

ICS 07.060

A 47

中华人民共和国国家质量监督

检验检疫总局备案号：37415-2013

DB53

云南省地方标准

DB53/T 470—2013

风电场风能资源测量数据处理 及评估技术规范

2013-04-15 发布

2013-07-01 实施

云南省质量技术监督局 发布

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由云南省气象局提出。

本标准由云南省气象标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：云南省气候中心。

本标准主要起草人：王学锋、范立张、朱勇、杨鹏武、杨晓鹏。

风电场风能资源测量数据处理及评估技术规范

1 范围

本标准规定了风电场风能资源评估数据的获取、检验、插补、订正和统计，以及风况参数计算和参考判据。

本标准适用于拟建风电场的风能资源评估。

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 18710—2002 风电场风能资源评估方法

QX/T 62—2007 地面气象观测规范 第18部分：月地面气象记录处理和报表编制

QX/T 63—2007 地面气象观测规范 第19部分：年地面气象记录处理和报表编制

DB53/T 469 风电场风能资源测量技术规范

IEC 61400-1 Wind turbines –Part 1: Design requirements

3 术语和定义

DB53/T 469界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

应测数据

在测量时段内应当测量的全部数据。

3.2

缺测数据

在测量时段内没有记录到的应测数据。

3.3

无效数据

在测量时段内经检验判定为不符合实际的测量数据。

3.4

有效数据

在测量时段内经检验判定为符合实际的测量数据，即剔除缺测数据和无效数据后的应测数据。

3.5

切入风速

风电机组启动的最低风速。

3.6

插补点

拟对缺测数据和无效数据进行插补的数据序列所在的位置（点或层）。

3.7

参照点

对缺测和无效数据进行插补时所选取的，具有同期实测数据的其他测量位置（点或层）。

3.8

参证气象站

对风电场测量数据进行气候平均订正所选取的气象观测站。

3.9

空气密度

单位体积空气的质量。

3.10

风功率密度

与风向垂直的单位面积中风所具有的功率。

3.11

风能密度

设定时段内与风向垂直的单位面积中风所具有的能量。

3.12

湍流强度

脉动风速的均方根与平均风速之比。

3.13

Weibull分布

风速的概率分布函数，分布函数取决于两个参数 k 、 c ，分别为控制分布宽度的形状参数和控制平均风速分布的尺度参数。

3.14

风切变指数

用于描述风速剖面线形状的幂定律指数。

4 数据获取

4.1 风电场测量数据

按照DB 53/T 469的规定对拟建风电场进行风能资源测量，获取相关数据。

4.2 气象站观测数据

收集拟建风电场周边气象站基本状况及长期气象观测数据，包括：

- a) 经纬度及海拔高度；
- b) 观测环境现状及环境变化情况；
- c) 建站以来年平均风速和各月平均风速；
- d) 建站以来记录到的最大风速、极端最大风速及其发生的时间和风向，极端气温及其出现的时间；
- e) 气温、气压、相对湿度、降水量、雷暴日数、冰雹日数的累年平均值；
- f) 与拟建风电场测量同期的逐小时风速和风向数据；
- g) 与拟建风电场测量同期的逐日平均气温、平均气压和平均相对湿度。

