

PHC管桩在地铁车辆段中的应用

吴珩, 吕文甫, 齐小亮, 王一桦, 易云鹏

(中铁十六局集团有限公司, 北京市 101100)

摘要: 地铁车辆段由于后期土方填筑量较大, 常常发生工后沉降较大等问题。以杭州某地铁车辆段地基加固为例, 通过现场高应变检测试验, 探讨 PHC 管桩在地铁车辆段中的应用效果, 分析桩身的完整性情况, 验证 PHC 管桩的承载力。结果表明: PHC 管桩竖向抗压极限承载力均大于 1 000 kN, 满足结构及设计要求; PHC 管桩桩身结构完整性系数 β 均为 1, 表明检测的 PHC 管桩均为 I 类桩; PHC 管桩均已发挥了侧阻力和端阻力, 端阻力与总阻力比值位于 37%~44%, 侧摩阻力与总阻力比值位于 56%~63%; PHC 管桩在地铁车辆段地基加固中具有较好的应用效果。

关键词: PHC 管桩; 地铁车辆段; 现场试验; 高应变检测; 地基加固

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0246-04

0 引言

由于承载力较高、施工速度快等优点, PHC 管桩在软弱地基加固补强方面应用较广泛。由于土方填筑、列车运营等作用, 常使地铁车辆段地基发生沉降, 因此对地铁车辆段路基地基进行加固是施工中的关键环节。PHC 管桩已广泛地应用于路基地基加固中^[1]。洪宏兴等^[2]研究了大直径 PHC 管桩在砂层中沉桩的影响因素和施工技术。冯光华等^[3]研究了护岸块石、岩石地层 PHC 管桩沉桩影响因素及规律。张启等^[4]研究了淤泥质土层中 PHC 管桩承载力的影响因素并进行了单桩承载力和桩身完整性验算。余升友等^[5]分析了 PHC 管桩作为桩基时承载力的特性。朱晓伟^[6]分析了高速铁路采用 PHC 管桩和钻孔灌注桩两种桩型的受力特性。张洪毓等^[7]分析了淤泥质地层中 PHC 管桩的变形规律, 提出了淤泥质地层中承载力计算参数取值的相关问题。张旭生^[8]研究了老黏土地层中 PHC 管桩对地铁车辆段路基地基加固的效果。

在管桩作为建筑物基础、加固地基等方面已有较多的研究, 主要包括 PHC 管桩的沉桩技术、承载力影响因素和变形特性等, 但 PHC 管桩在软弱地层地铁车辆段地基加固中的应用研究较少。现以杭州某地铁车辆段 PHC 管桩加固工程为例, 通过对 PHC 管桩进行现场高应变检测试验, 分析 PHC 管桩的桩

身完整性情况, 验证了单桩承载力。

1 工程概况

1.1 工程简介

杭州某地铁车辆段停车场为满足地基承载力的要求, 防止工后发生沉降, 地基加固主要采用换填、高压旋喷桩和 PHC 管桩的方式。车辆段停车场周边主要为城市道路, 场地北侧为规划道路永盛路, 南侧为育才路, 东侧为规划道路蓬达路, 西侧为协东线, 道路宽度为 7 m。地铁车辆段平面见图 1 所示。

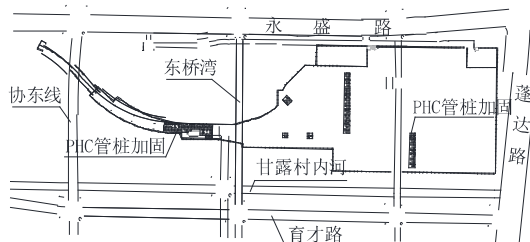


图1 地铁车辆段平面图

1.2 工程水文地质条件

地铁车辆段场地施工影响范围内主要为填土、粉砂土及淤泥质土等。土层物理学指标见表 1 所列。

场地地下水类型主要为潜水、孔隙承压水和基岩裂隙水。潜水主要赋存于浅部①填土层和②粉土层中。孔隙承压水赋存于②粉砂层中和④圆砾层中。基岩裂隙水主要赋存于下部基岩风化裂隙内, 对工程施工影响很小。

2 试验方案

2.1 试验目的

通过对 PHC 管桩进行现场高应变检测试验, 得

收稿日期: 2022-03-16

项目基金: 中铁十六局集团有限公司技术开发项目(ZT16J-HZJCJ1-KY-01)

作者简介: 吴珩(1989—), 男, 学士, 工程师, 从事隧道及地下空间施工技术方面工作。

表 1 土体物理力学指标一览表

层号	岩土名称	桩周极限摩阻力标准值 q_{sik}/kPa	桩端极限承载力标准值 q_{pk}/kPa	地基承载力特征值/ kPa
① ₁	杂植土	0		65
② ₁	砂质粉土	24		100
③ ₂	砂质粉土	32		120
③ ₃	砂质粉土夹粉砂	44		150
③ ₅	粉砂夹砂质粉土	40		140
③ ₆	粉砂	60	3 800	170
⑥ ₁	淤泥质粉质黏土	14	300	70
⑥ ₂	淤泥质粉质黏土 夹粉砂	16	400	75

