

输电塔高低腿逆向配置方法研究

许顺德

引用本文:

许顺德. 输电塔高低腿逆向配置方法研究[J]. 南方能源建设, 2022, 9(增刊1): 125-131.

XU Shunde. Research on High-Low Leg Reverse Configuration Method of Transmission Tower[J]. Southern Energy Construction, 2022, 9(增刊1): 125-131.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

海上平台柔性直流技术直流控制保护配置研究

Research on the DC Control and Protection Configuration of VSC-HVDC Technology for Offshore Platform

南方能源建设. 2018, 5(2): 109-114 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.02.015>

±800kV极导线与接地极线共塔线路耐雷性能及双极闭锁反事故措施分析

Analysis on the Lightning Performance and Anti-accident Measures of ±800 kVBipolar Blocking of Polar Wires and Electrode Wires on the Same Tower

南方能源建设. 2018, 5(4): 86-91 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.04.013>

侧向横风作用下角钢输电塔的动力响应研究

Research on Dynamic Responses of a Transmission Tower with Angle Section Members Under Lateral Wind Loadings

南方能源建设. 2015, 2(1): 88-91 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.017>

斜柱基础顶面及塔座板倾斜处理的研究及应用

Research and Application on Tilting Top Surface and Tower Leg Base Plate of Inclined Footing Foundation

南方能源建设. 2016, 3(z1): 148-150 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.032>

直流微电网控制保护策略研究

Research on Strategy of DC Micro-grid Control and Protection

南方能源建设. 2020, 7(4): 61-66 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.04.009>

输电塔高低腿逆向配置方法研究

许顺德[✉]

(广东天联电力设计有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 铁塔基础配置结果直接影响基础方案的准确合理性, 需要解决铁塔高低腿人工配置速度慢、精度低的问题。[方法] 通过常规配置过程分析, 及配置结果对比分析, 提出人工配置过程中的问题。人工配置时精度较低, 特别对于地形较陡或大坡比铁塔的情况人工配置结果可能影响基础安全或基础设计基面偏于保守。通过常规人工配置过程问题分析, 提出逆向配置方法并研发三维配置程序。[结果] 采用逆向配置法配置同一基塔, 结果表明逆向配置法结果精确, 可快速准确计算各参数同时准确计算实际基础露高。[结论] 逆向配置方法精度及效率远优于人工方法配置, 配置结果直观准确, 推荐工程中采用此法配置铁塔高低腿。

关键词: 输电塔; 高低腿; 人工配置; 逆向配置; 精度; 效率

中图分类号: TM7; TM754

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)S1-0125-07

开放科学(资源服务)二维码:



Research on High-Low Leg Reverse Configuration Method of Transmission Tower

XU Shunde[✉]

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

Abstract: [Introduction] The result of tower foundation configuration directly affects the accuracy and rationality of the foundation scheme. The problem of slow manual configuration speed and low accuracy of tower height-low leg need to be solved. [Method] This paper analyzed the configuration process and configuration result, and then this paper put forward the problems in the manual configuration process. The accuracy of manual configuration was low, especially for towers with steep terrain or large slope ratio. The manual configuration results may affected the safety of foundation or caused the foundation design parameters to be conservative. Through the problem analysis of the conventional configuration process, a reverse configuration method and a 3D configuration program were put forward in this paper. [Result] The reverse configuration method is used to configure the same tower, and the result of the reverse configuration method is accurate, which can quickly and accurately calculate the various parameters and accurately calculate the actual exposed height. [Conclusion] The accuracy and efficiency of reverse configuration method are better than that of manual configuration, and the configuration results are intuitive and accurate. It is recommended to use the method to configure the high-low leg in engineering.

