

华东四省市条件风压分析

庞嘉棠 张惠民*

提 要

本文讨论了苏、鲁、皖、浙条件风压分布状况。计算结果表明在大的环流背景下,各地大风出现的方位,反映出地理、地形特征的影响。条件风压与不分风向的风压有着许多不同特点,这对于大坝、码头、核动力工厂等建筑设计具有实用意义。

一、引 言

风压是建筑结构设计中的重要自然荷载之一。以往在《工业及民用建筑荷载规范》^{[1][2]}中风压值的计算并未考虑在不同风向条件下所形成的大风及其概率风压值。众所周知,最大风速的出现在各个方位上并不是等概率的,所以,不考虑风向的风压值并不能满足建筑上安全、经济、实用的要求。为此,本文使用了华东四省市41个站自记风速资料,按不同风向分别计算其风压值,称条件风压。文中采用皮尔逊Ⅲ型概率密度函数进行了风速拟合,计算了各站30年一遇10分钟平均最大风速,作出了各风向标准风压值。同时对拟合效果进行了柯尔莫哥洛夫(КОЛМОГОРОВ, А.Н.)适合度测验,除个别风向测验结果稍低外,大多数结果是比较令人满意的。另外,对于不同风向的空气重度(千克/米³)也进行了计算,结果发现其差别是不大的,不同风向的空气重度可以采用同一个值进行风压系数计算,只是对高山站需另外确定空气重度值。文中也讨论了风压随高度的变化系数。

二、资料来源及处理

本文所取风速资料为四省市各站1951至80年自记10分钟最大风速,风仪高度统一订正为10米,风向取16方位,风速是按风向从逐日最大风速资料中挑选出月最大值,再由月最大值挑出年最大风速,组成年极值风速序列。实际计算中只取8方位,对其它方位风速进行合并,合并中规定:两相邻风向的风速相等时,主方位(指8方位)风速不变;任一相邻方向风速大于主方位时,将大的风速代替主方位风速;小于主方位时,主方位风

1984年11月24日收到,1985年2月7日收到修改稿

* 参加本项工作的还有:吕丹苗、许晓红、刘怀律、袁德辉、黄萝泽、梁晓春

速不变、目的在于使合并后的风速不低于合并前，以保证使用安全，同时也大大减轻计算工作量。

三、基本公式讨论

风压是指与风向垂直的构筑物单位面积平面上所受到的最大风速的压强，单位为千克/米²。风压的大小除风的因素外，还与构筑物的体形、尺度有关。构筑物实际受到的风压称风荷载，其计算公式为^[1]

$$W = K K_z W_0 \quad (1)$$

式中 W_0 为基本风压(千克/米²)， K 为风载体形系数，它与构筑物体形尺度有关， K_z 为风压值随高度的变化系数。

基本风压 W_0 的计算公式为

$$W_0 = \frac{r}{2g} V^2 = k V^2 \quad (2)$$

V 为最大风速(米/秒)， k 为风压系数， $k = \frac{r}{2g}$ ， r 为空气重度(千克/米³)， g 为重力加速度(米/秒²)， k 在标准状态下(纬度45°，一个标准大气压，干洁空气气温为15℃)为1/16。

1. 风压系数 k 的讨论

风压系数 k 与重力加速度和空气重度有关。 g 与 r 的改变都直接影响 k 的变化，而重力加速度与纬度和拔海高度有关，其计算公式为

$$g = g_\varphi + g_h \quad (3)$$

$g_\varphi = 978.049(1 + 0.0052884 \sin^2 \varphi - 0.0000059 \sin^2 2\varphi)$ (厘米/秒²)， $g_h = -(0.00030885 + 0.00000022 \cos 2\varphi)h + 0.000072 \left(\frac{h}{1000} \right)$ (厘米/秒²)， φ 为纬度， h 为拔海高度。

由于计算中对重力加速度 g_φ 不要求如此精确，一般可查表内插计算(表1)。 g_h 粗略的可按每升高1000米减少 $3/10^4$ 计算。

表1 海平面各纬度 g_φ 值

φ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
g_φ	978.049	978.205	978.663	979.383	980.287	981.249	982.117

