

内悬浮抱杆的优化设计

王光祥, 吴开贤, 景文川, 彭宇辉

(四川电力送变电建设公司, 四川 成都 610051)

摘要: 经过不断的探索优化设计, 四川电力送变电建设公司成功研制了一种适用于山地段特高压铁塔或重冰区铁塔组立、组立高度大、允许起吊负荷大、截面尺寸小、相对重量轻, 方便运输和吊装的圆管式内悬浮抱杆; 该抱杆采用了圆钢管作为主、辅材, 提高了抱杆的受力稳定性能; 采用了大型有限元分析软件钢结构单元优化设计, 减小了抱杆截面尺寸与重量, 便于山区运输和使用; 抱杆结构设计中采用直角扇形法兰盘及导向管组合连接方式, 连接可靠, 方便组立。

关键词: 特高压; 铁塔; 组立; 圆管式; 内悬浮; 抱杆

Abstract: Through the continuous explorations and researches Sichuan Electric Power Transmission & Transformation Construction Company has successfully developed a special internal-suspension tube-style gin pole which is suitable for steel tower erection of ultra high-voltage and heavy ice covered area in hilly area with the features of high assembling height large lifting loads small section size relatively light weight and easy for transporting and lifting. The steel tube is adopted as its main and auxiliary materials which improves the force stability of the pole. Meanwhile the optimization design of steel structure unit adopts the finite element analysis software thus reduces the weight and the size of cross section of the pole which is convenient for transporting and usage in mountain areas. In the structure design of the pole it also adopts the rectangular fan-shaped flange and the combined connection style of the guide pipe which can be connected reliably and assembled easily.

Key words: ultra-high voltage; steel tower; assembly; tube style; internal suspension; gin pole

中图分类号: TM753 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)04-0046-02

随着输电线路电压等级的提高, 铁塔的结构更为复杂, 塔材、单基重量以及塔高不断增加, 组塔施工难度随之增大, 各施工单位积极开展技术创新, 探索改进组塔技术和优化设计组塔新技术, 并在施工实践中检验、完善, 形成了不少切实可行的组塔技术。

四川电力送变电建设公司立足自身的施工特点, 仍然从轻便、紧凑、利于组立、结构简单、便于掌握的内悬浮式抱杆组立技术出发, 充分挖掘内悬浮式抱杆在材质、结构型式、连接方式、重量、尺寸等方面的潜力, 对其进行优化设计, 以期实现内悬浮式抱杆长度较长、断面尺寸及重量相对不大的前提下大幅度提高承载能力, 同时尽量降低抱杆的购置使用成本。

1 内悬浮抱杆的长度确定

此次优化的主要目的是为了解决山地段特高压铁塔的组立问题, 根据对山地段特高压铁塔的参数分析后, 将抱杆的长度配置确定为 38 000 mm。

2 内悬浮抱杆主材截面形式选择分析

应用范围最广的组立铁塔用内悬浮抱杆形式为格构型, 其断面一般为正方形, 其主材主要有管材式和等边角钢式, 到底采用什么形式更加合理, 则做了如下分析。

2.1 不考虑风荷载影响的选择分析

为方便方案的比较, 抱杆的截面按照等截面考虑, 假定一系列规格的主材 (等边角钢式及圆管式, 等边角钢边长与圆管直径相等且截面面积相等) 组成格构型抱杆, 计算其单根主材对自身重心轴线的惯性矩 (J_x)、抱杆单根主材截面面积 (F)、单肢主材的重心距离 (Z_0), 并分别求取长细比分别为 90、100、110、120 时对应的抱杆断面边宽 C 。计算结果及相关参数一并列入表 1。

从表 1 可以看出: 当抱杆的长细比、主材截面面积和及材质相等, 即抱杆承载力相等时, 采用圆管时抱杆的断面边宽值大。因此, 在不考虑风荷载影响的

表 1 不同规格主材的断面参数等及对应抱杆断面边宽值 (此处只展示了部分数据)

