

人类活动影响下的东江下游博罗浅滩河段航道整治

季荣耀, 陆永军, 左利钦

(南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 博罗浅滩为东江下游主要碍航河段. 近20年来其来水来沙条件与河床演变趋势受大规模河床采沙、上游水库与水利枢纽建设等人类活动影响强烈, 对通航条件与航道整治产生重大影响. 针对人类活动影响下河床演变与航道整治特点, 建立了正交曲线网格坐标系下的东江下游二维水沙数学模型. 在运用水沙实测资料对模型验证的基础上, 计算分析了剑潭枢纽运行初期下游的河床冲刷和推荐整治方案实施后的整治效果. 结果表明, 推荐方案实施后, 博罗浅滩河段可满足设计航道尺度要求.

关键词: 人类活动; 河床演变; 航道整治; 数学模型; 博罗浅滩

中图分类号: U617.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2008)01-0020-08

Study on channel regulation affected by human activities in Boluo shoal reach of the Dongjiang River

Ji Rong-yao, LU Yong-jun, ZUO Li-qin

(State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The Boluo shoal blocks seriously the shipping in the lower reaches of the Dongjiang River. In the last 20 years, the water-sediment conditions and fluvial process of the reaches have been greatly influenced by the human activities such as large-scale sand mining from riverbed, and construction of reservoirs and hydro projects. On one hand, the increase of the discharge in the dry season and the water depth improve the navigation ability; on the other hand, the severe riverbed downcutting results in the continuous drop of the lowest designed water level of navigation, and the rapid increase of the water surface gradient worsens the navigation conditions of the local reach. According to the characteristics of the fluvial process and channel regulation affected by human activities, a 2D mathematical model is developed, which adopts the boundary-fitting orthogonal coordinate system. Based on the verification of the water surface profile, and the distribution of flow velocity and the riverbed deformation, the riverbed erosion and water level decline after the construction of Jiantan Project and the regulation effects after the implement of the recommended projects are predicated.

Key words: human activities; fluvial process; channel regulation; mathematical model; Boluo shoal

收稿日期: 2007-03-07

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2003CB415206), 国家自然科学基金资助项目(50379027)

作者简介: 季荣耀(1978-), 男, 山东临沂人, 博士研究生, 主要从事河流海岸动力学与环境演变研究.

E-mail: ryji@nhri.cn

人类活动对河床演变的影响越来越大,已成为河床演变学研究的主要内容^[1].当流域的来水来沙条件和河流的边界条件因人类活动而改变后,河流将通过再造床过程做出相应调整.大量工程实践表明,航道整治应遵循河床演变规律,因势利导,通过疏浚与整治,归顺河岸和调整水流,稳定和发展河势,从而达到要求的设计航深.

20世纪80年代以来,上游水库、水利枢纽建设和大规模河床采沙是影响东江下游及三角洲地区河道河床演变的最重要的人类活动,也成为众多学者关注的焦点.相关研究主要集中在人类活动作用下的河床演变、利弊分析及其相应的对策^[2-5]、对防洪和低水位的影响^[6,7]及宏观的科学管理对策^[8].近期在这些河段的工程整治实践中,有关人类活动对河道水水泥沙特性的影响乃至结合航道整治技术问题而进行的专门探讨也逐渐增多^[9-11].东江下游惠州至东江口航道,主要碍航河段为剑潭枢纽~谭公庙间的博罗浅滩河段(见图1).该河段河床宽浅,洲滩发育,洪枯流量悬殊,滩槽变化剧烈,是惠州通往珠江三角洲的水运“瓶颈”,迫切需要整治.依据该河段多年航道地形图、博罗水文站长系列水沙资料以及近期多次水文同步测验成果等资料进行综合计算和对比分析,近几十年来在上游兴建水库、水利枢纽与河床采沙等人类活动的强烈影响下,博罗浅滩河段的水沙特性与河床边界条件发生了显著变化^[9],河床演变呈现出新的特点和趋势.因此,有必要对人类活动影响下的河床演变及其航道整治影响进行深入分析,在此基础上有针对性的开展航道整治研究.

