

# 钢管桩在岩溶地层桩基施工中的应用

邓忠, 韦兴标, 欧智声

(广西水文地质工程地质勘察公司, 广西柳州 545006)

**摘要:**柳州市莲花客运站客运大楼桩基工程,在完成42根桩身混凝土浇灌后,尚有13根桩因岩溶发育或存在溶洞及地下水丰富、水量大,人工挖孔无法继续往下施工,改为采用钢管桩穿过溶洞或充填溶洞等复杂地层条件。介绍了钢管桩的施工工艺。

**关键词:**钢管桩;岩溶地层;桩基

**中图分类号:**TU473.1<sup>+</sup>3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)11-0028-04

## 1 工程概况

柳州市交通局投资兴建的柳州市莲花客运站客运大楼,位于柳石路与南环路交汇处的莲花城旁,交通十分便利。该客运大楼长104 m,宽28~78 m,呈梯形,建筑占地面积约5600 m<sup>2</sup>,楼高3层(其中钟楼高30 m),结构为框架结构,采用55根 $\varnothing 1000$  mm人工挖孔灌注桩基础,桩端持力层为微风化白云岩,入岩0.50 m。由广西区交通规划勘察设计研究院设计,广西水文地质工程地质勘察院提供《岩土工程详细勘察报告》,广西建工集团第三建筑工程有限责任公司总承包。在完成42根桩身混凝土浇灌后,尚有13根桩因岩溶发育或存在溶洞及地下水丰富、水量大,人工挖孔无法继续往下施工。为此,建设单位召集施工、监理、勘察、设计单位进行分析研究,会议提出两种施工方案。

方案一:采用钻(冲)孔灌注桩将余下13根桩施工完,桩端持力层和入岩深度保持不变;

方案二:采用钢管桩穿过岩溶发育的溶槽或溶洞,进入微风化白云岩1.0 m,将上部建筑物荷载经钢管桩传递到完整基岩中。

经分析比较,前者工程质量易保证,但施工设备进场困难,工期长,费用高,施工后的泥浆清除困难,且工程量小,桩基施工队一般不愿进场施工;后者施工进度快,工期短,成本低,但设计单位在该地缺乏相应经验。建设单位经综合考虑,决定采用第二种方案,但施工前先进行成桩试验以确定设计参数,由设计单位进行设计变更。

我公司进场施工,共完成钢管桩45根,累计进尺279.66 m,制安 $\varnothing 180$  mm钢管304.13 m,灌注混凝土5.52 m<sup>3</sup>,砂浆10.80 m<sup>3</sup>,超前钻孔进尺48.63 m。经有关检测单位检测,工程质量满足设计要求,同时为建设单位赶回了工期,受到了建设单位的好评。工程竣工投入使用至今约5年,沉降跟踪观测,沉降量小,符合建筑物沉降有关规范要求。

## 2 工程地质特征与水文地质条件

### 2.1 场地内工程地质特征

根据钻探揭露,拟建建筑物场地内岩土层上部为第四系覆盖层和下伏为中石炭统黄龙组白云质灰岩。场地内岩土层自上而下依次分述如下:

#### (1) 素填土(第①层 Q<sup>m</sup>)

主要由灰岩块石、碎石夹杂黄~灰褐色粘性土组成,局部含碎砖和少量杂草,经分层压实,压密性稍好,该层分布于整个场地,层厚0.90~3.70 m。

#### (2) 耕(表)土(第②层 Q<sup>pd</sup>)

褐~灰褐色,含有机质及少量植物根系,针状孔隙发育,土体呈硬塑状,该层除部分勘察孔缺失外,其余各勘察孔均有分布,顶面埋深0.90~3.70 m,层厚0.20~0.80 m,其桩周土极限摩阻力标准值 $q_{sik} = 15$  kPa。

