

李斌喜,王芷滢,苏志,等.钦州市50年重现期基本风压及分布规律分析[J].气象研究与应用,2024,45(1):96-101.

LI Binxi, WANG Zhiying, SU Zhi, et al. Analysis of 50-year return period reference wind pressure and distribution pattern in Qinzhou [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(1): 96-101.

## 钦州市50年重现期基本风压及分布规律分析

李斌喜<sup>1</sup>, 王芷滢<sup>1</sup>, 苏志<sup>2\*</sup>, 罗红磊<sup>2</sup>, 何斌<sup>1</sup>, 韦美闹<sup>1</sup>, 郑永泉<sup>1</sup>

(1.钦州市气象局, 广西 钦州 535000; 2.广西壮族自治区气象灾害防御技术中心, 南宁 530022)

**摘要:** 利用钦州市辖区19个气象观测站建站以来至2022年的风速资料,采用数理统计等方法推算重现期为50 a的最大风速,研究分析基本风压值及其分布规律。结果表明,钦州市基本风速为 $11.7 \sim 40.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,基本风压在 $0.08 \text{ k} \sim 0.97 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间,二者总体上均呈沿海向内陆逐渐减小的分布特征。钦州国家基本气象站的基本风压计算值为 $0.51 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,与《建筑结构荷载规范》推荐值的差值最小,为 $0.04 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,可为当地提供更精细的基本风压参考。

**关键词:** 最大风速;基本风压;钦州

**中图分类号:** P41

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.1.16

钦州市地处广西南部沿海,北部湾北岸,是南向通道连接“一带一路”的陆海节点城市,也是中国—东盟自由贸易区的前沿城市和北部湾城市群的重要组成部分。近年来钦州市城市建设和发展日益迅猛,大型建筑和大跨度桥梁不断增多。由于钦州市是台风大风、冷空气大风、强对流大风多发区域,大风对大型建筑和大跨度桥梁会造成安全隐患,因此,做好结构抗风设计工作非常重要。

基本风压是建筑物抗风设计的重要参数之一,基本风压的准确推算,不仅能够有效保障建筑物的安全,还能为建筑物的设计、施工和维护提供可靠的依据。《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)<sup>[1]</sup>对钦州市而言仅有灵山县有明确的取值规定,而总面积为 $10\,897 \text{ km}^2$ 的钦州市辖区内,各地的基本风压与灵山的基本风压存在一定差异,因此,灵山的基本风压不适用于钦州市城区建筑和桥梁的抗风设计,也不适用于钦州市其他县区。为此,本文利用钦州市辖区19个气象观测站建站至2022年的风速资料,采用Gumbel极值分布、伯努利方程等数理统计方法,开展钦州市辖区基本风压分布规律分析。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

根据文献[1],计算基本风压选取年最大风速数据时,一般应有25 a以上的风速资料;当无法满足时,风速资料不宜少于10 a。钦州市范围内具有10 a以上风速资料的气象站共19个,其中钦州站(1953—2022年)、灵山站(1957—2022年)、浦北站(1957—2022年)有25 a以上的风速资料(见表1和图1)。

表1 钦州市具有10 a以上风速资料的气象站

站点	资料年限	站点	资料年限
钦州站	1953—2022	灵山站	1971—2022
浦北站	1957—2022	福旺站	2012—2022
灵东水库站	2007—2022	那思站	2007—2022
八寨沟站	2007—2022	三隆站	2007—2022
犀牛脚站	2007—2022	金康水库站	2007—2022
那蒙站	2007—2022	大庙墩岛站	2009—2022
板城站	2007—2022	青菜头岛站	2009—2022
大成站	2007—2022	思明水库站	2007—2022
石埭站	2007—2022	六硯站	2007—2022
大番坡站	2012—2022	\	\

收稿日期: 2023-11-10

基金项目: 广西气象科研计划项目(桂气科2022ZL06)