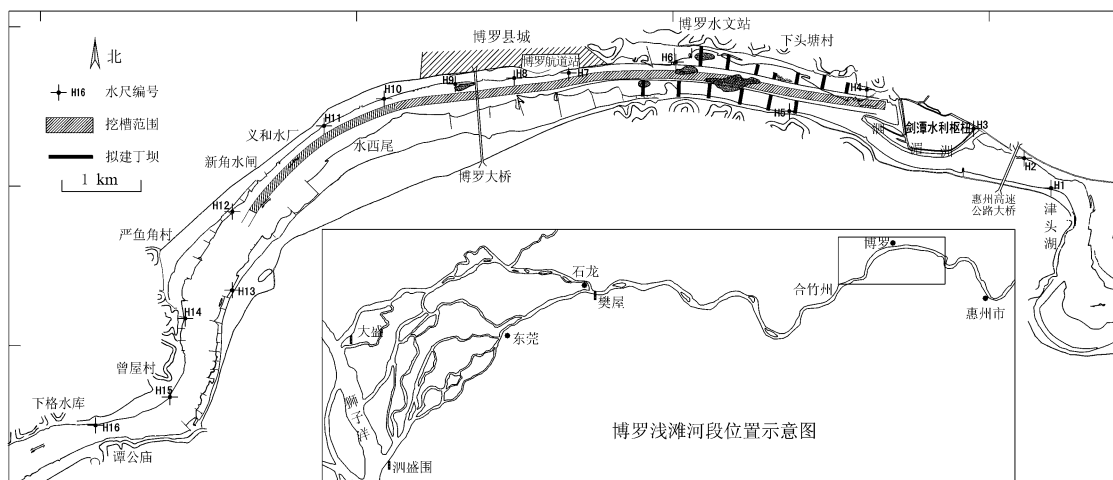


图1 博罗浅滩河段河势及推荐整治方案平面布置图

Fig. 1 River regime and layout of the channel regulation project in the Boluo shoal reach

1 浅滩河段概况与成因

据2005年10月航道地形图,博罗浅滩河段由下头塘、博罗大桥、水西尾3个连续浅滩组成,每个浅滩之间均有短小的水深2.0 m以上深槽相连,航槽最小水深1.1 m.本河段河宽一般700 m,最大1 100 m,最小500 m;沙质河床,以中粗砂为主,平均中值粒径为1.36 mm.水面比降陡,流速大,水深小,流路弯曲是本河段的显著特点.河段水沙条件复杂,以径流作用为主,既受上游水库与水利枢纽调峰发电、蓄洪消峰的影响,还受下游河道上溯而来的潮汐作用.据博罗水文站1954~2005年水沙资料统计,其多年年均流量为731.3 m³/s、年均径流量为230.6亿m³;多年年均含沙量为0.103 kg/m³、年均悬移质输沙量为237.8万t.流量、输沙量年内分布有明显的洪、枯季之分,主要集中在4~9月,分别占全年总量的70%和80%以上.

从河势看,博罗浅滩河段处于上、下游狭窄河段之间的宽浅河段,其上游津头湖河段最窄河宽为150 m,水深7~8 m;下游谭公庙河段最窄河宽200 m,水深8~11 m.上游津头湖(现为剑潭水利枢纽)和下游谭公庙是控制本河段河势的两个重要节点.当上游来水来沙进入本河段后,由于河面逐渐放宽,从泗湄洲头的500 m放宽至水西尾的1 100 m,使流速沿程逐渐变小,水流挟沙能力下降,促使泥沙落淤;下游谭公庙狭窄

河段则起着壅水作用,促使流速再次降低,进一步削弱水流挟沙能力.因此,博罗浅滩是由于河面放宽,流速减小,水流挟沙能力下降,造成泥沙容易落淤所致.

2 人类活动影响下的河床演变

近几十年来,上游建库与大规模的河床采沙等人类活动已经成为影响博罗浅滩河段水沙特性与河床演变的主导因素.

2.1 上游建库影响分析

20 世纪 50 ~ 80 年代修建的新丰江(1959 年)、枫树坝(1973 年)、白盆珠(1985 年)三大水库总库容 170.6 亿 m^3 ,总控制面积为 11 740 km^2 ,占博罗以上流域面积的 46.4%.东江流域水库建设的影响主要表现在调节年径流量与减少含沙量、输沙量.

三大水库具有显著的削减洪峰、增大枯水流量的作用.建库前,博罗站最大洪峰流量为 12 800 m^3/s (1959-06-16);三大水库共同运行后,2005 年 6 月百年一遇的洪峰流量仅为 7 840 m^3/s ,洪峰流量明显减小.以 6 月流量代表洪水期流量,1 月代表枯水期流量.根据三大水库建成运行的时间比较流量变化(见表 1)可见,建库后年均径流量变化不大,但洪水期平均流量明显减小,特别是三大水库共同运行后,6 月平均流量比建库前减少 49%;相应枯水期平均流量却显著增加,为建库前的 2.3 倍.

