

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.S1.028

空间受限地区高压架空输电线路钢管杆基础 优化设计

许顺德¹, 陈义²

(1. 广东天联电力设计有限公司 广州 510663; 2. 广东电网公司惠州供电局, 惠州 516199)

摘要: [目的]为解决城市地区钢管杆基础空间受限问题, 基于一个工程实例提出空间受限地区钢管杆基础优化设计方法。[方法]通过对钢管杆基础受力特性分析及对现场实际情况分析, 提出了基础优化设计方法以解决基础空间受限问题。[结果]实际工程应用结果表明基础优化设计方法具有良好效果。[结论]优化设计方法可为空间受限地区基础设计提供参考。

关键词: 空间受限; 基础; 优化设计

中图分类号: TM7; TU470

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0157-04

Optimization Design of Steel Pipe Foundation for High Voltage Overhead Transmission Lines in Space-limited Areas

XU Shunde¹, Chen Yi²

(1. Guangdong Tianlian Electric Power Design Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. Huizhou Power Company of Guangzhou Grid Company, Huizhou 516199, China)

Abstract: [Introduction] In order to solve the problem of insufficient space for steel pipe foundation in urban areas, some optimization methods of steel tube pipe foundation design in space-limited areas are put forward in this paper, which are based on an engineering example. [Method] Based on the analysis of the mechanical properties of steel pipe foundation and the analysis of the actual situation on the site, some optimization design methods were proposed to solve the problem of insufficient space for steel pipe foundation. [Result] The actual engineering application results show that this optimization design method has a good effect. [Conclusion] This paper provides some references for the foundation design of space-limited areas.

Key words: space-limited areas; foundation; optimization design

高压架空输电线路常用杆塔类型有角钢(钢管)塔、钢管杆等形式。角钢(钢管)塔常应用于用地不紧张地区。城区用地紧张, 高压架空输电线路一般沿道路走, 钢管杆占地面积小因而在城区受到广泛应用。但城区道路绿化带及人行道往往需要埋设电信管线、供电电缆、雨水管、污水管等而导致钢管杆基础空间位置受限、设计较复杂。现场条件变化时往往需要多次调整基础型式以适应现场条

件^[1-2], 而目前输电线路基础优化设计研究大多数研究集中于不同地质类型基础选型方向^[3]或同基础不同结构型式优化方向^[4], 研究空间受限地区基础优化设计的较少。本文以一个工程实例, 基于钢管杆受力特性分析研究空间受限地区钢管杆基础优化设计方案, 为实际工程中类似问题提供参考。

1 钢管杆基础受力特性

本工程钢管杆均为单杆型式, 根据不同杆型其杆底直径为 1.48 ~ 2.8 m, 杆底法兰盘外径为 2.08 ~ 3.05 m。钢管杆正常运行时主要受杆身风荷载及导地线荷载, 横担方向弯矩主要由杆身风荷载

收稿日期: 2018-07-16 修回日期: 2018-07-26

基金项目: 中国能建广东院科技项目“《架空输电线路杆塔结构设计规程》电力行业标准编制”(EB 03811W)

及导线荷载形成,垂直横担方向弯矩主要由前后侧导线张力差及杆身风荷载形成。杆底竖向力主要为杆身及导线自重。杆底水平方向力主要为导线水平力及杆身风荷载。因而钢管杆受力特点为杆底部横担方向弯矩非常大,而杆底部垂直横担方向弯矩、竖向力、水平力相对较小。

基于钢管杆受力特性,钢管杆基础有单桩基础、多桩承台式基础、板式基础等型式。架空输电线路杆塔基础设计控制指标通常为地面处桩位移与上拔下压力承载力。板式基础多应用于35 kV工程杆底部弯矩较小时,杆底弯矩较大时常常难以满足抗倾覆要求,故钢管杆较少用此类基础。钢管杆采用单桩基础时,由于仅单桩需要承担杆底较大弯矩,因而其基础特点通常为桩侧向位移控制,桩上拔下压力不控制。钢管杆采用多桩承台式基础时由于杆底最大弯矩方向为横担方向,故当为横担方向布置多桩时,杆底弯矩通常由桩的上拔下压力形成的力偶来抵抗,横担方向基础位移通常不控制;当为垂直横担布置多桩时,其基础受力模式与单桩类似一般为为横担方向位移控制。为使基础受力较为均匀,多桩承台基础一般按杆塔前后侧角度均分对称布置。