出 PHC 管桩的桩身完整性情况和单桩承载力,分析 PHC 管桩在软弱地层地铁车辆段中的应用,为相似工程提供指导。

2.2 试验原理与方案

2.2.1 计算方法

高能量冲击荷载下桩身应力波的传波符合一维应力波动方程,PHC 管桩单桩竖向极限承载力计算可用以下公式计算:

$$R_{sp} = \frac{1}{2} (1 - J_c) [F(t_1) + MC/LV(t_1)] + \frac{1}{2} (1 + J_c) [F(t_1 + 2L/C) - MC/LV(t_1 + 2L/C)]$$

式中: R_{sp} 为单轴竖向抗压承载力, kN; J_c 为土的动阻阻尼系数; $F(t_1)$ 为测点处力随时间变化的函数, kN; $V(t_1)$ 为测点处质点运动速度随时间变化函数, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; M 为桩身质量, 10^3 kg ; L 为桩长, m; C 为弹性波纵波波速, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; t_1 为速度第一峰值所对应的时刻, s。

2.2.2 PHC 管桩试验方案

PHC 管桩现场试验采用 RS-1616K(S) 基桩动测仪与配套的加速度传感器。检测的预应力管桩直径为 400 mm, 桩长为 13 m, 桩身混凝土强度为 C80, 结构及设计要求单桩承载力极限值为 1 000 kN, 桩端持力层位于③₆ 粉砂层中。此次现场试验采用 9 组 PHC 管桩(B1~B9) 进行高应变检测试验, 每组 3 根。

PHC 管桩现场高应变检测试验步骤主要包括: (1) 假定桩单元参数(弹性模量、桩身阻尼等); (2) 建立与桩单元相邻的土阻力模型; (3) 以实测的速度或力(或下行力波、上行力波) 作为桩顶边界条件输入, 通过求解特征线议程, 反算出桩顶的力或速度, 上行力波或下行力波; (4) 将计算所得曲线与实测曲线比较, 如果不符合, 则调整单元参数和土“模型”参数, 重新计算直到计算曲线与实测曲线不能进一步完善

为止; (5) 输出拟合曲线、实测曲线等。高应变动力测试装置见图 2 所示。

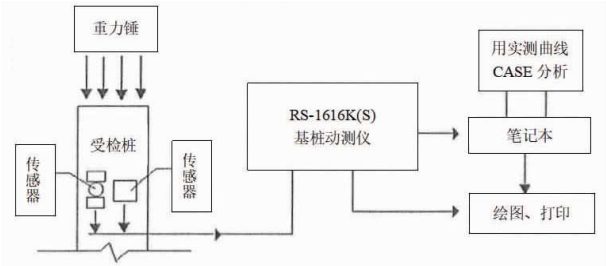


图 2 高应变动力测试装置图

2.2.3 桩身完整性判定

该项试验采用的 PHC 管桩均为等截面桩, 可根据表 2 判断桩身的完整性。桩身完整性系数 β 和桩身缺陷位置 x 可按照以下公式计算。

$$\beta = \frac{[F(t_1) + Z, V(t_1)] - 2R_x + [F(t_x) + Z, V(t_x)]}{[F(t_1) + Z, V(t_1)] - [F(t_x) + Z, V(t_x)]}$$
$$x = c \cdot \frac{t_x - t_1}{2000}$$

式中: β 为桩身结构完整性指数; t_1 和 t_x 分别为速度第一峰和缺陷反射峰所对应的时刻, s; ΔR 为缺陷以上部位土阻力的估计值, kN; x 为缺陷位置与传感器安装点距离, m。

表 2 桩身完整性判断表

桩身完整性类别	缺陷程度	桩身结构完整性指数 β
I	无缺陷	1.0
II	轻度缺陷	$0.8 \leq \beta < 1.0$
III	明显缺陷	$0.6 \leq \beta < 0.8$
IV	严重缺陷	$\beta < 0.6$

3 试验结果与分析

3.1 PHC 管桩单桩竖向承载力

图 3 为桩号 B1 和 B2 的 CCWAPC 模拟静荷载试验 Q-S 曲线。由图 3 可得: 桩号 B1 的试验单桩竖向抗压极限承载力为 1 049.2 kN, 最大沉降为 8.77 mm, 桩号 B2 的试验单桩竖向抗压极限承载力为 1 035.8 kN, 最大沉降为 6.26 mm。9 组 PHC 管桩(B1~B9) 的单桩竖向抗压极限承载力结果见图 4 所示和表 3 所列。

