

# 锤击沉管灌注桩施工及常见缺陷的处理

韦兴标<sup>1</sup>, 罗 勇<sup>2</sup>, 潘圣香<sup>3</sup>, 欧智声<sup>1</sup>

(1. 广西水文地质工程地质勘察公司, 广西 柳州 545006; 2. 广西钢铁设计院, 广西 柳州 545002; 3. 广西壮族自治区地质环境监测总站, 广西 桂林 541004)

**摘要:**介绍了柳州市某职工住宅楼锤击灌注桩施工技术和施工过程中常见的桩身缩颈、夹泥砂、蜂窝和形成吊脚桩、单桩承载力不足等事故的处理方法。

**关键词:**锤击沉管灌注桩; 桩身缩颈; 夹泥砂; 吊脚桩; 单桩承载力

**中图分类号:** TU473.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)08-0051-04

## 1 概述

柳州市某服务公司在校内投资兴建的 1、2 号职工住宅楼分别由 A、B 和 C、D 栋组成, 建筑占地面积约 1000 m<sup>2</sup>, 结构为砖混结构, 设计楼高 8 层, 基础采用沉管灌注桩, 桩端持力层为第⑥层微风化白云岩, 由广西机械工业设计院设计, 柳州市祥风工程建设监理公司监理, 广西建工集团第三建筑工程有限责任公司总承包, 其中 1、2 号职工住宅楼沉管灌注桩基础分别由广西水文地质工程地质勘察公司和桂林某基础公司分包。

广西水文地质工程地质勘察公司承担的 1 号楼 A、B 两栋施工, 共完成 226 根(设计 204 根和补桩 22 根)沉管灌注桩施工, 累计桩长约 5000 m, 混凝土灌注约 750 m<sup>3</sup>。由于施工场地内地质条件复杂和工期紧而未进行试桩, 经桩身低应变无损检测和单桩静载试验, 发现部分桩桩身缩颈、夹泥砂和形成吊脚桩、单桩承载力不足等质量缺陷或事故。经与建设、勘察、设计、监理等单位共同研究决定, 采用补桩或桩身混凝土补强等措施进行补救。补桩或桩身混凝土补强后, 经设计单位的沉降验算, 沉管灌注桩工程质量能满足设计和规范要求。建成投入使用后, 未发现建筑物异常情况, 如地基基础下沉等现象。

## 2 场地工程地质特征和水文地质条件

### 2.1 工程地质特征

根据甲方提供的工程地质勘察资料, 施工场地内岩(土)层自上而下分述如下:

①杂填土, 灰~灰黑色, 主要由粘土、煤渣、片石、砖块等建筑垃圾组成, 结构松散, 各孔均有分布, 层厚 1.80~4.60 m, 该层土底部含软塑状有机质土, 具腥臭味;

②软塑状淤泥质粘土, 灰黄、灰绿色, 土质均匀, 土体饱水, 呈软塑状, 岩心变形, 无摇振反应, 干强度及韧性低, 层厚 0.2~4.20 m, 标准贯入试验实测锤击数为 3 击, 其承载力特征值  $f_{ak} = 100$  kPa;

③可塑状红粘土, 棕红、红色, 呈可塑状, 局部呈硬塑状, 土体结构较致密, 土质均匀, 切口粗糙, 手搓具轻微砂感, 粉粒含量自上而下渐高, 韧性及干强度中等, 无摇振反应, 属中压缩性土, 层顶面埋深 2.70~6.00 m, 层厚 0.40~2.00 m, 标准贯入试验实测锤击数为 5~7 击, 其承载力特征值  $f_{ak} = 150$  kPa;

④坚硬~硬塑状红粘土, 棕黄色~红色, 呈硬塑状, 局部呈坚硬状, 土体结构致密, 土质均匀, 岩心受压变形小, 具低压缩性, 层顶面埋深 4.20~7.50 m, 层厚 3.10~12.40 m, 标准贯入试验实测锤击数为 8~15 击, 其承载力特征值  $f_{ak} = 190$  kPa;

④<sub>1</sub>可塑~软塑状红粘土, 棕红、红色, 呈可塑状, 局部呈软塑状, 土体结构较松软, 土质均匀, 具高压缩性, 主要分布在 A 栋②轴以东、B 栋①×(A)、⑨×(E)轴以西的第④层坚硬~硬塑状红

