

研究报告

西北江交汇区航道整治试验研究

敖大光¹, 曾志诚¹, 李波¹, 车进周²

(1. 水利部珠江水利委员会科学研究所, 广州 510611; 2. 三水市水利局, 广东 三水市 528100)

[摘要] 介绍了我国南方最大的河流珠江航道整治的成功经验。整治河段位于珠江西、北两江交汇区, 不同类型浅滩多, 水流条件复杂, 而且是行洪干道之一, 整治难度大。根据原型水文资料及河道地形资料, 进行了水动力条件、来水来沙条件和河床演变分析; 结合模型试验, 揭示了浅滩成因和形成机理; 采取有针对性的整治工程布局, 并应用在实际治理工程中。

[关键词] 珠江航道; 浅滩; 整治工程

[中图分类号] U617.3 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1009-1742(2002)05-0067-04

1 河道概况

珠江是我国南方最大的河流, 由西江、北江、东江和三角洲诸小河组成, 在三角洲地区分八大口门汇入南海。珠江三角洲地区河网密布, 水道纵横, 相邻水道之间水沙交换频繁, 水流条件复杂。

西江是珠江干流, 西江马口水文站多年平均流量为 $7\,551\text{ m}^3/\text{s}$, 平均含沙量 $0.31\text{ kg}/\text{m}^3$, 历史上的最大洪水流量为 $54\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 。北江三水水文站多年平均流量为 $1\,233\text{ m}^3/\text{s}$, 平均含沙量 $0.21\text{ kg}/\text{m}^3$, 历史上的最大洪水流量为 $17\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 。^[1]

思贤滘是联接西、北江的重要通道, 对西江水量和沙量起着自然调节的作用。西江洪水时, 江水过思贤滘进入北江; 北江洪水时, 北江水过思贤滘进入西江。由于受洪奇门和磨刀门先后来潮的影响, 加上北江河床较高, 非汛期以北江水流入西江为主: 年净输水量约 $94 \times 10^8\text{ m}^3$ 。因西江含沙量较大, 输沙量以西江进入北江较多, 年净输沙量约 $192 \times 10^4\text{ t}$ 。

西江船舶经思贤滘水道进入北江, 经老鸦洲、罗行冲口、紫洞口、登州头、大尾角、转入南河道至广州港, 河段全长 76 km , 称东平水道, 是西江通往广州市最短的经济航线。但河段整治前沙洲罗列, 既有浅滩又有险滩, 航道水深不足 2.0 m , 仅

能通航 300 t 级船舶 (图 1)。

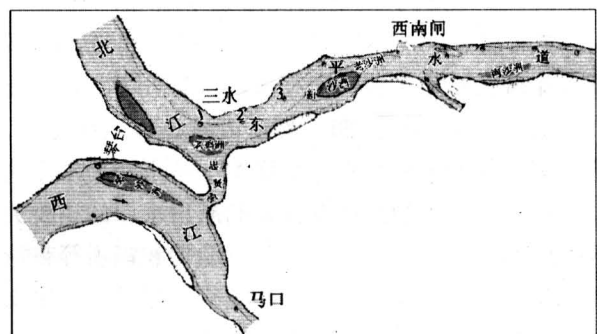


图 1 西、北江交汇区形势图

Fig.1 Plan of the confluence zone in the West and the North Rivers

2 存在问题

整治河段位于珠江西、北江交汇区, 是行洪干道之一, 不同类型浅滩多, 水流条件复杂, 整治难度大, 主要存在以下四大问题:

1) 浅滩多, 整治河段长 整治河道全长 76 km , 其中 46 km 河段密布浅滩, 浅段长度达 9.8 km , 占整治长度的 21% 。

2) 老鸦洲浅滩成因复杂 老鸦洲浅滩河段两江交汇, 三汊联通, 来水来沙条件复杂, 整治前每

[收稿日期] 2001-11-05; **[修回日期]** 2001-12-15

[作者简介] 敖大光 (1942-), 男, 广东阳江市人, 水利部珠江水利委员会科学研究所教授级高级工程师

年需疏浚3~4次,才能正常通航。对浅滩成因也一直争论不休,未能定论。

3) 思贤浔西浔口航道的“险”和“浅”
“险”在西浔口漩流危及过往船舶安全航行。据当地群众反映,西江洪水时,西浔口漩流咆哮之声,十数里外可闻,遇难船舶有时踪迹不见。“浅”在琴沙沙尾下延,淤浅航道,缩窄航宽。

