

## 太湖北部风浪波高计算模式观测分析\*

胡维平<sup>1</sup>, 胡春华<sup>1</sup>, 张发兵<sup>1,2</sup>, 胡志新<sup>1,2</sup>, 陈永根<sup>1,2</sup>, 季江<sup>1</sup>, 罗敛葱<sup>1,2</sup>, 秦伯强<sup>1</sup>

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

(2: 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 通过用无量纲分析和线性回归方法对 2002–2003 年太湖 4 测点 1000 多组波浪资料的分析, 给出了太湖不同时段风浪平均波高( $H$ )与风区长度( $F$ )、水深( $d$ )、风速( $v$ )6 个关系模式。在此基础上, 开展了模式的误差分析及与前人模式对比。结果表明, 太湖北部不同区域风浪平均波高的计算应选用不同计算模式, 但是可用如下形式表示:

$$\frac{gH}{v^2} = a_1 \left\{ a_2 \operatorname{th} \left[ a_3 \left[ \frac{gd}{v^2} \right]^{a_4} \right] \operatorname{th} \left[ \frac{a_5 \left[ \frac{gF}{v^2} \right]^{a_6}}{a_2 \operatorname{th} \left[ a_3 \left[ \frac{gd}{v^2} \right]^{a_4} \right]} \right] \right\}^{a_7} + a_8$$

其中,  $a_1 - a_8$  为和地形及水生植物覆盖度等相关的参数。误差分析结果显示: 离岸距离大于 1 km 区域的参数  $a_1 - a_8$  的取值分别为 0.217456、1.0、0.15、0.6、0.09、0.6、1.0、0.0052, 模式估算平均波高的误差小于 24%; 近岸区参数  $a_7$  大于 1,  $a_8$  取 0,  $a_4$  取值介于 0.6–0.72,  $a_5$  介于 0.00131–0.00168, 模式估算平均波高的误差较大, 表明近岸区波浪还需进行进一步的观测研究。

**关键词:** 波浪; 波高; 风速; 太湖

## On the Empirical Wind-wave Height Model in Northern Lake Taihu, China

HU Weiping<sup>1</sup>, HU Chunhua<sup>1</sup>, ZHANG Fabing<sup>1,2</sup>, HU Zhixin<sup>1,2</sup>, CHEN Yonggen<sup>1,2</sup>, JI Jiang<sup>1</sup>, LUO Liancong<sup>1,2</sup> & QIN Boqiang<sup>1</sup>

(1: Taihu Laboratory for Lake Ecosystem Research, Nanjing Institute Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, P. R. China)

(2: Gradual School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China)

**Abstract:** Wind wave is an extremely important hydrodynamic factor in shallow lakes. It has great influences not only on shipping, bank erosion and mixing of water, but also on sediments resuspension, light strength in water, dissolved oxygen and structure of ecosystem. In addition, statistical analysis on the empirical wind-waves height models could help us understand more on the eutrophication and mechanism of algae bloom. Six models for the wind-wave height are set up by using least square method and non-dimensional analyzing of the observed wind-wave data (June–July, 2003) at 4 different sites, northern Lake Taihu. The deviations of the 6 wind-wave models from the observed data have been calculated. The conclusions are: 1) Models of wind-wave height ( $H$ ) versus wind speed ( $v$ ), wind fetch length ( $F$ ) and water depth ( $d$ ) are different in the littoral zone and in pelagic zone, but they could be expressed as

$$\frac{gH}{v^2} = a_1 \left\{ a_2 \operatorname{th} \left[ a_3 \left[ \frac{gd}{v^2} \right]^{a_4} \right] \operatorname{th} \left[ \frac{a_5 \left[ \frac{gF}{v^2} \right]^{a_6}}{a_2 \operatorname{th} \left[ a_3 \left[ \frac{gd}{v^2} \right]^{a_4} \right]} \right] \right\}^{a_7} + a_8$$

where  $a_1 - a_8$  are 0.217456, 1, 0.15, 0.6, 0.09, 0.6, 1.0, 0.0052 in pelagic zone respectively. In the littoral zone  $a_7$  is greater than 1,  $a_8$  is 0,  $a_4$  is between 0.6 and 0.72, and  $a_5$  is among 0.00131–0.00168. The deviation of the wind wave height mode in pelagic zone is less than 24%, which could be greater than 50% in littoral zones. So, the model of mean wind wave height from the observation in pelagic zone is invalid to calculate the wind wave height in littoral zone, and vice versa. It implies observations

