

高校土木工程专业规划教材

GAOXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

建筑基坑支护

熊智彪 主编

陈振富 段仲沅 参编

JIANZHU JIKENG ZHIHU

中国建筑工业出版社

TU46/5

2008

高校土木工程专业规划教材

建筑基坑支护

熊智彪 主编

陈振富 段仲沅 参编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑基坑支护/熊智彪主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

高校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-09102-7

I. 建… II. 熊… III. 基坑-坑壁支撑-高等学校-教材 IV. TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 012198 号

为丰富高校岩土工程本科生教材的内容, 本书作者结合自身实践和研究工作, 同时吸收国内外理论与实践研究成果, 编写了本书。本书分 10 章介绍了建筑基坑支护所涉及的内容, 具体包括: 基坑支护概述、水平荷载与水平抗力标准值、基坑土体稳定性分析、支护结构设计计算理论与方法、排桩与地下连续墙、水泥土墙、土钉墙、逆作拱墙、基坑地下水控制及基坑开挖监测。书中既有基坑基础理论的阐述, 也有各类基坑支护方式的设计方法的论述, 并提出了施工措施, 同时介绍了近年来国内外研究成果。

本书适合作为高校土木工程专业教材, 也可作为相关专业工程技术人员参考用书。

* * *

责任编辑: 王 梅

责任设计: 赵明霞

责任校对: 梁珊珊 王 爽

高校土木工程专业规划教材

建筑基坑支护

熊智彪 主编

陈振富 段仲沅 参编

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12½ 字数: 301 千字

2008 年 4 月第一版 2008 年 4 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-09102-7

(15766)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

建筑基坑支护设计与施工技术是一门从实践中发展起来的技术，也是一门实践性非常强的学科。它涉及土力学中典型的强度、稳定及变形问题，还涉及土与支护结构共同作用问题、基坑中的时空效应问题以及结构计算问题等。几十年来，随着国内外大量高层建筑的建造，基坑深度不断加深，规模和复杂程度不断加大，基坑支护已成为高、大建筑中的一个非常大的课题，其设计与施工技术已成为广大设计、施工人员十分关注的技术热点。实践的需要促进了研究工作的飞速发展，获得了大量的理论研究成果和丰富的实践经验。

编者多年来一直从事《基础工程》、《高层建筑基础》、《基坑工程》的教学工作，在结合自身实践和研究工作，吸收国内外理论与实践研究成果的基础上，编写了本书。书中加强了基坑基础理论的阐述，论述了各类基坑支护方式的设计方法，提出了施工措施，同时还将近年来国内外研究成果作了介绍。

本书由南华大学熊智彪、陈振富、段仲沅编写。第一章至第七章、第十章由熊智彪执笔，第八章由陈振富执笔，第九章由段仲沅执笔。全书由熊智彪统稿。

笔者衷心地感谢南华大学及兄弟院校有关教师以及工程人员对本书的关心和帮助，感谢他们为本书的编写提供了大量宝贵的意见和实例，特别感谢硕士研究生王启云、谷淡平为本书进行的大量绘图以及文字编排工作。恳切希望广大读者对本书中的缺点和错误批评指正。

编 者

2007年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 基坑支护概述	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 支护技术内容	1
1.1.3 设计计算理论	2
1.1.4 支护设计及施工要点	2
1.2 基坑支护设计原则	3
1.2.1 极限状态设计	3
1.2.2 侧壁安全等级及重要性系数	4
1.2.3 设计要求	4
1.3 基坑工程勘察	5
1.3.1 勘察阶段	6
1.3.2 勘察要求	6
1.3.3 岩土工程评价	7
1.4 支护结构选型	7
思考与练习	8
第 2 章 水平荷载与水平抗力标准值	9
2.1 基本理论	9
2.1.1 概论	9
2.1.2 静止土压力	10
2.1.3 朗肯土压力理论	11
2.1.4 库仑土压力理论	15
2.2 水平荷载与水平抗力标准值的计算.....	21
2.2.1 概述	21
2.2.2 水平荷载标准值的计算	22
2.2.3 水平抗力标准值的计算	23
思考与练习	25
第 3 章 基坑土体稳定性分析	27
3.1 概述.....	27
3.2 基坑整体稳定性分析.....	28
3.2.1 砂性土土坡稳定性分析	28
3.2.2 黏性土土坡稳定性分析	28
3.2.3 基坑整体稳定性分析	29
3.3 基坑底部土体抗隆起稳定性分析.....	31

