

太湖、琵琶湖中水平扩散系数的探讨

逢 勇 濮培民

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要 根据1992年和1993年在太湖和日本琵琶湖观测到的长序列湖流资料, 依据Taylor扩散理论计算了太湖和琵琶湖中的水平扩散系数, 计算结果与通过浓度扩散方程计算基本一致。

关键词 太湖 琵琶湖 水平扩散系数 欧拉流

湖泊、水库是支持生命系统的重要自然资源, 随着经济迅速发展, 人口过快增长、污染蔓延, 使得湖泊富营养化问题日益严重, 从各方面影响着工、农业生产, 人民生活, 饮水和旅游的正常进行。为有效地控制污染, 需了解和预测污染物在湖域中的扩散过程, 才能采取相应的措施。为此, 有必要推算湖域中的扩散系数。

1 计算方法

1.1 资料来源及预处理

本文资料取自1992年和1993年在太湖以及日本琵琶湖观测到的长序列湖流资料, 观测仪器为Andersaa湖流仪, 取样间隔为2min和10min。太湖观测点在太湖北端的无锡马山地区, 琵琶湖观测点在琵琶湖北湖靠近琵琶湖大桥的东西两侧, 因琵琶湖湖水较深, 分上下两层进行观测, 上层距湖面5m, 下层距湖面40m。为保证计算精度, 对观测资料进行了预处理, 剔除资料中的怪值。剔除方法如下^[1]: 对于第 m 个数据 a_m , 将其前后5个数据求平均值, $\bar{a}_m = \frac{1}{11} \sum_{k=-5}^5 a_{m+k}$, 则该点在这11个数据中的方差为 $\sigma_m^2 = \frac{1}{11} \sum_{k=-5}^5 (a_{m+k} - \bar{a}_m)^2$, 再以 $\bar{a}_m \pm 5\sigma_m$ 为判别区间, 凡满足 $\bar{a}_m - 5\sigma_m \leq a_m \leq \bar{a}_m + 5\sigma_m$ 的数据, 认为是正常数据, 否则视为怪值被剔除, 并用第 $m-1$ 个数据代替。

1.2 扩散系数的计算方法

在湖泊中, 湖流会产生偏离平均值的一些随机扰动量, 即 $\bar{u}' = u - \bar{u}$, 其中 u 为观测值, u' 为随机扰动量, \bar{u} 为平均值。借鉴湍流半经验理论的假定, 认为随机扰动量引起的局地质量通量与该地扩散物质平均浓度的梯度成正比, 即:

$$\overline{u'c'} = -k \frac{dc}{dn} \quad (1)$$

式中, 负号表示质量输送的方向与梯度方向相反, $\overline{u'c'}$ 是水平扩散引起的输送量, c 是物质浓度, k 即为扩散系数, u' , c' 分别是流速与浓度的随机扰动量。据湍流各态历经假说, 时间平均

收稿日期: 1994-09-29; 接受日期: 1995-06-18。

与空间平均有某种对应关系。所取时间平均长度愈长,其脉动部分主要能量由愈大尺度的湍涡所贡献。

根据 G. J. Taylor 提出的扩散理论,扩散系数 k 用下式定义^[2]:

$$k = \overline{u_i^2} \int_0^{\infty} R_i(t) dt \quad (2)$$

其中, $\overline{u_i^2}$ 是拉格朗日流速脉动值的平方的平均; $R_i(t)$ 是相应的拉格朗日自相关系数。因为拉格朗日流速很难求得, Hay 和 Pasquill^[3] 认为, 可以将 Taylor 方法推广应用, 利用定点流速测值统计分析求扩散系数, 提出了欧拉流速与拉格朗日流速的自相关系数分布是相似的假定, 于是 k 就可以用欧拉流的实测值来代替:

$$k = \beta \overline{u_E^2} \int_0^{\infty} R_E(t) dt \quad (3)$$

其中, β 是欧拉流与拉格朗日流自相关系数相似性参量, 为无量纲比例常数。由下式定义:

$$R_i(t) = R_E(\beta \times t) \quad (4)$$

Hay 和 Pasquill 得出的 β 值很分散, 范围在 1~8.5 之间, 平均值约等于 4, 但确切多少, 目前也不是很清楚。很多作者在计算时取 $\beta=1$ ^[4], 本文取 $\beta=1$ 。

