

# 极端风速分布模式在我国 各气候区域的适用性

孙安健 刘小宁

(国家气象中心,北京 100081)

## 提 要

选用我国各气候区11个较长资料年代的台站,分析韦伯尔分布、皮尔逊Ⅲ型分布和极值Ⅰ型分布对最大风速和极大风速的适用性,揭示出极值Ⅰ型是最佳模式,韦伯尔分布最差。而且这个结论几乎适合于全国。

关键词: 风速 分布模式 适用性

## 引 言

风是最重要的气候要素之一。它不但可以反映大气环流的流场特征,而且是国民经济建设中广为应用的气候资源。近年来,随着城市高层建筑群的崛起,风力发电的迅速发展,气候学界更加重视风速,尤其是极端风速的统计计算方法。如今,广泛使用的极端风速分布模式有第Ⅰ型极值分布、韦伯尔分布和皮尔逊Ⅲ型分布等。本文的目的是在我国不同气候区域选择有较长极端风速序列的11个台站,探讨这些分布模式的适用性问题,并推算出30年、50年、100年一遇的极端风速值。

## 1 资料和方法

本文讨论的极端风速为最大风速和极大风速,所选各站的资料情况见表1。

### 1.1 极值Ⅰ型(龚贝尔)分布

原始分布属指数型的,其极大值  $x$  的分布属极值Ⅰ型分布。分布函数是

$$F(x) = \exp[-e^{-\alpha(x-\beta)}] \quad (-\infty < x < \infty) \quad (1)$$

式中  $\alpha, \beta$  为待定参数,通过它们与矩的关系可以求出:

$$\alpha = \frac{1.2826}{\sigma} \quad (2)$$

表1 各站极端风速资料年代情况

| 站名  | 最大风速          | 极大风速          |
|-----|---------------|---------------|
| 上海  | 1956—1990(35) | 1957—1990(34) |
| 福州  | 1952—1990(38) | 1962—1990(29) |
| 青岛  | 1951—1990(40) | 1951—1990(40) |
| 西安  | 1961—1990(30) | 1961—1979(18) |
| 兰州  | 1971—1990(20) | 1957—1986(30) |
| 武汉  | 1907—1990(69) | 1956—1984(29) |
| 成都  | 1954—1990(33) | 1953—1990(37) |
| 重庆  | 1954—1990(37) | 1951—1980(27) |
| 哈尔滨 | 1951—1990(37) | 1959—1974(14) |
| 广州  | 1962—1990(29) | 1962—1990(29) |
| 北京  | 1918—1990(60) | 1947—1974(26) |

\* 括号内数字为资料整年数。

$$\beta = Mx - 0.5772 \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma \quad (3)$$

$\sigma$  为均方差,标准差是其估计值;  $Mx$  为数学期望,平均值是其估计值。

设计频率  $p = P(x \geq x_p)$  所对应的  $x_p$  为

$$x_p = \bar{x} \{1 - \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1-p))] + 0.5772\} Cv \quad (4)$$

$Cv = \frac{S}{x}$  为离差系数,  $S$  是标准差。

### 1.2 韦伯尔分布

本文采用二参数韦伯尔分布,分布函数是

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{C}\right)^K\right) \quad (5)$$

式中  $C, K$  为待定参数, 可由下式求取其近似估计值<sup>[1]</sup>。

$$K = \begin{cases} 0.1432(S/\bar{x})^{-2} + 0.7107(S/\bar{x})^{-1} + 0.1461 & 0.76 \leq \frac{S}{\bar{x}} \leq 1.37 \\ 0.0713(S/\bar{x})^{-2} + 0.8969(S/\bar{x})^{-1} + 0.0244 & 0.53 \leq \frac{S}{\bar{x}} < 0.76 \\ 0.9711(S/\bar{x})^{-1.114} & 0.33 \leq \frac{S}{\bar{x}} < 0.53 \\ (S/\bar{x})^{-1.086} & \frac{S}{\bar{x}} < 0.33 \text{ 或 } \frac{S}{\bar{x}} > 1.37 \end{cases} \quad (6)$$

$$C = \begin{cases} 1.07\bar{x} & K > 2.8 \\ \frac{1.0321K^2\bar{x}}{(K - 0.1863)^2 + 0.3704} & 0.9 \leq K \leq 2.8 \end{cases} \quad (7)$$

