

# 从河相关系定性探讨长江口 澄通河段河床演变趋势

姜宁林

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东广州 510220)

**摘要:** 利用长江口澄通河段多年实测水深、流量等资料, 建立反映澄通河段典型断面面积随含沙量和落潮流量变化的河相关系。依据所建立各典型断面的河相关系式, 分别探讨在含沙量变化和落潮流量变化下, 典型断面面积的变化情况。分析可知, 当含沙量从 $0.312 \text{ kg/m}^3$ 减少到 $0.043 \text{ kg/m}^3$ 时, 各典型断面的面积普遍增加超过55%, 而当落潮流量从 $10\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 增加到 $100\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 典型断面面积增加了约7.7倍。这表明在落潮流量不变的前提下, 含沙量的减少会导致澄通河段各典型断面面积较大幅度地增大, 而在含沙量保持不变的情况下, 随着落潮流量的增加, 断面面积的增加也较为明显。

**关键词:** 长江口; 澄通河段; 河相关系; 河床演变

中图分类号: TV 81

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)08-0131-05

## Analysis of riverbed evolution trend of Chengtong reach in terms of river facies relation

JIANG Ning-lin

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510220, China)

**Abstract:** This paper presents an analysis of the riverbed evolution trend of Chengtong reach of the Yangtze River in terms of the river facies relation, with the main focus on the change of the sectional area of typical section under the different discharge and sediment concentration. The result shows that when the sediment concentration decreases from  $0.312 \text{ kg/m}^3$  to  $0.043 \text{ kg/m}^3$ , the sectional area of typical section increases 55%. At the same time, while the discharge of ebb tide increases from  $10\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  to  $100\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , the sectional area increases nearly 7.7 times. These indicate that under the current status of continuous decrease of sediment concentration from the upstream, the occurrence of overall erosion in the Chengtong reach is highly possible in the future. In addition, the sectional area will increase also if the discharge from upstream increases.

**Key words:** Yangtze estuary; Chengtong reach; river facies relation; riverbed evolution

冲积河流通过自动调整作用处于平衡状态时, 其断面形态、纵剖面形态与流域因素之间存在某种定量的关系, 称之为河相关系。河相关系的研究旨在寻求河床地貌形态与流域因子的定量关系。代表流域因素的变量为主变量, 代表河流纵横剖面的变量为从变量。主变量通常选落潮平均流量 $Q$ 、含沙量 $S$ 及河槽泥沙代表粒径 $D$ 等, 而

从变量则是表征河流相应于流域因素变化而自动调整达到平衡时的河床剖面特征量如断面面积 $A$ 等。对应于流域因素的变化, 河流自动调整达到平衡, 从而出现了相应的纵横平衡剖面, 也就决定了稳定的河相关系。关于河相关系建立的相关理论较多, 有极值假说、稳定性理论、河床最小活动性假说等<sup>[1-4]</sup>。本文以长江口澄通河段的4个典

收稿日期: 2013-01-05

作者简介: 姜宁林(1987—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事河口海岸工程水动力环境研究及港口海岸工程结构设计。

型断面作为研究对象,选择窦国仁基于河床最小活动性假说理论建立的河相关系式<sup>[5]</sup>,利用多年实测水深资料,建立澄通河段不同断面的河相关系式,并据此探讨上游来水、来沙变化可能对澄通河段的河床演变产生的影响。

长江口澄通河段西起鹅鼻嘴、东至徐六泾,全长约96 km。澄通河段的左岸是江苏省靖江市、如皋市、南通市以及通州市,右岸是江苏省江阴市、张家港市和常熟市。近年来,随着上游整治

工程的逐步实施,澄通河段河岸线已经趋于稳定,主航道基本发展为由福中水道接浏海沙水道,再到下游的通州沙东水道和狼山沙东水道。根据大通站多年资料统计(1950—2009年),长江多年平均径流量为28 252 m<sup>3</sup>/s,多年平均输沙量为3.9亿t/a。长江来水量年际间变化较小,但来沙量自20世纪80年代中期以来却呈明显的减小趋势,2006年长江大通站输沙量甚至不足1.0亿t<sup>[6]</sup>。