表 1 博罗水文站不同时期的水沙特征值统计表

Tab. 1 The water-sediment characteristics of the Boluo Station during different years

统 计 年 份	年均流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	1 月平均流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	6 月平均流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	年均含沙量 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	年均输沙量 / $(10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1})$
1954 ~ 1959(无水库)	713	170	2 380	0.152	342
1960 ~ 1973(新丰江水库建成运行)	692	272	1 646	0.134	293
1974 ~ 1985(新丰江和枫树坝水库建成运行)	841	448	1 550	0.103	274
1986 ~ 2005(三大水库建成运行)	698	394	1 207	0.066	145
1954 ~ 2005(52 年平均状况)	731	348	1 540	0.103	238

水库的蓄水拦沙作用使得博罗站含沙量与输沙量明显减小.与建库前相比,三大水库运行后,年平均含沙量与输沙量分别减少 56.6% 和 57.6%,最近 20 年的年均含沙量与输沙量仅为 0.066 kg/m^3 和 145 万 t.20 世纪 90 年代含沙量与输沙量的骤减还与上游流域水土保持发挥效用引起的来沙减少有关.

一般来说,水库的建设会减弱河床淤积、增强河床侵蚀;河床侵蚀在水库建成后数年强度最大,侵蚀幅度以水库附近最大,向下游逐渐减小.东江下游博罗距三大水库最近 78 km、最远 301 km,河床演变处于水库影响的范围内.

本河段冲淤计算表明,1964 ~ 1972 年,河床以淤积为主,平均年淤厚 0.15 m,与建库前基本一致;1972 ~ 1988 年,河床年平均刷深 0.52 m,冲刷量 39.5 万 m^3 ;1988 ~ 2002 年,河床年冲刷量为 72.2 万 m^3 .据研究,1988 年前的河床冲刷主要与 20 世纪 80 年代初期出现连续丰水年,河床得到了力度较强、时间较长的造床作用有关;1988 ~ 2002 年的河床冲刷则主要与人工河床采沙及其引起的"溯源"侵蚀效应有关.以上分析表明,三大水库建设并未对本河段河床产生明显的侵蚀效应,这可能与东江丰水少沙、蚀积强度较弱有关.

2.2 人工采沙影响分析

大规模人工采沙是近年来影响珠江三角洲河道河床演变的最重要的人类活动.据调查,石龙以下东江三角洲地区的人工河床采沙活动始于 20 世纪 80 年代,至今共开采了约 3 ~ 4 亿 m^3 的河沙^[4,7].近年来,随着三角洲地区沙资源枯竭,采沙区不断往上游迁移,1999 年河床采沙集中在合竹洲附近,2002 ~ 2006 年已经上移至谭公庙 ~ 新角水闸附近.大规模的河床采沙导致河床普遍强烈下切,对本河段近期的水文条件变化与河床演变产生了重大影响.

2.2.1 河床大幅下切, 冲淤演变性质发生转变 河床采沙的直接后果是河床下切. 由表 2 可见, 本河段以新角水闸为界, 上、下游河段的河床冲刷幅度差异明显. 下段新角水闸 ~ 谭公庙由于大规模采沙, 河床大幅下切, 河床形态发生剧烈变化. 2002 ~ 2005 年间, 河床平均下切 5.7 m, 平均水深增加 2.5 倍, 年均刷深 1.9 m; 河床断面宽深比减小近 2/3, 向窄深方向发展; 河床过水面积与河槽容积增加达 5.6 倍. 上段剑潭枢纽 ~ 新角水闸, 受采沙影响较弱, 其河床冲刷幅度较下段偏小. 该河段 2002 ~ 2005 年间河床平均下切 1.2 m, 平均水深增加 1 倍, 河床断面宽深比减小 44%, 过水面积与河槽容积增加 1.5 倍.

表 2 博罗浅滩河段不同年代河床特征值与冲淤变化

Tab. 2 Changes of channel geometry parameters and channel capacity in the Boluo shoal reach

年 份	上头塘 ~ 新角水闸					年 份	新角水闸 ~ 谭公庙				
	平均水深	平均河宽	宽深比	过水断面	河槽容积		平均水深	平均河宽	宽深比	过水断面	河槽容积
	/ m	/ m		/ m ²	/ 10 ⁴ m ³		/ m	/ m		/ m ²	/ 10 ⁴ m ³
2002	1.2	325	15.1	388	274.6	2002	2.2	265	7.1	603	397.9
2005	2.4	407	8.5	974	689.3	2005	7.9	422	2.6	3 368	2 221.5
变幅	1.2	82	-6.6	586	414.7	变幅	5.7	175	-4.5	2 765	1 823.6

本河段的河床大幅下切与床沙流失虽表现为“冲刷”, 但与河流自然冲淤状态下的冲刷明显不同. 这种“冲刷”不会使河床质向下游输移, 不会造成下游河床的淤积. 这是本河段河床演变的一个重要特征.

