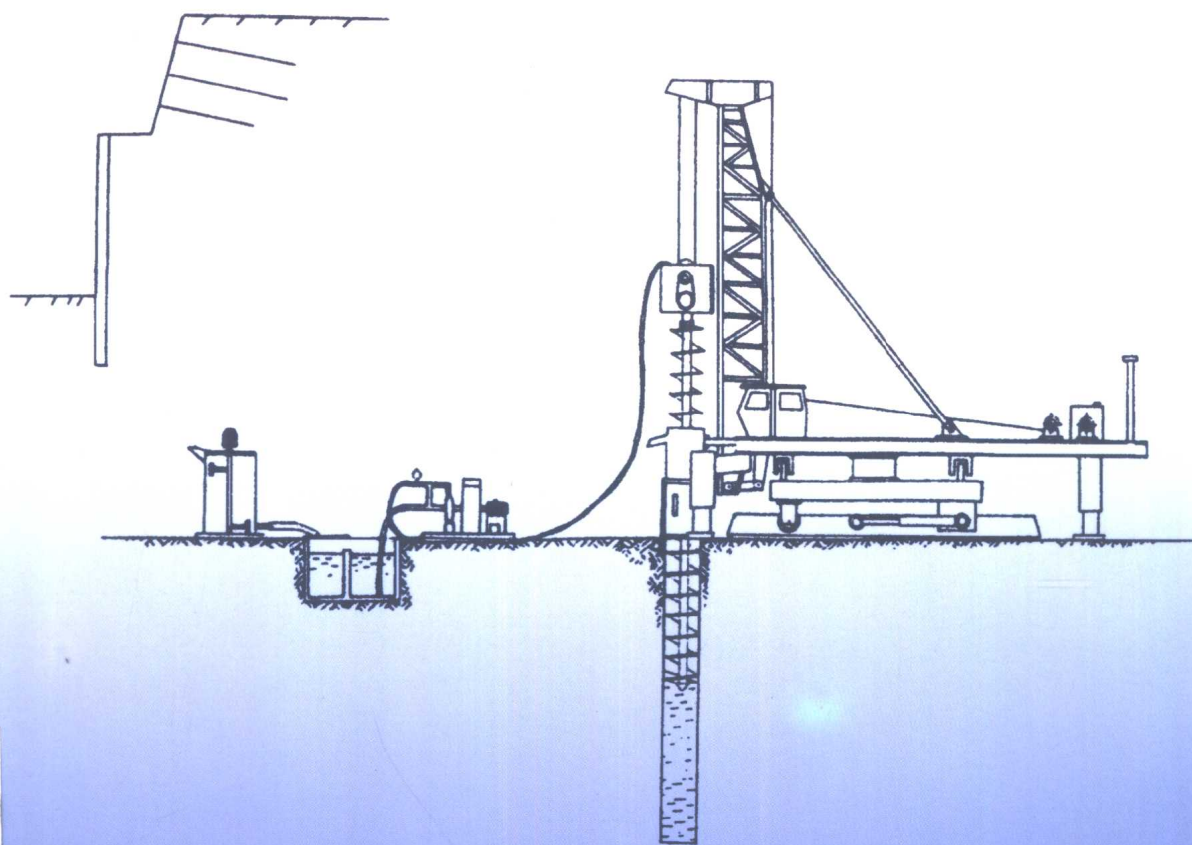


深基坑工程优化设计

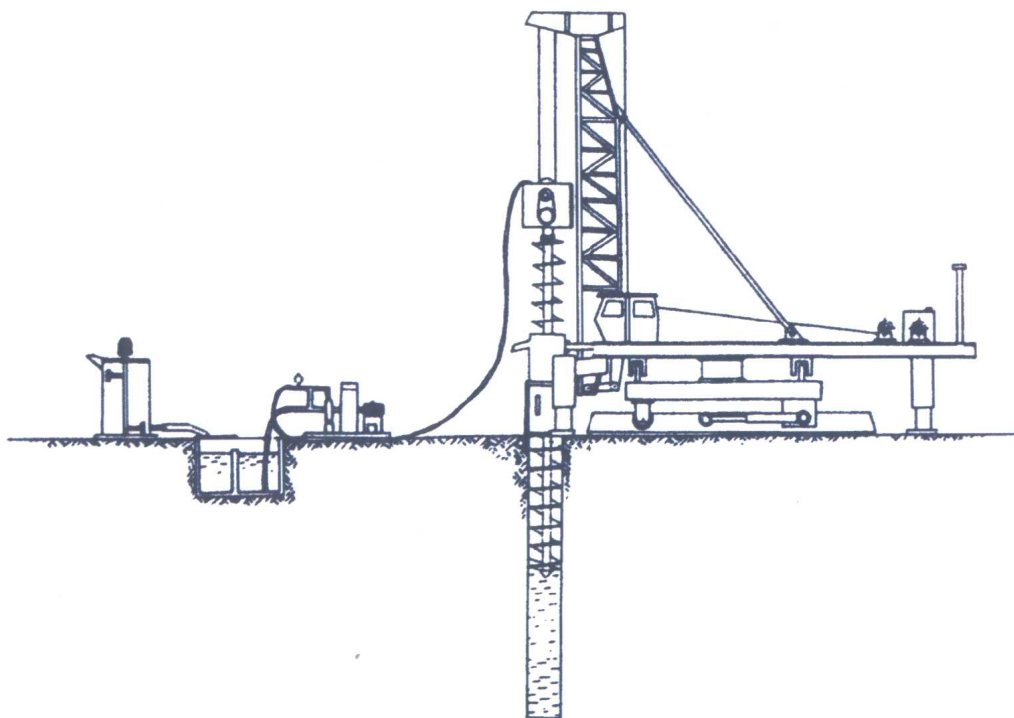
中航勘察设计研究院 秦四清 等 编著



地震出版社

责任编辑 陈晏群

封面设计 邢秀芬



ISBN 7-5028-1491-4



9 787502 814915 >

ISBN 7-5028-1491-4/TU · 127

(1939) 定价：60.00 元



深基坑工程优化设计

目 录 表

中航勘察设计研究院
秦 四 清 等 编著

地 震 出 版 社

1 9 9 8

内 容 简 介

本书重点阐述了深基坑支护工程的优化设计理论及其工程应用。本书内容包括:深基坑工程地质勘察,土参数试验方法及参数优选,土压力计算理论,深基坑开挖人工降水方法的选择与设计方案的优化,深基坑支护结构的优化设计及可靠性设计理论,支护结构变形计算与变形控制,深基坑支护结构施工,深基坑开挖对环境的影响及深基坑开挖的时空效应规律,基坑地基加固处理,深基坑工程监测技术与信息化施工,深基坑工程事故的预防与处理,深基坑支护设计与施工的地区性特征,深基坑工程计算机辅助设计系统。本书内容新颖,强调理论,重视实践,可读性强,可供从事基坑工程、边坡治理加固工程的技术人员参考,也可作为高等院校、科研单位的教学参考书或工具书。

深基坑工程优化设计

中航勘察设计研究院
秦四清 等 编著

著作权人:中航勘察设计研究院

责任编辑:陈晏群

责任校对:李 珺

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

北京地大彩印厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 20.75印张 532千字

1998年9月第一版 1998年9月第一次印刷

印数 0001—1750

ISBN 7-5028-1491-4/TU·127

(1939) 定价:60.00元

编 委 会

主 编：秦四清

副主编：万林海 汤天鹏 贾金录 郑毅 马永祺

前 言

