

关于水利工程风速统计方法的讨论和建议

茹建辉

(广东省水利厅, 广东 广州 510635)

摘要: 由于风和波浪在与建筑物正向夹角 45° 范围内变化时,其作用效应变化不大,现行《海堤工程设计规范》中规定的用8个方位角统计风速的方法,使各方位角的均值偏小,导致设计风速偏小,以此设计的工程安全度严重不足. 建议在未能提供可靠的、新的统计分析成果前,为安全起见,工程设计宜仍采用不分方向、全方位统计风速的分析成果. 此外,《海堤工程设计规范》推荐用极 I 型频率分布曲线统计风速,不能对工程设计关注的高风速段进行调整和保证关注段的理论频率曲线与经验频率点最大限度地吻合,亦无法考虑系列的代表性,故不宜用于工程设计. 因强风和波浪与暴雨是成因类似的随机变量,建议规范中的频率曲线统一采用皮尔逊 III 型曲线.

关键词: 海堤工程设计规范; 分区统计; 设计风速; 适线

中图分类号: TV871; N65

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)01-0103-05

1 分组分别统计规定

在水利水电工程中,浪压力、浪击力和浪爬高是工程设计的重要载荷. 若所设计工程的迎水面缺乏波浪观测资料,当工程到对岸距离小于 100 km 时,可根据当地的风速资料利用经验公式间接确定不同重现期的波浪要素,日常设计工作中统称为“风浪计算”. 因此,设计风速的统计方法和数值的可靠性,一直是绝大多数水利水电工程波浪计算的关键. 以往的规范文件似很少明确风速的统计方法,最近出版的《海堤工程设计规范》(SL 435-2008,以下简称《海堤规范》)第 6.2.2 条明确:按“8 个方位组进行统计分析”,“计算不同重现期的设计风速时,应计算设计主风向及左右 22.5° 和 45° 的方位角的设计风速”;在条文说明中又指出:“参照浙江省、广东省有关规范和 SL 274-2001 的做法,频率计算时将实测的 16 个方位的风速归并为 8 个方位组进行分析”^[1-2]. 《海堤规范》指出要参考文献[3]第 6.2.2 条规定,按表 1 所规定的 8 个方位组分别进行统计.

表 1 8 个方向风向组划分

Tab. 1 8 azimuths of wind direction

风向名称	代表范围/°	平均方位/°
N ~ NNE	348.75 ~ 33.75	11.25
NE ~ ENE	33.75 ~ 78.75	56.25
E ~ ESE	78.75 ~ 123.75	101.25
SE ~ SSE	123.75 ~ 168.75	146.25
S ~ SSW	168.75 ~ 213.75	191.25
SW ~ WSW	213.75 ~ 258.75	236.25
W ~ WNW	258.75 ~ 303.75	281.25
NW ~ NNW	303.75 ~ 348.75	326.25

收稿日期: 2010-07-10

作者简介: 茹建辉(1940-),男,广东阳江人,教授级高级工程师,主要从事水工设计及技术管理工作.

E-mail: ru-jh@163.com

笔者认为,若要按表 1 中的 8 个方位风向组进行统计,那么无法按文献[2]第 6.2.2 条中的“合并为 8 个方位组进行统计分析,计算设计主风向及左右 22.5°及 45°方位角的设计风速”.参考文献[3],应是“将主风向左右 22.5°范围内的风速近似当作主风向风速,通过统计分析,确定不同重现期主风向的设计风速”.但按表 1 的 8 个方位风向组进行统计,与相邻方位风向组不交叉,不可能计算出主风向左、右各 45°的方位角的设计风速.

