)
2.2 土体剪切强度.....	(31)
2.3 地下水的作用.....	(41)
2.4 稳定分析方法综述.....	(42)
2.5 放坡设计的经验图表法.....	(43)
2.6 邻近建筑物对边坡稳定的影响.....	(46)
2.7 圆柱破坏面分析程序.....	(49)
3 侧土压力	(57)
3.1 侧土压力的计算.....	(57)
3.2 地面荷载产生的侧土压力.....	(70)
3.3 考虑土中水时侧土压力的计算.....	(74)
3.4 侧土压力计算中的几点认识.....	(77)
3.5 侧土压力强度表.....	(84)
4 支护结构的内力计算	(89)
4.1 支护结构受力分类及简化分析模型.....	(89)
4.2 地基反力系数.....	(93)
4.3 桩(墙)内力的理论分析.....	(98)
4.4 悬臂桩(墙).....	(115)
4.5 单锚(撑)支护结构.....	(120)
4.6 多锚(撑)支护结构.....	(128)
4.7 内支撑结构计算.....	(146)
4.8 重力式挡墙.....	(148)
4.9 双排护坡桩.....	(150)
4.10 拱形支护结构.....	(158)
5 基坑稳定性验算	(173)
5.1 概述.....	(173)
5.2 基坑底由塑流引起的稳定验算方法.....	(173)

5.3	整体稳定性验算	(175)
5.4	管涌验算	(175)
5.5	基坑开挖回弹与抗隆起验算	(176)
5.6	坑底渗流量稳定的验算	(179)
6	土层锚杆	(181)
6.1	岩土锚固技术分类	(181)
6.2	锚杆作用原理	(182)
6.3	锚杆受力分析	(183)
6.4	土层锚杆设计	(185)
6.5	土层锚杆施工	(193)
6.6	土层锚杆检(监)测	(198)
6.7	土层锚杆应用中的几个问题	(202)
6.8	螺旋锚	(211)
7	护坡桩(墙)的设计施工	(221)
7.1	护坡桩(墙)的设计	(221)
7.2	板桩墙的施工	(228)
7.3	护坡桩的施工	(231)
7.4	地下连续墙的设计施工	(248)
8	基坑土体自承支护体系	(283)
8.1	基坑土体自承支护的概念、基本原理和方法	(283)
8.2	土钉墙	(290)
8.3	水泥土挡墙	(311)
8.4	灌浆加固	(331)
9	基坑开挖与封底施工	(357)
9.1	基坑开挖的常用方法	(357)
9.2	基底处理和封底施工	(363)
9.3	基坑工程施工逆作法	(371)
9.4	沉井施工法	(386)
10	地下水的治理	(391)
10.1	地下水的基本特征	(391)
10.2	基坑工程的治水措施	(393)
10.3	明排降水	(393)
10.4	井点降水	(395)
10.5	堵截治水	(426)
10.6	治水工程中的常见问题及防治措施	(432)
10.7	工程实例	(440)
11	施工监测与信息施工	(459)
11.1	施工监测目的、内容及要求	(459)
11.2	变形监测方法	(461)

11.3	压力监测	(476)
11.4	孔隙水压力观测	(482)
11.5	观测数据的处理	(486)
11.6	基坑支护监测反分析	(502)
11.7	基坑开挖支护信息施工法	(508)
12	深基坑开挖支护综合技术及方案优化	(515)
12.1	支护方案选择时需考虑的问题	(515)
12.2	优化设计理论与方法	(516)
12.3	基坑开挖支护优化设计	(552)
12.4	支护结构类型及选择	(562)
13	基坑开挖支护常见事故及防治	(573)
13.1	土体变形破坏与基坑失稳	(573)
13.2	基坑失稳的主要形式	(576)
13.3	深基坑工程事故的主要原因	(577)
13.4	基坑事故的预防措施	(581)
14	计算机在深基坑工程中的应用	(585)
14.1	概述	(585)
14.2	计算机辅助制图	(586)
14.3	国内深基坑工程软件简介	(592)
15	深基坑工程投标方法与技巧	(607)
15.1	工程招标投标概论	(607)
15.2	投标的决策	(611)
15.3	投标的过程	(618)
15.4	投标的技巧和注意事项	(624)
15.5	风险分析	(629)
附录 A	典型深基坑工程实录	(635)
附录 B	部分深基坑工程事故一览表	(643)
附录 C	常用建筑材料的特性	(647)
	参考文献	(659)

