

输电塔抗风能力的实用评估方法

袁杨¹, 朱辉良², 郭琳²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 广东电网公司惠州供电局, 惠州 516001)

摘要: 介绍了铁塔抗风的概念, 推导了铁塔抗风能力的实用计算公式, 并与典设铁塔进行了比较, 结果表明该公式可快速评估铁塔的抗风能力, 准确性较好。该方法为运维部门估算铁塔的抗风能力提供参考。

关键词: 铁塔; 抗风能力; 实用算法

中图分类号: TM753

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)S1-0080-03

A Practical Algorithm for Anti-wind Capacity of Transmission Line Towers

YUAN Yang¹, ZHU Huiliang², GUO Lin²

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. Huizhou Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Huizhou 516001, China)

Abstract: The conception of the wind load on tower is introduced, and the calculation formula for anti-wind capacity of the transmission line tower is derived. The study shows that the anti-wind capacity of the tower can be evaluated quickly and accurately by this method.

Key words: tower; anti-wind capacity; practical algorithm

风荷载可以看做是作用在杆塔及导线迎风面上的水平力, 导线的风荷载通过连接金具传给铁塔, 铁塔再通过与其腿部连接的地脚螺栓把荷载传递给基础。如果以铁塔为研究对象, 风荷载将使铁塔产生倾覆的趋势, 地脚螺栓提供的反力将抵抗这种倾覆, 如果以塔脚某点取矩, 风荷载产生的倾覆力矩和地脚螺栓提供的抗倾覆力矩相平衡, 这也使铁塔的四条腿产生了一侧塔腿受压, 一侧塔腿受拉的现象。但是, 在一种风向下受拉的塔腿会在相反风向下承受压力, 由于考虑到风可能来自任意一个方向, 因此在设计时需要使组成铁塔的杆件既能承受最大拉力又能承受最大压力。在铁塔的构件设计时, 普遍采用的是“满应力”设计方法, 即构件在最大力情况下的应力利用率达到 100%。因此在评估实际铁塔的抗风能力时, 一般认为该铁塔在原来的设计条件下, 杆塔主材的应力利用率达到了 100%。这也是下文进行估算的基础。需要说明的

是, 杆塔在实际工程中使用条件往往达不到设计使用条件, 这主要因为杆塔排位中需要考虑地形等因素, 档距不可能按照理想的情况全部用满。下文的研究即是回答在这种条件下杆塔的抗风水平能有多大的提高的问题。

1 直线塔抗风能力的实用算法

1.1 估算公式推导

直线塔的荷载性质简单, 可以认为杆件应力一部分是由塔身风荷载贡献, 另一部分是由线条荷载贡献。在设计铁塔时, 是按照选定的气象条件和规划的档距计算杆塔荷载, 在铁塔设计完成之后, 导线风和塔身风对杆件应力“贡献”的比例就是一个定值。这个定值既可以通过铁塔验算来计算, 也可以通过导线型号和铁塔构件的挡风面积大致估算。工程中的铁塔排位完成之后, 就可以得到某塔的实际档距, 通过计算实际档距与设计档距的比例即可计算实际的导线风荷载占设计的导线风荷载的比例, 进一步算出杆塔可以承担的最大风速。具体推算过程如下:

收稿日期: 2015-11-11

作者简介: 袁杨(1984), 男, 安徽淮北人, 工程师, 硕士, 主要从事输电塔设计及研究工作(e-mail) yuanyang@gedi.com.cn。

典设情况下:

$$\frac{F_{塔}}{F_{线}} = \frac{v^2 A}{v^2 L_H \beta} = \frac{1-x}{x} \quad (1)$$

式中: $F_{塔}$ 为塔身风; $F_{线}$ 为导线风; v 为设计风速; L_H 为设计档距; A 为塔身挡风计算系数; β 为导线风计算系数; x 为导线风占比。

实际情况下:

$$\frac{F'_{塔}}{F'_{线}} = \frac{v_0^2 A}{v_0^2 L_{H0} \beta} = \frac{1-x}{x} \quad (2)$$

