

再论航道整治线宽度与整治水位的确定

唐存本¹, 贡炳生², 左利钦¹

(1. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210029; 2. 东南大学, 江苏南京 210096)

摘要: 在“河床断面法”的基础上提出进一步绘制整治水位与整治线宽度关系曲线的方法, 简称B-Z曲线, 从而得到整治线宽度与整治水位的相关关系, 以求二者的统一。此方法体现了航道整治线宽度与整治水位的统一的互补关系, 改变了以往研究中二者分别确定的模式。尤其是在人类活动对通航河流影响较大的今天, 该方法具有明显的优点。

关键词: 整治参数; 整治水位; 整治线宽度; 河床断面法

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972 (2013) S1-0062-07

Further study on regulated width and regulated water stage

TANG Cun-ben¹, GONG Bing-sheng², ZUO Li-qin¹

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: A method unifying the regulated width and regulated water stage, i.e. B-Z curve method, is proposed on the basis of the “channel bed section method” for determining the relation curve based on “channel bed section method”. This method has obvious advantages.

Key words: regulation parameters; regulated water stage; regulated width; channel bed section method

在冲积性河流上, 为了满足船舶安全航行所需要的航道尺度(包括航深、航宽、曲率半径), 通常在浅区的岸边布置中、低水整治建筑物, 缩短中、低水期河宽, 以借助退水期河流自身的力量, 冲刷航槽, 并使之在临近设计最低通航水位时, 航道能满足船舶对航深、航宽的要求。在航道整治工程设计中, 整治建筑物的长短、高低即整治线宽度与整治水位如何确定涉及到整治工程效果、投资以及其它一系列问题。因此, 整治线宽度与整治水位的确定在航道整治工程中就显得格外重要而备受关注。

众所周知, 整治水位与整治线宽度之间具有紧密的相关性。整治线宽度B的大小主要反映河道整治后水流单位时间的输沙强度 Q_s ($t \cdot s^{-1}$), 整治水位Z的高低则反映由整治水位降至设计最低通航水位的冲刷历时 T/s 。如果在整治河段的碍航淤

积量为 $W_s A$, 则我们的整治目标就是满足 $Q_s T = W_s$ 。可以看出, 在满足上式的条件下, 水流单位时间的输沙强度 Q_s 与冲刷历时 T 之间存在着相依关系。因此直接影响水流单位时间输沙强弱的整治线宽度B与确定该断面冲刷历时的整治水位Z也是相依的。而且它们之间在一定范围内可以进行调整而取得多种组合, 这些组合在理论上也是可以达到预期整治效果的。

$$\text{即} \begin{cases} Q_{s1} T_1 = W_s \\ Q_{s2} T_2 = W_s \\ Q_{si} T_i = W_s \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} f_1(B_1, Z_1) = W_s \\ f_2(B_2, Z_2) = W_s \\ f_3(B_3, Z_3) = W_s \end{cases}$$

因此整治水位Z与整治线宽度B之间所存在的相依性确定了它们之间是一个不可分割的统一整体。但它们之间的关系如何确定则是航道整治工作者们一直关注的问题。

收稿日期: 2009-10-10

作者简介: 唐存本(1935—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事水流泥沙及航道整治研究。

鉴于上述观点与目标, 本文试图在“河床断面法”^[1-2]基础上, 提出应用河床断面实测资料进一步绘制整治线宽度 B 与整治水位 Z 关系曲线的方法, 找出该河段 $B-Z$ 的相依关系, 以求二者之统一。

河流形态及其河道水流结构是来水来沙与河床相互作用的结果。即河道形态、河床断面形态及其变化除受河岸、河床物质组成影响之外还与河段上游来水来沙条件有重要关系。然而当今通航河流受人类活动影响甚大, 以往积累的天然河流状态整治参数是否适用, 仍需进一步分析论证。而本文所提出的方法, 却可解决这一问题, 它可反映因水沙条件变化给河床断面带来的变化。

1 问题的提出

确定航道整治参数有多种途径, 当前也有许多方法, 经验或半经验半理论公式可参照。如整治水位的确定方法有造床流量法、优良河段平滩水位法、多年平均流量法、浅脊冲刷水位法以及经验取值法等。整治线宽度确定方法总的来看有3类方法: 即经验方法、水力学方法与河流动力学方法。采用这些方法提出的计算公式更是数不胜数, 很多学者进行了这方面的研究^[3-9]。

