

徐卫忠, 史军, 穆海振. 2018. 上海地区沿海(江)岸非汛期不同重现期最大风速估算[J]. 气象与减灾研究, 41(1):44-50.

Xu Weizhong, Shi Jun, Mu Haizhen. 2018. Estimation of the maximum wind speed in different return periods in Shanghai coastal areas during non-flood season[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 41(1):44-50.

## 上海地区沿海(江)岸非汛期不同重现期最大风速估算

徐卫忠, 史军, 穆海振

上海市气候中心, 上海 200030

**摘要:** 非汛期不同重现期最大风速是沿海(江)岸堤防设计标准、工程安全性和投资成本估算的一个重要参数。文中基于上海崇明、宝山、南汇、奉贤和金山 5 个沿海(江)岸气象站历史风速观测资料和横沙岛测风塔 10 m 高度逐日最大风速资料, 采用极值 I 型分布估算了上海地区沿海(江)岸非汛期(1—5 月和 10—12 月)各风向不同重现期最大风速。结果表明, 上海地区沿海(江)岸非汛期的最大风速以 W 风最大, SW 风最小。沿海(江)岸非汛期 50 a 一遇最大风速为 23.3—28.3 m/s, 小于上海地区基准风速(30.0 m/s)。各地非汛期不同风向 50 a 一遇最大风速的最大差值为 3.4—8.1 m/s, 同一重现期各地沿海(江)岸 10 m 高度最大风速极值也相差较大。崇明区域非汛期沿海(江)岸最大风速最大, 其次是南汇区域, 宝山区域最小。上海地区最大风速一般都出现在沿海地带, 其分布与上海实际地理、地表状况相符。

**关键词:** 最大风速, 重现期, 极值 I 型分布, 非汛期

中图分类号: P466

文献标识码: A

文章编号: 1007-9033(2018)01-0044-07

doi: 10.12013/qxyjzj2018-006

## Estimation of the Maximum Wind Speed in Different Return Periods in Shanghai Coastal Areas during Non-Flood Season

Xu Weizhong, Shi Jun, Mu Haizhen

Shanghai Climate Center, Shanghai 200030, China

**Abstract:** The maximum wind speed of different recurrence periods is an important parameter in the design standards, engineering safety and investment cost estimation for coastal embankments during non-flood season. Based on the historical wind speed observation data of meteorological stations and daily maximum wind speed data at 10 m altitude of the anemometer tower of Hengsha Island in Shanghai during February 2009 to March 2010, the maximum wind speed of different recurrence periods was estimated in Shanghai coastal areas during non-flood season by using extreme value type I distribution. The results showed that the maximum wind speed during non-flood season was the largest in westerly wind direction and the smallest in southwest direction. Maximum wind speed of 50-year recurrence period was 23.3 – 28.3 m/s during non-flood season, which was less than the reference wind speed (30.0 m/s) recorded in “Architectural Structure Load Standards” for Shanghai. The maximum difference among different wind directions was 3.4 – 8.1 m/s in Shanghai for the 50-year recurrence period during non-flood season, and the extreme values of maximum daily wind speed at 10m altitude also showed great difference among the study areas during the same recurrence period. The wind speed in Chongming coastal areas was the maximum during non-flood season, followed by Nanhui, and the wind speed in Baoshan coastal areas was the minimum. The maximum wind speed generally appeared in the seaboard in Shanghai. The distribution of the maximum wind speed was in good agreement with the actual geography and surface conditions.

收稿日期: 2017-05-08; 修订日期: 2017-09-18.

基金项目: 中国气象局气候变化专项(编号:CCSF201716); 中国清洁发展机制基金赠款项目(编号:2012043).

作者简介: 徐卫忠, 高级工程师, 主要从事气候资料处理和气候可行性论证研究, E-mail: xuwz@climate.sh.cn.

**Key words:** maximum wind speed; recurrence period; extreme value type I distribution; non-flood season

## 0 引言

上海地处长江三角洲前缘,东濒东海,南临杭州湾,北接长江入海口,属典型的平原感潮河网地区。特殊的地理位置,使得上海易受台风、暴雨、高潮、洪涝等自然灾害袭击(Shi and Cuil, 2012)。上海抵御外围台风高潮侵袭主要依靠沿海(江)海塘防线和黄浦江防汛墙防线,这两道防线是保障城市防汛安全的重要生命线。上海地区按照不足 100 a 一遇潮位加 11 级风标准设防的海塘有 117.2 km, 占总数的 22.4%(刘新成等, 2015)。因钻探、建设水闸等堤防构筑物,或穿堤管道、缆线铺设等工程建设的需要,有时在非汛期要对现有海塘进行开缺。开缺期间,往往通过建设临时堤防来承担因海塘开缺造成的部分防汛功能,各风向不同重现期最大风速是影响临时堤防设计标准的一个重要参数,关系到工程的安全性设计和投资成本估算。然而,由于人们更多地关注汛期防灾减灾以及观测资料的限制,目前对非汛期的灾害研究主要集中于降水(谢毅文等, 2012),对沿海(江)岸地带的重现期风速还未见相关报道。