式中: $F'_{塔}$ 为塔身风; $F'_{线}$ 为导线风; v_0 为实际风速; L_{H0} 为实际档距; $y = L_{H0}/L_H$ 。

$$F_{塔} + F_{线} = F'_{塔} + F'_{线} \quad (3)$$

将式(1)及式(2)带入式(3)可得:

$$\frac{v_0}{v} = \frac{1}{\sqrt{1-x+xy}} = \frac{1}{\sqrt{1-x+x\frac{L_{H0}}{L_H}}} \quad (4)$$

按式(4),只要知道原设计档距与实际档距和导线风占比,即可快速评估杆塔可以承担的风荷载的风速。

1.2 应用举例及公式准确性评价

为了说明公式(4)的应用方法,以南网典设中5D1W1模块直线塔ZH3为例,计算不同档距使用率下的杆塔可抗风速。

该模块为海拔1000 m以下、基本风速27 m/s(离地面10 m)、覆冰厚度0 mm、导线4×JL/G1A-400/35、地线JLB40-150的单回路铁塔,按山地进行规划设计。直线塔为酒杯塔。ZH3铁塔48米呼高的水平档距为509 m。

经过测算,对于ZH3铁塔48米呼高的接腿,导线风占比为75%,表1列出了由公式4计算出的不同实际档距下该杆塔可以承担的实际风荷载对应风速。

表1 5D1W1-ZH3-48不同实际档距下的抗风能力估算

Table 1 Wind Resistance Ability Evaluation of 5D1W1-ZH3-48

实际档距/m	200	250	300	350	400	450	509
档距利用率	39%	49%	59%	69%	79%	88%	100%
可抗风速(m/s)	36.5	34.3	32.5	30.9	29.5	28.2	27

为了评估公式(4)的准确性,可以计算表1某个实际档距下、对应可抗风速下的实际荷载,从而计算杆塔各杆件的应力状态,再将此应力状态与典设情况相对比。理论上讲,这两种情况下杆塔构

件应力应当相等。

选择计算了ZH3-48铁塔在水平档距300 m,风速32.5 m/s条件下的外负荷(对应表1第4列,其余设计条件同典设),计算了该呼高下铁塔构件的应力。计算结果同典设进行了对比,见表2。

表2 5D1W1-ZH3-48估算公式与典设对比

Table 2 Comparison Between Typical Design and

位置	Estimation Value					
	估算情况		典设情况		应力误差	应力比误差
	最大应力	应力比	最大应力	应力比		
曲臂主材	-20.62	68%	-21.98	72%	-6.59%	-4.00%
塔身主材	-27.34	74%	-28.35	77%	-3.69%	-3.00%
塔腿主材	-29.35	81%	-30.63	85%	-4.36%	-4.00%

由表2可以看出,对应估算公式的杆塔应力与应力比同典设情况相比,误差较小,最大误差仅为5.9%,这对于杆塔防风能力的快速评估已经足够精确。综上,式(4)应用简便,可快速评估实际正在运行的铁塔抗风能力,评估结果准确性较好。

2 转角塔抗风能力的实用算法

2.1 估算公式推导

转角塔由于有导线张力的存在,加大了抗风能力评估的复杂性。但是仍可以从工程实际应用中“转角塔的角度者算法”受到启发。一般可以认为,转角塔的横向荷载有导线风、张力的横向分量和塔身风三种,而当转角没有达到设计条件时,张力的横向分量变小,这时候可以通过提高水平档距的方法使得线条风荷载相应增大,以达到塔的实际横向荷载与设计时相等,这即是所谓的“档距折算”。实际的测算和工程实践都表明,这种折算方法是可靠的。在转角塔抗风能力评估时,如果将角度全部折算到0度,这样从概念上说,转角塔的评估方法将和直线塔一致。推算过程详述如下:

典设条件下:

$$P_1 = \alpha w_0 \mu_z \mu_{sc} \beta_c d L_H \quad (5)$$

$$P_2 = 2T_p \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) / K_c \quad (6)$$

式中: P_1 为导线风荷载; P_2 为张力的横向分量; T_p 为导线拉断力; K_c 为导线安全系数; α 为风压不均匀系数; w_0 为风压,可取 $w^2/1600$; μ_z 为风

压高度变化系数; μ_{sc} 为导线体型系数, 线径 < 17 mm 取 1.2, 其他情况取 1.1; β_c 为风荷载调整系数, 500 kV 及以下线路可取 1.0; d 为导线外径, 分裂导线取所有子导线外径总和; L_H 为水平档距; θ 为线路转角。

