

袁春红 薛 桁 杨振斌

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

根据最新“建筑荷载规范”修订本讨论了应用气象台站的风观测资料来计算建筑风荷载中的几个需要注意的问题, 其中包括风速资料的坡度订正、高度订正、时次订正以及应用极值 I 型分布函数来估算 R 年重现期的最大风速等问题。

关键词: 风荷载 建筑 风压

引 言

风压是建筑结构设计中的基本的设计依据之一, 其取值大小对建筑工程, 尤其对高层建筑和高耸建(构)筑物的经济、适用与安全有密切的关系。早在 1954 年国家建委批准的“荷载规范”中对风荷载作了规定。1958、1974、1987、2000 年先后进行了四次修改^[1-4]。基本风压是在最大风速时, 垂直于风向的平面上所受到的压力, 因此最大风速的计算是关键问题。下面就最新一次“荷载规范”修订本(GBJ5009-2000)中涉及的风速原始资料的处理(包括风压板测风记录的坡度订正、风速的高度订正、时次换算)、最大风速概率计算以及风压计算中空气密度订正等问题进行讨论。

1 风速资料的处理

2000 年, 建筑荷载规范管理组提出新的“建筑荷载规范”修改意见^[4], 根据新的观测资料重新对各气象台站计算风压, 原规范风速资料序列从台站建站到 1981 年, 现资料序列统计到 1995 年。将风压基本值的重现期由原规范规定的 30 年一遇修定为 50 年一遇。因此, 基本风压计算要求使用 10 米高处 50 年一遇 10 分钟平均最大风速。在计算中, 风速资料序列主要选取气象台站建站以来自记 10 分钟平均最大风速为统计样本。原始气象资料不能直接用于计算, 在概

率计算之前要对资料的代表性、准确性、连续性进行审查、处理。然后对非 10 米高度的风速资料进行高度换算, 对有必要采用定时 2 分钟平均风速的资料进行时次订正。

1.1 风压板资料的坡度订正

我国气象台站从 1951~1970 年多数使用风压板测风仪, 在有必要采用风压板测风资料时, 需对风压板资料进行坡度订正。风压板是根据气流为水平状态条件下设计的, 在山地其观测值偏大。根据山东等地的实际观测对比及风洞实验的结果, 得到在不同风速下, 水平风速与有坡度时风速的比值, 如表 1 所示^[5]。因此, 在计算之前首先对 1951~1970 年的风压板观测资料进行坡度订正。

1.2 地面粗糙度等级的规定和风速的高度换算

GBJ9-87 将全国粗糙度等级由 TJ9-74 的陆海两类改成 A、B、C 三类, 但随着我国建设事业的蓬勃发展, 城市房屋的高度和密度日益增大, 因此对大城市中心地区, 其粗糙度程度也有不同程度的提高。考虑到大多数发达国家, 诸如美、英、日等国家的规范以及国际标准 ISO4354 和欧洲统一规范 EN1991-2-4 都将地面粗糙度等级划分四类甚至五类(日本)。为适应当前发展形势, 这次修订也将三类改为四类, 其中 A、B 两

① 中华人民共和国国家标准《建筑结构荷载规范》(2000 年修订本) 标准项目资助

类参数不变, A类系指近海海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠等, 其粗糙度指数取0.12; B类系指空旷田野、乡村、丛林、丘陵及房屋比较稀疏的中小城镇和大城市郊区, 其粗糙度指数取0.16; C类系指有密集建筑群的城市市区, 其粗糙度指数由0.12改为

0.22; D类系指有密集建筑物且有大量高层建筑的大城市市区, 其粗糙度指数取0.3。粗糙度指数主要根据近年利用高塔和气球的风速观测资料经统计分析得出的。在计算各地风速变化时, 则按当地所属粗糙度等级分别计算出各个高度的风速。

表1 在不同坡度下风压板指示值与实际风速的比值

坡度	风速/m·s ⁻¹								
	8	12	16	20	28	30	34	38	40
10°	1.00	0.97	0.90	0.84	0.75		0.73		
15°	1.00	0.97	0.88	0.83	0.67			0.64	
20°	0.87	0.93	0.85	0.82	0.66			0.63	
25°	0.91	0.88	0.83	0.72	0.61				0.56

