

# Gumbel 分布的基本风压计算与分析

张延年<sup>1,2</sup>, 王元清<sup>1</sup>, 张 勇<sup>2</sup>, 石永久<sup>1</sup>, 李 宁<sup>3</sup>

(1. 清华大学 土木工程系, 北京 100084; 2. 沈阳建筑大学 土木工程学院, 沈阳 110168;  
3. 沈阳市房地产开发建设管理办公室, 沈阳 110013)

**摘 要:**统计了中国 159 个代表性城市在 1951—2008 年的历年最大风速值,采用 Gumbel 分布进行统计分析并对其参数进行估算。用矩法和耿贝尔法分别计算出重现期为 10、50、100 a 的基本风压值,并采用柯尔莫哥洛夫检验法进行检验,最后与规范取值进行对比分析。结果表明,当采用 Gumbel 分布对中国各地区的最大风速年极值进行统计时,耿贝尔法比矩法拟合效果好;重现期为 10、50、100 a 的基本风压值对比分析表明,《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的基本风压值与采用近 58 a 的历年最大风速值计算的基本风压值相比存在较大差异,表明规范计算的采样数据少,取值已经不能真实反映中国的基本风压情况,建议进行相应修订。

**关键词:**基本风压值;风荷载模型;耿贝尔法;柯尔莫哥洛夫检测

**中图分类号:**TU352.2   **文献标志码:**A   **文章编号:**1674-4764(2012)02-0027-05

## Calculation and Analysis of Basic Wind Pressure Value Based on Gumbel Distribution

ZHANG Yan-nian<sup>1,2</sup>, WANG Yuan-qing<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>, SHI Yong-jiu<sup>1</sup>, LI Ning<sup>3</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China;

2. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, P. R. China

3. Shenyang Real Estate Development and Construction Management Office, Shenyang 110013, P. R. China)

**Abstract:** In order to find out the current basic wind pressure in China, the parameters were estimated based on Gumbel distribution by statistically analyzing the annual maximum values of wind speed of 159 typical cities in China between 1951 and 2008. The basic wind pressure values for 10-year, 50-year and 100-year return periods were calculated based on moment method and Gumbel method, respectively. The distribution function was tested by the Kolmogorov criterion. Finally, the calculation results were compared with those in current design codes and the results of the correlative literature. The results show that basic wind pressure values worked out by Gumbel method are better than those by moment method in most cases when the statistic of the annual maximum values of wind speed is conducted and analyzed by Gumbel distribution. There are significant differences between the basic wind pressure values for 10-year, 50-year and 100-year return periods in Loading Code for Design of Building Structures and the results calculated with the annual maximum values of wind speed in recent decades, which shows that the sample data in Loading Code for Design of Building Structures are relatively insufficient and cannot reflect the present true condition in China. Therefore, basic wind pressure value should be revised accordingly.

**Key words:** basic wind pressure value; wind load model; Gumbel method; Kolmogorov-Smirnov (K-S) test.

收稿日期:2011-09-15

基金项目:中国博士后科研基金特别资助项目(201003131)

作者简介:张延年(1976-),男,博士(后),副教授,主要从事防灾减灾、建筑节能、结构检测与加固研究,(E-mail)zyntiger@163.com。

统计资料表明,风灾在所有自然灾害中造成的损失最大。其中对建筑物、通信设施、交通设施的破坏更明显<sup>[1]</sup>。风灾的次数占 51.4%,经济损失占 40.5%,全球平均每年由于风灾的损失达 100 亿美元,死亡人数 2 万人以上<sup>[2]</sup>。风荷载设防水平的确定是抗风结构设计的战略性决策,定得太高会造成不必要的浪费,定得太低就有可能遇到风险造成重大的损失,这里存在一个最优的设防荷载水平<sup>[3-4]</sup>。因此,正确地计算和确定各地不同重现期的风压值,对各项建筑工程的抗风安全和建设资金的合理使用都有着重要的现实意义。

多年来关于基本风压的研究相对较少,缺少计算模型的相关研究。另外,多年来中国各地区的最大风速的相关资料不断积累,对其进行统计分析能够更真实反映中国的基本风压情况。因此笔者基于 Gumbel 分布对中国 159 个代表性城市在 1951—2008 年的历年最大风速值进行统计分析并进行参数估算,采用矩法和耿贝尔法分别计算出重现期为 10、50、100 a 的基本风压值,并采用柯尔莫哥洛夫检验法对分布函数进行检验,最后与规范取值进行对比分析。

