

长短腿输电线路铁塔的优化分析

赵瑜, 张晓燕, 靳彩

(华北水利水电学院 土木系, 河南 郑州 450011)

摘要:采用有限元法对输电线路中使用的长短腿铁塔和非长短腿铁塔结构进行计算比较,分析了长短腿的形式对铁塔塔身受力的影响,并对长短腿铁塔塔身的腹杆形式、开口、根开和截面材料进行了优化研究。最后给出设计建议供参考。

关键词:长短腿;铁塔;有限元

中图分类号:TM 753 **文献标识码:**A

在山区输电线路铁塔的结构形式中,当根开较宽,塔位地形高差较大,开挖基面可能对塔基稳定和自然环境产生不利影响时,宜设计长短腿,即铁塔四个面的起始高度都有一定的差距。铁塔长短腿,即设计铁塔时为适应塔腿间的地形高差而设计成不同长度的塔腿形式,主要适用于地形不平的区域^[1]。由于长短腿的存在,造成铁塔上部受力不均,致使结构在荷载作用下,与非长短腿相比较会有很大差异,给设计带来一定困难。因此本文以降低由于长短腿铁塔引起主材受力不均的影响高度范围为目标,在满足经济性条件下,采用离散的优选方法,对长短腿铁塔进行了优化设计研究。

1 计算模型

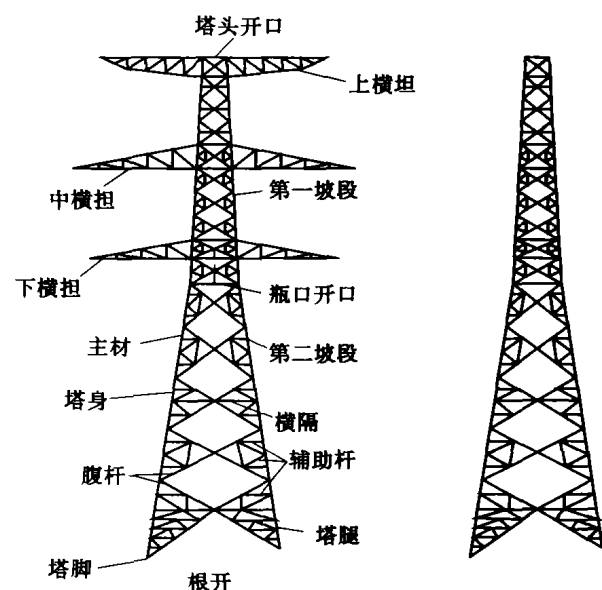
1.1 结构形式

所研究的塔为使用最广的自立式铁塔,塔形属于空间桁架结构,结构设计的主要任务是选择合理外形尺寸、杆件截面形式以及腹杆形式等。

图 1 为在郑新 500 kV 输电线路 SZT 1(4) 双回路直线塔 36 m 呼高(即最低层悬挂导线横担距地面的高度)的塔身尺寸的基础上,改变塔腿尺寸,使四条塔腿高差均为 1 m,形成了长短腿的结构。

1.2 计算模型

通过实际考证和设计经验知,长短腿对塔身第



(a) 立面图

(b) 侧面图

图 1 长短腿铁塔的单线图

一坡段的杆件受力没有影响,但对第二坡段的塔身有很大影响。所以主要以郑新 500 kV 输电线路 SZT 1(4) 双回路直线塔的塔身为基础,运用 ANSYS 的有限元分析 (FEA) 软件,对所选长短腿铁塔第二坡段的塔身进行了优化设计研究。

由于铁塔杆件主要由单根等边角钢组成,杆件间连接采用粗制螺栓连接。在用 ANSYS 软件进行建

收稿日期:2004-02-20;修订日期:2004-05-04

作者简介:赵瑜(1964-),男,河南浙川人,华北水利水电学院土木系教授,天津大学在读博士研究生,主要从事工程结构理论分析和试验研究。

模计算时,采用 LINK 8-3D Spar(or Truss)的单元形式,即空间轴心受力杆件,杆件间用铰接的方式连接,塔脚与大地之间采用刚性连接.[2]

由于这里主要研究不同塔型的塔身在外力作用下的受力分布规律,未考虑实际荷载的数值,荷载一律取 20 kN,分别以水平和垂直方向作用在瓶口的 4 个节点上,图 2 为其计算简图.其瓶口开口尺寸:3.800 m;根开尺寸:10.569 m.杆材采用 Q 235, Q 345 级钢.

