



**Guide to Deep
Excavation
Support**

**深基坑支护
技术指南**

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会 **主编**
Chinese Institution of Soil Mechanics and Geotechnical
Engineering

中国建筑工业出版社

深基坑支护技术指南

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

深基坑支护技术指南/中国土木工程学会土力学及岩土工程分会主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 3
ISBN 978-7-112-13992-7

I. ①深… II. ①中… III. ①深基础-坑壁支撑-指南
IV. ①TU473. 2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 012647 号

本指南由全国从事深基坑设计的专家学者共同编制。内容涉及深基坑设计的各个方面。指南给出了与深基坑设计相关内容的基本原则及设计方法, 同时, 对具体的基坑支护技术均从概述、适用范围、设计要点、构造、施工要点、检测与监测、常见工程问题及对策几方面进行阐述。内容精炼、全面。

本书适合从事基坑工程的设计、施工、监理人员参考使用。

* * *

责任编辑: 王 梅 咸大庆
责任设计: 陈 旭
责任校对: 张 颖 王雪竹

深基坑支护技术指南

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会 主编

*

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
北京科地亚盟排版公司制版
北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 27 $\frac{3}{4}$ 字数: 800 千字

2012 年 3 月第一版 2012 年 3 月第一次印刷

定价: 78.00 元

ISBN 978-7-112-13992-7
(22046)

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 PREFACE

随着我国交通、能源和城镇建设的不断发展，推动了为各种建（构）筑物地下结构施工创造条件的基坑工程技术的进步和发展，特别是改革开放三十多年来，我国已完成的各类深基坑工程的规模之大、技术之复杂，解决之困难，都是史无前例和世无先例的。目前开挖深度超过 30m、明挖长达 1000m、护壁桩打入地下 40 多米深的基坑已不鲜见。我国科技工作者紧密结合工程实践，成功地开发了一系列具有创新意义的深基坑支护技术，在诸多复杂地质及困难环境条件下确保了工程建设的安全，取得了令人瞩目的巨大成就，积累了正反两方面的极其珍贵的经验。对这些成就和经验进行全面的梳理和总结，对推进基坑工程技术的进步，指导基坑工程的实践，无疑是十分有益的。为此，中国土木工程学会土力学与岩土工程分会组织了我国具有丰富经验和较高学术造诣的专家，共同编写了这本《深基坑支护技术指南》。我们希望本指南能成为岩土工程师手中的一本有用的工具书。同时，也真诚地期待读者提出宝贵的批评意见和建议，以期在今后的修订工作中使本指南日臻完善。

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会

名誉理事长 陈祖煜

理事长 张建民

2012年2月19日

目录 CONTENTS

第 1 章	总论	1
第 2 章	工程勘察及成果使用	17
第 3 章	土压力计算与基坑稳定分析	54
第 4 章	基坑变形与支护结构内力计算	89
第 5 章	土钉支护技术	126
第 6 章	重力式水泥土墙	149
第 7 章	型钢水泥土搅拌墙	170
第 8 章	排桩支护体系	198
第 9 章	地下连续墙	221
第 10 章	内支撑技术	262
第 11 章	预应力锚索	286
第 12 章	支护结构与主体结构相结合技术	303
第 13 章	逆作法	327
第 14 章	地下水控制	352
第 15 章	基坑开挖	381
第 16 章	工程监测	405

1 CHAPTER

第 1 章 总 论

1.1 基坑工程发展简况	2	1.4.2 施工全过程控制	10
1.2 基本要求	2	1.4.3 支护体系施工要点	10
1.2.1 基坑工程支护体系的效用 和要求	2	1.4.4 基坑开挖控制原则	11
1.2.2 基坑工程的主要特点	3	1.5 基坑工程监测	12
1.2.3 基坑支护形式分类及适用 范围	4	1.5.1 监测目的	12
1.3 基坑工程设计	5	1.5.2 监测内容	12
1.3.1 设计原则	5	1.6 基坑工程风险管理	13
1.3.2 设计内容	8	1.6.1 一般要点	13
1.3.3 监测方案设计	9	1.6.2 环境效应控制设计方法	13
1.3.4 设计管理	9	1.6.3 减少对环境不良影响的有效 措施	14
1.4 基坑工程施工	9	1.7 基坑工程新技术发展展望	14
1.4.1 施工组织设计要点	9	参考文献	16

1.1 基坑工程发展简况

基坑工程主要包含岩土工程勘察、基坑支护结构的设计和施工、地下水控制、基坑土方开挖、工程监测和周围环境保护等内容，通常有开挖和支护系统两大工艺体系，其主要作用是各种建（构）筑物的地下结构施工创造条件。

近 30 年来，随着我国城市建设的迅猛发展，高层、超高层建筑不断涌现，地铁车站、铁路客站、明挖隧道、市政广场、桥梁基础等各类大型工程日益增多，地下空间开发规模越来越大，都极大地推动了基坑工程理论与技术水平的快速发展，在基坑支护结构、地下水控制、基坑监测、信息化施工、环境保护等诸多方面呈现出过去难以涉猎的新特点以及前所未有的新趋势。