2.2.2 低水位严重下降, 水位流量关系明显右偏 下游河段的大规模采沙使得博罗站近年中、枯水水位明显下降, 月、年最低水位连创新低. 截止 2005 年底, 年最低水位已降至▽ 1.68 m, 较 1997 年已下降了 3.13 m. 博罗站水位显著下降, 径流量则基本不变, 表现在 $Z \sim Q$ 关系曲线上(见图 2)就是使 $Z \sim Q$ 关系曲线逐年右偏, 即同流量级的水位明显下降, 或同级水位下河道断面过流量明显增加, 且以枯水期表现最为明显. 可见自 1994 年以来, 博罗站 $Z \sim Q$ 关系曲线已表现为逐年右偏, 在 1999 年后随着采沙区域距离的接近, 这一趋势逐年加大, 并在 2003 ~ 2005 年间达到最大变幅. 1994 ~ 2005 年, 同流量级的水位下降已达 3 m.

2.2.3 局部河段水面比降剧增, 流速沿程梯度变化明显 采沙区下游河段由于河床下切, 河床坡降变缓, 且由于潮汐影响范围的上溯, 水面比降明显减小, 但减小了的比降不是趋于消失, 而是集中在采沙区上游一定范围的河段内, 形成一比降集中的“跌水”河段. 据实测资料计算, 新角水闸以上的“跌水”河段平均水面比降可达 0.476‰, 最大处近 0.68‰(见图 3), 较之下游 0.08‰增加 6 ~ 8 倍. 这种陡比降现象是由于上、下游挖沙规模强度不同造成的, 且随采沙区向上游的推进而上移, 2003 ~ 2005 年间已向上游推进了约 3.5 km(见图 3).

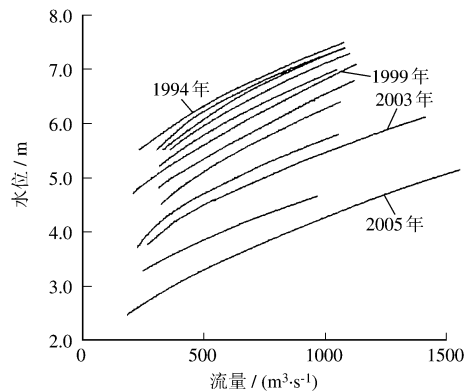


图 2 博罗站水位流量关系曲线变化

Fig. 2 Relationship between water level and flow discharge in Boluo Station from 1994 to 2005

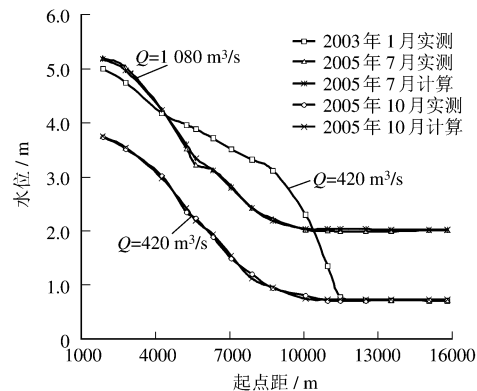


图 3 博罗浅滩河段沿程水面线及验证

Fig. 3 Verification of the water surface along the Boluo shoal reach

“跌水”河段因水面比降陡峻,形成一急流浅滩,流速沿程梯度变化非常明显.据 2003 年 1 月实测资料,陡比降河段 H1、H7、H10、H13 各测流断面的平均流速分别为 0.40、0.84、0.97 和 1.16 m/s;但在采沙区下游约 1 km 的 H16 断面,平均流速仅 0.41 m/s.

3 通航条件变化及航道整治影响分析

上游水利枢纽的兴建与大规模的河床采沙极大地改变了本河段的来水来沙条件与河床演变趋势,相应通航条件也发生了很大变化,加之本河段在建的剑潭枢纽,有必要在整治之前对人类活动产生的各种航道整治影响进行分析.

