

输电线路历年规程与新荷载规范风荷载对比

黎景辉[✉], 李敏生

(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)

摘要: [目的] 为了确定沿海存量线路是否满足新荷载规范设计要求, 探讨历年规程风荷载设计值与新荷载之比。[方法] 梳理了历年规程与最新荷载规范的各项系数, 计算典型 500 kV 及 220 kV 线路风荷载设计值并加以对比。[结果] 分析计算得到历年规范风荷载设计值与最新规范的占比平均数。[结论] 部分按照旧规范设计存量线路可靠度较低, 不满足最新荷载规范的要求, 需要加固或重建。

关键词: 风荷载; 对比分析; 输电线路; 新荷载规范

中图分类号: TM7; TU476

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)03-0102-05

开放科学(资源服务)二维码:



Comparison of Wind Load on Transmission Lines Between Old Codes and New Load Code

LI Jinghui[✉], LI Minsheng

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

Abstract: [Introduction] The paper aims to find out whether the existing lines meet the requirements of new load code. And the ratio of design value of wind load between old codes and new code is discussed. [Method] In this paper, different load factors of different codes were given and the wind load design values of typical 500 kV and 220 kV lines were calculated and compared. [Result] The proportion of wind load design values calculated by different old codes to new load code were given. [Conclusion] Our data suggest that some of the existing lines designed by old codes not meet the requirements of new load, and have low reliability, they should be reinforcement or reconstruction.

Key words: wind load; comparative analysis; transmission line; new load code

广东沿海是台风风灾严重的地区, 而这些地区又存在大量按不同时期标准建设的输电线路。这些线路在屡次台风中发生受损, 比如 2014 年的台风“威马逊”, 造成 220 kV 雷闻线 13 基直线塔发生倒塌事故; 2017 年的台风“天鸽”, 造成 220 kV 南琴甲乙线 7 基杆塔发生倒塔及 1 基 500 kV 杆塔横担弯折事故^[1-2]。发生倒塔事故铁塔往往成片, 线路基本为 110~220 kV 按照 2000 年以前的设计规程设计的。因此, 推测原因并不是偶然运维缺陷或者铁塔制造施工缺陷所致, 而是线路设计抗风能力不足所致。

由于不同阶段对风荷载的认识能力不同, 其设计风荷载也存在不小差异, 因此已存线路其抗风能力也不尽相同。2019 年 5 月国家发布实施了输电线路的新规范《架空输电线路荷载规范 DL/T 5551—2018》(18 规范)^[3], 给出了输电线路目前最准确的风荷载设计值计算方法。本文以最新的荷载规范即《18 规范》为基准, 详细对比了历年设计规范中线条、塔身风荷载的风压高度变化系数、体型系数、阵风系数等与最新荷载规范的不同之处, 定性给出按照历年规范设计的线路的抗风能力及风灾倒塔的主要原因。为今后加固或者重建提供参考。

1 我国输电线路规范历程

我国的已存架空输电线路主要参考以下规程规

收稿日期: 2019-11-14 修回日期: 2019-12-10

基金项目: 中国能建广东院科技项目“基于阵风效应的线路防风能力设计评估方法与已建维护改造策略研究”(EV04651W)

范进行设计。

50年代水利部颁发的《高压架空电力线路设计技术规程》，主要是参考前苏联的《电气设备安装规程》及《运行法规》编制而来。

1979年水利部颁布实施《架空送电线路设计技术规程SDJ 3—79》(79规程)^[4]，适用于35~330 kV架空送电线路设计。

1999年国家经贸委颁布《110~500 kV架空送电线路设计技术规程DL/T 5092—1999》(99规程)^[5]，将规程范围调整为110~500 kV架空送电线路设计。

2010年国家建设部修订了《110~750 kV架空输电线路设计规范GB 50545—2010》(10规程)^[6]，2010年颁布实施，主要针对2008年冰灾后，增加了750 kV内容及覆冰工况，对抗风能力变化不大。

广东沿海存量线路基本是《79规程》之后设计修建的，500 kV线路更是《99规程》之后才大量建设。因此，本文主要对后三种规程与《18规范》的风荷载作对比分析。

2 风荷载设计值计算

2.1 线条风荷载

《18规范》中对导线及地线风荷载的标准值，采用下式计算：

$$W_x = \alpha_L W_0 \mu_z \mu_{sc} \beta_c d L_p B_1 \sin^2 \theta \quad (1)$$

式中： W_x 为导地线水平风荷载设计值； γ_0 为分项系数； α_L 为风压不均匀系数； μ_z 为风压高度变化系数； μ_{sc} 为导线或地线的体型系数； β_c 为导线及地线风荷载调整系数； B_1 为覆冰增大系数。

