

Probability distribution of wind speeds in the coast of Hebei

Lili Shen

Hebei Meteorological Observatory
Shijiazhuang, China
Shenlily999@126.com

Linxue Long

Hebei Meteorological Observatory
Shijiazhuang, China

Ming Yang

Hebei Provincial Climate Center
Shijiazhuang, China

Yongqing Han

Hebei Meteorological Observatory
Ji nan, China

Xiaoliang Yang

Hebei Meteorological Observatory
Shijiazhuang, China

Hongming Guo

Qinhuangdao Meteorological Observatory
Qinhuangdao, China

河北省沿海风速概率分布研究

申莉莉

河北省气象台
石家庄 050021, 中国
Shenlily999@126.com

隆璘雪

河北省气象台
石家庄 050021, 中国

杨铭

河北省气候中心
石家庄 050021, 中国

韩永清

山东省气象台
济南 250000, 中国

杨晓亮

河北省气象台
石家庄 050021, 中国

郭鸿鸣

秦皇岛市气象台
秦皇岛 066000, 中国

Abstract—Based on the wind data from 1981 to 2017 of seven national stations along the coast of Hebei Province, the distribution of annual maximum wind and the extreme wind of each station were established by using the Generalized Extreme Value distribution model, and the corresponding wind speeds for different return periods were calculated. By using the continuous wind data of eight coastal stations from 2016 to 2017, the probability density distribution function of wind speeds at each station and the occurrence probability of wind speeds at different levels were obtained through statistical analysis.

The results show that the annual maximum wind of each station with return periods of 2 years, 10 years, 20 years, 50 years and 100 years were 13.6m/s, 17.1m/s, 18.2m/s, 19.4m/s and 20.3 m/s respectively. But that of the annual extreme wind speed were 22.3m/s, 27.6m/s, 29.4m/s, 31.6m/s and 33.2m/s .The annual extreme wind speed appeared most frequently in April, March and June. For 10-minute average wind speed, the highest probability of occurrence was level 2, followed by level 3, their sum can reach 62% , and the maximum value of speed can reach level 10. The extreme wind speed has the highest probability of occurrence at level 4 and

level 3 that the sum was 51%, and the maximum extreme speed reached level 12.

Keywords—maximum wind speed; extreme wind speed; Generalized Extreme Value distribution; return period

摘要—利用河北省沿海7个国家站1981–2017年测风资料,采用广义极值分布模型建立了各站年最大风和年极大风模型,并计算了各站不同重现期的相应极值风速;利用8个沿海站2016–2017年风的连续加密观测资料,统计分析得到各站各等级风速的概率密度分布函数和各等级风的发生概率。结果表明:2年、10年、20年、50年和100年重现期各站的年最大风平均分别为13.6m/s、17.1m/s、18.2m/s、19.4m/s和20.3m/s;年极大风分别为22.3m/s、27.6m/s、29.4m/s、31.6m/s和33.2m/s。年极大风出现最多的月份依次为4月、3月和6月。十分钟平均风速在2级发生概率最大,其次是3级,2–3级风速发生概率之和平均可达62%,最大风速可达10级;极大风速在4级和3级的发生概率最大,两级风速发生概率之和平均可达51%,最大极大风速为12级。

关键词—最大风, 极大风, 广义极值分布, 重现期

I. 引言

河北省具有近五百公里的海岸线,是我国重要的海洋经济区,但海上大风等高影响天气频发,对港口、码

头、渔业生产等造成重大损失，对人民的生命财产造成严重的威胁。

广义极值分布 (GEV) 理论综合了三种极值分布模型^[1-2]，在气象领域主要用于研究极端气候事件，包括降水、温度和大风等。关于大风的研究主要有：1997 年，欧进萍等^[3]利用渤海 12 个气象台站 1965-1986 年测风资料，采用极值 I 型分布，统计确定了年最大风速的概率分布参数，并利用两个冬季连续测风资料，统计确定了辽东湾疲劳风速的概率分布及其分布函数；2013 年，曹深西^[4]等采用广东沿岸 9 个站点的极值风速，对比分析了三种概念模型，结果表明：三种模型都适合广东，但效果各有不同；2015 年，方晓^[5]等利用辽宁沿海 1980-2014 年最大风速资料，基于经典极值理论的 GEV 概念模型，对各站点极值风速模型参数进行估算并进行了检验，结果表明 GEV 模型符合本地的实情。

