

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2019.02.22

# 变化环境下东江干流河源至博罗河道糙率分析

倪培桐<sup>1,2,3</sup>

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510630; 2. 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广东 广州 510630; 3. 河口水利技术国家地方联合工程实验室, 广东 广州 510630)

**摘要:** 东江水文情势自 20 世纪 80 年代以来发生了较大的变化。为研究变环境下的河道特性, 基于  $K$  值分析方法延长了主要水文站水位-流量关系曲线(简称“ $H-Q$ ”曲线)及用一维数学模型方法反推了不同流量级下的河道糙率数据。结果表明: 河源、岭下流量站的高水位  $H-Q$  曲线变化不大。东江下游河床下切导致博罗水位流量曲线呈下降趋势。基于  $K$  值方法可以得到河源、岭下、博罗水文站相对合理的高流量  $H-Q$  曲线。河源至博罗段 1999 年河道糙率沿程取值 0.025~0.038 之间。部分位置如博罗-剑潭河段、上几角-下几角附近河道糙率较大(超过 0.03), 这与床面坡降较大有关。

**关键词:** 河道糙率;  $K$  值; 水位-流量关系曲线; 东江干流

中图分类号: TV133 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2019)02-0144-05

## Analysis of river roughness in the Heyuan to Boluo Section of main stream of Dongjiang River under environmental change

NI Peitong<sup>1,2,3</sup>

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510630, China;  
2. Hydrodynamic Research Key Lab of Guangdong Province, Guangzhou 510630, China;  
3. State-province Joint Engineering Laboratory of Estuarine Hydraulic Technology, Guangzhou 510630, China)

**Abstract:** The hydrological characteristics of Dongjiang River have changed greatly since 1980s. In order to study the characteristics of river channel under changing environment, the water level discharge curve of the main hydrological stations has been extended (referred to as “ $H-Q$ ” curve) based on the  $K$  value analysis method, and the river roughness data at different flow rates are deduced using one dimensional mathematical model. The results showed that: The  $H-Q$  curve of Heyuan and ridge lower traffic stations changed little. The down-cutting of river bed at downstream of Dongjiang River lead to decrease of the  $H-Q$  curve at Boluo Station. Based on the historical  $K$  value, a relatively reasonable  $H-Q$  curve with high flow rate can be obtained. The roughness of Heyuan to Boluo section reaches 0.025-0.038. Some sections such as the Boluo-Jiantan section and the upper-lower corner have larger roughness ( $>0.03$ ), which is related to the relatively large bed slope.

**Key words:** river roughness;  $K$  coefficient; the water level-discharge curve; Dongjiang main stream

## 1 研究背景

珠江水系由西江、北江、东江干流及三角洲河道组成, 自 20 世纪 80 年代以来, 由于人类活动特别是采砂等活动影响, 造成河床下切、河道  $H-Q$  关系变化等水文变异问题明显, 并直接导致以往水文计算成果偏差变大, 影响防洪规划决策, 危及工程设计、

施工安全。鉴于此, 水文变异已成为近年来很多学者研究的热点问题<sup>[1-5]</sup>。

由于河床下切引起河道  $H-Q$  关系发生相应变化, 重新推求河道水面线成为水利规划、防洪减灾的重要工作。河道糙率是水面线推算过程中的重要参数, 反映了水流运动阻力的影响。河道糙率选取一般有查表法、糙率公式法、试错法等, 基于实测资料

收稿日期: 2018-07-20; 修回日期: 2018-11-09

基金项目: 广东省水利科技创新项目(2016-12)

作者简介: 倪培桐(1971-), 男, 山东泰安人, 博士, 高级工程师, 研究方向: 河口动力学。

的试错法是目前工程应用的主要方法<sup>[6-8]</sup>。河道糙率反演的遗传算法、滤波方法等可提高精度、减少人为因素影响<sup>[8-12]</sup>,另外提高河道控制站  $H-Q$  曲线的准确度也是糙率反演的重要内容<sup>[13-14]</sup>。

