



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

基坑支护工程

孔德森 吴燕开 主编



冶金工业出版社

Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

基坑支护工程

孔德森 吴燕开 主编

北京
冶金工业出版社
2012

内 容 提 要

本书全面系统地阐述了基坑工程的基本理论、设计方法和施工工艺,并进行了工程实例分析,充分反映了基坑支护工程的理论研究、设计施工技术现状以及发展趋势。全书共分12章,分别为绪论、基坑支护荷载计算、基坑工程稳定性分析、放坡与土钉墙支护技术、水泥土墙支护技术、排桩支护技术、地下连续墙设计与施工、支撑体系设计与施工、逆作法、地下水的控制、土方开挖设计与施工以及基坑工程监测。本书理论联系实际,实践性强,能较好地帮助读者理解和掌握基坑支护工程的相关理论和应用技术。

本书可作为高等学校土木工程专业和城市地下空间工程专业的教材,也可供从事基坑工程勘察、设计、施工、监测工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基坑支护工程/孔德森,吴燕开主编. —北京:冶金工业出版社, 2012. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5987-1

I. ①基… II. ①孔… ②吴… III. ①基坑—坑壁支撑—高等学校—教材 IV. ①TU46

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第183452号

出版人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5987-1

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012年8月第1版,2012年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;15印张;359千字;225页

32.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

基坑支护工程是岩土工程的一个重要分支，是一门理论内涵丰富且实践性非常强的综合性交叉学科。它涉及工程地质学、土力学、基础工程、结构力学、施工技术、测试技术和环境岩土工程等学科，主要包括基坑工程的理论、勘察、设计、施工以及监测技术，同时还包括地下水的控制和土方开挖等，是相互关联、综合性很强的系统工程。近几十年来，随着我国经济和城市建设的高速发展，特别是市政工程和高层建筑的大量兴建，地下空间开发利用突飞猛进，深基坑工程越来越多，基坑的开挖深度也越来越深，规模和复杂程度不断加大，从而推动了我国深基坑工程理论、设计计算方法、施工技术和监测手段等的发展。

同时，基坑工程是一项难度大、风险大、投资大的关键性工程，基坑支护的设计与施工，既要保证整个支护结构在施工过程中的安全，又要控制主体结构和周围土体的变形，进而保证周围环境的安全。在安全的前提下，设计既要合理，又要节约造价，方便施工，缩短工期。由于我国的基坑支护工程发展历史不长，在理论研究、设计方法、施工经验、组织管理等方面均显不足，理论研究落后于工程实践，故基坑工程事故偶有发生。因而，不断加深对基坑支护工程的相关理论研究，改进和完善设计方法，提高基坑工程施工水平，实现信息化施工是提高我国基坑支护工程整体水平的关键。

编者在多年从事基坑工程理论研究与工程实践的基础上，结合教学经验，吸收国内外基坑支护工程的研究成果和实践经验编写了本书，全面系统地阐述了基坑支护工程的基本理论、设计方法和施工工艺，并分析了工程实例，充分反映了基坑支护工程的技术现状和发展趋势。

全书分为12章，第1章介绍了基坑支护工程的现状、特点、设计原则、支护方法和发展趋势；第2章重点阐述了土压力的计算方法和水平荷载、水平抗力标准值的确定方法；第3章对基坑支护工程的各种稳定性验算方法进行了论述；第4章介绍了放坡技术和土钉墙支护技术；第5章~第9章分别详细介绍

绍了水泥土墙支护技术、排桩支护技术、地下连续墙支护技术、支撑体系和逆作法的特点、适用条件、设计方法和施工工艺；第10章重点论述了地下水的控制方法以及由于基坑降水引起的环境保护措施；第11章介绍了各种条件下的基坑土方开挖方法；第12章对基坑工程施工过程中的常用监测手段和方法进行了论述。

