

基于舟山多年风浪资料的近海海浪预报研究

张蔺廉, 陈淑琴, 陈梅汀

(舟山市气象局, 浙江 舟山 316021)

摘要:利用舟山海洋浮标站和附近海岛自动测风站环境风场多年资料,采用空间平滑和时间平滑方法做资料预处理,综合分析风力大小、风向、潮汐和浪高之间的关系,结果显示:平均风力等级大小和平均浪高之间呈准线性关系,风大浪也大;同一等级风力情形下,浪高是以平均值为峰值的多等级离散分布;且与风向密切相关,即北风和东风浪大,南风 and 西风浪小,其中东风浪最大,这在实践中得到证实;在潮汐和浪高的关系中,大潮汛期间浪高稍大于小潮汛浪高,差值很小,显示潮汐对浪高的影响并不明显。最后建立回归拟合方程,并通过应用检验。此研究结果对本地海浪经验预报提供了有力支撑和有益的修正,有较好的应用价值。

关键词:相关性;分组平均;环境风场;浪高;潮汐

中图分类号:P731.33

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2018)03-0025-09

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2018.03.003

舟山作为中国最大的海产品生产、加工、销售基地,海洋经济发展较快,近年来,海洋工程、港口航道、海洋航运更是得到蓬勃发展。但当地海洋灾害众多,安全生产问题日益凸显,其中,大浪是最主要的海洋灾害之一。所以,准确的海浪预报显得尤为重要。多年来,海浪预报取得了长足的进步,研究人员在研究和实际应用中提出了许多计算海浪的方法,这些方法大致可以分为 3 类:一是半经验半理论的方法,如 Sverdrup 和 Munk^[1]最先提出后经 Bretschneider^[2]修正的海浪预报方法 SMB 有效波方法^[3],以及文圣常根据风浪成长的特征和因次分析将谱写成给定形式,代入能量平衡方程确定相对于风时及风区成长的能量导出谱方法^[4],尽管这些方法存在着一些问题,如理论不够严密等,但由于其使用方便、计算结果与实测资料吻合较好,至今仍被广泛应用;二是直接从观测资料入手,建立的一些经验统计方法,这些方法表面较以往的半经验半理论方法有所进步,加之实际应用较方便,因此较早期的方法要可靠得多,如 Wilson 的经验预报方法,建立了波高(H)、波速(C)、重力加速度(g)、风区长度(F)、海平面 10 m 高度风(简称 10 m 风)之间的关系,适用于各种海洋环境,现仍然在海洋工程设计参数的计算和海浪预报中被广泛应用^[5];三是海浪的数值计算,就是以能量平衡方程为基本的微分方程进行数值积分的方法,根据源函数的不同又分成多种形式^[6]。

海浪是一种十分复杂的随机现象,至今仍没有十分严密和完善的预报方法。近海波浪源于深水中的海浪,海面风是它的主要原动力,海浪自深水进入浅水海域,水深对它的影响变得越来越重要,近海海浪影响因子主要有:地形变浅,地形和水流引起的波浪折射、绕射和反射,以及底摩擦与破碎作用等。这些都是非常复杂而至今尚未深入了解的问题^[7]。

特别是在海洋观测资料欠缺(即使是海上 10 m 风资料也为数不多),海洋地形复杂,海浪海流之间作用的随机性,海气相互作用等情况下,要准确预报海浪更是不容易。由于风是海浪的主要动力,在舟山海洋渔业、海洋运输业以渔民为主要群体,加上舟山的海浪预报服务长期以风推浪为主的历史背景下,长期的经验、习惯使得这一风推浪模式有着很广泛的群众基础和应用市场。随着舟山海岛自动测风站网和近海海洋浮标站的建成,已经积累了多年实测数据,验证和研究舟山近海风浪关系成为可能。本文搜集了将近 3 a 零 9 个

收稿日期:2018-04-13

资助项目:浙江省气象局科技项目——海洋精细化预报产品优化及预报检验(2013zd03)

作者简介:张蔺廉(1974-),男,工程师,主要从事海洋气象预报服务方面研究. Email:63233918@qq.com

(王佳实 编辑)