东江流域河床下切及  $H-Q$  曲线的剧烈变化主要发生在 1990 年前后,河道下切首先从三角洲河道开始,向上游不断发展。由于河道糙率分析需要实测水文资料及匹配的河道地形资料,从东江流域现有资料看,1999 年河道地形测绘期间,东江干流河源-岭下段河床稳定,博罗以下河床下切量大且  $H-Q$  曲线剧烈<sup>[15]</sup>。基于 1999 年河道地形及水文资料分析东江干流变化环境下河道糙率参数问题,具有较好的代表性。本研究可为东江流域设计洪潮水面线推算提供参考。

## 2 数据及方法

### 2.1 区域概况

东江发源于江西省寻邬县桫髻岭,干流由东北向西南流经广东境内龙川、河源、紫金、博罗、惠阳至东莞石龙,石龙以下进入南支流和北干流两大水道之间的三角洲河网区,然后经多个口门汇入狮子洋,经虎门出海。干流由源头至石龙长约 520 km,至狮子洋总长约 562 km。石龙以上广东省境内约 23 540 km<sup>2</sup>,约占流域总面积的 87.06%,石龙以下的东江三角洲面积约为 1 380 km<sup>2</sup>。

东江流域属亚热带气候,高温湿润多雨,具有明显的干湿季节。多年平均降水量在 1500~2400 mm 之间,年内降雨分配不均,其中 4-9 月份占全年降雨的 80% 以上。东江洪水特点是水情复杂,洪水遭遇种类繁多。由锋面雨造成的洪水峰型较肥硕,涨水缓慢。由台风雨造成的洪水峰型尖瘦,涨落变化快,一次洪水过程一般为 6~8 d。

### 2.2 数据来源

地形分析主要采用较为系统的成套地形资料,包括 1964 年、1999 年河道地形图。除上述地形资料外,还有主要水文站大断面历年地形观测资料。

水文分析主要采用 1955-2000 年东江干流及三角洲河网常设水文/水位站及地方水利设施的洪水水文要素资料,包括枫树坝水库(梅光村)、龙川、新丰江水库、白盆珠水库、河源、岭下、博罗、观音阁、惠阳、大盛、泗盛围、石龙(樊屋)等站位(图 1),以及重要水利工程的水位观测资料(如东深取水口)、东江历史洪水调查资料<sup>[16]</sup>、水文专题观测资料等。

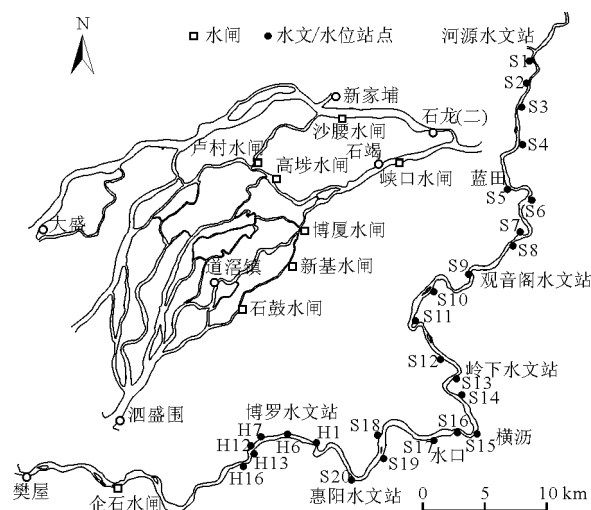


图 1 东江流域常设水文、水位站示意图

### 2.3 数学模型

基于一维圣维南方程组及河道地形剖断面建立东江干流及三角洲水流数学模型<sup>[15]</sup>,模型计算分为恒定流和非恒定流两种类型,上边界取值为水文站流量或流量过程,下边界取值为控制站的水位或水位过程,反求河道断面糙率及计算水面线,计算范围为东江河源到三角洲口门。河道总长约 150 km,河道地形断面剖分间距约 500~1 500 m。