3.4	基坑底部土体突涌稳定性分析	32
3.5	基坑渗流稳定性分析	33
3.6	支护结构踢脚稳定性分析	35
	思考与练习	36
第4章	支护结构设计计算理论与方法	38
4.1	概述	38
4.2	等值梁法	39
4.3	弹性支点法	41
4.3.1	地基模型	41
4.3.2	地基与基础共同作用分析的条件与方法	43
4.3.3	文克尔地基上梁的分析	44
4.3.4	水平荷载作用下弹性桩的分析	45
4.3.5	弹性支点法	48
4.4	有限单元法	51
4.4.1	二维有限单元法	52
4.4.2	三维有限单元法	53
	思考与练习	53
第5章	排桩、地下连续墙	54
5.1	概述	54
5.2	嵌固深度计算	54
5.2.1	悬臂式支护结构嵌固深度设计值的计算	54
5.2.2	单层支点支护结构支点力与嵌固深度设计值的计算	56
5.2.3	多层支点支护结构的嵌固深度设计值的计算	56
5.2.4	嵌固深度构造要求及抗渗稳定条件	57
5.3	桩(墙)内力计算	57
5.4	支撑体系内力计算	58
5.5	截面承载力计算	59
5.6	锚杆设计计算	61
5.7	支护设计	66
5.7.1	支护桩的类型、桩长、桩径及桩距的选择	66
5.7.2	排桩支护构造要求	66
5.7.3	地下连续墙的构造要求	66
5.7.4	支撑体系的构造要求	66
5.7.5	支护结构设计	67
5.8	施工和检测	67
5.8.1	排桩与冠梁施工要求	67
5.8.2	地下连续墙施工要求	67
5.8.3	支撑系统施工要求	68
5.8.4	锚杆施工要求	69
5.8.5	检测要求	69

5.9	排桩支护设计工程实例	70
	思考与练习	75
第6章	水泥土墙	77
6.1	概述	77
6.2	水泥土桩的设计与施工	78
6.2.1	搅拌桩	78
6.2.2	旋喷桩	82
6.3	嵌固深度计算	85
6.4	墙体厚度计算	85
6.5	正截面承载力计算	86
6.6	水泥土墙支护设计	88
6.7	水泥土墙支护设计工程实例	89
	思考与练习	91
第7章	土钉墙	92
7.1	概述	92
7.1.1	土钉墙的概念	92
7.1.2	土钉支护的发展	92
7.2	土钉墙的工作机理	93
7.3	土钉墙的特点与适用性	94
7.3.1	土钉墙的特点	94
7.3.2	适用性	95
7.4	土钉墙的设计与计算	95
7.4.1	土钉墙的设计内容	95
7.4.2	土钉墙的设计原则	95
7.4.3	土钉墙的设计与计算	96
7.4.4	土钉墙的计算	97
7.5	复合土钉墙支护	100
7.5.1	复合土钉墙的类型	101
7.5.2	复合土钉墙的设计计算	102
7.5.3	构造要求	103
7.6	施工	104
7.6.1	施工工艺	105
7.6.2	施工机具	105
7.6.3	施工要求	105
7.6.4	检测要求	107
7.6.5	质量检验标准	107
7.7	土钉墙支护设计工程实例	107
	思考与练习	111
第8章	逆作拱墙	112
8.1	概述	112

8.2	逆作拱墙构造	112
8.3	拱墙设计	113
8.3.1	土体稳定性分析	113
8.3.2	结构内力计算	114
8.3.3	承载力计算	120
8.4	逆作拱墙施工与检测	120
8.5	逆作拱墙工程实例	120
	思考与练习	123
第9章	基坑地下水控制	124
9.1	概述	124
9.2	水井理论与水井涌水量计算	126
9.2.1	水井的分类	126
9.2.2	水井理论的基本假设	126
9.2.3	井点涌水量	126
9.2.4	基坑涌水量的计算	130
9.2.5	降水水位预测	135
9.3	降水方法及其选用	136
9.3.1	重力式降水	137
9.3.2	强制式降水	140
9.4	井点降水对周围环境的影响及其防范措施	160
9.4.1	井点降水对周围环境的影响	160
9.4.2	防范井点降水不利影响的措施	162
9.4.3	降水工程监测与维护	165
	思考与练习	165
第10章	基坑开挖监测	167
10.1	概述	167
10.2	基坑开挖	167
10.3	基坑监测	168
10.3.1	监测的意义与目的	168
10.3.2	监测的要求	169
10.3.3	监测项目报警值的确定	172
10.3.4	监测点布置	173
10.3.5	监测仪器设备与方法	174
10.4	基坑监测工程实例	180
10.4.1	监测方案	180
10.4.2	监测结果	187
	思考与练习	188
	参考文献	189