设计频率  $p$  所对应的  $x_p$  为

$$x_p = \exp\left\{\frac{1}{K}[\ln(-\ln(1-p))] + K\ln C\right\} \quad (8)$$

### 1.3 皮尔逊 III 型分布

皮尔逊 III 型分布的概率密度函数为

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)}(x - a_0)^{\alpha-1}e^{-\beta(x-a_0)} \quad (9)$$

$(a_0 \leq x < \infty)$

3 参数  $\alpha, \beta$  与  $a_0$  分别由下式估算

$$\alpha = 4/C_s^2 \quad \beta = \frac{2}{x C_v C_s}$$

$$a_0 = \bar{x}\left(1 - \frac{2C_v}{C_s}\right) \quad (10)$$

式中  $C_s$  是偏态系数,  $C_s = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{x}} - 1\right)^3 / (n-3)C_v^3$ ,  $a_0$  是总体的最小值, 对风速而言  $a_0 = 0$ , 这就要求  $C_s \geq 2C_v$ 。

设计频率  $p$  对应的极值  $x_p$  为

$$x_p = \bar{x}(\Phi_p C_v + 1)$$

$$\Phi_p = (x_p - \bar{x}) / \bar{x} C_v \quad (11)$$

只要计算出  $\bar{x}, C_v, C_s$ , 就可利用已制备的查算表求出  $p$  对应的  $x_p$ 。不过, 为了计算多年一遇设计风速, 需绘制出频率曲线。但在进行参数估计时, 虽然计算所得的均值和离差系数的误差不大, 但偏态系数较不可靠。因此, 在频率分析中采用适线法<sup>[2]</sup>。

根据上述 3 种分布分别计算出各站重现期为 20、30、40、50、60、70 年一遇的最大风速

和极大风速值, 并与相应的实测资料进行比较, 求取均方误差值  $\sigma_r$ 。

## 2 极端风速的地区分布特征

### 2.1 最大风速

据所选 11 个台站最大风速的多年平均值、标准差和离差系数(表 2), 处于气旋活动主路径及强冷空气活动首当其冲的东北和华北平原地区, 最大风速平均值居首, 大于  $18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 临海的青岛高达  $23.6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这两个地区最大风速的另一特点是年际变化比较小, 即最大风速相对稳定。在上海以南的沿海地区, 最大风速的出现多与台风的活动和影响有关, 因此最大风速的极值较大, 福州为  $33.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 是所选台站中最高的。但是, 由于台风活动的登陆地点及影响范围年际之间的变动很大, 所以最大风速的平均值不是很大, 如上海和广州只有  $13-14\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 而且年际变化程度几乎居全国之首。内地的最大风速主要是寒潮大风天气过程所致, 有的则是局地强对流天气活动的结果。总的趋势是, 风速值, 无论是平均还是极值, 均比沿海和东部北方平原地区小, 年际变化较沿海地区小些, 但不及东部北方地区稳定。

表2 各站最大风速的平均值( $\bar{x}$ )、极值( $x_M$ )、标准差( $S$ )和离差系数( $C_v$ )

| 站名 | $\bar{x}$ | $x_M$ | $S$  | $C_v$ | 站名  | $\bar{x}$ | $x_M$ | $S$  | $C_v$ |
|----|-----------|-------|------|-------|-----|-----------|-------|------|-------|
| 上海 | 13.8      | 30.0  | 3.56 | 0.26  | 成都  | 10.3      | 16.0  | 1.94 | 0.19  |
| 福州 | 20.2      | 33.4  | 5.19 | 0.26  | 重庆  | 14.6      | 26.7  | 3.46 | 0.24  |
| 青岛 | 23.6      | 32.0  | 3.22 | 0.14  | 哈尔滨 | 19.2      | 26.0  | 3.40 | 0.18  |
| 西安 | 13.8      | 19.1  | 2.33 | 0.17  | 广州  | 13.4      | 22.0  | 3.22 | 0.25  |
| 兰州 | 12.8      | 21.4  | 3.47 | 0.27  | 北京  | 17.8      | 26.7  | 3.09 | 0.18  |
| 武汉 | 13.1      | 19.1  | 2.57 | 0.20  |     |           |       |      |       |

## 2.2 极大风速

虽然极大风速值在一定程度上受到局地环境的影响,但起支配性的因素还是天气系统。因此,极大风速平均值的地域分布特征与最大风速的情况基本相似,只是数值高出 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。明显不同之处是,华北平原的多年平均极大风速值已不象最大风速那样高出长江和黄河流域许多,而是接近或稍大一些。可是,其年际变化的程度则变得大了一些。有记录以来的极大风速极端值,沿海和河北、东北平原地区都在 $34\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,福州与青岛达 $44-47\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,内地则在 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以内(表3)。

