



中华人民共和国国家标准

GB/T 44395—2024

激光雷达测风数据可靠性评价技术规范

Technical specification for reliability evaluation of wind data from lidar

2024-08-23 发布

2024-12-01 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 总体要求 2

 4.1 测风塔及杯式测风仪的设置 2

 4.2 激光雷达设置 2

 4.3 平行对比观测时长 2

 4.4 平行对比观测基础数据信息 2

 4.5 平行对比观测数据采集同步性 3

 4.6 平行对比设置和观测记录 3

5 评价方法 3

 5.1 平行对比分析样本的筛选 3

 5.2 样本分类 3

 5.3 分析样本数量要求 3

 5.4 平行对比样本分析处理记录 4

6 可靠性评价 4

 6.1 评价参数 4

 6.2 评价记录 4

 6.3 评价指标 4

附录 A（规范性） 可靠性评价参数计算方法 6

 A.1 激光雷达观测稳定性参数 6

 A.2 湍流强度 6

 A.3 风切变指数 6

 A.4 湍流强度切变指数 6

 A.5 相关系数 7

 A.6 拟合优度 7

 A.7 绝对误差 7

 A.8 相对误差 7

参考文献 8

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。

本文件由中国气象局提出。

本文件由全国气候与气候变化标准化技术委员会（SAC/TC 540）归口。

本文件起草单位：中国气象科学研究院、广东省气候中心、北京玖天气象科技有限公司、深圳市国家气候观象台、华云敏视达雷达（北京）有限公司、北京观详光电技术有限公司、中国三峡新能源（集团）股份有限公司、华风气象传媒集团有限责任公司、北京全球气象导航技术有限公司。

本文件主要起草人：宋丽莉、陈雯超、全利红、王丙兰、植石群、袁春红、张永山、肖擎曜、王香云、高瑞泉、舒仕江、孙剑、王尚昆、王瑞明、张继立、薛洋洋。



激光雷达测风数据可靠性评价技术规范

1 范围

本文件规定了利用测风塔安装的杯式测风仪观测数据与激光雷达数据进行平行对比测试的总体要求、参数和指标，描述了对应的评价方法和可靠性评价。

本文件适用于开展观测高度在 400 m 以下的激光雷达与测风塔安装的杯式测风仪的平行对比观测及数据可靠性评价工作。

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 18709—2002 风电场风能资源测量方法

QX/T 449—2018 气候可行性论证规范 现场观测

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

（测风）激光雷达 lidar

以激光器为光源向大气发射激光光束，并接收大气粒子的后向散射信号，通过分析接收回波相对发射激光的多普勒频移来反演风速、风向的激光测风设备。

3.2

数据可靠性 data reliability

仪器在规定条件下和规定时间内测量的数据达到规定要求的能力。

3.3

测风塔 wind measurement tower

用于安装测风传感器、数据记录设备以及供电和通讯设备的桅杆式高耸结构物。

[来源：GB/T 37523—2019, 3.1, 有修改]

3.4

平均风速 average velocity

给定时间内风速记录的算术平均值。

[来源：GB/T 18710—2002, 3.6, 有修改]

3.5

阵风风速 gust velocity

时距为 1 s ~ 3 s 的瞬时风速值。

[来源：QX/T 436—2018, 3.9, 有修改]

3.6

湍流强度 **turbulence intensity**

风速的标准偏差与同一时段内平均风速的比值。

[来源：GB/T 18710—2002, 3.18, 有修改]

3.7

风切变指数 **wind shear index**

用于描述风速随高度变化的特征量。

[来源：QX/T 436—2018, 3.6, 有修改]

3.8

湍流强度切变指数 **turbulence intensity shear index**

用于描述湍流强度随高度变化的特征量。

4 总体要求

4.1 测风塔及杯式测风仪的设置

4.1.1 测风塔应设置在周边空旷平坦区域，避免设置在陡坡、洼地或邻近树林、建筑物的地方。选址、设计和建设按照 QX/T 449—2018 中第 5 章的要求。

4.1.2 测风塔最高观测高度不低于 100 m，观测设置应不少于 5 个高度层，最低观测层应不高于激光雷达的最低观测高度，测量设备安装按照 GB/T 18709—2002 中第 6 章的要求，选择 10 m 的整数倍高度安装。