自 80 年代以来,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。据 1995 年初的初步统计,我国高层建筑高度超过 100 m 的已有 100 多栋,正在设计和加紧兴建的 200 m 以上的高层建筑有 26 栋,其中 6 栋超过了 300 m。相应的,基坑开挖的深度越来越大,如武汉的国贸大厦基坑开挖到地面以下 16.8 m;北京市经贸委大楼,地下 4 层结构,基础埋置深度为地面下 30 m;上海的经贸大厦主楼基坑预计开挖到地面以下 32 m。总之,我国高层建筑数量将会越来越多,建筑面积将会越来越大,深基坑向大深度、大面积方向发展已成必然趋势。

许多高层建筑物在密集的建筑群中施工,由于施工场地狭窄,深基坑开挖不可能放坡,并且邻近常有必须保护的永久性建筑和市政公用设施,对基坑稳定和位移控制的要求很高。

基坑工程造价较高,但又是临时性工程,一般不愿投入较多资金。可是一旦出现事故,处理十分困难,造成的经济损失和社会影响往往十分严重。

近 10 年间,由于基坑开挖深度过大,地下水位高,地基土质软弱等不良地质条件,加上深基坑开挖支护技术不成熟,施工队伍素质低等一系列原因,导致了我国深基坑工程失事频繁,由此造成的损失高达数十亿元,同时产生了恶劣的社会影响。

深基坑失事主要涉及两方面的问题:一是深基坑支护体系本身失稳;二是深基坑开挖引起周围环境条件的显著变化,使周围建筑设施产生开裂,甚至破坏。这两方面在深基坑工程失事中常常是相互联系的,深基坑支护结构的破坏、边坡的失稳常常会引起基坑周围建筑物的破坏,这一点在拥挤的旧城区改造中尤为突出。旧城区施工场地狭窄,紧临基坑边上就有建筑物,在这种情况下进行深基坑开挖,保护环境显得尤为重要。支护结构的任何破坏,都会严重影响周围建筑物的安全,过大的变形也可能引起周围建筑设施的破坏。从某种意义上讲,保护周围建筑物、管线的安全比维护深基坑的稳定更重要。如 1994 年 11 月 22 日汉口煤气大泄漏就是因为威格大厦深基坑失事引起的,威格大厦基坑与路边的煤气主管道距离仅 6 m 多。在基坑开挖中,基坑降水措施不当,导致涌砂,引起地面下沉,马路、房屋开裂,并导致煤气主管道被折断引起煤气大泄漏,造成严重的后果。因此保护深基坑周边环境意义重大。

