

近 50 年来珠江河网区水动力对地形的响应*

朱金格^{1,2}, 包 芸³, 胡维平¹, 刘秋海³

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所 湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 中山大学 近岸海洋研究中心, 广东 广州 510275)

摘 要: 自 20 世纪 50 年代以来, 珠江三角洲发生的河道采沙、航道整治等人类活动对河网区河床形态的自然演变过程产生了较大影响, 引起河网区水动力产生相应的调整。根据平原感潮河网水力特性建立一维河网模型, 并对 50 年代和 90 年代珠江河网区水动力过程进行了模拟, 同时结合数值试验探讨了珠江河网水动力对地形变化的响应。结果表明, 河床形态变化导致西、北江干流洪季水位及水位梯度较 50 年代明显下降, 西江水位梯度由 7.2 cm/km 下降至 4.1 cm/km, 北江水位梯度的下降主要集中在上游地区, 其中三水至三围由 9.3 cm/km 降至 5.0 cm/km, 而三围至口门变化不大, 两个年代分别为 4.9 和 4.8 cm/km, 北江干流平均水位梯度由 7.1 cm/km 下降至 4.9 cm/km。两个年代枯季水位梯度变化不明显, 不同区域日均水位有升有降。数值试验结果同时表明, 地形变化导致各主要节点分流比也产生不同程度调整, 三水 - 马口、天河 - 南华等地形变化显著的区域分流比变化较大。

关键词: 珠江三角洲; 河网; 水动力; 人类活动

中图分类号: TV133.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2010) 04-0129-05

Impact of Channel Evolution on Hydrodynamics in the Pearl River Delta in the Last 50 Years

ZHU Jing^{1,2}, BAO Yun³, HU Weiping¹, LIU Qiuhai³

(1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of
Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3 Coastal Ocean Research Center of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The Pearl River Delta (PRD) is a complex river network system, its hydrodynamic process is controlled both by runoff and tide, different from other estuaries in the world. During the last 50 years, the PRD area had undergone some large-scale human activities (such as floodgate building, sand excavation, channel regulation), which changed the morphology of the river bed, and resulted in the hydrodynamic characteristics different from the 1950s. 1D river network hydrodynamic model was developed to simulate the river flow of 1950s and 1990s. The results show that the water level in flood seasons of the PRD was significantly lower than that in 1950s, and the surface grads of two main rivers (Xijiang and Beijiang) were dropped from 7.2 cm/km and 7.1 cm/km to 4.1 cm/km and 4.9 cm/km, respectively. In dry seasons, the change was not so significant. A numerical experiment was conducted to figure out the impact of channel evolution on the hydrodynamic process. In the experiment, the water surface level

* 收稿日期: 2009-08-03

基金项目: 国家重点基础研究发展计划基金资助项目 (2002CB412407); 国家自然科学基金资助项目 (40176026, 40331007)

作者简介: 朱金格 (1983 年生), 男, 博士研究生; 通讯作者: 包芸; E-mail: stsby@sysu.edu.cn

of the Xijiang river and Beijiang were dropped from 7.1 cm/km and 7.2 cm/km to 4.2 cm/km and 4.7 cm/km, respectively, under the same conditions, which indicates that the main reason for low of water level in the PRD was the change of river bed. The experiment also figures out that the divided-flow ratio was re-adjusted heavily where the river bed changed dramatically.

Key words: the Pearl River Delta; river network; hydrodynamics; human activities

珠江三角洲地处华南沿海,由西江、北江、东江三条干流及众多分叉河流汇聚而成,河网区水系密布,受潮汐影响显著,为典型平原感潮河网。自20世纪50年代以来,珠江河网区发生了白藤堵海、联围筑闸、河网挖沙、航道整治等大规模的人类活动,干预河网床形态自然演变过程^[1-2],进而引起河网水动力近50年内发生较大的变化。刘秋海^[3]利用一维河网模型对50年代珠江网河水动力过程进行了数值模拟,首次较为全面的展现了50年代珠江网河区水位、流量、潮汐特征;韩龙喜^[4]利用一维河网模型探讨了珠江河网采沙对水位、流量分配的影响;Luo^[5]通过实测资料分析了近20年来河道挖沙对珠江三角洲网河区水位、分流比的影响。本文在前人研究基础上,通过建立一维河网模型,分别对50和90年代代表年份的洪、枯季水动力过程进行模拟及对比分析,并设计数值试验探讨了地形变化对水动力的影响,对珠江三角洲的研究及管理具有一定的理论和现实意义。