表3 各站极大风速的平均值( $\bar{x}$ )、极值( $x_M$ )、标准差( $S$ )和离差系数( $C_v$ )

| 站名 | $\bar{x}$ | $x_M$ | $S$  | $C_v$ | 站名  | $\bar{x}$ | $x_M$ | $S$  | $C_v$ |
|----|-----------|-------|------|-------|-----|-----------|-------|------|-------|
| 上海 | 24.2      | 34.7  | 3.42 | 0.14  | 成都  | 20.6      | 27.4  | 3.09 | 0.15  |
| 福州 | 29.2      | 46.7  | 6.23 | 0.22  | 重庆  | 19.5      | 25.7  | 3.45 | 0.18  |
| 青岛 | 30.9      | 44.2  | 3.78 | 0.12  | 哈尔滨 | 28.8      | 34.0  | 2.9  | 0.1   |
| 西安 | 21.5      | 25.3  | 2.41 | 0.11  | 广州  | 23.6      | 35.4  | 4.84 | 0.21  |
| 兰州 | 22.5      | 29.5  | 2.95 | 0.13  | 北京  | 24.0      | 35.0  | 3.77 | 0.16  |
| 武汉 | 23.2      | 27.9  | 2.54 | 0.12  |     |           |       |      |       |

## 3 极端风速分布模式适用性分析

如上所述,由于我国幅员辽阔,各气候区域出现最大与极大风速的天气系统又有着明显的不同,突出表现在风速值和年际变化的差异上。因此,这三种极端风速分布模式在各气候区域中何种最优,是一个很有实用价值的问题。如表1所示,多数台站极端风速只有30—40年的资料,故只能利用这些实测资料对三种极端风速分布模式的计算结果进行对

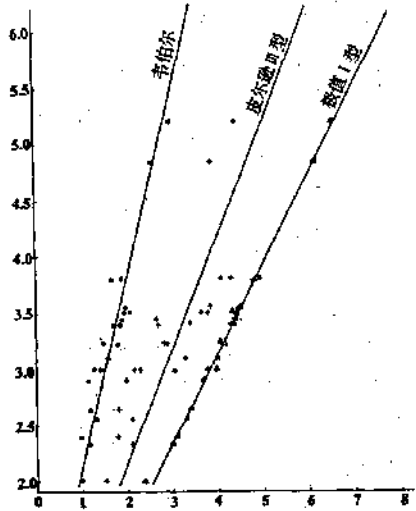
比性分析,即均方误差 $\sigma_e$ 的比较(表4)。从表4可见:(1)三种分布模式对极大风速的拟合效果普遍优于最大风速的情况。但是,对于极大风速年际变率很大的广州、福州、青岛与北京地区,这三种分布模式对极大风速的拟合效果不如最大风速的情况。(2)从三种分布模式对22个样本拟合的 $\sigma_e$ 值来看,极值I型为最佳的占13/22,皮尔逊III型和韦伯尔各占5/22与4/22。因此,在推算不同重现期的最大风速或极大风速值时,拟采用极值I型分布为最佳选择。(3)就同一台站而言,最大风速和极大风速的最佳分布模式大都是相同的。(4)三种分布模式在各气候区域的适用性没有倾向性的趋势。上海是皮尔逊III型分布最佳,武汉却是韦伯尔分布,成都则是极值I型。这三个地区都是亚热带湿润气候区。

表4 各站3种极端风速分布模式推算值的均方误差/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

| 站名  | 韦伯尔   |      | 皮尔逊III型 |      | 极值I型 |      |
|-----|-------|------|---------|------|------|------|
|     | 最大    | 极大   | 最大      | 极大   | 最大   | 极大   |
| 上海  | 10.61 | 4.86 | 7.35    | 3.57 | 9.04 | 3.60 |
| 福州  | 4.71  | 7.64 | 2.98    | 5.53 | 2.33 | 4.98 |
| 青岛  | 2.28  | 5.34 | 1.47    | 4.32 | 0.85 | 4.02 |
| 西安  | 1.59  | 0.27 | 1.12    | 0.40 | 0.73 | 0.72 |
| 兰州  | 3.09  | 1.29 | 1.78    | 1.20 | 1.63 | 0.48 |
| 武汉  | 1.42  | 0.21 | 3.47    | 0.29 | 1.79 | 0.76 |
| 成都  | 2.56  | 1.64 | 2.00    | 1.15 | 1.74 | 0.73 |
| 重庆  | 4.96  | 0.70 | 3.69    | 0.50 | 3.42 | 0.99 |
| 哈尔滨 | 0.79  | 0.14 | 0.56    | 0.30 | 1.13 | 0.24 |
| 广州  | 3.54  | 4.14 | 2.46    | 3.17 | 2.14 | 2.13 |
| 北京  | 3.56  | 4.86 | 1.01    | 4.66 | 1.89 | 4.49 |

