

## 风电场选址模式化研究\*

钱喜镇 崔秀兰

(山东省气候中心, 济南, 250031)

### 摘 要

本工作旨在风电场已初选, 并有一至几个月的短期测风资料为前提的情况下, 研究出一种有较先进的方法、较高的精度、较快的速度推算场址风能参数的模式。由于风能是风速立方的函数, 因此, 习惯上用寻求两地风能参数相关的订正方法误差较大。这次工作立足于先订正原始风速及标准差, 再用这两参数推算各风能参数。经计算比较, 选择全概率公式订正风向风速, 再用差值法订正标准差, 最后用韦伯尔公式计算风能参数。风电场选址时风向风速都应该考虑, 因此, 选择各风向均出现的时段作考察月为好。比较结果发现, 9、10、11 月作为考察期准确性较高。

**关键词:** 风电场选址, 模式化。

### 1 引 言

风电场选址一般受托于政府部门或使用风机单位, 根据规划, 要求在一定范围内选择适宜于按装某种型号的一定数量的风力机的场址。至今, 国内尚无一个可供借鉴的风电场选址模式, 有的省引进了欧州的 WASP 模式, 普遍反映不好使用。显而易见, 这是气候不同造成的。因此应当有适用于季风气候特征的选址模式。这方面我们曾做过多次探索: 1985 年, 为山东第一个风电场选址, 要求按装四台 55/11kW 丹麦 Vestas 公司的风力发电机; 1988 年, 为威海、掖县后备风电场选址, 要求按装 50kW 和 80kW 风机; 1990 年为山东第二个风电场选址, 要求按装 2 台国产 50kW 风机。经各种方法比较发现, 直接求算两地风能参数之间相关的方法<sup>①</sup> 其误差大于先用两地原始风速的相关订正风速后再求风能参数<sup>②③</sup> 的方法, 而后者又以不考虑风向的误差为大。为中型发电机选址, 一般考虑在年平均风速达  $6\text{ms}^{-1}$  以上的地点, 加之装机容量、并网、送变电距离等的限制, 适宜的地址不会太多。因此可以根据风能资源区划, 初选几个估计其风速可达到要求的考察站, 分别作短期测风, 利用相邻的有较长时期风资料的测站(气象站、海洋站或专业站)作基本站, 订正延长资料, 推算这些场址的风能参数, 经比较选择, 提交其中 1—2 个适宜场址给委托单位作为定址的重要依据。这是在前几次实践基础上改进完善选址模式, 制成一个季

\* 1993 年 12 月 15 日收到原稿, 1994 年 5 月 12 日收到修改稿。中国气象局气候基金项目资助。

① 山东省气象局, 成山头示范性风力田风能调查分析报告, 1985。

② 钱喜镇等, 威海风力田选址报告, 1988。

③ 钱喜镇等, 掖县风力田选址报告, 1988。

气候区域适用的、可以直接利用台站信息化资料进行计算的方法 既先进又有理论基础的实用模式。

## 2 风向的超短序列订正方法

从统计学上的观点,风向是一个有几种可能状态的现象,它的特征可用各种方位出现概率来表征。如果用  $B_j(j = 1, 2, \dots, n)$  表示考察站某月的各风向,用  $A_i(i = 1, 2, \dots, n)$  表示与考察站相邻的基本站该月的各种风向。由于两站相邻,显然考察站出现  $B_j$  的概率  $P(B_j)$  与基本站出现  $A_i$  的概率  $P(A_i)$  之间是有联系的,根据全概率公式应有

$$P(B_j) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P(B_j/A_i) \quad (1)$$

式中  $P(B_j/A_i)$  为当月基本站在出现  $A_i$  风向的条件下,考察站出现  $B_j$  风向的条件概率。风向种类  $n$  包括静稳在内,如以 8 个方位记录风向时,  $n = 9$ , 同样,当用 16 个方位记录风向时,  $n = 17$ 。

