

前山河水力排污冲淤联合调度试验及效果分析

黎 坤¹, 曾彩华², 江 涛¹, 陈 军¹

(1. 中山大学水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275; 2 广东省水利电力勘测设计院, 广东 广州 510180)

摘要: 以排污冲淤为目的, 改变原有水利工程设施的常规调度方式, 通过水利工程设施的联合调度, 大量引入西江磨刀门水道丰富和干净的水源, 加大前山河河道内水流流速和流量, 对河道进行排污冲淤, 达到改善河道水质的目的。试验结果表明, 试验排污效果好, 水质得到明显改善; 经过大流量冲刷, 河床主槽加深, 但在下游水闸关闭后, 水流携带的泥沙在下游沉积, 出口附近河床反而出现淤积; 河道底质的变化与河床的冲淤有很大关联, 试验后, 河道上游底泥受到冲刷, 底质明显改善, 下游出口段发生淤积, 底质指标恶化。试验具有冲污效果好、见效快、投资省、运行成本低等优点。

关 键 词: 排污冲淤; 联合调度; 水利工程设施

中图分类号: X 524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2006)01-0101-06

引水冲污冲淤是一种解决局部河流污染和淤积的方法, 冲污试验表明, 通过泵站等水利工程措施引水冲污, 使河道水环境得到了比较大的改善, 取得了良好效果, 但泵站运行成本较高^[1~3]。文献[4]设计了一个水库放水冲淤的试验, 对整治葛江河口浅滩有较好的效果, 但水库水量有限, 难以持久, 且水库放水冲淤影响了水库的供水效益。文献[5]提出了一种引海水冲刷河口整治黄河的思路, 但未见有试验结果报道。文献[6]指出, 人类活动可通过改变水沙条件, 可以影响河口河槽的冲淤变化。引水冲污或冲淤对整治近河口河流的污染和淤积有较好效果, 关键在保证安全情况下, 如何引水冲淤或冲污而达到更佳的效果。本文设计了一个引水排污冲淤试验, 旨在寻找一种在感潮河口地区进行引水冲淤或冲污的简便可行方法。

1 试验区域背景

1.1 试验区域的水利工程控制设施

前山河水系地处珠海市, 属典型的网河区水环境系统, 不仅在珠海市, 而且在珠江三角洲地区都具有一定的代表性, 其水文特性、河道特征和水动力条件是影响水环境质量的基本要素。前山河水系外部边界由堤围、水闸构成, 形成较为完整的水流控制系统(图 1)。

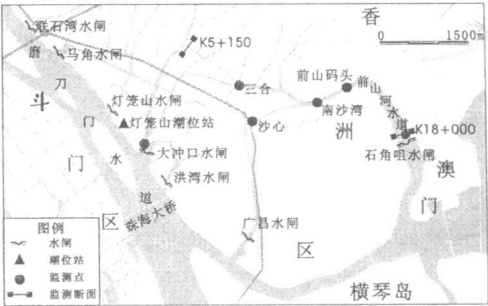


图 1 前山河水流控制系统及监测断面位置示意图

Fig 1 Sketch of Qianshan River showing water controlling system and surveying section

上游通过马角、联石湾、灯笼山、大冲口等 4 座水闸引入西江磨刀门水道丰富优质淡水, 设计总过闸流量 $2\,250\text{ m}^3/\text{s}$ (其中大冲口水闸 $1\,654\text{ m}^3/\text{s}$); 下游有广昌、洪湾、石角咀 3 座水闸挡潮、排水, 设计总过闸流量 $2\,400\text{ m}^3/\text{s}$ (其中石角咀水闸 $1\,720\text{ m}^3/\text{s}$); 闸门启闭设计水位差 $0.40\sim 0.5\text{ m}$ 。通过上、下游水闸联合调度、控制运行, 可以使进出水流得到控制, 以满足水力排污冲淤的要求。

