

复杂环境中深基坑综合支护设计与施工技术

林书成¹, 周振荣¹, 唐咸远²

(1. 广西建工集团第五建筑工程有限责任公司, 广西柳州 545001; 2. 广西科技大学土木建筑学院, 广西柳州 545006)

摘要:以广西柳州一处于复杂环境中的深基坑综合支护为对象,结合工程地质条件及勘察试验,提出了“注浆微型钢管桩+注浆微型树根桩+挂网喷砼+锚杆+预应力锚索”及“钢筋混凝土排桩+旋喷桩+挂网喷砼”2种综合支护方案进行支护,并阐述了方案的设计参数选取和施工工艺要求。实践表明,支护方案具有较好的适用性和安全性,可为类似基坑工程的设计和施工提供参考。

关键词:复杂环境;深基坑;综合支护;微型桩;排桩

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2017)01-0070-05

Design of Comprehensive Supporting for Deep Foundation Pit in Complex Environment and the Construction Technology/LIN Shu-cheng¹, ZHOU Zhen-rong¹, TANG Xian-yuan² (1. Guangxi Construction Engineering Group Fifth Construction Engineering Co., Ltd., Liuzou Guangxi 545001, China; 2. School of Civil Engineering of Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou Guangxi 545006, China)

Abstract: Taking a deep foundation pit supporting engineering in complex environment as an object, combined with engineering geological conditions and exploration test, comprehensive support schemes of “grouting micro steel pipe pile + grouting micro root pile + hanging net shotcrete + anchor bar + pre-stressed anchor cable” and “reinforced concrete row pile + jet grouting pile + hanging net shotcrete” are put forward, and the selection of design parameters and the construction technology are also described. The practice shows that the support scheme has good applicability and safety, which can provide reference for the design and construction of similar foundation pit engineering.

Key words: complex environment; deep foundation pit; comprehensive support; micro pile; row pile

如今城市建设工程施工多处于建筑物密集、场地狭窄、地质条件复杂、地下水丰富的复杂环境中,基坑支护能否顺利完成是关键所在,深基坑支护设计的要求会更高,处理也更加困难^[1]。常规的、单一的处理方式一般难以达到理想的效果,必须采取一些特殊的、复合形式的处理技术^[2-7]。

本文通过周围环境复杂,场地地质条件较差的广西柳州一个深基坑支护工程实例,根据基坑周边的不同场地条件和地质情况,采用组合性支护结构进行支护设计,介绍了设计所选取的技术参数和相应的施工工艺及预警值。工程实践证明综合的支护体系可显著降低工程造价,确保基坑施工安全,对同类工程具有一定借鉴作用。

1 工程概况

1.1 工程基本情况

广西柳州市某在建大厦规划总用地面积为5336.86 m²,主楼(12层)为框架结构,采用筏板基础+柱下独立柱基础。沿在建物周边设2层连通式地下室,基坑顶周长299.2 m,基坑底边周长280.4 m,基坑设计深度为8.5 m及10.0 m,基坑侧壁安全等级为II级,支护结构使用期限为12个月。

本基坑周边场地条件复杂(参见图1)。东面有多栋3层砖混建筑,基础形式为浅置独立基础,埋深约1.5 m,最近处距离建筑红线仅3 m;南面为4栋3层砖混建筑,到红线距离仅4.4 m,基础形式为浅置独立基础,埋深约1.5 m;北面为1栋14层框架建筑,最近处距离建筑红线仅10 m;西面为市政道路;基坑影响范围内场地西面有少量市政管线分布。

1.2 工程及水文地质条件

根据场地地质岩土工程勘察报告,在钻探所达深度范围内,场地内地层主要有杂填土①、可塑—软

收稿日期:2016-07-10;修回日期:2016-11-12

基金项目:柳州市科技开发项目(编号:2014C030403)

