



# 长江中下游航道整治断面初探\*

高凯春<sup>1,2</sup>, 余帆<sup>3</sup>, 江凌<sup>3</sup>, 黄颖<sup>2</sup>

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北武汉430072;  
2. 长江航道局, 湖北武汉430010; 3. 长江航道规划设计研究院, 湖北武汉430011)

**摘要:** 长江中下游航道整治参数源于山区或中小河流的浅滩整治经验, 用于工程设计存在不适应性。在分析长江中下游浅滩成因、归纳总结已实施航道整治工程整治参数确定方法的基础上, 对整治参数在长江中下游航道整治工程中的适用性进行探讨; 从浅滩航道整治的基本要求出发, 运用河流动力学原理, 首次提出整治断面的概念, 初步提出长江中下游航道整治参数内涵及确定方法, 并结合长江中下游航道整治对其合理性进行分析。

**关键词:** 长江中下游; 浅滩成因; 航道整治参数; 整治断面

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)02-0111-05

## Preliminary research on navigational channel regulation section of middle & lower Yangtze River

GAO Kai-chun<sup>1,2</sup>, YU Fan<sup>3</sup>, JIANG Ling<sup>3</sup>, HUANG Ying<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China;

3. Changjiang Waterway Planning Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

**Abstract:** Navigational channel regulation parameters of the middle and lower Yangtze River are derived from the shoal regulation experience of mountain rivers or small plain rivers and are not exactly applicable for the engineering design. Based on the analysis of shoal formation causes and the summary of regulation parameters about implemented channel regulation engineering, the article discusses the adaptability of regulation parameters in the middle and lower reaches of the Yangtze River. From the basic requirement of navigational channel regulation, according to the fluvial mechanism, the article firstly proposes the concept of "regulation section", initially put forward the connotation and calculation method of the middle and lower Yangtze River navigational channel regulation parameters, and analyzes its rationality combined with the middle and lower Yangtze River channel regulation.

**Key words:** middle & lower reaches of the Yangtze River; shoal formation cause; navigational channel regulation parameter; regulation section

航道整治参数直接决定了航道水深标准的控制基面、冲刷强度及历时、整治效果, 是航道治理涉及的关键问题。现有航道整治参数主要来自山区或中小河流的浅滩整治经验, 由于未充分考虑河床演变规律及不同河段水沙输移特性的差

异, 且对各整治参数之间的关系认识不足, 应用到长江中下游这类大型河流的航道整治工程设计中时, 工程预期效果难以完全体现。因此, 有必要对长江中下游航道整治参数进行研究。

本文在分析长江中下游浅滩成因及现有整治

收稿日期: 2012-07-12

\*基金项目: 西部交通建设科技项目(200732800072)

作者简介: 高凯春(1962—), 男, 硕士研究生, 主要从事水力学及河流动力学方面的研究。

参数适用性的基础上,从航道整治的基本要求出发,运用河流动力学原理,首次提出了整治断面的概念,初步提出长江中下游航道整治的整治参数改进思路<sup>[1]</sup>,并结合典型河段航道整治工程分析其合理性,对长江中下游航道整治具有指导意义。

## 1 长江中下游浅滩成因

根据长江中下游不同浅滩演变特点,浅滩的形成往往是以下2种以上因素综合作用的结果:

1) 特殊河道形态。浅滩主要形成于分汊河道口门、弯曲半径过大或过小的弯曲河道、直线段过长且放宽率较大的顺直河道。

2) 河势不稳定。长江中下游许多河段的河势未得到根本控制,河道内主流摆动、滩槽格局变化,导致浅滩位置和冲淤条件频频变化,出现不利滩槽形态时航道条件往往恶化,出现碍航。

3) 涨、落水水流动力轴线摆动,致使河床冲淤部位不一致。不同水位、流量条件下河道内形成不同流场,水流动力轴线流经不同位置,并引起河床冲淤部位变化。由于流场的变化,枯水航道在洪水期往往位于非主流区,会出现明显淤积;随着水位的退落,动力轴线逐渐回到航道内,产生冲刷。航道出浅碍航则是由退水过程河床冲刷速度小于水位降落速度而引起。

4) 枯水河槽水流分散,河床冲刷不足。由于枯水河宽偏大,或存在由横比降产生的漫滩水流,航槽内流速和单宽流量偏小,致使河床淤浅。

## 2 整治参数在长江中下游航道整治工程中的适用性

自1994年界牌河段航道整治工程拉开长江中下游航道整治工程序幕以来,已实施或正在实施整治工程的河段多达24个。这些河段的航道整治参数均包括整治水位、整治线宽度及整治线型。其中,整治水位是选取航道条件较好时期或优良河段的边滩平均高程(即经验法),或通过第二造床流量法计算确定;整治线宽度分别采用优良河段模拟法和理论计算法计算分析确定;整治线型主要是模拟航道条件优良时期整治水位时的水边线走向进行设计。由于不同方法确定的整治水