空气重度 r 是气压、温度、湿度的函数，其计算式为

$$r = \frac{1.2930}{1 + 0.00367t} \left(\frac{P - 0.378e}{760} \right) \quad (4)$$

式中 p 为气压(毫米水银柱高), e 为绝对湿度(毫米水银柱高), t 为气温($^{\circ}\text{C}$)。根据四省市的大风季节分布情况, 造成最大风速的天气系统主要是寒潮和台风, 前者以偏北风频率最大, 后者以偏东风居多, 其他方位受另外一些天气系统影响, 也有相应的最大风速。这里我们按偏北风及偏东风挑出每次大风出现时的 p 、 e 、 t 值, 分别求出其平均值, 再计算其空气重度 r 值, 并与不分风向的多年值 r 作比较, 以南京为例(表 2), 计算结果表明偏东东南风时 r 最小, 偏北风时 r 最大, 不分风向多年平均值介于两者之间, 但是分风向 r 值与不分风向 r 值相差在 0.25~0.37% 之间, 差别很小, 因之, 采用多年平均值 r 计算风压系数是可行的, 本区内黄山、泰山因海拔高度影响, 空气重度分别为 1.0078、1.0549, 经重力订正后, 其风压系数 r 分别为 1/19.5 和 1/18.6, 计算中近似取为 1/20 及 1/19。

表 2 南京北风、东东南风时的空气重度值

	P (mm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	e (mm)	r (千克/米 ³)
多年平均值	761.7	15.3	15.5	1.2199
大风时平均值(偏北风)	761.5	14.4	13.4	1.2244
大风时平均值(东东南风)	760.3	15.6	14.6	1.2168

2. 最大风速的概率计算

最大风速分布的拟合, 以往在全国电力通讯线网气候区划工作中曾作过讨论。各种概率分布线型的拟合误差多在 3% 以内, 故本文采用通用的皮尔逊 III 型曲线进行最大风速的拟合。其概率密度方程为

$$y = f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} \quad (5)$$

式中 $\Gamma(\alpha)$ 是参数 α 的 Γ 函数, a_0 为随机变量可能的最小值, α 、 β 为随机变量的数字特征, 它与序列的平均值 \bar{x} 、变差系数 C_v 、偏度系数 C_s 有关, 其关系式为

$$\begin{cases} \alpha = \frac{4}{C_s^2} \\ \beta = \frac{2}{m C_s C_v} \\ a_0 = m \left(1 - \frac{2C_v}{C_s} \right) \end{cases} \quad (6)$$

式中 m 为数学期望值, 可用 \bar{x} 代替, $C_v = \sqrt{\frac{\sum(k_i - 1)^2}{n - 1}}$, $C_s = \frac{\sum(k_i - 1)^3}{(n - 3)C_v^3}$, $k_i = \frac{x_i}{\bar{x}}$

对于任意指定概率的 x_p 值的保证函数为

$$P(\xi \geq \chi_p) = \int_{\chi_p}^{\infty} \frac{\left(\frac{2}{mC_v C_s}\right)^{\frac{4}{C_s^2}}}{\Gamma\left(\frac{4}{C_s^2}\right)} \left(x - m + \frac{2mC_v}{C_s}\right)^{\frac{4}{C_s^2} - 1} e^{-\frac{2}{mC_v C_s} \left(x - m + \frac{2mC_v}{C_s}\right)} dx \quad (7)$$

作标准化变换, 令 $\Phi = \frac{\xi - m}{mC_v}$ 则

$$\chi = m(\varphi C_v + 1) \quad (8)$$

$$d\chi = mC_v d\varphi$$

代入(7)式则得

$$P(\Phi \geq \varphi_p) = \frac{\left(\frac{2}{C_s}\right)^{\frac{4}{C_s^2}}}{\Gamma\left(\frac{4}{C_s^2}\right)} \int_{\varphi_p}^{\infty} \left(\varphi + \frac{2}{C_s}\right)^{\frac{4}{C_s^2} - 1} e^{-\frac{2}{C_s} \left(\varphi + \frac{2}{C_s}\right)} d\varphi \quad (9)$$

