

500kV 薄壁离心钢管混凝土电杆的设计

贾玉琢, 张传晖

(东北电力大学建筑工程学院, 吉林 132012)

- 5 **摘要:** 根据现有规范, 设计 500kV 薄壁离心钢管混凝土门型双杆, 并采用有限元分析软件 ANSYS 对门型电杆进行数值模拟。结果表明, 门型双杆受力性能良好, 可以很好的承受电杆根部产生的最大弯矩。在长期效应荷载下的安全可靠程度较高, 可以在目前 500kV 送电线路中使用; 在技术经济方面, 薄壁离心钢管混凝土电杆施工方便, 占地面积小, 经济合理。
- 10 **关键词:** 输电线路; 门型电杆; 薄壁离心钢管混凝土
- 中图分类号:** TM723

The pole design of 500kV centrifugal concrete filled thin-wall steel tubular structures

JIA Yuzhuo , ZHANG Chuanhui

(Civil Engineering and Architecture School, Northeast Dianli University, Jilin 132012)

- 15 **Abstract:** According to the existing specifications, devise door type double pole of 500kV centrifugal concrete filled thin-wall steel tubular structures, and use the finite element analysis software ANSYS to simulate the pole. The results show that the mechanical performance of door type double pole is fine, can bear the maximum bending moment of roots of the pole well. The safety degree in the long term effect under the load is high, can be used in the 500kV transmission lines. In the technical and economic aspect, construction of centrifugal concrete filled thin-wall steel tubular structures pole is convenient, cover an area of an area small, economic and reasonable.
- 20
- 25 **Key words:** Transmission line; The door type pole; Centrifugal concrete filled thin-wall steel tubular

0 引言

- 目前 500 kV 送电线路中的杆塔主要是铁塔结构。其原因是一般混凝土电杆满足不了高
- 30 电压等级的要求, 故在 330 kV 及以上线路上很少使用混凝土电杆。而混凝土电杆与铁塔相比具有免维护、耐腐蚀和经济等优点。随着薄壁离心钢管混凝土的出现, 使得研制 500 kV 混凝土电杆有了现实意义。

- 薄壁离心钢管混凝土结构是一种钢—混凝土复合结构。其结构形式如图 1 所示。该结构是钢管混凝土结构的一个分支, 受力时, 钢管可借助离心混凝土的内衬, 增加管壁的稳定
- 35 性, 提高构件的抗压承载能力, 又可防止钢管内壁的锈蚀; 混凝土可借助钢管的约束, 处于双向或三向受压应力状态, 从而大大提高了混凝土的抗压强度及抵抗变型的能力^[1]。

作者简介: 贾玉琢 (1964 年-), 女, 教授, 主要研究方向: 输电线路铁塔的塔形、节点优化和可靠度研究; 进行大型火力发电厂钢结构主厂房结构形式的优化和抗震性能的研究. E-mail: jia yuzhuo@nedu.edu.cn

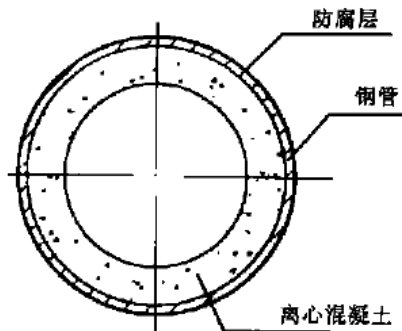


图1 薄壁离心钢管混凝土结构形式

Fig. 1 The structure form of concrete filled thin-wall steel tubular structures

40 目前,离心钢管混凝土构件在电力工程中应用良好,采用离心钢管混凝土构件建成的变
电构架与采用其他结构构件的变电构架比较,技术经济效益是显著的,用其制成的杆塔,从
根本上解决了混凝土杆的裂缝问题,并具有可焊性和易于组装的特点,克服了以往杆塔在使
45 用中,基础占地大,不美观的缺点。与同类型杆塔相比,同样荷载下,更加经济合理^[2]。为
此,研制和开发薄壁离心钢管混凝土电杆,取代一部分 500 kV 送电线路常用的铁塔结构,
对于降低输电线路投资很有现实意义。

