

# Research and Discussion on the Sediment Content at the Oujiang Estuary

Lei Mo<sup>1</sup> Jiarui Li<sup>2</sup>

1. Administrative Service Center of Shanghai Water Bureau(Administrative Service Center of Shanghai Ocean Bureau), Shanghai, 200050, China

2. CCCC Shanghai Waterway Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

## Abstract

Based on the research results of sediment carrying capacity, a formula for calculating instantaneous sediment concentration considering lag velocity and background sediment concentration was proposed for the Oujiang Estuary of tidal estuaries, and a formula for calculating instantaneous sediment concentration that linearly relates lag velocity to flow direction was further explored. The calculation formula for instantaneous sediment concentration and Liu Jiaju's formula were compared with the measured data at the Oujiang Estuary. The accuracy of the improved calculation formula has been improved to a certain extent.

## Keywords

Oujiang Estuary; sand content; hysteresis flow rate

## 瓯江口含沙量研究与探讨

莫磊<sup>1</sup> 李佳芮<sup>2</sup>

1. 上海市水务局行政服务中心（上海市海洋局行政服务中心），中国·上海 200050

2. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司，中国·上海 200120

## 摘要

基于挟沙力的研究成果，针对感潮型河口瓯江口，提出了考虑滞后流速和背景泥沙浓度的瞬时含沙量计算公式，并进一步探讨了令滞后流速与流向变化为线性关系的瞬时含沙量计算公式。将瞬时含沙量计算公式与刘家驹公式在瓯江口的计算值与实测资料进行了比较。改进后的计算公式准确度有了一定的提高。

## 关键词

瓯江口；含沙量；滞后流速

## 1 引言

感潮河段与内河的水沙关系不同，特别是存在明显的往复流，与单向挟沙水流相比，含沙量的准周期特点明显，且准周期内最大含沙量的出现时间往往并非位于最大流速的时刻，而是存在于水流由落潮向涨潮转换后。最小含沙量的出现时刻也不是流速最小的时候，而是涨潮向落潮转换的时候。因此，将内河单向流的泥沙研究成果直接应用于感潮河段及河口近海地区，常常会出现较大误差。一般情况下，很多学者及泥沙数值模拟人员多直接采用挟沙力公式来估算研究区域的泥沙含沙量。

水流挟沙力<sup>[1]</sup>是指在一定的水流泥沙及边界条件下，单位水体所能挟带和输送的泥沙数量，包括推移质和悬移质在内的全部数量，但习惯上称其为水流挟带悬移质和床沙质

的能力。挟沙力公式在进行理论推导或经验总结时，所采用的流速大多为时均流速（全潮平均，半潮平均），而实际上含沙量是随时间变化的，通常采用的使用瞬时流速代替挟沙力公式中的时均流速来计算泥沙边界，在实际计算中这样的做法往往无法得到较小误差的计算结果。

## 2 瓯江河口泥沙特征

瓯江属于山溪性河流，发源于浙、闽二省交界处的仙霞岑，海拔高程 1921m。其干流全长 388km，流域面积达 17958 km<sup>2</sup>，其中感潮河段长 83km<sup>[2]</sup>。其河口是在溺谷型海湾的基础上充填而成的，河槽外形成喇叭状<sup>[3]</sup>。瓯江口海区岛屿众多，地形复杂。河口平均潮差为 3.92m，最大潮差为 5.7m，属强潮型河口。

瓯江流域来沙多在汛期输入河口，即使在枯水期，在潮流往复搬运的作用下，河口水域内也出现较大含沙量，形成高含沙量区。根据 2010 年泥沙实测资料，瓯江口垂线平均悬沙中值粒径为 0.0023mm，底沙全潮平均中

【作者简介】莫磊（1987-），男，中国江苏南通人，硕士，工程师，从事涉水工程行政审批研究。

值粒径为0.0041mm；瓯飞滩海域及外侧海域垂线平均悬沙中值粒径为0.0022~0.0034mm，底沙中值粒径，除瓯江口北支外侧较大为0.1326mm，其他各点中值粒径均在为0.0031~0.0041mm。按照GB/T12763.3—2007《海洋调查规范》所规定的粒径分类，该海域泥沙皆属极细粉砂和粘土两种类型。瓯江河口形势见图1。

