

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.06.029

东江下游及三角洲河道糙率分析

倪培桐^{1,2,3}, 王 扬^{1,2,3}, 陈卓英^{1,2,3}

(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: 20 世纪 80 年代以来, 珠江三角洲水文情势发生了显著的变化。为研究东江下游及三角洲河网河道特性, 基于河床演变、主要水文站 $H-Q$ 曲线、比降与糙率的比值系数等分析结果, 建立一维河网数学模型, 推求基于 1997 年实测地形的河道综合糙率系数。结果表明: 河床下切致使主要控制水文站博罗站 $H-Q$ 曲线呈不断下降, 利用历史 K 值推求的博罗站 $H-Q$ 曲线高水部分相对合理。东江三角洲河道糙率在三角洲顶部较大, 三角洲下部河道糙率较小, 河段糙率在 0.02~0.03 之间, 糙率取值与 1989 年水面线基本一致。本次水面线选取的石龙汉口附近糙率较大, 这与该处河道床面坡降较大有关。

关键词: 河道糙率; $H-Q$ 曲线; 数学模型

中图分类号: TV143+.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)06-0155-05

Analysis of River Roughness in Downstream of Dongjiang River and Delta

NI Peitong^{1,2,3}, WANG Yang^{1,2,3}, CHEN Zhuoying^{1,2,3}

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou, Guangdong 510630, China;

2. Hydrodynamic Research Key Lab of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 510630, China;

3. State-province Joint Engineering Laboratory of Estuarine Hydraulic Technology, Guangzhou, Guangdong 510630, China)

Abstract: Since the 80s of last century, the hydrological situation of the Pearl River Delta has changed significantly. In order to analyze the channel characteristics of the Dongjiang River and Delta River network, based on the analysis of river bed evolution, $H-Q$ curve of main hydrological stations and ratio coefficient of specific drop to roughness, a one-dimensional numerical model of river network is established in this paper, and the comprehensive roughness coefficient of river network based on the measured topography in 1997 is deduced as well. It shows that as the river topography deepens in Dongjiang River and delta, the water level of the Boluo hydrological station drops under the same discharge. Using the 1966 K value to extend the K value near curve of 2000, we can get a relatively reasonable $H-Q$ curve of large flow volume in Boluo under the 1997 topography. The river roughness in the East River Delta is larger than the top of the Delta, the roughness of the downstream of the delta is smaller, the roughness of the river is between 0.02~0.03, and the roughness is basically the same as that of the water surface line in 1989. The surface roughness of the Shilong river mouth is larger than that of other river because of its large slop.

Keywords: river roughness; the water level-discharge curves; numerical model

20 世纪 80 年代以来, 珠江三角洲水文情势发生了显著的变化, 表现在部分河段冲淤特征发生大幅变化, 河网分水、分沙比改变, 河道上游水位下降, 河口区洪水位壅高等现象, 影响珠江三角洲地区防洪安全, 珠江三角洲水文情势异常变化问题一直是国内学者关注的热点问题^[1-4]。河道水面线是水利

规划、流域防洪抗灾等水利活动的重要基础水文要素, 河道糙率是推算河道水面线的重要参数, 是河道阻力的综合反映。很多学者探讨了糙率的优化取值^[5-12], 常用方法包括查表法、试错法, 其中滤波方法^[9]、遗传算法^[7,12]等可明显减少人为影响提高率定效率。受自然及人类活动等因素的影响, 由于河

床下切严重,在推算东江下游及三角洲水面线时,缺乏与地形匹配的大流量级洪水实测资料推求河道糙率。本文结合河床演变、洪水变化比较分析结果等数据^[13],综合选取 1997 年实测河道地形的综合糙率系数。本研究可为东江流域推算洪潮水面线、水利规划、流域防洪抗灾等提供参考数据。