Key words: transmission tower; height-low leg; manual configuration; reverse configuration; accuracy; efficiency

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

随着土地资源的日益紧张, 越来越多的输电线路建设在高山大岭中。为了保护环境, 减少土方开

挖及减小水土流失, 山地铁塔采用全方位高低腿与不同基础露高配合的方法进行配置, 采用全方位铁塔长短腿和高低主柱基础相配合技术方案, 达到近乎“零开方”的最佳效果^[1]。不同高低主柱基础设

收稿日期: 2021-10-18 修回日期: 2021-11-07

基金项目: 广东天联电力设计有限公司科技项目“输电线路铁塔高低腿配置技术研究”(GDTL2021005)

计时考虑不同地形对应的设计基面以保证基础设计安全。高山大岭地形复杂,每基地形各不相同,高低腿配置时需要逐基读取测量地形数据进行配置^[2-3],配置时根据不同地形测量数据配置不同的基础露高及高低腿以达到环境保护及保证工程安全的目的。

山地斜坡地区一般均采用高低腿配置方案,而高低腿目前高低腿配置主要靠手工操作^[4-5],常规配置铁塔高低腿时人工读取测量地形图进行配置,配置过程机械化、效率低,且配置精度有限,特别是对于较陡的地形配置结果可能和实际情况有较大出入,导致基础外露高大或基础无法露出天然地面的情况发生。为避免人工配置时基础不安全,通常需要按保守方法配置或采用基础优化设计方案^[6-8]以保证基础安全。人工配置铁塔高低腿时各塔腿位置关系只能在头脑中建模想象,不够直观,容易出现配置错误的情况。侯晓燕^[4]重点研究了高低腿配置中的基础配置,薛乐^[9]研究了常规配置流程下优化配置,目前对常规流程配置精度及效率的研究较少。本文分析了常规人工铁塔高低腿配置流程及配置过程的常见问题,并提出逆向配置法配置铁塔高低腿,进一步地结合VB与CADVBA^[10-12]技术研发三维铁塔高低腿配置程序。

1 高低腿配置流程

目前高低腿配置主流为人工配置,配置方法一般均为常规配置顺序方法^[13-16],人工配置时其步骤如下:

- 1) 根据杆塔定位呼高查询对应铁塔根开,并按平腿根开值画入塔基地形图中。
- 2) 根据塔基地形确定每个腿的设计基面值 H_1 。
- 3) 根据塔基地形确定每个基础主柱加高值 H_2 。
- 4) 计算每个腿基础顶面与中心桩的高差,高差 $=H_1+H_2$ 。
- 5) 根据每个腿基础顶高与中心桩高差值选择合适塔腿。
- 6) 根据最长腿基础顶与中心桩高差确定杆塔呼称高与相对中心桩高差,并核实杆塔呼称高是否满足要求。

铁塔长短腿配置示意图如图1所示,虚线为基础设计基面, H_1 为设计基面与中心桩高差, H_2 为

基础主柱加高值。 H_3 为高低腿的高差值。其中设计基面 H_1 比中心桩低时为负,反之为正。设计基面值为基础有效埋深的计算起点,同时运维巡线时可以根据此值判断基础是否安全。

第一次配置完需要检查各腿的基础顶面的高差值 H_3 是否与塔腿相匹配,如塔接腿级差为1.0 m时,任意二个基础顶面高差值 H_3 需要为1.0倍数,并且 H_3 最大高差值不超过塔腿最大设计高差值。如不满足时返回第2步重新调整匹配,直至满足。

