

地基基础设计与施工丛书

高大钊 主编

陈忠汉 程丽萍 编著

# 深基坑工程

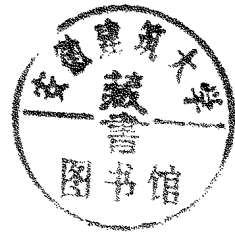
机械工业出版社

地基基础设计与施工丛书

高大钊 主编

# 深基坑工程

陈忠汉 程丽萍 编著



机械工业出版社

本书是有关高层建筑深基坑工程设计与施工方法的专著，介绍了深基坑工程设计的原理、各种支护结构的施工方法以及监测与质量控制方法的研究现状和技术进展，编入了许多代表性实例。内容包括深基坑工程勘察、作用于支护结构上的荷载、深层搅拌桩支护、排桩支护、地下连续墙支护、支锚工程和基坑支护工程实例等七章。本书可供从事建筑工程、岩土工程勘察、设计、施工与监理工作的技术人员参考，可作为技术干部继续教育和岗位培训的教材，也可作为高等院校土木工程专业师生教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

深基坑工程/陈忠汉，程丽萍编著。—北京：机械工业出版社，1999.10

(地基基础设计与施工丛书/高大钊主编)

ISBN 7-111-07496-3

I. 深… II. ①陈…②程… III. 深基础-地基处理 IV. TU473.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 43581 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：劳瑞芬 武江

封面设计：姚毅 责任印制：何全君

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm1/16·19.25 印张·460 千字

0 001—4 000 册

定价：30.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页、由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

## 序

地基基础的设计与施工是一门实用性很强的工程技术学科，对于提高工程质量与降低工程造价关系极大。近 20 年来，随着我国城市建设的发展，大量高层建筑和高等级道路以及一些城市地下铁道的兴建，地基基础工程技术队伍不断扩大，有力地促进了地基设计、桩基技术、地基处理、基坑工程和地基基础测试技术等领域的技术进步，出现了许多新的设计计算方法和新的施工技术，形成了新的技术热点，获得不少的技术成果，亟需加以归纳总结和提高，以适应进一步发展的要求。

同济大学地基基础教研室是我国建制较早的地基基础教学与研究单位，在我国土力学前辈俞调梅、张问清和郑大同教授等的开拓下已形成了一支有特色的学术队伍，参与了許多重大工程建设项目和一系列地基基础技术规范的编制工作，积累了比较丰富的工程经验。这套丛书的作者大多是几十年来长期从事地基教学科研工作的教授，在丛中反映了他们的学术见解和工程经验。此套丛书是一套融设计方法与施工技术于一体，既有基本原理阐述又有技术进展的综合，全面系统的技术专著。本套丛书的问世相信对于广大土木工程、岩土工程工作者都会有所助益，故乐意为之作序。

孙 钧

同济大学岩土工程研究所

1999 年 2 月

---

孙钧教授系中国科学院院士，国际岩石力学与工程学会副主席，同济大学校务委员、岩土工程系名誉系主任。

# 《地基基础设计与施工丛书》

## 前 言

任何建筑物都离不开地球，建筑物的全部荷载都由地球的表面地层来承担，承受这些建筑物荷载的地层称为地基，与地基接触并传递荷载给地基的结构物称为基础。关于地基和基础的设计与施工的工程技术领域简称为地基基础领域，亦可称为基础工程。

正确解决工程中的地基基础问题，其根本目的在于保证工程质量，使工程结构物能安全、正常地使用。“万丈高楼平地起”，基础的质量是整个建筑物安全的根本所在。基础工程的质量包括在建筑物荷载作用下地基应当是足够稳定的；地基的沉降对于建筑物的变形和正常使用是可以允许的；在各种不利因素的影响下基础的耐久性是可靠的；所使用的施工工艺和施工方法适合场地的工程地质条件、符合工程特点的要求，并且有利于实现上述有关地基稳定、沉降和耐久性的要求。这是地基基础设计与施工的目标，也是这门学科研究的主要内容。