主要符号

- A 基础底面积
 A_p 桩的截面积
 a 基础长度
 a_v 回弹系数
 a_{1-2} 土的压缩系数(在 100~200kPa 压力下)
 B 孔隙水压力系数
 b 基础宽度,排桩(墙)的(等效)宽度
 c 粘聚力
 (CD) 固结排水剪
 C_s 回弹指数
 (CU) 固结不排水剪
 C_u 土的不均匀系数
 C_v 土的固结系数
 c_u 土的不排水剪抗剪强度
 d 基础埋置深度
 d 载荷试验承压板直径(或当量直径)
 E 弹性模量
 E_0 土的变形模量
 E_a 主动土压力
 E_d 动弹性模量
 E_p 被动土压力
 E_s 土的压缩模量
 e 土的孔隙比
 e 偏心距
 e_a 主动土压力强度
 e_p 被动土压力强度
 f 地基承载力设计值
 f_0 地基承载力基本值
 f_k 地基承载力标准值
 G 剪切模量
 g 重力加速度
 H 边坡高度
 h 土层厚度
 I 水力梯度,截面惯性矩
 I_L 土的液性指数
 I_P 土的塑性指数
 K 安全系数,地基反力系数
 K_0 静止土压力系数,土的固结应力比
 K_a 主动土压力系数

K_p 被动土压力系数
 k 渗透系数
 L 建筑场长度 L 梁的跨度
 L 锚杆长度
 L_e 有效锚固长度
 L_e 锚杆的有效长度
 L_f 锚杆自由段长度
 M 力矩、弯矩
 M_a 主动土压力形成的力矩
 M_b, M_a, M_c 承载力系数
 M_p 被动土压力形成的力矩
 N 标准贯入试验锤击数
 N_a, N_f 承载力系数
 $N_{63.5}$ 重型动力触探锤击数
 n 土的孔隙率
 p 总压力、总荷载、总贯入阻力
 p_a 土的主动侧压力
 p_p 土的被动侧压力
 p_u 载荷试验极限压力
 q 桩(墙)分布荷载
 q_0 地表附加荷载
 q_p 桩端土的承载力设计值
 q_{pu} 桩端土极限承载力
 q_s 桩周土的摩擦力设计值
 q_{su} 桩周土的极限摩擦力
 q_u 无侧限抗压强度
 R 锚杆抗拔力
 S 抗剪强度
 S_r 土的饱和度
 S_i 土的灵敏度
 s 载荷试验沉降量
 T 锚杆拉力 T_a 锚杆允许拉力
 T_u 锚杆的极限抗拔力
 t 桩的入土深度
 U 桩身周长
 UU 不固结不排水剪
 u 孔隙水压力
 v 地下水流速
 v 土的渗透速度
 w 土的含水量
 w_L 土的液限

z_{lp} 土的塑限
 z_{sr} 土的饱和含水量
 Z_n 地基压缩层计算深度
 α 地面坡角
 α 桩端阻力系数
 α 应力系数
 α 地震影响系数
 β 边坡坡角
 γ 天然重度
 γ' 水下浮重度
 γ_a 土的干重度
 γ_{sr} 土的饱和重度
 γ_w 水的重度
 δ 变异系数
 ϵ 应变
 ξ 土的侧土压力系数
 ξ_c, ξ_d, ξ_b 基础形状系数
 η 形状系数
 ν 泊松比
 σ 应力
 σ_{cz} 土自重应力
 σ_z 土的附加应力
 σ_1, σ_3 最大、最小主应力
 τ 剪应力, 抗剪强度
 φ 内摩擦角

1 概 述

1.1 我国深基坑工程现状

1.1.1 基本情况综述

1.1.1.1 我国深基坑工程的主要特点

基坑是建筑工程的一部分,其发展与建筑业的发展密切相关,而深基坑是充分利用土地资源的方式之一。由于我国地少人多,人均占有土地还不及全世界人均占有土地的1/10,为节约土地,向空间要住房,向旧房要面积,许多高层建筑拔地而起。1980~1989年10年间,我国新建高层建筑1000余幢,1990~1991年两年间,新建高层建筑1000余幢,1992年一年就新建高层建筑1000余幢,而1993年新开工的高层建筑达2000幢,迄今为止,全国的高层建筑已超过8000幢。适当发展多层和高层,向空中和地下发展,是解决我国土地资源紧张的一条重要出路。

随着城镇建设中高层及超高层建筑的大量涌现,深基工程越来越多。同时,密集的建筑物、大深度的基坑周围复杂的地下设施,使得放坡开挖基坑这一传统技术不再能满足现代城镇建设的需要,因此,深基坑开挖与支护引起了各方面的广泛重视。