### 2.4 河道断面 $K$ 参数

$$K = \sqrt{S/n} = V/R^{2/3} \quad (1)$$

式中:  $V$  为断面流速, m/s;  $S$  为比降;  $R$  为水力半径, m;  $n$  为糙率;  $K$  为比降与糙率的比值。窄深河床的  $K$  值随平均水深的增加趋向于常数,宽浅河床的  $K$  值乘以  $h/B$ ,修正后仍然可得到稳定的结果,黄河及长江实测资料显示,平均水深超过 3 m 时,  $K$  值趋向常数,河宽较小的断面,平均水深小于 3 m,  $K$  值趋向稳定<sup>[17]</sup>。

## 3 结果与讨论

### 3.1 主要控制站位 $H-Q$ 分析

3.1.1 地形变化分析 受自然及人类活动等因素的影响,20 世纪 90 年代东江下游河床下切严重,糙率分析必须要考虑地形演变因素。图 2 是 1965 年以来东江干流 3 个主要水文站大断面平均水深的变化过程,其中河源站大断面在 1989 年前变化相对较小,在 2000 年断面平均水深增大 0.48 m,下切迹象明显,岭下站大断面相对稳定,博罗断面变化最大,河床平均高程下切约 1.14 m,最大下切约 4 m。

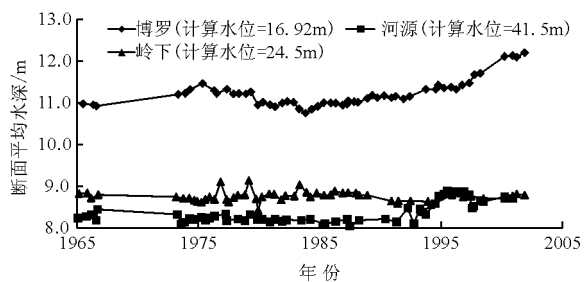


图2 主要水文站大断面平均水深年变化图

东江干流1964年与1997年低量级洪水条件下的河段槽蓄容变化见表1。各河段低流量级洪水基本都已经漫滩,低流量级情况下河源-惠阳段河床变形及洪水水位变化都较小,河源-观音阁段河道槽蓄容变化小于1%。博罗-樊屋段河床地形变化较大,博罗洪峰流量为 $4\ 800\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,石马河-樊屋段河道槽蓄容增加可达到114%。

表1 东江干流河段槽蓄容比较

项目	河源-观音阁	观音阁-惠阳	惠阳-博罗	博罗-石马河	石马河-樊屋
洪峰年份	1995	2000	1997	1997	1997
出现日期/(月-日)	08-05	09-02	08-13	08-13	08-13
洪峰流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	2540	2670	4800	4800	4800
槽蓄容变化	-0.03%	6%	21%	30%	114%

