



中华人民共和国国家标准

GB/T 38957—2020

海上风电场热带气旋影响评估技术规范

Technical specification for effect evaluation of tropical cyclone on offshore wind
power project

2020-07-21 发布

2020-07-21 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 评估区域确定 3

5 资料收集与处理 3

6 热带气旋风险评估 3

7 热带气旋发电效益评估 5

附录 A（规范性附录） 标准空气密度下轮毂高度处风速计算 6

附录 B（规范性附录） 热带气旋影响的泊松-耿贝尔(Poisson-Gumbel)分布 7

参考文献..... 9

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国气象局提出。

本标准由全国气候与气候变化标准化技术委员会(SAC/TC 540)归口。

本标准起草单位:中国气象局公共气象服务中心、中国气象科学研究院、广东省气象局、北京玖天气象科技有限公司、中国三峡新能源(集团)股份有限公司、新疆金风科技股份有限公司、中广核风电有限公司。

本标准主要起草人:王丙兰、宋丽莉、李英、全利红、黄浩辉、陈雯超、袁春红、植石群、刘兵、南兰、宁巧珍、敖娟、李靖、董礼、成和祥。



海上风电场热带气旋影响评估技术规范

1 范围

本标准规定了海上风电场热带气旋影响评估区域确定、资料收集与处理、热带气旋风险评估和热带气旋发电效益评估的技术方法。

本标准适用于海上风电开发的热带气旋风险评估和发电效益评估。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 31519—2015 台风型风力发电机组

GB/T 36745—2018 台风涡旋测风数据判别规范

NB/T 31147—2018 风电场工程风能资源测量与评估技术规范

QX/T 438—2018 桥梁设计风速计算规范

IEC 61400-1:2019 风力发电机组 第1部分:设计要求(Wind energy generation systems—Part 1: Design requirements)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海上风电场 offshore wind power project

在沿海多年平均大潮高潮线以下海域及相应开发海域内无居民的海岛上开发建设的风电场。

注:改写 NB/T 31029—2012,定义 2.0.3。

3.2

热带气旋 tropical cyclone

生成于热带或副热带洋面上,具有有组织的对流和确定的气旋性环流的非锋面性涡旋。

注1:包括热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风。

注2:改写 GB/T 19201—2006,定义 2.1。

3.3

工程区域 engineering area

由海上风电场外围若干控制点的连线组成的封闭海域。

3.4

热带气旋发电效益评估 evaluation of the benefits of tropical cyclone energy production

满足风电机组发电工况条件的热带气旋外围风区发电效益评估。

3.5

评估区域 evaluation area

工程区域边界线外扩一定范围,用于风险评估或效益评估的区域。

3.6

参证气象站 reference meteorological station

气象分析计算所参照或引用的具有长年代气象观测数据的国家气象观测站。

注 1: 长年代一般不少于 30 年。

注 2: 改写 QX/T 469—2018, 定义 3.2。

3.7

专用气象站 dedicated meteorological station

为海上风电场工程项目选址或建设获取气象要素值而设立的气象观测站。

注 1: 专用气象站宜在轮毂高度处具备三维高频(采样频率为 1 Hz 及以上)观测。

注 2: 改写 QX/T 449—2018, 定义 3.2。

3.8

风向变差角 variation of wind direction

规定时间间隔内水平风向的变化角度。计算见式(1):

$$\Delta D = D_2 - D_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

ΔD —— 风向变差角, 单位为度($^{\circ}$);

D_1 —— 规定时距内前一时刻的风向, 单位为度($^{\circ}$);

D_2 —— 规定时距内后一时刻的风向, 单位为度($^{\circ}$)。

3.9

重现期 return period

某一事件重复出现的平均间隔时间。

注 1: 重现期为 N 年, 则该事件的出现概率为 N 年一遇。本标准采用的重现期为 50 年和 1 年。

注 2: 改写 QX/T 436—2018, 定义 3.3。

3.10

最大风速 maximum wind speed

给定时段内平均风速的最大值。

[GB/T 31724—2015, 定义 2.27]

3.11

极大风速 extreme wind speed

给定时段内 3 s 平均风速的最大值。

[GB/T 31724—2015, 定义 2.28]

3.12

WTGS 等级风速超越概率 probability of exceeding classes winds of wind turbine generator system

风力发电机组轮毂高度处可能遭遇大于或等于按 IEC 61400-1:2019 或 GB/T 31519—2015 规定的风力发电机组各等级风速的概率。

注: IEC 61400-1:2019 规定的风力发电机组(WTGS) I、II、III 等级风速分别为 50 m/s、42.50 m/s、37.5 m/s, 受台风影响地区的等级风速为 57 m/s。GB/T 31519—2015 规定的台风型风力发电机组(WTGS) T I、T II 等级风速分别为 55 m/s、50 m/s。

