

陡峻山区输电铁塔与基础连接形式设计研究

孙珍茂, 赵庆斌

(四川电力设计咨询有限责任公司, 四川 成都 610016)

摘要: 随着电压等级的提高, 输电铁塔的根开也越来越大。即使采用长短腿加高低基础方案, 对地形坡度大于 50° 的塔位仍然难以满足要求。为了降低铁塔基础造价、降低基础施工难度和尽量减少降基开挖引起的环境破坏, 提出了直独立塔架、斜独立塔架与联合塔架等输电铁塔与基础的连接形式。研究了连接结构位移对铁塔杆件内力的影响, 提出了连接结构水平位移的控制值为8 mm、竖向位移的控制值为4 mm。提出了各连接结构的设计方法, 并以某工程为例进行了技术经济分析, 结果表明所提出的铁塔与基础的连接形式节约基础本体费用效果明显, 不少连接形式甚至可以节约一半基础本体费用。

关键词: 陡峻山区; 输电塔; 直独立塔架; 斜独立塔架; 联合塔架

Abstract: With the voltage level increasing, the foot distance of transmission tower is bigger and bigger. The tower leg is difficult to fit the 50° slope terrain even using long-short leg and height-low foundation. Erect independent tower, inclined independent tower and union tower are presented to connect transmission tower and foundation, which can lower the foundation price, reduce the difficulty of construction and decrease the environmental damage. The effect of displacement of connecting structure acting on members' forces is studied. It is proposed that the limited horizontal displacement value is 8 mm and the limited vertical displacement value is 4 mm. The design method of different connecting structure is presented and the economic analysis is carried out with a certain project. The result shows that the proposed connecting structures can reduce the cost of foundations obviously.

Key words: steep mountainous areas; transmission tower; erect independent tower; inclined independent tower; union tower

中图分类号: TM753 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)02-0063-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.02.015

0 引言

四川地区输电线路多在崇山峻岭中走线, 塔基处地形陡峻, 不少塔位坡度已达 50° 以上。同时随着电压等级的提高, 输电铁塔的根开也越来越大, 如同塔双回500 kV线路铁塔的对角根开已达20 m以上。该塔基处即使采用铁塔长短腿加高低基础方案, 也难以满足地形要求, 如图1(a)所示。以往工程常采取两种措施来解决这个问题。

(1) 降低输电铁塔短腿的基面, 如图1(b)所示。该措施造成土石方开挖量大, 费用高, 对环境的破坏很严重, 对塔基的地质稳定有较大的影响, 存在安全隐患。

(2) 将输电铁塔长腿的基础向上延伸使之与铁塔连接, 称之为高立柱基础。立柱高度较小时, 高立柱基础是较为理想的措施。但当立柱高度较大时,

则有两个较大的缺点: ①在交通条件及施工场地条件都很恶劣的山区, 模板高度越大, 施工难度越大。②高立柱基础的埋深大, 混凝土的消耗量相应也很大, 不经济。

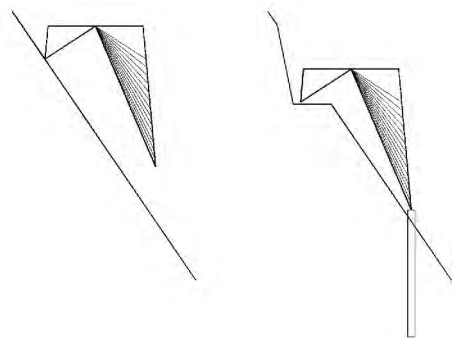


图1 陡峻山区塔腿示意图

为了克服以上两种常用措施的缺点, 提出了直独立塔架、斜独立塔架和联合塔架这3种基础与输电铁塔的新型连接形式。

1 几种连接形式

直独立塔架是由高立柱基础变化而得到,即将露出地面以上的立柱改为由钢材组成的空间塔架结构,它可以减小地面以下基础的直径、降低混凝土的用量,降低混凝土施工难度。

斜独立塔架是由直独立塔架沿着塔腿主材方向倾斜得到,其各个横截面仍为方形。由于倾斜的作用,斜独立塔架所受的竖向力可以抵消一部分水平力产生的弯矩,从而起到减小连接结构顶部水平位移的作用。