本书由孔德森和吴燕开主编。在编写过程中，门燕青、杨洋、徐立民、牛斌、陈永坡、陈文杰等做了大量的工作，在此谨向他们致以衷心的感谢。同时，书中还参考了国内外众多单位和个人的研究成果与工作总结，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处，恳请读者批评指正，以便做进一步的修改和补充。

孔德森 吴燕开

2012年5月

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 基坑支护工程的特点	2
1.3 基坑工程的设计原则与安全等级	2
1.3.1 基坑工程的设计原则	2
1.3.2 基坑工程的安全等级	3
1.4 基坑支护总体方案与支护方法分类	4
1.4.1 基坑支护总体方案	4
1.4.2 基坑支护方法分类	4
1.5 基坑工程勘察	6
1.6 基坑工程的发展趋势	8
思考与练习题	9
2 基坑支护荷载计算	10
2.1 概述	10
2.2 土压力理论	11
2.2.1 静止土压力	11
2.2.2 库仑土压力理论	12
2.2.3 朗肯土压力理论	14
2.3 特殊情况下的土压力	16
2.3.1 基坑边有超载时的土压力	16
2.3.2 坡顶地面非水平时的土压力	16
2.3.3 支挡结构后为非均质填土时的土压力	17
2.4 现行规范土压力计算	23
2.4.1 支挡结构水平荷载计算	23
2.4.2 水平抗力（被动土压力）计算	24
思考与练习题	28
3 基坑工程稳定性分析	30
3.1 概述	30
3.2 基坑稳定性计算	31
3.2.1 无围护结构基坑的稳定性计算	31

3.2.2	有围护结构基坑的稳定性计算	33
3.3	基坑底部土体抗隆起稳定性分析	34
3.4	基坑渗流稳定性分析	37
	思考与练习题	39
4	放坡与土钉墙支护技术	40
4.1	概述	40
4.2	放坡设计与施工	41
4.3	土钉墙的工程特性	43
4.3.1	土钉墙的应用领域	44
4.3.2	土钉墙的特点	44
4.3.3	土钉墙的适用条件	45
4.3.4	土钉墙使用的一般规定	45
4.3.5	土钉墙与加筋土墙的比较	45
4.3.6	土钉与锚杆的对比	46
4.4	土钉墙的作用机理与工作性能	47
4.4.1	土钉墙的作用机理	47
4.4.2	土钉墙的工作性能	48
4.5	土钉墙设计计算	49
4.5.1	土钉墙结构尺寸确定	49
4.5.2	土钉参数的设计	50
4.5.3	土钉墙内部稳定性分析	50
4.5.4	土钉墙整体稳定安全系数计算	53
4.5.5	土钉墙外部稳定性分析	54
4.5.6	土钉墙变形分析	55
4.5.7	土钉墙面层设计	56
4.6	土钉墙施工方法	56
4.6.1	作业面开挖	56
4.6.2	喷射混凝土面层	57
4.6.3	排降水措施	57
4.6.4	土钉施工	57
4.6.5	土钉防腐	58
4.6.6	边坡表面处理	58
4.7	土钉墙质量检验与监测	58
4.7.1	土钉抗拔力检验	58
4.7.2	原材料检验	59
4.7.3	面层强度及厚度检验	59
4.7.4	土钉墙监测	59
4.8	工程实例分析	59

4.8.1	工程概况	59
4.8.2	工程地质条件	60
4.8.3	设计计算	60
4.8.4	施工方法	61
4.8.5	质量检验与监测	62
4.8.6	技术经济效果	63
	思考与练习题	63
5	水泥土墙支护技术	64
5.1	概述	64
5.2	水泥土墙的设计	66
5.2.1	抗滑稳定性验算	67
5.2.2	抗倾覆稳定性验算	68
5.2.3	整体稳定性验算	69
5.2.4	水泥土挡墙墙体应力验算	70
5.2.5	墙趾地基土的承载力验算	71
5.2.6	挡墙的抗渗计算	72
5.2.7	水泥土挡墙水平位移的计算	72
5.3	水泥土墙围护结构的嵌固深度	73
5.3.1	悬臂式支护结构嵌固深度计算	73
5.3.2	单层支点支护结构嵌固深度计算	74
5.3.3	按整体稳定计算嵌固深度	74
5.4	水泥土墙厚度计算	75
5.5	水泥土墙的施工	76
5.5.1	施工工艺及施工参数	77
5.5.2	成桩施工过程中的注意事项	78
5.5.3	成桩记录	78
5.5.4	质量检验	79
5.6	工程实例分析	80
5.6.1	工程概况	80
5.6.2	地质情况	81
5.6.3	工程特点	81
5.6.4	方案选择	82
5.6.5	设计计算	82
5.6.6	施工情况	84
	思考与练习题	84
6	排桩支护技术	86
6.1	概述	86