作者简介:林书成,男,汉族,1984年生,工程师,从事土木建筑工程施工管理工作,广西柳州市东环路167号。

塑状粘土②、可塑—硬塑状粉质粘土③及下伏基岩。

(1)杂填土①(Q_4^{ml}):杂色,结构松散,主要由碎石、块石、粘性土及建筑垃圾组成,堆填不均匀,回填时间>10年,大部分钻孔有揭露,揭露层厚3.8~9.6m。

(2)粘土②(Q_{21}^{cl}):以棕红、棕黄色为主,为可塑—软塑状红粘土,局部含5%~15%黑褐色铁锰块,干强度中等。本层在场地范围内均有分布,钻孔揭示层厚1.1~7.2m,层面埋深3.8~8.2m,属中等压缩性土。

(3)粉质粘土③(Q_{32}^{pl}):棕红、棕黄、青灰色,多呈硬塑状,部分为可塑状,土质均匀,密实,土体手搓有粉砂感,干强度中等,本层在场地范围内均有分布,钻孔揭示层厚2~11.1m,层面埋深5~17.8m,属中等压缩性土。

(4)下伏白云岩:场区下伏基岩为中石炭统黄龙组(C_2h)灰质白云岩,岩层产状大致水平。灰白色为主,岩心采取率60%~80%,呈碎片状,块径4~10cm。岩体基本质量等级Ⅳ级,层顶面距离地面深度约为20.0m。

场地中杂填土①结构松散,土体孔隙多且大,由于大气降雨、生活废水及附近排水沟水体渗入地下并赋存于该层中,从而形成上层滞水;粘土②和粉质粘土③结构紧密,透水性差;下伏灰质白云岩岩溶裂隙较发育,溶蚀管道较多,地下水赋存岩层的孔隙和裂隙之中,从而形成孔隙—裂隙水。场地周边地表水主要为柳江河水,柳江河距勘察场区约为110m,其蓄水位为75.5m。在正常季节场区孔隙—裂隙水水位略高于柳江河水,并向柳江河排泄,反之,柳江河洪水期间则倒灌补给场区地下水。

2 基坑支护设计

2.1 基坑支护方案的选择

对于本工程场地来说,场地周边环境较复杂,部分建筑离基坑较近;坑壁土质主要由杂填土和软弱土层组成,基坑土质较差,上层杂填土较厚;基坑近柳江,洪水期间基坑可能会受到柳江洪水倒灌影响。

根据基坑地质条件和周边建筑物分布情况,对于杂填土较厚的西面采用“注浆树根桩+注浆微型钢管桩+预应力锚索+锚杆+挂网喷砼”支护,其他断面采用“双排桩+旋喷桩+挂网喷砼”支护,支护面积约2610 m^2 ,基坑顶不得堆载,建筑荷载每层

按15kPa,设计计算考虑的基坑顶均布荷载为10~20kPa,地下水位为-8.0m(相对标高)。基坑平面支护情况详见图1。

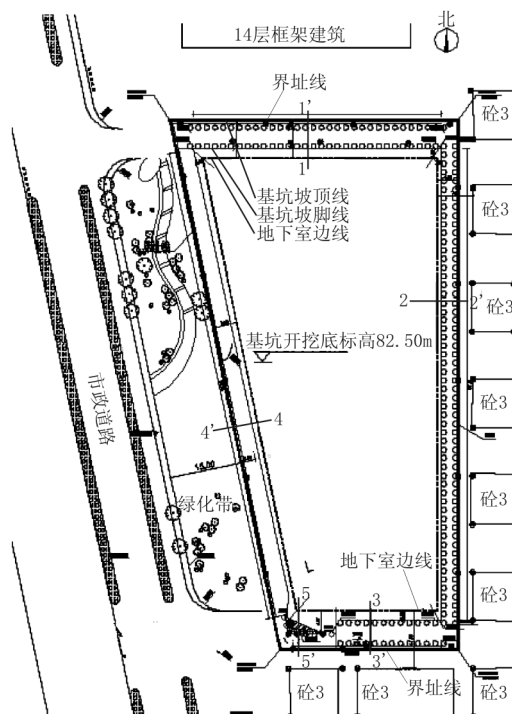


图1 基坑周边环境及支护平面设计图

基坑支护为临时性工程,力争以较小投入满足施工期间要求,故施工期间采用动态管理以减少基坑支护投资。基坑开挖应随时进行地下水位和变形监测,以避免对相邻建筑的影响,确保施工安全^[8]。