实践表明, 当我们采用不同公式来计算同一河段的整治线宽度时, 其结果往往会相差很大, 以致使人难判断或取舍。究其原因, 这些公式都是在特定条件下求得的, 都有一定的局限性。例如在一些公式的推导过程中难以确定整治前后河床糙率和水面坡降的变化规律而假定整治前后河床糙率、水面坡降不变等不合理的假定都会给公式中的某些系数带来不确定性, 在此情况下给出的系数范围也会引起较大的计算误差。事实表明, 现有计算公式中的待定系数都需从实践中取得, 而公式中的不合理假定亦可通过待定系数的调整, 使之基本符合该河段的情况。但对于其它河段, 待定系数则需另行确定。因此公式中的待定系数具有明显的不确定性而增强了对整治经验的依重也就很自然了。另外在“优良河段法”中也有些值得思考的问题, “优良河段法”是以满足航道设计要求尺度的河段的断面形态作为参数基础的。然而在一个较长的河段中, 它可以形

成“优良”、“非优良”, 甚至“超优良”的深水河段都有它的内在原因, 而丢弃对“非优良”和“超优良”河段断面形态的分析, 也会影响到对整治河段断面形态特征的全面了解和对该段滩险形成原因的分析。

在整治参数确定的研究中, 除了上述存在的问题外, 当前比较突出的有两个方面的问题: 其一是整治参数的整体统一性问题, 即整治线宽度与整治水位作为整体的两个部分如何统一确定? 其二是当前人类活动给通航河流的水沙条件及河床形态带来许多非确定因素的情况下, 整治参数如何确定的问题。

因此, 根据上述情况来看, 进一步探讨整治参数的确定方法, 以求得比较合理、统一、简便的方法还是完全有必要的, 也是当前航道整治工作者共同关注的问题。

2 方法的确定

2.1 基本思路

众所周知, 在冲积性河流中, 某河段的河床断面形态与上游的来水、来沙条件以及该河段的河床、河岸物质组成有着密切联系(这里所述的来水、来沙条件应包含来流量、来流过程和单宽流量沿河宽的分布, 来沙条件亦包括来沙量、来沙过程及其沿河宽的分布等内容)。它们之间紧密联系并在相互作用的同时进行相互调整以达到相互适应。它们之间的调整虽然很敏感, 然而若有适当的稳定历时, 就会出现相对稳定的河床断面形态。应当指出, 天然河流在中、低水期这种条件是具备的。

航道是由河道中部分连续水域组成, 它是河道整体的一个部分。从航道的角度出发, 可以认为枯水河道地形是本水文年度内来水、来沙条件与河床组成相互调整的最终结果, 同时亦是航道尺度的具体表现, 因此可作为航道断面形态分析的依据。当然, 由于年间水沙来量及其过程的差异, 即使在同一河段, 它们的枯水河床形态也会有所变化。然而对某条河流来讲, 尽管各年水沙组合及其过程在不断地变化, 但它总是有一定的变动范围。也就是说, 在各种水沙组合条件

下，河段所塑造出的枯水河床的断面形态，也是在某个范围内变化的。尽管各条河流都有各自的特性，在地球上也没有两条完全相同的河流以至河段，但却存在着许多共性特征与发展趋势。实践表明：即使水沙条件比较复杂的河流，如黄河北干流地处黄土高原地带，虽然是黄河主要多沙区，其枯水的河床断面形态也是有一定规律可循的^[1, 10-11]。因为这些断面形态都是这些河段水沙与河床相互作用的结果，也是河床变化规律最真实的体现与表达。同样，这些断面形态的形成因受多种因素制约，也是现有一般理论计算公式难以全面概括和表述清楚的。因此，运用整治河段及其附近来水、来沙条件与河床组成情况相仿河段的枯水地形资料共同分析，并从中找出形态特征参数（如某中、低水位的河宽 B 和相应的航道水深 t ）之间的关系，这种具有一定规律性的关系将是确定该河段整治参数的重要依据，也是使确定的整治参数符合该河段实际情况的一种有效途径，同时也是本文的主要论点。