由式(1)可见,只要知道基本站各月各个风向出现概率和基本站各月各个风向条件下考察站各种风向的条件概率,则考察站各风向概率不难求得。而基本站风向频率累年值,由于序列比较长,可以作为风向概率的估计值,即有

$$\hat{P}(A_i) = r(A_i) \cdot P(B_j/A_i) \quad (2)$$

式中“ $\hat{\phantom{x}}$ ”号表示  $P(A_i)$  的是估计值符号; $r(A_i)$  为基本站  $A_i$  风向频率的累年值。另一方面,相邻两站风向之间的相互联系的年际变化要比风向本身的年际变化小得多。因此,只要有较小容量的样本就能够准确地作出前者的数字期望估计。于是可用考察期间基本站各种风向条件下的考察站风向条件频率,作为考察期间基本站各个风向条件下考察站风向条件概率的估计值,即

$$\hat{P}(B_j/A_i) = r_0(B_j/A_i) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中  $r_0(B_j/A_i)$  表示考察期间基本站  $A_i$  风向条件下的考察站出现  $B_j$  风向条件的频率。

由式(1)–(3)得到考察站各风向概率的估计式:

$$\begin{aligned} \hat{P}(B_j) &= \sum_{i=1}^n \hat{P}(A_i) \cdot \hat{P}(B_j/A_i) \\ &= \sum_{i=1}^n r(A_i) \cdot r_0(B_j/A_i) \end{aligned} \quad (4)$$

其中  $\hat{P}(B_j)$  是考察站风向频率的累年订正值。按式(4)就能得到各月考察站风向频率的累年订正值<sup>[1]</sup>。

## 3 平均风速及标准差的超短序列订正方法

### 3.1 两个相邻站平均风速之间的相互联系

地形起伏情况下,地形对各风向平均风速的影响是不同的。在某一风向下,地形可促使风速增大;反之,在另外风向下,又可使风速减弱。而风速本身的大小在一定程度上反映出地形作用的性质。尽管地形对风速的影响是复杂的,但是地形作为固定的因素,它对风的作用相对具有保守性,这表现在相邻两站风速  $x$ 、 $y$  之间大体上具有如下的关系:

$$y/x = a - bx \quad (5)$$

式中  $a, b$  为经验系数。式(5)表示两站风速比。

考虑到平均风速的变幅一般比较小,而  $b$  值比较大,所以,可近似地把基本站各风向下考察站与基本站的平均风速比  $K_i$  当作常数看待,即

$$K_i = \bar{y}_i / \bar{x}_i \approx \text{const} \quad (6)$$

式中下标  $i$  表示基本站的某一风向,上式表达成条件数学期望的比,应有

$$K_i = M[y/A_i] / M[x/A_i] \quad (7)$$

式中  $M(Y/A_i)$  和  $M(X/A_i)$  分别表示基本站  $A_i$  风向下考察站与基本站的条件平均风速。

这里考虑不同风向的风速比  $K_i$  是很必要的。因为它反映了测站地形条件和周围遮蔽条件的影响是随风向而异的(表 1)。由表 1 可见,局部影响确实是比较明显的,各对测站风速比的变幅可达 0.3—0.5。

表 1 各对站点各风向下风速比  $K_i$  值大小 (1988 年 1,7 月)

| 考察站—基本站 | N—NNE | NE—ENE | E—ESE | SE—SSE | S—SSW | SW—WSW | W—WNW | NW—NNW |
|---------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 东山—金钱顶  | 0.77  | 1.14   | 1.01  | 0.65   | 0.65  | 0.78   | 0.87  | 0.62   |
| 崂泗—崂山   | 0.87  | 1.14   | 1.10  | 0.89   | 0.77  | 0.84   | 0.95  | 1.00   |

### 3.2 利用全概率公式对考察站风速订正的方法

任一考察站的平均风速应用数学期望和全概率公式可以写成

$$\begin{aligned} \bar{y} &= M[y] = \int_0^{\infty} y \sum_{i=1}^n P(y/A_i) P(A_i) dy \\ &= \sum_{i=1}^n P(A_i) \int_0^{\infty} y P(y/A_i) dy = \sum_{i=1}^n P(A_i) M[y/A_i] \\ &= \sum_{i=1}^n P(A_i) M[y/A_i] + P(A_n) M[y/A_n] \end{aligned} \quad (8)$$

