

· 航道及通航建筑物 ·



贺江下游航道优化开发等级研究*

吴 腾, 徐金环, 陶桂兰, 吴志龙

(河海大学 海岸灾害及防护教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 贺江下游航道兼有山区河流和渠化河流的特点, 枯水季节局部航道出浅, 长期以来等级低下, 水运发展缓慢, 影响了航运效益的发挥。建立了一维数学模型, 研究枢纽调度运行条件下贺江下游航道的水位衔接问题、碍航浅滩的长度; 并考虑山区河流枢纽渠化河段以及河口入江自然河段的航道整治宽度、航道疏浚条件下水位的降落程度, 分析了贺江航道适宜提高航道等级的可行性与适用条件。最后将碍航浅滩的长度、航道整治宽度和水位的降落程度作为航道优化等级确定的参数, 综合确定了贺江下游航道的优化开发等级为IV级。

关键词: 航道等级; 航道整治; 水位; 贺江

中图分类号: U 617.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)04-0106-05

Optimization of waterway grade of Hejiang river

WU Teng, XU Jin-huan, TAO Gui-lan, WU Zhi-long

(Key Laboratory of Coastal Disaster and Defence, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Waterway grade of Hejiang river is low for a long time, which restricts the navigation capacity and navigation benefits. This paper establishes a one-dimensional mathematical model to study the navigable water level and the length of shoal under the condition of hydropower stations's operating, takes the channel regulation width and water level decrease ratio into account, and analyzes the feasibility and application conditions of the improvement of Hejiang river waterway's level. In the end, the shoal length, channel regulation width and water level decrease ratio are chosen as factors to be determined for the optimization of waterway grade. The result indicates that the suitable waterway grade of Hejiang river is the fourth.

Key words: waterway grade; navigation channel regulation; water level; Hejiang river

贺江发源于湘桂交界处五岭山脉的黄沙岭, 流经广西贺州市, 在八步区铺门镇扶隆村进入广东省封开县南丰镇, 至江口镇注入西江, 全长 351 km, 流域面积 11 536 km², 其经济腹地涉及经济互补性较强的湘、粤、桂 3 省区的 15 个市县, 是通往珠江三角洲的水上便捷通道。自 1966 年, 沿江先后建成了文华、都平、白坭及江口 4 座水利枢纽, 并均兼有发电、通航功能^[1], 枢纽位置见图 1。目前贺江下游(广东段)自白沙至江口长约 115 km, 该段航道按水深 0.6 m, 航宽 15 m 及弯曲半径 115 m 的标准维护, 可通航 50 吨级船舶。



图 1 贺江航道位置

由于贺江下游航道兼有山区河流和渠化河流的特色, 枯水季节时局部航道水深出浅, 船闸下游槛上水深不足, 电站发电与航道用水发生矛盾; 洪水时水位、流量暴涨暴落, 流速大、比降陡, 水流流态复杂, 河床组成的沙卵石在水流作用下推移搬运, 淤积在船闸引航道, 阻碍船舶顺利进

收稿日期: 2013-07-03

*基金项目: 广东省交通厅科技项目(2010-02-029); 国家自然科学基金项目(51309084)

作者简介: 吴腾(1979—), 男, 讲师, 主要从事水力学及河流动力学的研究。

出船闸, 河流浅滩易位^[2-5]。另外, 枢纽电站的日调节用水, 引起水库上游回水变动区移动, 下游低谷水传播, 浅滩整治难度大。因此, 确定贺江航道的开发等级, 加快贺江航道的规划建设, 解决航道整治建设中的关键技术问题, 对于促进两广经济发展, 加快西部大开发的建设步伐, 完善广东省肇庆市综合交通运输体系, 推动肇庆市经济的快速发展具有十分重要的意义。本文采用一维数学模型对贺江下游航道通航条件进行计算分析, 确定优化航道开发等级。

1 模型建立与验证

1.1 基本方程^[6]

水流连续方程

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} + q_l = 0 \quad (1)$$

水流运动方程

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X} \left(\alpha_1 \frac{Q^2}{A} \right) = -gA \left(\frac{\partial Z_s}{\partial X} + S_f \right) \quad (2)$$

