

*Changes of Low Water Level in the Channel
Network System of the Pearl River Delta*

珠江三角洲 网河低水位变化

◆ 陆永军 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

*Changes of Low Water Level in the Channel
Network System of the Pearl River Delta*

珠江三角洲 网河低水位变化

◆ 陆永军 贾良文 莫思平 韩龙喜 季荣耀 左利钦 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

珠江三角洲网河水多沙少,河势稳定,但近20年来的大规模采挖河床泥沙,在很大程度上改变了网河河床演变的过程,这种改变已远远超过和涵盖了同期河流自然演变的程度,尤其是大规模人工采砂引起河床普遍大幅下切,水位出现明显下降趋势,对取水供水、咸潮防护、生态环境、堤坝安全、航运、防洪灌溉等方面产生了较大影响。

本书试图探索珠江三角洲网河低水位时空变化规律,共分为6章,内容包括:绪论、珠江三角洲水沙动力特征、人工采砂及其影响下的河床演变、网河水动力数学模型研究、重点河段二维水沙数学模型研究、主要水道低水位变化趋势研究。

本书可供珠江三角洲的开发建设及研究河流与河口演变规律的学者参考,也可作为有关大专院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

珠江三角洲网河低水位变化/陆永军等著. —北京:中国水利水电出版社, 2008

ISBN 978-7-5084-2999-1

I. 珠… II. 陆… III. 珠江三角洲—水位变化—研究
IV. P641.626.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第030546号

审图号:GS(2008)2081号

书 名	珠江三角洲网河低水位变化
作 者	陆永军 等 著
出版发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	170mm×230mm 16开本 15.75印张 291千字
版 次	2008年11月第1版 2008年11月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	42.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

珠江三角洲网河体系是世界上最复杂的水系之一,其“三江汇合,八口分流”,汊道纵横,密如蛛网,河道总长 1600 余 km,网河密度高达 $0.68 \sim 1.07 \text{ km/km}^2$ 。珠江水多沙少,河势长期以来相对稳定,以缓慢淤积为主,年淤积量约为 800 万 $\sim 1000 \text{ 万 m}^3$ 。珠江三角洲地区土地肥沃,资源丰富,是受人类活动影响时间最早和强度最大的地区之一,从 1000 多年前修围防洪,到 20 世纪 50 $\sim$ 60 年代的联围筑闸,以及近期的流域水土保持、上游水电枢纽建设和航道整治,一直都处在不断承受各种人类活动改造的过程中。特别是 20 世纪 80 年代以来,随着经济高速发展,大规模城市建筑、道路桥梁建设等方面用沙量激增,珠江三角洲出现大规模采挖河床泥沙的现象。据河道地形图对比计算,1984 $\sim$ 1999 年珠江三角洲总采砂量约 11.03 亿 m^3 ,相当于河道 100 年左右的自然淤积量;且受近年经济快速发展的影响,整体采砂规模仍未有明显下降趋势,2003 年河道调查采砂量仍高达 7290 万 m^3 。如此大规模的河床采砂使得主要水道的水沙条件和河床冲淤演变趋势都出现了明显的变化,且这种改变已远远超过并涵盖了同期河流自然演变的程度,其主要影响包括:河道由总体缓慢淤积为主转变为总体快速侵蚀为主;河床普遍下切,河槽容积增大;河床挖深不均衡;河床过水断面窄深发展;床沙普遍细化与严重亏损;同流量水位明显下降;水面比降沿程波动;网河水道及口门分流比发生变化;泄洪能力与进潮量增大,咸水入侵加剧,严重影响取水供水安全。

大规模人工采砂引起河床普遍大幅度下切,水位出现明显下降趋势,对取水供水、咸潮防护、生态环境、堤坝安全、航运、防洪灌溉等方面产生了较大影响。如水位下降堤脚坡度加大影响堤防的安全,桥墩基础出露影响桥梁安全,枯水季节取水口取不到水致使抽水工程失效,咸潮入侵加剧

影响取水水质以及航道部门沿用的通航设计水位已普遍不再适用等。此外，枯水位的下降还导致枯季径潮流动力比发生变化，对河道的演变也造成了一定的影响。鉴于目前采砂规模仍然过大以及可能引起的水资源安全和不可修复的生态环境伤害，而相关研究仍无法指导不断变化的采砂活动和对采砂河道作实时科学监控及对河流环境的响应作科学预报，因此极有必要对人工河床采砂所涉及的各方面问题进行深入研究，特别要对水位变化的整体情况、原因及变化趋势等进行系统的深入研究。