收稿日期: 2007-02-01

**作者简介:** 韦兴标(1967-), 男(汉族), 广西荔浦人, 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、软土加固处理、深基坑支护、地质滑坡治理等施工与技术管理工作, 广西柳州市东环路 12 号, (0772)2618507、13978064110, weixb\_110@163.com; 罗勇(1968-), 男(汉族), 湖南衡山人, 广西钢铁设计院工程师, 工业与民用建筑专业, 从事工业与民用建筑土建等设计工作, 广西柳州市北雀路, 13877255577; 潘圣香(1968-), 女(汉族), 广西荔浦人, 广西壮族自治区地质环境监测总站工程师, 工业分析专业, 从事地质环境监测等工作, 广西桂林市城南一路, (0773)2901152; 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, 工程管理专业, 从事岩土工程勘察、地基处理、基础施工等施工技术与管理工作, 13737239656。

粘土中,层顶面埋深 8.50 ~ 11.50 m,层厚 0.80 ~ 4.00 m;

⑤可塑~软塑状红粘土,接近基岩面较软,局部呈软塑~流塑状,层顶面埋深 9.50 ~ 12.50 m,层厚 0.80 ~ 4.50 m, A 栋西北角分布较薄;

⑥微风化白云岩,灰色、灰白色,质地坚硬、性脆、易碎,断口新鲜,机械破碎多呈短柱状,顶面埋深 18.30 ~ 21.30 m,未钻穿,场地内基岩面起伏高差 0.55 ~ 2.90 m,桩端极限端阻力为 4000 kPa,桩端主要置于该岩面上。

## 2.2 水文地质条件

该场地原系常年积水洼地,土层中含上层滞水,水位埋深 1 m 左右,主要接受附近生活用水及生产废水渗透补给,其水量较大。根据水样分析结果,该水对混凝土及钢筋混凝土结构具有中等腐蚀作用。

## 3 沉管灌注桩设计技术要求

(1)沉管灌注桩设计直径为 400 mm,桩端主要置于第⑥层微风化白云岩岩面上。

(2)桩位允许偏差应控制在 20 mm 以内,桩孔垂直度允许偏差应控制在 1% 以内。

(3)打桩顺序:对于桩中心距小于 3 倍桩径的桩孔,应采用间隔施工。

(4)沉管全过程应设专人监测桩尖下沉情况,并做好施工现场记录,以便掌握地质情况。

(5)桩身混凝土设计强度等级为 C25,桩身混凝土浇灌过程应尽量保持连续,尽量减少灌注时间间隔。

(6)单桩竖向极限承载力设计值为 860 kN。

## 4 锤击沉管灌注桩施工简述

### 4.1 主要施工设备

CST-24 型走管式锤击沉管灌注桩机(改装)1 台,350L 型混凝土搅拌机 1 台。

### 4.2 施工工艺流程

锤击沉管灌注桩施工工艺流程:测量放线,确定桩位→沉管成孔,同时加工制作钢筋笼→终孔验收→安放钢筋笼并固定→灌注混凝土成桩→倒打拔管。终孔后如发现桩管内进水、进泥,应及时采取必要措施进行处理后方能灌注桩身混凝土,确保桩身混凝土质量。

### 4.3 成孔技术

采用经纬仪和钢卷尺进行测量放线,确定桩位,桩尖埋设好后经监理单位复核合格后方能进行成孔

施工。

桩机就位安装时,桩管底部必须套平桩尖,使桩锤、桩管及桩尖保持在同一直线上,设备安装必须水平、周正、稳固,并确保施工中不发生移位。

沉管开始时应低锤轻打,对于场地内地下水埋藏浅、渗水量较大的地段,应先在桩管内预灌 1.50 ~ 2.50 m 的混凝土封底,预防地下水进入桩管内;对于第③、④层可塑~坚硬状粘土,可采用正常高落距锤击,确保桩孔成孔效率。

沉管全过程应设专人用测锤实施监测桩尖下沉情况,并做好施工现场记录,应详细记录每根桩每米贯入锤击数和最后三阵,每阵十锤贯入度及落锤高度。以便结合工程地质资料,合理判断桩端持力层的情况,桩端是否置入基岩面上。

成孔深度满足设计要求后,经监理工程师验收合格后,应安放钢筋笼并固定好,及时灌注桩身混凝土。

### 4.4 成桩技术

(1)灌注桩身混凝土前,必须检查桩管内有无吞桩头或者进水进泥现象,如有,必须对其采取有效措施处理,如发现吞桩头时,可采用桩管稍提离孔底轻锤轻打使桩头松动或拔出桩管更换桩头重新沉管。

(2)钢筋笼安放与固定,可采取先安放钢筋笼后灌注,也可采取先灌注混凝土到设计笼底标高才安放钢筋笼,再灌注混凝土至设计桩顶标高。通常情况下,采用后者进行施工较方便。为确保钢筋笼的垂直和预防下窜,在钢筋笼加工制作时加焊扶正杆并在安放好后用钢丝绳固定在设计位置上。

