



建筑基坑工程设计与施工

建筑基坑工程

设计计算与施工

2

崔江余 梁仁旺 编著

中国建材工业出版社

TU470

出版社

建筑基坑工程设计计算与施工

崔江余 梁仁旺 编著



中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑基坑工程设计计算与施工/崔江余等编著. —北京: 中国建材工业出版社, 1999. 9
ISBN 7-80090-511-X

I. 建… II. 崔… III. ①地基-基础 (工程)-建筑设计-计算②地基-基础 (工程)-工程施工 IV. TU470

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 34396 号

内 容 简 介

本书较全面地介绍了建筑基坑工程设计计算理论与施工技术, 主要内容包括: 基坑工程的现状; 基坑工程的设计计算, 稳定性验算和变形控制; 围护墙的设计与施工; 支撑结构的设计与施工; 基坑工程监测与信息化施工; 在基坑工程新进展一章中选择了 15 种具有代表性的新技术、新工艺和新方法; 最后一章介绍了 18 个成功的典型工程实例, 从方案选择到设计与施工较全面地介绍了基坑工程的内容。书中注重方法论述, 循序渐进, 由浅入深, 有理论、讲实践、重应用。

本书可供从事基坑工程勘察、设计、施工、监测、工程监理技术人员借鉴和参考, 也可供大专院校师生参考阅读。

建筑基坑工程设计计算与施工

崔江余 梁仁旺 编著

*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路 11 号 邮编: 100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市艺辉胶印厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15.5 字数: 396 千字

1999 年 11 月第一版 1999 年 11 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 31.00 元

ISBN 7-80090-511-X/TU · 121

前 言

随着经济建设的迅猛发展,城市的高层建筑大量涌现。由于城市地价愈益昂贵,向高空发展和地下空间开发利用的趋势愈加强烈。建筑物高度越来越高,地下室层数越来越多,从而导致基坑开挖深度越来越深。这种趋势对建筑基坑的设计计算理论和施工技术提出了严峻的考验,同时也推动了我国深基坑工程设计理论和施工技术的不断发展。目前,已发展了多种符合我国国情的、实用的基坑支护方法,设计计算理论不断改进,施工工艺不断完善。与地基工程相比,深基坑工程还很不成熟,大多依靠传统的土压力理论及地区性经验进行设计与施工,结果不是不安全,就是偏于保守,导致浪费。如何保证基坑工程的设计与施工既经济又安全,已成为一个重要的研究课题,这正是本书想要回答的问题。

建筑基坑工程是一门综合性很强的新型学科,它涉及到工程地质、土力学、基础工程、结构力学、原位测试技术、施工技术、土与结构相互作用以及环境岩土工程等多学科问题。基坑工程性质有着“先实践,后理论”和“地区性”的特点。随着土力学理论、计算技术、测试仪器以及施工机具和施工工艺的不断发展,建筑基坑工程技术正在不断的发展和完善。

要提高基坑工程的设计与施工水平,必须有一个好的设计计算理论作为依据,选择合理的支护结构体系,同时还要有丰富的设计和施工经验。目前,已有大量资料对建筑基坑工程作了比较全面的介绍;此外,我国的建筑基坑工程技术规范与不少省市的地方性基坑工程技术规程也已颁布执行。本书遵循“内容充实,取材新颖,注重实用,便于自学”的原则,努力做到不仅能掌握理解基本概念,而且能反映本学科的最新成果;既重视理论概念的阐述,也注重实际工程中的应用。

本书在编写过程中,唐业清教授给予了作者很大的启发和鼓励,李启民同志及作者的同事和朋友也提供了许多很有价值的资料;此外,本书在出版过程中得到了出版社同志们的热情支持和帮助,在此深表谢意。

基坑工程理论还很不成熟,各种工法地区性差异很大。书中介绍的理论、方法及经验只能在一定条件下适用,本书的目的在于解决问题的思路和途径,切不可照搬。因此,书中定有不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

1999年6月

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 基坑工程主要内容与特点	(1)
第二节 基坑工程发展简况	(3)
第三节 基坑工程支护结构分类	(4)
第四节 基坑工程设计内容	(6)
第五节 基坑工程安全等级	(9)
第二章 基坑工程设计计算	(11)
第一节 作用于支护结构上的荷载	(11)
第二节 支护结构的静力计算	(18)
第三节 基坑稳定性验算	(37)
第四节 基坑开挖中的变形计算	(42)
第三章 围护结构设计与施工	(47)
第一节 桩（墙）围护结构设计与施工	(47)
第二节 重力式围护墙的设计与施工	(53)
第三节 地下连续墙的设计与施工	(57)
第四章 撑锚结构设计与施工	(61)
第一节 内支撑材料的选择	(61)
第二节 内支撑体系选型和布置	(62)
第三节 支撑结构的设计与施工	(66)
第四节 锚杆设计与施工	(73)
第五章 无支护开挖设计与施工	(84)
第一节 边坡类型	(84)
第二节 自立边坡	(85)
第三节 土钉与喷锚支护结构	(93)
第六章 基坑工程监测与信息化施工	(105)
第一节 概述	(105)
第二节 变形监测	(107)
第三节 压力监测	(116)
第四节 信息化施工	(127)
第七章 建筑基坑工程技术新进展	(130)
第一节 空间非线性共同作用理论	(130)
第二节 土坡稳定分析	(131)
第三节 挡墙土压力探讨	(134)
第四节 基坑开挖时空效应规律	(137)