本书着重探索珠江三角洲网河低水位变化规律和趋势，共分为6章。第1章为绪论，主要介绍研究的范围、目的与意义及国内外主要研究进展；第2章介绍了珠江三角洲水沙动力特征；第3章给出了人工采砂及其影响下的河床演变；第4章通过建立珠江三角洲网河水动力模型分析河床采砂对珠江水系水动力特性的影响；第5章通过建立西江、北江下游及东江下游重点河段二维水沙数学模型，研究网河区的水位变化引起上游河段的“溯源冲刷”规律；第6章预测珠江三角洲主要水道低水位变化趋势。

本书第1章由陆永军、季荣耀、贾良文编写；第2章由莫思平、季荣耀编写；第3章由季荣耀、罗宪林编写；第4章由韩龙喜、陆永军编写；第5章由陆永军、左利钦、季荣耀编写；第6章由陆永军、莫思平、左利钦、季荣耀编写。本书由南京水利科学研究院罗肇森教授及河海大学周耀庭教授审阅。参加研讨的还有谢凌峰教授、辛文杰教授、张幸农教授等。

本书试图专门讨论珠江三角洲网河低水位变化规律及趋势，收集了大量第一手原型观测及调查资料，参考的文献也较多，书中难免存在谬误之处，敬请读者见谅和指正。

本书是水文水资源与水利工程科学国家重点实验室和港口航道泥沙工程交通行业重点实验室成果之一。

本书由南京水利科学研究院出版基金资助出版，谨此致谢。

作者

2008年5月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究的范围、目的与意义	1
1.2 国内外主要研究进展	3
1.2.1 水位变化及原因分析的相关研究	3
1.2.2 珠江三角洲 20 世纪 90 年代前的水位研究	5
1.2.3 珠江三角洲近期水沙过程变异研究	5
1.2.4 国内外河床采砂效应研究进展	8
1.2.5 当前研究中存在的问题	9
参考文献	10
第 2 章 珠江三角洲水沙动力特征	14
2.1 珠江三角洲水系组成	14
2.1.1 珠江三角洲网河水系	14
2.1.2 珠江口	16
2.2 流域来水来沙的时空分配	17
2.2.1 季节变化	17
2.2.2 年际变化	19
2.2.3 水位—流量关系变化	22
2.2.4 洪水特征	23
2.2.5 网河水道与口门的分水分沙	25
2.3 珠江三角洲潮汐动力特征	28
2.3.1 潮汐特性	28
2.3.2 潮位变化	31
2.3.3 潮区界、潮流界和咸水界的时空变化	39
2.4 珠江口水沙动力特征	42
2.4.1 潮汐与潮流	42

2.4.2 波浪概况	44
2.4.3 泥沙运动特征	45
参考文献	46
第3章 人工采砂及其影响下的河床演变	48
3.1 人工采砂的历史与现状调查	49
3.1.1 珠江三角洲人工采砂的发展概况	49
3.1.2 河道采砂的现场调查	53
3.2 人工采砂引起的河床冲淤变化	57
3.2.1 西江干流主要水道冲淤变化	58
3.2.2 北江干流主要水道冲淤变化	65
3.2.3 东江干流主要水道冲淤变化	72
3.2.4 三角洲主要叉道冲淤变化	78
3.2.5 珠江三角洲采砂量总统计	81
3.3 河床采砂引起的河床变形与水文变异	85
3.3.1 河床变形	85
3.3.2 动力变化	88
参考文献	95
第4章 网河水动力数学模型研究	98
4.1 网河水动力数学模型	98
4.1.1 网河水动力学模型研究概况	98
4.1.2 网河三级联解法水动力模型	99
4.2 珠江三角洲网河水动力数学模型	101
4.2.1 西、北江网河水动力学模型	102
4.2.2 东江网河水动力学模型	104
4.3 采砂对珠江水系水动力特性影响分析	106
4.3.1 采砂对西北江水动力学特性影响	108
4.3.2 采砂对东江水动力学特性影响	124
4.3.3 采砂引起的水动力变化	129
参考文献	131
第5章 重点河段二维水沙数学模型研究	133
5.1 水沙数学模型研究进展	133
5.1.1 一维水沙数学模型	133