不同极值风速是指大于某风速的极值风速在统计意义上平均多少年可遇一次^[6]。由于样本总是有限的，是真实极值的一个估计，所以结果存在误差，因此，在求出参数点的估计外，还希望给出一定置信度下的置信区间，使得风载荷的设计更为合理^[7]。1996 年，阎俊岳^[8]等通过三种方式建立了年大风极值序列，计算了不同重现期大风极值情况；2003 年，段忠东^[9]等对渤海海域推算的日最大风序列计算了不同重现期的一定置信限的极值风速区间；2006 年，刘聪^[7]等基于广义极值分布模型计算了南通观测站基本风速及其置信区间；2009 年，黄世成^[10]等分析了长江下游百年一遇的极值风速的分布状况；2015 年，史军^[6]等通过对极大风序列的重构，对上海地区不同重现期的风速进行了估算研究；2018 年，董旭光^[11]等对山东陆地上的不同重现期的年最大风进行了分析。

另外，工程的累计损伤与环境载荷谱密切相关，风载荷疲劳谱主要取决于疲劳风速谱，即年内风速的概率分布，因此研究某一时段疲劳风速的概率分布有重要意义^[3]，但目前研究较少。

本文通过对年极大风历史序列的重构和极值分布模型的建立，统计确定年最大和极大风速的概率分布，并计算不同重现期的具有一定置信度的极值风速区间，另外，统计得到不同等级风速的概率分布和持续时间，为河北沿岸结构物设计和风相关保险条款的制定提供合理的依据。

II. 资料与方法

1 资料

在研究渤海沿岸各站极值风的概率分布和不同重现期下的极值风速值时，采用 1981-2017 年河北 7 个站(图

1 中标注“+”)年最大风和年极大风资料。

在研究疲劳风速的概率密度函数和各等级风发生概率时，采用 2016-2017 年连续两年的 8 个站(图 1 中标注“■”)平均风和极大风资料，其中浮标站为十分钟数据，其他站为 5 分钟加密数据。

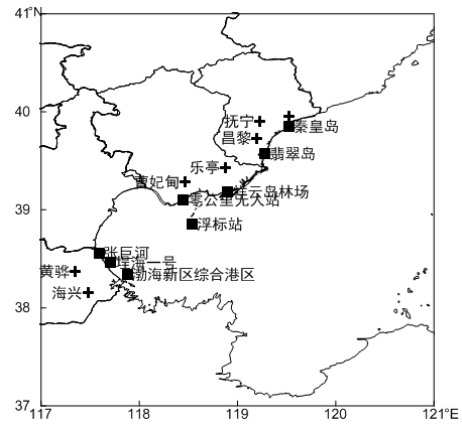


图 1 河北沿岸资料站点分布情况

2 方法

2.1 极大风的计算

首先，将十分钟最大风速归一化到十米标准高度。由于风速仪观测高度并不是十米标准高度，且年代不同，风速仪观测高度也有所不同，因此，对同一站不同时段的风速资料进行归一化处理，把不同高度的风速换算成十米标准高度(相对于地面)的风速，采用(1)式：

$$V_h = V_z \left(\frac{h}{z} \right)^a \quad (1)$$

式中： h 是参照高度； z 是测量高度； V_h 、 V_z 是相应的风速。气象站观测场为 B 类粗糙度， a 取 0.15。

由于十分钟最大(平均)风资料的时间序列较长，而极大风在 2004 年前后才陆续进行观测，所以利用各站同时间段观测的十分钟最大风速和极大风速资料，采用“阵风系数法”和“线性拟合法”对比，取拟合后平均绝对误差较小时的系数，从而获得十分钟最大风速和极大风速的统计相关系数，推算出只有十分钟最大风资料时的极大风，获得了长时间序列的年极大风速资料。