尤其是90年代以来,基坑开挖与支护问题已经和正在成为我国建筑工程界的热点问题之一。基坑工程数量、规模、分布急剧增加,同时所暴露的问题也很多。总体来看,目前我国基坑开挖与支护状况具有以下特点:

a. 基坑越挖越深 或为了使用方便,或因为地皮珍贵,或为了符合建管规定及人防需要,建筑投资者不得不向地下和空间发展。过去,即使在大城市建1~2层地下室,也不普遍,中等城市更为少见。现在在大城市、沿海城市,尤其是特区,地下3~4层已很寻常,5~6层也有。因此,基坑深度多大于10 m。

b. 工程地质条件越来越差 城市建设不象水电站、核电站等重要设施那样,可以在广阔地域中选择优越的建设场地,只能根据城市规划需要,随遇而安,因此,地质条件往往较差。这一点在某些沿海经济开发区较为突出。有些开发区位于填海、填湖、淤河、泥塘或沼泽地,工程地质条件十分复杂。

c. 基坑四周已建或在建高大建筑物密集或紧靠重要市政设施 兴土木不仅要确保本身基坑稳定,更不能殃及池鱼。

d. 围护基坑方法多 诸如人工挖孔桩、预制桩、深层搅拌桩、地下连续墙、钢支撑、木支撑、砂袋堆撑、拉锚、抗滑桩、注浆、喷锚网支护法,各种桩、板、墙、管、撑同锚杆联合支护法,以及土钉墙法等等,应有尽有,各显神通。

e. 基坑工程事故多 此问题目前在建筑工程界显得异常突出,以致很难举出哪个地区、哪个大城市或特区已建基坑工程近年来不出毛病的例子。地质条件较好的地区(如北京)出毛病,地质条件差的地区(如上海、海口、惠州等)更出毛病;坑浅的出毛病,坑深的更出毛病。有的地区基坑工程成功率大体仅为1/3,另有2/3是出了工程事故的,或多少有毛病的。其结果是,给国家造成巨大经济损失,影响居民安定生活,造成市政交通堵塞,危及四

邻安全,投诉四起,新闻跟踪,打不完的官司,扯不完的皮,做不完的检查,开不完的事故分析会,使有关勘察、设计、施工、监理工程技术人员及质检、建管部门压力如山。

1.1.1.2 主要问题

综合起来,目前存在的主要问题有以下几个方面:

a. 深基坑技术有待尽快发展提高,以适应当前工程的需要 当前深基坑开挖支护工程已发展到以深、大、复杂为特点的新时期,特别是沿海地区,地下水位较高,深基坑支护与开挖的困难更大,诸如隔水、降水技术的应用和发展,支护结构的合理选择及设计,基坑回弹隆起与侧陷变形的测试与稳定措施,各种计算参数的取值及测试方法,基坑工程施工工艺的改进等问题,均有待于进一步的研究和尽快发展。

b. 一些基坑工程设计质量较低,是发生事故的主要原因 一些部门误认为深基坑开挖支护工程是施工部门的事,无需设计资质,设计院及岩土工程部门介入较少。设计大多是由施工单位自己完成,由于设计人员的技术水平参差不齐,参数取值、计算方法无章可循,使一些工程设计缺陷多、隐患较大,盲目挖潜,以致造成安全储备过低,发生严重工程事故,或盲目增加安全储备造成严重浪费。

c. 施工混乱,管理不力 对属于岩土工程范畴的地下施工项目,资质限制不严格,基坑支护工程转手承包较为普遍,少数施工单位不具备技术条件,人力、物力等基本素质较差,为了追求利润或为迁就业主,随意修改支护工程设计,降低安全度。现场管理混乱,以致出现险情时惊慌失措。

d. 质量检验方面也有不少问题 基坑支护结构的质量检测、验收方法也无章可循,给基坑支护结构的质量监督和质量评价带来困难,没有针对基坑支护工程特点建立竣工验收的质量管理体系,检测部门资质混乱。

e. 深基坑工程对工程勘察有特殊要求 基坑工程勘察工作十分重要,但许多勘察单位常常忽略对基坑环境地质的勘察,专门针对基坑的工程地质及水文地质的勘察重视不够,对各种计算参数的试验方法及取值也缺乏科学性或不符现场实际情况,对于费时费力的现场试验及原位测试工作较少进行,有些勘察深度和勘察点的布置不符合基坑工程要求,以致给设计、施工带来困难和隐患。

f. 监理工作的问题 目前监理工作在人力、技术等方面还很不适应深基坑工程的特殊要求,要把对基坑工程的监理作为整个建筑工程监理的一个重点。

1.1.1.3 基坑工程技术标准编制的现状

由于深基坑工程的重要性和事故的频频发生,因此,尽快编制指导各地区基坑工程设计施工的技术标准就显得十分迫切。目前,已经编制或正在进行编制的基坑工程技术标准规范见表 1.1.1。