月的浮标站有效波高资料和附近测风站的风场资料,用统计方法,分析对比了风推浪模式的预报准确率,指出了其存在的不足,并采用分类整理、数据质量控制和标准化处理、分析对比等方法,建立风场及相关因子与海浪预报的改进模型并检验,以期对传统经验预报提供依据和修正。

1 资料来源及质量控制

1.1 资料来源

1) 海洋浮标站资料

舟山自动浮标站位于 $122^{\circ}27'E$, $29^{\circ}45'N$ 。研究中使用的资料为 2013-03-11T08:00 到 2016-12-16T08:00 的浮标站逐小时资料,共 41 785 时次,缺测 29 段 4 638 时次,有 739 个时次只有浮标站风力,没有有效波高资料。由于浮标站维护困难,资料连续性不好。

在预报服务中发现,浮标站 10 m 风力等级通常会比业务预报中平均小 2 级以上,与周边海岛自动测风站风力等级相比也明显偏小。考虑研究主要为以后业务应用,预报主要为测风站环境风场,与浮标站 10 m 风相差明显。

2) 海岛自动测风站资料

舟山浮标站及周边海岛自动测风站位置如图 1 所示,红色标记区域为自动站位置,蓝色三角所示为浮标站位置,以虾峙、白沙、东亭三站资料模拟浮标站环境风场。由于周边的测风站建站更早,采用与浮标站中有效波高资料与同样时长同时次的逐小时风力资料进行对比。

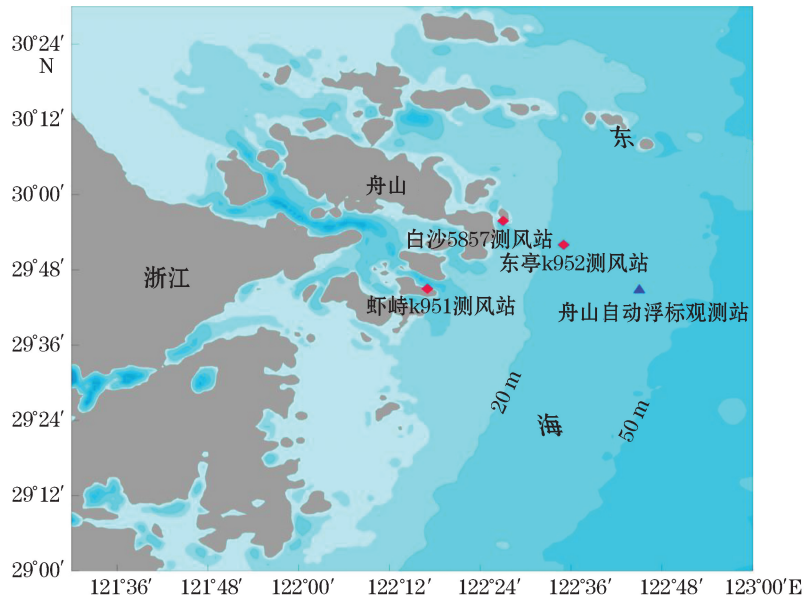


图 1 舟山海洋浮标站和测风站位置图

Fig.1 Locations of the Zhoushan Ocean Buoy Station and the surrounding wind-measuring stations

1.2 观测资料的预处理和质量控制

由于风力是矢量,利用 3 个站点资料来模拟环境风场存在矢量合成问题。经过对比分析 3 站的风力大小和方向,发现同时次的风力资料数值大小有细微差别,如果风向角度差 $\leq 45^{\circ}$ 视为风向相同,则占比 88.1%,如果 $\leq 30^{\circ}$ 视为相同,则占比 81.23%。所以,简化处理方案,认为 3 站风向相同,风力大小为 3 站的

算术平均值。另考虑风力波动性较大,采用 3 时次的加权平均对风力数值进行滤波平滑处理,减小仪器误差和地形影响效果,使数值可信度更高。

在实践中发现,同样大小的风,不同风向产生浪的大小有较大区别。所以,有必要将风力分为风向和风力大小两个因子分析。

2 风力和海浪关系分析

2.1 传统海面风力海况对照表中风浪关系的准确率验证

用海面风力海况对照表的风浪相关性进行验证,当风力采用浮标站 10 m 风(选取环境风 ≥ 6 级)时,准确率只有 36.6%,偏小率占 56.8%;当风力采用环境风平均风时,准确率为 22.2%,偏小率占 70.1%;采用环境风阵风时,准确率为 35.2%,偏小率占 43.8%(表 1)。可见,用传统的风推浪预报效果不是很理想。

