

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20180443

# 珠江三角洲河网区变化环境下的河床演变趋势和水文极端事件

刘幼萍

(广东省水文局佛山水文分局, 广东 佛山 528000)

**摘要:**珠江三角洲冲积平原河网密布,河道及河流的形态和演变影响着人们生活习性与经济发展水平,由于经济社会高速发展下的剧烈人类活动,以及气候、降水等自然环境的变化,导致河床演变加剧。对近60年的水文监测成果分析,发现自1990年代中期以来的河床演变,导致多种水文要素发生调整,给堤围险段、供水安全和水资源管理带来安全隐患,变化环境下的河流情势改变,是对当下水文工作的新挑战。

**关键词:**珠江三角洲;变化环境;河床演变;水文事件

**中图分类号:** P343.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0852(2020)03-0071-05

## 1 引言

### 1.1 流域概况

珠江三角洲河网区贯穿粤港澳大湾区腹地,行政区域有香港、澳门两个特别行政区和广东省的广州、深圳、珠海、佛山、中山、东莞、惠州、江门、肇庆九市组成的城市群,是国家建设世界级城市群和参与全球竞争的重要空间载体,具有经济发展得天独厚的优越条件,其“三江汇流、河网密布、八口出海”的独特特征,水流泥沙运动和河床演变受径流、潮流和波浪等动力作用,并受网河区的诸多水道及八大出海口的互动影响,情况十分复杂,在我国七大江河中独一无二,是世界上范围最大、结构最为复杂的网河区域之一,经由虎门、蕉门、洪奇门、横门、磨刀门、鸡啼门、虎跳门和崖门八大口门流入南海<sup>[1]</sup>。

### 1.2 研究背景

人类活动对河流及河口三角洲的影响是全球持续性研究热点,爆炸式的人口城市化进程和经济增长,使珠江三角洲成为河床演变研究的理想区域,是保证生态水利的基础工作。

陈晓宏等对珠江三角洲水文情势变异做了大量的

研究,综合分析了河网区水文与地貌特征变异的直接原因,洪水对孕灾环境变化的复合影响<sup>[2-3]</sup>,本文通过近年多波束、激光粒度等新型设备对水下地形、泥沙颗粒级配的监测成果,既对已有研究成果检验其变化趋势的延续性,又根据近年最新监测研究成果,对河床演变趋势和水文综合要素展开进一步的研究<sup>[4]</sup>。

### 1.3 研究内容及意义

本文从珠江三角洲的发育演变过程入手,通过对重点水文站近60年的监测成果分析,对重点河段的河流情势变化进行多维评判,引伸出近年大洪水的控制指标极端变异,进一步对水文极端事件进行演变分析,提出对当下水文工作的新挑战和应对建议。

## 2 资料与方法

资料主要来源于近60年的水文数据,近10年采用多波束水下地形监测系统进行了大范围、系列性的河道堤围险段水下地形地貌监测成果,激光法泥沙颗粒级配分析等。

河流的水文过程是随时间和空间变化的,利用历史水文资料的水文统计学方法和趋势线分析法,具有较强的通用性。

收稿日期:2018-12-15

作者简介:刘幼萍(1970-),女,广东潮州人,高级工程师,主要从事水文水资源调查评价、水文资料整编、河流泥沙颗粒级配、城市节水方面的研究。E-mail:358503743@qq.com

### 3 水文情势变化

#### 3.1 河床演变趋势改变

20世纪50~60年代初,珠江三角洲河道普遍处于轻微自然淤积状态;进入60年代开展普遍的大规模联围筑闸工程,产生束水攻沙效应使河床受到冲刷;70年代后期~80年代初,河床经动态调整后普遍由轻微冲刷转为轻微淤积;80年代中期后,经济高速发展伴随大规模人工挖砂,河床由淤积为主快速转为冲刷为主;20世纪末至21世纪初,中上游河床年下切量达到峰值,强度远超自然演变过程<sup>[5]</sup>。

