

西、北江三角洲李家沙水道的分流特性研究

王志良¹, 唐洪武¹, 肖 洋¹, 徐锡荣¹, 谢凌峰²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 广东省航道勘测设计科研院所, 广东 广州 510115)

摘要: 在分析李家沙水道近期演变和分流特性的基础上, 利用实测和试验资料, 研究了李家沙水道近年来的变化原因, 并建立了李家沙水道分流量与上游径流流量、分流区河势特征之间的关系式。研究表明, 近几年顺德水道演变、人类活动加剧和原来特定河势的共同作用, 使李家沙水道呈现径流量增大、河床冲刷加剧的趋势, 该趋势与西、北江水系的演变特性是一致的。

关键词: 珠江三角洲; 李家沙水道; 演变; 分流特性

中图分类号: TV143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2001)02-0066-05

珠江三角洲经济的持续发展, 迫切要求改变目前封闭的内河运输格局, 进一步改善三角洲地区的水运条件, 更好地适应国际航运的发展。其中, 位于西、北江三角洲经济腹地的顺德、番禺为我国经济发达区, 两市均以发展外向型经济为主来带动整个经济的增长。

李家沙水道是顺德水道的分支, 位于三角洲中部的沙田区, 呈南北走向, 河型微弯, 北起番禺市的紫坭, 南至顺德市的板沙尾, 贯通容桂水道和沙湾水道及浮莲岗水道, 从而沟通西江、北江下游, 是连接西江和狮子洋两大运输干线的主要航道。

李家沙水道是规划设计中通航 1 000 t 级江海轮的主要航道之一。该水道在火烧头与沙湾水道形成 80° 左右的分流角, 至板沙尾与容桂水道的汇流角小于 60° , 形成船舶进出该河段的两个急弯段。自火烧头至板沙尾全长约 10 km, 更是贯通上述运输干线的窄浅段。因此, 李家沙水道的航道建设成为三角洲中部航道建设的关键之一。

近几年来, 李家沙水道在过流能力变化(分流比由原来约 20% 增至目前 30% 左右)的同时, 河床、航深等发生了较为显著的变化。研究引起变化的成因, 无疑对李家沙水道的航道建设和该区域的经济发展到起到积极的推动作用。

本文在分析李家沙水道的演变、水沙特性, 特别是李家沙水道口门——分流区(火烧头)附近的河势的基础上, 依据实测的河道地形资料和水文资料、物理模型试验资料, 初步探讨了李家沙水道近年来的变化成因, 以及过流量、自身特定的河势与上游径流动力之间的关系。

1 西、北江和李家沙水道的河流特征

1.1 河势特征

珠江三角洲是西江、北江、东江、流溪河、潭江等河流共同塑造的一个海湾内复合型三角洲, 大体可分为西北江三角洲和东江三角洲。西北江三角洲主要由西江、北江、流溪河及潭江共同构成, 是珠江三角洲的主体。西、北江三角洲河道纵横交错, 水系发育, 河网密度高达 0.8 km/km^2 , 是典型的河网三角洲。

西、北江三角洲上发育了两种不同类型的河口: 一种是径流强、潮流弱以西江和北江主干为代表的入海河口, 强劲的径流动力是带动三角洲向东南方向伸展的原因之一; 另一种是径流弱、潮流较强以潭江(位于西江右翼)为代表的入海河口。

西、北江三角洲的发展、演变模式大体可概括为: 多次分汊, 多级发展, 沙洲合并, 河汊由繁到简; 在汉道的发展过程中, 普遍存在着左侧汉道渐趋淤浅萎缩, 右侧汉道日益冲深扩展的现象。

西江、北江由于径流量大,洪水期间水位高于两翼,其中西江洪水历时又较北江稍长,水量远大于北江,故西江水位也高于北江水位。三角洲上这种水流动力时空分布的差异性,使得西江左翼河网发育向北江伸展并分叉,而北江河网多沿左侧向珠江正干方向发育并分叉^[1,2]。

承泄北江分流的顺德水道和承泄顺德水道分流的李家沙水道都是分叉河流的右叉,近年来均有冲深发展的趋势。

1.2 径流和潮流状况

珠江流域水量充沛,水资源总量达 3 360 亿 m^3 ,仅次于长江。其中,西江思贤窖西窖口以上占 70%,北江北窖口以上占 15%。对李家沙河段影响较大的是来自北江分流进入顺德水道的径流。顺德水道三善窖水文站多年平均流量约 $1070 \text{ m}^3/\text{s}$,其中,分流进入沙湾水道入口处(火烧头—磨碟头段)的多年平均流量约 $870 \text{ m}^3/\text{s}$,分流进入李家沙水道的多年平均流量仅 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (是莲沙容水道多年平均流量的最小段)。北江三水站汛期(4~9 月)径流量占全年的 88.8%,西江马口站汛期(4~9 月)径流量占全年的 77.7%,北江径流较西江更集中于汛期。洪水特性为,北江发洪较西江早,以 6 月份出现的洪峰最多占 21.3%。