1. 基坑尺度大深化

近年来我国基坑深度已发展至 30m 以上，如广深港铁路客运专线深圳福田火车站明挖基坑长近 1000m，宽近 80.0m，深度达 32.0m，是目前国内最大的地下铁路客运车站。成都国际金融中心的深基坑工程深度已达 35m，支护基坑使用的护壁桩打入了地下 43m 深的位置。基坑的开挖面积亦在不断增大，许多基坑的平面面积已超过 1 万 m^2 ，如天津市 117 大厦基坑开挖面积为 9.6 万 m^2 ，上海虹桥综合交通枢纽工程开挖面积达到了 35 万 m^2 。

2. 变形控制严格化

大量的基坑工程主要集中在繁华市区，由于周围存在建筑物、地下管线、既有隧道、道路桥梁等复杂环境条件，流变性土体、高地下水位等不良地质条件，使得这些基坑工程不仅要保证支护结构及基坑本身的安全，还要严格控制基坑开挖引起的周围土体变形，以保证邻近建（构）筑物的安全和正常使用。随着对位移要求越来越严格，基坑开挖工程正在从传统的稳定控制设计向以变形控制设计方向发展。

3. 支护形式多样化

基坑的支护方式已从早期的放坡开挖，发展至现在的多种支护方式。目前常用支护形式主要有：放坡开挖；土钉墙支护和复合土钉墙支护；悬臂式排桩墙支护结构；内撑式排桩墙支护结构；锚拉式排桩墙支护结构；水泥土重力式支护结构；型钢水泥土墙支护结构；地下连续墙支护结构；组合型支护结构等。

4. 施工监控信息化

目前深基坑监测技术已从原来的单一参数人工现场监测，发展到现在的多参数远程监测。在基坑施工过程中，根据监测结果，以正确方便地评判出当前基坑的安全等级，然后根据这些评判结果，采取相应的工程措施，及时指导施工，减少工程失效概率，确保工程安全、顺利的进行，施工监控信息化愈显重要。

随着基坑开挖深度和规模的增大，基坑工程的难度更加突出。近些年来，基坑工程在技术上取得了长足的进步，但也有不少失败的案例，轻则造成邻近建筑物开裂、倾斜，道路沉降、开裂，地下管线错位，重则造成邻近建筑物倒塌和人员伤亡，不但延误了工期，而且产生了不良的社会影响。究其原因，在地质勘察、设计计算、施工与监测等方面均存在不足，这些对基坑工程的进一步发展提出了挑战。

1.2 基本要求

1.2.1 基坑工程支护体系的效用和要求

基坑工程支护体系的效用是：

提供基坑土方开挖和地下结构工程施工作业的空间,并控制土方开挖和地下结构工程施工对周围环境可能造成的不良影响。

为满足上述效用,对基坑工程支护体系有如下要求:

1) 在土方开挖和地下结构工程施工过程中,基坑四周边坡保持稳定,提供足够的土方开挖和地下结构工程施工的空间,而且支护体系的变形也不会影响土方开挖和地下结构工程施工。

2) 土方开挖和地下结构工程施工范围内的地下水位降至利于土方开挖和地下结构工程施工的水位。

3) 因地制宜控制支护体系的变形,控制坑外地基中地下水位,控制由支护体系的变形、基坑挖土卸载回弹、坑内外地下水位变化、抽水可能造成的土体流失等原因造成的基坑周围地基的附加沉降和附加水平位移。

4) 当基坑紧邻市政道路、管线、周边建(构)筑物时,应严格控制基坑支护体系可能产生的变形,严格控制坑外地基中地下水位可能产生的变化范围。

5) 对基坑支护体系允许产生的变形量和坑外地基中地下水位允许的变化范围应根据基坑周围环境保护要求确定。

1.2.2 基坑工程的主要特点

1) 基坑支护体系是临时结构,具有较大的风险性。除少数基坑支护结构同时用作地下结构的“二墙合一”支护结构外,基坑支护结构一般是临时结构。临时结构与永久性结构相比,设计标准考虑的安全储备较小,因此基坑工程具有较大的风险性,对设计、施工和管理各个环节提出了更高的要求。

2) 岩土工程条件区域性强。场地工程地质条件和水文地质条件对基坑工程性状具有极大的影响。软黏土地基、砂性土地基、黄土地基等地基中的基坑工程性状差别很大。同是软黏土地基,天津、上海、杭州、宁波、温州、福州、湛江、昆明等各地软黏土地基性状也有较大差异。地下水,特别是承压水对基坑工程性状影响很大。但各地承压水特性差异很大,承压水对基坑工程性状影响差异也很大。基坑工程具有很强的区域性。

