


深基坑工程支护结构设计及 施工监测的理论与实践

曾开华 戴红涛 梁译文 陈芳亮 著



 煤炭工业出版社

深基坑工程支护结构设计及 施工监测的理论与实践

曾开华 戴红涛 梁译文 陈芳亮 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

深基坑工程支护结构设计及施工监测的理论与实践/
曾开华等著. --北京: 煤炭工业出版社, 2018
ISBN 978-7-5020-6574-4

I. ①深… II. ①曾… III. ①深基坑支护—结构设计 ②深基坑支护—施工监测 IV. ①TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 073455 号

深基坑工程支护结构设计及施工监测的理论与实践

著 者 曾开华 戴红涛 梁译文 陈芳亮
责任编辑 肖 力
责任校对 邢蕾严
封面设计 尚乃茹

出版发行 煤炭工业出版社(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室) 010-84657880 (读者服务部)
电子信箱 cciph612@126.com
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 12¹/₂ 字数 292 千字
版 次 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷
社内编号 9454 定价 45.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

前 言

深基坑工程支护是为了保证深基坑工程开挖施工的顺利进行及周围环境的安全,对基坑侧壁采取的一种支挡、加固和保护措施,涉及岩土力学、工程地质、工程勘察及施工、监测及管理等诸多方面,是一项综合性很强的系统工程。基坑工程支护研究的主要内容包括:基坑支护结构体系的强度和变形控制、基坑坑底和挡土墙后土体的变形控制、周围建筑物的安全和变形控制以及相关地下基础设施的安全和变形控制等。随着大量高层、超高层建筑以及地下工程的不断涌现,对基坑工程设计及监测的研究也越来越多地引起人们的重视。

本书是作者根据多年的工程实践以及课题研究整理而来。该书系统地就深基坑设计及监测理论进行了剖析,并结合实际的工程案例进行编写,有利于读者理解和掌握深基坑支护工程的设计理论及施工监测方法。

全书共分为6章,包括深基坑工程支护设计方法、深基坑工程设计实例、深基坑施工监测技术、深基坑监测实例、基坑远程监测系统及运用、深基坑数值模拟。

该书由南昌工程学院土木与建筑工程学院曾开华教授主笔,其研究生戴红涛、梁译文、陈芳亮参与编写。该书还得到了江西省水利土木工程基础设施安全重点实验室、江西省水利土木特种加固技术与安全监控工程研究中心的支持。研究及出版经费来源于江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ151117)、国家自然科学基金项目(51769016)、江西省自然科学基金项目(20142BAB206001)。最后,在此感谢在本书编写过程中给予帮助和支持的所有人。

著 者

2018年3月

目 次

1 深基坑工程支护设计方法	1
1.1 基坑支护概述	1
1.2 基坑工程的勘察	1
1.3 基坑降水与土方开挖	3
1.4 基坑工程支护类型	4
2 深基坑工程设计实例	7
2.1 惠州西湖站综合体发展项目基坑	7
2.2 景德镇吕蒙污水泵站项目基坑	97
2.3 漯河市天翼·滨湖国际项目基坑	110
3 深基坑施工监测技术	136
3.1 深基坑施工监测概述	136
3.2 基坑监测的重要性和目的	136
3.3 基坑监测的依据	137
3.4 基坑监测的内容	138
3.5 基坑工程监测方法与技术	141
4 深基坑监测实例	144
4.1 惠州西湖站综合体发展项目基坑监测实例	144
4.2 江西省景德镇市吕蒙泵站基坑监测实例	157
5 基坑远程监测系统及运用	165
5.1 基坑远程监测系统研究现状	165
5.2 基坑远程监测系统功能设计	169
5.3 基坑远程监控系统软件选择	170
5.4 基坑远程监测系统的应用	173
6 深基坑数值模拟	176
6.1 工程现代数值模拟概述	176
6.2 数值模拟在岩土工程中的应用	177
6.3 有限元法	179
6.4 Midas GTS 的主要功能及其工程应用	182
6.5 Midas GTS 数值模拟实例	185

1 深基坑工程支护设计方法

1.1 基坑支护概述

基坑是指为进行建筑结构物、地下工程施工而开挖形成的地面以下的工作空间。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,城市建设向纵深飞速发展,地下空间的开发和利用成为一种必然。基坑工程日益增多,规模不断扩大,其复杂性和技术难度也随之增大。基坑工程支护根据其开挖方式可分为无支护开挖和有支护开挖。无支护开挖指的是在场地条件允许的情况下进行放坡开挖,但是这往往需要较大的施工场地,所以征地较贵的城市,一般采用有支护的开挖方法。有支护开挖指的是在基坑开挖过程中,对基坑侧壁采取一定的支护措施,从而保证基坑在施工过程中的安全与稳定,避免工程事故发生。但无论是无支护开挖还是有支护开挖,都应该制定详细的施工计划,从而保证基坑施工的顺利进行^[1]。