式中  $P(A_n)$ 、 $M[y/A_n]$  分别为基本站静稳概率和基本站静稳条件下的考察站平均风速。

根据式(7)的关系以及式(8)中基本站各风向概率可用它的风向频率累年值  $f_i$  代替,于是有

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{n-1} K_i \bar{x}_i f_i + M[y/A_n] f_n \quad (9)$$

在短期考察中可以得到基本站各风向下风速比  $K_i$  和基本站静风下的考察站平均风速  $\bar{Y}_n = M[y/A_n]$ , 并考虑它们的相对稳定性,近似地有

$$K_i \approx K_i, \quad \bar{Y}_n \approx \bar{Y}_n$$

以此代入式(9)式得到

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^{n-1} K_i \bar{X}_i f_i + \bar{Y}_n f_n \quad (10)$$

上式就是订正考察站风速的基本公式<sup>[1]</sup>。它表明,考察站的平均风速就等于基本站各风向(包括静稳)条件下考察站风速的加权平均(参见式(8))。以上是指考察月的订正。至于在非考察月,可以假定  $K_i$  和  $\bar{Y}_n$  没有年变化,于是应用基本站相应月份各风向(包括静稳)频率累年值,仍按式(10)进行平均风速的推算。

### 3.3 标准差的超短序列订正方法

估算风能参数除了用到平均风速外,还要用标准差  $S$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (11)$$

式中  $X_i$  为每次测风的风速,  $\bar{X}$  为测风时段内各次风速的平均值,  $n$  为观测次数。

表2 嵯泗等4站1988年风速标准差

| 月份  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 年   |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 金线顶 | 3.1 | 3.0 | 3.1 | 3.7 | 3.0 | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 2.4 | 2.9 | 3.4 | 3.0 | 3.0 |
| 东山  | 2.4 | 2.1 | 2.3 | 3.0 | 2.3 | 1.9 | 2.3 | 2.4 | 1.7 | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 2.2 |
| 嵯山  | 3.3 | 3.5 | 3.8 | 3.8 | 4.0 | 3.0 | 3.5 | 2.2 | 3.1 | 3.8 | 3.4 | 3.7 | 3.4 |
| 嵯泗  | 2.9 | 2.7 | 3.5 | 3.2 | 3.4 | 2.5 | 3.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.0 | 3.1 | 3.0 |

从表2看到标准差的年变化比风速的年变化要小得多,因此在选址允许的精度下可以假定相邻两站标准差之差无年变化,以考察期间考察站标准差  $S_1$  与基本站的标准差  $S_2$  之差  $S_c = S_1 - S_2$  代替未考察月份的标准差之差。即

$$\hat{S}_c = S_c \quad (12)$$

则

$$\hat{S}_1 = S_2 + \hat{S}_c = S_2 + S_c \quad (13)$$

式中  $\hat{S}_1$  为未考察月份标准差的估计值,  $S_2$  为未考察月份基本站的标准差。式(13)即为标准差的差值订正法。

## 4 用 Weibull 模式计算风能方法

目前,普遍认为用 Weibull 模式<sup>[3]</sup>来拟合风速的频率分布、计算风能的效果很好。Weibull 模式的概率密度形式为:

$$f(v) = \frac{K}{C} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp[-(v/c)^k] \quad (14)$$

$C, K$  为 Weibull 分布的两个参数,其中  $C$  称为尺度参数,  $K$  称为形状参数。

Weibull 模式的分布函数为:

$$F(v) = \int_0^v f(v) dv = 1 - \exp[-(v/c)^k] \quad (15)$$

利用观测所得到的风速资料,可以对  $C, K$  两个参数进行估计。在  $C, K$  已知的情况下,可以用下式计算风能密度。

$$\bar{D} = 1/2 \rho C^3 \Gamma(1 + 3/k) \quad (16)$$

在估计  $C, K$  时,我们用平均风速及标准差<sup>[2]</sup>。经比较这种方法估计误差较小。

利用 Weibull 模式计算有效风能密度可用下列公式:

$$D = \frac{1}{2} \rho \frac{\int_{V_0}^V \frac{K}{C} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp[-(V/c)^k] V^3 dV}{\exp[-(V_0/c)^k] - \exp[-(V/c)^k]} \quad (17)$$

式中  $V_0$  为风力机起动风速,按风力机大小一般为  $3-6 \text{ms}^{-1}$ ,本文中  $V_0 = 3, 4, 5 (\text{ms}^{-1})$ 。