1 材料与方法

1.1 数学模型

模型控制方程为一维非恒定流圣维南基本方程组,模型采用按隐式计算的三级联合解法,限于篇幅,本文不再赘述,见参考文献[6-9]。

1.2 边界资料

地形:模型中50年代地形为组合地形,其中崖门水道为1974年航道图(广东省航道局绘制),广州珠江河段为1960-1970年组合地形,其余河道为1952年航道图(广东省水利水电勘测设计研究院绘制)。90年代地形为1999年实际地形(珠江水利委员会勘察设计院及广东省水利电力勘测设计研究院联合绘制)。

水位、流量边界:50年代模型水位边界为西炮台、神湾左、神湾右、白蕉、三沙口、万顷沙东、万顷沙西、横门、黄埔左、黄埔右、老鸦岗的日高低潮潮位,流量边界为高要、石角流量,资料来源于广东省水文年鉴;90年代模型水位边界为老鸦岗、石咀、官冲、西炮台、黄金、灯笼山右、横门、冯马庙、南沙、大虎,流量边界为梧州、石

角、博罗,资料为1999和2001年珠江水文同步观测数据。

1.3 河网概化及计算

在准确反映河道地貌形态及河网结构的前提下,将50年代地形概化为162条河道,918个断面,101个叉点,模型计算时间段为:1956年6月1日16时至4日8时(代表洪季),12月1日20时至4日12时(代表枯季)。将90年代地形概化为296条河道,1836个断面,188个叉点,模型计算时间段为:1999年7月16日0时至7月24日12时(代表洪季),2001年2月7日14时至2月16日10时(代表枯季)。

分别利用实测资料对模型计算结果进行了验证,其中50年代和90年代验证站位分别为19和54个,结果表明计算值和实测值吻合较好,水位误差在0.1m以内,流量误差在10%以下,因此,模型计算结果基本上反映了河网实际水流情况。

2 结果分析

2.1 洪季水位变化特征

分析计算结果发现,90年代河网区水位比50年代普遍下降,上游地区下降幅度大于下游地区。其等水位线分别如图1(a,b)所示,从图中看出,90年代等水位线较50年代稀疏,反映出河网区水位梯度变缓的趋势。但两个代表年份都在西江干流形成明显高压区,可见西江干流近50年作为珠江的“水脊”作用没有发生变化,其主要原因在于西江流量大、河道更为顺直^[10]。

为进一步定量分析近50年来洪季水位变化情况,本文以西、北江干流为代表,对其沿程水位变化进行了对比分析。西江干流从思贤溶西溜口依次经马口、天河、百顷、竹银,最后经灯笼山从磨刀门汇入南海,全长约120km;北江干流从思贤溶北溜口依次经东平水道、顺德水道、李家沙水道最后至洪奇沥水道由洪奇门入伶仃洋,长约104km。

结果表明,在相近的径潮作用下(高要流量约30000m³/s),90年代洪季西江干流沿程水位比50年代明显下降(图2a),尤其马口—天河段,其水位下降绝对值在2m以上。50年代马口

站洪季日均水位 8.5 m 左右, 90 年代降至 5 m 左右, 往下游的天河、百顷、竹银日均水位也分别由 5.7、4.1、1.6 降至 2.8、1.5、0.65 m。相应的, 西江干流洪季水位梯度也明显下降, 50 年代洪季水位梯度约为 7.2 cm/km, 90 年代降至 4.1 cm/km, 同时发现在该时间段内, 90 年代西江干流沿程潮差均大于 50 年代, 反映了河道形态改变引起径流动力减弱、潮汐动力增强。