在典设条件下, 将角度折到 0 度水平档距的增加值:

$$L_{H折} = \frac{2T_p \sin(\frac{\theta}{2})}{\alpha K_c w_0 \mu_j \mu_{sc} d} \quad (7)$$

实际条件下, 将角度折到 0 度后水平档距的增加值:

$$L'_{H折} = \frac{2T_p \sin(\frac{\theta'}{2})}{\alpha K_c w_0 \mu_j \mu_{sc} d} \quad (8)$$

档距利用率

$$y = \frac{L'_{H总}}{L_{H总}} = \frac{L'_H + L'_{H折}}{L_H + L_{H折}} \quad (9)$$

参照式(4):

$$\frac{v_0}{v} = \frac{1}{\sqrt{1-x+xy}} = \frac{1}{\sqrt{1-x+x \frac{L'_H + L'_{H折}}{L_H + L_{H折}}}} \quad (10)$$

将式(7)及式(8)代入式(10), 即可得到全部由已知条件表达的风速比公式。

2.2 应用举例及公式准确性评价

仍选取南网典设中 5D1W1 模块举例说明转角的抗风能力评估的应用方法。以 J1 塔为例, 其导线型号及参数见表 5。J1 塔使用条件见表 6。

表 5 导线型号及参数

Table 5 Conductor Parameter

项 目	导 线	地 线
电线型号	JL/G1A -400/35	JLB40 -150
计算截面积/mm ²	425.24	148.07
计算外径/mm	26.8	15.75
计算拉断力/N	103 670	90 620

表 6 J1 塔使用条件

Table 6 Working Conditions of J1 Tower

转角度数/°	垂直档距/m	水平档距/m	代表档距/m
0~20	(600/(200	340/110	600/300

经过测算, 对于 J1 铁塔 27 米呼高的接腿,

导线风占比为 77%, 表 7 列出了由式(10)计算出的不同实际转角、不同实际水平档距下该杆塔可以承担的实际风荷载对应风速。

表 7 J1-27 不同转角度数、不同档距下的抗风能力估算

Table 7 Estimation of Wind Resistance Ability (J1 -27)

水平档距/m	转角/度					
	10	12	14	16	18	20
200	34.8	33.4	32.1	31.0	29.9	29.0
250	34.0	32.7	31.5	30.4	29.5	28.6
300	33.3	32.1	30.9	29.9	29.0	28.2
350	32.7	31.5	30.4	29.4	28.6	27.8
400	32.0	30.9	29.9	29.0	28.1	27.4
450	31.5	30.4	29.4	28.5	27.7	27.0

为了评估式(10)的准确性, 可以计算表 7 某个实际档距及转角下、对应可抗风速下的实际荷载, 从而计算杆塔各杆件的应力状态, 再将此应力状态与典设情况相对比。理论上讲, 这两种情况下杆塔的构件应力应当相等。

选择计算了 5D1W1-J1-27 铁塔在水平档距 450 m, 转角度数 16 度, 风速 28.5 m/s 条件下的外负荷(对应表 7 第五列, 其余设计条件同典设), 进一步计算了该呼高下铁塔构件的应力。计算结果同典设进行了对比, 见表 8。

表 8 5D1W1-J1-27 估算公式与典设对比

Table 8 Comparison Between Typical Design and Estimation Value

位置	估算		典设		应力误差	应力比误差
	最大应力	应力比	最大应力	应力比		
塔头主材	-7.89	25%	-7.18	23%	9.00%	2. %
塔身主材	-36.59	96%	-35.93	95%	1.80%	1%
塔腿主材	-32.89	87%	-32.68	86%	0.64%	1%

由表 8 可以看出, 对应与估算公式的杆塔应力与应力比同典设情况相比, 误差较小, 最大误差仅为 9.0%, 这对于杆塔防风能力的快速评估已经足够精确。

通过实际计算可知, 式(10)应用简便, 可快速评估实际正在运行的铁塔的抗风能力。

3 结论

本文通过杆塔抗风的概念分析, 分别提出了直
(上转第 9 页 Continued on Page 9)