配置完成后根据不同地形塔腿顶与中心桩可能存在一定高差,特别对于地形较陡的位置高差值会更大。

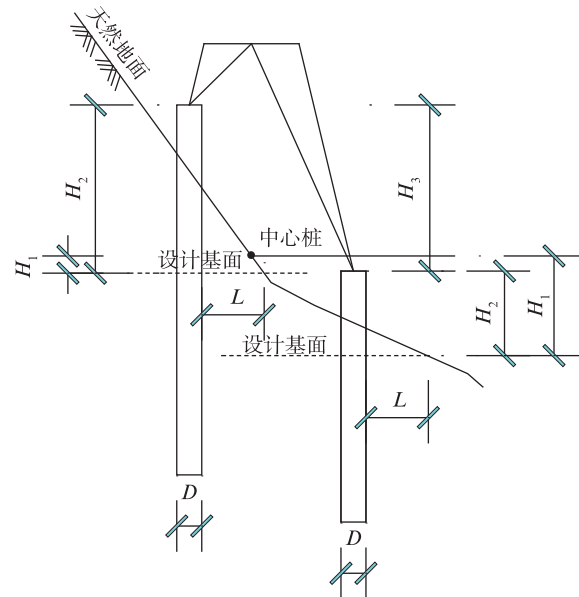


图1 高低腿配置示意图

Fig. 1 High-low leg configuration

程久锋^[14]研究了边坡保护距离计算方法,本文参考其成果并结合实际工程需求,按桩直径 $D=2.0$ m,边坡保护距离 $L=2.5$ m进行高低腿配置分析。工程所用塔型为:2F2W9-J3-30,33 m呼高接腿范围为33-7 m~33 m,腿级差1.0 m,杆塔坡比为0.14,30 m塔腿基础半根开为5.580 m,根据给定的杆塔呼高查询对应铁塔根开画入塔基地形图(0.5 m高差等高线绘制)如图2所示。

在塔基地形图中读出各腿基面,主柱加高值,铁塔高低腿配置结果如表1所示。

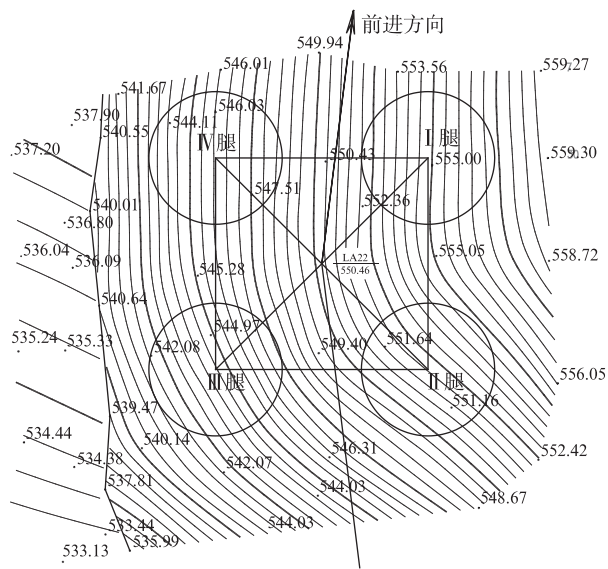


图2 初定塔腿位置

Fig. 2 Initial tower leg position

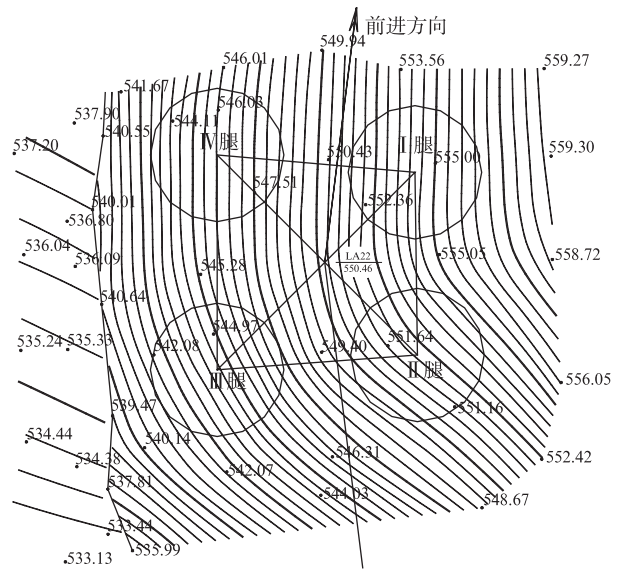


图3 实际塔腿位置

Fig. 3 Actual tower leg position

表 1 配置结果

Tab. 1 Configuration result

腿号	基面/m	主柱加高/m	桩顶高/m	接腿
I	1.5	2.0	3.5	33-7
II	-1.5	3.0	1.5	33-5
III	-9.0	5.5	-3.5	33
IV	-7.5	4.0	-3.5	33