第 1 章 绪 论

1.1 基坑支护概述

1.1.1 概述

建筑基坑 (building foundation pit) 是指为进行建筑物 (包括构筑物) 基础与地下室的施工所开挖的地面以下的空间。开挖后, 产生多个临空面, 构成基坑围体, 围体的某一侧面称为基坑侧壁 (side of foundation pit)。基坑的开挖必然对周边环境造成一定的影响, 影响范围内的既有建 (构) 筑物、道路、地下设施、地下管线、岩土体及地下水体等, 统称为基坑周边环境 (surroundings around foundation pit)。为保证地下结构施工及基坑周边环境的安全, 对基坑侧壁及周边环境采用的支挡、加固与保护措施, 这就是基坑支护 (retaining and protecting for foundation excavation)。

改革开放以前, 基础埋深较浅, 基坑开挖深度一般在 5m 以内, 一般建筑基坑均可采用放坡开挖或用少量钢板桩支护。随着大量高层建筑的建造及地下空间的开发, 同时也为了满足高层建筑抗震和抗风等结构要求, 地下室由一层发展到多层, 相应的基坑开挖深度也越来越深, 如北京中国国家大剧院基坑最深处达 35m。

当前, 中国的深基坑工程在数量、开挖深度、平面尺寸以及使用领域等方面都得到高速的发展, 深、大基坑已非常常见, 放坡开挖或用少量钢板桩已经难于保证地下结构施工及基坑周边环境的安全。为此, 实践中已发展多种支护方式, 如排桩 (piles in row): 即以某种桩型按队列式布置组成的基坑支护结构; 地下连续墙 (diaphragm): 即用机械施工方法成槽浇灌钢筋混凝土形成的地下墙体; 水泥土墙 (cement-soil wall): 即由水泥土桩相互搭接形成的格栅状、壁状等形式的重力式结构; 土钉墙 (soil nailing wall): 即采用土钉加固的基坑侧壁土体与护面等组成的支护结构, 以及上述方式各类组合支护方式。

1.1.2 支护技术内容

基坑支护技术主要包括基坑的勘察、设计、施工及监测技术, 同时包括地下水的控制 (groundwater controlling) (指为保证支护结构施工、基坑挖土、地下室施工及基坑周边环境安全而采取的排水、降水、截水或回灌措施) 和土方开挖等。基坑支护技术是基础和地下工程施工中的一个传统课题, 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、稳定及变形问题, 还涉及土与结构共同作用问题、基坑中的时空效应问题以及结构计算问题。其设计与施工完全是相互依赖、密不可分的。施工的每一个阶段, 随着施工工艺、开挖位置和次序、支撑和开挖时间等变化, 结构体系和外部荷载都在变化, 都对支护结构的内力产生直接的影响, 每一个施工工况的数据都可能影响支护结构的稳定和安全。只有设计与施工人员密切配合, 加强监测分析, 及早发现和解决问题, 总结经验, 才能使基坑工程难题得到有效的解决, 也只有这样, 设计理论和施工技术才能得到较快的发展。因此, 建筑物基坑支护设计与施工技术是一门从实践中发展起来的技术, 也是一门