6.1.1	排桩围护体的种类与特点	86
6.1.2	排桩围护体的止水	86
6.1.3	排桩围护体的应用	88
6.2	排桩嵌固深度设计	88
6.2.1	悬臂式支挡结构的两种计算模式	89
6.2.2	H. Blum 计算方法	89
6.3	单支点支挡结构的设计计算	90
6.3.1	顶部支撑(或拉锚)计算	90
6.3.2	支撑结构任意位置的单支撑(或拉锚)计算	91
6.4	多支点支挡结构的设计计算	95
6.4.1	逐层开挖支撑(或拉锚)力不变等值梁法	95
6.4.2	二分之一分担法	96
6.5	排桩桩径与桩距的设计	97
6.6	排桩施工	98
6.6.1	钻孔灌注桩施工	98
6.6.2	沉管灌注桩施工	102
6.6.3	人工挖孔灌注桩施工	104
6.7	工程实例分析	105
6.7.1	场地工程地质条件	105
6.7.2	基坑工程概况	105
6.7.3	施工监测	106
6.7.4	监测结果及数据整理	107
	思考与练习题	108
7	地下连续墙设计与施工	109
7.1	概述	109
7.1.1	地下连续墙的特点	110
7.1.2	地下连续墙的适用条件	110
7.1.3	地下连续墙的分类和结构形式	111
7.2	地下连续墙的设计	113
7.2.1	墙体厚度和槽段宽度设计	113
7.2.2	地下连续墙的入土深度确定	114
7.2.3	地下连续墙的构造设计	114
7.2.4	地下连续墙的施工接头	115
7.2.5	地下连续墙的内力与变形计算及承载力验算	118
7.3	地下连续墙的施工	119
7.3.1	地下连续墙的施工工艺流程	119
7.3.2	主要施工方法	119
7.4	工程实例分析	128

7.4.1	工程概况	128
7.4.2	地下连续墙的设计与施工	128
7.4.3	实施效果评价	132
	思考与练习题	133
8	支撑体系设计与施工	134
8.1	概述	134
8.2	支撑体系的设计	135
8.2.1	支撑体系的设计方法	135
8.2.2	支撑体系的结构形式与特点	136
8.2.3	支撑体系的结构布置	140
8.2.4	支撑节点的构造设计	146
8.2.5	立柱的设计	149
8.3	支撑体系的施工	150
8.3.1	钢筋混凝土支撑的施工	150
8.3.2	钢支撑的施工	150
8.4	工程实例分析	151
8.4.1	工程概况	151
8.4.2	基坑支护体系的设计	152
8.4.3	支护桩及钢筋混凝土支撑的施工	152
	思考与练习题	152
9	逆作法	153
9.1	概述	153
9.2	逆作法工艺与分类	154
9.2.1	逆作法工艺	154
9.2.2	逆作法的特点与适用条件	156
9.2.3	逆作法的分类	157
9.3	逆作法的设计	158
9.3.1	逆作法的总体设计	158
9.3.2	地下连续墙的设计	159
9.3.3	中间支承柱的设计	160
9.3.4	节点构造设计	162
9.4	逆作法的施工	166
9.4.1	选择施工方案	166
9.4.2	选择逆作施工形式	166
9.4.3	施工孔洞布置	167
9.4.4	中间支承柱的施工	167
9.4.5	土方开挖	168