2.2 整治参数统一确定的方法

本文提出的整治线宽度 B 与整治水位 Z 统一确定的方法是以“河床断面法”^[2]为基础的，因此在表述之前需对“河床断面法”作一简单介绍。

2.2.1 河床断面法简介。

如前所述，河道地形是长期、特别是近期河流的水沙条件与河床组成相互作用的最终结

果，亦是通航尺度在该水沙条件下的反映。基于这种观点，采用枯水航道测图，选择河道断面进行比较与分析。以湘江下摄司河段整治^[12]为例，具体方法如下：下摄司河段位于湘江中、下游株洲与湘潭之间，属冲积性少沙河流，该河段长约20 km，由4个浅滩段组成。该河段的河床组成复杂，呈多元结构，上段马家河至向家场以卵石为主，间有沙质和基岩。中段向家场以下至湘河口则以沙质为主，间有部分砾石。湘河口至杨梅洲河床主要由沙卵石组成，杨梅洲以下以沙质为主（图1）。需要指出，由于区间来水与河床组成的不同，上、下两段的断面形态数据应分别处理与分析。据设计部门分析，该滩群的整治水位 $Z=1.5$ m。因此在航道图上选择若干断面并在各断面图上找出相应于设计水位以上1.5 m处的水位线，并量出这2点的河宽 B 以表示整治水位 $Z_{1.5}$ 下的河宽 B 。与此同时查找出该断面规划航槽宽度（ b ）内的最小水深 t 以示在该水位 $Z_{1.5}$ 对应河宽 B 情况下所获得的相应航深，然后利用枯水地形资料分段点绘 $t-B$ 关系。图2，3分别为马家河至向家场和湘河口至杨梅洲两个河段的 $t-B$ 关系曲线。

这两组曲线的点据相对集中并形成内、外包络线。从图2，3可以看出，当选定某个航深 t 时，由于航道图中的水深已包含最低通航水位保证率 P 的概念，因此内侧包络线则表示在保证率为 P 的情况下，为了获得设计的航道水深 t 而必须采用的