主材规格	J_x / mm^4	Z_0 / mm	F / mm^2	l / mm	λ	C / mm
L70×6	377 700	19.5	814.7	38 000	90	924.6
Φ70×3.927	446 151	35.0	814.7	38 000	90	955.4
L70×6	377 700	19.5	814.7	38 000	100	835.8
Φ70×3.927	446 151	35.0	814.7	38 000	100	866.6
L70×6	377 700	19.5	814.7	38 000	110	763.2
Φ70×3.927	446 151	35.0	814.7	38 000	110	793.6
L70×6	377 700	19.5	814.7	38 000	120	702.6
Φ70×3.927	446 151	35.0	814.7	38 000	120	733.4

前提下,从实用性和材料用量等角度看均不宜采用圆管式。

2.2 考虑风荷载影响的选择分析

以上的分析结果显示,抱杆主材截面形式不宜采用圆管式,但此结论并没有考虑风荷载的影响,《特高压铁塔组立施工导则》上规定:选择抱杆时应考虑风荷载的影响。

然而,抱杆作为起重工具,如何计算风荷载的影响,尚无标准可依。为此,优化设计时引入了有限元软件作为受力分析手段,将风荷载按均布荷载考虑,假定在同一地点使用抱杆,抱杆迎风面积为定值,风速为 10 m/s (规程 DL 5009.2-2004 规定,6 级及以上大风时,不得进行杆塔组立作业;同时在 DL 5009.2-2004 附录 B 的表 B.12 中给出了 5 级风的最大风速为 10.7 m/s),然后在有限元软件里建立了抱杆受力模型(主辅材采用角钢和圆管其抱杆所受风荷载存在约 1.6 倍的关系,其他工况按相同考虑),软件计算部分结果见表 2 所示。

表 2 抱杆计算对照表 (考虑风荷载)

	圆管式	等边角钢式
抱杆规格 /mm	750×750×38 000	750×750×38 000
主材 /mm	Φ70×4.588 27/Q345	L70×7/Q345
主材截面面积 /mm ²	942.4	942.4
辅材 /mm	Φ30×1.988 74/Q345	L30×3/Q345
辅材截面面积 /mm ²	174.9	174.9
稳定安全系数	4.03	3.11

从表 2 可以看出:考虑风荷载之后,在抱杆断面边宽、主辅材迎风面积和截面面积、受力工况相等的情况下,主辅材采用圆管式具有明显优势,因此宜将抱杆主、辅材截面形式确定为圆管式。

3 抱杆主、辅材材质选择

对于抱杆的材质选择,优化设计时从不同材质抱杆的容许中心压力和重力角度进行了分析。

3.1 不同材质抱杆容许中心压力分析

优化设计时分别对长细比为 90~120 材质为 LY12 和 Q345 的抱杆容许中心压力进行分析后得出:当抱杆的长细比、主材截面面积等参数相等时,采用材质为 Q345 的抱杆的容许中心压力是采用材质为 LY12 的抱杆的容许中心压力的 2.76~3.19 倍。此次抱杆优化设计是针对特高压铁塔的组立,单件最大起吊重量相对常规塔型而言有大幅度提高,所以抱杆的材质选取 Q345 对抱杆的承载力大幅度提高很有优势。

3.2 不同材质抱杆主材重力的分析

抱杆的断面宽度大于 900 mm 后对运输和施工都很不方便,但抱杆的断面宽度要小于 900 mm,则抱杆的长细比就比较大,然而经分析当抱杆长细比为 90~100,在相等承载条件下,LY12 铝抱杆主材重力约为 Q345 钢抱杆主材重力的 0.95~1.1 倍,当抱杆的长细比大于 98.2 时,LY12 铝抱杆的主材重力已经大于 Q345 钢抱杆的主材重力,并且 LY12 的材料价格远高于 Q345 钢的材料价格,因此,采用 Q345 钢抱杆不但购置成本低,运输成本低,其使用寿命也较 LY12 铝抱杆长得多(但需要增加防锈除锈等保养费用),综合技术经济比较,此次优化设计的抱杆材质采用 Q345 才经济合理。

从以上两个角度分析此次优化设计的抱杆材质宜选择 Q345。

4 抱杆断面形式选择

国内组立铁塔用抱杆的断面形式均是正方形断面,国外也有采用等边三角形断面的,经采用与 2.1 中相似的原理分析得出在相等长细比及承载力条件下,采用等边三角形断面的抱杆边宽要比采用正方形断面的抱杆边宽大得多,多数情况断面的边宽值都大

(下转第 73 页)

- [4] 刘文斌, 杜波, 胡燕花. 水轮机调速器的运行与技术改造 [J]. 水力发电, 1999(9): 58—60.
- [5] 张春丽, 李咸善, 胡翔勇, 等. 水火电联合系统中水轮机及其调速系统对低频振荡的影响 [C]. 湖北省机械工程学会青年分会 2006 年年会暨第 2 届机械学院院长 (系

- 主任) 会议论文集 (下), 2006.
- [6] 李光辉, 余波, 樊玉新, 等. 基于可编程自动化控制器的水轮机调速器初探 [J]. 水力发电, 2007, 33(2): 60—62.