9.4.6 地下结构的施工	168
9.5 工程实例分析	169
9.5.1 工程概况	169
9.5.2 总体方案	169
9.5.3 梁柱结构的节点设计	170
9.5.4 梁板与地下连续墙连接节点的设计	171
9.5.5 柱、墙逆作施工技术	173
9.5.6 无排吊模施工技术	173
思考与练习题	174
10 地下水的控制	175
10.1 概述	175
10.2 降水方法及其选用	176
10.2.1 重力式降水	177
10.2.2 强制式降水	177
10.3 基坑降水对周围环境的影响及其防范措施	185
10.3.1 基坑降水对周围环境的影响	185
10.3.2 防范基坑降水不利影响的措施	186
10.4 工程实例分析	188
思考与练习题	189
11 土方开挖设计与施工	190
11.1 概述	190
11.2 土方开挖的基本原则	191
11.2.1 基坑土方开挖的总体要求	191
11.2.2 无内支撑的基坑土方开挖原则	191
11.2.3 有内支撑的基坑土方开挖原则	192
11.3 不同支护形式基坑的土方分层开挖方法	193
11.3.1 放坡基坑的土方开挖方法	193
11.3.2 有围护的基坑土方开挖方法	194
11.3.3 放坡与围护相结合的基坑土方开挖方法	196
11.4 不同长度边界的基坑土方开挖方法	196
11.4.1 边界不分段时的基坑土方开挖方法	196
11.4.2 边界分段时的基坑土方开挖方法	197
11.5 基坑边界内的土方分层分块开挖方法	199
11.5.1 基坑岛式土方开挖方法	199
11.5.2 基坑盆式土方开挖方法	200
11.5.3 岛式与盆式相结合的土方开挖方法	201
11.6 坑中坑的土方开挖方法	201

11.7 工程实例分析	202
11.7.1 工程概况	202
11.7.2 施工方案确定	202
11.7.3 土方施工	203
11.7.4 实施效果	204
思考与练习题	204
12 基坑工程监测	205
12.1 概述	205
12.2 基坑监测的内容	207
12.2.1 监测的内容	207
12.2.2 监测的基本要求	208
12.2.3 基坑变形监测的控制值	208
12.3 基坑支护结构监测	209
12.3.1 支护结构监测项目与监测方法	209
12.3.2 支护结构监测常用仪器	210
12.4 周围环境的监测	212
12.4.1 坑外地层的变形监测	212
12.4.2 邻近建(构)筑物沉降和倾斜监测	212
12.4.3 邻近地下管线沉降与位移监测	214
12.5 工程实例分析	214
12.5.1 工程概况	214
12.5.2 场地工程地质条件	215
12.5.3 基坑支护方案	215
12.5.4 基坑监测方案	216
12.5.5 监测结果分析	216
12.5.6 结论与建议	223
思考与练习题	224
参考文献	225

1 绪 论

1.1 概 述

建筑基坑是指为进行建（构）筑物基础、地下建（构）筑物施工而开挖形成的地面以下的空间。随着经济的发展和城市化进程的加快，城市人口密度不断增大，城市建设向纵深方向飞速发展，地下空间的开发和利用成为一种必然，基坑工程的数量日益增多，规模不断扩大，基坑复杂性和技术难度也随之增大。大规模的高层建筑地下室、地下商场的建设和大规模的市政工程如地下停车场、大型地铁车站、地下变电站、地下通道、地下仓库、大型排水及污水处理系统和地下民防工事等的施工都面临深基坑工程，并且不断刷新着基坑工程的规模、深度和难度纪录。