$V_s$  为风力机停机风速,我国一般使用  $20\text{ms}^{-1}$ 。

利用辛卜生数值算法可以求解式(17)

辛卜生公式为

$$S = \int_a^b f(x)dx \doteq \frac{b-a}{6n} \{f(a) + 4 \sum_{k=1}^N f(x_{2k-1}) + 2 \sum_{k=1}^{N-1} f(x_{2k}) + f(b)\} \quad (18)$$

将区间  $[a, b]$   $2n$  等分,用辛卜生公式计算积分值。若不满足精度要求,则将区间再细分,继续求积分值,直到满足精度要求为止。

式(17)的分母即为有效时数出现的频率,而相应的有效时数则为:

$$T = T_0 \{ \exp[-(V_0/C)^k] - \exp[-(20/C)^k] \} \quad (19)$$

式中  $T_0$  为统计时段的总小时数。

有效风能

$$W = D \cdot T \quad (20)$$

表(3)给出了计算结果与直接算法的对比。由表(3)可见,用 Weibull 模式拟合风速频率分布时,风速大的地区比风速小的地区效果要好。

表 3 用 WEIBULL 分布模式估计风能的误差

| 站 名 | 有效风能密度 $D(\text{w}/\text{m}^2)$ |     |       | 有效小时数 $T(\text{h})$ |      |       | 有效风能 $W(\text{KW} \cdot \text{h})$ |      |       |
|-----|---------------------------------|-----|-------|---------------------|------|-------|------------------------------------|------|-------|
|     | 计算值                             | 实测值 | 误差(%) | 计算值                 | 实测值  | 误差(%) | 计算值                                | 实测值  | 误差(%) |
| 金线顶 | 251                             | 232 | 8     | 5874                | 6366 | -8    | 1475                               | 1477 | -0    |
| 东 山 | 126                             | 108 | 16    | 4894                | 5857 | -16   | 614                                | 634  | -3    |
| 嵯 泗 | 307                             | 294 | 4     | 7287                | 7745 | -6    | 2240                               | 2280 | -2    |
| 嵯 山 | 419                             | 409 | 2     | 7456                | 7895 | -6    | 3125                               | 3233 | -3    |

表 4 威海东山风向频率订正吻合系数(基本站:威海金线顶)

| 月 份      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 平均   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1        | 1.00 | 0.98 | 0.79 | 0.87 | 0.61 | 0.50 | 0.31 | 0.77 | 0.58 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.79 |
| 2        | 0.99 | 1.00 | 0.89 | 0.96 | 0.94 | 0.86 | 0.89 | 0.87 | 0.82 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.90 |
| 3        | 0.96 | 0.88 | 1.00 | 0.98 | 0.89 | 0.98 | 0.90 | 0.98 | 0.62 | 0.95 | 0.86 | 0.90 | 0.90 |
| 4        | 0.97 | 0.86 | 0.99 | 1.00 | 0.96 | 0.93 | 0.83 | 0.88 | 0.56 | 0.95 | 0.85 | 0.90 | 0.89 |
| 5        | 0.95 | 0.86 | 0.97 | 0.98 | 1.00 | 0.88 | 0.81 | 0.84 | 0.62 | 0.94 | 0.84 | 0.88 | 0.88 |
| 6        | 0.89 | 0.54 | 0.90 | 0.95 | 0.89 | 1.00 | 0.91 | 0.93 | 0.32 | 0.80 | 0.64 | 0.76 | 0.79 |
| 7        | 0.85 | 0.55 | 0.85 | 0.85 | 0.71 | 0.89 | 1.00 | 0.95 | 0.46 | 0.70 | 0.65 | 0.75 | 0.77 |
| 8        | 0.92 | 0.82 | 0.88 | 0.73 | 0.25 | 0.79 | 0.90 | 1.00 | 0.63 | 0.87 | 0.84 | 0.89 | 0.79 |
| 9        | 0.82 | 0.90 | 0.64 | 0.75 | 0.83 | 0.89 | 0.91 | 0.82 | 1.00 | 0.84 | 0.94 | 0.92 | 0.86 |
| 10       | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.96 | 0.90 | 0.83 | 0.64 | 0.85 | 0.67 | 1.00 | 0.98 | 0.97 | 0.89 |
| 11       | 0.97 | 0.98 | 0.84 | 0.91 | 0.77 | 0.66 | 0.47 | 0.77 | 0.73 | 0.97 | 1.00 | 0.99 | 0.84 |
| 12       | 0.99 | 0.98 | 0.88 | 0.90 | 0.64 | 0.57 | 0.31 | 0.80 | 0.63 | 0.97 | 0.93 | 0.95 | 0.90 |
| 1,7      | 0.98 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.86 | 0.91 | 0.98 | 0.95 | 0.73 | 0.97 | 0.93 | 0.95 | 0.90 |
| 1,4,7,10 | 0.99 | 0.95 | 0.97 | 0.99 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.93 | 0.71 | 0.98 | 0.94 | 0.95 | 0.94 |
| 3,4,5    | 0.97 | 0.87 | 0.99 | 1.00 | 0.98 | 0.94 | 0.87 | 0.89 | 0.60 | 0.95 | 0.86 | 0.90 | 0.90 |
| 6,7,8    | 0.92 | 0.69 | 0.93 | 0.94 | 0.81 | 0.96 | 0.98 | 0.98 | 0.52 | 0.86 | 0.76 | 0.84 | 0.85 |
| 9,10,11  | 0.97 | 0.98 | 0.87 | 0.94 | 0.92 | 0.96 | 0.88 | 0.90 | 0.86 | 0.98 | 1.00 | 0.99 | 0.94 |
| 12,1,2   | 1.00 | 0.99 | 0.89 | 0.93 | 0.77 | 0.79 | 0.71 | 0.85 | 0.71 | 0.98 | 0.99 | 1.00 | 0.89 |