深基坑支护工程一般包括支护结构类型的选择、支护工程结构设计、支护结构监测和支护结构施工等方面的内容。

目前,深基坑支护工程在支护技术和设计理论方面已取得很大的发展,但仍然存在诸多有待研究和解决的问题,主要包括深基坑的时空效应和变形控制问题。实测资料表明,深基坑结构向基坑内侧的水平位移呈现“中间大两边小”的特征,其空间效应将会导致基于平面应变假设的支护结构设计方法脱离实际,最终影响基坑分布开挖尺寸和开挖时间的定量计算。此外,基坑开挖转角部分所出现的应力集中现象,以及软土蠕变特性导致的基坑支护结构变形随着无支护时间的延长而增加的“时间效应”,在目前的支护结构设计中均未给予考虑。对于高层建筑和市政管线密集区域附近的深基坑工程,支护结构设计应该同时满足强度要求和正常使用要求,因此采用强度设计理论时需要对基坑的变形进行控制,以确保基坑在施工过程中自身和周围建筑物的安全稳定^[2]。

我国地域面积大,不同地区的地质结构和地层情况也不太相同,这就导致了基坑工程在不同地区具有不同的工程特点。

图 1-1 为基坑施工照片。



图 1-1 基坑施工照片

1.2 基坑工程的勘察

基坑工程的勘察与其他工程勘察一样,也是分阶段进行的,一般分为初步勘察和详细

勘察。

1.2.1 初步勘察

在基坑工程所在的地域，详细了解基坑工程所在区域的水文地质条件，为初步勘察提供一定的技术指导和帮助，收集岩土工程数据，并根据数据进行分析，然后制定初步勘察计划，因地制宜，从而保证初步勘察的顺利进行。

1.2.2 详细勘察

在详细勘察阶段，应针对基坑工程设计的要求进行勘察，具体分为工程地质勘察、水文地质勘察、地下障碍物勘察等。

1. 工程地质勘察

工程地质勘察首先应该查阅当地的工程地质资料，根据查阅资料确定大致的勘察范围，勘察时也要考虑基坑施工场地因素，然后在勘察边界布置勘探点。如果勘探边界无法布置勘探点时，应根据当地的工程地质资料进行分析处理。勘探点应根据基坑工程等级要求进行布置，施工难度较大，应加密勘探点的布置；如果地层条件复杂，也应该增加勘探点。

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时，应进行专门的水文地质勘察（图1-2）。



图1-2 基坑水文地质勘察

基坑工程的水文地质勘察工作不同于其他工程地质勘察，其目的主要包括两个方面：一是满足降水设计；二是满足周围环境要求。前者按通常的供水水文地质勘察工作方法即可满足要求，后者因涉及的问题很多，要求就更高。

3. 地下障碍物的勘察

基坑工程勘察应提供基坑及围护墙边界附近填土和地下障碍物等不良地质现象的分布范围和深度，并反映其对基坑的影响情况。常见的地下障碍物主要有：

- (1) 回填的工业或建筑垃圾。
- (2) 建筑物的地下室、浅基础或桩基础。

(3) 废弃的人防工程、管道、隧道、风井等。

1.3 基坑降水与土方开挖

1.3.1 基坑降水

基坑工程施工时, 往往要求将地下水位降至坑底以下某一个深度再进行基坑开挖, 尤其是高层建筑结构, 其地下室层数较多, 并配有地下停车场, 故基础埋深很大, 更需要预先降水。因此, 在开挖时, 必须采取有效的降水和排水措施, 保证基坑处在干燥状态。

目前基坑降水采用的主要方法分为两类: 一是集水明排法, 二是轻型井点降水法。

集水明排法, 是指在基坑开挖至地下水位时, 在基坑周围基础以外开挖排水沟或在基坑外开挖排水沟, 在一定距离设置集水井, 地下水沿排水沟流入集水井, 然后用水泵将水抽走的方法。

轻型井点降水法主要是利用“下降漏斗”。当在井内抽水时, 井水位开始下降, 周围地下水流向井内, 经过一段时间后达到稳定, 水位就形成了向井弯曲的下降曲线, 类似“漏斗”, 地下水位逐渐降低到坑底设计标高以下, 这样就可以在干燥无水的情况下进行基坑开挖施工。

