



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 709—2024

陆上风电场局地气候效应评估指南

Guidelines for assessment of local climate effects of onshore wind farms

2024-06-20 发布

2024-10-01 实施

中 国 气 象 局 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 评估范围 2

5 评估时段 2

6 评估要素 2

7 评估资料 2

8 评估分析 3

9 评估报告 4

附录 A(规范性) 评估区与对比区评估要素对比值计算 5

附录 B(规范性) 风电场运行前后评估要素差异计算 6

附录 C(资料性) 风电场地表粗糙长度计算 8

附录 D(资料性) Fitch 风机模型 10

参考文献 12

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国气候与气候变化标准化技术委员会风能太阳能气候资源分技术委员会(SAC/TC 540/SC 2)提出并归口。

本文件起草单位：湖北省气象服务中心、国家气候中心、中国气象科学研究院、中国科学院西北生态环境资源研究院、中国气象局公共服务中心、内蒙古自治区气候中心。

本文件主要起草人：何飞、陈正洪、常蕊、崔杨、刘勇洪、余晔、申彦波、艾泽、张雪婷、夏馨、马玉峰。

陆上风电场局地气候效应评估指南

1 范围

本文件提供了陆上风电场局地气候效应评估的范围、时段、要素、资料、分析、报告的指导和建议，给出了相关信息。

本文件适用于陆上风电场的气候可行性论证和陆上风电场运行后产生的局地气候效应的评估，风电场局地气候效应的预评估可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 37523 风电场气象观测资料审核、插补与订正技术规范
QX/T 118 气象观测资料质量控制 地面
QX/T 449—2018 气候可行性论证规范 现场观测
QX/T 457—2018 气候可行性论证规范 气象观测资料加工处理
QX/T 469—2018 气候可行性论证规范 总则
QX/T 497—2019 气候可行性论证规范 数值模拟与再分析资料应用

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

参证气象站 reference meteorological station

气象分析计算所参照具有长年代气象数据的国家气象观测站。

注：国家气象观测站包括 GB 31221—2014 中定义的国家基准气候站、国家基本气象站、国家一般气象站。

[来源：QX/T 423—2018, 3.1]

3.2

背景气象站 background meteorological station

反映风电场所在区域气候背景且不受风电场影响的气象观测站。

注：包括国家气象观测站和专用气象站。

3.3

专用气象站 dedicated meteorological station

为获取工程项目所在地的气象要素值而设立的气象观测站。

注：包括地面气象观测站、观测塔（含测风塔）和其他特种观测设施等，根据评估目的确定观测项目和年限。

3.4

陆表温度 land surface temperature; LST

遥感像元尺度的地物表面温度。

4 评估范围

评估宜覆盖评估风电场边界以外至少 30 km 的范围,且根据风电场所在地区评估时段的主导风向划分为评估区 and 对比区。

- a) 评估区:可能受风电场影响的区域,范围为:
 - 1) 评估要素为大气气象要素时,评估区为风电场内部及下风向 30 km 内的区域;
 - 2) 评估要素为地表气象要素时,评估区为风电场内部风电机组像元所在的区域。
- b) 对比区:与评估区地理和气候条件相似且不受风电场影响或影响较小的邻近区域,范围为:
 - 1) 评估要素为大气气象要素时,对比区为风电场上风向或主导风向两侧 30 km 之外的区域;
 - 2) 评估要素为地表气象要素时,对比区为距离风电场边界 5 km~9 km 的缓冲区域。

5 评估时段

宜包含风电场运行前(评估区内未建成风电场时)至少 3 年和风电场运行后(评估区内风电场并网发电后)至少 3 年。

6 评估要素

宜包括下列要素:

- a) 大气气象要素:气温、相对湿度、风速、降水等;
- d) 地表气象要素:陆表温度、陆表蒸散等。

7 评估资料

7.1 资料收集

7.1.1 风电场建设资料

宜包括下列内容:

- a) 空间布局:边界范围、风电机组排布位置;
- b) 运行信息:风电机组台数、装机规模、并网发电时间;
- c) 风电机组基本参数:型号、轮毂高度、叶片直径、额定功率、推力系数、切入风速、切出风速、功率曲线等;
- d) 环保措施:植被恢复环保措施的实施情况。