## 5 考察月份的选择

由于条件的限制,事实上不可能每个月都进行野外考察以取得条件频率  $r_o(B_j/A_i)$ , 于是就产生考察月份的选择问题。表 4—5 列出的是分别以金线顶、嵯山为基本站,东山和嵯泗为考察站,以各个月份或时段为考察期比较推算与实测的差别,参照文献[1]的方法,用如下吻合系数

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n [\hat{P}(B_j) - 1/n] \cdot [r(B_j) - 1/n]}{\sqrt{\sum_{j=1}^n [P(B_j) - 1/n]^2 \cdot \sum_{j=1}^n [r(B_j) - 1/n]^2}} \quad (21)$$

来鉴别各种选择方式的优劣。式中  $1/n$  为各种风向的平均频率。

从表 4、表 5 可见两站吻合系数规律一致。用 1,4,7,10 四个月为考察期求得的风向条件频率近似地用于全年,平均订正效果最好,秋、春次之,7,8 月最差。用冬季月份作考察月时,冬季月份的吻合程度明显比夏季好,反之亦然。这是因为我国盛行季风,冬夏季盛行风向基本相反,夏季很少出现冬季的盛行风向,冬季很少出现夏季的盛行风向,而春、秋季节是季风的转换季节,各种风向都可能出现,抽样误差较小,订正结果与实际吻合较好。

表 5 嵯泗风向频率订正吻合系数(基本站:嵯山)

