



中山大学地理学

80年

纪念丛书

中山大学地理学 三十年论文选集

「水文水资源卷」

中山大学地理科学与规划学院编
水资源与环境系 主编

中國評論學術出版社



中山大学地理学 三十年论文选集

「水文水资源卷」

中山大学地理科学与规划学院 编

水资源与环境系 主编

中國評論學術出版社

中山大学地理学三十年论文选集——水文水资源卷

编者：中山大学地理科学与规划学院 编
水资源与环境系 主编

责任编辑：郭伟民 李友志

封面设计：张丽娟

责任印制：涵丰工作室

出版发行：中国评论学术出版社有限公司

China Review Academic Publishers Limited

香港湾仔告士打道151号国卫中心16楼1602室

Rm.1602,16/F,AXA Centre,151 Gloucester Road,

Wanchai,Hong Kong

电话TEL: (852) 28816391

传真FAX: (852) 25042131

电邮E-mail: chinareview@chinareviewnews.com

网址: <http://www.chinareviewnews.com>

承印：广东天鑫源印刷有限责任公司

开本：1/16

版次：2009年11月初版

书号：ISBN 978-988-18547-9-7

定价：人民币36元

版权所有·翻印必究

中山大学地理学 80 周年纪念丛书

编委会

顾 问：许学强

主 编：保继刚 张元勋

副主编：刘 琦 司徒尚纪 董玉祥

编 委：(按姓氏笔画排名)

司徒尚纪 刘 琦 刘希林 刘祖发 朱 竑

许学强 张元勋 杨清书 陈俊合 陈晓宏

陈晓翔 周春山 保继刚 郝登峰 游 燕

董玉祥 薛德升

总 序

远离京城，偏处一隅，但毗邻港澳的地理区位，使得中山大学地理学的发展面临优劣机威并存的态势。优势在于“敢为天下先”务实作风的发扬：思想解放，学术自由，没有太多的框框限制，更容易承接学术研究中之“西风东渐”，以及与海外的合作；劣势在于众所周知的原因，在各种国家级纵向资源的争取方面处于被动。特别是在闭关锁国的那个时代，面向海外的地理区位非但没有发展为优势，这里却成为真正远离京城的南部边陲；机会在于广东作为中国改革开放的最前沿和与世界接轨的“窗口”，新思潮、新观念、新问题都最先从这里孕育和萌发，也因而促生了学术的创新；而威胁在于“和平时期”的人才北上和“小富即安”的文化氛围带给我们的学术研究上所必需的持续战斗力的缺乏。

回首中山大学地理学发展业已走过的 80 个岁月，“创新与发展”始终贯穿着我们所走过的每一步：以创新求发展，以发展促创新……

1929 年中山大学筹建地理系时，就聘请了来自德国的地理学者 W. 克勒脱纳（Wilhelm Credner）为首任系主任，并将地理系归口于理科。在强化地理学野外调查的德国地理学体系和人才培养模式的引领下，早期中山大学地理系的创新就培养了以林超、黄秉维、周廷儒、周立三、郑度等杰出学者为代表的地理学家群体；

1960 年代初，中山大学自然地理出现跨越式发展，化学地理、水化学和水热平衡研究异军突起，从过去区域描述性研究进入自然地理结构和过

程解释的研究，使中山大学自然地理学翘楚全国，并为后来环境地学的发展奠定了学科基础。

1990年之后，中山大学人文地理学得到快速、恢复性的发展，城市地理和旅游地理研究相继成为全国重要的中心之一。一方面得益于广东社会经济快速发展所出现的新问题的推动，但更重要的原因是研究思维和研究观念的变革，以及与香港地理界的融合和互动，使我们尽早地在研究中实现了某些方面与西方人文地理研究的耦合。

2002年，在全国各大专院校地理系纷纷改名为“城市与资源学系”、“城市与环境学系”、“资源与环境学系”等的情况下，中山大学将单一的地理学系升格为“地理科学与规划学院”。在全国较早地、坚定地举起了“地理学”的大旗。在过去的7年间，人文地理学国家重点学科顺利通过评估；地图学与地理信息系统学科成为国家重点培育学科；以水资源研究为代表的自然地理学取得重大进步；全面完成教师的新老交替工程；累计科研经费达到2亿多元，等等……

