

# 长荡湖风浪特征观测研究

张怡辉<sup>1</sup>, 魏庆菲<sup>2</sup>, 朱金格<sup>1</sup>, 汪院生<sup>3</sup>, 杨志伟<sup>4</sup>, 胡维平<sup>1</sup>

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所 湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;  
2. 南京国环科技股份有限公司, 江苏 南京 210008; 3. 江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215106;  
4. 江苏长荡湖旅游控股有限公司, 江苏 常州 213224)

**摘要:**基于长荡湖不同位置的风浪实测资料,对实施水利优化工程后的长荡湖风浪特征进行了分析。结果表明,风速较大时,湖心水域总体风浪强度较大,长荡湖谱峰周期与平均波周期和跨零周期都存在显著线性相关。生态潜堤可以有效削减西湖近岸水域风浪强度,有效波高衰减百分比介于 56% ~ 81%,平均周期衰减百分比介于 14% ~ 31%。西部近岸水域风浪强度的削减,有利于水体透明度增加,从而为近岸水域水生植被的修复提供较好的生境条件。

**关键词:**风浪;潜堤;有效波高;平均波浪周期

**中图分类号:**TV882.9 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2022)02-0001-04

## Observation study on the characteristics of wind wave in Changdang Lake

ZHANG Yihui<sup>1</sup>, WEI Qingfei<sup>2</sup>, ZHU Jing<sup>1</sup>, WANG Yuansheng<sup>3</sup>,  
YANG Zhiwei<sup>4</sup>, HU Weiping<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment,  
Nanjing Institute of Geography and Limnology Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;  
2. Nanjing Guohuan Science and Technology Co., Ltd., Nanjing 210008, China;  
3. Jiangsu Taihu Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Suzhou 215106, China;  
4. Jiangsu Changdang Lake Tourism Holdings Co., Ltd., Changzhou 213224, China)

**Abstract:**Based on the measured wind waves datas at different locations in Changdang Lake, the wind waves characteristics in Changdang Lake after the implementation of water conservancy optimization project are analyzed. The results show that when the wind speed is high and the overall wind wave intensity in the central waters of the lake is high, the spectral peak period of Changdang Lake has a significant linear correlation with the mean wave period and the zero-crossing period. The ecological submerged dike can effectively reduce the wind wave intensity in the coastal waters of the West Lake, the significant wave high attenuation percentage is between 56% and 81%, and the mean period attenuation percentage is between 14% and 31%. The reduction of wind wave intensity in the western coastal waters is conducive to the increase of water transparency, thereby providing better habitat conditions for the restoration of aquatic vegetation in the coastal waters.

**Key words:**wind wave; submerged breakwater; significant wave height; mean wave period

收稿日期:2021-09-30

基金项目:江苏省水利科技项目(2020066);中国科学院南京地理与湖泊研究所“一三五”突破项目(NIGLAS2018GH02)

作者简介:张怡辉(1986—),男,博士,助理研究员,主要从事湖泊水动力学、水环境研究工作。E-mail: yhzhang@niglas.

浅水湖泊表面风能经过水气相互作用的传递产生风浪,风浪作为浅水湖泊重要的水动力因子,是沉积物再悬浮的最重要的驱动因素<sup>[1-3]</sup>,而湖泊底泥再悬浮是影响和控制内源释放的关键物理过程<sup>[4-7]</sup>,也是影响生长层内部结构和生物数量变化及光的吸收衰减等化学、生物过程的重要因素<sup>[8-9]</sup>。因此,风浪研究对于湖泊生态系统研究都具有重要的意义。利用仪器开展现场观测是研究湖泊风浪特征的主要手段之一。对太湖、巢湖、鄱阳湖等湖泊均开展了风浪实测研究,并得出了其基本分布特征<sup>[10-15]</sup>。

