

# 海堤工程设计中风速问题的探讨

黄锦林 江洵

(广东省水利水电科学研究院, 广州, 510610)

**摘要:** 风速是海堤设计的重要基础资料, 由于海堤工程特殊的地理位置, 使得其风的问题更加复杂。文章结合调研和《广东省海堤工程设计导则》编制的部分成果, 对风速标准、风速换算及风速分析方法等问题进行了探讨, 提出了海堤工程设计时风速选用的几点意见, 可供设计参考。

**关键词:** 海堤工程 设计标准 风速换算 风速分析

## 1 前言

风速是海堤设计的重要基础资料, 它不仅关系到海堤堤顶高程的确定, 也直接影响海堤护面结构的安全。目前在海堤设计中波浪计算公式大多采用莆田公式, 其风速是主要的影响因素之一。由于海堤工程濒临大海, 受沿海台风暴雨的影响显著, 加之地理位置的特殊性, 使得风出现的频率以及风速值均比内陆工程大很多, 这就要求设计者在工程设计时对风速问题要加以更多的关注。

广东省濒临南海, 海岸线长 3368.1km(不包括岛屿), 为全国之冠。由于地理位置的特殊性, 使其成为我国台风登陆最多的省份(我国平均每年登陆的台风约 9.5 个, 其中广东最多, 有 3.54 个, 占 37%)。为了抵御台风暴雨的侵袭, 建国以来, 在各级党和政府的领导下, 广东沿海地区修建了大量的海堤工程, 随着社会经济的发展, 一些工程已不能适应社会经济可持续发展的要求, 大部分堤围存在不同程度的工程隐患, 需要进行除险加固。为了贯彻落实全省城乡水利防灾减灾工程建设任务, 搞好海堤工程的加固达标建设, 2003 年底广东省水利厅委托我院负责编制《广东省海堤工程设计导则》。考虑到海堤工程建设中风的问题的特殊性, 结合调研和导则编制的部分成果, 文章对风速的分析和选用提出一些意见, 供讨论和参考。

## 2 设计风速的标准问题

关于设计风速的标准问题, 广东省在五十年代就确定按海堤捍卫面积大小分别采用 8、9、10 级风速。1997 年 8 月 1 日, 广东省水利厅以粤水办[1997]35 号文印发《广东省海堤达标工程设计暂行标准》, 将海堤设计风速提高到按海堤捍卫面积大小分别采用 9、10、11 级风速。1998 年 2 月 9 日, 广东省水利厅又以粤水办[1998]5 号文印发《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》, 要求在进行风浪爬高计算时, 采用相应年最高潮位日的最大风速频率计算成果, 在进行建筑物风压计算时, 采用年最大风速频率计算成果。

从广东省对风速标准的规定来看, 对设计风速的要求是逐步提高的, 这也体现了海堤工程设计中风速的重要性要求。采用频率风速进行海堤工程设计较采用 8、9、10 级或 9、10、11 级风速是前进了一大步, 体现了工程等级与设计保证率相匹配的思想。但是, 分析最近一次(即 1998 年)广东省水利厅的规定, 发现这一规定仍存在着不完善的地方。在进行风浪爬高计算时, 采用相应年最高潮位日的最大风速频率计算成果来进行分析计算有可能不是工程的控制条件。从调查的情况来看, 很多时候当出现大风情况时, 潮位并不一定是年最高潮位, 采用年最高潮位日的风速进行频率分析得出的设计风速成果偏低, 这是由于样本取样中漏掉了部分非最高潮位日的大风值, 使频率分析的结果不具代表性。从分析来看, 潮位(含风暴潮增水)与风速是有关联的两个事件, 一般而言, 向岸风往往会造成一定区域内的潮位增水, 且这种吹向大陆的风常常是海堤堤顶高程确定的控制性因素, 但大风与最高潮位却不能完全对应。由于潮汐现象与天体引力有关, 而且随着地球与日、月位置的变化而变化, 广东沿海一般为半日潮型, 当天文潮处于非高潮位时, 即使是大风引起了潮位增水, 也不一定能够使该含风暴潮增水影响的潮位成为年最高潮位。此外,

对于堤顶高程的确定而言，大风引起的风浪爬高也要远大于潮位的影响，控制因素仍然是风浪爬高。广东沿海的设计潮位值相差不大，但风速的变化却会引起风浪爬高计算值的较大变化，从而导致堤顶高程的较大变化，在设计时，要充分重视风的影响。