由(9)式对给定的 χ_p 值, 其相应的保证率 $p(\Phi \geq \varphi_p)$ 只与随机变量 ξ 的偏度系数 C_s 有关, C_s 给定后可由(9)式求出 P 与 φ_p 对应值(有表可查得), 利用(8)式便可求得各种频率下的 χ_p 值。

对分风向后的最大风速分布拟合结果如何, 我们采用了柯尔莫哥洛夫检验法, 对每一个样本单元值进行检验, 首先计算了理论分布点与经验分布点的最大偏差 $D = |P_n(x) - P(x)|_{\text{最大}}$, $P_n(x)$ 为经验分布累积频率, $P(x)$ 为理论分布积分概率, 按柯尔莫哥洛夫适合度标准, 设 $\lambda = \sqrt{n} D$ 则

$$P(\lambda) = \left\{ |P_n(x) - P(x)|_{\text{最大}} < \frac{\lambda}{\sqrt{n}} \right\} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (-1)^k e^{-2k^2 \lambda^2} \quad (10)$$

又 $P\{|P_n(x) - P(x)|_{\text{最大}} \geq D\} = 1 - P\{|P_n(x) - P(x)|_{\text{最大}} < D\}$ 则 $P\{|P_n(x) - P(x)|_{\text{最大}} \geq D\} = 1 - P(\lambda)$, 由 D 、 n 求出 λ 后可由柯尔莫哥洛夫函数 $P(\lambda)$ 表查得 $P(\lambda)$ 值, 若 $p(\lambda)$ 趋近于 1, 按大概率事件原理, 则说明 $P(x)$ 可以代表最大风速分布。以南京资料为例, 其检验结果见表 3。

表 3 南京适合度测验结果

风 向	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
$1 - P(\lambda)$	1	0.860	1	0.997	0.964	1	0.964	0.997

上述结果表明除 NE 方向稍差外, 其它 7 个方向适合度测验结果是满足的。对其它地区进行抽测: 济南东风适合度为 0.967、西风为 1.000、东南风为 1.000, 安徽六安东风为 0.984, 泰山北风为 0.998、南风为 0.710。在抽检中绝大部分方位的风速适合度测验是好的, 只是个别站不同风向的风速适合度测验水平较低。

3. 风压随高度的变化系数

近地层风速分布廓线经研究^[3,4,5]得出: 在 100 米高度以下宜采用对数律, 100 米以上采用指数律。风压随高度的变化系数 K_z 在近地层分布的对数律、指数律计算采用下式

$$100\text{米以下: } K_z = \left(\frac{1_g Z_a - 1_g Z_0}{1_g Z_1 - 1_g Z_0} \right) \quad (11)$$

$$100\text{米以上: } K_z = \left(\frac{Z_a}{Z_1} \right)^{2\alpha} \quad (12)$$

式中 z_0 为地面粗糙度, z_a 为任意高度, z_1 为已知高度 ($z_1 = 10$ 米), 单位都为米。表 4 为根据达文波特 (Davenport, A. G)^[6] 提供的 z_0 , α 值计算得到的各高度上的 K_z 值。由表可见城市中 K_z 值比空旷平原要大得多, 这与 z_0 取值有关, 城市中 z_0 如何取值需作进一步研究。

表 4 各高度上 K_z 系数

地 表 状 况	海 面	河 湖 面 面	空 旷 原 平	一 般 田 野	乡 村	小 城 镇	大 城 市
Z_0 (米)	0.003	0.01	0.03	0.10	0.20	0.30	1.00
α	0.107	0.130	0.146	0.205	0.250	0.280	0.330
距地面高度(米)	K_z 值						
10.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20.0	1.18	1.21	1.25	1.32	1.39	1.43	1.69
30.0	1.29	1.34	1.41	1.53	1.64	1.72	2.18
40.0	1.37	1.44	1.54	1.69	1.83	1.95	2.57
50.0	1.43	1.52	1.63	1.82	1.99	2.13	2.89
60.0	1.49	1.59	1.71	1.92	2.12	2.28	3.16
70.0	1.54	1.66	1.78	2.02	2.24	2.42	3.40
80.0	1.58	1.69	1.84	2.11	2.35	2.54	3.62
90.0	1.62	1.74	1.90	2.18	2.44	2.65	3.82
100.0	1.64	1.82	1.95	2.58	3.13	3.61	4.58
150.0	1.79	2.02	2.19	3.04	3.88	4.49	5.90
200.0	1.90	2.19	2.38	3.42	4.49	5.34	7.30
250.0	2.00	2.31	2.53	3.76	4.97	6.00	8.47
300.0	2.08	2.40	2.68	4.04	5.48	6.45	9.40