关于极值风速分布和估算,一些学者进行了相关的研究,如薛桁等(2002)对天津渤海湾观测试验表明,在距离海岸线 10 km 的范围内,风速随距海距离呈负斜率线性衰减,随着向陆上的延伸(10 km 以外),风速呈指数型曲线缓慢衰减,且有逐渐接近常值的趋势。黄世成等(2009)依据有 99% 置信区间的数理重构方案和极值 I 型方法,给出了长江下游 100 a 一遇的风速分布。张容焱等(2010)利用泊松-耿贝尔(Poisson-Gumbel)联合极值风速计算方法,估算了中国沿海各气象站台风影响大风的多年一遇风工程设计最大风速。马玉峰等(2015)采用极值 I 型分布估算方法,给出了内蒙古东部地区重现期 30、50 和 100 a 的极值风速分布,并分析了 1980—2010 年最大风速和极值风速的分布特征。

近地层风受地理及地表状况的影响很大,随着城市建设规模不断扩大,建筑物逐渐增多、增密、增高导致下垫面粗糙度增大,气象站测得的最大风速也有减小的趋势。如果仅用与海(江)岸带相距数千米至十几千米的邻近气象站风资料代替沿海(江)岸带的风况,沿海(江)岸带的风速与其邻近的气象台站同期观测资料存在明显差异(黄世成等, 2009; 陈燕等, 2014)。基于此,文中基于气象站常规观测资

料和海(江)岸带测风塔观测资料,利用历史风速序列重构方案和极值 I 型分布方法,计算了沿海(江)岸带非汛期各风向不同重现期的风速,并经 1901—2014 年非汛期(1—5 月和 10—12 月)最大风速长时间序列计算结果的差值订正,得到上海地区沿海(江)岸带非汛期各风向不同重现期的 10 min 平均最大风速,以期工程应用提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

文中使用的资料为 1974 年 1 月—2014 年 12 月上海市崇明、宝山、南汇、奉贤和金山 5 个沿海(江)岸气象站和松江、青浦、嘉定、闵行、浦东、徐家汇 6 个内陆气象站逐日最大风速、风向数据,以及上海徐家汇气象站 1901—2014 年历年非汛期(1—5 月和 10—12 月,下同)最大风速数据,其中 1901—1970 年为徐家汇(或龙华)气象站的观测数据,1971—2014 年用闵行气象站的观测数据代替。这些数据均来自于上海市气候中心,均经过初步的质量控制。

2009 年 1 月,为满足上海市沿海地区风能调查工作的需要,在横沙岛东北角海岸边设立一座高 100 m 的测风塔,该测风塔周围空旷无建筑物且地势平坦,观测数据完全能代表沿海(江)岸带的风速特征。文中选取 2009 年 2 月—2010 年 3 月测风塔 10 m 高度处的逐日最大风速。各沿海(江)岸气象站和测风塔的具体位置如图 1 所示。

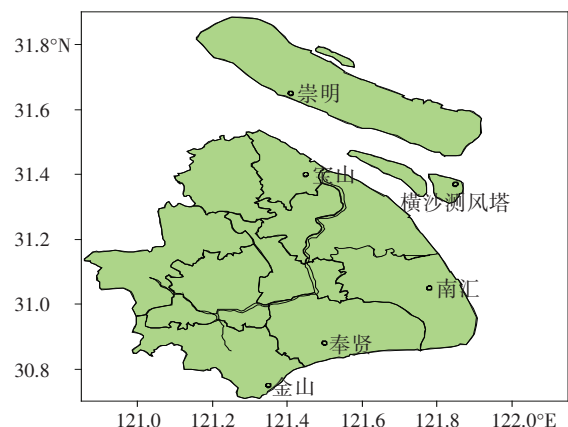


图 1 上海地区沿海(江)岸带气象站和测风塔分布

Fig. 1 Spatial distribution of the meteorological stations and anemometer tower in the coastal areas of Shanghai

