

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.022

# 桩-岩石锚杆复合基础在架空输电线路中的应用

许顺德

(广东天联电力设计有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 结合山地地区存在上部为土、下部为岩石的地质情况, 为解决桩基础人工开挖困难的情况, 分析了桩-岩石锚杆复合基础, 并初步提出其设计关键技术要点。通过与传统基础对比分析, 结果表明: 在满足承载力的前提下, 桩-岩石锚杆复合基础的钢筋用量、混凝土用量以及施工速度均较传统基础有一定的优势。桩-岩石锚杆复合基础应用于高压架空输电线路时具有良好的技术经济效果, 因此在工程应用中具有很好的推广作用。

**关键词:** 桩; 岩石锚杆; 复合基础; 输电线路

中图分类号: TU47

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)S1-0116-04

## Application of Pile-Rock Anchor Composite Foundation in Transmission Line

XU Shunde

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

**Abstract:** In some mountainous areas, the geological condition is that the upper part is soil while the lower part is rock. In order to solve the difficulty of manual excavation in pile foundation, in this paper we analyzed the pile-rock anchor composite foundation, and put forward the key technical points of its design. Compared with traditional foundation, the results show that: under the premise of bearing capacity, the pile-rock anchor composite foundation is superior to the traditional foundation in the amount of reinforcement, the amount of concrete and the construction speed. Pile-rock bolt composite foundation has good technical and economical effect in high voltage overhead transmission line, so it has good promotion effect in engineering application.

**Key words:** pile; rock anchor; composite foundation; transmission line

随着我国经济发展, 越来越多的高压架空输电线路必须建在山地或者高山大岭中, 线路所经过地区地质复杂。如广西桂林山地为典型的喀斯特地貌, 山地地质多为中风化~微风化凝灰岩, 岩石经常直接露出地表。广东地带大多数为山地, 地质多为硬塑状粉质粘土, 惠州、清远、肇庆等地经常上部为硬塑状粉质粘土, 下部出现强风化、中风化甚至微风化斑岩。《架空输电线路基础设计技术规程》(DL/T 5219—2014)<sup>[1]</sup>定义的岩石锚杆基础需要承台嵌入岩石, 因此适用于岩石直接裸露地表或基岩不深的情况。广东地区多山地, 地

质多为硬塑状粉质粘土, 因此输电线路杆塔基础以人工挖孔桩基础为主。但人工开挖强度大, 同时遇到下部为岩石的地区开挖进度缓慢, 经常为一天仅能挖0.2 m深, 人工开挖非常困难。因此需要一种新型基础来适用于上部为土、下部为岩石的地质情况。

### 1 工程概况

220 kV 吉隆(埔仔)至铁涌送电线路导线截面 $2 \times 630 \text{ mm}^2$ , 基本风速37 m/s(离地面10 m, 30年一遇), 无冰。工程场地地质情况如表1所示。

工程地处惠州市惠东县, 其中NA8~NA9跨越海峡, 二基塔分别处于海峡二边高山山坡, 现场地形较陡, 地质勘探时未出现地下水。NA8塔型设计为2F2Wa-J1, 其基础作用力如表2所示。

收稿日期: 2017-07-05

作者简介: 许顺德(1978), 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。

表 1 NA8 塔位地质情况

Tab. 1 Geological condition of NA8

岩土层	埋深/m	地基岩土的描述	$\gamma$ / ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$\varphi$ / ( $^{\circ}$ )	$c$ / kPa	$f_{ak}$ / kPa	$q_{sik}$ / kPa	$q_{pk}$ / kPa
粉质粘土	0.0 ~ 2.0	褐黄、褐红色, 稍湿, 硬塑。遇水易软化, 含多量砂粒及岩块。	18.5	15	30	220	82	1 600
中风化斑岩	2.0 ~ 6.0	灰黄色, 岩质稍硬。表层松散、节理裂隙发育丰富, 岩体不完整, 软弱。	22.5	35	40	1 500	150	—
微风化斑岩	6.0 ~ 8.0	深灰色, 岩质坚硬。	23.5	—	—	3 000	—	—