长荡湖风浪观测数据较少,不利于长荡湖的环境综合整治工作的开展。长荡湖被列入《江苏省湖泊保护名录》,既是环湖地区生活饮用水、工业用水、农业用水、渔业用水及出入湖河道生态用水的重要水源,还是鸟类繁殖地和越冬地。由于风浪影响,长荡湖沉积物再悬浮现象严重,透明度降低,导致长荡湖水生植被分布面积大幅度萎缩和消失,使得长荡湖生态系统净化能力下降<sup>[16]</sup>。针对长荡湖风浪对底泥扰动作用强烈,不利于水生植被的生长与恢复的问题,长荡湖开展了水动力优化工程,希望通过在西部离岸 1 km 位置修建生态潜堤,削减潜堤内风浪强度,减少沉积物再悬浮,提高透明度,进而恢复近岸带水生植物,从而提高湖体自净能力,为全面改善长荡湖水环境质量及水生态环境现状提供支撑。该水动力优化工程于 2020 年 12 月底建成完工,该优化工程完成后,显著改变了长荡湖地形结构,会对长荡湖的风浪特征产生影响。本文基于实测手段,开展了长荡湖不同位置风浪特征观测,以系统地认识和了解长荡湖的风浪变化特征。

## 1 研究区域介绍

长荡湖又名洮湖,是江苏省十大淡水湖之一,位于江苏省南部、太湖流域上游、金坛市金城镇东南 9 km 处,处于北纬 31°30′~31°40′,东经 119°30′~119°40′,湖泊东西最宽处 8 km,南北长约 16 km。长荡湖湖体呈梨形,湖盆地形平坦,无显著起伏,北半部湖盆水深稍大,南半部水浅,多沼泽性芦苇浅滩,淤积严重,常年平均水深约 1.0 m,是典型的浅水草型湖泊,是太湖流域湖泊群中的重要组成部分,其集饮用水源、农业灌溉、洪涝调节和渔业生产等多功能于一体,地形如图 1 所示。

长荡湖地处北亚热带边缘与中亚热带的过渡地带,属北亚热带湿润季风性气候,具有明显的季

风特征,气候温和,雨量充沛,日照充足。长荡湖四季分明,春季干燥少雨,夏季高温高湿,雨量集中,秋季凉爽,冬季寒冷干燥。常年主导风向为东南风、东风,多年平均风速为 3.5 m/s,实测最大风速为 22.0 m/s。

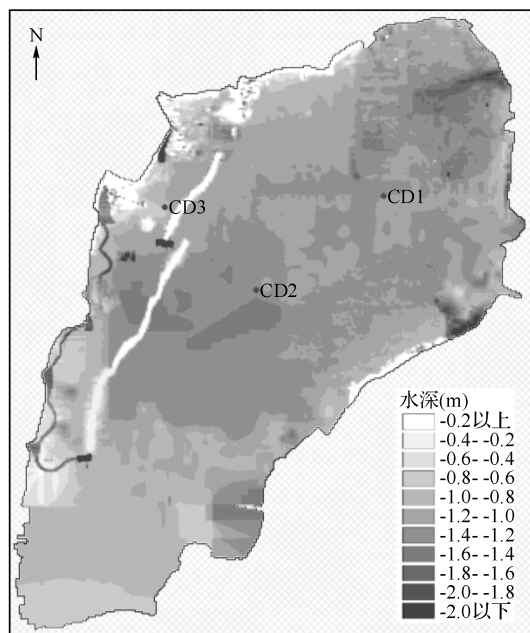


图 1 长荡湖地形和测站位置图

## 2 观测方法

为观测长荡湖不同位置风浪变化情况,在图 1 所示的 3 个测站位置采用坐底方式布置了 MidasD-WR 压阻式波浪仪,使用 Valeport 公司最新的传感器技术、64 位数据处理技术,通过测量波浪引起的压力变化来获得实际的波高变化数据,通过测量波浪引起的电流振荡来计算波向。