2.2 支护结构计算

(1)按土钉墙模式计算,并对平台施工超载进行稳定性验算;(2)土压力采用朗金土压力,进行水土合算;(3)锚杆(索)计算时仅考虑其拉力,忽略其剪力及弯矩,锚杆(索)长度则由满足局部稳定和整体稳定条件共同确定。其中内部稳定验算时采用土压力法,并结合经验修正,进行整体稳定验算时采用圆弧滑动法^[9-10]。

设计计算参数取值根据勘察取土所做土工试验数据,结合当地经验按表1选取,基坑顶计算超载按满布取算。

2.3 典型支护设计介绍

2.3.1 排桩支护

因周边环境较为复杂,为确保周边环境不受破坏及附近建筑的安全,近建筑物的北、南、东3面采用排桩支护,以最大限度地控制变形。典型排桩

表1 计算参数

层号	地层名称	重度 γ / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	粘聚力 c / kPa	内摩擦角 φ / ($^{\circ}$)	土体与 锚索摩 阻力 q_{s1} /kPa	土体与 锚杆摩 阻力 q_{s2} /kPa	渗透系 数 K ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
①	杂填土	19.5	10	10	30	30	$>1.0 \times 10^{-3}$
②	可塑—软塑 状粉质粘土	19.7	12.8	10.4	45	40	1.1×10^{-6}
③	硬塑状粉质 粘土	20.2	40	18	65	60	2.0×10^{-6}

断面设计图如图2所示。设计及施工基本要求如下。

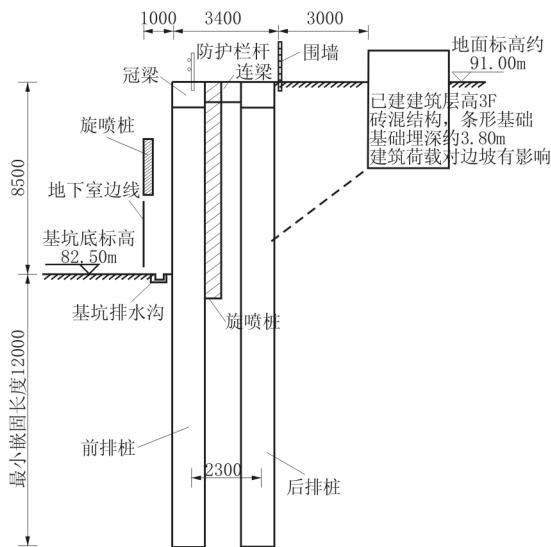


图2 典型排桩断面设计图

(1) 前排桩采用 $\text{Ø}1000@1800$ 长螺旋成孔灌注桩, 最小桩长 20.50 m (含冠梁), 为 C30 水下砼, 主筋 $25\Phi22$ 。后排桩 $\text{Ø}1000@1800$ 长螺旋成孔灌注桩, 最小桩长 20.50 m (含冠梁), C30 水下砼, 主筋 $18\Phi22$ 。桩顶均设钢筋混凝土冠梁

(2) 双排桩间设一排双管旋喷桩进行止水, 平均桩长 9.50 m, 桩长入硬塑粉质粘土层或超过基坑底不小于 0.50 m。桩径 600 mm, 桩间距 300 mm, 浆液喷射压力 25~35 MPa, 浆液流量 70~90 L/min。