北江干流也发生了相同的变化 (图 2b), 三水日均水位 50 年代约为 8 m, 90 年代降至 6 m 左右 (石角流量 1 400 m³/s 左右), 沿程吉利、霞石、三善右水位也有不同程度下降。北江干流水位梯度由 7.1 降至 4.9 cm/km, 其中三水至三围水位梯度明显降低, 50 年代为 9.3 cm/km, 90 年代降至 5.0 cm/km, 而三围至口门变化不大, 两个年代分别为 4.9 和 4.8 cm/km。

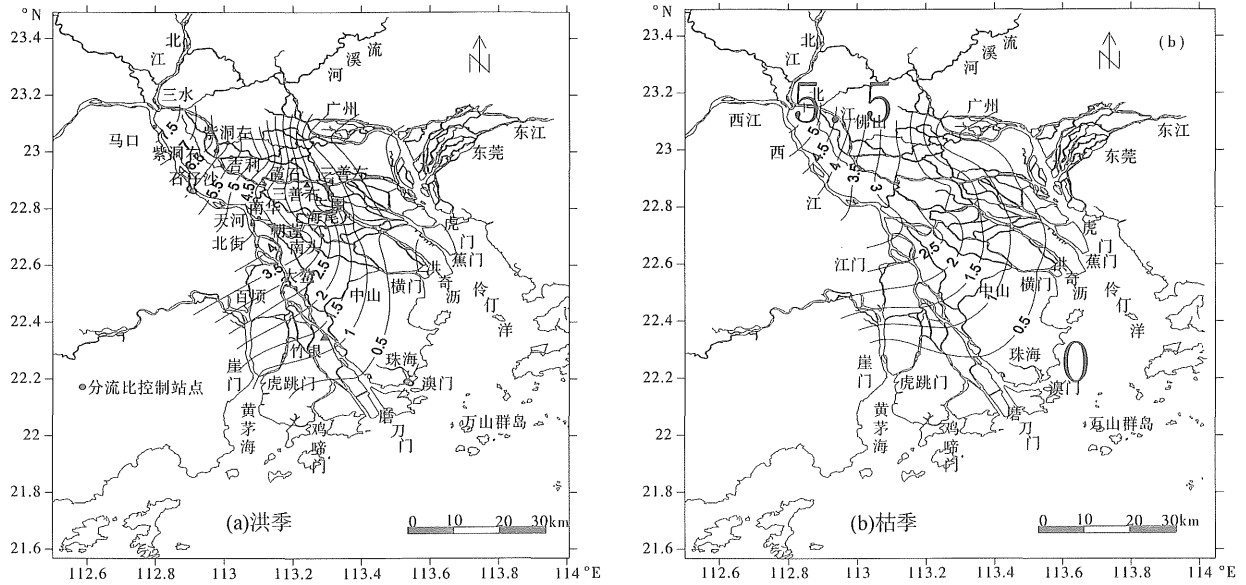


图 1 50 年代洪季和枯季西北江河网区等水位线 (单位: m)

Fig. 1 Isoline diagram of the Xijiang and Beijiang river network in flood seasons of 1950s (numbers are given in m)

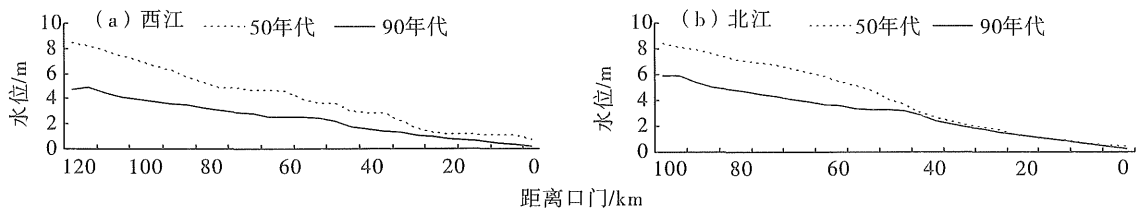


图 2 洪季干流日均水位沿程分布

Fig. 2 Daily average water level of the Xijiang (a) and Beijiang (b) in flood seasons