## 1 基本风压的计算

采用中国 194 个国际交换站 1951—2008 年地面日值数据集中的最大风速年极值资料。风速资料应取自记风速仪的 10 min 平均风速资料,对非自记的定时观测资料需进行时次订正<sup>[5]</sup>。

$$y = ax + b \quad (1)$$

式中:  $y$  为自记 10 min 平均风速;  $x$  为 4 次定时 2 min 平均风速; 系数  $a, b$  见表 1。

表 1 系数  $a, b$  取值

区域	系数 $a$	系数 $b$	区域	系数 $a$	系数 $b$
华北	0.88	7.82	中南	0.82	5.98
东北	0.97	3.94	西南	0.75	6.17
华东	0.78	8.41	西北	0.85	5.21

则基本风压为

$$\omega_0 = \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad (2)$$

式中:  $\omega_0$  为基本风压,  $\text{kN/m}^2$ ;  $\rho$  为空气密度;  $v_0$  为重现期为 50 a 的最大风速。

历年最大风速被认为服从 Gumbel(极值 I 型)分布<sup>[6]</sup>,对 Gumbel 分布的参数估计,通常采用矩法、耿贝尔法和极大似然法。但极大似然法需要用数值求解强非线性方程组,应用起来十分不便<sup>[7]</sup>,因此采用矩法和耿贝尔法进行参数估计。

### 1.1 Gumbel 分布及参数估计

分布函数

$$F(x) = \exp\{-\exp[-a(x-u)]\} \quad (3)$$

分布密度函数

$$f(x) = a \exp\{[-a(x-u)] - \exp[-a(x-u)]\} \quad (4)$$

保证率函数

$$P(x) = 1 - \exp\{-\exp[-a(x-u)]\} \quad (5)$$

其中  $a > 0$  称为尺度参数,  $u$  是分布密度的众数。其重现期为  $R$  时最大风速为

$$x_R = u - \frac{1}{a} \ln\left[\ln\left(\frac{R}{R-1}\right)\right] \quad (6)$$

1.1.1 矩法 参数  $a, u$  与矩的关系为一阶矩:

$$E(x) = \frac{\gamma}{a} + u, \text{ 其中 } \gamma \text{ 为欧拉常数, } \gamma \approx 0.577 22。$$

二阶矩

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6a^2} \quad (7)$$

则

$$a = \frac{1.282 55}{\sigma} \quad (8)$$

$$u = E(x) - \frac{0.577 22}{a} \quad (9)$$

在实际计算中一般用有限样本容量的均值和标准差作为理论值  $E(x)$  和  $\sigma$  的近似估计<sup>[8]</sup>。

1.1.2 耿贝尔法 假定年最大风压为有序序列  $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \cdots \leq x_n$ , 当其分布函数为连续函数时, 在第  $n$  次观测中位于第  $i$  个顺序的观测值的  $x_i$  期望概率应为  $\frac{i}{n+1}$ , 则经验分布函数为

$$F^*(x_i) = \frac{i}{n+1}, i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

由大数定律, 当  $N \rightarrow \infty$  时, 经验分布  $F^*(x_i)$  将趋于总体  $X$  的极值理论分布函数  $F(x)$ 。

$$a = \frac{\sigma(y)}{\sigma(x)} \quad u = E(x) - \frac{E(y)}{a} \quad (11)$$

在实际计算中可用有限样本容量的均值和标准差作为  $E(x)$  和  $\sigma(x)$  的近似估计<sup>[9]</sup>。

### 1.2 计算结果优良性指标检验

用样本数据的经验分布拟合理论曲线分布, 该随机变量实际总体分布是否符合所选理论分布模型, 需要一客观判定方法<sup>[10]</sup>。柯尔莫哥洛夫检验法不是分区间来检验根据子样得到的经验分布函数  $F^*(x)$  与理论分布函数  $F(x)$  之间的偏差, 而是对每个点都检验  $F^*(x)$  与  $F(x)$  之间的偏差, 因此该检验法比较精确、简单、实用。柯尔莫哥洛夫拟合度检验指标<sup>[11]</sup>:

1) 拟合标准差

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n-1}} \quad (12)$$

2) 拟合相对偏差

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - \hat{x}_i}{\hat{x}_i} \right| \quad (13)$$