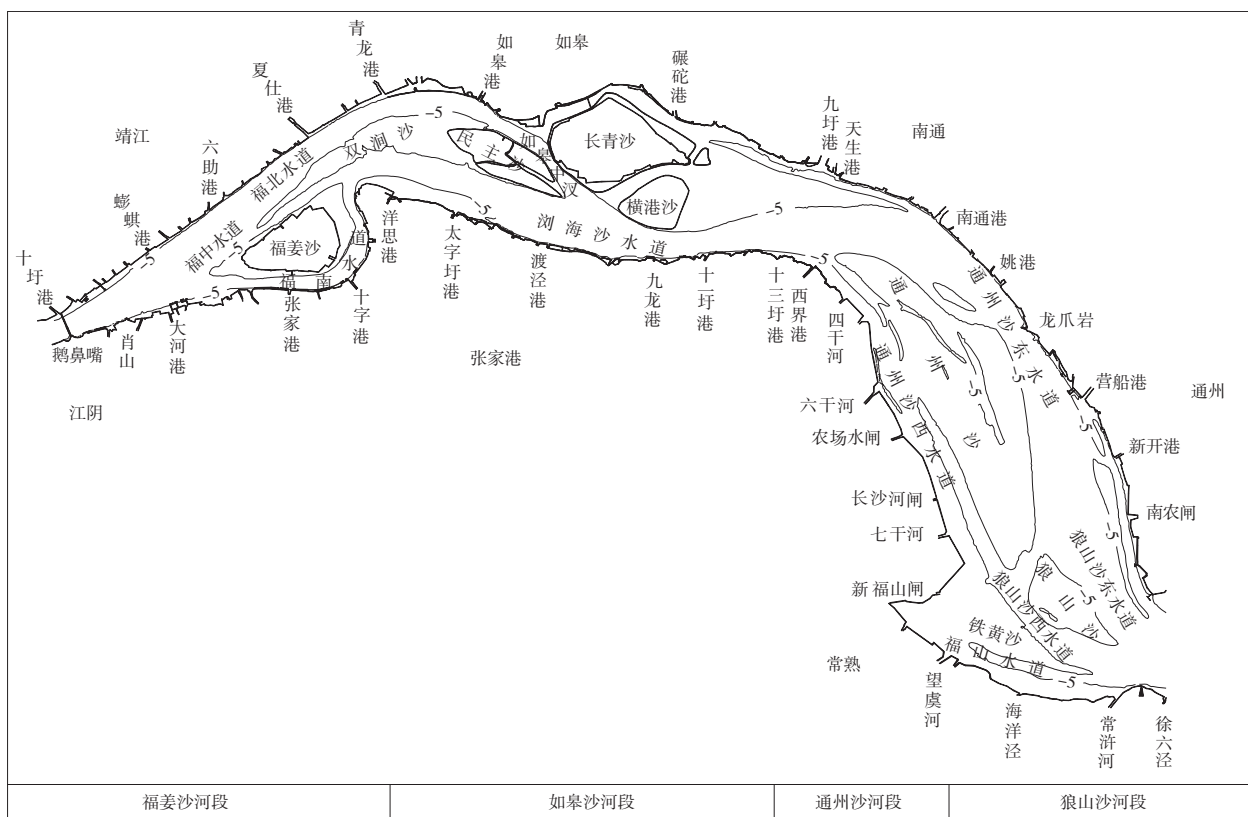


图1 长江口澄通河段形势

### 1 河相关系的建立

#### 1.1 基本公式介绍

本文选择窦国仁基于河床最小活动性假说理论建立的河相关系式加以研究分析,其公式描述如下<sup>[5]</sup>:

$$A = \left(\frac{2}{7b}\right)^{1/9} \left(\frac{\beta^2 k^2 Q^8}{g^2 \alpha^2 v_{os}^2 v_{ob}^2 S^2}\right)^{1/9} \quad (1)$$