注：(1) 最短腿为30-7 m，I腿降基约1.0 m；(2) I腿为前进方向右上角腿，顺时针旋转依次为II~IV腿。

表 2 塔腿位置变化

Tab. 2 Change of tower leg location

腿号	配置半根开/m	实际半根开/m	塔腿位置变化幅度/m
I	5.580	5.020	-0.792
II	5.580	5.300	-0.396
III	5.580	6.000	0.594
IV	5.580	6.000	0.594

2 配置结果分析

铁塔高低腿配置完成结果可以看出其腿长已与给定呼高的接腿发生变化，最长腿为33 m，最短腿为33-7 m。将配置结果按各腿实际半根开值再次画入塔基地形图中，如图3所示。

由图3可以看出，实际塔腿位置与配置时塔腿初定位置有一定变化。I腿配置后为26 m接腿，比原初定塔腿30 m短了4 m，根据坡比计算其半根开变化幅度为 $0.14 \times 4 = 0.56$ m，塔腿方向位置变化了 $0.14 \times 4 \times 1.414 = 0.792$ m，同理计算出其余三个腿变化幅度如表2所示。

按实际塔腿半根开值再次核算各腿设计基面及主柱高，结果如表3所示。

由表3可以看出，I、III、IV腿基础设计基面均发生变化，原设计的基础基面值与实际的基面值并不一致。如杆塔坡比大或地形更陡时塔腿位置变

表 3 配置结果

Tab. 3 Configuration result

腿号	基面/m	主柱加高/m	桩顶高/m	接腿
I	1.0	2.5	3.5	33-7
II	-1.5	3.0	1.5	33-5
III	-9.5	6.0	-3.5	33
IV	-8.0	4.5	-3.5	33

化幅度会更大，基面变化也可能更明显。配置后基础主柱加高值也发生变化，有增加有减小。如采用人工按实际位置再次配置则工作量会明显增大，使得本身配置速度就慢的工序更为效率低下。对于地形较平缓位置虽然人工配置精度不高，但基本可以满足工程应用，考虑精度与效率一般人工配置时不再根据实际值再次调整基面及主柱加高。由以上分析可以看出人工配置时基础设计基面与基础主柱加高值可能与实际情况不符，在地形较陡或杆塔坡比较大时更为明显，可能出现基础无法外露或实际外露较原设计大情况。

基础计算时设计基面以上基础长度不计入有效埋深，如基础主柱加高较大时主柱加高过大容易计算不通过，故基础主柱加高较大时一般建议输入地质时按基面以下实际地质输入，而不是直接按地质描述从上到下输入。人工配置时配置速度慢，同时精度低，配置过程不能快速精确的得到基面地层高程信息，一般需采取保守输入地质方法。如塔腿位置发生较大变化，人工读取的实际外露值与实际的基础露出天然地面值差异较大，无法精确计算出设计基面与天然地面的关系，基础计算时无法精确按实际地质输入，导致基础优化困难。

综上人工配置速度慢，同时精度也不够高，仅能满足一般工程需要，无法适应精细化设计及工期紧的工程要求。

3 配置方法改进

常规人工配置高低腿时根据基础半根开值定基础设计基面，再定主柱加高值，最后选接腿并计算杆塔呼称高。选完接腿后才确定定位呼称高（即最下层导线横担底与中心柱之间的垂直距离）。杆塔

呼高因最终选定的接腿的半根开值与初始配腿选定的半根开值可能不一致导致其精度不高，需要多次叠代才可将精度提高，即将配置结果再次绘制在塔基地形图中依此调整复核设计基面、主柱露高等数值^[16]。如采用与人工配置方法相反的流程，即在三维空间中先假定一个配置后的呼高横担下平面位置，并根据给定杆塔呼称高选定合适的接腿再定基础设计基面及基础主柱高度则配置前后接腿未发生变化即可以解决常规方法配置精度不高的问题。本文称此法为逆向配置，逆向配置方法流程图如图4所示。