2 工程概况

220 kV 荣田至秋长送电线路改造工程导线截面 $2 \times 630 \text{ mm}^2$,基本风速 33 m/s (离地面 10 m ,30年一遇),双回路架设,部分按四回路预留横担,无冰。工程地处惠州市惠阳区城区,其中NF4~NF9为沿现有公路边架线。NF9地质情况如表1所示。

表1 NF9地质资料

Tab. 1 Geological condition of NF9

深度/m	地质情况
0.00~3.50	素填土:黄色、褐黄色、浅灰色等杂色,稍湿,松散,主要为粘性土,不均匀含碎石及砾等硬杂质约30%。 $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$; $\varphi = 10^\circ$ 。
3.50~15.0	砂质粘性土:褐黄色、黄色,硬塑,含多量石英质中粗砂,为花岗岩风化残积土。 $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$; $\varphi = 15^\circ$; $C = 25 \text{ kPa}$; $q_{sik} = 80 \text{ kPa}$; $q_{pk} = 1.30 \text{ MPa}$ 。

NF9号杆塔小号侧为直线钢管杆,大号侧为耐张钢管杆,大号侧沿规划路架线。为耐张钢管杆,

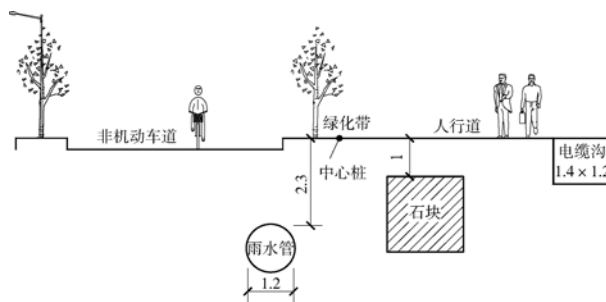
中心桩处立杆时,本基杆塔右转 $44^\circ 55' 37''$,钢管杆横担方向为角平分线方向,即与道路呈 $22^\circ 27' 49''$ 夹角。

NF9中心桩位于非机动车道与人行道中间的植树绿化区域内,物探资料表明中心桩左右侧均有管线或其他构筑物可能影响杆塔基础施工。为准确探明塔位周边地下管线及构筑物位置,施工前沿垂直道路方向开挖探沟以准确测量各影响因素位置尺寸(如图1所示),测得NF9处横断面图如图2所示,NF9处综合管线平面位置图如图3所示。中心桩左侧1.2 m外为雨水管的边缘,雨水管管径1.2 m,雨水管顶面埋深2.3 m。中心桩右侧1.25 m为现浇混凝土构筑物,构筑物宽约2.0 m,高约2.0 m,其顶部埋深1.0 m。混凝土构筑物右侧为电缆沟。中心桩距道路边缘1.48 m。NF9中心桩位置左右两侧地下均有障碍物可能影响基础施工,可供基础布置的空间位置十分狭小。同时当地路政管理部门要求基础外露部分不得超过绿化带道路边线,以免影响非机动车道行车。因现场前侧为规划路口无法前移,如往后侧移则导致前侧跨越条件不满足,同时中心桩左右侧均有障碍物,现场空间受限,中心桩已无法大幅移位,故必须在此位置立一基杆塔。



图1 NF9现场情况

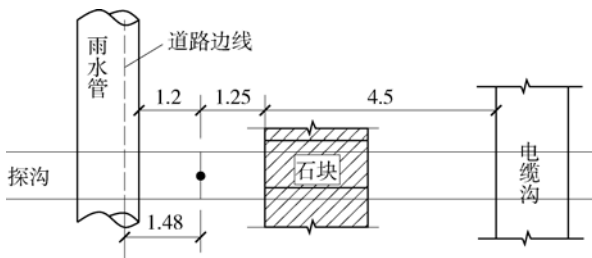
Fig. 1 Field condition



注:尺寸单位为m。

图2 NF9处横断面图

Fig. 2 Cross section of NF9



注: 尺寸单位为 m。

图 3 NF9 处平面位置图

Fig. 3 Plane position of NF9

3 基础选型及方案优化

因雨水管与混凝土构筑物之间净距离仅 2.73 m, 空间十分狭小。NF9 为双回路耐张钢管杆, 同时导线截面大, 使得本基杆塔基础作用力非常大。本基杆塔基础如按典设力计算时基础尺寸已远超空间允许尺寸, 考虑本基特殊情况, 为使基础尽量优化, 故与电气专业协调尽量放松前后侧导线以减小本基杆塔作用力。放松导线后开外负荷计算其实际基础作用力, 基础作用力最大工况为 90°大风, 对应基础作用力设计值计算结果如表 2 所示。放松导线同时考虑前后档距、弧垂对地距离后本基钢管杆最低用 18 m 呼高。本基 18 m 呼高耐张钢管杆底部法兰盘外径 2.35 m, 根据钢管杆地脚螺栓布置、基础钢筋保护层厚度、钢筋笼布置计算后本基钢管杆基础与钢管杆底部连接处最外小径为 2.6 m。