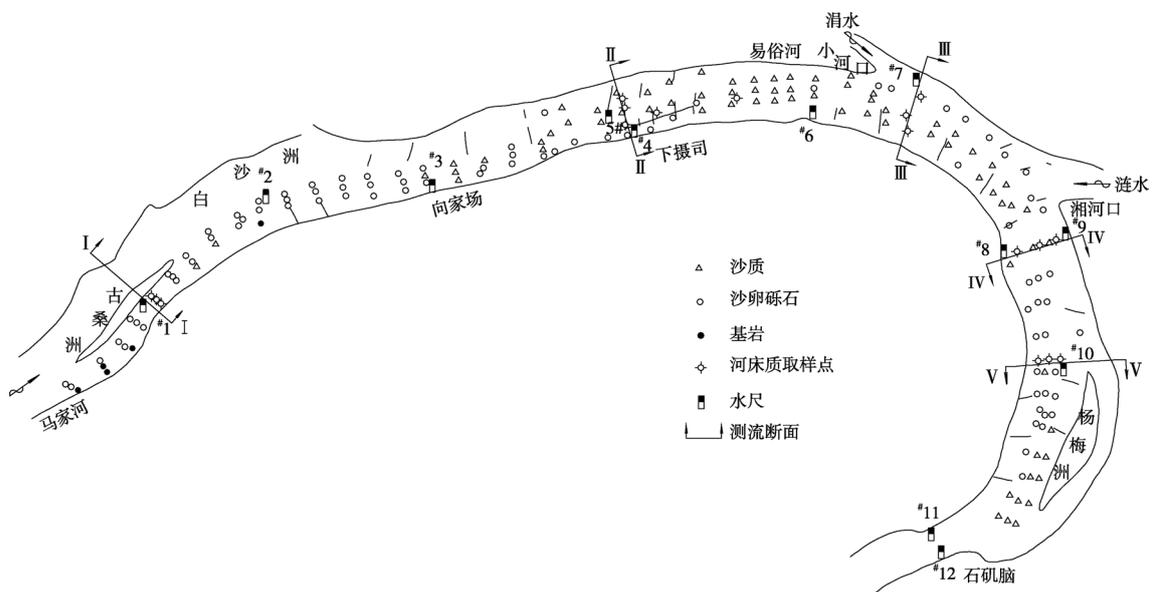


图1 下摄司滩群河势及河床地势地质分布

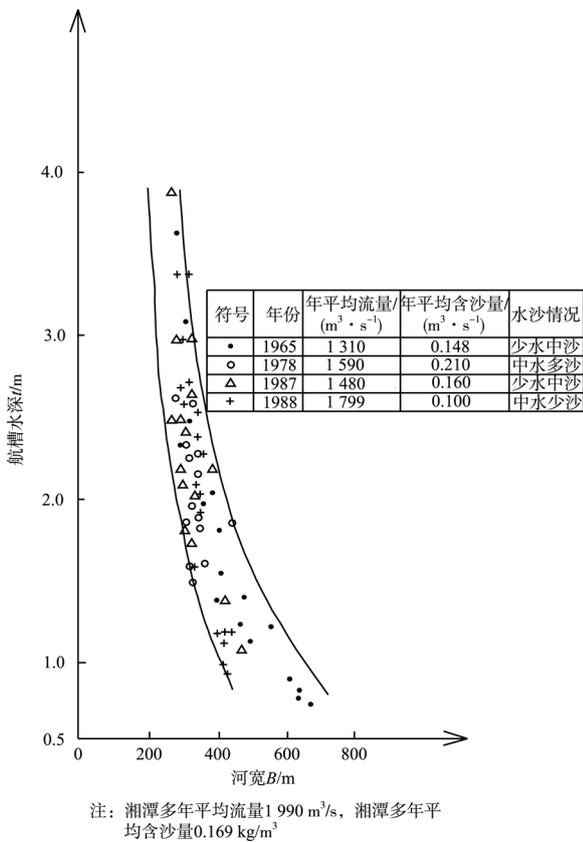


图2 马家河一向家场 $t-B$ 曲线

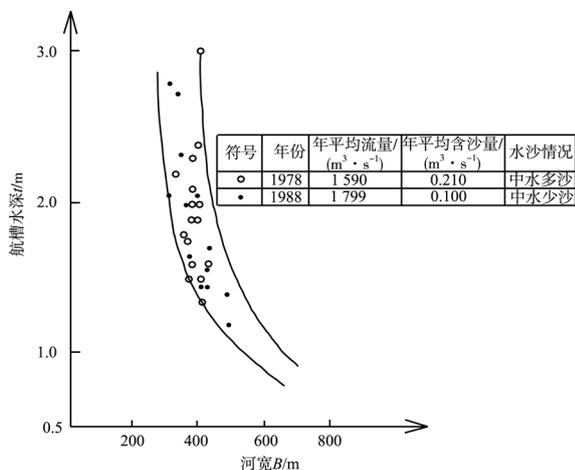


图3 湘河口—杨梅洲 $t-B$ 曲线

整治线宽度。或者说在满足保证率 P 的情况下, 用 $t-B$ 曲线的内包络线来确定整治线宽度 B , 此时产生与 B 对应的航道设计水深 t 所发生的概率 $P_H \approx 1$ 。而由外包络线确定的整治线宽度 B , 它可能达到航道设计水深 t 要求, 所发生的概率 $P_H \approx 0$ 。故只能选用内包络线确定航道整治线宽度。如图2所示, 当航道水深 $t=2.0 m$ 时, 马家河至向家场河段的整治线宽度 $B=305 m$ 。如前所述, 枯水期地形或航

道水深 t 与该水文年的来水来沙条件有关, 因此在绘制 $t-B$ 曲线时资料的收集应力求广泛, 使其尽可能包括多种水沙组合下的枯水地形资料, 以求 $t-B$ 曲线更加符合实际和全面性。例如从图2中单独选用1988年枯水地形资料点绘 $t-B$ 曲线(图4), 当 $t=2.0 m$ 时, $B=320 m$, 要比图2中的宽度 B 宽 $15 m$, 从图2附表中可以看出, 1988年为中水少沙年, 这种水沙组合与其它3种水沙组合相比, 显然对航道有利, 如果以此确定 B , 就难以适应1978年的中水多沙组合, 因此选用图2确定 B 更为合理。图2和4的对比, 同时也是来水来沙条件与枯水地形之间关系在 $t-B$ 曲线中的具体表达。图3为湘河口至杨梅洲河段的 $t-B$ 曲线, 当 $t=2.0 m$ 时, $B=320 m$, 该河段河床组成多为沙质, 抗冲能力较上段弱, 而且有涓、涟二水汇入湘口, 该段整治线宽度较上段大些亦是在情理之中。下摄司河段于20世纪90年代初进行整治, 整治效果表明, 航道达到 $2.0 m$ 设计水深要求。因此认为, 用河床断面法来确定航道整治线宽度是符合实际而有效的方法。马家河至向家场河段在20世纪60年代曾进行过整治, 当时设计航深 $t=1.5 m$, 从图2可以看出, 当 $B=350 m$ 时可以达到 $1.5 m$ 的航深, 这与该段以往的整治效果是相符的。另外, 河床断面法在1986年黄河北干流航运开发工程可行性研究中全线运用, 并在区间通航工程中采用, 其效果也是良好的。另外在松花江航道整治试验研究中应用效果也是良好的。

