

用于风电场选址的风能资源评估软件

杨振斌 薛桁 袁春红

孙振泽

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

(福建省宁德市气象局, 宁德 352100)

摘要 该文介绍了一个新的用于风电场选址的风能资源评估软件。该软件采用均值及标准差法进行韦布尔双参数估算,将误差减少5%~8%。为了与我国测风资料相适应,采用16个方位进行风资源评估,使结果更客观、准确。该软件还集成了风参数的年变化和月变化分析子软件,是我国进行风电场选址和风能资源评价的有效工具。

关键词 风电场选址 风能资源 参数估算 评估软件

引言

世界各国都将开发利用新能源和可再生能源放到国家能源发展的优先地位,而在新能源中,风能技术最为成熟,风电的开发也得到飞速发展。到2000年全世界风电装机容量达到1756.8万kW,我国为34.4万kW,并以每年将近200万kW的速度迅速增长。我国风能资源十分丰富,总储量为32.26亿kW,估计实际可开发利用的风能储量为2.53亿kW。近年来的研究表明,海上风资源具有风速高、风的产生稳定、风力资源潜力巨大、表面粗糙度低、湍流强度低等优点,随着近海风电项目的发展,风力发电将更加具有生命力。

风能作为一种来自大自然的清洁能源,还不能像想象的那样,取之不尽、用之不竭,因为受到天气气候、地理环境、开发技术等各方面的限制,目前能够被开发利用的风能资源还很有限。为了更充分的利用这一“不竭而又有限”的资源,在风电场的开发过程中,前期的风资源评估就显得尤为重要。到目前为止,风能资源评估基本上都是利用丹麦实验室开发的Riso WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program)软件。这一软件是

基于欧洲比较平坦的地形条件设计的,风能资源评估中风向分为8或12方位,用来评价我国气象台站进行的16个方位观测资料会产生较大偏差。此外,在WAsP中用最小二乘法确定韦布尔参数误差较大。根据对800多个气象站测风记录的计算误差分析,新开发的软件采用了均值及标准差估算法,使误差降低约5%~8%。因此,开发适合我国国情的风电场选址风资源评估系统是十分必要的。

基于可操作性的考虑,风能资源评估软件界面采用Visual Basic 6.0语言开发的,操作简单、方便。

1 风能资源评估的理论基础

1.1 海陆分布影响

对于地形平坦的沿海地区,在距海比较近(约10 km)的范围内,从海岸到内陆,风速与距离的比率衰减呈线性关系。随着距海岸距离的增大(在10 km以上),风速衰减趋于缓慢,有接近常值的趋势,风速随距离增大呈指数衰减。

1.2 空气密度 ρ 的估算

我国的地形复杂,高差较大,空气密度随高度递减,这些因素对风能资源的影响应当

予以考虑。

从气体状态方程出发,考虑水汽的影响,建议采用估算空气密度的方法:

$$\rho = \frac{1.276}{1 + 0.00366 t} \left| \frac{p - 0.378 e}{1000} \right| \quad (1)$$

其中, e 为水汽压(hPa), t 为气温(°C), p 为大气压(hPa)。

在没有湿度观测的地方,可以使用下式来估算空气密度:

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (2)$$

其中, p 为平均大气压(Pa), R 为气体常数(J/(kg·K)), T 为平均大气温度(K)。

考虑到海拔高度影响,有下面的近似式:

$$\rho = (353.05/T) \exp(-0.034 z/T) \quad (3)$$

其中, T 为平均大气温度(K), z 为海拔高度(m)。

客观地评价某一地点的风能资源状况,使用式(1)较为适合。

1.3 韦布尔分布及风能资源参数估算

韦布尔双参数曲线族被认为适于对风速作统计描述的分布函数,其概率密度函数可表示为:

$$P(v) = \frac{k}{c} \left| \frac{v}{c} \right|^{k-1} \exp \left| - \left| \frac{v}{c} \right|^k \right| \quad (4)$$

其中, P 为概率密度, v 为风速(m/s), k 为形状参数, c 为尺度参数。

风能资源参数:风功率密度和有效风功率密度的计算式为

$$\bar{w} = \int_0^{\infty} 1/2 v^3 P(v) dv \quad (5)$$

$$\bar{w}_e = \int_{v_1}^{v_2} 1/2 v^3 P'(v) dv \quad (6)$$

其中, $\bar{w}$ 为平均风能功率密度(W/m²), ρ 为空气密度(kg/m³), v 为风速(m/s), $P(v)$ 为风速概率密度, $\bar{w}_e$ 为有效风能功率密度(W/m²), P' 为条件功率密度函数。 v_1 、 v_2 分别为有效风速的上、下限(m/s)。