5 数据检验

5.1 一般要求

数据检验包括对原始测量数据的完整性检验、范围检验、趋势检验、关系检验和相关性检验，检验完成后应给出有效数据完整率。

数据检验针对10 min和小时平均数据进行。

5.2 完整性检验

5.2.1 检验目的

检验各测量参数的数量否完整，时间顺序是否符合预期。

5.2.2 检验要求

各测量参数的数目应等于应测数据的数目，时间顺序应符合预期的开始、结束时间，中间应连续。

5.3 范围检验

5.3.1 检验目的

检验各测量参数取值是否在合理范围之内，不在合理取值范围内的数据为不合理数据。

5.3.2 检验要求

主要测量参数合理范围参考值见表1。

表1 主要测量参数合理范围参考值

主要参数	单位	合理取值范围
小时平均风速	m/s	0~40
风向	°	0~360
气压	kPa	60~90
气温	℃	-20~30
相对湿度	%	0~100

5.4 趋势检验

5.4.1 检验目的

检验各测量参数的连续变化情况,判断其变化趋势是否合理,不在合理范围内的数据为不合理数据。

5.4.2 检验要求

主要测量参数的合理变化趋势参考值见表2。

表2 主要测量参数的合理变化趋势参考值

检验项目	判别标准	备注
风速(m/s)	10min 数据连续 300min 变化小于 0.5	若连续 300min 变化小于 0.5 视为不合理。
	切入风速以上的小时风速连续 6h 无变化	切入风速以上的小时风速连续 6h 未发生变化视为不合理。
	小时平均值变化大于 10	若相邻两小时平均值差大于 10 视为不合理。
风向	10min 数据连续 300min 无变化	若风向连续 300min 未发生变化视为不合理。
	切入风速以上的小时风速连续 6h 无变化	切入风速以上的小时风速中,若风向连续 6h 未发生变化视为不合理。
气温(℃)	小时平均值变化大于 5	若相邻两小时平均值差超过判别标准视为不合理。
气压(kPa)	小时平均值变化大于 1	
相对湿度(%)	小时平均值变化大于 5	

5.5 关系检验

5.5.1 检验目的

检验各高度风速和风向的差值是否在给定的合理范围之内,在判别标准以外的数据为不合理数据。

5.5.2 检验要求

主要测量参数的合理关系参考值见表3。

表3 主要测量参数的合理关系参考值

判别标准	备注
相隔高度大于 20m 时, 小时平均风速差大于 8m/s	在切入风速以上, 同一时间下不同高度的平均风速或风向, 其高度差在某一范围时, 两高度层数据的差值超过判别标准则视为不合理。
相隔高度不大于 20m 时, 小时平均风速差大于 4m/s	
任意两个不同高度间, 小时平均风向差大于 45° 并且小于 315°	

5.6 相关性检验

5.6.1 检验目的

检验同一测风塔不同高度层之间, 以及同一风电场不同测风塔相同高度层之间风速的关联性。

5.6.2 检验要求

应采用相关系数进行以下检验:

- a) 对于同一个测风塔，不同高度层同期 10 min 平均风速的相关系数应在 0.90 以上。下垫面较粗糙时，10 m 高度层与其他高度层的相关系数可低于 0.90，但应高于 0.60；
- b) 对于同一风电场，不同塔间的相同高度层同期 10 min 平均风速的相关系数应在 0.60 以上。对于地形特别复杂的测风塔可适当降低，但至少应通过 99% 的显著性检验。

5.7 对不合理数据的处理

对检验出的不合理数据应再次进行判别，分析原因。符合实际情况的数据回归原始数据序列，仍判定为不合理数据的列为无效数据。

5.8 有效数据完整率

有效数据完整率为有效数据数目占应测数据数目的百分比。

10 min 有效数据完整率应达到 90%。

6 数据插补

6.1 一般要求

对缺测数据和无效数据进行插补，整理出至少连续 1 年完整的逐 10 min 数据。

6.2 数据条件

同时满足下列条件时方可进行数据插补：

- c) 拟插补数据序列的有效数据完整率大于 70%；
- d) 拟插补数据序列中的有效数据与参照点同期测量数据显著相关（相关系数通过 99% 的显著性检验）。

6.3 参照点的选取

根据优先原则按以下顺序选取参照点：

- e) 与插补点处于同一测风塔的其他高度层；
- f) 与插补点处于同一风电场其他测风塔的相同高度层；
- g) 与插补点处于同一风电场其他测风塔的相近高度层；
- h) 与插补点邻近并且地形特征相似的风电场的测风塔。

注：不同参数或不同插点可选取不同的参照点。

6.4 风速插补

6.4.1 廓线法

插补点和参照点为同塔不同高度层时，采用廓线法插补缺测记录。

先利用插补点和参照点均为有效数据的序列求出 α （计算方法见附录 A.4），再利用下式求算插补点数据：

$$V_2 = V_1 * \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^\alpha \dots\dots\dots (1)$$

式中：

V_1 ——参照点风速，单位为米每秒（m/s）；

V_2 ——插补点风速，单位为米每秒（m/s）；
 Z_1 ——参照点距地面高度，单位为米（m）；
 Z_2 ——插补点距地面高度，单位为米（m）；
 α ——风切变指数。