历年规程规范对导地线风荷载计算公式都与上式基本一致，只是各规范参数取值有所不同，主要涉及风压高度变化系数、体型系数、风压不均匀系数及风荷载调整系数^[7-8]。

《79规程》采用安全系数法，安全系数取1.5；而后规程采用分项系数法，考虑可变荷载及材料分项系数，其值为1.54。

风压高度变化系数按照B类地貌考虑，《79规程》及《99规程》地面粗糙度指数为0.3及0.32。《10规程》及《18规范》地面粗糙度指数分别取0.32及0.3。

广东沿海台风地区，其风速一般都在33 m/s以上，历年规程的风压不均匀系数均为0.7。《18规范》

中風压不均匀系数调整表述为档距折减系数，对于500 kV线路线高一般30~50之间，其值一般在0.73~0.84之间，对于220 kV线路，线高一般15~40之间，其值一般在0.7~0.8之间。

风荷载调整系数在99规程及以后才提出，而《99规程》及《10规程》只考虑了对500 kV线路考虑1.3的系数，220 kV及以下并不考虑。而《18规范》给出了计算方法，B类地貌其值一般在1.4~1.5之间，线越高值越小。

线条风荷载历年规范各系数典型取值范围如下表1所示。

表1 导地线不同规范各系数典型取值范围

Tab. 1 Typical value range of coefficients in different codes in lines

规范	γ_0	μ_z	μ_{sc}	α_L	β_c
《79规程》	1.50	$(X/10)^{0.3}$	1.1~1.2	0.7	1.0
《99规程》	1.54	$(X/10)^{0.32}$	1.1~1.2	0.7	1.3*(1.0)
《10规程》	1.54	$(X/10)^{0.32}$	1.1~1.2	0.7	1.3*(1.0)
《18规范》	1.54	$(X/10)^{0.3}$	1.0~1.1	0.73~0.84* (0.70~0.80)	1.4~1.5

注：括号为220 kV，非括号为500 kV；X为风压参考高度。

2.2 塔身风荷载

《18规范》中对塔身风荷载的标准值，采用下式计算：

$$W_s = \beta_z W_0 \mu_z \mu_s B_2 A_s \quad (2)$$

式中： W_s 为塔身水平风荷载标准值； μ_s 为塔架的体型系数； β_z 为高度为z的铁塔段的风振系数。

历年的杆塔风荷载计算公式都与上式基本一致，只是各规范参数取值有所不同，主要涉及风压高度变化系数、体型系数及风振系数^[9]。

风压高度变化系数与导线风荷载一致。

体型系数《79规程》采用1.4(1+ η)；后续规范采用当时现行《建筑结构荷载规范》，均为1.3(1+ η)，各规范对 η 取值也一致。

对于塔身风振系数，《79规程》60 m以下未考虑，60 m以上考虑1.5；《99规程》及《10规程》一般取值在1.25~1.6之间，与高度成正比，铁塔越高，系数越大，与《18规范》相比，风振系数考虑不充分。

《18规范》风振系数，60 m以下不再采用统一系数，而是按照振型计算其风振系数。

计算常用的500 kV及220 kV双回路直线塔角钢塔不同高度的加权 β_z ，可以得到表2及表3。

$$\beta_z = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot \beta_{zi} \cdot \mu_{zi} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n h_i \cdot \mu_{zi} \cdot A_i} \quad (3)$$

式中： A_i 为每段的挡风面积； h_i 为每段的计算高度。

计算典型500 kV双回路及220 kV双回路直线角钢塔不同呼高的风振系数，如表2、表3所示。

表2 500 kV双回路直线塔角钢塔 β_z

Tab. 2 Suspension angle tower of 500 kV double circuit lines β_z

全高/m	72	78	84	90	96	102	108
5D2W2-Z1	1.676	1.672	1.655	1.650	—	—	—
5D2W2-Z2	—	1.656	1.647	1.643	1.628	—	—
5D2W2-Z3	—	—	1.644	1.636	1.632	1.620	—
5D2W2-Z4	—	—	1.658	1.649	1.646	1.634	1.631