杆塔接腿按基本身由低到高、接腿由短到长排序，以便逐个接腿进行匹配计算。为提高配置效率一般需要根据给定的呼称高选定优选接腿范围，如给定30 m呼高，相对中心桩高差0.5 m，则优选给定范围可以为30 m、33 m、36 m三个基本身对应的所有不等高接腿，范围1~范围3依次为三个基本身对应接腿。配置时首先确定目标值即铁塔基础的实际允许露高范围，在允许范围内的最优接腿配置即选定为配置结果，如图4所示。

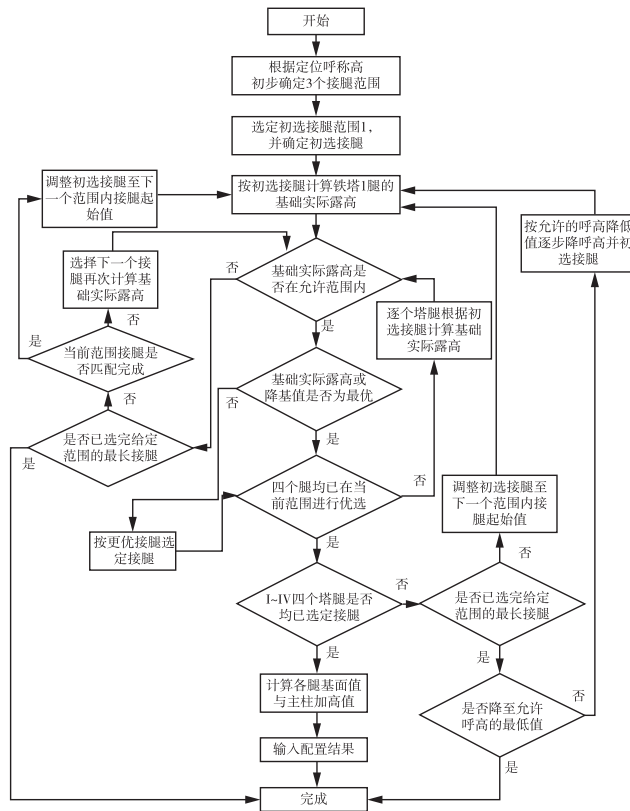


图4 配置流程图

Fig. 4 Configuration flow chart

如给定 30 m 呼高，0.5 m 中心桩，即杆塔呼称高为 30.5 m。配置时初定配置后杆塔呼称高即为 30.5 m，即首先在空间中确定最下层横担位置，最下层横担高于中心桩 30.5 m。配置时铁塔 I 腿初选接腿为 30 m 呼高本身对应的最短腿 (30-7) m 接腿 (即接腿塔腿板底至下层横担底高度为 23 m 的塔，文中简称接腿高)，查找此接腿基础半根开 dd ，并计算基础所在位置地面高程 d_1 ，再根据初定的杆塔呼称高判断此接腿基础的实际外露高度 h 是否满足，不满足要求则继续判断 (30-6) m、(30-5) m、(30-4) m……30 m 接腿，直至选出铁塔 I 腿最优接腿 (外露或平基最小的接腿)，然后在 30 m 呼高本身对应的接腿范围再依次选择铁塔 II~IV 腿的接腿。如四个腿均已选出优选结果则逐个计算基础设计基面与主柱加高值，最后输出计算结果，否则返回采用 33 m、36 m 呼高本身对应的接腿再次重选。如此循环直至选出符合要求的最优接腿。给定范围全部选择完毕未选出合适接腿时则降低杆塔呼称高再次重选直到选出符合条件最优接腿。配置示意图如图 5 所