式中:  $b$ 为比例系数,根据大量潮汐河口资料确定为0.15;  $\beta$ 为涌潮系数,决定于涌潮的强弱,对于澄通河段取值为1.0;  $k$ 为水流挟沙能力系数;  $Q$ 为平均落潮流量;  $g$ 为重力加速度,取为9.8 m/s<sup>2</sup>;

$\alpha$ 为河岸与河床的相对稳定系数,  $\alpha = \alpha_{岸} / \alpha_{底}$ ,  $\alpha_{岸}$ 和 $\alpha_{底}$ 分别表示河岸与河底的稳定指数,对于一般的潮汐河口取为1.0;  $v_{os}$ 和 $v_{ob}$ 分别为悬沙止动流速和床沙止动流速;  $S$ 为平均含沙量。

#### 1.2 河相关系各参量的计算

##### 1) 悬沙及床沙止动流速计算。

悬沙止动流速:

$$v_{os} = \frac{2.24}{M_{max} \eta} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d} \quad (2)$$

床沙止动流速:

$$v_{ob} = \frac{2.24}{M_{max} \eta} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d} \quad (3)$$

式中： $M_{max}$ 为流的脉动参数； $\eta$ 为流速与平均流速之比值； $M_{max}\eta \approx 1.0$ ，相对光滑度 $H/\Delta > 0$ 时，取为 1.0，其中 $H$ 为断面水深， $\Delta$ 为糙率尺寸； $\frac{\rho_s - \rho}{\rho}$ 为泥沙相对容重，取为 1.65；澄通河段悬沙平均粒径，0.017 4 mm；澄通河段床沙平均粒径 0.123 6 mm。

2) 含沙量的选取<sup>[7]</sup>。

因实测数据有限，现选取 2004 年大通站平均含沙量 0.312 kg/m<sup>3</sup> 进行计算，近似认为 2004 年以前澄通河段处于相对稳定的阶段。

3) 落潮平均流量计算。

落潮平均流量计算公式为：

$$Q = vA \quad (4)$$

式中： $v$ 为落潮平均流速； $A$ 为各断面的过水断面面积，本文中选取了福姜沙右汊道、福姜沙左汊道、如皋沙右汊道以及通州沙东汊道这 4 个汊道的典型断面进行分析。

根据上述计算公式，计算得到相对稳定期澄通河段各典型断面的河相关系基本量见表 1。

表 1 各典型断面河相关系基本量计算结果

断面名称	$A/m^2$	$Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	$S/(kg \cdot m^{-3})$	$K/(kg \cdot m^{-3})$
福右汊道	12 592	7 746	0.312	2.07
福左汊道	37 106	29 309	0.312	1.31
如右汊道	44 382	31 558	0.312	2.18
通东汊道	42 852	30 180	0.312	2.22

1.3 典型断面河相关系的建立及验证

根据以上计算结果，可近似建立澄通河段各典型断面的河相关系式如下：

$$\text{福右汊道：} A = 3.39 \left( \frac{Q^8}{S^2} \right)^{1/9} \quad (5)$$

$$\text{福左汊道：} A = 3.06 \left( \frac{Q^8}{S^2} \right)^{1/9} \quad (6)$$

$$\text{如右汊道：} A = 3.43 \left( \frac{Q^8}{S^2} \right)^{1/9} \quad (7)$$

$$\text{通东汊道：} A = 3.45 \left( \frac{Q^8}{S^2} \right)^{1/9} \quad (8)$$

现选用澄通河段 2006 年实测水深及流量等条件，对上述河相关系式进行验证，验证结果见表 2。验证结果显示：实测断面面积与计算断面面积平均误差 9.5%，这表明本文中所建立的河相关系式

能较好地反映河槽断面面积与该断面处含沙量及落潮平均流量的相关关系，可将其运用到后续的研究分析中去。

表 2 各典型断面的面积验证

年份	断面名称	实测值/m <sup>2</sup>	计算值/m <sup>2</sup>	误差/%
2006	福右汊道	10 649	11 632	9.23
2006	福左汊道	35 864	37 019	3.22
2006	如右汊道	36 246	41 070	13.31
2006	通东汊道	52 951	46 605	-11.98