第五节	挤扩支护桩·····	(139)
第六节	人工地层冻结技术·····	(140)
第七节	土层可拆锚杆技术·····	(142)
第八节	基坑工程概念设计·····	(143)
第九节	基坑工程计算机模拟·····	(145)
第十节	拱圈支护技术·····	(146)
第十一节	基坑工程稳定分析·····	(149)
第十二节	非圆形大断面灌注桩·····	(150)
第十三节	花管注浆软托换技术·····	(151)
第十四节	逆作法施工·····	(153)
第十五节	基坑工程综合技术及方案优化·····	(154)
第八章	基坑典型工程实例·····	(157)
实例一	桩墙结构设计·····	(157)
实例二	最大最深基坑工程——上海金茂大厦·····	(173)
实例三	北京特深基坑工程——东方广场·····	(179)
实例四	位于广州闹市区基坑工程——荔湾广场·····	(183)
实例五	具有五层地下室基坑工程——广东工商行业务大楼·····	(187)
实例六	广州最深基坑工程之一——金汇大厦·····	(191)
实例七	平面格构式拱撑环基坑工程——天津澳东大厦·····	(194)
实例八	护坡排桩兼作承重墙基坑工程——石家庄福满楼大酒店·····	(197)
实例九	钢支撑体系基坑工程——北京国贸中心·····	(198)
实例十	环梁内支撑基坑工程——中国石油工程公司商业综合楼·····	(201)
实例十一	锚拉护坡桩基坑工程——王府停车楼·····	(204)
实例十二	超大环梁基坑工程——厦门吉祥大厦·····	(207)
实例十三	钢筋混凝土内支撑基坑工程——佛山城市信用社 金融培训中心工程·····	(210)
实例十四	插筋补强支护结构——某 17.7m 深基坑工程·····	(213)
实例十五	钢混地下连续墙围护工程——天津云翔大厦·····	(215)
实例十六	地下连续墙多层锚杆正逆施工基坑工程——天津百货大楼·····	(217)
实例十七	灌注桩加椭圆环梁支撑的深基坑围护工程——太原市电信局 生产调度中心·····	(219)
实例十八	单排灌注桩悬臂支护基坑工程——太原柳南综合大楼·····	(223)
附录 A	基坑支护结构型式·····	(227)
附录 B	部分基坑工程简况·····	(230)
参考文献 ·····		(240)

第一章 概 述

第一节 基坑工程主要内容与特点

一、基坑工程的主要内容

建筑基坑工程是岩土工程的一部分,而岩土工程是近 40 年来在一些发达国家发展起来的一个相对独立于土木工程的专业性技术领域。在工程实践推动下,岩土工程在学术上亦形成了一门新兴的学科。在我国岩土工程技术早已存在,源远流长。但形成一个相对独立的工程技术行业以及新的学科是近 20 年间的事,是执行改革开放政策以来岩土工程体制改革与建设的结果。

建筑基坑工程是指建筑物或构筑物地下部分施工时,需开挖基坑,进行施工降水和基坑周边的围挡,同时要对基坑四周的建筑物、构筑物、道路和地下管线进行监测和维护,确保正常、安全施工的一项综合性工程,其内容包括勘探、设计、施工、环境监测和信息反馈等工程内容。基坑工程的服务工作面几乎涉及所有土木工程领域,如建工、水利、港口、路桥、市政、地下工程以及近海工程等工程领域。

建筑基坑工程是地下基础施工中内容丰富而富于变化的领域。工程界已越来越认识到建筑基坑工程是一项风险工程,是一门综合性很强的新型学科,它涉及到工程地质、土力学、基础工程、结构力学、原位测试技术、施工技术、土与结构相互作用以及环境岩土工程等多学科问题。基坑工程大多是临时性工程,工程经费限制很紧,而影响基坑工程的因素又很多,例如,地质条件、地下水情况、具体工程要求、天气变化的影响、施工顺序及管理、场地周围环境等多种因素影响,可以说它又是一门综合性的系统工程。

建筑基坑工程的设计与施工,既要保证整个支护结构在施工过程中的安全,又要控制结构及其周围土体的变形,以保证周围环境(相邻建筑及地下公共设施等)的安全。在安全前提下,设计要合理,又能节约造价、方便施工、缩短工期。要提高基坑工程的设计与施工水平,必须正确选择土压力、计算方法和参数,选择合理的支护结构体系,同时还要有丰富的设计和施工经验教训。此外,我国的行业建筑基坑工程技术规范与不少省市的地方性基坑工程技术规程也已相继颁布执行,可作为建筑基坑工程设计与施工的重要参考或依据。

建筑基坑工程的发展与建筑业的发展密切相关。由于城市化的快速发展,城市人口超饱和,建筑空间拥挤和城市绿地减少,导致我国的高层建筑如雨后春笋,拔地而起。1980~1989 年 10 年间,我国新建高层建筑 1000 余栋;1990~1991 年两年间新建高层建筑 1000 余栋;1992 年一年就新建高层建筑 1000 余栋,几乎成几何级数递增。从发展趋势看,我国正在建设的高层建筑越来越高,向地下发展越来越深,这对基坑工程提出了严峻的挑战。随着城市建设中高层及超高层建筑的大量涌现,基坑工程越来越多。同时密集的建筑群、大深度的基坑周围复杂的地下设施,使得放坡开挖这一传统技术不再能满足现代城镇建设的需要,因此基坑工程引起了各方面的广泛重视。