珠江三角洲下游受强径流、弱潮流特征所致,导致输沙的大量积聚和人类活动对河口滩涂围垦的共同影响,河道不断向口门延伸。八大口门向外海自然延伸的速度,最快的磨刀门约190m/a,洪奇门约125m/a,横门、鸡啼门和虎跳门约100m/a,虎门、蕉门和崖门潮流作用较强自然延伸不明显;近年来对河口滩涂大肆围垦,河口延伸速度远远超出了自然延伸的速度,磨刀门、横门的河口延伸长度几乎都超过10km以上,近30年来口门的延伸长度相当于100a的口门自然延伸长度<sup>[6]</sup>。由于河口不断淤积延伸,拦门沙不断淤积扩展,影响泄洪纳潮、潮排潮灌、生态环境等,甚至影响河网区水沙分配和河流情势变化。

#### 3.2 河床垂向冲深严重

20世纪90年代无序采砂达到峰值,珠江三角洲每年采砂总量达 $6000 \times 10^4 \text{m}^3$ ,而泥沙淤积量仅 $905 \times 10^4 \text{m}^3$ ,20a采砂总量接近100年自然淤积量<sup>[7]</sup>,区域采砂和大洪水冲刷导致河床大面积下切,造成河网区河流情势急剧变化;上游来沙锐减,不能及时补充与回淤,河床下切后难以恢复。从西、北江三角洲控制水文站马口、三水站多年监测成果体现(见图1),20世纪90年代后

河床下切最大超10m,0.00m以下断面面积增大大约30%和50%,中上游的下切深度大于中下游<sup>[8]</sup>。

#### 3.3 河道纵向负坡降

西江平均坡降0.45‰,北江平均坡降0.70‰,到河网区后相对平缓,自然状态下到口门全程为正坡降,受偷挖滥采河砂影响,在开宽河段出现有不规则的深坑与河槽。如下游灯笼山站平均水深-10m,中游天河站附近水深-30m,中游甘竹站附近最大水深-50m,上游马口站附近最大水深-50m,沿程出现不规则且严重的负坡降,从珠江三角洲顶点到各出海口门,均有不同程度负坡降且槽蓄增大的情况。

#### 3.4 河流横向深槽迫岸

河网区冲积平原的河道是天然冲积而成,河道主槽在中泓且相对较深,左右两岸较浅,形状大多呈V形。由于大量人工采砂和大洪水冲刷,即使采砂位置离堤围有一定的距离,主槽河床下切后,两侧不断坍塌,断面面积不断增大,相当一部分河道转呈U形,表现出深槽迫岸(见图2),主槽离护岸越来越近,堤围边坡越来越陡甚至达1:1,形成新的险段。

### 4 水文极端事件

#### 4.1 汛期水位流量关系呈非对称性

河床垂向冲深严重,导致汛期流量重现期高而水位重现期低的非对称现象。马口、三水站自有实测流量以来水位-流量关系稳定,变幅小于5%,20世纪80年代末至90年代初河流情势变异后,水位-流量关系综合线不断往右偏移,即同级水位的流量偏大,同级流量的水位偏低,当地政府高度重视并全面禁止河道采砂,21世纪后河床基本稳定(见图3)。

