

JIANMING SHENJIKENG GONGCHENG SHEJI SHIGONG SHOUC

赵志缙 应惠清 主编



简明

# 深基坑工程设计施工手册

中国建筑工业出版社

TU753-62

2000625

# 简明深基坑工程设计施工手册

赵志缙 应惠清 主编

M/17/02

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

简明深基坑工程设计施工手册/赵志缙, 应惠清主编.

北京: 中国建筑工业出版社, 1999

ISBN 7-112-04090-6

I. 简… I. ①赵…②应… III. ①深基坑-建筑设计-手册②深基坑-工程施工-手册 N. TU753-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 71095 号

本书是依据《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—99 及其他有关基坑工程规程, 为广大工程技术人员尽早掌握新规范而编制的。本书内容主要包括: 总论、周围环境调查及基坑支护体系方案选择、土的工程力学性质、重力式支护体系的设计、重力式支护结构施工、板式支护体系设计、非重力式支护结构的施工、逆作法、放坡与土钉支护、降低地下水、基坑土方开挖、基坑工程现场施工设施、基坑工程监测、基坑工程施工组织设计及基坑工程造价的编制等。

本书可供建筑施工企业、设计单位工程技术人员及大专院校相关专业师生学习、参考。

\* \* \*

责任编辑 郦锁林

## 简明深基坑工程设计施工手册

赵志缙 应惠清 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市彩桥印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 49 字数: 1252 千字

2000 年 4 月第一版 2000 年 4 月第一次印刷

印数: 1—3,000 册 定价: 67.00 元

ISBN 7-112-04090-6

TU·3208 (9549)

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

随着经济的发展与人们居住环境要求的提高,近年来我国建筑、市政等工程得到飞速发展。在都市中,寸土寸金,因而在建筑向高空发展的同时,地下空间的利用也成为一个重要方向。高层及多层建筑的地下室、地下商场、地下车库、地铁车站等工程施工,都会面临深基坑工程。从80年代末至今,我国在深基坑工程的研究、设计、施工及监测等方面取得了长足的进步,既吸取了世界发达国家的先进技术,又研究、开发了一系列适应我国国情的设计方法与施工技术。在我国已取得数万平方米的超大型基坑及开挖20多米的深基坑设计与施工的成功经验。深基坑工程技术在我国已逐渐趋于成熟,其显著标志之一就是我国地方与国家关于基坑工程的规范、规程已陆续编制完成并颁布,使基坑工程的设计与施工“有章可循、有法可依”。深基坑工程在1998年被建设部列为今后推广的十项新技术的第一项。

基坑工程具有工程量大、技术难度高、不可预见的因素多等特点,其安全可靠性的影响不仅影响基坑工程本身,而且往往会影响到周边环境。它虽然作为临时性结构,但其费用很高,有的达数千万元,因此要求我们对基坑工程有一个系统的认识,运用基本理论,结合工程经验,有的放矢地处理好各个环节。

本手册的作者近10年来一直致力于基坑工程的研究工作,并参与了各类大中型基坑工程200多个设计与施工,作者深感有必要向读者介绍国内外基坑工程发展状况特别是我国近年来的发展,并将我们的体会与读者进行交流。本手册力求较全面地介绍基坑工程的基本理论、设计原理、施工技术、监测方法等,尽可能结合各省市及国家已颁布的规范、规程,并附有大量工程实例与参考图表,还包括施工组织与造价分析方面的内容,使本手册能有较强的实用性与较广的适用面。愿本手册能成为土木工程设计及施工技术人员有益的参考书。

由于基坑工程技术在我国尚处于发展阶段,设计理论也有待完善,目前对支护结构的计算方法尚未完全统一,各地具体条件及地方经验也不尽相同。本手册所列的部分计算方法及工程实例也带有一定的经验性与地区性,请读者在工程应用时应予以注意。

本手册由同济大学赵志缙教授与应惠清教授主编,中国建筑工业出版社郇锁林副编审担任总成。全书共分十六章,第一、二、八章由赵志缙编写;第三章由刘前曦编写;第四、五、七、十二、十三、十五章由应惠清编写;第六章由于志军、徐伟编写;第九章由王明山编写;第十章由于志军编写;第十一章由徐伟编写;第十四章由刘继跃编写;第十六章由徐蓉编写。刘清阳、陈忠、盛卫为全书绘制了部分插图。

本手册在编写过程中得到上海建工集团、上海住总集团、昆明市建委、中建三局三公司、江苏江阴振冲器厂、浙江地矿工程公司、青海地矿工程公司等单位及同行的关心与大力支持,手册中还引用了许多单位及个人的研究成果与工程总结,在此谨向他们致以衷心的感谢!