5.1.2	二维水沙数学模型	135
5.2	二维水沙数学模型	139
5.2.1	控制方程	139
5.2.2	数值计算格式	144
5.2.3	边界条件及动边界技术	147
5.2.4	计算方法	147
5.2.5	几个重要的关系式及关键问题的处理	148
5.3	西江中游梧州—肇庆河段水沙验证及航道整治措施	151
5.3.1	河道概况及水文泥沙特征	151
5.3.2	水流及河床变形的验证计算	153
5.3.3	界首滩河段航道整治措施	159
5.3.4	三滩河段航道整治措施	161
5.4	北江飞来峡—三水河段水沙及河床变形的数值模拟	163
5.4.1	河道概况及水沙特征	163
5.4.2	水流及河床变形的验证计算	164
5.4.3	人工采砂引起飞来峡—三水段的溯源冲刷及水位下降	172
5.5	东江河源—惠州河段水沙及河床变形的数值模拟	177
5.5.1	河道概况及水文泥沙特征	177
5.5.2	水流及河床变形的验证计算	178
5.5.3	人工采砂引起河源—惠阳河段的溯源冲刷及水位下降	184
5.6	东江惠州—石龙河段水沙及河床变形的数值模拟	188
5.6.1	河道概况及水文泥沙特征	188
5.6.2	水流及河床变形的验证计算	189
5.6.3	人工采砂及水利枢纽建设引起的溯源冲刷及水位下降	194
	参考文献	197

第6章 主要水道低水位变化趋势研究

6.1	设计低水位的计算方法	200
6.1.1	感潮河段与内陆河段的界定	200
6.1.2	设计低水位的确定及其衔接	202
6.1.3	内陆河段综合历时曲线法与保证率频率法的比较与选用	204
6.2	西江下游主要河段低水位变化趋势	205
6.2.1	高要站河段	205

6.2.2	马口站河段	206
6.2.3	甘竹站河段	208
6.2.4	天河站河段	209
6.2.5	江门站河段	209
6.3	北江下游主要河段低水位变化趋势	210
6.3.1	横石站河段	210
6.3.2	清远站河段	211
6.3.3	石角站河段	213
6.3.4	三水站河段	214
6.3.5	大塘—黄塘河段	216
6.4	东江中下游主要河段低水位变化趋势	216
6.4.1	河源站河段	216
6.4.2	观音阁站河段	218
6.4.3	岭下站河段	219
6.4.4	惠阳站河段	219
6.4.5	博罗站河段	221
6.4.6	樊屋站河段	222
6.4.7	石龙站河段	223
6.4.8	泗盛围站河段	224
6.5	网河水道低水位变化趋势	224
6.5.1	容桂水道（南华站、容奇站）	224
6.5.2	鸡鸦水道（马鞍山）	226
6.5.3	小榄水道（小榄站）	226
6.5.4	虎跳门水道（横山站）	226
6.5.5	潭江水道（石嘴站）	227
6.5.6	东平水道（紫洞站、五斗站）	227
6.5.7	顺德水道（三多站）	228
6.5.8	洪奇沥水道（板沙尾站）	229
6.5.9	潭州水道（澜石站）	229
6.5.10	前线水道（老鸦岗站）	229
6.6	八大口门低水位变化趋势	230
6.6.1	崖门（黄冲站）	230
6.6.2	虎跳门（西炮台站）	231

6.6.3 鸡啼门（黄金站）	231
6.6.4 磨刀门（灯笼山站）	232
6.6.5 横门（横门站）	232
6.6.6 洪奇门（万顷沙西站）	233
6.6.7 蕉门（南沙站）	233
6.6.8 虎门（三沙口站、泗盛围站）	233
6.7 低水位变化的时空分布规律	234
参考文献	239

第 1 章 绪论

1.1 研究的范围、目的与意义

珠江是我国南方最大的河流，它是西江、北江、东江和注入三角洲诸河 4 个水系的总称，跨越中国的滇、黔、桂、粤、湘、赣 6 省（自治区）和越南的东北部，流域总面积 453690km^2 ^[1]。西江是珠江水系的主干，西江、北江在三水市思贤滘、东江在东莞市石龙镇附近汇入三角洲平原地区，后经虎门、蕉门、洪奇沥、横门、磨刀门、鸡啼门、虎跳门和崖门等八大口门注入南海（图 1.1）。珠