由于不同测站风速仪的安装高度不统一, 因此要对风速资料进行高度换算, 将观测风速按指数律关系^[5]换算到10米高度处。

$$V = V_z \left(\frac{10}{z} \right)^\lambda \quad (1)$$

式中 z 为风速仪实际高度, 单位 m; V_z 为观测的风速, 单位 $m \cdot s^{-1}$; λ 为地面粗糙度指数。按气象台站设置要求, 观测场设置于空旷平坦地区, 取地面粗糙度指数为0.16。

1.3 观测资料时次订正

我国气象台站的风速观测有瞬时风速、定时4次2分钟平均风速和自记10分钟平均风速观测等。“荷载规范”规定, 风速资料应取自记风速仪的10分钟平均风速资料, 对非自记的定时观测资料需进行时次订正。4次定时2分钟平均风速与自记10分钟平均观测风速的关系如表2所示^[5]。

表2 自记与定时风速的关系

地区	$y = ax + b$	
	系数 a	系数 b
东北	0.97	3.94
华北	0.88	7.82
西北	0.85	5.21
西南	0.75	6.17
华东	0.78	8.41
华中	0.73	7.00
华南	0.91	4.96

注: y 为自记10分钟平均风速, x 为四次定时2分钟平均风速

2 最大风速概率计算

2.1 极值 I 型分布

对经过坡度订正、高度订正和时次订正后的风速序列, 统一按极值 I 型分布函数计

算出 R (重现期) 年一遇的最大风速。极值 I 型分布函数为:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad (2)$$

式中, u 为分布的位置参数, 即分布的众值; α 为分布的尺度参数; u, α 与分布函数的平均值 M_x 和方差 D_x 有关。

$$M_x = \int_{-\infty}^{\infty} x dF(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x de^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad (3)$$

令 $y = \alpha(x - u)$,

$$M_x = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{y}{\alpha} + u \right) de^{-e^{-y}} = \frac{c_1}{\alpha} + u \quad (4)$$

式中 $c_1 = \int_{-\infty}^{\infty} y de^{-e^{-y}} \approx 0.57722$ (欧拉常数)

$$\begin{aligned} D_x &= \int_{-\infty}^{\infty} (x - M_x)^2 de^{-e^{-\alpha(x-u)}} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{y - c_1}{\alpha} \right)^2 de^{-e^{-y}} \\ &= \frac{1}{\alpha^2} \int_{-\infty}^{\infty} (y - c_1)^2 de^{-e^{-y}} = \frac{c_2^2}{\alpha^2} \end{aligned} \quad (5)$$

式中 $c_2^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (y - c_1)^2 de^{-e^{-y}} = \frac{\pi^2}{6}$,

$$c_2 \approx 1.28255$$

故 $\alpha = \frac{1.28255}{\sqrt{D_x}} = \frac{1.28255}{\delta} \quad (6)$

$$u = \bar{x} - \frac{c_1}{\alpha} = \bar{x} - \frac{0.57722}{\alpha} \quad (7)$$

在实际计算中用有限样本容量的均值 \bar{x} 和标准差 s 分别作 M_x, δ 的近似估计:

由 $\hat{M}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ (n 为样本容量, 一般应有 25 年以上资料)

$$\hat{\delta} = s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

则有,

$$\hat{\alpha} = \frac{c_2}{\hat{\delta}} = \frac{c_2}{s}, \hat{u} = \hat{M}_x - \frac{c_1}{\hat{\alpha}} = \bar{x} - \frac{c_1}{\alpha} \quad (8)$$

通常在计算过程中, 当样本容量 n 较大时, 系数 c_1 和 c_2 作为常数处理, 分别为 $c_1 = 0.57722, c_2 = 1.28255$ 。为精确起见, 本次规范修订采用了与样本容量 n 相对应 c_1 和 c_2 值^[6]。

2.2 R 年重现期的最大风速

将分布函数式 (2) 微分, 得到密度函数

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-u)} - e^{-\alpha(x-u)} \quad (9)$$