或许，经过若干年之后回过头来评估我们这一段历史，中山大学地理学人为中国地理学最大的贡献不是课题经费的多少、不是重点学科的保持与增长、不是发表论文的数量，而是在中国地理学“经世致用”、“以任务带学科”的氛围下，在强调为社会服务的同时，回归学术本身的轨迹。开始重视研究的目的是为了发现，评估研究的成果标准是知识贡献和学术的价值，也就是为知识的创新与积累，以及为文明的传承留下了些什么。

80年的历史轮回反复证明，中山大学的地理学所走过的是勇于创新、善于创新，在创新中发展，在创新中进步的道路。

80年之后的中山大学地理学人一定会秉承传统，在不断创新中求得更大的发展，为中国及世界地理学的发展作出自己卓越之贡献。

中山大学地理科学与规划学院院长

保继刚

目 录

总 序	保继刚
珠江三角洲网河区水文与地貌特征变异及其成因分析	陈晓宏 陈永勤(1)
珠江三角洲河网区水位特征空间变异性研究	陈晓宏 时钟 张蕾(16)
黄河下流域で起こっている水環境問題について	陳建耀 福蔦義宏 唐常源 谷口真人(29)
多目标分析模型在水资源承载力研究中的应用	陈俊合 黄春苑(50)
新一代流域洪水预报理论与实践	陈洋波(59)
隔河岩和高坝洲梯级水电站水库联合调度方案研究	陈洋波 胡嘉琪(71)
近岸带波高与周期分布的核密度估计	陈子燊 李志龙 冯砚青 李志强 常瑞莲(83)
粤东后江湾近岸带风、浪、流联合作用下的泥沙输运	陈子燊 冯砚青 李志强 李志龙(94)
MULTIFRACTAL ANALYSIS OF MEASURE REPRESENTATION OF FLOOD/ DROUGHT GRADE SERIES IN THE YANGTZE DELTA, CHINA, DURING THE PAST MILLENNIUM AND THEIR FRACTAL MODEL SIMULATION	Qiang Zhang Zu - guo Yu Chong - Yu Xu(109)
LTISCALE VARIABILITY OF SEDIMENT LOAD AND STREAMFLOW OF THE LOWER YANGTZE RIVER BASIN: POSSIBLE CAUSES AND IMPLICATIONS	Qiang Zhang Chong - Yu Xu V. P. Singh(127)

- MODELING OF WATER AVAILABILITY RESPONSE TO CLIMATE CHANGE:
A CASE STUDY OF DONGJIANG (EAST RIVER) BASIN, SOUTH
CHINA TAO JIANG YONGQIN DAVID CHEN XIAOHONG (151)
- 基于可持续发展的佛山市节约用水研究
..... 刘祖发 江涛 陈晓宏 李艳 刘德地 王亚 叶锦昭 (164)
- INVESTIGATION OF GROUNDWATER POLLUTION AND TS PREVENTION
I MEASURES IN ZHANJIANG CITY, GUANGDONG PROVINCE
..... Zufa LIU Tao JIANG Xiaohong CHEN & Luansheng SHI (175)
- CONTENT CHANGES OF RARE EARTH ELEMENTS IN SUSPENDED
SEDIMENTS OF THE ZENGJIANG RIVER, CHINA
..... ZHEN TAO, QUANZHOU GAO, XIAOHONG CHEN (185)
- INSTITUTIONAL REFORM OF WATER RESOURCES
MANAGEMENT IN CHINA
... LIU MEINAN, LIU ZUFA, JIANG TAO, CHEN XIAOHONG, YU HAIXIA (197)
- 采用分水源比较方法减小水文模拟不确定性对策研究 林凯荣 (207)
- 基于 COPULA - GLUE 的水文模型参数不确定性研究
..... 林凯荣 陈晓宏 江涛 (216)
- 南方季节性缺水地区水资源合理配置研究 - 以东江流域为例
..... 刘丙军 陈晓宏 张灵 刘德地 (229)
- 基于协同学原理的流域水资源合理配置模型和方法研究
..... 刘丙军 陈晓宏 (240)
- 基于秩统计量枯期径流时序变点的非参数识别 涂新军 陈晓宏 (252)
- 基于西沃兹信息准则的水文时序方差变点识别 涂新军 陈晓宏 (260)
- CALCULATION OF POLLUTANT FLUX OF QIANTANG RIVER BASED ON ADCP
..... HAIXIA YU & LIQIANG XU (267)
- 泥沙颗粒表面铜离子吸附分布的模拟分析
..... 陈志和 方红卫 陈明洪 (276)