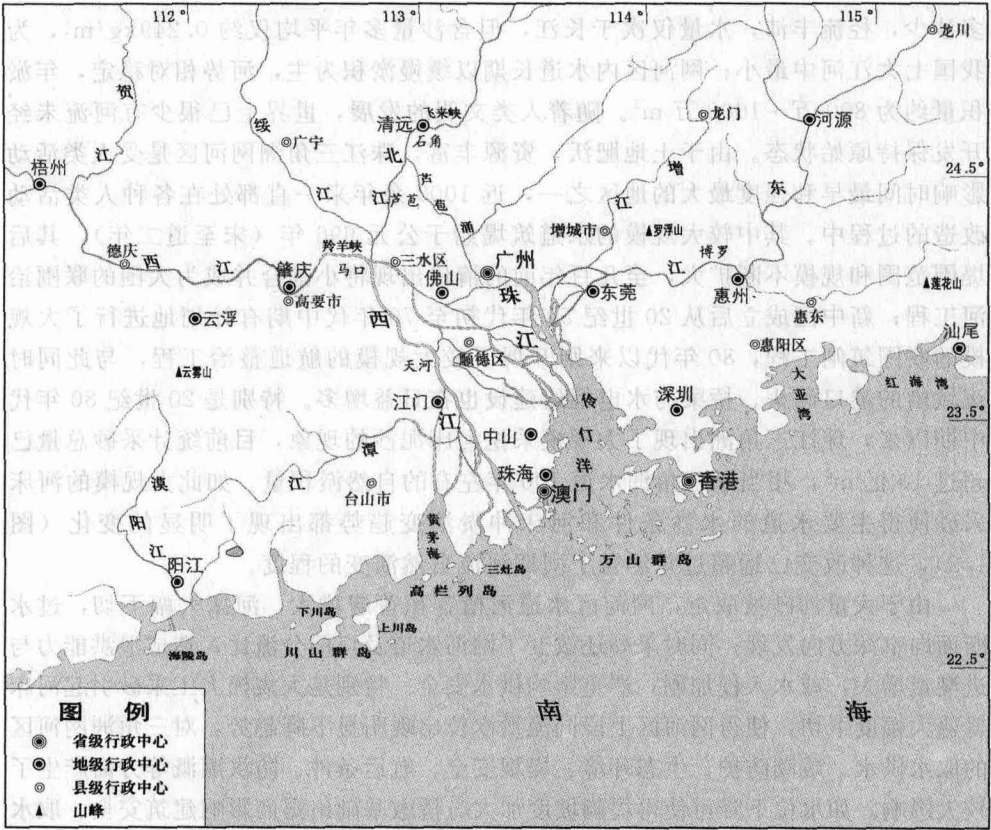


图 1.1 珠江三角洲主要水道低水位研究范围

江三角洲是中国第二大三角洲,居亚洲三角洲的第6位,世界三角洲的第15位;它是由西江、北江、东江及潭江、绥江、流溪河、增江等在珠江口古海湾内堆积而成的复合型三角洲。珠江三角洲口门的界线明确,但对上界的理解则由于研究角度或目的不同而有所差异^[2,3]。习惯上把思贤滘、广州、石龙一线以南至各河口口门一带的冲积平原网河地区以及流入该地区的流溪河、增江、沙河、高明河和潭江等河流划为珠江三角洲的范围;土地总面积 26820km²,其中网河区 9750km²,诸河占 17070km²^[1]。

西江、北江从思贤滘以下,东江从石龙以下即进入珠江三角洲网河区。网河区内大小水道百余条,纵横交错,密如蛛网,水道总长 1600 余 km,网河密度高达 0.68~1.07km/km²^[1]。网河区下游通过八大口门与南中国海沟通,因而其水流不仅受上游径流作用,还受下游潮汐影响,而且汊道水流相互影响,加之人类活动的影响,故水流特性异常复杂,堪称世界上最复杂的网河体系之一。珠江水多沙少,径流丰沛,水量仅次于长江,但含沙量多年平均仅约 0.249kg/m³,为我国七大江河中最小;网河区内水道长期以缓慢淤积为主,河势相对稳定,年淤积量约为 800 万~1000 万 m³。随着人类文明的发展,世界上已很少有河流未经开发保持原始状态。由于土地肥沃,资源丰富,珠江三角洲网河区是受人类活动影响时间最早和强度最大的地区之一,近 1000 余年来一直都处在各种人类活动改造的过程中。其中较大规模的水道筑堤始于公元 996 年(宋至道二年),其后堤围范围和规模不断扩大,至几百年前的清代出现将小围合并成为大围的联围治河工程;新中国成立后从 20 世纪 50 年代初至 70 年代中期有计划地进行了大规模的联围筑闸工程,80 年代以来则开展了较大规模的航道整治工程,与此同时流域内的港口码头、桥梁与水电枢纽建设也在日益增多。特别是 20 世纪 80 年代中期以来,珠江三角洲出现了大规模采挖河床泥沙的现象,目前统计采砂总量已超过 10 亿 m³,相当于三角洲水道 100 年左右的自然淤积量。如此大规模的河床采砂使得主要水道的水沙条件和河床冲淤演变趋势都出现了明显的变化(图 1.2),这种改变已远超过并涵盖了同期河流自然演变的程度。