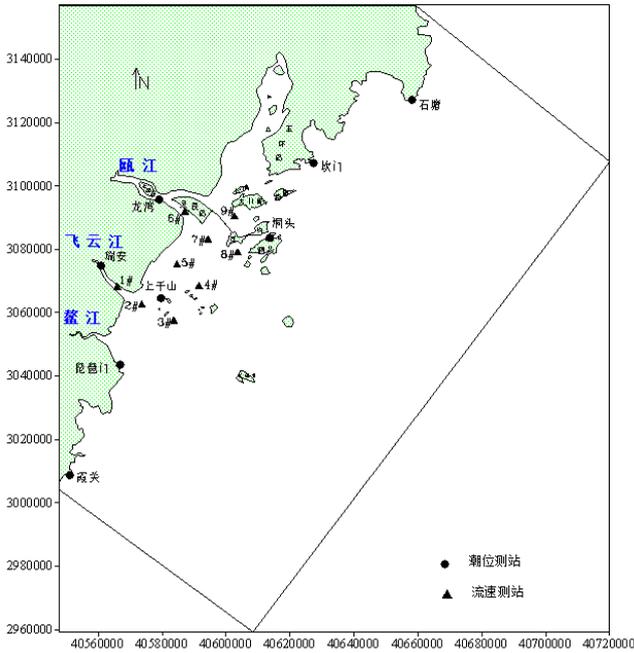


图1 瓯江河口形势及实测站位分布

### 3 瓯江口瞬时含沙量公式

采用2010年瓯江口实测资料，得出瓯江口含沙量与流速随时间的变化关系，如图2所示。

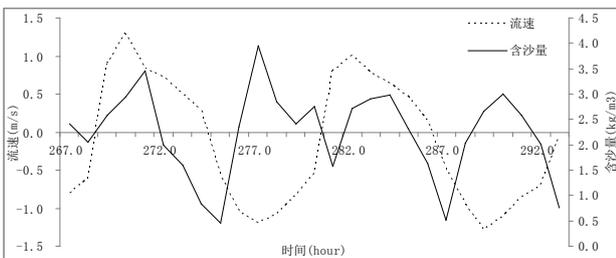


图2 瞬时垂线平均流速与瞬时垂线平均含沙量随时间变化图

从瓯江的实测含沙量与流速数据以及各挟沙力公式的形式不难看出，含沙量与流速、水深及其他物理量有一定的关系，如刘家驹公式、张瑞瑾公式等<sup>[4-6]</sup>，探求含沙量的确定关系式可以借鉴挟沙力的研究成果。李瑞杰等<sup>[7]</sup>从大量的实验数据及实测数据出发，将挟沙力公式统一归结为以下形式。

$$C_s = k \frac{U^2}{gh} \quad (1)$$

式中， $C_s$ 为挟沙力， $U$ 表示时均垂向平均流速， $k$ 为

待定参量。

在单向河道中，一旦冲淤平衡，泥沙颗粒的速度与水流的流速几乎一致，然而在往复流中，由于挟沙水流的转流，惯性差异表现得就比较明显。这种流速差可以称为滞后流速，其往往与潮周期、悬沙中值粒径、水体粘性及其含沙量大小相关。直接采用如式(1)等形式的挟沙力公式估算泥沙边界还会出现瞬时流速为零时含沙量为零的情况，为了体现这种悬沙变化的滞后现象，以及瞬时流速为零时背景含沙量不为零的普遍存在，因此在式(1)的基础上可将其改写为：

$$C = k_1 \frac{(U - U_t)^2}{gh} + C_{bg} \quad (2)$$

其中， $C$ 为瞬时垂向平均含沙量， $U_t$ 为滞后流速， $C_{bg}$ 为背景含沙量， $k_1$ 为待定参量。

式(2)中，确定待定参量 $k_1$ 、 $U_t$ 和 $C_{bg}$ 是含沙量确定的核心。对比实测站位大、中、小潮中含沙量与流速的二次方的相关系数(见表1)可知，不同潮时的水沙依赖关系是有差异的。此处由于实测数据的限制，设备特征站位各潮时的水沙依赖关系相对稳定。当取三个参量均为常数时，采用非线性规划的最小二乘法确定瓯江及飞云江瞬时含沙量数学表达式的待定参量，如表2所示。