其中 CD1 测站观测时间为 2021 年 3 月 3 日 15:00 至 4 日 13:00,数据采集期间水深为 1.1 m (王母观平均水位 3.41 m);CD2 和 CD3 测站观测时间为 2021 年 6 月 24 日 12:00 至 25 日 9:00,数据采集期间水深分别为 1.5 m 和 1.0 m (王母观平均水位 3.70 m)。波浪仪采样频率设置为 4 Hz,一次采样数量为 2 048,记录 8.4 min 湖面波面过程,采样时间间隔为 30 min,每个测站每次采集约 720 个风浪波面过程,观测期间水深介于 1.1~1.4 m。MidasDWR 波浪仪可获得仪器布置湖区的有效波高  $H_s$ 、水面波动 (最大值  $\eta_{\max}$  与最小值  $\eta_{\min}$ )、平均周期  $T_1$ 、上跨零周期  $T_z$ 、谱峰周期  $T_p$ 、有效波周期  $T_{1/3}$  ( $T_{1/3} = 1.05T_p$ )、最大波高  $H_{\max}$  ( $H_{\max} = 1.57H_s$ )、波谱总能量  $E$  ( $E = \rho g H_s^2 / 16$ )、谱峰波向  $P_{k,dir}$  和平均

波向 Mean dir 等波浪特征参数。

### 3 结果分析

#### 3.1 波高变化特征

波高是风浪的重要参数,其中有效波高为  $1/3$  大波的平均波高,是重要的风浪特征参数,可以直接反应出风浪的强度<sup>[14]</sup>。图2为3个测站监测时段内有效波高变化情况,受时间与空间的影响,3个测站有效波高变化情况存在着明显差异。3月3—4日,水位较低(3.41 m),水深相应较小(1.1 m),虽然CD1处于湖体中心区域,岸线遮挡效应较小,但金坛气象站表明该时段风速快速减小,介于  $0.1 \sim 2.6$  m/s,平均风速  $1.3$  m/s,受该监测时段湖面风场变化和较弱缘故,有效波高随时间逐渐减小,且有效波高较小,监测时段内有效波高平均值为  $0.12$  m。6月24—25日,长荡湖处于高水位状态(3.70 m),虽然由于缺测无25日2:00以后风场数据,但现场监测及24日监测时段金坛气象站数据表明该时段风速较大,风速介于  $2.8 \sim 4.3$  m/s,平均值  $3.4$  m/s,因此位于湖心区域的CD2测站有效波高总体较大,最大值为  $0.23$  m,监测时段内平均值为  $0.18$  m。同期CD3测站由于位于生态潜堤西侧,受浅堤掩护作用影响,风浪强度总体较小,有效波高最大  $0.08$  m,监测时段内平均值为  $0.05$  m,显

著小于湖心CD2测站的风浪强度。

#### 3.2 波周期变化特征

风浪周期指两相邻波峰(或波谷)经过同一点所需要的时间,是风浪研究关注的重要特征参数,是湖泊中工程设计的重要参数指标<sup>[14]</sup>。图3为3个测站监测时段内平均波周期变化情况,与波高变化相似,监测时段内,风速较大时刻和湖心区域的波周期相对较大,而掩护区域的CD3测站则波周期显著较小。湖心开敞区域波周期变化与波高同步变化,而潜堤内的CD3测站因掩护影响波周期变化则独具特性。湖心区域波周期介于  $1.14 \sim 1.71$  s,掩护区域平均波周期介于  $1.12 \sim 1.29$  s。

谱峰周期作为浅水湖泊重要的风浪特征参数,对于湖上建筑物的设计(如防波堤、平台)安全极其重要<sup>[14]</sup>。谱峰周期按其定义为风浪谱中最大谱密度对应的频率所得的周期,由于风浪谱是通过波面数据进行傅里叶转换等得到,其获取的直接性和便利性较差,影响了谱峰周期监测的便利性。而平均波周期及跨零周期取得比较方便,因此建立谱峰周期与平均波周期和跨零波周期的关系有利于快速掌握相应位置的谱峰周期情况。

