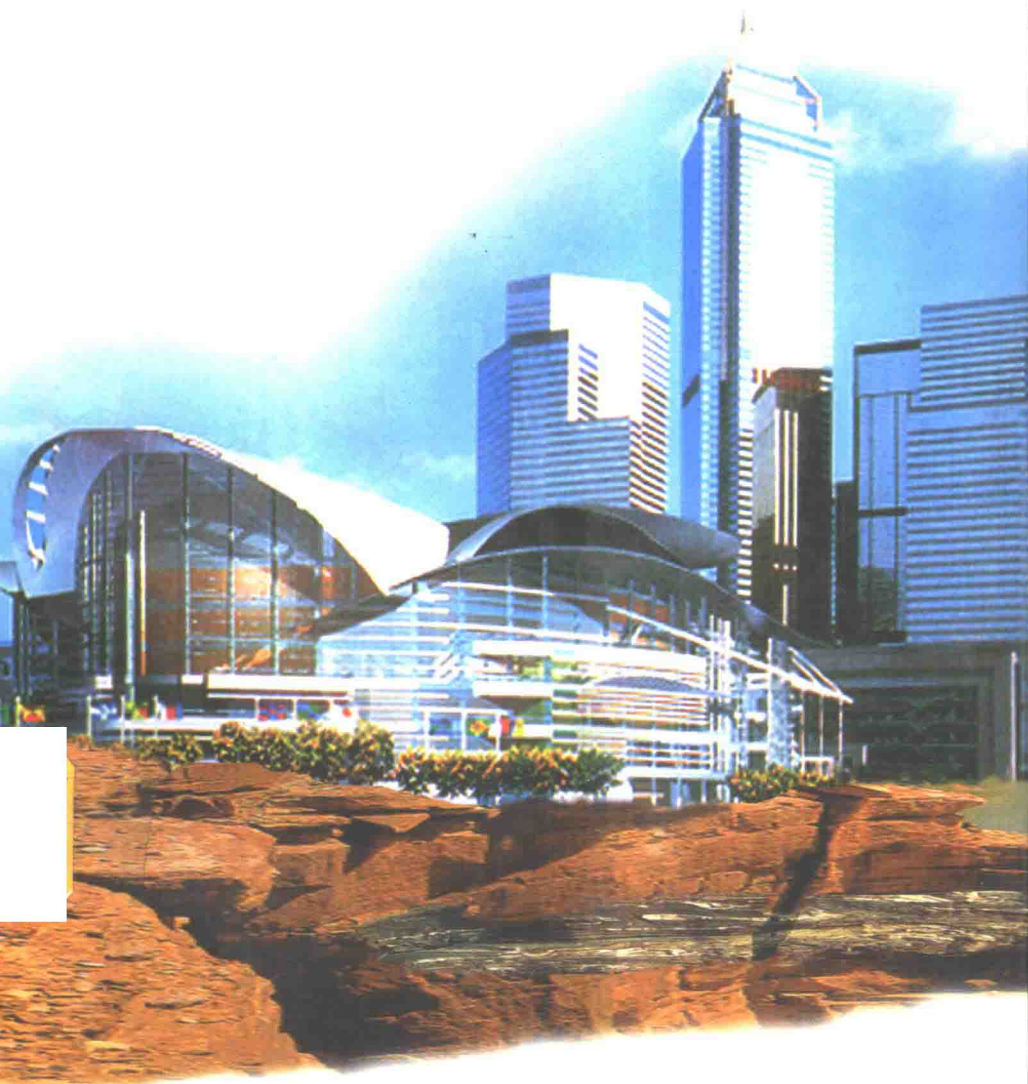


岩土工程设计计算与施工丛书 5

深基坑开挖与支护工程 设计计算与施工

彭振斌 主编



中国地质大学出版社

岩土工程设计计算与施工丛书 5

深基坑开挖与支护工程设计 计算与施工

中国地质大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

深基坑开挖与支护工程设计计算与施工/彭振斌主编;张可能编.
—武汉:中国地质大学出版社,1997.7
(岩土工程设计计算与施工丛书·5)
ISBN 7-5625-1161-6