其超过保证率函数

$$p(x) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad (10)$$

由式 (10) 得到

$$x = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-p} \right) \right] \quad (11)$$

重现期为 R (概率为 $1/R$) 时最大风速为

$$\begin{aligned} x_R &= u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-\frac{1}{R}} \right) \right] \\ &= u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[\ln \left(\frac{R}{R-1} \right) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

3 风压计算

由上述原则确定出全国各台站重现期 50 年的最大风速作为当地的基本风速 V_0 , 再按贝努利方程

$$W_0 = \frac{1}{2} \rho V_0^2 \quad (13)$$

确定基本风压 W_0 。以往, 风速记录大多数来自风压板的观测结果, 刻度所反映的风速实际上是统一根据标准状态下的空气密度 $\rho = 1.25 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 按式 (13) 反算而得, 因此在 GBJ9-87 规范确定风压时, 统一按式 (14) 计算。

$$W_0 = \frac{V_0^2}{1600} \quad (14)$$

但目前各气象台站已累计了较多的杯式自记风速资料, 杯式风速仪测得的风速不受空气密度大小的影响, 因此, 确定风压时, 除非有必要选取风压板记录, 均只选取自记 10 分钟平均最大风速作为统计样本, 计算风压时必须考虑台站的空气密度的影响。本次修订根据台站的地理位置及高度和观测风速时的气压、温度、湿度等求出空气密度代入式 (13) 确定风压。空气密度公式如下:

$$\rho = \frac{1.276}{1 + 0.00366t} \left(\frac{p - 0.378e}{1000} \right) \quad (15)$$

其中, e 为水汽压, 单位: hPa; t 为温度, 单位: $^{\circ}\text{C}$; p 为大气压, 单位: hPa。

例如, 青海乌兰茶卡用式 (15) 求出的空气密度为 $0.899 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。对比按此次修订规范规定的式 (13) 算出的风压值和原规范按式 (14) 算出的风压值, 发现此次计算结果较原规范值小, 这一结果在空气较稀薄地区具有普遍性。说明这些地区过去风压板观测结果受各种因素影响, 其测量值是普遍偏大的, 这也是此次规范规定风速资料主要选取自记 10 分钟平均最大风速的原因之一。

4 小结

(1) 将台站的风速资料应用于计算建筑风荷载风压中, 新规范根据最新的观测资料重新对各气象台站计算了风压值, 将基本风压值的重现期由 30 年修订为 50 年。计算风压之前首先需要对风压板资料、风速随高度变化以及资料的时次进行订正。

(2) 计算 R 重现期的最大风速统一采用极值 I 型分布, 用耿贝尔法估算两个参数, 其特征是参数只与样本容量有关, 可以查表求得, 便于应用。

(3) 风压按贝努利方程 $W_0 = \frac{1}{2} \rho V_0^2$ 计算, 考虑了空气密度的影响。

参考文献

- 1 “工业与民用建筑结构荷载规范” TJ9-74. 北京: 中国计划出版社, 1974.
- 2 中华人民共和国国家标准“建筑结构荷载规范”, GBJ9-87. 北京: 中国计划出版社, 1989.
- 3 中华人民共和国国家标准“建筑结构荷载规范”, GBJ9-87, 条文说明. 北京: 中国计划出版社, 1989.
- 4 中华人民共和国国家标准“建筑结构荷载规范”,

- GBJ5009-2000. (送审稿) 2000.
- 5 朱瑞兆主编. 应用气候手册. 北京: 气象出版社, 1991: 69.
- 6 屠其璞等. 气象应用概率统计学. 北京: 气象出版社, 1984: 212~214.

Some Problems on Estimating Wind Pressure in Architectural Wind Load

Yuan Chunhong Xue Heng Yang Zhenbin

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

Some problems must be carefully dealt with in architecture for calculating wind load such as wind data correction and estimation of the maximum wind speed during R years. The wind data correction includes the correction of data observed by swinging plate anemometer, the wind speed variation with height in the surface layer, and the conversion of 2-minute observed data into 10-minute data. The maximum wind speed is estimated by the distribution function of extremum I.

Key Words: wind load architecture wind pressure