注:表中数据以1964年与1999年地形资料作计算比较。

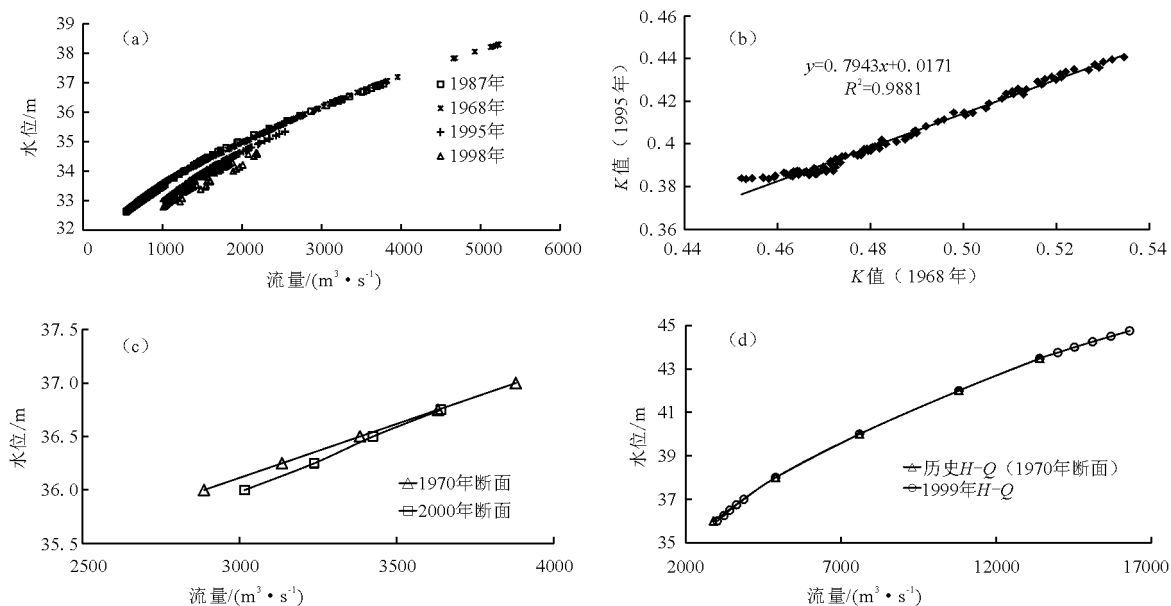


图3 河源水文站H-Q关系分析

博罗水文站综合H-Q曲线逐年下移(图5(a)),H-Q曲线的这种变化特征与附近及下游河道的下切有关。比较1966年及2000年实测洪水K

### 3.1.2 H-Q关系曲线分析

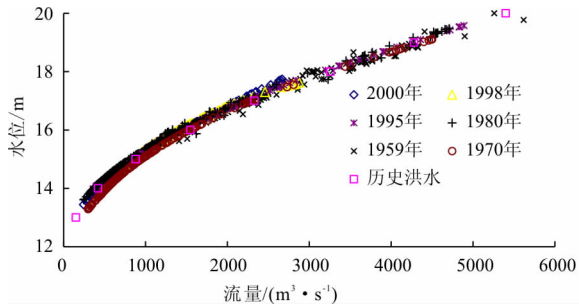
(1)河源、岭下、博罗站现状H-Q分析。受断面下切影响,河源站1995-2000年低流量级H-Q曲线较历史H-Q曲线低(图3(a))。采用K值参数方法分析河源站H-Q高水部分。河源站1968年与1995年断面K值相关性较高(图3(b)),根据相关公式对K值延伸并计算现状地形条件下的H-Q曲线,在约 $4\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 时1995-2000年与历史H-Q曲线已经重合(图3(c)),河源站断面H-Q曲线的高水部分可以用历史H-Q曲线代替,修正后河源站H-Q现状见图3(d)中虚线部分。

岭下站现状与历史实测H-Q分布在同一带状区域内(图4(a)),该水文站综合H-Q曲线变化不大,其现状H-Q曲线可根据历史实测水文数据定线,高水部分则根据断面K值延伸,修正后岭下站现状H-Q曲线见图4(b)中虚线部分。

值(图5(b)),相同水深下2000年K值近似等于1966年K值,以此计算出现状博罗H-Q曲线。利用《剑潭水利枢纽可研报告》实测水文资料及省惠

州水文分局 2003 年枯季实测资料计算  $K$  值<sup>[18]</sup>, 分别计算博罗  $H-Q$  曲线(图 5(c)的曲线 1、曲线 2), 上述曲线非常接近。说明对于 1999 年河道地形而言, 图 5(d)中  $H-Q$  曲线是较为合理的。

(2)其他站点  $H-H$ 、 $H-Q$  分析。根据洪水期间临时测站资料, 建立水口、横沥与岭下站的  $H-H$  相关曲线(图 6、7)。观音阁水位站有历年实测水位资料, 结合河源站、岭下站洪峰流量, 按面积比的综合指数  $n$  计算出观音阁流量, 从而确定其  $H-Q$  曲线。观音阁-惠阳区间建立水口、横沥与岭下站的  $H-H$  相关关系, 惠阳以下分别建立博罗站与惠阳站、石马河、樊屋站水位相关曲线。