由于大量河砂被取走,网河区水道河槽容积普遍增大,河床大幅下切,过水断面朝向窄深方向发展;同时采砂还改变了网河水道及口门分流比,造成泄洪能力与进潮量增大,咸水入侵加剧,严重影响供水安全。特别是大规模人工采砂引起河床普遍大幅度下切,使得网河区上段同流量水位出现明显下降趋势,对三角洲网河区的取水供水、咸潮防护、生态环境、堤坝安全、航运条件、防洪灌溉等方面产生了较大影响。如水位下降可使得堤脚坡度加大与桥墩基础出露而影响建筑安全、取水口枯季出露导致抽水工程失效、纳潮量增加引起咸潮入侵加剧而影响取水水质以及

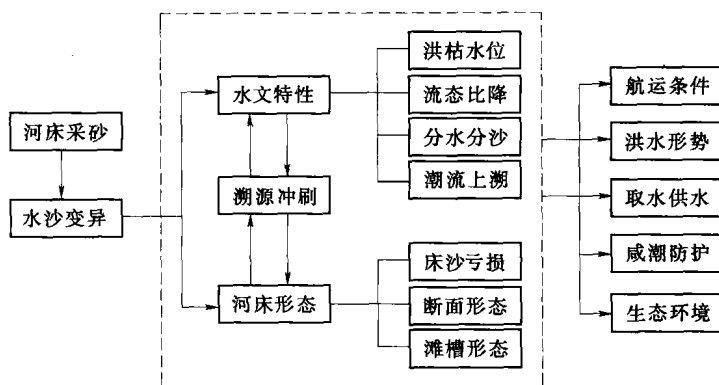


图 1.2 人工采砂作用下的河道水沙过程变异

航道部门沿用的通航设计水位已普遍不再适用等。鉴于目前采砂规模仍然过大，且河道本身有一定的天然调节能力，采砂产生的诸多影响具有一定的滞后效应，但相关研究仍无法指导不断变化的采砂活动和对采砂河道做实时科学监控及对河流水土沙环境的响应做科学预报，因此极有必要对人工采砂引起的水沙过程变异开展研究，特别要对三角洲网河区水位变化的整体情况、原因及变化趋势等进行系统深入的探讨，相关研究对有关部门具有重要的应用价值和指导意义。

本书着重探索珠江三角洲主要水道低水位变化规律和趋势，包括：①主要水道人工采砂调查及其影响下的河床演变；②人工采砂引起低水位变化的一维网河水动力数学模型研究；③重点河段人工采砂引起的溯源冲刷及水位下降的二维水土沙数学模型研究；④主要水道低水位的时空变化规律与趋势。具体研究范围是指以西江梧州、北江飞来峡、东江河源为上界，八大口门为下界的广大网河区（图 1.1）。作为珠江三角洲主要水道低水位变化较全面性和系统性的最新研究，该成果对三角洲现代河床演变研究具有一定的理论意义，与社会经济发展有着紧密的联系，对合理开发利用航道资源更具有直接的应用价值；并且对珠江三角洲河道治理、取水供水、防洪灌溉、防暴雨潮和咸害、水资源保护、生态环境保护、城市建设等都具有一定的参考价值。