由于作者水平有限,在编写过程中错误与缺点在所难免,敬请读者批评指正,以便我们作进一步修改与补充。

# 目 录

<b>1 总 论</b>	
1.1 概述 .....	1
1.2 基坑工程的内容 .....	3
1.3 基坑工程设计原则与基坑安全等级 .....	3
1.3.1 基坑支护结构的极限状态 .....	3
1.3.2 基坑支护结构的安全等级 .....	4
1.4 基坑工程的设计 .....	5
1.5 基坑工程的施工 .....	7
<b>2 周围环境调查及基坑支护体系方案选择</b>	
2.1 支护体系方案选择的基础资料 .....	8
2.1.1 工程地质和水文地质资料 .....	8
2.1.2 周围环境及地下管线状况调查 .....	10
2.1.3 主体工程地下结构设计资料调查 .....	11
2.2 支护体系方案选择 .....	12
2.2.1 支护体系的组成 .....	12
2.2.2 支护结构类型 .....	12
2.2.3 围护墙(挡墙)形式选择 .....	13
2.2.4 支撑(拉锚)形式选择 .....	18
2.2.5 降水 .....	21
2.2.6 基坑加固 .....	21
2.2.6.1 支护结构围护墙被动区加固 .....	22
2.2.6.2 有坑底承压水的坑底加固 .....	22
2.2.6.3 基坑周围设施的加固 .....	22
2.2.7 基坑土方开挖 .....	23
<b>3 土的工程力学性质</b>	
3.1 土的成因概述 .....	26
3.2 土的物理性质及分类 .....	28
3.2.1 土的组成 .....	29
3.2.2 土的三相比例指标 .....	31
3.2.3 土的分类 .....	33
3.3 土的力学性质 .....	35
3.3.1 土的有效应力原理 .....	35
3.3.2 土的渗透性 .....	37
3.3.3 土的变形特性 .....	39
3.3.4 土的抗剪强度 .....	42
3.3.5 土的抗剪强度测定 .....	43
3.3.5.1 直接剪切试验 .....	43
3.3.5.2 三轴剪切试验 .....	43
3.3.5.3 无侧限抗压强度试验 .....	44
3.3.5.4 十字板剪切试验 .....	45
3.3.6 基坑工程中土体抗剪强度的确定 .....	47
3.3.7 基坑工程常用的岩土参数 .....	47
3.4 土压力 .....	48
3.4.1 概述 .....	48
3.4.2 土压力理论 .....	49
3.4.2.1 静止土压力 .....	49
3.4.2.2 朗金土压力理论 .....	50
3.4.2.3 库伦土压力理论 .....	53
3.4.3 现行规范土压力计算 .....	57
3.4.3.1 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ120—99 .....	57
3.4.3.2 上海市标准《基坑工程设计 规程》(DBJ08—61—97) .....	59
3.4.3.3 深圳市标准《深圳地区建 筑深基坑支护技术规范》 (SJG05—96) .....	60
3.4.3.4 成层土的土压力计算 .....	61
3.4.4 水压力 .....	62
3.4.5 土压力的量测 .....	64
3.5 土的基床系数 .....	65
<b>4 重力式支护体系的设计</b>	
4.1 概述 .....	69
4.2 重力式支护体系的结构形式及	