1 数据及方法

1.1 区域概况

珠江由西江、北江、东江及三角洲河网组成,东江干流发源于江西省寻邬县桂髻岭,在广东境内流经龙川、河源、紫金、博罗、惠阳至东莞石龙,石龙以下进入三角洲河网区。东江三角洲通过狮子洋与西、北江三角洲相连,相对独立。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 km²,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 km²。

本流域属亚热带气候,高温湿润多雨,具有明显的干湿季节。东江流域多年平均降水量在 1 500 mm~2 400 mm 之间,其中 4 月—9 月占全年降雨的 80% 以上。东江洪水具有水情复杂、洪水遭遇种类繁多等特点。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 d~8 d。东江三角洲的潮汐属不规则半日潮,日潮不等现象显著。由于受径流和台风的影响,年最高潮位一般出现于汛期。

1.2 数据

研究采用的地形资料主要为 1964 年、1997 年河道地形图,少量河道采用 1989 年、1990 年航道图,其中实测河道地形长度约 481 km,占模型计算河道总长的 92%。其中东江下游及三角洲河道 1997 年地形资料是目前为止较为系统的成套地形资料(见图 1)。

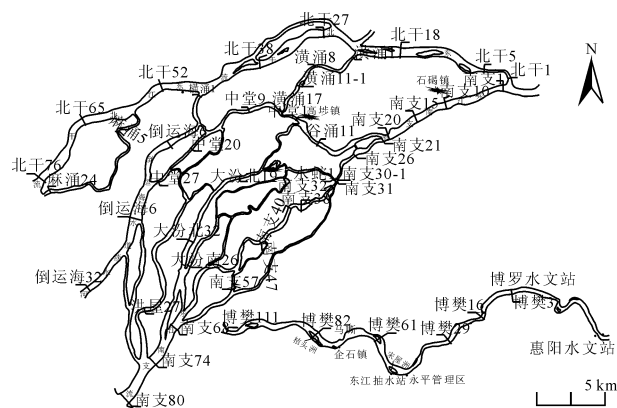


图 1 研究范围示意图

研究采用的水文资料主要为 1955 年—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记录资料,主要站位为博罗、观音阁、惠阳、东深取水口、大盛、泗盛围、石龙(樊屋)、新家埔、麒麟咀、石龙(二)、峡口水闸、沙腰水闸、卢村水闸、高埗水闸、石碣等以及历史洪水调查资料等^[14];另外本研究还收集到航道部门枯季水位资料,用于水面比降分析。

1.3 数学模型建立

河网区水流数学模型由一维圣维南方程组来描述,模型采用 Preissmann 四点加权隐式差分格式离散水流方程组,采用三级连解法隐式求解。模型计算范围为东江博罗至三角洲河网区的出海口大盛、泗盛围、漳澎和麻涌(见图 1)。东江博罗及三角洲河网水道概化为 97 个河段,57 个汉点,894 个断面,博罗到口门段,断面间距约 150 m~500 m,模型计算总里程为 522 km^[13]。

1.4 比降与糙率的比值法

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

其中: V 为断面流速; S 为比降; R 为水力半径; 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^[15]。

2 结果与讨论

2.1 “95.8”洪水模型率定

由于不同洪水量级的河道综合糙率不同,需要选取与地形匹配的不同量级洪水过程来反求河道糙率。与 1997 年实测河道地形相匹配的较大洪水过程出现在 1995 年 8 月,博罗站洪峰流量为 6 660 m³/s,接近东江流域三库调洪工况下的 5 年一遇洪水(简称“95.8”洪水),该场洪水可作为“常遇洪水”的率定资料。模型率定的上边界取值为博罗、麒麟咀的流量过程,下边界取值为大盛、泗盛围相应的潮位过程,率定结果见表 1。

表 1 洪峰水位率定结果(“95.8”洪水)