表 2 NA8 塔位杆塔基础作用力

Tab. 2 Tower foundation interaction force of NA8 kN

工况	$F_x$	$F_y$	$F_z$
最大上拔力及对应水平力	264	241	1 594
最大下压力及对应水平力	293	234	1 752

施工图方案设计中因地表有较厚土层, 同时中风化岩石节理裂隙发育丰富, 表层强风化岩石松散不完整, 如用岩石锚杆基础则需要将表层土挖去, 开挖深度已超过大板基础方案, 故施工图设计中 NA8 号塔基础设计方案为人工挖孔桩, 桩径 1.5 m, 桩长 11.0 m (有效埋深 8.5 m, 设计基面为桩顶下 2.5 m)。施工过程中因处理当地雨季, 雨水丰富, 同时岩石节理裂隙发育丰富导致约 -2.5 m 位置出现地下水。施工现场情况如图 1 所示。



图 1 现场情况

Fig. 1 Field condition

铁塔 IV 腿基础施工至天然地面下 7.0 m 时因岩质坚硬, 同时存在有地下水, 难以开挖。经验算此时基础有效埋深仅为 5.0 m, 不满足承载力要求, 需要调整基础方案。

## 2 基础方案选择

因本工程 NA8 号塔位于高山, 地势较陡, 采用大开挖板式基础时开挖方量大, 易产生水土流失, 同时开挖余土无处堆放, 故不便于采用大开挖板式基础。岩石锚杆基础可以充分发挥岩石的力学性能, 提供良好的抗拔承载力, 同时可采用机械化施工, 施工速度快。考虑本工程已开挖 7.0 m 深, 同时底部岩石为微风化岩石, 岩石完整, 基坑底部较为适用岩石基础, 因此本工程选用上部为桩, 下部为岩石锚杆的方案。

## 3 基础设计

岩石锚杆基础在输电线路中已有较多的应用与研究<sup>[2-7]</sup>, 《架空输电线路基础设计技术规程》(DL/T 5219—2014)中并未给出上部为土, 下部为岩石锚杆的基础设计方法。同时程永峰等<sup>[8]</sup>也指出上部为土、下部为岩石的复合式基础的荷载传递机理与变形协调机理尚不清晰, 尚无成熟的设计计算方法。本工程根据二种基础的特性及工程地质特殊性, 在保留一定安全裕度前提下探索将二种基础结合形成桩-岩石锚杆复合基础。

根据二种基础特性及工程实际情况, 本文计算分析中桩-岩石锚杆复合基础计算模型如下:

1) 桩宜设计为嵌岩桩, 嵌岩桩可提供非常大水平承载力, 位移控制较易满足, 故水平承载力计算时考虑全部由桩提供。根据《建筑桩基技术规范》(JCG 94—2008)<sup>[9]</sup>, 对于嵌入倾斜的完整和较完整岩的全断面深度不宜小于 0.4  $d$  ( $d$  指桩径) 且不小于 0.5 m, 倾斜度大于 30% 的中风化岩, 宜根据倾斜度及岩石完整性适当加大嵌岩深度; 对于嵌入平整、完整的坚硬岩和较硬岩的深度不宜小于 0.2  $d$ , 且不应小于 0.2 m。

2) 基础上拔力先由上部桩承受, 不足部分由岩石锚杆承担。

3) 下压承载力由于桩侧阻力及底部基岩共同承担, 岩石可提供非常大抗压承载力, 下压承载力通过计算极易满足。

### 3.1 桩承载力计算

水平力主要控制桩位移值, 送电线路杆塔基础地面处位移一般按 6 mm 或 10 mm 允许值控制。本工程 NA8 号塔为耐张塔故设计按 6 mm 位移控制。



## 4 关键技术要点

### 4.1 计算关键技术

通过计算分析可知计算关键技术要点如下：

- 1) 建立桩-岩石锚杆复合基础计算模型。
- 2) 根据杆塔重要性及基础位移控制值计算出岩石嵌固深度及锚杆承担的基础力。
- 3) 计算岩石锚杆数量与长度，同时保留一定安全裕度。