表1 瓯江口特征站位不同潮时含沙量与流速二次方的相关系数表

	大潮	中潮	小潮	大、中、小潮
瓯江口	0.4187	-0.141	-0.243	0.2748

表2 式(2)瓯江含沙量待定系数表

	$k_1$	$U_t$	$C_{bg}$
瓯江口	45.7301	-0.2043	0.7736

为了说明式(2)在该实际海域应用中的合理性，此处采用刘家驹公式<sup>[5]</sup>与式(2)进行比较，刘家驹公式如下所示：

$$C_s = \alpha \frac{\gamma_s (U)^2}{\gamma_s - \gamma gh} \quad (3)$$

式中， $\alpha$ 为待定系数， $\gamma$ 、 $\gamma_s$ 为水及泥沙的容重。

图3和图4分别为在瓯江使用刘家驹公式以及式(2)的计算值与实测值比较图。

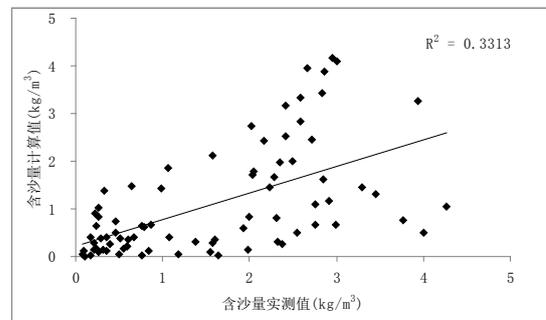


图3 刘家驹公式与瓯江站位计算值与实测值比较图

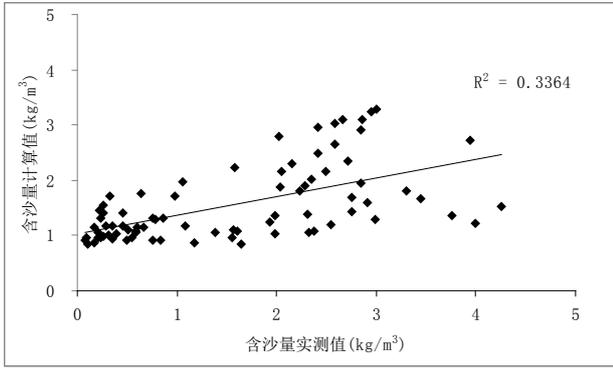


图4式(2)计算值与实测值比较图

可以看出,改进后的式(2)与刘家驹公式相比,与实测数据的相关性更高,准确度有了一定的提高。

### 4 瓯江口瞬时含沙量公式的进一步探讨

改进后的式(2)准确度有了一定的提高,但是由于滞后流速及其他变量在实际中并非非常量,其大小对瞬时含沙量的确定仍存在一定影响。为了进一步探索其与含沙量的关系,讨论当 $k_1$ 、 $C_{bg}$ 为常数,而 $U_t$ 非常数时, $U_t$ 的具体表达式。

$U_t$ 不仅与潮周期及泥沙水力属性有关,而且与不同的潮时及含沙量有关。此处若假设 $U_t$ 仅与流向的变化有关,观察含沙量与流向的关系,如图5所示。

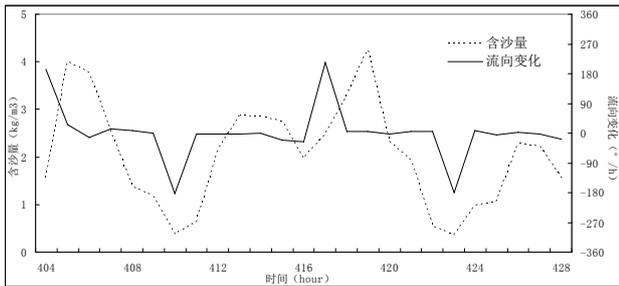


图5瞬时含沙量与流向变化关系图

流向变化在一段时间是稳定的,但是就在其最大变化时的前后,瞬时含沙量达到准周期内的最大值或最小值。作为一种探讨,若假设滞后流速可以表示为

$$U_t = m \frac{\partial \theta}{\partial t} + n \quad (4)$$

式(4)中, $\theta$ 为瞬时垂向平均流速的流向, $m$ 、 $n$ 为待定系数, $t$ 为时间。将式(2)与式(4)联立,得到:

$$C = k_1 \frac{(U - m \frac{\partial \theta}{\partial t} - n)^2}{gh} + C_{bg} \quad (5)$$