式中: X 为流程 (m); t 为时间 (s); A 为断面过水面积; Q 为流量 (m^3/s); q_l 为旁侧入流量 (m^3/s), 负值表示流入; Z_s 为水位 (m); S_f 为水力坡度; α_1 为动量修正系数。

1.2 模型的验证

贺江下游为4座枢纽控制的人工调节河段, 本文采用2012-01-10T09:00—16:00贺江下游的实测水位、流量进行验证, 其中白沙至都平河段布置7个水位测点、都平至白坵河段布置8个水位测点、江口电站至江口河段之间布置5个水位测点。图2为不同时刻贺江沿程水位验证情况, 图3为距白沙5.9, 31.1, 72.8, 105.8 km处断面水位随时间过程验证。可以看出模型计算的水位与原型实测水位误差均在10 cm之内, 验证结果较好, 可以采用该模型进行贺江航道优化开发等级的研究。

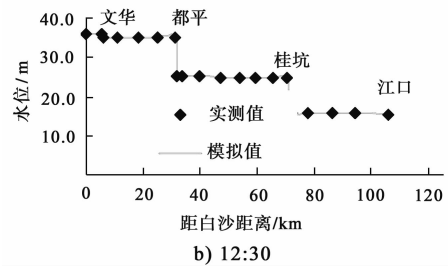
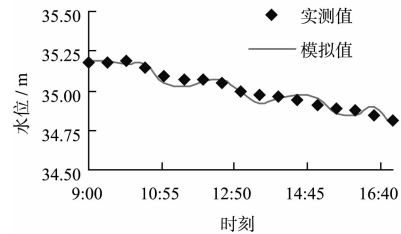
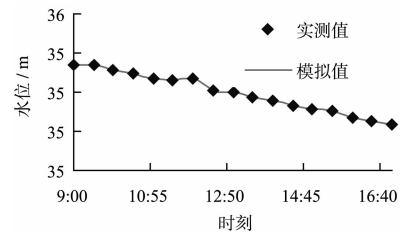


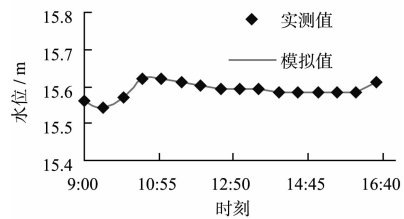
图2 沿程水位验证



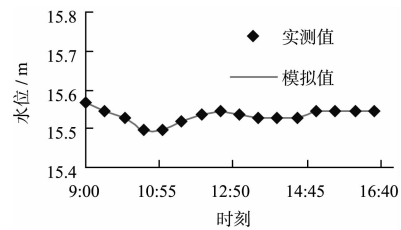
a) 距白沙5.9 km测点



b) 距白沙31.1 km测点

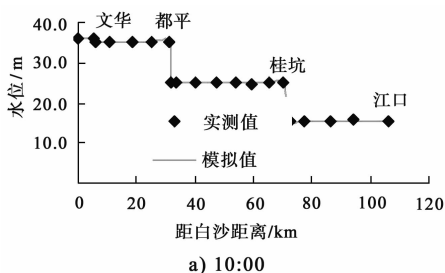


c) 距白沙72.8 km测点



d) 距白沙105.8 km测点

图3 水位过程验证



a) 10:00

2 贺江下游航道通航条件分析

2.1 贺江下游航道设计参数

贺江下游枢纽建成后, 改变了原有的贺江天然河流水文属性, 贺江文华—都平、都平—白坵、白坵—江口通过水利枢纽以渠化河段, 仅江口水利枢纽以下河段呈天然河流属性, 贺江航道的通

航设计水位见表 1^[1]，设计水位采用建坝前后实测水文资料分析得到。

表 1 枢纽上下游设计最低通航水位

电站	位置	设计低水位/m
文华电站	坝上	34.60
	坝下	32.00
都平电站	坝上	31.95
	坝下	23.70
白坵电站	坝上	23.20
	坝下	14.80
江口电站	坝上	11.80
	坝下	2.36