| 月 份      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 平均   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1        | 0.99 | 0.98 | 0.94 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.88 | 0.90 | 0.92 | 0.97 | 0.98 | 0.95 |
| 2        | 0.99 | 0.99 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.99 | 0.93 | 0.91 | 0.93 | 0.90 | 0.90 | 0.96 |
| 3        | 0.96 | 0.99 | 0.96 | 0.99 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.95 | 0.94 | 0.96 | 0.98 | 0.90 | 0.96 |
| 4        | 0.93 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.93 | 0.93 | 0.95 | 0.95 | 0.92 | 0.96 |
| 5        | 0.94 | 0.96 | 0.95 | 0.96 | 0.99 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.89 | 0.91 | 0.95 | 0.96 | 0.95 |
| 6        | 0.98 | 0.98 | 0.94 | 0.96 | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 0.94 | 0.88 | 0.91 | 0.95 | 0.96 | 0.95 |
| 7        | 0.97 | 0.92 | 0.84 | 0.91 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 0.90 | 0.74 | 0.77 | 0.88 | 0.96 | 0.90 |
| 8        | 0.85 | 0.88 | 0.88 | 0.86 | 0.90 | 0.89 | 0.91 | 0.84 | 0.85 | 0.88 | 0.87 | 0.82 | 0.87 |
| 9        | 0.90 | 0.95 | 0.98 | 0.93 | 0.95 | 0.94 | 0.94 | 0.88 | 0.98 | 0.99 | 0.98 | 0.91 | 0.94 |
| 10       | 0.65 | 0.80 | 0.94 | 0.89 | 0.90 | 0.82 | 0.88 | 0.90 | 0.97 | 0.96 | 0.80 | 0.65 | 0.84 |
| 11       | 0.97 | 0.94 | 0.87 | 0.92 | 0.94 | 0.97 | 0.96 | 0.89 | 0.80 | 0.80 | 0.90 | 0.97 | 0.91 |
| 12       | 0.99 | 0.90 | 0.94 | 0.91 | 0.85 | 0.91 | 0.84 | 0.78 | 0.88 | 0.92 | 0.97 | 0.99 | 0.91 |
| 1,7      | 0.99 | 0.98 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.90 | 0.91 | 0.88 | 0.90 | 0.96 | 0.98 | 0.95 |
| 1,4,7,10 | 0.97 | 0.99 | 0.98 | 0.90 | 0.90 | 0.99 | 0.90 | 0.93 | 0.93 | 0.96 | 0.90 | 0.96 | 0.97 |
| 3,4,5    | 0.95 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.98 | 0.99 | 0.96 | 0.94 | 0.95 | 0.97 | 0.94 | 0.97 |
| 6,7,8    | 0.95 | 0.95 | 0.92 | 0.95 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.92 | 0.86 | 0.69 | 0.92 | 0.92 | 0.90 |
| 9,10,11  | 0.98 | 0.99 | 0.98 | 0.96 | 0.97 | 0.99 | 0.98 | 0.92 | 0.95 | 0.96 | 0.99 | 0.99 | 0.97 |
| 12,1-?   | 0.99 | 0.99 | 0.95 | 0.95 | 0.92 | 0.96 | 0.92 | 0.85 | 0.90 | 0.92 | 0.98 | 0.99 | 0.94 |

表 6 是用全概率公式订正平均风速的方法计算的例子。其中  $V_o$  为实测月平均风速,  $V_i$  为以  $i$  月作考察月份,用公式 (10) 订正得出的估计风速。设统计量  $u, m, n, d, f$  分别为:

$$u = |(V_i - V_o)/V_o|$$

$m$  为  $u \geq 0.2$  的月数(包括年平均,以下同),

$n$  为  $0.1 \leq u < 0.2$  的月数,

$d$  为  $0.0 \leq u < 0.1$  的月数,

$$f = |\hat{V}_{iy} - V_{oy}|$$

式中  $V_{oy}$  为考察站实际累年年平均风速,  $V_{iy}$  为考察站以  $i$  月为考察月的年平均风速的订正值。显然  $m, n, d$  反映订正值与实测值的相对误差,  $f$  反映两者的绝对误差。从表 6 所示的这些统计量上可以看出: 相对误差大多为 0.0—0.1, 部分为 0.1—0.2, 最大 0.2; 年平均风速误差一般为  $0.1—0.5\text{ms}^{-1}$ , 少数情况下可达  $0.6—0.8\text{ms}^{-1}$ , 月平均误差一般为 0.1—0.5, 最大不超过  $1.5\text{ms}^{-1}$ 。从本例看, 考察期取秋季 9, 10, 11 月及 1 月份较好。另外, 威海-东山的例子表明, 订正结果是秋季、冬季好(除了 1, 4, 7, 10 的组合外)。风电场选址是既要考察风速大小, 又要考虑各风向频率, 因此两者兼顾时, 以秋季 3 个月连续考察为宜。当然有条件时可在 1, 4, 7, 10 各月进行。