珠江口滨海区的潮汐主要是太平洋波浪经巴士海峡、巴林海峡传入,属不规则半日混合潮。李家沙河段的板沙尾和三善窖水文站的潮差很小,前者略大于后者(板沙尾多年平均潮差 1.0 m,三善窖多年平均潮差 0.93 m)。板沙尾的涨、落潮时间早于三善窖约 1 h,说明板沙尾更具河口特性。

1.3 泥沙

珠江流域水沙特点是径流量大,含沙量小(多年平均含沙量为 $0.29 \text{ kg}/\text{m}^3$)而输沙总量较大。悬移质输沙量为 8 870 万 t(汛期占 95%),其中 80%由八大口门输送出海。从各河道输沙情况看,西江马口站来沙占珠江流域悬移质输沙总量的 84.6%,北江三水站占 9.2%。珠江流域推移质年输沙量约为 400~800 万 t。洪水期李家沙河段输沙主要来自北江。洪水期(4~9 月)输沙占全年 96.8%,6~7 月输沙占全年 51%,陆域来沙与来水相比,更加集中于汛期。含沙量的年内变化与洪水相应,多年平均以 7 月最大。无论是汛期还是枯水季节,各站净输沙量均大于零,说明泥沙总体向下游输移。

由上述可知,西、北江三角洲(包括李家沙水道)的水沙条件和动力特征可概括为:径流强,潮流弱;径流变幅较大,枯水径流动力不可忽视;含沙量小,但输沙量较大;径流来沙为主,泥沙总体向下游输移。

1.4 演变特征

1.4.1 西、北江河道演变特征

由于广泛修建堤围、护岸,河岸比较稳定,河道没有太大的摆动。宽深比 $\sqrt{B}/H$ (下同)一般为 2~5,最大不超过 10。西江河道平均比降为 0.23%,北江河道平均比降为 0.37%。多年平均含沙量为 $0.29 \text{ kg}/\text{m}^3$,悬移质中值粒径约 0.028~0.008 mm,床沙中值粒径约 0.18 mm。近年来,各河道普遍冲刷。

1.4.2 李家沙水道演变特征

a. 河床平面形态受围堤控制,多年来基本稳定。

b. 水道北窄南宽,最窄处约 120 m,位于水道北端(火烧头口门),最宽处约 300 m,位于水道南端(板沙尾),一般宽度为 200 m 左右。全水道最大的断面平均水深始终位于李家沙水道口门处(火烧头),宽深比 1.5 左右,水深逐年加大。较小的断面平均水深始终位于李家沙水道出口处(板沙尾洲尾左侧),宽深比 6.5 左右,水深逐年缓慢增大。全河段宽深比在 1.5~6.5 之间。

c. 根据西、北江三角洲的水沙特点及有关水文实测资料^①,并结合李家沙水道(包括莲沙容水道)河床质取样分析结果可知,该水道演变主要发生在洪水期,径流是造床主动力。主槽河床演变由底沙(推移质)输运塑造,边滩则由悬移质和推移质共同作用,洲尾浅滩则以悬移质淤积为主。

d. 李家沙水道主槽基本为细沙,中值粒径 0.15~0.24 mm(相应起动流速为 0.3~0.4 m/s)。以多年平均流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 计,沿程断面平均流速为 0.33~0.48 m/s,大于泥沙起动流速,说明一般情况下底沙均能向下游输移。从火烧头至民生水闸约 6.5 km 的河道,底质为灰黄色、黄褐色细沙、中细沙,分选性好,含少量贝壳,是李家沙水道的沙质最优良段。

e. 板沙尾洲尾浅滩自 1985~1999 年 6 月 0~3 m 等深线未见明显变化。淤泥质中值粒径约为 0.003 mm。

①广东省航道勘测设计科研所.珠江三角洲莲沙容水道航道整治工程可行性研究报告.1996.

f. 自 80 年代以来,河床纵向变化总体表现以冲刷为主.1996 年以前年平均冲深 0.03 m,处于相对稳定的微冲期.1996~1999 年,年平均冲深 0.33 m,处于相对不稳定的加速调整期.主槽走向未见明显变化.

g. 人类活动影响.李家沙水道平面形态主要受围堤控制,岸边滩地筑堤围垦或植树增加主河槽冲刷.近年来大规模挖沙对河床演变带来重要影响.据分析,三角洲各干支流河道内每年挖沙在数百万立方米以上,而正常年推移质输沙量约 400~800 万 t.挖沙严重破坏了原有的输沙平衡,是导致近年来三角洲各河道(包括李家沙水道)普遍冲刷的重要原因.

