

中国和IEC规范杆塔塔风荷载对比

吕博¹ 石能森² 李松伟²

1. 中国机械设备工程股份有限公司 北京 100073

2. 山东电力工程咨询院有限公司 山东济南 250013

摘要: 在输电线路设计中, 风荷载是杆塔荷载的主要荷载, 风荷载对杆塔的安全性和经济性有着至关重要的作用。本文通过中国和IEC规范中对风荷载计算方法的不同, 找出其中的差异, 为国际输电线路工程设计提供参考。

关键词: 杆塔; 格构式结构; 风荷载; IEC标准; 标准对比

Comparison of wind load between Chinese and IEC standard tower

Bo Lv¹, Nengsen Shi², Songwei Li³

1. China Machinery Engineering Corporation Beijing 100073

2. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Corp.. Ltd Jinan City, Shandong Province 250013

Abstract: In transmission line design, wind load is the main load of tower load, which plays a vital role in the safety and economy of the tower. This paper finds out the difference between wind load calculation methods in China and IEC standards and provides a reference for international transmission line engineering design.

Keywords: tower; latticed structure; wind load; IEC standard; comparison of standard

引言:

随着我国一带一路战略的实施, 很多电力设计院开始参与国际输变电项目的设计工作。国际工程设计标准多采用ASCE74-2009、IEC60826^[1](以下简称IEC)等国际通用标准, 中国设计标准采用的相对较少, 因此熟练掌握国际标准对国际输电线路工程的开展有重要的作用。

近年来随着越来越多的涉外电力工程, 关于国内外不同规范标准之间风荷载中相关系数取值对比的论文也

很多, 本文通过DL/T 5551—2018^[2]与IEC标准风荷载计算公式整体对比, 找出其之间差异的关键, 以便对以后的国际输电工程的投标、设计工作提供参考。

1 风荷载计算

研究IEC标准中风荷载的计算方法, 并与我国规范在重现期、风速基准高度、地形地貌、平均风速时距、风速高度换算系数等方面进行分析研究, 以及参数的取值和影响因素。

1.1 杆塔风荷载计算公式

(1) 按照国标规范规定, 杆塔风荷载的标准值应按下式计算:

$$W_s = W_0 \cdot \mu_z \cdot \mu_s \cdot \beta_z \cdot B \cdot A_s$$

式中: W_0 : 基准风压

μ_z : 风压高度变化系数

μ_s : 构件的体型系数

β_z : 高度z处的杆塔风振系数

B: 杆塔构件覆冰时风荷载增大系数

A_s : 迎风面构件的投影面积计算值 (m^2)

(2) 按照IEC规范规定, 杆塔风荷载的标准值应按

作者简介:

吕博(1988-), 男, 内蒙古, 中国机械设备工程股份有限公司, 结构设计师, 工程师, 本科, 邮编: 100073, 从事高压输电线路结构设计研究;

石能森(1985-), 男, 山东, 山东电力工程咨询院有限公司, 电气设计师, 工程师, 本科, 邮编: 250013, 从事高压输电线路电气设计研究;

李松伟(1980-), 男, 河北, 山东电力工程咨询院有限公司, 结构设计师, 工程师, 本科, 邮编: 250013, 从事高压输电线路结构设计研究。

下式计算:

$$A_1 = q_0 \cdot (1 + 0.2 \sin^2 2\theta) (St1 \cdot Cxt1 \cdot \cos 2\theta + St2 \cdot Cxt2 \cdot \sin 2\theta) G_1$$

式中: A_1 : 杆塔风荷载标准值 (kN)

q_0 : 基准风压

θ : 风的入射角与杆塔正面之间的角度

$St1, St2$: 塔身正面或侧面的投影表面积

$Cxt1, Cxt2$: 垂直于杆塔正面或侧面的风荷载阻力系数

χ : 密实度, 杆塔正面或侧面构件投影面积除以轮廓面积。

G_1 : 构件的风荷载组合系数

1.2 基准风压

根据国标规范中基准风压计算公式为: $W_0 = V^2 / 1600$ (V : 基准高度为 10m 处 10 分钟的平均风速 (m/s))。

根据 IEC 规范中基准风压计算公式为:

$$q_0 = \frac{1}{2} \tau \cdot \mu \cdot (K_R \cdot V_{RB})^2$$

式中: μ : 温度为 15℃, 大气压为 1013kPa 时海平面处的空气密度为 1225kg/m³

τ : 空气密度调整系数。

V_{RB} : 地形粗糙度为 B 条件下 10m 高度处 10 分钟平均风速。

K_R : 地形粗糙度系数。

风速是风荷载计算的基本输入计算参数, 最大设计风速的选取与气象重现期、地形粗糙度、计算高度、风速时距等中国多条件有关。下面我们就从以下几方面对我国规范和 IEC 规范进行对比。