4) 靠近北江大堤,防洪压力大 东平水道狮山以上河段为北江大堤,是抵御西、北江洪水,捍卫广州市和珠江三角洲地区几个主要工业城市的重要堤防,整治工程对防洪影响至关重要。

3 整治原则

整治河段滩宽水浅,50年代初期,航道最小水深仅0.3~0.4 m,这时期采取疏浚为主,结合局部治理的方法进行整治,逐年维护,至80年代初期,航道水深已增至2.0 m。为了进一步开发西江和北江,使航道尺度达到航深2.5 m,航宽80 m,能通航1 000 t级船队的三级标准航道,必须实施系统的整治工程。根据实测资料分析,西、北江来沙主要集中在汛期,整治河段具有汛期淤积,中、枯水期冲刷的特点。增强中、枯水期的水流挟沙力,是减少淤积,改善浅滩和航道水深的关键。因此,采取修建堆石丁坝、顺坝和锁坝等整治建筑物,辅以护岸、疏浚和炸礁等工程措施,塞支强干,缩窄中低水河床,束水攻沙,增加航深。整治河道计划分两期进行,第一期是枯水治理,若不满足设计要求,再进行二期整治,即中水治理。

4 模型设计

整治河段的模型试验要同时考虑西江和北江来水的影响,确定模型范围包括思贤浔水道在内的西江10 km河段和北江34 km河段。据原型河床质采样资料,整治河段河床质中值粒径0.4~0.5 mm,浅滩淤积主要是底沙淤积,动床模型以推移质运动要求进行设计。以推移质为主的动床模型需满足的相似条件为:

$$\text{重力相似 } \lambda_v = \lambda H^2$$

$$\text{阻力相似 } \lambda_n = \lambda H^3 / \lambda L^2$$

$$\text{起动相似 } \lambda_v = \lambda v_0$$

$$\text{输沙量相似 } \lambda_{q_b} = \frac{\lambda \gamma_0}{\lambda \gamma_{s-r}} \cdot \frac{\lambda v^4}{\lambda_c^2 \lambda_\omega}$$

$$\text{冲淤时间相似 } \lambda_{t_2} = \lambda \gamma_0 \lambda_H \lambda_L / \lambda_{q_b}$$

式中: λ_L 为模型平面比尺; λ_H 为垂直比尺; λ_v 为流速比尺; λ_n 为糙率比尺; λ_{q_b} 为输沙量比尺; λ_{t_2} 为冲淤时间比尺; λ_{v_0} 为泥沙起动比尺; λ_ω 为流速比尺;; $\lambda \gamma_0$ 为干容重比尺; $\lambda \gamma_{s-r}$ 为相对容重比尺; λ_{c_0} 为无尺度谢才系数比尺。

最后确定模型平面比尺为400,垂直比尺为80,变率为5。

经水槽试验,选定中值粒径 $d_{50} = 0.6$ mm的木屑为模型沙,可满足起动相似要求,模型沙级配按原型沙级配要求进行配制。原型沙和模型沙主要特征值为:

$$\gamma_s = 2.65 \text{ t/m}^3; \gamma_0 = 1.41 \text{ t/m}^3; \gamma_{sm} = 1.16 \text{ t/m}^3; \gamma_{om} = 0.41 \text{ t/m}^3$$