位、整治线宽度差异较大,这两个参数的确定最终主要依赖于动床模型试验成果或经验取值。这些航道整治工程实施后,河道形态的调整多数与设计规划的河床形态目标一致,但也有与预期目标不同的。

按现有整治参数进行航道整治工程设计的原理是“束水攻沙”,即通过减少枯水(整治水位以下)河宽来集中水流,增加浅滩流速,加大冲刷。这种整治理念实质上是将整治河道按矩形断面概化,通过减小河宽,而增大水深。对于中小河流来说,枯季流量较小,设计航宽占整治线宽的比重相对较大,通过工程措施可以将河宽调整到较窄的整治线内,因此工程对设计航槽内流速改善的效率相对较高,航道横向变形也相对容易得到控制,如汉江皇庄-新城河段的航道整治工程。而对于流量充沛、河面宽阔的长江中下游而言,设计航宽占正常枯水河宽的比重极小,通过束窄河道增大断面流速,要么效果不明显,工程后断面流速增加值传递到设计航槽内的比例往往很低,要么对河宽束窄较大,使河道断面形态发生大幅调整而难以兼顾防洪等方面利益。而且,由于在长江中下游河势条件对浅滩的产生和演变有决定性的影响,航道整治工程仅对枯水边界条件进行调整是不够全面的。

长江中游界牌河段航道整治工程实施后,该河段基本实现“限制过渡段航槽的摆动范围、适当束窄过渡航槽以集中枯季水流归槽”的整治目标<sup>[1]</sup>,航道尺度也达到了设计标准。但由于按现有整治参数设计的航道整治工程并未有效控制住河道内深泓摆动,边滩冲刷、设计的左岸深槽内出现心滩,横断面变为不稳定的“W”形,与预期的单一深槽不一致。

## 3 长江中下游航道整治参数的改进研究

### 3.1 整治参数的选择

航道整治是使整治河道满足一定的航道尺度标准,包括航道水深、航道宽度、航道最小弯曲半径三个指标,而且,整治后的航道应维持相对稳定,即航道线型满足航道设计弯曲半径并维持基本稳定、河道内一定宽度(设计航宽)满足设

计水深要求。因此,从河流动力学原理出发,航道整治设计应涵盖以下两方面内容:

1) 从平面设计上确定曲度适宜的整治线型及走向,有利于在河道内形成大于一定弯曲半径的航道,并能维持相对稳定。考虑到主流线总体上与航道走向一致,且主流分布特性对河道特性及其演变起主导作用,确定整治河道内主流线型及其走向是关键。

2) 从横向设计上塑造断面形态,以有利于水流向设计航槽内集中,确保设计航宽内水流具备相应的输沙能力,使河床冲淤变化过程中(包括冲淤平衡状态)航道水深始终能满足设计要求。

因此,长江中下游浅滩整治参数应包括整治水位、整治线型、整治断面3个要素。这里所指的整治水位与现有概念相同,下文不对此进行专门讨论。

### 3.2 整治参数内涵定义

#### 1) 整治线型。

整治线型不仅是航道平面形态的指标,也是河势条件的重要指标<sup>[2]</sup>。在平原河道,水流与河床相互作用过程中水流往往起主导作用,而水流因素中的水流动力轴线(主流线)对河道特性又具有决定性影响作用,是影响河势稳定的最关键因素。例如,对于弯曲河道而言,弯曲度适宜的河道相对稳定,弯曲半径过小则易引发主流撇弯取直、过大则易产生游移不定的淤积体;对于顺直河道而言,主流直线流动的路径太长,河道易形成二次以上曲流,导致河道内主流蠕动,等等。此外,不同类型的平面水流塑造不同的断面形态,顺直段、弯曲段、过渡段的断面形态差异极大,因此,整治线型也是决定断面形态最重要因素之一。

整治线型为整治河道范围内主流流动的线型,它在河道中的实现既可通过整治建筑物控制,成为有形的边界;也可通过河道内水流、泥沙、河床边界综合作用形成。

#### 2) 整治断面。

河道断面形态是一定的水流与河床边界条件

相互作用与相互适应的结果。目前提出了两种断面形态特征指标<sup>[3]</sup>:一种是沿程河相关系,反映不同河流之间,或者同一河流上下游之间河床形态的变化,研究中将河道按一维考虑,河相因素包括河宽、断面平均水深、平均流速、比降等;另一种是断面河相关系,用于表征某一短河段或某一断面在不同流量下断面尺寸和坡降的变化。