地基与基础的勘察、设计与施工是整个工程建设的关键性阶段，工程建设的成败很大程度上取决于基础工程的质量与水平；地基基础又是隐蔽工程，施工条件极为复杂，影响工程质量的因素很多，除了技术因素以外，还有管理的因素，稍有不慎，轻则留下隐患，重则造成事故；基础工程的造价占工程造价的很大比例，在地质条件复杂地区，一般可高达20%~30%，在基础工程中节约建设资金的潜力很大，如果盲目提高安全度，有时虽然多花了建设资金，但仍不能收到良好的效果。因此，具有丰富工程经验的工程技术人员都十分重视地基与基础的勘察、设计与施工阶段的工作；要求从事土木、水利工程技术工作的人员必须掌握土力学基础工程的理论知识和实际技能，才能正确地解决工程中的地基基础技术问题。

地基基础设计与施工的工作对象主要是岩石或土，与上部结构的设计施工之间的主要差别也在于此。有一位从事基础工程的教授曾经说过，钢筋混凝土结构加土力学就是基础工程。这是一种简明扼要的概括，虽然不很全面，但却说明了问题的关键。基础工程的困难和复杂全在于岩土的工程性质极其复杂多变，而人们对于岩土的认识和理解却又比较肤浅。如果忽视这个事实，对岩土的特点不甚了解而又不想去深入研究，全凭处理上部结构的经验来解决地基基础问题，很容易碰壁，许多工程事故的主要原因就在这里。那么，地基基础工程与结构工程相比较又有哪些特点呢？地基基础主要有三个特点，即不确定性、地区性和经验性。

岩土是在漫长的历史年代中，经过各种不同的物理环境和化学环境的作用，随机形成的以无机矿物为主的自然结构体。不像钢材和混凝土那样的人工材料，可以进行材料性能的设计和制造质量的控制，这些材料的技术数据虽然也有一定的离散性，但范围极小。在基础工程中，只要场地一定，自然界所赋与的地质条件就无法选择了，只能“随遇而安”。虽然采用钻探取土试验的方法可以得到一些抽样的结果，但是通过数量很少的试验数据，

不太可能对自然结构体的全部性能都了解清楚。此外，某些岩土的结构及性能又容易随环境条件而改变，特别是水对岩土性质有非常不利的影响，而施工时又常改变了岩土的环境条件，施工对岩土性质的影响也是不容忽视的。所有这一切都不可能在事先估计得非常清楚，地基基础的设计和施工是在对岩土体的了解不太多的情况下进行的，作为设计和施工依据的技术数据以及设计的结果就具有很大的不确定性。所谓不确定性是指客观存在的岩土体的性质以及施工结束以后的建筑物的工作状况不一定完全符合设计时的估计，这是无法回避的事实，是从事基础工程工作的人员必须重视的现实。

从岩土是自然历史产物这一事实出发，就不难理解岩土具有地区性的特点。由于各地的自然条件不同，所形成的岩石或土的性质也就存在很大的差异，不仅西北的黄土，东南沿海的软土和云贵高原的红粘土性质完全不同，即使是一般粘性土或砂土，不同地区的土也有明显的差别。不同的土，应力应变关系不一样，压缩性指标和抗剪强度指标也不同，不仅设计参数不同，工程处理措施的目的不同，而且施工的方法也不相同。例如黄土要考虑消除湿陷性，膨胀土要研究胀缩性规律，甚至变形计算也与一般土的方法完全不同。不同地区的土，具有不同的特点，人们积累了不同的工程经验，使基础工程具有很强烈的地区性，形成了许多各具特色的地方规范。例如上海规范的特点是平原的软土，重庆规范的特点是山区的岩石，这种情况是上部结构所没有的。在上部结构中，混凝土和钢筋的弹性模量和强度都能在规范中给出了可用于设计的数值，但不可能从规范中找到指定工程场地地基基础的设计参数，对每一个项目都必须进行工程勘察，根据工程勘察报告中的工程地质条件和土层的物理力学性质指标，才能进行设计和施工，“因地制宜”在地基基础的设计和施工中体现得更为突出。