2.2 枯季水位变化特征

由于枯季径流微弱, 珠江河网区为潮汐控制, 潮水填充河道^[11], 潮区界、潮流界可达三水、马口以上, 因此, 河网区各水文站水位随潮汐涨落, 水位梯度比洪季显著减小。与 50 年代相比, 90 年代河网区枯季水位在不同区域有升有降, 与洪季的普遍下降有所不同。从整个河网区等水位线及西、北江干流日均水位沿程分布 (图 3) 来看, 西江干流及其分叉河流、北江上游水位较 50 年代略有下降, 而北江下游 (霞石至口门一段) 及其分叉河道则有所抬升。其中, 50 年代马口、三水日均水

位分别为 0.57、0.58 m, 90 年代分别为 0.48、0.46 m, 口门附近水位略高于珠基。

2.3 关于水位变化的数值试验

针对上述关于水位变化的结论, 设计了不同地形条件下的数值试验, 以进一步探讨地形差异对水位的影响。数值试验中, 水位、流量边界分别选取上文 90 年代洪、枯季资料, 地形为上文两套不同年代地形, 据此可将焦点集中于地形的差异。

数值试验结果与上文反映的趋势较为一致: 枯季两个年代水位变化不明显, 不同区域水位有升有降, 洪季水位则明显下降。同样以西、北江干流洪

季水面线为例 (图 4), 西江干流水位梯度由 7.1 降至 4.2 cm/km, 北江由 7.2 降至 4.7 cm/km。可

见近 50 年来地形变化引珠江河网区洪季水位的下降是显著的。

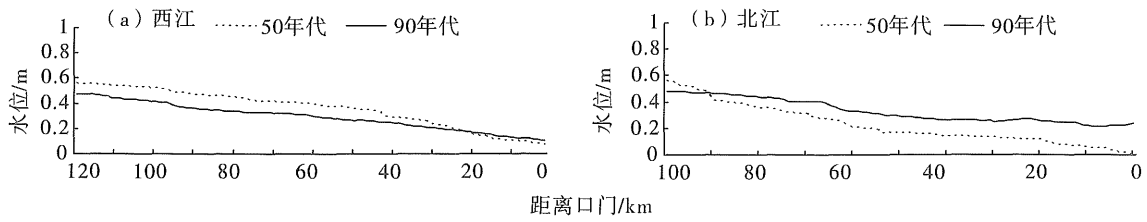


图 3 枯季干流日均水位沿程分布

Fig. 3 Daily average water level of the Xijiang (a) and Beijiang (b) in dry seasons

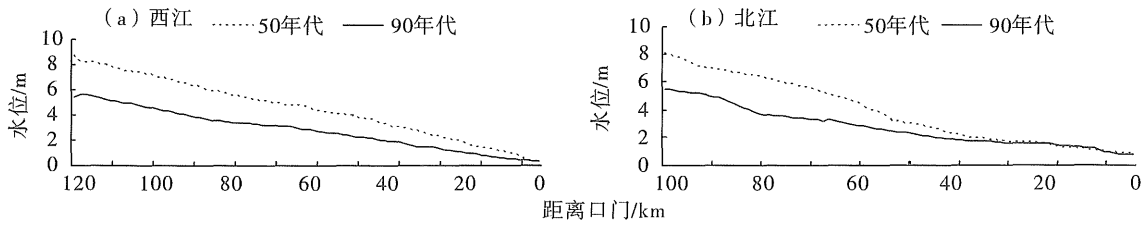


图 4 不同地形条件下干流日均水位沿程分布

Fig. 4 Daily average water level of the Xijiang (a) and Beijiang (b) under different conditions