冲积平原河流断面形状具有一定的共性,例如,弯道水流形成不对称形断面——凹岸为深槽、凸岸为边滩,顺直水流形成不规则的复式断面,等等。可见,断面形态还可表征不同水流结构与河道边界的对应变化关系。航道整治设计中,应根据局部河段的水流、泥沙和边界条件特性以及治理目标,确定断面形态基本类型,设计便于水流在整治水位以下向设计航槽内集中的断面尺寸。

因此,整治断面与现有整治线宽的不同主要在于:

1) 整治线宽是从束水攻沙的原理出发,通过工程减少河宽、增大断面流速,冲刷浅滩;断面形态设计原理是通过调整断面形态来调整水流结构,确保局部水域(设计航宽范围内)流速达到满足塑造设计航道水深条件。

2) 整治线宽将河道断面按矩形概化,同一河段整治线宽取值相同,沿程按一维条件进行处理;整治断面按断面水流特性与边界条件的关系确定,整治河段按二维条件处理。

3) 按整治线宽设计的工程主要在整治水位以下起作用,没有考虑与整治水位以上河床边界的衔接;而断面设计必须同时考虑各级水位,因而设计断面对水流的作用在洪、中、枯是连续的、完整的。

当整治水位以上断面需要调整和控制时,按整治断面设计也可以得到整治线,其做法为:在沿程断面设计的基础上,按照可得到各断面整治水位时的相应宽度,将各断面宽度布置在平面图上,其连线就构成了整治线,并得到相应整治线宽,但不再是等宽的。仅整治水位以下断面需要调整和控制时,不需要整治线作为设计标准。

综上所述，现有航道整治的整治参数包括整治水位、整治线宽、弯曲半径，主要适用于枯水河床，不能确保洪水、中水河床的稳定，对浅滩河道是不完全的整治；而本文提出的综合整治线型与整治断面进行航道整治，是按三维条件对河道进行调整和控制，可以确保河势稳定，体现了对浅滩河道进行全面治理的理念。

### 3.3 整治参数主要影响因素

#### 1) 整治线型。

整治线型一般取整治河道内主流线线型，其主要影响因素有河型、流量、河道边界等。选择整治线型及走向既要考虑充分满足航道弯曲半径的需要，所对应的河势还须有利于河势稳定、不利于浅滩发育。

此外，主流线型可分为顺直与弯曲两种基本类型，分别发生在顺直及顺直分汊河道、弯曲及弯曲分汊河道。其中，顺直及顺直分汊河道的整治线型有两种选择，一种是在维持洪水顺直前提下改造中枯水河床平面形态为微弯，另一种减小直线段长度；弯曲河道的整治线主要根据流量等因素选择适度弯曲半径，过分弯曲和弯曲半径偏大都是不宜的。

#### 2) 整治断面。

断面形态影响因素较复杂，主要包括：流量大小（同一河段因分汊而使流量存在差异）、河型、断面所处位置（弯曲河道中的弯道与直线过渡段，顺直河道的展宽段与收缩段，分汊河道的分汊口门、汊道内及汊道交汇段）、河道水流特性（曲线流动或直线流动）、主流在横断面分布的相对位置（主流近岸或位于河心等）、边界平顺程度，等等。这些因素中，除流量为定量影响因素，主要影响断面尺寸，其他各项属于定性影响因素，对不同类型断面形态的形成有影响。

### 3.4 整治参数确定方法

1) 根据整治河段河型、来水来沙（主要是流量）、主导河岸、控制节点分布等，按照有利于形成优良航道条件的需要，确定主流走向，规划包括主流分布在内的河势格局。

2) 主要根据水流特性、河道边界变化，将

整治河道沿程分为若干段，按有利于水流向设计航道内集中的要求，结合实际断面地形，进行各段断面设计；将各断面设计投影在平面地图上，构成控制整治建筑物平面布置的设计；当设计断面需要对整治水位以上现状地形进行调整或控制时，取设计断面整治水位的河宽，投影在平面地形上，沿程连结，形成整治线宽。

## 4 长江中下游典型浅滩整治参数合理性分析

纵观长江中下游航道整治工程，长江中游罗湖洲水道、长江下游鳊鱼沙水道的航道整治已对上文提出的整治参数内涵有所体现。

罗湖洲水道为典型的弯曲分汊河道，整治前河势极不稳定，以深泓周期性弯曲、取直及汊道冲淤交替为主要特征，浅滩形态和航道条件不断变化。2005—2007年实施了罗湖洲水道航道整治工程，整治目标为：对较好的河道现状条件进行守护，以维持河势稳定，使优良航道条件长期维持不变。工程设计中，根据罗湖洲水道河道特性及碍航特点，整治线沿河道主流线布置，采取工程措施对洪水河道边界（江心洲头及其右缘）、中枯水河道边界（江心洲头滩体）进行控制<sup>[4]</sup>。工程实施后，分汊口门仍维持不对称的“W”型断面，但维持了右槽主槽地位的稳定，右汊中部保持偏“V”型断面（图1）。罗湖洲水道航道整治工程以河势控制为主，通过塑造有利断面形态，工程圆满实现预期目标。