式中:  $x_i$  为有序风速样本;  $\hat{x}_i$  为拟合值。

3) 柯尔莫哥洛夫拟合度

$$D_n = \max\{|F_n^*(x) - F(x)|\} \quad (14)$$

式中:  $D_n$  为拟合出来的理论分布与经验分布的最大偏差;  $F(x)$  为理论分布函数;  $F_n^*(x)$  为经验分布函数。

由于 3 种参数估计优良性指标中拟合标准差  $\sigma$  精度最高,拟合相对偏差  $V$  和柯尔莫哥洛夫拟合度  $D_n$  的精度相对较低,在比较参数估计的优良性时,以  $\sigma$  最小为优(若  $\sigma$  相等时,再比较  $V$  和  $D_n$ )。

## 2 计算结果与分析

利用中国华北地区、东北地区、华东地区、中南地区、西南地区、西北地区 6 大区域具有代表性的 159 个城市在 1951—2008 年 58 年间的历年最大风速值,采用 Gumbel 分布进行统计分析并对其参数进行估算。用矩法和耿贝尔法分别计算出重现期为 10、50、100 a 的基本风压值,部分代表城市列于表 2。

表 2 基本风压计算结果  $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$

城市	风压(矩法)			风压(耿贝尔法)		
	10 a	50 a	100 a	10 a	50 a	100 a
北京	0.269	0.401	0.465	0.283	0.432	0.505
天津	0.298	0.464	0.545	0.316	0.505	0.598
河北—石家庄	0.165	0.243	0.280	0.175	0.265	0.308
山西—太原	0.244	0.359	0.414	0.257	0.389	0.453
内蒙古—呼和浩特	0.262	0.399	0.466	0.277	0.435	0.512
辽宁—沈阳	0.312	0.462	0.535	0.327	0.497	0.580
吉林—长春	0.490	0.743	0.866	0.519	0.809	0.951
黑龙江—哈尔滨	0.344	0.562	0.670	0.367	0.616	0.741
上海	0.199	0.315	0.372	0.212	0.347	0.414
山东—济南	0.302	0.478	0.565	0.322	0.525	0.625
江苏—南京	0.230	0.338	0.390	0.242	0.363	0.422
浙江—杭州	0.180	0.264	0.304	0.191	0.288	0.335
安徽—合肥	0.205	0.292	0.334	0.215	0.313	0.360
江西—南昌	0.223	0.352	0.415	0.238	0.386	0.460
福建—福州	0.361	0.560	0.657	0.383	0.610	0.721
河南—郑州	0.231	0.350	0.407	0.248	0.388	0.457
湖北—武汉	0.172	0.296	0.359	0.189	0.339	0.415

续表 2

城市	风压(矩法)			风压(耿贝尔法)		
	10 a	50 a	100 a	10 a	50 a	100 a
湖南—常德	0.181	0.299	0.358	0.197	0.338	0.409
广东—广州	0.164	0.276	0.333	0.177	0.308	0.374
广西—南宁	0.129	0.198	0.232	0.138	0.219	0.259
海南—海口	0.279	0.484	0.588	0.302	0.541	0.663
重庆	0.195	0.309	0.364	0.208	0.338	0.402
四川—成都	0.120	0.171	0.196	0.127	0.187	0.216
贵州—贵阳	0.146	0.220	0.256	0.156	0.243	0.285
云南—丽江	0.152	0.204	0.228	0.160	0.220	0.249
西藏—拉萨	0.083	0.113	0.128	0.087	0.123	0.140
陕西—西安	0.175	0.276	0.325	0.186	0.302	0.359
陕西—汉中	0.107	0.159	0.184	0.115	0.175	0.205
甘肃—兰州	0.094	0.132	0.150	0.099	0.143	0.164
宁夏—银川	0.307	0.452	0.522	0.327	0.496	0.579
青海—西宁	0.102	0.149	0.171	0.108	0.163	0.189
新疆—乌鲁木齐	0.321	0.486	0.566	0.339	0.527	0.618

采用柯尔莫哥洛夫检验法计算参数估计优良性指标,部分代表城市计算结果见表 3。

计算结果表明,以耿贝尔法估计为优的城市有 144 个,而以矩法估计为优的城市只有 15 个,耿贝尔法估计明显好于矩法估计;当用 Gumbel 分布对中国各地区的最大风速年极值进行统计时,应选取耿贝尔法作为 Gumbel 分布的参数估计方法。

用计算出的基本风压值与规范的基本风压标准值相比,重现期为 10 a 的基本风压对比图如图 1 所示。表明二者存在显著差异,浙江衢州二者相差  $0.234 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ,平均相差  $0.08 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

