

文章编号: 1002-0268 (2004) 02-0041-03

润扬长江公路大桥桥位 风速观测及设计风速计算

胡文辉, 阮 静

(江苏润扬长江公路大桥建设指挥部, 江苏 镇江 212002)

摘要: 分析润扬长江公路大桥桥位风速观测站与丹徒县气象观测站同步风速风向观测的有关内容, 两站的观测值存在良好的正相关性, 采用 Gumbel 分布函数拟合极值频率分布, 计算得到大桥的不同重现期基本风速, 与根据建筑结构荷载规范推算的结果对比分析, 确认计算结果的合理性, 完成各高度层上的大桥设计基准风速计算。为确保大桥抗风安全, 指导施工提供了可靠的技术指导。

关键词: 气象; 风速观测; 设计风速

中图分类号: U442.4

文献标识码: A

Calculation of Designing Wind Velocity and Wind Observation at the Runyang Yangtze River Road Bridge

HU Wen-hui, RUAN Jing

(Jiangsu Runyang Yangtze River Road Bridge Construction Commanding Department, Jiangsu Zhenjiang 212002, China)

Abstract: This paper analyzes the wind speed of Wind Speed Monitor Station at Runyang Bridge and Wind Speed Monitor Station at Weather Station of Dantu. The monitoring data of both stations showed positive correlation. By fitting extremum frequency distribution with Gumbel Distribution Function, principal wind velocities in different recurrence period are calculated. The calculated results provide credible technical guide to construction of Runyang Bridge and ensure wind resistance safety.

Key words: Weather; Wind observation; Designing wind velocity

0 概述

为了适应镇江、扬州地区国民经济的飞速发展和长江三角洲及沿江地区的改革开放, 改善镇江、扬州及周边地区的交通运输环境, 江苏省政府决定在长江镇扬段的世业洲建设润扬长江公路大桥。该桥为我国长江上首座由悬索桥和斜拉桥组合而成的特大型桥梁, 南汊主桥为主跨跨径 1 490m 的单跨双铰钢箱梁悬索桥, 通航净高 50m, 北汊主桥为中孔跨径 406m 的双塔双索面斜拉桥, 通航净高 18m。润扬大桥南北汊桥均为柔性结构, 对风速极为敏感, 空气动力荷载为柔性桥梁结构的主要控制荷载, 桥梁的风荷载对大桥的设计、施工、运营至关重要。因此, 根据润扬长

江公路大桥的设计要求, 进行了润扬长江公路大桥桥位风速观测与设计风速计算的专题研究, 为确定润扬大桥的设计风速, 确保大桥抗风安全, 指导施工提供了可靠的技术依据。

1 桥位风速观测及内容

桥位风速观测站点选定在长江世业洲, 桥位以西约 1km 处设定风速观测站。风速观测时间为 1999 年 3 月 1 日至 2000 年 2 月 29 日。观测仪器为 EL 电接风向风速仪, 风速感应器距地高度为 15m。每天进行 24 次正点观测, 内容有 2min 平均风速、10min 平均风速、10min 及 2min 平均日最大风速、瞬时极大风速、风向及出现时间, 其中 2min 平均风速及 10min 平均

风速风向从 EL 电接风向风速仪的自动记录纸上读取, 瞬时风速风向由 EL 电接风向风速仪的风速风向指示器读取。在桥位观测的同时, 镇江市丹徒县气象观测站进行同步风速风向观测, 丹徒县气象观测站每天 24 次正点同内容观测, 观测仪器为 EL 电接风向风速仪, 风速感应器距地高度为 10.8m。

2 观测资料的初步分析

经 1999 年 3 月至 2000 年 2 月共 24 个月桥位风速观测站与丹徒县气象观测站同步风速风向观测资料(见表 1) 的初步分析发现, 桥位风速观测站的 24 次正点各方向 10min 平均风速的一年的平均风速与丹徒县气象观测站观测的平均风速相当或者略偏大。分析两处的各风向的频率, 两地存在较好的一致性, 出现频率较大的风向都在 ENE、NE、E、ESE、SE 方向, 即主导风向都是偏东方向。分析桥位风速观测站及丹徒县气象观测站同步观测资料中的日最大 10min 平均风速, 见表 2, 两站的观测值存在良好的正相关性, 桥位风速观测站 10min 平均日最大风速, Y 与丹徒站