## 1.2 方法

### 1.2.1 不同风向历年非汛期最大风速序列的构建

气象站日风向记录 16 个方位的最大风速(中国气象局,2007)。为了便于分析,从各气象站历年非汛期逐日风向为 NNW、N、NNE 的最大风速中挑选最大值作为该年 N 方位的非汛期最大风速,从非汛期逐日风向为 NNE、NE、ENE 的最大风速中挑选最大值作为该年 NE 方位的非汛期最大风速,以此类推,可得到 E、SE、S、SW、W 和 NW 方位的最大风速。最终得到 1974—2014 年崇明、宝山、南汇、奉贤和金山 5 个气象站 8 个风向的历年非汛期最大风速序列。

### 1.2.2 内陆历年非汛期最大风速序列的建立

文中 1901—1953 年历年非汛期最大风速来自于徐家汇气象站的观测数据,取自《上海气象资料(1873—1972)》(上海市气象局,1974)。最大风速取 1 h 平均风速,测风高度介于 35—41 m,将这些测风风速转换为 10 m 高度的 10 min 平均风速。根据 10 min 平均风速与 1 h 平均风速的时距关系(史军等,2015)),将 1 h 风速转换成 10 min 风速,并根据风速随高度变化的指数公式(幂指数取 0.16),得到 10 m 高度 10 min 平均最大风速。

1953—1970 年风速数据取自龙华气象站非汛期的观测数据。考虑到 20 世纪 70 年代以后徐家汇周边城市化对风速观测资料的影响,文中 1971—2014 年风速数据来自闵行气象站的非汛期观测资料。最后,获得 1901—2014 年上海地区内陆历年非汛期最大风速序列。

### 1.2.3 沿海(江)岸带历年最大风速序列的建立

由于上海地区面积不大,往往处于同一大气环流系统背景下。相距不远的气象测站尽管在地理环境上略有差异,但在气象要素变化上存在一定程度的统计关联。基于 2009 年 2 月—2010 年 3 月横沙岛测风塔 10 m 高度逐日最大风速,分别统计分析了横沙岛测风塔与崇明、宝山、南汇、奉贤和金山 5 个气象站同期日最大风速的相关性(样本数达 424 个),采用统计量  $t$  检验相关系数的显著性,检验结果表明,相关系数为 0.65—0.79,均通过了信度 0.01 的显著性检验,表明横沙岛测风塔的风速与这 5 个气象站显著相关。

常规气象资料序列订正延长的方法主要有回归法、差值法和比值法。对于最大风速、降水量等离散程度较大的气象要素序列通常采用比值法。在大尺度环流背景下,相邻测站风速的比值往往比差值更

稳定。文中需订正延长的测站风速  $y$  与参照气象站风速  $x$  之间构成以下关系:

$$k = \bar{x} / \bar{y} \quad (1)$$

式中, $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  分别是订正延长测站和参照气象站观测期间风速平均值。考虑本研究关注的是大风情况,故选择各气象站日最大风速  $\geq 8$  m/s 的风速样本平均值为  $\bar{x}$ ,同期的横沙岛测风塔的风速样本平均值为  $\bar{y}$ ,得到横沙岛测风塔风速与崇明、宝山、南汇、奉贤、金山气象站风速的比值( $k$ )分别为 1.18、1.15、1.16、1.13、1.08。以  $k$  值作为气象站风速换算至相对应的沿海(江)岸带风速的订正系数,将 1.2.1 节中得到的各气象站 8 个风向历年最大风速乘以  $k$ ,得到崇明、宝山、南汇、奉贤和金山 5 个区域沿海(江)岸带的最大风速序列。

### 1.2.4 极值 I 型概率分布

采用国家住房和城乡建设部(2012)制定的《建筑结构荷载规范(GB50009—2012)》(以下简称规范)中推荐的极值 I 型概率分布和修正的参数矩估法,计算不同重现期的最大风速:

$$V_{n_{\max}} = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[ \ln \left( \frac{n}{n-1} \right) \right] \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{c_1}{\sigma}, u = \mu - \frac{c_2}{\alpha} \quad (3)$$

式中, $\mu$  为分布参数均值, $\sigma$  为标准差,其计算式:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i, \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \mu)^2} \quad (4)$$