3.1 航道水深大幅增加明显提高通航能力

河床采沙相当于对航道的大规模疏浚,使得航道水深与宽度普遍大幅增加,整体通航能力明显提高,为航道的升级提供了良好的建设条件.至 2005 年底,除博罗浅滩河段外,东江下游惠州~东江口 116 km 航道全线水深已超过 4.0 m,使其由原 100 t 级的Ⅵ级航道升级为 1 000 t 级的Ⅲ级航道成为可能.大量采沙及上游水库建设引起的来沙量明显减少,还可减弱航槽淤积态势,增强潮汐的上溯作用,均有利于航道水深的增加.

3.2 中枯水流量增加有利于枯水期通航

上游三大水库的调洪削峰和控制性放水,提高了本河段的中、枯水流量,有利于枯水期通航.因为流量的增加对采用整治手段提高航道尺度是至关重要的,是达到设计航道尺度的前提条件.

正在兴建的剑潭枢纽位于博罗站上游约 3.5 km,是兼有防洪、航运、发电等多目标综合利用的工程.其与航道整治工程建设基本同步,已于 2007 年底竣工.剑潭枢纽电站是低水头无调节径流电站,流量基本仍保持天然情况,不影响下游航运基流;且其最小额定流量为 254.7 m³/s,大于设计最小通航流量 236 m³/s,进一步提高了枢纽下游航运基流的保障程度.

3.3 航槽演变极不稳定影响最低通航水位

博罗浅滩河段受采沙影响明显,目前河床处于极不稳定的状态.由于人工过度采沙,造成滩槽高差加剧,比降剧增,流速加大,水流挟沙能力增强,泥沙向下游输移强度增加,尤其是遇到较大洪水时,河床演变较为迅速,且很难在枯季得到恢复.2005 年 6 月洪水期间,剑潭枢纽以下至新角水闸未经历大规模采沙影响河段的边滩普遍下切 1.0 m 左右,并多处出现塌岸险情.

河床因采沙大幅下切造成的设计通航水位下降也一样显著.2002 年与 2005 年对比,设计最低通航水位最大降幅可达 2 m;而且采沙活动还在继续,受此影响,通航设计水位还将持续下降.因此现阶段无法依据现有水文资料准确确定剑潭枢纽建成后稳定的最低通航水位.

此外,剑潭枢纽建成后,悬移质中的粗颗粒部分及推移质泥沙将拦在库内,出库水流含沙量将小于建库前,破坏了枢纽下游河段水沙条件,在重建平衡的过程中和新的平衡条件下,下游河道将发生冲刷,并引起近坝段的水位下降,也势必对博罗河段航槽的稳定和最低通航水位产生影响.

3.4 博罗浅滩河段整治原则

人工采沙的继续发展与剑潭枢纽的建设,使东江下游目前碍航最为严重的博罗浅滩河段正在日益“消亡”,航道整体上向着良好的方向发展.为此,博罗浅滩河段的整治应顺应航道水深与宽度向着增加方向发展的趋势,因势利导,主要采用挖槽措施来达到设计航道尺度.同时,航道整治应考虑采沙活动引起的通航水位下降效应;由于浅滩河段随采沙区溯源上移具有动态性,最低通航设计水位应随时验证修订.综合考虑,本河段航道整治工程拟采用以疏浚为主、并与筑坝相结合的整治原则^[12].

4 航道工程二维泥沙数学模型及验证计算

河流边界的不规则性及整治工程的兴建使得水流运动十分复杂,还存在各种不同形式的局部流态,不仅

影响船舶航行安全,还可能引起局部的河床冲淤变化.本文建立的二维水沙模型采用贴体正交曲线坐标系,克服了边界复杂及计算域长宽比悬殊的困难.有关模型的基本控制方程、数值解法、边界条件及动边界技术等详见文献[13-16].基本方程包括水流连续方程、动量方程、悬移质不平衡输沙方程、推移质不平衡输移方程及河床变形方程.

4.1 计算区域及网格的生成

博罗浅滩河段二维水沙数学模型的进口位于惠州水位站,出口位于谭公庙,全长约 25 km,计算地形采用 2005 年实测 1:2000 地形图.在计算域内布置 188×31 个网格节点,经正交曲线计算得到正交曲线网格,网格间距沿河长方向为 100~180 m,沿河宽方向 10~25 m^[12].为预测该河段在不同水文年作用下的水位变化及河床变形,将模型向下游延伸至樊屋水位站.计算表明,本河段糙率变化在 0.018~0.035 之间,且枯水糙率大,洪水糙率小.