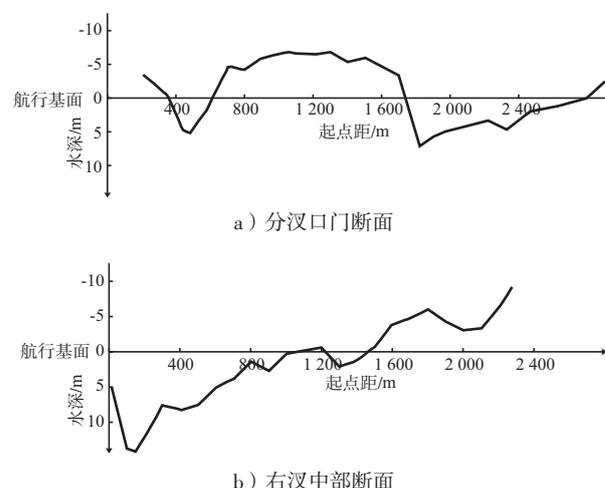


图1 罗湖洲水道断面形态

鳊鱼沙水道位于长江下游扬中河段, 为两弯道之间直线过渡段, 直线段长约20 km, 河宽沿程分布相对均匀、中段略大, 为2~2.5 km。鳊鱼沙水道河心分布有潜洲, 两深槽沿左右岸分布。航道存在的主要问题是心滩不稳定, 导致两槽淤积。航道整治工程的设计思路为: 维持水下分叉格局, 加高加固潜洲, 适当增加设计航槽流速<sup>[5]</sup>。工程研究过程中曾提出基于束水攻沙的原理, 减少过水面积, 封堵一汊、加强另一汊。但由于采用束水攻沙的措施将改变现有河道格局, 改变

防洪形势, 同时封堵两岸深槽中的一槽将毁灭一岸的深水岸线资源, 也将对水生生态带来重大影响。这类方案的必要性及可行性被否定。从河势条件分析, 水下形成分汊是两弯道间长直过渡段常见的河道格局, 是河道内水流、泥沙与河床边界相互作用、相互适应的产物, 航道整治以此河势为基础仍维持“W”型断面形态较合理; 针对心滩不稳定、设计航道内冲刷能力略为不足的问题, 通过加高、加固心滩也可予以解决(图2)。

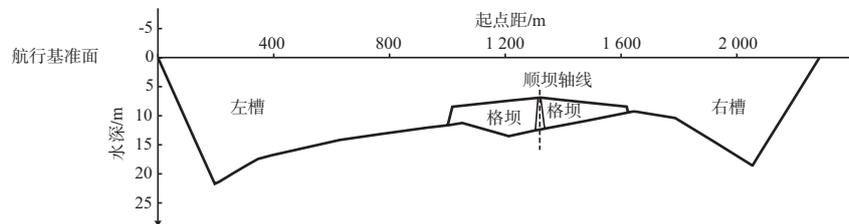


图2 鳊鱼沙水道设计断面

## 5 结论

河势条件对长江中下游浅滩的产生和演变有决定性的影响。现有整治参数内涵是将枯水河槽按矩形断面概化, 通过改变枯水河宽来增大平均水深, 这在流量充沛、河面宽阔的长江中下游浅滩整治中适用性较差。为实现对洪中枯水河床的全面治理, 本文首次提出整治断面的概念, 长江中下游航道参数应包括整治水位、整治线型、整治断面3个要素, 旨在稳定河势的基础上通过控制或调整断面形态确保局部水域(设计航宽内)的流速能够塑造设计航道水深条件。整治参数的确定方法为: 根据整治河段河型、来水来沙(主要是流量)、主导河岸、控制节点分布等, 按照有利于形成优良航道条件的需要, 确定主流走向, 规划包括主流分布在内的河势格局; 根据水流特性、河道边界变化, 将整治河道沿程分为若干段, 按有利于水流向设计航道内集中要求, 结合

实际断面地形, 进行各段断面设计, 并将各断面设计投影在平面地图上, 指导工程的平面布置设计。

## 参考文献:

- [1] 谢鉴衡. 河床演变与整治[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [2] 王秀英, 李义天, 孙昭华. 长江中下游整治线宽度确定方法研究[J]. 泥沙研究, 2005(6): 13-20.
- [3] 湖北省交通规划设计院. 长江界牌河段航道整治工程后评价[R]. 武汉: 湖北省交通规划设计院, 2005.
- [4] 长江航道规划设计研究院. 长江中游罗湖洲水道航道整治初步设计报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2004.
- [5] 长江航道规划设计研究院. 南京水利科学院. 长江下游口岸直水道航道整治鳊鱼沙心滩头部守护工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2010.

(本文编辑 郭雪珍)