1 设计特点

采用直立式门型双杆结构,双杆采用等径杆,横担采用钢桁架,中间用钢结构叉梁连为
整体,如图 2 所示。

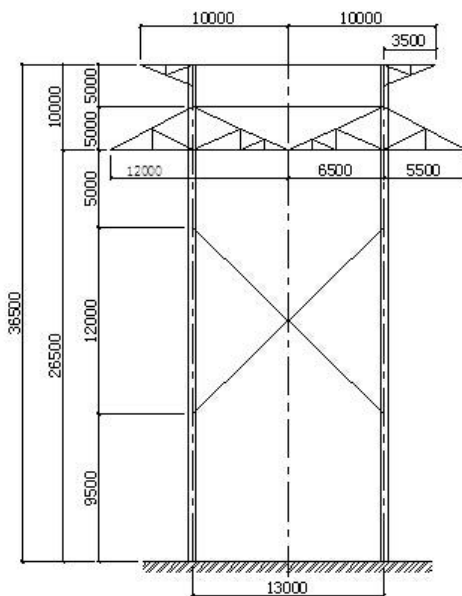


图2 双杆的外形尺寸图

Fig. 2 Boundary dimension of double pole

电杆为直径 600mm 的等径双杆,外钢管壁厚为 8mm,采用 Q345 钢;离心成型的混凝土
土标号 C40,均厚 40mm,电杆呼称高 26.5m,全高 36.5m。本文介绍电杆的设计,其横担
和叉梁设计与普通混凝土门型电杆的结构设计相同,故在此不涉及横担和叉梁的设计内容。

55 2 设计条件

本电杆结构设计气象条件参照《国家电网公司输变电工程典型设计》^[3]500kV 输电线路分册中的 5A 模块的设计条件。导线为 4 分裂 LGJ-400/35 型钢芯铝绞线，地线采用 JLB4-150 双避雷线，最大风速为 30m/s，杆高允许档距为 420m。最高气温为+40℃，最低气温为-10℃。导线三相水平排列，线间距离为 12.0 m，避雷线支架高为 10 m，设计覆冰厚度为 10 mm，导线与避雷线的水平位移取 2.0m，防雷保护角为 8.11°。经验算，杆头尺寸满足电气要求。薄壁离心钢管混凝土电杆采用自立式，在使用中不打拉线，承受力的作用在电杆顶部使之成为受弯构件，适用范围为平原和丘陵地区。

60 3 设计过程

采用带叉梁的门型结构，其结构体系属于超静定结构，为研究方便，暂时认为地面是刚性的，内力计算采用常用的简化计算方法。此门型电杆承受荷载的计算方法与普通混凝土门型电杆相同。根据设计条件，可以计算出电杆在各种情况下所承受的荷载。如表 1 所示。

表 1 导地线在不同条件下的荷载

Tab. 1 The wire and ground wire load under different weather conditions

情况	气温	风速	冰厚	水平荷载		垂直荷载	
				导线	地线	导线	地线
正常运行	-5	30	0	25303	4174	31227	3822
	-5	10	10	3119	1170	53849	7754
事故	断导线	-5	0	0	0	25410	3822
	断地线	-5	0	0	0	31227	3822
安装	-5	0	0	3050	516	31227	3822