特别是 90 年代以来,基坑工程问题已经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，同时也暴露出许多问题。

二、基坑工程的主要特点

1. 基坑工程是与众多因素相关的综合技术，如场地勘察，基坑设计、施工、监测，现场管理，相邻场地施工的相互影响等。基坑设计和施工涉及地质条件、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复杂问题，是理论上尚待发展的综合技术学科。

2. 基坑工程正向大深度、大面积方向发展，有的长度和宽度多达百余米。

3. 随着旧城改造的推进，基坑工程经常在密集的建筑群中施工，场地狭窄，邻近常有必须保护的永久性建筑和市政公用设施，不能放坡开挖，对基坑稳定和位移控制的要求很严。

4. 在软土、高水位及其它复杂条件下开挖基坑，很容易产生土体滑坡、基坑失稳、桩体变位、坑底隆起、支挡结构严重漏水、流土以致破损等病害，对周边建筑物、地下构筑物及管线的安全造成很大威胁。

5. 基坑工程包含挡土、支护、防水、降水、挖土等许多紧密联系的环节，其中的某一环节失效将会导致整个工程的失败。

6. 相邻场地的基坑施工，其打桩、降水、挖土等各项施工环节都会产生相互影响与制约，增加事故诱发因素。

7. 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。

8. 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。

此外，基坑工程是面对各种各样的地基土和复杂的环境条件进行施工作业，还存在以下一些不确定因素：

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）体系的布置和构件的截面特性、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的发现以及周围环境的改变等等，这些事前所未预料的因素都会影响基坑工程的正常施工和使用。

目前在基坑工程中发生工程事故的概率往往高于主体工程。由于存在以上这些不确定因素，很难对基坑工程的设计与施工定出一套标准模式，或用一套严密的理论计算方法来把握施工过程中可能发生的各种变化。目前只能采用理论计算与地区经验相结合的半经验、半理论的方法进行设计。要求现场施工技术人员具有丰富的工程经验和高度的责任感，能及时处理由于各种意外变化所产生的不利情况，只有这样才能最有效地防止或减少基坑工程事故的发生。

第二节 基坑工程发展简况

基坑工程是一项古老的工程技术，又是一门新兴的应用学科。纵观古今、博览中外，作为基坑工程主要内容的工程地质以及岩土力学与基础工程，虽说作为一门单项学科是近六七十年间的事，但它作为一项工程技术早已不自今日始。本世纪 20 年代，K. Terzaghi 的《土力学》和《工程地质学》的先后问世，标志着本学科走向系统和成型，带动了各国学者和工程技术人员对本门学科和技术的各个方面的探索、深入与提高。40 年代 Terzaghi 和 Peck 等人就提出了预估挖土方稳定程度和支撑荷载大小的总应力法。这一理论原理一直沿用至今，只不过有了许多改进和修正。50 年代 Bjerrum 和 Eide 给出了分析深基坑底板隆起的方法。60 年代开始在奥斯陆和墨西哥城软粘土深基坑中使用了仪器进行监测，此后的大量实测资料提高了预测的准确性，并从 70 年代起产生了相应的指导开挖的法规。80 年代初我国逐渐涉入深基坑设计与施工领域，进入 90 年代为了总结我国深基坑工程设计与施工经验，一些单位开始着手编制深基坑工程设计与施工的有关规程和法规。

目前，随着科技的发展，特别是电子计算机的广泛应用，极大地推动了岩土工程界（其中深基坑工程也不例外），各种新的设计计算理论和先进的测试技术不断地被用到建筑基坑工程中，室内外的调查和测试正在实现着半自动化和自动化，有效地减轻了劳动，提高了效率；岩土工程中非线性计算和数值分析方法得以具体操作和实现，促进了岩土本构关系和计算从线性向非线性这一质变的过渡；而岩土工程监测技术（包括测试手段、方法与工具）的进步，加速了基坑工程中信息化施工的推行，反过来又迅速提高了人们对基坑工程设计方法和理论的认识，建筑基坑工程的设计原则正从强度破坏极限状态向着变形极限状态控制发展。目前有一部分内容正试行着向概率极限状态（可靠性设计方法）控制的新的方向发展，以便尽早与已经按照可靠性原则进行设计的上部结构设计方法相匹配。近年来，大、重型机械制造技术，特别是美、日及欧洲发达国家的大功率、强动力施工机械和大型静动态测试仪器的问世，更加推动了基坑工程理论与技术的迅速发展；而在法、意、日等国家率先使用的新的基础施工法（如 SMW 工法等）的相继问世，又极大地发展了软土开挖与围护的技术。尤其是我国贯彻执行改革开放政策以来的近 20 年间所形成的开放大市场和与国际接轨的外向型运作，使我国的基坑工程领域的发展形成了东西方模式并存的独特格局，而在技术进步和发展上，又存在着地域上的不平衡。随着改革开放和经济建设高潮的兴起，许多城市新建和进行改建、扩建，特别是近年在沿海开放城市中高层建筑的大量兴建或地下空间的逐渐开发和利用，基坑工程的设计和施工技术的开发和实践，形成了近年国内岩土工程建设项目的热点。多种形式的围护结构，如排桩挡土、排桩与水泥土复合围护、水泥土搅拌桩支挡、引进的 SMW 工法以及地下连续墙等，已经逐步打破了以前单一的板桩（钢板桩、混凝土板桩等）围护的模式而形成了多样化格局，呈现出前所未有的技术与更新发展的势头。

