

东江下游河段溯源侵蚀特征与机理

任 杰, 曾学智, 贾良文

(中山大学近岸海洋科学与技术研究中心, 广东 广州 510275)

摘要: 1980 年以来, 东江下游及三角洲发生了高强度的采沙活动, 由此导致水文条件发生显著变异, 河床形态出现溯源变形, 根据不同历史时期的地形与水文资料的对比分析, 东江下游段溯源变形特征主要表现为: 大规模采沙直接引起同流量条件下水位大幅下降, 尤以枯水期表现最为显著, 博罗站水位~流量关系曲线表现为逐年右偏; 采沙引起河床高程大规模降低, 即为一级溯源变形, 其显著的特征是水面比降大, 由此引起河床发生强烈冲刷, 遂派生出河床演变的二级溯源变形, 二级溯源变形的长期发展将使河床变形趋于平缓; 采沙河段必然发生河床断面形态及尺度的物理变形, 按其发生的时间过程分为各具特色的 3 段: 变形完成段(东江网河区)、变形进行段(石龙到博罗段)及变形影响段(博罗以上河段)。

关键词: 东江下游河段; 人工采沙; 溯源侵蚀; 机理

中图分类号: TV143 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6791(2010)01-0084-05

自 20 世纪 80 年代 (特别是 90 年代) 以来, 由于受人类活动的强烈干预 (尤其以 20 世纪 80 年代以来河道大规模无序采沙活动为典型), 珠江三角洲网河区河道的河床演变发生了巨大的变化。大规模、高强度的人工采沙活动表现为 80 年代以来珠江三角洲网河区的采沙总量达到 10 亿 m^3 , 10 多年来年均挖沙量为 0.66 亿 m^3 , 年均采沙量约为每年进入珠江三角洲推移质输沙量 950 万 m^3 的 7 倍^[1]。可见, 在几十年至几百年尺度的环境变化中, 人类活动驱动力的影响已经与自然驱动力相当甚至超过, 河床演变则是人地关系协调共效或失调失衡的响应^[2]。

在河床不同形状采沙坑的影响下, 水流出现类似“跌水”运动, 上游缘口水面向下跌落呈弯曲状, 水流运动明显加速, 水流挟沙能力显著提高, 冲刷能力加强^[3]。同时, 上游水面的缘口弯曲点逐渐向上游移动, 床面不断冲蚀, 沙坑范围不断延展, 形成溯源冲刷。目前在珠江主干河流西江、北江和东江中下游河段的采沙区域附近, 均存在这样一类新的由人类活动直接造成的特殊的“溯源变形”河段。

然而, 尽管河床演变的研究有较长的历史^[4], 人工采沙的问题也有较多的关注^[5-6], 但对于人工采沙对河床演变影响的探讨则较少^[7-9], 尤其是基于大量实测资料, 在高强度采沙河段(下游段)与基本不采沙河段(上游段)的交界地段发生的“溯源变形”特征及其机理的研究, 更是鲜见, 因而十分值得关注。

1 研究区域

考虑到近年来东江下游河段采沙活动剧烈, 同时此段进行了多次连续的水文观测与河段地形断面监测, 本文以此为研究对象(图 1)。据博罗站 1955~2002 年长序列的水文资料统计, 多年平均流量为 737 m^3/s , 悬移质平均含沙量 0.096 kg/m^3 , 多年平均年输沙总量 234 万 t。采沙引起河床溯源变形, 河床地貌形态的改变

收稿日期: 2008-12-29

基金项目: 国家自然科学基金重点基金资助项目 (50839005); 广东省自然科学基金资助项目 (06023122)