实践性非常强的学科，随着土力学、计算技术、测试仪器及施工技术等的进步而逐步完善。

1.1.3 设计计算理论

基坑支护初期理论主要基于挡土墙设计理论，根据土压力计算理论按静力平衡方法计算挡土结构内力。对于支点结构是按等值梁法计算支点及结构内力，但由于基坑支护结构与一般挡土墙受力机理不同，按上述方法计算结果与内力实测结果相比在大部分情况下偏大。随着基坑深度不断加深、基坑平面尺寸不断加大，支护结构的变形对基坑周边环境的影响越大。因弹性支点法能较好地预估支护结构的变形，并考虑变形计算结构内力，其计算结果更接近实际测试结果，因而得到了更为广泛的应用。随着计算机技术的进步，在一些岩土计算软件（如同济大学杨敏教授开发的启明星软件 JK 系列中的深基坑支护工程结构分析计算软件 FRWS、中航勘察设计研究院秦四清博士后开发的“深基坑支护之星”软件、北京理正软件设计研究所开发的“深基坑支护结构计算软件 F-SPW”等）中，平面有限元计算方法已经得到应用并取得了较好的效果，一些研究者利用大型三维空间有限元计算软件（如：ABAQUS、ANSYS 等）对基坑支护的变形与内力进行模拟的三维空间研究正在展开，在个别特深基坑中也得到了很好的应用。

1.1.4 支护设计及施工要点

一般情况下，基坑支护工程是临时性工程，因此安全与经济的平衡是尤其重要的，不能为了安全而忽略经济，更不能为了经济而忽略安全。基坑工程一般位于城市中，地质条件和周边环境条件复杂，有各种建筑物、构筑物、管线等，一旦失事就会造成生命和财产的重大损失。目前，我国基坑工程成功率低的问题异常突出，各大城市均有已建成基坑出现工程事故的例子，地质条件较好的地区（如北京）、地质条件差的地区（如上海、海口、惠州等）、浅基坑和深基坑都有，其结果是给国家造成巨大的经济损失，影响人民生活。

基坑开挖时，随着土体应力的解除和临空面的产生，将可能引起土体与支护结构的失稳。土体与支护结构的失稳主要表现为几种类型，分别是整体失稳、基坑底土隆起失稳、基坑底土突涌失稳、基坑渗流失稳（产生管涌现象）、支护结构踢脚失稳，另还有支护结构的强度破坏，如支锚结构锚杆被拔出、桩墙底部向基坑内产生较大位移、桩墙弯曲破坏等，如图 1.1。当支护结构与土体发生上述失稳现象时，必将引起支护结构侧移和地表沉降，引起临近建筑（构筑物）、道路、地下设施与管线的变形，严重的将产生灾难性的后果。

因此，在基坑支护工程的设计和施工过程中，一定要做到以下几点：

（1）对地质条件和周边环境进行充分考察，根据周边环境的要求制定出经济合理的支护方案，并据此提出支护结构的水平位移和周边地层的垂直沉降控制标准。

（2）在设计阶段，应根据工程勘察报告，结合经验综合选取设计参数。

（3）在分析支护结构受力和变形时，应充分考虑施工的每一阶段支护结构体系和外荷载的变化，同时要考虑施工工艺的变化、挖土次序和位置的变化、支撑和留土时间的变化等。

（4）基坑设计人员应充分认识到在基坑施工过程中还会遇到很多设计阶段难以预测到的问题，因此，设计人员应密切和施工人员联系，全面把握施工进度状况，及时处理施工中遇到的意外情况。

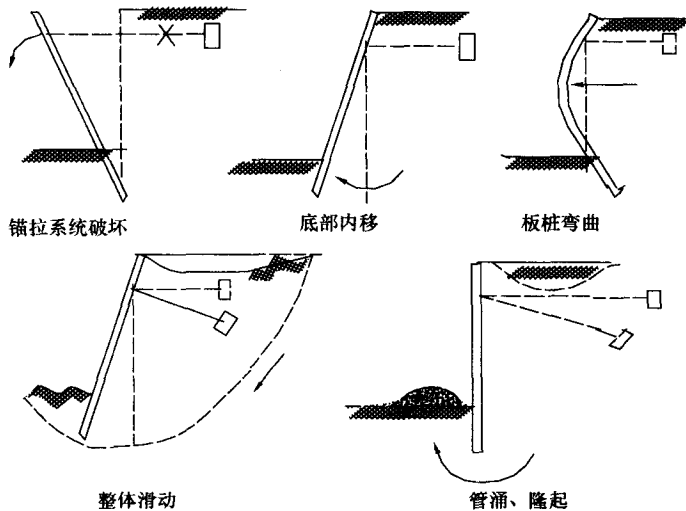


图 1.1 支护结构失稳示意图

(5) 基坑施工过程中应该制定完备的监测方案，设计应根据监测成果实施动态优化设计。监测人员对监测结果应及时总结，一旦发现问题应及时向设计、施工等方面反映，以便分析异常原因，及时提出解决方法。