基于协同学原理的流域水资源合理配置模型和方法研究
..... 刘丙军 陈晓宏(240)

基于秩统计量枯期径流时序变点的非参数识别 涂新军 陈晓宏(252)

基于西沃兹信息准则的水文时序方差变点识别 涂新军 陈晓宏(260)

CALCULATION OF POLLUTANT FLUX OF QIANTANG RIVER BASED ON ADCP
..... HAIXIA YU & LIQIANG XU(267)

泥沙颗粒表面铜离子吸附分布的模拟分析
..... 陈志和 方红卫 陈明洪(276)

珠江三角洲网河区水文与地貌特征 变异及其成因分析^①

陈晓宏^② 陈永勤^③

珠江三角洲（图 1）是世界上水系最复杂的三角洲之一，河网密度 0.68 ~ 1.07 km/km²。该地区包括广州、深圳、香港、澳门等 11 个大中城市；常住人口超过万人的城镇 424 座，城镇间平均距离小于 10km。近 20 年来，该区域人口增加了一倍、产值增加了 10 倍以上。以不足 0.5% 的国土，承载全国约 4% 的人口，创造了约 19% 的国内生产总值（含港澳）。但经济社会的高速发展，导致该地区自然环境条件显著变化。已有研究表明^[1,2,3,4]，珠江三角洲网河区水文特征在 1992 年前后发生了变异（图 2）。发达国家经历了百多年的历史演变过程在该地区三、四十年内集中爆发。该网河区大部分河道在 20 世纪 80 年代以前基本冲淤平衡或略有淤积；而 80 年代中后期以后，三角洲上部河床剧烈下切，汇流速度加快；而河口海平面上升，潮流顶托阻水，口门淤积、延伸加剧。联围筑闸导致水流向主河道集中，部分河段冲淤特征倒转，汊河分水分沙比发生变化。三角洲腹

① 本文已在《地理学报》，2002，57（4）上发表。

基金项目：国家自然科学基金项目（49971019） [Foundation Item: National Natural Science Foundation of China, No. 49971019]

② 中山大学水资源与环境研究中心

③ 香港中文大学地理与资源管理系

地水位抬升, 洪涝威胁加剧。

以往人们主要关注气候变化的雨洪效应和水库控制后的径流量改变, 而对综合人类活动影响导致的整个系统水文特征的异变研究不多。Szilagy^[5]发现美国 Republican 河 1977 ~ 1996 年阶段的平均径流深较 1949 ~ 1968 年阶段减少了约 40%, 这一减少不完全是水文气象条件变化的结果, 而主要是由流域内修建水库、农业灌溉、植被改变以及水土保持等综合人类活动作用的结果。美国河流洪水频率委员会^[6]指出“很少有关于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、1995、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异变。Pinter 等^[7]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。珠江流域 1994 年 6 月洪水, 中上游洪峰水位重现期为 50 年一遇, 但其三角洲网河腹地的顺德、番禺洪峰水位重现期超过 200 年, 而口门南沙、万顷沙西高高潮位不超过 5 年一遇, 可见频率极不对应。究其原因, 同样是人类活动导致了腹地洪水特征的异变。本文试图系统提出珠江三角洲网河区的水文与地貌特征变异性, 并探讨其成因, 为该地区以防洪为主要目标的河道综合整治提供科学依据。