在城市密集的建筑群中建造高层建筑物，对基坑工程技术提出了更高、更严的要求，不仅要确保边坡的稳定，而且要满足变形控制的要求，以确保基坑周围的建筑物、地下管线、道路等的安全。为了准确估计由于基坑开挖引起的土体和支撑系统的变形，一方面依赖于成功地应用有限元等现代化的分析计算工具，另一方面依赖于获得土计算参数的正确性。常规的室内试验方法已不足以确定预估位移的关键参数。只有把室内试验与原位测试技术结合起来才能解决这个问题。目前在基坑围护设计中，仍然采用朗肯土压力理论，采用有限元进行数值计算，把整个基坑围护结构视作平面问题来计算，如果基坑形状并非长方形必然会产生不

合理的计算结果，甚至无法计算，此时只能依靠经验解决。随着土压力理论的进一步研究，计算技术的发展，实践经验的积累，已发展了一些新的能考虑基坑围护结构的土压力作用和非线性变化的理论和计算方法（如基坑围护结构的土压力非线性共同作用理论，即非线性地基竖向梁与土体共同作用理论和弹簧补偿迭代法等）。

基坑工程随着地区岩土性质不同而有很大差异，所以基坑工程技术有着“先实践，后理论”和“地区性”特点。我国各地区的基坑工程技术正在不断地发展和完善。近年来已出现了许多新的围护结构形式与稳定边坡的方法。维护边坡稳定传统的做法是板桩支撑系统或板桩锚拉系统。这些传统的方法优点是支撑材料可以回收，但却存在许多致命的弱点，如支撑往往是在开挖之后施加的，以致变形难以避免；拔出板桩时仍旧会引起边坡土体的进一步变形等。因此，在建筑物密集的城区或周围有建（构）筑物及地下设施的场地，选用传统的方法受到许多限制，处理不当还会酿成事故，这些例子是很多的。发生这些基坑工程事故固然是痛心的，但也从反面教育了岩土工程师去重视、去研究、去改进。从某种意义上讲，这些工程事故也是对岩土工程技术进步的促进和提高。

基坑工程技术另一个重要进展（在某种意义上可能是最重要的）是岩土工程信息化施工技术作业的运行。信息化施工原理和环境效应问题被人们所注意、关心，以致被接受并付诸行动，这不仅是岩土工程技术本身的进步，更是工程界直至社会各方面在岩土工程总体意识上的更新、进步和延伸，已日益表现在岩土工程领域各类行为信息的反馈、监测、监控和监理等各项工作及信息数据的及时处理（包括计算机的应用）和技术与管理措施的及时调整等，岩土工程监测技术的进步和发展，则是岩土工程信息化得以实施的强有力的物质基础和技术保障。前者具体表现在两方面：一是监测方法及仪器本身的进步。现代物理，特别是电子技术的成就已广泛应用于新型监测仪表之中，如压力盒、远视沉降仪、各类孔压仪以及测斜仪等的设计与制作，优化了仪表结构性能，提高了精度和稳定性。二是监测内容的不断扩大与完善。分析方法的不断提高，如土体竖向位移和侧向位移、土体侧向压力、孔隙水压力以及施工环境诸因素和对对象的反应监控等都能较全面地得到实施。而后者促进了前者的技术更新与改进，前者又为后者的实施提供了技术手段的保证。监测用于施工，保证和控制了施工质量，防止了事故（特别是灾难性事故）的发生，保护了环境安全，从而使我国的岩土工程设计施工整体水平得到很大的提高，也为我国岩土工程与国际惯例接轨准备了基础条件。

第三节 基坑工程支护结构分类

建筑基坑支护结构通常可分为桩（墙）式支护体系和重力式支护体系两大类；根据不同的工程类型和具体情况这两类又可派生出多种支护结构型式，如图 1-1 至图 1-3。

桩（墙）式支护体系一般有围护墙结构、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）式支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）式支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，经过验算也可采用无支撑、无锚杆的悬臂状桩（墙）式支护体系。

重力式支护体系一般是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，重力式支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支护体系以及格构式地下连续墙一般都归在重力式支护体系中,其受力性能类似于悬臂状的桩(墙)式支护结构,但在桩(墙)式支护结构中一般不计墙体自重及墙底摩阻力对墙体稳定的影响。