世业洲桥位站、丹徒站各风向日最大 (10min 平均) 风速平均值 (m/s)

表 1

地点	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
世业洲	5.7	5.8	4.5	5.3	5.8	6.8	6.0	6.0	4.1	3.8	4.2	4.7	5.6	4.6	5.0	4.9
丹徒站	4.3	5.6	4.9	4.5	4.1	5.1	4.5	4.2	3.4	3.2	4.6	4.8	5.2	4.7	3.9	4.6

世业洲桥位站、丹徒站各风向日最大 (10min 平均) 风速 (m/s)

表 2

地点	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
世业洲	10.7	11.0	6.7	9.0	10	11.3	11.3	10.3	6.0	5.0	7.3	6.3	8.7	6.7	12.3	10.7
丹徒站	5.3	9.3	10	9.0	5.3	8.3	7.7	7.7	6.0	4.3	5.0	8.3	8.7	9.3	5.7	6.3

世业洲桥位观测站各风向日最大 2min、10min 平均风速 (m/s)

表 3

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
2min	15.0	11.5	11.7	13.5	13.3	13.5	13.5	11.5	6.7	6.7	8.3	10.0	8.3	11.5	11.7	16.7
10min	10.7	11.0	6.7	9.0	10.0	11.3	11.3	10.3	6.0	5.0	7.3	6.3	8.7	6.7	12.3	10.7

3 设计风速的计算

3.1 基础资料

(1) 丹徒县气象观测站 1955 ~ 1998 年共 44 年实测年最大 10min 平均风速资料。

(2) 桥位风速观测站、丹徒县气象观测站 1999 年 3 月 1 日 ~ 2000 年 2 月 29 日实测同步风速资料。

3.2 基本原理

根据大桥设计的要求, 工程设计需以极端的气候状态作为设计条件, 对于润扬长江公路大桥这一类对风速极为敏感的柔性结构的悬索、斜拉桥, 需要计算桥位的风速极值。因为气象记录中的极大风速值是观

的 10min 平均日最大风速 X 之间的相关关系式为

$$Y = 1.184 + 0.9321X$$

其剩余标准差 $\sigma = 1.364$, 由于工程设计需要有一定的可靠度, 因此, 根据统计学理论有

$$P(Y - 3\sigma < Y_{\text{实际}} < Y + 3\sigma) = \alpha (\text{保证率})$$

对于桥梁工程来说, 关心的是最大风的情况, 即在保证率 α 的前提下, 实际值不会超过计算值, 考虑百年一遇的风速值, 采用 99% 的保证率, 即风速计算采用下列公式

$$Y = 5.277 + 0.9321X$$

分析桥位 2min 平均日最大风速及 10min 平均日最大风速资料, 见表 3, 两者存在良好相关性, 2min 平均日最大风速 Y 与 10min 平均日最大风速 X 之间的相关关系式为

$$Y = 0.518 + 1.16X$$

根据以上关系, 利用丹徒县气象观测站的风速观测资料及日 10min 平均最大风速预报值, 即可推算桥位的日最大 10min 平均风速及日最大 2min 平均风速。

测时期内的极大值, 只有相对的意义, 工程可能遇到的极端风速不能简单的用气象记录中的极值, 而需要利用最大风速的频率分布来推算出稀遇的最大风速。本计算根据已有的最大风速记录, 拟合出极大值的频率分布, 按照拟合频率来客观外延频率曲线, 以求取最小频率 p 对应的极大值 x_p 。在此, 采用极值-I 型分布拟合极值频率分布。

设风速值为变量 x , Gumbel 分布函数为

$$F(x_p) = P(x < x_p) = e^{-e^{-\alpha(x_p - \beta)}}$$

式中, $\alpha = \frac{\pi}{s\sqrt{6}}$; $\beta = \bar{x} - 0.5772 \frac{\sqrt{6}}{\pi} s$; \bar{x} 为 x 的平均值; s 为 x 的均方差。对于工程设计频率 $p = P(x \geq$

x_p) 所对应的 x_p , 即

$$p = P(x \geq x_p) = 1 - P(x < x_p) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x_p - \beta)}}$$

