

23-28

## 太湖定振波的初步研究

张 文 华

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

D3K3.3

**摘要** 初步分析研究了太湖定振波的变化规律, 结果表明: (1) 东、西太湖有各自的振动周期, 东太湖变化范围在 181—292min, 平均为 243min; 西太湖在 120—540min, 平均为 490min。 (2) 观测到的最大振幅(1/2 波高) 为 120—130mm。 (3) 用差分法对定振波的特征值进行了近似估算, 其周期误差为 20min。 (4) 定振波引起的潮流相当大, 当振幅为 100mm 时, 最大流速可达 ±20 cm/s。 (5) 定振波振幅的突变与气压场、风场和降水分布不均匀并在短期内发生突变有关。

**关键词** 定振波 太湖 基本特征

为了研究太湖定振波的基本特征, 1984 年 4 月至 1987 年 6 月, 在太湖的东部油车港、西部大浦、南部顾家斗、北部吴塘门设置了自记水位计, 风向风速计, 自记雨量计等(图 2), 积累了较多的定振波及风涌水资料, 本文将对太湖定振波的基本特征作一分析。

## 一、太湖定振波的一般特征

太湖湖盆呈不规则分布, 除西南岸呈圆弧状外, 其它部分的岸线极不规则。因而定振波现象十分复杂, 同一地点不同风向风的作用下振荡的水平范围( $L$ )也不同, 因而周期( $T$ )也不同, 资料表明, 太湖存在着多种周期迭加的定振波(图 1)。定振波周期的变化范围为 10—1200min, 而周期在 330—420min 的占资料的 50% 左右, 平均周期( $\bar{T}$ )约为 400min, 各测点间周期较为接近。

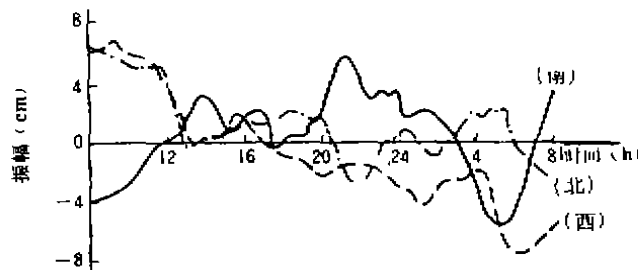


图 1 太湖定振波实测(1986 年 9 月 28 日)

Fig. 1 The case of seiches in Taihu Lake

太湖系一浅水湖泊, 定振波周期随水位变化而显著变化, 水位变化 20min, 周期变化 22min 左右。其实测值最大振幅(1/2 波高)南部为 100mm, 北部为 120mm, 西部为 90mm, 东部为 130mm。

