



中华人民共和国国家标准

GB/T 18710—2002

风电场风能资源评估方法

Methodology of wind energy resource
assessment for wind farm

2002-04-28 发布

2002-10-01 实施

中华人民共和国
国家质量监督检验检疫总局 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 引用标准	1
3 定义	1
4 测风数据要求	2
5 测风数据处理	3
6 风能资源评估的参考判据	5
附录 A(提示的附录) 数据订正的方法	7
附录 B(标准的附录) 风况参数的计算方法	7
附录 C(提示的附录) 订正后的风况数据报告格式(示例)	9
附录 D(提示的附录) 风况图格式(示例)	10

前 言

本标准是在总结我国风电场项目选址过程中评估风能资源的经验基础上,参考国外有关标准和规范编制的。主要有美国风能协会标准 AWEA8.2—1993《推荐的风能转换系统选址方法(RECOMMENDED PRACTICE FOR THE SITING OF WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS)》,以及美国国家可再生能源实验室规范 NREL/SR-440-22223《风能资源评估手册(WIND RESOURCE ASSESSMENT HANDBOOK)》。

本标准的附录 B 是标准的附录,附录 A、附录 C 和附录 D 是提示的附录。

本标准由科学技术部、国家电力公司提出。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会新能源和可再生能源分技术委员会归口。

本标准由中国水利水电建设工程咨询公司负责起草。

本标准主要起草人:施鹏飞、朱瑞兆、姜慧英、易跃春、刘文峰、谢宏文。

中华人民共和国国家标准

风电场风能资源评估方法

GB/T 18710—2002

Methodology of wind energy resource assessment for wind farm

1 范围

本标准规定了评估风能资源应收集的气象数据、测风数据的处理及主要参数的计算方法、风功率密度的分级、评估风能资源的参考判据、风能资源评估报告的内容和格式。

本标准适用于风电场风能资源评估。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 18709—2002 风电场风能资源测量方法

3 定义

本标准采用下列定义。

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。

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。

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。

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。

3.5 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。

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。

3.7 最大风速 maximum wind speed

10 min 平均风速的最大值。

3.8 极大风速 extreme wind speed

瞬时风速的最大值。

3.9 风速分布 wind speed distribution

用于描述连续时限内风速概率分布的分布函数。

3.10 威布尔分布 Weibull distribution

经常用于风速的概率分布函数,分布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。

3.11 瑞利分布 Rayleigh distribution

经常用于风速的概率分布函数,分布函数取决于一个调节参数,即控制平均风速分布的尺度参数。

注:瑞利分布是形状参数等于2的威布尔分布。

3.12 日变化 diurnal variation

以日为基数发生的变化。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,每日同一钟点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

以年为基数发生的变化。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30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。

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。

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。

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。

3.19 轮毂高度 hub height

从地面到风轮扫描面中心的高度。

4 测风数据要求

4.1 风场附近气象站、海洋站等长期测站的测风数据

4.1.1 在收集长期测站的测风数据时应对照站址现状和过去的变化情况进行考察,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、周围环境变动的情况和情况等。

注:气象部门和海洋站保存有规范的测风记录,标准观测高度距离地面10 m。1970年以后主要采用EL自记风速仪,以正点前10 min测量的风速平均值代表这一个小时的风速。年平均风速是全年逐小时风速的平均值。

4.1.2 应收集长期测站以下数据:

a) 有代表性的连续30年的逐年平均风速和各月平均风速。

注:应分析由于气象站的各种变化对风速记录数据的影响。

b) 与风场测站同期的逐小时风速和风向数据。

c) 累年平均气温和气压数据。

d) 建站以来记录到的最大风速、极大风速及其发生的时间和风向、极端气温、每年出现雷暴日数、积冰日数、冻土深度、积雪深度和侵蚀条件(沙尘、盐雾)等。

注:本标准中逐小时风速、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、气压和标准偏差的实测时间序列数据,极大风速及其风向。