其中, $V_i$  为连续  $n$  年最大风速样本序列, $c_1$  和  $c_2$  为修正矩估法参数。

## 2 沿海(江)岸带非汛期最大风速估算

### 2.1 最大风速计算

图 2 给出了基于克里格插值方法绘制的 1974—2014 年上海地区非汛期 11 个人工气象站最大风速空间分布。分析发现,上海地区中心城区非汛期最大风速最小,为 14 m/s;而崇明、奉贤和南汇区域较大,为 18.7—20.0 m/s。由此可见,最大风速存在较为明显的沿海—内陆差异。

基于 1974—2014 年 5 个气象站附近沿海(江)岸带非汛期 8 个风向最大风速序列,采用极值 I 型分布估算获得上海地区非汛期沿海(江)岸带不同重现期(5、10、20、30、50、100、200 a)8 个风向的最大风速。5 个气象站附近沿海(江)岸带非汛期 8 个风向的最大风速的拟合优度都通过了信度 0.05 的 K-S 法显著性检验。因此,各气象站拟合曲线与经验分

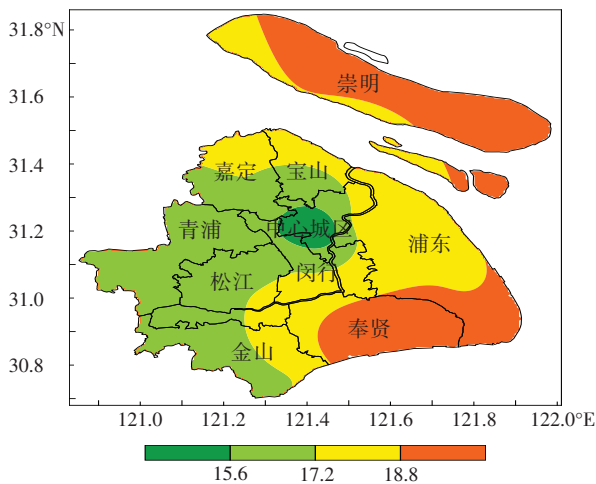


图2 1974—2014年上海地区非汛期最大风速空间分布(单位:m/s)

Fig. 2 Spatial distribution of maximum wind speed in Shanghai during the non-flood season (unit:m/s)

布拟合良好,推算的设计风速合理。

从各气象站8个风向的最大风速中挑选最大值,获得上海地区沿海(江)岸带非汛期不同重现期10 m高度最大风速极值(图3)。结果表明,5 a一遇10 m高度极值风速为13.9—17.5 m/s,10 a一遇为15.3—19.4 m/s,20 a一遇为16.7—21.1 m/s,30 a一遇为17.5—22.2 m/s,50 a一遇为18.5—23.5 m/s,100 a一遇为19.8—25.3 m/s,200 a一遇为21.2—27.5 m/s。沿海(江)岸带各重现期最大风速极值均以宝山区域最小,崇明或南汇区域最大。

以与工程设计密切相关的50 a一遇非汛期最大风速(表1)为例,上海地区沿海(江)岸带非汛期

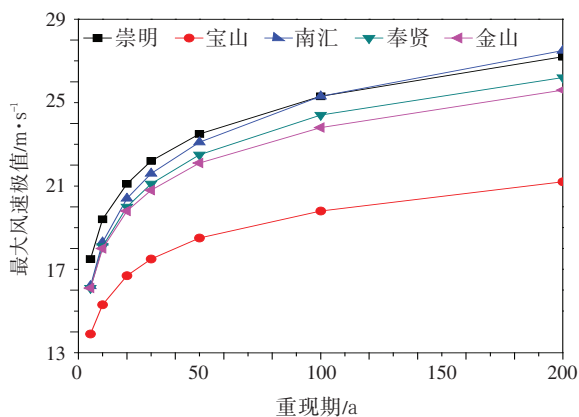


图3 上海地区沿海(江)岸带非汛期不同重现期10 m高度最大风速极值

Fig. 3 The extreme values of daily maximum wind speed for different recurrence periods at 10 m altitude in Shanghai coastal areas during the non-flood season

的风速极值为18.5—23.5 m/s,小于《规范》中上海地区的基准风速(30.0 m/s)。整体而言,宝山区域沿海(江)岸带非汛期最大风速最小,崇明区域极值风速最高。分析上海地区5个气象站各风向的极值风速发现,NW风向的极值风速最大,其次是W风向,SW风向的最小。