7.1.2 地理信息资料

宜包括评估范围内空间分辨率小于或等于 30 m 的土地利用类型资料和空间分辨率小于或等于 100 m 的数字高程栅格资料。

7.1.3 气象资料

7.1.3.1 收集气象资料宜考虑气象观测站的相对距离、下垫面条件和观测数据质量,选取具有代表性的气象观测站。

- a) 有可用的国家气象观测站时：
 - 1) 评估区内：宜按照 QX/T 469—2018 第 7 章选取参证气象站；
 - 2) 对比区内：选取与参证气象站在风电场运行前的评估要素变化趋势一致的背景气象站。
- b) 无可用的国家气象观测站时，宜按照 QX/T 449—2018 第 5 章选取专用气象站：
 - 1) 评估区：风电场内部的专用气象站；
 - 2) 对比区：风电场上风方向选取与风电场内部下垫面条件相似区域的专用气象站。

7.1.3.2 收集气象资料宜包括下列内容。

- a) 参证气象站资料包括：
 - 1) 气象台站资料：历史沿革、地形条件、地理位置(经度、纬度、海拔高度)；
 - 2) 气象观测资料：自建站以来的均一化的基本气象要素(气温、湿度、风速和风向、降水量、蒸发量等)观测数据。
- b) 背景气象站资料包括 a) 的内容。
- c) 专用气象站资料包括站点地理位置和海拔高度、时长至少 3 年的气象观测资料。
- d) 卫星遥感资料包括评估范围内、时长覆盖评估时段的陆表温度、陆表蒸散和归一化差值植被指数等资料[如：分辨率成像光谱仪(MODIS)、风云 3 号(FY-3)]，空间分辨率小于或等于 1 km。
- e) 再分析资料或实况分析资料包括评估范围内、时长覆盖评估时段的地表温度、2 m 气温、2 m 比湿、10 m 风速和降水等资料，空间分辨率小于或等于 1 km。

7.2 资料处理

7.2.1 气象站观测资料

地面气象观测资料宜分别按照 QX/T 118 和 QX/T 457—2018 第 5 章进行质量控制和订正，不同高度气象观测资料宜按照 GB/T 37523 进行质量控制和订正。

7.2.2 卫星遥感资料

宜先裁剪出评估范围内的卫星遥感资料，再通过质量码获取有效像元，最后对合成有效像元进行下列处理：

- a) 陆表温度：评估时段内的有效像元进行均值处理；
- b) 陆表蒸散：评估时段内的有效像元进行累加处理；
- c) 归一化差值植被指数：评估时段内的有效像元进行最大值处理。

7.2.3 再分析资料或实况分析资料

当缺少气象观测资料时，宜选用再分析资料、实况分析资料等高时空分辨率资料。其中，再分析资料宜按照 QX/T 497—2019 第 5 章进行质量检验和评估，实况分析资料宜参照处理。

8 评估分析

8.1 气象观测资料分析

局地气候效应评估宜根据不同的气象观测资料分析，包括下列内容。

- a) 采用参证气象站和背景气象站资料时：
 - 1) 评估要素的变化趋势：评估时长 10 年及以上，宜按照附录 A 计算评估区和对比区评估要素的对比值序列，采用线性回归方法分析对比值序列的年际变化趋势，采用均一性检验方法检验对比值序列在风电场运行前后是否存在显著性突变；

- 2) 评估要素的变化幅度:宜按照附录 B 计算风电场运行后与风电场运行前评估要素的差值,与风电场运行前的对比值序列的年际变率进行比较,判断是否超过评估要素的年际波动范围。
- b) 采用专用气象站资料时评估内容包括 a) 的内容。
- c) 采用卫星遥感资料或再分析资料时:
 - 1) 评估要素的变化趋势:评估时长 10 年及以上,宜按照公式(A. 3)计算评估区 and 对比区评估要素的对比值序列,采用线性回归方法分析对比值序列的年际变化趋势,采用均一性检验方法检验对比值序列在风电场运行前后是否存在显著性突变;
 - 2) 评估要素的变化幅度:宜按照公式(B. 3)计算风电场运行前后的空间平均差值,与风电场运行前对比值序列的年际变率进行比较,判断是否超过评估要素的年际波动范围;
 - 3) 评估要素的变化范围:宜按照公式(B. 4)计算风电场运行前后评估要素在各像元或格点处的差值,采用均一性检验方法筛选评估要素变化显著(置信水平 90%以上)的像元或格点,判断受影响的空间范围,计算评估要素的变化幅度(变化显著像元或格点处的评估要素差值的平均值)。