6.4.2 相关法

插补点和参照点为不同测风塔时，采用相关法插补缺测记录。

在满足6.2的条件时，插补点风速与参照点风速之间的关系可用式（2）表示：

$$y = a + bx \dots\dots\dots (2)$$

式中：

y ——插补点风速，单位为米每秒（m/s）；
 x ——参照点风速，单位为米每秒（m/s）；
 a 、 b ——回归系数。

利用插补点和参照点同期有效实测记录通过式（2）求解 a 、 b ，再利用参照点实测风速记录对插补点记录进行插补。

6.5 风向插补

在符合下列条件之一的情况下，将参照点同期风向记录直接替代到插补点：

- i) 插补点和参照点在同一测风塔时，相互间风向吻合率在 80%以上；
- j) 插补点和参照点不在同一测风塔时，相互间风向吻合率在 60%以上。

6.6 气温、气压和相对湿度插补

按照6.4.2提出的相关法对逐小时平均数据进行插补。

7 数据订正

7.1 一般要求

将经过检验和插补得到的测量数据订正为气候平均数据。

7.2 参证气象站的选择

参证气象站应同时符合下列条件：

- k) 具有 10 年以上逐小时风速和其他气象要素的规范观测记录；
- l) 在满足条件 a) 的时段内未搬迁，且环境变化轻微；
- m) 距离风电场较近，处于近似的气候背景；
- n) 小时平均风速与同期测风塔风速显著相关（相关系数通过 99%的显著性检验）。

对符合条件的若干候选参证站，应综合判断确定参证站。

7.3 风速订正

采用相关法进行逐小时风速订正，计算顺序如下：

- o) 以月为时间间隔，将风电场各测风塔各高度层逐小时平均风速与同期参证气象站风速分别建立一元一次回归方程；

- p) 将参证气象站累年月平均风速与测风年月平均风速分别代入方程, 求出两个风速序列值, 再求出其代数差, 即订正值;
- q) 测风塔测风记录的每个 10 min 平均风速均加上对应的订正值, 即可获得订正后的 10 min 平均风速数据。

7.4 风向订正

风向数据沿用经过检验、插补后的逐小时平均风向, 不进行订正处理。

7.5 气温、气压和相对湿度订正

应对月平均值进行订正, 方法如下:

- r) 求取参证气象站累年平均值与观测年逐月平均值的差值, 即订正值。
- s) 将测风塔逐月平均值加上订正值, 即为订正值。

8 数据统计和报表

8.1 数据统计

按照 QX/T 62 和 QX/T 63 规定的方法统计日、月和年的风速、气温、气压和相对湿度的平均值。

8.2 数据报表

应按照 GB/T 18710 附录 C2 的格式给出订正后的气候平均数据。

9 风况参数计算

9.1 空气密度

计算出风电场各测风塔各高度层的月平均空气密度, 计算方法见附录 A.1。

9.2 平均风速

计算小时、日、月和年平均风速, 并统计各时次 (0~23 时) 的月、年平均风速。

9.3 风功率密度

采用附录 A.2 规定的方法计算各测风塔各高度层的小时风功率密度 (空气密度应按月平均空气密度取值), 并统计日、月、年平均风功率密度和各时次 (0~23 时) 月、年平均风功率密度。

9.4 风速和风能频率分布

全年风速和风能频率分布按下列顺序计算:

- t) 以每 1 m/s 为间距取风速段, 每个风速段的数字代表中间值, 即 1 m/s 代表 0~1.4 m/s, 2 m/s 代表 1.5~2.4, 以此类推, 风速大于 25.4 m/s 归为 26 m/s 风速段;
- u) 按 26 个风速段分段, 统计各风速段风速出现的频次, 并采用附录 A.3 的方法计算风能密度;
- v) 对各测风塔各高度层计算各风速段风速出现的频次;
- w) 计算各风速段的风速频率, 即各风速段风速出现的频次占全部风速段频次的百分比;
- x) 对每一个测风塔各高度层计算各风速段风能密度;
- y) 计算各风速段的风能频率, 即各风速段的风能密度占全部风速段风能密度的百分比。

9.5 风向频率和风能密度方向分布

风向频率和风能密度方向分布按下列顺序计算：

- z) 采用附录 A.3 的方法，按 16 个扇区计算逐月和全年风能密度。
- aa) 统计月（年）各扇区风向频率，即当月（全年）该扇区出现的风向频次与全方位风向总频次的百分比；
- bb) 统计月（年）各扇区风能密度频率，即当月（全年）该扇区出现的风能密度频次与全方位风能密度总频次的百分比。