1.2 常规调度方式

常规运行时, 上游大冲口水闸闸外闸内水位高差为 $5\sim 15\text{ cm}$, 且外江水质盐度低于 $2\,000\text{ mg/L}$ 。

收稿日期: 2004-08-12 修订日期: 2004-12-27

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(河口海岸学 40225014)资助。

作者简介: 黎 坤 (1969-), 男, 广西玉林市人, 硕士, 工程师, 主要从事水资源与环境研究。E-mail: eeslk@zsu.edu.cn

时,开闸进水,一般只开启闸孔的一半左右。待下游退潮时,石角咀水闸内外水位差为 5~10 m 时,开闸排水,一般也只开启闸孔的一半左右,且开启时间较短。长期以来,由于常规调度闸门未完全开启,且开启时内外闸水位差小,开启时间短等原因,使得前山河内水面坡降低,水流流速、流量小,河水排泄不畅,污染物长期累积,水质、底泥污染严重。

1.3 潮汐特征及水文条件

珠海市潮汐属不规则半日潮,一般一日有两次潮水涨落过程,月内天文大潮则出现于朔、望之日。根据灯笼山潮位站的逐日潮水位表,灯笼山站最高潮水位 1.52 m (珠基),最低潮水位 -0.96 m (珠基),平均潮水位 0.03 m (珠基),涨潮最大潮差为 1.77 m,最小为 0.06 m,落潮最大潮差为 2.10 m,最小潮差 1.16 m;平均潮差 0.84 m。

前山河流域地处西江出海口,属显著潮感水文区,上、下游外水位直接受潮汐运动的影响,随潮水涨落过程而变化,存在水位落差,为前山河水力排污冲淤创造了有利水文条件。

2 试验概述

2.1 河道内阻流障碍物清除

前山河南屏大桥断面以下河道内,滋生大量的水草和水浮莲,并有许多非法设置的渔网,使排水受到阻滞不能通畅下泄,严重影响水力排污冲淤效果。试验开始前,彻底清除河道阻流障碍物。

2.2 闸门调度方案

1) 试验时间:为保证珠海市在枯咸期正常供水,并考虑前山河排污冲淤的最佳水情状态是天文大潮高高潮接低低潮(这样上下游水位落差最大,排污冲淤最有效),安排在 2002 年 11 月天文大潮期间完成水力排污冲淤原型试验,以检验通过上下游水闸联合调度排污冲淤的效果,并通过排污冲淤改善前山河水质,使南沙湾抽水站在咸期来临之前有充足的时间和优质的水源抽水补库。

根据珠海市海域潮汐特征,11月21日澳门至灯笼山水域发生天文大潮,本次潮流特点:高高潮与低低潮连续,同一地点潮差大;下游潮差较上游潮差大;下游比上游落潮时程短;上下游落潮时差大;上下游高高潮水位相差不大,低低潮水位相差可达 40~50 cm。这对水力排污冲淤最为有利,因此确定在 2002 年 11 月 20~23 日大潮期进行试验,历时 4 天。

2) 联合调度排污冲淤的机理:本次联合调度试验排污冲淤的机理就是要恰当掌握控制水闸启闭时机,最大限度地利用上下游潮涨潮落时的水位差,大量引进西江新鲜干净淡水,加大前山河的环境容量,加快河道内干净水和污水的交换,待下游水闸内外高差较大时,开启全部闸门,大流量排水,形成较一般运行情况更陡的水面坡降,使河道水流流速增大,冲刷河底前期淤积污泥,排泄浊水,从而达到改善河道水质的目的。

3) 闸门联合调度运行方案:综合考虑水闸位置、设计流量、底坎高程及其启闭设计水位差等因素,确定采取如下联合调度运行方案。

(1) 上游以大冲口水闸为主,联石湾、灯笼山、马角水闸为辅控制进水;下游以石角咀水闸为主,洪湾、广昌水闸为辅控制排水。

(2) 为获得最佳水力排污冲淤效果,保证运行安全,前山河保持低水位、大流量运行。

(3) 落潮过程中,上游各进水闸自下而上依次出现平流状态(内、外水位持平)时关闭,下游石角咀水闸外水位低于内水位 0.3~0.5 m 时开启;涨潮过程当中,上游各进水闸外水位高于内水位 0.3~0.5 m 时开启,下游石角咀水闸出现平流时关闭。