6.2.2 支撑(或拉锚)系统.....	182	6.6.2 钢支撑结构设计.....	313
6.2.2.1 支撑系统.....	182	6.6.2.1 钢支撑结构设计.....	313
6.2.2.2 拉锚系统.....	186	6.6.2.2 设计实例.....	319
6.3 板式支护体系结构选型与结构 布置.....	190	6.6.3 钢筋混凝土支撑结构设计.....	320
6.3.1 板式支护体系结构选型.....	190	6.6.3.1 钢筋混凝土支撑结构的设计 原理.....	320
6.3.2 板式支护体系结构布置.....	191	工程实例.....	323
6.3.2.1 平面布置.....	191	6.6.4 支撑节点的构造及支撑次应力.....	330
6.3.2.2 剖面布置.....	197	6.6.4.1 支撑节点构造.....	330
6.3.3 板式支护体系工程实例.....	206	6.6.4.2 影响支撑节点受力及支撑次应 力的因素.....	331
6.3.3.1 上海汽车工业大厦基坑工程—内 支撑式排桩墙支护体系.....	206	6.6.4.3 设计及施工的技术要点.....	332
6.3.3.2 上海华虹-NEC 综合动力厂房 基坑工程—拉锚式钢板桩支护 .....	223	6.6.5 土层锚杆设计.....	337
6.3.3.2 上海华虹-NEC 综合动力厂房 基坑工程—拉锚式钢板桩支护 .....	223	6.6.5.1 地质勘察要求.....	337
6.4 板式支护体系结构分析.....	232	6.6.5.2 土层锚杆设计.....	338
6.4.1 板桩墙的内力计算.....	232	6.6.6 锚碇结构设计.....	343
6.4.1.1 板桩墙结构承受的荷载.....	232	<b>7 非重力式支护结构的施工</b>	
6.4.1.2 板桩墙结构分析的古典方法 .....	233	7.1 概述.....	345
6.4.1.3 板桩墙结构分析的解析方 法.....	248	7.2 板(桩)墙的施工.....	345
6.4.1.4 板桩墙结构的有限元分析.....	253	7.2.1 钢板桩施工.....	345
6.4.2 支撑系统计算.....	267	7.2.1.1 施工机具.....	345
6.4.3 板式支护体系稳定性验算.....	270	7.2.1.2 钢板桩施工前的准备工作.....	353
6.4.3.1 整体抗滑移稳定性分析.....	271	7.2.1.3 钢板桩的施工.....	354
6.4.3.2 抗倾覆稳定性分析.....	272	7.2.1.4 钢板桩施工的质量控制.....	362
6.4.3.3 基底抗隆起稳定性分析.....	273	7.2.2 钢筋混凝土板桩施工.....	362
6.4.3.4 抗渗流或抗管涌验算.....	277	7.2.2.1 钢筋混凝土板桩的形式.....	363
6.4.3.5 基底抗承压水层的稳定性分 析.....	278	7.2.2.2 钢筋混凝土板桩的施工.....	363
6.4.4 板式支护体系变形估算.....	279	7.2.2.3 工程实例.....	366
6.5 板桩墙系统构件设计.....	282	7.2.3 钻孔灌注桩施工.....	366
6.5.1 钢板桩设计.....	282	7.2.3.1 干作业成孔.....	366
6.5.2 H型钢木挡板支护结构设计.....	289	7.2.3.2 泥浆护壁(湿作业)成孔.....	371
6.5.3 灌注桩挡墙设计.....	294	7.2.3.3 钢筋笼及水下混凝土施工.....	383
6.5.4 地下连续墙设计.....	299	7.2.3.4 工程实例.....	388
6.5.5 SMW 支护结构设计.....	306	7.2.4 树根桩施工.....	389
6.6 支撑(拉锚)系统设计.....	308	7.2.4.1 施工机具.....	391
6.6.1 支撑(拉锚)系统布置.....	308	7.2.4.2 施工工艺.....	392
6.6.1.1 支撑系统.....	308	7.2.4.3 质量检查.....	392
6.6.1.2 拉锚系统.....	312	7.2.4.4 工程实例.....	393
		7.2.5 地下连续墙施工.....	394
		7.2.5.1 成槽机械.....	395
		7.2.5.2 施工工艺.....	399
		7.2.5.3 质量控制.....	408