#### (3) 坚硬~硬塑状红粘土(第③层 Q<sup>cl</sup>)

上部为棕黄~棕红色,下部为桔黄色,土体结构致密,土质均匀,局部含少量铁锰结核,上部以坚硬状为主,下部呈硬塑状,自上而下土体状态逐渐变

收稿日期:2006-05-23

**作者简介:**邓忠(1974-),男(瑶族),广西荔浦人,广西水文地质工程地质勘察公司工程师,工程地质专业,从事岩土工程勘察与施工管理工作,广西柳州市东环路12号,13978071010;韦兴标(1967-),男(汉族),广西人,广西水文地质工程地质勘察公司高级工程师,探矿工程专业,从事钻孔灌注桩、软土地基加固和深基坑支护等施工技术与管理工作,13978064110,weixb\_110@163.com;欧智声(1970-),男(瑶族),广西恭城人,广西水文地质工程地质勘察公司工程师,岩土工程专业,从事岩土工程勘察与设计、钻孔灌注桩、软土加固处理等工程施工技术与管理工作。

软,该层分布于整个场地,顶面埋深 1.20~4.40 m,层厚 5.40~10.50 m,该土层压缩系数  $a_{1-2} = 0.10 \sim 0.42 \text{ MPa}^{-1}$ ,平均值为  $0.20 \text{ MPa}^{-1}$ ,属中压缩性土,其承载力标准值  $f_k = 220 \text{ kPa}$ ,桩周土极限摩阻力标准值  $q_{sik} = 45 \text{ kPa}$ 。

#### (4) 可塑状红粘土(第⑤层 $Q^{el}$ )

桔黄、黄、暗黄等色,土质均匀、细腻,粘性强,自上而下土体状态逐渐变软,该层除部分勘察孔缺失外,其余各勘察孔均有分布,顶面埋深 7.70~12.80 m,层厚 0.90~4.90 m,该土层压缩系数  $a_{1-2} = 0.27 \sim 0.46 \text{ MPa}^{-1}$ ,平均值为  $0.37 \text{ MPa}^{-1}$ ,属中等偏高压缩性土,其承载力标准值  $f_k = 150 \text{ kPa}$ ,桩周土极限摩阻力标准值  $q_{sik} = 28 \text{ kPa}$ 。

#### (5) 软塑状红粘土(第⑤层 $Q^{el}$ )

黄~暗黄色,含水量高,湿软,土质均匀,粘性强,取上岩心容易变形,该层分布于大半场地,顶面埋深 10.20~14.80 m,层厚 0.70~3.32 m,该土层压缩系数  $a_{1-2} = 0.72 \sim 1.33 \text{ MPa}^{-1}$ ,平均值为  $0.95 \text{ MPa}^{-1}$ ,属高压压缩性土,其承载力标准值  $f_k = 90 \text{ kPa}$ ,桩周土极限摩阻力标准值  $q_{sik} = 15 \text{ kPa}$ 。

#### (6) 中石炭统黄龙组微风化白云质灰岩(第⑥

层  $C_2h$ )

浅灰~灰白色,细晶~隐晶质结构,中厚层状构造,岩石质地坚硬、性脆,除局部闭合裂隙发育外,其余岩石整体完整,岩心多呈长柱状,该层分布于整个场地,顶面埋深 8.60~16.20 m,揭露厚度 5.10~14.00 m,未钻穿。该层岩石饱和单轴极限抗压强度 19~102 MPa,平均值为 54.50 MPa,属硬质岩石,其承载力标准值  $f_k = 4000 \text{ kPa}$ 。

### 2.2 场地内水文地质条件

拟建建筑物场地内地下水分为上层滞水和岩溶裂隙水两种:上层滞水补给来源主要为大气降雨渗透补给,水量小;岩溶裂隙水与柳江河存在水力联系,水量大,具潜压性。

### 2.3 岩溶特征

钻探揭露显示,场地内基岩面起伏大,基岩面埋深 8.60~16.20 m,相对高差 7.60 m。在 27 个勘察孔中,有 11 个孔遇溶洞或溶槽,钻孔遇溶洞(槽)率达 41%,溶洞或溶槽内多为软塑状粘土所充填,其次为少量硬~可塑状粘土充填;溶洞高 1.20~3.70 m,稳定性差。各溶洞(槽)特征详见表 1。