\* 中国科学院知识创新项目(KZCX1-SW-12-II)与中国科学院南京地理与湖泊研究所方向前沿项目联合资助。  
2004-02-17 收稿; 2004-05-14 收修改稿。胡维平, 男, 1965 年生, 博士, 研究员; E-mail: wphu@niglas.ac.cn.

must be carried out in different zones for accurate wind-wave height models, especially in pelagic zone and the zone with macroplants.

**Keywords:** Wave; wind; wave height; Lake Taihu

近年对大型浅水湖泊的研究表明,强烈的水动力作用是导致水-沉积物界面不稳定、再悬浮和营养盐内源释放,生长层内部结构和生物数量变化、光学的吸收、衰减等物理、化学、生物过程的最重要的驱动力<sup>[1-4]</sup>,其中波浪是表征湖泊的水动力最主要的内容之一。

太湖不同测点的风浪观测结果表明:通常条件下太湖平均波高小于 0.5 m,波周期介于 0.9-1.5 s 之间。尽管太湖风浪平均波高较小,但由于太湖水深较小,平均水深仅水深 1.9 m,它们对太湖物理环境和生态系统还是具有重大影响。例如当风速为 2 m/s 时,太湖风浪引起的再悬浮分量可占当时悬浮物总含量的 27%。随着风速加大,这一比例逐渐上升,至 4 m/s,再悬浮浓度占总悬浮物含量的 80% 以上,对水下太阳辐射强度可造成影响<sup>[5]</sup>。波浪还可能对太湖藻类、浮游动物种群结构和数量产生重要影响。据陈伟民等研究<sup>[6]</sup>,当水流较小水体稳定时,藻类种类较多,浮游动物优势种为无节幼体、桡足幼体、镖水蚤,原生动物,轮虫数量多。当水流较大时,浮游动物优势种为盘肠蚤、粗毛蚤、猛水蚤。浮游动物结构变化的主要原因是水动力搅扰水底沉积物,再悬浮恶化枝角类等食物条件,造成大型浮游动物(枝角类和桡足类)滤器堵塞,导致浮游动物死亡。波浪作为湖泊重要动力因素,是浅水湖泊沉积物再悬浮的重要因素<sup>[1-3]</sup>。此外,强风表面波还是太湖多次沉船事件的主要原因。本文通过不同观测点风浪数据的分析,探求影响波高的因素,提出计算太湖波高模式,揭示太湖波高空间分布规律,为深入理解不同湖区生物生境和物理环境过程的关系提供新的思路。

然而,目前为止,业已报道的太湖波浪观测和研究还较少,乔树梁等曾于 1992 年在太湖近岸区进行了太湖风浪特征观测<sup>[7]</sup>,逢勇等利用此资料进行福利埃快速变换开展的波谱分析<sup>[8]</sup>。这些观测结果在初步认识太湖风浪特征和计算太湖风浪波高方面发挥了重要作用,但由于其观测点离湖岸较近,通常小于 200 m,且均为单点,其结果能否适用太湖其它区域有待进一步的深入研究和检验。本文依据太湖北部梅梁湖多站点 1000 多组观测数据,对太湖北部风浪波高进行无量纲处理分析及最小二乘拟合,给出太湖北部不同区域风浪平均波高的通用计算模式和经验公式,以期对太湖不同风浪作用的区域划分,评价风浪再悬浮物和营养盐内源负荷量提供有用工具。