表 2 NF9 杆塔基础实际作用力

Tab. 2 Tower foundation actual force of NF9

水平及竖向力	F_x	F_y	F_z
力值/kN	252.81	34.62	279.83
弯矩	M_x	M_y	M_z
数值/(kN·m)	906.67	-6 041.59	11.44

经过放松导线后计算本工程基础实际作用力可以看出其弯矩仍非常大, 板式基础经计算无法满足其抗倾覆要求及空间尺寸限制要求。

按单桩方案设计基础时, 由于钢管杆法兰盘外径、地脚螺栓布置、钢筋笼等因素限制其桩径最小需要取 2.6 m, 而本工程雨水线与混凝土构筑物之间净距仅为 2.45 m, 现场空间尺寸无法满足采用单桩方案时尺寸要求, 因此本基无法采用单桩方案。

按多桩承台方案设计基础时, 根据《建筑桩基技术规范》^[5], 桩间距最低取 2.5 倍桩径。按常规

基础横担方向设置多桩承台设计基础时, 基础受力较好, 承台与道路呈 22°27'49" 夹角, 现场空间尺寸不足无法满足此方案要求。根据现场空间尺寸垂直道路方向设置多桩承台基础时, 勉强可放下, 但桩径最大仅可以取 0.5 m。由于桩径过小, 按六桩计算时基础位移仍严重超规范限值, 同时桩强度不满足要求, 计算不通过, 故不采取此方案。

排除以上方案, 本塔基只能采取沿道路方向布置多桩承台的方式, 即承台长方向沿道路方向布置。

承台沿道路方向布置, 即承台须旋转 22°27'49", 承台旋转后基础前后侧转角度数不相同, 后侧 0°, 前侧右转 44°55'37"。承台旋转后钢管杆不旋转, 即钢管杆横担方向仍为转角角平分线方向。根据空间尺寸计算本基基础桩径最大可取 1.6 m, 根据《架空输电线路基础设计技术规程》(DL/T 5219—2014)^[6], 桩边至承台边距离至少需 0.3 倍桩径即 0.48 m, 故承台尺寸宽度最小取值 2.56 m, 考虑施工因素取整 2.6 m。但 2.6 m 宽承台在原中心桩位无法放置, 承台与右侧混凝土构筑物相撞, 方案需要进一步优化。

将中心桩向左侧移动 13 cm 使基础露出地面的承台柱紧贴道路边缘, 此时承台与右侧构筑物间净距为 13 cm, 桩与左侧雨水管距离 22 cm, 桩边与右侧混凝土构筑物 63 cm, 空间尺寸均为均衡。中心桩左移 13 cm 后, NF9 后侧直线杆左转 0°6'12", NF9 转角杆右转约 45°28'20", 经验算后侧直线杆带微小转角电气间隙及杆塔受力均满足, 故将中心桩往左侧移 13 cm。因此基为转角耐张钢管杆, 其基础对位移较敏感, 根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)^[5], 对水平位移敏感的建筑物位移允许上限为 6 mm, 因此基础计算中按 6 mm 位移控制。根据《110 kV ~ 750 kV 架空输电线路设计规范》(DL/T 50545—2010)^[7](GB 50545—2010) 基础位移采用荷载标准值计算。采用二桩 1.6 m 桩径, 4.8 m 桩间距方案时, 经计算桩位移为 5.83 mm, 采用三桩 1.6 m 桩径 4.8 m 桩间距方案时, 桩位移为 4.36 mm。由以上计算数据可知二桩承台方案时水平位移利用率已达 97.17%, 三桩承台方案时水平位移利用率为 72.67%。考虑此基础左右侧均有构筑物, 对位移更敏感, 因此需要加强位移控制, 故选取三桩承台方案。基础采用三桩