工程都具有经验性的特点，但地基基础的经验性比上部结构强得多，这是由不确定性和地区性决定的。太沙基曾经说过，与其说土力学是一门技术，不如说它是一门艺术。他的意思是说，处理地基基础问题，不仅需要定量的计算，而更需要经验来判断计算的正确与否；不仅需要数学力学的方法来分析，而更需要用工程地质的观点来估计计算参数、设计方法、施工方法的可靠性如何；用实测的数据来验证，并作为采取进一步工程措施的依据。在这种思想的指导下，形成了著名的“观察法”，即信息化施工的系统方法。地基基础设计与施工应当特别重视原型观测，即对建筑物及地基基础的变形和应力状态进行全过程的观测，在观测资料的基础上形成工程实录。地基基础工作者要善于从以往的工程经验和教训中学习、积累知识，采用工程类比的方法，选择设计参数，处理工程中的问题，并在工程实践中不断地总结经验。

由于地基基础具有上述明显的特点，从事地基基础工作的技术人员更需要不断地学习，更新自己的知识，丰富自己的经验。编写这一套《地基基础设计与施工丛书》的目的就是为从事地基基础设计与施工的同行提供系统的参考资料，为新参加地基基础工作的同志提供继续教育的教材，也可作为高等学校有关专业的参考书。丛书由《天然地基上的浅基础》、《桩基础的设计方法与施工技术的新进展》、《地基加固新技术》、《深基坑工程》和《地基基础测试技术》五本组成。这些内容概括了地基基础最基本的常用技术和最新发展的技术领域，在第一本书中还包括了土力学的基本理论和工程勘察的方法，在第二本书中还包括了地基基础施工监理的方法，从而形成了一个理论—试验—设计计算—施工—监理的完整

体系，提供比较全面的勘察、设计与施工全过程的系统知识。

参加编写这套丛书的同事们都是在这一领域中长期从事土力学地基基础的教学、科研、设计和施工监测、监理等工作的教授、副教授。在这套丛书中，注入了长期积累的经验 and 学术见解，也引用了同济大学其他老师的许多宝贵资料，希望能为读者提供一套“开卷有益”的读物，这是编者的最大愿望。但由编者水平的限制，书中还会有疏漏甚至错误的地方，恳请读者指正。

在丛书的编写过程中得到了中国科学院院士孙钧教授的鼓励和支持，并为丛书作序，这是编者莫大的荣幸。

主编 高大钊

1999年2月于同济大学

# 前 言

随着高层建筑的不断增加、市政建设的大力发展和地下空间的开发利用，产生了大量的深基坑支护设计与施工问题，并使之成为当前基础工程的热点与难点。

深基坑设计与施工是土力学基础工程中的一个古老的传统课题，同时又是一个综合性的岩土工程难题，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。对这些问题的认识及其对策的研究，是随着土力学理论、测试技术、计算技术以及施工机械、施工技术的发展而进步完善的。

Terzaghi 和 Peck 等人早在 20 世纪 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，这一理论原理一直沿用至今，但已有了许多改进与修正。Bjerrum 和 Eide 在 50 年代给出了分析深基坑底板隆起的方法。60 年代在奥斯陆和墨西哥城软粘土深基坑中开始使用仪器进行监测，此后大量实测资料提高了预测的准确性，并从 70 年代起，制订了相应的指导开挖的法规。我国 70 年代以前的基坑都比较浅，上海的高层建筑的地下室大多埋深在 4m 左右。北京在 70 年代初建成了深 20m 的地下铁道区间车站。80 年代后，北京、上海、广东、天津以及其他城市施工的深基坑陆续增加。为总结各地积累的深基坑设计和施工的经验，中国土木工程学会和中国建筑学会的土力学和基础工程学会，相继召开过多次全国和地方的深基坑学术会议，并出版有关论文集。为了总结我国深基坑支护设计与施工经验，90 年代后相继在武汉市、广东省及上海市等编制了深基坑支护设计与施工的有关法规，并已编制了国家行业标准的有关法规。

在城市旧区改造时，对深基坑开挖提出了更高更严的要求，即不仅要保证基坑稳定，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。为了预估由于基坑开挖引起的土体和支护系统的变形，一方面依赖于应用有限元法等现代分析工具；另一方面依赖于土的参数的正确性，常规的室内试验已不足以合理确定土的应力应变参数，只有把室内试验与现场测试结果结合起来才能较为满意地解决这一课题。

深基坑支护的传统施工方法是板桩支撑系统或板桩锚拉系统，其优点是材料可以回收，缺点是支撑往往是在开挖之后施加的，拔出板桩时又会引起土体的进一步变形。目前经常采用的主要基坑支护类型有：