表 1 各孔溶洞(槽)特征

钻孔编号	岩溶发育段/m			岩溶特征简述	稳定性评价
	顶板	底板	洞高		
ZK1	10.00	10.80	0.80	溶槽:槽壁为微风化白云质灰岩,裂隙发育,槽内由硬塑状粘土充填	较差
	13.70	15.60	1.90	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 3.10 m,微风化白云质灰岩	
ZK3	18.80	19.00	0.20	溶洞:由黄色硬~可塑状粘土充填;顶板:厚 5.50 m,微风化白云质灰岩	较好
ZK5	12.20	15.20	3.00	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 1.40 m,微风化白云质灰岩	较差
ZK7	13.20	14.20	1.00	溶洞:由黄色可塑状粘土充填;顶板:厚 0.80 m,微风化白云质灰岩	较差
ZK8	15.00	18.70	3.70	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 0.80 m,微风化白云质灰岩	较差
	16.20	17.60	1.40	溶槽:槽壁为微风化白云质灰岩,裂隙发育,槽内由硬塑状粘土充填	
ZK11	20.60	23.80	3.20	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 3.00 m,微风化白云质灰岩	较差
	12.60	14.40	1.80	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 0.50 m,微风化白云质灰岩	
ZK12	12.60	14.40	1.80	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 0.50 m,微风化白云质灰岩	较差
ZK14	11.60	12.80	1.20	溶洞:由黄色可塑状粘土充填;顶板:厚 0.50 m,微风化白云质灰岩	较差
ZK22	14.00	14.40	0.40	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 0.48 m,微风化白云质灰岩	较差
	15.40	16.60	1.20	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 1.00 m,微风化白云质灰岩	
ZK25	14.10	17.30	3.20	溶槽:槽壁为微风化白云质灰岩,裂隙发育,槽内由硬塑状粘土充填	较差
	17.80	18.50	0.70	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 0.50 m,微风化白云质灰岩	
	22.50	22.70	0.20	溶洞:由黄色软塑状粘土充填;顶板:厚 4.00 m,微风化白云质灰岩	

### 2.4 施工现场环境条件

该工程采用 55 根  $\text{Ø}1000$ 、 $1200 \text{ mm}$  人工挖孔灌注桩基础,其中完成 42 根桩身混凝土浇灌,尚余 13 根桩因持力层埋深大,溶洞或溶槽多,地下水丰富,无法继续往下施工,但已开挖至基岩面,部分桩孔已挖至基岩 0.5~1.5 m;桩孔四周堆放弃土,施工设备进场困难。进场施工前,建设单位应负责“三通一平”工作。

### 3 钢管桩设计

#### 3.1 技术参数

各钢管桩设计技术参数详见表 2。

#### 3.2 技术要求

(1) 将各桩桩底清理后,用 C20 混凝土封底,混凝土厚度  $\geq 1.00 \text{ m}$ ;同时将  $\text{Ø}220 \text{ mm}$  导向钢管按设计钢管桩位置预埋定位。定位允许偏差控制在 2 cm 以内,定位管长 500 mm,埋入混凝土 400 mm。

表2 各钢管桩设计技术参数

人工挖孔桩编号	人工挖孔桩深度/m	人工挖孔桩直径/mm	钢管桩直径/mm	钢管桩数量/根	单根钢管桩长度/m	钢管桩在各位置的长度/m			钢管直径/mm	钢管长度/m
						封底混凝土	溶洞或溶槽	微风化白云质灰岩		
11	17.00	1200	194	4	8.80	1.00	6.80	1.00	180	9.30
25	19.50	1200	194	4	5.50	1.00	3.50	1.00	180	6.00
32	17.50	1200	194	4	4.80	1.00	2.80	1.00	180	5.30
55	21.50	1000	194	3	5.00	1.20	2.80	1.00	180	5.50
57	17.60	1000	194	3	5.00	2.60	1.40	1.00	180	5.50
64	18.90	1200	194	4	5.10	1.00	3.10	1.00	180	5.60
70	18.90	1200	194	4	6.50	1.00	4.50	1.00	180	7.00
103	20.00	1000	194	3	7.60	1.00	5.60	1.00	180	8.10
29	19.00	1200	194	4	4.40	1.00	2.40	1.00	180	4.90
3	18.50	1000	194	3	5.00	3.40	0.60	1.00	180	5.50
8	18.90	1000	194	3	5.00	3.70	0.30	1.00	180	5.50
40	13.80	1000	194	3	11.20	1.00	9.20	1.00	180	11.00
65	17.10	1000	194	3	6.00	1.00	4.00	1.00	180	1.00