(3) 支护桩采用长螺旋钻孔灌注桩, 间隔 1~2 根桩施工。旋喷桩施工应在排桩施工后进行, 其施工作业程序为隔一孔施工, 相邻孔喷射注浆的间隔时间 ≤ 24 h。

(4) 基坑底土层厚度 > 12.00 m, 若基坑底土层厚度介于 10.00~12.00 m, 对桩底进行加固处理。

2.3.2 复合土钉支护

由于基坑边坡存在较厚杂填土, 且周边环境较

为复杂, 为确保周边环境不受破坏, 靠近东堤路侧基坑采用上部放坡卸载 + 注浆树根桩 + 注浆钢管桩 + 锚杆(索) + 喷射钢筋混凝土面板的复合土钉支护方式; 计算开挖深 10.0 m, 一阶坡高 6.0 m, 坡率 1:0.3, 平台宽 1.0 m, 二阶坡高 4.0 m, 坡率 1:0.27。典型断面设计见图 3。

设计基本要求如下。

(1) 注浆树根桩桩长为 12~16 m, 桩间距 1200 mm, 钢筋笼通长 $6\text{Ø}18$, 箍筋 $\text{Ø}8@200$, 箍筋保护层厚度 30 mm。设计树根桩桩径为 250 mm, 采用锚杆钻机成孔, 硬塑状粉质粘土层深度 ≤ 2 m, 且嵌入基坑底的嵌固深度 ≤ 2 m。钻机成孔可采用天然泥浆护壁, 遇粉细砂层易塌孔时应加套管。

(2) 注浆微型钢管桩设计成孔孔径为 150 mm, 桩长度 7~9 m, 桩间距 1200 mm, 内置 $\text{Ø}114 \text{ mm} \times 4.0$ 无缝钢管, 内灌注设计强度为 M20 的水泥浆; 应保证进入硬塑状粉质粘土层深度 ≤ 2 m, 且嵌入基坑底的嵌固深度 ≤ 2 m。

(3) 喷射砼板墙厚为 100 mm, 强度等级为 C20。喷射砼板墙坡面需预留 $\text{Ø}50$ mm 泄水管。间隔距离为 $3000 \text{ mm} \times 3000 \text{ mm}$ 梅花形布置。

(4) 锚杆孔孔径 110 mm, 钻孔倾角 15° ; 锚杆长度 9~15 m, 锚杆钢筋及板墙加强筋采用 HRB400、HRB335 ($\text{Ø}25 \text{ mm}$ 、 $\text{Ø}22 \text{ mm}$ 、 $\text{Ø}14 \text{ mm}$) 钢筋, 板墙网筋采用 HPB300 ($\text{Ø}8 \text{ mm}$) 钢筋。锚杆水泥浆强度等级不低于 M20。

(5) 预应力锚索孔径 150 mm, 钻孔倾角 25° , 锚索外露段长 1500 mm, 长度 22~25 m。锚索腰梁采用 [20B 型槽钢, 腰梁槽面向外, 顶部安放 $250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 钢垫板, 垫板下喷射密实 C20 砼, 锚具及夹片强度须符合规范要求。锚索水泥浆强度等级不低于 M30。

3 基坑支护施工及监测

3.1 施工工艺

3.1.1 排桩基坑支护施工基本流程

准备 \rightarrow 开挖工作面 \rightarrow 前排桩施工 \rightarrow 后排桩施工 \rightarrow 旋喷桩施工 \rightarrow 上层开挖 \rightarrow 修整边坡 \rightarrow 铺设、固定钢筋网 \rightarrow 喷射砼面层并养护 \rightarrow 下层开挖 \rightarrow 重复以上喷射砼面层施工步骤 \rightarrow 设置坡顶、坡面和坡脚的排水系统。

