



汉江下游长低水历时航道整治水位确定方法*

王业祥, 龚国祥, 欧阳飞

(湖北交通规划设计院, 湖北 武汉 430051)

摘要: 南水北调中线一期工程调水后, 丹江口枢纽坝下河段来水来沙过程将发生较大变化, 低水历时大幅延长, 中水流量及历时大幅减少, 来沙量减少, 现有整治水位的确定方法不能适用于调水后的新的水沙过程。通过研究, 提出采用“有效时段输沙能力法”确定整治水位, 并已将成果应用于汉江下游兴隆至岳口段航道整治工程设计。

关键词: 长低水历时; 整治水位; 整治流量; 确定方法

中图分类号: U 617.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)04-0121-04

Determining method of regulation stage of waterways downstream Hanjiang river with long-lasting low discharge

WANG Ye-xiang, GONG Guo-xiang, OU Yang-fei

(Communications Planning and Design Institute of Hubei Province, Wuhan 430051, China)

Abstract: With the implementation of the middle route of the South-North Water Transfer Project, incoming water and sediment process in the downstream waterway of the Hanjiang river will change significantly. Low discharge will last longer, the rate and duration of middle discharge will reduce, and the amount of sediment will decrease. The existing method for determining the regulation stage cannot be applied to the new water and sediment conditions. A new method for calculating the regulation stage is promoted, and the results are applied to the waterway regulation works in Xinglong-Yuekou reach in the downstream of the Hanjiang river.

Key words: long-lasting low discharge; regulation stage; regulation discharge; determining method

天然河流在多年的水沙综合作用下, 经过长期的河床调整, 已形成与来水来沙相适应的某种均衡形态, 在确定其航道整治水位时, 马卡维也夫法、边滩平均高程法、经验取值法等方法被普遍运用^[1-7], 并已取得了较好的整治效果。在天然河流上修建大中型水库及跨流域调水工程运行后, 水库下泄水沙量与过程均将发生较大变化, 河道长久以来的动态平衡被打破, 上述整治水位确定方法的使用有其局限性。

南水北调中线一期工程计划于2014年汛后调水, 目前, 丹江口大坝加高工程已基本完工, 汉江中下游兴隆水利枢纽、部分闸站改扩建、局部航道整治和引江济汉等4项工程也正在实施。丹

江口水库调水95亿 m^3 后, 汉江中下游来水来沙过程将发生较大的调整, 面临的将是长低水历时、中水流量和历时大幅减小以及来沙量减小的变化, 航道出浅频率及碍航程度将大幅度增加。因此, 面临新的水沙过程, 传统的确定整治水位方法能否适用, 又如何选择合适的方法确定整治水位, 是调水后汉江中下游河段航道整治工程成败的关键, 其研究成果可为类似河流航道整治提供借鉴。

1 现有整治水位确定方法及适用性

1.1 现有整治水位确定方法

汉江下游河道河床组成多为中细沙, 可动性较强, 河床的冲淤调整受来水来沙变化影响较大,

收稿日期: 2013-07-11

*基金项目: 西部交通建设科技项目(20113280001520)

作者简介: 王业祥(1987—), 男, 硕士, 主要从事水力学及航道整治技术研究。

宜通过首先确定整治流量、再采用近期水位流量关系曲线确定整治水位，因此整治流量的计算确定是关键。

综合现有整治流量的确定方法，主要有以下 3 种^[8-10]：

1) 平滩流量法。

优良河段边滩具有较好的束水造床作用，退水期冲刷作用强，能维持枯水河槽达到一定水深要求。平滩流量法就是人为模拟优良河段边滩，将平滩时河道流量作为整治流量，以期通过整治塑造出良好的河床形态。

2) 马卡维也夫法。

河道上游的来流过程，每级流量都可能参与河床的造床作用。所谓造床流量，是指存在某一级流量，这级流量对塑造河床形态所起的作用最大。马卡维尔夫 B. M. 根据水文站实测资料，点绘 Q 与 V^4P 关系曲线时发现，平原河流常出现两个较大的峰值，其中第 2 个峰值对应的流量一般略大于多年平均流量，其保证率一般为 24% ~ 45%，通常被称为第 2 造床流量 $Q_{造}$ ，由于该流量对应重现频率 P 和水流动力 V 的峰值，且相应水位为中低水，航道整治工程常以第 2 造床流量作为整治流量。