2 分组分别统计方法存在的缺点

气象部门为全面了解不同监测点的风速分布特性,绘制风速玫瑰图,分方向组统计风速是合理正确的,但直接用这些分区统计资料计算不同重现期的设计风速,籍以确定与工程安全密切相关的风压力和波浪要素,显然不合适.众所周知,风是使水面产生波浪的最主要外界因素.根据对风浪成因的分析可知,只要没有障碍物使波浪折射和变向,风浪前进方向和风的吹向是一致的.实际上影响建筑物安全并不限于建筑物的正向和左右各 22.5°范围的风浪,当风浪推进方向与建筑物正向成较大交角时,对建筑物的影响仍相当显著.如现行水利水电行业规范中(包括文献[1-3])都列举了同一风浪推进方向对波浪爬高影响的修正系数 K_β (K_β 的取值见表 2).《防波堤设计与施工规范》^[4]中则认为:对斜向波,当来波方向与建筑物表面法向(指向建筑物内)在平面上投影的夹角 β 小于 45°时,可近似作为正向作用;当夹角 β 大于 45°时,宜通过模型试验确定人工块体的质量.

表 2 风浪方向对波浪爬高影响的修正系数

Tab. 2 Coefficient of correction from wave runup affected by wind direction

$\beta(^{\circ})$	≤ 15	20	30	40	50	60
K_β	1.00	0.98	0.92	0.87	0.82	0.76

因浪爬高一般与波高成正比,而某些经验公式又可将浪高和风速拟合为线性关系(如鹤地水库公式),故表 2 可近似作为斜向波浪或风速拟合为等代正向波浪或风速的修正系数.假设工程的正面为沿着表 1 某分区扇面的角平分线方向,按文献[3]规定,只统计其左右 22.5°范围内的风速,而影响作用大小与正向接近甚至更大的斜向风和浪(根据表 2,与正向夹角为 30°时可用修正系数 $K_p = 92\%$ 近似换算,与正向夹角为 45°浪时可用修正系数 $K_p = 85\%$ 近似换算),均不列入统计分析范围,这显然是不安全的.

工程经验表明,对某些观测资料进行统计分析时,若将统计区间分为若干个独立的小区间分别统计,大区间的统计均值必然大于其中每一小区间的均值,即在 $P = 50\%$ 附近的小区间的经验频率点必然在大区间相应经验频率点的下方.但在适线选定计算的理论频率曲线时,需控制在某一可预见的罕遇频率内,小区间的计算值不得大于大区间的计算值.故对任何计算频率而言,分别进行统计的小区间的计算值必然小于大区间的计算值(见图 1).因此,若如表 1 划分频率计算的统计区间,用 8 个方位组分别进行统计,各方位组的分别统计计算成果必然小于全方位不分组的计算成果,这样的计算结果不利于工程安全.

广东西部海滨地区某大型工程设计时,根据文献[3]提出的用 8 个方位组分别统计,获得的设计风速值见表 3,远小于已出现过的最大风速.因此,只能改用不分区全方位的统计分析值^[6].

表 3 中的分向独立统计风速采用的频率曲线,与全方位统计所用的频率曲线,因统计单位的不同而不同.但用有限年的观测资料一般不能直接推算出理论频率曲线,需以关注段经验频率点为基础,调整频率曲线的计算参数,使所选线型的频率曲线最大限度与经验频率点吻合(亦即所谓适线).故尽管频率曲线不同,

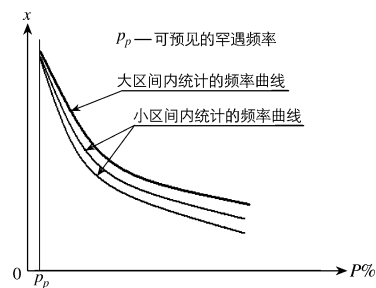


图 1 总区及其内分区频率曲线关系

Fig. 1 Frequency relationships of the large and small intervals

因都受关注段经验频率点约束,计算结果不应有太大的差异.分向独立统计计算出的不同频率风速明显偏小,主要原因在于没有深入研究斜向风浪对建筑物的影响,采用了不合理的分方向组分别统计的方法所致.

