

上西关涌流域调蓄工程控制溢流污染研究

李捷 隋军 冯云刚
(广州市市政工程设计研究院, 广州 510060)

摘要 广州市上西关涌调蓄池的主要作用是截留储存服务范围内的初期雨水,以减少雨天溢流量和溢流污染负荷。详细介绍了调蓄池的设计计算方法,同时,通过对广州城区降雨的初期冲刷效应分析,对调蓄池的环境效能进行了评估。

关键词 上西关涌 调蓄池 设计 溢流污染

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2015)01-0464-05

Study on pollution control of overflow from detention tank of Shangxiguan creek

Li Jie Sui Jun Feng Yungang
(Guangzhou Municipal Engineering Design And Research Institute, Guangzhou 510060, China)

Abstract The principal effect of Shangxiguan creek detention tank is to intercept and store the initial stormwater from the service area so as to reduce the discharge volume and pollution loading during heavy rainfall. The calculation methods of the detention tank volume are introduced in detail. By analyzing the scouring efficiency of the initial stormwater period, the environmental effects of detention tank were assessed.

Key words Shangxiguan Creek; detention tank; design; pollution load of overflow

随着城市污水收集处理率的提高,合流制排水系统的降雨溢流(combined sewer overflow, CSO)及分流制片区的初期雨水污染已经成为制约我国城市水环境质量的主要因素之一^[1-6]。据统计,广州市中心城区现已建有8座污水处理厂(总规模298万m³/d),污水处理率已达85%,城区污水已基本得到有效收集和处理。但同期水环境质量监测结果显示,全市97.2%以上的河涌水质处于劣V类水平,V类占2.3%,仅有1条河涌水质为IV类。上海市在河道点源污染已经基本得到控制的情况下,其河网水质仍不能达到水功能区划的要求,在这之中,雨季通过泵站溢流的COD量占入江COD总量的87%,通过泵站溢流的污水量占入江污水总量的60%。

本研究以广州市荔湾区上西关涌流域为研究对象,对该流域的雨季溢流调蓄措施及其环境效应进行了详细地分析和评估,以期为广州城市CSO的控制研究及管理提供借鉴。

1 研究区域概况

荔湾涌是珠江的一个支流,所在片区是广州市的老城区,排水体制目前以合流制为主^[7-8],上西关涌为荔枝湾涌一支流。为改善荔枝湾涌水环境质

量,保护珠江,荔枝湾涌综合整治工程(一期工程)于2010年2月开始实施,2010年10月完成了上西关涌下游640m的堤岸建设、截污清淤、两岸景观、调水补水等开盖复涌一期工程,现今已成市民普遍赞誉的样板河涌,是广州市的一张城市名片。

目前,上西关涌上、下支流分别承担各自片区合流制排污渠的功能,在上、下支流交汇处建有水闸,处于常闭状态,排污渠中污水经上西关涌截污管(一期工程已实施)转输至大坦沙污水厂;当发生强降雨时,必须开启水闸以避免或缓解上游水浸情况;但是,开闸后上西关涌上游(上、下支流)的淤泥、雨污合流水都随之进入下游开盖段河涌,严重影响了下游河涌水质,同时也对周边居民的生活带来了极其不利的影响。

为尽量减小雨季开闸对下游水体的不利影响,现拟在闸前新建上西关涌雨水分洪通道(分流管径为2000mm),雨季时,由分流管与下游截污箱涵共

基金项目:广州市市政工程设计研究院科技计划项目(KY-2011-052)

收稿日期:2013-12-05;修订日期:2014-01-03

作者简介:李捷(1972—),女,博士,高级工程师,研究方向为水污染防治技术。E-mail:65638713@qq.com

同承担上西关涌整个流域范围内的合流污水量,以期在未开闸前将雨污合流水尽量截留并转输,降低雨季开闸频次,从而减少溢流量和缓解上游水浸的双重功效;同时,为顺利通畅地排放分流管雨季转输的合流水,本拟建工程需配套新建提升泵站(二期综合整治工程)。

分流管的建设可以降低雨季开闸频次,减少溢流量和缓解上游水浸,但是分流管不仅将上西关涌上、下支流的污染负荷转输到了下游,提高了下游管道的输送负荷,同时,由于将雨季的合流水全部转输,相应增加了接纳污水处理厂的处理负荷,不利于污水的有效收集和处理。

综合考虑上西关涌流域现状,建议在上西关涌

水闸处设置一调蓄池,临时储存合流污水及初期雨水,待降雨结束再转输至下游污水厂进行集中处理,可降低雨季开闸频次,缓解片区水浸;又可提高片区内污水的有效收集。待片区建设条件成熟,又可作为分流制片区的初期雨水截留池,可实现最大限度地发挥调蓄池的截污减排效能,对保护上西关涌流域的景观及水环境质量具有举足轻重的地位。