我国基坑工程的发展是从 20 世纪 90 年代开始的。改革开放以前，我国的基础埋深较浅，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；80 年代末期，由于高层建筑不多，地铁建设也很少，故涉及的基坑深度大多在 10m 以内；自 90 年代初期，高层建筑逐渐增多；90 年代中后期，以北京、上海、深圳、广州等为代表的城市，高层建筑如雨后春笋般开始大量建设，以地铁为代表的地下工程也开始大规模建设，基坑开挖最大深度逐渐接近 20m，少量超过 20m；90 年代末期以后，基坑开挖最大深度迅速增大至 30 ~ 40m。上海地铁 4 号线董家渡基坑的开挖深度为 38.0 ~ 40.9m，上海交通大学海洋深水试验池的开挖深度达 39m，上海世博 500kV 地下变电站的开挖深度为 33.6m，天津站交通枢纽工程的开挖深度为 25.0 ~ 33.5m，开挖面积达 5 万平方米，上海中心的基坑开挖深度为 31.3m。这些大型基坑工程的建成，标志着我国基坑工程技术达到了一个很高的水平。

基坑支护是指为保证基坑开挖和地下结构的施工安全以及保护基坑周边环境而对基坑侧壁和周边环境采取的支挡、加固和保护措施，它主要包括基坑的勘察、设计、施工及监测技术，同时还包括地下水的控制和土方开挖等，是相互关联、综合性很强的系统工程。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，是一项从实践中发展起来的技术，也是一门实践性非常强的学科。它涉及工程地质学、土力学、基础工程、结构力学、施工技术、测试技术和环境岩土工程等学科，主要包括土力学中典型的强度、稳定及变形问题，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。

基坑工程是世界各地建设工程中数量多、投资大、难度大、风险大的关键性工程项目，基坑支护的设计与施工，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（相邻建筑和地下公共设施等）的安全。在安全前提下，设计既要合理，又要节约造价，方便施工，缩短工期。要提高基坑支护的设计与

施工水平,必须正确选择计算方法、计算模型和岩土力学参数,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,其设计与施工是相互信赖、密不可分的。在基坑施工的每一个阶段,随着施工工艺、开挖位置和次序、支撑和开挖时间等的变化,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。

1.2 基坑支护工程的特点

基坑支护工程具有以下特点:

(1) 风险大。当支护结构仅作为地下主体工程施工所需要的临时支护措施时,其使用时间不长,一般不超过两年,属于临时工程,与永久性结构相比,设计考虑的安全储备系数相对较小,加之岩土力学性质、荷载以及环境的变化和不确定性,使支护结构存在着较大的风险。

(2) 区域性强。岩土工程区域性强,基坑支护工程则表现出更强的区域性。不同地区岩土力学性质千差万别,即使在同一地区的岩土性质也有所区别,因此,基坑支护设计与施工应因地制宜,结合本地情况和成功经验进行,不能简单照搬。

(3) 独特性显著。基坑工程与周围环境条件密切相关,在城区和在空旷区的基坑对支护体系的要求差别很大,几乎每个基坑都有其相应的独特性。

(4) 综合性强。基坑支护是岩土工程、结构工程以及施工技术相互交叉的学科,同时基坑支护工程涉及土力学中的稳定、变形和渗流问题,影响基坑支护的因素也很多,所以要求基坑支护工程的设计者应具备多方面的综合专业知识。

(5) 时空效应明显。基坑工程空间形状对支护体系的受力具有较强的影响,同时土又具有较明显的蠕变性,从而导致基坑工程具有显著的时空效应。

(6) 信息化施工要求高。基坑挖土顺序和挖土速度对基坑支护体系的受力具有很大影响,基坑支护设计应考虑施工条件,并应对施工组织提出要求,基坑工程需要加强监测,实行信息化施工。

(7) 环境效应显著。基坑支护体系的变形和地下水位下降都可能对基坑周围的道路、地下管线和建筑物产生不良影响,严重的可能导致破坏,因此,基坑工程设计和施工一定要重视环境效应。