3) 环境条件影响大。基坑工程不仅与场地工程地质条件和水文地质条件有关,还与周围环境条件有关。如周围环境条件较复杂,需要保护周围的地下周边的建(构)筑物,需要严格控制支护结构体系的变形,基坑工程设计需要按变形控制设计。如基坑处在空旷区,支护结构体系的变形不会对周边环境产生不良影响,基坑工程设计可按稳定控制设计。基坑工程设计一定要重视周边环境条件的影响。

4) 时空效应强。基坑工程空间大小和形状对支护体系受力具有较大影响,基坑土方开挖顺序对基坑支护体系受力也具有较大影响,因此基坑工程的时空效应强。土具有蠕变性,随着蠕变的发展,变形增大,抗剪强度降低,因此基坑工程具有时间效应。在基坑支护设计和土方开挖中要重视和利用基坑工程时空效应。

5) 设计计算理论不完善,需重视概念设计理念。作用在支护结构上的主要荷载是土压力。一方面,作用在支护结构上的土压力大小与土的抗剪强度、支护结构的位移、作用时间等因素有关,很复杂,加之基坑支护结构本身又是一个很复杂的体系,基坑支护结构设计计算理论不完善,基坑支护结构设计中应重视概念设计理念;另一方面,基坑支护设计中不仅涉及土力学中稳定、变形和渗流三个基本课题,而且涉及岩土工程和结构工程两个学科。基坑支护结构体系受力复杂,要求设计人员系统地掌握岩土工程和结构工程方面的知识。

6) 系统性强。基坑支护结构设计,支护结构施工,土方开挖,地下结构施工是一个系

统工程。支护结构设计应考虑施工条件的许可性，尽量便于施工。支护结构设计应对基坑工程施工组织提出要求，对基坑监测和变形允许值提出要求。基坑工程需要加强监测，实行信息化施工。

7) 环境效应强。基坑支护体系的变形和地下水位下降都可能对基坑周边的道路、地下管线和建筑物产生不良影响，严重的可能导致破坏。基坑工程环境效应强，设计和施工一定要予以重视。

1.2.3 基坑支护形式分类及适用范围

在基坑工程中应用的支护形式很多，对基坑支护工程形式进行合理分类中，包括各种支护形式是很困难的。这里将基坑工程常用的支护形式分为下述四大类：

1. 放坡开挖及简易支护

放坡开挖及简易支护的支护形式主要包括：放坡开挖；放坡开挖为主，辅以坡脚采用短桩、隔板及其他简易支护；放坡开挖为主，辅以喷锚网加固等。

2. 加固边坡土体形成自立式支护

对基坑边坡土体进行土质改良或加固，形成自立式支护。包括：水泥土重力式支护结构；各类加筋水泥土墙支护结构；土钉墙支护结构；复合土钉墙支护结构；冻结法支护结构等。

3. 挡墙式支护结构

挡墙式支护结构又可分为悬臂式挡墙式支护结构、内撑式挡墙式支护结构和锚拉式挡墙式支护结构三类。另外还有内撑与拉锚相结合挡墙式支护结构等形式。

挡墙式支护结构中常用的挡墙形式有：排桩墙、地下连续墙、板桩墙、加筋水泥土墙等。

排桩墙中常采用的桩型有：钻孔灌注桩、沉管灌注桩等，也有采用大直径薄壁筒桩、预制桩等不同桩型。

4. 其他形式支护结构

其他形式支护结构常用形式有：门架式支护结构、重力式门架支护结构、拱式组合型支护结构、沉井支护结构等。

每种支护形式都有一定的适用范围，而且随工程地质和水文地质条件，以及周围环境条件的差异，其合理支护高度可能产生较大的差异。如：当土质较好，地下水位以上十多米深的基坑可能采用土钉墙支护，而对软黏土地基土钉墙支护极限高度只有 5m 左右，且变形较大。常用基坑支护形式分类及适用范围如表 1.1 所示。对表中提及的适用范围应慎重，应根据当地经验合理选用。

常用基坑支护形式分类及适用范围

表 1.1

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，或采取降水措施，以及施工现场有足够放坡场所的工程。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，条件许可时采用
	放坡开挖为主，辅以坡脚采用短桩、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	