基坑工程是当前大家十分关注的岩土工程热点,也是技术复杂、综合性很强的难点,同时又是提高工程质量减少事故的重点。深基坑工程是与众多因素相关的综合技术,是一个系统工程问题,它与场地工程地质勘察、支护结构设计、施工开挖、基坑稳定、降水、施工管理、现场监测、相邻场地施工相互影响等密切相关。基坑设计与施工涉及地质条件、岩土性质、场地环境、工程要求、气候变化、地下水动态、施工程序和方法等许多相关的复杂性问题,是理论上尚待完善、成熟和发展的综合技术学科。如何根据场地工程地质、水文地质、环境条件制定合理的设计方案;如何在保证稳定性的前提下,设计最经济的方案,即基坑优化设计方案;如何吸取失败的教训、总结成功的经验,指导今后的设计与施工,都是值得深入研究的问题。

在复杂、众多的基坑工程实践中,我国深基坑工程技术已得到长足发展,其标志是:

1. 基坑工程技术标准与规范的编制

为经济安全地进行基坑工程的施工,减少工程事故发生,各地都组织技术力量进行基坑

工程技术标准的编制工作,目前已经编制或正在进行编制的基坑工程技术标准规范有6个,见表1。这足以说明基坑工程由“乱”到“治”,正逐渐走上向序可循的新时期。

表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	主编单位及作者	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	冶金建筑研究院王吉望等	已完成征求意见稿年底完成报批稿 1996年7月	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》	广东省建委	广州鲁班公司黄小许等	已完成送审稿 1996年	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》	武汉建乡建设管理委员会	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)对环境的影响及防治措施;(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8月颁布执行	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》	上海市建委		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	

2. 基坑支护工程新结构与新技术的提出

各地在基坑工程实践中,结合地区的具体情况,相继发展了一些行之有效的新技术,如加筋水泥土地下连续墙、土钉墙、水泥土重力墙、圆拱形支护结构、逆作法、被动区土质加固、内支撑支护体系、组合式支护、双排桩支护等。在施工机械与技术上也有新的突破,如可拆除式锚杆技术,潜孔锤气动土钉打入机等。

3. 支护结构设计理论与方法的提出

针对各地的具体问题,不少单位和学者相继提出了不少设计新理论与新方法。如秦四清提出的支护结构优化设计理论,杨光华等提出的多锚撑设计增量算法,刘建航院士提出的软土深基坑开挖的时空效应理论,其他学者建议的设计方法,还有多锚撑设计分段等值梁法,“m”法。最近有限元分析理论,如弹性抗力有限元法、二维、三维弹塑性有限元法,大变形有限元理论等已相继应用于基坑工程,取得了满意的效果。

此外,深基坑支护设计软件也受到重视,已有几个商品化软件在各地得到推广应用。

4. 其他方面

深基坑工程已受到各级有关领导的高度重视,不少地方成立了基坑工程专家委员会,负责审查设计方案。每年与深基坑工程有关的会议相继召开,不少杂志以大量篇幅报道新理论、新方法及基坑工程实录。有些地方还建立了专业化施工队伍,积极推行信息化施工,所有这些都标志着深基坑工程理论与实践进入了蓬勃发展的新时期。

在深基坑工程中,设计是核心,监测是手段,施工是保证。一个支护设计方案是否合理,决定了基坑工程的成败。怎样判断设计方案是否合理呢?作者认为有两条标准:第一是能保证基坑及周围环境的安全;第二是工程造价最低。这两条标准表面看来是相互矛盾的,实际并不冲突。举例来说,对一个基坑工程,不同的设计人员完全可以拿出不同的设计方案,但 these 方案中,有的工程安全性得不到保证,应予否定;有的工程安全性可以得到保证,但造价太高,不是最优方案。这时应进行方案比较、论证,从中择取最佳方案或重新设计。如北京芳城园 I 区地下停车库基坑坑深 13.5 m,当时有 5 家单位投标,其中有 4 家做的是桩+锚杆或双排桩方案,造价约 600 万元;而作者做的是土钉墙方案,造价约 300 万元,造价较其他方案减少一半,使我们不仅在投标中获胜,而且缩短了工期,保证了施工的按期完成,大大提高了作者单位的知名度。由此可见,进行方案论证、方案优选是设计中很重要的环节,应引起设计人员的高度重视。可以预言,优化设计将是以后基坑支护设计发展的必由之路,是设计的发展方向。