由图 4 和表 3 可知: 试验过程中, 最大沉降量为 8.77 mm, 最小沉降量为 4.44 mm, 最小沉降量为最大沉降量的 50.63%, 平均沉降量为 6.7 mm; 试验检测的 9 组 PHC 管桩竖向抗压极限承载力最大值为 1 095.5 kN, 最小值为 1 015.8 kN, 均值为 1 052.08 kN, 9 组 PHC 管桩竖向抗压极限承载力均大于 1 000 kN, 满足结构及设计要求。

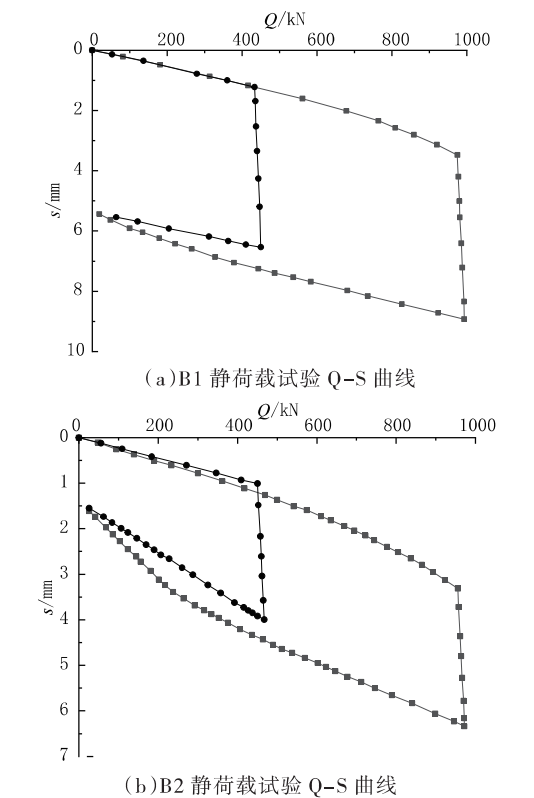


图 3 CCWAPC 模拟静荷载试验 Q-S 曲线图

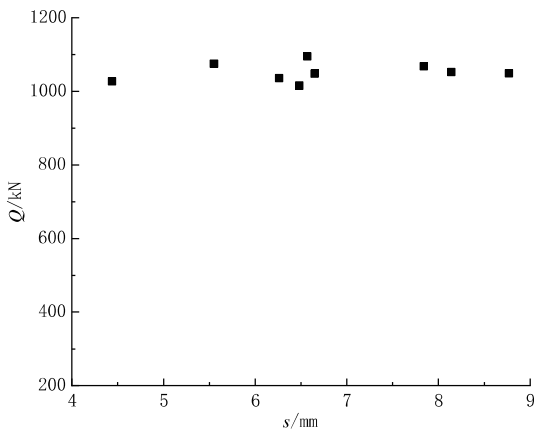


图 4 PHC 管桩 Q-S 关系图

表 3 PHC 管桩单桩竖向抗压极限承载力试验值一览表

桩号	桩径 / mm	桩长 / m	设计单桩竖向承载力极限值 / kN	最大沉降量 / mm	试验单桩竖向抗压极限承载力 / kN
B1	400	13.0	1 000	8.77	1 048.2
B2	400	13.0	1 000	6.26	1 035.8
B3	400	13.0	1 000	5.55	1 075.5
B4	400	13.0	1 000	8.14	1 053.2
B5	400	13.0	1 000	4.44	1 027.7
B6	400	13.0	1 000	7.84	1 068.5
B7	400	13.0	1 000	6.48	1 015.8
B8	400	13.0	1 000	6.57	1 095.5
B9	400	13.0	1 000	6.65	1 048.5

3.2 PHC 管桩桩身完整性分析

图 5 为 B2 桩身完整性检测曲线图。由图 5 可

知:B2 桩身完整性较好,计算值与试验实测值一致。9 组 PHC 管桩(B1~B9)现场高应变检测试验结果见表 4 所列。由表 4 可知:测试的 PHC 管桩桩身结构完整性系数 β 均为 1,可知桩身完整性均较好,由表 2 可判定试验桩均为 I 类桩,充分说明 PHC 管桩在软弱地层地铁车辆段中应用效果较好。