(6) 基坑工程的施工必须完全按照设计文件的要求去做，需要变更施工工艺和施工顺序应提前向设计人员提出，设计人员重新计算分析许可后方可进行变更。

1.2 基坑支护设计原则

1.2.1 极限状态设计

基坑支护结构应采用以分项系数表示的极限状态设计表达式进行设计，基坑支护结构极限状态分为下列两类。

1. 承载能力极限状态

对应于支护结构达到最大承载能力或土体失稳、过大变形导致支护结构或基坑周边环境破坏。这种状态表现为任何原因引起的基坑侧壁破坏。一般情况下，支护结构上的作用效应和结构抗力，应符合下式要求：

$$R - S \geq 0 \quad (1-1)$$

式中 S ——结构的作用效应；

R ——结构的抗力。

按照《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)(以后章节简称“规范 GB 50007—2002”)，支护结构的荷载效应包括下列各项：

- (1) 土压力；
- (2) 静水压力、渗流压力、承压水压力；
- (3) 基坑开挖影响范围以内建（构）筑物荷载、地面超载、施工荷载及邻近场地施工的作用影响；
- (4) 温度变化（包括冻胀）对支护结构产生的影响；

(5) 临水支护结构尚应考虑波浪作用和水流退落时的渗透力；

(6) 作为永久结构使用时尚应按有关规范考虑相关荷载作用。

2. 正常使用极限状态

对应于支护结构的变形已妨碍地下结构施工或影响基坑周边环境的正常使用功能。这种状态主要表现为支护结构的变形影响地下室边墙施工及基坑周边环境的正常使用，支护结构的变形和裂缝应符合下式要求：

$$S_d \leq C \quad (1-2)$$

式中 S_d ——变形、裂缝等荷载效应的设计值；

C ——设计对变形、裂缝等规定的相应限值。

1.2.2 侧壁安全等级及重要性系数

基坑侧壁安全等级划分难度较大，很难定量说明。《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99) (以后章节简称“规程 JGJ 120—99”)中采用了结构安全等级划分的基本方法，按支护结构的破坏后果分为很严重、严重、不严重三种情况分别对应于三种安全等级，其重要性系数的选用与《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)相一致，见表 1.1。

基坑侧壁安全等级和重要性系数

表 1.1

安全等级	破坏后果	γ_0
一级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响很严重	1.10
二级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响一般	1.00
三级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响不严重	0.90

1.2.3 设计要求

基坑开挖与支护计算时，应根据场地的实际土层分布、地下水条件、环境控制条件，按基坑开挖施工过程的实际工况设计。

1. 基坑采用放坡开挖是最经济、有效的方式，当有条件时，基坑应采用局部或全部放坡开挖，放坡坡度一般根据经验确定，并应满足其稳定性要求。

2. 基坑开挖与支护设计内容：

应包括对支护结构计算和验算、质量检测及施工监控的要求。按照规范 GB 50007—2002，具体如下：

(1) 支护体系的方案技术经济比较和选型；

(2) 支护结构的承载力、稳定和变形计算；

(3) 基坑内外土体稳定性验算；

(4) 基坑降水或止水帷幕设计以及围护墙的抗渗设计；

(5) 基坑开挖与地下水变化引起的基坑内外土体的变形及其对基础桩、邻近建筑物和周边环境的影响；

(6) 基坑开挖施工方法的可行性及基坑施工过程中的监测要求。

3. 根据承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求，基坑支护应按下列规定

进行计算和验算：

1) 基坑支护结构均应进行承载能力极限状态的计算，计算内容应包括：

- (1) 根据基坑支护形式及其受力特点进行土体稳定性计算；
- (2) 基坑支护结构的受压、受弯、受剪承载力计算；
- (3) 当有锚杆或支撑时，应对其进行承载力计算和稳定性验算。

2) 支护结构设计应考虑其结构水平变形、地下水的变化对周边环境的水平与竖向变形的影响，对于安全等级为一级以及对支护结构变形有限定的二级建筑基坑侧壁，应按式(1-2)对基坑周边环境及支护结构变形进行验算。

(1) 支护结构的水平变形限值应根据周边环境的重要性、对变形的适应能力及土的性质等因素确定。

(2) 因支护结构变形、岩土开挖及地下水条件引起的基坑内外土体变形应按以下条件控制：

- ①不得影响地下结构尺寸、形状和正常施工；
- ②不得影响既有桩基的正常使用；
- ③对周边已有建（构）筑物引起的沉降不得超过规范 GB 50007—2002 有关规定的要求；
- ④不得影响周边管线的正常使用。