- I. 深…
- II. ①彭…②张…
- III. ①深基础-清除开挖②深基础-围堰
- IV. TU473

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 11713 号



出版发行 中国地质大学出版社 (武汉市喻家山·邮政编码 430074)
责任编辑 吴巧生 责任校对 杨霖
印刷 湖北省地质图印刷厂
经销 湖北省新华书店

开本 850×1168 1/32 印张 4.5 字数 120 千字
1997 年 7 月第 1 版 1997 年 7 月第 1 次印刷 印数 1—5000 册
定价: 6.50 元

岩土工程设计计算与施工丛书编写委员会

主 编：彭振斌

副主编：张可能 陈昌富

委 员：彭振斌 张可能 陈昌富 隆 威

王殿江 许宏武 胡焕校

编 者 的 话

近几年来，随着国民经济的高速增长，建筑工程、铁路公路工程、水利水电工程、桥涵码头工程等建设项目如雨后春笋般蓬勃兴起，迅速发展。岩土工程作为各种建设工程的前期和基础性工作，经过广大科技工作者和工程人员进行理论上的探讨、设计方面的创新、先进技术的推广和应用、施工经验的总结等，从勘察、设计到施工、监理和监测技术均已达到一个新的水平，工程质量也不断提高。但由于我们国家地域辽阔，地质条件复杂，建设工程多、分布面积广，施工队伍的素质、技术参差不齐，以及岩土工程本身具有多样性的特点，在工程实践中，仍然存在不少技术和质量问题，有的甚至造成了重大事故。因此，如何更好地总结已有的科研成果、总结施工经验、推广先进技术、提高工程质量，仍是摆在岩土工程工作者面前的一项艰巨任务。为此我们组织编写了岩土工程设计计算与施工丛书。

该丛书主要读者对象是从事岩土工程勘察、设计、施工、监理和监测的工程技术人员，也可作为相近专业人员和有关院校师生的参考书。

岩土工程设计计算与施工丛书共分六册，包括《灌注桩工程设计计算与施工》、《托换工程设计计算与施工》、《锚固工程设计计算与施工》、《深基坑开挖与支护工程设计计算与施工》、《注浆工程设计计算与施工》、《地基处理工程设计计算与施工》。其中：《灌注桩工程设计计算与施工》和《托换工程设计计算与施工》由中南工业

大学资源环境与建筑工程学院彭振斌同志编写;《锚固工程设计计算与施工》一书由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所陈昌富同志编写;《深基坑开挖与支护工程设计计算与施工》一书由中南工业大学张可能同志(现为湖南大学土木工程系土木·水利学科博士后科研流动站博士后)编写;《注浆工程设计计算与施工》一书的第一章“绪论”、第四章“注浆设计计算”和第五章“注浆施工工艺”和第六章“质量检查”由彭振斌同志编写,第二章“注浆材料”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所胡焕校同志编写,第三章“注浆设备及器具”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所许宏武同志编写;《地基处理工程设计计算与施工》一书的第一章“绪论”和第四章“桩基处理”由彭振斌同志编写,第二章“换填法处理”、第三章“强夯法处理”和第六章“排水固结处理”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所王殿江同志编写,第五章“深层搅拌法”由许宏武同志编写,第七章“土的加筋技术——加筋土挡墙”由张可能同志编写,第八章“地下连续墙”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所隆威同志编写,该册由王殿江同志负责编审。该套丛书由彭振斌同志任主编。

该套丛书得到了全国各有关专家的大力支持,并提供了许多资料和宝贵的意见,特别是中国地质大学出版社、中南工业大学出版社均给予了很多帮助。在编写过程中也参阅了许多书刊杂志。编者借此向所有为本套丛书做出贡献的同志致以衷心的感谢。

由于各册书各章节是分头编写,为了适应工程上的需要,争取早日与读者见面,难勉有不足之处,诚恳希望读者提出宝贵意见,谢谢。

岩土工程设计计算与施工丛书编写委员会

1996. 9.