图4为利用3个测站数据得到的谱峰周期与平均波周期和跨零周期的相关性分析,根据皮尔森相关系数可知,谱峰周期与平均波周期和跨零周期都

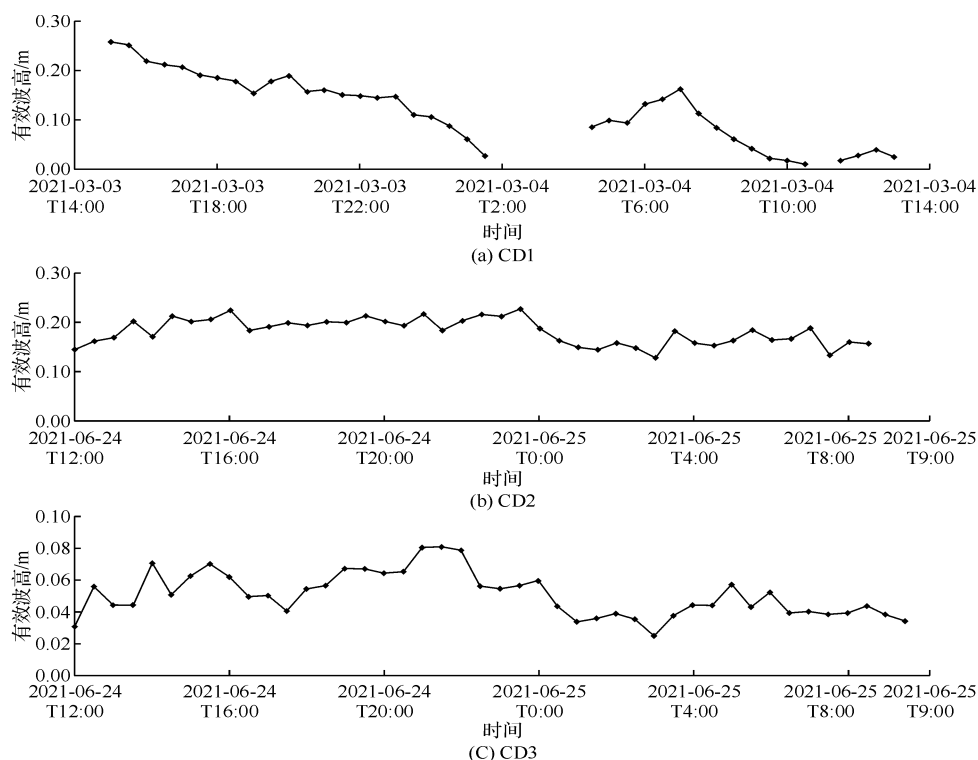


图2 监测期间不同测站有效波高变化情况

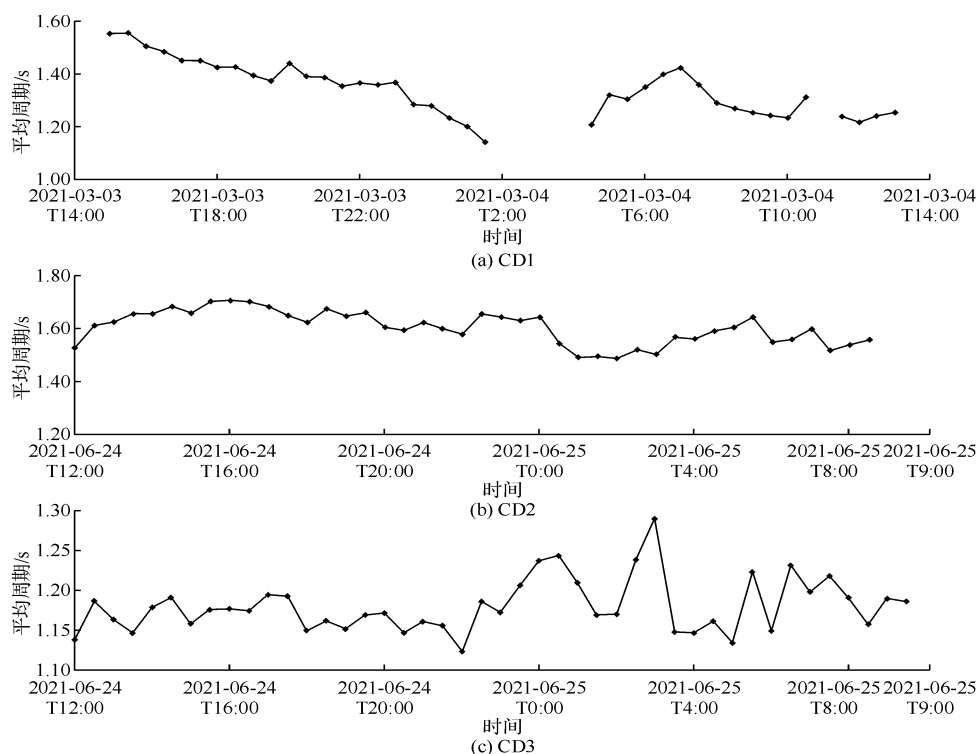


图3 监测期间不同测站平均周期变化情况

存在明显的线性相关,其中谱峰周期 =  $1.3561 \times$  平均波周期 - 0.4742,或者谱峰周期 =  $1.3524 \times$  平均波周期 - 0.4499。利用平均波周期和跨零周期均可很好地获得监测点的谱峰周期,可为长荡湖建筑物及工程设计提供依据。