横隔分别位于瓶口开口、中间、塔腿上部 3 处,如图 3 所示.

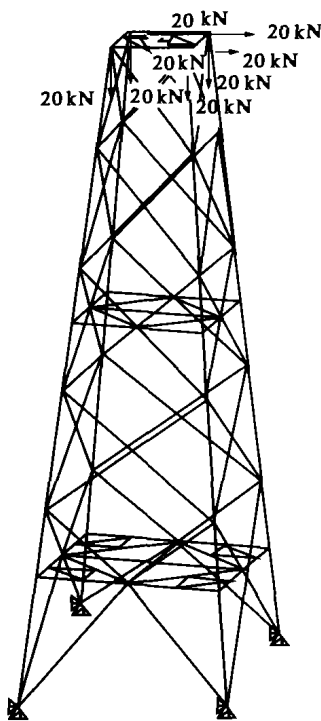


图 2 长短腿第二坡段计算简图

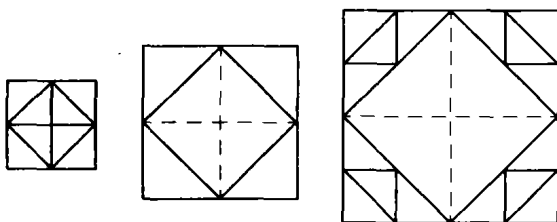


图 3 横隔布置形式

2 腹杆布置优化

由于长短腿塔主要用于山区大跨越铁塔中,所以,这里主要对用于大跨越铁塔有辅助杆的双腹杆系、K 形腹杆系进行计算比较、分析.

图 4 为 3 种腹材布置方式的双回路铁塔结构形式.由计算得直方图,如图 5,6 所示.

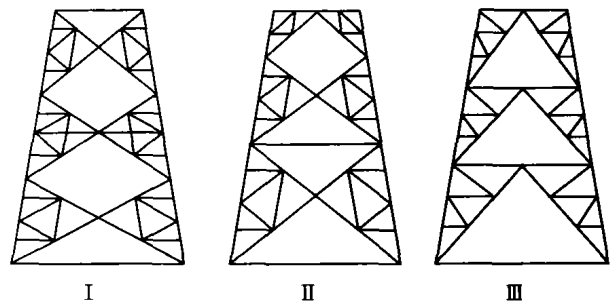


图 4 双回路铁塔腹杆布置形式

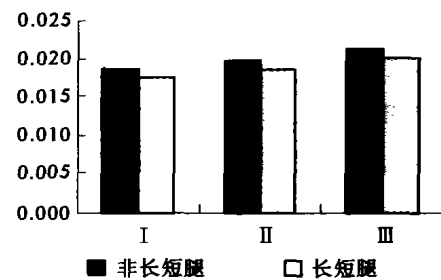


图 5 3 种塔型最大挠度比较

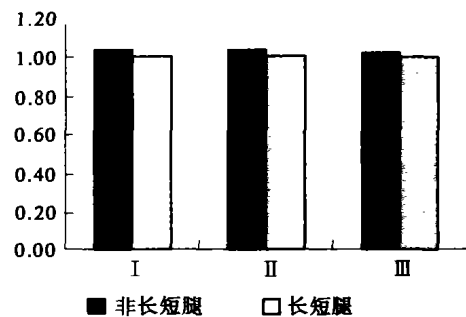


图 6 3 种塔型总体积比较

经分析知:

1. 主材轴力从下到上受长短腿存在的影响越来越小,塔腿处影响最大.长短腿对塔型 II 的影响高度范围比塔型 III 降低一个节间.

2. 非长短腿的铁塔,横担和侧腹杆的受力几乎全为零;而在长短腿铁塔中,在横担处有零杆,侧腹杆处存在一定的内力,尤其塔腿腿部,侧腹杆内力最大.

3. 塔型 II 和塔型 III 受压塔腿轴力比塔型 I 稍微有点增加,但受压主材轴力明显降低.

4. 长短腿和非长短腿相比较,最大变形有所降低(如图 5 所示),总体积有所减小(如图 6 所示).