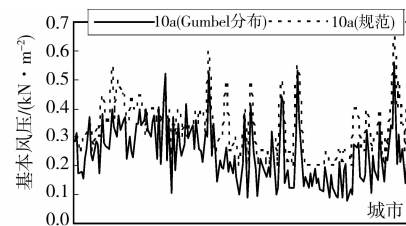


图 1 重现期为 10 a 的基本风压对比

重现期为 50 a 的基本风压对比图如图 2 所示。表明二者存在显著差异,浙江衢州二者相差  $0.452 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ,平均相差  $0.11 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

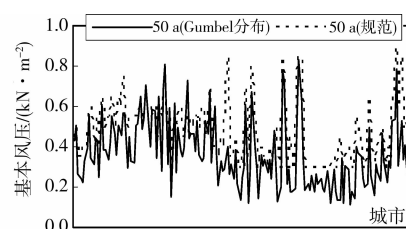


图 2 重现期为 50 a 的基本风压对比

表 3 参数估计优良性指标的计算结果

城市	矩法					耿贝尔法				
	$a$	$u$	$\sigma$	$V/\%$	$D_n$	$a$	$u$	$\sigma$	$V/\%$	$D_n$
北京	0.359	14.549	0.762	4.10	0.095	0.328	14.476	0.724	3.31	0.083
天津	0.305	14.479	0.779	3.52	0.096	0.278	14.390	0.708	3.71	0.112
河北—石家庄	0.477	11.616	0.538	3.38	0.123	0.428	11.551	0.481	3.31	0.127
山西—太原	0.377	14.580	0.613	2.92	0.108	0.341	14.502	0.536	2.82	0.099
内蒙古—呼和浩特	0.324	14.639	0.625	2.55	0.074	0.294	14.551	0.518	2.42	0.073
辽宁—沈阳	0.339	15.747	0.612	2.21	0.074	0.309	15.670	0.534	2.26	0.091
吉林—长春	0.251	19.382	0.678	2.23	0.071	0.227	19.267	0.478	1.69	0.051
黑龙江—哈尔滨	0.251	14.665	1.130	6.49	0.117	0.228	14.556	1.074	5.78	0.104
上海	0.357	11.531	1.470	6.96	0.135	0.322	11.447	1.499	8.39	0.160
山东—济南	0.290	14.282	1.163	4.42	0.105	0.262	14.182	1.133	5.66	0.111
江苏—南京	0.406	13.672	0.628	3.82	0.127	0.371	13.608	0.588	3.38	0.128
浙江—杭州	0.462	12.136	0.618	2.90	0.130	0.412	12.065	0.567	2.77	0.125
安徽—合肥	0.471	13.379	0.420	2.56	0.085	0.428	13.320	0.350	1.91	0.084
江西—南昌	0.340	12.322	1.179	7.54	0.213	0.307	12.236	1.176	6.36	0.192
福建—福州	0.279	16.073	0.782	3.14	0.104	0.253	15.973	0.681	3.42	0.093
河南—郑州	0.370	13.254	1.242	7.22	0.200	0.328	13.160	1.245	6.41	0.174
湖北—武汉	0.316	9.486	1.020	8.18	0.138	0.280	9.374	0.952	6.98	0.112
湖南—常德	0.337	10.364	0.796	4.16	0.092	0.299	10.261	0.697	4.27	0.105
广东—广州	0.340	9.586	0.671	5.09	0.107	0.307	9.498	0.578	4.20	0.083
广西—南宁	0.479	9.748	0.544	3.85	0.076	0.427	9.679	0.479	3.57	0.101
海南—海口	0.245	11.973	1.036	6.22	0.120	0.221	11.852	0.938	4.46	0.108
重庆	0.359	11.650	0.800	2.56	0.057	0.325	11.571	0.757	3.44	0.072
四川—成都	0.599	10.471	0.309	2.13	0.065	0.531	10.413	0.188	1.32	0.059
贵州—贵阳	0.450	11.139	0.675	2.74	0.097	0.401	11.065	0.629	2.87	0.082
云南—丽江	0.595	13.812	0.538	2.66	0.104	0.526	13.752	0.500	2.56	0.087
西藏—拉萨	0.695	10.567	0.321	2.15	0.102	0.614	10.516	0.245	1.65	0.075
陕西—西安	0.379	11.145	0.595	4.20	0.095	0.343	11.069	0.519	3.42	0.084
甘肃—兰州	0.671	9.875	0.301	1.66	0.065	0.599	9.827	0.2265	1.61	0.072
宁夏—银川	0.330	16.614	1.021	4.62	0.139	0.293	16.512	0.974	4.76	0.145
青海—西宁	0.557	10.271	0.471	3.31	0.103	0.495	10.211	0.413	2.62	0.078
新疆—乌鲁木齐	0.302	16.296	0.891	4.21	0.137	0.275	16.204	0.834	4.29	0.120