地名	博罗	石马河	樊屋	石龙(二)	峡口水闸
水位实测值/m	12.28	8.18	5.03	3.60	4.43
水位计算值/m	12.28	8.16	5.06	3.57	4.44
地名	道滘	沙腰水闸	高埗	石碣	
水位实测值/m	1.35	3.02	2.72	4.30	
水位计算值/m	1.35	3.05	2.66	4.27	

2.2 控制站 H-Q 分析

基于“95.8”洪水率定的糙率适合于中低流量洪水情况,大流量级别洪水条件下的河道糙率确定需要结合河床演变,分析主要水文/水位站水位-流量关系曲线(简称“H-Q”)、水位相关关系(简称“H-H”)等数据综合考虑。

1993年—2000年水文数据表明博罗水文站同流量下的水位也不断处于下降趋势(见图2(a))。通过比较1966年及1997年地形条件实测洪水K值(见图2(b)),利用1966年K值延长2000年K值近曲线,可进一步计算出1997年地形条件下博罗H-Q曲线。分别利用文献[16]实测水文资料及2003年枯季实测资料计算K值^[15],分别计算出博罗H-Q曲线1和曲线2(见图2(c))。上述曲线与本文推出的基于1997年地形条件下的博罗综合H-Q曲线非常接近。

利用博罗水文站的洪水水位实测资料分别建立博罗与惠阳、石马河、樊屋水位相关曲线(见图3),同时建立樊屋与石龙(二)、峡口水闸相关曲线(见图3)。

2.3 河道糙率计算

常遇洪水糙率率定采用1995年8月洪水资料,得到的河道糙率基本反映了东江三角洲常遇洪水条件下的河道糙率。对于大流量级别的洪水,如百年一遇洪水,则需要利用前文“95.8”洪水率定的河道糙率为基础,结合博罗与惠阳、石马河、樊屋水位相关曲线、樊屋与石龙(二)、峡口水闸相关曲线反求东江下流及三角洲高流量级的河道糙率。三库调洪条件下模型糙率选取结果见图4。东江三角洲河道糙率在三角洲顶部较大,三角洲下部河道糙率较小,河段糙率在0.02~0.03之间,糙率取值与1989年水面线基本一致。石龙汉口附近糙率较大,这与该处河道水面坡降较大有关,以“95.8”洪水为例,洪峰时刻,樊屋水位5.03m,石龙(二)水位为3.6m,峡口

水闸水位4.4m,北干流樊屋至石龙(二)段由于铁路桥及河道水面落差较大,因此河道糙率也较大。

2.4 讨论

在1988年以前,东江博罗-樊屋段河床演变的基本特征是河道冲淤相间,多数断面冲淤厚度在1.0m以下。1988到1997年,博罗至石龙段河床全线发生下切,企石到石龙河段,断面平均下切深度达到3.0m以上,断面最大下切深度约11m。三角洲河