5 测风数据处理

5.1 总则

测风数据处理包括对数据的验证、订正,并计算评估风能资源所需要的参数。

5.2 数据验证

5.2.1 目的

数据验证是检查风场测风获得的原始数据,对其完整性和合理性进行判断,检验出不合理的数据和缺测的数据,经过处理,整理出至少连续一年完整的风场逐小时测风数据。

5.2.2 数据检验

5.2.2.1 完整性检验

- a) 数量:数据数量应等于预期记录的数据数量。
- b) 时间顺序:数据的时间顺序应符合预期的开始、结束时间,中间应连续。

5.2.2.2 合理性检验

- a) 范围检验,主要参数的合理范围参考值见表1。
- b) 相关性检验,主要参数的合理相关性参考值见表2。
- c) 趋势检验,主要参数的合理变化趋势参考值见表3。

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)	$94 \text{ kPa} < \text{小时平均值} < 106 \text{ kPa}$

表2 主要参数的合理相关性参考值

主要参数	合理相关性
50 m/30 m 高度小时平均风速差值	$< 2.0 \text{ m/s}$
50 m/10 m 高度小时平均风速差值	$< 4.0 \text{ m/s}$
50 m/30 m 高度风向差值	$< 22.5^\circ$

表3 主要参数的合理变化趋势参考值

主要参数	合理变化趋势
1 h 平均风速变化	$< 6 \text{ m/s}$
1 h 平均温度变化	$< 5^\circ \text{C}$
3 h 平均气压变化	$< 1 \text{ kPa}$

注:各地气候条件和风况变化很大,三个表中所列参数范围供检验时参考,在数据超出范围时应根据当地风况特点加以分析判断。

5.2.3 不合理数据和缺测数据的处理

5.2.3.1 检验后列出所有不合理的数据和缺测的数据及其发生的时间。

5.2.3.2 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。

5.2.3.3 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。

5.2.4 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:

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

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。

5.2.5 验证结果

经过各种检验，剔除掉无效数据，替换上有效数据，整理出至少连续一年的风场实测逐小时风速风向数据，并注明这套数据的有效数据完整率。

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。

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)。

5.3 数据订正

5.3.1 目的

数据订正是根据风场附近长期测站的观测数据，将验证后的风场测风数据订正为一套反映风场长期平均水平的代表性数据，即风场测风高度上代表年的逐小时风速风向数据。

5.3.2 当地长期测站应具备以下条件才可将风场短期数据订正为长期数据：

- a) 同期测风结果的相关性较好；
- b) 具有 30 年以上规范的测风记录；
- c) 与风场具有相似的地形条件；
- d) 距离风场比较近。

5.3.3 应收集的长期测站有关数据见 4.1.2。

5.3.4 数据订正的方法见附录 A。

5.4 数据处理

5.4.1 目的

将订正后的数据处理成评估风场风能资源所需要的各种参数，包括不同时段的风速和功功率密度、风速频率分布和风能频率分布、风向频率和风能密度方向分布、风切变指数和湍流强度等。

5.4.2 平均风速和功功率密度

月平均、年平均；各月同一钟点(每日 0 点~23 点)平均、全年同一钟点平均。

功功率密度的计算方法见附录 B1。

5.4.3 风速和风能频率分布

以 1 m/s 为一个风速区间，统计每个风速区间内风速和风能出现的频率。每个风速区间的数字代表中间值，如 5 m/s 风速区间为 4.6 m/s~5.5 m/s。

5.4.4 风向频率及风能密度方向分布

计算出在代表 16 个方位的扇区内风向出现的频率和风能密度方向分布。

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。

5.4.5 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，风切变指数 α 取 1/7(0.143)作为近似值。

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。

5.4.6 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出湍流

强度(I_T)。

5.4.6.1 湍流强度的计算方法见附录 B 中的 B4。

5.4.6.2 逐小时湍流强度

逐小时湍流强度是以 1 h 内最大的 10 min 湍流强度作为该小时的代表值。

5.4.7 订正后的风况数据报告格式(示例)见附录 C。

6 风能资源评估的参考判据

6.1 编制风况图表

将 5.4 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。

6.1.1 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。

6.1.2 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。

6.1.3 相关长期测站风况

- 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。

6.2 风能资源评估的参考判据

6.2.1 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，风功率密度等级见表 4。应注意表 4 中风速参考值依据的标准条件(见表 4 的注 1、注 2)与风场实际条件的差别。