(收稿日期: 2010—04—01)

(上接第 47 页)

于 900 mm, 最大的还超过了 1 100 mm, 这对于运输和使用很不方便, 只有少数情况断面的边宽值小于 900 mm, 但其长细比均接近 120, 根据材料的变形特点可知, 长细比越大, 抱杆的横向变形增长越快, 因此抱杆断面形式不宜采用等边三角形。

5 连接方式的设计

经过以上的分析, 已经确定了采用钢管作主辅材, 分段抱杆间主材的对接连接方式自然选择成熟的法兰盘连接方式, 为保证提升抱杆时腰环的正常使用和连接方便且可靠, 将其法兰盘设计成直角扇形型式, 并且增加设置导向管, 使得组装更加方便, 连接可靠。主材与辅材的连接采用焊接连接, 以避免销钉连接方式易发生在抱杆使用中剪断而又不易发现的安全隐患。

6 有限元软件的应用

优化设计过程中采用了有限元软件作为计算手段, 在 Midas2006 有限元软件平台下建立抱杆立体受力模型, 交由软件进行了大量的受力分析计算。然而 Midas2006 有限元软件的操作是很复杂的, 主要是建立抱杆的立体受力模型, 不利于现场技术人员掌握, 因此还开发了抱杆立体受力模型软件, 只要输入受力工况的基本参数即可自动生成抱杆立体受力模型, 然后在 Midas2006 有限元软件里载入模型文件, 即可计算抱杆的杆件应力和抱杆稳定安全系数, 软件计算界面之一见图 1 所示。

7 结语

本项目通过对抱杆主辅材截面型式、材质和抱杆结构等方面的经济技术比较, 采用大型有限元分析软件对钢结构单元进行设计优化, 合理减小了抱杆截面

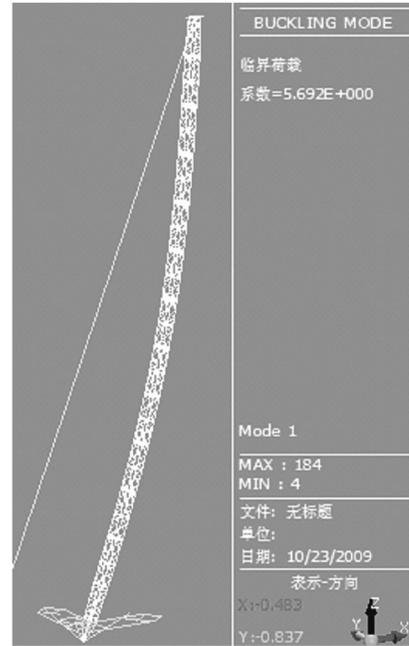


图 1 软件计算界面之一

尺寸与重量, 提高了抱杆的承载能力, 已在 ± 800 kV 向上线 (向家坝—上海) 和 ± 500 kV 德宝 (德阳—宝鸡) 直流工程以及 ± 500 kV 葛沪 (葛洲坝—上海) 直流改造等工程广泛应用, 提高了特高压铁塔组立施工效率, 成效显著, 并于 2010 年 3 月 11 日顺利通过了四川省电力公司组织的项目验收。

参考文献

- [1] 架空送电线路铁塔组立工程手册 [Z]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [2] 高压架空输电线路施工技术手册——起重运输部分 [Z]. 北京: 水利电力出版社, 1975.
- [3] GB 50017—2003 钢结构设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [4] DL/T 875—2004 输电线路施工机具设计、实验基本要求 [S].
- [5] 范钦珊. 工程力学教程 (I) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [6] 张俊光. 公路钢桁桥施工稳定安全系数优化设计 [D]. 西安: 长安大学, 2009.

(收稿日期: 2010—04—19)