联合塔架由立柱和横梁组合而成,水平力由横梁直接传递到土中,减小了立柱所受的弯矩。联合塔架输电铁塔塔腿处的水平位移主要由与横梁相连基础的顶部位移产生。联合塔架的立柱主要受竖向压力作用,弯矩很小,因此其底部根开较小,只需安装在单个基础之上,既节约了混凝土,也解决了直独立塔架的下坡侧腿离地面仍较高的缺点。

2 连接结构位移控制值

当输电铁塔的一条塔腿安装在连接结构上,另外 3 条塔腿安装在基础之上时,如果连接结构的刚度远小于基础的刚度,则与连接结构相连的塔腿相对于其他 3 条塔腿就有附加变形,它会引起输电铁塔内的附加应力。连接结构除了要有足够的强度外,还要有足够的刚度,使铁塔内杆件的附加应力限制在一定范围之内。因此,设计连接结构之前需先确定连接结构的位移控制值。

2.1 非耦合计算

将某工程所采用的直线塔和转角塔根据基础作用力大小分为 5 组,分别为直线塔 Z1、Z2、Z3 和转角塔 J1、J2。将各组输电塔的 3 个腿设为铰结,另一个腿处分别作用 10 mm 的水平位移和 10 mm 的竖向位移,通过有限元分析得到输电塔杆件内的附加应力。各组输电塔附加应力较大的部位都基本相同,都是在腿部横隔面、变坡点横隔面、塔身斜材及腿部主材处附加应力较大。水平位移和竖向位移引起的附加应力比如表 1、表 2 所示。

由表 1 可知:不论是直线塔还是转角塔,水平位移在腿部横隔面处杆件中产生的附加应力都最

表 1 10 mm 水平位移在铁塔内产生的附加应力百分比

杆件部位	腿部横隔面 / %	变坡点横隔面 / %	塔身斜材 / %	腿部主材 / %
直线塔 Z1	26	10	9	1.2
直线塔 Z2	29	12	8	1.2
直线塔 Z3	32	9	7	1.2
转角塔 J1	40	13	6	1.6
转角塔 J2	37	15	5	1.7

大,变坡点横隔面次之,塔身斜材最小。其中,塔身斜材中附加应力最大的是腿部斜材和变坡点隔面下面的 K 材。主材的应力比只增加了 1.2%,因此,水平位移对主材应力基本没有影响。

表 2 10 mm 竖向位移在铁塔内产生的附加应力百分比

杆件部位	腿部横隔面 / %	变坡点横隔面 / %	塔身斜材 / %	腿部主材 / %
直线塔 Z1	72	65	31	10
直线塔 Z2	71	66	29	10
直线塔 Z3	82	48	27	10
转角塔 J1	90	50	18	9
转角塔 J2	90	50	18	9

由表 2 可知:与水平位移产生的附加应力类似,竖向位移也是在腿部横隔面处产生的附加应力最大,变坡点横隔面处次之,塔身斜材再次之,主材最小。

由表 1 与表 2 对比,可知:竖向位移远大于水平位移产生的附加应力,特别是竖向位移对塔身斜材的影响远比水平位移大,竖向位移在腿部主材上产生的附加应力也达到 10%,不能忽略。

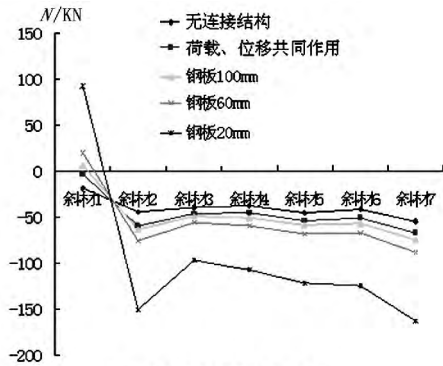
连接结构的设计不仅要控制水平位移,更需要控制竖向位移。位移的控制值应以塔身斜材和腿部主材不超过设计值的原则来确定。经过计算分析得到连接结构设计时水平位移的控制值为 8 mm,竖向位移的控制值为 4 mm。

2.2 耦合计算

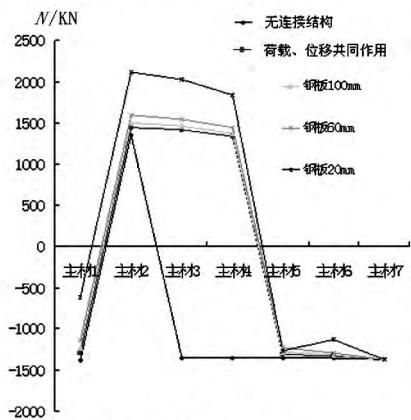
非耦合计算是将铁塔的基础作用力作用在连接结构的顶端,从而得到连接结构的位移值,然后将该位移值作用于输电铁塔的塔腿,就可以求得铁塔中的附加应力。由于基础作用力是基于铁塔塔腿铰接于基础顶部的计算模型而得到的,而连接结构自身的变形则比较大,由铰接模型得到的基础作用力与作用于连接结构顶部实际的作用力存在差异。因此,需要将输电铁塔与连接结构作为整体来计算连接结构位移对输电铁塔内力的影响,即将两者耦合