第一作者简介: 李斌喜(1980—),男,工程师,从事气象科技服务研究工作。E-mail:5870375@qq.com

\*通信作者简介: 苏志(1964—),女,正高级工程师,主要从事应用气象服务和研究工作。

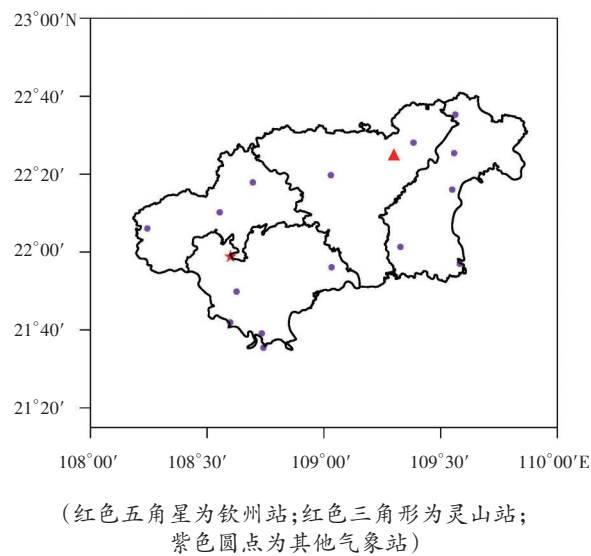


图1 钦州市气象站空间分布图

19 个气象站的最大风速数据均来源于广西壮族自治区气象信息中心,其中钦州国家基本气象站资料使用年限为 1953—2022 年,灵山国家基准气象站为 1971—2022 年,浦北国家气象观测站为 1957—2022 年,大番坡站和福旺站为 2012—2022 年,大庙墩岛站和青菜头岛站为 2009—2022 年,其余站点均为 2007—2022 年。

1.2 计算方法

1.2.1 风速序列的订正

(1) 风速的时次订正

文献[1]要求选取空旷平坦地面上 10 m 高度处、自记 10 min 年最大风速作为基础数据。钦州市 19 个站点风速仪均位于离地面 10 m 高度处,因此不需要对风速序列进行高度订正。除钦州站和浦北站外,17 个站点的最大风速均为自记 10 min 年最大风速,因此不需要进行观测时次订正。

由于钦州国家基本气象站在 2005 年后才开始有自记 10 min 最大风速的观测,1953 年至 2004 年只有定时 2 min 最大风速观测,所以需要进行风速的

时次换算<sup>[2]</sup>。利用 2005—2022 年钦州站 4 次定时 2 min 最大风速( $x$ )与自记 10 min 最大风速( $y$ )建立线性回归方程(表 2)。该回归方程通过信度  $\alpha=0.01$  的显著性检验,可用于两个时次之间的换算。

表2 4次定时2 min与自记10 min平均最大风速相关分析结果

线性回归方程式	样本数	相关系数
$y=1.0484x+0.2477$	17	0.78

浦北站在 2009 年后才有自记 10 min 最大风速观测,此前的 2 min 定时风速序列同样需要进行时次换算。浦北站的同时期风速样本较少,相关性较差,不适合用本站风速资料建立线性回归方程进行换算。而浦北站和钦州站 2016 年迁站之前的地理环境类似,通过建立浦北站和钦州站 2009—2015 年同期各月的最大风速线性回归方程(表 3),发现两个站点之间的相关性较好,通过  $\alpha=0.01$  的显著性检验,因此浦北站可采用表 2 方程进行时次换算。

表3 浦北站与钦州站 2009—2015 年自记 10 min 平均最大风速相关分析结果

线性回归方程式	样本数	相关系数
$y=0.7655x+2.0273$	84	0.67

因此,用表 2 方程建立钦州站和浦北站建站至今的自记 10 min 最大风速序列。

(2) 风速的地表修正

钦州站的历史沿革显示,钦州市在上世纪 90 年代起城市化进程明显,城市建设加速推进,道路建设和高层建筑物的数量明显增加并逐渐密集,气象站点周边环境发生明显的变化,不再属于 B 类地表(表 4)。因此从 1995 年开始,到 2016 年迁站前,按照 C 类地表类别,采用《气候可行性论证规范:抗风参数计算》<sup>[3]</sup>规定的地表修正系数对风速序列进行修正<sup>[4]</sup>。

表4 地表分类<sup>[3]</sup>

地表类别	地表状况	风速地表修正系数
A	海面、海岸、开阔水面、沙漠	1.13
B	田野、乡村、开阔平坦地及低层建筑物稀疏地区	1.00
C	树木及低层建筑物等密集地区、中高层建筑物稀疏地区	0.81
D	中高层建筑物密集地区,起伏较大的丘陵地	0.71

### (3) 风速的均一性检验

利用滑动  $t$  检验法<sup>[5]</sup>对钦州站和浦北站经上述订正后的年最大风速序列进行均一性检验。检验结果表明,钦州站和浦北站的年最大风速序列均一性很好,无突变出现。