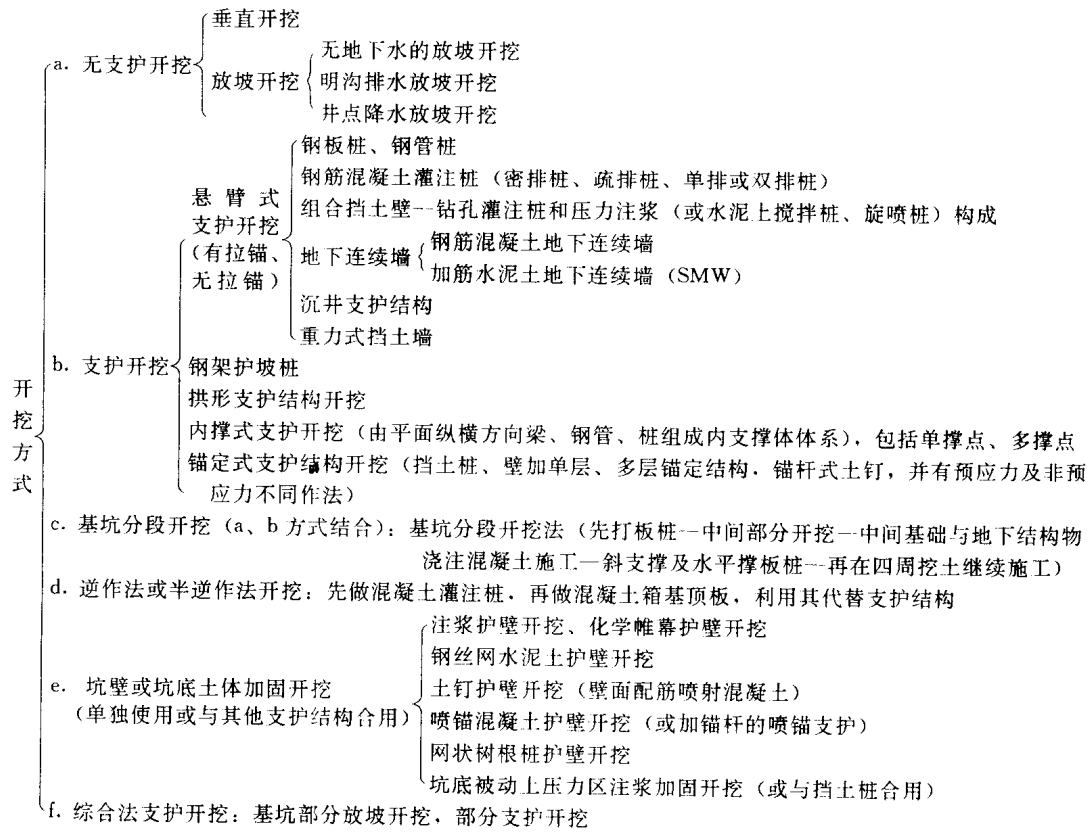


图 1-1 按开挖方式分类

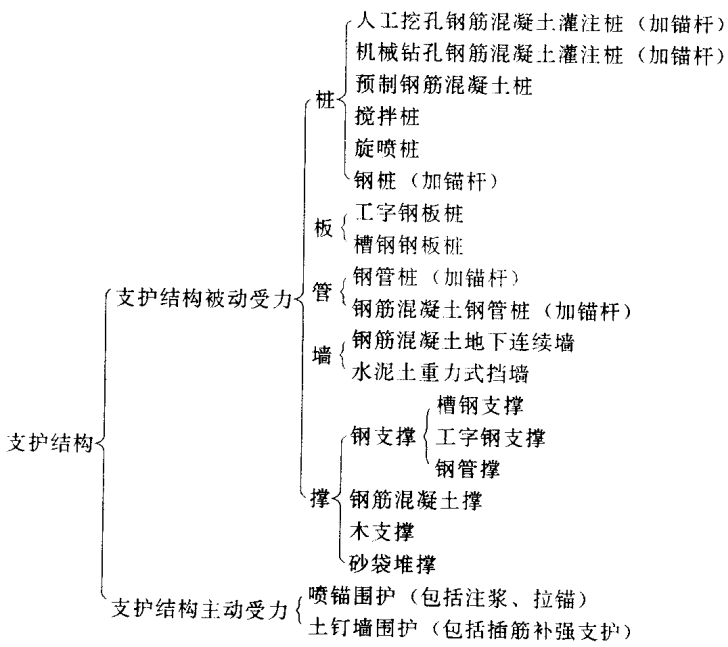


图 1-2 按支护结构受力特点分类

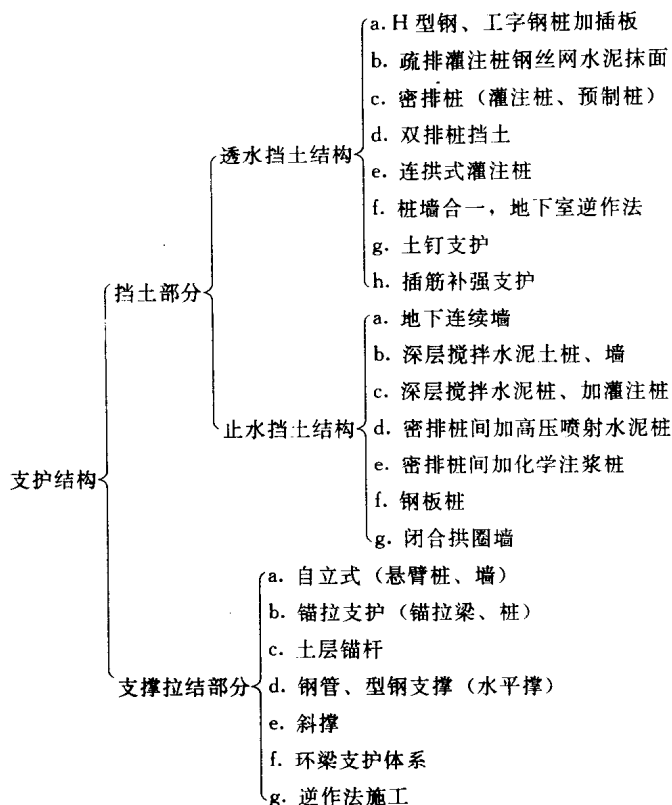


图 1-3 按挡土挡水和支撑锚拉结构分类

第四节 基坑工程设计内容

基坑工程设计前所取得的资料应满足《建筑基坑工程技术规范》（YB9258-97）3.0.1～3.0.2 的有关规定。在基坑工程设计中应包括支护体系选型、围护结构的强度、变形计算、场地内外土体稳定性、渗透稳定性、降水要求、挖土要求、监测内容等，应注意避免“工况”和“计算项目”两方面可能的“漏项”，从而导致基坑失误。在施工过程中，尤其在软土地基中施工时，应该研究挖土的方法、过程以及支撑与挖土的配合。设计的基坑工程基本功能应满足：地下工程施工空间要求及安全；主体工程地基及桩基安全及环境安全（包括相邻建筑物、构筑物及地下共用设施等）。基坑工程设计与施工工作程序可参考图 1-4 所示的步骤进行。

一、支护体系选型

支护体系选型：包括围护墙体和支撑（或锚杆）结构两个体系所用材料和型式的选择及布置方式（可参见附录 A）。应该根据工程规模、主体工程特点、场地条件、环境保护要求、岩土工程勘察资料、土方开挖方法以及地区工程经验等因素，经综合分析比较，在确保安全可靠的前提下，选择切实可行、经济合理的方案。

围护墙体和支撑结构的布置应遵循以下原则：

1. 基坑支护结构的构件（包括围护墙、隔水帷幕和锚杆）在一般情况下不应超出工程用地范围。否则应事先征得政府主管部门或相邻地块业主的同意；
2. 基坑支护结构构件不能影响主体工程结构构件的正常施工；
3. 有条件时基坑平面形状尽可能采用受力性能较好的圆形、正多边形和矩形。