8.2 数值模拟试验分析

8.2.1 模式选取

宜选取天气研究和预报模型(WRF)、区域大气模拟系统(RAMS)、区域气候模式(RegCM)等中尺度数值模式,宜按照 QX/T 497—2019 第 4 章检验模拟性能,输出的近地层评估要素与评估范围内国家气象观测站评估要素的相关性宜通过 90%置信水平的统计信度检验。

8.2.2 对比试验

模拟范围宜覆盖评估范围,水平分辨率设置宜小于或等于 1 km,垂直层宜在近地层加密且在风电机组扫风范围内,不少于 2 层。参考试验和敏感性试验的设置宜考虑下列因素。

- a) 参考试验:无风电场的评估要素模拟。
- b) 敏感性试验:在参考试验中加入风电场的评估要素模拟,风电场数值参数化选用其一:
 - 1) 修改风电场区域的地表粗糙度长度,计算公式见附录 C;
 - 2) 设置风电机组为大气动量的汇和湍流动能的源,Fitch 风机模型见附录 D。

8.2.3 内容分析

局地气候效应评估宜按照公式(B. 5)计算数值模拟法中各格点处评估要素的差异,采用均一性检验方法筛选评估要素变化显著(置信水平 90%以上)的格点,判断受影响的空间范围;计算评估要素的变化幅度(变化显著格点处的评估要素差值的平均值)。

9 评估报告

宜记录评估的全过程,包括但不限于下列内容:

- a) 介绍风电场的规模、地理位置和地形条件等信息;
- b) 给出受风电场影响的评估要素及其变化趋势、变化幅度和空间范围等评估结果;
- c) 分析气象观测资料和数值模拟试验对比分析的评估结果的一致性;
- d) 分析产生风电场局地气候效应的原因;
- e) 分析评估结果的适用性;
- f) 形成评估结论。

附录 A

(规范性)

评估区与对比区评估要素对比值计算

A.1 气象观测站对比值

评估区与对比区内的气温差值序列和风速/相对湿度/降水比值序列宜分别按照公式(A.1)和公式(A.2)计算：

$$\Delta V = V_i - V_0 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

ΔV ——评估区与对比区的气温差值序列，单位为摄氏度(℃)；

V_i ——评估区(年、季、月、昼、夜)气温特征值，单位为摄氏度(℃)；

V_0 ——对比区(年、季、月、昼、夜)气温特征值，单位为摄氏度(℃)。

$$W = \frac{W_i}{W_0} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

W ——评估区与对比区的风速/相对湿度/降水比值序列，无量纲；

W_i ——评估区(年、季、月、昼、夜)风速/相对湿度/降水特征值，单位为评估要素单位；

W_0 ——对比区(年、季、月、昼、夜)风速/相对湿度/降水特征值，单位为评估要素单位。

A.2 空间平均对比值

评估区与对比区评估要素的空间平均值差值序列宜按照公式(A.3)计算：

$$\delta X = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} - \frac{\sum_{o=1}^n x_o}{n} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

δX ——评估区与对比区评估要素的区域平均差值序列，单位为评估要素单位；

m ——评估区内有效像元或格点的总数，单位为个；

x_i ——评估区内某像元或格点处的评估要素特征值序列，单位为评估要素单位；

n ——对比区内有效像元总数，单位为个；

x_o ——对比区内某像元或格点处的评估要素特征值序列，单位为评估要素单位。

附录 B

(规范性)

风电场运行前后评估要素差异计算

B.1 气象观测站资料

风电场运行前、运行后评估区与对比区气温的差值和风速/相对湿度/降水的差值宜分别按照公式(B.1)和公式(B.2)计算：

$$\Delta v' = \overline{\Delta v_2} - \overline{\Delta v_1} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$\Delta v'$ —— 风电场运行前、运行后评估区与对比区气温特征值的差值，单位为摄氏度(℃)；

$\overline{\Delta v_2}$ —— 风电场运行后，评估区与对比区气温的平均差值，单位为摄氏度(℃)；

$\overline{\Delta v_1}$ —— 风电场运行前，评估区与对比区气温的平均差值，单位为摄氏度(℃)。

$$\Delta W' = \overline{W_2} - \overline{W_1} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

$\Delta W'$ —— 风电场运行前、运行后评估区与对比区风速/相对湿度/降水的差值，无量纲；

$\overline{W_2}$ —— 风电场运行后，评估区与对比区风速/相对湿度/降水的平均比值，无量纲；

$\overline{W_1}$ —— 风电场运行前，评估区与对比区风速/相对湿度/降水的平均比值，无量纲。

B.2 卫星遥感资料或再分析资料

B.2.1 空间平均差值

风电场运行前、运行后评估区与对比区评估要素的空间平均差值宜按照公式(B.3)计算：

$$\delta X' = \overline{\delta X_2} - \overline{\delta X_1} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$\delta X'$ —— 风电场运行前、运行后评估区与对比区评估要素的空间平均差值，单位为评估要素单位；