有关深基坑的内容浩繁,许多有价值的资料散见于各类论文集和杂志上,已出版的深基坑著作或偏重设计而忽视施工,或内容繁杂缺乏中心,都不利于工程技术人员完整系统地快速掌握深基坑工程这门新技术。本书是在这种形势下出版的。

本书不求全面,突出重点,主要介绍编著者近几年提出的基坑支护设计新理论——优化设计理论,并辅之以相关的内容,希望该理论对读者大有裨益。

本书在编写过程中,引用了不少学者专家的论文、工作总结与资料,使本书在形成过程中得到了充实与提高,在此向他们表示真挚的谢意。

长春地质学院郑毅教授撰写了第三章,中航勘察设计研究院高级工程师马永祺撰写了第七章,辽河油田设计院贾金禄高级工程师撰写了第九章第六节,中国建筑东北设计研究院汤天鹏高级工程师撰写了第十二章,华北水利水电学院万林海高级工程师撰写了第九章,其余各章节由秦四清撰写,全书最后由秦四清修改定稿。

感谢刘建航院士、顾宝和研究员、张旷成大师、唐业清教授、顾晓鲁教授等老前辈的热情支持和帮助,感谢中航勘察设计研究院对本书经费上的支持,感谢爱人李丹对我工作的理解与全心全意的支持。没有他们的扶持与帮助,本书的完成是很困难的。

限于作者水平及深基坑技术的发展水平,书中难免有这样或那样的错误,敬请读者批评指正。

如果本书的出版,能对深基坑的设计与施工者的实际工作有一点帮助,我们便深感欣慰了。

作者

1997年12月



秦四清 男，博士后，研究员。
中航勘察设计研究院研究员、基础工程新技术研究所所长。1964年2月生于河北省行唐县。1991年获东北大学博士学位。1992~1994年在成都理工学院作博士后研究。现兼任：中国科学院地质研究所工程地质力学开放实验室及成都理工学院国家重点实验室客座研究员，北京科技大学资源工程学院兼职副教授，东北大学资源土木工程学院博士生导师。

曾主持国家自然科学基金项目，国家重点实验室基金项目，大型水电工程项目，岩土工程项目的科研与生产工作40多项。已出版的专著有《非线性工程地质学导引》和《岩石声发射技术概论》，发表论文60余篇，发表的论文曾多次被同行引用和转载。1995年获中国地质学会青年科技奖“金锤奖”第一名，1996年获北京市优秀青年工程师奖及政府特殊津贴，1997年获国际Richard Wolters奖，是我国非线性工程地质学的开创者。

目前主要从事非线性工程地质学和岩土工程的研究工作，特别是在深基坑支护研究中，提出了“深基坑支护优化设计理论”，开发了“深基坑支护之星”设计软件，为国家创造了可观的经济效益。

目 录

第一章 深基坑工程地质勘察	(1)
第一节 工程地质勘察的重要性	(1)
第二节 工程地质勘察方法	(1)
第三节 勘察内容	(2)
第四节 深基坑工程的勘察特点	(2)
第五节 勘察报告书的编制	(6)
第二章 土参数试验方法及参数优选	(7)
第一节 概述	(7)
第二节 土参数试验方法	(7)
第三节 土参数综合取值	(9)
第四节 土参数优选理论	(12)
第三章 土压力计算理论	(14)
第一节 概述	(14)
第二节 基本土压力理论	(15)
第三节 特殊情况下土压力计算	(25)
第四节 深基坑支护结构土压力分布特点	(31)
第四章 深基坑开挖人工降水方法的选择与设计方案的优化	(36)
第一节 人工降水与深基坑支护和开挖	(36)
第二节 人工降水技术方法的选择	(38)
第三节 人工降水方案设计	(44)
第四节 人工降水水位预测与降水方案优化	(52)
第五节 工程降水模型的新思路——以长春粘性土为例	(58)
第五章 深基坑支护结构的优化设计及可靠性设计理论	(63)
第一节 概述	(63)
第二节 优化设计理论与可靠性设计理论简介	(70)
第三节 无支护开挖	(75)
第四节 悬臂式板桩支护结构设计	(79)
第五节 单支点锚桩支护结构设计	(101)
第六节 多支撑板桩及地下连续墙的设计	(115)
第七节 水泥土搅拌桩重力式挡土结构设计	(139)
第八节 双排桩支护设计	(142)
第九节 围筒式支护结构设计	(145)
第十节 土钉墙支护结构设计	(150)
第十一节 基坑支护结构稳定性验算	(168)
第十二节 深基坑支护结构方案优选	(170)