1 珠江三角洲网河区水文特征变异

1.1 水位变异

珠江三角洲网河水位数十年来有明显的变化。在 20 世纪 80 年代以前, 由于联围筑闸的作用, 控支强干, 水流归槽, 无论是径流为主的丰水期还是潮流作用明显的枯水期, 网河水位均以上升为主。枯水期虽然部分站的水位在 60 年代略低于 50 年代, 但总趋势从 50 到 80 年代的仍以上升为主, 且低潮位上升明显 (平均水位上升数厘米已经十分显著, 见表 1)。

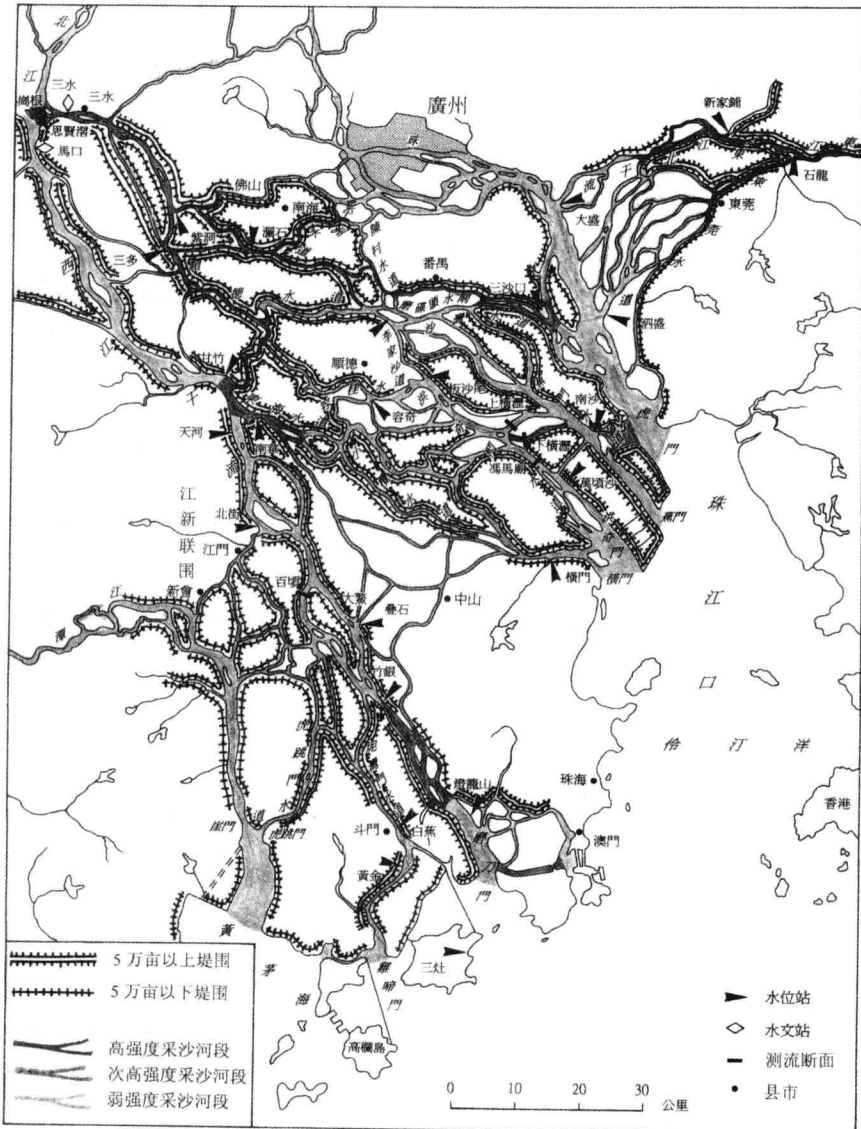


图1 珠江三角洲水系图

Fig. 1 The river network of the Pearl River Delta

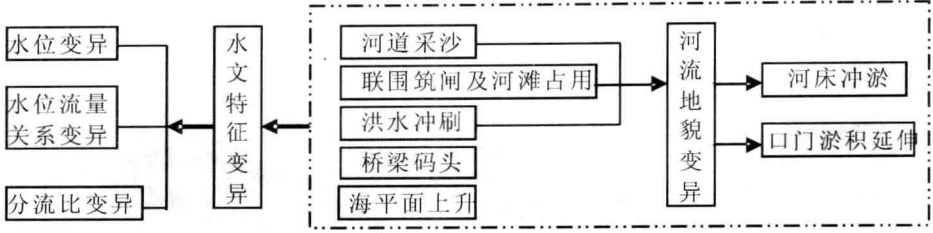


图2 自然与人类活动综合作用下的珠江三角洲网河区水文特征变异

Fig. 2 Hydrological Change in the Pearl River Delta under natural and human activities

表1 部分站20世纪50~80年代枯水期平均高、低潮位比较

Tab. 1 Comparison of high and low levels in dry season among 4 gauges during the 50's to 80's

年代		50	60	70	80
白蕉	高潮位	0.41	0.38	0.44	0.46
	低潮位	-0.58	-0.43	-0.56	-0.57
澜石	高潮位	0.56	0.57	0.64	0.64
	低潮位	-0.41	-0.41	-0.34	-0.33
容奇	高潮位	0.55	0.54	0.61	0.61
	低潮位	-0.43	-0.41	-0.39	-0.36
万顷沙	高潮位	0.56	0.53	0.59	0.59
	低潮位	-0.68	-0.7	-0.66	-0.64

近10年来,珠江三角洲网河区主要控制断面水位则出现两种不同的异变,主要表现在相同流量下,三角洲上端水位大多下降,而三角洲腹地水位抬升。网河区入口北江控制站三水,至1998年,同级流量下水位下降3m左右;7m以下中低水位,同水位级的流量增加50%~100%,约3000~4000m³/s。中低水位时同级流量下的水位差异更为明显。但1994年以后水位差异性减小。三角洲上部三水站以下部分站同级流量下的水位差异如表2所示。