通过对基坑工程技术标准编制现状的分析,可以得出如下几点认识:

a. 在高层建筑建造数量较多、地基较为软弱、基坑工程事故“多发区”的几个省市地区,为经济、安全的进行基坑工程的施工,减少工程事故发生,都组织技术力量进行基坑工程技术标准的编制工作。这足以说明基坑工程由“乱”到“治”,正逐渐走上有条不紊的新时期。

b. 基坑工程技术标准的编制将把各地成熟的、肯定的、宝贵的经验总结出来,把长期工程实践行之有效的方法、重要的科研成果加以归纳整理,形成指导基坑工程设计、施工的技术标准,这将对提高深基坑工程质量,减少工程事故,降低工程造价,加快工程进度等有重大

意义。随着基坑工程技术标准广泛使用,许多成熟的好经验和研究成果通过学术研讨会、杂志刊物等媒介的广泛宣传介绍,将会迅速地提高广大从事基坑工程技术人员的业务技术水平,将使我国的深基坑工程在技术理论和施工方法等方面迈上一个新台阶。

c. 已编制的各地基坑工程的技术标准,既有明显的地方特点,又集中了共同关注的问题,如监测、基坑施工时对环境的影响和保护,地下水的控制与处理,基坑工程岩土勘察的特殊要求与规定等。

d. 基坑工程的设计将有明确规定,各种标准对土压力计算、排桩支护结构设计、地下连续墙设计、水泥土挡墙设计、锚撑支护结构的设计等都给出了明确可行的设计计算方法。

e. 在各个建筑基坑技术规范中,都对承担基坑工程设计、施工单位的“资格”做了明确规定,要求具有资质单位承担这项工作,这将避免建筑市场混乱,特别是基坑工程的多次转包,而且不管承担工程任务单位的资质条件,只贪图省钱、赚钱就行的许多错误做法。

f. 这些年新涌现的成熟可靠基坑工程新技术、新成果、新方法在新编制的技术标准中得到了推荐和应用。例如,逆作法施工,组合支挡体系,被动土压区加固,环形、拱形新型支撑结构,角撑和帽梁的使用,单、双排结合的排桩支护,地下连续墙,喷锚,土钉和新型撑锚结构等。通过新标准的推广也必然把我国的基坑工程技术水平大大提高一步。

表 1.1.1 目前已编制的建筑基坑工程技术标准的概况

序号	技术标准名称	下达编制或批准单位	主编单位	进行情况	规范内容
1	建筑基坑工程技术规范	建设部、冶金部	冶金建筑研究总院王吉望等	1996年7月已完成征求意见稿,年底完成报批稿	共15章:(1)总则;(2)术语,符号;(3)基本规定;(4)岩土工程勘察;(5)土压力计算;(6)边坡的稳定与加固;(7)水泥土挡土结构设计;(8)桩墙式挡土结构设计;(9)桩墙的结构施工;(10)基础施工逆作法;(11)地下水控制;(12)基坑开挖;(13)基坑地基处理;(14)坑周变形的预估及减少对环境影响的措施;(15)基坑工程现场监测
2	建筑基坑支护工程暂行技术规范	广东省	广州鲁班公司黄小许等	1996年已完成送审稿	共12章:(1)总则;(2)主要符号;(3)基本规定;(4)岩土工程勘察与环境调查;(5)放坡开挖;(6)重力式挡土结构;(7)排桩支护结构;(8)地下连续墙;(9)组合式支护结构;(10)锚杆与支撑;(11)基坑开挖与监测;(12)验收
3	武汉地区深基坑工程技术指南	武汉城乡建设管理委员会	武汉基础工程协会刘广润等	1995年7月1日颁布执行	共8章:(1)总则;(2)基本规定;(3)工程勘察;(4)支护结构设计;(5)地下水处理;(6)施工;(7)对环境影响及防治措施;(8)监测和维护
4	深圳地区建筑基坑支护技术规范	深圳市建设局	深圳市岩土工程公司张旷成等	1996年3月完成送审稿	共10章:(1)总则;(2)术语,符号;(3)基本规定;(4)岩土工程勘察;(5)坡率法;(6)排桩支护;(7)地下连续墙;(8)锚固支护;(9)深层搅拌支护;(10)降水和截水
5	基坑工程设计规程	上海市		正在进行中	共10章:(1)总则;(2)基本规定;(3)勘察要点;(4)土压力;(5)水泥土围护体系;(6)板式支护体系;(7)支撑及土层锚杆结构的设计与施工;(8)市政工程;(9)土方开挖与降水工程;(10)基坑开挖工程的环境保护和监测
6	建筑基坑支护技术规范	建设部标准定额研究所	建筑科学研究院黄强等	正在进行中	