## 2.2 最大风速订正

分别利用1901—2014年和1974—2014年非汛期上海地区内陆10 m高度10 min平均最大风速序列(不分风向)计算非汛期不同重现期的最大风速。结果表明,利用长序列资料计算得到的风速明显大于短序列的风速,将非汛期各重现期最大风速的差值(表2)作为对8个风向不同重现期最大风速的订正值,最终得到非汛期上海地区沿海(江)岸带8个风向不同重现期的10 m高度10 min平均最大风速。

经过订正以后,获得上海地区沿海(江)岸带非汛期不同重现期10 m高度最大风速极值。分析可知,风速极值随着重现期的增加而缓慢增大,同一重现期内不同区域风速极值的差异比较大。5 a一遇极值风速为17.4—21.0 m/s,10 a一遇为19.2—23.3 m/s,20 a一遇为20.9—25.3 m/s,30 a一遇为22.0—26.7 m/s,50 a一遇为23.3—28.3 m/s,100 a一遇为25.0—30.5 m/s,200 a一遇为26.8—33.1 m/s。虽然沿海(江)岸带的50 a一遇非汛期最大风速(23.3—28.3 m/s)小于《规范》中推荐的上海地区基准风速(30.0 m/s),但是文中给出的结果是非汛期的,基本上不受台风影响,因此符合实际情况。

上海地区沿海(江)岸带非汛期最大风速以W风向的最大,SW风向的最小。以50 a一遇的最大风速为例,各站不同风向最大风速的差值为3.4—8.1 m/s。50 a一遇N风向最大风速为27.1 m/s,NE风向为25.1 m/s,E风向为24.4 m/s,SE风向为25.2 m/s,S风向为22.4 m/s,SW风向为22.2 m/s,W风向为28.3 m/s,NW风向为28.2 m/s。空间分布上,崇明区域非汛期沿海(江)岸风速最大,其次是南汇区域,宝山区域相对最小。非汛期50 a一遇最大风速,崇明区域为28.3 m/s,南汇区域为27.9 m/s,奉贤区域为27.34 m/s,金山区域为26.9 m/s,宝山区域为23.3 m/s。

## 2.3 不同重现期最大风速

根据1974—2014年上海地区11个人工气象站非汛期最大风速和沿海(江)岸带非汛期最大风速,

表1 上海地区沿海(江)岸带非汛期10 m高度50 a一週最大风速(单位:m/s)

Table 1 The maximum wind speed of 50-year return period at 10 m altitude in Shanghai coastal areas during the non-flood season (unit: m/s)

站名	风向							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
崇明	22.3	20.3	19.6	20.4	16.9	15.8	23.5	23.4
宝山	18.2	17.6	17.6	16.4	15.1	17.4	17.9	18.5
南汇	20.3	18.7	18.3	19.1	17.6	15.0	23.0	23.1
奉贤	19.3	16.3	14.8	16.0	16.4	15.6	22.4	22.5
金山	19.2	17.2	16.0	17.3	16.3	16.0	21.2	22.1

表2 上海地区内陆非汛期不同重现期最大风速极值比较(单位:m/s)

Table 2 The comparison of maximum wind speed for different return periods in Shanghai inland areas (unit: m/s)

序列	重现期/a						
	5	10	20	30	50	100	200
1901—2014年	17.4	19.7	21.9	23.2	24.8	27.0	29.1
1974—2014年	13.9	15.8	17.7	18.7	20.0	21.8	23.5
差值	3.5	3.9	4.2	4.5	4.8	5.2	5.6

基于极值 I 型分布估算和长序列计算订正结果,利用 Kriging 插值方法得到 1974—2014 年上海地区非汛期 30、50 和 100 a 重现期最大风速极值的分布(图 4)。分析发现,最大风速极值的空间分布在沿

海—内陆和中心城区—郊区之间存在较明显的差异。总体而言,中心城区 50 a 重现期的最大风速极值最小,为 24.0 m/s 左右,而崇明东部和浦东南部(南汇)区域最大,为 28.0 m/s 左右。

