

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2022.07.034

# 钢管桩高频免共振法沉桩异常处理

张传庆

(上海市政建设有限公司, 上海市 200126)

**摘要:**以上海S3公路1标钢管桩沉桩施工为实例,简要阐述钢管桩沉桩异常概括、原因分析、处理方法和处理技术。钢管桩沉桩应充分考虑工程地质条件和钢管桩设计情况,选择合适的施工工艺和施工设备,以便能够顺利沉桩,保证工程质量。工程实践表明:工程采用的钢管桩沉桩异常处理方案可靠有效,可为类似情形的钢管桩沉桩异常处理提供一定的参考和借鉴。

**关键词:**钢管桩;高频液压免共振法;沉桩异常;处理技术

**中图分类号:** U445

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)07-0125-03

## 1 工程概况

### 1.1 钢管桩设计概况

上海S3公路1标(以下简称“本工程”)路线全长约5.15 km,工程主体为新建全预制拼装高架桥梁。桥梁基础部分为Φ700 mm的钢管桩+钢筋混凝土承台,桩长50~56 m,每套桩分上下两节桩,下节桩壁厚12 mm,上节桩壁厚16 mm,下节桩桩尖2 m范围内布置“井”字型钢隔板,桩基持力层为⑦<sub>2</sub>层草黄~灰色粉细砂,桩基进入持力层深度普遍10 m以上。桥梁东侧邻近轨道交通16号线,钢管桩采用高频液压免共振法沉桩。

### 1.2 工程地质概况

本工程钢管桩持力层深度范围内分布的土层自上而下可划分为七大层及若干亚层,地基土具体情况见表1。

根据本工程地质勘察报告,第⑦<sub>2</sub>层草黄~灰色粉细砂,场地内分布广泛,由云母、石英、长石细等颗粒组成,局部夹薄层黏性土,土质好,密实状,中压缩性。桥梁桩基础采用预制桩时,需穿越③<sub>T</sub>、④<sub>T</sub>、⑤<sub>1T</sub>、⑤<sub>31T</sub>、⑤<sub>32</sub>、⑦<sub>11</sub>、⑦<sub>12</sub>、⑦<sub>2</sub>层等粉(砂)性土,沉桩阻力较大,沉桩困难,需选择合适的沉桩设备。

### 1.3 沉桩设备简介

本工程钢管桩沉桩设备主要包括大型履带吊、液压振动锤和配套的动力站,其中液压振动锤采用荷兰艾西伊公司生产的高频免共振液压振动锤ICE

收稿日期:2021-11-04

作者简介:张传庆(1986—),男,硕士,工程师,从事市政公路项目施工工作。

表1 地基土构成与特征一览表

土层序号	土层名称	厚度/m	密实程度
①	杂(素)填土	0.30~11.10	松散
② <sub>1</sub>	褐黄~灰黄色粉质黏土	0.30~4.30	可塑~软塑
③	灰色淤泥质粉质黏土	0.70~8.40	流塑
③ <sub>T</sub>	灰色砂质粉土	0.80~5.30	松散~稍密
④	灰色淤泥质黏土	4.20~20.60	流塑
④ <sub>T</sub>	灰色黏质粉土	0.70~1.00	松散
⑤ <sub>1</sub>	灰色黏土	1.5~10.8	流塑
⑤ <sub>1T</sub>	灰色砂质粉土	0.50~8.50	稍密~中密
⑤ <sub>31</sub>	灰色黏土	1.00~29.80	软塑为主
⑤ <sub>31T</sub>	灰色粉砂	1.80~7.70	稍密~中密
⑤ <sub>32</sub>	灰色粉砂夹黏土	0.80~6.90	稍密~中密
⑤ <sub>4</sub>	灰绿色粉质黏土	0.80~4.30	可塑~硬塑
⑥	暗绿~草黄色粉质黏土	0.50~7.40	可塑~硬塑
⑦ <sub>11</sub>	草黄色黏质粉土夹粉质黏土	0.30~18.10	稍密~中密
⑦ <sub>12</sub>	草黄色砂质粉土	0.40~15.60	中密~密实
⑦ <sub>2</sub>	草黄~灰色粉细砂	10.40~41.70	密实
⑦ <sub>2T</sub>	灰色粉质黏土夹粉砂	0.40~10.00	可塑

70RF,具体参数见表2。

表2 ICE 70RF 振动锤技术参数表

项目	参数
偏心力矩/(kg·m)	0~70
最大振幅/mm	21.0
最大转速/rpm	2 000
激振力/kN	0~3 070
振动重量/kg	6 800
总重量/kg	10 200
长×宽×高/mm	2 883×985×2 835