### 3.2 糙率分析

利用上述  $H-Q$ 、 $H-H$  相关数据反求高流量级的东江干流河道糙率, 低流量级河道糙率利用实测洪水过程资料率定, 不同流量级下的河道糙率结果见图 8。东江干流河源-博罗河段河道糙率沿程取值 0.025 ~ 0.038 之间, 取值范围与历史成果接近<sup>[18]</sup>。博罗-剑潭河段、汝湖-惠阳、上几角-下几角、博埔水附近、钓鱼港附近河道糙率较大(超过 0.03), 这些糙率较大河段的床面坡降较大有关。从流量与河道糙率相关关系看<sup>[17]</sup>, 图 8(a)的新村、河源、横圳等断面附近为宽浅型河道, 图 8(b)的大岗水、芦洲、图 8(d)的虾村等断面附近为相对窄深的河道类型。

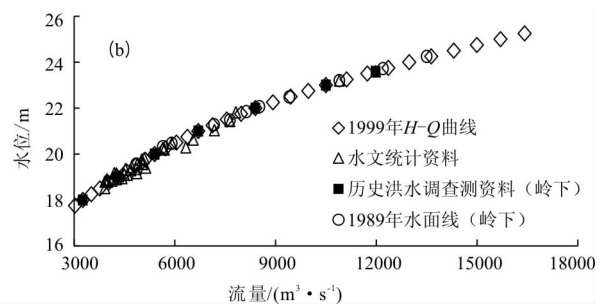


图 4 岭下水文站  $H-Q$  关系分析

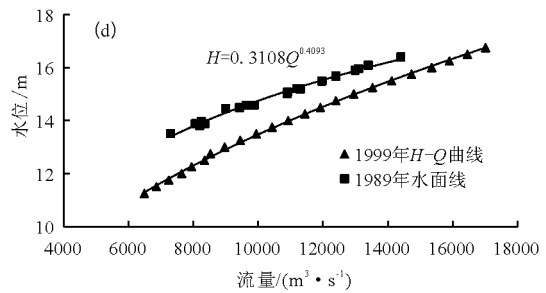
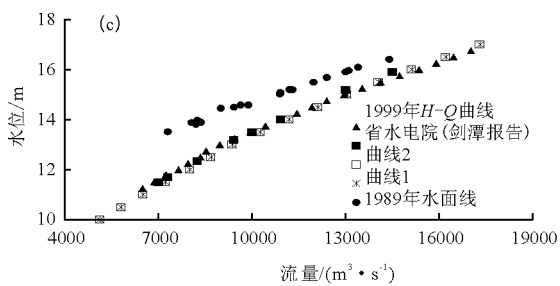
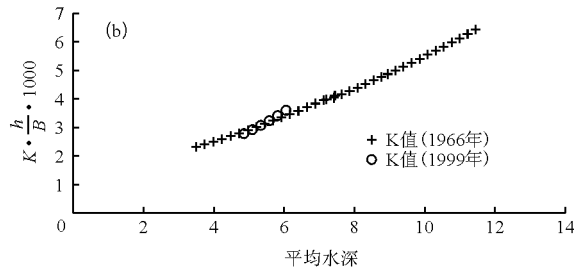
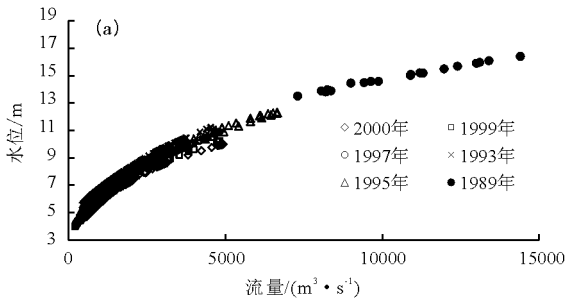