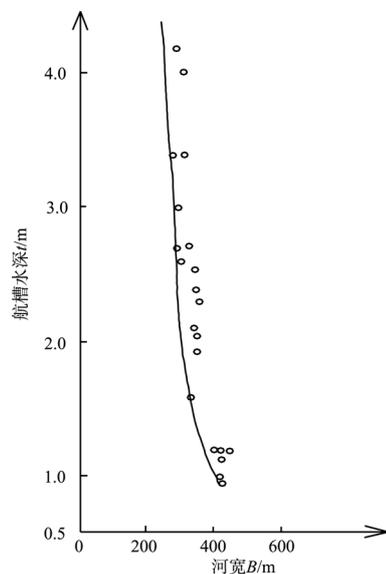


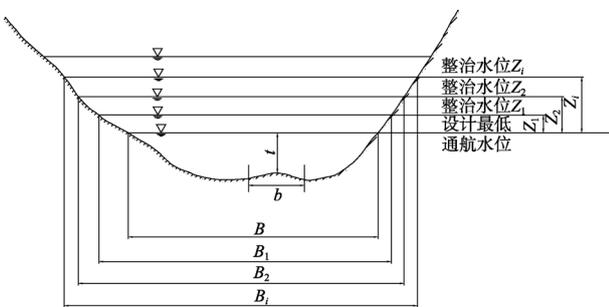
图4 马家河一向家场 $t-B$ 曲线

2.2.2 确定整治水位Z

以往，整治水位Z的确定方法主要有造床流量法、优良河段平滩水位法，多年平均流量法以及浅脊冲刷水位法和经验取值法等。对某一整治河段而言，采用上述不同的方法可能出现不同的整治水位 $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_i$ 值。如何取值？谁是谁非？不是笔者讨论的议题，但是不同的 Z_i 所对应的整治线宽度 B_i 如何求得是笔者所关心的问题。在以往分别确定整治参数时，当确定 Z_i 为整治水位时，采用不同的整治线宽度确定方法或公式可得到不同的 B_i 。同样，当采用其计算公式或方法确定 B_i 后，再采用不同的整治水位 Z_i 其整治效果必然是不同的。因此，整治水位Z与整治线宽度B的合理组合将成为航道整治效果与工程投资经济合理的主要保证。

2.2.3 整治线宽度B与整治水位Z关系曲线的绘制(B-Z曲线)

2.2.2提到整治水位Z采用不同的方法，可得到不同的 Z_i ，这些不同的 Z_i 值都是有各种理论、观点和实践资料所支持的，应予以尊重并经合理性分析后采纳。此时要强调指出“河床断面法”中的 $t-B$ 曲线是在整治水位Z确定的条件下绘制的（即 $Z=const$ ）。然而对某个整治河段而言，采用不同方法所确定的Z值虽有差异，但也是在某个范围内的。因此我们可以在该范围内将各 Z_i 值按高低依次排列，分成若干级（含最高与最低）并标记在河道断面图上，如图5所示。



注：b为设计航槽底宽，t为设计航槽内最小水深。

图5 河道断面B, Z, t取值示意

不同的整治水位 Z_i 都与一个河宽 B_i 对应， Z_i 值高则 B_i 值也相应增大， Z_i 值低则 B_i 值也相应减少，

河宽与水位成正比也是符合冲积性河流河床断面形态规律的。因此我们就可以按图5所示，量出该河段各断面各不同整治水位 Z_i 和与其对应的河宽 B_i 以及该断面航槽 b 内的最小水深 t_i 。并对各级整治水位Z值分别作 $t-B$ 曲线，同时找出各 $t-B$ 图中的内包络线（以上方法与河床断面法相同）。并将各不同整治水位情况下的 $t-B$ 曲线的内包络线绘制在同一个 $t-B$ 曲线图上，如图6所示。这样就形成以整治水位 Z_i 为参变量的 $t-B$ 曲线群。设 t_0 为设计要求的航深，从图6可以看出，当 $t=t_0$ 时各个不同的整治水位 Z_i 都有各自对应的整治线宽度 B_i 。因此从图6中可以得到一组 Z_i 和 B_i 值。并据此绘制该河段在满足航道设计水深 t_0 条件下的整治参数组合曲线即整治线宽度B与整治水位Z的关系曲线，简称B-Z曲线（如图7所示）。