图 1 太湖波浪观测点分布(1:梅梁湖中部; 2:乌龟山;3:太湖站西;4:太湖站东;5:马山)  
Fig.1 Site location of wind wave observation(1:center of Meiliang Bay;2: Wugui island;3:West of Taihu Station; 4: East of Taihu Station; 5: Mashan)

1 材料与方法

1.1 观测点位与时间

分别在梅梁湖湾中心区、太湖主体敞水区及近岸区设置 4 个固定观测点(图 1):梅梁湖中部测点(1 号,120°11.7652'E, 31°28.7382'N,观测时间 2003 年 7 月 12-17 日);乌龟山附近测点(2 号,120°13.82'E,31°20.5149'N,观测时间 2002 年 7 月 23-28 日);中国科学院太湖湖泊生态系统研究站(以下简称太湖站)西测点(3 号,120°12.809'E,31°25.194'N)和东测点(4 号,120°12.885'E,31°25.173'N),其中后 2 个测点均位于太湖站水上试验与示范区,观测时间为 2003 年 6 月 4-19 日和 7 月 2-12 日。各测点各时段观测数据分别用乌龟山测点组、梅梁湖中部测点组、太湖站西测点 7 月和 6 月测组,太湖站东测点 7 月和 6 月测组表示。各测点在不同风向条件下的风区长度见表 1。

1.2 观测方法

1.2.1 波浪 先用建筑脚手架在湖内搭建三角或五角形固定支架,然后把 DJ800 测波仪(北京水利水电科学研究院)

的测波杆固定在支架上,记录水面位置的相对变化. 采样时间间隔为 0.1 s,每次观测时间约 55 min.

1.2.2 风场 梅梁湖湾中风速风向测定采用固定于风浪观测支架上的自计风速 Davis-Weather Wizard III 测定,太湖站东西及乌龟山测点采用电接风速风向仪测定.

1.2.3 水深 根据太湖站压力水位站水位确定.

表 1 测点的风区长度(km)

Tab. 1 Wind fetch length at different sites in Lake Taihu (unit: km)

风向	乌龟山	梅梁湖中部	太湖站东	太湖站西	风向	乌龟山	梅梁湖中部	太湖站东	太湖站西
NE	8.859	6.427	0.0655	0.1200	W	26.80	4.374	8.192	8.118
SW	37.90	7.082	39.98	40.20	ESE	7.395	4.168	0.1378	0.2758
NNW	20.53	5.629	0.1470	0.2624	SSW	41.54	49.82	48.43	48.64
ENE	9.417	5.661	0.0751	0.1312	E	9.417	4.512	0.0939	0.1775
N	6.596	7.565	0.0876	0.1641	SSE	11.19	47.35	0.3460	0.4796
NW	12.68	5.789	11.21	10.91	S	23.90	61.04	0.4810	1.163
WSW	34.00	5.316	28.17	14.34	SE	10.10	4.343	0.2447	0.3948
WNW	14.85	5.049	8.554	8.481	NNE	9.660	6.757	0.0728	0.1322

1.3 波高统计方法<sup>[9]</sup>

从每次观测的波面记录序列中截取时长 20 min 的波面相对位移资料,共 12000 个  $\zeta_i(i=1,\cdots,12000)$ , 计算其平均值  $\bar{\zeta}$ ,把它作为波面分析的近似零线. 以该零线为基准,在波面记录上标记出上跨零点. 二相邻上跨零点波面可视为一波,这样可确定 12000 波面位置记录中包含波个数  $M$ ,记录各波所包含记录数  $T_i(i=1,\cdots,M)$ ,初步计算观测时段波浪平均周期:

$$\bar{T}=0.1\cdot\sum_{i=1}^MT_i/M$$

把 12000 个记录均分为 10 段,按以上平均周期在各段记录头尾各读取 20 波,计算各段头尾 20 个波的波面平均值. 把平均值作为各时段离头尾各 11 个波波面的零点. 连接所有时段波面零点,生成整个 20min 记录的新零线. 依新零线,重新计算各时刻波面相对于新零线的位移,获取新的波面位置记录. 再依上跨零法重新读取波面的上跨零点个数  $N$ 、相邻上跨零点间时间间隔  $t_i(i=1,\cdots,N-1)$ 、相邻上跨零点间波面最大值  $\zeta_{\max_i}$  和最小值  $\zeta_{\min_i}(i=1,\cdots,N-1)$ .