4.1.3 观测仪器的布设及安装应符合 QX/T 449—2018 中 6.1 的要求，测风塔上安装测风传感器的伸臂应与当地主导风向垂直，伸臂长度应不小于桅杆式结构测风塔直径的 2.5 倍，并进行水平校正。

4.1.4 宜在各观测高度层安装两套测风传感器，两套伸臂呈 180° 夹角分别设置在测风塔两侧。

4.1.5 对测风塔安装的测风传感器应经具备资质的气象仪器计量检定机构检定或校准，并取得设备检定、校准文件。

4.2 激光雷达设置

4.2.1 激光雷达与测风塔塔体中心的位置水平距离宜大于 3 m，确保激光雷达光束不受塔体阻挡，根据当地主导风向，宜将激光雷达放置在测风塔的伸臂方位一侧。

4.2.2 激光雷达在安装时应进行垂直和向北对准，并在平行对比观测期间定期检查。

4.2.3 激光雷达的激光束方向应根据测风塔的位置进行调整，以避免测风塔塔体、测风塔拉线、测风仪及仪器伸臂的影响。

4.2.4 激光雷达的数据采样高度层设置，应与测风塔的观测高度层一致，应多于测风塔观测层数。

4.3 平行对比观测时长

平行对比观测累计时长应不少于 90 d，并确保获取的测风数据包括平均风速为 1 m/s~4 m/s 的小风、平均风速不小于 6 m/s 的强风、晴天、雨天等具有典型天气特征代表性的观测数据，否则应当延长观测时长，直到满足上述 4 类样本的代表性要求。

4.4 平行对比观测基础数据信息

平行对比观测基础数据信息应包括：

- a) 测风塔和激光雷达各平行对比观测高度层的逐 10 min 平均风速、风向和逐 10 min 最大 3 s 阵风风速、风速标准差；

- b) 附近气象站同期降水资料;
- c) 测风塔及其测风设备参数, 激光雷达设备性能参数及设置参数。

4.5 平行对比观测数据采集同步性

4.5.1 平行对比观测以北京时为准。

4.5.2 测风塔测风设备和激光雷达数据采集时钟应同步, 在线校准精确到秒。

4.5.3 测风塔测风设备和激光雷达的测风数据应输出逐 10 min 平均风速、风向和逐 10 min 最大 3 s 阵风风速、风速标准差。

4.6 平行对比设置和观测记录

在测风塔及杯式测风仪、激光雷达设置和平行对比观测时长、基础数据信息、数据采集同步性设置中, 记录下列信息, 确认对比观测符合总体要求。

- 平行对比观测地点的经度、纬度、海拔高度及周边下垫面特性信息, 对周边下垫面 8 个方位进行拍照记录。
- 测风塔的塔体尺寸、观测层数和各层观测高度、仪器伸臂安装方位和伸臂长度。
- 测风塔上安装的仪器设备名称、仪器型号、仪器标定时间、仪器相对测风塔的距离和方位, 观测数据要素。
- 激光雷达相对测风塔的距离和方位、激光束的方向和角度、激光雷达的观测高度, 观测数据要素。
- 附近进行降水资料测量的气象站离测风塔的距离与方位。
- 平行对比观测的开始时间和结束时间。
- 激光雷达和测风塔上杯式测风仪数据采集时钟同步记录。

5 评价方法

5.1 平行对比分析样本的筛选

5.1.1 应依据风向观测数据, 选取不受塔体影响一侧的测风仪观测数据作为该时刻的测风塔观测数据样本, 宜选取迎风侧的测风仪数据, 宜剔除测风塔背风侧 60°方位角范围内的测风数据, 确保平行对比分析样本不受塔影效应影响。

5.1.2 激光雷达测风样本筛选, 剔除测风塔一侧 60°方位角范围内的测风数据, 确保激光雷达测风数据不受测风塔影响。

5.1.3 激光雷达观测的 10 min 数据, 其采样信号的有效数据率应不小于 80%。

5.2 样本分类

5.2.1 按照有降水和无降水、强风和小风对有效样本数据进行分类。

5.2.2 以 10 min 平均风速为判别标准。小风样本为 10 min 平均风速 1 m/s~4 m/s 风速段数据, 强风样本为 10 min 平均风速不小于 6 m/s 的风速段数据。