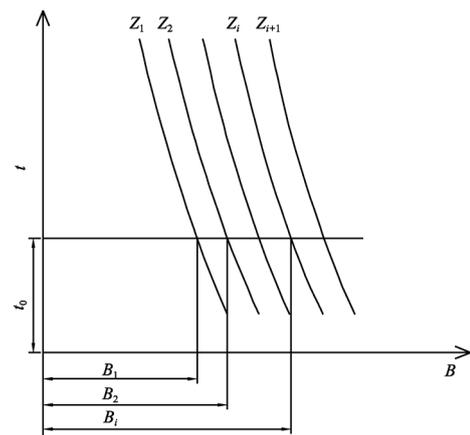


图6 不同整治水位下的t-B关系

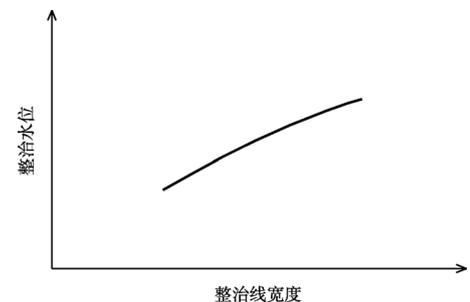


图7 整治水位与整治线宽度关系示意

图7是本文的主要论点与结论，本文主要从理念上进行探讨，在具体的河段中B-Z曲线有其具体的表达形式。这种方法是以前述河段的实际河床断面资料为基础的一种图解方法，它可包括来

水来沙条件以及河床组成等因素的影响, 是一般解析公式难以完成的、难以全部涵盖的, 尤其是当今泥沙运动基本理论还处在不完善的时期, 即使可能推导出整治水位与整治线宽度的关系, 但解析式中的一些系数仍然要通过实际资料确定, 而水沙条件的变化又会直接影响到系数的确定。因此从实际工作需要, 采用图解法来确定 $B-Z$ 关系, 可能更为符合实际。应当指出, 本方法是以“河床断面法”为基础的, 而该方法是通过某些实践所证明了的, 也是符合一般规律的。

2.2.4 绘制 $t-B$ 和 $Z-B$ 曲线需注意的几个问题

新使用的测图其测时水位应尽量接近设计最低通航水位。在绘制某一河段的 $t-B$ 关系曲线图时, 该河段的河床组成和来水来沙条件应基本相近。在资料收集方面应力求广泛, 使其尽可能地包括多种水沙组合而具有更广泛的代表性, 这样所得到的结果就更有说服力, 更加符合实际。在 $t-B$ 和 $Z-B$ 曲线中, 由于河宽 B 与航槽最小水深 t 及整治水位 Z 属于两种不同数量级的参数, 河宽往往用 m 计而 t 和 Z 往往以 $0.1 m$ 计, 故在绘制 $t-B$ 和 $Z-B$ 曲线时, B 与 t 及 Z 宜采用不同的比尺。对受人类活动影响较大的河段, 其 $t-B$ 曲线的低水地形资料应采用近期测图。

2.3 B 和 Z 组合的选取需注意的问题

1) 航道浅滩整治属中、低水整治, 亦是中低水河势控制性工程。因此 $B-Z$ 的选取要符合浅区河段的中低水河势规划, 要有利于航槽稳定与满足船舶安全航行的要求。

2) 堤防安全的要求, 主要在 3 个方面: 其一, 中低水河势规划对堤防安全的影响; 其二, 整治水位 Z 对洪水壅高的影响; 其三, 整治线宽度 B 对岸边流速增大的问题。

3) 对卵、砾石河床亦要考虑船舶对航行水流条件的要求。对卵石河床而言, 其抗冲能力较强, 因此浅段整治线的流速 v 既要大于冲刷流速 v_0 , 同时又要小于船舶航行速度 v_s , 即 $v_0 < v < v_s$, 否则浅滩转化为急滩, 事倍功半。