依波周期及波高的定义,第  $i$  个波波高为  $H_i=\zeta_{\max_i}-\zeta_{\min_i}$ . 20 min 时间间隔内的平均波高为:

$$\bar{H}=\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N-1}H_i\tag{1}$$

1.4 波高与风速、风区长度及水深统计方法

因量纲分析方法可获知湖泊各物理过程或因素的相对重要性,检验公式合理性,在简化水动力学问题具有重要作用,被广泛用于流体力学研究. 由于风浪成长、发展主要和风速、风区长度、风时、水深以及重力等因素有关,所以可构建无维波高  $\frac{g\bar{H}}{v^2}$ 、无维风区长度  $\frac{gF}{v^2}$ 、无维风时  $\frac{gt}{v}$ 、无维水深  $\frac{gd}{v^2}$  变量. 这样,风浪波高要素可用以下公式表示:

$$\frac{g\bar{H}}{v^2}=f(\frac{gF}{v^2},\frac{gt}{v},\frac{gd}{v^2})\tag{2}$$

其中  $v$  为风速(m/s), $g$  为重力加速度,  $d$  为水深(m), $F$  为风区长度(m), $t$  为风时(min).

由于风浪在成长和发展过程中,一般要经历不同状态(定常状态、不稳定状态以及充分成长状态),且其过程极为复杂,按上式分析波高与风速、风区长度及风时的关系十分困难. 因此在进行太湖风浪的观测资料统计时,一般仅统计风速相对稳定,波浪接近充分成长的波浪,这样式(2)中风时就不予考虑,它就可简化为:

$$\frac{g\bar{H}}{\bar{v}^2}=f(\frac{g\bar{F}}{\bar{v}^2},\frac{g\bar{d}}{\bar{v}^2})$$

(3)

式中  $\bar{H}$  为 20min 时段内平均波高,  $\bar{F}$  为平均风区长度,  $\bar{d}$  为平均水深,  $\bar{v}$  为平均风速. 据乔树梁、浦田试验站、井岛研究成果和 SMB 风浪计算公式<sup>[10]</sup>, 风浪无维波高和无维风区长度、无维水深的关系, 可以用如下形式表示:

$$\frac{g\bar{H}}{\bar{v}^2}=a_1\left\{a_2\text{th}\left[a_3\left[\frac{gd}{v^2}\right]^{a_4}\right]\text{th}\left[\frac{a_5\left[\frac{gF}{v^2}\right]^{a_6}}{a_2\text{th}\left[a_3\left[\frac{gd}{v^2}\right]^{a_4}\right]}\right]^{a_7}\right\}+a_8$$

(4)

其中,  $a_1 - a_8$  为参数, 可用最小二乘法拟合观测资料获得.  $a_1$  表示在水深、风区长度足够大时, 无维波高的值.  $a_2, a_3, a_4$  表示风浪不受风区长度限制时无维水深对无维波高的影响;  $a_5, a_6$  表示无维波风区长度对无维波高的影响;  $a_7$  表示无维波高与无维水深、无维风区长度的幂次关系;  $a_8$  为无维波高的修正参数, 与风速脉动、气压波动等因素有关.

2 结果

剔除风浪快速成长的测组后, 可获得各测点及时段进行  $\frac{g\bar{H}}{\bar{v}^2}, \frac{g\bar{F}}{\bar{v}^2}, \frac{g\bar{d}}{\bar{v}^2}$  无量纲处理的有效波浪数据组共 1033 组, 分别为: 太湖站东、西, 2003 年 6 月 4 - 19 日测组, 103 组和 103 组; 7 月 2 - 12 日测组, 246 组和 248 组; 梅梁湖中部, 2003 年 7 月 12 - 17 日测组, 188 组; 乌龟山, 2002 年 7 月 23 - 28 日测组, 145 组.