(4) 洪湾、广昌水闸起降低内水位的辅助作用,必须服从石角咀水闸“低水位集中排水”需要,闸内水位应保持高于石角咀水闸闸前水位,减小其排水分流比,按照“先关后开”原则控制运行。

(5) 落潮排水过程中,当上游进水流量大于下游排水流量、前山河南沙湾断面水位出现上升趋势时,及时开启洪湾、广昌水闸分流排水,保证石角咀水闸处于“低水位、大流量”的运行状态。

(6) 为满足南沙湾抽水站的供水水质要求,防止盐水进入前山河,当外江水质盐度高于 2 000 mg/l 时,上游进水闸必须全部关闭。

4) 试验阶段上下游水闸联合调度运行过程:试验阶段,2002 年 11 月 21 日凌晨 3 时 15 分,磨刀门水道为退潮时期,河水盐度低于 2 000 mg/l 大冲口水闸开启全部闸门引水。凌晨 6 时外江水位退潮降至最低 -0.6 m,然后开始涨潮,12 时涨至最高 0.20 m,12 时 25 分大冲口水闸关闸停止引水,该阶段下游石角咀水闸 2 时 30 分开始开闸排水,至 6 时涨潮时关闸停止排水。下午 14 时 30 分,下游正值退潮,石角咀水闸内外水位差为 38

cm, 此时石角咀水闸全部闸门打开, 以最大流量排水, 至 17 时 20 石角咀水闸内外水位持平时, 关闸停止排水。此阶段, 上游大冲口水闸于 17 时 05 分开始开闸补水, 至 20 时关闸 (表 1)。

表 1 上冲口、石角咀水闸联合调度开启时间
Table 1 Schedule of Shangchongkou and
Shijiaozui floodgate turning on

水 闸	开 闸 时 间 (2002 - 11 - 21)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
大冲口																								
石角咀																								

注: 的长度为水闸开启时间, 大冲口水闸为进排水水闸, 石角咀水闸为排水水闸。

3 联合调度试验结果分析

3.1 水文变化分析

本次试验, 上游以大冲口水闸为主, 联石湾、灯笼山、马角水闸为辅控制引水, 下游以石角咀水闸为主, 洪湾、广昌水闸为辅控制排水。本次分析以大冲口水闸、石角咀水闸的水文变化分析为主。

1) 水位、流速变化分析: 为达到可比性, 选取试验前 1 日 (2002 年 11 月 20 日) 上下游水闸的水位变化过程作为大潮期常规调度的水位过程与试验过程相比较, 大冲口水闸、石角咀水闸常规运行与试验过程内河水水位变化比较结果如图 2 图 3 所示。

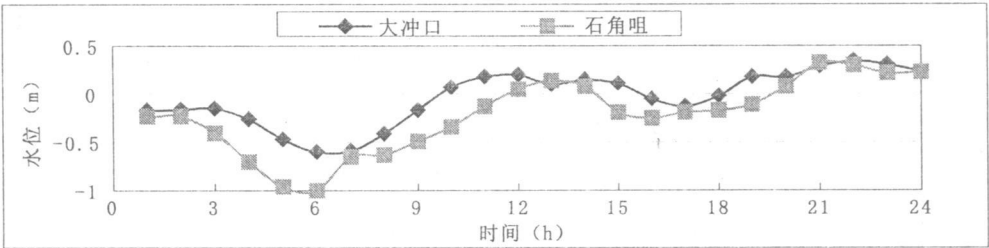


图 2 试验期上下游水闸 (大冲口、石角咀) 闸内水位变化比较图

Fig. 2 Comparison of water level inside floodgate between Dachongkou and Shijiaozui during experiment