2.2 极值风概率分布函数的确定方法

广义极值分布 (GEV) 模型的密度分布函数^[12-13]见式(2)：

$$G(x) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\} & -\infty < x \leq \mu - \sigma/\xi & \xi > 0 \\ \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\} & \mu - \sigma/\xi \leq x < \infty & \xi < 0 \\ \exp \left\{ - \exp \left[- \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right] \right\} & -\infty < x < \infty & \xi = 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中， $-\infty < \mu < \infty$ 为位置参数， $\sigma > 0$ 为尺度参数， $-\infty < \xi < \infty$ 为形状参数，当 $\xi > 0$ 和 $\xi < 0$ 时，分别对应于

Frechet (II型)分布和Weibull (III型)分布, 当 $\xi \rightarrow 0$ 时, 对应于Gumbel (I型)分布。

本文采用极大似然参数估计方法, 它使参数估计结果在总体上反映样本的统计信息, 具有很好的统计性质, 应用也最为普遍^[14]。并利用Q-Q (分位数)图和密度图(实测数据与理想模型概率密度分布比较)进行检验, 如果Q-Q图近似为线性且密度图上两条线接近, 则拟合效果较好, 否则表明站点数据不符合广义极值分布模型^[15]。

2.3 不同重现期下的极值风速及其置信限的计算

重现期的计算往往转化为出现概率的计算, 相应极值出现的概率 $P=1/T$, 即重现期为 T 的极值估计为 $p=1-F(X)$ 的分位点 X_p , 可以用式(3)估算^[16]:

$$X_p = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\xi} \{1 - [-\log(1-p)]^{-\xi}\} & \xi \neq 0 \\ \mu - \sigma \log[-\log(1-p)] & \xi = 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中, μ 、 σ 、 ξ 为广义极值分布中的参数估计值。对极值重现期的计算值通常要给出一定的置信区间, 文中给出了置信水平为95%的极值重现期的取值范围。

2.4 疲劳风速的概率密度函数和持续时间的计算

一年或若干年的连续风速资料统计得到的风速分布就是疲劳风速分布, 根据研究疲劳风速较好地服从Rayleigh分布^[3], 其概率密度函数可以表示为式(4):

$$p(v) = \frac{v}{a} \exp\left(-\frac{v^2}{2a}\right) \quad (4)$$

分布参数 a 可由样本容量和观测值确定, 通过统计分析可以得到各级各站疲劳风速的概率分布函数。

III. 结果与分析

1 年极大风速的逐月分布情况

图2为1981-2017年各站年极大风出现频次的逐月分布情况, 从图上可以看出: 年极大风站次出现最多的月份依次为4月、3月和6月, 平均来看, 各月37年间各站出现的平均频次分别为8.3次/站, 7.0次/站和5.4次/站; 1月和9月出现最少, 分别为1.1次/站和1.3次/站。乐亭站相对比较特殊, 其年极大风出现频次最大的依次是4月、2月和3月, 分别为10次、7次和5次。