2.4 分流比

本文利用数值试验探讨了近 50 年来地形变化对珠江河网区分流比的影响。枯季西北江河网区潮流界可达三水、马口以上, 其下游河道水流往复变化, 因此, 除了河道地形对分流比产生影响外, 口门形状等影潮波传播的因素也会产生作用, 所以在

时间序列不够长的情况下讨论其分流比存在一定的困难及误差。本数值试验主要针对洪季状况, 利用 90 年代洪季水文资料, 分别模拟了 50 年代、90 年代地形下的水动力过程, 对珠江河网区主要控制节点的流量与分流比进行了统计, 见表 1, 控制节点分布如图 1 所示。

表 1 珠江河网区主要节点分流比

Table 1 Average divided flow ratio of the PRD

控制节点	50 年代地形		90 年代地形		控制节点	50 年代地形		90 年代地形	
	流量 ($m^3 \cdot s^{-1}$)	分流比 %	流量 ($m^3 \cdot s^{-1}$)	分流比 %		流量 ($m^3 \cdot s^{-1}$)	分流比 %	流量 ($m^3 \cdot s^{-1}$)	分流比 %
马口	25 591	81.24	24 592	76.97	紫洞左	1 450	23.80	2 565	34.41
三水	5 911	18.76	7 059	23.03	紫洞右	4 644	76.20	4 891	65.59
天河	14 976	58.92	11 804	51.68	吉利	943	17.72	1 026	20.92
南华	10 440	41.08	11 035	48.32	石仔沙	4 378	82.28	3 880	79.08
北街	5 744	43.41	5 356	49.09	海尾	1 754	34.02	2 235	37.81
潮莲	7 488	56.59	5 554	50.91	南头	3 401	65.98	3 676	62.19
百顷	5 891	51.88	6 901	62.12	三善右	3 292	88.50	3 898	77.51
大鳌	5 538	48.12	4 208	37.88	三善左	428	11.50	1 131	22.49

从表 1 看出, 各主要控制节点分流发生了不同程度的调整, 三水分流比由 18.76% 增加至 23.03%, 流量增加约 1 000 m^3/s , 与实测资料较为一致, 反映了河道形态改变引起北江分水增多的趋势。变幅较大的控制节点还有天河 - 南华、百顷

- 大鳌、紫洞左 - 紫洞右, 其中天河、大鳌、紫洞右分流比减少, 南华、百顷、紫洞左相应增加, 其流量分配变化均在 1 000 m^3/s 以上。整体来看, 西江及北江上游节点分流比变化较大, 受地形影响显著。

3 讨论

珠江三角洲河网区大部分河道在20世纪80年代以前基本冲刷平衡或略有淤积^[12],自20世纪80年代中期开始,河网区出现大规模河道采沙,1984-1990年间年均采沙量 $223 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$;1990-1994年间出现采沙高峰,为 $523 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$;1994-1999年间为 $215 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ^[10],15 a的采沙总量相当于75~125 a的自然淤积量^[2]。大规模河道采沙加上90年代开始的航道整治工程,致使河槽容积增大,河床高程明显降低,上游河床下切幅度达3~8 m^[11]。巨大的地形变化引起河网水位及分流比相应的调整:Luo^[5]研究表明河道采沙造成珠江河网区水位普遍下降;韩龙喜^[13]和贾良文^[14]研究表明采沙是导致东江水位下降的主要原因。分流比方面,黄镇国^[15]就近20年来思贤滘地形改变与三水-马口分流比的调整进行了研究,本文数值试验中分流比发生较大变化的控制节点所在河道,均经历了相对其他区域较为严重的河道采沙或航道整治工程,诸如西江干流马口-百顷段的大规模河道采沙^[9],北江东平水道的航道整治及河道采沙^[16]。

河床演变与水动力过程相互作用,河床下切一方面导致水位下降,同时又加快汇流速度^[17],反而加剧河床深泓下切。实际上近20年来河网大部分区域河床地形已表现出宽深比减小,河槽向窄深方向发展的趋势,其更有利于水沙输送^[18],对河床演变及河网区水位、流量分配产生长期影响。因此需要对河网区人类活动进行有效引导和调控,排除不利影响。