2 分流区近期演变的特点及其成因分析

2.1 近期演变特点和河势特征

2.1.1 分流区附近河床的近期演变特点

李家沙水道是顺德水道的一个分支汉,其河床演变与进口附近顺德水道的河床演变密切相关.

1985~1996 年,顺德水道河床冲刷剧烈,河床右岸冲出 12 m 水深,设计最低通航水位珠基 -0.95 m 以下的水深,下同)的深槽,较原河床冲深 6 m,6 m 等深线已和李家沙水道口门的深槽相连接,宽深比由 4.0~6.0 演变为 2.6~4.6.此期间在火烧头前沿低水位分流嘴上增建丁坝一座,顶高程约为珠基 0 m,其上挑弯道水流将其纳入李家沙水道口门的功能显现,致使丁坝的口门一侧冲刷强劲,出现 8 m 水深的深槽且与口门段深槽相连通.

1996~1999 年,顺德水道右深槽继续刷深,展宽并进一步右移,深槽 11 m 等深线向李家沙水道进口延伸,7 m 等深线已和李家沙水道口门的深槽相贯通(与 1996 年相比冲深 1.0 m),宽深比在 2.2~3.7 之间.由于深槽展宽使深槽的分部流量增大,致使上挑丁坝阻水纳流功能更加明显.

由于顺德水道主流轴线的右移及受丁坝侧面顶托,水流进入弯道的曲率半径有所减小,导致沙湾水道右岸深槽一直处于微淤,左岸浅滩则处于冲刷的状态.

火烧头至鸡洲涌附近,河床变形及下切最为剧烈,与 1996 年比较,0 m 水深下过流面积扩大了 0.4~1.2 倍,宽深比由 1.5~6.3 演变为 1.1~3.8.最为突出的是鸡洲涌附近河床,其过流面积增大了 1.2 倍,宽深比由 6.3 演变为 2.9(河宽不变).分析 1999 年测图可知,该河段挖沙迹象清晰可见,该河段如以上下游的平均冲刷量作为自然力量塑造的部分,则在火烧头至鸡洲涌 3.75 km 河段内挖沙量达 60 万 m^3 之巨.

2.1.2 分流区附近河势特征

顺德水道经火烧头与沙湾水道的口门——磨碟头附近形成 80°左右的急弯段,水流惯性进入弯曲水道,在离心力与向心力的交互作用下,断面上产生横向水面比降,壅水位于凹岸,水流动力越大,这一现象就越明显.而李家沙水道口门和火烧头前沿低水位分流嘴就位于弯道凹岸的偏上游处.

在磨碟头附近,由于水闸和船闸上首的码头作用以及河势节点呈收缩趋势,强制性将河宽收缩至上游河宽的 0.56 倍,过流面积的突然收缩,自上游而至的弯道水流在受阻的情况下,部分水流的动能将转化为势能,促使水位壅高并上溯至火烧头附近.在一般的洪水期间,火烧头至三村(李家沙水道口门段)河段在平面上为一个扩展段,三村附近河宽是火烧头口门处河宽的 1.8 倍,摆脱口门节点约束而进入扩展段的水流可较为顺畅地向下运行.

顺德水道的径流,流经三善窖至火烧头前沿分流嘴分别向李家沙水道和沙湾水道分流,三善窖至分流嘴河段的河床纵坡呈倒坡状,向分流嘴运行的水流阻力沿程增大,至分流嘴,又遇到分流嘴的正面顶托,1985 年之后在分流嘴上增建上挑丁坝一座,起到了阻水(使该处水位进一步壅高)纳流的作用.

2.2 近期演变的成因分析

1996 年以前,分流区附近已存在的弯道水流现象、两汉口门节点的阻力特性、分流嘴的阻力特性等要素组合成的河势条件,为后期李家沙水道径流量的增大奠定了潜在的发展基础,而近几年李家沙水道过流量增大的原因也应该与该水道口门处演变有关.