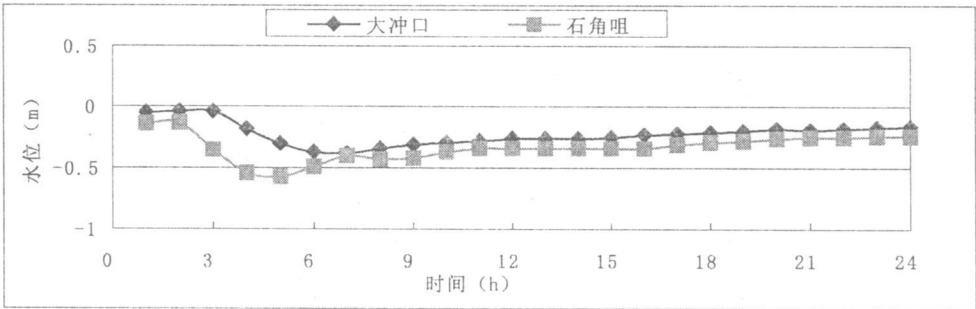


图 3 常规运行时 (试验前 1 天) 上下游水闸 (大冲口、石角咀) 闸内水位变化比较图

Fig. 3 Comparison of water level inside floodgate between Dachongkou and Shijiaozui during conventional running (the day before experiment)

从图 2 图 3 中可看出, 常规运行时 (2002 年 11 月 20 日), 上下游水闸内水位最大变幅为 0.49 m, 水位变化过程线比较平缓, 而在试验过程中 (2002 年 11 月 21~22 日), 上下游水闸的水位变化幅度要比常规运行更大, 最大水位变幅为 1.33 m, 水位变化过程线比较陡。从上下游水闸的水位看, 试验过程上下游水位差比常规运行水位差增大。

河道流速由于试验前没有测量, 只有试验期的

流速数据, 无法定量比较, 但从试验过程与常规运行过程上下游水位差的比较中可以推断, 试验中河道流速明显加快, 试验阶段实测最大流速点出现在 (16 时) 南沙湾断面, 底层流速为 0.71 m/s 中层流速为 0.94 m/s 表层流速为 0.98 m/s 此时正是石角咀水闸开闸大流量排水时期。

2) 进出水量分析: 本试验, 大冲口水闸、石角咀水闸基本控制前山河进出水量, 可把这两水闸进出水量认为是整个前山河进出水量 (表 2)。

表 2 大冲口水闸、石角咀水闸常规运行与
试验过程的进出径流总量计算表 (10⁴ m³)

Table 2 Total discharge of flw by Dachongkou or
Shijiaozui floodgate during experiment and
conventional running (× 10⁴ m³)

	大冲口水闸 进水总量	石角咀水闸 出水总量
试验过程	4520. 7	3336. 6
常规运行	803. 8	835. 9
试验过程与常规运行进出水量比	5. 6	4. 0

从表中可看出,本次试验前山河进、出水总量很大,分别是常规运行的 5.6 和 4.0 倍。试验阶段进水总量比排水总量多了 1 184.1 × 10⁴ m³,这部分水量蓄在河道中,尚未及时排出。

3.2 前山河水质监测结果分析

2002 年 11 月 20~23 日分别代表试验前、试验过程中和试验后 3 个时间阶段,相应的水质监测分析结果见表 3(本次试验水质和底泥的监测由珠海市排水监测站施测)。