1.3 欧拉时间自相关系数的计算

欧拉时间自相关系数 $R(t)$ 的表达式为:

$$R(t) = \overline{u'(t_0) \cdot u'(t_0+t)} / \overline{u'^2(t_0)} \quad (5)$$

其中, $u'(t_0)$ 、 $u'(t_0+t)$ 是 t_0 、 t_0+t 时刻脉动速度。本文计算欧拉时间自相关系数的计算式为:

$$R_j(t) = \sum_{i=1}^n u_i \cdot u_{i+j} / \sum_{i=1}^n u_i^2 \quad (6)$$

其中, $j=1, 2, \dots, m$ 。若 $i+j > n$, 则取 $(i+j) \rightarrow (i+j-n)$, 于是又回到原来的 u_i 而从头开始, n 和 m 根据资料的长度进行选取。

时间积分尺度 $L = \int_0^{\infty} R(t) dt$ 。具体计算 L 时, 可对离散型的欧拉时间自相关系数序列 $R_j(t)$ 用有限项求和的近似法来求, 即:

$$L = \sum_{j=1}^{n_0} R_j(t) \cdot \Delta t$$

其中, Δt 代表采样时间间隔, n_0 为对应于相关系数第一次变为零值时的系数, 故应根据相关系数随时间的变化曲线来确定。

2 计算结果及分析

对在太湖和琵琶湖观测到的 5 组长序列欧拉流资料进行了计算, 首先算出各组的欧拉时间自相关系数(图 1, 2)。计算得到的水平扩散系数 k 值在太湖分别为 0.1327×10^4 和 $3.0631 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$; 在琵琶湖分别为 2.3359 (站 I, 上层)、 0.8127 (站 I, 下层) 和 $3.6650 \text{ m}^2/\text{s}$ (站 II, 上层)。

由计算结果可见, k 值约在 $0.8 \times 10^4 \sim 6.1 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ 之间, 与浓度扩散方程计算出的值(太湖为 $0.01 \times 10^4 \sim 20 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ 之间, 琵琶湖为 $0.05 \times 10^4 \sim 4.15 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ 之间)基