表 1 采用环境风场下经验浪高预报与实况浪高的等级差值对比
Table 1 Comparison of the grade difference between empirical wave height prediction and live wave height under ambient wind field

项 目	预报实况浪高差/级						
	-2	-1	0	1	2	3	>3
平均风差频次/次	924	2 372	1 042	338	4	10	2
平均风浪高等级偏差比率	0.196 9	0.505 5	0.222 1	0.072	0.000 9	0.002 1	0.000 4
阵风差频次/次	632	4 119	3 812	2 175	69	22	7
阵风浪高等级偏差比率	0.058 3	0.380 1	0.351 8	0.200 7	0.006 4	0.002	0.000 6

2.2 风力大小和浪高关系的最小二乘法拟合

首先考虑风力大小和海浪波高的二元关系。按照气象风力等级进行分组,计算各等级风力对应波高的平均值。各分组内波高基于均值呈正态分布。在统计分析中,利用拟合优度(R^2)来评价回归值对观测值的拟合程度, R^2 值越大,说明回归值对观测值的拟合程度越好;反之, R^2 值越小,说明回归值对观测值的拟合程度越差^[8]。具体公式为

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = 1 - \frac{RSS}{TSS} < 1, \quad (1)$$

式中,ESS 为回归平方和,表达式为

$$ESS = \sum (\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}})^2 = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2; \quad (2)$$

RSS 为残差平方和,表达式为

$$RSS = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2; \quad (3)$$

TSS 为总离差平方和,表达式为

$$TSS = \sum (Y_i - \bar{Y})^2; \quad (4)$$

式(2),(3),(4)中, Y_i 为观测值; \bar{Y} 为观测平均值; \hat{Y}_i 为回归值; $\bar{\hat{Y}}$ 为回归平均值。

2.3 风力等级和风浪均值统计

风力等级和平均浪高数值之间关系接近直线(图 2),线性拟合效果为

$$Y=0.619X+0.0234, \quad (5)$$

式中, X 为风力等级, Y 为浪高, 此时 $R^2=0.9402$; 如果用二次拟合: $Y=0.0704X^2+0.0972X+0.632$, $R^2=0.9876$ 。从数据上看, 二次拟合更好, 但是从趋势上看, 在 11 级风时, 数值上折明显, 查看原始数据, 可能跟大风日数少, 样本量偏少有关, 参考价值待定。

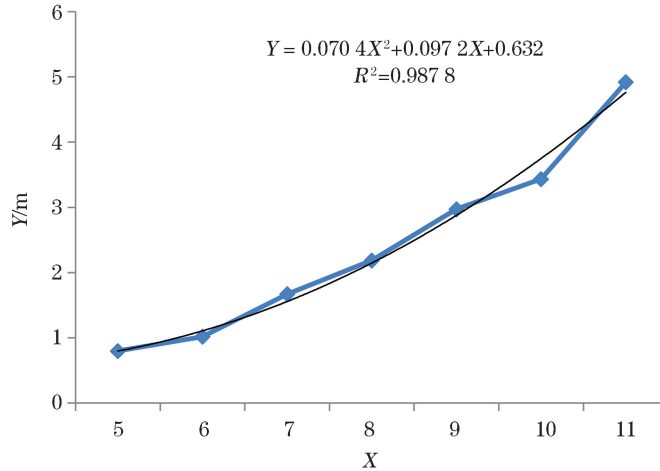


图 2 风力等级与平均浪高拟合关系

Fig.2 The fitted relationship between the wind levels and the mean wave height

2.4 环境风力大小与浪高分布状况

由各等级风力对应的浪高阈分布频次和分布率(表 2)可以看出, 6 级以下风力波高主要集中在 1.2 m 以下; 7, 8, 9 级风力主要集中在 1.5~2.5 m, 7 级风力在 1.2 m 以下占比近 25%; 9 级在 2.5 m 以上占比 40%; 同样大小的风力产生的风浪差别跨度比较大, 10 级风于 1.5~5.0 m 浪占比达到 87%, 还有少数 <1.5 m 和 >5 m 的情形, 数值的离散程度较大, 增加了拟合预报的难度。