表 4 风功率密度等级表

风功率 密度 等级	10 m 高度		30 m 高度		50 m 高度		应用于 并网 风力发电
	风功率 密度/(W/m ²)	年平均风速 参考值/(m/s)	风功率 密度/(W/m ²)	年平均风速 参考值/(m/s)	风功率 密度/(W/m ²)	年平均风速 参考值/(m/s)	
1	<100	4.4	<160	5.1	<200	5.6	
2	100~150	5.1	160~240	5.9	200~300	6.4	
3	150~200	5.6	240~320	6.5	300~400	7.0	较好
4	200~250	6.0	320~400	7.0	400~500	7.5	好
5	250~300	6.4	400~480	7.4	500~600	8.0	很好
6	300~400	7.0	480~640	8.2	600~800	8.8	很好
7	400~1 000	9.4	640~1 600	11.0	800~2 000	11.9	很好

注

1 不同高度的年平均风速参考值是按风切变指数为 1/7 推算的。

2 与风功率密度上限值对应的年平均风速参考值，按海平面标准大气压及风速频率符合瑞利分布的情况推算

6.2.2 风向频率及风能密度方向分布

风电场内机组位置的排列取决于风能密度方向分布和地形的影响。在风能玫瑰图上最好有一个明显的主导风向,或两个方向接近相反的主风向。

在山区主风向与山脊走向垂直为最好。

6.2.3 风速的日变化和年变化

用各月的风速(或风功率密度)日变化曲线图和全年的风速(或风功率密度)日变化曲线图,与同期的电网日负荷曲线对比;风速(或风功率密度)年变化曲线图,与同期的电网年负荷曲线对比,两者相一致或接近的部分越多越好。

6.2.4 湍流强度

I_T 值在 0.10 或以下表示湍流相对较小,中等程度湍流的 I_T 值为 0.10~0.25,更高的 I_T 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。

6.2.5 其他气象因素

特殊的大气条件要对风力发电机组提出特殊的要求,会增加成本和运行的困难,如最大风速超过 40 m/s 或极大风速超过 60 m/s,气温低于零下 20℃,积雪、积冰、雷暴、盐雾或沙尘多发地区等。

附录 A

(提示的附录)

数据订正的方法

将风场短期测风数据订正为代表年风况数据的方法如下:

1) 作风场测站与对应年份的长期测站各风向象限的风速相关曲线。某一风向象限内风速相关曲线的具体作法是:建一直角坐标系,横坐标轴为长期测站风速,纵坐标轴为风场测站的风速。取风场测站在该象限内的某一风速值(某一风速值在一个风向象限内一般有许多个,分别出现在不同时刻)为纵坐标,找出长期测站各对应时刻的风速值(这些风速值不一定相同,风向也不一定与风场测站相对应),求其平均值作为横坐标即可定出相关曲线的一个点。对风场测站在该象限内的其余每一个风速重复上述过程,就可作出这一象限内的风速相关曲线。对其余各象限重复上述过程,可获得 16 个风场测站与长期测站的风速相关曲线。

2) 对每个风速相关曲线,在横坐标轴上标明长期测站多年的年平均风速,以及与风场测站观测同期的长期测站的年平均风速,然后在纵坐标轴上找到对应的风场测站的风速值,并求出这两个风速值的代数差值(共有 16 个代数差值)。

3) 风场测站数据的各个风向象限内的每个风速都加上对应的风速代数差值,即可获得订正后的风场测站风速风向资料。

附录 B

(标准的附录)

风况参数的计算方法

B1 风功率密度

设定时段内的平均风功率密度表达式为(B1):

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

式中: D_{wp} ——平均风功率密度, W/m^2 ;

n ——在设定时段内的记录数;