目 录

第一章 概述.....	(1)
第一节 深基坑支护工程的发展及一般特点.....	(1)
第二节 深基坑支护工程的结构型式.....	(4)
一、悬臂式支护结构.....	(4)
二、混合式支护结构.....	(5)
三、重力式挡土墙结构.....	(5)
四、拱圈式支护结构.....	(7)
第三节 深基坑支护工程设计与施工技术的应用与发展.....	(8)
第二章 土压力理论与侧向土压力计算	(11)
第一节 基坑支护结构、位移与土压力状态分析	(11)
第二节 库伦土压力理论	(14)
一、一般公式	(14)
二、粘性填土、超载和地下水对土压力的影响	(18)
第三节 朗肯土压力理论	(21)
一、基本理论	(21)
二、一般公式	(23)
三、朗肯土压力理论计算土压力的一些特殊情况	(27)
第四节 静止土压力计算	(30)
第五节 分层土压力计算	(31)
第三章 悬臂式支护结构	(33)
第一节 一般特点及适应性	(33)
第二节 布鲁姆计算法	(34)
第三节 悬臂板桩的一般数解法	(36)

第四节	悬臂桩的“ m 法”计算	(40)
附表	换算系数表	(48)
第四章	混合支护结构	(54)
第一节	单支点混合支护结构	(54)
一、	支点设于桩顶处的支护结构	(54)
二、	上部支点在任意处,下部简支挡土桩支护结构	(57)
第二节	多支点混合支护结构	(58)
一、	等值梁法	(59)
二、	二分之一分割法(近似法)	(60)
第五章	双排桩支护结构	(62)
第一节	双排桩支护结构的一般要求	(62)
第二节	设计计算	(63)
一、	计算模型	(63)
二、	侧向土压力	(64)
三、	内力计算	(77)
第六章	重力式挡土墙支护结构	(80)
第一节	水泥土挡墙支护结构	(80)
第二节	土钉支护结构	(84)
一、	概述	(84)
二、	土钉的类型、特点及适用性	(85)
三、	土钉与加筋土挡墙、土层锚杆的比较	(87)
四、	加固机理	(90)
五、	设计计算	(92)
六、	施工技术	(100)
第七章	基坑稳定性分析与计算	(105)
第一节	地基稳定验算法	(106)
第二节	地基强度验算法	(106)
第三节	同时考虑 c 、 φ 的抗隆起验算法	(109)

第四节	Caguot 验算基坑稳定性公式	(110)
第五节	管涌验算	(111)
第六节	基坑周围土体变形计算	(113)
第八章	深基坑开挖地下水处理	(116)
第一节	地下水处理方法与基本要求	(116)
一、	地下水处理方法	(116)
二、	深基坑地下水处理设计应具备的资料	(116)
三、	方案的选择与设计	(117)
四、	地下水处理工程复杂程度的划分	(117)
第二节	基坑明沟排水设计施工	(118)
第三节	降水设计施工要点	(119)
一、	降水的目的	(118)
二、	降水种类	(119)
三、	深井降水的工作程序	(122)
第四节	隔渗设计	(123)
一、	隔渗的一般规定	(123)
二、	落底式竖向隔渗设计施工要点	(123)
三、	悬挂式竖向隔渗设计施工要点	(124)
四、	水平封底设计施工要点	(124)
第九章	深基坑支护工程的监测与维护	(126)
第一节	深基坑支护工程的监测	(126)
第二节	深基坑支护工程的维护与加固	(129)
主要参考文献	(131)

第一章 概 述

近年来，城市高层建筑愈来愈多。大多数高层建筑的基础埋置深度较大，以满足抗震设计的要求，同时利用地下空间，建造地下车库、商场、仓库和人防设施等，从而，建筑深基坑的开挖和支护便成了一个突出的问题。

深基坑的支护，不仅要保证基坑内能正常安全作业，而且要防止基底及坑外土体移动，保证基坑附近建筑物、道路、管线的正常运行。近年来，随着我国大量兴建的高层建筑深基坑的成功施工，深基坑支护工程的技术水平得到了迅速提高，积累了比较丰富的经验，但也有不少教训。当前迫切需要解决的问题是：如何以比较低的经济代价，在比较短的时间内实现安全的基坑开挖；加快支护技术的开发，为更深的多层地下室施工提供新的技术和安全保证。