重现期为 100 a 的基本风压对比图如图 3 所示。表明二者存在显著差异,浙江舟山二者相差  $0.538 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ,平均相差  $0.13 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

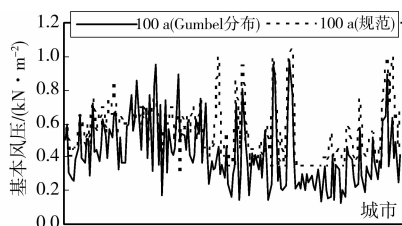


图 3 重现期为 100 a 的基本风压对比

重现期为 10、50、100 a 的基本风压值对比分析表明,《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的风压计算的采样数据少,与采用近 58 a 间的历年最大风速值计算的基本分压相比存在较大差异,表明规范取值已经不能真实反映我国的基本风压情况,建议进行相应修订。

### 3 结 论

通过对中国 159 个城市 58 a 间的历年最大风速值进行统计分析,分别计算出重现期为 10、50、100 a

的基本风压值,得出以下结论:

1)当采用 Gumbel 分布对中国各地区的最大风速年极值进行统计时,耿贝尔法比矩法拟合效果好,选取的参数估计方法应以耿贝尔法为优。

2)重现期为 10、50、100 a 的基本风压值对比分析表明,《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的风压计算的采样数据少,与采用近 58 a 间的历年最大风速值计算的基本风压相比存在较大差异,表明规范取值已经不能真实反映我国的基本风压情况,建议进行相应修订。

#### 参考文献:

- [1] NAESS A. Estimation of long return period design values for wind speeds [J]. *Journal of Engineering Mechanics*, 1998, 124(3):252-259.
- [2] 黄本才. 结构抗风分析原理及应用 [M]. 上海:同济大学出版社,2001.
- [3] EDMUND C C. Field measurement and experimental study of wind speed profile during thunderstorms [J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2004, 92(1): 275-290.
- [4] WANG B, ETHERIDGE D W, OHBA M. Wind tunnel investigation of natural ventilation through multiple stacks, Part 1: Mean values [J]. *Building and Environment*, 2011, 46: 1380-1392.
- [5] 中华人民共和国国家标准. GB 50009—2001 建筑结构荷载规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [6] 黄浩辉,宋丽莉,植石群. 广东省风速极值 I 型分布参数估计方法的比较 [J]. *气象*,2007,33(3):101-106.  
HUANG HAO-HUI, SONG LI-LI, ZHI SHI-QUN.  
Comparison of estimation of wind speed extreme-I distribution parameters in Guangdong province [J]. *Meteorological Monthly*,2007,33(3):101-106.
- [7] 段忠东,周道成. 极值概率分布参数估计方法的比较研究 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2004, 36(12): 1605-1609.  
DUAN ZHONG-DONG, ZHOU DAO-CHENG. A comparative study on parameter estimate method for extremal value distribution [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2004, 36(12): 1605-1609.
- [8] SALAR E A, GHORANNEVISS M, EMAMI M. Comparative measurements of plasma position using multipole moments method and analytical solution of grad-shafranov equation in IR-T1 tokamak [J]. *Journal of Fusion Energy*, 2009,28(4): 385-389.
- [9] SERKAN Ö, YUSUF B, HAKAN Ç. A quantitative appraisal of earthquake hazard parameters computed from Gumbel I method for different regions in and around Turkey [J]. *Natural Hazards*,2008,47(3): 471-495.
- [10] 张延年,张勇,王元清. 辽宁省基本雪压的计算与分析 [J]. *华南理工大学学报*,2010,38(9):108-112.  
ZHANG YAN-NIAN, ZHANG YONG, WANG YUAN-QING. Calculation and analysis of basic snow pressure value of Liaoning province [J]. *Journal of South China University*, 2010, 38(9):108-112.
- [11] ZHANG C L, FAN J H. An X-ray luminosity analysis for FRIs and FRIIs [J]. *Science in China Series G: Physics Mechanics and Astronomy*, 2009, 52(9): 1434-1441.

(编辑 王秀玲)