(1) 水泥土深层搅拌桩支护，其优点是采用重力式挡墙，不需要支撑，基坑内挖土施工方便，搅拌桩施工时无环境污染（无噪声、无振动、无排污），造价低廉及防渗性好，但这种支护结构往往要求基坑周围有一定间距布置搅拌桩，且只适用于深度不大的基坑；

(2) 排桩支护结构，可以是稀疏排桩支护，适用于土质较好的地区；也可采用连续排桩支护加搅拌桩防渗，适用于软土地区。这种排桩支护结构适用于较深的基坑，其造价也比较低；

(3) 地下连续墙，这种支护结构施工时对周围环境影响小，对土层条件适用性强，墙体抗弯刚度、防渗性能和整体性均较好，但其造价比较高。

根据基坑开挖深度、地基土及周围环境条件，选择经济而安全的设计方案是设计者的首要任务。同时，深基坑的设计与施工是密不可分、相互依赖的。施工的每一阶段，结构



体系和外荷载都在变化，对支护结构的变形、内力有很大影响。在施工过程中进行工程监测，即对墙体内力、位移、侧土压力、土体变形、孔隙水压力、支撑内力及周围环境的变形进行量测，并将结果反馈，调整设计参数和施工进度，这就是目前经常采用的信息化施工方法。这种方法在深基坑施工过程中，可预知可能引起局部或整体破坏的先兆，及时修改设计或采取必要的施工措施，以确保支护结构的安全和减少环境影响。

本书作为《地基基础设计与施工丛书》中的一本，主要内容包括和深基坑支护工程设计与施工有关的工程勘察、作用于支护结构上荷载的计算，并介绍目前经常采用的主要类型的支护结构的设计与施工，如深层搅拌桩支护、排桩支护和地下连续墙支护，还简单介绍了基坑支撑与锚杆的设计与施工。

在本书的编写过程中引用了多种论文、书籍及参考文献，在此谨向原作者致谢。由于编者的水平限制，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

# 目 录

序

《地基基础设计与施工丛书》前言

前言

绪论	1
<b>第1章 深基坑支护工程勘察</b>	<b>6</b>
1.1 工程地质勘察的基本要求	6
1.1.1 勘探工作	6
1.1.2 测试工作	7
1.1.3 勘察报告的主要内容	8
1.2 周围环境的调查	8
<b>第2章 作用于支护结构的荷载</b>	<b>10</b>
2.1 概述	10
2.2 土压力	10
2.2.1 静止土压力的计算	11
2.2.2 朗金土压力理论	12
2.2.3 库仑土压力理论	18
2.2.4 特殊情况下土压力的计算	21
2.3 水压力	27
2.3.1 水压力的一般计算方法	27
2.3.2 稳态渗流时水压力的计算	28
2.3.3 水压力的计算图式	30
2.4 关于水土压力计算的讨论	30
2.4.1 土的抗剪强度试验方法与指标问题	30
2.4.2 粘性土土压力的计算	32
2.4.3 墙体位移对土压力的影响	33
2.4.4 水土压力量测及其成果	36
<b>第3章 深层搅拌桩支护</b>	<b>37</b>
3.1 概述	37
3.2 水泥土的加固机理与特性	37
3.2.1 水泥土的加固机理	37
3.2.2 水泥土的特性	38
3.3 深层搅拌桩支护的设计与计算	42
3.3.1 深层搅拌桩支护的设计原则与型式	42
3.3.2 水泥土挡墙的计算	44
3.4 深层搅拌桩支护的施工要点	51