用最小二乘法拟合上述 6 大组平均波高观测值获得的式 (4) 无维波高与无维水深、风区长度关系, 可以看出 (表 2):  $a_1, a_2$  值受  $a_7$  的影响较大,  $a_7$  值越大,  $a_1$  值越大. 当  $a_7$  由 1 变化至 1.4549 时,  $a_2$  值由 0.21 增加至 16.1. 太湖站东 6 月波浪测组最小二乘法拟合得到的  $a_1$  值为 16.079.  $a_2$  值在  $a_7$  大于 1 时, 随  $a_7$  变化幅度较小, 介于 0.18 - 0.205 之间; 在  $a_7$  为 1 时, 其值介于 0.21 - 0.85 之间, 大于浦田试验站、岛井及 SMB 风浪公式值 0.13、0.163、0.177<sup>[10]</sup>. 不论  $a_7$  值大于还是等于 1,  $a_3, a_4$  值的变化幅度均较小.  $a_3$  的变化范围为 0.1 - 0.4;  $a_4$  变化范围为 0.6 - 0.72, 小于 SMB 和井岛风浪公式的 0.75.  $a_5$  取值除 MLHC 为 0.09 相对较大外, 其它取值较为接近, 为 0.00131 - 0.00168.  $a_6$  受测点、时段及  $a_7$  取值影响较小, 为 0.46 - 0.6. 当  $a_7$  大于 1 时,  $a_8$  值为 0;  $a_7$  等于 1 时, 不同测点虽取值不一致, 但是差异较小, 介于 -0.0399 和 0.0145 之间.

表 2 各测点及时段风浪平均波高近似表达式参数取值

Tab. 2 Values of parameters in mean wave height expression for observation sites

测点参数	太湖站西 7 月	太湖站西 6 月	太湖站东 7 月	太湖站东 6 月	梅梁湖	乌龟山	乔树梁
$a_1$	0.841853	10.5250	4.06330	16.0790	0.217456	0.277950	0.220000
$a_2$	1.00	0.180	0.205	0.180	1.000	1.000	1.000
$a_3$	0.128	0.120	0.116	0.120	0.150	0.150	0.400
$a_4$	0.60	0.68	0.68	0.60	0.60	0.68	0.72
$a_5$	0.00138	0.00131	0.00132	0.00131	0.09000	0.00150	0.00168
$a_6$	0.490	0.500	0.494	0.500	0.600	0.460	0.460
$a_7$	1.0000	1.3664	1.1619	1.4549	1.0000	1.0000	1.0000
$a_8$	-0.0399	0	0	0	0.0052	0.0145	0
表达式代码	TLLERW7	TLLERW6	TLLERE7	TLLERE6	MLHC	WGSB	QIAO

3 讨论

3.1 拟合公式形式

波浪的产生与发展除受风场、水位直接影响外, 还受地形以及水体植物种类等因素影响. 乌龟山水域、梅梁湾中心水域湖底平坦, 水深在水平空间的变化较小, 且周围 500m 的范围内无水生植物或仅有零星水

生植物分布,环境特征较为接近,理论上讲,由二测点观测得到的平均风浪表达式中的参数值接近(表2).但太湖站东西测点附近水域因接近湖岸,由测点至湖岸湖底高程逐渐增加,且存在大量沉水植物和漂浮植物,波浪接近该水域时发生变形、衰减,因此其平均波高与风速、水深及风区长度的关系与梅梁湖中及乌龟山测点的关系存在着较大差异.表2显示在太湖站东西测点 $a_7$ 取值大部分大于1,与梅梁湖中及乌龟山测点的取值为1不同.在太湖站西测点7月 $a_7$ 等于1时, $a_1$ 取值和梅梁湖中及乌龟山测点取值的差异也较大,前者是后者的4倍.这说明太湖风浪平均波高计算公式,在不同测点不但形式不同,其参数取值也存在较大差异.