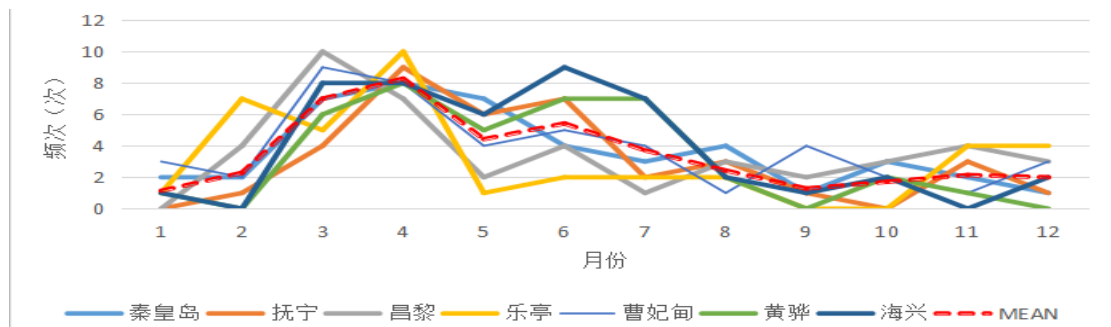


图2 1981-2017年各站年极大风出现频次的逐月分布

2 年极值(最大和极大)风速概率分布

基于广义极值分布模型, 经极大似然参数估计方法, 表1给出了7个站年最大风和年极大风的极值分布概率

模型参数, 以及95%置信区间。经检验, 各站均具备很好的拟合效果。

表1 各站年最大风和极大风广义极值分布模型参数及其置信限

站名	物理量	parmhat (m)			parmhat (m) 95% Low			parmhat (m) 95% High		
		ξ	δ	μ	ξ	δ	μ	ξ	δ	μ
秦皇岛	最大风	-0.23	2.09	9.78	-0.49	1.60	9.01	0.03	2.74	10.54
	极大风	-0.08	2.94	17.98	-0.41	0.25	2.20	3.92	16.85	19.10
抚宁	最大风	-0.08	2.23	12.08	-0.31	1.73	11.27	0.14	2.88	12.88
	极大风	-0.06	3.31	20.50	-0.28	0.15	2.57	4.26	19.31	21.68
昌黎	最大风	-0.25	2.11	13.73	-0.47	1.63	12.98	-0.03	2.73	14.49
	极大风	-0.21	2.87	22.68	-0.42	-0.01	2.23	3.70	21.66	23.71
乐亭	最大风	-0.14	2.19	11.51	-0.50	1.63	10.66	0.21	2.95	12.36
	极大风	-0.13	3.44	19.42	-0.47	0.20	2.58	4.58	18.10	20.73
曹妃甸	最大风	0.04	1.51	12.14	-0.20	1.16	11.60	0.28	1.97	12.69
	极大风	0.15	1.81	19.16	-0.12	0.42	1.36	2.41	18.50	19.83

黄骅	最大风	-0.12	2.06	13.93	-0.34	1.59	13.18	0.10	2.66	14.67
	极大风	-0.11	3.02	21.98	-0.32	0.10	2.35	3.89	20.89	23.06
海星	最大风	-0.20	3.37	16.36	-0.37	2.65	15.18	-0.03	4.28	17.55
	极大风	-0.15	5.12	26.14	-0.36	0.06	3.97	6.6	24.31	27.98

3 不同重现期下的极值风速及其置信限

图 3 为各站不同重现期的年最大风速，各站的风速值随重现期的增加而增大，对比来看，在各个重现期，秦皇岛风速最小，海星最大，2 年重现期的风速在 10.5m/s 到 17.5m/s 之间，10 年重现期的风速在 13.4m/s 到 22.5m/s 之间，20 年重现期的风速在 14.3m/s 到 23.9m/s 之间，50 年重现期的风速在 15.2m/s 到 25.5m/s 之间，100 年重现期的风速在 15.7m/s 到 26.5m/s 之间。2 年、10 年、20 年、50 年和 100 年重现期各站的年最大风平均分别为 13.6m/s、17.1m/s、18.2m/s、19.4m/s 和 20.3m/s。

图 4 为各站不同重现期的年极大风速，2 年重现期的风速在 19.0m/s 到 28.0m/s 之间，10 年重现期的风速在 24.0m/s 到 36.0m/s 之间，20 年重现期的风速在 25.8m/s