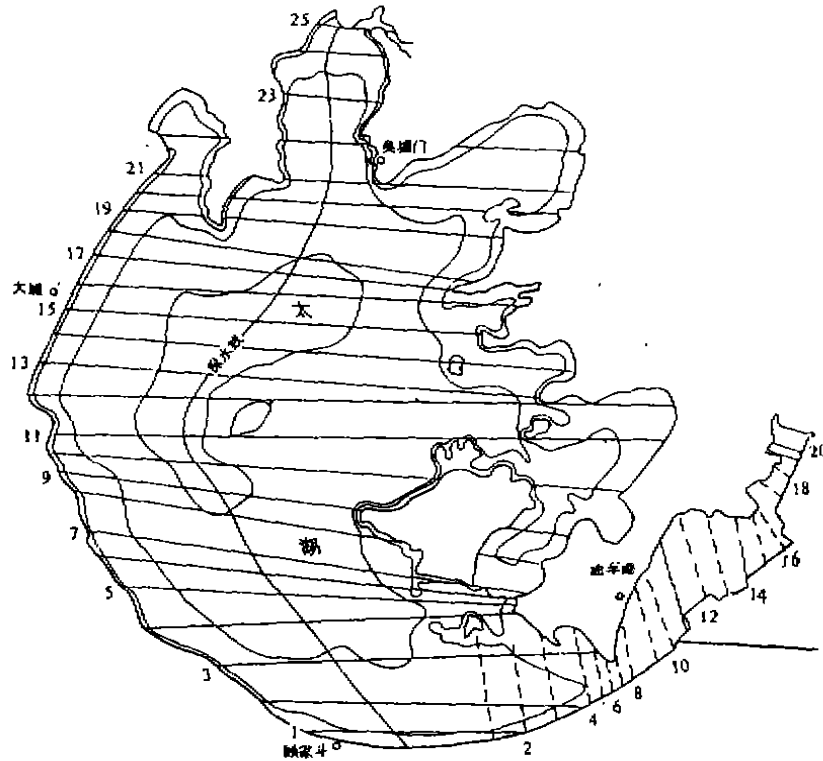


图 2 太湖定振波测点及计算断面示意图

Fig. 2 Measurement points and profile calculation of seiches in Taihu Lake

东太湖定振波周期和振幅的变化与西太湖有所不同。如长时间受偏西大风影响,其周期明显加大,振幅显著增高。通常情况下主振波周期在 181—292min,平均约 243min。当较长时间为静风时,较大湖湾内的定振波亦各自有其自己的振动周期和变化规律,如无锡湾无风情况下周期为 180min,在风作用 10 小时后,受大湖面振荡的影响,周期与大湖面趋与一致。

## 二、太湖定振波的数值估算

### 1. 定振波的数学模式

定振波又称静振,是一种波长与湖泊长度为同一量级的长波驻波运动。19 世纪以来人们对它进行了观测和研究,梅良首先提出了水深一致的长方形湖盆定振波的数学模式,假定湖水密度均一并不考虑柯氏力和摩擦力,得到定振波周期( $T$ )与湖泊长度( $L$ )的关系式<sup>[1]</sup>:

$$T = 2L/n \sqrt{gh} \quad (1)$$

其中  $n$  为定振波节点数, $h$  为平均水深, $g$  为重力加速度。

由于湖盆的形状千差万别,公式(1)计算误差较大。1928 年德方特应用流体力学方程的

数值积分法,得出一个简便的数学模式用以估算不同形态湖泊的定振波周期、断面铅直和水平位移以及节线位置等。

在宽度为  $b$ ,横断面面积为  $s$  的湖泊内,自由振动的动力方程和连续方程可简化为<sup>[1]</sup>:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(S\xi)}{\partial x} = -b\eta \quad (3)$$

假定铅直位移和水平位移均作如下的周期变化:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \xi(x) \cos \frac{2\pi}{T} t \\ \eta &= \eta(x) \cos \frac{2\pi}{T} t \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

将方程(4)中的微分用微量  $\Delta\xi$  和  $\Delta\eta$  来代替,使得

$$\Delta\eta = \frac{4\pi^2}{gT^2} \xi \Delta x, \quad \xi = -\frac{1}{S} \int_0^x \eta b dx \quad (5)$$

用中心差分法计算,假定各横断面相距很近,位移变化是线性的,则方程(5)可改写成:

$$\left. \begin{aligned} \eta_i &= \eta_{i-1} + \alpha_i \frac{\xi_i + \xi_{i-1}}{2}, \quad \alpha_i = \left( \frac{4\pi^2}{gT^2} \right) \Delta x_i \\ \xi_i &= -\frac{1}{S_i \left( 1 + \frac{\alpha_i v_i}{4S_i} \right)} [q_{i-1} - (\eta_{i-1} + \alpha_i \frac{\xi_{i-1}}{4}) v_{i-1}] \\ q_i &= q_{i-1} + \Delta q_i, \quad \Delta q_i = -v_i \frac{\eta_i + \eta_{i-1}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

在(6)式中,  $\eta_i, \xi_i, S_i$ , 分别为  $i$  断面的铅直位移,水平位移和面积;  $\Delta x_i$  和  $v_i$  为  $i$  和  $i-1$  断面间的距离和水面积;  $q_i = S_i \xi_i$  为通过  $i$  断面的水流容积。

计算中周期  $T$  的初始值由(1)式确定,计算从湖泊的一端开始( $x=0$ ),此处  $\xi_0$  和  $q_0$  为零,而  $\eta_0$  可取任意值,根据湖泊地形图量出  $\Delta x_i, s_i, v_i (i=0,1,2,3,\dots,n)$  等,用方程(6)逐步地计算出湖泊内各个断面上位移值。选择适当的  $T$ ,使  $x=0, x=L$  处能满足  $\xi_0 = \xi_L = 0, q_0 = q_L = 0$  的边界条件。由于地形测量及计算误差,所以边界条件只是近似的满足。

## 2. 估算结果

按(6)式对太湖定振波特征值分东、西太湖两部分进行计算,并各取20个和25个断面。见图2。西太湖深水线呈南北走向,长度为66.8km,当平均水位为3m时,算得单节点定振波周期为397.5min,比实测值小20min,造成误差的原因系测量误差及湖中有岛屿等。图3是西太湖定振波特征计算结果的一例( $T=397.5\text{min}$ )。上半部是各个断面的铅直位移(相对于南部振幅为5cm)和1/2周期内输送容积( $\text{m}^3$ ),图的下半部是1/4周期内总水平位移和最大流速,即平均流速( $\frac{4\xi}{T}$ )乘以  $\frac{\pi}{2}$ 。图3的所有标尺将随定振波振幅的增大而增大。