4.2 水位及流速分布验证

选择 2005 年 7 月、10 月 2 个测次的水文测量资料,相应流量分别为 $1\,080$ 和 $420\text{ m}^3/\text{s}$,进行了沿程 16 条水尺水面线与 5 个测流断面流速分布的验证.计算的瞬时水面线与实测值偏差一般小于 0.1 m,说明模型所选糙率是正确的.断面流速分布计算值与实测值的偏差小于 10%,水西尾断面流速分布计算与实测的比较见图 4,本河段整治流量下的流场图见图 5.可见,本模型对流场的模拟具有较高的精度,能够反映随着水位的升降流场的变化情况;尤其是随着流量的增加,水位逐步淹没滩地及江心洲对流场的影响^[12].

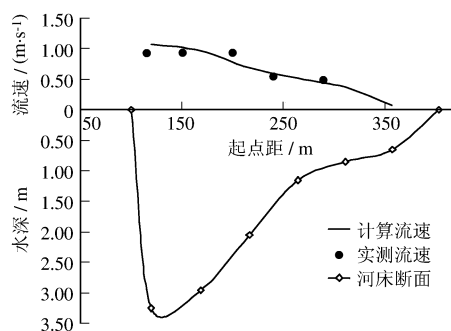


图4 水西尾断面流速分布验证图($Q=420\text{ m}^3/\text{s}$)

Fig.4 Verification of the velocity distribution at Shuixiwei cross section ($Q=420\text{ m}^3/\text{s}$)

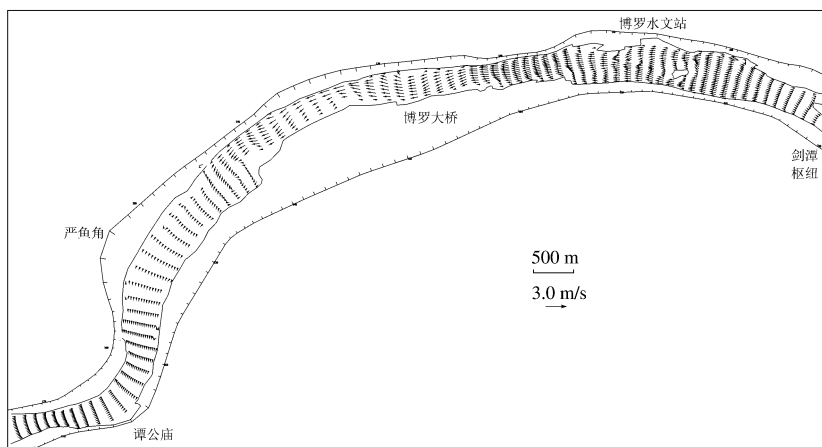


图5 整治流量下的博罗浅滩河段流场图($Q=424\text{ m}^3/\text{s}$)

Fig.5 Flow field corresponding to the discharge of $424\text{ m}^3/\text{s}$ in Boluo shoal reach

4.3 河床变形验证

河床变形验证计算时段为 2005 年 6~10 月,每天划分一个流量级,以 2005 年 5 月地形为起始地形.本河段 2005 年 6~10 月河床冲淤量计算与实测值的比较见表 3.2005 年 6 月恰逢东江百年一遇洪水,水流造床作用强烈,期间上游河段(H4~H8)河床冲刷量为 $47.3 \times 10^4\text{ m}^3$,冲刷下来的泥沙在下游河段淤积,H8~H16 和 H16~H18 之间分别淤积 $6.5 \times 10^4\text{ m}^3$ 和 $12.9 \times 10^4\text{ m}^3$.总体来说,计算的冲淤部位、冲淤量与实测值吻合较好,反映了博罗河段洪水期间上冲下淤的特点.

表 3 2005 年 6 ~ 10 月博罗河段冲淤量值计算与实测比较

Tab. 3 Comparison between the calculated and measured deposition and erosion amount of the Boluo shoal reach from June to October in 2005

河 段	间距 / km	计算值 / 10^4 m^3	实测值 / 10^4 m^3	偏差 / %
H4 ~ H8	4.4	-47.3	-40.3	17.4
H8 ~ H16	6.9	6.5	9.8	33.7
H16 ~ H18	2.8	12.9	12.1	6.6

5 航道工程整治效果计算

5.1 剑潭枢纽运行初期坝下游的河床冲刷与水位下降

根据近十多年水文系列资料分析,模型选取两个中水年(1999 年)、枯水年(2004 年)和丰水年(2005 年)作为计算水沙系列,对枢纽运行初期下游河段的河床冲刷与水位下降进行了计算.由于剑潭枢纽属径流式电站,坝前水头小,洪水期为了防洪及减少泥沙淤积在库内,几乎敞泄;枯水期虽有蓄水,但天然情况下水流含沙量很低,故入库含沙量过程仍采用天然的含沙量过程,但出库的推移质输移量几乎为零.计算过程中,模型进口边界移至剑潭枢纽,出口边界受樊屋站水位过程控制.