续表

类别	支护形式	适用范围	备注
加固边坡土体形成自立式围护	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,变形较大
	加筋水泥土墙支护结构	基本同水泥土重力式支护结构,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主要与地基土体的抗剪强度有关。软黏土地基中应控制使用,一般可用于深度小于5m、而且可允许产生较大的变形的基坑	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	应考虑冻融过程中对周围的影响,全过程中电源不能中断,以及工程费用等问题
挡墙式支护结构	悬臂式排桩墙支护结构	基坑深度较浅,而且可允许产生较大变形的基坑。软黏土地基中一般用于深度小于6m的基坑	常辅以水泥土止水帷幕
	排桩墙加内撑式支护结构	适用范围广,可适用于各种土层和基坑深度。软黏土地基中一般用于深度大于6m的基坑	常辅以水泥土止水帷幕
	地下连续墙加内撑式支护结构	适用范围广,可适用于各种土层和基坑深度。一般用于深度大于10m的基坑	
	加筋水泥土墙加内撑式支护结构	适用土层取决于形成水泥土施工方法。SMW工法三轴深层搅拌机械不仅适用于黏性土层,也能用于砂性土层的搅拌;TRD工法则适用于各种土层,且形成的水泥土连续墙水泥土强度沿深度均匀,水泥土连续墙连续性好,加固深度可达60m	采用型钢加筋需考虑回收。 TRD工法形成的水泥土连续墙连续性好,止水效果好
	排桩墙加锚拉式支护结构	砂性土地基和硬黏土地基可提供较大的锚固力。常用于可提供较大的锚固力地基中的基坑。基坑面积大,优越性显著;采用浆囊式锚杆可用于软黏土地基	尽量采用可拆式锚杆
	地下连续墙加锚拉式支护结构	常用于可提供较大的锚固力地基中的基坑。基坑面积大,优越性显著	
其他形式支护结构	门架式支护结构	常用于开挖深度已超过悬臂式支护结构的合理支护深度,但深度也不是很大的情况。一般用于软黏土地基中深度7m~8m,而且可允许产生较大的变形的基坑	
	重力式门架支护结构	基本同门架式支护结构	对门架内土体采用深层搅拌法加固
	拱式组合型支护结构	一般用于软黏土地基中深度小于6m、而且可允许产生较大的变形的基坑	辅以内支撑可增加支护高度、减小变形
	沉井支护结构	软土地基中面积较小且呈圆形或矩形等较规则的基坑	

1.3 基坑工程设计

1.3.1 设计原则

基坑工程的设计是在收集和整理设计依据的基础上,根据设计计算理论,提出支护结构、地基加固、基坑开挖方式、开挖支撑施工、施工监控等各项设计。在进行基坑工程设计时,应考虑以下几个方面。

1. 基本原则

在基坑工程设计中,要坚持保证支护体系安全可靠、保护环境、方便施工和经济性的原则。

首先要保证支护体系在基坑土方开挖和地下结构工程施工过程中安全可靠,不产生失稳,变形在控制范围内。与此同时应保证在基坑土方开挖和地下结构工程施工过程中基坑周边市政道路、地下管线、周边建(构)筑物的变形在允许范围内。基坑工程是系统工程,设计要方便施工,且要坚持经济的原则。支护方案选型、变形控制、安全储备控制的要求均要合理。

在基坑工程设计中,要善于根据场地工程地质和水文地质条件,基坑形状和大小,认真分析该支护结构体系中的主要矛盾,是支护体系的稳定问题,还是需要控制支护体系的变形问题。基坑支护体系产生稳定和变形问题的主要原因是土压力问题,还是地下水控制问题。根据基坑支护结构体系中的主要矛盾,合理选用基坑支护形式。

在基坑工程设计中,要根据基坑周围环境保护要求分别采用按稳定控制设计和按变形控制设计。当基坑周围空旷,如市政道路、地下管线、周边建(构)筑物在基坑工程影响范围以外,可以允许基坑周围地基土体产生较大的变形时,基坑支护设计应按稳定控制设计;当基坑紧邻市政道路、管线、周边建(构)筑物,而不允许基坑周围地基土体产生较大的变形时,基坑支护设计应按变形控制设计。

在基坑工程设计中,按稳定控制设计基坑支护体系只要求支护体系满足稳定性要求,可以产生较大位移。按变形控制设计基坑支护体系不仅要求支护体系满足稳定性要求,并且支护体系变形要求小于变形控制值。由于作用在支护结构上的土压力值与位移有关,在按稳定控制设计和按变形控制设计中,作为荷载的土压力设计取值差别很大。因此,对同一工程,按稳定控制设计比按变形控制设计工程投资要小。

按变形控制设计中变形控制量应根据基坑周围环境条件因地制宜确定,不是要求基坑支护变形愈小愈好,也不宜简单地规定一个变形允许值,应以基坑变形对周围市政道路、地下管线、建(构)筑物不会产生不良影响,不会影响其正常使用为标准。

2. 基坑安全等级

基坑工程可根据支护体系破坏可能产生的后果,包括危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响的严重性,以及对周围环境,如邻近建筑物、地下市政设施、地铁等影响,采用不同的安全等级。

不少基坑工程技术规范将基坑工程安全等级分为三级,有的以支护体系破坏可能产生的后果划分,如表 1.2 所示。

基坑安全等级

表 1.2

安全等级	破坏后果	安全等级	破坏后果
一	很严重	三	不严重
二	严重		

基坑工程安全等级的影响因素主要有下述几方面:基坑周围环境条件,需保护的邻近建(构)筑物、地下市政设施等的复杂性和重要性;工程地质和水文地质条件;基坑开挖深度、形状和大小。

一个基坑工程的安全等级应综合考虑上述影响因素确定。

3. 基坑工程支护体系设计荷载

基坑工程支护体系设计应考虑以下荷载:

- (1) 土压力,水压力;
- (2) 地面超载;
- (3) 施工荷载;
- (4) 邻近建筑物荷载;
- (5) 其他不利于基坑工程支护体系稳定的荷载。

如支护结构作为主体结构一部分时,还应根据具体情况确定设计应考虑荷载。

4. 设计前基本资料准备

基坑工程支护体系设计前应具有以下资料：

- (1) 地下结构施工图，包括：总平面图、基础平面和剖面图，地下工程平面和剖面图等；
- (2) 岩土工程勘察报告，内容包括：基坑工程影响范围内土层分布，各土层物理力学指标，全年地下水变动情况等；
- (3) 工程用地红线图和基坑周围环境状况的资料，包括：基坑周边现有和施工期内可能建设的市政道路、建筑物、地铁、人防工程、各种市政管线等的平面位置、基础类型、埋深及结构图；
- (4) 相邻地下工程施工情况，包括地下工程支护体系设计和施工组织计划。

5. 基坑支护形式选用

应根据场地工程地质和水文地质条件、基坑开挖深度和周边环境条件，选用合理的支护形式。

基坑支护形式很多，每一种基坑支护形式都有其优点和缺点，都有一定的适用范围。一定要因地制宜，具体工程具体分析，选用合理的支护形式。

在支护形式的选用过程中应抓住该基坑支护中的控制性因素。如：该基坑支护的主要矛盾是支护体系的稳定问题，还是控制支护体系的变形问题；该基坑支护体系的不稳定因素主要来自土压力，还是来自地下水控制问题。

饱和软黏土地基中的基坑需采用排桩墙加内支撑的支护形式以解决土压力引起的稳定和变形问题。若基坑比较深，可采用地下连续墙加内支撑的支护形式。若基坑较浅（一般小于5m），且周边可允许基坑有较大的变形，亦可采用土钉墙或复合土钉墙支护，或采用水泥土重力式挡墙支护。采用土钉或复合土钉支护，基坑深度一定要小于其临界支护高度。土钉支护临界支护高度主要取决于地基土体的抗剪强度。

对粉砂、粉土地基的基坑支护主要是地下水控制问题。控制地下水有两种思路：止水和降水。止水帷幕施工成本较高，有时施工还比较困难，特别当坑内外水位差较大时，止水帷幕的止水效果往往难以保证。有条件降水时应首先考虑采用降水的方法。在降水设计时要合理评估地下水位下降对周围环境的影响。为了减小基坑降水对周围的影响，如需要也可通过回灌提高地下水位。在粉砂、粉土地基地区，有条件采用土钉支护时应首先考虑采用土钉支护。如基坑较深，可采用浅层土钉支护，深部采用排桩墙加锚或加撑支护。如需要采用止水帷幕和排桩加内支撑或锚杆支护也要采取措施尽量降低基坑内外水位差，并且当止水帷幕漏水时，应有应对漏水的对策。

表 1.3 给出软黏土地基和砂性土地基中不同开挖深度可供选用的基坑支护形式。表中基坑深度一栏中的具体数字仅供参考，具体应用时请根据场地工程地质和水文地质条件、周边环境条件作加减。

基坑支护形式选用建议

表 1.3

土层特点	基坑深度	可选用支护形式	备注
软黏土地基	小于 3m	放坡开挖为主，辅以坡脚采用短桩隔板及其他简易支护	
	小于 5m	土钉墙或复合土钉墙	周围环境允许产生较大变形
	小于 6m	悬臂式排桩墙支护结构	周围环境允许产生较大变形
		水泥土重力式支护结构	周围环境允许产生较大变形
		加筋水泥土墙支护结构	周围环境允许产生较大变形
		排桩墙加内撑式支护结构	周围环境不允许产生较大变形
	冻结法支护结构	周围环境限制，采用其他支护形式较困难	
	大于 6m	排桩墙加内撑式支护结构	
加筋水泥土墙加内撑式支护结构			
大于 10m	地下连续墙加内撑式支护结构		

续表

土层特点	基坑深度	可选用支护形式	备注
砂性土地基	小于 5m	放坡开挖, 加降水	
	小于 8m	土钉墙或复合土钉墙, 加降水	
	大于 8m	排桩墙加内撑式或锚拉式支护结构, 加止水帷幕	
		浅层土钉墙加降水, 深层排桩墙加内撑式或锚拉式支护结构, 加止水帷幕	
大于 15m	地下连续墙加内撑式或锚拉式支护结构, 加止水帷幕		

基坑支护方案合理选用是基坑支护结构优化设计的第一层面, 基坑支护结构优化设计的第二层面是指选定基坑支护方案后, 对具体设计方案进行优化。因此除应重视基坑支护方案的合理选用外, 还应重视具体设计方案的优化。

6. 地下水控制设计原则

当基坑工程影响范围内存在承压水层, 或地基土体渗透性好且地下水位高的情况下, 控制地下水往往是基坑支护设计中的主要矛盾。已有基坑工程事故原因调查表明, 由于未处理好地下水控制问题而造成的工程事故在基坑工程事故中占有很大比例。