3 结语

整治线宽度与整治水位是航道整治工程中两个重要的参数, 分别反映河道整治后水流的输沙强度和冲刷历时, 二者具有紧密的相依性。本文在“河床断面法”基础上, 提出了应用河床断面实测资料绘制整治线宽度与整治水位关系曲线的方法, 找出某河段 $B-Z$ 的相依关系, 以求二者之统一。

根据实测河道断面, 在满足设计要求的航深时, 各个不同的整治水位 Z_i 都有各自对应的整治线宽度 B_i , 可以得到一组 Z_i 和 B_i 值。并据此绘制该河段在满足航道设计水深条件下的整治参数组合曲线即整治线宽度 B 与整治水位 Z 的关系曲线, 简称 $B-Z$ 曲线, 从而得到整治线宽度与整治水位的相关关系, 在工程中组合选取。该方法是以整治河段的实际河床断面资料为基础的一种图解方法, 它可包括来水来沙条件以及河床组成等因素的影响, 尤其是当今河流受人类活动影响较大, 且泥沙运动基本理论还处在不完善的时期, 该方法可能更为符合实际。

参考文献:

- [1] 唐存本. 关于航道整治线宽度的确定[J]. 水运工程, 1988 (5): 23-27.
- [2] 唐存本. 黄河北干流航道整治线宽的确定[J]. 泥沙研究, 1990 (1): 40-46.
- [3] 王秀英, 王东胜, 赵梁明. 造床流量法确定整治水位的适用性探讨[J]. 水运工程, 2008 (7): 115-120.
- [4] 丁兵, 杨明远. 河口航道整治水位及宽度研究[J]. 水运工程, 2008 (1): 87-93.
- [5] 刘建民. 冲积性河流浅滩整治水位与整治线宽度确定[J]. 水道港口, 2005, 26 (2): 83-86.
- [6] 李旺生, 贾锐敏一, 王永成. 航道整治水位及整治线宽度确定方法综述[J]. 水道港口, 1990 (2): 39-46.
- [7] 刘建民. 整治水位与整治线宽度及其走向的研究[J]. 水道港口, 1998 (4): 1-13.
- [8] 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.
- [9] 贡炳生. 卵石浅滩整治线宽度和整治水位的确定[J]. 水

运工程, 1978(2): 15-18.

[10] 张沛文. 黄河府禹段航行几个特殊问题的讨论[C]//黄河航运研究开发论文集(一). 西安: 陕西科学技术出版社, 1991: 98-110.

[11] 叶修身. 黄河船窝河段演变分析与航道整治[C]//黄河航运研究开发论文集(一). 西安: 陕西科学技术出版社,

1991: 136-145.

[12] 南京水利科学研究院. 湘江下摄司河段千吨级航道整治效果及其与引洪关系的模型试验研究(一): 滩性分析及整治线宽度的确定[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1990.

(本文编辑 武亚庆)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

整治线宽度与整治水位的确定是航道整治工程设计中的一项基础性工作,但传统的各种确定方法在实际应用中仍有很大局限性。本文针对整治参数确定中存在的突出问题开展研究,在“河床断面法”的基础上提出了应用河床断面实测资料绘制整治水位与整治线宽度关系曲线的图解法,此方法体现了航道整治线宽度与整治水位的统一的互补关系,并包括来水来沙条件以及河床组成等因素的影响,解决了整治线宽度与整治水位的整体统一性问题。在当前人类活动给通航河流的水沙条件及河床形态带来许多非确定因素,且泥沙运动基本理论还处在不完善时期的情况下,该方法更为符合实际。

文章主题突出、结构严谨、行文流畅、具有较强的实用性、科学性和创新性,对航道整治工程设计具有指导意义。

2012年12月

评委简介:

刘怀汉, 博士, 成绩优异高级工程师,长江航道规划设计研究院院长。

1989年以来主持和参加了几十个大型航道整治工程项目和科技项目,编写科研报告70多篇,其中多项研究成果达到国际领先水平。发表有价值的学术论文70余篇。获得省部级科学技术一等奖2项,省部级科学技术二等奖4项,省部级咨询成果一等奖3项。交通部第三届专家委员会成员。获得全国“五一”劳动奖章、全国劳动模范等荣誉称号。