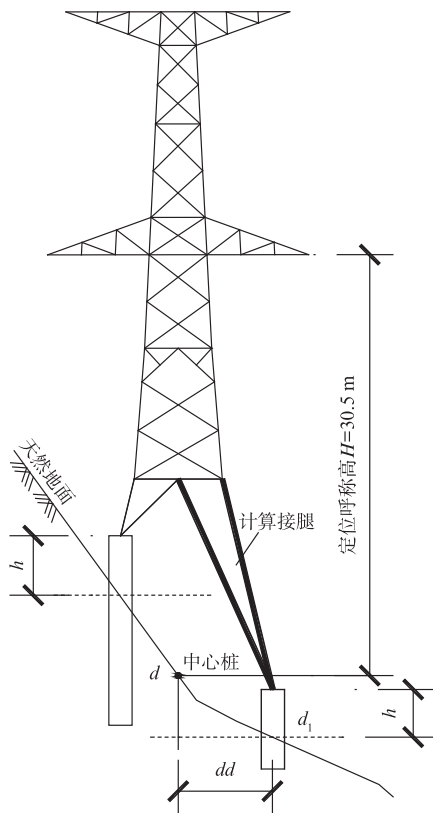


图5 配置示意图

Fig. 5 Configuration schematic diagram

示，最优接腿高度 H 计算过程如式 (1) 所示。

$$H = d + h - \text{计算接腿} - \text{高} - d_1 \quad (1)$$

逆向配置需要按给定呼称高根据不同接腿高度及基础半根开值计算不同基础位置对应的基础实际外露值，需要逐个基本身逐个不等高接腿不断计算，直到选出最优结果。接腿选定后根据各接腿高与各腿位置对应的地面高程即可计算出各腿基础的实际外露值。四个塔腿均配置出最优塔腿时配置结束并输出配置结果。

高低腿选定后在空间中以塔腿横剖面为基准面即可绘制三维图，塔腿基面计算时计算 45° 方向数据点高程结合中心桩高程、各腿基础顶高程即可绘制铁塔各方向断面图。

4 软件研发及工程应用

逆向配置方法可以解决配置精度问题，人工配置效率却受限。人工读塔基地形图速度慢，如采用本文方法需要不断试配，工作量呈倍增长，故人工配置工作量太大无法实现逆向配置方法。为解决逆向配置法人工配置效率低的问题研发程序进行配置。程序读入 CAD 塔基地形图效率远高于人工读取，同时程序计算效率远远高于人工处理，故程序设计采用逆向配置方法进行配置。

地形图处理方法有较多^[15-16]，本文采用较为通用的 CADVBA 二次开发技术读取地形图数据，根据逆向配置方法研发三维铁塔高低腿配置程序。以下工程配腿数据由软件配置得出。

采用逆向配置法配置同一基铁塔高低腿，配置结果如表 4 所示。

表 4 配置结果

Tab. 4 Configuration result

腿号	基面/m	主柱加高/m	桩顶高/m	接腿	实际露高/m
I	1.0	2.5	3.5	33-7	-0.55
II	-1.5	3.0	1.5	33-5	-0.15
III	-9.5	6.0	-3.5	33	2.97
IV	-8.0	4.5	-3.5	33	1.12

由表 4 可以看出，逆向配置法配置结果与人工配置叠代后结果一致，程序配置高低腿结果准确，配置精度高，配置过程精确计算各腿基面、主柱加高值并且结果准确显示各腿的实际露高值，配置结果可直观准确地显示基础配置全部结果。