表 3 前山河水质 (日平均值) 监测结果

Table 3 Surveying result of water quality (daily average) in Qianshan River

监测断面	采样日期	COD _{Mn} (mg/l)	DO (mg/l)	氨氮 (mg/l)	总磷 (mg/l)	汞 (μg/l)	挥发酚 (mg/l)	总氰化物 (mg/l)	砷 (mg/l)	矿物油 (mg/l)
大冲口	11.20	1.95	8.16	0.58	0.05	0.05	0.0007	0.0000	0.0057	0.29
	11.21	1.99	6.95	0.32	0.09	0.00	0.0013	0.0000	0.0053	0.03
	11.23	1.96	9.11	0.38	0.11	0.00	0.0007	0.0013	0.0010	0.17
沙心口	11.20	2.55	7.65	1.24	0.18	0.00	0.0007	0.0030	0.0163	0.26
	11.21	2.66	7.52	1.13	0.25	0.05	0.0007	0.0000	0.0057	0.08
	11.23	2.24	7.35	0.39	0.15	0.00	0.0007	0.0013	0.0070	0.05
三合	11.20	3.36	6.63	2.27	0.23	0.02	0.0007	0.0017	0.0140	0.31
	11.21	2.56	7.86	0.93	0.37	0.06	0.0000	0.0000	0.0087	0.27
	11.23	2.38	7.68	0.80	0.25	0.02	0.0000	0.0027	0.0033	0.04
南沙湾	11.20	2.73	6.71	1.77	0.16	0.03	0.0000	0.0030	0.0130	0.50
	11.21	2.89	7.12	1.82	0.29	0.05	0.0007	0.0027	0.0037	0.27
	11.23	2.57	7.18	1.03	0.18	0.02	0.0013	0.0000	0.0057	0.10
前山码头	11.20	3.06	4.02	2.75	0.22	0.03	0.0007	0.0053	0.0190	0.29
	11.21	3.10	5.68	2.35	0.25	0.03	0.0007	0.0040	0.0040	0.03
	11.23	2.84	7.17	1.03	0.16	0.02	0.0000	0.0013	0.0040	0.09
石角咀	11.20	4.87	3.59	3.08	0.22	0.20	0.0007	0.0013	0.0137	0.36
	11.21	3.26	5.24	2.71	0.22	0.03	0.0020	0.0040	0.0030	0.41
	11.23	2.61	7.60	0.69	0.15	0.00	0.0007	0.0027	0.0050	0.22

注: 本次试验水质数据由珠海市排水监测站提供。

试验后两个阶段测量。把各测量断面试验前后的两次结果绘制成断面图进行叠加比较,可以看出,与试验前相比,试验后各断面的形状都发生了变化,河床断面两岸形状变得平缓、主槽加深。由于受到试验时较大水流的作用,河床的底泥受到了冲刷,随着水流向下游迁移,最后从石角咀冲出口口。但是由于本次试验是在“低水头,大流量”的状态

从各断面的水质分析结果可以看出,由于试验过程中多于常规调度 5.6 倍和 4 倍的干净水源的大量进入和排出,前山河的水质污染物得到稀释和排泄,排污冲淤试验后 (2002 年 11 月 23 日) 各监测断面水质得到了明显的改善。其中前山码头断面和石角咀断面水质改善最大,而大冲口断面水质改善较不明显,部分水质指标试验后浓度反而增大了,主要因为大冲口是西江磨刀门优质淡水进入前山河的起点,水质本来就较好,而冲污后,底泥中的污染物扬起并释放到河水中影响大冲口断面水质,导致各项水质指标变化呈现不稳定状态。南沙湾、沙心和三合三个断面的水质改善比较明显。除了上游大冲口断面,其它项目水质指标在各断面都得到了改善,其中溶解氧、氨氮、总氮、总磷、总砷、石油类等指标改善最为明显。

3.3 试验前后河床横断面变化分析

本次试验,在整个试验河段每隔 500 m 布设一个测量断面,共布设 28 个测量断面,分试验前和

下运行,实际的水流速度不够大,水流的冲刷能力有限,又由于下游石角咀水闸的关闭,而上游的水流在惯性作用下,仍然向下游减速移动,所携带的泥沙等在下游发生沉积。因此在河口附近的断面测量结果是试验后河床反而出现淤积 (图 4 图 5) (分别选择上、下游 - 断面 k5+150 和 k18+000 由珠海市水利勘测设计院施测)。

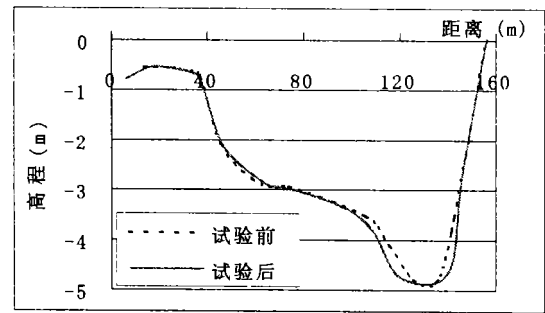


图 4 上游断面 k5+150断面图
Fig 4 Upriver section(k5+150)