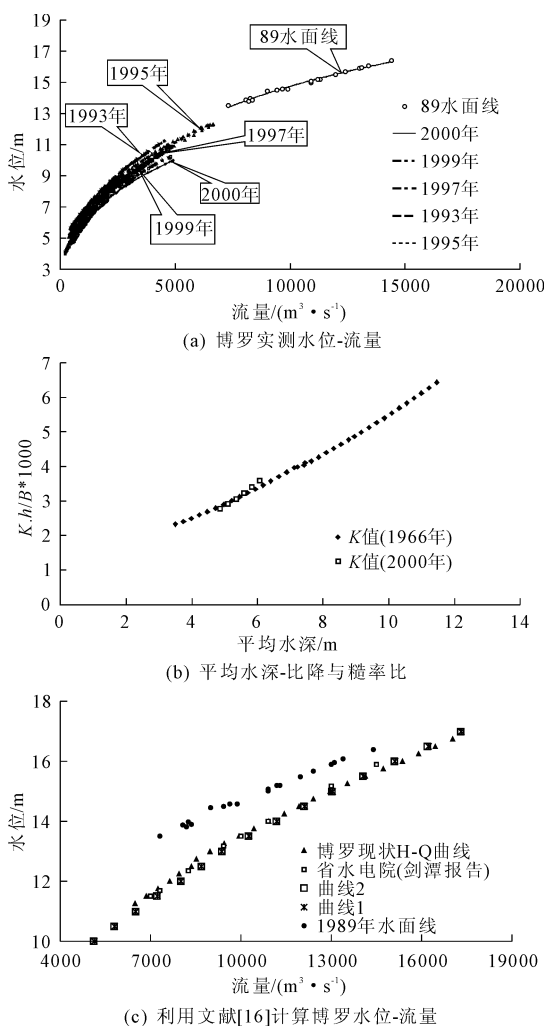


图2 博罗 H-Q 曲线分析

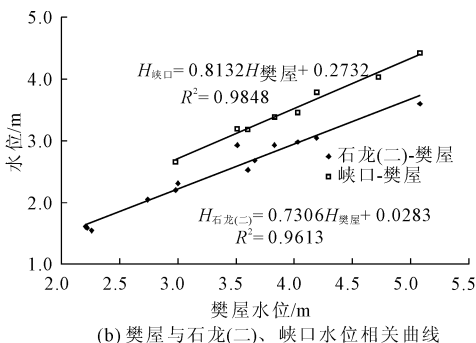
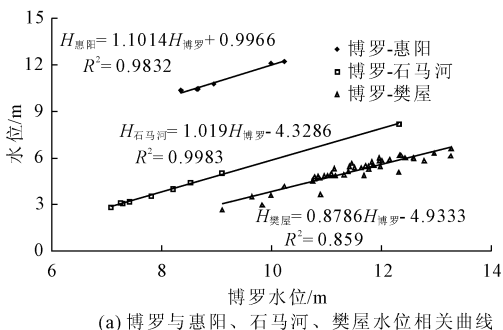


图3 测站 H-H 相关曲线分析

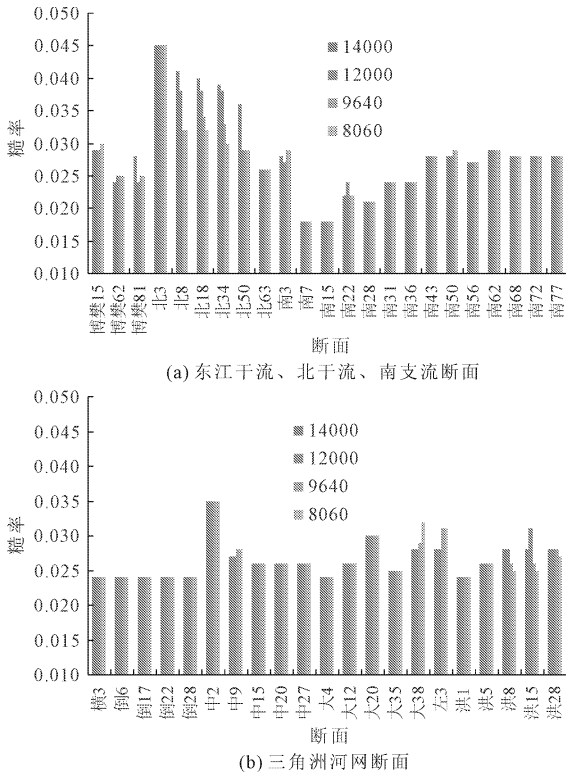


图 4 不同流量下博罗 - 口门糙率

段河床变形也很明显。1972 年到 1988 年间,东江北干流基本上全线下切,其中石龙汉口到增江口河段下切深度在 1.0 m 以下;增江口到大盛河段下切深度多在 1.0 m 以上,断面最大下切约 8.4 m。1988 年到 1997 年间,北干流河段河床平均下切 2.0 m ~

7.77 m,断面上最大下切 16.0 m 左右。1988 年到 1997 年间,东江南支流河床演变的基本特征是下切现象明显,南支流河段平均下切 0.3 m ~ 6.0 m,断面上最大下切约 13.6 m。