计算。

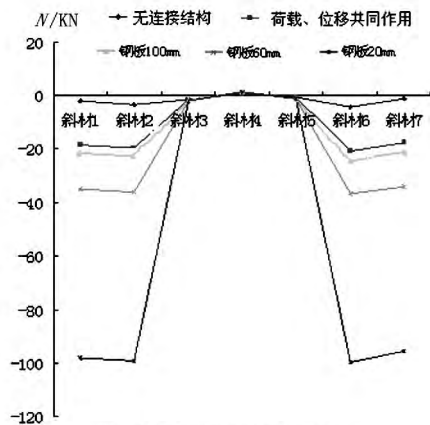
以某高 7.5 m 的直独立塔架为例进行耦合计算,分别计算了无连接结构、位移和荷载共同作用(非耦合计算)、100 mm 厚顶板、60 mm 厚顶板以及 20 mm 厚顶板等情况时铁塔侧面斜材、主材以及横隔面斜材的轴力,各种情况输电塔轴力变化较大的杆件对比如图 2 所示。



(a) 塔身斜材轴力对比



(b) 主材轴力对比



(c) 横隔面斜材轴力对比

图 2 各种计算模型铁塔构件轴力对比

由图 2(a) 可以看出:当顶板厚为 100 mm 时最大内力相对于荷载、位移共同作用于塔腿时的最大增幅为 7%;当顶板厚为 60 mm 时塔身斜材最大内

力相对于荷载、位移共同作用于塔腿时的最大增幅为 31%;当顶板厚为 20 mm 时塔身斜材最大内力相对于荷载、位移共同作用于塔腿时的最大内力增幅为 150%。

由图 2(b) 可以看出:当板厚为 100 mm 时主材最大内力比荷载、位移共同作用于塔腿时主材最大内力增幅为 4%;当板厚为 60 mm 时主材最大内力比荷载、位移共同作用于塔腿时主材最大内力增幅为 10%;当板厚为 20 mm 时主材最大内力比荷载、位移共同作用于塔腿时主材最大内力增幅为 41%。

由图 2(c) 可以看出:当板厚为 100 mm 时横隔面斜材最大内力比荷载、位移共同作用于塔腿时横隔面斜材最大内力增幅为 10%;当板厚为 60 mm 时横隔面斜材最大内力比荷载、位移共同作用于塔腿时横隔面斜材最大内力增幅为 93%;当板厚为 20 mm 时横隔面斜材最大内力比荷载、位移共同作用于塔腿时横隔面斜材最大内力增幅为 450%。

综上所述可知,当顶板厚度较大时,耦合计算的轴力与非耦合计算的轴力相差最大在 10% 之内,可以用非耦合计算代替耦合计算。但当顶板厚度较小时,顶板自身的变形很大,需要考虑顶板变形的影响。

3 连接结构设计方法

3.1 直独立塔架设计

直独立塔架分为单基础直独立塔架和四基础直独立桁架两种,单基础直独立塔架的 4 条腿是安装到一个共同的基础之上,而四基础直独立桁架的 4 条腿则是安装到各自独立的基础之上,如图 3 所示。

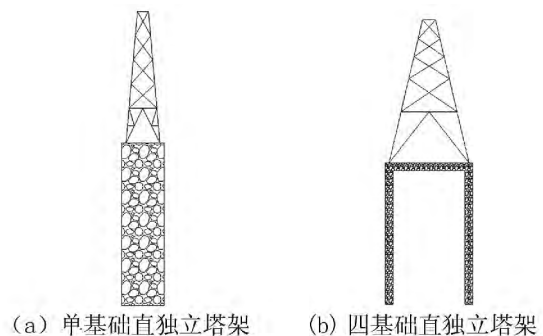


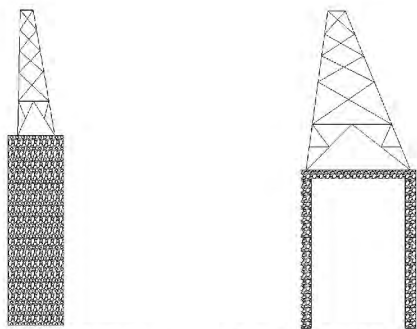
图 3 直独立塔架

直独立塔架的设计除了要满足其自身的强度要求外,其顶部的位移还需要满足前述位移控制值的要求。直独立塔架的底部根开越大,其横截面的抗弯刚度就越大,顶部水平位移就越小。因此,直独立