5.2.3 降水量大于 0 为有降水样本。

5.3 分析样本数量要求

用于平行对比分析的 10 min 样本数量应不少于 1 000 组, 以激光雷达和测风塔同时观测的 10 min 样本构成一组, 其中平均风速在 1.0 m/s~4.0 m/s、4.1 m/s~8.0 m/s 和大于 8.0 m/s 的 10 min 样本数量均应不少于 200 组。有降水的 10 min 样本数量应不少于 100 组。

5.4 平行对比样本分析处理记录

- 在平行对比样本分析处理过程中，记录下列信息：
- 根据测风塔、测风塔上测风仪器、激光雷达的相对位置，给出需要剔除的测风塔上杯式测风仪和激光雷达受塔影效应影响的方位角；
 - 原始对比数据、经过塔影效应影响和采样信号有效率筛选后数据；
 - 用于平行对比分析的总样本数量、1.0 m/s~4.0 m/s、4.1 m/s~8.0 m/s和大于8.0 m/s的10 min样本数量、有降水的10 min样本数量。

6 可靠性评价

6.1 评价参数

- 6.1.1 激光雷达观测稳定性参数为平行对比观测时段内，激光雷达的10 min数据采样信号达到有效完整率不小于80%的数据个数占总样本的比例。参数计算应符合附录A中A.1的规定。
- 6.1.2 激光雷达观测数据可靠性参数为激光雷达与测风塔测风仪数据的平行对比分析参数，包括：10 min平均风速、10 min平均风向、逐10 min最大3 s阵风风速、10 min湍流强度、10 min平均风切变指数、10 min平均湍流强度切变指数，以及以上6种参数的两种仪器测量结果之间的相关系数、线性回归拟合优度、绝对误差、相对误差。参数计算应符合A.2~A.8的规定。

6.2 评价记录

- 在分析可靠性过程中，记录下列信息：
- 激光雷达观测稳定性指标分析的过程和结果数据；
 - 激光雷达观测数据可靠性评价参数分析过程和结果数据，主要包括激光雷达与测风塔测风仪平行对比观测的10 min平均风速、10 min平均风向、逐10 min最大3 s阵风风速、逐10 min湍流强度、10 min平均风切变指数、10 min平均湍流强度切变指数的相关系数、线性拟合的拟合优度、绝对误差、相对误差等参数的分析方法、过程数据和评价结果。

6.3 评价指标

- 6.3.1 激光雷达测量的10 min数据稳定性判别分为优良、合格二个等级，具体判别指标应符合表1的规定。

表1 激光雷达10 min数据稳定性判别指标

参数	稳定性指标	
判别情况	优良	合格
10 min数据	≥90%	≥80%

- 6.3.2 激光雷达测量数据的可靠性判别分为优良、合格二个等级，具体判别指标应符合表2的规定。

表2 激光雷达数据可靠性判别指标

参数	可靠性指标			
	相关系数		拟合优度	
判别情况	优良	合格	优良	合格

表 2 激光雷达数据可靠性判别指标（续）

参数	可靠性指标			
	相关系数		拟合优度	
10 min平均风速	≥ 0.98	≥ 0.95	≥ 0.95	≥ 0.90
10 min平均风向	≥ 0.98	≥ 0.95	≥ 0.95	≥ 0.90
阵风风速	≥ 0.95	≥ 0.85	≥ 0.90	≥ 0.80
湍流强度	≥ 0.70	≥ 0.60	≥ 0.65	≥ 0.55



附 录 A
(规范性)
可靠性评价参数计算方法

A.1 激光雷达观测稳定性参数

表征各高度激光雷达获取有效数据的稳定性,按照公式(A.1)计算:

$$\gamma = \frac{N_a}{N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- γ —— 观测稳定性参数;
- N_a —— 观测时段10 min采样信号达到有效完整率不小于80%的数据个数;
- N —— 观测时段应测10 min数据个数。