表 2 各等级风力对应浪高阈分布频次和分布率

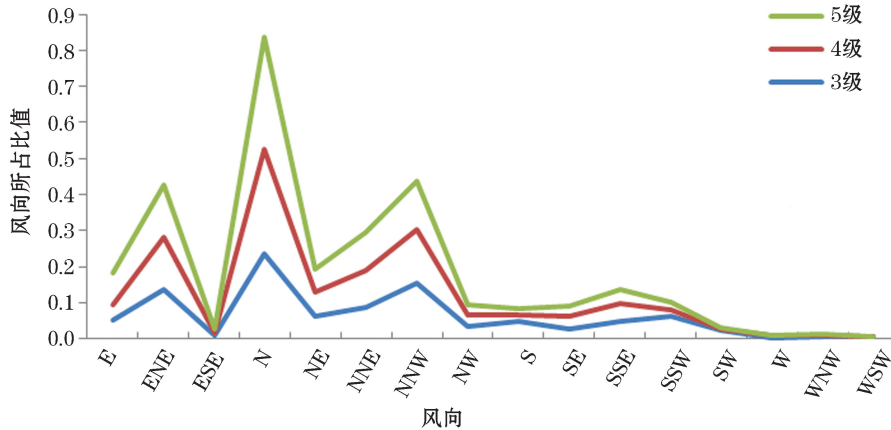
Table 2 The distribution frequency and rate of wave height threshold corresponding to each wind grade

浪高/m	≤6 级风		7 级风		8 级风		9 级风		10 级风		11 级风	
	频次	占比	频次	占比	频次	占比	频次	占比	频次	占比	频次	占比
<0.5	3 895	0.131	46	0.011	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	18 001	0.604	995	0.234	91	0.055	5	0.011	0	0	0	0
1.2	4 066	0.137	919	0.216	190	0.114	11	0.025	1	0.008	0	0
1.5	3 541	0.119	1 958	0.460	969	0.584	195	0.442	37	0.308	0	0
2.5	194	0.007	255	0.060	290	0.175	63	0.143	27	0.225	3	0.136
3.2	66	0.002	75	0.018	74	0.045	91	0.206	12	0.100	4	0.182
4.0	24	0.001	13	0.003	37	0.022	55	0.125	27	0.225	2	0.091
5.0	0	0	0		9	0.005	21	0.048	16	0.133	10	0.455
6.0	0	0	0		0		0		0	0	3	0.136
合计	29 787		4 261		1 660		441		120		22	

注: 空白处无数据

2.5 浪高大小与风向的分布规律

按照浪高等级分组,统计各等级风力对应风向分布情况(图 3)。由图 3 可见,在浪高出现频率最高且对生产影响较大的等级区间 3~5 级中,北风,东北风,东北到东风,西北到北风占比较高,南风、东南风,南到东南风较少,东到东南风、西风、西北到西风,西南到西风最少。说明该风向的频数较少,还可能说明该风向引起的浪高较小。



注: E 为东风; ENE 为东东北风; ESE 为东东南风; N 为北风; NE 为东北风; NNE 为北东北风; NNW 为北西北风; NW 为西北风; S 为南风; SE 为东南风; SSE 为南东南风; SSW 为南西南风; SW 为西南风; W 为西风; WNW 为西西北风; WSW 为西西南风

图 3 各等级浪高对应风向分布占比

Fig.3 The proportion of wind direction distribution corresponding to the wave height of each grade

2.6 不同风向与浪高均值分布律

由于同样等级的风力对应浪高的阈值较大,相同风力不同风向产生的浪高有明显不同。将 16 个风向风力分成北风、东风、南风、西风四组,统计各组风力平均值和浪高平均值,结果见表 3。从表 3 可见,北风频率最高,南风次之,再次是东风,这跟舟山市冬季盛行北风,夏季盛行南风的季节性特征一致。在东海边,容易受入海低压和海上东风系统影响,东风频率也较高;西风频率最少。10 级以上大风时,北风最多,南风较多,东风和西风较少;11 级风时,北风还有 14 次,东风 7 次,数量较少。南风和西风没有 11 级以上大风情形。

表 3 各等级风向出现频次及平均浪高

Table 3 Occurrence frequency of the direction of each grade wind and average wave height