综上所述,尽管基坑工程经费在整个建筑工程投资上所占份额不大,基坑工程在人们的心理天平上仍出现了小头沉现象。这既反映了人们对基坑开挖支护工程的重视,也反映了基坑问题的严酷现实。

下面简要介绍北京、天津、上海、南京、武汉、深圳、成都地区的深基坑工程状况。

1.1.2 北京地区

1.1.2.1 北京平原地质特征

北京市位于北京平原。北京平原区第四纪堆积物按其成因类型,在山麓地带分布有残积、坡积、洪积物,平原区以洪积、冲积物为主,并有零星分布的湖沼堆积物和风积物。在城镇所在地区,表层堆积有较厚的人工填土。在顺义、夏垫等地钻孔中,发现有第四纪早期的浮游有孔虫、沧泡球虫和海绵角针等海相化石群,证明第四纪早期海水曾进入北京平原。

第四纪岩相分布,由山麓向平原具有明显的过渡现象。在平原与山地交界地带分布有漂石、卵石、碎石、粘性土或黄土层,在各大河流洪积扇形地顶部,以厚层粗粒相砂、砾、卵石层逐渐过渡到以砂、粘性土为主。砾、卵石层距地表渐深,同时砾、卵石和细颗粒砂、粘性土相互夹层也渐增多。在河流及两岸地势低平的河漫滩和湖沼洼地,以及一些河流故道范围内,上部多为全新世新近沉积。在各条河流出山后的上游河段上,沉积物以卵、砾石为主,愈向下游,颗粒愈细,即由卵、砾石层—砾石、砂与粘性土重叠层—砂与粉砂—粘性土重叠层,表现出从山麓到平原,从上游到下游,颗粒由粗到细的粒度逐减规律,并表现有沉积旋回逐渐增多的现象。

北京深基坑工程多集中在城区,一般在三环以内。这些地区,一般深基坑工程较常遇到的地层是:①填土层,厚度1~8 m;②粉质粘土、粘质粉土或粉土互层,层厚约5~10 m;③砂、砾、卵石层;④粘性土层。从分布来看,东部一般以填土和粘性土为主,西部以填土和砂、砾、卵石层为主,中间夹有粘性土层。与沿海软土地区相比,土层条件相对较好,有利于深基坑工程施工。

深基坑施工中碰到的地下水主要有三层,即上层滞水、潜水和承压水。上层滞水埋藏于填土及粉土、粘质粉土层中,主要分布于东北部及东南部地区;潜水埋藏于砂、砾、卵石层中,水位一般在自然地表以下15 m左右;承压水亦埋藏于卵、砾石层中,水位埋深多在20 m以下。大多数深基坑工程的治水措施都采取抽(渗)降的方法,少数工程采用地下连续墙及连续排桩墙护坡止水。

1.1.2.2 基坑支护的主要型式

北京市区由于用地紧张,市区内绝大多数高层建筑均设有2~3层地下室,因此深基坑工程不仅数量多,而且规模大,有些开挖深度在-25 m左右,如京城大厦基坑埋深-23.50 m(钢板桩+锚杆体系),经贸委综合业务楼基坑埋深-26.60 m(桩、旋喷、锚杆支护),正在施工的中银大厦基坑埋深-24.00 m(地下连续墙+锚杆支护)。目前,北京地区基坑支护的主要型式有:

(1)放坡开挖

北京有少数基坑采用放坡开挖,有些放坡开挖基坑埋深在15.00 m左右,因北京土质稳定性较好,不少基坑近垂直放坡开挖深度达5~6 m。

(2)钻孔灌注桩护坡

钻孔灌注桩护坡是最广泛采用的支护型式,尤其是桩+锚杆支护体系应用更为广泛,且已为广大用户接受,认为是安全可靠的。埋深 $-10\sim-12\text{ m}$ 以内的基坑一般采用悬臂式或双排桩支护,也有采用拉结形式的。 $-12\sim-15\text{ m}$ 的基坑,一般采用一层锚杆,上面 $2\sim4\text{ m}$ 砌砖墙,桩径大多数为 $\varnothing 800\text{ mm}$ 。埋深超过 -15 m 的基坑一般要采用多层锚杆,锚杆长度多在 $15\sim25\text{ m}$ 之间,多数使用螺旋钻进,当遇到卵石层时,一般采用冲击套管钻进。

(3) H型钢或工字型钢

型钢支护为悬臂时,开挖深度有限,一般与锚杆联合或桩顶拉锚。如京城大厦,基坑深 23.5 m ,采用H型钢,间距 1.1 m ,三道锚杆(-5 、 -12 、 -18 m)。