采用逆向配置法三维配置结果如图6所示。

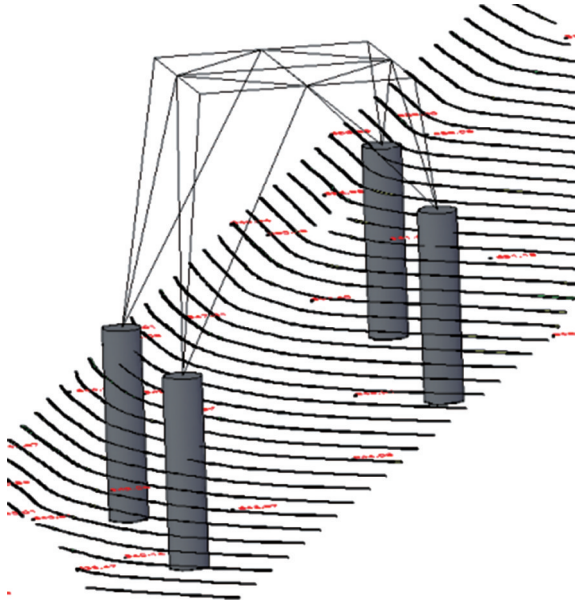


图6 三维配置图

Fig. 6 3D configuration map

人工配置时配置图仅为二维平面图，如图2所示，其结果不直观。由图6三维配置结果可从各个角度直观显示各塔腿位置及基础实际外露情况，进一步生成塔基断面显示各个方向的断面图，配置结果更方便指导施工。

人工配置想要得到精确的配置结果需要不断叠代^[16]，同时需要人工计算基础外露值，人工处理量大，速度慢。逆向配置方法根据选择的塔腿可一次性准确计算设计基面、基础外露等数据。逆向配置流程明确可容易将此方法移植入程序中，程序化配置效率将大大提高。根据工程应用，程序化逆向配置与人工配置效率对比如表5所示：

表5 配置效率对比

Fig. 5 Comparison of configuration efficiency

塔数量(基)	总耗时(平均耗时)/s		人工/逆向配置
	程序逆向配置	人工配置	
A工程80基	473(5.91)	32 800(410)	69.37
B工程65基	377(5.97)	26 575(395)	66.16
C工程63基	364(5.59)	26 019(413)	73.88

由表5可以看出采用逆向配置法程序配置效率远高于人工配置高，平均效率是人工配置时的69.8倍，在批量配置高低腿时程序化逆向配置法的优势更为明显。

5 结论

1) 人工配置铁塔长短腿工作量大、效率低，同时配置精度有限，对于较陡地形或大坡比铁塔时可能出现配置精度不够的情况。

2) 人工配置时，基础设计基面与基础主柱加高值可能与实际基面、实际基础主柱加高不符，需要进一步修正。

3) 本文提出逆向配置方法，实际工程应用表明逆向配置方法精度高，可有效解决人工配置精度不足问题。

4) 逆向配置方法具有高效、直观的优点，配置结果准确直观，同时三维配置结果非常直观，更有利于指导工程施工。推荐在工程中使用程序化逆向配置法配置高低腿。

参考文献：

- [1] 鲁先龙,程永锋. 斜坡地形输电线路基础和杆塔的配合技术[J]. 电力建设, 2011, 32(8): 29-33. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2011.08.006.
LU X L, CHENG J F. Study on technology of foundation to match tower structure of transmission line on sloping ground [J]. Electric Power Construction, 2011, 32(8): 29-33. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2011.08.006.
- [2] 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.
National Energy Administration. Technical code for design of foundation of overhead transmission line: DL/T 5219—2014 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2014.
- [3] 中国电力工程顾问集团有限公司, 中国能源建设集团规划设计有限公司. 电力工程设计手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2019.
China Power Engineering Consulting Group Co., Ltd., China Energy Engineering Group Planning & Engineering Co., Ltd. Power Engineering Design Manual [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2019.
- [4] 侯晓燕,崔强,鲁先龙,等. 输电线路高低腿杆塔基础配置策略及软件研发 [J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10(增刊2): 1917-1921.
HOU X Y, CUI Q, LU X L, et al. Configuration strategy and software development of high-low leg tower foundation for transmission line [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2014, 10(Supp. 2): 1917-1921.
- [5] 秦庆芝,于泓,张益国,等. 输电线路不等高基础设计及试验研究 [J]. 电力建设, 2008, 29(12): 26-30. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2008.12.007.
QIN Q Z, YU H, ZHANG Y G, et al. Design and experiment