四、条件风压分布特征

对四省市41个站八个方位的风压进行计算，并绘制了各风向标准风压分布图，同时绘制了沿海及内陆八城市各风向标准风压风玫瑰图。由图(1—4)在东部地区风压有两个高值区，一个在浙江北部沿海，南风 and 东风的风压值都大于60千克/米²。另一个在胶东半岛及苏北沿海，东风时最大风压达50千克/米²以上。内陆地区由北向南，最大风压

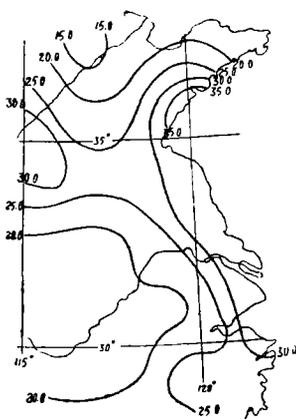


图 1 北风

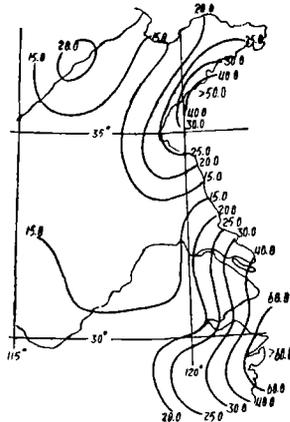


图 2 东风

值出现方位不同，北方以偏北方向风压值较大，如鲁西北地区，西北方位的风压值可达35千克/米²(图略)。向南至江淮平原及皖南山区，风压值下降，一般都在35千克/米²以下，尤以东南风时风压值最小，只有10—20千克/米²(图略)，至最南部的浙南山区，各风向风压值普遍偏小，一般只有15—20千克/米²，主要由于山地地形屏蔽的影响所致。

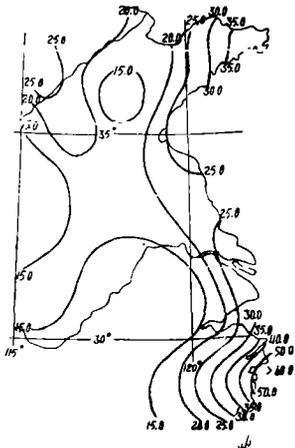


图 3 南风

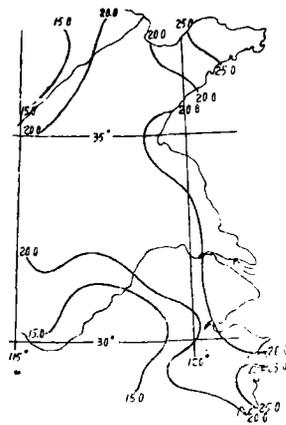


图 4 西风

图 1—4 各风向标准风压分布(单位千克/米²)

图(5—6)为沿海和内陆部分站的风压风向玫瑰图。靠内陆(图5)以偏北方向风压值最大，如济南、合肥、阜阳、安庆等地。沿海一带则以偏东、偏南方向风压值最大，如

石浦气象站(图 6), 东风时最大风压值在70千克/米²以上, 而由北至西各方位风压值明显偏低。

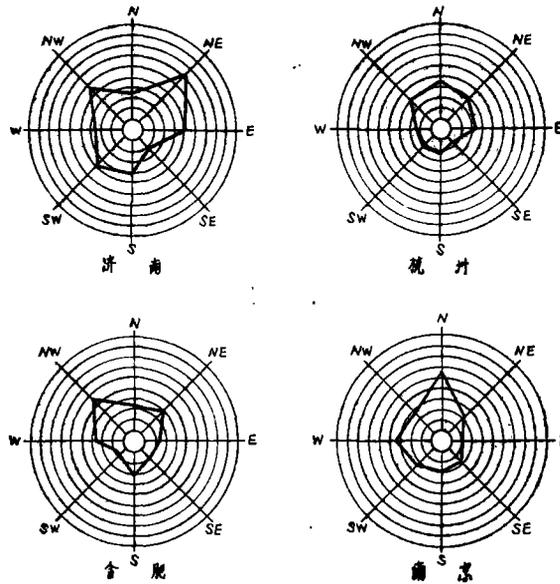


图 5 标准风压风向玫瑰图 (每圈代表5千克/米²)