5. 这 3 种塔型受压主材内力从下到上越来越小,但受压腹材内力却逐渐增加.塔型 III 的受压腹材内力明显超过了受压主材的内力值.

根据 3 种塔型的受力情况、对长短腿的影响程

度,得出塔型Ⅱ基本符合要求,是一种适合长短腿的腹材布置方式.

3 开口根开的优化

塔身的坡度和布材对整塔重量的影响至关重要,它直接影响主材和腹杆的规格.^[3]合理的塔身坡度使塔身主材应力分布的变化与材料规格的变化相协调,使主材受力状态较均匀.根据对实际工程的统计,塔高与根开之比一般小于10,大多在5~7之间;双回路直线塔塔身坡度一般为9%~12%.为保证铁塔具有足够的刚度,塔身上下口不宜过小.

塔身上下口的大小,决定铁塔根开和塔身坡度,而铁塔根开和塔身坡度直接影响铁塔构件的受力状态.根开增大,主材受力降低,材料规格减小,与此同时塔身腹杆受力也变小,但腹杆与辅助材几何尺寸增大,材料构造布置变得复杂,使塔重相应增加.基础作用力随根开增大而减小,使基础造价降低.所以在满足铁塔承载力和刚度的前提下,综合考虑塔身重及主材受力情况等因素,以塔身坡度和根开为变量进行优化设计.选取

瓶口开口:3.5 m,3.6 m,3.7 m,3.8 m,3.9 m,4.0 m,4.2 m

根开:8.5 m,9.0 m,9.5 m,10.0 m,10.5 m,11.0 m,11.5 m,12.0 m,12.5 m,13.0 m,13.5 m

优化设计计算结果如图7~8所示,图中横坐标的11个点分别代表11种根开的情况,而每一条线都代表每一种开口不同根开的情况.通过分析得出:

1. 从总体积比较图可以看出,在同一开口的条件下,塔身的总体积随着根开的增大而逐渐增大,近似呈线性增加,而4.2 m开口时呈不规则变形.

2. 从最大变形的比较图看出,在同一开口的条件下,塔身的最大变形随着根开的增大而逐渐减小.在10.0 m根开之前塔身的最大变形的变化呈线性减小趋势,从10.0 m根开以后,塔身的最大变形的变化随着根开增大而减小的趋势趋于平缓.

由于在一定范围之内,塔身的根开、开口的变化对塔身主材内力的影响呈线性减小趋势,对塔身的体积呈线性增加趋势,最大变形呈减小趋势.而相同条件下长短腿塔身的最大变形比非长短腿塔身的最大变形有所降低,所以在以后的设计中,可以选择根开和开口比较小的塔型,这样可以在最大变形不变的条件下,使塔身体积降低.

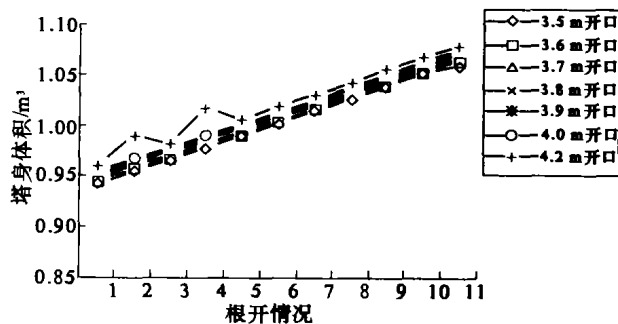


图7 不同开口的总体积比较

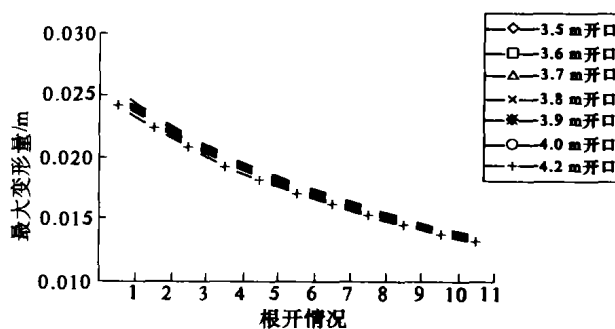


图8 不同开口塔身的最大变形比较

4 杆件截面的优化

由于以上开口根开的优化都是在材料规格一样的情况下进行的,通过计算知,长短腿铁塔的主材受力不平衡,这样不免造成了长短腿铁塔主材的浪费.因此对长短腿铁塔的主材的优化很有必要.