<b>10 降低地下水</b>		10.5.3 上海新世界商城基坑深井泵结合 真空泵降水 ..... 575
10.1 概述 .....	517	<b>11 基坑土方开挖</b>
10.1.1 基坑开挖施工与降水 .....	517	11.1 概述 .....
10.1.2 降水的方法 .....	517	11.1.1 基坑挖土的形式 .....
10.1.3 降水的作用 .....	518	11.1.2 开挖工艺 .....
10.2 地下水与降水 .....	518	11.1.3 深基坑施工过程中空间开挖的 模拟 .....
10.2.1 地下水流的性质 .....	518	11.2 基坑开挖的土方机械 .....
10.2.1.1 动水压力和流砂 .....	518	11.2.1 土方机械 .....
10.2.1.2 渗透系数 .....	522	11.2.2 基坑开挖常用土方机械性能 .....
10.2.2 水井理论与水井涌水量计算 .....	526	11.2.3 挖土机械的配合设计 .....
10.2.2.1 水井的分类 .....	526	11.3 基坑开挖施工实例 .....
10.2.2.2 水井理论的基本假定 .....	526	11.3.1 上海外滩京城一期工程支撑及土 方开挖 .....
10.2.2.3 井点涌水量 .....	526	11.3.2 万都大厦采用 92m 直径曲线刚架 支撑结构的挖土施工 .....
10.2.2.4 井点降水涌水量的设计计 算 .....	529	11.3.3 银冠大厦 19.6m 大型基坑挖土 施工 .....
10.3 降水方法及其选用 .....	533	<b>12 基坑工程现场施工设施</b>
10.3.1 重力式降水 .....	534	12.1 塔吊及其基础的布置 .....
10.3.1.1 排水沟及集水井排降水 .....	534	12.1.1 基坑边塔吊的设置 .....
10.3.1.2 分层排水沟及集水井排降 水 .....	535	12.1.2 基坑中央的塔吊布置 .....
10.3.1.3 涌水量计算及抽水设备选 用 .....	535	12.2 行车通道及大型设备停放 .....
10.3.1.4 基坑重力式降水实例 .....	540	12.2.1 行车通道 .....
10.3.2 强制式降水 .....	541	12.2.2 大型设备停放 .....
10.3.2.1 轻型井点 .....	542	12.3 施工平台 .....
10.3.2.2 喷射井点 .....	555	12.3.1 悬挑式平台 .....
10.3.2.3 电渗井点 .....	559	12.3.2 搁置式平台 .....
10.3.2.4 管井井点 .....	561	12.4 挖土栈桥与坡道 .....
10.3.2.5 深井井点 .....	562	12.4.1 挖土栈桥 .....
10.4 井点降水对周围环境的影响及其 防范措施 .....	566	12.4.2 挖土坡道 .....
10.4.1 井点降水对周围环境的影响 .....	566	12.5 工程实例 .....
10.4.1.1 井点降水的不良影响 .....	566	12.5.1 上海梅陇镇广场基坑工程塔吊的 设置 .....
10.4.1.2 井点降水影响范围和产生的 沉降 .....	566	12.5.2 上海汽车工业大厦基坑工程钢平 台的搭设 .....
10.4.2 防范井点降水不利影响的措施 .....	568	12.5.3 新美丽园大厦挖土施工栈桥的设 计与施工 .....
10.5 降水施工实例 .....	571	
10.5.1 上海陆家宅高层建筑基础工程轻 型井点降水 .....	571	
10.5.2 上海新锦江宾馆主楼基础工程喷 射电渗井点降水 .....	573	

12.5.4 中国煤炭大厦挖土坡道的设置 .....	607	14.2.5.1 围护桩(墙)内力 .....	651
		14.2.5.2 围护桩(墙)内外侧水土压 力 .....	652
<b>13 基坑施工与开挖阶段 的应急措施</b>		14.2.6 钢板桩支护结构监测 .....	653
13.1 施工阶段常见问题的处理 .....	609	14.2.7 监测和科研结合 .....	654
13.1.1 水泥土搅拌桩施工常见问题及其 处理 .....	609	14.3 周围环境的监测 .....	655
13.1.2 高压喷射注浆法施工常见问题及 处理 .....	609	14.3.1 坑外地层变形 .....	655
13.1.3 钢板桩打设中常见问题及处理 ..	610	14.3.1.1 地表沉降 .....	655
13.1.4 干作业成孔灌注桩的常见问题及 其处理方法 .....	610	14.3.1.2 土层分层沉降和土体测斜 ..	656
13.1.5 湿作业成孔灌注桩的常见问题及 其处理 .....	611	14.3.1.3 地下水位监测 .....	657
13.1.6 地下连续墙施工常见问题处理 ..	612	14.3.2 临近建(构)筑物沉降和倾斜监 测 .....	658
13.1.7 土层锚杆施工中常见问题及其 处理 .....	614	14.3.3 临近地下管线沉降与位移监 测 .....	661
13.2 土方开挖阶段的应急措施 .....	614	14.4 基坑工程监测方案编制和监测 实例 .....	663
13.2.1 支护墙的渗水与漏水 .....	614	14.4.1 监测方案的编制 .....	664
13.2.2 断桩及漏桩的处理 .....	615	14.4.2 灌注桩排桩混凝土支撑支护工程 监测实例 .....	667
13.2.3 防止侧向位移发展的措施 .....	615	14.4.3 地下连续墙钢支撑支护工程监测 实例 .....	676
13.2.3.1 重力式支护结构 .....	615	14.4.4 水泥土重力式支护工程监测实例 .....	702
13.2.3.2 悬臂式支护结构 .....	617		
13.2.3.3 支撑式支护结构 .....	617	<b>15 基坑工程施工组织设计</b>	
13.2.4 流砂及管涌的处理 .....	618	15.1 编制依据及程序 .....	710
13.2.5 临近建筑与管线位移的控制 .....	618	15.2 施工准备 .....	711
		15.2.1 施工准备工作的特点 .....	711
<b>14 基坑工程监测</b>		15.2.2 准备工作内容 .....	711
14.1 概述 .....	620	15.2.2.1 技术准备 .....	711
14.2 基坑支护结构监测 .....	622	15.2.2.2 施工现场准备工作 .....	712
14.2.1 围护桩(墙)的位移和变形监测 .....	622	15.2.2.3 施工物资的准备 .....	713
14.2.1.1 围护桩(墙)顶面水平位 移 .....	622	15.2.2.4 劳动力的准备 .....	714
14.2.1.2 围护桩(墙)倾斜 .....	624	15.2.2.5 季节施工及应急准备工作 ..	714
14.2.2 监测传感器简介 .....	635	15.3 施工方案 .....	717
14.2.3 支撑监测 .....	642	15.3.1 施工方案的主要内容 .....	717
14.2.3.1 钢筋混凝土支撑 .....	642	15.3.2 施工顺序与施工流向 .....	718
14.2.3.2 钢支撑 .....	644	15.3.2.1 施工顺序 .....	718
14.2.4 基坑回弹监测 .....	645	15.3.2.2 施工流向 .....	719
14.2.5 围护桩(墙)内力和水土压力 ..	651	15.3.3 施工机械及施工工艺 .....	719
		15.4 施工进度计划 .....	719
		15.5 施工平面图 .....	722