设计风速的标准究竟应如何来定？国家《堤防工程设计规范》(GB50286—98)认为，当设计波浪采用风速进行推算时，计算风速重现期可采用设计潮位的重现期。交通部《海港水文规范》(JTJ213—98)规定，当采用风速资料间接确定不同重现期的设计波浪时，设计风速采用设计重现期的年频率分析成果。《浙江省海塘工程技术规定》规定，在进行风浪爬高计算时，风速采用设计重现期的年最大风速值。《福建省围垦工程设计技术规程》规定，当采用频率分析方法确定堤顶高程时，风速采用设计重现期的年最大风速值(福建省降低了设计风速的重现期标准，其合理性有待进一步的讨论)。从以上规定来看，均采用的是年最大风速频率计算成果进行分析计算，但设计重现期的标准不完全一致。由于最大风速与最高潮位的遭遇问题是一个较复杂的问题，目前国内外对这一问题的研究尚不多见，且不同区域两者的相关性也不完全一致，因此，风速的设计标准应慎重选用。参考国家《堤防工程设计规范》(GB50286—98)的办法，偏安全考虑，在海堤工程设计时风速宜选用与设计高潮位相同的重现期，并应采用年最大风速频率计算成果。

### 3 设计风速的频率分析

#### 3.1 风速的样本取值

在进行设计风速的频率分析时，风速样本应采用标准风速值，标准风速值是指离地(水)面10m高度处、逐时观测的风速时距为10分钟的平均值。风速取水面上10m高度处的风速，这与国内外的规范一致，且国内外的有关波浪要素和风浪爬高计算公式中的风速均采用的是水面上10m高度处的风速值。对风速时距，考虑到我国工程设计中常用的是时距为10分钟的平均风速，且自20世纪70年代以后国内的气象站普遍采用自记风速仪，一般为自记10分钟平均风速，为了与工程设计习惯一致并方便分析，因此也采用此风速。当风速样本为非标准风速时，应对样本风速进行换算。

#### 3.2 风速的高度换算

风随高度的变化与下垫面性质、大气层结等因素有关，理论上可以采用指数率和对数率公式来描述近地层风速廓线。根据广东省沿海若干个测风塔实测数据进行拟合分析，证明指数率公式更适合广东沿海地区风随高度变化规律。风随高度换算的指数率公式可表示为：

$$V = V_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^\alpha \quad (1)$$

式中  $z_1$ ——已知的测风高度(测风传感器离地面的高度)；

$V_1$ ——已知  $z_1$  高度处的风速；

$z$ ——需要订正的高度；

$V$ ——需求的  $z$  高度处的风速；

$\alpha$ ——风随高度变化指数，其取值大小按下垫面特征确定。

利用1式，可将不同高度下的风速值换算为离地面10m高度处的风速，表1给出了风速较大时各类下垫面的 $\alpha$ 取值，该推荐取值主要适合于风力大于6级( $V > 10.8\text{m/s}$ )的情况。

#### 3.3 风速的时距换算

表1 各类下垫面风速较大时的 $\alpha$ 取值

由于观测设备的原因，1971年以前，广东省仅有1日3次、4次和8次等的定时风速观测资料，1971年以后，各气

下垫面特征	A类	B类	C类	D类
$\alpha$	0.09 - 0.1	0.11 - 0.13	0.14 - 0.16	0.17 - 0.2

注：A类：地形平缓的沙滩和植被低矮的海岸、海岛；B类：丘陵和植被较高的海岸、海岛；C类：离海岸较远的田野、房屋稀少的乡村、城市郊区；D类：离海岸较远的城镇、城市市区。

象台站开始陆续使用自计风速仪进行风速观测。在进行测风样本统计时，风速观测模式不一致也应考虑进行相应转换，统一换算为自记 10 分钟平均风速。风速换算一般采用线形回归方法，式(2)是广东沿海地区气象站每日 4 次观测的 2 分钟风速值换算为标准风速值的线性方程，其它定时风速观测成果也可通过建立可信的相关关系换算成标准风速值。

$$y = 1.3057 + 1.0704x \quad (2)$$

式中  $x$  ——每日 4 次观测的 2 分钟风速值；  
 $y$  ——标准风速值。

### 3.4 设计风速的频率分析方法

气候统计理论和世界气象组织 (WMO) 规定，气象要素的多年平均 (即气候平均值) 和概率计算 (如：重现期设计风速计算) 所采用的基础资料年限应不小于 30 年。因此，在进行设计风速的频率分析时，所采用的风速资料年限应不小于 30 年。考虑到海堤工程设计中对设计影响大的都是大风风速，因此资料系列应包含台风影响。对于重要的海堤工程，当工程所在地无可供利用的长期测风资料时，应建立临时测风站进行风速观测。利用工程所在地临时测风资料计算不同重现期的设计风速时，要求测风资料系列长度应在一年以上，并应进行资料延长订正。可选取附近年限较长的国家气象站同步观测资料，采用线性回归方法，建立可信的回归方程，再利用国家气象站历史观测资料将工程所在地临时测风序列延长。