表 6 崂山月平均风速估计值((基本站: 崂山 1977—1986))

| 月 份       | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 年   | m | n | d  | f   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|----|-----|
| V0        | 7.3 | 7.4 | 7.2 | 7.4 | 6.5 | 6.2 | 6.9 | 7.3 | 6.7 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.0 | 0 | 0 | 13 | 0.0 |
| V1        | 7.4 | 7.2 | 7.1 | 7.2 | 6.7 | 6.5 | 6.7 | 6.7 | 6.6 | 6.5 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 0 | 1 | 12 | 0.1 |
| V2        | 7.3 | 7.0 | 6.7 | 6.7 | 6.1 | 6.0 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.2 | 6.8 | 6.9 | 6.5 | 0 | 3 | 10 | 0.5 |
| V3        | 7.1 | 6.9 | 6.6 | 6.8 | 6.1 | 6.2 | 6.4 | 6.3 | 6.3 | 6.1 | 6.6 | 6.6 | 6.5 | 0 | 2 | 11 | 0.5 |
| V4        | 7.6 | 7.2 | 6.9 | 6.8 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.3 | 7.1 | 7.2 | 6.7 | 0 | 3 | 10 | 0.3 |
| V5        | 6.9 | 6.6 | 6.2 | 6.3 | 5.7 | 5.8 | 6.2 | 5.8 | 5.7 | 5.7 | 6.4 | 6.6 | 6.2 | 1 | 9 | 3  | 0.8 |
| V6        | 7.2 | 6.9 | 6.6 | 6.6 | 6.0 | 6.0 | 6.3 | 6.2 | 6.1 | 6.1 | 6.7 | 6.8 | 6.5 | 0 | 3 | 10 | 0.5 |
| V7        | 7.3 | 7.0 | 6.6 | 6.5 | 5.9 | 5.9 | 6.3 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.8 | 6.9 | 6.5 | 0 | 3 | 10 | 0.5 |
| V8        | 7.8 | 7.6 | 7.4 | 7.7 | 7.0 | 7.0 | 7.1 | 7.1 | 6.9 | 6.8 | 7.3 | 7.4 | 7.3 | 0 | 1 | 12 | 0.3 |
| V9        | 7.8 | 7.6 | 7.4 | 7.7 | 7.1 | 7.0 | 7.2 | 7.1 | 6.9 | 6.8 | 7.3 | 7.3 | 7.3 | 0 | 1 | 12 | 0.3 |
| V10       | 8.1 | 7.8 | 7.5 | 7.7 | 7.1 | 7.3 | 8.2 | 7.2 | 7.0 | 6.8 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | 0 | 3 | 10 | 0.5 |
| V11       | 6.8 | 6.6 | 6.5 | 6.6 | 6.2 | 6.2 | 6.7 | 6.3 | 6.3 | 6.0 | 6.3 | 6.3 | 6.4 | 0 | 7 | 6  | 0.6 |
| V12       | 7.1 | 6.8 | 6.6 | 6.5 | 5.9 | 6.0 | 6.3 | 6.1 | 6.4 | 6.2 | 6.6 | 6.6 | 6.4 | 0 | 3 | 10 | 0.6 |
| V1,7      | 7.3 | 7.0 | 6.8 | 6.7 | 6.1 | 6.1 | 6.4 | 6.3 | 6.4 | 6.3 | 6.8 | 6.8 | 6.6 | 0 | 2 | 11 | 0.4 |
| V1,4,7,10 | 7.5 | 7.2 | 6.9 | 6.9 | 6.3 | 6.2 | 6.5 | 6.4 | 6.6 | 6.4 | 7.0 | 7.0 | 6.7 | 0 | 2 | 11 | 0.3 |
| V3,4,5    | 7.2 | 6.9 | 6.5 | 6.5 | 5.9 | 5.9 | 6.2 | 6.1 | 6.1 | 6.0 | 6.7 | 6.8 | 6.4 | 0 | 4 | 9  | 0.6 |
| V6,7,8    | 7.4 | 7.1 | 6.8 | 6.9 | 6.3 | 6.2 | 6.5 | 6.4 | 6.4 | 6.3 | 6.9 | 7.0 | 6.7 | 0 | 2 | 11 | 0.3 |
| V9,10,11  | 7.3 | 7.1 | 7.1 | 7.2 | 6.7 | 6.7 | 7.1 | 6.8 | 6.7 | 6.5 | 6.8 | 6.8 | 6.9 | 0 | 1 | 12 | 0.1 |
| V12,1,2   | 7.2 | 7.0 | 6.7 | 6.7 | 6.1 | 6.1 | 6.4 | 6.3 | 6.4 | 6.2 | 6.7 | 6.7 | 6.5 | 0 | 3 | 10 | 0.5 |