1996 年以后,顺德水道右岸一侧深槽的继续刷深、展宽并进一步右移,且向李家沙水道口门延伸,使该部分过流面积增大的同时右岸部分的流量不断增大,水流动力轴线向右岸偏移,流经火烧头受到该处上挑潜水丁坝(分流嘴)强有力的阻挡(相当于上挑潜水丁坝向主流区伸长),在进一步使该处水位有所壅高的同时,丁坝左侧面阻水向口门内纳流的功能更加明显,顺德水道(特别是李家沙水道进口处)河床的演变,改变了原

来分流区的河势特征,是近年来李家沙水道过流量增大的重要原因之一,特殊的影响行为(挖沙活动),使李家沙水道口门段的过流面积有较大幅度(或成倍)的增大,挖沙严重破坏了原有的输沙规律,是导致李家沙水道河床近年来加速调整的重要原因之一。

1996 年以前,李家沙水道沿程河岸浅滩上围堤养鱼或植树固滩的活动,人为塑造了束水归槽的河势条件。1996 年之后,在以上两个影响因素的促进下,全水道河床的调整进入冲刷加剧的不稳定期。

综上所述,顺德水道右深槽的演变及水流动力轴线的右移,李家沙水道挖沙活动加剧导致口门段过流面积大幅度(或成倍)增大,这两个因素在分流区附近原有河势条件的配合下,为李家沙水道径流量的增大创造了有利的地形条件和水力条件。而目前分流区由于壅水致使水位抬升,潜水丁坝左侧由于水流顶冲力加大而冲刷,李家沙水道由于径流量增大而普遍冲刷导致沿程水深增大,这些结果均被 1999 年 6 月实测河道地形图资料和 7 月实测洪水大潮的水文资料所证实。

3 李家沙水道的分流特性探讨

分析可知,火烧头分流区附近特定的河势在相应的径流动力作用下,分流区会产生壅水现象,在上述成因的共同作用下,有利于李家沙水道径流量 Q_l (分流比 η) 的增加。特定的河势与径流动力相互作用反映出的壅水现象可反映在李家沙水道口门段(火烧头—三村)水面比降的增大及其变化上,其函数关系为

$$J_{hs} = f(Q_s Q_l \Omega_0) \tag{1}$$

式中: J_{hs} ——火烧头至三村河段的水面比降; Q_s ——三善窖站径流量, m^3/s ; Ω_0 ——火烧头分流区附近河势。

李家沙水道径流量 Q_l 与顺德水道径流量 Q_s 、李家沙水道分流比 η 与比降 J_{hs} 存在如下函数关系:

$$Q_l = \eta Q_s \qquad \eta = f(J_{hs}) \tag{2}$$

当特定的径流动力作用于特定的河势时,火烧头水位值 H_h 和三村水位值 H_s 及李家沙水道径流量的大小,是上述各影响因素综合作用的结果。因此式(1)可改写为

$$J_{hs} = f(Q_s Q_l \Delta H) \qquad \Delta H = H_h - H_s \tag{3}$$

1999 年 7 月 27~28 日实测洪水大潮的水文资料表明,径流动力远大于潮流动力,三善窖平均径流量为 $3\,100\,\text{m}^3/\text{s}$ (李家沙水道分流比在 28%~33%左右);火烧头水位值等于或大于上游三善窖水位值、约等于左汉下游磨碟头水位值,火烧头分流区的壅水现象十分明显。应用 1999 年 7 月实测洪水大潮资料和物理模型(以 1999 年 6 月实测河道地形制作)^①试验资料(1994 年 6 月特大洪水和各典型潮,三善窖径流量为 $1\,000\sim 8\,200\,\text{m}^3/\text{s}$)点绘了李家沙水道分流比与口门段水面比降之间的关系见图 1。

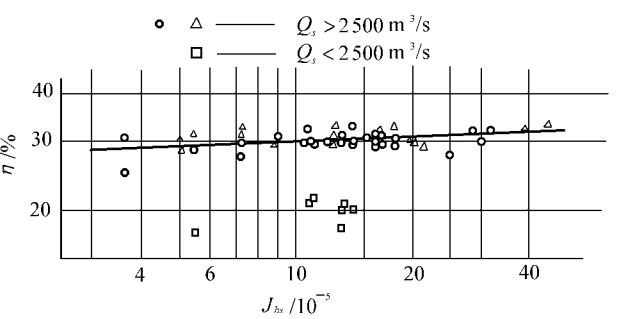


图 1 李家沙水道分流比 η 与口门段水面比降 J 的关系
Fig.1 Relation between η and J for Lijiasha waterway