关于风速的分布率问题曾有不少人作过研究，但结论却不尽相同，有的认为符合韦布尔分布，有的认为符合极值型分布和皮尔逊型分布等等。根据广东省气象局多年的观测经验，极值风速服从极值型分布，设计重现期风速频率分析的线型推荐采用极值型分布曲线。对于极值型分布曲线的分析方法，一般统计学书中均有介绍，限于篇幅限制，在此不再赘述。

## 4 广东沿海地区设计风速计算成果

海堤工程设计中，对于风速的分析，不同的规范有不同的要求。《浙江省海塘工程技术规定》要求将实测的 16 个风向方位的风速归并为 8 个方位组进行分析。《福建省围垦工程设计技术规程》也要求风速按建筑物受风面分方向选取。国家《堤防工程设计规范》(GB50286—98) 要求风向按水域计算点的主风向及左右 22.5° 和 45° 的方位角确定。水利部《碾压式土石坝设计规范》(SL274—2001) 规定风向宜按水域计算点处 8 个方位角确定，其允许偏差为 22.5°。《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》中，风速分析成果未分方向考虑，过去我省海堤工程设计中的风速成果也均为不分方向的年最大值 (或最高潮位日最大值) 的风速频率分析成果。从风推浪的机理来看，采用分方向的风速成果进行海堤工程设计还是比较合理的，它能够较准确的反映某一方向的风在该方向风区长度下所产生的浪高和波浪爬高大小，而且从波浪爬高来看，真正起作用的还是堤轴线的法向风速分量。为此，在进行风速分析时，应分方向来进行频率分析。为了避免因部分站点某一方向的年最大风速缺失而影响分析结果，参照浙江省和《碾压式土石坝设计规范》(SL274—2001) 的做法，频率计算时将实测的 16 个风向方位的风速归并为 8 个方位组进行分析，风向组划分方式见表 2。

表 2 8 方位风向组划分表

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

广东沿海地区目前共有国家气象站 30 个，为了编制《广东省海堤工程设计导则》，我们根据国家气象站实测资料经频率分析后得出了八方位风向组不同重现期的设计风速成果。表 3 给出了离海较近的汕尾气象站的风速计算成果，从表中可以看出，分方向的风速频率计算成果比广东省水利厅 1998 年颁布的《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》小，而且各气象站都是这种趋势。由于分方向后样本风速值减小，产生这种趋势是必然的。在进行频率分析计算时各气象站的资料系列长度均已超过 30 年，满足分析要求，其统计成果基本能代表该方向的实际情况，这一点可从与历史最大风速的比较中得到验证，分方向后将使风速成果更切合实际。

表 3 汕尾气象站 10m 高年最大 10 min 平均风速计算成果

重现期 (年)	2	5	10	20	30	50	100	200	500
风 向									
N ~ NNE	11.3	16.1	19.3	22.4	24.1	26.3	29.3	32.2	36.1
NE ~ ENE	12.8	18.7	22.7	26.5	28.6	31.4	35.1	38.7	43.5
E ~ ESE	13.0	19.6	23.9	28.1	30.5	33.5	37.5	41.6	46.9
SE ~ SSE	11.2	17.2	21.1	24.9	27.0	29.7	33.4	37.1	41.9
S ~ SSW	9.9	14.6	17.6	20.6	22.3	24.4	27.2	30.1	33.8
SW ~ WSW	10.7	15.3	18.3	21.3	22.9	25.0	27.9	30.7	34.4
W ~ WNW	8.6	12.8	15.6	18.3	19.8	21.8	24.4	27.0	30.4
NW ~ NNW	8.3	13.2	16.4	19.5	21.1	23.4	26.4	29.4	33.3
最高潮位相应日 最大风速	10	18	24	30	33	37	43	49	57
年最大风速	18	26	32	37	40	44	49	54	60

注：最高潮位相应日最大风速和年最大风速分析成果采用的是广东省水利厅 1998 年颁布的《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》。

## 5 海堤工程设计时风速选用的几点意见

1) 对于 3 级及 3 级以下的海堤工程，可从广东沿海地区设计风速计算成果中查出相近气象站的设计风速值，再根据工程所在地理位置，进行设计风速的订正换算。对于 1、2 级海堤的设计风速，除从广东沿海地区设计风速计算成果中查取外，应进行专题风分析计算复核。对重要工程和地形复杂的地区，还应在工程位置设置短期测风站，进行专题观测分析研究。