表3 拟合式计算值与实测值误差

Tab.3 Result deviation of approximate expression of height of mean wave from observed

波浪测组	误差类型	风浪平均波高计算公式						
		WGSB	MLHC	TLLERW7	TLLERW6	TLLERE7	TLLERE6	QIAO
乌龟山组	err <sub>av</sub> (cm)	0.077	0.793	-7.432	-6.164	-3.897	-6.652	-3.752
	err <sub>abs</sub> (cm)	1.566	1.865	7.432	6.213	4.069	6.672	3.772
	err <sub>re</sub> (%)	22.490	23.570	134.531	121.012	79.617	127.115	64.278
梅梁湖组	err <sub>av</sub> (cm)	-1.830	-0.358	-4.695	-3.649	-3.140	-4.916	-4.507
	err <sub>abs</sub> (cm)	3.232	2.110	5.409	4.036	3.544	5.037	4.804
	err <sub>re</sub> (%)	33.622	21.119	73.181	56.394	46.569	67.717	56.934
太湖站西7	err <sub>av</sub> (cm)	1.823	2.518	0.808	0.644	1.205	0.004	0.381
	err <sub>abs</sub> (cm)	2.442	2.724	2.482	2.192	1.981	1.997	2.540
	err <sub>re</sub> (%)	43.448	52.966	42.510	45.336	36.045	48.358	42.236
太湖站西6	err <sub>av</sub> (cm)	2.821	2.527	2.282	1.285	2.073	0.811	2.003
	err <sub>abs</sub> (cm)	4.086	3.846	4.267	3.510	3.383	3.470	4.236
	err <sub>re</sub> (%)	53.395	50.730	54.828	50.201	42.821	53.898	53.620
太湖站东7	err <sub>av</sub> (cm)	0.651	0.872	0.896	0.341	0.645	-0.210	-0.463
	err <sub>abs</sub> (cm)	1.785	2.228	2.523	1.895	1.642	1.789	2.568
	err <sub>re</sub> (%)	38.663	68.123	48.0441	49.563	38.660	54.041	44.779
太湖站东6	err <sub>av</sub> (cm)	2.439	2.135	2.892	1.627	2.183	1.227	1.870
	err <sub>abs</sub> (cm)	3.939	3.599	4.281	3.318	3.283	3.1859	4.161
	err <sub>re</sub> (%)	59.435	60.556	61.781	56.751	51.483	58.853	61.334

3.2 拟合公式误差分析

令  $H_i$  为平均波高观测值,  $h_i$  为式(4)波高公式计算值, 定义

$$err_{av} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (H_i - h_i), err_{abs} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |H_i - h_i|, err_{re} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{|H_i - h_i|}{H_i}$$

分别为计算的平均误差( $err_{av}$ )、平均绝对值误差( $err_{abs}$ )、相对误差( $err_{re}$ )。

结果表明(表3),WGSB、MLHC 在计算乌龟山、太湖站东、西测点风浪平均波高时,结果总体偏低;但在计算梅梁湖平均波高时,结果却总体偏高。MLHC 计算梅梁湖测点的平均波高相对误差小于WGSB,计算乌龟山测点的误差则与WGSB接近;在计算太湖站东西测点时其相对误差较大,均超过50%,因此该拟合式不适于计算太湖站测点风浪平均波高计算。

TLLERW7、TLLERW6、TLLERE7、TLLERE6 在乌龟山测点结果全部低估测点平均波高,计算值与实测值的差异较大,相对误差均大于79.617%。在梅梁湖中部测点,它们也均低估风浪的平均波高。在太湖站西测点,虽也低估测点的波高,但计算误差小于在乌龟山、梅梁湖中部测点的计算误差。在太湖站东测点,除TLLERE6 高估测点波高外,TLLERW7、TLLERW6、TLLERE7 均低估测点的波高。

由马山区域波浪观测资料获得的QIAO波高计算公式(表3)对乌龟山、梅梁湖中部、2003年7月太湖站东测点的风浪波高的观测结果估算偏高,对太湖西测点及6月东测点的风浪波高的观测结果估算偏低。QIAO计算6组风浪波高相对误差最小为42.236%,即对2003年7月太湖站西测点风浪的计算。它比