风力等级	北 风		东 风		南 风		西 风	
	频次	浪高/m	频次	浪高/m	频次	浪高/m	频次	浪高/m
≤6	10 786	1.132	9 343	1.132	10 336	0.838	2 985	0.922
7	2 710	1.797	463	2.248	1 189	1.259	299	1.219
8	1 151	2.235	130	3.007	372	1.843	110	1.796
9	343	2.998	28	4.014	44	2.427	35	2.543
10	76	3.416	10	5.010	29	3.238	13	2.800
11	14	4.771	7	5.429				
合计	15 080		9 981		11 970		3 442	

注:空白处无数据

还可以看出,南风、西风各等级风力影响下,浪高相差不大,但是都远小于北风和东风浪高(表 3)。对于北风和东风,在 6 级以下风时浪高相差不大;风力 ≥ 7 级时,东风浪迅速增大,9 级风时浪高相差了 1 m,10 级风时浪高相差近 1.6 m。11 级风时,由于样本数少,也有可能是台风或其他系统影响,需要进一步研究确认,可信度相对不高,仅供参考。这些结果与实践走访调查反馈的结果是一致的。

2.7 波高与潮汐的关系

在海洋和海岸工程中,潮汐作用至关重要,通常经验认为潮汐对浪大小也有明显影响。东海海域属半日潮,即在一个太阴日即农历日内出现 2 次高潮和 2 次低潮,涨潮过程和落潮过程的时间也几乎相等。分析潮位资料发现,涨落潮位时间出现不是严格按照 6 h 的,有的只有 5 h,时间规律很难把握;且同时次的浪高图形没有明显对应的周期性。于是简化方案,按照高潮位每月月中(农历十五)和每月月初月末(农历初一,农历卅可能没有,所以初一既是月初也是月末)和低潮位农历初八、廿三前后 3 d 出现的浪高均值分组对比。每月月初、月末的前后 3 d 为农历廿九到下月初四,农历十五对应农历十三到十八;小潮汛初八前后 3 d 为初五到初十,廿三对应为廿到廿五(表 4)。由表 4 可见,7 级以下风时大潮汛和小潮汛浪高相差不多,10 级风时相差较大,因样本数差异较大,可信度降低。8 级和 9 级风时相差较大,8 级风时大、小潮汛浪高相差不多,为 0.39 m;9 级风时浪高相差较大(0.85 m),但 9 级风大潮汛浪高与平均浪高仅相差 0.007 m,可见大潮汛对浪高增幅也不明显。由波的叠加原理可知,潮汐是周期长的超长波引起的,而海浪是短周期高频的短波,他们相互独立,而近岸很多灾害是由于浪高叠加潮汐增减水引起的。

表 4 大小潮汛期平均浪高对比

Table 4 Comparison of the average wave height occurring during the spring and neap tides

风级	全部日期		大潮汛(\leq 初四, \geq 廿九,十三至十八)			小潮汛(初五至初十,廿至廿五)		
	频次	平均浪高/m	频次	风速/ $m \cdot s^{-1}$	浪高/m	频次	风速/ $m \cdot s^{-1}$	浪高/m
≤ 6	29 787	1.018	11 302	7.955	1.029	11 742	7.945	1.011
7	4 261	1.670	1 772	15.212	1.699	1 397	15.200	1.560
8	1 660	2.187	555	18.421	2.302	614	18.393	1.915
9	441	2.973	186	22.105	2.966	83	21.836	2.110
10	120	3.434	56	25.786	3.361	23	25.426	2.187
11	22	4.918	12	29.650	4.392			

注:空白处无数据

3 分析风力因子等对风浪的拟合结果

3.1 回归拟合变量说明

考虑均值浪高、潮位和风向三因子之间相关性较小。拟简化方案,采用均值基础上,加上潮位、风向对均值的增加值,求解增加值系数,用最小二乘法求最优解。其中主要考虑:潮位和风向都是非连续变量,利用均值后转化为可用的连续型数值变量,再利用最小二乘法求出其系数确定各因子贡献大小,检验效果。

