

邻近电塔路堤设计方案模拟分析及比选

刘煌海, 邬龙刚, 刘光明, 李杰, 文海涛
(广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 广州市番禺区某工程拟建市政道路临近现状 220 kV 高压电塔, 为减轻路堤填筑对现状高压电塔桩基的影响, 保证道路施工引起电塔倾斜度满足设计规范要求。运用 Soilworks 软件建立二维有限元模型, 以扶壁式挡土墙和路基填土方案为对照组, 设定泡沫轻质土路堤和混凝土面板方案和路基填土、管桩复合地基方案为试验组。对比三种不同设计方案的路基边坡整体稳定性、电塔桩基的桩顶水平和竖向位移, 结果表明: 采用扶壁式挡土墙和路基填土组合的方案不满足水平位移要求。管桩复合地基方案更明显减小了电塔桩顶的水平位移, 对桩顶竖向位移几乎没有影响。泡沫轻质土路堤方案能同时减小桩顶的水平 and 竖向位移, 且对减小路堤填筑引起的电塔倾斜度更有效果。

关键词: 被动桩; 路堤; 电塔; 桩基; 位移

中图分类号: U416

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0082-04

Simulation Analysis and Comparison of Design Schemes of Embankment near Electric Pylon

LIU Huanghai, WU Longgang, LIU Guangming, LI Jie, WEN Haitao
(Guangdong Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: A municipal road in a project is proposed to construct near the existing 220 kV high-voltage electric pylon in Panyu District, Guangzhou. To mitigate the impact of embankment filling on the pile foundation of the existing high-voltage electric pylon, it is to ensure that the inclination of the electric pylon caused by road construction should meet the design specifications. A two-dimensional finite element model is established by using Soilworks software. Taking the buttress retaining wall and subgrade filling scheme as the control group, the foamed lightweight soil embankment with concrete panel scheme and the subgrade filling with pipe pile composite foundation scheme are regarded as the experimental group to compare the whole stability of subgrade slope, and the horizontal and vertical displacements of pile tops in electric pylon pile foundations of three design schemes. Results indicate that the combination of buttress retaining wall and subgrade filling in the scheme fails to meet the criteria for horizontal displacement. The pipe pile composite foundation scheme significantly reduces the horizontal displacement at the top of the electric pylon piles, and there is no influence on the vertical displacement at the pile top. The foamed lightweight soil embankment scheme can simultaneously reduce the horizontal and vertical displacements at the top of the piles, and is more effective to reduce the pylon inclination caused by subgrade filling.

Keywords: passive pile; embankment; electric pylon; pile foundation; displacement

0 引言

城市发展不断提高土地空间的利用率,越来越多的工程不得不毗邻现有建筑,工程涉及的开挖或堆载等施工经土体传递至桩基,影响现有建筑的安全性。依据桩基与其周围土体的相互作用可以将桩基分为主动桩、被动桩两大类^[1]。被动桩方面,杨吉新等^[2]基于 Flamant 解和 Pasternak 双参数地基模

型^[3],理论推导了单侧堆载下的桩基侧向位移,周文等^[4]利用 PIV 技术和透明土材料研究土体侧向位移下被动桩的变形特性,董芸秀等^[5]数值模拟马里河 II 桥实体工程研究高填路基临近桥梁桩基受力及变形规律,并提出了工程处治方案。

以广州市番禺区某邻近 220 kV 高压电塔的填方路堤工程为基础,以扶壁式挡土墙+路基填土方案为对照组,利用二维模型分析管桩复合地基、泡沫轻质土对电塔桩基的变形影响,研究高压电塔桩基附近的高填路基施工方案的可行性和安全性。该研究为桩基附近的路堤施工提供工程借鉴。

收稿日期: 2024-03-26

作者简介: 刘煌海(1997—),男,硕士,助理工程师,从事岩土与城市地下空间设计工作。

1 工程概况

1.1 设计概况

广州市番禺区城市次干路,双向两车道,设计时速 30 km/h,在横三路里程 HSK0+102.46~115.91 范围的路基填筑高度为 5.12~5.27 m,呼高为 37 m 的广芳甲乙线 30 号高压电塔距离路基填筑边线约 3.74~5.27 m,高压电塔的桩基为直径 1.4 m 的灌注桩,桩身采用 C30 混凝土,桩长 11 m,基础根开为 13.5 m,见图 1、图 2。