止水和降水是控制地下水的主要手段。有时也可以采用止水和降水相结合。通过止水还是降水控制地下水需要综合分析, 有条件降水的就尽量不用止水, 一定要采用止水措施时也要尽量降低基坑内外的水头差。形成完全不漏水的止水帷幕施工成本较高, 而且很难做到。特别当止水帷幕两侧水位差较大时, 止水帷幕的止水效果往往难以保证。坑内外高水头差可能造成止水帷幕局部渗水、漏水, 处理不当往往会酿成大事故。止水帷幕两侧保持较低的水头差时, 既可减小渗水、漏水发生的可能性, 也有利于发生局部渗水、漏水现象后的堵漏补救。当基坑深度在 18m 以上, 地下水又比较丰富时, 通过坑外降水尽量降低基坑内外的水头差显得十分重要。

基坑止水帷幕外侧降水既有有利的一面也有不利的一面, 有利的是可以有效减小作用在支护体系上的水压力和土压力。不利的是降水会引起地面沉降, 产生不良环境效应。因此, 在降水设计时需要合理评估地下水位下降对周围环境的影响。场地条件不同, 降水引起的地面沉降量可能有较大的差别。新填方区降水可能引起较大的地面沉降量, 而在老城区降水引起的地面沉降量就要小得多。特别是降水深度在历史上大旱之年枯水位以上时, 降水引起的地面沉降量较小。当基坑外降水可能产生不良环境效应时, 也可通过回灌以减小其对周围环境的影响。

当基坑较深时, 经常会遇到承压水, 使地下水控制问题更加复杂。控制承压水有两种思路: 止水帷幕隔断和抽水降压。通过止水帷幕隔断还是抽水降压需要综合分析确定。在分析中应综合考虑承压水层的特性, 如土层特性、承压水头、水量及补给情况, 还应考虑承压水层上覆不透水土层的厚度及特性, 分析止水帷幕隔断的可能性和抽水降压可能产生的环境效应。

另外, 基坑周围地下水管的漏水也会酿成工程事故。需要通过详细了解地下管线分布, 认真分析基坑变形对地下管线的影响, 以及做好监测工作, 避免该类事故发生。

在冻土地区, 要充分重视冻融对边坡稳定的影响。冻前挖土形成的稳定边坡, 在冻土期边坡是稳定的, 冻融后边坡发生失稳事故已见多处报道, 应予重视。

1.3.2 设计内容

1. 基本内容

基坑支护体系设计一般包括: 根据场地工程地质和水文地质条件, 工程用地红线图和基坑周围环境状况, 地下结构施工图等资料, 对技术可行的基坑支护方案进行比选, 选用合理

的基坑支护方案；对基坑支护结构和支护体系的稳定和变形设计计算；对地下水控制体系的设计计算；对基坑工程施工环境效应的评估；提出基坑挖土施工组织要求；提出基坑工程监测要求以及相关报警值；提出处理突发状况的应急措施的要求。

2. 设计文件

基坑支护设计文件一般应包括：基坑支护设计依据；工程概况和周围环境条件分析；工程地质和水文地质条件分析；基坑支护方案比选，确定基坑支护形式；支护体系设计计算；基坑支护体系设计图纸；基坑工程施工要求；监测内容、要求以及相关的报警值；应急措施等内容。其中，支护体系设计计算一般包括：设计参数的选用说明、计算方法说明，计算结果并附图；基坑支护体系设计图纸一般包括：基坑总平面图（包含周边环境条件）、典型地质剖面图（可引自勘察文件）、支护结构和地下水控制施工详图、监测方案图；基坑工程施工要求一般包括：支护结构和止水帷幕施工要求、基坑降水要求、基坑挖土施工组织要求等。

1.3.3 监测方案设计

监测单位根据设计文件的要求以及相关的报警值，编制监测方案，确定各类监测点的数量、位置，监测频率以及报警应急措施。

基坑工程只有做好监测工作，才能实行信息化施工，所以一定要重视监测工作。对重要工程，可对监测方案设计实行专项审查。

1.3.4 设计管理

不少基坑工程事故与设计质量有关。因为基坑支护体系是临时结构，不少人对支护设计的重要性重视不够，对基坑工程区域性强、个性强、综合性强以及土压力的复杂性等特点缺乏足够认识，对支护设计的技术要求重视不够。不少从事基坑支护设计的技术人员缺乏必要的结构工程和岩土工程基础知识或专业训练，甚至有人认为买个设计软件就可以进行基坑支护设计。加强基坑工程设计管理，既有利于提高从事基坑支护设计人员的技术水平，也有利于提高对基坑工程重要性的认识。不少地区的经验均表明：加强基坑工程设计管理是减少基坑工程事故非常有效的措施。