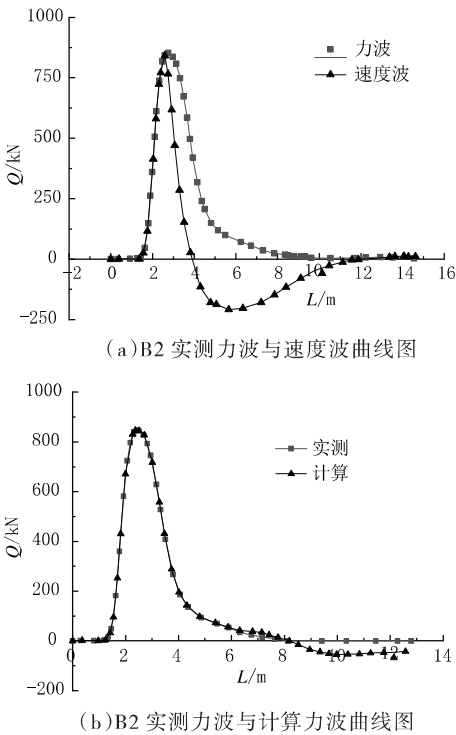


图 5 PHC 管桩桩身完整性检测曲线图

表 4 桩身完整性检测结果汇总表

桩号	桩径 / mm	桩长 / m	完整性	桩身结构完整性系数 β	类别
B1	400	13.0	桩身完整	1.0	I 类
B2	400	13.0	桩身完整	1.0	I 类
B3	400	13.0	桩身完整	1.0	I 类
B4	400	13.0	桩身完整	1.0	I 类
B5	400	13.0	桩身完整	1.0	I 类
B6	400	13.0	桩身完整	1.0	I 类
B7	400	13.0	桩身完整	1.0	I 类
B8	400	13.0	桩身完整	1.0	I 类
B9	400	13.0	桩身完整	1.0	I 类

3.3 PHC 管桩桩端阻力分析

通过现场高应变检测试验与计算可知 PHC 管桩的桩端阻力与总阻力,9 组试验桩的桩端阻力、总阻力,以及两者比值,见表 5 所列。从表 5 可得:高应变检测均已发挥了侧阻力和端阻力,端阻力与总阻力比值位于 37%~44%,平均占比为 40.7%;侧摩阻力与总阻力比值位于 56%~63%,平均值为 59.3%,可知 9 组试验桩均为端承摩擦桩。

表 5 PHC 管桩端总阻力比一览表

桩号	端阻力 /kN	总阻力 /kN	端总阻力比 /%
B1	442	1 049.2	42.1
B2	456	1 035.8	44.0
B3	421	1 075.5	39.1
B4	427	1 053.2	40.5
B5	409	1 027.7	39.8
B6	448	1 068.5	41.9
B7	418	1 015.8	41.1
B8	405	1 095.5	37.0
B9	428	1 048.5	40.8

4 结 语

以杭州某地铁车辆段 PHC 管桩加固工程为例,通过对 PHC 管桩进行现场高应变检测试验,分析 PHC 管桩的桩身完整性情况,验证其单桩承载力,得到如下的结论:

(1)根据高应变现场检测试验结果,PHC 管桩单桩竖向抗压极限承载力均大于 1 000 kN,满足结构和设计要求。同时,也表明 PHC 管桩在地铁车辆段地基加固中具有质量可靠,承载力高和施工效率高的优点。

(2)根据高应变现场检测试验结果,检测的 9 组 PHC 管桩桩身结构完整性系数 β 均为 1,表明桩身

完整性较好,均为 I 类桩,充分说明 PHC 管桩在地铁车辆段中应用效果较好,具有较好的推广价值。

(3)高应变现场检测试验显示:9 组 PHC 管桩均已发挥了侧阻力和端阻力,端阻力与总阻力比值位于 37%~44%,平均占比为 40.7%;侧摩阻力与总阻力比值位于 56%~63%,平均值为 59.3%,表明 9 组试验桩均为端承摩擦桩。

参考文献:

[1] 张强,王鑫.预应力管桩处理软土地基效果分析[J].城市道桥与防洪,2017(11):185-188.
[2] 洪宏兴,夏国光,盛健,等.大直径 PHC 管桩在印尼密实厚砂层场区沉桩实践[J/OL].水运工程: 1-4[2021-12-28].
[3] 冯光华,刘志威.带既有护岸结构老港改造项目 PHC 桩沉桩规律研究[J].施工技术(中英文),2021,50(19): 101-105.
[4] 张启,王天宝,胡海江.PHC 管桩在天津淤泥质软土中的应用[J].土工基础,2021,35(4): 421-424.
[5] 余升友,乐绍林,丁继辉. PHC 管桩承载特性分析研究[J].公路,2021,66(6): 335-339.
[6] 朱晓伟.高速铁路大直径桩基础水平承载力机理研究[J].铁道建筑技术,2021(2): 7-10,20.
[7] 张洪毓,李乾威,姚孟龙,等.PHC 管桩在淤泥质土道路地基处理中的沉降分析[J].建筑施工,2021,43(1): 159-161,165.
[8] 张旭生.PHC 桩在老黏土地层地基加固中的应用探讨[J].市政技术,2017,35(2): 146-150.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com