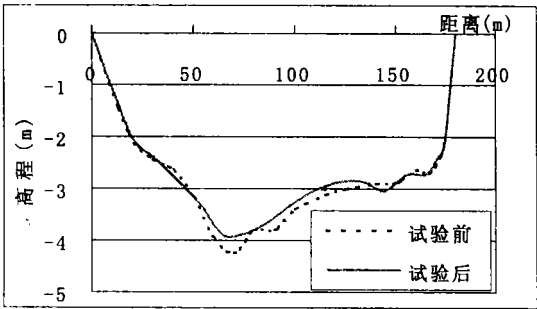


图 5 下游断面 k18+000断面图
Fig 5 Downriver section(k18+000)

表 4 试验前后底泥污染物指数差

Table 4 Difference of contamination index in silt after experiment

断面	有机物	铜	总汞	砷	总铬	镉	铅
大冲口	0.41	2.82	-0.32	6.16	1.27	6.00	3
沙心	-0.07	0.50	-0.27	3.18	0.24	2.80	1.50
三合	0.14	0.05	-0.02	-0.12	-0.02	3.50	0.60
南沙湾	0.07	-1.52	-0.29	-1.51	-0.35	-0.90	0.33
前山码头	-0.22	0.03	-0.08	-1.8	0.01	2.28	0.89

注: 石角咀断面试验前底泥缺测, 无法比较 (数据来源于珠海市排水监测站)。

面污染物指数变化范围为 -0.12~3.50。有机物、铜、镉和铅冲污后含量降低, 而砷、总汞和总铬冲污后含量略增加; 南沙湾的污染物指数变化范围为 -1.52~0.33, 底质中有机物和铅冲污后含量降低, 而砷、总汞、铜、镉和总铬冲污后含量增加, 总体上南沙湾断面冲污后较冲污前底质有所恶化; 前山码头底质污染物指数变化范围为 -1.80~2.28, 铜、镉、铅和总铬冲污后含量降低, 而有机物、总汞和砷试验后含量增加。石角咀断面由于试验前底泥缺测, 只有试验后的数据, 无法进行比较。但从试验后的底泥监测数据来看, 石角咀断面重金属污染也较严重, 其中有机质 7.61 mg/kg, 铜 168 mg/kg, 砷 23.6 mg/kg, 镉 2.03 mg/kg, 分别超标 2.33、5.62、3.6和 4.06 倍, 与南沙湾、前山码头断面一

3.4 底泥监测结果分析

对底泥评价目前还没有统一标准, 考虑前山河位于磨刀门河口, 在上下游水闸建成前一直与大海直接相连, 故评价标准采用《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002)。为了更好显示冲淤前后底质的变化, 本文采用污染物指数法 (污染物指数 = 某项目的含量 / 海洋沉积物标准含量) 进行分析。

前山河试验前后底泥污染物指数差 (污染物指数 = 某项目试验前的污染物指数 — 试验后的污染物指数) (表 4)。

从表 4 可以看出, 试验前后污泥各监测项目变化显著, 试验前后各污染物指数都有一定的变化。其中各监测断面有机物的污染物指数变化最小, 各断面砷和镉的污染物指数变化最大。大冲口断面试验前后各监测项目污染物指数都有较大的变化, 变化范围为 -0.32~6.16, 其中铜、砷、铬、镉和铅污染指数明显减少, 但总汞含量有所增加; 沙心断面污染物指数变化范围为 -0.27~3.18, 其中砷、镉和铅污染指数减少大于 1, 分别为 3.18、2.80 和 1.50, 但冲污后有机物和总汞含量增加; 三合断