#### 1.2.2 基本风速的推算

基本风速是指空旷平坦地面上 10 m 高度处 50 a 一遇的最大风速。本文采用国家规范《建筑结构荷载规范》推荐的极值 I 型分布函数计算 50 a 一遇最大风速。极值 I 型分布函数为:

$$R(x) = \exp(-e^{-a(x-u)}) \quad a > 0, -\infty < u < \infty \quad (1)$$

其超过保证率函数为:

$$P(x) = 1 - \exp(-e^{-a(x-u)}) \quad (2)$$

超过保证率  $P$  对应的重现期风速为:

$$X_p = -\frac{1}{a} \ln[-\ln(1-P)] + u \quad (3)$$

本文选择耿贝尔法进行极值分析。

#### 1.2.3 最大风速序列的拟合优度检验

为了验证最大风速序列是否符合极值分布,并检验其是否满足极值分布的基本假设,需要使用客观的判定方法,采用柯尔莫哥洛夫检验来进行拟合优度检验。柯尔莫哥洛夫检验方法为:

$$D_n = \max_{-\infty < x < \infty} |F_n^*(x) - G_0(x)| \quad (4)$$

式(4)中,  $F_n^*(x)$  为经验分布函数,  $G_0(x)$  为理论分布函数,  $D_n$  表示对应所有样本  $x_i$  的经验分布  $F_n^*(x)$  与理论分布  $G_0(x)$  之差的绝对最大值。给定一个小概率  $\alpha$ , 如果  $D_n < D_{\alpha}$ , 说明  $F_n^*(x)$  与  $G_0(x)$  无明显差异, 拟合结果较好。

#### 1.2.4 空气密度的计算

由于气象站没有水汽压的记录, 仅有气温和气压的观测<sup>[3]</sup>, 因此采用公式(5)计算空气密度  $\rho$ :

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (5)$$

式(5)中:  $P$  为平均大气压(单位: kPa),  $R$  为气体常数(287 J/kg·K),  $T$  为平均气温(单位: K)。

#### 1.2.5 基本风压的计算

基本风压是指在平坦的地面上, 距离地面 10 m 高处, 重现期为 50 a 的最大风速所产生的风压。本文按伯努利方程确定基本风压:

$$\omega_0 = \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad (6)$$

式(6)中:  $\omega_0$  为基本风压(单位: kN·m<sup>-2</sup>),  $P$  为空气密度(单位: t·m<sup>-3</sup>),  $v_0$  为 50 a 一遇最大风速(单位: m·s<sup>-1</sup>)。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本风速

表 4 给出钦州市 19 个站点的基本风速(50 a 一遇最大风速), 由表可见, 基本风速为 11.7 ~ 40.4 m·s<sup>-1</sup>, 最大为大庙墩岛站(40.4 m·s<sup>-1</sup>), 最小为金康水库站(11.7 m·s<sup>-1</sup>)。

图 2 为钦州市基本风速空间分布图, 由图 2 可见, 沿海站点的基本风速明显大于内陆站点, 基本风速由沿海向内陆逐渐减小, 总体呈南部大北部小的分布特征。

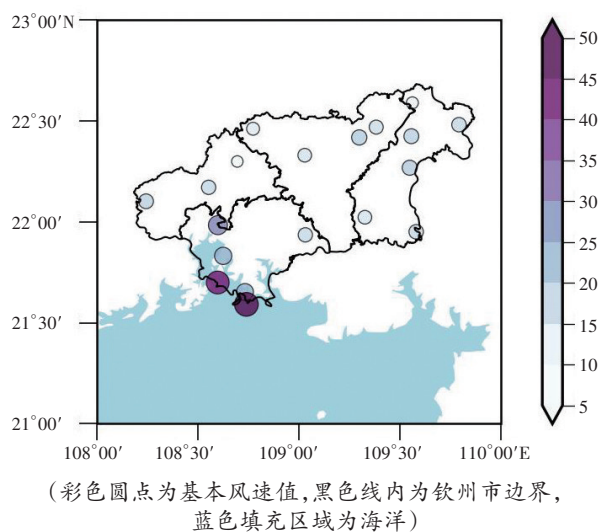


图2 钦州市基本风速空间分布图

### 2.2 最大风速序列的拟合优度检验

表 5 为钦州市 19 个站最大风速序列拟合优度检验结果, 由表可见, 各站的  $D_n$  均小于  $D_{0.05}$ , 表明拟合效果很好, 最大风速序列均符合极值 I 型分布。

### 2.3 基本风压

#### 2.3.1 气象站基本风压

表 5 为钦州市 19 个站点的基本风压。由表 5 可见, 基本风压在 0.08 ~ 0.97 kN·m<sup>-2</sup> 之间, 最大为大庙墩岛站(0.97 kN·m<sup>-2</sup>), 最小为金康水库站(0.08 kN·m<sup>-2</sup>)。基本风压的空间分布规律与基本风速基本一致, 自沿海向内陆逐渐减小, 总体呈南高北低的分布特征。