4 结论

本文利用一维河网模型分析了近50 a来珠江河网区水动力对地形变化的响应,初步得出以下结论:①与50年代相比,90年代洪季珠江河网区水位普遍下降,西江干流水位梯度由7.2下降至4.1 cm/km,北江水位梯度在三水-三围河段下降显著,由9.3降至5.0 cm/km,而三围至口门变化不大,两个年代分别为4.9和4.8 cm/km,北江干流平均水位梯度由7.1下降至4.9 cm/km。②枯季水位变化不如洪季显著,不同区域水位有升有降。西江干流及其分叉支流以及北江上游水位较50年代略有下降,北江下游(霞石至口门一段)及其分叉河道则有所抬升。③相同水文条件、不同地形下的数值试验展现了地形变化对近50年来水位产生的影响,其反应的变化趋势与实际情况一致。④数

值试验表明,河道地形变化引起珠江河网区分流比不同程度的调整,三水分流比由18.76%增加至23.03%,天河、大鳌、紫洞右分流比均较地形变化前明显减少,南华、百顷、紫洞左相应增加,其流量分配变化均在 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上。上述控制节点所在河道分别为马口-大鳌河段、东平水道等,均为河床形态变化较大的区域。

参考文献:

- [1] 李静. 珠江三角洲河网近20年河床演变特征分析[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(3): 12-17.
- [2] 黄镇国, 张伟强. 珠江三角洲河道近期冲淤特征初步分析[J]. 台湾海峡, 2005, 24(4): 417-425.
- [3] 刘秋海, 吴超羽. 20世纪50年代珠江三角洲河网水动力特征分析[J]. 水运工程, 2005(3): 66-69.
- [4] 韩龙喜, 计红, 陆永军, 等. 河道采沙对珠江三角洲水情及水环境影响分析[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 685-690.
- [5] LUO X L, EDDY Y Z, RONG Y J, et al. Effects of in-channel sand excavation on the hydrology of the Pearl River Delta, China[J]. Journal of Hydrology, 2007, 343: 230-239.
- [6] 李毓湘, 逢勇. 珠江三角洲地区河网水动力学模型研究[J]. 水动力学研究与进展, 2001, A16(2): 143-155.
- [7] 徐祖信, 卢士强. 平原感潮河网水动力模型研究[J]. 水动力学研究与进展, 2003, 18(2): 176-181.
- [8] 吴作平, 杨国录, 甘明辉. 河网水流数值模拟方法研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 350-353.
- [9] 侯玉, 卓建民, 郑国权. 河网非恒定流汉点分组解法[J]. 水科学进展, 1999, 10(1): 48-52.
- [10] 罗宪林, 杨清书, 贾良文, 等. 珠江三角洲河网河床演变[M]. 广州: 中山大学出版社, 2002: 3-9.
- [11] 雷亚平, 杨清书, 贾良文, 等. 从河床演变看东平水道航道整治和河床采沙效应[J]. 水利水运工程学报, 2003(3): 13-17.
- [12] 陈晓宏, 陈永勤. 珠江三角洲河网区水文与地貌特征变异及其成因[J]. 地理学报, 2002, 57(4): 429-436.
- [13] 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]. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, 33(2): 123-126.
- [14] 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.
- [15] 黄镇国, 张伟强. 珠江三角洲近期水沙分配的变化及其影响与对策[J]. 云南地理环境研究, 2006, 18(2): 21-27.
- [16] 雷亚平, 杨清书, 欧素英, 等. 近数十年来东平水道河床演变特征[J]. 热带地理, 2003, 23(4): 309-313.
- [17] 侯卫东, 陈晓宏, 江涛, 等. 西北江三角洲河网径流分配的时间变化分析[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(S1): 204-207.
- [18] 齐璞, 梁国亭. 冲积河型形成条件的探讨[J]. 泥沙研究, 2002, (3): 39-43.