计算表明,剑潭至谭公庙河段冲刷将在 5 ~ 6 年内趋于平衡(见图 6).近坝的枢纽至博罗航道站河段冲刷量最大,为 $158 \times 10^4 \text{ m}^3$,平均冲刷面积为 387 m^2 ;其次是博罗航道站至曾屋村河段,共冲刷泥沙 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$,平均冲刷面积为 29 m^2 ;冲刷下来的泥沙在曾屋村至谭公庙河段发生淤积,淤积量为 $29.9 \times 10^4 \text{ m}^3$.枢纽下游河床冲刷导致同流量水位下降.枢纽运行前、后 6 年水位流量关系曲线的分析表明:建库前、后坝下游同流量水位下降 $0.10 \sim 0.72 \text{ m}$,且枯水流量水位下降大^[12].

5.2 整治方案比选及整治效果计算

综合考虑水库建设、河床采沙和剑潭枢纽运行对航道整治的影响,共形成 4 个整治方案^[12],并利用模型对各方案进行了比选和优化,最后形成推荐方案.推荐方案采用疏浚与筑坝相结合,工程布置见图 1;疏浚挖槽深度 2.3 m ,底宽 100 m ;为了加强水流对航槽的冲刷和岸滩稳定性的保护,两岸共抛筑 13 条丁坝,最低通航水位的设计已充分考虑了采沙可能引起的水位下降.

计算表明,推荐方案实施后,设计流量 $236 \text{ m}^3/\text{s}$ 下航槽水位下降 $0.09 \sim 0.80 \text{ m}$,整治流量 $424 \text{ m}^3/\text{s}$ 下水位下降 $0.07 \sim 0.60 \text{ m}$,最大下降均位于水尺 H5 附近;整治后的航槽流速沿程变化趋于平缓,更有利于航行(见图 7).因整治工程高程较低,10 年、50 年、100 年一遇洪水流量时,航槽沿程水位变化小于 0.01 m .典型水文年作用下的航槽冲淤计算表明,推荐方案实施一年后,博罗浅滩河段航槽 2.0 m 水深上下游贯通,能够满足设计航道尺度^[12].

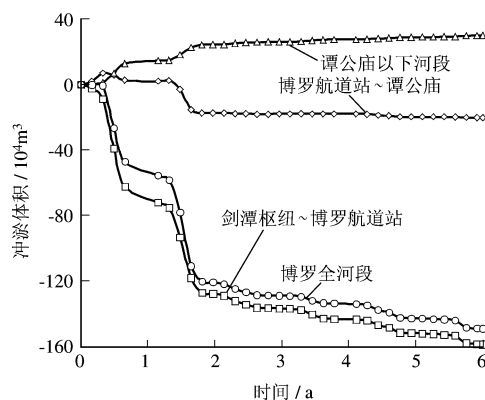


图 6 剑潭枢纽运行后博罗河段冲淤变化过程

Fig. 6 Change of amount of erosion and deposition with time after operation of the Jiantan Project

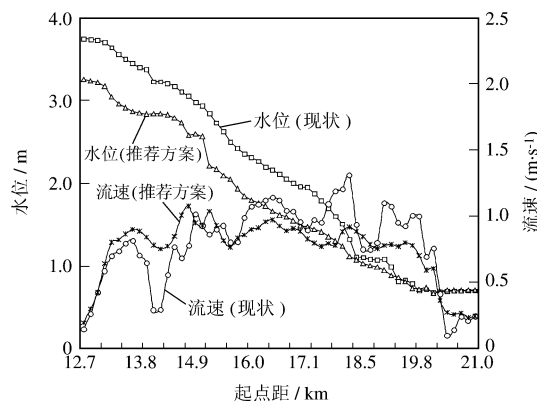


图 7 整治流量下工程前后水面线与流速变化

Fig. 7 Changes of water surface and flow velocity before and after the channel regulation

6 结 语

(1)博罗浅滩为东江下游主要碍航河段,由下头塘、博罗大桥和水西尾3个连续浅滩组成.其来水来沙条件与河床演变趋势近20年来受人类活动影响强烈,对通航条件与航道整治产生了深刻影响.