(2) 钢管桩钻孔要求: 直径 194 mm, 穿进溶洞或溶槽, 进入完整基岩 1.00 m 以上。

(3) 钢管采用 20 号  $\text{Ø}180$  mm 无缝钢管, 壁厚 14 mm, 管内填充 C30 细石混凝土。钢管应高出封底混凝土 500 mm; 同时在封底混凝土面加设一层双向  $\text{Ø}16@200$  焊接钢筋网, 原人工挖孔桩钢筋笼纵筋伸至封底混凝土面, 从封底混凝土面往上 1000 mm 将箍筋加密 1 倍。

(4) 安放入孔的钢管通常情况下采用一根通长钢管; 在不得已的情况下, 钢管接长设计采用焊接, 但每根钢管焊接接头不得超过 1 个。

(5) 施工时应在钢管桩内预埋注浆管, 待填充混凝土初凝后向桩底灌注纯水泥浆, 直到水泥浆从导向管溢出为止。

(6) 施工过程必须按规范要求进行检查验收, 确保工程施工质量。

## 4 钢管桩施工技术

### 4.1 主要设备

根据工程实际情况, 结合本公司现有技术装备, 本工程采用的主要机械设备: GY-100 型工程钻机 3 台; 英格索兰 VHP750 型空压机 1 台; 350L 搅拌机 1 台; BW50/150 型注浆泵 1 台; 自制水泥浆搅拌机 1 台。

### 4.2 钢管桩成孔技术

采用潜孔锤冲击回转、空气正循环钻进方法成孔。每回次进尺钻完后, 应及时清除孔内岩屑或钻渣。当钻孔钻进到预计孔深后, 应及时捞取岩屑, 同时通知监理单位, 由其通知勘察单位对孔底岩性进行鉴别确认; 当钻孔深度满足设计要求、通过验收后终孔。之后应将钻具提高孔底 30~50 cm 及时清除

孔底钻屑或沉渣后方可起钻。

## 4.3 成桩技术

### 4.3.1 钢管的安放

钢管安放前应对其规格及型号、壁厚、长度、焊接等质量进行检查验收; 钢管安放应到位, 并应及时固定好。

### 4.3.2 灌注混凝土成桩

钢管安放好后, 应及时安放水下混凝土灌注导管 ( $\text{Ø}91$  mm)、漏斗及 6' 铁质水管 (预埋管), 灌注 C30 细石混凝土; 桩身混凝土自下而上自致密实成桩。现场混凝土搅拌要求均匀, 和易性好。桩身混凝土灌注过程应保持连续性, 避免因灌浆间断, 造成桩身混凝土断桩或密实性差。

## 4.4 纯水泥浆注浆

当灌入钢管桩内的混凝土初凝后, 应及时将预先搅拌好的水灰比为 0.40 (M30) 的纯水泥浆通过注浆泵经预埋管压入桩孔内, 直到纯水泥浆从导向管溢出为止。当导向管内浆液下降时, 应及时补浆; 必要时通过二次注浆管进行二次灌浆给予补充与加固。