- studies of transmission line uneven height foundations [J]. *Electric Power Construction*, 2008, 29(12): 26-30. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2008.12.007.
- [6] 黎景辉. 多扩头挖孔桩基础在输电线路中的应用 [J]. *南方能源建设*, 2020, 7(增刊 2): 45-49. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.007.
- LI J H. Application of multiple heads pile foundation in transmission line [J]. *Southern Energy Construction*, 2020, 7 (Supp. 2): 45-49. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.007.
- [7] 许顺德. 桩-岩石锚杆复合基础在架空输电线路中的应用 [J]. *南方能源建设*, 2017, 4(增刊 1): 116-119. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.022.
- XU S D. Application of pile rock anchor composite foundation in transmission line [J]. *Southern Energy Construction*, 2017, 4 (Supp. 1):116-119. DOI:10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.022.
- [8] 丁士君, 金建华, 鲁先龙. 输电线路新型复合式基础的设计与应用 [J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2011,44(增刊 1):210-213.
- DING S J, JIN J H, LU X L. Design and application of novel composite foundations to transmission lines [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2011,44(Supp. 1):210-213.
- [9] 薛乐. 输电线路铁塔长短腿与高低基础配置的优化研究 [D]. 吉林: 吉林建筑大学, 2015.
- XUE L. Study on optimization of transmission tower leg length and height of the base configuration [D]. Jilin: Jilin Institute of Architecture and Civil Engineering, 2015.
- [10] 明日科技. *Visual Basic 从入门到精通* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- Tomorrow's Science and Technology. *From introduction to mastery of Visual Basic* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017.
- [11] 张晋西. *Visual Basic 与 Auto CAD 二次开发* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- ZHANG J X. *Visual Basic and Auto CAD secondary development* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [12] 张帆, 王成煌, 郑立楷, 等. *AutoCAD VBA 二次开发教程* [M]. 北京:清华大学出版社, 2006.
- ZHANG F, WANG C H, ZHENG L K, et al. *Secondary development course of AutoCAD VBA* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [13] 余天生, 赖惠君, 叶伟力, 等. 铁塔高低腿配置的计算方法、系统及存储介质: CN 111709115 A [P]. 2020.
- YU T S, LAI H J, YE W L. High-low leg configuration method system and storage medium of transmission tower: CN 111709115 A [P]. 2020.
- [14] 程永锋, 鲁先龙, 郑卫锋. 斜坡地形输电线路基础设计研究 [J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2009,42(增刊 2):277-280. DOI: CNKI: SUN: WSDD. 0. 2009-S1-059.
- CHENG Y F, LU X L, ZHENG W F. Research on relationship between surface height and buried depth increase of excavated foundation in slope terrain [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2009(Supp. 2):277-280.
- [15] 祖为国, 杨忠祥. 基于 ObjectARX 的输电线路塔基地形图批量自动绘制 [J]. *黑龙江工程学院学报(自然科学版)*, 2014, 28(2):32-34. DOI: 10.19352/j.cnki.issn1671-4679.2014.02.009.
- ZU W G, YANG Z X. The topographic map of transmission lines drawn automatically based on ObjectARX [J]. *Journal of Heilongjiang Institute of Technology(Natural Science Edition)*, 2014,28(2): 32-34. DOI: 10.19352/j.cnki.issn1671-4679.2014.02.009.
- [16] 何雄. Delaunay 三角网点定位算法在输电线路设计中的应用 [J]. *山东工业技术*, 2019(8): 208. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2019.08.188.
- HE X. Application of delaunay triangular network point location algorithm in transmission line design [J]. *Journal of Shandong Industrial Technology*, 2019(8): 208. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2019.08.188.

作者简介:



许顺德

许顺德 (通信作者)

1988-, 男, 广东梅州人, 高级工程师, 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)