3) 最有效流量法。

最有效流量的计算方法：将水流分为若干流量级 Q_i ，计算每级流量的出现频率 P_i ；再计算该流量下的平均输沙量 S_i 。最有效流量则表示为：

$$Q_{造} = Q_{max}(P_i S_i) \quad (1)$$

总体来看，以上 3 种方法虽有不同，但核心基本上是一致的，就是寻求重现频率和输沙能力的平衡点，也就是寻求输沙能力最大的流量级，因而从本质上看 3 种方法都是统一的。

1.2 调水后汉江中下游来水来沙变化

从年径流总量来看，调水 95 亿 m^3 相当于汉江中下游河段多年平均径流量减小约 27.4%。从仙桃站各级流量变化来看（图 1），调水后特枯流量有所增加，保证率 97% 流量由 350 m^3/s 增至 510 m^3/s ，特枯流量增加的同时，枯水历时却显著

增长，小于 800 m^3/s 流量由现状 3.1 月/a 延长到调水后 7.1 月/a；中水 800 ~ 1 800 m^3/s 流量总量减少约 50%，历时由平均每年 7.4 个月缩短为 3.7 个月，不利于航槽落水期冲刷，加剧了航道的出浅机会及碍航程度；洪水流量变化相对较小，但弃水仍存在。

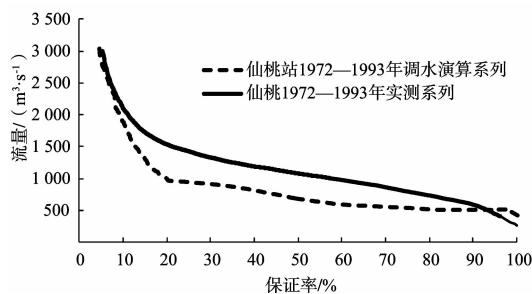


图 1 调水前后汉江下游仙桃站流量保证率曲线

从来沙量来看，以沙洋站为例，1980—1998 系列年实测年平均输沙量为 1 825 万 t，平均含沙量为 0.513 kg/m^3 ；调水后分别为 1 440 万 t 和 0.405 kg/m^3 ，较调水前均有明显减小。

1.3 调水后现有整治水位确定方法的适用性

汉江下游河道河床冲刷和切滩、崩岸现象较明显，洲滩及河道断面变化较大，同时，调水后汉江下游河道水沙条件改变，河床也将发生调整变化，平滩流量法难以应用。

按照马卡维也夫法对岳口断面调水后的流量演算系列进行计算，调水后第 2 造床流量为 500 m^3/s （图 2）。

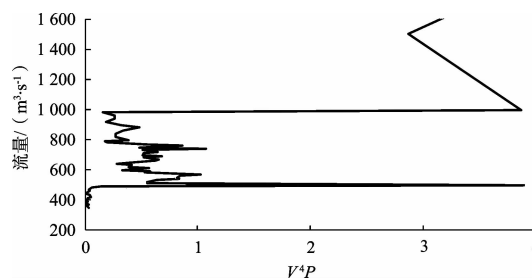


图 2 调水后汉江下游岳口断面 Q 与 V^4P 关系曲线

按照最有效流量法对岳口断面调水后的流量演算系列进行计算，最有效流量为 530 m^3/s （图 3）。

马卡维也夫法和最有效流量法计算的整治流量平均值为 515 m^3/s ，与调水后设计最低通航流量 447 m^3/s ^[11-12] 相差不大。从造床的角度来看，此