TLLERE7 的计算误差高 6%。其次为 44.79%, 即对 2003 年 7 月太湖站东测点波高计算, 也比 TLLERE7 计算风浪波高的误差高 6%。对其他测点组波高计算的相对误差均高于 50%。

以上结果表明 WGS、MLHC 适用于开敞水域风浪的计算, 但用于计算近岸区风浪平均波高的误差较大。TLLERE7 适用于太湖站附近水域风浪波高, 但对于开敞水域风浪波高计算其误差大于 WGS、MLHC。出现这一结果主要原因和近岸区地形有关, 太湖站东测点风浪由于受水生植被影响, 各拟合式计算其风浪波高的相对误差均超过 40%, 说明(4)形式的参数需包含水生植物对波浪影响, 目前这方面的工作还比较薄弱, 需进行进一步观测和研究, 确定其影响参数, 完善表达式。

上述误差分析结果进一步表明, 由离岸区(乌龟山、梅梁湖中部)观测结果统计分析获得的风浪平均波高计算公式在计算近岸区的风浪波高时, 误差较大, 反之, 由近岸区观测结果获得的风浪平均波高计算公式计算离岸区的风浪波高误差也较大, 最大误差甚至达 134%。

## 4 结语

本文依据多站点观测数据, 对太湖北部风浪波高进行无量纲化处理分析及最小二乘拟合, 结果表明:

(1) 充分成长的湖泊风浪平均波高与水深、风速、风区长度关系可统一用(4)式表示; 但是其中参数受局域和其周边地物、地形影响较大。

(2) 离岸区风浪计算公式与近岸区计算公式存在差异, 要获知近岸区域的风浪平均波高的计算公式, 需进一步开展观测, 确定参数, 加以完善。特别是近岸水草覆盖度高的区域, 应开展专门观测, 确定水草覆盖度及密度对波浪的影响。

(3) 离岸区风浪平均波高参数  $a_1 - a_8$  的取值分别为 0.217456、1、0.15、0.6、0.09、0.6、1.0、0.0052。近岸区计算风浪波高表达式参数  $a_7$  大于 1,  $a_8$  取 0,  $a_4$  取值介于 0.6 - 0.72,  $a_5$  介于 0.00131 - 0.00168。

## 5 参考文献

- [1] 秦伯强, 胡维平, 高 光等. 太湖沉积物悬浮的动力机制及内源释放的概念性模式. 科学通报, 2003, 48(17): 1822 - 1831.
- [2] 秦伯强, 范成新. 大型浅水湖泊内源营养盐释放的概念性模式探讨. 中国环境科学, 2002, 22(2): 150 - 153.
- [3] Fan C X, Zhang L, Qu W C. Lake sediments resuspension and caused phosphate release - a simulation study. *Journal of Environmental Sciences*, 2001, 13(4): 406 - 410.
- [4] 罗澈葱, 张发兵. ADP 在太湖沉积物再悬浮分析中的应用. 湖泊科学, 2003, 15(4): 331 - 338.
- [5] 张运林, 秦伯强, 陈伟民等. 太湖水体透明度的分析、变化及相关分析. 海洋湖沼通报, 2003, 2: 30 - 36.
- [6] 陈伟民, 陈宇炜, 秦伯强等. 模拟水动力对湖泊生物群落演替的实验. 湖泊科学, 2000, 12(4): 342 - 351.
- [7] 乔树梁, 杜金曼, 陈国平等. 风浪特性及风浪要素的计算. 水利水运科学研究, 1996, 3: 189 - 198.
- [8] 逢 勇, 濮培民, 胡维平等. 太湖北岸风浪谱的特征分析. 海洋与湖沼, 1996, 27(5): 531 - 536.
- [9] 文圣常, 余宙文. 海浪理论与计算原理. 北京: 科学出版社, 1984.
- [10] 杨 华. 有限风区风浪计算方法. 电力勘测, 1996, (4): 55 - 58.