1.2.1 地形地貌

我国和 IEC 规范中对地面粗糙度共分为 A、B、C、D 类, 分类较为接近, 其中 A 类指近海面和海岛、海岸、湖岸及沙漠地区; B 类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀少的乡镇和城市郊区; C 类指有密集建筑群的城市市区; D 类指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。

地面粗糙度系数 α 和 K_R 对比如表 1 所示:

表 1

地形类别	IEC 60826		GB 50009-2012	
	α	K_R	α	μ_z
A	0.10-0.12	1.08	0.12	1.09
B	0.16	1.00	0.15	1.00
C	0.22	0.85	0.22	0.65
D	0.28	0.67	0.30	0.51

IEC 规范中还规定了系数 K_R , 即参考风速由一种地形向另一种地形转化的系数。在我国规范中没有对应的系数, 但我国规范中风压高度系数反映风压随不同地面粗糙度类别及高度的变化规律, 随离地面高度增加而增大, 随粗糙度的增加而减小。通过表 1 可以看到, 我国粗糙度指数 α 在 B 类地形略低一些, D 类略高一些。

1.2.2 计算高度

我国和 IEC 的规范在计算风荷载要求风速均为 10m 高度处 10 分钟的平均风速, 不同高度的风速转换公式如下所示:

$$\bar{I}_z = \left(\frac{z}{10}\right)^{-\alpha} \quad (\text{DL/T 5551-2018})$$

式中: \bar{I}_z : 湍流强度沿高度的分布函数

z : 塔段离地高度

α : 地面粗糙系数

$$V_z = V_R \left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \quad (\text{IEC 60826-2017})$$

式中: V_z : Z 米高度处的风速

V_R : 10 米高度处的风速

Z : 离地高度

由以上公式可知, 对不同高度下风速转换, 影响风速转换结果的只有地面粗糙度。因此, 在同一地区, 地面粗糙度是相同的, 风速转换结果也是相同的。

1.2.3 风振系数

根据我国规范在计算杆塔风荷载时, 风振系数 β_z 应根据杆塔不同高度分段进行计算, 计算公式如下所示:

$$\beta_z = 1 + 2g \cdot \epsilon_t \cdot I_{10} \cdot B_{z1} \cdot \sqrt{1 + R^2}$$

式中: ϵ_t : 杆塔风荷载脉动折减系数, 如表 7 所示

B_{z1} : 背景因子

R : 共振因子

I_{10i} : 10 米高度处的湍流强度

表 2 杆塔风荷载脉动折减系数 ϵ_t

杆塔类型	$H \geq 40\text{m}$ 的杆塔	$H \leq 20\text{m}$ 的杆塔
ϵ_t	1.0	0.6

H 为全塔高度

而在 IEC 规范中并没有杆塔风振系数, 其规范中 G_t 是与地面粗糙度和高度有关的组合系数, 相当于我国规范中的 $\mu_z \cdot \beta_z$ 的值, 如以下公式所示:

$$G_t = 0.0002 \cdot z^2 + 0.0322 \cdot z + 1.4661 \quad \text{A 类地形}$$

$$G_t = 0.0002 \cdot z^2 + 0.0274 \cdot z + 1.682 \quad \text{B 类地形}$$

$$G_t = 0.0002 \cdot z^2 + 0.0298 \cdot z + 2.2744 \quad \text{C 类地形}$$

$$G_t = 0.0002 \cdot z^2 + 0.0384 \cdot z + 2.2984 \quad \text{D 类地形}$$

1.2.4 体型系数

根据我国规范《架空输电线路杆塔结构设计技术规定》DL/T 5154-2012^[3]中规定由型钢杆件组成的杆塔体型系数按下式计算： $\mu_s=1.3 \cdot (1+\eta)$

式中： η ：塔架背风面荷载降低系数，按表3选用

表3 塔架背风面风荷载降低系数 η

A_f/A	≤ 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	>0.6
b/a	≤ 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	>0.6
≤ 1	1.0	0.85	0.66	0.50	0.33	0.15
2	1.0	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30

注：1. A —塔架的轮廓面积， a —塔架迎风面宽度， b —塔架迎风面与背风面之间距离；

2. 中间值可按线性插入法计算。

由此可知，当 $b/a=1$ 时风荷载体型系数 μ_s 值如表4所示：

表4 我国规范风荷载体型系数 μ_s ($b/a=1$)

A_f/A	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
型钢	2.6	2.405	2.158	1.95	1.729	1.495