(8) 理论不成熟。尽管基坑支护技术得到了较大的发展,但在理论上仍属尚待发展的综合技术学科。目前只能采用理论计算和地区经验相结合的半经验、半理论的方法进行设计。

1.3 基坑工程的设计原则与安全等级

1.3.1 基坑工程的设计原则

基坑工程设计的主要内容包括基坑支护方案选择、支护参数确定、支护结构的强度和

变形验算、基坑内外土体的稳定性验算、围护墙的抗渗验算、降水方案设计、基坑开挖方案设计和监测方案设计等。在进行基坑工程设计时，应遵循以下原则：

(1) 安全可靠。保证基坑四周边坡的稳定，满足支护结构本身强度、稳定和变形的要求，确保基坑四周相邻建筑物、构筑物 and 地下管线的安全。

(2) 经济合理。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益的设计方案。

(3) 技术可行。基坑支护结构设计不仅要符合基本的力学原理，而且要能够经济、便利地实施，如设计方案应与施工机械相匹配、施工机械要具有足够的施工能力等。

(4) 施工便利。在安全可靠、经济合理的原则下，最大限度地满足方便施工条件，以缩短工期。

(5) 可持续发展。基坑工程设计要考虑可持续发展，考虑节能减耗，减少对环境的影响，减少对环境的污染。如在技术经济可行的条件下，尽可能地采用支护结构与主体结构相结合的方式；在设计中尽可能地少采用钢筋混凝土支撑，减少支撑拆除所造成的噪声和扬尘污染以及废弃材料的处置难题等。

(6) 采用以分项系数表示的极限状态设计方法进行设计。根据中华人民共和国行业标准《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99) 中的规定，基坑支护结构应采用以分项系数表示的极限状态设计方法进行设计，基坑支护结构极限状态可分为以下两类：

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。

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。

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) 用地退界线及红线范围图、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。

在进行基坑工程设计时，应考虑荷载主要包括：

(1) 土压力和水压力；

(2) 地面超载；

(3) 影响范围内建（构）筑物产生的侧向荷载；

(4) 施工荷载及邻近基础工程施工（如打桩、基坑开挖、降水等）的影响；

(5) 有时还应考虑温度影响和混凝土收缩、徐变引起的作用以及挖土和支撑施工时的时空效应。

1.3.2 基坑工程的安全等级

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) 中采用了结构安全等级划分的基本方法，按支护结构的破坏程度分为很严重、严重和不严重三种情况，分别对应于三种安全等级，具体见表 1-1。

表 1-1 基坑侧壁安全等级和重要性系数

安全等级	破 坏 后 果	重要性系数 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严重	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

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) 对于安全等级为一级及对支护结构变形有限定的二级建筑基坑侧壁，尚应对基坑周边环境及支护结构变形进行验算。

(3) 应进行地下水控制计算和验算，具体包括：

- 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。

1.4 基坑支护总体方案与支护方法分类

1.4.1 基坑支护总体方案

基坑支护总体方案的选择直接关系到工程造价、施工进度和周围环境的安全。总体方案主要有顺作法和逆作法两种基本形式，且它们各有特点。在同一个基坑工程中，顺作法和逆作法也可以在不同的基坑区域组合使用，从而在特定条件下满足工程的技术经济要求。基坑工程的总体支护方案分类如图 1-1 所示。

1.4.2 基坑支护方法分类

基坑支护方法种类繁多，每一种支护方法都有一定的适用范围，也都有其相应的优点和缺点，一定要因地制宜，选用合理的支护方式，具体工程中采用何种支护方法主要根据基坑开挖深度、岩土性质、基坑周围场地情况以及施工条件等因素综合考虑决定。目前在基坑工程中常用的支护方法有：悬臂式支护结构、拉锚式支护结构、内支撑式支护结构、水泥土重力式支护结构、土钉支护和复合土钉支护等。同时，基坑支护方法的分类也多种多样，在基坑支护方法分类中要包括各种支护形式是十分困难的。龚晓南教授将其分为四大类，即放坡开挖及简易支护、加固边坡土体形成自立式支护结构、挡墙式支护结构和其他支护结构。常用基坑支护方法分类和适用范围见表 1-2，表中所列开挖深度应根据当地经验合理选用。