表3 湛江站不同方法风速频率计算成果

Tab.3 The calculated results of wind speed frequency given by Zhanjiang station

统计方法	统计方向	P%				
		1	2	5	10	20
分8方位组分别统计	N ~ NNE	29.8	26.9	23.1	20.1	17
	NE ~ ENE	30.2	27.2	23.1	19.9	16.6
	E ~ ESE	30.1	26.9	22.7	19.5	16.1
	SE ~ SSE	25.6	23.0	19.5	16.8	14.0
	S ~ SSW	24.2	21.7	18.3	15.7	12.9
	SW ~ WSW	21.6	19.4	16.3	14.0	11.5
	W ~ WNW	19.9	17.7	14.8	12.6	10.2
	NW ~ NNW	24.9	22.4	19.1	16.5	13.7
全方位统计 ^[6]		47	43	39	35	31

注:1.分8向独立统计成果摘自文献[3]附录E,频率曲线采用极I型曲线;2.全方位统计为不分方向统计,摘自文献[6],频率曲线采用皮尔逊Ⅲ型曲线.

1996年9月9日,南海第15号台风(以下简称为“9615台风”)在湛江市吴川沿海地区登陆,广东省防汛防旱防风总指挥部办公室认为,此台风“为建国以来登陆我省台风中摧毁力最大的一次,造成严重的灾害损失”;湛江市三防指挥部办公室在总结中称:“据湛江气象台和南油基地气象台观测,风速大于32.6 m/s的阵风从09:52持续至12:35;风速大于40 m/s的从09:59持续至10:38”^[7].但有关部门称这次台风的最大10 min平均风速只有25 m/s,不知是否为过小分区统计所致.根据多年研究,历次《建筑结构荷载规范》版本和有关风压研究专著都认为,与建筑物和结构安全直接相关的基本风压 w_0 和相应10 min平均风速 v_0 的关系可统一表示为 $w_0 = v_0^2/1\ 600$ (kN/m²)^[8-9].如果这次台风的最大10 min平均风速确实仅有25 m/s,则它产生的风压只有0.39 kN/m²,与文献[9]规定的全国50年一遇基本风压的最小值0.3 kN/m²较接近,远小于现行建筑设计和港口设计规定湛江港的基本风压,绝不会成为建国以来登陆我省台风中摧毁力最大的一次.

在“9615”台风中,湛江港受损严重,虽然在台风登陆前港口的大型机械全部加固好,但仍有13台龙门吊被风刮倒(其中6台倒在码头前缘的港池),21台龙门吊的扒杆被吹折,自重500 t的集装箱桥吊也被掀翻到码头前缘的港池中.按现行港口荷载规范^[8]规定,30年一遇湛江市沿海基本风压 $w_0 = 0.95$ kN/m²,高于现行建筑结构荷载规范50年一遇湛江市基本风压(0.80 kN/m²)^[9].显然,这次台风的风压超过了设备能承受的设计风压.由关系式 $w_0 = v_0^2/1\ 600$ (kN/m²),可得相应于基本风压 w_0 的10 min平均风速 $v_0 = 46.1$ m/s ($w_0 = 0.95$ kN/m²)和 $v_0 = 42.3$ m/s ($w_0 = 0.8$ kN/m²).起重设备在风作用下的稳定安全系数一般不小于1.4^[9-10].用文献[2]附录E列举的湛江站风速设计资料,即使是用100年一遇的10 min平均风速最大值为30.2 m/s,乘以修正系数1.32(湛江东海岛岸段),仅约40 m/s(若取50年一遇,约为36.2 m/s),无法得到与“9615”台风造成巨大灾害相适应的风速值.

从文献[6]的附件可见,在1970—1990年间,湛江站测得10 min平均风速超过33 m/s的共有9次.

综上所述,用文献[3]第6.2.2条规定,按表1所示的8个方位组分别统计,计算的设计风速成果(附录E)远小于实际值,若被采用,对工程安全极其不利.