(4) 地下连续墙

地下连续墙具有护坡与防水两种功能,在北京约有10个深基坑工程采用这种支护。正在施工的中银大厦基坑深 -24.00 m ,采用地下连续墙支护,这是北京地区采用地下墙支护最深的基坑。

(5) 土钉墙

早些年主要是孙家乐教授等提出的插筋补强技术,多用于 10 m 以内的基坑。插筋补强技术与土钉墙基本原理差不多。近两年,不仅应用范围更加广泛,基坑深度也逐渐增加,现已有 15 m 深的基坑采用土钉墙支护,在有些土质条件较差或位移控制要求严格的地方,也有按喷锚支护方式进行设计施工的。土钉墙技术的应用带来了较高的经济效益,随着卵石层、地下水位以下施工工艺的改进,在北京地区土钉墙技术正在向传统的桩锚体系发起猛烈的冲击。

除了上述几种主要的边坡支护措施以外,也有不少局部的优化与改进,如双排桩、拉结桩、加角撑、上部放坡下部桩锚、上部土钉墙下部桩锚等。

1.1.2.3 地下水的治理

北京市区东部地下水位较高,一般深基坑工程都会碰到地下水的治理,多使用明排降水(有条件的基坑)、井点抽降、自渗降水(根据地下水埋藏条件确定)及帷幕防渗。用得较多的是井点降水。

1.1.3 天津地区

1.1.3.1 天津市土质特点

天津市区地处沿海地区,土质情况虽不属典型软土,但从总体上看土质偏软。一般 $c=10\sim25\text{ kPa}$, $\varphi=20^\circ\sim35^\circ$ 。

天津地下水位较高,水位受季节的影响较大,最高水位多出现在雨季后期(9月份),最低水位多出现在干旱的季节(5月份),一般的潜水位多在 $0.5\sim1.5\text{ m}$ 之间,在海河及南运河以南以 $0.5\sim1.0\text{ m}$ 为主,局部 $1.0\sim1.5\text{ m}$,较高的地下水对深基坑支护是十分不利的。

1.1.3.2 天津地区深基坑支护的现状

天津市区地下水位高,土质条件差,在这样的土质条件下建造建筑,一般情况基坑开挖较浅。随着建设的发展,近10年来有许多大型的建筑物需进行深基坑开挖,基坑开挖深度不少超过 10 m ,一般为 $5\sim8\text{ m}$ 。现天津地区深基坑所采取的支护结构形式主要有:预制钢筋混凝土桩、灌注桩、地下连续墙和钢板桩,有的并辅以锚杆拉结和地下环梁等支撑形式,其中使用最广泛的支护形式有:预制钢筋混凝土桩、灌注桩和地下连续墙。

在天津大型建筑深基坑支护中最早采取的形式是预制钢筋混凝土桩,其优点是技术可靠,易于施工,造价相对低,但挡水效果差,打桩对周围环境影响也大,这对于邻近建筑物距基坑较远并对不均匀沉降有较强的抵抗能力的建筑物采用这种形式比较好。在这方面有一些成功的例子,如天津内贸大厦和开发区一些工程均采用预制钢筋混凝土为基坑支护形式。

灌注桩挡土技术是成熟可靠的,施工振动噪音小,但挡水效果差,需配合其它的防水措施,这一技术在工程中应用十分广泛。

地下连续墙具有挡土、抗渗和承载三大优点,目前,这种支护形式在天津地区使用也逐渐多了起来,例如,在天津华联商厦和大吉里商厦等工程中,基础施工时都采用了地下连续墙的形式。

由天津市第一建筑工程公司承建的天津国际大厦,在深基坑施工过程中采用了环梁、围护桩体系作为圆形基坑的支护结构。工程采用了 $\varnothing 50\text{ m}$ 的圆形基坑开挖方案,挖深为 11.25 m ,利用预先打置的钢筋混凝土预制桩加上钢筋混凝土环梁作支护结构。工程东侧有一座五层住宅,在基坑和该建筑物间设置一道帷幕墙并采取适当的降水措施。该建筑物沉降较为均匀,且最大沉降差未超过 0.2% 。在桩及环梁的施工过程中,该部位位移很小,即使在刚度最弱的第一道环梁开口处,局部位移也只有 0.12% 左右。由于环梁主要承受压力,当稳定性不够时,可以通过加宽环梁和增加环梁道数方法解决。基坑施工过程中还对环梁所受应力与桩外侧土压力变化进行现场测试。该工程实践证明,这种支护体系受力合理、施工方便、适应性强、经济效益好,较适宜于在天津地区高水位、软弱土和周围有较高建筑物的深基坑工程中采用。