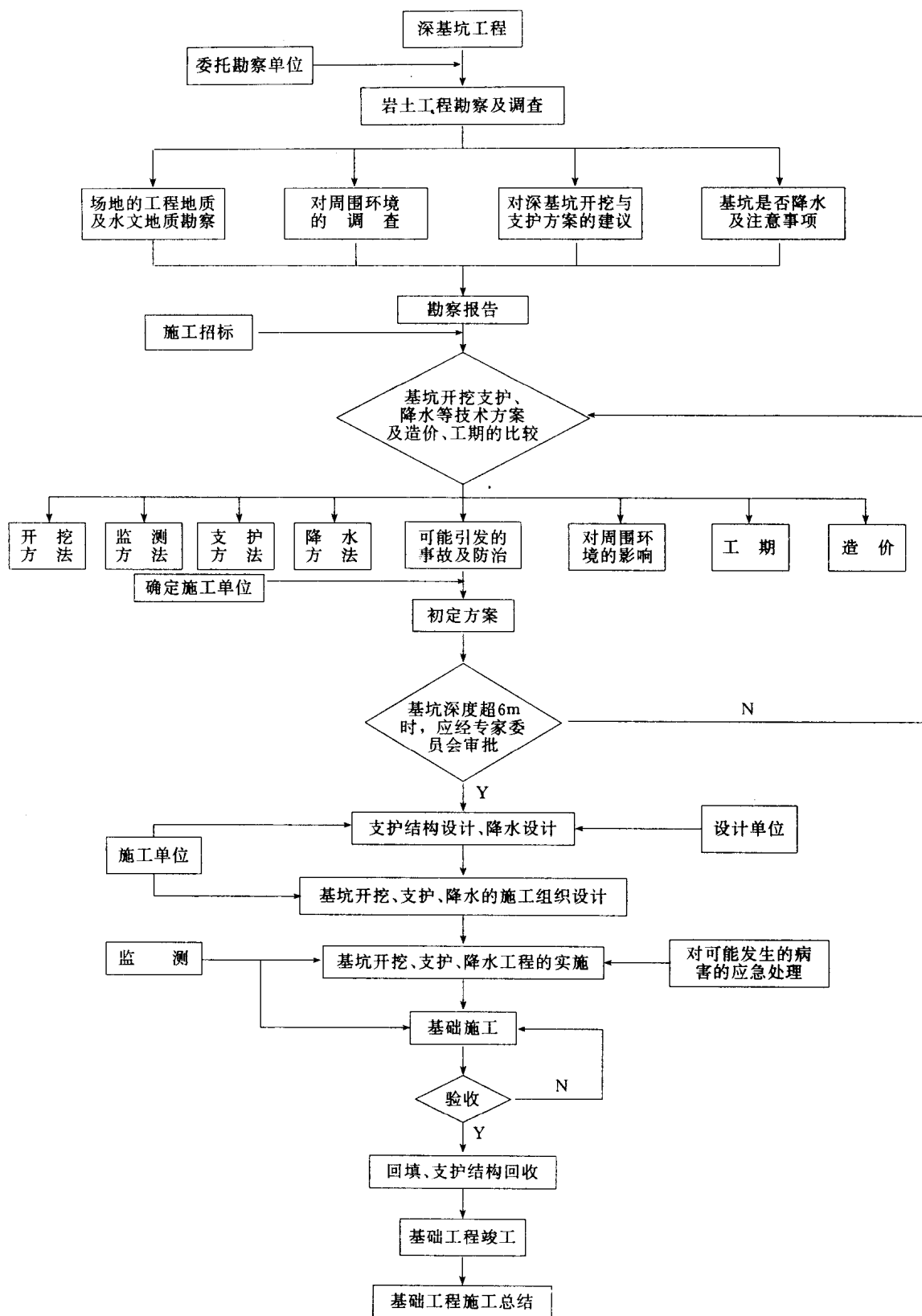


图1-4 基坑设计与施工工作程序

二、支护结构设计计算

通过设计计算确定支护结构构件的内力和变形，用于验算截面承载力和基坑位移。计算模型的假设条件必须符合支护结构的具体情况，所采用的有关参数应根据工程的具体条件和地区的工作经验确定。由于支护结构的内力和变形随着施工的进展而不断变化，因此设计计算必须按不同施工阶段的特征分别进行验算，同时应考虑前一种工况对后面各种工况内力和变形的影响。

三、极限状态下基坑支护结构稳定性验算

基坑工程的极限状态应分为承载力极限状态和正常使用极限状态。承载力极限状态包括土体稳定、围护结构破坏和支撑锚固系统失效；正常使用极限状态包括基坑变形不影响相邻地下结构，相邻建筑、管线和道路等正常使用。

稳定性验算通常应包括以下内容：

1. 基坑边坡总体稳定验算。防止由于围护墙插入深度不够，使基坑边坡沿着墙底地基中某一滑动面产生整体滑动。
2. 围护墙体抗倾覆稳定验算。防止开挖面以下地基水平抗力不足，使墙体产生绕前趾倾倒。
3. 围护墙底面抗滑移验算。防止墙体底面与地基接触面上的抗剪强度不足，使墙体底面产生滑移。
4. 基坑围护墙前抗隆起稳定验算。防止围护墙底部地基强度不足，产生向基坑内涌土。
5. 抗渗流验算。在地下水较高的地区，在基坑内外水头差或者坑底以下可能存在的承压水头作用下，防止由于地下水竖向渗流使开挖面以下地基土的被动抗力和地基承载力失效。
6. 基坑周围地面沉降及其影响范围的估计。

以上各项稳定验算内容都与围护墙的插入深度有关，最后确定的围护墙埋入深度应同时满足以上各项验算要求。以上第（2）、（3）项验算主要针对重力式围护墙，对于有支撑或锚拉的桩墙支护结构，也应验算墙前被动压力，防止墙体下部产生过大变形。

支护结构稳定验算是在变形极限状态下的验算，所以都用主动土压力和被动土压力值进行计算。影响支护结构稳定的外界因素很多，各种变形现象往往不是完全独立存在的。目前一般都采取控制安全度的方法，用半经验、半理论公式分项验算，有时对同一个项目还要用多种方法进行验算，以达到总体上的稳定。