ρ ——空气密度, kg/m^3 ;

v_i^3 ——第 i 记录的风速(m/s)值的立方。

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。

D_{wp} 中的 ρ 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($287 J/kg \cdot K$);

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:

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

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($^{\circ}\text{C} + 273$)。

B2 风能密度

风能密度表达式为式(B4):

$$D_{\text{WE}} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (\rho) (v_j^3) t_j \quad \dots\dots\dots (\text{B4})$$

式中: D_{WE} ——风能密度, $(\text{W} \cdot \text{h})/\text{m}^2$;

m ——风速区间数目;

ρ ——空气密度, kg/m^3 ;

v_j^3 ——第 j 个风速区间的风速(m/s)值的立方;

t_j ——某扇区或全方位第 j 个风速区间的风速发生的时间, h 。

B3 风切变幂律公式和风切变指数

风切变幂律公式如式(B5):

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

式中: α ——风切变指数;

v_2 ——高度 z_2 的风速, m/s ;

v_1 ——高度 z_1 的风速, m/s 。

风切变指数 α 用式(B6)计算:

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

式中: v_1 与 v_2 为实测值。

B4 湍流强度的计算

10 min 湍流强度按式(B7)计算:

$$I_T = \frac{\sigma}{\bar{V}} \quad \dots\dots\dots (\text{B7})$$

式中: I_T ——湍流强度;

σ ——10 min 风速标准偏差, m/s ;

$\bar{V}$ ——10 min 平均风速, m/s 。

附录 C

(提示的附录)

订正后的风况数据报告格式(示例)

C1 订正后的代表年主要风况参数表

报告日期:1999年6月7日

风场名称	×××	测风塔编号	××-02
风场地点	××省××县××		
测风塔位置	E117°24'11",N43°56'23"	海拔高度/m	1838
测风数据开始日期时间	1998年5月24日0时	有效数据完整率	94%
测风数据截止日期时间	1999年5月23日23时		

相关长期测站名称	×××	地点	××省××县××
相关长期测站位置	E117°24'11",N43°56'23"	海拔高度/m	834
相关长期测站与××风场的直线距离/km			94

风场主要风况参数		测量高度/m			等级
		50	30	10	
风功率密度/(W/m ²)		572	458	284	5
年平均风速/(m/s)		8.1	7.6	6.7	
风切变指数	0.174	最大或极大风速/(m/s)		风向	发生时间
主风向	NNW	风场最大	20.5	NW	19981218
平均空气密度/(kg/m ³)	1.145	风场极大	28.3	NW	19990226
年平均湍流强度(50 m 高度)	0.18	长期测站最大	22.4	NNW	19780413
		长期测站极大	35.1	NW	19820324

C2 订正后的代表年风况数据记录表

参数代号	风速 v	风向 D	湍流强度 I_T	气温 T	气压 P	高度代号			
单位	m/s	度		℃	kPa	a	b	c	d
测量高度	a, b, c	a, b, c	a, b, c	d	d	50 m	30 m	10 m	3 m

日期	时间	V_s	V_b	V_c	D_s	D_b	D_c	I_{Ts}	I_{Tb}	I_{Tc}	T_d	P_d
980524	00	12.4	11.8	9.8	292	289	288	0.13	0.14	0.15	13.4	81.2
980524	01	12.7	11.8	10.2	296	294	295	0.14	0.13	0.14	13.2	81.2
.....												
990523	22	8.8	8.2	7.0	305	307	306	0.16	0.16	0.17	15.2	81.1
990523	23	8.5	7.8	6.7	302	304	305	0.17	0.18	0.18	14.9	81.1

附录 D
(提示的附录)
风况图格式(示例)