当前贺江航道开发程度较低，为研究贺江航道提升开发的合理性，分别以Ⅲ，Ⅳ，Ⅴ，Ⅵ级 4 种航道等级的尺度标准进行分析，设计代表船型尺度依据《珠江干线货运船舶船型主尺度系列》以及《内河货运船舶船型主尺度系列》，各等级参数见表 2^[1]。

表 2 贺江不同航道等级尺寸

航道等级	航道尺度/m		
	航深	航宽	弯曲半径
Ⅲ级(1 000 t)	3.2	60	480
Ⅳ级(500 t)	2.3	50	330
Ⅴ级(300 t)	1.6	40	270
Ⅵ级(100 t)	1.3	30	180

2.2 不同流量条件下贺江下游航道水位衔接分析

贺江下游为梯级枢纽控制的航道，提高其航道等级，必须确保贺江各区段维持正常的通航水位。在枢纽控制河段，当水库回水位与上一座枢纽坝下最低通航水位齐平或高于最低通航水位时，即实现了该河段的航道水位衔接，达到了航道渠

化要求。本文根据目前贺江广东段 4 个枢纽 3 级控制的实际情况，按照贺江现行的枢纽运行调度方式，研究贺江沿程枢纽的水位衔接问题，其中，枯季坝前水位均高于设计低水位。

文华—都平河段，采用数学模型计算了受都平枢纽控制运用的 4 种工况，见表 3。模拟结果表明，在文华枢纽拦河大坝存在的条件下，拦河大坝正常挡水位 36 m，在都平枢纽正常调度的任何情况下，由于都平枢纽最低采用 34.1 m 控制，文华枢纽下游水位均超过 34.1 m，大于设计低水位 32.0 m，水位均达到衔接要求，即上游河段在枢纽控制下完全实现了渠化。

都平—白坵河段数学模型模拟计算的 4 种工况结果见表 3，计算表明，在 4 种工况控制条件下，都平至白坵河段受白坵枢纽控制调度情况下的水位变化为 24.4 ~ 25.95 m，都平—白坵河段能满足上游都平坝下设计水位 23.70 m 和下游白坵坝上设计水位 23.20 m 的要求，都平—白坵河段也基本实现了渠化。

白坵至江口枢纽河段数模计算结果见表 3，表中在白坵—江口河段各种工况控制条件下白坵坝下计算水位分别为 15.0，16.2，16.2 m，均大于白坵坝下设计水位 14.80 m 和下游江口坝上设计水位 11.80 m 的要求，该河段也达到了基本渠化要求。

在江口—西江口河段，受西江水位变化控制，近似于天然状况，航道条件分析可直接采用设计水位。

表 3 各河段航道水位衔接状况

分段	方案	上游流量/(m ³ ·s ⁻¹)	下游坝上水位/m	上游坝下计算水位/m	上游坝下设计水位/m	水位衔接状况
文华—都平	1	100	34.10	34.12	32.0	衔接
	2	300	34.10	34.22	32.0	衔接
	3	600	34.10	34.45	32.0	衔接
	4	1 300	32.50	34.84	32.0	衔接
都平—白坵	1	150	23.95	24.40	23.7	衔接
	2	320	23.95	24.80	23.7	衔接
	3	500	23.70	25.18	23.7	衔接
	4	1 000	23.40	25.95	23.7	衔接
白坵—江口	1	600	14.50	15.00	14.8	衔接
	2	1 500	14.50	16.20	14.8	衔接
	3	1 800	11.80	16.20	14.8	衔接

2.3 贺江下游航道碍航浅滩长度分析

由2.2节的计算分析可知,在梯级枢纽不同运用条件下均实现了航道的水位衔接,因此可选取设计低水位条件来分析碍航浅滩的长度。表4为根据实测数据得到的不同航道等级时的浅滩长度。表4中文华—都平河段碍航浅滩长约1.5 km,占全段航道长度26 km的5.6%,实施航道整治工程可以全部达到V级航道标准。若要提高到IV级航道标准,航行500吨级船舶,需要对文华—都平河段局部浅滩长约2.45 km长的碍航浅滩航道进行整治。若提高到III级航道标准,航行1000吨级船舶,则文华—都平河段浅滩长度增加到约6.4 km长的碍航浅滩航道进行整治。在都平—白垢河段V级航道条件下,仅有约0.47 km的碍航浅滩,浅滩长度仅约占都平—白垢航段39 km的1.2%,通过航道整治比较容易实现全段V级航道标准。若河段提高到IV级航道标准,需要对碍航浅滩长约1.84 km航道进行整治改造。若提高到III级航道标准,航行1000吨级船舶,则需要对约7.3 km长碍航浅滩航道进行整治。