3.2 包含 6 级以下风力的回归拟合情形

取平均波高为各等级风力的基础浪高,取各风向与平均浪高的均值差作为风向影响因子,以潮汛日与平均波高差作为是否大潮影响因子,这顺利将不同数据类型非规则变化量转化为数值变化量引入回归模型,拟

合表格略。从结果看:

$$\text{波高} = \text{aver} \times \text{风级平均浪} + \text{dir} \times \text{风向等级均值波高差} + \text{nongl} \times \text{是否农历日均值波高差} \quad (5)$$

式中, aver 为风力大小影响因子, $\text{aver} = 0.589$; dir 为风向影响因子, $\text{dir} = 0.138$; nongl 为是否为大潮汛影响因子, $\text{nongl} = 0.025$; 风级平均浪, 风向等级均值波高差, 农历日均值波高差不是一个具体数值, 是各等级风力对应的平均浪高表、不同风向浪高与平均浪高的差值表、大潮汛日影响波高差值表(此处因子, 后面相同)。

式(5)最后一项中是否农历日值波高差 < 0.5 , 所以最后一项 < 0.01 , 与实际数值相比可忽略不计。

3.3 不包含 6 级以下风力的回归拟合情形

由于 6 级以下预报在实际中很少出现, 且低值段浪高和风力出现频率较高, 数据量大, 在实际工作中价值不大, 容易对回归拟合结果造成偏差, 从而影响高值段拟合预报, 比较起来, 高值段预报更有价值, 去除 6 级以下风力后再进行拟合的结果如表 5 所示。此时农历日相关性更小, 不计影响, 关系式为

$$\text{波高} = 0.509 + \text{aver} \times \text{风级平均值} + \text{dir} \times \text{风向等级均值波高差}, \quad (6)$$

式中, $\text{aver} = 0.750$; $\text{dir} = 0.227$ 。

表 5 不包含 6 级以下风力的回归拟合结果

Table 5 The regression fit of wind levels (not including those below grade 6)

模型系数	非标准化系数		标准化系数		t 检验	显著性
	回归系数	标准错误	回归系数			
常数	0.509	0.021			24.084	0
风力影响因子	0.750	0.014	0.524		54.936	0
风向影响因子	0.227	0.021	0.089		10.940	0
是否大潮汛影响因子	-0.024	0.049	-0.005		-0.488	0.626

注:空白处无数据

4 拟合结果预报检验

由于 7 级、6 级风力以下过程选取困难, 且太小的浪高对于海上安全价值不大, 模式选取了 21 次大风过程来检验预报过程最大浪高, 结果如表 6 所示。

表 6 21 次大风过程最大浪高预报检验结果

Table 6 The test results of maximum wave height forecast for 21 times of gale process

过程风力	频 次	浪高值/m	预报范围/m	差值 < 0.5 /m	等级不同频次	备 注
8 级	10	1.6~2.9	2.0~2.4	9	3	
9 级	6	1.8~4.4	2.4~3.0	4	1	1 次台风
10 级	5	2.4~5.6	2.9~3.5	1	3	3 次台风

注:空白处无数据

21 次分别为最大风力 8 级过程 10 次, 9 级 6 次, 10 级 5 次。相差 0.5 m 以下为正确, 则准确率为 66.7%, 去除 10 级风力过程, 准确率为 81.3%。查验数据发现, 10 级风力过程大部分都为台风影响, 实际浪高偏高明显, 以此进行拟合, 偏差较大, 反查 9 级风过程有 1 次实况浪高明显偏大, 结果显示同样为台风影响, 否则, 在非台风影响情形下, 准确率可达 82.4%。浪高等级预报检验中, 8~9 级风力过程准确率达到了

75%, 还有 2 次过程是因为在 4 级到 5 级浪分界、即 2.5 m 浪高附近导致了浪高等级差, 实际浪高差值 < 0.5 m, 浪高等级预报实际准确率接近 90%, 达到了预期效果。

结果表明, 采用订正后的统计模型在预报非台风过程时, 浪高等级和浪高数值预报准确率都达到了 80% 以上, 具有较高的准确率和应用价值。

5 结 论

本研究主要分析了舟山近海浮标站和附近自动测风站网的风浪关系, 指出传统风推浪预报海浪的局限性, 并统计分析风浪关系特点, 浪高与风力大小、风向的关系, 以及潮汐的影响, 最后拟合出风浪预报方程, 并通过检验, 结果表明:

统计预报在东海波高分析预报中体现了较高的预报能力。东海的波高与风力大小直接相关, 风力大则浪大; 同时, 波高还与风向有关, 北风和东风浪大, 其余风向浪稍小; 同时作用时间和是否为汛期等都有一定影响。

统计相关分析涉及各行各业, 随着各学科知识的相互交融、渗透, 该方法提供了一种直观、简洁的发现和解决问题的方案, 会有更加广泛的应用。

但是, 该方法对物理过程响应不够, 如在增浪过程中, 浪是多数滞后于风力增大过程的, 依据风力预报海浪数值会偏大; 但在减小时, 浪的衰减明显比风力衰减要慢, 依据风力报海浪数值会偏小。而本关系模型中没能体现这一点, 可以在实际应用中订正。该方法也存在固有的短板: 对极值或小概率事件响应不够, 比如大风小浪和小风大浪情形, 说明还应深入分析基于小概率事件发生时的大气和海洋环境、物理机制, 找出事件反常的真正原因。该预报方法对台风过程无法适用, 需要单独研究。另外, 由于该模式是根据东海近海各方面的特点模拟出来的, 对其他区域的适用性有待验证。

参考文献 (References):

- [1] SVERDRUP H U, MUNKW H. Wind, sea and swell: Theory of relations for forecasting[M]. Washington D C: Hydrographic Office, 1947: 601.
- [2] BRETSCHNEIDER L C. Hurricane design-wave practices[J]. Transactions of the Amerilan Society of Civil Engineers, 1959, 124(1): 39-62.
- [3] AISJAH A, ARIFIN S, DANISTHA W. Sverdrup Munk Bretschneider Modification (SMB) for significant wave height prediction in Java Sea[J]. British Journal of Applied Science & Technology, 2016, 16(2): 1-8.
- [4] WEN S C. The principle of wave[M]. Jinan: Shandong People's Publishing House, 1962. 文圣常. 海浪原理[M]. 济南: 山东人民出版社, 1962.
- [5] WILSON B W. Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December, 1959[J]. Deutsche Hydrografische Zeitschrift, 1965, 18(3): 114-130.
- [6] XU F X, XU L Z. Overview of ocean forecasting methods; II [J]. Marine Forecasts, 1989, 6(4): 50-51. 许富祥, 许林之. 海洋预报方法综述(二)[J]. 海洋预报, 1989, 6(4): 50-51.
- [7] FENG M, SHA W Y, LI Y, et al. Research progress of offshore and near-shore waves[J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2004, 5(6): 72-73. 冯芒, 沙文钰, 李岩, 等. 近海近岸海浪的研究进展[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2004, 5(6): 72-73.
- [8] WU S, PAN F M. Complete collection of SPSS statistical analysis: The chapter of basic statistical methods[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2014: 80. 武松, 潘发明. SPSS 统计分析大全: 基本统计方法篇[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 80.

Research on Offshore Wave Prediction Based on Wind and Wave Data Obtained in Zhoushan in the Past Years

ZHANG Lin-lian, CHEN Shu-qin, CHEN Mei-ting

(Zhoushan Meteorological Bureau, Zhejiang 316021, China)

Abstract: Based on the ambient wind field data obtained at the Zhoushan Ocean Buoy Station and the automatically wind-measuring stations located on the islands nearby in the past years, the relationship between the wave height and the wind power, wave direction and tide is comprehensively analyzed by means of data preprocessing using the space and time smooth methods. The results show that there is a quasi-linear relationship between the average wind level and the average wave height, that is, big wind makes high wave height. Under the same wind level, the wave height shows a multilevel discrete distribution with the average value as its peak value and is closely correlated to the wind direction, that is, the wave height is larger when the wind direction is north during the northerly and the easterly winds and small during the southerly and the westerly winds, with the maximal wave height occurring during the easterly wind. This has been confirmed in practice. The relationship between the tide and the wave height shows that the wave height is slightly higher in the spring tide than in the neap tide, indicating an unobvious influence of tides on wave height. A regression fitting equation is finally established and has been passed the test of practical application. This study provides strong support and useful correction for local wave prediction and has a good application value.

Key words: relativity; correlation group average; ambient wind field; wave height; tide

Received: April 13, 2018