图 5 博罗水文站  $H-Q$  关系分析

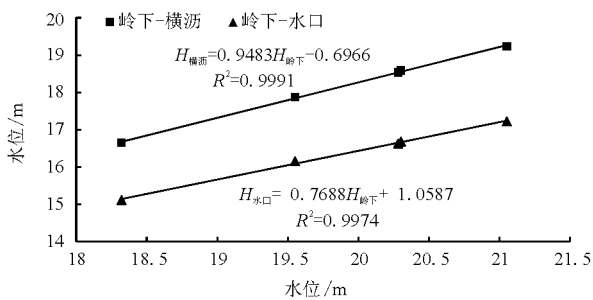


图 6 水口、横沥、观音阁水位相关分析

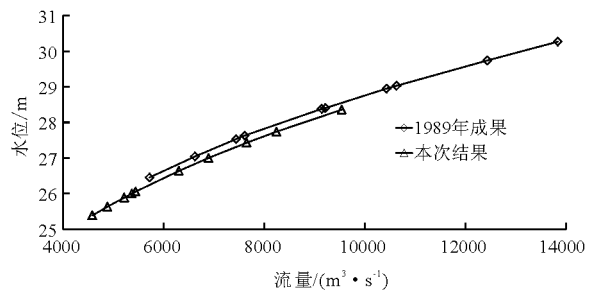


图 7 观音阁  $H-Q$  曲线分析

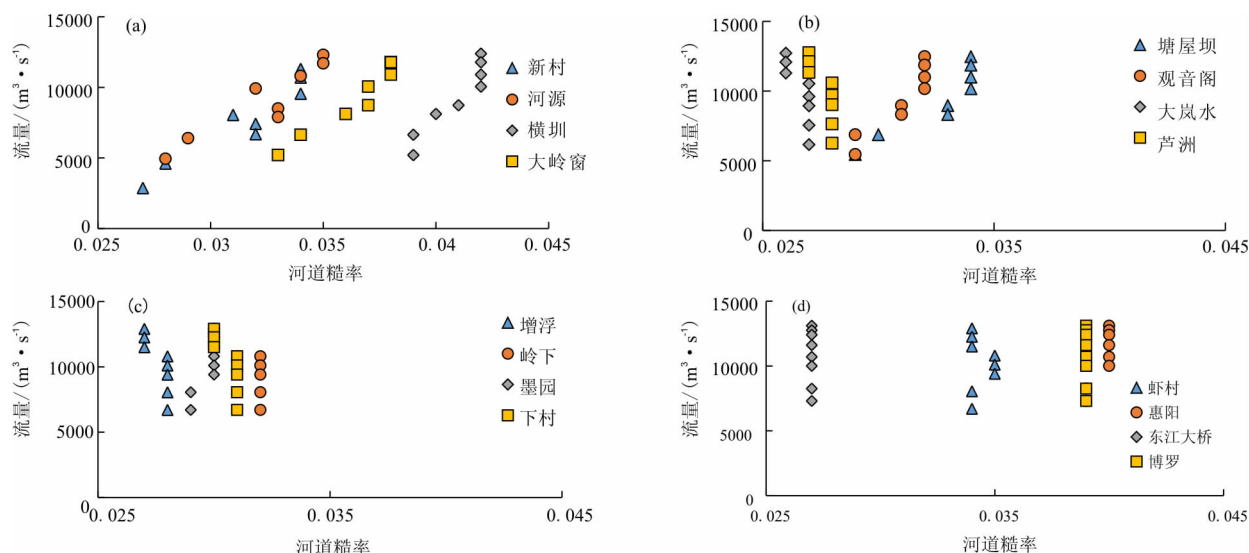


图8 河道典型断面糙率与流量关系图

利用现状地形及糙率结果,复演同量级的各场历史洪水,可以判定该量级洪水在该河段水面线的下降程度,从而可在一定程度上评估糙率的可靠程度。

河源-观音阁段于1987年发生了近4000 m<sup>3</sup>/s流量级的洪水(1987年5月21日,河源站实测洪峰流量为3780 m<sup>3</sup>/s),用该场洪水可率定出该洪水量级在当前地形条件下的河道糙率值,利用同量级19场历史洪水进行验证(表2),误差部分来源于河道地形演变引起的水位变化,历史洪水计算与实测的差值均小于0.25 m,平均约0.11 m,除去地形变化的误差影响,基于糙率的水面线计算结果是基本合理的。

表2 历史洪水验证计算结果

项目	率定洪水 发生时间	洪峰流量/ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	同量级历史洪 水验证场次	最大差 值/m
河源-观音阁	1987-05-21	3780	19	0.25
观音阁-岭下	1995-08-14	4890	13	0.33
岭下-惠阳	1995-08-14	4890	13	0.20
惠阳-博罗	1995-08-14	6660	7	0.32

## 4 结论

根据河床演变、洪水变化比较分析结果、主要水文/水位站水位-流量关系曲线、水位相关关系等数据,综合选取东江干流模型率定数据。

(1)河源站低流量级1999年H-Q较历史H-Q低,在4000 m<sup>3</sup>/s以上则与历史H-Q曲线基本重合。岭下站的H-Q曲线变化较小,岭下站1999