D1 年风况

年风况图格式示例见图 D1~图 D5。

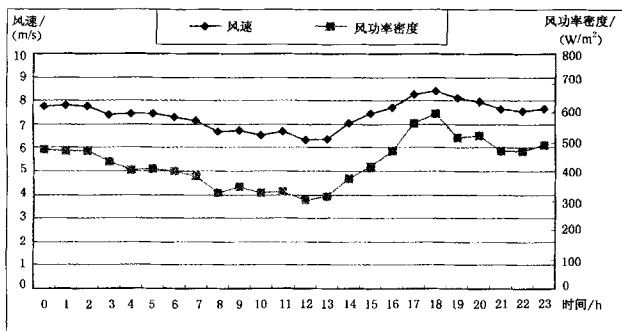


图 D1 全年的风速和风功率密度日变化曲线图

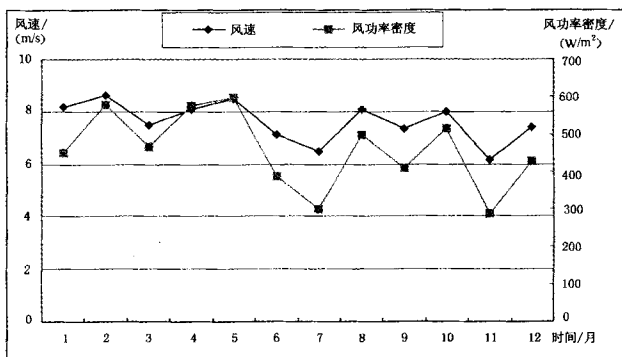


图 D2 风速和风功率密度年变化曲线图

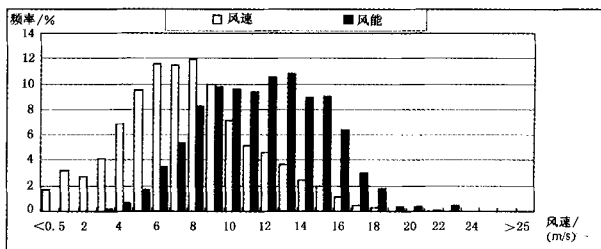


图 D3 全年的风速和风能频率分布直方图

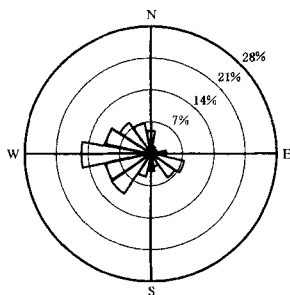