当降水对基坑周围建筑物和地下设施带来不良影响时, 如对邻近建筑物或管线产生不均匀沉降或开裂等危害, 应该实时监测其周围环境的变化, 并对其变化采取相对应的措施。

1.3.2 土方开挖

基坑开挖主要包括有支护和无支护放坡开挖。

1. 无支护放坡开挖

无支护放坡开挖(图1-3)较经济, 无支护施工, 施工主体工程作业空间宽余、工期短, 适合于①基坑周围无邻近建筑物及设施, 有空旷处可供放的场地; ②硬塑、可塑黏土和良好的砂性土; ③对于软弱地基, 不宜挖深过大, 且要对地基进行加固。放坡开挖应选择合理坡度和恰当的排水措施, 以保证开挖过程中边坡稳定。

2. 有支护放坡开挖

在场地狭小, 周围建筑物密集, 地下埋设物较多的情况下, 应采用有支护开挖。先设置挡土结构, 然后沿支护结构内侧垂直向下开挖。需要对支护结构采取支撑或锚拉措施的, 则边支撑边开挖。

不设置内支撑的支护有挡土墙支护、挡墙加土锚支护、重力式挡墙支护等。由于不设内支撑, 故有较宽阔的工作面, 土方开挖和主体工程施工作业不受干扰。在开挖深度较浅且周围环境保护要求较低的基坑, 一般选用不设置内支撑的支护。



图1-3 无支护放坡开挖

1.4 基坑工程支护类型

基坑支护类型繁多,应根据不同工程地质情况和现场施工条件采取不同支护形式。以下简单介绍几种基坑支护结构。

1.4.1 地下连续墙支护结构

地下连续墙为基坑周围修建的有相应厚度的墙体,它是封闭的并且是通过浇筑混凝土而成的,地下连续墙可作为开挖基坑内部主体时和修筑主体结构时的屏障。地下连续墙不但能够在基坑开挖过程中起临时保护作用,同时也可作为永久结构的一部分进行使用^[4]。



图 1-4 地下连续墙施工现场照片

地下连续墙的适用范围:对工程质量要求较高的基坑工程。

图 1-4 为地下连续墙施工现场图。

1.4.2 水泥搅拌桩支护结构

水泥搅拌桩是通过特制的搅拌轴的轮叶,从地面开始破坏搅拌至需要深度,打开阀门将水泥浆或水泥粉由搅拌头注入土体,用搅拌头强制搅拌均匀,使水泥等固化剂与原土充分混合发生物理化学反应后形成强度大、压缩性小的桩体。

水泥搅拌桩支护结构由搅拌桩搭接而成,平面布置可采用壁状体。若壁状体的挡墙宽度不够时,可加大宽度,做成格栅状支护结构,即在支护结构宽度内,不需对整个土体都进行搅拌加固,可按一定间距将土体加固成相互平行的纵向壁,再沿纵向壁按一定间距加固肋体,用肋体将纵向壁连接起来。水泥土搅拌桩作为基坑的支护结构,其形式类似于混凝土灌注桩,但水泥土桩身的强度和刚度远远低于钢筋混凝土桩的强度和刚度,其受力性能在很大程度上类似于重力式挡土结构。因而,水泥土桩作为支护结构时,其设计与计算就不能按照混凝土桩墙来进行,而应按照重力式挡墙结构来考虑^[6]。

水泥搅拌桩的监测问题:深层水泥搅拌桩在工程上使用量大且面广,为检验深层水泥搅拌桩的质量,随机选取一定数量的水泥搅拌桩进行检测。目前大多数采用基桩测试手段(如静载、低应变动测等)或者采用工程勘察中的一些测试技术。

(1) 标准贯入或轻便触探等动力试验:通过贯入阻抗估算土的物理力学指标,检验不同龄期的桩体强度变化和均匀性;用锤击数估算桩体强度需积累足够的工程资料,在目前尚无规范可作依据的情况下,可借鉴同类工程,或采用 Peck 的经验公式:

$$f_{cu} = (1/80) N_{63.5}$$

式中 f_{cu} ——桩体无侧限抗压强度;
 $N_{63.5}$ ——标准贯入试验的贯入击数。

轻便动力触探应作为施工中的一种自检手段,以检验施工工艺和施工参数的正确性。

(2) 静力触探试验:静力触探可连续检查桩体长度内的强度变化,用比贯入阻力 p 估算桩体强度需要有足够的工程试验资料,在目前积累资料尚不够的情况下,估算桩体无侧限抗压强度可借鉴同类工程经验或公式:

$$f_{cu} = (1/10)p_s$$

式中 p_s ——加强比贯入阻力。

深层水泥搅拌桩制桩后用静力触探测试桩身强度沿深度的分布图，并与原始地基的静力触探曲线相比较，可得出桩身强度的增长幅度，并能测得断浆、少浆的位置和桩长。^[7]