模型定床验证试验结果表明,模型与原型沿程水面线相似性较好,西、北江各测流断面流速大小和分布都与原型相似,满足阻力相似和重力相似要求。动床验证试验中,模型加沙量用窦国仁输沙率公式进行估算。^[2]经多次地形验证,最后取输沙率比尺 $\gamma_{q_b} = 92$,冲淤时间比尺 $\lambda_{t_2} = 1\ 200$ 。地形验证冲淤量成果见表1。从表1可见,模型各河段冲淤量与原型基本相似,分段冲淤量最大误差为18.9%。动床验证试验模型冲淤地形不论在冲淤形态和冲淤量分布上都与原型极为相似,验证试验结果令人满意。

表1 地形验证冲淤成果表

Table 1 Calibration of erosion and sedimentation

河段名称	河段长度/m	冲淤量 / 10 ⁴ m ³		
		原型	模型	误差 / %
进口	245	8.9	10.5	18.0
左汉	1 050	1.2	1.4	16.7
右汉	1 180	50.0	41.0	18.0
底槽	980	-6.5	-5.7	12.3
三水	1 200	-14.3	-11.6	18.9

在此基础上,先进行定床整治方案比选试验,确定优选方案后再进行动床试验,以观察整治工程后冲刷浅滩所挟带泥沙的去向及其对相邻河段的影响,从而对优选方案进一步加以改进。

5 整治实例

5.1 老鸦洲浅滩整治

老鸦洲将北江干流分为两汉,左汉与东平水道

进口相连,右汉与思贤濠北濠口相接,老鸦洲航道联通左、右两汉,航道长约1 km。

老鸦洲浅滩位于航道东口,靠近航道北侧,浅滩长度在200~600 m范围变化。为了维护通航,整治前每年需疏浚3~4次,其中1987年一次挖泥 $14 \times 10^4 \text{ m}^3$,但当年北江一场洪水过后,疏浚区便全部回淤,严重影响通航。

老鸦洲河段两江交汇,三汉联通,不同方向来洪对浅滩形成和演变关系很大。模型试验中分别在北江、西江的洪、中、枯水条件下,对老鸦洲航道流态进行了观测,结果表明,在北江来水情况下,航道东口形成范围较大的回流,北江流量越大,回流范围越大(图2)。在西江来水情况下,无论洪、中、枯水,通过航道水流都比较顺直,航道东口回流区消失。可见,老鸦洲浅滩的形成有其特定的水流动力条件和泥沙条件。在北江来水条件下,左汉水流在山咀前沿分流,由于突咀的挑流作用,在航道东口附近形成回流,水流挟带的泥沙在回流区内淤积,这是老鸦洲浅滩形成的主要原因。

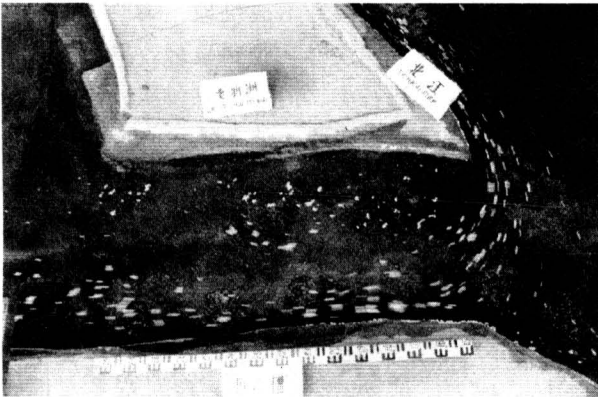


图2 老鸦洲航道整治前流态

Fig.2 The flow pattern in Laoyazhou channel before improvement

从历史资料分析,老鸦洲航道通航条件跟右汉冲淤变化关系较大:右汉淤积,航道冲刷;右汉冲刷,航道水深条件恶化。因此,治理老鸦洲航道必须限制右汉分流,破坏航道东口回流区淤积条件。另外,思贤濠河宽一般为250 m,可以畅泄西、北江洪水,老鸦洲航道宽达350 m,可以适当缩窄。

定床模型试验进行了多个不同整治方案的比选,最后确定的优选方案采取以下工程措施:在左汉右岸建两座短丁坝,在右汉建一座低锁坝和在航道东口南岸建三座短丁坝。左汉右岸两座丁坝使突