第六章 支护结构变形计算与变形控制	(174)
第一节 影响变形的因素分析.....	(174)
第二节 变形计算.....	(174)
第三节 支护结构的位移分析.....	(178)
第四节 支护结构位移控制措施.....	(182)
第五节 支护结构变形分析的有限元理论.....	(183)
第七章 深基坑支护结构施工	(188)
第一节 护坡桩施工.....	(188)
第二节 土层锚杆施工.....	(198)
第三节 土钉墙施工.....	(203)
第四节 施工实例.....	(205)
第八章 深基坑开挖对环境的影响及深基坑开挖的时空效应规律	(208)
第一节 开挖方式及工序设计.....	(208)
第二节 软土深基坑开挖的时空效应规律.....	(209)
第三节 深基坑开挖对相邻建筑的影响.....	(216)
第四节 深基坑开挖对地下管线的影响.....	(221)
第五节 深基坑开挖引起的环境问题.....	(225)
第六节 基坑开挖时保护环境的措施.....	(228)
第七节 我国东部大中城市深基坑开挖的地质条件及地质模型.....	(229)
第九章 基坑地基加固处理	(238)
第一节 概述.....	(238)
第二节 基坑封底加固.....	(238)
第三节 基底抗隆起加固与防流砂的加固.....	(240)
第四节 被动区土质加固.....	(241)
第五节 坑外地基处理.....	(241)
第六节 基坑地基处理设计施工方法.....	(242)
第十章 深基坑工程监测技术与信息化施工	(248)
第一节 概述.....	(248)
第二节 深基坑监测系统的设计原则.....	(248)
第三节 基坑工程的监测项目.....	(249)
第四节 深基坑支护工程的监测技术.....	(249)
第五节 变形量测方法.....	(255)
第六节 观测数据处理及稳定性分析.....	(260)
第七节 基坑位移反分析方法.....	(263)
第八节 基坑开挖的信息化施工技术.....	(264)
第十一章 深基坑工程事故的预防与处理	(268)
第一节 深基坑开挖的工程问题.....	(268)
第二节 深基坑工程事故的调查分析.....	(271)
第三节 深基坑工程事故的预防.....	(274)

第四节	深基坑工程事故的处理措施·····	(275)
第五节	面向问题的基坑降水与支护设计·····	(276)
第十二章	深基坑支护设计与施工的地区性特征·····	(283)
第一节	北京地区深基坑工程状况·····	(283)
第二节	上海地区深基坑工程状况·····	(284)
第三节	天津地区深基坑工程状况·····	(285)
第四节	武汉地区基坑工程状况·····	(286)
第五节	深圳地区深基坑工程状况·····	(292)
第六节	成都地区深基坑工程状况·····	(293)
第七节	地区支护经验的重要性·····	(296)
第十三章	深基坑工程计算机辅助设计系统·····	(298)
第一节	概述·····	(298)
第二节	深基坑工程设计计算系统·····	(298)
第三节	计算机辅助设计 AutoCAD 系统·····	(300)
第四节	深基坑支护之星软件介绍·····	(301)
参考文献	·····	(318)

第一章 深基坑工程地质勘察

第一节 工程地质勘察的重要性

工程地质勘察资料是深基坑工程设计施工的重要依据,通过深入详细的工程勘察,为设计施工提供需要的参数和指标,确定合理的支护方案、开挖步骤。如果支护所涉及范围的地层勘察资料不详细、不准确,势必给支护工程带来事故隐患。例如某深基坑工程,因地质资料仅评价了基础桩范围(-6~-23 m)土层,而略去了对-6 m 以上淤泥层的强度指标正确评价,由于淤泥层正是对支护结构产生主动土压力的主要土层,设计时没有要求补充勘察,凭工程经验选定淤泥层强度指标,其指标与后来事故处理时测定的指标相差很大,因此造成重力式挡墙支护体系滑移、倾斜,基坑内大量涌土,基坑外土体滑塌,邻近的生产厂房外墙开裂等重大事故。又如广州某基坑工程,由于对基坑周围土层未做详细勘察,锚杆锚固段打在垃圾土中,造成锚固力严重不足,在暴雨时基坑失稳,周围房屋滑入坑内,产生了巨大的经济损失。某些基坑工程根本未进行工程勘察,而仅参考相邻工程的地质资料设计、施工,引发了多起事故。由此可见深基坑工程地质勘察的重要性。

第二节 工程地质勘察方法

常用的勘探方法有坑探、钻探、触探以及地球物理勘探。

1. 坑探

通过探坑的开挖可获得直观资料和原状土样,特别当场地地质条件较复杂时,利用坑探能直接观察地层的结构和变化,但坑探可达的深度较浅。

2. 钻探

用钻机在地层中钻孔,以鉴别和划分地层。也可沿孔深取样,以测定土层的物理力学性质,同时土的某些性质也可直接在孔内进行原位测试。

原状土样的采取应符合《岩土工程勘察规范》。

3. 触探

触探可间接地判断土层及其性质,可用于划分土层,了解地层的均匀性以及土的变形指标等。

4. 地球物理勘探

用电测法或声测法,测定土体的波速、动弹性模量,查明有无地下埋设物、埋设物的空间位置等。

第三节 勘察内容

(1) 查明场地位置、地形地貌、地质构造、不良地质现象

勘察范围应根据开挖深度及场地的岩土工程条件确定,并宜在开挖边界外以及开挖深度的1~2倍范围内布置勘探点。对软土勘察范围应适当扩大。勘探点的深度应满足各种极限状态验算的要求。勘探点的间距应按岩土工程安全等级确定,一般为10~20 m。当存在透镜状土层或软弱夹层时,应增加勘探点,查清其分布范围。