1.4.3 土钉墙支护结构

土钉墙支护是在基坑开挖过程中，将较密排列的细长杆件置于原位土体中，注入水泥浆或水泥砂浆形成与周围土体全长紧密结合的加筋注浆体，并在坡面上喷射钢筋混凝土面层，土钉和喷射混凝土面层共同形成复合土体。土钉墙支护充分利用土层介质的自承力，形成自稳结构，承担较小的变形压力。土钉主要承受拉力。

常用的土钉有以下几种类型：

(1) 钻孔注浆型：先在土中成孔，再植入变形钢筋，然后沿全长注浆填孔形成。这种土钉几乎适用于各种土层，抗拔力较高，质量较可靠，造价较低，是最常用的土钉类型。

(2) 直接打入型：在土体中直接打入钢管、角钢等型钢、钢筋、毛竹和圆木等，不再注浆。由于该类型土钉直径小，与土体间的黏结摩阻强度低，钉长又受限制，所以布置较密。该类型土钉对原位土的扰动较小，但在坚硬黏性土中很难打入，国内应用很少。

(3) 打入注浆型：在钢管尾部设置注浆孔成为钢花管，直接打入土中后压灌水泥浆形成土钉。该类型土钉抗拔力较强，特别适用于成孔困难的淤泥、淤泥质土等软弱土层、各种填土及砂土，但造价较高。

土钉支护适用条件：地下水位以上或经人工降水后的人工填土、黏性土和弱胶结砂土的基坑支护或边坡加固；基坑周围不具有放坡条件，但邻近无重要建筑或地下管线，基坑地下空间使用土钉占用时；开挖深度不大于 12 m 且变形要求不严格的基坑支护或边坡围护。

土钉支护不适用于对基坑周围地下空间控制比较严格的场地，不宜用于含水丰富的粉细岩、沙砾卵石层和淤泥质土，不得用于没有自稳能力的淤泥和饱和软弱土层。

近年来兴起一种复合土钉支护结构，它是将土钉墙与止水帷幕、各种微型桩或钢管土桩、预应力锚杆等结合起来，达到限制基坑上部土体变形、阻止边坡土体内水的渗出和提高边坡的自稳能力的目的，弥补了单独采用土钉支护技术的一些缺陷和使用限制，极大地扩展了土钉支护技术的应用范围。常用的复合土钉支护有以下三种基本形式：

- (1) 土钉墙 + 预应力锚杆。
- (2) 土钉墙 + 微型桩。
- (3) 土钉墙 + 止水帷幕。

根据场地的条件，可以采用多种形式的联合，如土钉墙 + 止水帷幕 + 预应力锚杆、土钉墙 + 微型桩 + 预应力锚杆等^[2]。

1.4.4 联合支护体系与复合支护体系

1. 复合支护

复合支护是指由两种及两种以上的支护结构通过水平受力的组合，共同承担土压力形成的支护体系。一般为重力式或嵌入式的支护体系，如由超前支护桩与土钉组合形成的复

合土钉、锚杆与土钉支护组成形成的复合土钉、通过加筋材料或灌浆形成的加筋土支护结构、双排桩支护结构等。

2. 联合支护

联合支护是指基坑工程同一支护剖面中，上下部采用不同支护结构组合形成的支护体系。其中，上部一般采用土钉或复合土钉，下部可采用地下连续墙、桩锚、复合土钉、桩锚复合土钉等支护结构。

3. 混合支护

混合支护是指基坑工程同一支护段，沿基坑侧壁方向采用两种及两种以上支护结构或者支护体系组合形成的支护体系。

不难看出，三种支护体系的区别：复合支护由基本支护结构水平向组合而成；联合支护由基本支护结构或由基本支护结构与复合支护结构上下组合而成；混合支护体系可以由基本支护结构相间隔进行组合，也可以由基本支护结构与复合支护结构、联合支护结构任意组合间隔设置。