## 2 钢管桩沉桩异常概况及原因分析

### 2.1 钢管桩沉桩异常概况

本工程钢管桩采用高频液压免共振法沉桩时发生异常,钢管桩无法按照设计要求沉桩到位,沉入深度不足,共涉及12个承台、144套钢管桩,详见表3。

表3 钢管桩沉入深度不足情况一览表

承台编号	设计桩长	未沉入桩长度范围/m	未沉入桩长度平均值/m
1	50	2.84 ~ 4.68	3.88
2	50	3.24 ~ 3.77	3.69
3	50	2.37 ~ 4.37	3.31
4	50	0.36 ~ 4.19	2.06
5	52	1.90 ~ 8.39	5.96
6	52	7.67 ~ 10.93	9.26
7	52	2.93 ~ 3.44	3.08
8	52	3.36 ~ 4.16	3.77
9	50	8.00 ~ 13.45	10.60
10	51	2.93 ~ 10.27	6.91
11	51	2.49 ~ 8.55	5.74
12	51	9.35 ~ 11.11	10.19

### 2.2 沉桩异常原因分析

根据本工程钢管桩设计、工程地质条件、施工工艺和设备等情况,结合钢管桩施工情况,分析本工程钢管桩采用高频液压免共振法无法沉桩到位的原因,认为有如下三个方面。

(1)工程地质方面。钢管桩沉桩需穿越⑦<sub>11</sub>、⑦<sub>12</sub>和⑦<sub>2</sub>层等粉(砂)性土,⑦<sub>12</sub>静力触探贯入阻力PS值范围为6.392~15.075 MPa,平均值为10.044 MPa,标准贯入击数N范围值为18~41击,平均值为27.3击;⑦<sub>2</sub>静力触探贯入阻力PS值范围为9.563~29.009 MPa,平均值为20.689 MPa,标准贯入击数N范围值为28~83.3击,平均值为54.5击,如预制桩进入该两层深度较大时,沉桩难度大,建议选择灌注桩。

(2)设计方面。桩基持力层土质好、密实,设计的钢管桩进入持力层过深,未沉桩到位的钢管桩,设计进入持力层深度为13.8~16.7 m,沉桩阻力大;另外,在桩尖2 m范围增设了“井”字型钢隔板,施工过程中发现存在土塞效应,桩顶不涌土,土塞已完成闭塞,在密实的砂土中,桩底阻力转化为钢管桩内壁的法向挤压力,从而大大提高了砂土与钢管桩内壁的摩擦阻力,土塞效应亦明显增大了沉桩的桩端阻力,进一步增加了钢管桩沉桩难度<sup>[1]</sup>。

(3)施工方面。钢管桩采用ICE 70RF高频液压免共振法沉桩,沉桩原理为振动锤与桩连接形成一个振动体系,振动锤运行时产生偏心力,该力的水平分量在同一时间将相互抵消,该力的垂直分量则相互叠加,形成偏心激振力,这个激振力使桩体产生正弦波的垂直振动,强迫桩体周边的土壤产生液化和位移,在桩的自重和振动锤自重及产生的激振力的共同作用下,使桩贯入下沉<sup>[2]</sup>。

采用振动锤沉桩,需满足三个基本条件:a. 振动锤产生的激振力大于被振沉构件与土的动侧摩擦阻力;b. 振动系统的总重量大于振沉构件遭受的动端阻力;c. 振动系统产生的工作振幅大于振沉构件达到要求深度所需最小振幅<sup>[2]</sup>。同时满足上述三个条件时,才能使桩下沉。

未沉桩到位的钢管桩进入持力层后桩端阻力不小于263 kN,振动系统的总重量最大为247 kN,小于沉桩时的桩端阻力,且随着钢管桩贯入深度的不断增加,沉桩阻力不断增大,桩基进入密实的砂土层后,振动锤对桩周边深层土壤的液化效果明显减弱,再加上桩尖2 m范围“井”字隔板的存在,使得土塞效应明显,明显增加了参与振动的质量,进一步减弱了对桩周边土壤的液化效果和振幅,振动锤使桩产生的振幅不能满足桩下沉的最小振幅。桩身在振动荷载作用下产生的最大振幅必须大于土壤处于弹性阶段中的最大位移,否则桩身无法摆脱土壤,就不会有动摩阻力的产生,不能使桩下沉<sup>[3]</sup>。

## 3 沉桩异常处理方法

根据本工程钢管桩沉桩异常概况以及结合现场实际情况,对沉桩异常采取了两种处理方法。

处理方法一:对早期施工的承台(编号1~4)的钢管桩,经各方讨论直接按设计桩顶标高截桩,根据实测的竖向抗压承载力并结合工程地质及保留的桩长,经理论计算确定补桩数量,每个承台补两根钢管桩,补桩长度50 m,补桩采用高频液压免共振法施工;同时,对承台进行适当扩大。