分析图 1 知,关系相对稳定且具有某一趋势的数据($\eta = 28\% \sim 34\%$),其三善窖径流量一般均大于 $2\,500\,\text{m}^3/\text{s}$ (相应 $Q_l = 700 \sim 2\,800\,\text{m}^3/\text{s}$);反之,相对散乱无规律的数据($\eta < 28\%$),其 $Q_s < 2\,500\,\text{m}^3/\text{s}$ 。在目前的河势特征条件下,李家沙水道径流量增大导致河床冲刷加剧,是发生在洪水期间的特有现象,该现象与西江、北江水系河道的造床以汛期径流动力为主的规律是一致的。

当 $Q_s > 2\,500\,\text{m}^3/\text{s}$ 时,由图 1 和式(2)可给出

$$\eta = 0.432 J_{hs}^{\frac{1}{25}} \tag{4}$$

或

$$Q_l = 0.432 Q_s J_{hs}^{\frac{1}{25}} \tag{5}$$

的关系式。同理,可得到李家沙水道的径流量与全河段的水面比降 J_{hh} 和上游径流动力之间的关系式

① 河海大学. 珠江三角洲李家沙水道航道整治物理模型试验研究. 1999.

$$\eta = 1.58 J_{hb}^{1/6} \tag{6}$$
$$Q_l = 1.58 Q_s J_{hb}^{1/6} \tag{7}$$

或

式中 J_{hb} 为火烧头至板沙尾水文站河段的水面比降.

4 结 语

- a. 1996 ~ 1999 年 6 月 ,李家沙水道过流量增大 ,导致河床普遍冲刷 .其水深增大的原因是 :顺德水道的主流轴线向右岸偏移(右岸深槽进一步冲刷、展宽 ,在右移的同时向李家沙水道口门的深槽延伸)流经李家沙水道口门前沿时 ,顶冲潜水丁坝左侧 ,结果导致潜水丁坝阻水纳流的功能增强 ,挖沙活动加剧 ,结果导致李家沙水道口门段过流面积有较大幅度(或成倍)的增加 ,洪水期间顺德水道较大的径流动力作用于目前火烧头附近特定的河势时存在壅水的现象 ,导致李家沙水道口门段的水面比降增大 .
- b. 李家沙水道两侧河岸浅滩上围堤养鱼或植树固滩这一束水归槽的河势条件 ,在上述原因的配合下 ,导致近几年李家沙水道冲刷加剧 .
- c. 塑造李家沙水道河床的水流条件是以洪水期径流动力为主 ,主槽的泥沙则以推移质运输为主 ,该规律与西北江水系河床演变的特性及规律是一致的 .1985 ~ 1996 年处于相对稳定的微冲期(年平均冲深 0.03 m) ,1996 ~ 1999 年 7 月由于冲刷加剧(年平均冲深 0.33 m)而处于相对不稳定期 .
- d. 由本文的分析和式(5)(7)可知 ,火烧头分流区及分流区附近的河势与李家沙水道的径流量及河床演变密切相关 ,维护该区域的现有河势 ,有利于李家沙水道的调整 .
- e. 顺德水道和李家沙水道同属分汊河流的右汊水道 ,其历史演变是否遵循三角洲网河中右汊日益冲深发展的规律 ,有待时间的检验 .

参考文献 :

[1] 钱宁 .河床演变学[M].北京 :科学出版社 ,1987.290.

[2] 乔彭年 .珠江三角洲演变[A].第二次河流泥沙国际学术讨论会论文集[C].北京 :水利电力出版社 ,1983.629.

Characteristics of Division Flow of Lijiasha Waterway in the West and North River Delta

WANG Zhi-liang¹ ,TANG Hong-wu¹ ,XIAO Yang¹ ,XU Xi-rong¹ ,XIE Ling-feng²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai Univ. ,Nanjing 210098 ,China ;
2. Institute of Channel Survey , Design and Research , Guangzhou 510115 ,China)

Abstract : In recent years , the coaction of evolution of the Shunde waterway , human activity and original river pattern has increased the runoff of the Lijiasha waterway and has made the channel scouring more serious. The trend is the same as that of the evolution of the West and North river system. Based on the observed data ,the relations between the Lijiasha waterway runoff , upstream runoff and river pattern characteristics in the bypass region are established.

Key words Zhujiang dalta ; Lijiasha waterway ; evolution ; river pattern