

DB64

宁夏回族自治区地方标准

DB 64/T T1585—2019

**风电场风能资源测量评估数据处理
技术规范**

2019-02-12 发布

2019-05-12 实施

宁夏回族自治区市场监督管理厅

发 布

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由宁夏回族自治区气象局提出并归口。

本标准起草单位：宁夏回族自治区气候中心。

本标准主要起草人：孙银川、李欣、桑建人、王素艳、高振辉、张雯、王岱、马阳、王璠、高睿娜。

风电场风能资源测量评估数据处理技术规范

1 范围

本标准规定了风电场测风数据要求、验证、订正及处理的技术方法。
本标准适用于宁夏风能资源测量、调查、评估、开发相关的气象观测和资料的采集及资料审核、数据订正。

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 18709-2002 风电场风能资源测量方法
- GB/T 18710-2002 风电场风能资源评估方法。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

风场 wind site
拟进行风能资源开发利用的场地、区域或范围。
[GB/T 18710-2002,定义3.1]

3.2

风电场 wind farm
由一批风力发电机组或风力发电机组群组成的电站。
[GB/T 18710-2002,定义3.2]

3.3

风功率密度 wind power density
与风向垂直的单位面积中风所具有的功率。
[GB/T 18710-2002,定义3.3]

3.4

风能密度 wind energy density
在设定时段与风向垂直的单位面积中风所具有的能量。
[GB/T 18710-2002,定义3.4]

3.5

DB 64/T T1585—2019

风速 wind speed

空间特定点的风速为该点周围气体微团的移动速度。

[GB/T 18710-2002,定义3.5]

3.6

平均风速 average wind speed

给定时间内瞬时风速的平均值，给定时间从几秒到数年不等。

[GB/T 18710-2002,定义3.6]

3.7

最大风速 maximum wind speed

10分钟平均风速的最大值。

[GB/T 18710-2002,定义3.7]

3.8

逐时平均风速 one by one hour average wind speed

每小时内10分钟平均风速的平均值。

3.9

极大风速 extreme wind speed

瞬时风速的最大值。

[GB/T 18710-2002,定义3.8]

3.10

风速函数分布 wind speed distribution

用于描述连续时段内风速概率分布的函数。

3.11

威布尔分布 Weibull distribution

经常用于描述风速概率分布的函数，函数取决于两个参数，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。

[GB/T 18710-2002,定义3.10]

3.12

日变化 diurnal variation

以小时为基数发生的变化。月或年的风速(或风功率密度)日变化是求出一个月或一年内，每日同一时次风速的月平均值或年平均值，得到0点到23点的风速(或风功率密度)变化。

3.13

年变化 annual variation

以月为基数发生的变化。风速(或风功率密度)年变化是从1月到12月的月平均风速(或风功率密度)变化。

3.14

年际变化 interannual variation

以年为基数发生的变化。风速年际变化是从第1年到第30年的年平均风速变化。

3.15

风切变 wind shear

风速在垂直于风向平面内的变化。

[GB/T 18710-2002,定义3.15]

3.16

风切变幂律 power law for wind shear

表示风速随离地面高度以幂定律关系变化的数学式。

[GB/T 18710-2002,定义3.16]

3.17

风切变指数 wind shear exponent

通常用于描述风速剖面线形状的幂定律指数。

[GB/T 18710-2002,定义3.17]

3.18

湍流强度 turbulence intensity

风速的标准偏差与平均风速的比率。用同一组测量数据和规定的周期进行计算。

[GB/T 18710-2002,定义3.18]

3.19

轮毂高度 hub height

从地面到风轮扫掠面中心的高度。

[GB/T 18710-2002,定义3.19]

4 测风数据要求

4.1 风场附近气象站的测风数据

4.1.1 选取参证气象站

由于测风塔观测资料时段较短,其统计参数不能代表当地的多年平均状况,根据相关规范要求,需要在测风塔周边区域内选择合适的气象站,并利用其历史和同期观测资料,在相关性检验基础上,进行序列延长或对比计算分析,选定的气象站称为参证气象站。