作者简介: 任 杰 (1975 -), 男, 四川南部人, 讲师, 博士, 主要从事近岸河口海岸环境研究。

E-mail: renjie@mail.sysu.edu.cn

通信作者: 贾良文, E-mail: jialwen@126.com

反过来必然会引起河道水文特性发生变化。这些动力、地貌的显著变化又对沿河两岸的防洪、航运以及有关工程建设等产生重要影响。

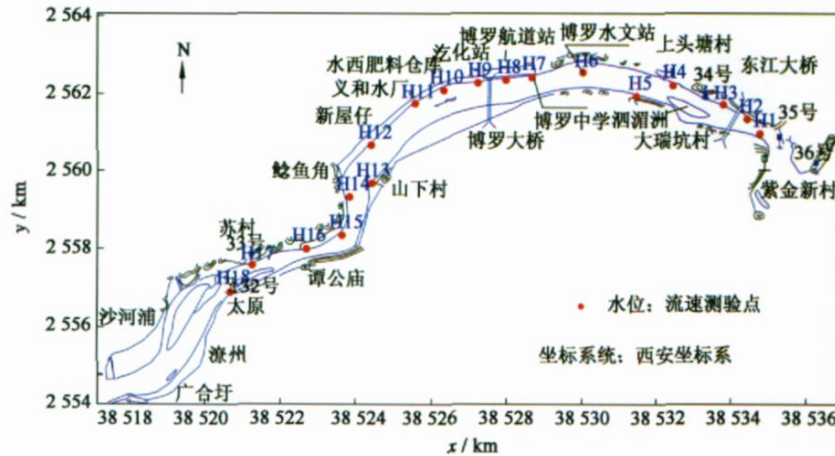


图 1 2003 ~ 2005 年断面监测示意图

Fig. 1 Sketch of monitoring sections during 2003-2005

2 资料来源与研究方法

广东省水文局惠州分局在 2002 年 9 月自博罗水文站到东江口站共设置了 47 个站位进行基本水文要素观测。2003 年 7 月, 对博罗河段范围内的坝址、博罗水文站、博罗中学、仓库、新屋仔、鲶鱼角、谭公庙以及上游惠阳水文站等断面进行每月 1 次的监测, 而最下游的苏村、太原抽水站 2 个断面每季度监测 1 次, 为期 1 年, 各监测站位的分布见图 1。2005 年 7 月及 10 月, 惠州水文局对上述布设断面又分别进行了一次平水期与枯水期的水文、地形监测, 上述丰富的资料为本文的研究工作奠定了较好的基础。

本文主要通过不同历史时期的水下地形比较、水文资料的分析, 从宏观角度探讨受人工采沙影响明显的博罗河段的溯源演变规律。

3 结果分析与讨论

3.1 采沙概况

从 2002 年至 2005 年博罗段 (表 1, H6 ~ H18, 断面分布见图 1) 的河床容积变化, 可以看出, 正是由于这一时期强烈的人工采沙, 使河床砂在 3 年之内减少了 2 405.48 万 m^3 , 年均采沙量接近 801.82 万 m^3 。

2003 年后, 采沙活动主要集中在鲶鱼角至谭公庙河段。根据 2002 年 5 月河道地形图及 2003 年 1 月、2003 年 7 ~ 12 月实测断面资料分析, 谭公庙至新屋仔的过水断面增加 1 000 ~ 2 300 m^2 , 17 个月间采沙量约为 800 万 m^3 , 年均采沙约 565 万 m^3 , 每天采沙量约 1.5 万 m^3 。2002 年采沙点主要集中在谭公庙附近河段, 至 2003 年 12 月已上移到新屋仔附近, 17 个月上移约 5 km。

表 1 博罗段 (H6 ~ H18) 河床容积对比

Table 1 Correlation table of riverbed volume from H6 to H18

项目	日期	河段划分 / km		
		H6 ~ H18 (11.8)	H10 ~ H18 (8.2)	H10 ~ H16 (5.9)
河床容积 / 万 m^3	2002-04	+1 292.42	+1 118.21	+580.21
(4m 高程以下河床容积)	2005-04	+3 697.90	+3 330.35	+2 103.03
容积变化量 / 万 m^3		+2 405.48	+2 212.14	+1 522.82

注: “+”表示冲刷。

3.2 溯源变形分析

采沙河段发生规模效应后的直接表现为河床下切加深, 水位普遍下降, 从而引起潮区界河段发生自然过程的溯源侵蚀。根据广东省航道局 2002 年 9 月 9 日~9 月 10 日自博罗水文站到东江口站共 47 个站的实测特征水位, 分析由于采沙引起的河道溯源变形过程与机制。为了对比采沙干扰前后的河床演变规律, 将 1965 年航道部门所确定的博罗站与石龙站的设计水位作一虚拟线连结, 代表未溯源变形前的低水水面线, 将之与本次实测资料比较 (图 2)。从图 2 可以看出:

(1) 高潮位状态 高潮位由东江出口的大盛至博罗呈现由大 - 小 - 大的变化规律, 大盛为 1.98 m, 至石龙减小为 1.84 m, 樊屋已小至 1.71 m, 从樊屋开始高潮位又开始增加, 到谭公庙为 1.92 m, 至博罗水文站, 跃升为 4.04 m。

(2) 低潮位状态 总体上是从博罗水文站到东江口, 自上游向下游低潮位逐渐降低, 从博罗水文站到谭公庙水位落差为 3.3 m, 谭公庙到石龙水位站低潮水位在 0.65 ~ 0.69 m 之间变化, 考虑到测量误差, 该河段共长 45.54 km, 几乎其最低水位处于同一水平线 0.67 m 左右, 而自樊屋水位站起, 直到东江口, 其最低水位从 0.69 m, 降低为 -0.20 m, 降幅为 0.89 m。

(3) 潮位特征 若把谭公庙到博罗站称为上段, 谭公庙到石龙称为中段, 石龙到东江口成为下段 (图 1), 无论高潮位状态或低潮位状态, 均表现为上段水位比降大, 中段小, 下段介于其中, 这是三角洲从河网向上游溯源变形的最主要水文特征。

(4) 溯源变形 对比溯源变形完成后的河段与其天然状态的水面线, 可以看出溯源变形段出现较大的水位跌落, 樊屋至谭公庙水位落差可达 4.0 m, 这是采沙造成河床高程降低的直接效应, 可称为一级溯源变形。一级溯源变形的明显特征是水面比降大, 谭公庙至博罗水文站约 7 km 的距离即有 3.31 m 的落差。这一陡比降河段必然引起流速剧增, 发生强烈冲刷, 河床下切, 床面高程降低, 博罗站由 1965 年的设计水位 6.04 m 降低到 2002 年的 4.04 m, 这种由自然力引起的河床高程降低, 称为二级溯源变形, 二级溯源变形由一级溯源变形派生。

3.3 溯源变形的时序特征

采沙以机械力直接从河床取走床沙, 床沙远离河道不复返回。因此河段采沙后必然发生河床断面形态及尺度的物理变形, 采沙活动始于三角洲, 逐渐向上游干流方向推进, 致使河床高程逐年由河口向上游降低, 潮区界逐年向上延伸。这里引入平均水位变化率 \bar{z}/n_y 对溯源变形区段进行划分, 式中 \bar{z} 为平均水位变幅, n_y 为平均水位变化的年限, 由于采沙引起水位发生变异, 因引的跃变可以在一定程度上表征采沙的强度。按 \bar{z}/n_y 值将溯源变形过程分为变形完成段、变形进行段及变形影响段。

(1) 变形完成段 东江三角洲区域, 即石龙至东江出口, 属于变形完成段, 此段 $\bar{z}/n_y < 1$ cm/a (石龙或樊屋站)。20 世纪 80 ~ 90 年代采沙主要集中在这一区域。初期采沙处于无序状态, 河床上形成许多大小不等的坑洼地形, 难以形成连续的有规模的深槽。因此, 这一时期的河床断面不能形成有效的溯源变形, 随后, 采沙规模逐渐增大, 致使河床平均下切 2.0 ~ 3.0 m, 经过数十年的调整, 河床断面形态与水文条件已保持平衡状态, 河床演变引起的平均水位变率较小。

(2) 变形进行段 变形进行段大致介于石龙 - 博罗, 此段 $\bar{z}/n_y > 4$ cm/a (博罗站)。大约在 20 世纪 90 年代, 由于东江三角洲无沙可挖, 而用沙量又不断持续增长, 采沙开始由三角洲的顶点石龙向上推进, 潮流也不断上溯, 潮流界与潮区界不断上移。表 2 为多年平均水位变化情况, 可以看出: 位于河口大盛站的水位主要受狮子洋潮汐通道控制, 采沙规模的大小对其平均水位影响不大。位于三角洲顶点的樊屋、石龙则同