1.2 国内外主要研究进展

1.2.1 水位变化及原因分析的相关研究

河道及河口三角洲地区的水位变化是复杂的，受多种因素的影响，各影响因素互相作用，互为制约。影响水位变化的主要因素可概括为：

(1) 河道径流量。河道径流量大小与上游径流量、河道分流比的变化、水利枢纽建设、联围筑闸以及河口延伸快慢有较大的关系。

(2) 外海潮汐影响。潮汐影响因素受天文、气象和河口地形的影响。

(3) 河道水下地形变化。河道水下地形变化包括河床自然冲淤、人工河床采砂、航道整治工程、桥梁码头建设、岸滩开发及河口自然延伸的变化。

(4) 海陆相对升降运动。包括海平面相对上升和陆地相对沉降。

针对水位变化的趋势、原因和带来的影响,国内外不少专家学者均做过研究和探讨。黎子浩^[5]认为20世纪50年代末至70年代初,珠江三角洲联围筑闸初期使河道水位迅速壅高,抬高值一般为0.20~0.30m,最高可达0.76m;虽然由于河道的天然调节作用水位会先抬升后回降,但总的趋势是上升的,上升率为1~3mm/a。任美镔^[6]指出黄河三角洲、长江三角洲和珠江三角洲由于地面沉降等原因,过去30年的相对海平面上升率远大于全球或全国海平面上升率(约1.5mm/a),估计2030年相对海平面上升量老黄河三角洲为60cm,现代黄河三角洲为30~35cm,长江三角洲为30~40cm,珠江三角洲为20~25cm。杨清书等^[7]分析得出韩江三角洲1964~1988年的潮位变化呈上升趋势,平均上升率2.0mm/a。陈时若等^[8]分析了葛洲坝水利枢纽对宜昌水位的影响,得出了水库蓄水后宜昌河段河床下切、水位下降的初步结论。卢金友等^[9]认为近几十年来宜昌—城陵矶河段沿程各站水位均有不同程度的降低,下荆江裁弯工程和葛洲坝水利枢纽的兴建是引起水位降低的主要因素。张祎等^[10]指出葛洲坝水库蓄水运用后,坝前水位抬高,库区受回水顶托,沿程同流量水位亦相应抬高,同时由于不同入库流量的天然水面高程及坡降不同,库区水位抬高和回水影响范围差别较大。李云中^[11]指出长江宜昌站低水位的演变呈下降趋势,主要原因是河道采砂及水库拦沙引起下游河床冲刷,从1973年初至1998年初4000m³/s流量时相应水位下降了1.11m。陈新玉等^[12]对1952~2001年长江九江站水位变化规律进行了分析,发现降水、温度的变化是造成九江站年最高水位变化的两个重要因素。侯志强等^[13]以牡丹江入汇松花江为例,借助神经网络处理非线性问题的优势,研究了支流入汇对干流水位变化的影响。

河道高水位的变化与防洪安全密切相关,也一直是水位研究所关注的热点。黄兰心^[14]认为湖泊大面积围垦降低调洪能力、厄尔尼诺等气象异常变化引起长江流域持续大暴雨、风暴潮引起河口潮位抬高顶托洪水等是20世纪90年代以来长江下游干流洪水偏高的主要原因。Zhang Qiang等^[15]通过研究也指出,过去130年以来,长江流域的年平均高水位和最高水位也一直呈增高的趋势。美国河流洪水频率委员会指出^[16],很少有关人类活动对洪水量级及其频率影响事件的

记录,而美国 Mississippi 河 1993 年、1995 年、2001 年洪水,Red 河 1997 年洪水以及 Tar 河 1999 年洪水的重现期都受到人类活动影响而变异。Printer 等^[17]对 Mississippi 河结合水位变化趋势进行洪水频率重新计算表明,St. Louis 站 1993 年洪峰重现期小于 100 年一遇,远低于先前的一些计算结果。

1.2.2 珠江三角洲 20 世纪 90 年代前的水位研究

珠江三角洲是广东省的政治、经济、文化中心,也是我国经济最发达的地区之一,其河道纵横,地势低平,绝大部分地区海拔高度不到 1m,大约有 13% 的土地在海平面以下。由于河床比降平缓,汛期洪水峰高量大、历时长,洪水出现频繁;枯水期则咸水倒灌,咸潮入侵不断加剧。水位变化及其影响直接制约着该地区的经济发展,有关三角洲网河区的水位变化和珠江口的海平面变化更引人注目,成为众多学者研究的热点。