基坑工程设计管理主要包括建立和完善审查制度和招投标制度。审查制度包括设计资格审查制度和设计图审查制度。各地应结合本地具体情况建立基坑支护设计图专项审查和管理制度。设计图审查专家组应由从事设计、施工和教学科研以及管理工作的专家组成。实行基坑工程设计招投标制度可引进竞争，促进技术进步，优化设计方案，从而使社会和经济效益最大化。

1.4 基坑工程施工

1.4.1 施工组织设计要点

基坑工程施工前应完成以下技术准备工作：

1. 施工组织设计文件和图纸

基坑设计施工文件应包括以下内容：

(1) 工程目标，设计及施工要求，实施关键点及技术难点和总体解决思路；

(2) 施工计划安排，包括施工流程，在时间和空间上穿插施工的流水作业，总工期及分项进度要求；

(3) 各分项工程所需劳动力、施工机械以及材料供应量, 汇总后编制各阶段组织实施安排, 以及相应的配套用水、用电、施工作业面安排;

(4) 分阶段的施工现场临房、堆场、施工道路平面布置、大型垂直运输施工机械、临时给排水、强弱电平面布置图;

(5) 各专项工程实施技术要求以及详细施工方案, 专项方案主要包括测量定位、支护结构、止水帷幕、支撑、坑内加固、基坑降水、土方开挖、支撑拆除、大型垂直运输设备使用、基坑监测、季节性施工专项措施等。

2. 其他文件

除上述施工组织设计文件, 还应提供环境保护技术方案, 技术、质量、安全、文明施工保证措施以及基坑工程应急预案等。

1.4.2 施工全过程控制

施工全过程控制包括以下要点:

1. 确保施工条件与设计条件一致性

(1) 保证基坑开挖全过程与设计工况保持一致。严禁超越工况或合并工况施工;

(2) 周边保护与设计条件一致性。坑顶堆载条件、周边保护管线、建(构)筑物边界条件及保护要求;

(3) 开挖地层条件、水文地质条件与勘察报告反映情况一致。个别区域由于孔距过大未能反映情况, 包括河浜、填土、障碍物等, 应及时调整设计或施工参数。

2. 注意全过程质量检验

应按施工期、开挖前和开挖期三个阶段进行。

(1) 施工期质量检验包括机械性能、材料质量、掺合比试验等材料的验证, 以及定位、长度、标高、垂直度、水泥掺量、喷浆速度、浇灌混凝土速度、充盈系数、外加剂掺量、水灰比、施工起止时间、支护体均匀、搭接桩施工间歇时间等;

(2) 基坑开挖前的质量检测包括支护结构强度的验证和数量的复核、止水效果检查、出水量验证;

(3) 基坑开挖期的质量检测主要通过外观检验开挖面支护体的质量以及支护结构和坑底渗漏水情况。

3. 开展信息化施工

基坑施工及开挖过程中, 严格按照既定监测方案实施监测, 及时了解由于基坑施工产生的变化, 判断影响程度, 调整相关施工参数, 如施工顺序、施工速度、监测频率等, 发现异常情况启动应急预案, 防止事故发生。

1.4.3 支护体系施工要点

施工前应熟悉支护体系图纸、周边环境及各种计算工况, 掌握开挖及支护设置的方式、形式及周围环境保护的要求。

施工参数与地层条件匹配, 结合土层特点选取合适的施工机械和施工方法, 配置合适的动力设备, 调整施工参数, 必要时配以合理辅助措施, 使施工质量满足设计要求。如在硬黏土区施工搅拌桩应采用大功率电机, 在浅层松散砂土施工灌注桩、地下连续墙可辅助低掺量搅拌桩地基加固等。

注意施工对周边环境影响, 许多支护结构施工本身对周边环境的影响很大, 如搅拌桩或高压旋喷桩的挤土效应, 地下连续墙成槽的水平位移等, 有些变形甚至超过基坑开挖造成的影响, 因此施工时应针对各种工艺特点, 严格控制施工参数, 防止出现“未挖先报警”

现象。

施工连贯性与整体性。工程经验表明,施工参数合理,现场条件合适,施工连贯,一气呵成的支护体系往往施工质量稳定,缺陷和问题较少,事前准备不充分,计划安排不合理,或现场限制较多,往往造成施工冷缝、强度质量不稳定、少打漏作现象,成为开挖阶段的隐患。

施工质量及时检验与控制。施工阶段及时检验施工质量有利于及时发现问题并补救,调整后期施工参数,加强监控措施,防止整个支护体系质量问题。施工过程控制是确保支护体系质量最为关键环节。

1.4.4 基坑开挖控制原则

基坑开挖分为无支护结构基坑开挖、有支护结构基坑开挖和基坑暗挖。基坑开挖应综合考虑基坑平面尺寸、开挖深度、工程地质与水文地质条件、环境保护要求、支护结构形式、施工方法、气候条件等因素。