第一节 深基坑支护工程的发展及一般特点

近几十年来，世界上很多国家，如美国、日本、法国、意大利、德国和瑞典等，先后发展了多种深基坑开挖支护的施工技术、专用设备或专门工艺，对此类工程问题制定了国家级的规程规范。一些国家先后成功地进行过在各种复杂的环境条件下深度较大（有些深度大于30m）的基坑开挖，取得了宝贵的经验。近年来，随着城市

建设的发展，在我国的若干大城市中，也先后进行了一些不同类型的深基坑的开挖与支护工程，有些地区，如武汉、上海、深圳等城市的建设主管部门还编制出了一些适合于本地特定工程地质条件下的规范或指南。国家标准《岩土工程勘察规范》(GB50021--94)，也编入了有关的内容。

最早提出分析方法的是太沙基(Terzaghi)和佩克(Peck)等人，他们早在40年代就提出了预估挖方稳定程度和支撑荷载大小的总应力法。这一方法一直沿用至今，只不过有了许多改进与修正。50年代，Bjerrum和Eidr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。从80年代初开始我国逐步涉入深基坑设计与施工领域，在深圳市的一个深基坑支护工程率先应用了信息施工法，大大节省了工程造价。进入90年代后，为了总结我国深基坑支护设计与施工经验，开始着手编制深基坑支护设计与施工的有关法规。

在建筑密集的城市中兴建高层建筑、地下车库、地下铁道或地下车站时，往往需要在狭窄的场地上进行深基坑的开挖。由于场地的局限性，在基坑平面以外没有足够的空间安全放坡，人们不得不设计规模较大的开挖支护系统，以保证施工的顺利进行。这种开挖与支护工程虽然也属于土木工程、岩土工程的范畴，但是，它具有以下一些基本特点：

(1) 主要高层、超高层建筑都集中在市区。市区的建筑密度很大，人口密集，交通拥挤，施工场地狭小，因此，其施工的条件往往很差。

(2) 为了节约土地，在工程建设中要充分利用基地面积，地下建筑物一般占基地面积90%，紧靠邻近建筑，还要充分利用地下空间，设置人防、车库、机房、仓库等各种设施。基础深度越来越大，地下基坑的开挖深度由一层发展到二层，甚至三层，越来越深。因

此，深基坑开挖与支护工程的施工难度往往比较大。

(3) 深基坑的施工，对周围环境势必有所影响。因此，除了确保深基坑的自身安全外，还要尽量减小对周围环境的影响，这是深基坑施工中的一个很大的难题：不单要考虑对邻近建筑物的影响，还要考虑对周围地下的煤气、上水、下水、电讯、电缆等管线的影响。

随着旧城改造工程的推进，对深基坑开挖技术提出了更高、更严的要求，即不仅要确保边坡的稳定，而且要满足变形控制的要求，以确保深基坑周围的建筑物、地下管线、道路等的安全。为了准确估计由于开挖引起的土体和支护系统的变形，一方面依赖于成功应用有限元等现代分析工具，一方面依赖于土的计算参数的准确性。常规的室内试验方法已不足以确定预估位移关键参数——土的刚度，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。

与分析计算方法的进步相对应的是基坑开挖技术，特别是支护技术的日趋完善，并出现了许多新的支护结构形式与稳定边坡的方法，传统的做法是板桩支撑系统或板桩锚拉系统。这些方法的优点是支撑材料可以回收，但却存在许多致命弱点，诸如支撑往往是在开挖之后施加的以致变形难以避免；拔出板桩时仍然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，选用传统方法受到许多限制，处之不当还常常会酿成事故。

(4) 深基坑支护工程大多为临时性支护工程。因此，在实际处理这个问题时，常常得不到建设方应有的重视。

因此，我们可以认为：深基坑开挖与支护工程是一个系统工程，不仅涉及到工程地质和水文地质、工程力学与工程结构、土力学与基础工程，还涉及工程施工与组织管理，是融多种学科知识于一体的综合性科学。