表 2 三水以下部分站同级流量下的水位差异

Tab. 2 Difference of levels under same grade of discharges among 4 gauges

时间	三水站流量 m ³ /s	相应水位/m			
		三水	紫洞	三多	澜石
1992-7-12-22	6020	6.45	4.1	3.89	2.95
1998-7-17-22	6010	4.22	2.74	2.64	1.97
差值/1998-1992		-2.23	-1.36	-1.25	-0.98
1994-6-16-11	10100	7.42	4.89	4.5	3.55
1998-6-21-22	10100	6.14	4.06	3.72	2.89
差值/1998-1994		-1.28	-0.83	-0.78	-0.66
1994-6-17-13	13100	9.01	6.39	5.92	4.91
1998-6-24-23	13300	8.21	6.08	5.75	4.72
差值/1998-1994		-0.8	-0.31	-0.17	-0.19

珠江三角洲腹地至口门水位抬升。以近 30 年顺德历次洪峰水位频率与三水、马口洪峰水位频率相比较,在 90 年代以前,两者大致相当。但 90 年代以来,两者极不相对应。如 1994 年 6 月西、北江出现 50 年一遇洪水,三角洲网河腹地的顺德、番禺水位大多超过 200 年重现期,而口门南沙、万顷沙站高高潮位不超过 5 年一遇,可见频率极不一致(如表 3)。

表 3 “1994.6”洪水顺德河网区典型洪水水位频率

Tab. 3 Frequencies of level in the river net in Shunde for typical flood “1994.6”

位置	水道	站名	水位/m	频率/%	站名	水位/m	频率/%
三角洲上部	平洲水道	澜石	6.44	2	登洲	5.60	5
三角洲上部	陈村水道	碧江	3.56	2	联安	3.00	10
三角洲腹地	顺德水道	三洪奇	4.65	0.5	大洲	3.76	0.5
三角洲腹地	李家沙水道	板沙尾	3.16	0.5			
三角洲中部	东海水道	南华(首部)	6.05	5	鳧洲河(腹地)	5.87	1
三角洲腹地	容桂水道	容奇	3.96	0.5	桂畔海	3.29	1