样是污染严重的断面。
河道底质的变化与河床的冲淤有很大关联, 试验过程中, 由于河道流速加快, 流量加大, 底泥受到水流的冲刷, 底泥污染物在水中释放、扩散, 并随水流向下游移动, 因此河道上游大冲口、沙心断面底质大部分指标有明显改善。但由于石角咀水闸的关闭, 水流所携带的泥沙等在下流发生沉积, 上游底质所释放的污染物也跟着累积在下流, 所以试验后下游各断面一半以上底质指标恶化。

4 总 结

- 1) 试验后, 由于大量干净水源的稀释和交换, 前山河总体水质明显改善, 达到预期效果。
- 2) 试验后河道各断面形状都发生变化, 河床

断面两岸形状变得平缓、主槽加深。但水流的冲刷能力有限,下游水闸关闭后,水流携带的泥沙在下游沉积,因此在出口附近河床反而出现淤积。

3) 河道底泥的变化与河床的冲淤有很大关联,试验后,河道上游底泥受到冲刷,底质有明显改善,下游发生淤积,各断面一半以上底质指标恶化。

4) 本次试验只改变了原来上下游水闸的调度方式,加大流速水头和引水流量,并没增加其它工程措施,有投资省、运行成本低、见效快等优点。

5 建 议

1) 解决前山河的水污染和河道淤积问题是一个长期的过程,一次排污冲淤试验并不能从根本上解决前山河的水污染和河道淤积问题,它只是让河道的水质在短期内有明显改善,以满足用水的要求。所以在可能情况下,建议改变原有水利工程常规调度方式,经常性地利用水利工程措施大量引水进行排污冲淤。

2) 本次试验由于安全原因,一直在“低水头,大流量”方式下运行,造成实际水流流速不够大,影响了底泥的冲刷效果。建议加固、改造上下游水闸,以便提高水头,加大流速,提高以后的引水排污冲淤的冲刷效果。

参考文献:

- [1] 熊万勇. 福州市内河引水冲污工程的实践与认识 [J]. 中国给水排水, 2000 16(7): 26~28.
- [2] 洪理建. 福州市内河引水冲污技术研究 [J]. 人民珠江, 2000 (1): 38~44.
- [3] 张文斌. 无锡市北塘联圩换水冲污效果分析 [J]. 江苏水利, 2001 (1): 29~30.
- [4] 舒荣龙, 李廷富. 放水冲淤与整治相结合治理綦江河口浅滩的试验研究 [J]. 水运工程, 1994, (1): 24~28.
- [5] 林秉南, 周建军, 张 仁. 引海水冲刷河口治理黄河下游 [J]. 中国工程科学, 2000, 2(4): 25~33.
- [6] 赵庆英, 杨世伦, 朱 骏. 河口河槽季节性冲淤变化及其对河流来水来沙响应的统计分析——以长江口南槽为例 [J]. 地理科学, 2003 23(1): 112~117.

Collaborative Experiment of Qianshanhe River on Draining Pollution Water and Removing Silt by Utilizing Water Power and Experiment Effect Analysis

LI Kun¹, ZENG Caifeng², JIANG Tao¹, CHEN Jun¹

(1. Water Resource and Environment Research Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275)

2. Guangdong Design and Survey Institute of Irrigation and Hydropower, Guangzhou, Guangdong 510180)

Abstract The paper designs a diversion dilution experiment trying to seek a simple way to diversion dilution and removing silt in a tideway of river. For the purpose of draining pollution water and removing silt, changing normal regulation of hydraulic structures to a collaborative means, the experiment was performed to diversion abundant clean water from Modaomen waterway in the Xijiang river to increase flow velocity and discharge in the Qianshanhe River to drain pollution water and remove silt in the River so as to improve the water quality of the rivers. The experiment results in good effect of draining pollution water and definitely water quality improvement. The main trough of riverbed was deepened by large discharge of the river while silted near the river mouth because the sand brought by current deposited near the mouth after closing the water gate. The variation of the silt quality relates much to silt; after experiment the silt quality was improved upriver where silt was removed and worsened in the deposited river mouth. This experiment proves to be quick effective and low-cost with good results.

Key words emission, scour and silting, collaborative regulation, hydraulic project