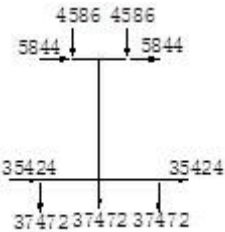
正常情况下电杆的内力受最大风速条件控制，设计时，分别乘以荷载分项系数，得到荷载的设计值。正常运行情况（最大风）时，杆头荷载设计值如图 3 所示。杆身风压荷载分别为：

$$P_{01} = 485.8\text{N/m}$$

$$P_{02} = 453.6\text{N/m}$$

$$P_{03} = 358.4\text{N/m}$$

- 75 P_{01} ——横担以上杆身风压；
 P_{02} ——叉梁至横担杆身风压；
 P_{03} ——叉梁下端至地面处杆身风压。



80 图 3 杆头荷载设计值

Fig. 3 The load of the pole under the largest wind speed condition

根据杆头荷载设计值和电杆尺寸计算出杆底截面处产生的最大弯矩为 $M=489.8\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

薄壁离心钢管混凝土电杆底部截面受弯时，极限承载力设计值为^[4]：

$$M_u = \frac{\phi}{1+1.55\phi} N_0 r$$

85 式中：

M_u ——受弯构件极限承载力设计值；

ϕ ——构件的含钢特征值；

N_0 ——轴心受压短柱的极限承载力设计值，其中， $N_0 = A_s f_s + 1.34 A_c f_c$ ；

r ——钢管截面的外半径；

90 计算得

$$M_u = \frac{\phi}{1+1.55\phi} N_0 r = 1010.50\text{kN}\cdot\text{m} ;$$

经比较得知 $M_u > M$ ，电杆初步选用的截面尺寸符合要求。

4 数值模拟分析

95 为了验证 500kV 薄壁离心钢管混凝土电杆设计的有效性，使用有限元分析软件 ANSYS, 对门型双杆进行实体建模，验证设计的有效性。门型电杆的实体模型如图 4 所示。

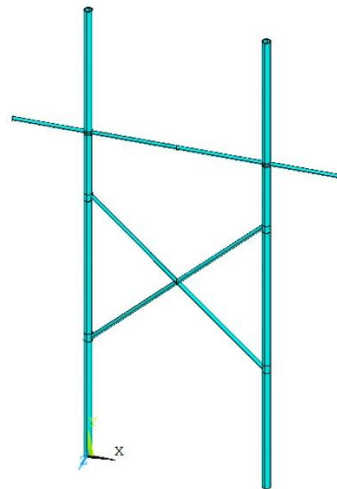


图 4 电杆的实体模型

Fig. 4 The model of pole

100 钢管、叉梁及横担部分选用 SOLID45 单元模拟，SOLID45 单元是一种 8 节点六面体单元， SOLID45 单元每个节点均有三个平动自由度 UX，UY，UZ，该单元可以用于大变形、大应变和塑性分析。混凝土采用 SOLID65 模拟，其优势在于其对材料非线性的处理，可以恰当地模拟混凝土这种非线性材料^[5]。混凝土的本构关系表达式很多，论文中采用多线性等向强化模型 MISO 模拟，应力-应变关系曲线采用 Hongnestad 曲线。模型采用自由网格划分与映射网格划分相结合的方式。由于电杆杆身与横担连接处没有映射面，所以采用自由网格划分，利用 SMRTSIZE 命令控制网格密度，其他部分采用映射网格划分，保证网格划分的一致性，网格划分如图 5 所示。

105

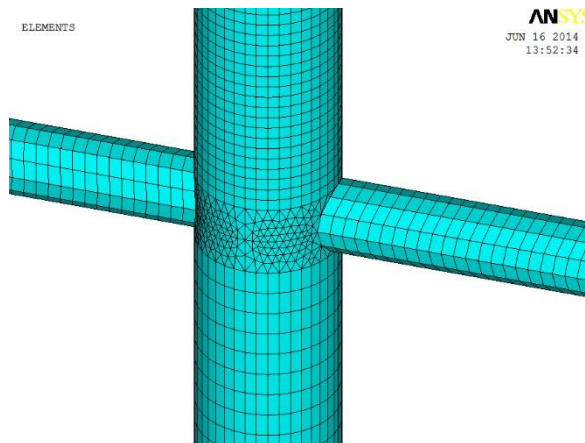


图5 网格划分图

Fig. 5 Meshed model

ANSYS 混凝土计算收敛(数值)是比较困难的,合适的网格密度、子步数、收敛精度对 ANSYS 的收敛至关重要。子步数 NSUBST 设置为 100,收敛精度 5%,使用 concr+miso 且关闭混凝土压碎检查。在杆头和杆身分别施加荷载,进行非线性运算。荷载加载如图 6 所示。