15.5.1 施工平面图设计的内容及依据 .....	723	16.2.2.2 间接费 .....	747
15.5.1.1 设计内容 .....	723	16.2.2.3 利润和税金 .....	747
15.5.1.2 设计依据 .....	723	16.2.3 基坑工程造价组成实例 .....	748
15.5.2 设计步骤及基本要求 .....	723	16.3 基坑工程实物工程量的工料 分析 .....	752
15.5.3 施工平面图图例 .....	726	16.3.1 定额的概念 .....	752
15.6 施工组织设计实例 .....	729	16.3.1.1 人工定额消耗量 .....	752
15.6.1 上海大众第三汽车厂冲压车间 基坑工程施工组织设计 .....	729	16.3.1.2 材料定额消耗量 .....	753
15.6.2 中威广场基坑土方与支撑施工 方案 .....	733	16.3.1.3 机械台班定额消耗量 .....	753
<b>16 基坑工程造价的编制</b>		16.3.2 基坑工程定额的工料分析 .....	754
16.1 概述 .....	742	16.3.2.1 土方及降水工程 .....	755
16.1.1 建设工程造价的含义 .....	742	16.3.2.2 围护桩 .....	755
16.1.2 建设工程造价计价的特点 .....	742	16.3.2.3 地下连续墙 .....	758
16.1.3 基坑工程造价编制的意义 .....	744	16.3.2.4 支撑工程 .....	759
16.1.4 基坑工程造价的特点 .....	744	16.3.2.5 其他 .....	760
16.2 基坑工程造价的组成 .....	745	16.4 基坑工程造价计算实例 .....	760
16.2.1 建设工程造价的组成 .....	745	16.4.1 施工说明 .....	760
16.2.2 基坑工程造价的组成 .....	746	16.4.2 工程量计算 .....	761
16.2.2.1 直接工程费 .....	746	16.4.3 工程造价计算书 .....	764
		16.5 基坑工程不可预见的因素及 费用 .....	767
		主要参考资料 .....	769

# 1 总 论

## 1.1 概 述

近年来我国随着经济和城市建设的迅速发展，地下工程愈来愈多，开发和利用地下空间的要求日显重要。地下铁道、地下车库、地下变电站、地下商场、地下仓库、地下人防工程以及高层建筑的多层地下室日益增多。

在我国的大中城市，近年来高层和超高层建筑发展迅速，据不完全统计我国已有高层建筑 7000 幢以上，仅上海市已有 2000 幢以上。这些高层建筑多有较深的地下室，有的平面尺寸已达数万平方米，深度最深达 26.68m。表 1.1-1 给出了我国部分高层建筑基础的地下开挖深度，从中可看出开挖深度在 10m 以下的比比皆是。

国内部分高层建筑基础的地下开挖深度

表 1.1-1

城 市	建筑物名称	地下开挖深度 (m)
北 京	外经贸委综合楼	-26.68
	京城大厦	-23.50
	新华社主楼	-19.65
	王府停车楼	-18.20
	新东安市场	-17.30
	中国石油工程公司商业综合楼	-16.89~-19.97
	京广大厦	-16.35
	国际贸易中心	-15.70
	农贸中心大厦	-15.10
	金融大厦	-15.10
	科技活动中心	-14.74
	长富宫	-14.30
	国际饭店	-14.25
	北京饭店(东)	-13.70
	国际大厦	-13.60
	香格里拉饭店	-13.20
	彩电中心	-12.50
昆仑饭店	-12.50	
西苑饭店	-12.0	
上 海	金茂大厦	-19.65
	恒隆广场	-18.95
	森茂大厦	-17.75~-19.75
	信息枢纽大厦	-16.90~-20.05
	银冠大厦	-16.80~-19.60
	莱福士广场	-16.80
	世界广场	-16.00~-18.00
	香港广场	-13.85