第二节 深基坑支护工程的结构型式

支护结构的型式多样。为适应不同的地质及环境条件，设计者针对不同的工程实际，往往会根据当地建筑材料、施工条件等设计出不同的结构型式。根据支护结构受力特点，考虑设计计算模式，本书将基坑支护结构主要分为四大类：悬臂式支护结构、混合支护结构、重力式挡土墙结构、拱圈式支护结构。

一、悬臂式支护结构

悬臂式支护结构是利用基坑底面以下土体提供的土压力来维持支护体系的平衡的一种结构。它类似于悬臂梁，一般用于深度不太大的基坑支护工程，其主要结构型式有下列几种：

(一) 桩排支护结构

1. 稀疏桩排

当边坡土质较好，地下水位较低时，可利用土拱作用，以稀疏桩排支挡边坡。

2. 连续桩排

对于不能形成土拱作用的软土边坡，支护桩必须连续密排。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和树根桩把钻孔桩排连接起来，从而形成一种既能挡土又能防渗的简易连续墙。

3. 双排桩

当土质软弱或开挖深度较大时，单排桩的横向刚度往往不能满足控制变形的要求。这时，可采用双排桩通过桩顶盖梁联成门式刚架式的整体，这种框架式桩排具有较大的侧向刚度，可以有效地限制边坡的侧向变形。

4. 组合式桩排

(1) 主桩与挡板组合：这实际上也是一种稀疏桩排支挡，只是桩距较大，利用挡板把桩间土的侧压力传递给主桩，同时起到一定的防渗作用。

(2) 主桩与水泥土拱组合：以水泥搅拌桩相互搭接组成平面拱代替挡板，把侧压力传递给主桩。这种支挡具有较好的防渗效果，施工更方便，适用于更深的基坑。

(3) 桩排与水泥土防渗墙组合：在地下水位高的软土地区，防渗是保证基坑支护成功的重要一环。采用稀疏桩排（单排或双排）挡土，水泥搅拌桩排防渗的组合结构被证明是经济有效的一种支护形式。

(二) 地下连续墙

地下连续墙的优点是对周围环境影响小、对地层条件适应性强、墙体长度可任意调节。它适用于各种深度的基坑开挖，即可将地下连续墙作为支护结构，又可作为主体结构，从而大大降低工程造价，还可采用逆作法施工，减少对环境和地面交通等的影响。地下连续墙作为支护结构，具有抗弯刚度、防渗性能和整体性好等优点，开挖深度可达 30m。目前用于支护的地下连续墙，已从单一的一字型发展出折板型和Ⅱ型等多种形式，以获得更大的侧向刚度。

二、混合式支护结构

在基坑开挖深度较大且对边坡变形要求较高时，应对悬臂式支护结构增加支撑，从而形成混合式支护结构。支撑形式可采用锚杆拉接或者采用内支撑形式。

三、重力式挡土墙结构

(一) 水泥搅拌桩加固法

水泥搅拌桩是软土加固的一种有效方法，国内用于开挖支护工程首先是在上海四平路地下车库的基坑支护工程，获得成功很快

在上海推广开来，之后又推广到江、浙、闽等许多软土地区应用。其突出优点表现为：施工无环境污染（无噪声、无振动、无排污）、造价低廉及防渗性能好。

加固原理是：利用具有一定强度的水泥搅拌桩相互搭接组成结构体系，从而使边坡滑动棱体范围内的土体得以加固，保持边坡稳定。加固体按重力式挡土墙验算，当稳定性不足时，可增加加固体的厚度和深度，直到满足稳定性。