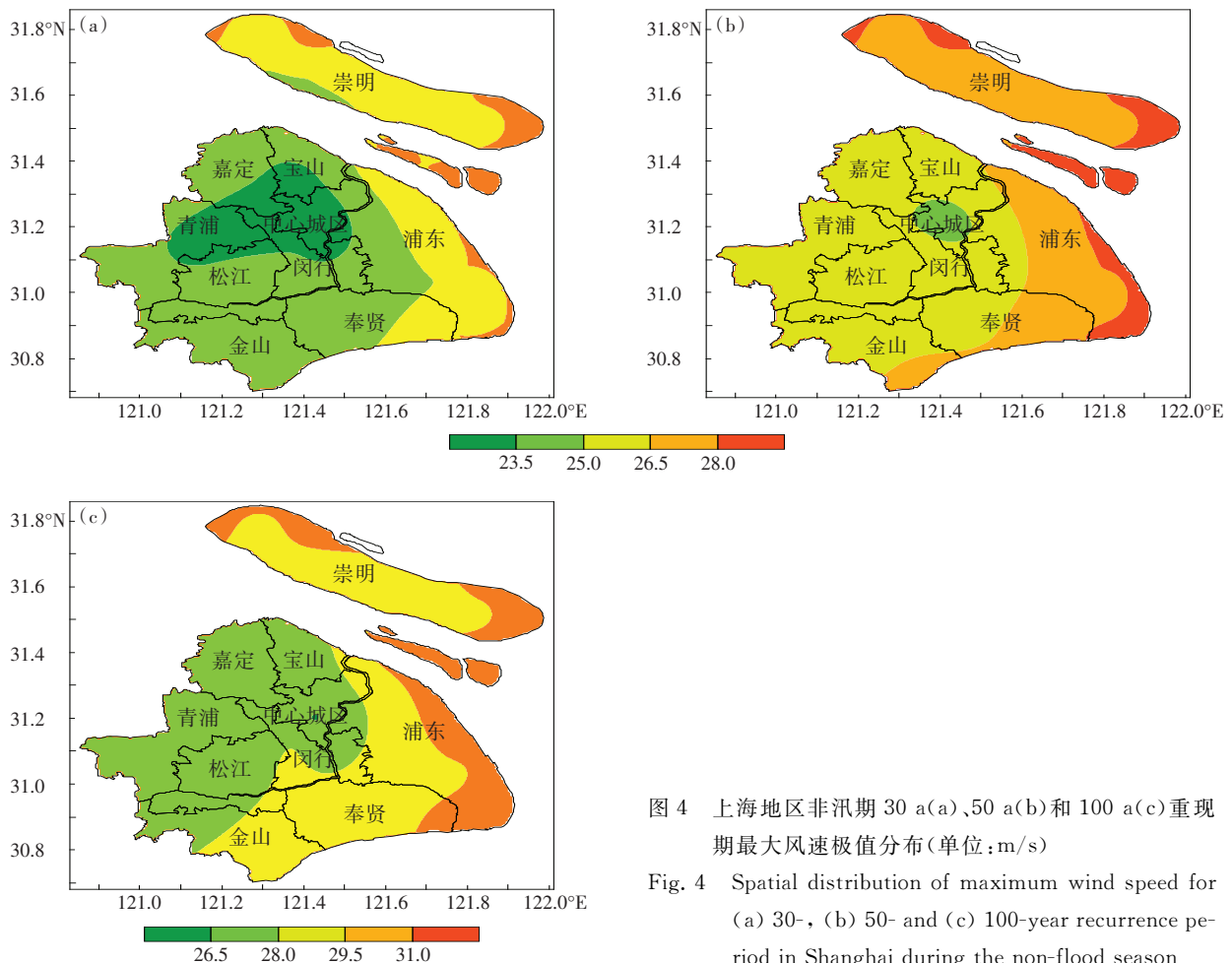


图4 上海地区非汛期30 a(a)、50 a(b)和100 a(c)重现期最大风速极值分布(单位:m/s)

Fig. 4 Spatial distribution of maximum wind speed for (a) 30-, (b) 50- and (c) 100-year recurrence period in Shanghai during the non-flood season

## 2.4 非汛期与全年最大风速对比

基于全年资料计算上海地区沿海(江)岸带不同重现期 8 个风向的最大风速。以 50 a 一遇最大风速为例(表 3),分析发现,上海地区沿海(江)岸带的最大风速极值为 27.5—31.5 m/s,而非汛期 50 a 一遇为 23.3—28.3 m/s。前者中,南汇区域的最大风速最大(31.5 m/s),其次是崇明区域(30.0 m/s),

稍大于《规范》中推荐的上海地区基准风速(30.0 m/s),宝山区域最小,较基准风速略小,此分布与上海地区实际地理和地表状况相符。受台风影响,上海地区最大风速一般都出现在南汇区域沿海地带。非汛期崇明区域沿海(江)岸带风速最大,其次是南汇区域,这与上海地区非汛期的大风主要由寒潮引起的相符。

表 3 上海地区沿海(江)岸带 10 m 高度 50 a 一遇最大风速(单位:m/s)