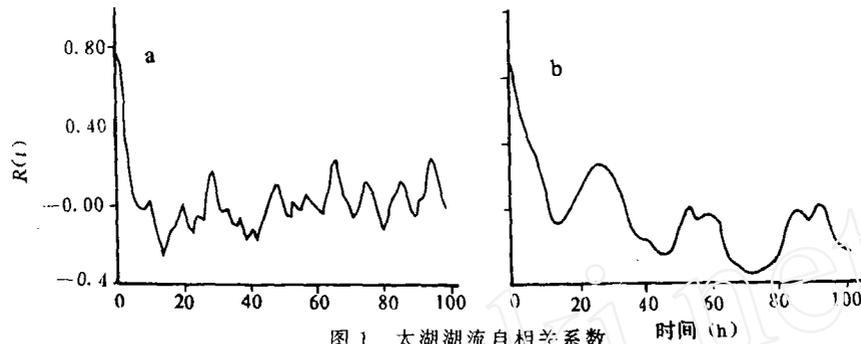


图 1 太湖湖流自相关系数

a. 1992年8月7日~8月12日; b. 1993年3月17日~3月22日

Fig. 1 The coefficient of autocorrelation in Taihu Lake

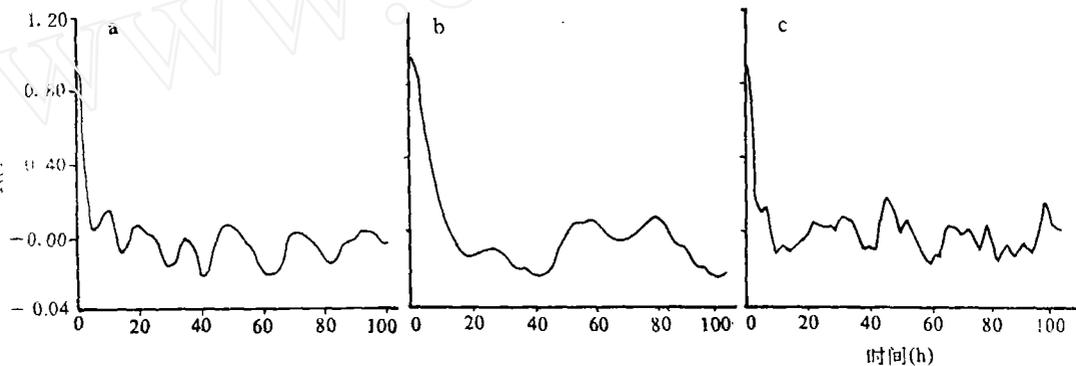


图 2 1993年8月26~8月31日琵琶湖湖流自相关系数

a. I号点上层; b. II号点上层; c. I号点下层

Fig. 2 The coefficient of autocorrelation in Lake Binsu from Aug 26 to 31, 1993

a. Upper level at station I; b. Upper level at station II; c. Lower level at station I

本一致^[5]。

另外,从本文计算结果可以看出,湖域中水平扩散系数值在空间分布上是不均匀的,特别在垂直方向上的空间变化极为显著, k 值随深度的增加而减少,这与扰动能量随深度增加而减少的结论是一致的。

参 考 文 献

- 1 曹文俊等. 天津市效近地面层湍流特征量的研究. 南京气象学院学报, 1993, 16(2): 201~207
- 2 村上和男等. 超音波流速计みな潮流观测と水平、鉛直扩散系数の算定. 港湾技术研究所报告, 1983, 22(2)
- 3 李宗恺等. 空气污染气象学原理及应用. 北京: 气象出版社, 1985. 236~242
- 4 匡国瑞等. 现场海域水平扩散系数的探讨. 青岛海洋大学学报, 1991, 21(2): 37~47
- 5 顾丁锡等. 湖泊水污染预测及其防治规划方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1988. 55~57

ON THE HORIZONTAL DIFFUSION COEFFICIENTS IN TAIHU LAKE AND LAKE BIWA

Pang Yong Pu Peimin

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008)

Abstract

This article calculated the horizontal diffusion coefficients were calculated according to the Taylor's diffusion Theory by using data the current data recorded by Anderaa current meter in Taihu Lake and Lake Biwa from 1992 to 1993. The calculated results accord with that drawn by other methods.

Key Words Taihu Lake, Lake Biwa, horizontal turbulent coefficient of diffusion, Eulerian current

欢迎订阅 1997 年《水利渔业》杂志

《水利渔业》由水利部、中国科学院水库渔业研究所主办,主要刊登水产科研报告、渔业先进经验、名特优新水产品新技术新成果。内容包括鱼类苗种及成鱼养殖技术、大水面增殖技术、网箱等集约化养鱼技术、名特水产、饲料应用、病害防治、资源保护等。本刊特点是以实用技术为主,技术与经济并重,兼顾营销管理与信息交流,具有创新性、实用性、系统性、导向性,对领导决策、科研开发、技术改造、知识更新、生产开发、渔业致富有实用指导作用。

本刊系全国水产核心期刊,1981年创刊,国内外公开发行,邮发代号:38—76。本刊为双月刊,16开,56页。内文激光照排,封页彩色胶印,编核考究,印制精良。欢迎广大新老朋友到各地邮局订阅。每期定价3元,全年6期18元。如邮局订阅不便,也可直接向编辑部邮购。本刊承接各类渔业商品广告,各有细则,欢迎中外企业惠顾。

编辑部地址:武汉市武昌卓刀泉小何村86号,邮编:430073。电话:(027)7803555,电挂:6736。