#### 4.2 非汛期年最低水位的明显下降

河床垂向冲深导致年最低水位明显下降。受河床

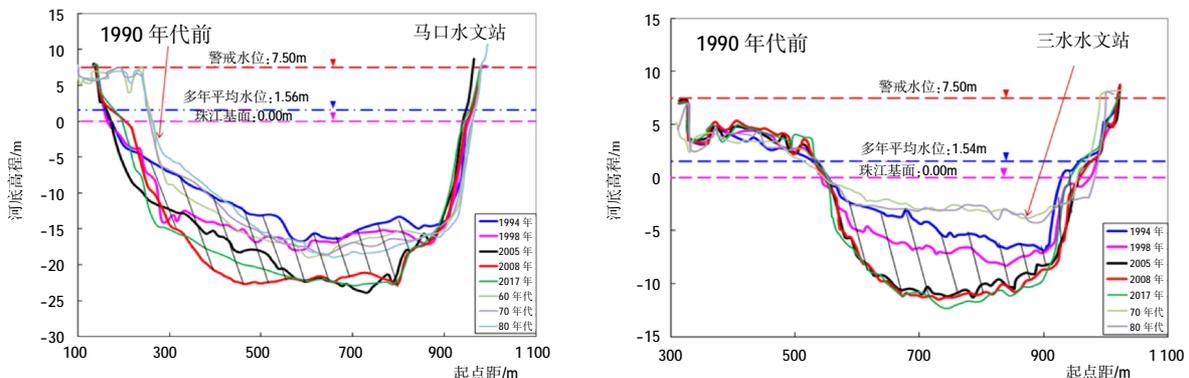


图1 珠江三角洲控制站大断面冲深

Fig.1 The scour depth at the large section of the Pearl River delta control station

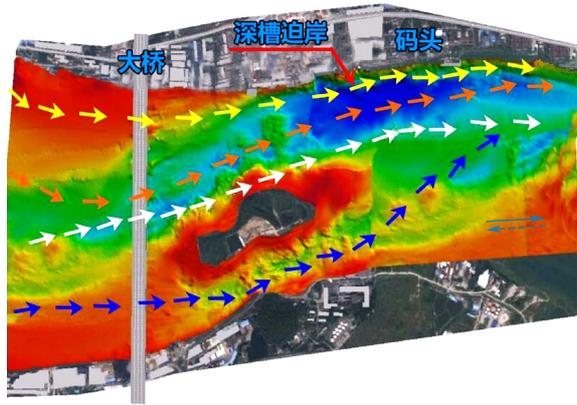


图2 某堤围险段整治前水下地形和流态

Fig.2 Underwater topography and flow regime before a dangerous dike reinforced

下切、槽蓄增大等因素共同影响,河网区从上游控制站到下游出海口门站,均呈现年最高、年最低和年平均水位逐年向下的趋势。马口站 1996 年超历史最低水位-0.52m,其后 21 年间 9 次刷新该记录,2004 年发生-0.63m 历史最低水位。

### 4.3 河网区中部洪水水位异常壅高

河道纵向负坡降,河口水流不畅、潮流顶托、上游分流增加、流速加快,形成“水流挤压”共同导致中部的异高洪水水位,河网区中部河滩占用严重,桥梁、码头建设密度大,更加剧了腹地河道水位壅高<sup>[9]</sup>。

上游站低于警戒水位时,中部站较易出现接近甚至超警戒水位。如“98.6”与“05.6”洪水比较,上游马口站前比站后高 0.46m,中部板沙尾站却是站后比站前高 0.01m;再如“06.5”与“08.6”洪水比较,上游三水站前比站后高 0.73m,中部澜石站前比站后高 0.01m。同一场洪水沿程水位有不同程度的波动,同一站点不同年份洪水水位也出现较大波动。

### 4.4 上下游年平均水位关系改变

河道纵向负坡降,导致上下游水位关系改变。从三角洲顶部至中部的三水、澜石站水位关系体现(见图 4 和表 1),20 世纪 70 年代起三水、澜石站的历年平均水位呈下降趋势,水位差也呈递减趋势,上下游水位关系的改变,直接影响年来水来沙量的关系。

### 4.5 西北江河网区水沙分配的改变

西江和北江在三角洲河网区顶点相会,思贤滘是两江水沙联系的纽带。20 世纪 90 年代初北江河网区采砂量远大于西江河网区,原来比西江高的河床率先出现严重下切,河床形态的重大变化导致西、北江河网区顶点分水分沙格局重大调整<sup>[10]</sup>。西、北江分流比由