李春初等^[18]指出了珠江三角洲网河区水位横向差异造成中部“高压区”、两侧“低压区”,水流由西江、北江干流水道向两侧分流,形成和保持横向汉河的动力机制。张声才^[19]将广州浮标厂站 1920~1990 年各年代与其相应的最高水位值进行相关回归分析,得出其水位上升速率为 11mm/a 的结论。曾昭璇等^[20]对珠江三角洲紫洞、江门等 28 个水文站的年平均水位进行分析,认为该区平均水位上升量为 2.028mm/a,洪潮水位也呈同样上升趋势。范锦春^[21]根据西江干流河口延伸的速率(400 年前位于竹洲头,距现代河口 30km,100 年前位于坦洲,距现代河口 10km)和目前西江 20 年一遇洪水位与口门平均高潮位的差值(竹洲头为 1.3m,坦洲为 0.3m),估算西江干流由于河口延伸及筑堤影响洪水位抬升的年平均值为 0.3cm 左右。沈汉堃等^[22]也认为珠江河口每年向外延伸 80~130m,西江干流洪潮水位因河口延伸的影响,年平均上升约 0.3cm,加上平原区因受地面沉降、联围筑闸、河道淤积的影响,洪潮水位的变化将呈上升的趋势。王廷华^[23]也认为珠江三角洲网河区各水道水位都不同程度地存在逐年上升的现象。杨清书等^[24]利用 20 个验潮站的资料,得出珠江三角洲水位变化总体呈上升趋势,1959~1988 年间的上升率在 0.3~7.3mm/a 范围内,平均为 3.1mm/a。

1.2.3 珠江三角洲近期水沙过程变异研究

三角洲网河区水位的长期变化趋势,是口外海平面变化与河道冲淤变化等一系列演变特性的综合反映。水位变化影响河床演变,而河床的变化,又反过来影响网河区的水位变化。一般而言,网河区的洪潮水位都会随着河口向海延伸的过程而逐步提高。研究结果表明,珠江三角洲河口区感潮河段的洪潮水位长期以来也有逐步上升的趋势。特别是 20 世纪 50~70 年代初期,大规模的联围筑闸、控

支强干的水利化措施,以及口门的滩涂开发与利用,加速了河口的延伸,促使该地区水位上升。然而,自20世纪80年代末期以来,珠江三角洲北江、西江和东江主要河道的水文特性与河床演变趋势先后发生了新的变化,河床的大幅下切引起同流量级的水位明显下降^[4]。马口、三水和博罗站多年的水位流量关系如图1.3所示,可见自20世纪90年代以来,各站的水位流量关系曲线出现了明显的右偏趋势;其中,1995~2005年马口站 $15000\text{m}^3/\text{s}$ 流量下的水位从3.8m(珠江基面,后同)下降至2.2m,1990~2005年三水站 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 流量下的水位从3.9m下降至1.2m,1995~2005年博罗站 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 流量下的水位从6.6m下降至3.4m,三站同流量下的水位分别下降了1.6m、2.7m和3.2m。