流量级历时虽长, 但量小, 缺乏量级的变化, 且此流量级主要出现在枯水期, 退水过程中难以对浅滩产生有效冲刷。

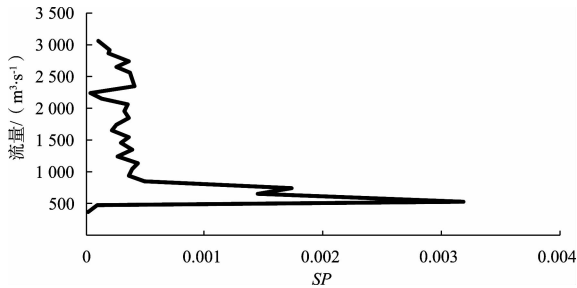


图3 调水后汉江下游岳口断面最有效流量法计算曲线

分析其主要原因, 现有计算方法是对涨水、落水期等不同时段的流量级进行统一排频, 因调水后枯水历时明显延长, 尤其是枯水 500 ~ 600 m³/s 出现频率由 4.2% 增至 40%, 两种方法计算的整治流量均位于此区间内。而实际上, 这一级枯水流量的水流动力作用较小, 造床作用也较弱, 若以此枯水流量作为整治流量, 在退水期和枯水初期很长时间内浅滩将得不到有效冲刷而出浅。

综合来看采用现有方法计算确定的整治流量, 造床强度较弱, 航槽将难以形成。

2 调水后整治水位确定方法研究

航道整治建筑物的作用, 是促使退水过程中水流集中冲刷浅滩。当水位降落到整治水位时, 建筑物将水流束至整治线宽度范围内, 使水流加速冲刷浅滩脊, 达到增深航道的目的; 当水位降至设计最低通航水位时, 要求浅滩上的航道水深能达到通航标准水深^[13-14]。基于此认识, 整治流量的确定应主要考虑退水过程的时间段, 尤其是由整治流量至设计最低通航流量的这段时间内水流的输沙能力。定义退水过程中整治流量至设计最低通航流量的过程为“有效时段”, 本文基于年内冲淤基本平衡, 采用调水前后该时段内水流输沙能力来计算整治流量, 定义该方法为“有效时段输沙能力法”。

设调水前整治流量为 Q_1 , 设计最低通航流量为 Q_0 , 退水过程中整治流量至设计最低通航流量过程中河段输沙能力为 G , 则有

$$\int_{T_{Q_1}}^{T_{Q_0}} Q S_* dt = G \quad (2)$$

式中: S_* 为水流挟沙力, 对于悬移质为主的河床为悬移质挟沙力。

调水后整治流量为 Q'_1 , 设计最低通航流量为 Q'_0 , 退水过程中整治流量至设计最低通航流量过程中河段输沙能力为 G' , 则有

$$\int_{T_{Q'_1}}^{T_{Q'_0}} Q' S'_* dt = G' \quad (3)$$

考虑调水前后浅滩断面输沙能力存在的差异, 有:

$$kG = G' \quad (4)$$

即

$$k \int_{Q_1}^{Q_0} Q S_* dt = \int_{Q'_1}^{Q'_0} Q' S'_* dt \quad (5)$$

式中: k 为不平衡常数, 为调水前后退水期浅滩冲刷幅度的变化。

在实际计算中, 将式 (5) 连续性的积分过程离散转化为加和的形式, 代入多年退水过程中整治流量至设计最低通航流量之间的流量分级 Q_i 与排频 Δp_i , 因此式 (5) 也可以写成如下形式:

$$k \sum_{Q_0}^{Q_1} Q_i S_{*i} \Delta p_i = \sum_{Q'_0}^{Q'_1} Q'_i S'_{*i} \Delta p'_i \quad (6)$$

式中: S_{*i} 为对应流量级 Q_i 的水流挟沙力, 以悬移质造床为主的河段为悬移质水流挟沙力; Δp_i 为对应流量级 Q_i 的频率。

浅滩演变通常随河道水文过程呈周期性的变化, 汛期淤积、退水冲刷是浅滩演变的基本特征。因此, 对于具有通航需要的河段, 退水过程中浅滩需要的输沙能力取决于汛期浅滩淤积程度, 而汛期淤积幅度与河段汛期来沙量有直接的关系。在此基础上, 可假设浅滩退水过程中需要冲刷的输沙量与汛期来沙量成正相关关系, 则有

$$k = \frac{Q'_{s_{xq}}}{Q_{s_{xq}}} \quad (7)$$

式中: $Q_{s_{xq}}$, $Q'_{s_{xq}}$ 分别表示调水前、调水后汛期来沙总量。

在已知调水前后水沙过程的演算成果时, 可采用式 (6) 和 (7) 计算调水后整治流量, 进而通过近期水位流量关系曲线来确定整治水位。

3 成果应用

汉江兴隆至岳口河段位于兴隆枢纽下游, 整治标准为Ⅲ₍₂₎级, 通航保证率98%, 设计航道尺度为2.4 m × 90 m × 500 m (水深 × 双线航宽 × 弯曲半径), 计划2014年上半年主体工程完工, 在整治工程设计中采用“有效时段输沙能力法”进行整治流量的计算。