塔架的根开是在满足其自身强度和顶部位移控制值两个条件下优化得到。优化的原则除了连接结构及基础总费用要低外,更重要的是根开要小。因为根开越大,连接结构自身的4条塔腿也有下坡侧塔腿离地面距离太大的问题。

3.2 斜独立塔架的设计

根据下部基础个数的不同,斜独立塔架也可以分为单基础斜独立塔架和四基础斜独立塔架两种,如图5所示。



(a) 单基础斜独立塔架 (b) 四基础斜独立塔架

图4 斜独立塔架

斜独立塔架的坡度按照竖向力产生的弯矩与水平力产生的弯矩完全抵消的原则来确定是最优的,但由于工况多,各种工况计算得到的坡度都不相同,取输电塔塔腿主材的坡度作为斜独立塔架坡度是比较合理的方法。

3.3 联合塔架的设计

联合塔架由立柱、横梁及横梁端部小柱3部分组成。如图5所示。联合塔架立柱内的弯矩很小,立柱的根开可与单基础直独立塔架相同。横梁的长度与立柱高度及地形坡度有关,由几何关系求得。

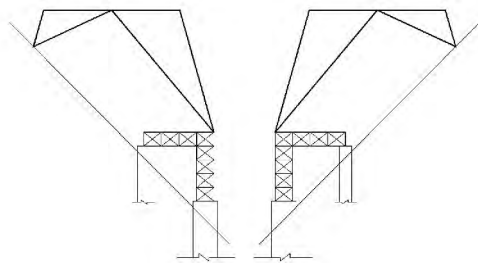


图5 联合塔架

4 经济效益分析

仍以前述工程算例进行技术经济比较,结果见表3,由该表可知:陡峻山区输电铁塔与基础的连接形式能显著降低基础的造价,很多情况甚至能节约

基础本体造价的一半,经济效益较好。

表3 新型连接形式经济性比较

连接结构高度/m		3	4.5	6	7.5	9
Z1	节约造价/万元	2.9	3.2	6.2	11.0	
	百分比/%	40.0	28.9	37.6	49.6	
Z2	节约造价/万元	0.8	2.8	7.8	8.6	
	百分比/%	10.6	25.3	43.6	35.1	
Z3	节约造价/万元	0.7	4.3	9.9	7.7	
	百分比/%	5.8	24.1	37.5	24.8	
J1 压腿	节约造价/万元	16.0	17.3	20.0	29.0	39.2
	百分比/%	55.3	55.7	54.4	61.0	64.8
J1 拔腿	节约造价/万元	11.1	14.9	16.7	12.4	14.4
	百分比/%	46.8	51.7	49.6	34.4	34.8
J2 压腿	节约造价/万元	14.5	14.5	14.3	23.6	35.7
	百分比/%	48.3	44.7	33.7	44.3	53.3
J2 拔腿	节约造价/万元	6.6	20.7	20.2	14.0	13.5
	百分比/%	31.6	57.7	52.3	34.0	31.0

5 结论

研究提出了直独立塔架、斜独立塔架和联合塔架等铁塔与基础的连接形式,采用非耦合计算及耦合计算研究了连接结构位移对铁塔杆件内力的影响,提出了连接结构设计时水平位移的控制值为8mm,竖向位移的控制值为4mm。

提出了直独立塔架、斜独立塔架和联合塔架的设计方法,并以某工程为例进行了技术经济分析,计算结果表明所提出的铁塔与基础的连接形式节约基础本体费用效果明显,不少连接形式甚至可以节约一半基础本体费用。

参考文献

- [1] 陈绍蕃. 钢结构设计原理(第3版) [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 《钢结构设计手册》编辑委员会. 钢结构设计手册: 上册(第3版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.

作者简介:

孙珍茂(1979), 结构工程专业博士, 从事输电结构专业设计工作。

(收稿日期: 2015-02-05)