图 D4 全年的风向玫瑰图

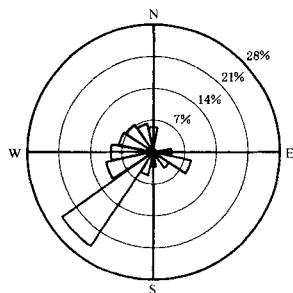


图 D5 全年的风能玫瑰图

D2 月风况

月风况图格式示例见图 D6~图 D8。

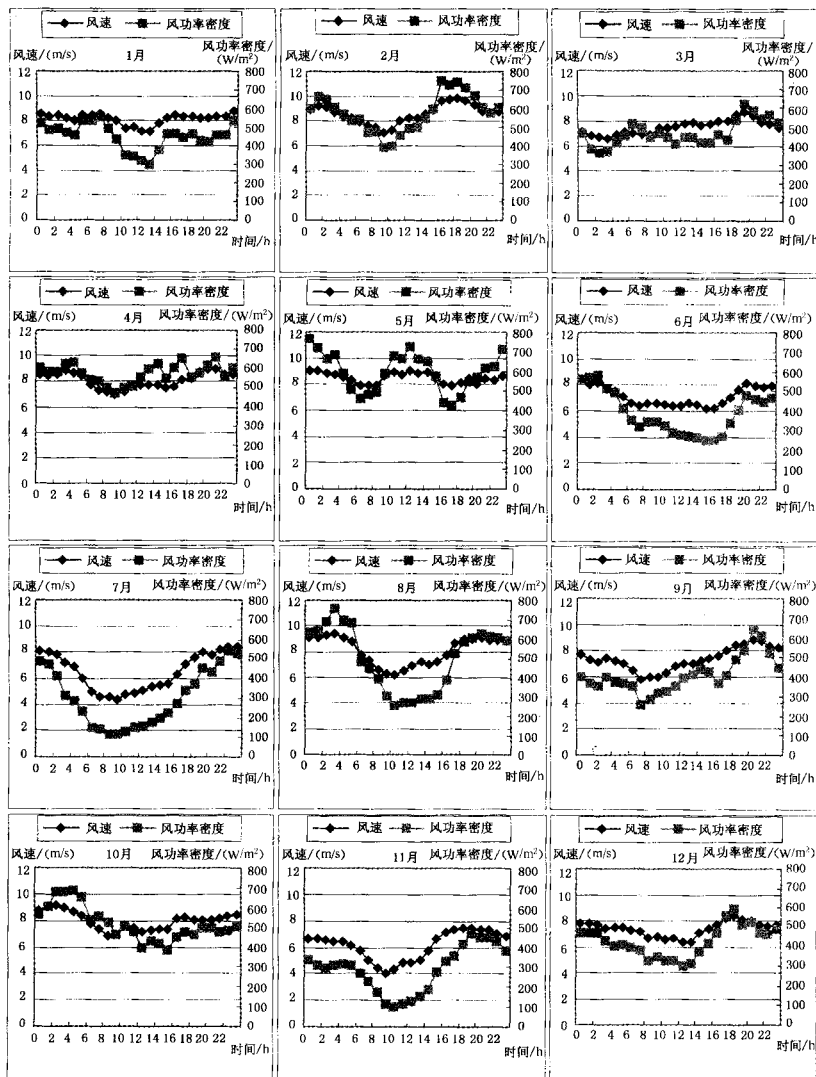


图 D6 各月的风速和风功率密度日变化曲线图

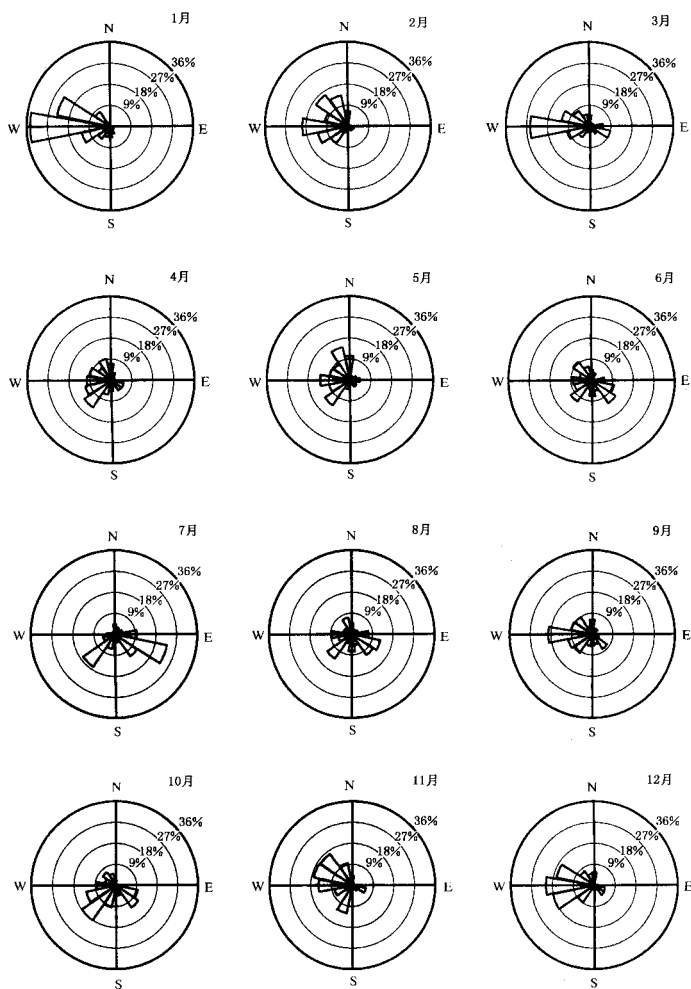


图 D7 各月的风向玫瑰图