续表

城 市	建筑物名称	地下开挖深度 (m)
上 海	新上海国际大厦	-13.50
	三角地广场	-13.50
	汤臣金融大厦	-13.00
	上海建工锦江大酒店	-12.40
	上海证券大厦	-12.00
	徐家汇美罗文娛中心	-11.65
	外滩京城大厦	-11.55
	新世界商城	-11.50~-12.50
	上海国际航运大厦	-11.45~-13.45
	建设大厦	-11.40
	柳林大厦	-10.90
	上海世界贸易商城	-10.70
	华侨大厦	-10.65
	万都中心	-10.30~-12.80
	招商大厦	-10.00
新锦江大酒店	-9.5~-11.5	
天 津	今晚报大厦	-9.00
	百货大楼扩建工程	-14.50
武 汉	中南商业广场	-17.40
	国贸中心	-16.80
	五洲国际商场	-14.00
	建银大厦	-14.00
	泰和广场	-13.00
	火炬大厦	-12.00
	金源世界大厦	-9.45
广 州	京光广场	-16.00
	中天广场	-12.50
	东峻广场	-9.50
	中国大酒店	-9.00
	白天鹅宾馆	-7.50
深 圳	贤成大厦	-17.00
	彭年广场	-16.10
	国际贸易中心	-12.00
	发展中心	-8.10
大 连	新世界广场	-16.50
济 南	山东省商业大厦	-15.0~-16.50
青 岛	百盛大厦	-20.00
	图书文化大厦	-20.00
	中银大厦	-19.50
	青岛港国际客运中心	-10.80
	汇融广场	-12.00
	方国大厦	-14.50

大量深基坑工程的出现,促进了设计计算理论的提高和施工工艺的发展,通过大量的工程实践和科学研究,逐步形成了基坑工程学这一新的学科。在土木工程领域中,目前基坑工程学是发展最迅速的学科之一,也是工程实践要求最迫切的学科之一。基坑工程正确、科学的设计和施工,能带来巨大的经济效益和社会效益,对加快施工进度、保护环境发挥

重要的作用。反之,如设计、施工错误和不当,亦会带来严重的后果,大量工程实践已经证明了这一点。

## 1.2 基坑工程的内容

基坑开挖的施工工艺一般有两种:放坡开挖(无支护开挖)和在支护体系保护下开挖(有支护开挖)。前者既简单又经济,在空旷地区或周围环境允许时能保证边坡稳定的条件下应优先选用。

但是在城市中心地带、建筑物稠密地区,往往不具备放坡开挖的条件。因为放坡开挖需要基坑平面以外有足够的空间供放坡之用,如在此空间内存在邻近建(构)筑物基础、地下管线、运输道路等,都不允许放坡,此时就只能采用在支护结构保护下进行垂直开挖的施工方法。对支护结构的要求,一方面是创造条件便于基坑土方的开挖,但在建(构)筑物稠密地区更重要的是保护周围的环境。采用支护结构开挖基坑,基坑工程的费用要提高,一般情况下工期亦要延长。但在一定条件下又是必需的,因此对支护结构应进行精心的设计和施工。

基坑土方的开挖是基坑工程的一个重要内容,基坑土方如何组织开挖,不但影响工期、造价,而且还影响支护结构的安全和变形值,直接影响环境的保护。为此,对较大的基坑工程(土方量往往达数万立方米或数十万立方米)一定要编制较详细的土方工程的施工方案,确定挖土机械、挖土的工况、挖土的顺序、土方外运方法等。

在软土地区地下水位往往较高,采用的支护结构一般要求降水或挡水。在开挖基坑土方过程中坑外的地下水在支护结构阻挡下,一般不会进入坑内。但基坑土方本身有较高的含水量,在软土地区往往呈饱和状态。如土质含水量过高、土质松软,挖土机械下坑挖土和浇筑围护墙的支撑有一定困难。此外,在围护墙的被动土压力区,通过降低地下水位还可使土体产生固结,有利于提高被动土压力,减少支护结构的变形。所以在软土地区对深度较大的大型基坑,在坑内都进行降低地下水位,以便利基坑土方开挖和有利于保护环境。

支护结构的计算理论和计算手段,近年来有了很大提高,多利用有限元法进行计算机计算。但由于影响支护结构的因素众多,土质的物理力学性能、计算假定、土方开挖方式、降水质量、气候因素等都对其产生影响,因此其内力和变形的计算值和实测值往往存在一定差距。为有利于信息化施工,在基坑土方开挖过程中,随时掌握支护结构内力和变形的发展情况、地下水位的变化、基坑周围保护对象(邻近的地下管线、建筑物基础、运输道路等)的变形情况,对重要的基坑工程都要进行工程监测,它亦成为基坑工程的内容之一。