4. 当场地内有地下水时，应根据场地及周边区域的工程地质条件、水文地质条件、周边环境情况和支护结构与基础形式等因素，确定地下水控制方法。当场地周围有地表水汇流、排泻或地下水管渗漏时，应对基坑采取保护措施，进行地下水控制计算和验算：

- (1) 抗渗透稳定性验算；
- (2) 基坑底突涌稳定性验算；
- (3) 根据支护结构设计要求进行地下水位控制计算。

5. 基坑开挖与支护设计应具备下列资料：

- (1) 岩土工程勘察报告；
- (2) 建筑总平面图、地下管线图、地下结构的平面图和剖面图；
- (3) 邻近建筑物和地下设施的类型、分布情况和结构质量的检测评价。

1.3 基坑工程勘察

目前基坑工程的勘察很少单独进行，大多数是与地基勘察一并完成的，但由于有些勘察人员对基坑工程的特点和要求不是很了解，提供的勘察成果不一定能满足基坑支护设计的要求。例如，地基勘察往往对持力层、下卧层研究较仔细，而忽略浅部土层的划分和取样试验；侧重于针对地基的承载性能提供土质参数，而忽略支护设计所需要的参数；只在规定的建筑物轮廓线以内进行勘探工作，而忽略对周边环境的调查了解等等。因此，本节根据规程 JGJ 120—99、规范 GB 50007—2002、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)的有关要求，针对基坑工程勘察进行论述。

由于我国基坑工程的经验主要在土质基坑方面，岩质基坑的经验较少，故本节内容只适用于土质基坑。

1.3.1 勘察阶段

基坑工程的勘察与其他工程的勘察一样，可分阶段进行，一般分为初步勘察、详细勘察和施工勘察。

1.3.2 勘察要求

1. 在初步勘察阶段，应根据岩土工程条件，初步判定开挖可能发生的问题和需要采取的支护措施；在详细勘察阶段，应针对基坑工程设计的要求进行勘察；在施工阶段，必要时应进行补充勘察。

2. 在详细勘察阶段，宜按下列要求进行勘察工作：

1) 工程地质勘察

(1) 勘察范围：勘察的平面范围宜超出开挖边界外开挖深度的2~3倍，在深厚软土区，勘察范围尚应适当扩大。

(2) 勘察深度：一般土质条件下，悬臂桩墙的嵌入深度大致为基坑开挖深度的2倍，因此勘察深度宜为开挖深度的2~3倍，在此深度内遇到坚硬黏性土、碎石土和岩层，可根据岩土类别和支护设计要求减少深度，在深厚软土区，勘察深度尚应适当扩大。

(3) 勘探点布置：勘探点间距应视地层条件而定，可在15~30m内选择，地层变化较大时，应增加勘探点，查明分布规律。

(4) 在开挖边界外，勘探点布置和勘察深度可能会遇到困难，勘察手段以调查研究、收集已有资料为主，但对于复杂场地和斜坡场地，由于稳定性分析的需要或布置锚杆的需要，必须有实测地质剖面，应适量地布置勘探点。

(5) 在受基坑开挖影响和可能设置支护结构的范围内，应查明岩土分布、土的常规物理试验指标，分层提供支护设计所需的抗剪强度指标，土的抗剪强度试验方法应与基坑工程设计要求一致，符合设计采用的标准，并应在勘察报告中说明。

土的抗剪强度是基坑支护设计最重要的参数，但不同的试验方法可能得出不同的结果。由于三轴试验受力明确，可以控制排水条件，因此规范GB 50007—2002中规定，在基坑工程中确定饱和黏性土的抗剪强度指标时应采用三轴剪切试验方法。由于基坑一般采用机械开挖，速度较快，支护结构上的土压力形成很快，为与其相适应，采用不排水剪是合理的，对于饱和软黏土，由于灵敏度高，取土易扰动，为使结果不致过低，可在自重压力下进行固结后再进行不排水剪。