3 理论频率曲线的线型选用

文献[3]的重现期与计算风速关系采用极I型的概率分布,其分布函数可直接由均值、标准差和资料年数确定.任何频率曲线都是试图用某种数学关系描述一些随机变量的概率分布,但最终必须以经验频率点进

行修正或率定,使选定的理论频率曲线与经验频率点尽可能吻合.此外,工程设计关注的不是随机变量总的概率分布,对不同问题有不同的关注段,有些是重现期高的部分,如风和浪;有些则是保证率高的部分,如供水.因此,所采用的频率曲线不需全部范围吻合,只需使关注段的理论频率曲线与经验频率点尽可能吻合即可.采用极 I 型的概率分布存在以下 2 个不足:

(1)极 I 型的概率分布函数可直接由均值、标准差和资料年数确定,不能根据经验频率点进行调整,难以保证关注段的理论频率曲线与经验频率点最大限度地吻合.文献[2]和[3]表 A.0.2 中列举了资料年数为 8 年和超过 8 年的各种频率的 λ_{pn} 值(频率计算的模比系数 $k_p = 1 + \lambda_{pn} C_V$, $x_p = k_p \bar{x}$).可见,如果系列虽短但代表性很好,均值 $\bar{x}$ 和均方差 S, C_V 和其他统计参数与长系列完全相同时,对同一重现期而言,短系列的模比系数却要长系列的模比系数大得多,理论上似不尽合理.

(2)如果全区间的资料系列长于其内部的小区间,则有可能出现小区间统计的设计频率风速大于全区间统计的设计频率风速,这显然不合理.

水利工程常用的皮尔逊 III 型曲线,恰好具有可根据经验频率点进行理论频率曲线的参数调整(亦即适线),使之最大限度符合经验频率点分布规律和预测趋势的性能.因为风速的概率分布理论曲线拟合的不是全分布规律,而是文献[2]所指出的“大风小概率事件”的关注段,故有必要对风速合适的概率分布理论曲线作进一步研究.

4 结论与建议

风速是水利工程特别是海岸和堤坝工程极其重要的设计参数,工程技术人员关注的不仅是风向的分布规律,更关注风及其产生的波浪对建筑物的作用及其后果.广东省记录到的较高风速都是由台风引起的,高风速的台风是一个逆时针方向旋转的巨大气旋,气旋各点的流速随周边(包括上、下的边界)条件的变化而变化.因此,建议在没有可靠的、新的统计分析成果可提供前,从安全角度出发,工程设计宜仍采用不分方向、全方位统计风速的分析成果;对理论上似乎合理,但经实践证明偏于不安全的按“8 个方位组进行统计分析”的成果,不宜轻易采用.

如果一定要采用分组分别统计的方法,必须分析清楚怎样分方向、分组统计才能准确地反映特大风速出现的重现期,充分考虑斜向风和波浪对建筑物的作用,确保工程设计有足够的安全度.笔者认为可试行考虑:在分 8 个方向组统计风速时,应至少保证与每个方向组夹角为 45° 范围内的风速都纳入统计范围.在统计某方向组风速时,可把该方向组统计区间沿左、右两侧各扩大 45° ,即与相邻区间交叉不小于 45° (统计扇面角为 135°).以图 2 为例,考虑 $\angle AOB$ 夹角范围的风速时,统计范围扩大到 $\angle DOC$;同理考虑 $\angle BOC$ 夹角范围的风速时,统计范围扩大到 $\angle AOE$.

用上述扩大分方向组统计的频率计算成果,应经得起已出现的较大风速纪录的实践的检验.若成果类似于文[2]附录 E,大量常遇的、几年一遇的风速,在统计分析成果中变为重现期极高的风速,成果仍不可用,应进一步探索更合理的统计方法.

在未找到较成熟的、对极 I 型的概率分布曲线可进行有效调整的方法之前,考虑到年最大风速与年最大降雨等水文的随机变量的特性较接近,用“适线”方法选择皮尔逊 III 型曲线已积累较多经验,用它表示风速的概率分布,可能会比直接由均值、标准差和资料年数直接广定线的极 I 型的概率分布曲线更合适.