3.13

参考湍流强度 reference turbulence intensity

风速在 14.5 m/s~15.5 m/s 区间的湍流强度参考值。

注: IEC 61400-1:2019 中参考湍流强度定义为风速为 15 m/s 数据的 70% 分位数的湍流强度, GB/T 18451.1—2012 中参考湍流强度定义为风速为 15 m/s 数据的湍流强度的平均值。

3.14

等效满负荷运行小时数 equivalent full load hours

风电机组实际上网发电量折算为风电机组以额定功率运行时所对应的小时数。

4 评估区域确定

4.1 风险评估区域确定

应根据海上风电场所在地区热带气旋最大风速(或眼壁区)半径的统计特征确定风险评估区域。风险评估区域以工程区域边界线外扩 50 km~100 km 为宜。

注：根据多个热带气旋的概率统计结果,热带气旋眼壁区半径一般在 50 km~100 km 之间。

4.2 发电效益评估区域确定

应以可满足风电机组运行工况条件的历史热带气旋外围风区和影响时间特征为分析依据,以影响风电场热带气旋 6 级~7 级风圈半径区域和影响时间为主要指标进行统计。发电效益评估区域以工程区域边界线外扩 130 km~500 km 为宜。

注：根据多个热带气旋实测资料的统计结果,满足风电机组运行工况条件的热带气旋外围风区半径一般在 130 km~500 km 之间。

5 资料收集与处理

5.1 总体要求

应全面收集评估区域内气象观测等资料,特别是热带气旋相关资料。当专用气象站未能观测到热带气旋涡旋区域的数据时,应收集其具有代表性的包含热带气旋涡旋的海上观测数据。

5.2 参证气象站长期观测资料收集与处理

应收集评估区域内气象站资料,并按照 QX/T 438—2018 中第 3 章和第 4 章的规定进行参证气象站选取及参证气象站年最大风速序列一致性订正,包括迁站订正、高度订正、时距订正等,时间序列一般不少于 30 年。

5.3 专用气象站资料收集与处理

应收集工程区域内专用气象站资料,并按照 NB/T 31147—2018 中 5.2 的规定进行数据检验,包括数据代表性评价、数据完整性检验、数据合理性检验等。

5.4 热带气旋最佳路径数据集收集与处理

应收集评估区域内至少近 30 年的热带气旋最佳路径数据集,并将该数据集订正为 10 min 时距的风速。

6 热带气旋风险评估

6.1 热带气旋统计特征

风险评估区域内热带气旋统计特征应包含：

- a) 热带气旋中心经过风险评估区域的各等级热带气旋的年、月平均频数与频率、不同台风路径移

动方向的频数与频率统计；

- b) 热带气旋中心经过风险评估区域的超过 WTGS 等级风速的热带气旋频数和频率统计；
- c) 热带气旋对工程区域影响较大的热带气旋强度、路径等统计分析。

6.2 风电机组选型及设计载荷工况参数计算

6.2.1 利用现场专用气象站观测资料,特别是热带气旋观测资料,计算风电机组选型和设计载荷工况参数。对于热带气旋观测资料,应按照 GB/T 36745—2018 中第 5 章至第 7 章规定的热带气旋涡旋风的分区指标进行分区,并分别计算热带气旋眼壁区、眼区、外围区的风电机组选型和设计载荷工况参数。

6.2.2 风电机组选型和设计载荷工况参数具体包括：

- a) 风电机组选型参数包括:50 年一遇最大风速、50 年一遇极大风速和参考湍流强度。参考湍流强度应同时考虑热带气旋眼壁区湍流强度。
- b) 风电机组设计载荷工况参数包括:风向变差角、入流角、湍流强度、风切变指数、阵风系数,以及极端运行阵风、极端风向变化和方向变化的极端相干阵风等极端工况参数。

6.2.3 风电机组选型和设计载荷工况参数计算方法如下：

- a) 风向变差角计算方法见定义 3.8,入流角(又称风攻角)按照 GB/T 36745—2018 中定义 2.4 计算,湍流强度、风切变指数(又称风廓线指数)、阵风系数按照 GB/T 36745—2018 中附录 A 计算。
- b) 若现场专用气象站具备三维高频(采样频率为 1Hz 及以上)观测数据,应按照 IEC 61400-1:2019 中 6.3.3 和 GB/T 31519—2015 中 5.3 的规定,计算极端工况参数,包括极端运行阵风、极端风向变化、方向变化的极端相干阵风等。