$\overline{\delta X_2}$ —— 风电场运行后，评估区与对比区评估要素的空间差值的平均值[见公式(A.3)]，单位为评估要素单位；

$\overline{\delta X_1}$ —— 风电场运行前，评估区与对比区评估要素的空间差值的平均值[见公式(A.3)]，单位为评估要素单位。

B.2.2 各像元或格点处差值

风电场运行前、运行后，像元*i*处评估要素的差值宜按照公式(B.4)计算：

$$\Delta x_i = \frac{\sum_{j=T_1}^{T_n} (x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^N x_{ij}}{N})}{T_n - T_1 + 1} - \frac{\sum_{j=t_1}^{t_n} (x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^N x_{ij}}{N})}{t_n - t_1 + 1} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

Δx_i —— 风电场运行前、运行后，像元*i*处评估要素的差值，单位为评估要素单位；

T_1 —— 风电场运行后时间序列的开始时间点；

T_n —— 风电场运行后时间序列的截止时间点；

x_{ij} —— *j*时刻，像元*i*处评估要素的值，单位为评估要素单位；

N ——评估范围内所有有效像元的个数；

t_1 ——风电场运行前时间序列的开始时间点；

t_n ——风电场运行前时间序列的截止时间点。

B.3 数值模拟对比试验

数值模拟对比试验中各格点处评估要素的差异宜按照公式(B.5)计算：

$$\Delta y = y_2 - y_1 \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

Δy ——有风电场和无风电场某格点处评估要素的差值，单位为评估要素单位；

y_2 ——敏感性试验中某格点处评估要素值，单位为评估要素单位；

y_1 ——参考试验中某格点处评估要素值，单位为评估要素单位。

附录 C

(资料性)

风电场地表粗糙长度计算

C.1 有观测数据的地表粗糙长度

C.1.1 原地表粗糙度长度

当有风电场测风塔观测数据时,风电场未建成时的原地表粗糙度长度的计算见公式(C.1):

$$Z'_0 = \exp\left(\frac{u_1 \ln Z_n - u_n \ln Z_1}{u_1 - u_n}\right) \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

Z'_0 ——风电场未建成时的原地表粗糙度长度,单位为米(m);

u_1 ——风电场运行前,高度为 Z_1 时对应的风速,单位为米每秒(m/s);

Z_n ——风电场区域内测风塔高层风速观测高度,单位为米(m);

u_n ——风电场运行前,高度为 Z_n 时对应的风速,单位为米每秒(m/s);

Z_1 ——风电场区域内测风塔第一层风速观测高度,单位为米(m);

C.1.2 有效地表粗糙度长度

当大气为中性层结、风电场内部风速稳定、风电机组轮毂上/下的平均垂直风廓线同时为不同对数分布时,风电场区域的有效地表粗糙度长度的计算见公式(C.2):

$$Z_0 = h \times \exp\left[\frac{k}{\sqrt{\frac{n \times \pi \times C_T}{16 S_x S_y} + \left[\frac{k}{\ln(h/Z'_0)}\right]^2}}\right] \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

Z_0 ——风电场的有效地表粗糙度长度,单位为米(m);

h ——风电机组轮毂高度,单位为米(m);

k ——冯卡门常数,取值为 0.4;

n ——风电机组个数,单位为个;

C_T ——风电机组的推力系数,无量纲;

S_x ——风电场迎风横向风电机组直径的倍数;

S_y ——风电场迎风纵向风电机组直径的倍数;

Z'_0 ——风电场运行前的原地表粗糙度长度,单位为米(m)。

C.2 无观测数据的地表粗糙度长度

当风电场缺少测风数据时,风电场区域的地表粗糙度长度的计算见公式(C.3):

$$Z = 0.5h \times \frac{A}{S} = 0.5h \frac{\pi D^2/4}{D_x \cdot D_y} = \frac{\pi h}{8 S_x S_y} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

Z ——风电场地表粗糙度长度,单位为米(m);

h ——风电机组轮毂高度,单位为米(m);

A ——风电机组叶片旋转区域面积,单位为平方米(m^2);