从概念来看，混合支护大于联合支护，联合支护大于复合支护^[4]。

参 考 文 献

- [1] 孔德森, 吴燕开. 基坑支护工程 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012.
- [2] 年延凯, 孙雯. 深基坑支护设计与施工新技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [3] 王洋, 汤连生, 杜赢中. 地下水渗流对基坑支护结构上水土压力的影响分析 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2003 (02): 107 - 110.
- [4] 郭院成. 基坑支护 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2012.
- [5] 周鑫. 地铁车站基坑支护结构研究 [D]. 安徽理工大学, 2017.
- [6] 陈水龙, 巨建勋. 深层水泥搅拌桩在基坑支护中的应用 [J]. 水利与建筑工程学报, 2006 (03): 74 - 76 + 79.
- [7] 徐新跃, 黄凌云. 深层水泥搅拌桩的若干问题 [J]. 建筑结构, 2000 (05): 11 - 13 + 16.

2 深基坑工程设计实例

2.1 惠州西湖站综合体发展项目基坑

2.1.1 工程概况

该工程为西湖站上盖综合体发展项目基坑支护及土方开挖工程，位于惠州市环城西路东侧地块内，塘尾街南侧，小西直街北侧。基坑采用明挖顺筑法施工，长约 188 m，宽约 101.5 m，基坑开挖深度约 17.8 m，地理位置如图 2-1 所示。

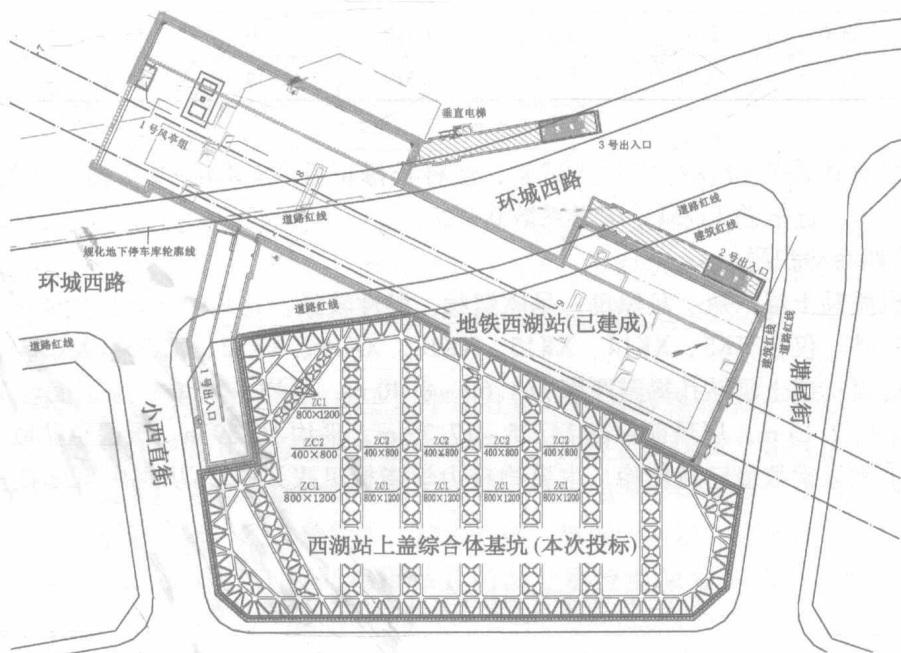


图 2-1 惠州西湖站综合体发展项目基坑工程地理位置示意图

该基坑紧临莞惠城际西湖站主体及 1 号出入口，西湖站主体位于基坑西侧，1 号出入口位于基坑南侧。本基坑与西湖站主体基坑相邻处共用围护桩及桩顶冠梁。相邻处西湖站主体基坑深约 26 m，1 号出入口基坑深约 13 m。

1. 工程地质情况

依据现场的钻探结果，地基岩土层由上至下的顺序依次为：第四系人工填土层 (Qml)、第四系冲积层 (Qal)、第四系残积层 (Qel)，下伏风化基岩为白垩系泥质砂岩 (K)。场地内各岩土层工程地质特征分述如下：

1) 第四系人工填土层

素填土层：褐红色、朱红色、褐黄色，主要由粉质黏土及少量碎石堆填，稍湿-湿，上部填土为新近堆填，呈松散状，下部堆填时间较长，自重固结已经完成，呈稍密状，均匀性较差。大部分分布在 XK2、XK4~XK11、XK13~XK20、XK22~XK29、ZK1~ZK11 号钻孔一带；该填土层钻孔揭露的厚度 0.40~17.50 m，平均 3.69 m；层顶面标高 13.24~25.28 m，平均 18.70 m。该层取土样 3 组，个别异常数值已剔除，主要物理力学指标见表 2-1。