表3 220 kV双回路直线塔角钢塔 β_z

Tab. 3 Suspension angle tower of 220 kV double circuit lines β_z

全高/m	42	45	48	51	54	57	60	63
2F2W9-Z1	1.730	1.726	1.728	1.693	1.693	—	—	—
2F2W9-Z2	1.725	1.722	1.722	1.720	1.696	1.703	1.689	—
2F2W9-Z3	—	1.700	1.715	1.720	1.725	1.715	1.703	1.687
2F2W9-Z4	1.745	1.743	1.740	1.736	1.713	1.712	1.698	—

由上表可知，其加权平均值一般在1.6~1.8之间，而且矮塔值往往比高塔更大，这与《99规程》及《10规程》的规定是相反的，后者低估了矮塔的风振系数。扩大计算范围可知，对于一般220 kV及500 kV双回路铁塔，其值一般在1.4~1.8之间。

塔身风荷载历年规范各系数典型取值范围如表4所示。

表4 塔身不同规范各系数典型取值范围

Tab. 4 Typical value range of coefficients in different codes in tower

规范	γ_0	μ_z	μ_{sc}	β_z
《79规程》	1.50	$(X/10)^{0.3}$	$1.4(1+\eta)$	1
《99规程》	1.54	$(X/10)^{0.32}$	$1.3(1+\eta)$	1.25~1.6
《10规程》	1.54	$(X/10)^{0.32}$	$1.3(1+\eta)$	1.25~1.6
《18规范》	1.54	$(X/10)^{0.3}$	$1.3(1+\eta)$	1.4~1.8

3 历年规范与《18规范》对比

选取具有代表性的500 kV及220 kV双回路角钢铁塔，通过实际的使用条件计算《18规范》各系数，如表5、表6所示。

表5 500 kV双回路角钢塔关键系数取值《18规范》

Tab. 5 Key coefficients of 500 kV double circuit in 18 codes

塔型	呼高	L_h	β_c	α_L	β_z
5D2W2-Z1	42	424	0.750	1.410	1.676
5D2W2-Z2	48	509	0.746	1.400	1.656
5D2W2-Z3	48	668	0.733	1.400	1.650
5D2W2-Z4	60	551	0.747	1.380	1.649
5D2W2-J1	36	450	0.745	1.420	1.655
5D2W2-J2	36	450	0.745	1.420	1.614
5D2W2-J3	36	450	0.745	1.420	1.602
5D2W2-J4	36	450	0.745	1.420	1.599

表6 220 kV双回路角钢塔关键系数取值《18规范》

Tab. 6 Key coefficients of 220 kV double circuit in 18 codes

塔型	呼高	L_h	β_c	α_L	β_z
2F2W9-Z1	30	378	0.750	1.430	1.728
2F2W9-Z2	36	432	0.747	1.420	1.696
2F2W9-Z3	48	454	0.750	1.400	1.686
2F2W9-Z4	36	636	0.728	1.420	1.713
2F2W9-J1	30	400	0.747	1.430	1.714
2F2W9-J2	30	400	0.747	1.430	1.584
2F2W9-J3	30	400	0.747	1.430	1.549
2F2W9-J4	30	400	0.747	1.430	1.516

按照塔身风与导线风占比40%~60%之间考虑，取 $0.6W_c+0.4W_l$ 及 $0.4W_c+0.6W_l$ 的较小值作为控制值，其荷载设计值与《18规范》的比值如表7所示，其中W79指《79规范》计算的风荷载与《18规范》比值。

表7 500 kV及220 kV角钢塔与《18规范》荷载比值

Tab. 7 Ratio to 18 codes of 500 kV and 220 kV angle tower

塔型	500 kV双回路角钢塔 5D2W2			220 kV双回路角钢塔 2F2W9		
	W79	W99	W10	W79	W99	W10
Z1	0.801	0.977	0.977	0.644	0.780	0.780
Z2	0.811	0.989	0.989	0.654	0.815	0.815
Z3	0.820	0.999	0.999	0.659	0.831	0.831
Z4	0.818	0.998	0.998	0.658	0.823	0.823
J1	0.806	0.981	0.981	0.648	0.785	0.785
J2	0.815	0.991	0.991	0.678	0.814	0.814
J3	0.818	0.994	0.994	0.687	0.822	0.822
J4	0.819	0.995	0.995	0.696	0.831	0.831
Ave.	0.814	0.991	0.991	0.665	0.813	0.813