另外,深层搅拌桩在天津也得到普遍采用。

1.1.4 上海地区

1.1.4.1 基本情况

上海是世界三大软土地基城市之一,地处长江三角洲,覆盖层厚达 $150\sim 400\text{ m}$,其中埋有很深厚的软弱淤泥质粘性土。从地质成因上看,上海属长江三角洲相和河口滨海相沉积,在 20 余米深度内,主要土层为淤泥质粉质粘土和淤泥质粘土层,含水量一般在 40% 左右,孔隙比一般在 $1.2\sim 1.6$ 之间,土的压缩性高,抗剪强度低。在外荷载作用下,地基承载能力低,变形大,不均匀沉降也较大,沉降历时很长,往往持续数年甚至数十年之久。

随着高层及超高层建筑的发展以及市政交通对地下停车库的迫切需要,地下空间的开发及利用获得了很大的发展,基础埋深不断增大,已从以前的 $5\sim 6\text{ m}$ 增加至 10 余米甚至达 30 余米(宝钢某基坑开挖达 35 m)。同时软土地基条件下深基础施工过程中打桩、开挖、降水等对周围环境的影响(相邻影响)问题日益突出。设计施工中稍有疏漏或意外变故,就造成桩基或围护体位移、工程桩损坏、邻近建筑物倾斜以至开裂等,甚至前功尽弃,损失巨大。在上海地区近几年来这样的事故已发生数十起之多,所以在深基坑施工中对相邻影响的要求越来越严格。正是在这样的背景下,深基坑支护设计与施工技术得以较快发展。

1.1.4.2 深基坑支护设计与施工

80年代以来,随着经济建设的发展,上海地区高层和超高层建筑大批建造,1994年,仅浦东新区在建的高层建筑就达 240 多幢,其中 110 多幢是 30 层、 100 m 以上的超高层建筑,最高的是已开工的 88 层的金贸大厦。随着高层建筑不断向高空延伸,以及城市交通、规划等

的需要,地下空间的开发利用也迅猛发展。现在高层建筑的基础一般都有多层地下室,一层地下室的开挖深度约5~6 m,二层深达10余米。宝钢三期热轧工程旋流沉淀池开挖深度达35 m,是目前上海最深的基坑。如此之深的深基坑开挖使深基坑的稳定问题日益突出。

根据不同的开挖深度,深基坑支护结构采用了地下连续墙、钻孔灌注桩、深层搅拌桩等挡土技术,在特殊条件下采用了高压旋喷及压密注浆等技术。以前地下连续墙多用作临时支护,最近又发展了将其与永久性结构相结合的设计方法,具有显著的经济效益,但是必须解决好变形协调(包括垂直沉降与水平位移)、防水、裂缝控制等技术难题。国际上常用的钢结构内支撑系统在上海已逐步被钢筋混凝土内支撑系统所取代,这样可以使支护结构有较大的刚度和较小的变位,从而满足上海软土地区深基坑开挖的需要,但混凝土内支撑的爆破技术仍没有很好的解决,工作量过大,对环境的影响严重,有待进一步改进。环形结构无内支撑支护体系具有刚度大、节约材料、能在基坑中部形成较大的空间,为后续施工提供十分有利的条件等优点,已在有些工程中应用,最大的环形支护结构直径为92 m。世界金融大厦的深基坑面积大且不规则,挖土深达16 m,采用了三道折线型钢筋混凝土内支撑,成功地保证了基坑的施工安全。由于环境密集的要求,将两个深基坑联合开挖、联合支护的技术也有所发展,浦东新区的中达一浦贸及石油一煤炭大厦联合基坑支护面尺寸达160 m×90 m,挖土深度达12 m,如此庞大的联合基坑采用二道支撑联合支护,在上海尚属首次。

深基坑开挖至17 m以下时,承压水可能对基坑底产生破坏作用,采取深层降水与软土加固的办法或两者相结合的办法,是解决这个问题的良好途径。

为了确保深基坑开挖安全顺利地进行,深基坑施工监测越来越重要。比如采用英国输力强公司的3595系列多通道数据采集系统进行支撑内力的监测与控制,以确保支撑内力影响及挡土结构在深层土中的变形规律,在此基础上,还可改进内支撑设计,正确考虑支撑系统混凝土的温度收缩等影响和不均匀开挖对支撑内力的作用,合理选择断面取得了十分显著的经济效益和社会效益。