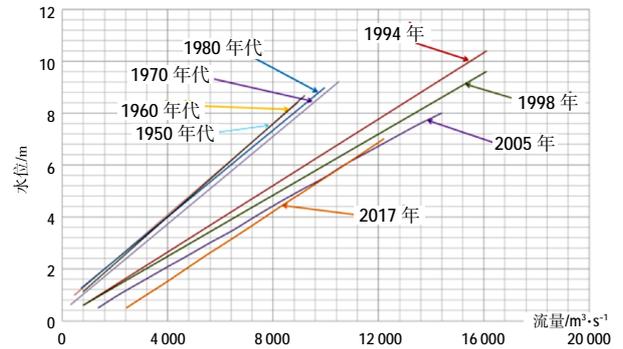


图3 三水站水位~流量关系变化趋势

Fig.3 The variation of water level-flow relation at the Sanshui station

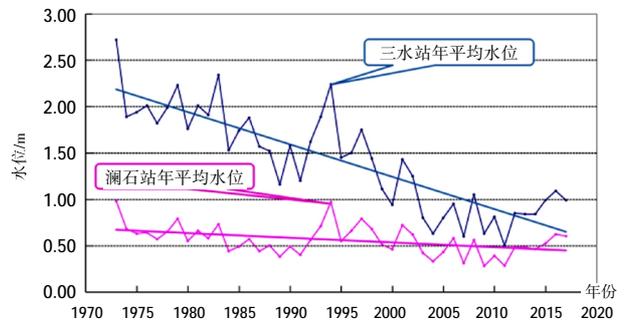


图4 三水~澜石多年年平均水位关系

Fig.4 The relationship of the annual average water level between the stations of Sanshui and Lanshi

表1 三水、澜石站平均水位变化

Table1 The variation of average water level at the stations of Sanshui and Lanshi

项目	平均水位/m		
	三水站	澜石站	三水~澜石水位落差
1973~1980	2.05	0.69	1.36
1981~1990	1.72	0.53	1.19
1991~2000	1.51	0.63	0.88
2001~2010	0.90	0.46	0.44
2011~2017	0.87	0.49	0.38

1989 年前的 85:15 转为 80:20,分沙比由 1993 年前的 90:10 转为 80:20, 三水站分流与分沙占比均从 20 世纪 90 年代起大幅增加,最高分沙为 2011 年达 31% (见表 2), 河流情势的改变诱发了水利枢纽建设及一系列决策方案的改变与调整。

### 4.6 泥沙的输移量和颗粒级配的减少

珠江三角洲泥沙主要来自于思贤滘以上的西、北江。西江的泥沙较多,以悬移质泥沙输移为主,输沙量在 20 世纪 80 年代前逐渐增加,80 年代后有所减

表2 马口、三水站分流、分沙比例变化趋势

Table2 The variation trend of the runoff and sediment distribution proportion at the stations of Makou and Sanshui

站名	西江马口站				北江三水站			
	年径流量 /10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	占两站径流量 比例/%	年输沙量 /10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup>	占两站输沙量 比例/%	年径流量 /10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	占两站径流量 比例/%	年输沙量 /10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup>	占两站输沙量 比例/%
1959~1970	2 319.9	86.5	7 264	90.3	374.4	13.5	779	9.7
1971~1980	2 435.2	85.6	7 534	89.3	416.1	14.4	900	10.7
1981~1990	2 237.9	85.6	8 094	90.0	377.9	14.4	895	10.0
1991~2000	2 293.4	78.3	5 744	82.7	650.0	21.7	1 202	17.3
2001~2010	2 046.4	78.1	2 572	79.9	577.0	21.9	647	20.1
2011~2017	2 223.6	78.8	2 143	81.8	600.3	21.2	477	18.2

少;北江输沙量从 60 年代到 90 年代呈增加趋势,90 年代后呈减少趋势;90 年代之后,泥沙受干支流兴建水库及水土保持等因素的影响偏小,总体输移量大幅减少,1998 年洪水后维持在低输沙量状态,通过保护河砂,划定禁止开采区域,近年河砂略有逐步增加势头。

河床质泥沙粒度从上往下呈变细趋势,以径流作用为主的西江干流和北江干流床沙明显较粗,平均中值粒径西江较北江的粗<sup>[11]</sup>。马口站床沙由细砂、粗粉砂和中砂组成,其中细砂和粗粉砂约占 95%,中砂约占 5%,1998 年洪水的泥沙颗粒较大,该年后的泥沙颗粒则比以前更细。三水站床沙颗粒基本 1.0mm 以下,20 世纪 80 年代 0.1~1.0mm 范围的砂粒有 10~20%,而 2005 年的粘粒、粉砂比过去监测年份多,除受洪水影响造成上游带来约 10%的 0.1~1.0mm 的颗粒外,其他时段颗粒基本在 0.1mm 以下,0.01mm 以下的颗粒约占 40%,相比 1979 年 0.01mm 以下颗粒约占 20%,北江泥沙颗粒呈细化倾向。