2 河相关系计算结果分析

2.1 落潮流量不变，含沙量减少，断面变化情况

根据文献[7]中建立的大通站含沙量随年份变化的相关关系式，计算不同年份下大通站含沙量值，并以此含沙量作为澄通河段不同年份的代表含沙量值代入各断面的河相关系式中。各代表断面的断面面积随时间变化情况见表 3 及图 2。可以看出，在落潮流量不变的情况下，含沙量的减少会导致断面面积的急剧增大。当含沙量从 2004 年的 0.312 kg/m<sup>3</sup> 减少到 2050 年的 0.043 kg/m<sup>3</sup> 时，福右汊道、福左汊道、如右汊道、通东汊道的断面面积普遍增加超过 55%，断面面积的普遍增加反映了河床整体发生显著的冲刷。这也表明，随着长江上游大型水利工程的实施，上游来沙量大幅度减少，从而导致下游河段含沙量也出现一定程度的减小，在落潮流量变化不大的前提下，必将进一步引起河床产生冲刷。在上游来沙量急剧减少的背景下，澄通河段近年来呈现了整体冲刷的趋势<sup>[6]</sup>，这对于澄通河段的稳定发展必然会产生诸多不利的影

表 3 不同含沙量条件下各汊道断面面积变化

年份	$S/(kg \cdot m^{-3})$	$A/m^2$			
		福右汊道	福左汊道	如右汊道	通东汊道
2004	0.312	12 591.94	37 105.41	44 381.68	42 852.40
2010	0.277	12 929.32	38 099.61	45 570.84	44 000.59
2020	0.219	13 622.30	40 141.64	48 013.31	46 358.90
2030	0.160	14 606.45	43 041.70	51 482.06	49 708.12
2050	0.043	19 559.42	57 636.93	68 939.37	66 563.90

2.2 含沙量不变，落潮流量变化，断面变化情况

利用长江口水文水资源勘测局提供的 1950—2009 年的大通站流量资料，选取年最大流量和年

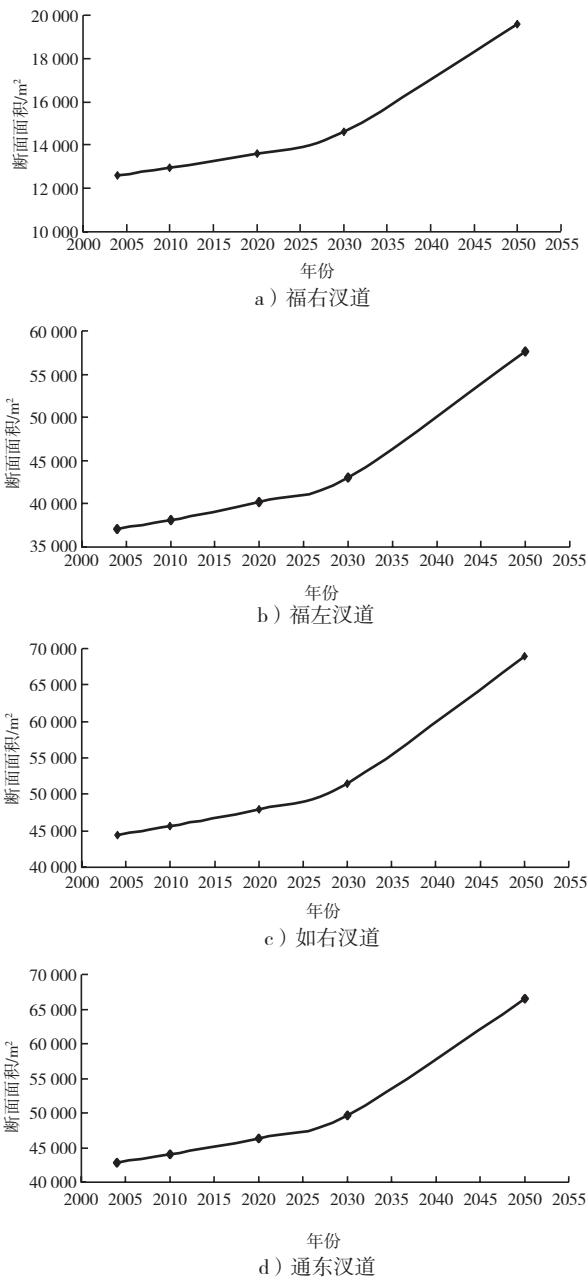
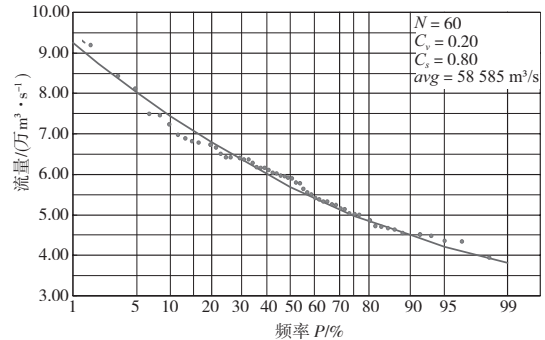