2 广州城市径流污染分析

2.1 广州城市径流污染浓度

黄国如等^[10]对广州地区不同降雨重现期条件下,径流污染负荷进行了详细的研究,结果列于表 1。

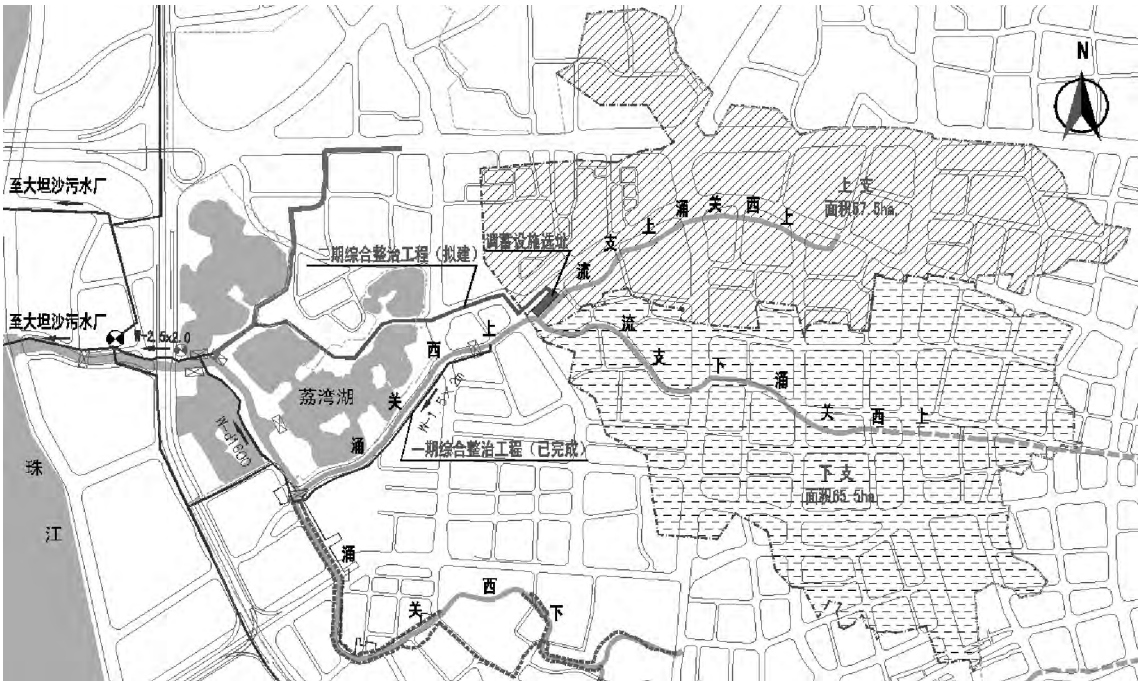


图 1 上西关涌流域区位图
Fig.1 District map of Shangxiguan creek

表 1 不同降雨重现期条件下单位面积非点源污染负荷量
Table 1 Non-point source pollution loads caused by rainfall at different frequencies (kg/hm²)

因 子	频 率				
	0.25 年一遇	0.5 年一遇	1 年一遇	3 年一遇	5 年一遇
TSS	34.88	35.54	35.68	35.74	35.74
COD	10.60	11.72	12.22	12.46	12.49
TN	0.68	0.86	1.00	1.17	1.22
TP	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
BOD	1.08	1.38	1.61	1.85	1.92
氨 氮	0.19	0.24	0.28	0.32	0.34

从表 1 可以看出,广州城市地表径流带来的污染负荷不容忽视,而在合流制排水系统片区,这部分径流污染物将汇流入合流管道,若不对其采取有效截留控制措施,将在合流管道的溢流口处直接外排入水体,给水环境质量带来极大的危害。

2.2 广州城市降雨的初期冲刷效应

暴雨径流中污染物的变化一般用污染物浓度随径流时间的变化来表示,研究发现多数情况下存在径流初期污染物的输送速度大于径流量输送速度的现象^[11],即初期冲刷效应。初始冲刷现象明显时,处理少量的雨水即可控制大量的污染物,使处理设施具有较高的效率,在同样的控制标准情况下则可以减小设施规模,减少投资。初期冲刷的影响因素一般包括降雨强度、雨峰位置、降雨历时、污染物初始负荷量、管道沉积物、区域管网拓扑结构及污染物特性等。

冯伟等^[12]的研究结果显示,北京城市降雨强度增大,污染物的流失速率增大, $P=5$ 的降雨发生时,次降雨 10% 的径流量即可带走 55% 的 COD 总排放量,而 20% 的径流量即可带走大部分降雨($P>0.5$) 50% 以上的 COD 排放量。即重现期越高初期冲刷现象越明显,强降雨下易发生初期冲刷现象,而小雨时的初期冲刷现象不显著,甚至没有初期冲刷现象。