3.4.1	施工机械.....	51
3.4.2	施工方法.....	53
3.4.3	质量控制与检验.....	53
<b>第 4 章</b>	<b>排桩支护</b> .....	<b>55</b>
4.1	概述.....	55
4.2	悬臂式排桩支护的计算.....	56
4.2.1	静力平衡法.....	56
4.2.2	布鲁姆 (Blum) 法.....	59
4.2.3	弹性线法 (图解法).....	64
4.2.4	基床系数法.....	65
4.3	单支点排桩支护的计算.....	76
4.3.1	自由端单支点支护桩的计算 (平衡法).....	77
4.3.2	图解分析法 (弹性线法).....	78
4.3.3	等值梁法.....	82
4.4	多支点排桩支护的计算.....	83
4.4.1	连续梁法.....	83
4.4.2	支撑荷载的 1/2 分担法.....	87
4.4.3	“m”法.....	88
4.4.4	考虑开挖过程的计算方法.....	97
4.5	弹性地基杆系有限元法.....	108
4.5.1	基本概念.....	108
4.5.2	弹性地基杆系有限元法的分析过程.....	108
4.5.3	实例.....	116
4.6	排桩支护的施工.....	120
4.6.1	钻孔灌注桩的施工.....	120
4.6.2	挖孔桩的施工.....	129
4.6.3	板桩施工.....	130
<b>第 5 章</b>	<b>地下连续墙支护</b> .....	<b>134</b>
5.1	概述.....	134
5.2	地下连续墙的静力计算.....	135
5.2.1	山肩邦男法.....	135
5.2.2	弹性法.....	140
5.2.3	支撑轴力、墙体内力随工程进展而变化的计算方法.....	148
5.2.4	共同变形理论.....	150
5.3	多支撑挡墙的增量算法.....	156
5.3.1	增量算法.....	156
5.3.2	增量法的理论证明.....	158
5.3.3	实例.....	158
5.4	有限单元法.....	160

5.4.1	基本概念.....	160
5.4.2	有限元法的分类.....	161
5.4.3	土的本构关系.....	162
5.4.4	有限元法的计算要点.....	168
5.4.5	实例.....	179
5.5	支护结构的稳定性验算.....	182
5.5.1	基坑的抗隆起稳定验算.....	183
5.5.2	基坑的抗渗流稳定性验算.....	188
5.5.3	实例.....	190
5.6	地下连续墙的施工.....	193
5.6.1	地下连续墙的施工机具.....	194
5.6.2	地下连续墙的施工方法.....	199
<b>第 6 章</b>	<b>支锚工程</b> .....	<b>210</b>
6.1	概述.....	210
6.2	支撑结构与施工.....	210
6.2.1	支撑结构概述.....	210
6.2.2	钢支撑的计算.....	213
6.2.3	钢筋混凝土支撑.....	218
6.2.4	支撑结构的构造.....	220
6.2.5	支撑结构的施工要点.....	226
6.3	土层锚杆支撑的设计与施工.....	227
6.3.1	概述.....	227
6.3.2	锚杆的构造及类型.....	227
6.3.3	土锚的设计.....	229
6.3.4	土锚的施工.....	236
<b>第 7 章</b>	<b>深基坑支护工程实例</b> .....	<b>239</b>
7.1	上海江山大厦钻孔灌注桩支护基坑工程.....	239
7.1.1	工程概况.....	239
7.1.2	支护结构选型和结构布置.....	240
7.1.3	基坑支护设计计算.....	244
7.1.4	围护钻孔桩计算.....	247
7.1.5	支撑体系内力计算.....	250
7.1.6	环境监测.....	250
7.2	上海南洋广场地下连续墙支护工程.....	251
7.2.1	工程概况.....	251
7.2.2	工程地质概况.....	252
7.2.3	环境条件概况.....	252
7.2.4	基坑支护设计计算.....	252
7.2.5	施工监测.....	261

7.3	上海惠通科技城钻孔桩和斜土锚支护基坑工程.....	265
7.3.1	工程概况.....	265
7.3.2	支护方案的选择.....	266
7.3.3	支护结构设计计算.....	267
7.3.4	施工要求.....	272
7.3.5	监测结果及评价.....	272
7.4	上海永华大楼灌注桩及钢支撑支护结构.....	273
7.4.1	概况.....	273
7.4.2	深基坑支护方案.....	273
7.4.3	钢管支撑施工.....	273
7.4.4	基坑开挖.....	274
7.4.5	监测结果.....	274
7.4.6	小结.....	275
7.5	上海外滩京城大厦地下连续墙加钢筋混凝土支撑的支护工程.....	276
7.5.1	概况.....	276
7.5.2	基坑支护结构方案.....	276
7.5.3	支护结构的计算.....	279
7.5.4	施工措施.....	279
7.5.5	监测结果与分析.....	280
7.6	某大厦地下连续墙加钢筋混凝土和钢管组合支撑的深基坑支护工程.....	284
7.6.1	概况.....	284
7.6.2	支护结构位移与内力计算.....	285
7.6.3	地下连续墙入土深度验算.....	289
7.6.4	地下连续墙配筋计算.....	290
7.6.5	钢支撑强度验算.....	291
7.6.6	基坑支护结构局部破坏前后的情况.....	292
7.6.7	讨论.....	292
	参考文献.....	294