4.1.2 参证气象站情况调查

在收集参证气象站的测风数据时应对其站址变化情况进行调查,主要包括观测记录数据的测风仪型号、安装高度和周围障碍物情况(如树木和建筑物的高度,与测风杆的距离等),以及建站以来站址、测风仪器及其安装位置、周围环境变动的时间和情况等。

4.1.3 应收集参证气象站以下数据:

- 有代表性的连续20~30年的逐年平均风速和各月平均风速。
- 与风场测站同期的逐小时风速和风向数据。
- 累年平均气温和平均气压数据。
- 建站以来观测到的最大风速、极大风速及其发生的时间和风向、极端气温、最多雷暴日数、最长积冰日数、最大冻土深度、最大积雪深度和侵蚀条件(沙尘)等。

注:本规范中逐小时风速、风向、温度和气压数据分别是每个小时的平均风速、出现频率最大的风向、平均温度和平均气压。

4.2 风场测风数据

应按照GB/T 18709的规定进行测风,获取风场的风速、风向、气温、气压等实测时间序列数据,极大风速及其风向。

5 测风数据处理

5.1 数据验证

5.1.1 数据检验

5.1.1.1 完整性检验

- 数据数量应大于等于应测数据量的90%。
- 数据的时间顺序应符合预定的开始、结束时间,中间应连续。

5.1.1.2 范围检验

主要参数的合理范围参考值见表1。

表1 主要参数的合理范围参考值

主要参数	合理范围
平均风速	$0 \leq \text{小时平均值} < 40\text{m/s}$
风向	$0^\circ \leq \text{小时平均值} < 360^\circ$
平均气压(海平面)	$940\text{hPa} < \text{小时平均值} < 1060\text{hPa}$

5.1.1.3 合理性检验

主要参数的合理性参考值见表2。

表2 主要参数的合理性参考值

主要参数	合理范围
70m/10m高度小时平均风速差值	$< 12.0\text{m/s}$
50m/10m高度小时平均风速差值	$< 4.0\text{m/s}$
30m/10m高度小时平均风速差值	$< 3.0\text{m/s}$
70m/10m高度风向差值	$< 30^\circ$

注：70m以上高度与10m高度小时平均风速差值均应小于12.0m/s。

5.1.2 不合理数据和缺测数据的处理

- 检验后列出所有不合理数据、缺测数据及其发生的时间。
- 对不合理数据再次进行判别，挑出符合实际情况的有效数据，回归原始数据组。
- 将备用的或可供参考的传感器同期记录数据，经过分析处理，替换已确认为无效的数据或填补缺测的数据。
- 当无备用的或可供参考的传感器同期记录数据时，利用同季节内通过显著性检验的较相近的气象站资料来插补无效或缺测数据。

5.1.3 计算测风有效数据的完整率，有效数据完整率应达到90%。

有效数据完整率按式(1)计算：

$$\text{有效数据完整率} = \frac{\text{应测数目} - \text{缺测数目} - \text{无效数据数目}}{\text{应测数目}} * 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

应测数目——测量期间小时数；

缺测数目——没有记录到的小时平均值数目；

无效数据数目——确认为不合理的小时平均值数目。

5.1.4 验证结果

- 经过各种检验，剔除掉无效数据，替换上有效数据，并注明数据的有效数据完整率。
- 至少应整理出连续一年的风场实测逐小时风速风向数据，此外，宜包括实测的逐小时平均气温(可选)和逐小时平均气压(可选)。
- 编写数据验证报告，对确认为无效数据的原因应注明，替换的数值应注明来源。

5.2 数据订正

5.2.1 参证气象站应具备以下条件才可将风场短期数据订正为长期数据：

- 同期测风结果的相关性较好，并通过0.05的显著性检验。
- 具有20年以上规范的测风记录。
- 与风场具有相似的地形条件。
- 距离风场比较近。

5.2.2 应收集的长期测站有关数据见4.1.3。

5.2.3 数据订正的方法见附录A。

5.3 数据处理

5.3.1 平均风速

- 月平均风速为各月同一时次(每日0点~23点)平均。
- 年平均风速为全年同一时次(每日0点~23点)平均。

5.3.2 风功率密度

风功率密度蕴含风速、风速分布和空气密度的影响，是风场风能资源的综合指标，计算方法见附录B1。

5.3.3 风速频率分布

以 1m/s 为一个风速区间，统计每个风速区间内风速出现的频率。每个风速区间的数字用中间值代表，如 5m/s 风速区间为 $4.6\text{m/s} \sim 5.5\text{m/s}$ 。