Table 3 The maximum wind speed of 50-year recurrence period at 10 m altitude in Shanghai coastal areas

站名	风向							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
崇明	30.1	27.5	30.6	27.6	27.2	30.1	27.5	30.6
宝山	28.0	27.1	31.5	27.6	26.8	28.0	27.1	31.5
南汇	26.9	26.7	28.0	25.9	27.8	26.9	26.7	28.0
奉贤	29.1	23.7	26.4	24.7	26.4	29.1	23.7	26.4
金山	26.4	22.1	26.6	22.9	25.0	26.4	22.1	26.6

## 3 讨论

由于气流受地面摩擦的影响,风速强度由沿海(江)向内陆逐渐衰减。上海地区沿海(江)国家气象站距海(江)边均有一定距离,而海(江)堤工程濒临江海,在大风情况下,工程点的风速较气象站风速要大很多。因此,在选用气象站风速计算成果时,必须考虑风速随海(江)边距离的衰减变化。同时,风是受地形、地理及周围环境影响最大,且空间变化显著的气象要素。由于气候变化以及城市化进程加快,上海地区年平均最大风速呈现明显减小的趋势(图 5),因此,基于上海地区 1901—2014 年和 1974—2014 年不同样本量的最大风速序列计算各重现期的最大风速必然存在较大差异(表 2)。

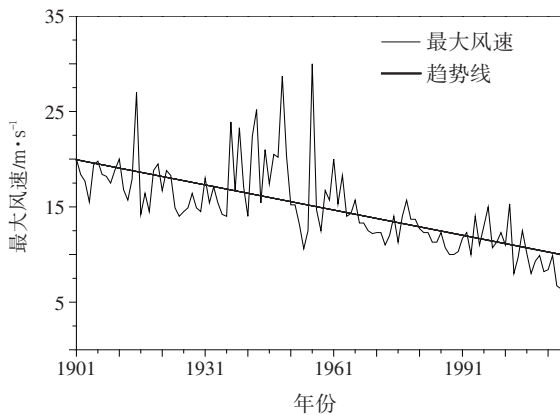


图 5 1901—2014 年上海地区最大风速随时间变化

Fig. 5 The inter-annual variation of maximum wind speed in Shanghai during 1901-2014

以建筑工程设计 50 a 一遇的非汛期基准风速为例,研究发现上海地区崇明区域沿海(江)岸非汛期最大风速最大,为 28.3 m/s,其次是南汇区域沿海(江)岸,为 27.9 m/s,宝山相对最小。这种分布符合上海地区非汛期大风主要是由寒潮引起的,也符合上海地区实际地理及地表状况,即上海地区的最大风速一般都出现在沿海地带。黄世成等(2009)曾利用 2000—2006 年长江下游沿江 8 个风观测点与邻近气象站同步对比观测资料以及长江下游 40 个气象站长期的风资料,给出长江下游 100 a 一遇风速分布状况,结果表明长江入海口南通—崇明段附近的 100 a 一遇最大风速为 32—34 m/s,与崇明区域非汛期 100 a 一遇最大风速 30.5 m/s 接近。文中用全年的资料计算崇明区域 100 a 一遇的最大风速为 32.7 m/s。因此,文中结果与已有的研究结论一致。

## 4 小结

文中利用上海气象站历史风速观测资料和横沙岛测风塔 10 m 高度逐日最大风速资料,采用极值 I 型分布估算了上海地区沿海(江)岸带非汛期各风向不同重现期最大风速,得到:

1) 上海地区非汛期最大风速中心城区最小,最大风速为 14 m/s,而崇明、奉贤和南汇区域最大,为 18.7—20.0 m/s。

2) 上海地区沿海(江)岸带非汛期不同重现期 10 m 高度最大风速极值差异较大,其中 10 a 一遇为 19.2—23.3 m/s,30 a 一遇为 22.0—26.7 m/s,

50 a 一遇为 23.3—28.3 m/s, 100 a 一遇为 25.0—30.5 m/s, 200 a 一遇为 26.8—33.1 m/s。沿海(江)岸带非汛期 50 a 一遇最大风速小于上海地区基准风速(30.0 m/s)。

3) 上海地区沿海(江)岸带非汛期的最大风速极值以 W 风向的最大, SW 风向的最小; 崇明区域最大, 其次是南汇区域, 宝山区域相对最小。以 50 a 一遇的最大风速极值为例, W 风向为 28.3 m/s, SW 风向为 22.2 m/s; 崇明区域为 28.3 m/s, 南汇区域为 27.9 m/s, 宝山区域为 23.3 m/s。