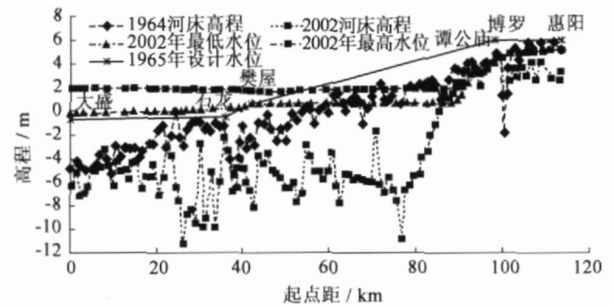


图 2 惠阳 博罗河床平均高程 (珠江基面) 与特征水位沿程变化

Fig. 2 Riverbed average elevations and changes of the characteristic water-level from Huiyang to Boluo

时受径流与潮汐影响, 平均水位呈降低趋势, 20 世纪 80~90 年代两站分别降低了 0.75 m 和 0.84 m。尤其是 80 年代, 水位降低了 0.72 m 和 0.76 m。90 年代由于采沙活动已向上游转移, 影响明显减弱。2001 年采沙移至夹竹洲附近时, 博罗站的水位降低了 1.33 m, 1997~2001 年, 博罗年平均水位降幅高达 0.69 m。

人工采沙的直接效应是河床加深, 虽然博罗站附近并无超量的人工采沙活动, 但由于博罗下游约 10 km 的谭公庙附近的大规模人工采沙, 博罗站近年中枯水水位大幅下降, 博罗站自 1997 年以来年最低水位几乎连年创新

低^[8], 截止 2003 年底, 年最低水位已经低至 2.53 m, 较之此前的年最低水位的最大值 1983 年的 5.73 m 已经下降了 3.2 m。而在 $H \sim Q$ 关系曲线上则表现为逐年右偏, 即同流量级的水位明显下降, 或同级水位下河道断面过流量明显增加, 自 1996 年以来博罗站 $H \sim Q$ 关系曲线逐年右偏趋势就已明显存在, 并在 1999 年之后随着人工采沙区域距离博罗水文站的接近, 这一趋势逐年加大, 2001~2002 年间达到最大变幅^[8]。

(3) 变形影响段 变形影响段主要在博罗以上区域, 此段博罗-惠阳段 $< 1 \text{ cm/a}$ (惠阳站)。惠阳站多年平均水位变化过程, 主要是惠阳市河段的局部挖沙造成, 与近年石龙-博罗段大规模采沙引起的溯源侵蚀关系不大。因此博罗-惠阳段目前尚处于采沙河段发生的溯源侵蚀的影响段, 地形与动力结构处于轻微的调整与响应阶段。

4 结 论

自 1980 到 2002 年, 东江下游及三角洲发生了高强度的采沙活动, 采沙量达 3.32 亿 m^3 , 人类活动驱动力的影响已经与自然驱动力相当甚至超过, 由此导致水文条件发生了显著的改变, 河床也发生了显著的溯源变形响应。主要表现为:

(1) 采沙河段发生规模效应后的直接表现为河床下切加深, 洪、中、枯水同一流量条件下水位下降均十分明显, 尤以枯水期表现最为显著, 博罗站水位~流量关系曲线表现为明显的逐年右偏。

(2) 人为采沙造成河床高程大规模的直接降低, 即为一级溯源变形, 其明显的特征是水面比降大, 由此引起河床强烈冲刷, 遂派生出河床演变的二级溯源变形, 二级溯源变形的长期发展将使河床变形趋于平缓。

(3) 采沙河段必然发生河床断面形态及尺度的物理变形, 根据平均水位变化率, 按其发生的时间过程分为变形完成段 (东江口附近河道)、变形进行段 (石龙到博罗段) 及变形影响段 (博罗以上河段), 各段具有其对应的河床形态特征与水文特征。

致谢: 本研究受广东省航道勘测设计科研所资助, 作者感谢广东省航道勘测设计科研所及惠州水文局提供的地形及水文资料, 特别感谢周作付工程师, 何建华高工对本文提出的宝贵建议。

参考文献:

- [1] 罗章仁. 人类活动引起的珠江三角洲网河和河口效应 [J]. 海洋地质动态, 2004, 20 (7): 35-36. (LUO Zhang-ren. River network and estuary response to human activities in the Pearl River Delta [J]. Marine Geology Letters, 2004, 20 (7): 35-36. (in Chinese))
- [2] 黄镇国, 张伟强. 人为因素对珠江三角洲近 30 年地貌演变的影响 [J]. 第四纪研究, 2007, 24 (4): 391-401. (HUANG Zhen-guo, ZHANG Wei-qiang. Impacts of artificial factors on the evolution of geomorphology during recent thirty years in the Zhujiang Delta [J]. Quaternary Sciences, 2007, 24 (4): 391-401. (in Chinese))
- [3] 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. (HAN Long-xi, JI Hong, LU Yong-jun, et al. Impact of sand excavation in Pearl River delta on hydrology and environment [J]. Advances in Water Science, 2005, 16 (5): 685-690. (in Chinese))

表 2 各时期平均水位比较 m

Table 2 Average water-level in every period

站名	不同时期平均水位			
	1981~1986	1987~1991	1992~1996	1997~2001
博罗	6.78	6.14	6.14	5.45
樊屋	0.97	0.25	0.17	0.24
石龙 (二)	0.82	0.06	-0.03	-0.02
大盛	-0.83	-0.81	-0.81	-0.77

注: 表中水位高程为珠江基面。

- [4] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987. (QIAN Ning, ZHANG Ren, ZHOU Zhi-de. Fluvial process [M]. Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese))
- [5] 贾良文, 吴超羽, 任杰, 等. 珠江口磨刀门枯季水文特征及河口动力过程 [J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 82-88. (JIA Liang-wen, WU Chao-yu, REN Jie, et al. Hydrologic characteristics and estuarine dynamic process during the dry season in Modaomen Estuary of the Pearl River [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(1): 82-88. (in Chinese))
- [6] 任美镔. 人类活动对密西西比河三角洲最近演变的影响 [J]. 地理学报, 1989, 44(2): 221-229. (REN Mei-e. Impacts of human activities on the coastal zone of the Mississippi River Delta [J]. Acta Geographica Sinica, 1989, 44(2): 221-229. (in Chinese))
- [7] 陈海全, 黄恒熙, 周作付. 人工采沙对东江博罗河段水文特性的影响分析 [J]. 广东水利水电, 2004, 6: 56-58. (CHEN Hai-quan, HUANG Heng-xi, ZHOU Zuo-fu. Study on the impacts of sand mining on the hydrological characteristics in Boluo reach, Dongjiang [J]. Guangdong Water Resources And Hydropower, 2004, 6: 56-58. (in Chinese))
- [8] 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]. 热带地貌, 1999, 20(2): 1-15. (LUO Zhang-ren, LUO Xian-lin, YANG Gan-ran, et al. Impacts of human activities on the channel evolution in the Pearl River [J]. Tropical Geomorphology, 1999, 20(2): 1-15. (in Chinese))
- [9] CHANG H H. Fluvial process in river engineering [M]. New York: John Wiley & Sons, 1988: 355-366.

Mechanism study of retrogressive erosion in the lower reach of Dongjiang River *

REN Jie, ZENG Xue-zhi, JIA Liang-wen

(Center for Coastal Ocean Science and Technology Research, Sun Yatsen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Since 1980s, the intensified sand dredging activities in the lower reach and the delta of Dongjiang River have caused significant changes in river hydrodynamics, which results in retrogressive riverbed deformations. The mechanisms and characteristics of the retrogressive erosion are studied through analysis of the river bathymetric and the hydrological data collected during the different sampling periods. The finding suggests that because of the large-scale intensified sand dredging in the reach and delta: (1) For the same discharge, there is a significant decline trend detected in the corresponding water level time series especially during the dry seasons, the stage-discharge relation of Boluo station exhibits a tendency to right deflection after 1980; (2) a significant reduction in riverbed altitudes has led to an increase in water surface slopes, this is the first-stage retrogressive deformation, which in turn will cause an intensified riverbed erosion and result in the second-stage retrogressive deformation that will stabilize riverbeds in the long run; (3) the changes in river cross-sections are inevitable and divided into three parts, which are deformed reaches (Dongjiang River network), deforming reaches (Shilong to Boluo), and deformation effected reaches (above Boluo), respectively, according to processes of their changes.

Key words: downstream reaches of Dongjiang River; sand dredging; retrogressive erosion; mechanism

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 50839005).