处理方法二:对较晚施工的承台(编号5~12)的钢管桩,由于多数钢管桩未沉入长度大,若直接按方法一处理,需截断的钢管桩长度大、补桩数量多、显著增大承台,很不经济,考虑采用复打处理。经多方讨论决定,采用施工效率高、环保性好的液压冲击式打桩锤进行复打,对复打到位的钢管桩随机抽取试验桩进行静荷载试验并辅以高应变检测。复打后的

实测桩基承载力满足设计需求时,可直接进行后续承台施工。

## 4 沉桩异常复打处理技术及效果

### 4.1 打桩设备

打桩设备主要包括大型履带吊、液压打桩锤和动力站。采用广东力源液压机械有限公司生产的HHP20 液压打桩锤及配套 P600 动力站,如图 1 所示,打桩锤技术参数见表 4。

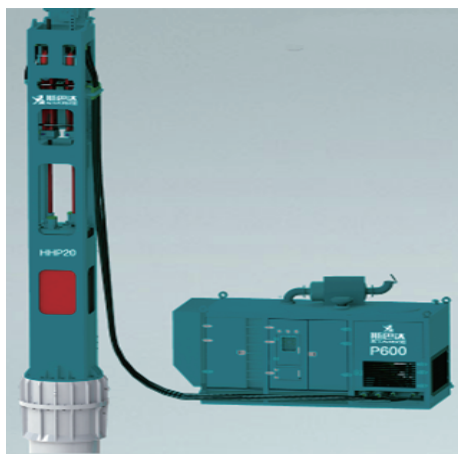


图 1 HHP20 液压打桩锤及 P600 动力站

表 4 HHP20 液压打桩锤技术参数表

项目	内容
最大打击能量/(kN·m)	300
锤心最大行程/m	1.5
锤心质量/t	20
打击频率(max/min)/BPM	90/30
总高度(不带桩帽)/mm	8 795
锤左右宽度/mm	1 315
锤前后宽度/mm	1 670
液压打桩锤质量(无桩帽)/t	29.5

HHP20 液压打桩锤打桩高效节能、噪音低、无污染,彻底减轻了施工过程中对周边环境的影响;冲击能量大、穿透力强,冲击行程和频率可调节;成桩质量高,可根据土质情况和桩管材质的强度合理选择冲击力,可施工预应力管桩、方桩和钢护桩等桩型。

### 4.2 液压打桩锤吊打工艺

根据现场实际情况,采用步履式桩架施工,已不

具备场地条件,故采用吊打法施工。利用一台 250 t 履带吊吊起打桩锤,施工时去掉步履式桩架,增加专用打桩帽以保护桩顶和打桩锤。

复打施工流程:打桩设备进场组装及检验调试→安装桩帽→设备就位、起吊打桩锤→下落打桩锤,使之与桩帽密切接触、钢丝绳处于松弛状态→启动打桩锤→沉桩→打至设计标高停锤→下一根桩施工。

复打时重锤轻击,锤芯起跳高度按从低到高依次调节试验,以能沉桩为准,起跳高度尽量小。重锤比轻锤的冲击效率高,锤重、落距低可以延长锤击接触时间,从而降低锤的冲击应力,避免损坏桩头。在桩的沉入过程中,观察桩锤、桩帽和桩身是否保持在同一轴线上。锤击沉桩连续进行,不应中途停顿时间过长。

### 4.3 复打实施效果

本工程使用液压打桩锤对未沉桩到位的钢管桩进行复打,96 根钢管桩全部打入设计标高。施工完成后选取其中的两根进行静荷载试验,试验结果满足设计需求。并按照设计要求,随机选取 5%的复打钢管桩进行桩基高应变检测,结果全部满足设计需求,钢管桩复打效果好。

## 5 结 语

工程实践表明,本工程采用补桩和液压锤击法复打处理未沉桩到位的钢管桩是合适可行的,相比较而言,复打处理更为经济合适。钢管桩沉桩应充分考虑工程地质条件和钢管桩设计情况,选择合适的施工工艺和施工设备,以便能够顺利沉桩,保证工程质量。

### 参考文献:

- [1] 陈波,李向秋,闫澎旺.动力打入钢管桩中的土塞研究现状[J].中国海上油气工程,2003(1):24-27.
- [2] 刘宝河,边强,袁孟全.振动沉桩锤的选型和应用[J].中国港湾建设,2008(3):38-41.
- [3] 胥新伟,时闯生,刘亚平.振动沉桩锤计算方法[J].中国港湾建设,2015,35(5):41-44.