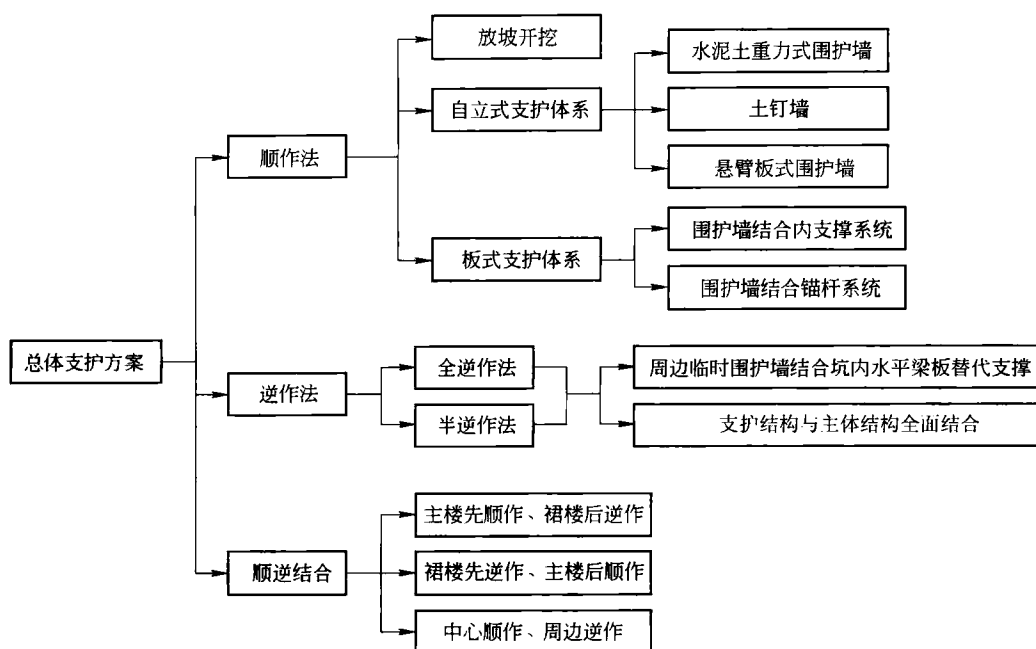


图 1-1 基坑总体支护方案分类

表 1-2 常用基坑支护方法分类及适用范围

类别	支护形式	适用范围	备注
放坡开挖及 简易支护	放坡开挖	地基土质较好，地下水位低，或可采取降水措施降低水位，以及施工现场有足够放坡场地的工程。允许开挖深度取决于地基土的抗剪强度和放坡坡度	费用较低，条件许可时尽量采用
	放坡开挖为主，坡脚辅以短桩、隔板及其他简易支护	基本同放坡开挖。坡脚采用短桩、隔板及其他简易支护可减小放坡占用场地面积，或提高边坡稳定性	
	放坡开挖为主，辅以喷锚网加固	基本同放坡开挖。喷锚网主要用于提高边坡表层土体稳定性	
加固边坡土体形成自立式支护结构	水泥土重力式支护结构	可采用深层搅拌法施工，也可采用旋喷法施工。适用土层取决于施工方法。软黏土地基中，一般用于支护深度小于6m的基坑	可布置成格栅状，支护结构宽度较大
	加筋水泥土墙支护结构	一般用于软黏土地基中深度小于6m的基坑	常用型钢、预制钢筋混凝土T形桩等加筋材料。采用型钢加筋需考虑回收
	土钉墙支护结构	一般适用于地下水位以上或降水后的基坑边坡加固。土钉墙支护临界高度与地基土抗剪强度有关。软黏土地基中应控制使用，一般可用于深度小于5m，且可允许产生较大变形的基坑	可与锚、撑式排桩墙支护联合使用，用于浅层支护
	复合土钉墙支护结构	基本同土钉墙支护结构	复合土钉墙形式很多，应具体情况具体分析
	冻结法支护结构	可用于各类地基	应考虑冻融过程对周围环境的影响、电源不能中断，以及工程费用等因素