# 绪 论

## 1. 引言

随着城市建设的发展，高层建筑和市政工程大量涌现。1929年我国在上海建成14层的锦江饭店，1934年建成24层的国际饭店。但我国高层建筑大规模发展还是从20世纪70年代末开始的。在北京、上海、广州等城市陆续建造了一大批高层建筑。到目前为止，我国最高的高层建筑为上海金茂大厦，达88层，高420.5m。我国高层建筑的总数已达数千幢。

近年来，我国还兴建了大量大型市政设施，如北京、上海、天津等地的地下铁道，上海人民广场的地下变电站及上海合流污水工程等。

高层建筑的建造、大型市政设施的施工及大量地下空间的开发，必然会有大量的深基坑工程产生。

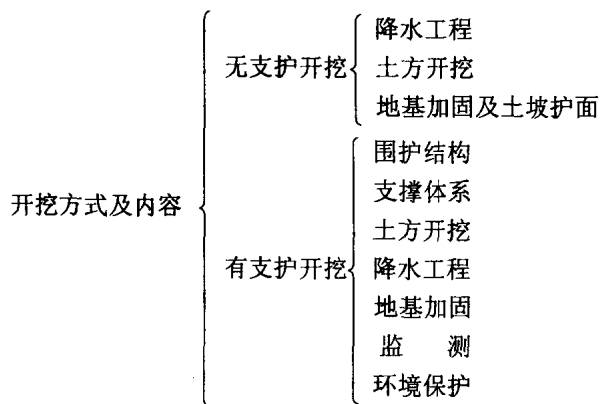
深基坑工程具有以下特点：

- 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，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；
- 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；
- 5) 在相邻场地的施工中，打桩、降水、挖土及基础浇注混凝土等工序会相互制约与影响，增加协调工作的难度。

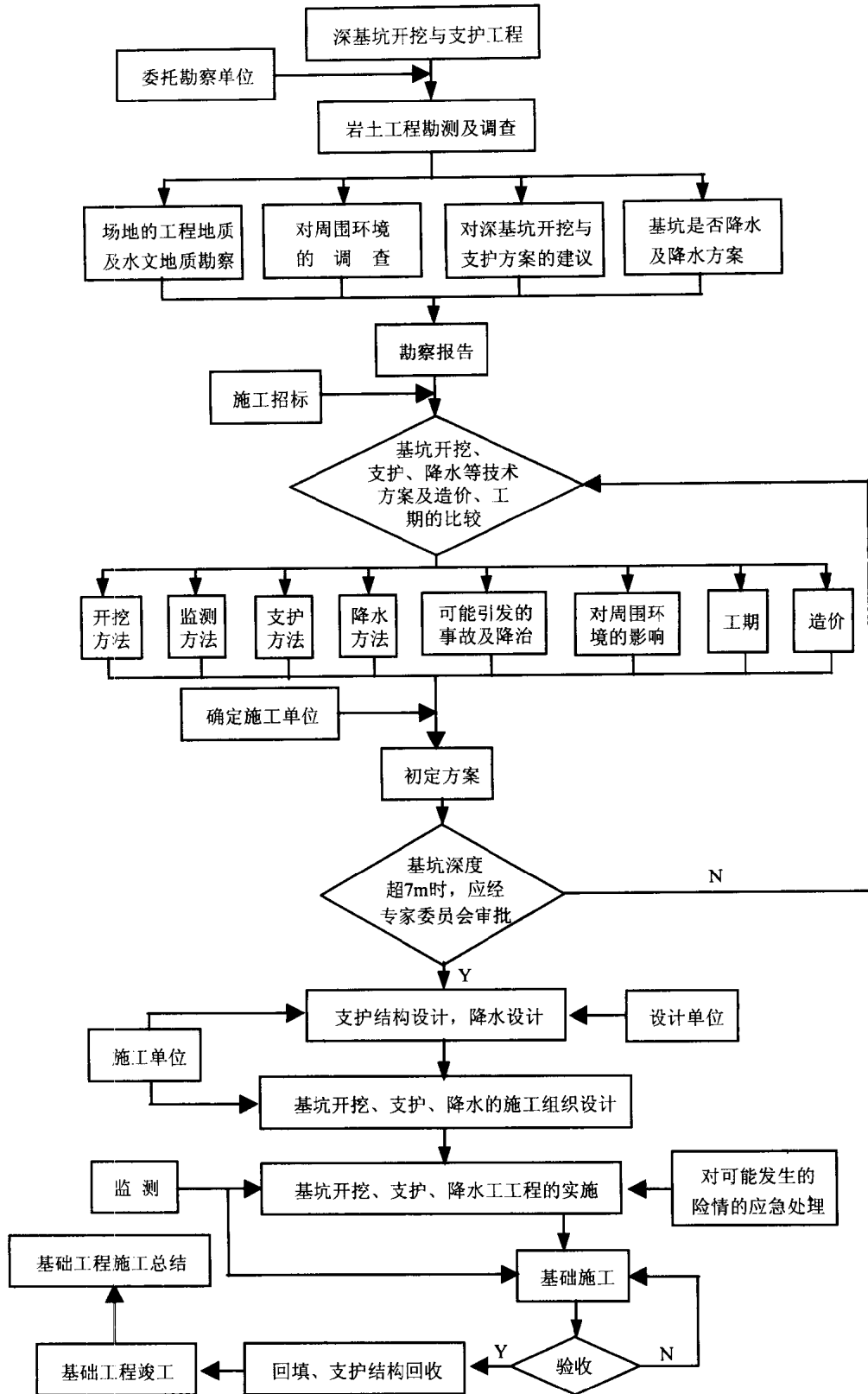
以上海为例，常见的地下室为2~3层，有的地下室已设计为5层。基坑最大平面尺寸已达274m×187m，面积约51000m<sup>2</sup>，最深达32.0m。