由于发生低量级洪水时,溃堤较少,同时由于堤围位置的变化较小,可以认为历史与近期的低量级洪水可比性相对较好。东江干流 1964 年与 1997 年的河段槽蓄容变化比较表明,在发生洪峰流量为 4 800 m³/s(博罗)的洪水时,惠阳—博罗、博罗—石马河、石马河—樊屋段河道槽蓄容增加分别为 21%、30%、114%。

博罗水文站大断面平均水深比较表明与 1966 年大断面相比较,1989 年、1995 年、2000 年大断面地形分别增加 0.20 m、0.39 m、1.14 m,最大下切约 4 m。

利用上述糙率及 1997 年地形资料,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估算历史资料用于模型率定的可靠程度。比较惠阳—樊屋河段 6 000 m³/s ~ 7 000 m³/s 量级的历史洪水结果见表 2,结果显示 1970 年—1987 年发生同量级洪水时,东深取水口附近水位较现在高 1.35 m ~ 1.55 m,博罗水位较现在高 0.68 m ~ 0.83 m,相应地惠阳水位较现在高 0.59 m ~ 0.78 m,表明惠阳的水位变化受博罗水位变化影响大,其水位变化受自身河床变形影响相对较小。

表 2 惠阳—樊屋段历史洪水验证计算

序号	时间	博罗流量 (m ³ ·s ⁻¹)	惠阳水位/m		Z ₁ - Z ₂ /m	博罗水位/m		Z ₃ - Z ₄ /m	东深取水口水位/m		Z ₅ - Z ₆ /m	樊屋 水位/m
			实测 Z ₁	计算 Z ₂		实测 Z ₃	计算 Z ₄		实测 Z ₅	计算 Z ₆		
1	1995-08-14	6660	14.35	14.35	0.00	12.25	12.25	0.00	8.18	8.18	0.00	5.03
2	1987-05-23	6700	15.26	14.50	0.77	13.22	12.43	0.79	10.18	8.64	1.54	6.08
3	1983-06-20	6590	15.13	14.38	0.75	13.23	12.39	0.84	10.23	8.80	1.43	6.56
4	1970-09-17	6090	14.50	13.91	0.59	12.55	11.87	0.68	9.61	8.26	1.35	5.92
5	1964-06-18	6620	14.73	14.39	0.34	12.96	12.38	0.58	9.37	8.69	0.68	6.27
6	1961-09-12	6040	14.30	13.87	0.43	12.54	11.84	0.70		8.27		5.99

利用 1997/1999 年河道地形图及上述糙率进行了水面线进行了计算。东江干流河源—樊屋段,不同频率现状河道水面线沿程变化规律性较好。现状水面线坡降较大的位置主要位于樊屋—石龙(二)、卢村水闸—高埗水闸,上述位置河道较窄、河道坡降变化较大,实测资料也显示出较大的水面坡降。河口口门以内约 4 km 位置与博罗下游间的河道水面线低于历史成果。其中在马嘶村附近河段,水位下降最大。岭下一博罗段水位有所降低,但降低幅度变化不大。另外,东江干流水位下降最大的河段位

于马嘶村附近,现状水面线下降幅度与河床下切程度基本一致。

为了进一步分析河道分流比的可靠性,本文假定三角洲河道糙率一致,计算出的河道分流比主要反映河道过水面积对分流比的影响(简称“同糙率法”)。东江三角洲河道分流比比较见表 3,本次河道分流比计算结果与 82 年水面线、行洪线结果相比,北干流分流比变小,南支流分流比变大,这与东江河网河道地形变化特点一致及当地调查结论一致。