由以上方程得到

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

式中, C_v 为离差系数, $C_v = \frac{s}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$;

$$\phi_p = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \{ \ln[-\ln(1-p)] + 0.5772 \}$$

因此, 给定一系列的 p , 即可求得其对应的 x_p , 即可得到 x 的频率分布曲线, 最后可以由规定的设计重现期 T ($T = 1/p$) 在频率曲线上查出相应的设计值 x_p 。

3.3 设计风速的计算结果

根据以上计算原理, 求得丹徒县气象观测站不同重现期的基本风速 (距地面 10m 高度的 10min 平均风速), 见表 4。

丹徒县气象观测站不同重现期的基本风速 (距地面 10m 高度) 表 4

重现期 (年)	10	30	50	100
基本风速 (m/s)	18.5	21.9	23.4	25.5

根据桥位站观测风速值与丹徒县气象观测站同步观测风速值的关系, 即可求得桥位处的不同时期的基本风速值 (距地面 10m 高度的 10min 平均风速), 见表 5。

桥位站不同时期的基本风速 (距地面 10m 高度) 表 5

重现期 (年)	10	30	50	100
保证率 (99%)	22.5	25.7	27.1	29.1

该表即为计算得到的润扬长江公路大桥桥位 (观测站处) 设计基本风速的计算结果。

3.4 与根据建筑结构荷载规范推算结果的对比分析

为了确定桥位 (观测站处) 基本风速推算结果的合理性, 我们将计算结果与根据建筑荷载规范直接推算的结果进行了对比分析:

按照《建筑结构荷载规范》及《工程抗风设计计算手册》, 从 B 类地貌 (标准气象站) 换算到 A 类地貌, 其风压值需乘以系数 1.379, 按照极值-I 型计算得到的百年一遇的风速为 25.5m/s, 风压值 $W_0 = V_0^2 / 1600 = 0.406 \text{ kN/m}^2$, A 类地貌 $W = 1.379 \times 0.406 = 0.56 \text{ kN/m}^2$, 由此计算得到的桥位基本风速 $V = 29.9 \text{ m/s}$, 与表 5 中的计算结果较一致。但计算得到的风速稍小于按照规范推算到 A 类地貌的风速, 这与桥位观测站的地貌介于 A 类与 B 类之间是相符的。

按照《全国基本风压分布图》, 镇江重现期为 100 年的风压为 0.45 kN/m^2 , 求取的基本风速为 26.8m/s, 按照规范推算到 A 类地貌的风速为 31.5m/s, B 类地貌为 26.8m/s, 由于桥位观测站的地貌介于 A 类与 B 类之间, 基本风速应在 26.8 ~ 31.5m/s, 可以推断表 5 中的计算结果是合理的。考虑到全国基本风压分布图计算给出的基本风压比实际计算值有所提高, 而且其是以 0.05 kN/m^2 为基本单位, 所采用的资料时间至 1995 年, 说明计算结果比风压图推算结果略小亦是合理的。

3.5 风速垂直分布及设计基准风速的推算

风速随高度变化采用指数形式

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^\theta$$

其中, u, u_1 分别是 z, z_1 高度上的 10min 平均风速, θ 为考虑地面粗糙度影响的无量纲幂指数, 桥位 θ 取值应在 A 类地貌 0.12 与 B 类地貌 0.16 之间, 根据有关专家建议及实地情况, θ 取值为 0.14, 以 10m 高度处基本风速为标准, 推算求得各高度层上的大桥设计基准风速见表 6。

润扬长江公路大桥设计基准风速 (m/s) 表 6

距地高度 (m)	重现期 (年)			
	10	30	50	100
10	22.5	25.7	27.1	29.1
20	24.8	28.3	29.9	32.1
30	26.3	30.0	31.7	34.0
40	27.4	31.2	33.0	35.4
50	28.3	32.2	34.1	36.5
60	29.0	33.0	35.0	37.4
80	30.2	34.4	36.4	38.9
100	31.2	35.5	37.6	40.1
120	32.0	36.4	38.6	41.1