5.3.4 风能频率分布

以 1m/s 为一个风速区间，统计每个风速区间内风能出现的频率。每个风速区间的数字用中间值代表。

5.3.5 风向频率分布

计算出在代表16个方位的各扇区风向出现的频率分布，在风向玫瑰图上最大的风向频率区间为主导风向。

5.3.6 风能密度方向分布

计算出在代表16个方位的各扇区风能密度方向分布，风能密度方向分布为全年各扇区的风能密度与全方位总风能密度的百分比。风能密度的计算方法见附录B2。

注：出现频率最高的风向可能由于风速小，不一定是风能密度最大的方向。

5.3.7 风切变指数

——推荐用幂定律拟合，风切变幂律公式和风切变指数的计算方法见附录B3。

——如果没有不同高度的实测风速数据，根据宁夏中北部代表地区的实测数据推算出，宁夏平均风切变指数 a 取0.118，作为近似值。各地观测年风切变指数见附录C。

注：近地层任意高度的风速，可以根据风切变指数和仪器安装高度测得的风速推算出来。估算风力发电机组发电量时需要推算出轮毂高度处的风况。

5.3.8 湍流强度

风能资源评估中采用的湍流指标是水平风速的标准偏差，再根据相同时段的平均风速计算湍流强度(I)。湍流强度I 值在0.10或以下表示湍流相对较小，中等程度湍流的I 值为0.10~0.25，更高的I 值表明湍流过大。

注：风场的湍流特征很重要，因为它对风力发电机组性能有不利影响，主要是减少输出功率，还可能引起极端荷载，最终削弱和破坏风力发电机组。

5.3.9 湍流强度的计算方法见附录B 中的B4。

5.3.10 逐小时湍流强度

逐小时湍流强度是以1小时内最大的10分钟湍流强度作为该小时的代表值。

5.4 编制风况图表

将5.3条中处理好的各种风况参数绘制成图形。主要分为年风况和月风况两大类。风况图格式(示例)见附录D。

5.4.1 年风况

——全年的风速和风功率日变化曲线图。

- 风速和风功率的年变化曲线图。
- 全年的风速和风能频率分布直方图。
- 全年的风向和风能玫瑰图。

5.4.2 月风况

- 各月的风速和风功率日变化曲线图。
- 各月的风向和风能玫瑰图。

5.4.3 相关参证气象站风况

- 与风场测风塔同期的风速年变化直方图。
- 连续20年~30年的风速年际变化直方图。

注：将各种风况参数绘制成图形能够更直观地看出风场的风速、风向和风能的变化，便于和当地的地形条件、电力负荷曲线等比较，判断是否有利于风力发电机组的排列、风电场输出电力的变化是否接近负荷需求的变化等。

附 录 A
(规范性附录)
数据订正的方法

A.1 风速订正

利用相关比值法进行风速订正，建议按季节或风向进行分类订正。
在满足5.3.2条件时，缺测点风速 y 与参照观测点风速 x 之间将构成以下关系：

$$\frac{y}{x} = a - bx = k(x) \dots\dots\dots(A1)$$

式中 a 、 b 为经验系数，当 x 较大时， $k(x)$ 趋于常数。由于对于大型风机发电有实际意义的风速一般在4~5m/s以上，所以实际应用时将 $k(x)$ 取为常数用于风电场风速订正一般可以满足精度要求。

A.2 风向订正

将参照点同期风向记录直接移植到缺测点必须满足以下条件之一：
1) 参照点与缺测点处于同一观测塔，并且两层的风向吻合率在80%以上。
2) 缺测点和同一风电场参照点的海拔高度、坡向、周边障碍物等均相似，风向吻合率在80%以上。