桩径 1.6 m, 桩长 9.0 m, 承台 2.6 m 宽 × 12.2 m 长, 承台柱直径 2.6 m, 承台柱高 1.4 m。同时因承台长边沿道路方向布置, 线行前后侧转角相对 NF9 基础承台方向严重分布不均, 承台受扭严重, 因此需要加强基础抗扭设计。本工程采取加强承台箍筋, 箍筋采用直径 22 mm 钢筋, 同时承台箍筋采用焊接封闭设置以增强承台抗扭承载力。为减少对两侧构筑物影响, 基础采用上部人工开挖, 下部机器钻孔成孔方式。考虑钢管杆为右转, 基础位移方向为向右侧混凝土构筑物方向, 施工完成后承台与右侧混凝土构筑物间回填松散土, 同时填土不压实预留变形空间以减少对右侧构筑物影响。施工完成后本工程基础断面图如图 4 所示, 基础平面布置图如图 5 所示。

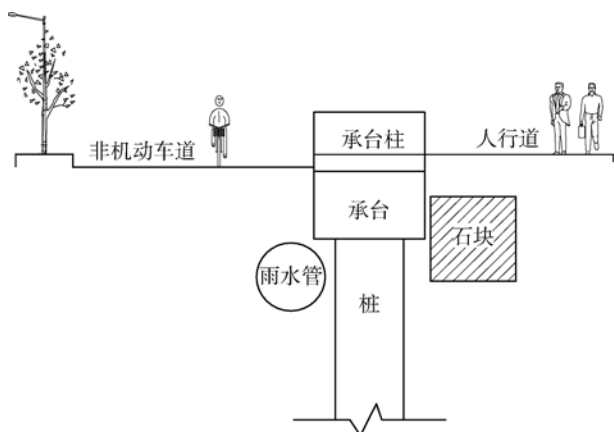


图 4 NF9 基础横断面图

Fig. 4 Cross section of NF9 foundation

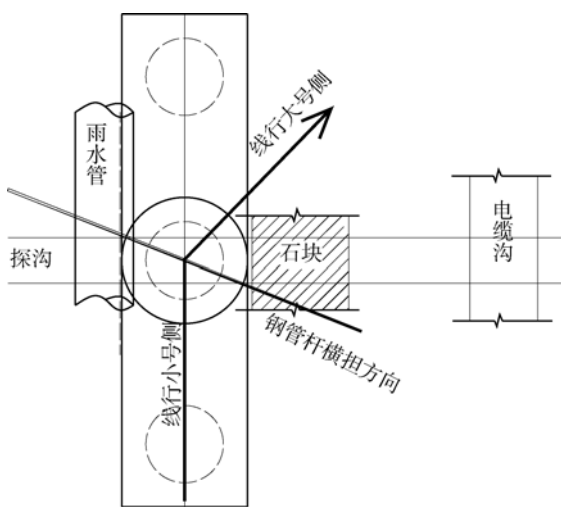


图 5 NF9 基础平面布置图

Fig. 5 Plane position of NF9 foundation

4 结论

通过不断优化本工程基础空间受限问题得到解决, 实际工程中应用效果良好。城市用地非常紧张, 钢管杆基础布置时很可能遇到空间受限情况。通过本文的基础选型及优化方案给工程技术人员提供一定参考, 通过本文分析杆塔基础设计时可以采取以下方法进行基础方案优化:

1) 放松前后侧导地线, 减小杆塔基础受力, 并提取实际杆塔基础实际作用力进行基础设计。

2) 当直线杆塔带小转角可以解决空间问题时, 可中心桩适当移位, 使直线杆塔带微小转角, 同时验算直线杆塔受力。

3) 可采用多桩承台方式布置基础, 多桩共同受力减小基础水平位移。

4) 基础可不按杆塔转角度数前后对称布置, 采取前后侧角度不均等的承台旋转方案布置。

参考文献:

- [1] 潘康. 送电线路施工过程中杆塔基础的改型和优化 [J]. 安徽电力, 2013, 30(2): 50-52.
- [2] 李思潼. 220 kV 送出线杆塔基础的优化设计 [J]. 云南电力技术, 2010, 38(1): 37-38.
- [3] 陈俊帆, 曾二贤, 赵冲, 等. 中美欧钢管杆构件设计承载力计算对比 [J]. 广东电力, 2017, 30(7): 106-109.
- [4] 田海刚, 王雷, 李娟. 输电线路混凝土板式基础设计优化研究 [J]. 建筑科学, 2013, 29(1): 67-70.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑桩基技术规范: JCG94—2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [6] 国家能源局. 架空输电线路基础设计技术规程: DL/T 5219—2014 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 110 kV ~ 750 kV 架空输电线路设计规范: DL/T 50545—2010 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.

作者简介:



XU S D

许顺德(通信作者)

1988-, 男, 广东梅州人, 工程师, 硕士, 主要从事高压输电线路设计研究工作(e-mail)gd_xsd@126.com。

(责任编辑 郑文棠)