到 38.4m/s 之间，50 年重现期的风速在 27.8m/s 到 41.2m/s 之间，100 年重现期的风速在 29.3m/s 到 43.1m/s 之间。2 年、10 年、20 年、50 年和 100 年重现期各站的年极大风速平均值分别为 22.3m/s、27.6m/s、29.4m/s、31.6m/s 和 33.2m/s。

另外，在表 2 和表 3 中，还分别给出了不同重现期十分钟最大风速和极大风速的 95%置信水平下重现值的置信区间，供参考。1996 年，阎俊岳^[8]通过各种观测资料综合分析得到河北沿岸一百年重现期的年最大风在 35m/s 以下，与本文的结果相符。

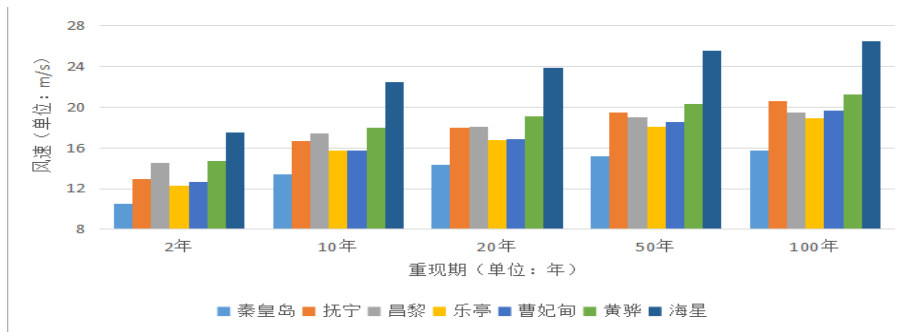


图 3 各站不同重现期的年最大风速

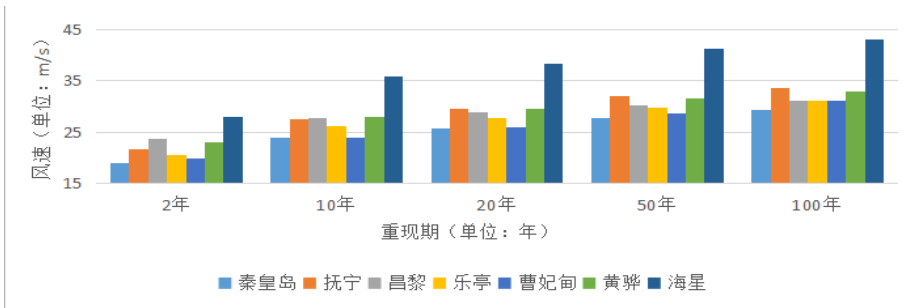


图 4 各站不同重现期的年极大风速

表 2 各站不同重现期对应的年最大风速及其 95%置信限值

重现期	秦皇岛		抚宁		昌黎		乐亭		曹妃甸		黄骅		海星	
	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)
2年	10.5	(9.7, 11.3)	12.9	(12.0, 13.8)	14.5	(13.7, 15.2)	12.3	(11.4, 13.2)	12.7	(12.1, 13.3)	14.7	(13.9, 15.5)	17.5	(16.3, 18.8)
10年	13.4	(12.5, 14.4)	16.7	(15.2, 18.1)	17.4	(16.4, 18.3)	15.7	(14.4, 17.1)	15.7	(14.4, 17.0)	18.0	(16.7, 19.2)	22.5	(20.8, 24.1)