1.2 水位流量关系变异

近 10 年来珠江三角洲网河区部分过水断面同级流量（水位）下水位（流量）差异显著加大。以三角洲控制站三水为例，其 1954 ~ 1998 年以来的水位 - 流量关系如图 3。可以看出，1992 年以后，三水站水位 - 流量关系明显右移。相同流量下水位有不同程度的下降。流量小于 $11,000\text{m}^3/\text{s}$ 时，水位下降约 3.5m ；介于 $11,000 \sim 13,000\text{m}^3/\text{s}$ 时，下降约 3m ；超出 $13,000\text{m}^3/\text{s}$ 之后，降幅约等于或略小于 2m 。

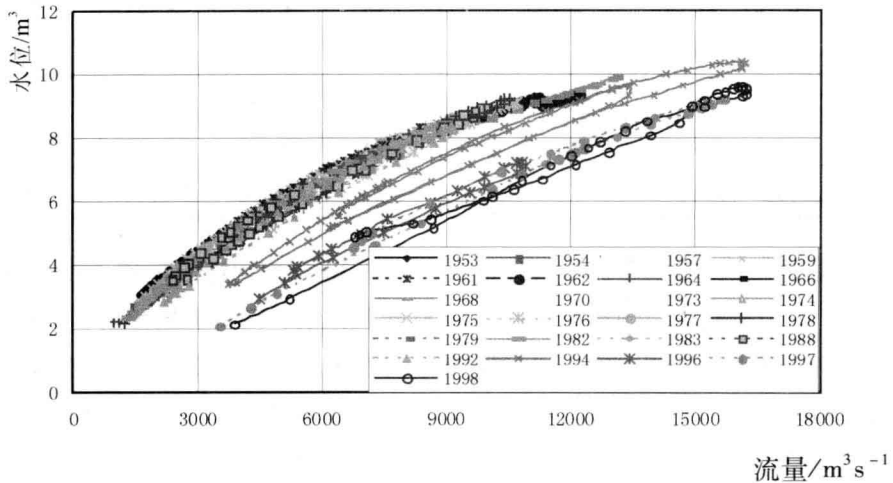


图 3 三水站历年水位 - 流量关系

Fig. 3 Stage - Discharge relations of Sanshui

2.3 分流比变异

近 10 年来，珠江三角洲网河区主要河道流量分配比例也发生了变化。三角洲顶端的西北江分流点马口、三水站分流比见图 4，三水站分流量呈明显增加趋势；中部分流点天河、南华站分流比由 70 年代以前的约 $56.5/43.5$ 变化为 90 年代中期以后的约 $53/47$ ，南华站分流量呈增加趋势。这种变化主要出现在 1993 年以后，西江向北江三角洲分流加大是三角洲腹地水量增加的直接原因。

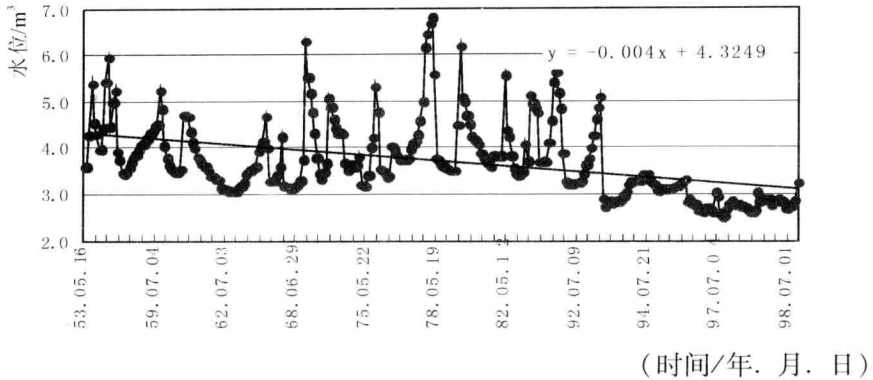


图4 历年马口、三水站分流比变化

Fig. 4 Change of the ratio of flow partition into Sanshui and Makou

2 河流地貌特征变异

2.1 河床特征变异

珠江三角洲网河区大部分河道在 20 世纪 80 年代以前基本冲淤平衡或略有淤积。三角洲控制断面三水、马口站直至 1990 年仍基本维持冲淤平衡, 总体上三水站冲刷 0.03m、马口淤积 0.04m; 80 年代中后期以后, 大部分河段河床下切, 部分河口段淤积。部分断面中泓河床高程及过水断面变化如表 4。西、北江网河区主要水道河床变化如表 5。