### 3.3 风浪衰减评估

由图1地形可以看出,西部近岸的潜堤对于近岸水域可以产生较好的掩护作用,一方面针对东风、东南风作用下,形成的西、西北向风浪,潜堤可以很好地阻碍其向西部近岸水域传播,从而减小近岸水域风浪强度;另一方面,潜堤的存在减少了西部近岸水域风作用距离,从而减弱风浪的成长。在以上两重掩护作用下,西部近岸水域风浪强度会显

著减小,从而减弱对底部沉积物的扰动,从而增加水体透明度,为近岸水域水生植被的修复提供较好的生境条件。从图2、图3中CD2和CD3测站的波高和周期同步变化可以明显看出近岸测站的风浪强度显著减小。统计结果表明,CD3相较于CD2测站,有效波高衰减百分比介于56%~81%,平均衰减72%;而平均周期衰减百分比介于14%~31%,平均衰减26%。可以看出,潜堤对于削减有效波高效果显著,超过50%以上,而对于波周期的衰减相对较弱,在30%以内。

## 4 结 论

受长荡湖地形与风场分布影响,总体风速较大

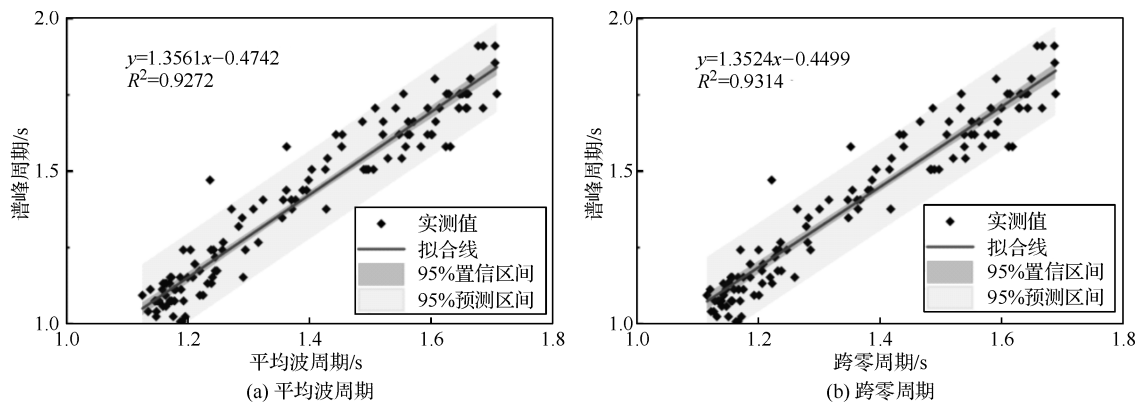


图4 谱峰周期与平均波周期和跨零周期的关系

(下转第8页)

供水,有利于农村产业结构的调整,促进城乡差距的缩小<sup>[5]</sup>。同时,改善了投资环境,扩大城市辐射能力,促进经济社会有序发展。

## 5 结 语

铜山区采取封井压采工程后,地下水水位逐年上升,实现区域内无超采区,无水位降落漏斗区,压采效果明显<sup>[6]</sup>。实行最严格水资源管理制度考核,只有长抓不懈,才能实现地下水资源可持续利用,遏制地下水超采和水质恶化,有效保护和涵养水源,发挥其重要作用。

(上接第 4 页)