表 3 三角洲河道分流比比较

汉点 序号	断面 名称	$P = 2\%$ 河道分流比			82 年水 面线 $P = 2\%$ 分流比	$P = 5\%$ 河道分流比		
		行洪线	“95.8”	同糙率		行洪线	“95.8”	同糙率
1	北干流(石龙-增江口)	0.46	0.43	0.46	0.48	0.46	0.44	0.46
	南支流(石龙-大王洲)	0.54	0.57	0.54	0.52	0.54	0.56	0.54
2	北干流(增江口-斗朗)	0.88	0.89	0.88	0.82	0.87	0.89	0.89
	潢涌	0.12	0.11	0.12	0.18	0.13	0.11	0.11
3	北干流(斗朗-大盛)	0.65	0.63	0.65	0.73	0.63	0.63	0.65
	横涌海	0.38	0.36	0.33	0.27	0.39	0.36	0.33
4	谷涌	0.36	0.45	0.50	0.40	0.36	0.45	0.51
	厚街水道	0.64	0.55	0.50	0.60	0.64	0.55	0.49
5	中堂水道(卢村管理区)	0.32	0.48	0.45	0.60	0.32	0.49	0.46
	麻潏河	0.68	0.52	0.55	0.40	0.68	0.51	0.54
6	中堂水道(下卢船厂)	0.38	0.68	0.66		0.37	0.69	0.67
	中堂水道(永兴电镀厂)	0.62	0.32	0.34		0.63	0.31	0.33
7	水蛇涌	0.34	0.36	0.35	0.28	0.34	0.35	0.35
	东莞水道	0.66	0.64	0.65	0.72	0.66	0.65	0.65

注:行洪控制线、“95.8”率定、同糙率法:洪水频率流量: $P = 2\%$ ($Q_{博罗} = 10\,910\text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{增江} = 3\,520\text{ m}^3/\text{s}$); $P = 5\%$ ($Q_{博罗} = 9\,420\text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{增江} = 2\,340\text{ m}^3/\text{s}$); 82 年水面线洪水频率流量: $P = 2\%$ ($Q_{博罗} = 13\,100\text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{增江} = 3\,520\text{ m}^3/\text{s}$)。

3 结 论

(1) 东江下游及三角洲河道河床下切致使博罗水文站 $H - Q$ 曲线不断处于下降趋势。利用 1966 年 K 值延长 2000 年 K 值近曲线,可以得到相对合理的 1997 年地形条件下博罗 $H - Q$ 曲线高水部分。

(2) 东江三角洲河道糙率在三角洲顶部较大,三角洲下部河道糙率较小,河段糙率在 0.02 ~ 0.03 之间,糙率取值与 1989 年水面线基本一致。本次水面线选取的石龙汉口附近糙率较大,这与该处河道床面坡降较大有关。

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):429-436.
- [2] 谢平,唐亚松,陈广才,等.西北江三角洲水文泥沙序列表变异分析——以马口站和三水站为例[J].泥沙研究,2010(2),26-31.
- [3] 罗宪林,杨清书,贾良文,等.珠江三角洲网河河床演变[M].广州:中山大学出版社,2002.
- [4] 罗章仁,罗宪林,杨干然,等.人类活动对珠江三角洲水道河床演变的影响[J].热带地理,1999,20(2):1-15.
- [5] 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.
- [6] 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(2):20-25.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 王庆,洪滨.端芬河整治工程河流设计水面线的推算[J].水利与建筑工程学报,2012,10(5):148-150,159.
- [12] 孙楠,李智录,李钊.基于遗传算法的渠道糙率及综合渗滤系数反演[J].水利与建筑工程学报,2009,7(4):88-90.
- [13] 倪培桐.东江干流及三角洲河段设计洪潮水面线计算报告[R].广州:广东省水利水电科学研究所,2005.
- [14] 广东省水利厅.东江流域历史洪水调查[R].广州:广东省水利厅,1982.
- [15] 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[R].郑州:黄委会科技情报站,1978.
- [16] 广东省水利水电科学研究院.剑潭水利枢纽水工模型试验研究报告[R].广州:广东省水利水电科学研究院,2003.