为此,基坑工程包括勘测;支护结构的设计和施工;基坑土方工程的开挖和运输;控制地下水位;基坑土方开挖过程中的工程监测和环境保护等。它涉及土力学、基础工程、结构力学、工程结构、施工技术、监测技术等学科,因此,基坑工程是一涉及多学科的新兴学科,其理论性和实践性很强,发展迅速。

## 1.3 基坑工程设计原则与基坑安全等级

### 1.3.1 基坑支护结构的极限状态

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 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。

基坑支护结构的极限状态，可以分为下列两类：

#### 1. 承载能力极限状态

这种极限状态，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

这种极限状态，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。

基坑支护结构均应进行承载能力极限状态的计算，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。

### 1.3.2 基坑支护结构的安全等级

《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—99 规定，基坑侧壁的安全等级分为三级，不同等级采用相对应的重要性系数  $r_0$ 。基坑侧壁的安全等级分级如表 1.3-1 所示。

基坑侧壁安全等级及重要性系数

表 1.3-1

安全等级	破坏后果	重要性系数 $r_0$
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

注：有特殊要求的建筑基坑侧壁安全等级可根据具体情况另行确定。

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的和对周边环境变形有限定要求的二级建筑基坑侧壁，应根据周边环境的重要性，对变形适应能力和土的性质等因素，确定支护结构的水平变形限值。

当地下水位较高时，应根据基坑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形式等因素，确定地下水的控制方法。当基坑周围有地表水汇流、排泻或地下水管渗漏时，应妥善对基坑采取保护措施。

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，应对基坑周边环境及支护结构变形进行验算。

基坑工程分级的标准，各地也不尽相同，各地区、各城市根据自己的特点和要求作了相应的规定，以便于进行岩土勘察、支护结构设计、审查基坑工程施工方案等之用。

如我国目前施工深基坑工程较多的上海市，则根据基坑工程的重要性，上海市标准《基坑工程设计规程》DBJ 08—61—97 将基坑分为以下三级：

#### 1. 符合下列情况之一时，属一级基坑工程：

- (1) 支护结构作为主体结构的一部分时；
- (2) 基坑开挖深度大于等于 10m 时；
- (3) 距基坑边两倍开挖深度范围内有历史文物、近代优秀建筑、重要管线等需严加保护时。

#### 2. 开挖深度小于 7m，且周围环境无特别要求时，属三级基坑工程；

3. 除一级和三级基坑工程以外的, 均属二级基坑工程。

但是, 位于地铁、隧道等大型地下设施安全保护区范围内的基坑工程, 以及城市生命线工程或对位移有特殊要求的精密仪器使用场所附近的基坑工程除外, 这些基坑工程应遵照有关的专门文件和规定执行。

由以上的基坑工程分级, 可以看出一级基坑工程最重要, 二级基坑工程次之, 最后是三级基坑工程。

上海的《基坑工程设计规程》对各级基坑工程, 规定其勘探测试孔的深度、提供的各土层物理、力学试验指标的统计值、支护结构设计采用的土体抗剪强度指标、支护结构设计所采用的安全系数等都不同。根据其重要性的不同, 采取分别对待。

进行基坑工程岩土勘察时, 上海规定测试孔的深度一般不宜小于基坑开挖深度的 2.5 倍。但对于一、二级基坑工程则宜穿透淤泥质软弱土层。

基坑工程岩土测试参数的确定, 亦与基坑等级有关。基坑工程支护结构设计采用的土体抗剪强度指标, 与基坑等级有关: 对二、三级基坑工程可采用直剪固结快剪峰值指标; 但一级基坑工程则宜采用三轴固结不排水压缩试验的有效应力指标或直剪慢剪指标。

在岩土勘探提供基坑支护结构影响范围内各土层的物理、力学试验指标的统计值时, 上海市标准《基坑工程设计规程》规定对三级基坑一般只提供范围值(最大和最小)和算术平均值; 而对于一、二级基坑工程, 则应提供最大、最小算术平均值、统计子样数、均方差和变异系数。对各土层抗剪强度指标的统计方法, 应采用最小二乘法或按  $\tau$  值散点图绘制平均抗剪强度线, 确定  $\varphi$ 、 $c$  平均值。