参考表5~表6计算结果，将500 kV线路及220 kV的线高、档距、铁塔高度、风振系数等取平均

数,计算可得到荷载占比平均数,如表8所示。

表8 500 kV及220 kV线路关键参数平均数及荷载比

Tab. 8 Mid-value of key coeff. and ratios of 500 kV and 220 kV lines

规程	电压	线 μ_z	μ_{sc}	α_L	β_c	β_z	比值
79规程	500	1.52	1.10	0.70	1.00	1.500	0.816
99规程	500	1.56	1.10	0.70	1.30	1.600	0.995
10规程	500	1.56	1.10	0.70	1.30	1.600	0.995
18规范	500	1.52	1.00	0.74	1.40	1.650	1.000
79规程	220	1.23	1.10	0.70	1.00	1.000	0.644
99规程	220	1.25	1.10	0.70	1.00	1.450	0.774
10规程	220	1.25	1.10	0.70	1.00	1.450	0.774
18规范	220	1.23	1.00	0.74	1.48	1.700	1.000

按照《99规程》或《10规程》满应力设计的500 kV输电线路,基本满足《18规范》的荷载要求;220 kV的输电线路,只有《18规范》的80%左右,其主要原因是220 kV线路《99规程》或《10规程》考虑的线条风荷载及塔身风振系数不充分。

按照《79规程》满应力设计的500 kV输电线路,荷载设计值只有《18规范》的82%左右,主要原因是没有考虑线条风振系数,但是广东沿海强台风区基本没有按《79规程》设计的500 kV输电线路。而按照《79规程》满应力设计的220 kV及以下线路,荷载设计值只有《18规范》的65%左右,不满足最新荷载规范的要求。

沿海地区满应力设计的铁塔,风荷载为控制荷载,其抗风能力与荷载比值成正比。由此可知,按照历年规程设计的存量线路,除《99规程》及《10规程》设计的500 kV输电线路外,其余的已有线路抗风能力均不能达到《18规范》的要求,建议按线路的不同可靠度需求进行差异化进行加固或者重建,来保证线路的安全经济运行。

4 结论

通过历年规范线条风及塔身风与新荷载规范对比,得出以下结论:

1) 综合荷载分项系数与材料分项系数,《79规程》取1.5,其余均为1.54;风压高度变化系数《79规程》与《18规范》近似,为0.30的指数幂,而其余为0.32的指数幂;导地线体型系数《18规范》有所减小,大约减小10%;塔身风荷载体型系数《79

规范》为1.4,其余均调整为1.3。

2) 风振系数取值变化比较大,也是历年规范设计线路抗风能力不同的主要原因。对于线条风荷载,《79规程》为1.0;《99规程》与《10规程》500 kV线路均为1.3,220 kV及以下均为1.0;《18规范》取值区间一般在1.4~1.5之间。

3) 对于塔身风荷载风振系数,《79规程》60m以下未考虑,60 m以上考虑1.5;《99规程》及《10规程》一般取值在1.25~1.6之间,与高度成正比,铁塔越高,系数越大;《18规范》取值一般在1.4~1.8之间,矮塔往往比高塔风振系数更大。可知,《99规程》及《10规程》铁塔塔身风,矮塔被低估了。

4) 《99规程》与《10规程》建设的500 kV线路抗风能力与《18规范》基本一致,而其标准建设的220 kV其抗风能力只有《18规范》的80%左右。《79规程》建设的500 kV只有《18规范》82%左右,220 kV及以下仅有《18规范》的65%~67%。可见按照以往规程建设的220 kV以下的线路,抗风能力均较差。这也是沿海地区风灾倒塔严重的主要原因。

5) 对于不满足《18规范》要求的存量线路,特别是按照《79规程》修建的老线路,抗风可靠度比较低,建议按线路的不同可靠度需求进行差异化进行加固或者重建,确保线路的安全经济运行。

参考文献:

- [1] 江巴彦,潘春平,庄志伟,等. 广东沿海输电线路台风倒塔事故的分析探讨[J]. 南方能源建设,2016,3(增刊1):82-87.
JIANG S Y, PAN C P, ZHUANG Z W, et al. Analysis of collapse accident of transmission line tower causing by typhoon attacking in the coastal district of Guangdong province [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(Supp. 1): 82-87.
- [2] 朱辉良,袁杨,方水平,等. 强台风下某铁塔受损案例分析[J]. 南方能源建设,2015,2(3):136-139.
ZHU H L, YUAN Y, FANG S P, et al. Damage analysis of transmission tower under typhoon [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(3): 136-139.
- [3] 国家能源局. 架空输电线路荷载规范:DL/T 5551—2018[S]. 北京:中国计划出版社,2019.
National Energy Administration. Load code for overhead transmission lines: DL/T 5551—2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2019.
- [4] 中华人民共和国水利电力部. 架空送电线路设计技术规程:SDJ 3—79[S]. 北京:水利电力出版社,1979.