案。

2) 考虑了蓄电池的充放电倍率、蓄电池充放电深度以及电压限制。本文计算了不同充放电倍率下储能系统的容量要求。可见, 蓄电池允许的充放电倍率越高, 需要的储能容量越少, 蓄电池的寿命可能会相应降低。

3) 将负荷缺电率和输出功率波动率作为评价系统运行的指标, 指标要求越高, 需要配置的储能系统容量越大, 投资越大。

4) 在配置在电力调峰和热备用场景, 本文计算了投入运行不同容量的柴油发电机组时需要的储能系统容量。通过比较各种配置下运行的经济性, 可为东澳岛制定合理的运行方式提供参考。

综上所述, 本文提出的电池容量优化配置方法可根据储能系统在微电网中的主要作用, 项目对供电可靠性、电能质量的要求, 以及蓄电池运行状况等, 灵活配置电池储能系统的容量, 实现根据项目特点及业主要求的储能系统“私人定制”。

参考文献:

- [1] WU X, ZHANG Y, ARULAMPALAM A, et al. Electrical Stability of Large Scale Integration of Micro Generation into Low Voltage Grids [J]. International Journal of Electronics, 2005, 1(4): 1-23.

- [2] 张步涵, 曾杰, 毛承雄, 等. 电池储能系统在改善并网风电场电能质量和稳定性中的应用 [J]. 电网技术, 2006(15): 54-55.
ZHANG Buhuan, ZENG Jie, MAO Chengxiong, et al. Improvement of Power Quality and Stability of Wind Farms Connected to Power Grid by Battery Energy Storage System [J]. Power System Technology, 2006(15): 54-55.
- [3] 姚勇, 朱桂萍, 刘秀成. 电池储能系统在改善微电网电能质量中的应用 [J]. 电工技术学报, 2012, 27(1): 85-88.
YAO Yong, ZHU Guiping, LIU Xiucheng. Improvement of Power Quality of Micro-Grids by Battery Energy Storage System [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(1): 85-88.
- [4] 黄晓东, 郝木凯, 陈柔伊, 等. 微网中储能系统的控制与分析 [J]. 可再生能源, 2012, 30(2): 23-27.
HUANG Xiaodong, HAO Mukai, CHEN Rouyi, et al. Control and Analysis on Energy Storage Systems Used in Micro-grid [J]. Renewable Energy Resources, 2012, 30(2): 23-27.
- [5] 戴永年, 杨斌, 姚耀春, 等. 锂离子电池的发展状况 [J]. 电池, 2005(3): 193-195.
DAI Yongnian, YANG Bin, YAO Yaochun, et al. Development status of Li-ion batteries [J]. Battery Bimonthly, 2005(3): 193-195.

(责任编辑 张春文)

(下接第 82 页 Continued from Page 82)

线塔及转角塔的抗风能力估算的快速算法。直线塔的抗风能力与实际的水平档距关系密切, 转角塔的抗风能力与实际转角及水平档距都相关。运行人员可根据线路的设计资料, 查得相应参数, 利用式(4)及式(10)快速评估杆塔的抗风能力。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50545-2010, 110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [2] 张勇. 输电线路风灾防御的现状与对策 [J]. 华东电力, 2006(3): 28-31.
ZHANG Yong. Status Quo of Wind Hazard Prevention for Transmission Lines and Counter Measures [J]. East China Electric Power. 2006(3): 28-31.
- [3] 彭向阳. 配电线路台风受损原因及风灾防御措施分析 [J].

南方电网技术, 2010(4): 100-102.

- PENG Xiangyang. Analysis on The Cause of Distribution Line's Damage During Typhoon and Counteract Measures [J]. Southern Power System Technology, 2010(4): 100-102.
- [4] BS5950. Structural Use of Steelwork in Buildings [S]. British Standards Institute, 1990.
- [5] XU Y L, ZHAN S. Field Measurements of Di Wang Tower During Typhoon York [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2001(89): 73-93.
- [6] 谢强, 李杰. 电力系统自然灾害的现状与对策 [J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 126-131.
XIE Qiang, LI Jie. Current Situation of Natural Disaster in Electric Power System and Countermeasure [J]. Journal Of Natural Disasters, 2006, 15(4): 126-131.

(责任编辑 黄肇和)