6.3 工程区域重现期风速及 WTGS 等级风速超越概率计算

6.3.1 工程区域 N 年一遇最大风速

6.3.1.1 参证气象站与专用气象站相关性分析

应按照下列方法进行：

- a) 选取专用气象站轮毂高度处与参证气象站至少一年同步观测的日最大 10 min 平均风速的较大值样本(宜为 10 m/s 以上)进行线性相关分析,得到比值系数或回归系数,并对其进行相关显著性检验(检验方法见 QX/T 438—2018 中附录 C)；
- b) 若相关显著性通过 0.05 信度检验,则参证气象站与专用气象站相关性良好,若未通过 0.05 信度检验,则相关性较差。

6.3.1.2 工程区域 N 年一遇最大风速计算

6.3.1.2.1 当风险评估区域内有参证气象站且与专用气象站相关性良好时,利用极值 I 型概率分布函数计算参证气象站 N 年一遇最大风速,然后利用比值系数或回归系数,将参证气象站 N 年一遇最大风速推算到工程区域轮毂高度处,最后按照附录 A 的 A.2 计算工程区域标准空气密度下轮毂高度处 N 年一遇风速。

6.3.1.2.2 当风险评估区域内无参证气象站或参证气象站与专用气象站相关性较差时,宜利用热带气旋最佳路径数据集参照如下步骤计算工程区域 N 年一遇最大风速：

- a) 当工程区域专用气象站位于某时刻某个热带气旋最大风速半径(计算方法参见 HAD 101/11—1991 附录 VII)范围内时,则认为工程区域专用气象站受到热带气旋影响,且工程区域专用气象站该时刻的风速值等于该热带气旋的最大风速值。
- b) 统计工程区域专用气象站年最大风速序列以及热带气旋影响频数,计算工程区域专用气象站

N 年一遇最大风速:

- 1) 若年最大风速样本可组成连续 20 年以上的年最大风速序列,利用极值 I 型概率分布函数计算工程区域专用气象站的 N 年一遇最大风速;
- 2) 若年最大风速样本不能组成连续 20 年以上的年最大风速序列,利用泊松-耿贝尔(Poisson-Gumbel)概率分布函数(见附录 B 的 B.1)计算工程区域专用气象站的 N 年一遇最大风速,按照附录 B 的 B.2 和 B.3 对泊松-耿贝尔拟合分布进行检验,并按照附录 A 计算工程区域标准空气密度下轮毂高度处 N 年一遇最大风速。

6.3.2 WTGS 等级风速超越概率推算

将 WTGS 等级风速换算为工程区域空气密度下 10 m 高度的风速,根据极值 I 型概率分布函数或泊松-耿贝尔(Poisson-Gumbel)概率分布函数,计算工程区域标准空气密度下 10 m 高度风速对应的频率。

6.3.3 工程区域 N 年一遇极大风速计算

利用专用气象站至少一年的 10 min 平均风速降序排列后前 2% 的数据作为较大值样本,计算其平均阵风系数,利用 6.3.1 计算的工程区域 N 年一遇最大风速,与阵风系数相乘得到工程区域 N 年一遇极大风速。

6.4 风电机组选型及安全风险评估

6.4.1 结合 6.3 推算的工程区域标准空气密度下轮毂高度处 50 年一遇最大风速、WTGS 等级风速超越概率,以及 6.2 计算的参考湍流强度、热带气旋眼壁区湍流强度,评估风电机组选型风险及安全等级。

6.4.2 判别 6.2 和 6.3 计算的风机工况参数是否满足风机性能指标和参数要求,评估风电机组选型风险。

6.4.3 判别 6.2 计算的热带气旋湍流强度、极端运行阵风、极端风向变化、方向变化的极端相干阵风等风机工况参数是否满足 IEC 61400-1:2019 中 6.3.3 和 GB/T 31519—2015 中 5.3 规定的各种工况的参数要求,评估热带气旋条件下风电机组安全风险。

7 热带气旋发电效益评估

7.1 热带气旋发电效益评估目标和指标

7.1.1 以满足风电机组发电工况气象参数条件的热带气旋外围风区为目标。

7.1.2 以风电机组等效满负荷运行小时数作为发电效益评估的指标。

7.2 热带气旋发电效益评估参数

7.2.1 利用热带气旋发电效益评估区域内至少 30 年的热带气旋数据,评估平均年景、最好年景和最差年景的热带气旋发电效益。

7.2.2 平均年景:热带气旋外围影响的年平均等效满负荷运行小时数。

7.2.3 最好年景:热带气旋外围影响最多或时段最长的年份的等效满负荷运行小时数。

7.2.4 最差年景:热带气旋外围影响最少或时段最短的年份的等效满负荷运行小时数。

附 录 A (规范性附录)

标准空气密度下轮毂高度处风速计算

A.1 轮毂高度处风速推算

选取专用气象站 10 m 高度处 10 min 平均风速不小于 10 m/s 的样本,利用式(A.1)进行拟合,得到风切变指数 α :

$$U_z = U_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

U_z —— z 高度处的 10 min 平均风速,单位为米每秒(m/s);