- Ministry of Water Resources and Power of the People's Republic of China. Technical code for design of overhead transmission lines: SDJ 3—79 [S]. Beijing: Water Resources and Power Press, 1979.
- [5] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 110~500 kV 架空送电线路设计技术规程: DL/T 5092—1999 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- State Economic and Trade Commission of the people's Republic of China. Technical code for design of 110~500 kV overhead transmission line: DL/T 5092—1999 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 110~750 kV 架空输电线路设计规范: GB 50545—2010 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of 110~750 kV overhead transmission line: GB 50545—2010 [S]. Beijing: China Planning Press, 2010.
- [7] 邓洪洲, 张建明, 帅群, 等. 输电钢管塔体型系数风洞试验研究 [J]. 电网技术, 2010, 34(9): 190-194.
- DENG H Z, ZHANG J M, SHUAI Q, et al. Wind tunnel test study on shape coefficient of steel transmission tower [J]. Grid Technology, 2010, 34(9): 190-194.
- [8] 章东鸿, 王振华. 输电线路导线阵风响应计算与比较 [J]. 中国电力, 2016, 49(7): 27-31.
- ZHANG D H, WANG Z H. Calculation and comparison of gust response of transmission line and ground wire [J]. China Power, 2016, 49(7): 27-31.
- [9] 李敏生, 王振华. 中国输电线路规范的风荷载计算比较 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(3): 89-93.
- LI M S, WANG Z H. Comparison of wind load calculation for china transmission codes [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(3): 89-93.

作者简介:



黎景辉 (通信作者)

1987-, 男, 广东梅州人, 工程师, 硕士, 主要从事架空输电线路结构研究及设计 (e-mail) 295015356@qq.com。

黎景辉

李敏生

1972-, 男, 广东揭阳人, 高级工程师, 学士, 主要从事输电网工程设计和研究 (e-mail) liminsheng@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)

2020 中国数据中心绿色能源大会在上海隆重召开

2020年9月21日-9月22日, 由CDCC(中国数据中心工作组)和DCRE(数据中心绿色能源技术联盟)联合主办的2020中国数据中心绿色能源大会, 在上海新国际博览中心盛大开幕。

本次大会围绕“创新融合, 绿色节能”、“数据中心绿色能源技术”、“数据中心绿色节能技术”、“数据中心高可靠性技术”、“数据中心智慧建造技术”、“聚焦新基建 共谋新发展”5大专题, 设置了30多场精彩主题演讲, 3场专家圆桌论坛。DCRE理事长, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司党委委员、副总经理梁汉东在会上开幕致辞并发表主题演讲“新基建形势下能源与数据中心发展”。知名行业专家、运营商、互联网公司、数据中心设计和建设单位、设备企业、投资机构及用户大咖齐聚论坛。现场盛况空前, 线下3万多人现场参会, 线上21万多人参与观看。

2020年以来, 国家层面大力推动“新基建”发展。产业融合是“新基建”的必然需求, 而能源和数据中心是“新基建”要发展的两大重要板块, 特别是在当前绿色数据中心为产业热点的前提下, 促进能源与数据中心融合发展, 已成为今后数据中心建设的重要方向。为推动产业融合, 共促健康发展, DCRE于2019年11月21日在北京国家会议中心正式成立, 未来, DCRE将推动面向绿色数据中心的能源政策和技术研究, 与协作方开展技术应用、咨询与培训, 编制和推广相关标准及白皮书, 搭建信息服务平台, 开展技术交流及调研等, 共同为绿色能源、绿色数据中心提供技术创新服务。欢迎各界人士及单位加入我们, 大家一起携手共进, 推动产业融合, 促进行业发展, 共享时代机遇!

(中国能建广东院 朱文涛, 吴晗)