9.6 风切变指数

计算各测风塔各测风高度层间的年平均风切变指数，计算方法见附录A.4。

9.7 湍流强度

采用10 min风速的标准差和同时段平均风速，计算各测风塔各高度层10 min湍流强度，计算方法见附录A.5。

9.8 Weibull 分布的 k 、 c 参数

计算每一测风塔Weibull分布的 k 、 c 参数，计算方法见附录A.6。

9.9 50 年一遇最大风速和极大风速

推算每一测风塔各高度层50年一遇最大风速和极大风速，并换算成标准空气密度下的值，推算和换算方法见附录A.7和A.8。

当出现50年一遇最大风速和（或）极大风速小于风电场实际测量值的情况，应以两者较大的值作为50年一遇最大风速和（或）极大风速。

10 风能资源评估参考判据

10.1 风功率密度等级

风电场风功率密度等级的确定见表4，应取测风塔50 m以上高度层年平均风功率密度的最大值确定风电场等级。

表4 风功率密度等级表

等级	1	2	3	4	5	6	7
风功率密度 W/m ²	<200	200~300	300~400	400~500	500~600	600~800	>800
定性评价	较差	一般	较好	好	很好	很好	很好

10.2 风速和风功率密度的年变化

将月平均风速和风功率密度的年变化曲线与当地主要能源上网发电量曲线进行比较，判断是否存在互补，互补效应越明显越好。

10.3 风速和风功率密度的日变化

将风速和风功率密度的日变化曲线与当地用电负荷曲线进行比较，两者越接近越好。

10.4 风速和风能频率分布

分析不同风速段的风能频率分布，定性判断有效风功率的大小。

10.5 风向频率和风能密度方向分布

风向集中有利于减少风机偏航操作，风电场主导风向越明显越有利于提高风能利用率。

10.6 风切变指数

风切变指数可描述风矢量在垂直方向上的空间变化情况。风切变指数越小越有利于风机安全，同时风切变指数还是选择风机轮毂高度的重要判据，应重点分析50 m及以上高度层的风切变指数。

10.7 湍流强度

湍流强度用于度量相对于风速平均值而起伏的湍流的强弱。湍流强度越小越有利于风机安全，应重点分析轮毂高度附近风速为15 m/s风速段（14.5 m/s～15.4 m/s）的湍流强度。

湍流强度的等级确定参见IEC 61400-1的规定，见表5。

表5 湍流强度等级

湍流强度	低	中等	高
I_V	<0.12	0.12~0.16	>0.16

10.8 Weibull 参数

利用Weibull的 k 、 c 参数分析风电场风速的形状和尺度分布特征。

10.9 50 年一遇最大风速和极大风速

50年一遇最大风速和极大风速主要用于风机安全等级判断，风速越大要求风机等级越高。

10.10 其他气象要素

分析其他气象要素对风电场的可能影响，应特别注意雷电、冰冻等特殊气象条件和气象灾害对风电场风机安全运行可能造成的影响。

附 录 A
(规范性附录)
风况参数计算方法

A.1 空气密度

a) 测量点气温、气压值观测记录完整有效时,采用式(A.1)计算观测点空气密度:

$$\rho = \frac{P}{RT} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

ρ ——空气密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

P ——测量点平均气压,单位为帕斯卡(Pa);

R ——气体常数($287\text{J/kg}\cdot\text{K}$);

T ——测量点开氏温标绝对温度($t^\circ\text{C}+273$)。

b) 当测量点气温数据有效而气压数据无效时,采用式(A.2)计算空气密度:

$$\rho = \left(\frac{353.05}{T}\right)e^{-0.34(z/T)} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

ρ ——空气密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

T ——测量点开氏温标绝对温度($t^\circ\text{C}+273$);

z ——测量点海拔高度,单位为米(m)。

c) 当测量点气温数据无效时,采用式(A.3)推算气温:

$$t = t_0 - (h - h_0) \times b \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

t ——测量点平均气温,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$);

t_0 ——参证气象站平均气温,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$);

h ——测量点海拔高度,单位为米(m);

h_0 ——参证气象站海拔高度,单位为米(m);

b ——气温随海拔递减率,平均取 0.0065°C/m 。

d) 测风塔其他高度层空气密度采用式(A.4)推算:

$$\rho_z = \rho_h e^{-0.0001(z-h)} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

z ——推算层距地面高度,单位为米(m);

h ——实测层距地面高度,单位为米(m);

ρ_z ——推算层空气密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

ρ_h ——实测层空气密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

A.2 风功率密度

设定时段的平均风功率密度用式 (A.5) 计算:

$$D_{WP} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\rho \cdot v_i^3) \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

D_{WP} ——风功率密度, 单位为瓦每平方米 (W/m^2);

n ——风速数据数目;