年H-Q曲线可根据历史实测水文数据定线。博罗水文站附近及下游河道逐年下切,其综合水位流量关系逐年下移。基于1966年实测高流量条件K值推算出的博罗1999年H-Q曲线较为合理。

(2)东江干流河源-博罗河道糙率沿程取值0.025~0.038之间,取值范围与历史成果接近。部分位置如博罗-剑潭河段、上几角-下几角附近河道糙率较大(超过0.03),这些糙率较大河段与床面坡降较大有关。

## 参考文献:

- [1] 陈晓宏,陈永勤. 珠江三角洲网河区水文与地貌特征变异及其成因[J]. 地理学报,2002,57(4):429-435.
- [2] 贾良文,罗章仁,杨清书,等. 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.
- [3] 谢平,唐亚松,陈广才,等. 西北江三角洲水文泥沙序列变异分析——以马口站和三水站为例[J]. 泥沙研究,2010,35(2):26-31.
- [4] 谢平,陈广才,李德,等. 水文变异综合诊断方法及其应用研究[J]. 水电能源科学,2005,23(2):11-14+89-90.
- [5] 倪培桐,闻平,刘剑宇. 珠江三角洲水沙年际变化趋势分析[J]. 人民珠江,2016,37(1):19-24.
- [6] 沈五伟,陈一帆,申振东. 河道糙率反问题研究回顾与展望[J]. 浙江水利科技,2017,45(4):1-3+7.
- [7] 拜亚茹,赵锦程,邱秀云,等. 人工渠道糙率系数影响因素的试验研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(4):229-232.
- [8] 方神光,张文明,张康,等. 西江中游干支流河道糙率研究[J]. 泥沙研究,2016,41(2):20-25.

(下转第153页)

的泄流能力,提升洪泽湖对洪水的调节能力。

由于当前公开的资料有限,本文对洪泽湖调蓄能力的研究主要为大洪水发生时期,未能深入分析洪泽湖对各级洪水的调蓄能力,较难满足实际运用中洪泽湖对各级洪水调节的需求。在后续数据资料逐步公开并且数据量充足的情况下,可以根据本文的研究思路,综合研究洪泽湖对各级别洪水的调蓄能力。