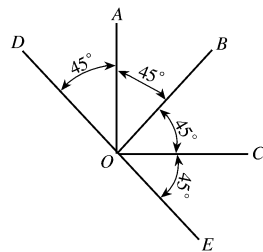


图 2 建议风速统计区间示意图

Fig. 2 Sketch of wind speed statistical intervals

参 考 文 献:

- [1] GB 50286-98, 堤防工程设计规范[S]. (GB 50286-98, Code for design of levee project[S]. (in Chinese))
- [2] SL 435-2008, 海堤工程设计规范[S]. (SL 435-2008, Code for design of sea dike[S]. (in Chinese))
- [3] DB 44/T182-2004, 广东省海堤工程设计导则(试行)[S]. (DB 44/T182-2004, Design guide for coastal levee project of Guangdong Province(Trial)[S]. (in Chinese))
- [4] JTJ 298-98, 防波堤设计与施工规范[S]. (JTJ 298-98, Code of design and construction of breakwaters[S]. (in Chinese))
- [5] 广东省水利电力勘测设计研究院. 鉴江-东海岛输水工程初步设计报告[R]. 广州: 广东省水利电力勘测设计研究院, 2010. (Guangdong Hydropower Planning & Design Institute. Preliminary design report of Jianjiang-Donghai Island water conveyance project[R]. Guangzhou: Guangdong Hydropower Planning & Design Institute, 2010. (in Chinese))
- [6] 广东省水利厅. 广东省沿海地区年最大风速和相应年最高潮位日的最大风速频率计算成果[R]. 广州: 广东省水利厅, 1998. (Water Resources Department of Guangdong Province. The result of frequency calculation for the maximum wind speed and the maximum wind speed on highest tidal level day in coastal area of Guangdong Province[R]. Guangzhou: Water Resources Department of Guangdong Province, 1998. (in Chinese))
- [7] 广东省防汛防旱防风总指挥部办公室. 一九九六年第十五号台风纪实[R]. 广州: 广东省防汛防旱防风总指挥部, 1997. (Office of Guangdong Provincial Headquarters for Flood Control and Typhoon Mitigation and Drought Relief. Records for the 15th typhoon in 1996[R]. Guangzhou: Guangdong Provincial Headquarters for Flood Control and Typhoon Mitigation and Drought Relief, 1997. (in Chinese))
- [8] JTJ 215-98, 港口工程荷载规范[S]. (JTJ 215-98, Load code for harbour engineering[S]. (in Chinese))
- [9] GB 50009-2001, 建筑结构荷载规范[S]. (GB 50009-2001, Load code for the design of building structures[S]. (in Chinese))
- [10] 张应立, 周玉华. 机械安全技术实用手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2009: 301. (ZHANG Ying-li, ZHOU Yu-hua. Technical handbook for safety application of mechanical equipment[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2009: 301. (in Chinese))

Discussion on wind speed statistical method in hydro-engineering

RU Jian-hui

(Water Resources Department of Guangdong Province, Guangzhou 510635, China)

Abstract: Little difference exists in the impact of strong wind and water wave on constructions when their positive angle varies within the range of $\pm 45^\circ$. The method for analyzing wind speed with statistics from 8 azimuth angles, as specified in *Code for Design of Sea Dike*, could result in safety hazard in engineering designs since the amount of average wind speed for each azimuth will be inevitably smaller, which will lead to design wind speed in the low side. For a safer design, employment of all-directional statistics for wind speed is recommended until new and more reliable statistics are available. Besides, the Gumbel distribution as the frequency distribution curve for compiling wind speed statistics, which the *Code for Design of Sea Dike* recommends, seems unsuitable for engineering designs, due to the fact that it can not be adjusted in the high-wind-speed section, a key engineering concern, and thus it is unable to ensure the maximum consistency between the theoretical frequency curve and the practical frequency points of that section, and it is unable to consider about their representation of the series. As strong wind, water wave and rainstorm are all random variables with the similar cause, this paper proposes that the code employ Pearson type III curves for all frequency curves.

Key words: Code for Design of Sea Dike; soning statistic; design wind speed; curve fitting