空间桁架式铁塔的力传递是由结构的刚度分配的.而影响刚度的因素主要是 EI 和计算长度 l_0 ,其中 l_0 与结构的形式和腹材的布置有关,而 EI 与材料的规格有关.所以,针对材料的规格进行优化设计.

受压主材除满足强度要求外,还要满足刚度要求,而受拉主材仅考虑强度要求即可.通过计算知,受压主材的轴力值比受拉主材的轴力值大很多,基本得到充分利用,所以仅对受拉主材进行优化设计.

通过计算知,受拉主材从下到上依次为11-41,13-43,41-51,43-53,51-61,53-63,61-91,63-93,91-201,93-203杆件.对这些杆件按表1方案进行6次优化.分析得:

1. 这6种受拉杆件的截面优化方案,塔腿的受力特性几乎没变.

2. 在第4种方案之后,杆件40-50与杆件42-52,杆件50-60与杆件52-62的受力达到完全平衡,非常接近与长短腿时的情况.杆件60-90与杆件62-92,杆件90-200与杆件92-202的受力均衡程度也比以前有了很大的提高.

表 1 杆件优化选择方案

杆号	0	1	2	3	4	5	6
11-41	∠160×12	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5	∠56×4
13-43	∠160×12	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5	∠56×4
41-51	∠160×12	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5	∠56×4
43-53	∠160×12	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5	∠56×4
51-61	∠160×12	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5	∠56×4
53-63	∠160×12	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5	∠56×4
61-91	∠160×14	∠100×8	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5
63-93	∠160×14	∠100×8	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5
91-201	∠160×14	∠100×8	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5
93-203	∠160×14	∠100×8	∠80×6	∠75×6	∠75×5	∠70×5	∠63×5

注:0 为受拉杆件初始规格,1 为受拉杆件的第 1 次优化,以下以此类推。

3. 在第 4 种方案之后,杆件 41-51 与杆件 43-53,杆件 51-61 与杆件 53-63 的受力达到完全平衡,非常接近与长短腿时的情况。杆件 61-91 与杆件 63-93,杆件 91-201 与杆件 93-203 的受力平衡程度比前面的方案有所降低。但是由于轴心受拉构件只考虑强度条件,不受稳定性条件的限制,所以在整体设计中影响不大。因此,选用第 4 种受拉截面的优化方案,即改变受拉主材规格从∠160×14 到∠75×5,从∠160×12 到∠70×5,但强度不变。

5 结 语

1. 腹材的布置对长短腿塔身的内力平衡性有很大的影响;

2. 根开和开口对长短腿塔身的影响大致呈线性变化,在以后的设计中可以选择根开和开口比较

小的塔型,这样可以在最大变形不变的条件下,使塔身体积有所降低。

3. 受拉主材截面的优化对长短腿铁塔主材内力的平衡性起着关键作用,而对其经济性也有很大影响。所以在铁塔结构设计中,不能按非长短腿设计,否则结构的应力分布不均,而且会造成不必要的浪费。

参 考 文 献

- [1] DL/T 5154-2002, 架空送电线路杆塔结构设计技术规定[S].
- [2] 谭建国. 使用 ANSYS 6.0 进行有限元分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- [3] 能源部东北电力设计院. 电力工程高压送电线路设计手册[R]. 长春: 东北电力设计院, 1989.

The Optimization Design of Unequal Legs Transmission Tower

ZHAO Yu, ZHANG Xiao-yan, JIN Cai

(North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: In the mountains areas, the unequal legs transmission iron tower ought to be designed when the distance between the tower's legs is larger, or the fluctuation of tower's topography is greater. Because four original altitudes of iron tower is not in the same horizontal, the difference in the performances from the equal leg iron towers is caused. FEM (Finite Element Method) is used to compute and analyze the two iron towers and deduce the rules of the unequal legs to the tower's body. By following the rules, the arrangements of web members, the dimensions of the hatches and materials of sections are optimized in order to reduce the imbalance ranges of the internal forces of tower's body and satisfy the economical request.

Key words: unequal legs; iron tower; finite element method