咀附近分流点位置发生变化,由于水流顶冲点位置偏离突咀山体,使突咀挑流作用减弱,在很大程度上破坏了航道东口回流区的形成条件。工程后,航道进口水流平顺,回流区几乎完全消失,水流动力轴线由偏南转向趋中偏北,通过浅滩区域,与西江来水动力轴线渐趋一致。右汉锁坝的限流作用,中、枯水时通过航道流量增加较大,枯水时流量增加1倍以上,浅滩附近流速明显增大。航道东口南岸丁坝附近是回流区,由于回流区的影响,航道南岸边滩将逐渐淤积,对维护老鸦洲航道稳定航槽是有利的。

以优选方案为基础进行局部动床试验的结果表明,工程后,航道进口水流平顺,流速增大。在水流作用下,航道东口南岸丁坝坝头附近首先受到冲刷,进口航道逐渐拓宽并向西延伸。水流剧烈冲刷浅滩挟带的部分泥沙随水流带走,部分淤积在航道西口约250 m河段范围内,形成碍航浅段。在西江来水情况下,航道西口部分淤沙被水流带回航道东口附近淤积,经一个水文年冲淤变化后,航道东口过渡浅段长度从工程前的450 m减至200 m。

以上情况表明,增加航道流量是整治老鸦洲浅滩的重要条件,但航道流量还需适当控制,以避免大冲大淤。为了控制航道流量,右汉锁坝高程应该降低,以避免航道流量增加太大,浅滩冲刷太快,使航道西口形成超饱和和挟沙水流。同时,根据动床试验观察,在北江流量较大时,航道西口航槽有南移趋势,而在西江来水情况下,西口南侧航槽首先受到冲刷,导致航槽不稳定。因此,有必要稳定西口航槽。为此,对优选方案进行改进并推荐:控制航道流量,降低右汉锁坝高程;稳定西口航槽,在航道西口加建4座短丁坝的河道整治方案。

经试验研究确定的推荐整治方案已被有关单位采用,并付诸实施。工程后浅滩回流消失,航道逐渐冲深拓宽,航道东口水流挟沙能力较强,航宽较大,中部过渡段长度减少,航宽增加。经一个水文年后,老鸦洲航道普遍发生不同程度的冲刷,2.5 m槽线贯通,航宽超过80 m(图3)。同时,根据水位观测,整治工程对相邻河段水位影响不大,洪水时最大水位壅高小于3 cm。整治工程也经受了1992年北江异常洪水,1994年西江和北江大洪水的考验,底槽东口深槽已经形成,底槽-2.5 m槽线全线贯通,航宽达到设计要求(图4)。^[3]