另外, 风压值大小还与地形条件有关, 如济南以东北和西北风时风压值最大; 泰安偏西风 and 东北风时, 风压值最大; 其它风向风压值都比较小(图略); 安徽阜阳亦是以东

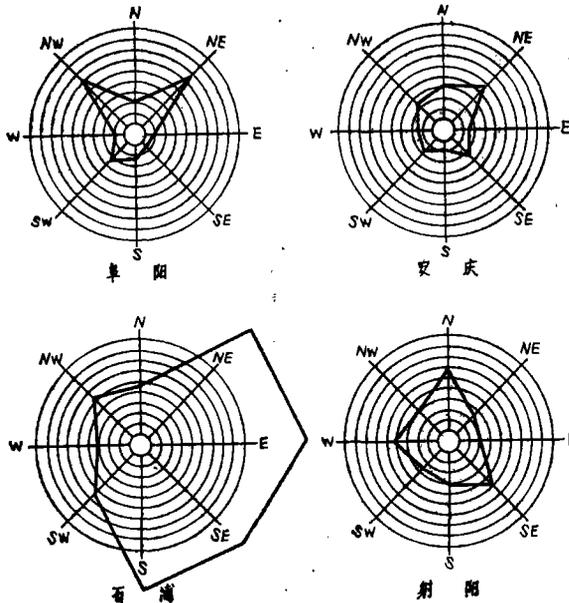


图 6 标准风压风向玫瑰 (每圈代表5千克/米²)

北和西北风时, 风压值最大, 都反映出河流、地形和山地的影响, 当地形与盛行风向一

致时，使风压普遍都比较大。在高山站因受自由大气的影响增大，风压大小及出现的方位反映了大气环流的特征，如泰山站以北风和西风的风压值最大，都在50千克/米²以上（图略），其它方向则甚小；黄山以西和西南风时，风压值最大，为50千克/米²，其它方位风压值均低于50千克/米²。

五、小 结

1. 研究表明采用皮尔逊Ⅲ型概率密度曲线对各方位极值风速进行拟合，经过柯尔莫哥洛夫适合度测验，绝大多数方位拟合结果是好的、可行的。

2. 分方位与不分方位计算所得风压系数差在0.24—0.37%之间，因之，可以采用不分方位的风压系数计算各方位风压值，不致造成较大的误差，方便了计算过程。

3. 条件风压分布总的趋势是：沿海大于内陆，并以偏东、偏北方向风压值最大；内陆风压值，北部大于南部，北部以北、西北方向风压值最大，南部以西、西南方位风压值最大；高山站泰山以偏北、偏西方向风压最大，黄山则以偏西方向风压值最大；河流峡谷地区最大风压值出现方位多与河谷、峡谷走向一致，反映出地形影响特征。

最后，由于本文所采用的是五十年代以后的自记风速资料，年代尚不够长，影响到各方位风速极值序列长短，可能漏掉历史上一些已出现过的定时大风记录，使计算所得风压值偏小。另外，各方位风速合并问题也值得商榷。

参 考 文 献

- [1] 工业及民用荷载规范(TJ9-74)，建筑工程出版社，1974。
- [2] 朱瑞兆，风压计算的研究，科学出版社，1976。
- [3] 滕中林，近地面层风速随高度的变化，天气月刊，1958。
- [4] 石泰安，我国风压及其超载系数，土木工程学报，四卷3期，1957。
- [5] 上海中心气象台，华东地区的风压分布，上海科学技术出版社，1959。
- [6] A. G. Devenport, The relationship of wind structure to wind loading wind effects on building and structures, London, Her Majesty's Stationery Office, 1965.