### 4.2 施工关键技术

- 1) 根据锚杆布置图测量并定出孔位、做出标记。
- 2) 按测量放线位置成孔，成孔水平位置偏差要求不超过 5 mm。
- 3) 钻孔轴线的偏斜率不应大于锚杆长度的 2%。
- 4) 锚杆采用 HRB400 带肋钢筋，锚杆钻孔深度不应小于设计长度。
- 5) 安放锚杆前须将锚孔内石粉、浮土等清理干净。
- 6) 锚桩灌浆可采用 M30 水泥砂浆或 C30 细石混凝土，可掺入少量膨胀剂。浆液自下而上连续灌注，确保孔内顺利排水、排气。

## 5 技术方案对比

针对本工程 NA8 基础，分析几种可选基础方案技术经济经指标对比如表 3 所示：

表 3 不同基础方案技术经济比较

Tab. 3 Technical and economy comparison of different projects

基础 型式	混凝土 量/m <sup>3</sup>	护壁或垫 层量/m <sup>3</sup>	钢筋 量/kg
桩-岩石锚杆复合基础	15.76	4.35	1 098
人工挖孔桩基础	20.72	6.78	1 707
大板基础	29.64	4.62	2 030

通过上表可以看出桩-岩石锚杆复合基础在混凝土用量上及钢筋用量上均优于其他二种基础，混凝土用量比人工挖孔桩节省约 26.9%，比大板基础节省约 41.1%。同时施工速度也较人工挖孔桩快很多，山地应用中能在满足承载力的前提下降低水土流失风险，加快施工速度，减少混凝土及钢筋用量，具备良好的技术经济效果。

## 6 结论

结合山地地区存在上部为土、下部为岩石的地质特点，文章分析了桩-岩石锚杆复合基础在高压架空输电线路中应用的可行性及设计施工的关键技术。在考虑适当安全系数后桩-岩石锚杆复合基础仍具有良好的技术经济效果，相比传统基础可节省混凝土用量、钢筋用量、加快施工进度及减少挖方量。通过理论分析及本工程实际工程应用为桩-岩石锚杆复合基础的设计及应用积累了一定经验，推动了此类新型基础在输电线路中的应用。

### 参考文献：

- [1] 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.
- [2] 李强, 徐志军, 曾德森. 岩石锚杆基础在特高压单回路直流工程中的应用 [J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(7): 22-25. LI Q, XU Z J, ZENG D S. Application of rock anchor rod foundation in single-circuit extra-high voltage DC transmission line project [J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(7): 22-25.
- [3] 何泳超. 岩石基础在实际工程中的应用 [J]. 工程设备与材料, 2017, 4(4): 94-95. HE Y C. Application of rock foundation in practical engineering [J]. Engineering Equipment and Materials, 2017, 4(4): 94-95.
- [4] 王红宣, 谭青海, 郑卫锋, 等. 输电线路岩石锚杆基础的应用探讨 [J]. 青海电力, 2016, 35(1): 8-11. WANG H X, TAN Q H, ZHENG W F, et al. Research on the application of the rock anchor foundation in UHV power transmission line engineering [J]. Qinghai Electric Power, 2016, 35(1): 8-11.
- [5] 张金举, 王习武. 输电线路工程中的岩石基础设计与分析 [J]. 红水河, 2010, 29(3): 104-106.
- [6] 侯中伟, 郑卫锋. 特高压输电线路岩石锚杆基础选型与设计 [J]. 电力建设, 2014, 35(10): 64-68.
- [7] 郑卫锋, 杨文智, 满银. 架空输电线路岩石基础技术规定详解 [J]. 智能电网, 2015, 3(8): 771-776.
- [8] 程永锋, 鲁先龙, 郑卫锋. 输电线路工程岩石锚杆基础的应用 [J]. 电力建设, 2012, 33(5): 12-15.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑桩基技术规范: JCG 94—2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [10] 中华人民共和国建设部/中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 高耸结构设计规范: GB 50135—2006 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.