(2)上游水库等水利枢纽的兴建具有显著的调节年径流量与减少含沙量、输沙量作用.建库后洪水期6月平均流量比建库前减少49%,枯水期1月平均流量增加2.3倍,年平均含沙量与输沙量分别减少56.6%和57.6%.大规模的河床采沙导致河床普遍强烈下切.2002~2005年间,新角水闸以下河床平均下切5.7 m,平均水深增加2.5倍,新角水闸以上因受采沙影响较弱,河床平均下切1.2 m,平均水深增加1倍.下游河段的大规模采沙使得博罗站近年中、枯水水位明显下降,水位流量关系明显右偏,2005年最低水位较1997年已下降3.13 m.上、下游河段采沙规模强度的不同引起新角水闸附近水面比降剧增,最大处近0.68‰,形成一急流浅滩,流速沿程梯度变化非常明显.

(3)上游水库的调洪削峰和控制性放水,增大了中、枯水流量,有利于枯水期通航;大规模河床采沙增加了航道水深与宽度,通航能力明显提高,另一方面引起最低通航水位持续下降,使河床演变处于不稳定状态.2002年与2005年对比,设计最低通航水位最大降幅可达2 m;且采沙活动还在继续,通航设计水位还将持续下降.

(4)针对人类活动影响下河床演变与航道整治的特点,建立了正交曲线网格系统下的东江下游二维水沙数学模型.在运用大量水沙实测资料对二维水沙数学模型详细验证的基础上,对剑潭枢纽运行初期坝下游的水位下降与河床冲刷和推荐整治工程方案实施后的整治效果进行了计算.计算结果表明,剑潭枢纽运行引起的坝下游河床冲刷将在5~6年后趋于平衡;推荐方案实施后,博罗浅滩河段航槽2.0 m水深上下游贯通,可满足设计航道尺度要求.

参 考 文 献:

- [1] 钱宁,张仁,周志德.河床演变学[M].北京:科学出版社,1987.
- [2] 张瑞杭,刘启俊,黄广健.东江下游河床下降引发的问题和对策探讨[J].热带地理,1996,16(3):236-243.
- [3] 罗章仁,罗宪林,杨干然.人类活动对珠江三角洲水道河床演变的影响[J].热带地貌,1999,20(12):1-15.
- [4] 贾良文,罗章仁,杨清书.大量采沙对东江下游及东江三角洲河床地形和潮汐动力的影响[J].地理学报,2006,61(9):985-994.
- [5] 马中和.无序采沙的危害与对策[J].中国水运,2000,(9):32-33.
- [6] 罗卓群.东江水库调节对其下游各级水库淹没的影响[J].人民长江,1995,(5):24-27.
- [7] 贾良文,陆永军,莫思平.大量采沙对东江下游及东江三角洲河道低水位的影响[J].水利水运工程学报,2006,(3):1-8.
- [8] 钱挹清.珠江三角洲河道无序采沙影响及管理措施[J].人民珠江,2004,(2):44-46.
- [9] 陈海全,黄恒熙,周作付.人工采沙对东江博罗河段水文特性的影响分析[J].广东水利水电,2004,(6):56-58.
- [10] 韩龙喜,李伟,陆永军,等.人工挖沙对东江水系水动力及环境影响分析[J].水利学报,2005,33(2):123-126.
- [11] 周作付,何建华,邓年生,等.受人工采沙影响明显的河段基本站设计最低通航水位计算的探讨[J].水运工程,2003,(8):33-36.
- [12] 陆永军,莫思平,季荣耀.东江下游航道整治工程二维水沙数学模型研究[R].南京:南京水利科学研究院,2006.
- [13] 陆永军,陈国祥.航道工程泥沙数学模型的研究(I)——模型的建立[J].河海大学学报,1997,25(6):8-14.
- [14] Lu Yongjun. Mathematical modeling of degradation and fluvial process downstream reservoirs[J]. Journal of Hydrodynamics, 2001, 13(4): 107-112.
- [15] Lu Yongjun, Chen Guoxiang. A Non-uniform sediment transport model with the boundary-fitting orthogonal coordinate system[J]. Journal of Hydrodynamics, 2002, 14(1): 64-68.
- [16] 沈海清,季荣耀,左利钦.东江下游航道整治工程数学模型研究方法[J].水运工程,2006,(7):36-39.