## 6 订正的适当性标准

由于对超短序列的资料进行订正延长时采用了一些假定, 模式考虑了订正的适当性问题。

### 6.1 风向订正的适当性

由式(4)订正风向频率产生的订正误差为

$$\delta = \sum_{i=1}^n r(A_i) [r_0(B_j/A_i) - r(B_j/A_i)] \quad (22)$$

如果对短期资料不加订正,直接用它代替该地的累年值,由此产生的误差

$$\delta_0 = r_0(B_j) - r(B_j) = \sum_{i=1}^n r(A_i) [r_0(B_j) - r(B_j)] \quad (23)$$

以上两式带下标 0 的都表示按考察资料求得的频率,不带下标的表示频率的累年值。

根据误差分布理论和  $A_i$  与  $B_j$  的非独立性,可以证明恒有

$$M(|\delta_0|) > M(|\delta|) \quad (24)$$

成立,即表明如当  $A_i$  与  $B_j$  不独立,则对考察月份资料的订正是恒为适当的。在实际工作中,只要对考察期间考察点与基本站风向频数列联表进行独立性检验就行了,拒绝了列联表独立性假设,也就肯定了订正的适当性<sup>[1]</sup>。

这项检验是模式实用程序中的第一部分,当检验通过,计算机打出《订正适当!》,即可转入下一步。如打出《订正不适当!》,则需重选基本站。本文两例均为订正适当。

## 6.2 风速订正的适当性标准

对于风速订正,如按一般序列订正方法,通常是使用比值法订正公式:

$$\bar{Y} = K' \cdot \bar{x} \quad (25)$$

式中:  $K' = \bar{y}_n / \bar{x}_n$

而按超短序列订正公式为式(10),式中  $K'_i$  为:  $K'_i = M[y/A_i]/M[x/A_i]$ ,若:  $K'_1 = K'_2 = \dots = K'$ ,即考察站平均风速与基本站平均风速之比不随风向而改变,由于公式(10)右边第二项近似为 0,所以式(10)可以简化为:

$$\bar{Y} \approx K' \sum_{i=1}^{n-1} \bar{x}_i = K' \cdot \bar{X} \quad (26)$$

式(26)与(25)相同,可见在  $K' = K'_i$  条件下,超短序列订正公式即为一般比值订正公式,其优越性不显著,但只要  $K' \neq K'_i$ ,超短序列订正公式(10)就会比一般订正公式(25)要优越,所以简而言之,只要  $K' \neq K'_i$  成立,订正公式(10)就是适当的,即可转入风速订正。否则,需重新选基本站。由于模式考虑了季风气候风向变换的特点,只要选择适宜考察期,订正效果是理想的,本文两例检验通过。

## 7 模式使用效果

利用这套选址模式,为长岛两台 55/11kW 风力发电机选址,并已并网发电 2 年,达到满出力。山东电力设计院在烟台电厂、威海华能电厂的设计中使用了这套模式,应用后来函反映使用效果很好,设计风速准确。

## 参考文献

- [1] 翁笃鸣等. 小气候与农田小气候. 农业出版社. 1981. 324—329.
- [2] 么枕生等. 气候统计. 北京: 气象出版社. 1990. 283—285.
- [3] 谭冠日等. 应用气候. 上海: 科学技术出版社. 1985. 318—324.

# THE MODELING STUDY OF CHOICING WIND FARM

Qian Xizhen Cui Xiulan

(*Shandong Climatic Center, Jinan, 250031*)

## Abstract

On the premise that the wind farm is roughly located and there are several months' wind data available, a model with relatively high speed and accuracy is provided to calculate the parameters of wind energy in the selected site. Through calculation and comparison, the Total Probability Scheme is chosen to emend the original wind speed and direction, then Differential Method is used to revise the standard error, and finally the parametors of wind energy are calculated by means of Weibull Scheme.

**Key words:** Wind farm, Modelling.