A.3 长年代序列延长

采用相关比值法进行风速序列的延长。

A.4 气温、气压订正

- a) 订正项目
与风电计算相关的气温、气压订正包括缺测插补、延长订正。
- b) 缺测插补和长期订正
缺测插补和延长订正均采用线性相关法。
将风电场气温、气压与长期测站对应的数据进行相关分析，得到线性方程。

$$Tx = a_1 \bullet T_y + b_1 \dots\dots\dots(A2)$$

$$Px = a_1 \bullet Ty + b_2 \dots\dots\dots(A3)$$

式中： a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 为经验系数。 T_x 、 T_y 分别代表风电场和长期测站的气温， P_x 、 P_y 分别代表风电场和长期测站的气压。

- c) 将长期测站的气温、气压值，分别代入相关方程，计算出风电场长期状况的气温、气压值。

附 录 B
(规范性附录)
风况参数的计算方法

B.1 风功率密度

设定时段平均风功率密度表达式为(B1)

$$Dwp = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \rho \cdot v_i^3 \quad \dots\dots\dots (B1)$$

式中:

Dwp ——设定时段平均风功率密度(W/m^2);

n ——设定时段内的记录数;

v_i^3 ——第*i*记录风速(m/s) 值的立方;

ρ ——空气密度 (kg/m^3)。

平均风功率密度的计算应是设定时段内逐小时风功率密度的平均值,不可用年(或月)平均风速计算年(或月)平均风功率密度。 Dwp 中 ρ 的必须是当地年平均计算值。它取决于温度和压力(海拔高度)。

如果风场测风有压力和温度的记录,则空气密度按式(B2)计算:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad \dots\dots\dots (B2)$$

式中:

ρ ——空气密度, kg/m^3 ;

P ——年平均大气压力, Pa ;

R ——气体常数($287J/kg \cdot K$);

T ——年平均空气开氏温标绝对温度($^{\circ}C+273$)。

如果没有风场大气压力的实测值,空气密度可以作为海拔高度(z)和温度(T)的函数,按照式(B3)计算出估计值:

$$\rho = (353.05/T) \exp(-0.034(z/T)) \quad \dots\dots\dots (B3)$$

式中:

ρ ——空气密度, kg/m^3 ;

z ——风场的海拔高度, m ;

T ——年平均空气开氏温标绝对温度($^{\circ}C+273$)。

B.2 风能密度

风能密度表达式为式(B4):

$$D_{WE} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\rho)(v_i^3)t_i \dots\dots\dots(B4)$$

式中:

D_{WE} ——风能密度, (W-h)/m²;

N —— 风速区间数目;

ρ —— 空气密度, kg/m³;

v_i^3 ——第*i*个风速区间的风速(m/s)值的立方;

t_i ——某扇区或全方位第*i*个风速区间的风速发生的时间, h。

B.3 风切变幂律公式和风切变指数

风切变幂律公式如式(B5):

$$v_2 = v_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \dots\dots\dots(B5)$$

式中:

v_2 —— 高度 z_2 处的风速(m/s);

v_1 ——高 度 z_1 处的风速(m/s);

α ——为风切变指数。

风切变指数 α 用式 (B6) 计算:

$$\alpha = \frac{\lg(v_2/v_1)}{\lg(z_2/z_1)} \dots\dots\dots(B6)$$

式中: v_1 和 v_2 为实测值。

风廓线拟合:

将 v/v_1 、 z/z_1 分别作为两个序列, 在对数坐标系中将 v/v_1 作为y轴, 将 z/z_1 作为x轴进行无截距线性拟合, 斜率即为拟合风切变指数。

B.4 湍流强度的计算

10min湍流强度按式(B7)计算:

$$I_r = \sigma/v \dots\dots\dots(B7)$$

式中:

I_r —— 湍流强度;