原因有三:一是受河床挖砂影响,泥沙以淤积粉砂为主,河道冲刷严重,容易形成防汛堤围险段;二是受近年多场突大洪水冲刷,泥沙向下游口门推移,而上游挖砂造成来沙补充不足;三是地壳运动造成,部分河段中泓河床基本没有泥沙,只有砾石,甚至有的河段只有卵石质、漂石质河床,从地理的角度分析,有可能是地球的地壳运动所致(见图 5)。

#### 4.7 丰水年咸潮入侵势头不减

随着区域经济及人口的进一步增长,磨刀门水道已成为江门、中山、珠海、澳门等城市重要的水源地,咸潮入侵对供水安全造成的危害越来越严重。河道负坡降造成内河槽蓄增大,河道的吐纳量增加,使咸潮的

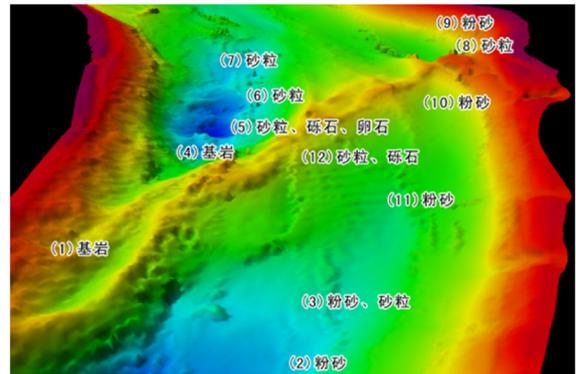


图5 河床质颗粒分布不均对堤围影响示意图

Fig.5 The influence of uneven distribution of riverbed particles on embankment

上溯距离延长,咸潮的浓度增强。2011 年中山市属偏枯水年,受咸潮影响的时期共跨越 8 个月份,影响时段长、范围广,其中磨刀门水道的南镇水厂、全禄水厂分别距离口门 32km 和 51km,全年累计受咸潮影响时数分别为 1 526.0h 和 619.5h,最大连续超标时数分别是 308.0h 和 96.5h,测得最大咸度为 7 230mg/L 和 6 989mg/L;2011 年 2 月咸潮最为严重,南镇水厂测得最大咸度为 7 230mg/L,是取水标准值 250 mg/L 的 29 倍,严重影响了水资源的有效利用。

近年来珠海、中山等市为防预咸潮的影响而新建一批供水水库,受咸潮影响的报道已经不是热门话题,咸潮入侵的势头一直没有消减。2016 年属丰水年,但中山市受咸影响的时期仍然跨越 6 个月份,南镇水厂、全禄水厂全年累计受咸潮影响时数分别为 545.0h 和 59.5h,最长连续超标时数分别是 196.0h 和 14.0h,测得最大咸度为 3 376mg/L 和 3 086mg/L,丰水年咸潮的入侵影响依然严重<sup>[12]</sup>。

#### 4.8 极端气候异常变化的影响

水文极端事件并非只受河道形态影响,同时也受极端气候异常变化的影响,近年来短历时特大暴雨、局部地区极端降水和极端台风暴潮等,也是造成极端水文事件的诱因。随着气候变暖、城镇化快速发展对地区强降水、洪涝等极端事件的影响,加强气候变化对极端水文事件影响的基础研究,才能全面应对气候变化防洪减灾的适应性对策研究。气候异常变化导致洪涝灾害、干旱等极端水文事件的发生,其增加的水灾害风险正成为人类生存所面临的重大挑战,近年来开展气候变化背景下流域极端水文事件的变化趋势、发生机理及其对气候变化的响应与预测研究正逐渐受到国内外众多学者的关注。<sup>[13]</sup>

### 5 结论与建议

#### 5.1 结论

(1)经济高速发展,曾经的河道过度采砂,是珠江三角洲河流情势急剧改变的直接原因。城市的高速发展,建筑、道路、基础设施建设等用砂需求剧增,河道来沙及自然淤积远远达不到社会对河砂的需求。