3.1.2 复合土钉墙基坑支护施工基本流程

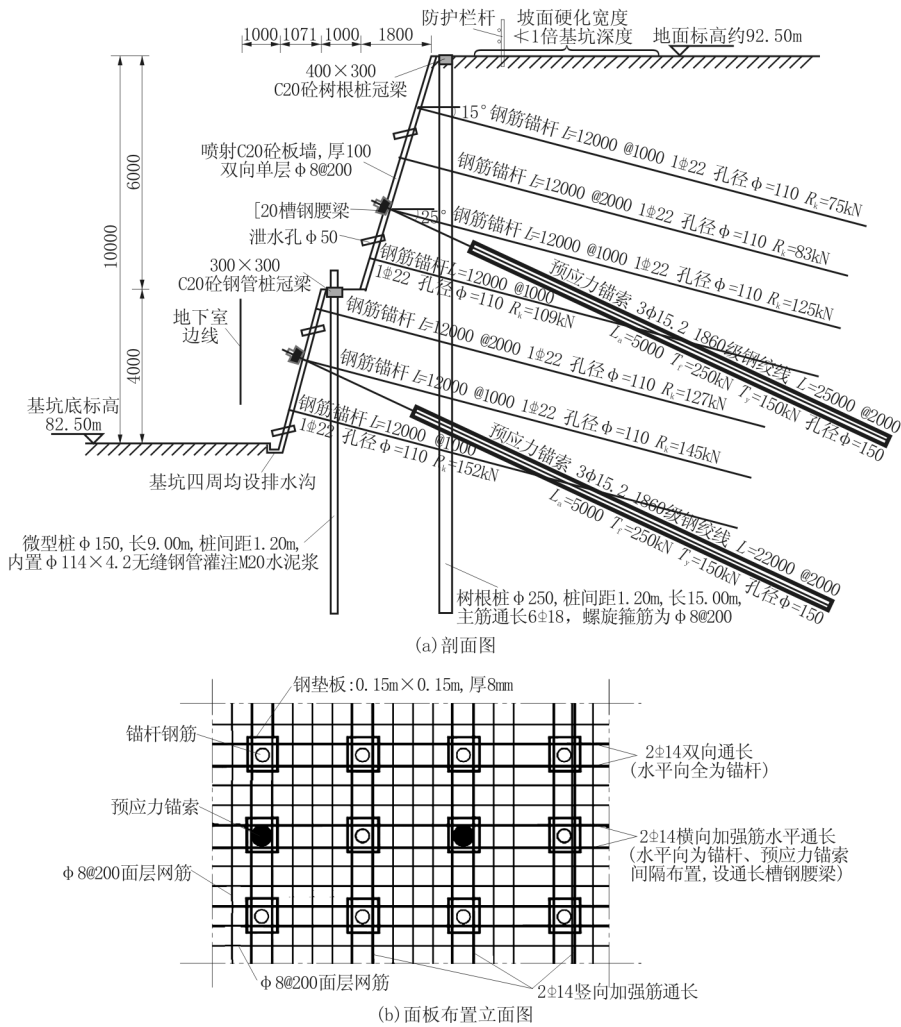


图 3 典型复合土钉断面设计图

准备→开挖工作面→树根桩施工→上层开挖→修整边坡→钻孔清孔→安装锚杆(锚索)→注浆→铺设、固定钢筋网→喷射砼面层并养护→施作围檩→张拉和锁定预应力锚索→钢管桩施工→下层开挖→重复以上锚杆(索)及喷射砼面层施工步骤→设置坡顶、坡面和坡脚的排水系统。