2) 由于气流受地面摩擦影响，风速强度由沿海向内陆是逐渐衰减的，这从广东沿海地区设计风速计算成果中也得到反映。一般而言，在距海较近的范围内风速随距海距离呈负斜率线性衰减，随着距离的增大，其衰减呈缓慢的指数型曲线衰减，且有逐渐接近常值的趋势。进一步的研究表明，随着风速的增大，衰减率也将随之增大。由于广东沿海地区国家气象站距海边均有一定距离，而海堤工程濒临大海，在大风情况下，工程点的风速较气象站风速要大很多，因此，在选用气象站设计风速计算成果时，必须考虑风随海边距离的衰减变化。根据广东省气象局在沿海部分岸段的风速观测成果，表 4 给出了海岸与相邻气象站的风速订正系数，可供海堤工程设计时参考。在利用表 4 选取订正系数时，应注意结合当地气象站距海岸的距离、地形和下垫面特性。当对照的气象站距离海岸越远，且当地的地形越复杂、下垫面粗糙度越大时，订正系数应越大。

表 4 海岸与相邻气象站风速订正系数

风速 (m/s)	向岸风		向海风	
	系数范围	系数平均值	系数范围	系数平均值
17.2~19.9	1.6~2.8	2.0	1.1~1.3	1.2
≥20	2.1~3.0	2.5	2.1~2.3	2.2

注：向岸风是指由海向内陆吹送的风；向海风是指由内陆向海吹送的风；

订正系数只适合于风力大于 8 级 ( $V > 17.2\text{m/s}$ ) 的情况。

3) 海堤工程设计中，风浪爬高和风压计算都涉及到风向问题，考虑到广东沿海地理位置的特殊性，在具体设计时不能仅计算各气象站统计出的常见风向，而应将海堤迎风面的各来风方向都加以计算，选择不利的工况进行设计。这是由于气象站统计的常见风向包含了各种小风情况，且一年中小风出现的几率较大风要高很多，这样统计出的常见风向并不一定能代表大风的出现方向，如按这种风向进行设计，将使设计成果偏于危险。此外，广东沿海台风出现的频率较高，影响广东的台风大多数来自太平洋，也有部分来自南海，由于台风位置和路径的不同，造成广东沿海的大风风向不同于一般的内陆地区，通常有两个主导风向。台风是造成海堤破坏的一个关键因素，从广东沿海的台风特征来看，在进行海堤设计时必须对海堤迎风面的各来风方向进行核算。

## 6 结 语

海堤工程设计中，风速是设计的基础性资料，其选用的合理与否直接关系到整个设计的准确和安全。从目前国内的现状来看，水利部门的技术人员对风的认识还不够深入，在具体的设计工作中，对风速的选用也不够重视，导致部分设计成果由于基础资料选用不当而出现问题。

风作为一种自然现象，其方向和速度都受到地形、地表摩阻等多种因素的影响，在沿海地区，由于台风的介入，使得风的问题更加复杂。海堤工程设计中，对风速的选用应该慎重，相关的研究有待进一步深入，特别是风速强度由沿海向内陆的衰减问题，必须通过实地的观测才能摸索总结出各自的规律。目前我们开展了这方面的初步研究，但由于用于订正系数计算的海岸测风站的建站模式与本项工作的内容不完全相同，致使风速的异地订正仍不够完善。为此，建议在条件允许时，应结合省内重点海堤工程的建设要求，设立专门的临时测风站点，进一步加强这方面的专题研究工作。

## 参考文献

- [1] GB50286 - 98, 堤防工程设计规范.
- [2] 黄河水利委员会勘测规划设计研究院. 碾压式土石坝设计规范. 中国水利水电出版社, 1998.
- [3] 交通部第一航务工程勘察设计院. 海港水文规范. 人民交通出版社, 1998.
- [4] 浙江省水利厅. 浙江省海塘工程技术规定, 1999.
- [5] 福建省水利厅. 福建省围垦工程设计技术规程, 1992.
- [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, 1998.
- [7] 薛桁, 朱瑞兆, 杨振斌. 沿海陆上风速衰减规律. 太阳能学报, 2002, (2): 207 - 210.
- [8] 植石群, 钱光明, 罗金铃. 广东省沿海风随高度变化研究. 热带地理, 2001, (2): 131 - 134.
- [9] 王超. 统一设计标准中风荷载的概率分布模型. 海岸工程, 1987, (2): 1 - 9.
- [10] 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, 2003, (2): 17 - 24.
- [11] 向旭, 黄芳. 海堤设计中的风速计算问题. 人民珠江, 1999, (3): 19 - 24.