(3)混凝土搅拌要严格按试验室提供的配合比过磅投料,要求搅拌均匀,和易性好。

(4)混凝土灌注可采用一次灌注成桩,也可采用边灌边拔进行,采用后者时必须保持桩管内混凝土高度  $\leq 2$  m,以防止桩身混凝土离析或缩颈。

(5)为确保桩头质量,应超灌 0.30 ~ 0.50 m 混凝土。

## 5 工程质量检测

### 5.1 桩身混凝土质量检测

由建设单位委托有相应检测资质的第三方采用低应变无损检测法对所有桩进行检测。

检测结果:完整桩(I类桩)83根,占总数的 40.7%;II类桩 68 根,占总数的 33.3%;III类桩(缺陷桩)53 根,占总数的 25.98%。

桩身混凝土质量缺陷:桩身缩颈或混凝土离析。后经开挖验证:相当部分的缺陷桩在桩顶以下1.90~5.60 m桩身缩颈,甚至为吊脚桩,局部桩身混凝土离析、夹泥砂等现象。

## 5.2 单桩竖向极限承载力检测

由建设单位委托广西水电科学研究院采取静载试验法分别在A栋和B栋选取6根、3根桩进行。试验结果:A栋12号桩(复打)极限承载力 $\geq 860$  kN,满足设计要求,20号桩(单打)极限承载力实测值602 kN,37号桩(单打)极限承载力实测值258 kN,17号桩(单打)极限承载力实测值774 kN,33、34号桩(单打)极限承载力实测值516 kN,均未能满足设计要求;B栋126号桩(I类桩)、10号桩(II类桩)、93号桩(III类桩经补强处理)极限承载力 $\geq 860$  kN,满足设计要求。

## 6 常见的质量缺陷原因分析及处理

### 6.1 桩身缩颈、夹泥砂、蜂窝和吊脚桩

#### 6.1.1 原因分析

(1)混凝土不良,和易性差,流动性不好,粗骨料粒径过大和提管速度过快。桩体周围的泥土,尤其是在饱和、高压缩性的软塑~流塑状土中,因受沉管挤压而蓄积的能量和增加的超孔隙水的压力,会压缩塑性状态的桩身混凝土,产生缩颈。

(2)混凝土灌注速度过快,管内混凝土部分与桩管壁粘结,拔管后混凝土桩身变细,容易出现桩身缩颈或夹泥,严重时甚至形成吊脚桩。

(3)地质条件复杂,在软硬互层的孔段,拔管速度过快。

(4)桩尖不密实,造成桩底部分夹泥。

(5)为节约成本,在灌注接近桩顶时严格控制混凝土的超灌量,在管内混凝土柱不足的情况下拔管,形成缩颈,严重时甚至形成吊脚桩,如其他施工单位在本工程施工中的部分缺陷桩。

#### 6.1.2 处理措施

(1)严格控制粗骨料最大粒径,一般情况下,应选择最大粒径在30 mm的碎石,要求骨料级配合理。

(2)严格按混凝土配合比过磅投料,搅拌充分、均匀,保证混凝土和易性和流动性良好。

(3)严格控制拔管速度,在第②、④<sub>1</sub>、⑤软塑~流塑状土层中拔管速度控制在0.30~0.50 m/min;在软硬互层交界处,拔管速度应适当放慢。如遇流塑状土层严禁采用反插法,避免因反插造成桩身混

凝土夹泥,可采取每拔1.0 m停15~30 s等措施。

(4)在第②、④<sub>1</sub>、⑤软塑~流塑状土层中不得进行复打,以防桩身混凝土夹泥。

(5)当沉管深度满足设计要求时,应尽快灌注桩身混凝土,预防因停滞时间过长,造成桩管内进水、进泥。

(6)当发现桩管内进水、进泥时,应采取必要措施进行处理。

(7)桩身缩颈部位较浅时,通常在6.00 m以内,采取开挖清除桩周的泥土和蜂窝、空洞的混凝土后,用比混凝土设计等级高C30混凝土与桩身浇筑在一起,形成扩大的竹节式桩。

(8)桩身缩颈部位较深时,超过8.0 m时,常采取在适当位置补桩的方法进行处理。

(9)对于易产生桩身混凝土缩颈的孔段,除控制拔管速度外,还可采取保持管内混凝土高出管外易缩颈土层顶面4.00~6.00 m,确保管内混凝土柱的压力高于管外软土侧压力,预防桩身混凝土缩颈。

### 6.2 单桩竖向承载力不足

#### 6.2.1 原因分析

(1)施工场地内地质条件复杂,软硬互层,桩身缩颈、夹泥、蜂窝甚至形成吊脚桩,严重影响桩的承载力。

(2)施工前未能按建筑桩基施工规范要求进行试桩,确定合理的技术参数,施工中缺乏相应的施工经验。

(3)单桩承载力设计值可能取得过高。

#### 6.2.2 处理措施

设计单位经对建筑物沉降量和变形量验算后,采取补桩或加大建筑物基础等措施进行补救,其补桩按如下原则进行:

(1)采取外围补桩,增强建筑物周边的嵌固,防止桩承载后发生侧移。

(2)在沉降量大的部位适当增加同规格的桩的数量,以沉管灌注桩形成的复合地基共同承担上部建筑物及地基载荷。

此外,桩端主要置于第⑥层微风化白云岩面上,且接近基岩土层稍软,含水量较大,易产生严重缩颈现象。因此在桩底2 m范围内应做2~3次反插:第一次拔管1 m,反插到底;第二次拔管1 m,反插0.50 m;第三次拔管2 m,反插1.00 m。使桩底部分扩大,呈葫芦状,以提高桩的承载力。

### 6.3 断桩

#### 6.3.1 原因分析

(1) 由于沉管灌注桩为挤土桩,沉管过程中会引起土体的纵向和横向挤压,使新施工的桩体产生向上的拉应力;当拉应力大于桩身混凝土的抗拉极限时,桩体可能产生断裂。

(2) 桩管内混凝土量不足时,自重压力低,而拔管速度过快,会造成断桩。

(3) 施工顺序错误,当桩间距  $< 2.00$  m 时,没有采取间隔跳打,后打的桩对刚灌完混凝土而未结硬的桩产生横向挤压作用,将其剪断。

(4) 在软塑 ~ 流塑状粘土中桩孔过于密集,沉管过程中,土体产生孔隙水压力;拔管后,具有压力的孔隙水可能会切断桩。

### 6.3.2 处理措施

根据断桩部位的不同,采取不同的措施进行处理:

(1) 对于断桩部位在  $4.00$  m 以浅的断桩,可采用开挖回灌高强度混凝土法进行,即开挖至断桩部位以下  $0.50$  m 后,清除断桩部位杂物并将桩身混凝土

土打毛、湿润,用比设计强度高一级的混凝土浇筑。

(2) 对于断桩部位在  $4.00$  m 以深的断桩,按设计单位提出的补桩方案进行补桩。

## 7 结语

(1) 在缺乏施工经验的地区进行锤击沉管灌注桩的施工或设计,应先进行试桩试验,通过试桩试验取得相应施工技术参数或设计数值,以便指导后续施工或修改设计参数。

(2) 锤击沉管灌注桩具有适用范围广,适应性强,施工时调整桩长方便,施工设备简单,相对钻孔灌注桩而言,具有工期短,成本低等优点,同时也应该注意到它在复杂地质条件下的缺点,如会地面隆起,易断桩等。

(3) 通过本工程施工,基本掌握了在这类复杂地质条件下锤击沉管灌注桩的施工技术,为今后类似施工积累了经验。

### (上接第 50 页)

(1) 鉴于开关室电器设备较多、整体荷载较大,为进一步考察此次变形加固处理的效果,有必要对开关室进行沉降观测。对此,测量技术人员分别在 1-21、20-21、10-22、11-22、5-16 号工字钢托梁上安置了 5 个沉降观测点,并按照沉降观测规范分 5 次进行了百日沉降观测。

(2) 工字钢托梁沉降观测结论:截至百日沉降观测结束为止,工字钢托梁沉降量很小,最大沉降值为  $0.8$  mm。从整个监测成果看,沉降值比较均匀。各点沉降速率在  $0.002 \sim 0.006$  mm/天之间,日平均沉降量  $0.004$  mm,沉降情况已经稳定。沉降观测结果显示地基稳定,纠偏技术效果可靠。沉降观测结果见表 5。

## 8 结语

(1) 开关室地基地下电器设备倾斜,经采用静压桩托换地基加固补强,控制地基稳定后再进行顶

表 5 各沉降观测点沉降观测结果

观测点名称	累计沉降值	沉降速率
	/mm	/ $(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1})$
1-21 号托梁上观测点	0.5	0.005
20-21 号托梁上观测点	0.3	0.003
10-22 号托梁上观测点	0.4	0.004
11-22 号托梁上观测点	0.2	0.002
5-16 号托梁上观测点	0.6	0.006

升纠偏是成功的。

(2) 开关室的变形处理达到了预期的加固及处理效果,竣工后至今 4 年多,经回访、观测,地基稳定,使用正常,未发现地基下沉及各开关柜倾斜现象。实践证明纠偏技术可靠,完全可行。

## 参考文献:

- [1] 张永钧,叶书麟.既有建筑地基基础加固工程实例应用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] JGJ 94-94,建筑桩基技术规范[S].