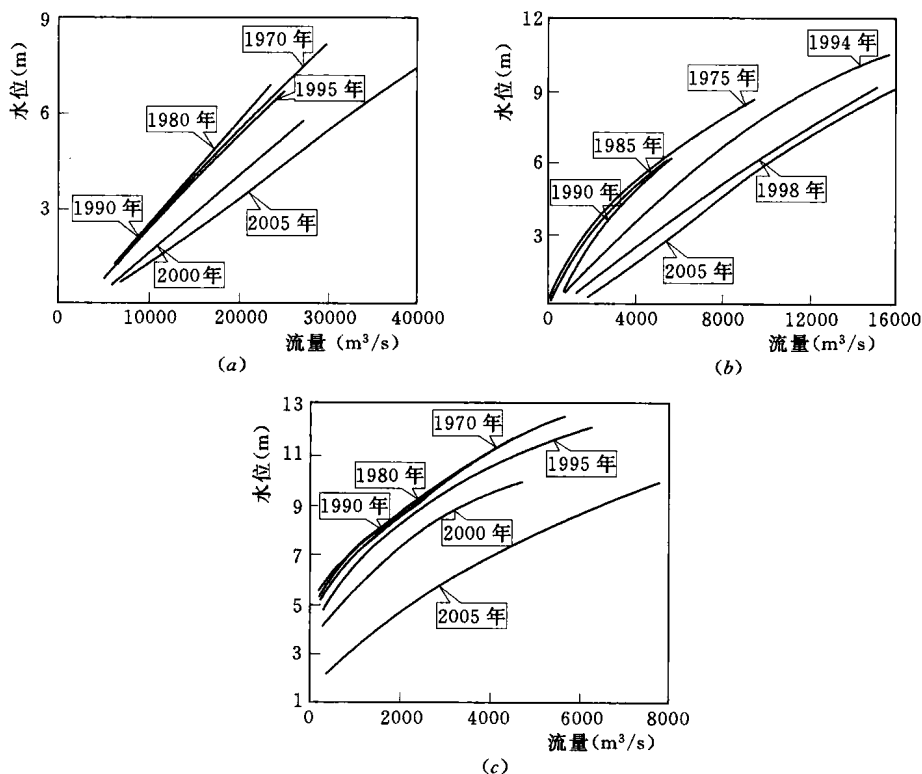


图 1.3 珠江三角洲主要控制站水位—流量关系变化图

(a) 马口站; (b) 三水站; (c) 博罗站

相关研究表明,20世纪80年代中期伴随珠江三角洲大规模城市化建设而出现的大规模河床人工采砂,是导致珠江三角洲河道水文特性与河床演变发生变异

的主要原因。由于早期各方面的认识不足,加上巨大经济利益的驱动,珠江三角洲主要水道曾长期处于一种无控制的、盲目无序和超量无度的采砂态势。河道人工采砂量巨大,主要水道的河床演变发生了质的变化,对河道河床形态、水文动力以及防洪挡潮、航运等方面产生重要影响。其中最显著的是河道河床普遍大幅下切,水位出现明显下降。水位下降对航道航运、防洪灌溉、取水供水、咸潮防护、堤坝安全、生态环境等都产生较大的影响,特别是人工采砂导致堤围崩塌、桥墩基础出露影响桥梁安全、枯季取水口抽水工程失效、咸潮入侵加剧影响了水质以及航道部门沿用的通航设计水位不再适用等负面效应,河道人工采砂及其产生的各种效应问题已引起社会和众多学者的广泛关注。概括起来,有关珠江三角洲河床采砂问题的研究主要集中在河床演变对人工采砂的响应、河床采砂引起的水文特性变异、采砂利弊分析及其科学管理对策等3个方面。

1.2.3.1 河床演变对人工采砂的响应

在某些河流或局部河段,近年来的大规模人工采砂已成为影响河流水沙条件与河床边界条件的重要因素,而在其作用下的河流再造床过程及变化规律的研究,也成为现代河床演变学的一个重要研究内容。张瑞杭等^[25]于1996年首先对东江下游河床采砂引起河床下降的问题和对策进行了探讨,其后罗章仁、罗宪林和杨清书等^[4,26-29]围绕河床采砂问题开展了长期的跟踪调查与专项研究,并就其影响下的河床变形与冲淤变化、床沙细化、西北江分水分沙变化等问题进行了较深入和系统的分析。研究表明,近20多年来,在人工河床采砂的影响下,珠江三角洲网河区主要水道由总体缓慢淤积为主转变为总体快速侵蚀为主,河床普遍大幅下切,河槽容积与水深普遍增大,河床过水断面向窄深发展,床沙普遍存在细化与严重亏损等现象。黄镇国等^[30]指出,1987~1999年北江和东四口门分水分沙比的增大加速了伶仃洋的淤积,其年均淤积量、水域面积缩减、滩涂的年均自然增长率分别为磨刀门的2.4倍、1.7倍和6.4倍。

1.2.3.2 河床采砂引起的水文特性变异

河床采砂引起的水文特性变异主要包括河床大幅下切造成同流量水位明显下降,特别是低水位下降严重;水道的泄洪能力和纳潮量增大,不仅使得洪水水位下降,还导致河口段咸潮入侵现象加剧;不同河段、河道内采砂的不均衡使得河道出现水位沿程波动、洪水位局部壅高、流态紊乱等现象,同时还引起叉道分水分沙比的改变,进而影响河床的冲淤演变。陈晓宏等^[31]对珠江三角洲网河区水文变异进行了初步研究,周作付等^[32,33]分析了采砂不均衡引起网河区洪水位局部壅高的异常现象,陆永军等、韩龙喜等、贾良文等^[34-36]则对采砂引起的网河区低水位和流量变化进行了探讨与预测。成忠理等^[37]指出,受河床采砂影响,西