此外, 在计算水泥土围护结构的安全系数; 计算板式支护体系的抗隆起稳定性安全系数、抗倾覆稳定安全系数等取值时, 都与基坑工程的等级有关。

因此, 在进行基坑工程设计和施工之前, 首先要确定其等级, 然后分别按不同的要求进行设计和施工。

## 1.4 基坑工程的设计

基坑工程是一涉及多学科的新兴学科, 是随着土力学、计算技术、施工技术和测试技术的进步而不断完善的。基坑工程的实践性强, 随着工程实践的不断扩大而逐步提高。

早在 40 年代 Peck 和 Terzaghi 等人就对土方开挖的稳定和支撑的内力等进行了研究并提出了计算方法。50 年代 Eide 和 Bjerrum 等人又分析了基坑坑底的隆起。从此对基坑工程开始进行科学分析和计算方法的研究, 此后随着世界各地深基坑工程的增多, 引起科学家和工程技术人员的重视, 逐步采用仪器进行监测并制定了有关指导基坑土方开挖的规定。

在我国 80 年代以前深基坑工程较少, 除去北京在修建地下铁道时有些较深的开挖之外, 多不属于深基坑。在上海当时修建的多层和高层建筑的地下室多为一层, 深度一般不超过 5m, 采用常规的方法进行降水和开挖困难不大。至 80 年代末期我国开始出现一些较深的基坑, 在北方地区由于土质较好、地下水位低, 已有 10m 以上的基坑; 而在上海一带的软土地区, 亦开始出现少量的两层地下室, 开挖深度—8m 左右, 开始多应用钢板桩支护。但此时的计算方法比较简单, 多采用“等值梁法”、“弹性曲线法”等简易方法对支护结构进行计算, 对基坑的稳定研究较少。



进入 90 年代,我国的高层和超高层建筑进入一个迅速发展阶段。以上海为例,1991 年只有 862 幢高层建筑,1994 年发展至 1304 幢,1996 年为 1953 幢,至今已超过 2000 幢。其他如北京、天津、广州、深圳、武汉、重庆、大连、青岛等大中城市都发展迅速。随着高层建筑的发展,为了充分利用地下空间,多层地下室逐渐增多,基坑的开挖深度也逐渐增大。工程实践的增多,促进了基坑工程学科的发展,此时支护结构的形式逐渐多样化,水泥土围护结构、钢板桩、钻孔灌注桩、挖孔桩、地下连续墙等同时加以采用。支撑形式亦得到发展,钢支撑和各种形式钢筋混凝土支撑都有应用。在计算理论和计算技术方面提高更快,有限元方法和计算机的应用日趋普及,大大提高了计算精度。

与此同时,中国土木工程学会和中国建筑学会也召开了一些深基坑工程方面的会议,交流研究成果和工程经验。近几年来,为了总结深基坑工程的设计、施工经验,为了更好地指导工程实践,上海市、深圳市、广东省和武汉市等陆续制订了一些基坑工程方面的地方标准,国家亦制订了国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—99,这些深基坑工程方面法规的出现,定能进一步提高基坑工程的设计和施工水平,带来巨大的经济效益和社会效益。

基坑工程设计应该包括勘察、支护结构设计、降水设计(地下水位控制)、土方开挖方案设计、监测和环境保护方案设计等内容。基坑工程设计的特殊性是与施工密不可分,其施工的每一阶段,外荷载、结构体系等都在变化。施工工艺和施工顺序的变化、支撑形成时间的长短、支撑拆除的顺序和方式、基坑尺寸的大小及气温的变化,都影响最后的计算结果。因此,详细了解各个施工工况对正确进行基坑设计十分重要。此外,基坑工程设计虽然有了长足的进步,但其计算理论并非完美无缺,而且诸多影响因素在计算中也难以全面反映,而且施工过程中也可能出现一些意外的情况。因此,目前进行基坑工程设计,要采取理论计算、监测数据和工程经验相结合的办法,以求基坑工程设计更加合理和经济。

基坑工程设计,要服务于土方开挖、地下结构施工和保护环境。因此,在进行基坑工程设计之前应收集下列资料:

1. 岩土工程的勘察报告;
2. 邻近建(构)筑物和地下设施的类型、分布情况和结构质量、管件接头等的资料;
3. 用地退界线及红线范围图、场地周围地下管线图、建筑总平面图、地下结构平面图和剖面图。

上述资料,有的由勘察、设计单位提供,有的向有关的市政管理部门收集,有的还需通过检测和调查才能取得。

基坑工程的设计内容,一般应包括:

1. 支护体系的方案比较和选型;
2. 支护结构的强度和变形计算;
3. 基坑内外土体的稳定性验算;
4. 围护墙的抗渗验算;
5. 降水要求和降水方案;
6. 确定挖土的工况以及挖土、运土的主要措施;
7. 确定环境保护的要求及有关措施;
8. 监测的内容。