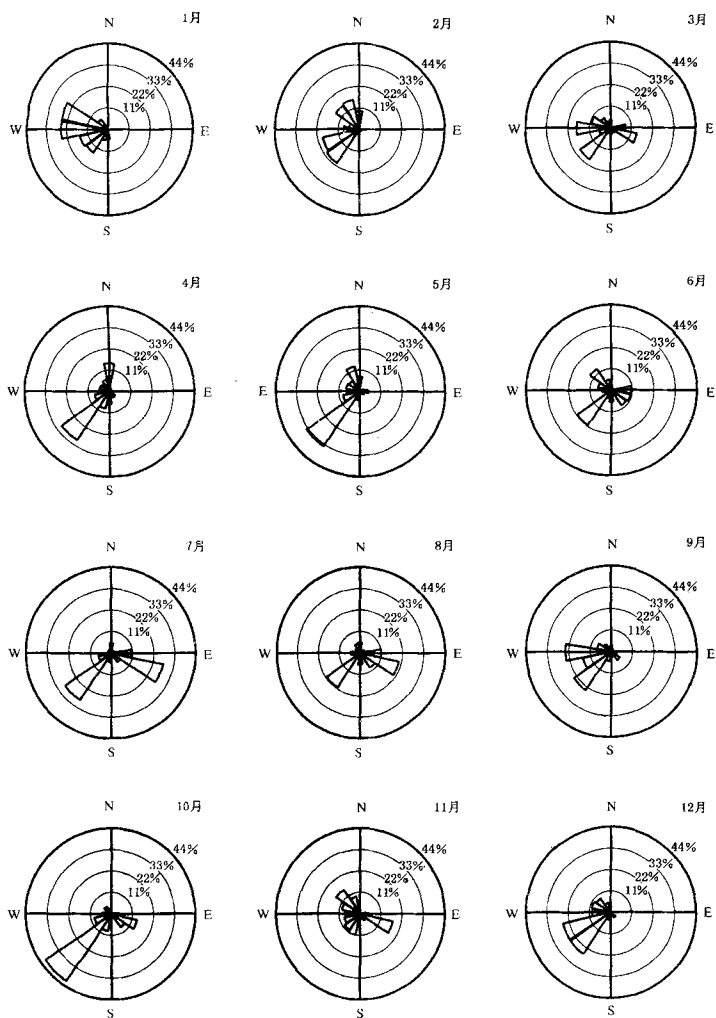


图 D8 各月的风能玫瑰图

D3 相关长期测站风况

相关长期测站风况图格式示例见图 D9 和图 D10。

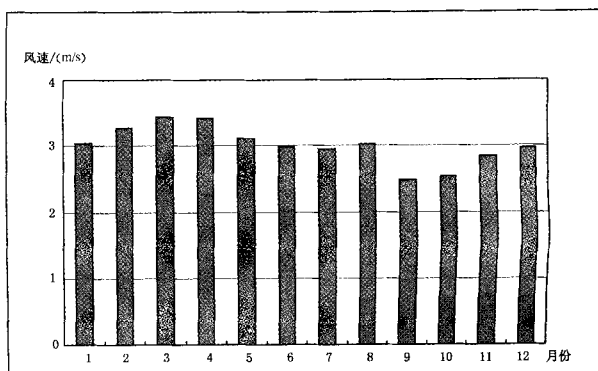


图 D9 与风场测风塔同期的相关长期测站风速年变化直方图

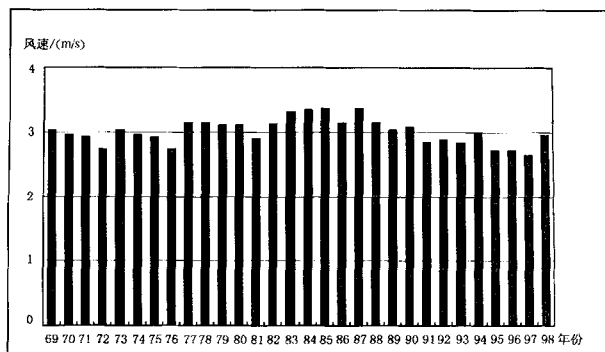


图 D10 相关长期测站连续 20 年~30 年的风速年际变化直方图