时,湖心水域风浪强度较大,近岸水域受潜堤和岸线影响波周期不与波高呈同步变化规律。生态潜堤可显著削减风浪强度,其中有效波高衰减最为明显,平均衰减 72%,而波周期较为稳定,平均衰减 26%。谱峰周期与平均波周期和跨零周期都存在明显的线性相关,其中谱峰周期 =  $1.3561 \times$  平均波周期 - 0.4742,或者谱峰周期 =  $1.3524 \times$  平均波周期 - 0.4499。长荡湖西部近岸水域风浪强度的减弱可以导致底部沉积物悬浮的减弱,从而使近岸水域水体透明度增加,为近岸水域水生植被的修复提供较好的生境条件。

## 参考文献:

- [1] FAN C X, ZHANG L, QU W C. Lake sediment resuspension and caused phosphate release-a simulation study[J]. Journal of Environmental Sciences, 2001, 13(4):406-410.
- [2] 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[J]. 科学通报, 2003, 48(17):1822-1831.
- [3] 罗淑葱, 秦伯强, 胡维平, 等. 不同水动力扰动下太湖沉积物的悬浮特征[J]. 湖泊科学, 2004, 16(3):273-276.
- [4] LOEFF M M R V, BOUDREAU B P. The effect of resuspension on chemical exchanges at the sediment-water interface in the deep sea: a modelling and natural radio-tracer approach[J]. Journal of Marine Systems, 1997, 11(3):305-342.
- [5] MATTHAI C, BIRCH G F, JENKINSON A, et al. . Physi-

## 参考文献:

- [1] 张秀. 地下水环境保护与防治建议研究[J]. 西部资源, 2021(5):12-14.
- [2] 陈晓, 许青枝, 陶国建. 工业园区地下水污染防治与治理措施[J]. 资源节约与环保, 2021(9):114-115.
- [3] 潘文江, 张文. 土壤地下水污染治理工作中环境风险模式应用[J]. 资源节约与环保, 2021(9):128-129.
- [4] 程福海, 谈建康. 浅述我国地下水污染危害现状及成因研究[J]. 农业与技术, 2015, 35(24):239.
- [5] 陆华, 陆徐荣, 杨磊, 等. 淮河流域江苏平原区浅层地下水污染分析[J]. 环境监测管理与技术, 2014, 26(5):19-23.
- [6] 王琳飞. 水资源利用与水环境保护研究的若干问题分析[J]. 资源节约与环保, 2020(8):31.

- cal resuspension and vertical mixing of sediments on a high energy continental margin (Sydney, Australia)[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2001, 52(1):67-89.
- [6] SØNDERGAARD M, JENSEN J P, JEPPESEN E. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes[J]. Hydrobiologia, 2003, 506-509(1):135-145.
- [7] BRZÁKOVÁ M, HEJZLAR J, NEDOMA J. Phosphorus uptake by suspended and settling seston in a stratified reservoir[J]. Hydrobiologia, 2003, 504(1):39-49.
- [8] HAWLEY N, CHANG H L. Sediment resuspension and transport in Lake Michigan during the unstratified period[J]. Sedimentology, 1999, 46(5):791-805.
- [9] HAMILTON D P, MITCHELL S F. An empirical model for sediment resuspension in shallow lakes[J]. Hydrobiologia, 1996, 317(3):209-220.
- [10] 乔树梁, 杜金曼, 陈国平, 等. 湖泊风浪特性及风浪要素的计算[J]. 水利水运科学研究, 1996(3):189-198.
- [11] 逢勇, 濮培民, 胡维平, 等. 太湖北岸风浪谱的特征分析[J]. 海洋与湖沼, 1996(5):531-537.
- [12] 罗淑葱, 秦伯强, 胡维平, 等. 太湖波动特征分析[J]. 水动力学研究与进展, 2004(5):664-670.
- [13] 胡维平, 胡春华, 张发兵, 等. 太湖北部风浪波高计算模式观测分析[J]. 湖泊科学, 2005(1):41-46.
- [14] 张怡辉, 胡维平, 郭西亚. 巢湖风浪特征观测[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(5):1192-1198.
- [15] 李胜超. 鄱阳湖区风浪统计特性及计算方法研究[J]. 长沙理工大学学报, 2008:2.
- [16] 张怡辉, 胡维平, 魏庆菲, 等. 长荡湖水生植被修复地形重塑方案研究[J]. 人民长江, 2020, 51(10):73-79.