表4 贺江下游航道浅滩长度 m

分段	V级	IV级	III级
文华—都平	1 500	2 450	6 400
都平—白垢	470	1 840	7 300
白垢—江口			600
江口—西江	500	3 500	5 000
合计	2 470	7 790	19 300

白垢—江口河段是贺江全线航道中航行条件最好的航段,全段除600 m浅滩为IV级航道标准外,其余航道断面尺度都达到III级航道标准,若该航段提高到III级航道标准,仅约0.6 km航道需整治。在江口—西江口河段,受西江水位变化控制,在上游江口坝下设计水位2.36 m和下游江口设计水位1.72 m的条件下,只有一个计算断面未达到V级航道标准,碍航浅滩长度约占江口—西江口河段长度5 km的10%。若将江口—西江口河段提高到IV级航道标准,则需对该段70%以上航道,即3.5 km以上的碍航浅滩进行整治,才能达到贺江河口段IV级航道标准。如提高到III级航道

标准,江口—西江口门河段则需全线进行整治。综上所述,从碍航浅滩的整治长度考虑,贺江下游航道等级宜设计为IV级。

3 贺江下游航道整治参数确定

3.1 不同航道等级的整治线宽度

当贺江航道出现相应局部碍航浅滩时,需采取相应工程措施进行整治,达到相应的航道要求水深。整治线宽度可采用下式估算:

$$B_2 = KB_1 \left(\frac{H_1}{\eta t} \right)^y \quad (3)$$

式中: B_2 为整治线宽度; K 为系数,通常取1,复杂情况取0.8~0.9; B_1 为整治水位时整治前的水面宽度; H_1 为整治水位时整治前的断面平均水深; η 为水深修正系数,估算时取0.7~0.9; t 为整治水位时要求的航道水深; y 为指数,河床稳定时取1.67,以悬沙造床为主时取1.33,以推移质造床为主时取1.2~1.4。

根据贺江水文资料分析,本文研究计算时整治水位取高出设计水位1.2 m,整治线收缩系数 $K=0.8$,水深修正系数 $\eta=0.9$,指数 $y=1.4$,各枢纽河段碍航浅滩整治线宽度计算结果见表5。考虑到贺江航道整治上下游的连贯性,V级航道整治时的整治线宽度宜取180 m,IV级航道整治时的整治线宽度宜取130 m,III级航道整治时的整治线宽度宜取95 m。

表5 贺江枢纽河段碍航浅滩航道整治线宽 m

河段	V级航道	IV级航道	III级航道
文华—都平	178	130	94
都平—白垢	182	133	97
白垢—江口			99
江口—西江	179	131	96
综合确定	180	130	95

3.2 整治措施时水位下降

若贺江采用航道疏浚工程措施来提高航道等级,则由于贺江河流尺度较小,在实行航道挖泥疏浚后,因挖槽扩大了河道过水面积,同一流量条件下的水面线也将随之发生下降,并且在挖槽进口处水位下降最大,逐渐向下游递减,至挖槽出口处水位下降消失。这种挖槽疏浚后的水降落

影响,使得在枯水期挖槽实际所增加的水深小于要求的设计水深,有可能使上游河段的某些浅滩水深减小,甚至成为新的碍航浅滩。本文采用数学模型,计算贺江3个典型浅滩河段,单纯进行航道疏浚时浅滩河段最大水位落差见表6。计算结果表明,在贺江航道枢纽控制的渠化河段,河段水位比降小,航道疏浚后局部水位降落微弱,但贺

江江口枢纽至西江口河段,水位变化较大,按V级航道标准疏浚时局部最大水位降落0.05 m,若按IV级航道、III级航道标准疏浚时可能出现的局部最大水位降落达0.4 m和0.84 m,有可能造成按设计水深进行挖槽后航道水深不足。对于船闸下游门槛处,虽然水位降落,仍能满足水深要求。