在采取土样时，为减少对土样的扰动，应采用薄壁取土器取样。

(6) 周边环境调查：环境保护是基坑工程的重要任务之一，在建筑物密集、交通流量大的城区尤其突出。由于对周边建（构）筑物和地下管线情况不了解，盲目开挖造成损失的事例很多，有的后果非常严重，因此基坑工程勘察，应进行环境状况的调查，查明邻近建筑物和地下设施的现状、结构特点以及对开挖变形的承受能力。在城市地下管网密集分布区，可通过地理信息系统或其他档案资料了解管线的类别、平面位置、埋深和规模，如确实搜集不到资料，必要时应采用开挖、物探、专用仪器或其他有效方法进行地下管线探测。

基坑周边环境调查具体包括以下内容：

①查明影响范围内建（构）筑物的结构类型、层数、基础类型、埋深、基础荷载大小及上部结构现状；

②查明基坑周边的各类地下设施，包括水管、电缆、煤气、污水、雨水、热力等管线或管道的分布和性状；

③查明场地周围和邻近地区地表水汇流、排泄情况、地下水管渗漏情况以及对基坑开挖的影响程度；

④查明基坑四周道路的距离及车辆载重情况。

2) 水文地质勘察

当场地水文地质条件复杂，在基坑开挖过程中需要对地下水进行治理（降水或隔渗）时，应进行专门的水文地质勘察。

基坑工程的水文地质勘察工作不同于供水水文地质勘察，其目的包括两个方面：一是满足降水设计（包括降水井的布置和井管设计）需要，二是满足对环境影响评估的需要。前者按通常的供水水文地质勘察工作的方法即可满足要求，而后者因涉及的问题很多，要求就更高，当降水和基坑开挖可能产生流砂、流土、管涌等渗透性破坏时，应有针对性地进行勘察，分析评价其产生的可能性及对工程的影响。当基坑开挖过程中有渗流时，地下水的渗流作用宜通过渗流计算确定。

场地水文地质勘察应达到以下要求：

(1) 查明开挖范围及邻近场地地下水含水层和隔水层的层位、埋深和分布情况，查明各含水层（包括上层滞水、潜水、承压水）的补给条件和水力联系；

(2) 测量场地各含水层的渗透系数和渗透影响半径；

(3) 分析施工过程中水位变化、可能产生的流砂、流土、管涌等工程现象对支护结构和基坑周边环境的影响并进行评价，提出应采取的措施。

1.3.3 岩土工程评价

岩土工程勘察，应在岩土工程评价方面有一定的深度，只有通过比较全面的分析评价，才能使支护方案选择的建议更为确切，更有依据。因此基坑工程勘察应针对以下内容进行分析，提供有关计算参数和建议；

(1) 边坡的局部稳定性、整体稳定性和坑底抗隆起稳定性；

(2) 坑底和侧壁的渗透稳定性；

(3) 挡土结构和边坡可能发生的变形；

(4) 降水效果和降水对环境的影响；

(5) 开挖和降水对邻近建筑物和地下设施的影响。

岩土工程勘察报告中与基坑工程有关的部分应包括下列内容：

(1) 与基坑开挖有关的场地条件、土质条件和工程条件；

(2) 提出处理方式、计算参数和支护结构选型的建议；

(3) 提出地下水控制方法、计算参数和施工控制的建议；

(4) 提出施工方法和施工中可能遇到的问题，并提出防治措施；

(5) 对施工阶段的环境保护和监测工作的建议。

1.4 支护结构选型

我国幅员辽阔，支护结构的施工工艺各地不一，合理的选择支护结构的类型应根据基

坑周边环境、开挖深度、工程地质与水文地质、施工作业设备和施工季节等条件综合考虑，并因地制宜的选择。规程 JGJ 120—99 介绍了几种支护结构的类型，并给出了包含基坑侧壁安全等级、开挖深度及地下水情况的适用条件，见表 1.2。

支护结构选型表

表 1.2

结构型式	适用条件
排桩或地下连续墙	<ol style="list-style-type: none"> 1. 适于基坑侧壁安全等级一、二、三级 2. 悬臂式结构在软土地中不宜大于 5m 3. 当地下水位高于基坑底面时，宜采用降水、排桩加截水帷幕或地下连续墙
水泥土墙	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级 2. 水泥土桩施工范围内地基承载力不宜大于 150kPa 3. 基坑深度不宜大于 6m
土钉墙	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级的非软土地 2. 基坑深度不宜大于 12m 3. 当地下水位高于基坑底面时，应采用降水或截水措施
逆作拱墙	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级 2. 淤泥和淤泥质土地不宜采用 3. 拱墙轴线的矢跨比不宜小于 1/8 4. 基坑深度不宜大于 12m 5. 当地下水位高于基坑底面时，应采用降水或截水措施
放坡	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级 2. 施工场地应满足放坡要求 3. 可独立或与上述其他结构结合使用 4. 当地下水位高于坡脚时，应采用降水措施