#### 2.3.2 基本风压计算值与规范推荐值的差异

《建筑结构荷载规范》仅给出灵山站的基本风压推荐值, 其余 18 个站点的推荐值根据全国基本风压分布图划定的等值线确定, 位于两条等值线之间时取中间值。表 6 列出 19 个站点基本风压计算值

表5 钦州市 50 a 一遇最大风速及最大风速序列拟合优度  
检验结果

站点	50 a 一遇最大风速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	检验参数	
		$D_n$	$D_{0.05}$
钦州站	29.3	0.155 9	0.162 6
灵山站	18.8	0.115 8	0.188 6
浦北站	18.4	0.101 6	0.172 7
灵东水库站	15.9	0.121 1	0.340 0
八寨沟站	17.7	0.047 2	0.351 2
犀牛脚站	23.2	0.144 4	0.340 0
那蒙站	20.4	0.169 0	0.340 0
板城站	13.1	0.119 6	0.340 0
大成站	18.6	0.120 7	0.340 0
石埇站	21.0	0.152 8	0.340 0
大番坡站	24.0	0.238 9	0.410 1
福旺站	18.0	0.104 5	0.410 1
那思站	20.5	0.237 0	0.340 0
三隆站	15.1	0.137 3	0.340 0
金康水库站	11.7	0.124 3	0.340 0
大庙墩岛站	40.4	0.120 8	0.377 2
青菜头岛站	37.3	0.158 4	0.377 2
思明水库站	13.5	0.158 2	0.340 0
六硯站	16.9	0.053 0	0.340 0

与《建筑结构荷载规范》推荐值及两者的差值,由表可见,钦州站基本风压计算值( $0.51\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ )与规范推荐值( $0.5\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ )的差值最小,为 $0.04\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,其次为灵山站,差值为 $0.09\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,表明钦州站和灵山站的基本风压计算值是正确的。其余 17 个站点的情况为:2 个海岛站(大庙墩岛、青菜头岛)的基本风压计算值( $0.97\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $0.82\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ )大于规范推荐值( $0.75\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $0.70\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ),差值分别为 $0.22\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $0.12\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,15 个陆地站的基本风压计算值均小于规范推荐值,差值在 $-0.38\sim -0.15\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间。由此可见,17 个站点的差值比钦州站和灵山站的差值偏大。原因可能是钦州站和灵山站的观测时间长,风速样本多,推算出来的基本风压更符合实际情况,而其余 17 个站点是区域自动站,观测时间较短<sup>[6]</sup>,风速样本少,推算出来的基本风压存在一定偏差<sup>[1]</sup>。文献[1]所采用的风速资料在 2012 年之前,距今已有 20 a 以上,期间钦州市城市化进程明显,地表环境变化大,且文献[1]用于计算的站点较少,参考意义有限。故本文的计算结果能较好地代表当地基本风压值,对于周边地区也有一定的参考意义。

表6 钦州市基本风压

站点	空气密度 ( $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$ )	50 a 一遇最大风速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	基本风压计算值 ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ )	规范推荐值 ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ )	差值 ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ )
钦州站	0.001 192	29.3	0.51	0.55	-0.04
灵山站	0.001 187	18.8	0.21	0.30	-0.09
浦北站	0.001 186	18.4	0.20	0.45	-0.25
灵东水库站	0.001 180	15.9	0.15	0.30	-0.15
八寨沟站	0.001 164	17.7	0.18	0.45	-0.27
犀牛脚站	0.001 190	23.2	0.32	0.70	-0.38
那蒙站	0.001 189	20.4	0.25	0.45	-0.20
板城站	0.001 185	13.1	0.10	0.35	-0.25
大成站	0.001 184	18.6	0.21	0.55	-0.34
石埇站	0.001 185	21.0	0.26	0.55	-0.29
大番坡站	0.001 189	24.0	0.34	0.65	-0.31
福旺站	0.001 181	18.0	0.19	0.35	-0.16
那思站	0.001 189	20.5	0.25	0.55	-0.30
三隆站	0.001 187	15.1	0.14	0.35	-0.21
金康水库站	0.001 181	11.7	0.08	0.25	-0.17
大庙墩岛站	0.001 189	40.4	0.97	0.75	0.22
青菜头岛站	0.001 188	37.3	0.82	0.70	0.12
思明水库站	0.001 182	13.5	0.11	0.30	-0.19
六硯站	0.001 168	16.9	0.17	0.35	-0.18