4 问题及建议

(1) 由于桥位风速观测站与丹徒县气象观测站同步风速观测仅为 1 年时间, 桥位风速观测站实测 10min 最大风速仅为 12.3m/s, 丹徒站、桥位风速观测站同步风速作相关分析, 其相关点较散 (但并非杂乱无章), 样本较少。由此计算求得的关系式其准确性和稳定性存在一定的局限。同样, 桥位风速观测站最大 10min 与最大 2min 平均风速间的相关仅用了 1 年的资料, 同样存在局限性。

(2) 桥位风速观测站建站半年后, 站南新修建了高度较高的防洪堤岸, 又由于测站点 (下转第 69 页)

2.2 BP 网络和动态施工有限元反演结果对比

动态施工反演两个横断面分别采用 9 月 18 日、10 月 1 日、11 月 1 日和 10 月 9 日、11 月 18 日、12 月 1 日测线 3 的位移值作为初始值，利用施工 FEM 优化反演分析法，确定围岩体的弹性模量，以此计算出围岩的位移，如表 5、表 6 所示（限于篇幅，仅列出测线 1 的预测值和实测值）。

3 结论

对轻轨隧道围岩位移分别采用 BP 网络和有限元位移反分析的方法进行预测预报，计算结果表明：ANSYS 有限元反演分析法很难考虑围岩节理、裂隙等对围岩位移的影响，计算误差比较大，见表 5、表 6，并且不能进行短期预测，而利用 BP 网络方法则可以克服这些不足，能够综合考虑各种因素的影响，BP 网络预测值与实测值吻合程度很好，相对误差最大不超过 9.2%，最小仅为 0.03% 左右，完全满足工程及控制的要求。因此采用 BP 网络对轻轨隧道围岩位移进行预测预报是完全可行的，而且是行之有效的。

但是，利用 BP 网络进行隧道围岩位移预测，需要大量的实测数据产生学习样本来训练网络，否则，要进行长期预测，其计算得到的预测精度会大大降

低，达不到工程要求。

D1 测线 1 的位移预测值和实测值 (mm) 表 5

日期	BP 网络预测值	有限元预测值	实测值
9-18	-18.14	-29.35	-18.03
10-1	-21.60	-32.17	-21.61
11-1	-27.16	-22.48	-21.73

D2 测线 1 的位移预测值和实测值 (mm) 表 6

日期	BP 网络预测值	有限元预测值	实测值
10-9	-18.18	-26.27	-18.11
11-18	-24.34	-42.58	-24.23
12-1	-26.66	-35.41	-26.63

参考文献:

- [1] 朱合华, 杨林德, 桥本正. 深基坑工程动态施工反演分析与位移预报 [J]. 岩土工程学报, 1998; 17(4).
- [2] 焦李成. 神经网络的应用与实现 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995; 85-90
- [3] 周瑞忠, 邱高翔. 基于 BP 网络的深基坑支护位移反分析 [J]. 土木工程学报, 2001, 34(6).
- [4] 白明洲, 等. 隧道围岩分级的模糊信息分析及应用研究 [J]. 铁道学报, 2001, 23(6).
- [5] 崔政权, 李宁. 边坡工程 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999; 235-237.

(上接第 43 页) 树木因居民阻拦得不到及时修整, 可能使得桥位风速观测站所测得的风速数据偏小, 计算得到的相关关系式斜率偏小, 推算结果可能偏小, 这也可能是造成桥位基本风速计算值小于风压及经验外推值的原由之一, 值得使用时注意。

(3) 鉴于设计风速对润扬长江公路大桥设计、施工、营运至关重要, 为确保润扬长江公路大桥在大风天气影响时的绝对安全, 建议桥位风速观测站进行二

期风速观测。

参考文献:

- [1] 张忠义, 刘聪, 等. 镇江—扬州长江公路大桥桥位风速观测、设计风速计算专题研究报告 [R]. 江苏省气象科学研究所, 2000.
- [2] 项海帆, 林志兴. 公路桥梁抗风设计指南 [M]. 人民交通出版社, 1996.
- [3] 谭冠日, 等. 应用气象 [M]. 上海科技出版社, 1985