4) 上海地区沿海(江)岸带 50 a 一遇的最大风速极值为 27.5—31.5 m/s, 其中南汇区域的最大(31.5 m/s), 其次是崇明区域(30.0 m/s), 稍大于基准风速(30.0 m/s)。

#### 参考文献 (References)

- 陈燕, 程婷, 李进喜. 2014. 江苏沿海风速空间衰减规律研究[J]. 高原气象, 33(4):1086-1092. Chen Y, Cheng T, Li J X. 2014. Study on spatial attenuation of wind speed in the coast area of Jiangsu [J]. Plateau Meteorol, 33(4):1086-1092. (in Chinese)
- 国家住房和城乡建设部, 国家质量监督检验检疫总局. 2012. 建筑结构荷载规范(GB 50009—2012)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社:1-246. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. 2012. GB 50009—2012 Load code for the design of building structures[S]. Beijing: China Architecture & Building Press:1-246. (in Chinese)
- 黄世成, 周嘉陵, 任健, 等. 2009. 长江下游百年一遇的极值风速分布[J]. 应用气象学报, 20(4):437-442. Huang S C, Zhou J L, Ren J, et al. 2009. Speed distribution of 100-year extreme winds in lower-reaches of the Yangtze [J]. J Appl Meteor Sci, 20(4):437-442. (in Chinese)
- 刘新成, 卢永金, 崔冬. 2015. 上海海塘防汛墙防汛能力评估及对策研究[J]. 中国防汛抗旱, 25(6):48-52. Liu X C, Lu Y J, Cui D. 2015. Evaluation of flood prevention abilities of seawall and countermeasures in Shanghai [J]. China Flood Drought Management, 25(6):48-52. (in Chinese)
- 马玉峰, 宋进华, 高春香. 2015. 内蒙古东部电网最大风速及其重现期极值分布特征[J]. 气象科技, 43(1):102-167. Ma Y F, Song J H, Gao C X. 2015. Distribution of maximum wind and extreme wind speeds in eastern Inner Mongolia power grid[J]. Meteor Sci Technol, 43(1):102-167. (in Chinese)
- 上海市气象局. 1974. 上海气象资料 1873—1972[R]. 上海: 上海市气象局:1-291. Shanghai Meteorological Bureau. 1974. Shanghai Meteorological Data 1873 - 1972[R]. Shanghai: Shanghai Meteorological Bureau:1-291. (in Chinese)
- 史军, 徐家良, 谈建国, 等. 2015. 上海地区不同重现期的风速估算研究[J]. 地理科学, 35(9):1191-1197. Shi J, Xu J L, Tan J G, et al. 2015. Estimation of wind speeds for different recurrence intervals in Shanghai [J]. Scientia Geographica Sinica, 35(9):1191-1197. (in Chinese)
- Shi J, Cui L L. 2012. Characteristics of high impact weather and meteorological disaster in Shanghai, China [J]. Nat Hazards, 60:951-969.
- 谢毅文, 陶谨, 梁健, 等. 2012. 广东省汛期及非汛期最大日降雨量时空特征分析[J]. 人民长江, 43(15):68-72. Xie Y W, Tao J, Liang J, et al. 2012. Analysis of spatial-temporal distribution feature of maximum daily precipitation in flood period and non-flood period in Guangdong Province [J]. Yangtze River, 43(15):68-72. (in Chinese)
- 薛桁, 朱瑞兆, 杨振斌. 2002. 沿海陆上风速衰减规律[J]. 太阳能学报, 23(2):207-210. Xue H, Zhu Y Z, Yang Z B. 2002. Study on land wind speed variation in coastal area [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 23(2):207-210. (in Chinese)
- 张容焱, 张秀芝, 蔡连娃. 2010. 沿海风工程设计风速中泊松-耿贝尔法的应用[J]. 应用气象学报, 21(2):237-242. Zhang R Y, Zhang X Z, Cai L W. 2010. Application of Poisson-Gumbel distribution to wind speed calculation for the southeast coastland of China [J]. J Appl Meteor Sci, 21(2):237-242. (in Chinese)
- 中国气象局. 2007. 地面气象观测规范第四部分: 天气现象观测(QX/T 48—2007)[S]. 北京: 气象出版社:1-10. China Meteorological Administration. 2007. Specifications for surface meteorological observation. Part IV: Observation of weather phenomenon (QX/T 48—2007) [S]. Beijing: China Meteorological Press:1-10. (in Chinese)