(2) 对场地的地层进行划分

根据土层绘制工程地质剖面图,特别是注意软土、新近回填土的位置、分布及厚度。查明土层是否具有膨胀性、湿陷性、触变性、冻胀性,查明土层中软弱结构面层的分布及其产状,查明场地内是否有岩溶、土洞以及其它洞穴的存在和分布。

(3) 测定土的物理力学性质指标

土的物理力学性质指标是基坑支护设计的重要依据。由于土层本身的不均匀性、取样过程中的扰动、试验仪器及操作方法上的差异等原因,同一土层测得的同种指标,其数值往往是离散的。因此测试数据应尽可能多,在合理分层的基础上,用合理的数据统计方法,求得具有代表性的指标。

对粘性土一般应进行天然容重、天然含水量、比重、液限、塑限、压缩系数及抗剪强度的测定。

对砂土则要求进行颗粒分析,测定天然容重、天然含水量、比重及抗剪强度等。

测定抗剪强度时,宜采用三轴试验,但对硬土地区坑深小于10 m或软土地区坑深小于5 m时,亦可用直剪试验。

(4) 调查地下水的类型、埋藏条件、侵蚀性以及土层的冻结深度

查明地下水位、地下水流向、渗透系数、流速及变化规律、动水压力,必要时进行抽水试验,获得承压水头、涌水量等,绘制地下水流网图。

(5) 调查基坑周围地质环境

调查地下埋设物的位置及分布,如上、下水管道、煤气管道、电缆、光缆及地下结构的埋设位置。了解场地周围道路、已有建筑物的等级及其基础埋设深度、形式等。

第四节 深基坑工程的勘察特点

一、勘探测试的特点

1. 场地周围环境及地下管线的调查

查明基坑与四周道路及建筑物的间距,了解周围建筑物的地基基础情况,对于施工方案选择是举足轻重的。例如,常州某高层建筑的深大基坑,由于距离交通干道及相邻建筑(浅基)太近,虑及降水沉陷的影响,排除了大面积降水的方案;而常州市区一个深约8 m的地下室基坑,坑周有20多米厚的不透水粘性土,在无降水无支护的情况下,顺利地放坡挖至坑底。

据常州市管线规划资料,市区的地下管线埋深一般为0.5~4 m,有水管、煤气管和电讯

管等,而且多为非柔性材料构筑。位于坑周的管线,不仅限制了放坡或者加设锚杆,而且,埋管基槽多为松散回填,由此形成的破碎带往往还是边坡的潜在滑面之一(图 1-1)。更何况,查明地下管线的分布,也有利于勘探点实地布置。鉴于目前的地下探测器只适应金属构筑,调查途径还主要靠规划设计资料。

2. 勘探点间距、孔深和勘察范围

老城区的浅部往往分布着较厚的人工填土,填土与天然沉积土的界面形成边坡滑面的可能性较大。在坑周线两侧,一般取 $0.8H$ 且小于 10 m 的孔距才能比较接近地反映土层的底面分布,况且,较小的孔距对于查明局部软弱层也是有益的,如图 1-1。对于沿着坑周线的勘探点,其闭合剖面常是支护的侧重位置,应该重点控制和适当加密。加密的原则,是使承压含水层与隔水层的主要界面,在相邻两孔处的高差小于 2.0 m 。

众所周知,满足了高层建筑地基的承载力、变形及抗震分析的孔深,一般都包括了附建地下室基坑开挖与支护所必需的勘探深度。但是,对于一些自重较轻的结构,如空旷地面下或者低层建筑下的深埋地下室及地下深水池等,基底附加压力很小,甚至为负值,此时,确定勘探深度的依据,已不是地基压缩层厚度或者基底宽度,而是取决于基坑稳定或支护分析所需的深度,例如承压水隔水底板、支护结构底部或抗拔(浮)桩端等。

如图 1-2 所示,边坡稳定性分析中的滑面线通常涉及坑周以外 $(1\sim 2)H$ 的范围,锚杆的设置也类似,有时甚至还考虑将注水井点布设于坑外一定距离。为了查明这个特殊范围的岩土特征,满足设计施工的相应需求,将勘察范围扩大到基坑以外 $(1\sim 2)H$ 十分必要。