基坑开挖前,应根据基坑支护设计、降排水方案和场地条件等,编制基坑开挖专项施工方案,其主要内容应包括工程概况、地质勘探资料、施工平面及场内交通组织、挖土机械选型、挖土工况、挖土方法、排水措施、季节性施工措施、支护变形控制和环境保护措施、监测方案、应急预案等,专项施工方案应按照规定履行审批手续。

基坑开挖宜按照“分层、分块、对称、平衡、限时”的原则确定开挖的方法和顺序,挖土机械的通道布置、挖土顺序、土方驳运、建材堆放等,都应避免引起对支护结构、工程桩、支撑立柱、降水管井、坑内监测设施和周围环境等的不良影响。

基坑开挖前,基坑支护结构的强度和龄期应达到设计的要求,且降水及坑内加固应达到要求。

无内支撑基坑的坡顶或坑边不宜堆载,有内支撑基坑的坡顶应按照设计要求控制堆载。

当挖土设备、土方运输车辆等直接入坑进行施工作业时,应采取必要的措施保证坡道的稳定,其入坑坡道宜按照不大于1:8的要求设置,坡道的宽度应保证车辆正常行驶。

施工栈桥应根据基坑形状、支撑形式、周边场地及环境、施工方法等情况进行设置。

施工过程中应按照设计要求对施工栈桥的荷载进行严格控制。

采用混凝土支撑体系或以水平结构作为支撑体系的,应待混凝土达到设计强度后,才能开始下层土方的开挖。采用钢支撑的,应在施加预应力并符合设计要求后方可进行下层土方的开挖。

基坑开挖应符合下列要求:

(1) 机械挖土宜挖至坑底以上200mm~300mm,余下土方应采用人工修底。机械挖土过程中应通过控制分层厚度、坑底及桩侧留土等措施,防止桩基产生水平位移。基坑开挖至设计标高,并经验槽合格后,应及时进行垫层施工。工程桩顶处理可在垫层浇筑完毕后进行。

(2) 若挖土区域存在较厚的杂填土、暗浜、暗塘等不良土质,应采取针对性的处理措施。

(3) 电梯井、集水井等局部深坑的开挖,应根据设计要求、地基加固、土质条件等因素确定开挖顺序和方法。

(4) 雨期基坑开挖宜逐段逐片地进行,并应采取针对性的措施保证边坡稳定。

(5) 施工过程中,挖土机械应避让工程桩,若机械无法避开工程桩,应采取桩顶铺设路基箱等保护措施。

(6) 基坑开挖应根据设计工况、基坑安全等级和环境保护等级,采用分层开挖或台阶式

开挖的形式，分层厚度不宜大于 3m。分层的坡度应根据地基加固、降水和土质情况确定，一般不宜大于 1:1.5。

(7) 基坑开挖应实行信息管理和动态监测，确保信息化施工。

1.5 基坑工程监测

1.5.1 监测目的

基坑工程监测是为了确保在基坑施工过程中支护结构和邻近建（构）筑物、地下管线的安全，通过对基坑本身内部有关结构的位移、内力以及基坑外的环境保护对象的变形参数的监测，验证基坑支护结构设计和基坑开挖施工组织设计的正确性；并对基坑支护体系的稳定性、可靠性和安全性进行预测预报，及时掌握在施工中支护结构的应力和变形以及环境的变化情况，并根据现场实际情况，科学、合理地调整施工步骤，从而实现信息化施工管理。此外，对基坑进行全面的监测，获得大量的数据，为以后同类基坑的设计和施工提供参考，验证基坑的有关理论研究。

1.5.2 监测内容

基坑监测可分为基坑工程本身的监测和周边环境的监测，监测项目可参见本指南第 16 章。

设计单位应根据具体情况，为确保施工安全和保护环境提出具体监测项目，表 1.4 可供设计参考。

监测项目表

表 1.4

序号	施工阶段		开挖阶段					
	基坑等级	开挖前 支护体系	重力式支护体系		墙式支护体系			放坡开挖
			一级 二级	三级	一级	二级	三级	
1	支护体系观察		√	√	√	√	√	√
2	支护墙（边坡）顶部水平位移		√	√	√	√	√	√
3	支护墙（边坡）顶部垂直位移		√	√	√	√	√	√
4	支护体系裂缝		√	○	√	√	○	
5	支护墙侧向变形（测斜）		√	○	√	√	○	
6	支护墙侧向土压力				○	○		
7	支护墙内力				√	○		
8	冠梁及围檩内力				√	○		
9	支撑内力				√	√	○	
10	锚杆或土钉拉力		○		√	√	○	
11	立柱垂直位移				√	√	○	
12	立柱内力				○	○		
13	基坑外地下水水位	√	√	√	√	√	√	√
14	基坑内地下水水位	○	○		○	○		
15	孔隙水压力	○	○		○			
16	土体深层侧向变形（测斜）	○	○		√	○		
17	土体分层垂直位移		○		○			
18	坑底隆起（回弹）		○		○	○		
19	地表垂直位移	○	√		√	○		○
20	邻近建（构）筑物垂直位移	√	√	√	√	√	√	√