ρ ——空气密度, 单位为千克每立方米 (kg/m^3);

v_i ——第*i*个风速值, 单位为米每秒 (m/s)。

A.3 风能密度

某风速段 (或扇区) 的风能密度 D_{WE} 用式 (A.6) 计算:

$$D_{WE} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (\rho \cdot v_j^3) \cdot t_j \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

D_{WE} ——风能密度, 单位为瓦小时每平方米 ($\text{W} \cdot \text{h}/\text{m}^2$);

m ——该风速段 (或扇区) 风速数据数目;

ρ ——空气密度, 单位为千克每立方米 (kg/m^3);

v_j ——该风速段 (或扇区) 第*j*个的风速值, 单位为米每秒 (m/s);

t_j ——该风速段 (或扇区) 第*j*个风速出现的时间长度, 单位为小时 (h)。

A.4 风切变指数

风切变指数 α 由式 (A.7) 计算:

$$\alpha = \frac{\lg(v_2 / v_1)}{\lg(z_2 / z_1)} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

z_1 ——第1高度层距地面的高度, 单位为米 (m);

z_2 ——第2高度层距地面的高度, 单位为米 (m);

v_1 —— z_1 高度层对应的风速, 单位为米每秒 (m/s);

v_2 —— z_2 高度层对应的风速, 单位为米每秒 (m/s)。

A.5 湍流强度

某一高度层的10 min湍流强度 I_V 按式 (A.8) 计算:

$$I_V = \frac{\sigma}{V} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

I_V ——10 min湍流强度;

σ ——10 min风速标准偏差, 单位为米每秒 (m/s);

V ——10 min平均风速，单位为米每秒（m/s）。

A.6 Weibull分布参数

Weibull分布的 k 、 c 由式（A.9）和（A.10）计算：

$$k = \left(\frac{\sigma}{\mu} \right)^{-1.086} \dots\dots\dots (A.9)$$

$$c = \frac{\mu}{\Gamma(1+1/k)} \dots\dots\dots (A.10)$$

式中：

$\Gamma(1+1/k)$ ——伽马函数；

μ ——平均风速，单位为米每秒（m/s）；

σ ——风速标准差，单位为米每秒（m/s）；

n ——风速数据数目。

μ 和 σ 分别由式（A.11）和式（A.12）计算：

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \dots\dots\dots (A.11)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \mu)^2} \dots\dots\dots (A.12)$$

式中：

v_i ——第 i 个风速值，单位为米每秒（m/s）；

A.7 50年一遇最大风速和极大风速推算

cc) 采用式（A.13）推算风电场测风塔某高度层50年一遇最大风速：

$$V_{50\max} = V_{ave} \times c \dots\dots\dots (A.13)$$

式中：

$V_{50\max}$ ——50年一遇最大风速，单位为米每秒（m/s）；

V_{ave} ——年平均风速，单位为米每秒（m/s）；

c ——经验系数，取决于风速峰度曲线的宽窄程度，见式（A.14）。

$$c = \begin{cases} 5.0 & k > 1.8 \\ 6.0 & 1.8 \geq k \geq 1.5 \\ 7.0 & k < 1.5 \end{cases} \dots\dots\dots (A.14)$$

式中：

k ——Weibull参数中的形状参数。

dd) 采用经验公式推算50年一遇极大风速：

$$V_{50e} = V_{50\max} \times b \dots\dots\dots (A.15)$$

式中:

V_{50e} ——50年一遇极大风速, 单位为米每秒 (m/s);

$V_{50\max}$ ——50年一遇最大风速, 单位为米每秒 (m/s);

b ——回归系数。各塔各高度层上的 b 值采用下列方法计算: 建立一元一次回归方程 $y = bx$, 其中 x 序列为10 min平均风速大于等于15 m/s的风速序列, y 序列为对应时段10 min最大风速序列, 求解回归系数 b 。

A.8 相同风压状况下实际空气密度风速与标准空气密度风速的换算

风压相等时, 标准空气密度的风速与实际空气密度的风速用式 (A.16) 换算:

$$V_s = V_0 \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_s}} \dots\dots\dots (A.16)$$

式中:

V_s ——标准空气密度风速, 单位为米每秒 (m/s);

V_0 ——实际空气密度风速, 单位为米每秒 (m/s);

ρ_0 ——实际空气密度, 单位为千克每立方米 (kg/m^3);

ρ_s ——标准空气密度 (取 1.225 kg/m^3)。