表 2-1 素填土层物理力学指标统计表

统计指标	含水率 $\omega/\%$	比重 G_s	天然密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	孔隙 比 e	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	压缩模量 E_s/MPa
个数 n	3	3	3	3	2	2	3
最小值	17.0	2.67	2.08	0.439	10.0	15.6	3.79
最大值	23.0	2.67	2.17	0.580	17.0	18.8	6.30
平均值	20.1	2.67	2.11	0.519	13.5	17.2	4.83

该土层总共做了 10 次标准贯入试验，经杆长修正后 $N=4.4 \sim 9.7$ 击，平均 6.3 击，标准值 5.2 击，标准差 1.731，变异系数 0.277。

2) 第四系冲积层

含有机质黏土层：灰、灰黑色，呈软塑状，黏性较强，且其中含有少量的不均匀有机质和粉细粒砂。仅在 XK5、XK14、XK15、XK18、XK19、XK22、XK25、XK27~XK29 号钻孔一带揭露；该土层钻孔揭露厚度为 1.60~8.40 m，平均 4.45 m；层顶面埋深 0.40~2.80 m，平均 2.15 m；层顶面标高 14.25~17.77 m，平均 15.39 m。该层总共取了 8 组土样，其中个别异常数值已被剔除，主要物理力学指标见表 2-2，从表中可知该土层属高压缩性土。

表 2-2 含有机质黏土层物理力学指标统计表

统计指标	含水率 $\omega/\%$	比重 G_s	天然密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	孔隙 比 e	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	压缩模量 E_s/MPa
个数 n	8	8	8	8	6	6	8
最小值	33.7	2.70	1.76	1.000	5.6	8.2	2.20
最大值	41.2	2.73	1.80	1.167	9.5	9.4	3.37
平均值	38.2	2.72	1.78	1.112	7.6	8.9	2.83

该土层总共做了 8 次标准贯入试验，经杆长修正后 $N=1.8 \sim 5.6$ 击，平均 3.5 击，标准值 2.6 击，标准差 1.351，变异系数 0.382。根据土工试验结果、标贯击数和地区经验，推荐承载力特征值的经验值 $f_{ak}=80$ kPa。

3) 第四系残积层

粉土层：褐红色为主，由泥质砂岩风化残积而成，主要成分为粉粒，稍湿-湿，呈密实状，不均匀残留强风化岩屑，韧性及干强度中等~低，岩芯遇水易软化。大部分分布在 XK2、XK5、XK11、XK14、XK15、XK18、XK19、XK22、XK23、XK25~XK29、ZK3、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK11 号钻孔一带揭露；该岩土层钻孔揭露厚度为 1.00~8.00 m，平均 3.96 m；层顶面埋深 0.40~17.50 m，平均 7.03 m；层顶面标高 6.02~21.84 m，平均 12.56 m。该层总共取了 8 个土样，其中个别异常数值已被剔除，主要物理力学指标见表 2-3，从表中可知该土层属中等压缩性土。

表 2-3 粉土层物理力学指标统计表

统计指标	含水率 $\omega/\%$	比重 G_s	天然密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	孔隙 比 e	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	压缩模量 E_s/MPa
个数 n	15	15	15	15	15	15	15
最小值	11.0	2.67	1.81	0.421	16.3	16.7	5.23
最大值	24.4	2.74	2.17	0.803	24.0	23.4	7.92
平均值	16.4	2.68	1.90	0.645	19.0	20.6	6.45

该土层总共做了 13 次标准贯入试验，经杆长修正后 $N = 13.2 \sim 20.0$ 击，平均 16.3 击，标准值 15.0 击，标准差 1.774，变异系数 0.086。依据实验室的土工试验结果、标贯击数及该场地的既往施工经验，推荐承载力特征值的经验值 $f_{ak} = 250 \text{kPa}$ 。

2. 水文地质情况

该场地地下水类型主要为第四系土层中的孔隙水和基岩裂隙水。场地环境类型为 II 类，按地层渗透性分类属 B。场地填土透水性中等，其余土层均属于弱透水层，一般属潜水性质。地下水主要由大气降水补给，水位升降受气候因素影响明显，雨水季节潜水水位上升，枯水季节水位下降，贮水条件差，富水性弱，属弱含水层。该场地年水位变化幅度约为 1.00~2.00 m，勘察施工期间测得钻孔的混合水位埋深为 5.30~9.70 m，高程为 13.26~15.78 m。于 ZK3、ZK11 孔处采取水样 2 件，进行水质分析，于 ZK7、ZK11 孔处稳定地下水位以上土层中采取土样 2 件，做土的腐蚀性试验。