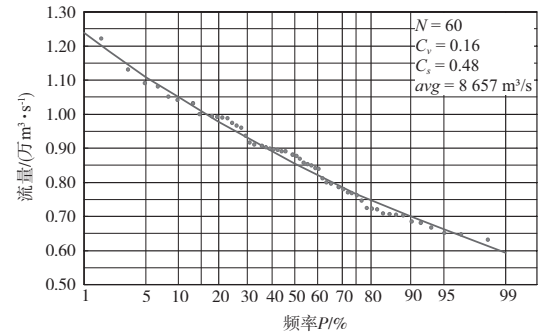
图2 落潮流量恒定含沙量变化下各断面面积变化

最小流量进行统计分析, 得出大通站年最小流量和年最大流量对应的P-III型累积频率曲线及其对应的特征流量(图3)。选择10 000, 20 000, 30 000, 50 000, 80 000和100 000 m<sup>3</sup>/s共6个不同的代表落潮流量进行计算, 各汉道断面的落潮流量分别乘以相应的分流比系数, 从而得到各断面的面积随落潮流量的变化(图4), 从图4可以看出, 随着落潮流量的增加, 断面面积的增加也较为明显, 以福右汉道为例, 当落潮流量从10 000 m<sup>3</sup>/s增加到100 000 m<sup>3</sup>/s时, 该断面面积从4 329 m<sup>2</sup>增加到33 517 m<sup>2</sup>, 增加了约7.7倍, 落潮流量的增