表6 贺江航道疏浚工程设计水位时的水位降落值

航道等级	原河段平均水深/m	浅滩平均开挖深度/m	挖泥后水位降落值/m	河段
V级	0.96	0.47	0.02	文化
IV级	0.96	1.17	0.05	
III级	0.96	2.07	0.09	都平
V级	0.95	0.48	0.01	都平
IV级	0.95	1.18	0.03	
III级	0.95	2.08	0.06	白坵
V级	1.16	0.24	0.05	江口
IV级	1.16	0.97	0.40	
III级	1.16	1.84	0.84	西江

4 贺江航道优化开发等级的确定

综合表4~6的计算结果,主要包括:规划航道等级浅滩长度、整治线宽度以及疏浚时可能最大水位下降高度。绘制航道等级与整治参数关系,见图4。可以看出,研究河段整治线宽度、最大水位下降值与航道等级近似于线性关系,而浅滩的长度与航道等级在IV级处存在明显拐点。由IV级提升到V级后浅滩增加的长度较多,且疏浚后最大水位下降达0.84 m,从经济和实用性角度,贺江下游航道的优化开发等级可确定为IV级。

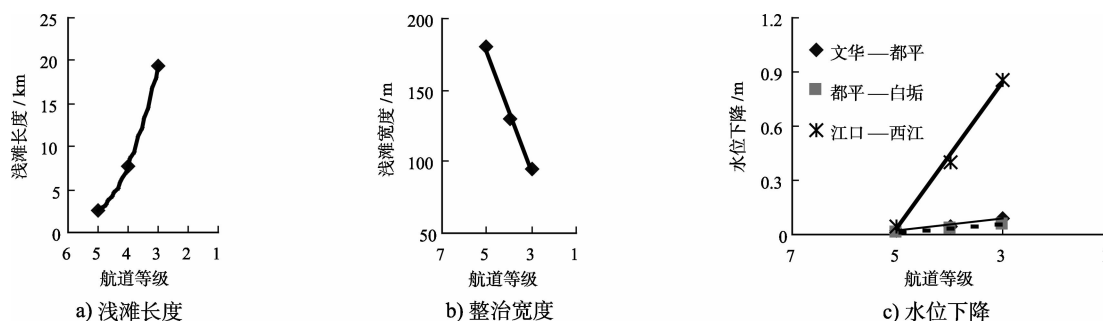


图4 航道等级与整治参数关系

5 结论

长期以来贺江航道等级低下,水运发展缓慢,限制了运输船舶的顺利通航,影响了贺江航运效益的发挥。本文采用一维数学模型计算分析了贺江下游航道等级提高的可行性,主要结论如下:1) 贺江下游文华、都平、白坵及江口4座水利枢纽在现行的调度方式条件下基本能实现航道的水位衔接。2) 所选的浅滩长度、整治线宽度、疏浚后水位下降高度作为确定航道优化等级的参数是可行的。3) 鉴于贺江航道连通广东、广西两省和沿程枢纽控制的实际水流状况,以及贺江与西江直接连通的有利条件,贺江下游航道规划提升至IV级航道标准最优。航道整治时若采用疏浚工程措施,在江口枢纽以下河口段航道疏浚时宜增加水位下降超深值。

参考文献:

- [1] 徐金环. 贺江航道整治工程关键技术问题研究报告[R]. 南京: 河海大学, 2012.
- [2] 张玮, 徐宿东, 曹民雄, 等. 典型石质汉流滩航道整治二维水流数值模型研究[J]. 水运工程, 2004(4): 52-56.
- [3] 李艳红, 周华君, 时钟. 山区河流平面二维流场的数值模拟[J]. 水科学进展, 2003(4): 424-428.
- [4] 唐银安, 吴安江. 山区冲积性河流整治建筑物水毁原因及防治初探[J]. 水运工程, 1997(4): 37-40.
- [5] 吴腾, 李远发, 洪建. 聚类统计方法在高含沙水流挟沙力公式验证中的应用[J]. 水利学报, 2007, 38(7): 852-856.
- [6] 徐金环. 航道整治[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.

(本文编辑 武亚庆)