## 5 钢管桩施工注意事项

(1) 预埋管的位置必须准确, 埋设时钢管必须垂直, 以免影响钻孔施工质量。

(2) 钻机安装时必须保证水平、周正、稳固, 并确保冲击回转钻进成孔过程中不发生移位或倾斜。

(3) 钻进过程中应及时清除孔内岩屑, 保持孔内清洁干净, 避免岩屑的重复破碎, 提高钻进效率。

(4) 钻孔钻到预计孔深后, 应及时捞取岩样, 以供勘察单位对其进行岩性鉴别确认, 确保桩端进入微风化基岩的深度。

(5) 钻孔终孔后,应及时清除孔底沉渣、安放钢管和灌浆导管及预埋管,灌注桩身混凝土。

(6) 在灌注水下混凝土过程中,应保持灌注的连续性,避免因灌注不连续造成桩身混凝土断桩等质量事故。

(7) 预埋管必须密封完好,否则无法完成注浆和二次注浆。

(8) 灌注纯水泥浆应掌握桩身混凝土的初凝、终凝时间,灌注纯水泥浆的最好时机应在混凝土初凝之后、终凝前进行;二次注浆应在桩身混凝土终凝后进行。终灌标准:灌浆压力 $\geq 5.0$  MPa 或浆量控制以地层吸浆量 $\leq 1$  L/min,并保持 10 min,达到以上条件之一者终灌。

(9) 在进行下一道工序施工前,应将封底混凝土面上的钻屑或废水泥清除干净。

## 6 工程质量检测

工程施工完工后,由建设单位委托第三方采用钻心法对桩身混凝土完整性进行检测。检测结果表

(上接第 22 页)

## 4 结语

深层水泥搅拌桩是软基处理中采用较多的一种方法,与桩基础等方法相比具有造价低、施工方便等优点,但在进行设计和施工时必须充分了解工程地质条件,以保证达到可靠的加固效果。

本工程场地属于岩溶地区,通过对场地内的土(溶)洞的详细勘探,确定了土(溶)洞的位置及发育状况,并对土(溶)洞进行了处理后解决了地基承载力不足的问题,使复合地基承载力能够达到设计要求,满足工程需要。溶洞内往往有地下水流动,或有

(上接第 27 页)

## 8 结语

(1) 基桩经过压浆补强处理,单桩承载力有了明显提高,补强后的静压测试结果表明,单桩承载力由原来的 3000 kN 左右提高到 3500~3800 kN,提高了 16%~27%。同时也增强了桩基的嵌固力,连同基坑底板承台间下翻地梁,提高了工程整体结构的刚性和稳定性,消除了地下室抗浮不足的隐忧。补强后经水泥浆液渗透胶结的桩端圆砾持力层又在一定程度上隔离了地下承压含水层,成为地下室

明;桩身混凝土完整,无蜂窝、离析现象,施工质量满足设计及有关规范要求。检测完后,由检测单位采用同一强度等级的细石混凝土回灌。

## 7 施工体会

(1) 钢管桩施工设备简单,操作方便,施工工期短,工程造价低,与钻(冲)孔灌注桩相比,工程成本节约 1/3 左右;

(2) 采用钢管桩施工穿过溶洞或溶槽等复杂地层,可以把建筑物上部荷载传递到承载力高、完整性好的基岩上,可缩短人工挖孔桩的桩长;

(3) 采用纯水泥浆对钢管桩外环状间隙进行填充和二次注浆,有利于提高钢管桩整体性和桩周极限侧阻力,从而提高钢管桩的承载力;

(4) 采用钢管桩穿过溶洞或溶槽等不良地质条件的地层,对软弱地基进行处理,给类似工程提供了新的思路;

(5) 本工程采用敞口式钢管桩,承载力稍低,若采用闭口式钢管桩,其承载力会得到提高。

黄褐色流动性粘土,可将水泥浆带走或被稀释,故在地基处理方案和现场施工中应特别注意。本工程通过对溶岩地区的局部土(溶)洞处理,给类似地质条件地区的地基处理方案起借鉴作用。

## 参考文献:

- [1] 叶书麟. 地基处理与托换技术(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [2] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [3] 顾晓鲁. 地基与基础(第三版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [4] 李慧莹. 土(溶)洞地区施工地基处理[J]. 建筑技术开发, 2002, (8).

工程坑底的一道止水帷幕,为地下室工程的施工创造了较为有利的水文地质施工环境,在整个地下室施工过程中,基坑坑底疏干排水顺畅,坑内渗水较少。

(2) 岩土勘察工作对于工程建设的投资、质量、进度、安全至关重要。要提高取样分析的准确性,更要重视综合分析、综合研究的能力。在对某一工程进行勘察时,还要观察与调研周边的地貌、地层、构造、岩相古地理等相关信息,进行认真分析与论证,才能为设计部门提供有价值的依据。