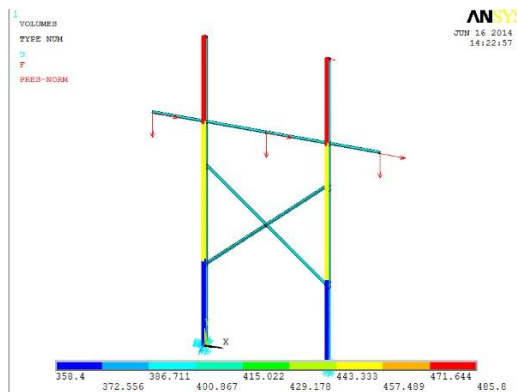


图6 电杆的荷载加载图

Fig. 6 Load on model

电杆变形如图 7 所示,得知电杆在长期效应组合下,杆顶挠度为 138.9mm,最大挠度值不超过杆高的 0.5% (182.5mm),符合规范要求。

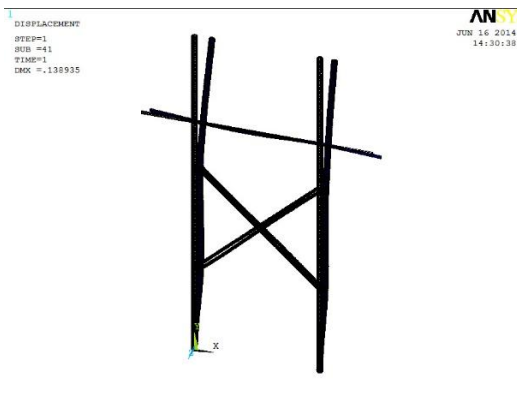


图7 电杆在长期效应荷载下的变形

Fig. 7 Deformation of poles under the effects of long-term load

电杆的应力云图如图 8 所示, 电杆的最大应力位于左侧电杆根部的外层钢管处, 叉梁与主杆连接处次之, 最大应力为 188Mpa, 远小于 Q345 的屈服强度, 混凝土部分的最大应力发生在右侧电杆根部, 最大压应力为 11Mpa, 小于 C40 的抗压强度 (21.5Mpa), 由此说明电杆强度满足要求。



图 8 电杆应力云图

Fig. 8 The stress nephogram of poles

5 结论

本文参考相关规范, 结合弯矩、电杆挠度、最大应力等判别条件, 验证了薄壁离心钢管混凝土在 500kV 输电线路上的应用的可行性, 并提出了其门型双杆的设计方法。同时使用有限元分析软件 ANSYS 对所设计的 500kV 薄壁离心钢管混凝土电杆进行实体建模数值模拟验证。在长期效应荷载条件下, 电杆挠度和杆根部最大应力均满足要求。由此可知, 500kV 薄壁离心钢管混凝土电杆与传统 500kV 杆塔相比, 不仅解决了混凝土杆的裂缝问题, 而且简化了施工难度, 降低了工程造价, 在送电线路工程中具有很高的应用价值和广阔的市场前景, 必将广泛应用到超高压送电线路中。

[参考文献] (References)

- [1] 赵晋毅, 李家庆, 范国平. 薄壁离心钢管混凝土电杆的应用设计浅谈[J]. 电力学, 2005, 20(3): 288-290.
- [2] 袁伟斌. 离心钢管混凝土结构设计理论基础研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005
- [3] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程典型设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [4] 浙江省电力设计院, DLT5030-1996. 薄壁离心钢管混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 1996
- [5] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.