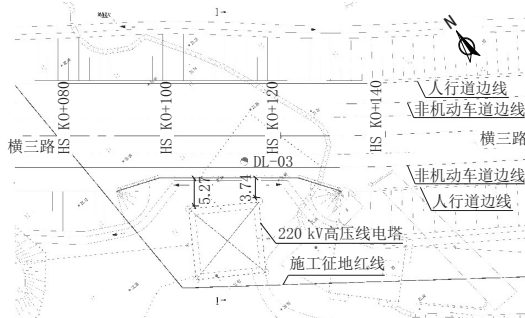


图 1 工程平面图



图 2 工程航拍图

1.2 工程地质

项目场地经勘察岩土层有第四系人工填土、冲洪积层淤泥质土、淤泥质细砂、粉质黏土、细砂、中砂等,残积层砂质黏性土,下伏基岩为早奥陶世花岗岩。本次方案涉及土层及物理性质参数,见表 1。

表 1 岩土层物理性质参数表

材料	重度/ ($kN \cdot m^{-3}$)	黏聚力/ kPa	内摩 擦角/ ($^{\circ}$)	土层承载 力特征值/ kPa	压缩 指标/ MPa
粉质黏土② ₁	18.5	25.4	12.0	160	5.86
中砂② ₂	19.0	0	29	160	15
粉质黏土② ₃	18.5	21.8	9.87	160	4.86
砂质黏性土③ ₁	18.4	20.7	14.4	160	4.85
道路路基填土	19.0	15	15	100	11
泡沫轻质土	6.0	30	20	—	—

上表中各土质材料的弹性模量取自身压缩强度的 4 倍^[6],管桩复合地基的弹性模量基于置换率计算^[7],泡沫轻质土的弹性模量基于抗压强度计算^[8]。

1.3 比选方案

赵伟封等^[9]研究结果表明堆载越靠近桩基,对桩基的影响越大,且电塔侧填筑路基没有放坡空间,在道路靠近电塔侧设置挡土墙或混凝土面板支挡路基。

设计方案以路基填土和扶壁式挡土墙为对照组,挡土墙的截面尺寸经软件《理正岩土计算 6.5PB3 版》的挡土墙设计模块确定,见表 2。为了削弱土体侧向位移挤压电塔桩基作用,设计管桩复合地基和泡沫轻质土两种方案。前者利用管桩、桩间土体共同抵抗路基填筑引起的附加应力,后者采用密度小的路基填筑材料,根源上减小附加应力。

表 2 设计方案

序号	侧面挡土结构	路基材料	地基处理
方案一	扶壁式挡土墙	路基填土	无地基处理
方案二	扶壁式挡土墙	路基填土	管桩复合地基
方案三	混凝土面板	泡沫轻质土	无地基处理

其中,扶壁式挡土墙的墙趾埋深为 1 m,墙身采用 C30 混凝土,管桩采用直径 80 cm 的预制混凝土管桩,桩间距为 2.0 m,正方形布置,桩长为 15 m。方案一至三横断面见图 3 至图 5。

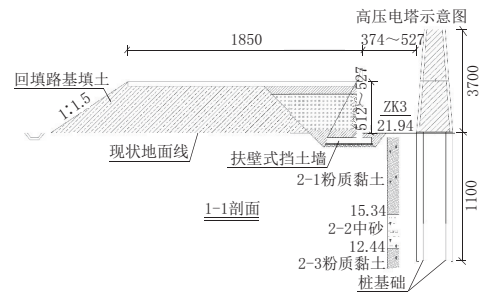


图 3 方案一横断面(单位:cm)

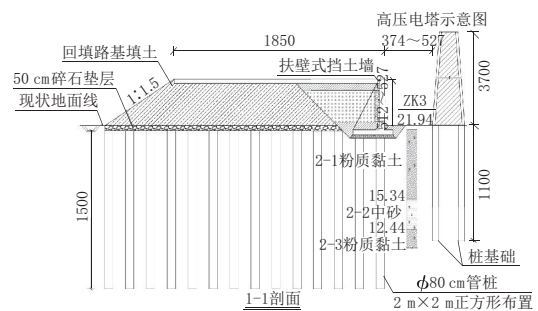


图 4 方案二横断面(单位:cm)

2 计算模型及分析工况

魏汝龙等^[10-11]对比三维、二维的有限元计算结果认为高桩码头与岸坡的三维问题可以简化为平面应变模型。利用 Soilworks 软件计算分析三种方案。考虑模型边界效应,计算模型尺寸为 100 m×35 m。电塔桩基采用梁单元,各岩土层皆采用 M-C 模型。