支护结构可按表 1.2 选用排桩、地下连续墙、水泥土墙、逆作拱墙、土钉墙、原状土放坡或采用上述型式的组合，同时应考虑结构的空问效应和受力特点，采用有利支护结构材料受力性状的型式。

软土地可采取深层搅拌、注浆、间隔或全部加固等方法对局部或整个基坑底土进行加固，或采取降水措施提高基坑内侧被动抗力。

思考与练习

- 1.1 建筑基坑是指什么？为什么说基坑支护是岩土工程的一个综合性难题？
- 1.2 目前基坑工程主要特点有哪些？
- 1.3 基坑侧壁安全等级分几级？它们是如何划分的？
- 1.4 基坑支护结构设计有哪些原则？其设计和计算内容分别有哪些？
- 1.5 岩土工程勘察等级如何划分？勘察等级为二级应符合什么条件？
- 1.6 岩土工程勘察成果报告分哪几部分？对建筑地基的评价包括哪些内容？为什么规范要求要在勘察报告中提出地基和基础设计方案建议？
- 1.7 基坑支护结构的形式一般有哪些？分别适用于什么条件？

第 2 章 水平荷载与水平抗力标准值

2.1 基本理论

2.1.1 概论

作用在支护结构上的荷载主要有土压力和水压力，而土压力是主要的荷载，它指的是支护结构后填土自重或外荷载对支护结构产生的侧向压力。土压力的计算是个比较复杂的问题，它随着支护结构可能位移的方向、大小及填土所处的状态分为主动土压力、被动土压力和静止土压力。

如果支护结构在土压力作用下不发生变形和任何位移，墙后填土处于弹性平衡状态，则作用在结构上的土压力称为静止土压力，以 E_0 表示，如图 2.1 (a) 所示。如作用在地下室外墙上的土压力即按静止土压力计算。

若支护结构在土压力作用下向墙前发生位移，则随着位移的增大，墙后土压力逐渐减少，当土体达到极限平衡状态时，作用在结构上的土压力称为主动土压力，以 E_a 表示，如图 2.1 (b) 所示，此时的土体极限平衡状态称为主动极限平衡状态。如基坑外侧土体作用在支护结构上的土压力即按主动土压力计算。

若支护结构在外力作用下向墙后发生位移，则随着位移的增大，墙后土压力逐渐增大，当土体达到极限平衡状态时，作用在结构上的土压力称为被动土压力，以 E_p 表示，如图 2.1 (c) 所示，此时的土体极限平衡状态称为被动极限平衡状态。如基坑内侧土体作用在基坑底面以下嵌固深度内支护结构上的土压力即按被动土压力计算。

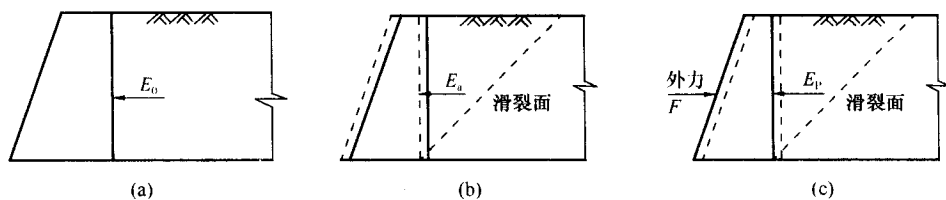


图 2.1 三类土压力示意图

(a) 静止土压力；(b) 主动土压力；(c) 被动土压力

一些资料表明，达到主动、被动极限平衡状态时所需的位移量如下表 2.1。

土达到极限平衡状态时所需位移量

表 2.1

土的种类	应力状态	位移形式	所需位移量
砂 土	主动极限平衡	平移	0.001h (h 为墙体高度)
	主动极限平衡	绕墙趾转动	0.001h
	被动极限平衡	平移	0.05h
	被动极限平衡	绕墙趾转动	>0.1h
黏 土	主动极限平衡	平移	0.004h
	被动极限平衡	绕墙趾转动	0.004h