粉喷水泥搅拌桩也开始用于基坑支护，上海医药工业研究院新楼基坑深约6m，采用粉喷桩获得成功。证明粉喷桩同样可以用于边坡加固支护。

（二）高压旋喷桩加固法

高压旋喷桩也是加固软弱地基的方法，由于其水泥含量高，强度比水泥搅拌桩高得多，因此，加固边坡时其厚度可以较薄。当基坑为圆形时，可利用拱效应进一步减小加固厚度。

（三）注浆加固法

其基本原理是：用气压、液压或电化学方法，把水泥浆或其它化学溶液注入土体孔隙中，改善地基土的物理力学性质，达到加固土体和防渗的目的。

（四）网状树根桩加固法

其原理是：使边坡破坏棱体范围内的土体与树根桩网构成一个桩土复合体，它具有良好的整体稳定性，足以抵御土压力、水压力和地面超载。

（五）土钉支护，亦称插筋补强法，也称之为挂网喷锚支护

土钉支护技术是通过在边坡土体中插入一定数量抗拉强度较大，并具有一定刚度的插筋锚体，使之与土体形成复合土体。这种方法可提高边坡土体的结构强度和抗弯刚度，减小土体侧向变形，增强边坡整体稳定性。在工作机理及施工工艺上，它明显不同于在填土中铺设板带的加筋土技术，也不同于护坡支撑中的锚杆技术。土

钉支护技术是吸取了上述某些工艺技术的特点而发展起来的一种以主动制约机制为基础的新型边坡稳定技术。它以发挥土钉与土体相互作用形成复合土体的补强效应为基本特征，以上钉作为补强的基本手段。与其它护坡技术相比，它不需要大型施工机械，几乎不需单独占用场地，而且具有施工简便，适用性广泛，费用低，可以竖直开挖等优点，因而在我国已大量使用并有广泛的应用前景。

四、拱圈式支护结构

拱圈式支护结构充分利用了基坑的弧状及拱式结构受力特点，使以受弯距为主的支护结构由于拱式受力特性而改变为受压为主，大大改善了结构受力状态。其主要型式如下：

(一) 圆形拱圈支护

根据建筑物地下室为圆形或接近于圆形，支护结构可按地下室的轮廓近似地做成圆形结构。此时，支护结构主要承受压应力。

(二) 椭圆形支护结构

当基坑周边条件允许，且建筑物地下室接近于椭圆形状时，支护结构可做成椭圆形结构。支护结构的受力状态根据椭圆形的长短轴比值而变化。长短轴比值越大，则在长轴方向上愈趋于悬臂式支护结构状态，反之长短轴比值越小，则愈类似于圆形受力状态。

(三) 曲线形支护结构

建筑物地下室往往是不规则的，其曲线形状无法满足理想圆形或椭圆形，但大多具有一定的曲线形状，或基坑周边条件允许做成某一曲线形状。这样，就可充分利用拱圈形的良好受力特性，将支护结构设计成主要承受压应力的曲线支护结构。

第三节 深基坑支护工程设计与施工技术的应用与发展

深基坑支护工程是基础施工所必须的临时结构，深大基坑支护的施工造价与设计的合理紧密相关，合理的设计是影响整个工程施工的关键所在。由于地基土的不定性，周围环境条件不同等，尤其是各个设计者的经验，往往是影响基坑支护设计合理性的因素，不同的设计方案可能会使同一个支护工程花较少的费用而获得更安全的结果。如何选择经济与安全、进度之间的合理平衡，是每个设计者首先必须意识到的问题。

为了保证基坑设计的合理性与经济性，基坑支护设计与施工时，须注意：

(1) 建立可靠的设计质量管理办法。由于基坑支护设计与工程地质及水文地质条件密切相关，地基土参数的试验方法、取值、地下水的影响等往往是确定基坑支护结构设计的主要因素。同时如打桩、降水施工过程中也可能改变地基土的性质；大型建筑物场地基坑周边地质条件与环境条件不尽相同。这些复杂因素都要求设计者依靠自己的岩土工程实践经验来决定不同的设计方案。因此，要求设计人员除具备结构设计知识还应具有一定的岩土工程经验。以深圳为例，根据前些年来高层建筑基坑设计经验总结，市政府有关部门明文规定，深基坑支护设计单位必须经过专门审查合格后才具备设计资质，完善了设计管理，使深圳高层建筑的深基坑支护结构设计水平有了明显的提高。

(2) 采用动态设计信息施工技术法，保证深基坑安全施工。岩土工程的设计在大多数情况下通常是与实际工程实践紧密不可分的，尤其是基坑支护这种临时结构，其受力的不确定因素很多，为了保证较为经济地实现安全施工，有些设计意图将贯彻于具体工程