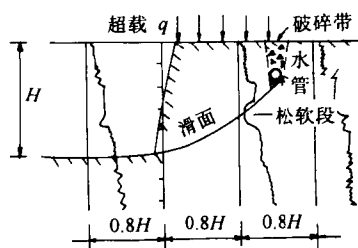


图 1-1 孔距及边坡滑面

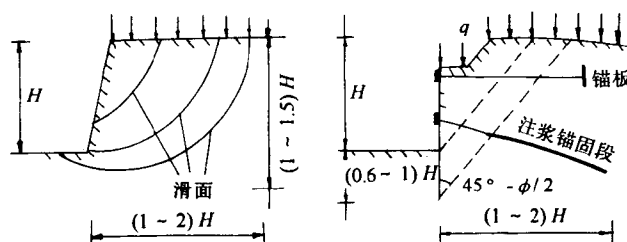


图 1-2 边坡分析、锚杆设计对勘察范围的要求

3. 侧重水文地质

如图 1-3 所示,基坑突涌和流砂问题、支护结构受力特征或者隔水帷幕施工效果,甚至建筑物抗浮验算等,都与承压水密切相关。可见,浅层承压水是影响地下工程的关键地质因素。为了制定相应的预防或处理措施,必须准确地查明场地及区域的水文地质条件,主要包括地下水位、水头及其动态、岩土渗透性、补给特征以及含水层与隔水层的层位。

地下水位及水头是反映承压水特征的通用指标,与现场勘测记录的“初见水位”、“静止水位”的关系如图 1-3(a)所示。勘测方一般采用测压管法,即跟管干钻至含水层顶面量测地下水头(即“初见水位”),后才使用泥浆护壁钻进,清水洗孔后再在含水层段填入粗砂并且打入护孔管及封盖,形成测压管,地下水稳定后量测水头,进而选择本地区的丰水季与枯水季、晴天与雨天,准确地量测水头的动态。