## 2. 深基坑开挖的分类、工作内容与程序

深基坑工程根据场地条件、施工、开挖方法，可以分为无支护开挖与有支护开挖。



深基坑开挖与支护工程的工作内容与程序如下列框图所示：



### 3. 支护结构的设计原则与类型

深基坑和浅基坑的界限没有明确规定，有认为超过 5m 为深基坑，一般认为 6m 为深浅基坑的界线较为合适。

本书主要叙述深基坑中的支护结构，它包含承受水、土压力的围护墙（桩）、支撑（或上层锚杆）、围檩、防渗帷幕等结构体系的设计与施工。

支护结构设计的原则为：

- 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。

支护结构通常是作为临时性结构，一俟基础施工完毕即失去作用。有些支护结构的材料可以重复利用，如钢板桩及其工具式支撑。但也有一些支护结构就永久埋在地下，如钢筋混凝土板桩、灌注桩、水泥土搅拌桩和地下连续墙等。还有在基础施工时作为基坑的支护结构，施工完毕即为永久结构物的一个组成部分，成为复合式地下室外墙，如地下连续墙等。

围护墙的类型主要有：

- 1) 深层搅拌水泥土挡墙，将土和水泥强制拌和成水泥土桩，结硬后成为具有一定强度的整体壁状挡墙，用于开挖深度 3~6m 的基坑；
- 2) 钢板桩，用槽钢正反扣搭接组成，或用 U 型和 Z 型截面的锁口钢板桩。用打入法打入土中，完成支挡任务后，可以回收重复使用，用于开挖深度 3~10m 的基坑；
- 3) 钢筋混凝土板桩，桩长 6~12m，打至地下后，顶部浇筑钢筋混凝土圈梁后，设置一道支撑或拉锚，用于开挖深度 3~6m 的基坑；
- 4) 钻孔灌注桩挡墙，直径  $\phi 600 \sim \phi 1000\text{mm}$ ，桩长 15~30m，组成排桩式挡墙，顶部浇筑钢筋混凝土圈梁，用于开挖深度为 6~13m 的基坑；
- 5) 地下连续墙，在地下成槽后，浇筑混凝土，建造具有较高强度的钢筋混凝土挡墙，用于开挖深度达 10m 以上的基坑或施工条件较困难的情况。