20年	14.3	(13.0, 15.5)	18.0	(16.0, 19.9)	18.1	(17.0, 19.3)	16.8	(14.9, 18.8)	16.9	(15.0, 18.8)	19.1	(17.5, 20.7)	23.9	(22.0, 25.8)
50年	15.2	(13.4, 16.9)	19.5	(16.6, 22.4)	19.0	(17.5, 20.5)	18.1	(15.0, 21.2)	18.5	(15.4, 21.6)	20.3	(18.1, 22.6)	25.5	(23.0, 28.0)
100年	15.7	(13.5, 17.9)	20.6	(16.8, 24.4)	19.5	(17.7, 21.3)	18.9	(14.7, 23.2)	19.7	(15.5, 23.9)	21.2	(18.3, 24.1)	26.5	(23.5, 29.5)

表 3 各站不同重现期对应的年极大风速及其 95%置信限值

重现期	秦皇岛		抚宁		昌黎		乐亭		曹妃甸		黄骅		海星	
	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)	风速 (m/s)	95%区间风速 (m/s)
2年	19.0	(17.8, 20.3)	21.7	(20.4, 23.0)	23.7	(22.6, 24.8)	20.7	(19.2, 22.1)	19.9	(19.1, 20.7)	23.1	(21.9, 24.2)	28.0	(26.0, 29.9)
10年	24.0	(22.0, 26.1)	27.5	(25.2, 29.7)	27.8	(26.4, 29.2)	26.1	(24.0, 28.2)	24.0	(22.0, 26.1)	28	(26.2, 29.9)	36.0	(33.1, 38.8)
20年	25.8	(22.8, 28.7)	29.5	(26.4, 32.5)	29	(27.3, 30.7)	27.8	(24.9, 30.8)	26.0	(22.6, 29.3)	29.6	(27.2, 32.0)	38.4	(34.8, 42.0)
50年	27.8	(23.1, 32.6)	31.9	(27.5, 36.4)	30.3	(28.1, 32.5)	29.9	(25.2, 34.5)	28.8	(23.0, 34.5)	31.6	(28.2, 35.0)	41.2	(36.3, 46.2)
100年	29.3	(22.8, 35.8)	33.7	(27.9, 39.5)	31.1	(28.4, 33.8)	31.2	(25.0, 37.4)	31.2	(22.8, 39.5)	32.9	(28.5, 37.3)	43.1	(36.8, 49.4)

4 疲劳风速的概率密度函数和发生概率

图 5 是各站各等级十分钟平均风速发生概率，平均风速在 2 级发生概率最大，其次是 3 级，2-3 级风速发生平均概率之和可达 62%；秦皇岛风速在 1-2 级间达到 91%，相对其他站风速较小；发生概率达到 0.1%以上的最大风速发生在浮标站，等级达到 10 级。

图 6 是各站各等级极大风发生概率，极大风速在 4 级和 3 级的发生概率最大，两级风速发生概率之和平均可达 51%；秦皇岛风速相对其他站也较小，2--3 级间风的发生概率最大，达到 63%；发生概率达到 0.1%以上的最大风速发生在浮标站，等级达到 12 级。