计算结果表明,当周期为397.5min时,振幅为零的节点线位于漫山岛至兰山嘴一线,此处接近全湖的1/2处。水平位移最大值达 $\pm 390\text{m}$ ,位于7号断面附近,此处水面最窄,相应有

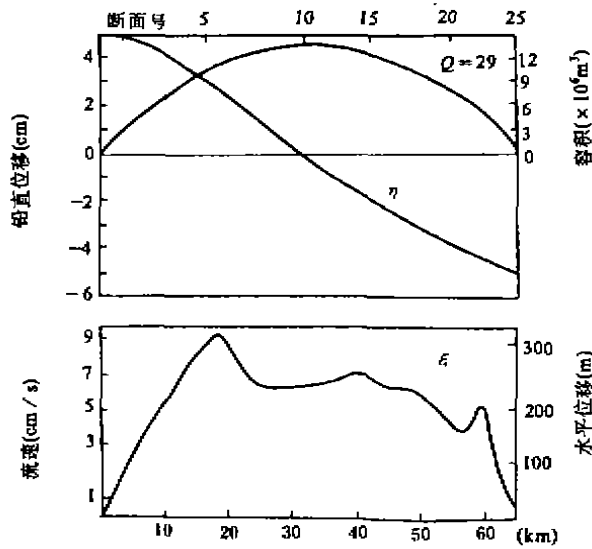


图3 太湖定振波特征计算值

Fig. 3 Characteristic value of seiches in Taihu Lake

尼作用将使振幅逐渐减少, 振动周期也略有减少, 定振波振幅的衰减规律可用指数形式表示:

$$A_n^* = \exp(-\nu_n \cdot n) \text{ 或 } A_t^* = \exp(-\nu_t \cdot t) \quad (7)$$

式中  $A_n^* = A_n/A_0$ ,  $A_t^* = A_t/A_0$ , 分别为第  $n$  个波和  $t$  时刻的相对振幅,  $A_n, A_t, A_0$  分别为第  $n$  个波和  $t$  时刻及初始时刻的振幅, 显然:

$$\nu_t = \nu_n/T \quad (8)$$

$\nu_t$  和  $\nu_n$  称为衰减系数, 为减少偶然性误差, 估算时, 取三个相邻波幅的算术平均值为该时段的平均相对振幅, 在波数  $n$  和相对振幅  $A_n^*$  的半对数坐标中, 得一回归方程, 由此确定  $\nu_n$ , 再由 (8) 式得到  $\nu_t$  值。据西太湖资料表明,  $\nu_t$  介于  $1.89$  至  $3.98 \times 10^{-5} S^{-1}$ , 平均值  $\bar{\nu}_t = 3.28 \times 10^{-5} S^{-1}$ ; 东太湖的  $\bar{\nu}_t = 4.61 \times 10^{-5} S^{-1}$ 。与日本琵琶湖南部 ( $3.12 \times 10^{-5} S^{-1}$ ) 相近。

太湖定振波衰减速度较快, 3个周期即衰减70%左右, 具有浅水湖泊衰减规律的显著特征。比云南抚仙湖衰减速度快23倍。

湖底摩擦力也影响定振波的周期, 在动力方程中不考虑铅直涡动雷诺力项后, 金诚成<sup>〔2〕</sup>等于1979年得到:

$$T = T_0 / \sqrt{1 - (\nu_t \times T_0 / 2\pi)^2} \quad (9)$$

式中  $T_0$  为不考虑湖底摩擦力的周期, 相对于太湖的条件, 得到  $(\nu_t \cdot T_0 / 2\pi)^2 \approx 1.56 \times 10^{-2}$ , 因而在考虑湖底摩擦力作用时比不考虑时大6min。

最大水平流速(10.6cm/s)。10至12号断面是全湖最宽处, 这里有最大的水量水平输送, 在半个周期内达到  $13.7 \times 10^6 m^3$ 。

东太湖计算结果表明, 当周期为200min时, 定振波节点位于杨湾束水口水口外5km左右的地方。当  $\eta = 5cm$  时, 最大水平流速可达12cm/s左右。1984年7月围网区同步资料表明<sup>〔3〕</sup>, 上述计算结果是可靠的。同时还表明, 定振波作用能改变湖流的流速和流向。