1.4 韦布尔两参数的估算

根据韦布尔分布计算风功率密度、有效风功率密度和有效时数。

(1) 以平均风速 v 估算 μ , 样本标准差 S_v 估算 σ , 韦布尔两参数估算如下:

$$k = \left| \frac{\sigma}{\mu} \right|^{-1.086} \quad (7)$$

$$c = \frac{\mu}{\Gamma(1 + 1/k)} \quad (8)$$

(2) 用韦布尔分布来估算风能资源参数:

$$\bar{w} = 1/2 \rho^3 \Gamma(1 + 3/k) \quad (9)$$

$$\bar{w}_e = \frac{1/2 \rho \left| \frac{k}{c} \right|}{\exp \left| - \left| \frac{v_1}{c} \right|^k \right| - \exp \left| - \left| \frac{v_2}{c} \right|^k \right|} \cdot$$

$$\int_{v_1}^{v_2} v^3 \left| \frac{v}{c} \right|^{k-1} \exp \left| - \left| \frac{v}{c} \right|^k \right| dv \quad (10)$$

$$h = N \left| \exp \left| - \left| \frac{v_1}{c} \right|^k \right| - \exp \left| - \left| \frac{v_2}{c} \right|^k \right| \right| \quad (11)$$

其中, h 为有效时数。

1.5 发电量的估算

年发电量(P_a (k W·h))的计算式为:

$$P_a = \sum_{i=1}^{8760} v_i \cdot F(v_i) \quad (12)$$

衡量一地发电量也可用容量系数表示:

$$\text{容量系数} = \frac{P_a}{8760 \times \text{风力机的额定功率}} \quad (13)$$

其中, v_i 为风速, $F(v_i)$ 为 v_i 风速时风力机的输出功率。

2 软件流程

(1) 对输入的观测资料进行质量检验,统计无效的记录数、静风频数。根据需要选择是否进行海陆分布的订正,并根据风速等级、16个方位,统计总的及各方位不同等级的风速出现的频数、各方位总的风速频数。

基于对韦布尔分布两个参数估算的不同方法进行的大量研究表明,用平均风速和标准差估算韦布尔参数,其结果具有很好的可靠性,本软件采用此法估算韦布尔两参数。为了结果的准确,还专门编制了计算伽玛函数的计算程序。

在进一步计算分析的基础上,得到了风

资源的各种参数。结合风力机功率曲线,可以计算出该地点的单机对于某种类型的风力机年发电量及容量系数。

(2)为了编制适合我国特点的风电场选址资源评估软件,考虑到将来开发更为丰富的近海风能的需要,专门进行了海陆分布对风资源的影响研究,作为本评估软件的子软

件。同时,由于在风资源评价中应该考虑到风参数的年变化和日变化,并且在我国《风电场选地址导则(初稿)》中已经有这方面的要求,在系统中加入了分析风速和风功率年变化、日变化的子软件。

风能资源评估软件流程如图 1 所示。

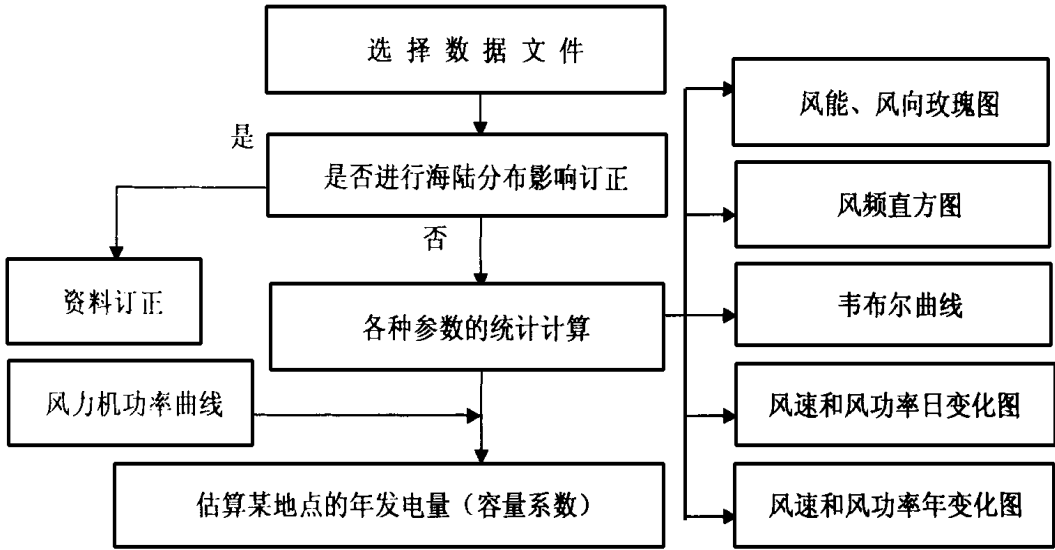


图 1 风能资源评估软件流程图

3 风资源软件的计算结果

(1)各种风资源参数:年平均风速、月平均风速、空气密度、韦布尔分布形状因子、韦布尔分布尺度因子、平均功率密度、有效功率密度、韦布尔功率密度、韦布尔有效功率密度、韦布尔有效时数、实测资料估算的发电量、韦布尔分布估算的年发电量、容量系数等。