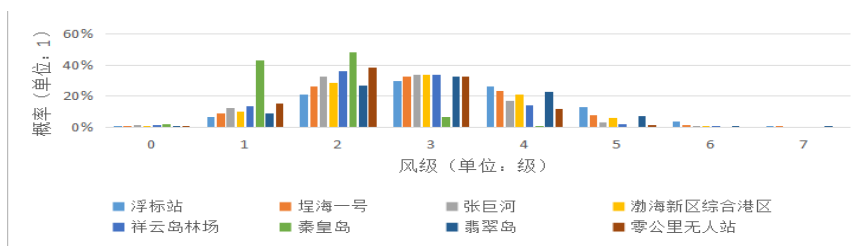


图 5 各站各等级 10 分钟平均风发生概率

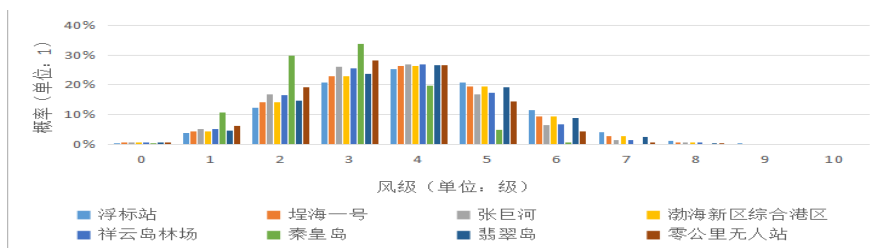


图 6 各站各等级极大风发生概率

IV. 结论与讨论

本文利用较长时间序列的年最大和极大风速,采用广义极值分布模型,计算了河北沿岸不同重现期的在一定的置信水平下的风速区间;并利用两年连续风观测资料,对十分钟最大和极大风速的发生概率特征进行了简单的分析。本文对相关资料进行计算分析具有如下特点:

1. 采用 GEV 模型,而不是拘泥于一种类型的拟合计算,可使模型的适用性更强。检验方法简单易操作,但是不能量化,不够精确。
2. 给出一定置信水平下重现值的置信区间,能更好的满足工程等服务需求。
3. 受资料时间序列长度的限制,只能用沿岸站来统计分析海边风的发生概率情况。

致谢

本项目受“环渤海区域科技协同创新基金项目”(编号:QYXM201705)资助。

参考文献

- [1] Fisher R A, Tippett L H, "Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample". Proc Cambridge Philos Soc, vol. 24, pp. 180-190, 1928.
- [2] Gumbel E J, Statistics of Extremes. New York: Columbia University Press, 1958, pp. 375.
- [3] 欧进萍, 段忠东, 陆钦年等, "渤海海域的风特性统计分析", 海洋通报, vol. 16, issue 1, pp. 20-27, 1997.
- [4] 曹深西, 陈子燊, "广东沿海的极值风速概率分布研究", 海洋通报, vol. 32, issue 1, pp. 12-18, 2013.
- [5] 方晓, 张运福, 房一禾, "辽宁省沿海地区极值风速概率分布特征", 现代农业科技, vol. 22, pp. 256-259, 2015.
- [6] 史军, 徐家良, 谈建国等, "上海地区不同重现期的风速估算研究", 地理科学, vol. 35, issue 9, pp. 1191-1197, 2015.
- [7] 刘聪, 秦伟良, 江志红, "基于广义极值分布的设计基本风速及其置信限计算", 东南大学学报, vol. 36, issue 2, pp. 331-334, 2006.
- [8] 阎俊岳, 黄爱芬, "中国近海大风极值计算方法研究", 气象学报, vol. 54, issue 2, pp. 233-239, 1999.
- [9] 段忠东, 周道成, 欧进萍, "渤海和南海海域极值风速的置信区间", 海洋通报, vol. 22, issue 2, pp. 17-24, 2003.
- [10] 黄世成, 周嘉陵, 任健等, "长江下游百年一遇的极值风速分布", 应用气象学报, vol. 20, issue 4, pp. 437-442, 2009.
- [11] 董旭光, 邱黎, 李娟等, "1981-2016年山东陆地观测最大风速变化特征", 海洋气象学报, vol. 38, issue 2, pp. 87-95, 2018.
- [12] 吴香华, "极值分布模型及其在气象领域的初步应用", 南京: 南京信息工程大学, pp. 5-10, 2006.
- [13] 蔡文香, "中国极端气候事件的趋势特征与极值分布", 北京: 对外经济贸易大学, pp. 17-18, 2012.
- [14] 李宏男, 王杨, 伊廷华, "极值风速概率方法研究进展", 自然灾害学报, vol. 18, issue 2, pp. 15-26, 2009.
- [15] 史道济, 实用极值统计方法. 天津: 天津科学技术出版社, 2006年, pp. 60-77.
- [16] 陈兴旺, "广义极值分布理论在重现期计算的应用", 气象与减灾研究, vol. 31, issue 4, pp. 52-54, 2008.