S ——风电机组密度,值为 $D_x \cdot D_y$,单位为平方米(m^2);

D ——风电机组直径,单位米(m);

D_x ——迎风横向风电机组之间的距离,单位为米(m);

D_y ——迎风纵向风电机组之间的距离,单位为米(m);

S_x ——迎风横向风电机组直径的倍数;

S_y ——迎风纵向风电机组直径的倍数。

附录 D

(资料性)

Fitch 风机模型

D.1 动能变化率

Fitch 模型的风电机组为大气动能的汇和湍流动能的源,计算置入一个或多个风电机组的格点能量时,将大气中的动能转化为电能和湍流动能,其中格点内动能的变化率的计算见公式(D.1):

$$\frac{\partial |V_{ijk}|}{\partial t} = -\frac{1}{2} \frac{N^{ij} C_T |V_{ijk}|^3 A_{ijk}}{\Delta Z} \quad \text{..... (D. 1)}$$

式中:

i —— 经度方向的格点序号,无量纲;

j —— 纬度方向的格点序号,无量纲;

k —— 格点垂直层数序号,无量纲;

$|V_{ijk}|$ —— 格点内的标量风速,单位为米每秒(m/s);

t —— 时间,单位为秒(s);

N^{ij} —— 第(i, j)格点内的风电机组功率总和(风电机组个数乘以额定功率),单位为瓦(W);

C_T —— 推力系数,表征风电机组从原风场中吸收并转化的能量占原风场风能量比例,无量纲;

A_{ijk} —— 第(i, j, k)格点内风电机组叶片扫过的面积,单位为平方米(m^2);

ΔZ —— 垂直上下两层的厚度,单位为米(m)。

D.2 电能转化率

在单位质量内,风电机组从大气中提取并将其转化为电能的计算见公式(D.2):

$$\frac{\partial P_{ijk}}{\partial t} = -\frac{1}{2} \frac{N^{ij} C_P |V_{ijk}|^3 A_{ijk}}{\Delta Z} \quad \text{..... (D. 2)}$$

式中:

P_{ijk} —— (i, j, k)格点上转化的电能,单位为焦(J);

C_P —— 功率系数,被转化成有用电能的大气能量占原风场风能量的比例。

其他变量同公式(D.1)。

D.3 湍流动能产生率

在单位质量内,风电机组从大气的动能转化为湍流动能的能量的计算见公式(D.3):

$$\frac{\partial T_{ijk}}{\partial t} = -\frac{1}{2} \frac{N^{ij} C_{TKE} |V_{ijk}|^3 A_{ijk}}{\Delta Z} \quad \text{..... (D. 3)}$$

式中:

T_{ijk} —— (i, j, k)格点上转化的湍流动能,单位为米每秒的二次方(m^2/s^2);

C_{TKE} —— 湍流动能系数,被转化成湍流动能的大气能量占原风场风能量的比例。

其他变量同公式(D.1)。

D.4 功率系数、推力系数、湍流动能系数的关系

功率系数、推力系数、湍流动能系数等三个系数之间关系的计算见公式(D.4):

$$C_P = C_T - C_{TKE} \quad \text{..... (D. 4)}$$

式中:

- C_p ——功率系数,被转化成有用电能的大气能量占原风场风能量的比例;
- C_T ——推力系数,表征风电机组从原风场中吸收并转化的能量占原风场风能量比例,无量纲;
- C_{TKE} ——湍流动能系数,被转化成湍流动能的大气能量占原风场风能量的比例。

参 考 文 献

- [1] GB/T 18709—2002 风电场风能资源测量方法
 - [2] GB 31221—2014 气象探测环境保护规范 地面气象观测站
 - [3] GB/T 31724—2015 风能资源术语
 - [4] QX/T 250—2014 气象卫星产品术语
 - [5] QX/T 423—2018 气候可行性论证规范 报告编制
 - [6] 黄嘉佑,李庆祥. 气象数据统计分析方法[M]. 北京:气象出版社,2015
-

中 华 人 民 共 和 国
气 象 行 业 标 准
陆上风电场局地气候效应评估指南
QX/T 709—2024

*

气象出版社出版发行
北京市海淀区中关村南大街46号
邮政编码:100081
网址: <http://www.qxcbs.com>
发行部:010-68408042
北京建宏印刷有限公司印刷

*

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:1.25 字数:37.5千字
2024年7月第1版 2024年7月第1次印刷

*

书号:135029-6384 定价:30.00元

如有印装差错 由本社发行部调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68406301