四、节点设计

在基坑工程中，经常发生由于支护结构局部节点构造不合理或由于施工不注意而导致基坑过大变形，甚至危及整体安全。因此必须充分重视节点设计这一环节。合理的节点构造应符合以下条件：①方便施工；②节点构造与设计计算模型中的假设条件一致；③节点构造应起到防止构件局部失稳的作用；④尽可能减少节点自身的变形量；⑤与整体稳定相关的节点应设置多道防线，同时要有良好的节点延性。

五、井点降水

在地下水位较高的地区，降水是基坑设计必须考虑的一项内容，可以分为基坑内降水和基坑外降水两种情况。放坡开挖或无隔水帷幕的支护开挖通常在基坑外降水；围护墙设置隔水帷幕时通常采取坑内降水。降水深度通常控制在基坑开挖面以下 0.5~1.0m，过深时容易引起渗流所带来的不利影响。常用的井点类型有轻型井点、多级轻型井点、喷射井点及深井井点，应该根据基坑规模、开挖深度和土层渗透性并结合地区经验选择。当基坑开挖深度小

于 3m 时，通常可采用明沟排水，大于 3m 时宜采用井点降水。

六、土方开挖

不适当的开挖方式往往是造成基坑事故的重要原因，支护结构设计一方面应为土方开挖创造条件，同时应对开挖方式提出要求。其中最重要的要求是每阶段的开挖深度与相应设计工况的计算模型一致，强调先支撑（或锚定）后开挖的原则。每次挖到规定深度后，应及时架设支撑，一般情况下不宜超过 48h，以防地基土塑性变形的发展。对于大型基坑应结合主体工程情况，采取在平面上分段，深度上分层的开挖方式，这样可以较为有效地减少事故的发生和对环境的影响。

七、监测

基坑工程的监测内容一般包括以下几方面：①支护结构主要构件的内力和变形，如支撑轴向力测定，墙顶的水平位移和垂直位移，墙体竖向的变形曲线测定，以及立柱的沉降或回弹等；②基坑周围土体的变形、边坡稳定以及地下水位的变化和空隙水压力的测定等，必要时还应测定坑底土的回弹情况；③对周围环境中需要保护的对象进行专门内容的观察和测定，如基坑附近的建筑物或构筑物，重要历史文物以及市政管线（包括煤气管、上下水管、通讯电缆、高压电缆等）和道路、桥梁、隧道等。通过监测可以验证支护结构设计的合理性。监测工作是基坑工程中不可忽视的一项重要工程内容。