(2)流域植被增加,水土保持改善,上游来沙锐减,是珠三角河流情势改变的间接原因。西江的来水来沙占整个珠三角的大部分,上游的植被与水土保持与珠三角有着密不可分的关系,上游来沙的锐减,使得被挖深的河道不能自然恢复,成为河势不稳定的间接原因。

(3)流域上游各种类型水利枢纽的大量建成,库区泥沙的淤积,下泄沙量的减少,也是珠三角河流情势改变的间接原因。水利枢纽建成蓄水后,由于过流面积增大,流速减缓,降低了挟沙能力,导致库区泥沙淤积。

(4)在人类活动和气候变化的共同影响下,地形变化是三角洲上中部水位降低的主要原因,地形变化、洪量增加、强风暴潮、海平面上升均为三角洲中下部水位变化的主要因子。河道环境的变化,与河道的自然演变有关,但局部情势的急剧变化,却是人类社会活动的过渡开采的后果,进一步加强河道管理,是河流情势稳定与水安全的基本前提。

#### 5.2 建议

(1)极端水文事件常常伴随极端灾害的产生,对河道的脆弱性与复杂性加强监测,及时发现不良苗头与变化趋势,通过工程和非工程措施使河流情势的变化顺应社会发展的需求而变化,加强河道管理达到整体环境的持续稳定,才能实现河道情势的持续稳定。

(2)河口三角洲的开发需要科学的管理,为了人类生存环境的良性发展,人类活动更要遵循自然环境的可承载能力。水文要为社会提供优质服务,必须要准确及时地掌握区域范围河流情势与防洪能力的分析、预报,有效发挥珠江三角洲潮洪混杂特点的水资源效益,为经济社会的可持续发展作必要的支撑。

#### 参考文献:

- [1] 陈文彪,陈上群. 珠江河口治理开发研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012:67. (CHEN Wenbiao, CHEN Shangqun. Study on Harnessing and Development of Pearl River Estuary [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2012:67. (in Chinese))
- [2] 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,(4):429-436. (CHEN Xiaohong, CHEN Yongqin. Hydrological change and its causes in the river network of the Pearl River delta [J]. Journal of Geography, 2002,(4):429-436. (in Chinese))
- [3] 杨清书,罗章仁,沈焕庭,等. 珠江三角洲网河区顶点分水沙变化及神经网络模型预测[J].水利学报, 2003,34(6):56-60.(YANG Qingshu, LUO Zhangren, SHEN Huanting, et al. The change of diversion ratio of flow and sediment in the Pearl River delta and application of the neural network prediction model [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003,34(6):56-60. (in Chinese))
- [4] 刘幼萍,钟永,李远青,等. 佛山市平洲水道险段演变与堤防安全预警[R]. 广东省水文局佛山水文分局, 2012.(LIU Youping, ZHONG Yong, LI Yuanqing, et al. Evolution of dangerous section and early warning of embankment safety for Pingzhou channel in Foshan [R]. Foshan Hydrology Bureau of Guangdong Province, 2012. (in Chinese))
- [5] 李春初. 中国南方河口过程与演变规律[M].北京: 科学出版社, 2004. (LI Chunchu. River Estuary Process and Evolution in Southern China [M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese))
- [6] 顾立忠,李虎成,郑国栋.河口延伸对珠江三角洲网河动力影响研究[J]. 中国水运, 2014,(12):272-301. (GU Lizhong, LI Hucheng, ZHENG Guodong. Study on the dynamic impact of estuary extension on the Pearl River delta network river [J]. China Water Transport, 2014,(12):272-301. (in Chinese))
- [7] 梁海涛,黄剑威,黄兆玮. 珠江三角洲河道岸线存在问题及解决思路[J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2008,(1):25-31. (LIANG Haitao, HUANG Jianwei, HUANG Zhaowei. Issue on notion of the Pearl River delta's bank [J]. Journal of Guangdong Vocational and Technical College of Water Conservancy and Electricity, 2008,(1): 25-31. (in Chinese))
- [8] 胡建文,白绍华,杨帆,等. “08.6”西、北江及三角洲大洪水水文情况分析[R]. 广东省水文局佛山水文分局, 2008. (HU Jianwen, BAI Shaohua, YANG Fan, et al. Analysis of “08.6” cataclysm in west and north river and Pearl River delta [R]. Foshan Hydrology Bureau of Guangdong Province, 2008. (in Chinese))