1.1.5 南京地区

1.1.5.1 概况

南京市从1977~1993年共建高层建筑199幢(8层及24 m以上),总面积为205万m²。目前正在进行土建与基础施工的有200多幢,规划设计阶段的还有近100幢。随着高层建筑的高度增加,150 m高以上已有8幢,200 m高度左右已有5幢,由于高层建筑稳定性的要求和地下空间的开发利用,基坑埋深也越来越深,深基坑支护工程问题越来越多,越来越复杂,也越来越重要。

1.1.5.2 南京深基坑常用的承重支护结构形式

a. 钻孔灌注桩帷幕墙,桩径一般 $\varnothing 600\text{ mm} \sim \varnothing 900\text{ mm}$,桩间距通常在1000~2000 mm,若应用于开挖深度在6 m以上的基坑,尤其在软土地区,由于悬臂式支护挡墙侧向变形过大,在基坑内采用刚性内支撑或场地允许时采用外拉土层锚杆的方法,作为桩墙的支点,以减少变形和内力。当基坑深度在10 m以上,往往采取二道或二道以上的支撑(或拉锚),如28层的国贸中心(-10.5 m)、26层的中南大厦(-9.00 m)、29层的金鑫大厦(-9.35 m)、33层的振兴大厦(-10 m)等。

b. 人工挖孔桩,桩径一般 $\varnothing 800\text{ mm} \sim \varnothing 1200\text{ mm}$,有密排和疏排两种,一般为悬臂式,

有的也设置内支撑或土层锚杆,如 52 层金鹰大厦(-13.5 m)、24 层阳光大厦(-7.5 m)、30 层兴隆大厦(-9 m)、26 层供电大厦(-7.8 m)、28 层邮政大楼(-9 m)、32 层石油中心(-11 m)、28 层随圆大厦(-8.0 m)等。

c. 预制钢筋砼方桩(或板桩),桩径常用断面尺寸有 400 mm×400 mm 或 450 mm×450 mm,其布置形式有单排或双排桩以形成门形结构,如 24 层长江大厦、金贸大楼、夫子庙地下商场等。

d. 钻孔灌注桩($\varnothing 700$ mm~ $\varnothing 800$ mm)双排桩,如 43 层天安商城、新百货公司 I 期大楼等。

e. 组合拱形结构钻孔灌注桩,如 24 层友谊大厦和 52 层新世界广场。

f. 钢筋砼地下连续墙,有薄壁(厚度 500 mm 以下)和厚壁(600 mm 以上)的两种。前者如状元楼(5 星级宾馆)和地铁三山街试点工程。

g. 锚拉薄壁挡墙结构体系,如 303 m 高的江苏省电视塔基西侧及市人民政府的食堂后山边坡支护。

h. 深层搅拌桩组合墙(格栅与实体式两种)及加筋土挡墙等,如 28 层东宇大楼(-6.8 m)、13 层八一医院(-6.0 m)、雨花区住宅小区挡墙等。

i. 预应力灌注桩、T 形预制桩等各种截面组成的承重挡墙。

j. 沉井支护结构,多用于江边水泵房与市政工程。

1.1.5.3 南京地区常用止水措施

由于南京市大部分地下水位较高(地面以下 1 m 左右),止水措施成败关系到支护结构的成败,因此止水帷幕同样十分重要。止水结构主要有:①单排或双排(搭接长度 150~200 mm)的搅拌桩;②射水成孔的薄壁连续墙(厚 220 mm,C15 素砼);③压密注浆;④旋喷桩;⑤投石压浆止水桩;⑥陶土止水桩等。

1.1.6 武汉地区

1.1.6.1 武汉 I 级阶地工程水文地质特点及其对深基坑工程的影响

武汉三镇位于长江、汉水的阶地地区,武昌、汉阳有相当一部分地区为高阶地,广泛分布下蜀系和白砂井层的老粘土。这层土为超固结粘土,但其裂隙发育,并具有一定的胀缩潜势,而广泛分布的低阶地地区正是高层建筑的密集区,则呈明显的二元结构,加上浅部的填土淤泥和地层的相变,情况更加复杂。

一般地层为:

①地面下 2~3 m 有一层填土,成分复杂,多有上层滞水,有的渗透性很大并和地表水体有水力联系;

②地表下 3~8 m 为淤泥或淤泥质土,为一富含水的软弱土层,与其上层之填土共同构成本地区的第一含水层。

③粘土或粉质粘土,5~15 m,多为可塑,渗透系数小,构成本地区第一个隔水层,但其岩性和厚度变化大,有的地段甚至缺失此层。

④粉土、砂土,10~25 m,底部有卵砾石层,富水,渗透性大,为层间承压水,与长江、汉水有水力联系,为本地区第二含水层。

⑤基岩,为本地区含水层底板。