#### 参考文献:

- [1] 饶恩明,肖 焱,欧阳志云. 中国湖库洪水调蓄功能评价[J]. 自然资源学报, 2014, 29(8):1356-1365.
- [2] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京:科学出版社, 1998.
- [3] DEMIREL M, WURBSU R A. Assessment of flood control capabilities for alternative reservoir storage allocations[J]. *Gynecologic Oncology*, 2015, 139(1):191.
- [4] TEBAKARI T, YOSHITANI J, SUVANPIMOL C, et al. Assessment of flood control and water supply abilities of large scale reservoir using numerical experiment : a case study in the Chao Phraya River Basin, Kingdom of Thailand [J]. *Journal of Japan Society of Hydrology & Water Resources*, 2007,20(3):145-155.
- [5] KAKURU W, TURYAHABWE N, MUGISHA J. Total economic value of wetlands products and services in Uganda [J]. *The Scientific World Journal*,2013(9):1-13.
- [6] SANTIGO E C, RIVAS F. Polychlorinated biphenyls in selected sites in Pasig River and Laguna Lake in the Philippines before and after a big flood event investigated under the UNU East Asia regional POPs monitoring project [J]. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 2012,89(2):407-411.
- [7] 王慧玲,梁 杏. 洞庭湖调蓄作用分析[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(3):63-66.
- [8] 黄 群,孙占东,赖锡军,等. 1950s 以来洞庭湖调蓄特征及变化[J]. 湖泊科学,2016,28(3):676-681.
- [9] 吴炳方,黄进良,沈良标. 湿地的防洪功能分析评价——以东洞庭湖为例[J]. 地理研究,2000,19(2):189-193.
- [10] 虞邦义,倪 晋,周 贺. 洪泽湖泥沙淤积计算及调蓄量变化分析[C]//宋军,夏航. 健康湖泊与美丽中国,第三届中国湖泊论坛暨第七届湖北科技论坛论文集,武汉:湖北科学技术出版社,2013:119-125.
- [11] 王先达. 浅析淮河流域的防洪体系[J]. 中国水利, 2003(19):29-31.
- [12] 陈茂满. 洪泽湖蓄泄关系与淮河中下游防洪[J]. 水利规划与设计, 2004(2):27-31+47.
- [13] 虞邦义,倪 晋,周 贺. 洪泽湖泥沙淤积计算及调蓄量变化分析[C]// 湖北科技论坛,2013.
- [14] 虞邦义,郁玉锁. 洪泽湖泥沙淤积分析[J]. 泥沙研究, 2010,35(6):36-41.
- [15] 范亚民,何华春,崔云霞,等. 淮河中下游洪泽湖水域动态变化研究[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(12):1397-1403.
- [9] 雷 燕,唐洪武,周宜林,等. 遗传算法在河网糙率参数反演中的应用[J]. 水动力学研究与进展(A 辑),2008,23(6):612-617.
- [10] 陈一帆,程海洋,万晓丽,等. 结合糙率校正的河网水情数据同化[J]. 水科学进展,2015,26(5):731-738.
- [11] 董文军,姜亨余. 一维水流方程中曼宁糙率的参数辨识 [J]. 天津大学学报( 自然科学与工程技术版),2001, 34(2):201-204.
- [12] 吴晓玲,王船海. 基于水动力学模型的实时糙率反推在洪水预报中的应用[J]. 水电能源科学, 2008,26(5): 43-45+82.
- [13] 吴光琼. 群居蜘蛛优化算法在水文频率曲线参数优化的应用 [J]. 水资源与水工程学报,2015,26(6):123-126+131.
- [14] 赵 东,彭 畅. 受干支流回水影响的断面水位与流量关系研究[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(3):175-177+183.
- [15] 倪培桐. 东江干流及三角洲河段设计洪水水面线计算报告[R]. 广东省水利水电科学研究所,2005.
- [16] 东江流域历史洪水调查[R]. 广东省水利厅,1982.
- [17] 熊贵枢,王 兴. 水位流量关系曲线的延长方法和对若干水力因素的讨论[J],人民黄河,1983(5):26-29.
- [18] 邱 静. 剑潭水利枢纽水工模型试验研究报告[R]. 广东省水利水电科学研究院,2003.

(上接第 148 页)