σ ——10分钟风速标准偏差, m/s;

v ——10 分钟平均风速，m/s。

附 录 C
(资料性附录)
风切变指数参考值

表C.1 给出了宁夏9座测风塔观测年风切变指数。

表C.1 宁夏测风塔观测年风切变指数

测风塔	风切变指数
惠农落石滩测风塔	0.121
青铜峡甘城子测风塔	0.095
青铜峡风电场测风塔	0.095
灵武杨家窑测风塔	0.107
红寺堡墩墩梁测风塔	0.083
红寺堡买河测风塔	0.135
沙坡头美丽湖测风塔	0.188
海原兴仁测风塔	0.103
盐池麻黄山测风塔	0.134
注：表中所给出的风切变参考值由2009年10月1日~2010年9月31日整个观测年观测数据计算得出。	

附 录 D
(资料性附录)
风况统计格式(示例)

根据风能资源评估工作的需要，一般需要统计年风况和月风况两大类，表D.1至表D.3给出了风速、频率等风况示例表，并将各种风况参数绘制成图形，图D.1至图D.4给出了风向玫瑰图、风速垂直廓线等风绘制示例图。

表D.1 逐时平均风速 (m/s)

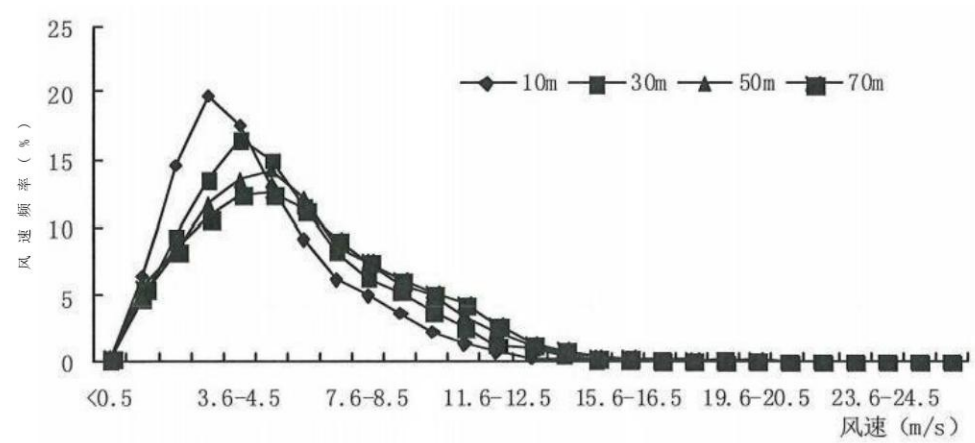
高度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10m	4.6	4.6	4.5	4.4	4.4	4.3	4.2	4.1	4	3.9	3.9	3.9	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	5.3	5.1	4.7
30m	5.8	5.7	5.8	5.7	5.6	5.5	5.3	5.2	5.1	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	5.1	5.1	5.4	5.6	5.8	5.9	6.0	6.0	6.0	5.9
50m	6.3	6.3	6.3	6.3	6.1	6.0	5.8	5.7	5.6	5.4	5.4	5.3	5.2	5.1	5.1	5.2	5.5	5.7	5.9	6	6.1	6.2	6.3	6.3
70m	6.6	6.6	6.7	6.6	6.5	6.4	6.2	6.1	5.9	5.7	5.7	5.6	5.4	5.2	5.2	5.2	5.5	5.7	5.9	6.1	6.2	6.3	6.5	6.5

表D.2 各月及年平均风速 (m/s)

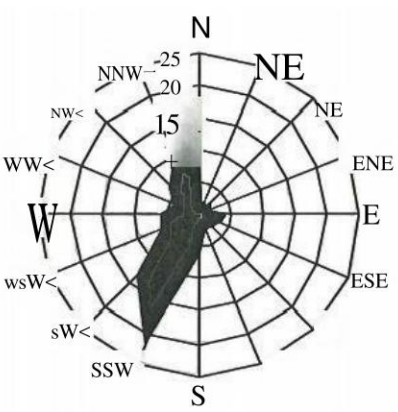
高度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
10m	3.3	3.4	5.1	4.9	5.6	5	4.3	5	4.2	4.4	4.9	4.9	4.6
30m	4.2	4.2	6	5.8	6.5	5.8	5	5.8	5	5.2	5.9	6	5.5
50m	4.4	4.3	6.4	6.1	6.9	6.1	5.4	6.3	5.5	5.6	6.3	6.4	5.8
70m	4.7	4.5	6.6	6.3	7.2	6.4	5.6	6.6	5.7	5.8	6.5	6.5	6.0