### 3 结论和讨论

本文对钦州市 19 个气象站的风速数据进行均一性检验和订正后,采用极值 I 型分布函数推算基本风速(50 a 一遇最大风速),结合当地空气密度,计算各站点基本风压并进行对比分析,得到以下结论:

(1)钦州市 19 个站点的基本风速为  $11.7 \sim 40.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最大为大庙墩岛站( $40.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),最小为金康水库站( $11.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),基本风速由沿海向内陆逐渐减小,总体呈南高北低的分布特征,与文献[7-8]研究结论基本一致。

(2)钦州市 19 个站点的基本风压在  $0.08 \sim 1.09 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  之间,最大为大庙墩岛站( $1.09 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ),最小为板城站和金康水库站( $0.08 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ )。基本风压呈现南高北低,由沿海向内陆逐渐减小分布特征。

(3)钦州市 19 个站点的基本风压计算值与规范推荐值相比,钦州站的差值最小,为  $0.04 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,其次为灵山站,差值为  $0.09 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,其余 17 个站点差值大于  $0.15 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

由于本文有部分站点风速资料不足 25 a,强台风等造成风速较大的极端天气的资料相对较少<sup>[9-10]</sup>,加上城市化进程的影响<sup>[11]</sup>,导致分析结果可能存在一定的误差和不确定性,未来需要进一步收集更长时段的气象观测数据,以提高钦州市基本风压分析的准确性和可靠性。

#### 参考文献:

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国

国家质量监督检验检疫总局. 建筑结构荷载规范:GB 50009—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.

[2] 苏志,张瑞波,周绍毅,等. 北部湾沿海基本风压和阵风风压分析[J]. 热带地理,2010,30(2):141-144.

[3] 中国气象局. 气候可行性论证规范:抗风参数计算:QX/T 436—2018[S]. 北京:气象出版社,2018.

[4] 陈凯,金新阳,钱基宏. 考虑地貌修正的基本风压计算方法研究[J]. 北京大学学报(自然科学版),2012,48(1):13-19.

[5] 周洋洋,吴滨. 年最大风速系列的均一性检验与订正应用研究[J]. 电力勘测设计,2019(增刊1):162-167,174.

[6] 姜喜庆,李瑞鸽,李骞,等. 气象观测数据不足的沿海地区基本风压取值方法研究——以台州市为例[J]. 台州学院学报,2018,40(6):50-57,63.

[7] FENG Y C, QUE L J, FENG J M. Spatiotemporal characteristics of wind energy resources from 1960 to 2016 over China[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2020, 13(2): 136-145.

[8] 韦春苗,赖晟,谭苏. 1951—2018 年华南地区冬夏季风变化特征分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(增刊1):44-48.

[9] 姚才,罗小莉,张成扬,等. 7-9 月登陆华南台风气候变化特征及大尺度环流系统分析[J]. 气象研究与应用,2019,40(1):1-6,10.

[10] 赵飞,潘静,于潇,等. 钦州港海域大风日数时空分布特征分析[J]. 气象研究与应用,2018,39(3):26-29.

[11] 吴婕,徐影,师宇. 华南地区城市化对区域气候变化的影响[J]. 气候与环境研究,2015,20(6):654-662.

## Analysis of 50-year return period reference wind pressure and distribution pattern in Qinzhou

LI Binxi<sup>1</sup>, WANG Zhiying<sup>2</sup>, SU Zhi<sup>2\*</sup>, LOU honglei<sup>2</sup>, HE Bin<sup>1</sup>, WEI Meinao<sup>1</sup>, ZHENG Yongquan<sup>1</sup>

( 1. Qinzhou Meteorological Bureau, Guangxi Qinzhou 535000, China;

2. Guangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanning530022, China)

**Abstract:** Using the wind speed data of 19 meteorological observation stations in Qinzhou City since the establishment of the station until 2022, the maximum wind speed with a 50-year return period was projected and then the value of the reference wind pressure was determined. The results show that the basic wind speeds at each station range from  $11.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  to  $40.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , and the reference wind pressures range from  $0.08 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  to  $0.97 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ , both of which show a gradual decreasing distribution from the coast to the inland. The calculated value of the reference wind pressure at the Qinzhou National Meteorological Station is  $0.51 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ , and the difference with the recommended value of the Load code for the design of building structures is the smallest, which is  $0.04 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ , which can provide a finer reference of the reference wind pressure for the present Qinzhou area.

**Key words:** maximum wind speed; reference wind pressure; Qinzhou