(下转第 96 页)

## Water Quality Assessment and Pollutant Fluxes into the Sea in the Lower Reaches of Xiaoqing River

LIU Yuting, HAN Mei, PAN Bin, JING Lixian

(College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250358, China)

**Abstract:** In order to improve the water pollution situation in the Xiaoqinghe River and protect the water environment of Laizhou Bay, according to the monitoring section data of the downstream in the Xiaoqinghe River during 2008–2017, this paper analyzed the water environment quality, estimated the pollutant fluxes into the sea and discussed its main influencing factors. The results show that the water quality in the lower reaches of Xiaoqinghe River has been improving in the past 10 years. The pollutants that exceed the Class III water quality standard of Surface Water Environmental Quality Standard (GB3838–2002) are mainly petroleum, COD and TP, and petroleum is the primary pollutant one. The annual average amount of pollutants into the sea is about 181 732t, among which COD is the dominant one. The fluxes of various pollutants into the sea are mainly affected by runoff, pollutants concentration and time factor. The annual fluxes and total amount of various pollutants into the sea show a decreasing trend.

**Key words:** Xiaoqinghe River; water quality; fluxes of pollutants into the sea

(上接第 75 页)

- [9] 姚章民,王永勇,李爱鸣. 珠江三角洲主要河道水量分配比变化初步分析 [J]. 人民珠江, 2009,(2):43-45+51. (YAO Zhangmin, WANG Yongyong, LI Aiming. Primary analysis of water distribution ratio variation in main waterway in Pearl River delta. [J]. Pearl River, 2009,(2):43-45+51. (in Chinese))
- [10] 郑金海, 张蔚. 珠江三角洲航道网径潮相互作用演变规律 [M]. 南京: 河海大学出版社, 2012. (ZHENG Jinhai, ZHANG Wei. Evolution of Runoff-tide Interaction in Channel Network of Pearl River Delta [M]. Nanjing: Hohai University Press, 2012. (in Chinese))
- [11] 陈坚雄, 聂红海, 刘幼萍, 等. 广东省省管河道来砂量监测分析报告 (2005 年) [R]. 广东省水文局, 2006. (CHEN Jianxiang, NIE Honghai, LIU Youping, et al. Monitoring and analysis report on sand inflow from pipeline rivers in Guangdong province (2005) [R]. Guangdong Hydrology Bureau, 2006. (in Chinese))
- [12] 郭振仁, 袁丽蓉. 河口咸潮活动及其环境影响 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012. (GUO Zhenren, YUAN Lirong. Salt Tide Activities in Estuaries and Their Environmental Impact [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2012. (in Chinese))
- [13] 夏军, 石卫, 张利平, 等. 气候变化对防洪安全影响研究面临的机遇与挑战 [J]. 四川大学学报(工程科学版), 2016, 48(2):7-13. (XIA Jun, SHI Wei, ZHANG Liping, et al. Opportunity and challenge of the climate change impact on flood protection [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2016, 48(2):7-13. (in Chinese))

## Tendency of Fluvial Process and Hydrologic Extreme Events in River Network of Pearl River Delta under Changing Environment

LIU Youping

(Foshan Hydrology Bureau of Guangdong Province, Foshan 528000, China)

**Abstract:** The alluvial plain of the Pearl River Delta is covered with river network. The morphology and evolution of channels affect people's living habits and economic development level. With the rapid economic development, the fluvial process has been accelerated by intensive human activities, climate change, precipitation change and other natural environment change. Based on the analysis of the hydrologic monitoring results in the past 60 years, it is found that the fluvial process has led to variability of hydrological elements since the mid-1990s, which brings safety hazards of dangerous sections of embankments, water supply security and water resource management. The alteration of river hydrological regime has turned into the new challenge for hydrologic work.

**Key words:** Pearl River Delta; changing environment; riverbed evolution; hydrologic event