3.1.3 施工技术

(1) 施工前, 施工单位应按照审核通过的基坑工程设计方案, 根据工程地质与水文地质条件、施工工艺、作业条件和基坑周边环境限制条件, 编制专项施工方案。

(2) 基坑支护工程应实施监测。监测单位应编制监测方案, 并依据监测方案实施监测。设计和施工单位应及时掌握监测情况, 并实施动态设计和信息化施工。

(3) 土方开挖应与锚杆、锚索及降水施工密切

结合, 开挖顺序、方法应与设计工况相一致; 施工必须“符合超前支护, 分层分段, 逐层施作, 限时封闭, 严禁超挖”。

(4) 施工过程中, 如发现地质条件、工程条件、场地条件与勘察、设计不符, 周边环境出现异常等情况应及时会同设计单位处理; 出现危险征兆, 应立即启动应急预案。

(5) 根据坡面开挖地下水情况, 泄水管布置作相应调整, 同时坡顶硬化、坡底须做好排水工作。坡底设排水沟、集水坑, 位置按现场施工实际确定, 位置按剖面施工大样图。

(6) 对基坑顶部作反坡硬化处理, 严禁雨水、污水等地表水渗入坡体; 基坑施工时应根据基坑开挖揭露土层情况及时调整各支护剖面起止点。

3.2 监测

实施监测时基坑及支护结构监测报警值见表

2,满足表中条件之一时应报警;周边环境监测报警值见表3,满足表中条件之一也应报警。

表2 基坑及支护结构监测报警值

监测项目	绝对值/ mm		相对基坑深度 h 控制值/%		变化速率/ (mm·d ⁻¹)	
	复合 土钉墙	排桩	复合 土钉墙	排桩	复合 土钉墙	排桩
	边坡顶水平位移	55	30	0.6	0.3	10
边坡顶竖向位移	55	20	0.6	0.3	5	3

表3 周边环境监测报警值

监测对象	累计值		变化速率/ (mm·d ⁻¹)	
	绝对值/ mm	倾斜/ %		
地下水水位变化	1000		500	
管线位移	刚性管道	压力	10	2
		非压力	15	3
	柔性管道	20	4	
邻近建(构)筑物	最大沉降	10	1	
	差异沉降	0.2	0.1H/1000	
裂缝宽度	建筑	1.5	持续发展	
	地表	10	持续发展	

注:H为建(构)筑物承重结构高度。

从表2中可以看出,排桩设计相比于复合土钉墙基坑支护工程的报警值要小,表明其变形量较小,而复合土钉墙则可允许有相对较大的变形量。

4 结语

本文的工程实践中,在周边环境复杂、素填土埋深较厚及红粘土的不良地质部位采用综合基坑支护

技术,取得了良好的效果,目前基坑监测数据表明变形符合预期,实测坡顶水平位移最大为36 mm,竖直沉降最大为32 mm,均在设计预警控制的范围内(均为55 mm),经济及社会效益明显。

注浆微型桩复合基坑支护方式相对于排桩综合支护方式,在经济技术指标方面具有一定优越性,并在保证施工安全性、环境保护和社会效益等方面效果也较好。随着深基坑支护技术设计水平与施工水平的不断提高,该项支护技术具有更大发展空间。

参考文献:

- [1] 刘国彬,王卫东. 基坑工程手册(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [2] 江晓峰. 深基坑微型钢管桩与喷锚网联合支护技术应用研究[J]. 铁道科学与工程学报,2009,6(3):70-75.
- [3] 王自忠,杨世相,等. 复杂条件下某工程基坑支护技术[J]. 施工技术,2013,42(19):37-39.
- [4] 董建忠,黄飞. 复杂环境条件下深基坑支护方案设计研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):34-38.
- [5] 薛丽影,胡立强. 微型钢管桩垂直复合土钉墙在某深基坑工程中的应用[J]. 建筑科学,2011,27(7):99-102.
- [6] 杜魁,余小国,岳丽娜,等. 武汉钰龙金融广场超深基坑工程设计方案选型[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):28-33.
- [7] 黄全海,梁宁. 联合支护技术在深基坑支护中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(7):72-77.
- [8] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [9] GB 50497—2009,建筑基坑工程监测技术规范[S].
- [10] JGJ 94—2008,建筑桩基技术规范[S].