表D.3 各等级风速频率(%)

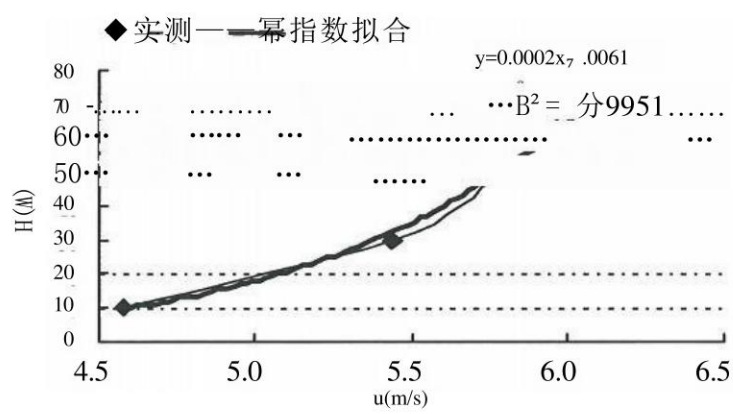
高度	<0.5	0.5-1.5	1.6-2.5	2.6-3.5	3.6-4.5	4.6-5.5	5.6-6.5	6.6-7.5	7.6-8.5
10m	0.2	6.4	14.5	19.7	17.5	13	9.1	6.2	4.9
30m	0.1	4.6	9.4	13.4	16.4	15	11.5	8.3	6.3
50m	0.3	5.1	8.3	11.7	13.4	14.2	12.1	8.5	7.5
70m	0.3	5.5	8.4	10.8	12.4	12.6	11.4	9.2	7.5
高度	8.6-9.5	9.6-10.5	10.6-11.5	11.6-12.5	12.6-13.5	13.6-14.5	14.6-15.5	15.6-16.5	16.6-17.5
10m	3.6	2.2	1.3	0.7	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0
30m	5.3	3.7	2.6	1.2	1.0	0.4	0.2	0.2	0.1
50m	5.8	4.9	3.5	2.2	1.2	0.6	0.4	0.2	0.1
70m	6.1	5.2	4.4	2.8	1.4	0.9	0.4	0.3	0.1
高度	17.6-18.5	18.6-19.5	19.6-20.5	20.6-21.5	21.6-22.5	22.6-23.5	23.6-24.5	24.6-25.5	>25.5
10m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30m	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50m	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70m	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



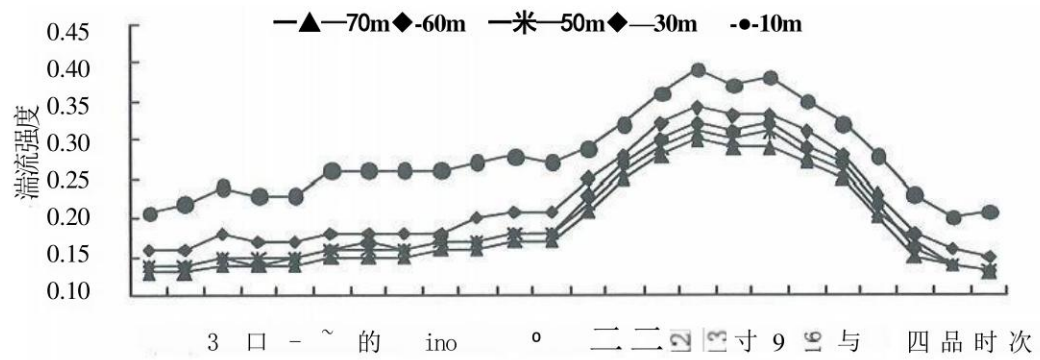
图D.1 各高度各等级风速频率(%)



图D.2 风向频率玫瑰图(%)



图D.3 风速垂直廓线



图D.4 各高度大气湍流强度日变化曲线图