IEC规范中杆塔正侧面阻力系数 C_{xt1}, C_{xt2} 相当于我国规范中的体型系数，同样随着结构填充率 χ 变化而不同，如下所示：

$$C_{xt1,2} = 4.1727 \cdot \chi^2 - 6.1681 \cdot \chi + 4.0088$$

1.2.5 风荷载对比

假定地面粗糙度为B类，没有覆冰，气象重现期为50年，当风向垂直或是顺线路方向时的风速为离地10m

处的10分钟平均风 V ，杆塔高度 $\leq 60m$ ，则我国与IEC风荷载之比为：

$$IEC/中国 = \frac{\mu_z \cdot \mu_s \cdot \beta_z}{C_{xt} \cdot G_t} \quad (b/a \leq 1)$$

由已定条件可得，风压和杆塔受风面积基本一致，其他系数乘积后的差异将决定杆塔风荷载的差异。

IEC规范中对结构的承载力极限状态计算式只需考虑荷载系数 γ_0 ，一般取值为1.

我国GB规范在对结构的承载力极限状态计算时，对风荷载还需要考虑其他的系数：

a. 结构重要性系数 γ_0 ，重要线路不小于1.1，临时路取0.9，其他线路取1.0。

b. 可变荷载的分项系数 γ_{Qi} ，取1.4。

c. 可变荷载组合系数 Ψ ，正常运行取1.0，断线、安装和不均匀覆冰情况取0.9，验算情况取0.75。

铁塔风荷载计算分析

本算例以国网典设1E6-SJ1为例，基本参数如下：

导线型号：2×JL3/G1A-400/35

地线型号：JLB20A-100

设计风速：50年重现期10m高度处设计风速29m/s

水平档距：450m

垂直档距：700m

呼称高：33m

塔全高：44.9m

塔身风荷载如下表5所示：

表5

中国规范风荷载计算							IEC规范风荷载计算				
位置	段号	高度 (m)	挡风系数	风压 (kN/m ²)	高度变化系数 μ_z	风荷载调整系数 β_z	风荷载 (kN/m ²)	风压 (kN/m ²)	侧阻力系数 C_{xt1}	构件组合系数 G_t	风荷载 (kN/m ²)
地线架	1	44.6	0.448	0.823	1.566	2.87	1.48	0.536	2.3	2.506	1.26
上横担	2	41.27	0.507	0.804	1.53	2.88	2.24	0.536	2.105	2.472	1.92
中横担	3	37.23	0.44	0.78	1.483	2.31	2.24	0.536	2.275	2.425	2.3
下横担	4	33.4	0.339	0.755	1.436	2.1	1.85	0.536	2.637	2.374	1.92
塔身	5	41.81	0.413	0.807	1.536	1.928	10.5	0.536	2.219	2.477	10.0
	6	34.8	0.378	0.764	1.453	1.72	13.25	0.536	2.369	2.393	13.8
	7	28.25	0.235	0.718	1.365	1.41	8.84	0.536	2.798	2.296	12.608
	8	21.94	0.170	0.665	1.266	1.22	7.82	0.536	3.075	2.187	14.113
	9	16.86	0.167	0.615	1.17	1.15	6.48	0.536	3.158	2.087	11.832
	10	11.1	0.123	0.542	1.031	1.11	10.63	0.536	3.313	1.961	24.295
	11	10	0.078	0.526	1.0	1.01	4.61	0.536	3.659	1.936	9, 572

通过上表中风荷载对比可得,在高度30~35m处,中国和IEC规范的塔身风荷载计算相同,40m以上中国规范计算的塔身风荷载要大于IEC规范的塔身风荷载。

2 结束语

通过本文对我国和IEC规范中杆塔风荷载计算的差异对比,可以得到以下结论:

(1)我国GB规范和IEC规范中对风速和地形粗糙的要求是一致的,关键是在风压高度变化系数、风振系数和体型系数的取值有较大的差异。

(2)我国规范的公式中没有考虑风向角度,而是按照风荷载分配表进行分配,见《架空送电线路杆塔结构设计技术规定》DL/T5154-2012^[3]。

(3)按50年重现期设计,铁塔高度在30~35m以下塔身的风荷载值我国GB规范计算要小于IEC规范计算,

而高于40m的结构风荷载值我国GB规范计算要大于IEC规范计算。

(4)在参与国际工程时,由于我国规范对不同的气象区规定了最小设计风速,并不适用于国际工程的时间情况。而且电压等级越高的输电线路,利用IEC规范设计计算的铁塔要比按我国规范设计的更加经济。

参考文献:

[1] IEC 60826: 2017, Overhead transmission lines—Design criteria, 2017[S]. Switzerland

[2] DL/T 5551—2018, 110kV~750kV架空输电线路荷载规范[S].北京:中国计划出版社,2019.

[3] DL/T5154-2012, 架空输电线路杆塔结构设计技术规定[S].北京:中国计划出版社,2012.