(2)各种图表:①风频分布图、韦布尔分布曲线图;②全年及各月的风向和风能玫瑰图;③风速和风功率的年变化图(全年各月平均风速);④全年的风速和风功率日变化图(每日 00:00~23:00 的年平均风速),各月的风速和风功率日变化图;⑤计算结果总表。

4 计算示例

为了检验程序的计算结果,以某站点的实际观测资料(一年连续观测资料)为例进行分析计算,结果见表 1,相关图表只给出风向、风能玫瑰图(图 2)。

本例中进行了海陆订正,年平均风速达到 6.7 m/s,有效风能功率密度为 487.7 W/m²,采用 NEG Micon NM 1000-54 型风力机的功率曲线计算年发电量可以达到 2176.27 MW·h,容量系数为 0.248,达到风电开发的标准。计算结果表明,该观测地点是一个理想的风电场备选场址。结合各种图表、曲线,可以进一步进行风电场选址和微观布局。由风向和风能玫瑰图可以确定风力机的朝向,即风力机的朝向垂直于盛行风向。

表 1 风能资源软件计算结果

参数	计算结果	参数	计算结果
是否进行了海陆订正	是	静风频数	22
无效记录	2	空气密度	1.225 kg/ m ³
年平均风速	6.78 m/ s	韦布尔- K	7.621
韦布尔- C	1.78	有效功率密度	487.7 W/ m ²
平均功率密度	445.9 W/ m ²	韦布尔平均功率密度	413.7 W/ m ²
有效时数	7633 h	韦布尔有效时数	7241 h
韦布尔有效功率密度	495.7 W/ m ²	容量系数	0.248
实测计算年发电量*	2176.27 MW•h	容量系数	0.262
韦布尔年发电量*	2300.23 MW•h		

注：* 表示计算年发电量采用风力机功率曲线为 NEG Micon NM1000-54 的功率曲线，K 代表形状因子，C 代表尺度因子

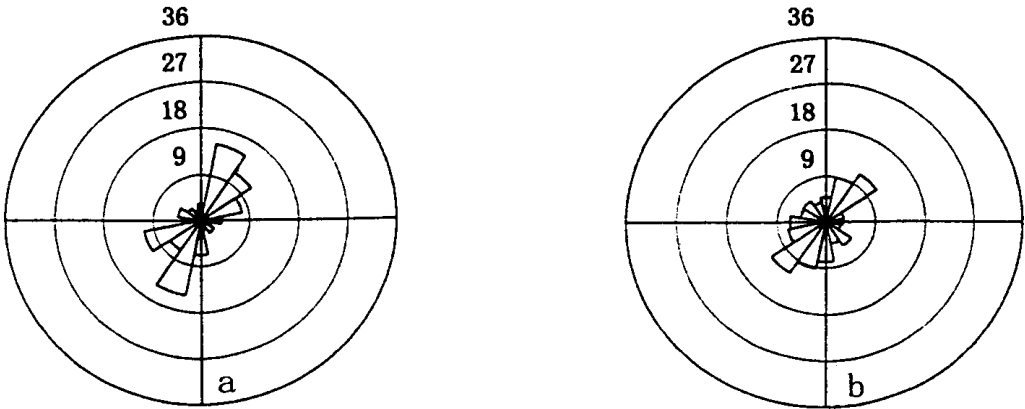


图 2 全年的风向(a)风能(b)玫瑰图(图中数字为百分数)

5 结论

为了编制适合我国特点的风电场选址资源评估软件,在大量前期研究工作的基础上,研制出具有良好应用价值的风能资源评估软件。本软件具有以下特点:

- (1) 考虑到将来开发更为丰富的近海风能资源的需要,进行了海陆分布对风资源影响研究,本软件集成了海陆分布影响的订正部分,为沿海地区和近海风能资源评估提供了有力工具,其结果具有很好的可靠性。
- (2) 为了准确、客观地进行风能资源评估和风电场选址,充分发挥我国采用 16 个方位风向观测资料的优势,在软件的开发中进行 16 个方位的分析计算,达到预期效果。
- (3) 有关韦布尔分布的两个参数(形状因

子和尺度因子)的估算,在程序中采用均值及标准差估算法,使误差降低约 5 % ~ 8 %。

(4) 考虑到待评估地气象参数观测的限制,提供了多种估算空气密度方法。

(5) 由于在风能资源评价中应该考虑到风参数的年变化和日变化,在系统中集成了风速和风功率的年变化和日变化的子软件。

本软件尚需进一步完善,使之成为我国进行风电场选址风能资源评价有效的工具。

参考文献

- 1 朱瑞兆,祝昌汉,薛桁.中国太阳能·风能资源及其利用.北京:气象出版社,1988
- 2 朱瑞兆.应用气候手册.北京:气象出版社,1991
- 3 施鹏飞.产业化发展最快的清洁能源技术——风力发电.太阳能学报.1999,(特刊):150-157
- 4 施鹏飞.海上风电场.风力发电,2000,(2):15-17