综合判定该场地地下水对混凝土结构具微腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具微腐蚀性；土对混凝土结构具微腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具微腐蚀性，对钢结构具微腐蚀性。

2.1.2 设计概况

(1) 基坑围护结构采用 $\phi 1200$ 排桩，桩间距 1350 mm，排桩桩数 295 根，桩长 21.1 m，嵌固深度入中风化岩层 2.5 m，冲孔桩采用 C30 水下混凝土。排桩桩间止水采用 $\phi 600$ 双管旋喷桩，与钻孔桩咬合 200 mm，旋喷桩桩数 295 根，旋喷桩长度 5~15 m 不等，入中风化岩层 0.5 m。

(2) 为抵消基坑施工爆破产生的震动，采用隔振桩（砂桩）分隔，平面位置按图施

工。

①与车站直接相邻部分，紧靠西湖站施工一排隔振桩（砂桩），隔振桩采用 $\phi 1200$ mm排桩，桩间距 1350 mm，桩长与西湖站底板底标高一致，旋挖桩内填砂，基坑开挖至基坑底后，基坑底以下至桩底部分的隔振桩需进行注浆固结。

②其余部分非与车站直接相邻，此部分减震孔的深度到本项目基坑底标高位置即可。

③隔振桩在车站通车前施工。

(3) 冲孔排桩之间挂钢筋网，采用 HPB300 钢筋 $\phi 8@150 \times 150$ ，喷射 C20 素混凝土，喷射厚度（按围护桩外皮计算）50 mm。

(4) 基坑外场地高差位置采用 1:1.25 放坡 + 土钉 + 挂网喷锚，土钉采用 HRB400 $\phi 28$ 钢筋，水平夹角 15° ，钢筋长度 6 m，钢筋间距 $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ ，设计拉力不小于 100 kN。

护坡挂网喷锚采用 HPB300 钢筋 $\phi 8@150 \times 150$ ，喷射 C20 素混凝土，喷射厚度 100 mm。

(5) 支撑立柱采用格构式钢立柱桩，桩数 117 根，基坑底以下部分采用 $\phi 1200$ 钢筋混凝土灌注桩，灌注桩实桩长度 4 m，采用 C30 水下混凝土，主筋 20 根 HRB400 $\phi 25$ ，螺旋箍 HPB300 $\phi 12@100$ (200)，格构柱型钢插入 $\phi 1200$ 桩内 3 m，格构柱主材采用 4 个角钢 L 200 \times 24，钢材型号 Q345B、其他钢材 Q235B。

(6) 基坑采用两道钢筋混凝土土内支撑，第一、二道支撑梁截面尺寸，ZC1 为 800 \times 1200，ZC2 为 400 \times 800，ZC3 为 800 \times 1000，冠梁截面尺寸为 1200 \times 1000，腰梁截面尺寸为 1000 \times 800。混凝土支撑体系均采用 C30 商品混凝土浇筑。

(7) 场地平整后地面绝对标高为 17.0 m，基坑底设计绝对标高为 -0.8 m，开挖深度 17.8 m，绝对标高统一采用黄海高程。

2.1.3 特殊土与不良地质

根据钻探揭露，场地内未发现有影响工程稳定性的不良地质作用，如采空区、活动性断裂构造、崩塌、滑坡、泥石流等。特殊性岩土主要为人工填土、泥质砂岩风化岩及其残积土。

1. 基坑及基坑周边环境条件

该基坑紧临莞惠城际西湖站主体及 1 号出入口，西湖站主体位于本基坑西侧，1 号出入口位于基坑南侧。基坑北侧紧临塘尾街，东侧为居民区。南侧和东侧有大量堆积土，相对场地面标高，堆土高度约 8 m。

2. 施工场地现状

西湖站上盖综合体发展项目基坑支护及土方开挖工程的施工场地现状为杂草、堆土场地（图 2-2），并且西湖站主体施工单位借用部分该场地以及临时的通车道路在该场地中间通过（图 2-3）。

2.1.4 基坑周边建（构）筑物及保护要求

该项目基坑毗邻地铁西湖站，爆破施工对地铁西湖站和周边建筑物有影响。为抵消基坑开挖爆破产生的震动，采用隔振桩（砂桩）分隔。

(1) 与车站直接相邻部分，紧靠西湖站施工一排隔振桩（砂桩），隔振桩采用 $\phi 1200$ mm排桩，桩间距 1350 mm，桩长与西湖站底板底标高一致，旋挖桩内填砂，基坑