由于太湖地形较复杂, 深度较浅, 湖中岛屿较多, 且各个湖湾亦有各自的变化规律, 上述估算只能作为某一水深状态下的近似结果。

### 3. 定振波衰减系数的估算

在定振波运动过程中, 湖底的阻

### 三、影响定振波因素的初步分析

资料表明,由相应频率的水面风速剪应力脉动所引起的太湖短周期谐波与风浪形成有类似之处,但定振波的波长和周期具有比风浪更长而稳定的性质。由于剪应力脉动经常存在,所以,尽管在单位时间内短周期波动的振幅的衰减速度比长周期振动为大,但它却以振幅变化不大的形式经常出现。而主振波则不同,除了缓慢渐变外,有时表现为振幅的突然增大或衰减。对照自计水位资料及同步气象资料发现,这种突变与气压场、风场、降水的分布不均匀并在几十分钟内发生突变有关。当二者位相一致时,可引起振幅的突然增大,位相相反时则引起振幅的突然减小。例如,1984年5月12日18:20—18:40油车港观测点气压升高2.5hPa,50min内定振波振幅由10mm增加到90mm;1986年6月24日大浦观测点14时前3小时,风向W,平均风速1.5m/s,14时后,转为SE,平均风速5.3m/s,半小时内振幅由20mm上升到80mm;1986年8月2日14:45—15:05,大浦观测点降水20mm,此时其他点无雨,该点定振波振幅由25mm增加到90mm,使湖水局部增加并激发了定振波。

### 四、几点认识

(1)太湖系一浅水湖泊,定振波作用明显,若与风涌水作用迭加在一起,所引起的水位增减值相当大,可使工农业生产造成损失。如1949年1月25日夜,一次西南大风仅历时数小时,湖水陡涨1.5m左右,使湖东的洞庭乡新塘圩全部被淹。1991年7月,太湖发生特大洪水,在防洪排涝时,由于未考虑定振波风涌水作用,白天筑堤排水,晚上一场南风,水漫堤垮,劳而无功的现象在无锡湾、安亭湾频频发生,这一点应引起防汛部门的重视。

(2)定振波作用所引起的水平流速是相当可观的,当振幅为10cm时,最大流速可达21cm/s。它为日益发展的拦围养殖提供了不可多得的水体交换条件。

(3)东太湖仅以一束水口与西太湖相连,通常情况下,东太湖的定振波有其自身的变化规律,而长时间偏西大风时因受西太湖定振波作用的影响,其振幅加大,周期延长。

(4)太湖定振波的变化规律呈浅水湖泊的显著特征,表现为周期变化大,衰减强烈。水深变化0.2m,周期变化22min,而深水湖泊则不同,如云南抚仙湖,水深变化1m,周期变化仅0.2min,太湖定振波的衰减以周期计算其速度是抚仙湖的23倍。

(5)同步资料表明,定振波对湖流的流速、流向有影响,尤其在各进出湖河口更明显,能使进出湖河流作反向流动,笔者在长广溪河口(吴塘门桥上)曾测到表层流速24cm/s的反向流速。环保部门在计算污染物排放量时应注意到这一点,否则有些现象则无法解释。

## 参 考 文 献

- [1] H. U. 斯费德鲁普等. 海洋. 北京, 科学出版社, 1959.  
[2] 富水政英(日). 海洋波动. 北京, 科学出版社, 1984.  
[3] 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊室著. 江苏湖泊志. 南京, 江苏科学技术出版社, 1982.  
[4] 中国科学院南京地理与湖泊研究所等著. 云南断陷湖泊环境与沉积. 北京, 科学出版社, 1989.  
[5] 高礼存等著. 湖泊网围养鱼综合技术. 南京, 江苏科学技术出版社, 1988.

## A PRELIMINARY STUDY ON SEICHES IN TAIHU LAKE

Zhang Wenhua

*(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica, Nanjing 210008)*

## Abstract

Characteristics of seiches in Taihu Lake are analysed preliminarily. The results show that: (1) The oscillation periods of seiches in East Taihu Lake vary from 180 to 291 minutes, with an average value of 243 minutes and those in West Taihu Lake vary from 120 to 540 minutes with an average value of 400 minutes. (2) The observed maximum amplitude of seiches in Taihu Lake is about 120—130mm. (3) The characteristics of the seiches are estimated by the difference equation, and the estimating error in the periods is about 20 minutes. (4) The water current in the lake by the seiches is quite large. The maximum current speed is about 20cm/s when the seiche amplitude is 100mm. (5) The amplitude variation of seiches is related to the air pressure, wind field and rainfall above the lake.

**Key words** Seiche, Taihu Lake