钻孔抽水试验是管井及深井降水施工的模拟。但值得考究的是,如果降水在先施打工程

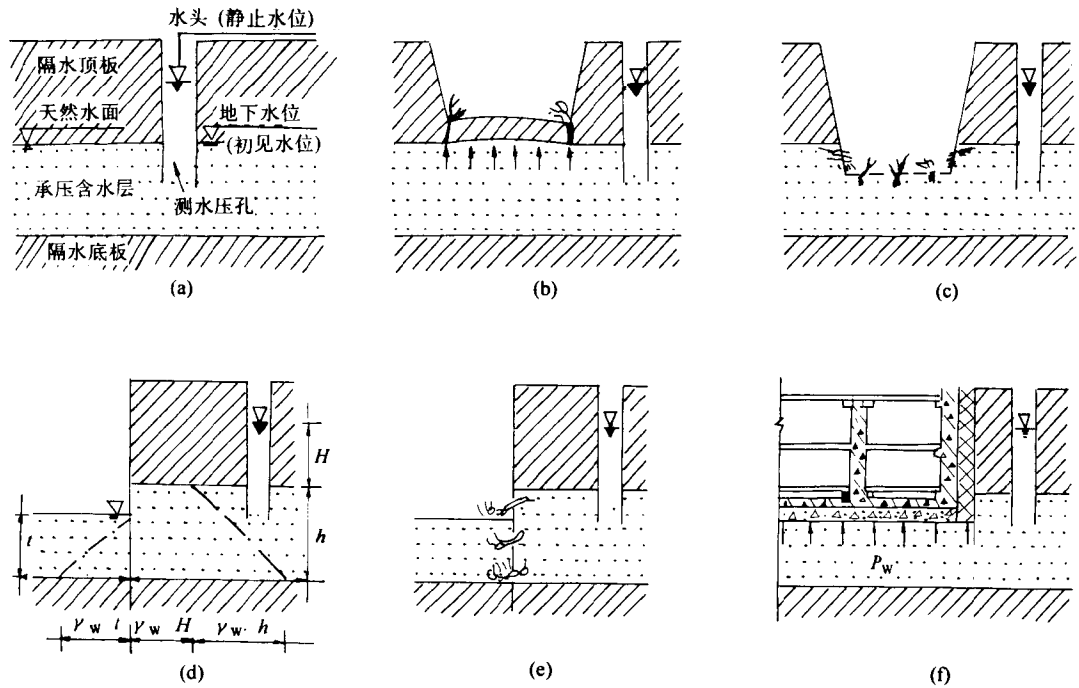


图 1-3 承压水特征及其对地下工程的影响示例图

- (a)承压地下水与勘深;(b)坑底突涌或挠曲拱起;(c)流砂或管涌;
(d)隔水帷幕墙面静水压力;(e)隔水中帷幕渗漏;(f)浮托建筑物

桩的基坑内进行,由于工程桩对含水层的挤密或阻水效应,土中原有的渗透系数必将大大减小。在这种情况下,把抽水试验安排在施打工程桩后进行则更接近模拟工程实际。对于由多层土组成的含水层,如果可能采用短滤管井降水时,例如轻型井点或喷射井点,宜采用室内试验测定分层土的横向渗透系数 K_h 和竖向渗透系数 K_v 。因为,与短滤管井相对应的渗透系数,主要是滤网段所处土层的 K_h ,而不是长滤管抽水试验测得的多层土综合渗透系数,更何况, K_h 和 K_v 还可用于评价各层土的透水性(对基坑工程, K_h 或 K_v 大于 0.010 m/d 属透土层,否则为隔水层)。因此,将野外抽水试验与室内渗透试验匹配进行,更具有应用的广泛意义。注意,为了满足 K_h 和 K_v 试验要求,钻孔或探井土样直径不宜小于 89 mm ,也不得在野外接环刀接触面将土样割断。

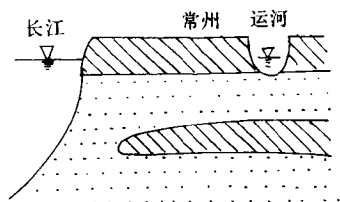


图 1-4 承压水区域特征

查明承压水的补给条件,了解不同含水层之间的水力联系,仅仅依靠现场勘察往往不能实现,还必须通过区域水文地质资料加以综合分析。例如常州市处于 $Q_4 \sim Q_3$ 正常冲积层中,第 I (浅层)承压水在区域上与长江水、第 II 承压水甚至深切的运河水相通(图 1-4),水量十分丰富,在一定程度上抑制了基坑单纯大降水的有效性。因此,应该重视熟悉区域性水文地质资料的调查资料。

4. 选择试验项目的特征

深基坑开挖与支护工程的勘察评价和设计施工,不仅需要具备岩土的 γ 、 C 、 φ 等常规指标,而且还应获取如表 1-1 所列的特殊参数,作为分析计算及多方案优选的基本依据。

表 1-1 室内特殊试验项目及其用途示例表

试验项目及其指标	在深基坑工程勘察评价和设计施工中用途或分析内容
三轴不固结不排水剪粘聚力 C_{uu}	计算粘性土自然直立高度和边坡稳定系数,估算注浆锚杆抗拔力,判别坑底突涌可能性
静止侧压力系数 K_0	计算土的侧压力,换算泊松比
底压回弹模量 E_s	估算坑底的卸荷回弹量
静弹性模量 E	估算坑底回弹或粘性土坑底浮托拱起量
渗透系数 K_h 、 K_v	评价土的渗透性,估算单井涌水量及影响半径
平均粒径 d_{50}	选择降水井的滤网网眼

静力触探的优点之一,就是连续测试而且软硬反应敏感,用于寻找边坡滑面可能经过的软弱薄层,操作方便,资料可靠。同时,带孔压静探,十字板剪切和自钻式旁压试验等原位测试的指标,对分析边坡稳定性(如 Bishop 法)及静止侧压力,都有应用价值。

二、勘察分析与评价特点

1. 岩土分层和制图

松软层及回填松散带是边坡抗滑薄弱面,含水层与隔水层的界面是坑底开挖及支护结构分析计算的关键部位。强透水层与弱透水层则是短滤管井点布置的一个重要依据。所以,工程地质分层不能局限于按常规物理力学指标分层,应该更为细致,突出上述界面。

工程地质图中,在剖面图上增加基坑拟开挖线及地下管线的标注,联绘沿基坑周边展开的剖面图,既方便勘察评价,又利于设计施工的应用。必要时,还应在适当的假设条件下,绘制边坡稳定性计算、支护结构抗倾覆验算及降水井布置等岩土工程初步分析图。

2. 岩土参数可靠性取值中应注意的问题

岩土参数标准值可取统计平均值的置信上限或下限,原则是使最终的分析结果(如降水井数、抗滑或抗倾覆稳定系数等)既准确又偏于安全。无疑,抗剪强度指标应取下限,但必须注意的是,对基坑工程一些岩土指标的应用比常规地基工程复杂得多,取值方法不能随便套用。例如, γ 用于边坡稳定性分析时应取置信上限, K_0 在作用力计算与抗力计算中分别取上限与下限, E_s 、 E 、 K_h 、 K_v 等宜用均值,而考虑长期浮托的承压水头标高应取动态最大值甚至引用区域防洪设计标准等。

3. 基坑开挖与支护分析评价的主要内容

深基坑工程勘察的特色之一,就是针对开挖与支护问题,在完善环境、岩土及地下水勘测资料的基础上,结合工程特点、施工可行性及地区经验,进行岩土工程分析评价。主要内容有:①天然可开挖的深度,包括坑底效应和坑壁坡角等;②降水无支护的边坡稳定性、地面沉降及其对环境的影响;③有降水或无降水的支护结构挡土及隔水可行性;④土水压力量测、坑周位移观测以及地下水浮托水头长期监控等监测工作的建议。