开挖至基坑底后，基坑底以下至桩底部分的隔振桩需进行注浆固结。



图 2-2 施工场地现状图



图 2-3 施工场地现状图
(从东南角往东北角方向)

(2) 其余部分非与车站直接相邻，此部分减震孔的深度到该项目基坑底标高位置即可。

(3) 隔振桩在车站通车前施工。

(4) 爆破施工采用浅孔爆破的施工方法，分多层进行爆破施工作业，并采用微差松动控制爆破技术，安全震速为 $2.0 \sim 2.5 \text{ cm/s}$ 。

(5) 基坑开挖前对周边建筑物进行调查，包括主体结构 and 地基基础形式，以及房屋周边散水。

(6) 对周边建筑物进行房屋鉴定，由有资质的房屋鉴定单位对建筑物内部现有裂缝进行拍照、取证、评估。

(7) 基坑施工期间，加强对地铁西湖站和周边建筑物的监测。

2.1.5 基坑周边管线及保护要求

该工程施工场地周边存在一定未明地下管线，施工约束因素较多，较复杂，施工过程中对管线的监测和保护是该工程的一个重点。项目部拟采取以下措施：

(1) 施工前期，需对位于工程施工影响范围内管线的种类、位置、形状和尺寸、材料和管道的试验结果进行详细调查，并将调查结果递交有关部门确认，报监理工程师存档。

(2) 进场后与各个有关管线权属单位建立直接、连续的联络并积极主动地进行在各阶段地协调。

(3) 该工程施工前同有关单位协商确定不同的地下管线及其容许变形量，并报监理工程师备案。施工过程中做好监测和统计分析工作。

(4) 对基坑范围内的管线，配合业主进行迁改。

(5) 对现场未迁改的原状管线、迁改完成新投入使用的管线，作出明显标示，警示所有作业人员施工中做好对管线的保护工作，防止出现因为遗忘、施工误操作等意外情况

发生。

2.1.6 深基坑变形计算

1. 概述

基坑开挖时，桩墙支撑系统是一种柔性结构，因此其本身就会产生较大的变形。地下连续墙刚度较大，属于一种半柔性的结构，在受力同等的条件下比钢板桩支护产生的变形量要小得多。而水泥土墙是一种刚性的基坑围护结构，此种构造的墙体本身几乎不会发生变形。但是受到了土的压力作用之后，墙体会产生一定的倾斜，其中倾斜的方向是朝着基坑内部的。用位移模式法可以计算基坑支护结构中的支撑轴力。其原理为：依据不同类型的支护结构，从已有的实测位移资料中总结出支护结构在基坑开挖完成后侧向位移的规律，从而提出刚性支护结构的位移模式，最后用位移来反计算得出支护结构的支撑轴力^[1]。

2. 位移模式

如图 2-4 所示的支护结构，假设墙体的刚度为无限大，在支护结构墙体后土压力的作用下会产生水平移动及转动，此时的土压力的类型由静止土压力转变为主动土压力。设墙体顶端的水平位移为 b ，基坑底部的水平位移为 a ，则我们可得出墙体的侧向位移方程则为

$$x = \frac{a-b}{h}z + b \quad (2-1)$$

式中 h ——基坑的开挖深度；
 x ——墙体的水平位移；

a 、 b ——依据类比法从类似的工程中实测而得。

当基坑的支护结构为钢板桩或者地连墙时，在支护结构墙体后土压力的作用下会产生水平移动及绕曲，且其变形曲线为抛物线形^[2]，如图 2-5 所示。

其位移曲线方程如下：

$$x = az^2 + bz + c \quad (2-2)$$

设产生最大位移的点坐标为 (z_m, x_m) ，墙的顶端位移为 c ，则可得：

$$a = \frac{c - x_m}{z_m^2} \quad (2-3)$$

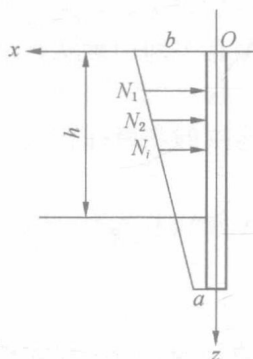


图 2-4 刚性挡土墙位移模式

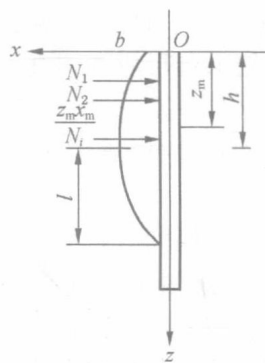


图 2-5 柔性挡土墙位移模式