不论是何种极值分布模式,设计频率 $P$ 对应的 $x_p$ 均和 $\bar{x}$ 、 $S$ 有关。 $x_{(T=100\text{年})}$ 与 $x_{(T=20\text{年})}$ 之间的差值 $\Delta x$ 仅与 $S$ 有关。从22个样本序列三种极值分布的 $\Delta x$ 与 $S$ 点绘的散布图(附图)可见,二者可以用直线关系拟合,斜率随分布模式而异。极值I型的斜率最小,韦伯尔分布的斜率最大。横坐标 $\Delta x$ 的截矩,极值I型最长,韦伯尔分布最短。也就是说,在 $S$ 相同的情况下,各重现期期望的风速值之增幅速率随分布模式而异,极值I型最大,

韦伯尔最小。也正是这个原因,对于变化性大的最大和极大风速来说,极值 I 型分布显著优于韦伯尔分布。



附图 3 种极值分布  $\Delta\sigma$  与 S 散布图

根据表4中各站适用于最大风速和极大风速的最佳极值分布模式,推算出30、50、100年一遇的风速值,列于表5。这里所说的“T年一遇”风速值 $x_p$ ,并不意味着T年内 $x_p$ 值恰好出现一次,更不能保证按照 $x_p$ 值进行设计后完成的建筑物在T年内绝对安全。实际上,T年内保证安全的概率只有0.368,被破坏的概率却达0.632<sup>[2]</sup>。

表5 各站最大与极大风速不同重现期的风速值/ $m \cdot s^{-1}$

| 站名  | 30年  |      | 50年  |      | 100年 |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|
|     | 最大   | 极大   | 最大   | 极大   | 最大   | 极大   |
| 上海  | 22.0 | 31.9 | 23.3 | 32.7 | 25.2 | 33.9 |
| 福州  | 31.5 | 42.9 | 34.4 | 45.4 | 36.5 | 48.8 |
| 青岛  | 30.7 | 39.2 | 32.0 | 40.7 | 33.8 | 42.7 |
| 西安  | 18.9 | 25.9 | 19.8 | 26.2 | 21.1 | 26.6 |
| 兰州  | 20.4 | 29.0 | 21.9 | 30.2 | 23.7 | 31.8 |
| 武汉  | 17.4 | 28.0 | 17.8 | 28.3 | 18.3 | 28.8 |
| 成都  | 14.6 | 27.3 | 15.4 | 28.6 | 16.4 | 30.3 |
| 重庆  | 22.2 | 26.2 | 23.6 | 27.2 | 25.5 | 28.4 |
| 哈尔滨 | 25.7 | 34.2 | 26.7 | 34.6 | 27.9 | 35.1 |
| 广州  | 20.4 | 34.2 | 21.7 | 35.2 | 23.5 | 38.8 |
| 北京  | 25.6 | 32.2 | 27.0 | 33.3 | 28.4 | 35.8 |

#### 4 结语

通过样本容量多为30—40年的22个样本序列3种极值分布模式的适用性分析,对于最大风速和极大风速,最佳模式是极值 I 型,韦伯尔分布相对而言最差。而且这个结论几乎适合于全国各气候区。

#### 参考文献

- 1 胡文忠,由平均风速和其标准差估算 Weibull 参数的近似公式及其精度,《气象学报》,1988,46(4):502—505.
- 2 屠其璞等,《气象应用概率统计学》,北京:气象出版社,1984,198—206.
- 3 天津大学水文水力学教研室编,《海洋石油工程环境》,北京:石油工业出版社,1983,23—24.

## The Adaptability of Extreme Wind Speed Distribution Models in Various Climate Regions in China

Sun Anjian Liu Xiaoning

(National Meteorological Centre, Beijing 100081)

### Abstract

Eleven longer term data series are selected from various climate regions in China. The adaptability of Weibull, Pearson III and Gumbel distributions to maximum and extreme wind speed is studied. It is shown that the Gumbel distribution is the optimum model and the weibull distribution is the worst model for all climate region in China.

**Key Words:** wind speed model adaption