U_{10} —— 10 m 高度处的平均风速,单位为米每秒(m/s);

z —— 高度,单位为米(m);

α —— 风切变指数,无量纲数。

将拟合得到的风切变指数 α 及轮毂高度代入式(A.1)得到轮毂高度处的风速。

A.2 标准空气密度下风速计算

将风速订正到标准空气密度状况下的计算见式(A.2)。

$$v_0 = v \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

v_0 —— 标准空气密度状况下的风速,单位为米每秒(m/s);

v —— 实测风速,单位为米每秒(m/s);

ρ —— 实测空气密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

ρ_0 —— 标准空气密度,取常数 1.225 kg/m³。



附录 B
(规范性附录)

热带气旋影响的泊松-耿贝尔(Poisson-Gumbel)分布

B.1 泊松-耿贝尔(Poisson-Gumbel)分布函数

符合泊松-耿贝尔(Poisson-Gumbel)分布的 N 年一遇(概率为 P)最大风速 x_P 计算见式(B.1):

$$x_P = \delta + \Phi_P / a \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- δ ——位置参数,无量纲数;
- a ——尺度参数,无量纲数;
- Φ_P ——由式(B.2)计算:

$$\Phi_P = -\ln \left[-\ln \left(1 + \frac{1}{\lambda} \ln P \right) \right] \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- λ ——热带气旋影响总次数与总年数的比值,无量纲数。
- 参数 a 和 δ 的估计值计算分别见式(B.3)和式(B.4):

$$a = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

$$\delta = E(x) - \frac{E(y)}{a} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

- x ——由小到大排列的年最大风速序列,单位为米每秒(m/s);
- y ——由式(B.5)计算:

$$y_i = -\ln \left[-\ln \left(\frac{i}{n+1} \right) \right], i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

- n ——热带气旋影响的总年数,无量纲数。

B.2 热带气旋影响频数分布拟合检验

采用卡方检验对泊松-耿贝尔分布中的热带气旋影响频数分布拟合进行检验,见式(B.6):

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^K \frac{(f_i - nP_i)^2}{nP_i}, i = 0, 1, \dots, K \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

- K ——组数,无量纲数;
- f_i ——各组实际出现次数,无量纲数;
- n ——实际总年数,无量纲数;
- P_i ——各组理论分布频数,由式(B.7)求得:

$$P_K = e^{-\lambda} \frac{\lambda^K}{K!} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

取信度为 5%,查 χ^2 分布表,若大于计算的 χ^2 ,表明该海域热带气旋影响频数符合泊松分布。

B.3 热带气旋影响风速分布拟合检验

采用柯尔莫哥洛夫法对泊松-耿贝尔分布中的风速分布拟合进行检验。将风速由大到小作成有序统计量并分成几组,计算各组理论点与经验点间的最大偏差 D ,见式(B.8):

$$D = | P_n(x) - P(x) |_{\max} \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

$P_n(x)$ ——经验分布的累积频率,无量纲数;

$P(x)$ ——理论分布累积概率,无量纲数。

按柯尔莫哥洛夫适度准则,设 $\eta = \sqrt{n}D$,计算累积概率 $P(\eta)$,见式(B.9):

$$P(\eta) = \left\{ | P_n(x) - P(x) |_{\max} < \frac{\eta}{\sqrt{n}} \right\} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k^2 \eta^2} \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

根据信度 t 找到满足 $P(\eta_t) = 1 - t$ 的临界值 η_t ,然后比较 η 与 η_t ,若 $\eta < \eta_t$,则接收原假设,若 $\eta \geq \eta_t$,则拒绝原假设。

参 考 文 献

[1] GB/T 18451.1—2012 风力发电机组 设计要求

[2] GB/T 19201—2006 热带气旋等级

[3] GB/T 31517—2015 海上风力发电机组 设计要求

[4] GB/T 31724—2015 风能资源术语

[5] GB 50009—2012 建筑结构荷载规范

[6] DL/T 5158—2012 电力工程气象勘测技术规程

[7] HAD 101/11—1991 核电厂设计基准热带气旋

[8] JTG/T 3360-01—2018 公路桥梁抗风设计规范

[9] NB/T 31029—2012 海上风电场风能资源测量及海洋水文观测规范

[10] QX/T 436—2018 气候可行性论证规范 抗风参数计算

[11] QX/T 449—2018 气候可行性论证规范 现场观测

[12] QX/T 469—2018 气候可行性论证规范 总则

[13] 阎俊岳,陈乾金,张秀芝,等.中国近海气候[M].北京:科学出版社,1993.