第五节 基坑工程安全等级

基坑工程支护结构应该与其它建筑设计一样，要求在规定的时间内和规定的条件下完成各项预定功能，即：①能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种功能；②在正常情况下，具有良好的工作性能；③在偶然的不利因素发生时和发生后，支护结构仍能保持整体稳定。此外，基坑支护结构还有以下特点：

1. 当支护结构仅仅作作为地下主体工程施工所需要的临时性措施时，其使用时间不长，一般不超过 2 年。而一般建筑结构所规定的设计基准期通常为 50 年。设计基准期的长短关系到对结构材料的耐久性要求和对发生偶然事件的概率统计等方面的问题。在地震区通常可不考虑地震力对支护结构的作用。

2. 基坑支护结构的理论研究目前尚不完备，满意的工程实测资料很少，因此还没有条件能够像建筑结构那样通过对材料性能、荷载作用及结构效应等方面统计分析得出结构可靠性的概率指标。

为了区别对待各种不同的情况，《建筑基坑工程技术规范》(YB9258-97) 根据结构破坏可能产生的后果严重程度（包括对主体工程和环境的危害程度、危及人的生命安全、造成的经济损失和社会影响的严重性等），把基坑划分为不同的安全等级，见表 1-1。基坑等级的划分是一项复杂的问题，在设计与施工经验还有待进一步积累的条件下，为了确保基坑安全，适当提高安全等级仍然是必要的。《建筑基坑工程技术规范》(YB9258-97) 还根据工程性质、水文地质条件、基坑开挖深度及规模，把基坑划分为复杂、中等和简单三种等级。在软土地区，以一层、二层、三层地下室一般具有的深度划分为三种等级，见表 1-2。

基坑工程尽管已经积累了大量成功的经验和不少失败的教训，鉴于地基和基坑工程的复杂性，设计、施工除了应遵循一般性原则外，“因地制宜”仍然是基坑工程取得成功的重要原则之一，因此，应遵循本地区规范和规程，重视本地区及类似土质、工程条件下已有的经验及教训。除此之外，施工监测在基坑工程中有其突出的重要意义，尤其在地质条件复杂，相

邻环境保护要求严格的情况下，更必须重视信息化施工。

表 1-1 安全等级

安 全 等 级	破 坏 后 果
一	很严重
二	严 重
三	不严重

表 1-2 软土地区按深度划分复杂程度

深 度 (m)	复 杂 程 度
$H \leq 6$	简 单
$6 \leq H \leq 12$	中 等
$H \geq 12$	复 杂

第二章 基坑工程设计计算

基坑工程的设计计算通常包括支护体系选型、围护结构的强度、变形计算、坑内外土体稳定性计算、渗流稳定性计算、降水要求、挖土要求和监测内容等。在施工中要确定挖土方法，挖土及支撑的施工流程。

第一节 作用于支护结构上的荷载

通常情况下，作用在支护结构上的荷载有：土压力、水压力、施工荷载、地面超载、结构自重、支撑预压力、温度变化和周围建筑物引起的侧向压力，当围护结构作为主体结构的一部分时还应考虑人防和地震荷载等，此外，还应考虑其它不利于基坑稳定的荷载。

一、土压力

土压力是指土体作用在围护墙上的侧向土压力，在基坑工程问题中是一个重要的设计参数。通常是由土的自重和地面荷载产生的。土压力的大小与土的密度、土的抗剪强度、支护结构侧向变形的条件以及墙与土界面上的摩擦力等因素有关。根据桩墙的变位情况，作用在围护墙墙背上的土压力可分为静止土压力、主动土压力、被动土压力。其定义分别为：

静止土压力：指墙体未产生变位前作用在墙背上的土压力。其相应的土压力系数称为静止土压力系数，以 K_0 表示。静止土压力可以根据直线变形体无侧向变形理论或近似方法求得，土体内相应的应力状态称为弹性平衡状态。

主动土压力：指围护墙产生离开土体方向的位移时作用在墙背上的土压力。其相应的土压力系数称为主动土压力系数，以 K_a 表示。此时土体内相应的应力状态称为主动极限平衡状态。

被动土压力：指围护墙产生向着土体方向的位移时作用在墙背上的土压力。其相应的土压力系数称为被动土压力系数，以 K_p 表示。此时土体内相应的应力状态称为被动极限平衡状态。

自然状态土体内水平有效应力，可认为与静止土压力相等。

主动土压力是土体作用在墙上的最小土压力，被动土压力是土体作用在墙上的最大土压力。这两种土压力与支护结构的变形有关，分别对应墙后土体处于两种不同极限平衡状态时作用在墙背上并可计算的两个土压力。至于介于这两个极限平衡状态之间的情况，除静止土压力这一特殊情况外，由于填土处于弹性平衡状态，是一个超静定问题，目前还无法计算其相应的土压力。如图 2-1 所示。实际土压力往往是介于这三种土压力之间，在有些规范中使用“动用土压力”、“过渡土压力”或中间土压力来表示这三种状态。

设计时应根据挡土结构的实际工作条件，主要是墙身的位移情况，决定采用哪一种土压力作为计算依据。一般基坑围护结构的上部分由于受到墙后土的作用和地基变形，总要转动向前移动，这些微小的转动或移动将足以使作用在墙背上的土压力接近于主动土压力，所以设计时多按主动土压力计算。于此同时基坑围护结构的下部分由于结构向坑内的可能位移，使土体处于被动受压状态，产生被动土压力以维持结构的平衡作用。