加导致河床断面受到明显冲刷, 从而导致断面面积的显著增大。

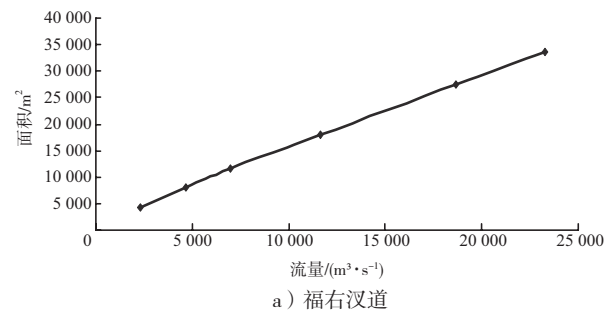


a) 最大

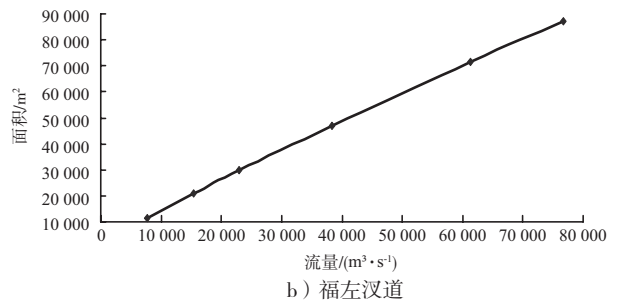


b) 最小

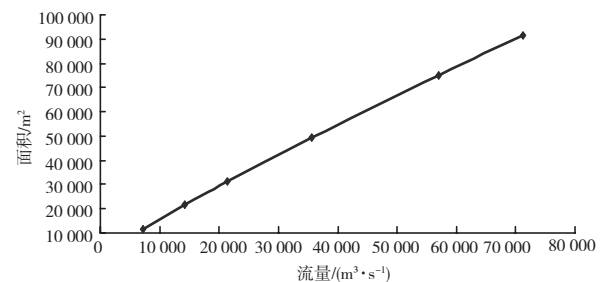
图3 大通站年最大、最小流量P-III累积频率曲线



a) 福右汉道



b) 福左汉道



c) 如右汉道

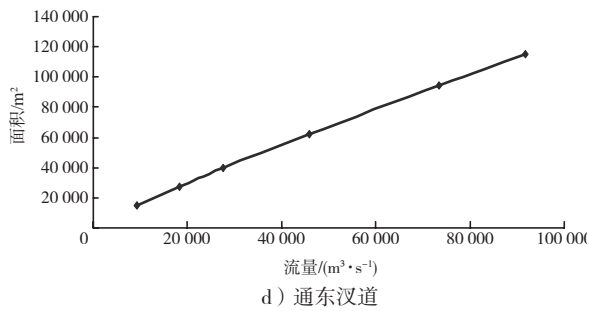


图4 含沙量恒定不同落潮流量下各断面面积变化

### 3 结语

随着长江上游各类整治工程的不断实施以及极端气候的频繁发生,大通水文站来水、来沙出现明显的变化,文中依据4个典型断面的河相关系分别分析长江口澄通河段含沙量与落潮流量变化下典型断面面积的变化情况。分析表明,当含沙量从 $0.312 \text{ kg/m}^3$ 减少到 $0.043 \text{ kg/m}^3$ 时,各典型断面的面积普遍增加超过55%,而当落潮流量从 $10\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 增加到 $100\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,典型断面面积增加了约7.7倍。由此可知,在落潮流量不变的情况下,含沙量的减少会导致断面面积的不断增大,断面面积的普遍增加反映了河床整体发生显著的冲刷,这对于澄通河段的稳定发展必然长生诸多不利的影响。而在含沙量保持不变的情况下,随着落潮流量的增加,河床断面受到冲刷,从而导致断面面积的发生显著的增大。

由于资料有限,本文建立的澄通河段各典型断面的河相关系还需要通过实测资料进一步加以验证和改进,但定性分析其变化趋势还是可以清晰地看到,在落潮流量不变的前提下,含沙量的减少会导致澄通河段各典型断面面积较大幅度的增大,这就意味着长江上游诸多整治工程实施后造成上游来沙大量减少有可能对澄通河段的整体河势格局产生巨大的影响,需要引起有关部门的高度重视。

### 参考文献:

- [1] 尹国康,陈宝冲. 从河相关系探讨长江冲积河床的自动调整[J]. 泥沙研究, 1983(3): 32-41.
- [2] 倪晋仁,张仁. 河相关系的物理实质[J]. 水文, 1991(4): 1-6.
- [3] 倪晋仁,张仁. 河相关系研究的各种方法及其间关系[J]. 地理学报, 1992, 47(4): 368-375.
- [4] 韩曾萃,符宁平,徐有成. 河口河相关系及其受人类活动的影响[J]. 水利水运工程学报, 2001(1): 30-37.
- [5] 窦国仁. 平原冲积河流及潮汐河口的河床演变[J]. 水利学报, 1964(2): 1-13.
- [6] 姜宁林,陈永平,费锡安,等. 长江口澄通河段河势演变分析[J]. 水运工程, 2011 (12): 106-111.
- [7] 李健庸. 长江大通-徐六泾河段水沙特征及河床演变研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.

(本文编辑 武亚庆)

## 著作权授权声明

全体著作权人同意: 论文将提交《水运工程》期刊发表, 一经录用, 本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。