1) 调水前整治流量 Q_1 和设计最低通航流量 Q_0 。

采用岳口断面1972—1998年实测流量系列, 通过保证率频率法计算, 岳口设计最低通航流量为 $Q_0 = 387 \text{ m}^3/\text{s}$, 按马卡维也夫法计算造床流量为 $Q_1 = 1\ 050 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2) 不平衡参数 k 。

根据调水前后水沙过程计算, 调水后多年平均汛期径流量占调水前多年平均的92.3%, 平均含沙量约为调水前的81.6%。

根据式(7)计算, $k = 0.923 \times 0.816 = 0.753$ 。

3) 调水后设计最低通航流量。

采用调水后岳口断面1972-04—1998-03演算系列, 通过保证率频率法计算, 岳口设计最低通航流量 $Q'_0 = 447 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

4) 调水后整治流量计算及整治水位确定。

通过岳口断面调水前后退水期10—11月份流量系列的排频, 按照有效时段输沙能力法式(6)计算, 调水后岳口整治流量约为 $Q'_1 = 850 \sim 870 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

整治水位采用岳口2008年水位流量关系曲线, 确定整治水位为25.92 ~ 25.98 m。

5) 工程效果。

从物理模型^[15]、数学模型^[16]试验结果来看, 按河段整治线宽240 m控制, 以 $524 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $756 \text{ m}^3/\text{s}$ 作为整治流量, 经过调水后典型系列水文过程, 枯水期浅滩航道条件不满足设计通航等级需要; 按本文方法计算的整治流量布置整治工程, 退水期浅滩冲刷效果较好, 设计最低通航流量下工程河段2.4 m航深线基本贯通, 其航道尺度达到设计要求; 从已经实施完工的麻洋潭滩段2013年5月测图来看, 整治工程实施后河段浅滩冲刷较

好, 局部碍航浅点消失, 航道条件改善。说明针对调水后的长低水历时, 采用“有效时段输沙能力法”确定整治流量及水位更为合适, 也能取得较好整治效果。

4 结论

1) 南水北调中线一期工程调水后, 汉江中下游河段将面临长低水历时、中水流量和历时大幅减小以及来沙量减小的变化, 采用现有方法计算的整治流量与设计最低通航流量相差不大。从造床的角度来看, 此流量级历时虽长, 但量小, 缺乏量级的变化, 且主要出现在枯水期, 造床强度较弱。若以此枯水流量作为整治流量, 在退水和枯水初期很长时间内浅滩将得不到有效冲刷而出浅, 现有确定方法不能较好适应调水后新的水沙过程, 存在明显局限性。

2) 基于浅滩年内冲淤特性, 研究提出在汛后落水快、低水历时长的水沙条件下, 整治流量的确定可采用“有效时段输沙能力法”, 即根据调水前后整治流量至设计最低通航流量的退水期内水流的输沙能力基本平衡原理来进行整治流量计算, 并通过近期水位流量关系曲线确定整治水位。

3) 在汉江下游兴隆至岳口段航道整治工程设计中, 采用“有效时段输沙能力法”计算该段航道整治水位, 并采用物理模型、数学模型和已经实施完工的麻洋潭滩段实际效果进行整治效果验证。结果表明, 针对调水后的长低水历时、采用“有效时段输沙能力法”确定整治流量及水位更为合适。

参考文献:

- [1] 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(2): 83-86.
- [2] 李义天. 长江中下游设计水位及航道整治参数研究[R]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [3] 杨锦华. 长江中下游浅滩航道整治水位和整治线宽度的确定[J]. 水运工程, 1990(2): 27-35.
- [4] 周作付, 谭观印, 吴建成, 等. 东江“博罗浅段”整治水位及整治线宽度的计算分析[J]. 水运工程, 2004(2): 67-70.