5.2 思贤濠西濠口航道整治

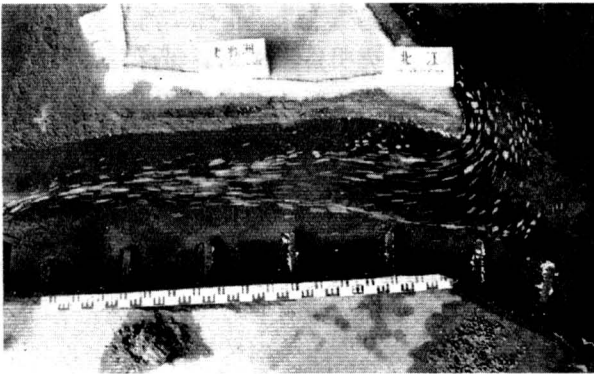


图3 老鸦洲航道整治后流态

Fig.3 The flow pattern in Laoyazhou channel after improvement

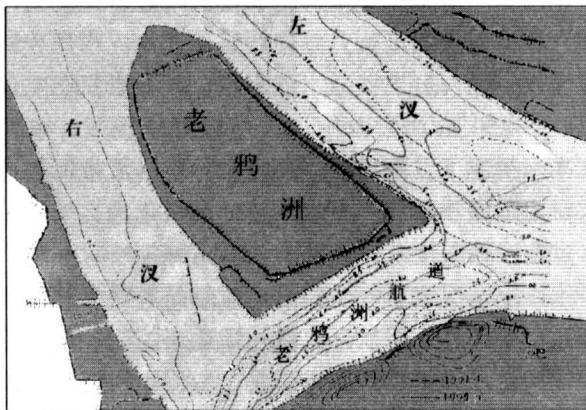


图4 老鸦洲航道整治前后等深线比较图

Fig.4 The isobathe comparison before and after improvement

思贤濠是沟通西、北两江的重要通道，西濠口与西江干流相通，北濠口和老鸦洲航道相接。西濠口南岸是陡直的岩质山体，成突咀状伸入江中，其上游500 m处是琴沙洲尾部。由于西江左汉正对西濠口南岸突咀，西江洪水时，左汉水流直冲濠口南岸山体，形成两股向上翻滚的漩流，一股自山体底部冒出水面，另一股逆流而上，漩流挟带的部分泥沙在琴沙洲沙尾落淤。加上西江入濠水流的影响，西濠口附近流态十分紊乱，成为航行“险段”。西江左汉水流出自琴沙洲尾后，水流扩散，部分泥沙在琴沙洲尾部落淤，加上西濠口逆向漩流的影响，导致沙尾下移，1994年11月西濠口航道最小航宽仅30~40 m，严重影响通航。据模型试验观察，西江洪水时，西濠口附近水流湍急，形成大小漩流，河床泥沙翻滚，被漩流掀扬。在下泄底流和逆

向漩流之间存在滞流过渡区，流速较小，是泥沙淤积区。思贤濠西濠口航道整治主要解决“险”和“浅”的问题，而“险”和“浅”都与西江左汉水流动力有关。

为找到消除西濠口漩流，控制琴沙洲沙尾下移，改善西濠口航道通航条件的较优整治方案，在模型上进行了多个整治方案比选试验，最后确定的优选方案：采取在琴沙洲左汉下游建低锁坝减弱左汉水流动力除“险”，利用过坝水流冲沙治“浅”，在琴沙洲尾部开挖新航道通航的工程措施。工程后西濠口流态明显改善，漩流消失，解除了“险情”。同时，左汉上游来沙基本上能经开挖航道下泄，使西濠口浅滩沙源受到控制，在大、中水情况下过坝水流使浅滩受到冲刷，缓解了“浅”患。经两个水文年后，西濠口进口航道拓宽，浅滩水深增大，西濠口附近西江浅段刷深，达到预期目的。^[4]

6 结语

在西、北江交汇区河流整治试验研究工作中，通过深入研究浅滩成因和形成机理，采取有针对性的整治工程布局治理浅滩，收到显著效果。老鸦洲航道整治采取控制右汉，消除浅滩回流，破坏浅滩淤积条件的措施整治浅滩，使老鸦洲航道变成全线畅通的优良航道。思贤濠西濠口航道整治通过险浅成因分析，布置有针对性的整治工程，使西濠口漩流消失，既根除了“险”情，又缓解了“浅”患。珠江东平水道76 km河段整治后，通航条件大为改善，航道全线水深超过2.5 m，能通行1 000 t级船队，成为广东省的“黄金水道”。东平水道整治成功，改善了腹地内的投资环境，有利于推动对外经济的发展，取得了较大的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 敖大光, 陈上群, 李素琼, 等. 珠江三角洲磨刀门口门冲淤分析[A]. 第二次河流泥沙国际学术讨论会论文集[C]. 水利电力出版社, 1983, 632~648
- [2] 窦国仁. 全沙模型相似律的研究[J]. 科学通报, 1978, 24(14): 659~663
- [3] 敖大光, 李素琼. 老鸦洲浅滩整治试验研究[J]. 泥沙研究, 1996, (1): 29~35
- [4] 敖大光, 吴天胜. 思贤濠西濠口航道整治试验研究[J]. 人民珠江, 1996, (6): 20~26

(下转第94页)