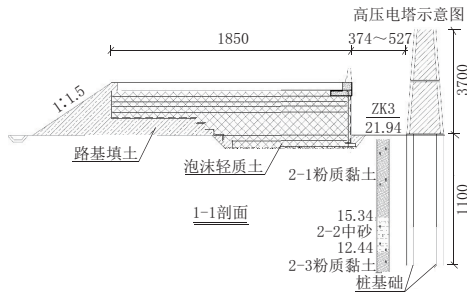


图5 方案三横断面(单位:cm)

模型边界分别约束底边线的竖向、水平位移和两侧线的水平位移;在人行道和车行道分别施加 5 kPa 和 15 kPa 的荷载。计算模型见图 6。

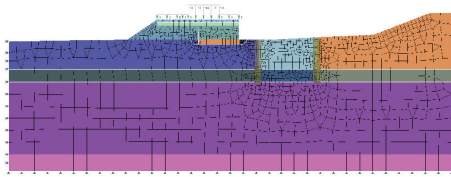


图6 方案三计算模型图

方案一施工工序为放坡开挖挡墙基槽,再施工扶壁式挡土墙,待挡土墙混凝土达到设计强度后再逐层回填道路路基土至路面结构层底,施工路面结构层;方案二在静压施工管桩复合地基后,施工工序与方案一相同;方案三放坡开挖深度为 1.15 m 深的凹槽后,再逐渐回填泡沫轻质土或道路路基土至路面结构层底,施工路面结构层。

3 结算结果及分析

3.1 稳定性计算结果

电塔附近路段的路基填筑较高,分别对不同方案的不同路基侧的边坡整体稳定性分析计算。利用 AutoCAD 软件绘制各设计方案的 .dxf 文件,导入《理正岩土计算 6.5PB3 版》的边坡模块,计算得到各方案不同路基侧的整体稳定系数,见表 3。

表3 整体稳定系数计算结果

方案	整体稳定系数	
	电塔侧	非电塔侧
一	1.604	1.727
二	1.759	1.727
三	1.807	2.191

整体稳定系数参考《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)第 5.3.2 条,要求电塔侧的稳定系数应不小于 1.35,非电塔侧的稳定系数应不小于 1.25。因此各个方案的不同侧的整体稳定性皆满足规范要求。

方案一的电塔侧路基为垂直边坡,且挡墙自身的密度较大,导致其稳定系数小于非电塔侧;方案二

的电塔侧路基边坡失稳的最不利滑动面经过管桩复合地基,稳定系数比方案一的有所提高,非电塔侧的最不利滑动面与方案一都在回填的路基土层,因此稳定系数一致。方案三的泡沫轻质土的物理性质参数比路基填土更有利于路基边坡的稳定性,因此非电塔侧或电塔侧的稳定系数都比方案一的计算结果大。

3.2 位移计算结果

模拟计算方案一至方案三,分别得到完成方案一至方案三路面结构层施工和方案三凹槽开挖的数值模拟结果,见图 7 至图 10。

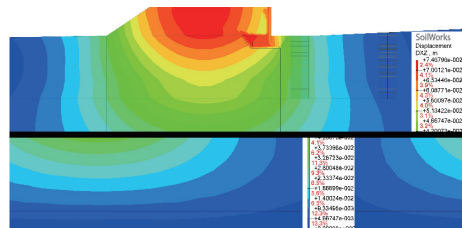


图7 方案一总位移(单位:m)

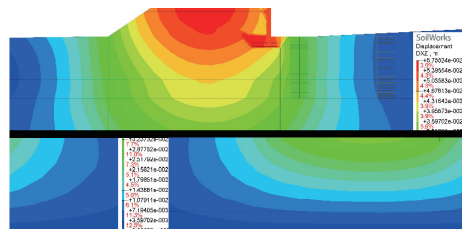


图8 方案二总位移(单位:m)

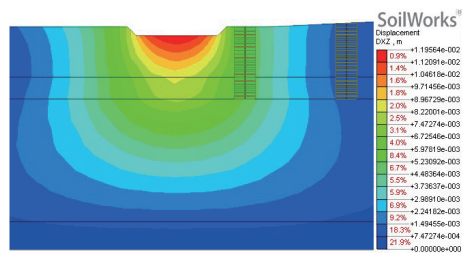


图9 方案三凹槽开挖总位移(单位:m)