### 4. 目前支护结构设计施工中的一些问题

国内外大量工程实践的经验表明，许多工程的最危险阶段不一定是在正常使用阶段，而是在建造阶段和老化阶段。对许多工程事故常常发生在施工阶段而言，其原因除了施工质量没有保证、施工方法发生了不合理的改变、人为错误等原因外，重要原因之一是由于对环境、地质、荷载等因素认识不足而导致设计和施工中的某种失误和疏忽所致。

深基坑支护设计与施工是一项系统工程，必须具有结构力学、土力学、地基基础、地基处理、原位测试等多种学科知识，同时要有丰富的施工经验，并结合拟建场地的土质和周围环境情况，才能制定出因地制宜的支护结构方案和实施办法。

近几年来，高层建筑与市政建设处于大发展时期，由于设计与施工队伍对当地的深基坑施工特点不够熟悉，因而发生了一些事故。为避免这些事故的发生，应从如下几方面进行总结，并改进这方面的工作。



(1) 设计方面 设计时首先对地质资料(包括流砂、暗沟、洞穴、承压水层等)了解清楚,查明周围各种地下管线、建筑物或构筑物的使用要求。

如对上海粉质土及粉砂土尤应注意流砂问题。如有一工程,基坑深度不过 10m,钻孔桩  $\phi 800\text{m}$ ,长 22~25m,墙后宽 1.7m、长 17m 的水泥土搅拌桩,由于地质条件差,地下 4~10m 多为砂质粉土,而且地下有老的防空洞,以致有的钻孔桩钻不到设计标高而造成隐患。在施工过程中发生严重流砂现象,影响周围民房,产生很大裂缝。后采取高压注浆、旋喷桩、灌黄砂和干水泥等措施,并加快施工进度得以解决。

根据基坑的开挖深度选择合适的围护结构与支撑系统。坑内土体加固后,无疑能提高土体的水平基床系数和基坑的稳定性以及减少围护结构的位移和弯矩。支撑类型除了惯用的井字形加角撑的形式以外,还可采用圆形、椭圆形钢筋混凝土环梁封闭式框架支撑结构。目前对深大基坑支撑体系的材料常采用钢筋混凝土,由于在拆除时需要爆破,使用受到限制。因此,对深大基坑,有用钢结构逐步取而代之的趋势。

(2) 施工方面 在施工中发生事故的原因大致是:施工质量问题;超挖问题;施工管理问题等等。

支撑结构不合理,施工质量差。如钢管支撑支点数量少,联接不牢固;有的钢管与斜撑、支撑焊接质量不好,经常发生焊缝拉裂;有的钢管使用多年,壁厚变薄,结果部分钢管变形大,节点遭破坏,而后整体破坏。

超挖是基坑施工中的“大敌”,有些工程没有做到先撑后挖,而是一挖到底、先挖后撑的不良施工方法,往往会发生险情甚至事故。

挖土前两周,要进行坑内降水以保证坑内的良好施工条件。当坑内开挖不降水,由于开挖坡度较陡和挖土振动的影响,土的强度有所降低,土体将发生滑动,导致围护墙倾斜,工程桩位移,甚至桩身断裂。

现场施工管理,目前往往是工程总包一家,支撑系统一家,开挖土方另一家,三家如何协调,稍有疏忽就会出事。不能做到先撑后挖,而是超挖或支撑跟不上,往往与上述管理体制有关系。管理上的层层分包、多层分包,更容易发生偷工减料而引起事故。

(3) 监测方面 深基坑施工中的监测工作是指导施工、避免事故发生的必要措施,也是进行信息化施工的手段;监测也是检验设计理论的正确性和发展设计理论的重要依据,近年来,有的深基坑工程为了节约而不安排监测,或减少监测费用;有的工程对测试数据不认真分析,或者分析水平不高。因而造成各种大大小小的事故和不应有的损失。

## 5. 本书的主要内容

本书是《地基基础设计与施工丛书》中的一本,共分为七章:

- 第 1 章 深基坑支护工程勘察
- 第 2 章 作用于支护结构的荷载
- 第 3 章 深层搅拌桩支护
- 第 4 章 排桩支护
- 第 5 章 地下连续墙支护
- 第 6 章 支锚工程
- 第 7 章 深基坑支护工程实例