由于实测中,流向的导数没有直接的数据展现在实测资料中,此处用中间差分的方式代替导数,得到流向的变化量,将其与含沙量进行比较,如图6所示,可见其与含沙量的变化具有一定的关系。计算瓯江口站位的瞬时含沙量,并分别进行非线性拟合,得到的参量见表3。

表3式(5)计算瓯江含沙量特定系数表

	$k_1$	$m$	$n$	$C_{bg}$
瓯江口	45.9346	-2.3598e-004	-0.2195	0.7358

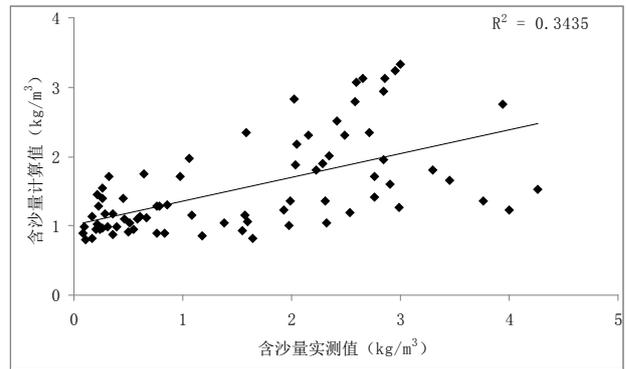


图6式(5)在瓯江站位计算值与实测值比较图

令滞后流速与流向变化为线性关系的式(5)准确度有了进一步提高,可以看出流向变化所产生的影响。其非线性关系可能会更好地刻画泥沙颗粒流速的滞后而带来的瞬时含沙量变化特点,可以在今后进行进一步讨论。

### 5 结语

感潮河段存在明显的往复流,与单向挟沙水流相比,含沙量的准周期特点明显,且准周期内最大及最小含沙量并非出现在流速最大和最小的时刻,而是在水流由落潮向涨潮转换后以及涨潮向落潮转换的时候。因此,将内河单向流的泥沙研究成果直接应用于感潮河段及河口近海地区,常常会出现较大的计算误差,同时很多学者多直接采用时均流速的挟沙力公式来估算随时间变化的泥沙含沙量,也是不够准确的。针对上述问题,论文探讨了感潮型河口瓯江口瞬时含沙量计算公式的建立,并将研究成果式(2)与刘家驹公式在特征站位的计算值分别与实测资料进行了比较,改进后的式(2)准确度有了一定的提高。论文进一步探讨了令滞后流速与流向变化为线性关系时的瓯江口瞬时含沙量计算公式(5),可以看出流向变化所产生的影响。其非线性关系可能会更好地刻画泥沙颗粒流速的滞后而带来的瞬时含沙量变化特点,可以在今后进行进一步讨论。

### 参考文献

- [1] 侯志军,杨晓阳,李岩.黄河口水流挟沙力计算方法研究[J].人民黄河,2008(11):49-51
- [2] 李浩麟.瓯江河口演变分析[R].南京:南京水利科学研究院,2001.
- [3] 王珍珍,徐群,陈国平.瓯江河口挟沙力公式研究[J].水运工程,2010(5):1-5.
- [4] 张瑞瑾.河流泥沙动力学[M].北京:水利电力出版社,1989.
- [5] 曹文洪,舒安平.潮流和波浪作用下悬移质挟沙能力研究述评[J].泥沙研究,1999(5):74-79.
- [6] 刘家驹.海岸泥沙运动研究及应用[M].北京:海洋出版社,2009.
- [7] 李瑞杰,罗锋,周华民.水流挟沙力分析与探讨[J].海洋湖沼通报,2009(1):88-94.