A.2 湍流强度

湍流强度按照公式(A.2)计算:

$$I = \frac{\sigma}{V} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- I —— 湍流强度,无量纲数;
- σ —— 脉动风速标准差,单位为米每秒(m/s);
- V —— 平均风速,单位为米每秒(m/s)。

A.3 风切变指数

工程应用中常以幂指数来量化拟合描述风廓线,以幂指数形式表示,按照公式(A.3)计算,风切变指数按照公式(A.3)拟合得到:

$$v_2 = v_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- v_2 —— 高度 z_2 处的风速,单位为米每秒(m/s);
- v_1 —— 高度 z_1 处的风速,单位为米每秒(m/s);
- z_2 —— 第2层高度,单位为米(m);
- z_1 —— 第1层高度,单位为米(m);
- α —— 风切变指数,无量纲数。

A.4 湍流强度切变指数

用于描述湍流强度随高度的变化情况形态。以幂指数来量化拟合描述,按照公式(A.4)计算,湍流强度切变指数按照公式(A.4)拟合得到:

$$I_2 = I_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\beta \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- I_2 —— 高度 z_2 处的湍流强度,无量纲数;
- I_1 —— 高度 z_1 处的湍流强度,无量纲数;

β —— 湍流强度切变指数，无量纲数。

A.5 相关系数

按照公式 (A.5) 计算杯式测风仪和激光雷达的实测值序列的相关系数：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{..... (A.5)}$$

式中：

r —— 相关系数，无量纲数；
 x_i —— 第*i*个杯式测风仪实测值；
 y_i —— 第*i*个激光雷达实测值；
 n —— 序列样本数量。

A.6 拟合优度

拟合优度是回归直线对观测值的拟合程度。激光雷达与杯式测风仪同步观测要素的线性回归拟合优度用 R^2 表示，按照公式 (A.6) 计算：

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{..... (A.6)}$$

式中：

R^2 —— 线性回归拟合优度；
 y_i —— 第*i*个激光雷达实测值；
 $\hat{y}_i$ —— 线性回归公式的计算值；
 $\bar{y}$ —— 激光雷达实测值的平均值。

A.7 绝对误差

绝对误差是指测量值和真值之间的差值，按照公式 (A.7) 计算：

$$E = y - x \quad \text{..... (A.7)}$$

式中：

E —— 绝对误差；
 y —— 激光雷达的实测值；
 x —— 杯式测风仪的实测值。

A.8 相对误差

相对误差是指测量所造成的绝对误差与真值之比，用百分数表示，按照公式 (A.8) 计算：

$$A = \frac{y - x}{x} \times 100\% \quad \text{..... (A.8)}$$

式中：

A —— 相对误差，无量纲数；
 x —— 杯式测风仪的实测值；
 y —— 激光雷达的实测值。

参 考 文 献

- [1] GB/T 18710—2002 风电场风能资源评估方法
 - [2] GB/T 37523—2019 风电场气象观测资料审核、插补与订正技术规范
 - [3] JJF 1024—2006 测量仪器可靠性分析
 - [4] NB/T 31147—2018 风电场工程风能资源测量与评估技术规范
 - [5] QX/T 436—2018 气候可行性论证规范 抗风参数计算
 - [6] QX/T 469—2018 气候可行性论证规范 总则
 - [7] IEC 61400-12-1 Wind energy generation systems—Part 12-1:Power performance measurements of electricity producing wind turbines
 - [8] DNV-RP-J101 Use of remote sensing for wind energy assessments
 - [9] 李庆祥.气候资料均一性研究导论[M].北京：气象出版社，2015.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
激光雷达测风数据可靠性评价技术规范
GB/T 44395—2024

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室：(010) 68533533 发行中心：(010) 51780238

读者服务部：(010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

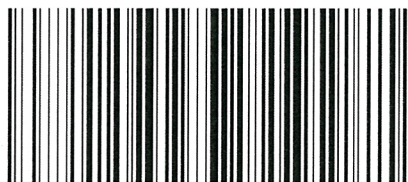
*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 19 千字
2024年8月第一版 2024年8月第一次印刷

*

书号：155066·1-76407 定价 31.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话：(010) 68510107



GB/T 44395-2024