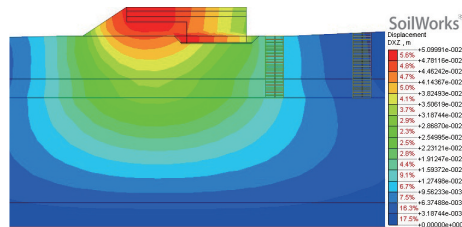


图10 方案三总位移(单位:m)

项目报电力权属部门要求桩顶的水平位移不超过 5 mm,且倾斜度满足《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)第 5.3.4 条要求的高度介于 20~50 m 之间的铁塔倾斜度最大允许值为 0.6%。汇总各个数值计算结果的桩顶水平、竖向位移,见表 4。

计算结果表明,相比于扶壁式挡土墙和路基填

表4 设计方案位移计算结果

方案	水平位移/mm		竖向位移/mm		倾斜度/%	工况
	1号桩基	2号桩基	1号桩基	2号桩基		
一	5.469	3.250	-28.096	-5.598	-0.166	路基回填
二	2.494	1.468	-27.335	-5.526	-0.162	路基回填
三	-0.478	-0.225	5.318	1.155	0.031	凹槽开挖
三	3.717	2.333	-13.619	-2.523	-0.082	路基回填

注:1. 左侧电塔桩基为1号桩基。

2. 水平(竖向)位移“+”值向右(上),“-”值向左(下)。

土方案,管桩复合地基与泡沫轻质土方案都能减小桩顶的水平、竖向位移和倾斜度。其中,管桩复合地基减小路基填筑引起桩基的水平位移效果比泡沫轻质土明显,但减小竖向位移、倾斜度的程度比泡沫轻质土低。

方案一的水平位移不满足设计要求,其他两种方案满足水平位移与倾斜度的设计要求,考虑到电塔为高耸结构,对倾斜度更敏感,因此选择泡沫轻质土路堤方案。

4 结 语

基于广州市番禺区某市政道路工程实例,以扶壁式挡土墙和路基填土方案对照组,通过路基边坡的稳定分析,桩顶水平、竖向位移以及倾斜度的数值计算结果对比了管桩复合地基与泡沫轻质土方案的优劣。

在实际工程中,堆载靠近现有建筑物桩基时,应

根据桩基的不同设计要求,设计不同施工方案。其中,水平位移要求较高,优先考虑复合地基方案;竖向位移或倾斜度要求较高则采用泡沫轻质土路堤方案;水平位移和倾斜度两者要求都较高时,若泡沫轻质土路堤方案不能满足设计要求,可以采用复合地基、轻质土联合方案。

参考文献:

- [1] DEBEERE. The effects of horizontal loads on piles due to surcharge or seismic effects[C]//Proceedings of the Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, 1977.
- [2] 杨吉新,王金川,陈天驰,等.一种单侧堆载作用下桩基侧向位移计算方法[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2023,47(3):556-560,567.
- [3] XUC, YAO W J. Buckling analysis of super-long rock-socketed piles based on double-parameter foundation model[J].Mechanics of Advanced Materials and Structures, 2022, 29(6):916-922.
- [4] 周东,刘汉龙,仇文岗,等.被动桩侧土体位移场的透明土模型试验[J].岩土力学,2019,40(7):2686-2694.
- [5] 董芸秀,冯忠居,冯凯,等.下伏软弱夹层路基堆载对桩基影响及处治方法[J].地下空间与工程学报,2020,16(4):1219-1229.
- [6] 杨敏,赵锡宏.分层土中的单桩分析法[J].同济大学学报(自然科学版),1992(4):421-428.
- [7] JTG/T D31-02—2013,公路软土地基路堤设计与施工技术细则[S].
- [8] CJJ 177—2012,气泡混合轻质土填筑工程技术规程[S].
- [9] 赵伟封,文军强,冯凯,等.带状堆载对邻近桩基作用效应的计算方法[J].长安大学学报(自然科学版),2019,39(2):100-107,116.
- [10] 魏汝龙,王年香,杨守华.桩基码头与岸坡的相互作用[J].岩土工程学报,1992(6):38-49.
- [11] 陈福全,杨敏.地面堆载作用下邻近桩基性状的数值分析[J].岩土工程学报,2005(11):51-55.

《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

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