表 4 部分断面中泓河床高程及过水断面变化 (高程: 珠江基面 m)

Tab. 4 Changes of river bottom height and flow section area for 6 river sections

站名	马口	岗根	三水	石仔沙	紫洞	澜石
河底高程变化/m	-8.07	-2.91	-5.58	-11.02	-3.69	-6.84
过水断面增加/%	17	32	36	89	21	36
统计年份	1970 - 1999	1976 - 2000	1970 - 1999	1971 - 1999	1971 - 1999	1965 - 1999

表5 西、北江网河区主要水道河床变化

Tab 5 Changes of river bed of the main river reaches in the Pearl River Delta

水系	河段	长度 /km	对比 年份	变化总 深度/m	年均变化 深度/m/a	过水断面 面积差/%	平滩容积差 /10 ⁴ m ³ /%	年均容积 差/10 ⁴ m ³ /a	公里河长容 积差/10 ⁴ m ³ /km/a	冲(浚) 或淤
西	思贤滘-白顷头	87	1991-97	1.04	0.17	14.33	14212.9	2368.8	27.23	冲(浚)
	容桂水道	39	1986-96	2.2	0.22	34.61	4929.3	492.9	12.64	冲(浚)
	小榄水道	28.9	1987-98	1.67	0.15	26.4	1031.6	93.8	3.35	冲(浚)
	虎跳门水道	45	1989-95	0.11	0.02	12.8	213.6	35.6	0.79	冲(浚)
江	潭江水道上段	28.7	1972-92	1.51	0.08	23.5	600.0	30.0	1.05	冲(浚)
	潭江水道下段	26.8	1972-92	-0.22	-0.01	-11.2	-390.0	-19.5	-0.73	淤
北	思贤滘-	25	1984-99	3.9	0.26	24	4730	315.3	12.6	冲(浚)
	紫洞口		1990-94	1.76	0.39	27.3	2094	523.5	20.94	冲(浚)
	平洲水道上段	51	1984-99	0.75	0.05	14	900	60.0	1.18	冲(浚)
	潭洲水道下段	17.3	1992-94	0.69	0.35	15.1	193	96.5	5.58	冲(浚)
江	紫洞-磨蝶头	49	1984-99	2.78	0.19	30	7778	518.5	10.58	冲(浚)
	李家沙水道	10	1996-99	0.32	0.11	8.5	8.24	2.75	0.28	冲(浚)
	沙湾水道	23.4	1984-99	1.44	0.10	17	1436	95.7	4.09	冲(浚)
	洪奇沥上段	15	1984-99	1.50	0.10	20.3	1404	93.6	6.24	冲(浚)
	洪奇沥下段	10	1984-99	-0.84	-0.06	-10.5	-294.8	-19.7	-1.97	淤

2.2 口门延伸及河口萎缩

河口延伸的长度一般是以围垦推进的距离为准计算。珠江入海的8个口门中,除50~70年代2期白藤堵海工程导致坭湾门改道鸡啼门使得径潮流路延长16km外,其它口门在近几十年来大多延伸了4~5km,平均延伸速度130~160m/a。其中洪奇门延伸速度最快达180m/a,洪奇门与蕉门之间的万顷沙于清代嘉庆初始起沙淤现,1838~1974年,多年平均围垦淤进速度为125m/a,1974~1994年机械化施工形成的河口延伸,更使得延伸速度达每年数百米。20世纪70年代以来,伶仃洋西北部三口门经西滩下泄的水沙较以前减少1/3;而鳧洲水道南岸冲刷,分流过大,水沙大部经虎门水道入海,至蕉门口外浅沙滩迅猛发育,威胁伶仃水道的稳定。1977~1998