表 2 为北京、广州重现期为 0.5、1、3、5 和 10 a 时的降雨强度对比:在重现期为 0.5 a 时广州的降雨强度比北京大很多,随着重现期的增大广州与北京的降雨强度差距随之减小,在重现期为 10 a 的情况下广州与北京的差距已很小。由于初期冲刷与降雨强度成正相关关系,因而小强度降雨下,广州 COD 的初期冲刷效应比北京更大。

3 调蓄池设计

3.1 研究区域水量预测

本工程上西关涌上、下支涌服务面积 123 hm²,根据《广州市污水治理总体规划修编》,预测该片区

污水量为 2.13 万 m³/d。

3.2 调蓄池规模计算

目前,德国、美国和日本等国家已有各自成熟的调蓄池计算方法,其中,德国和日本调蓄池设计目标值都设定为:合流制排水系统排放的污染负荷量与分流制排水系统排放的污染负荷量达到相同水平,在此基础上计算设计系统所需调蓄池的容积大小^[13]。近年来,我国学者也对调蓄工程进行了大量研究,2011 年,《室外排水设计规范 GB50014-2006》进行了修编,首次对调蓄池的计算进行了规定。本研究结合国内外现有方法,分别对上西关涌调蓄池进行了计算,详述如下。

(1) 规范公式(用于控制面源污染)

$$V = 3\,600 \times t_1 \times (n - n_0) \times Q_{dr} \times \beta$$

式中: t_1 为调蓄池进水时间(h),宜采用 0.5~1 h,当合流制排水系统雨天溢流污水水质在单次降雨事件中无明显初期效应时,宜取上限,反之可取下限;本工程上西关涌上、下支涌均为无水源水,初期效应不明显,取 1.0。 $n、n_0$:调蓄池运行期间与原系统相比调蓄池可达到的截污系数。 Q_{dr} :截留井以前的旱流污水量(m³/s);本工程为 0.24 m³/s。 β :安全系数,可取 1.1~1.5;故 $V = 3\,600 \times t_1 \times (n - n_0) \times Q_{dr} \times \beta = 3\,600 \times 1 \times 5 \times 0.24 \times 1.5 = 6\,480 \text{ m}^3$

(2) 德国公式

德国废水协会“ATV Arbeitsblatt A 128 1992”标准,该公式是目前合流制排水系统调蓄池计算的主流公式,在西方典型合流制系统中应用广泛。

$$\text{调蓄池容积 } V = 1.5 \times V_{SR} \times A_U$$

式中: V 为调蓄池容积(m³); V_{SR} 为每公顷面积需调蓄雨水量(m³/hm²), $12 \leq VSR \leq 40$,视河涌敏感度确定,本工程荔枝湾涌剪敏感度高,采用上限 40; A_U 为非渗透面积, $A_U = \text{系统面积} \times \text{径流系数}$ 。本工程上西关涌流域服务面积为 123 hm²,径流系数为 0.85,则调蓄池容积为:

表 2 不同重现期暴雨强度公式对比

Table 2 Contrast of rainstorm intensity formula at different frequencies

重现期 P (年)	暴雨强度公式	
	广州	北京
0.5	$6\,561.430 / (t + 16.812)^{0.911}$	$1\,512.485 / (t + 8)^{0.711}$
1	$6\,366.875 / (t + 16.190)^{0.863}$	$2\,001 / (t + 8)^{0.711}$
3	$5\,688.521 / (t + 13.841)^{0.789}$	$2\,775.278 / (t + 8)^{0.711}$
5	$5\,411.802 / (t + 12.874)^{0.758}$	$3\,135.296 / (t + 8)^{0.711}$
10	$5\,050.414 / (t + 11.610)^{0.717}$	$3\,623.811 / (t + 8)^{0.711}$

$$V = 1.5 \times V_{SR} \times A_U$$

$$= 1.5 \times 40 \times 123 \times 0.85 = 6\,273\text{ m}^3$$

(3) 瑞士、日本调蓄池计算公式

$$V = F \times i$$

式中: F 为调蓄池服务面积 (hm^2); i 为每公顷汇水面积所需调蓄雨水量, 单位 mm (瑞士、日本普遍采用 $2 \sim 8\text{ mm}$) , 本工程取 8 mm 。

根据以上公式, 计算得调蓄池容积为 $9\,840\text{ m}^3$ 。

3.3 调蓄池设计计算方法分析

从上述 3 种调蓄池的计算方法来看, 其各有侧重。《室外排水设计规范》是从截污水量的角度计算, 瑞士、日本的则侧重于服务面积, 而德国公式综合考虑了服务面积及接纳水体的环境容量。从计算结果来看, 规范公式与德国公式计算结果相近, 瑞士与日本公式的计算结果较高。

综合分析, 结合本工程的要求, 本调蓄池主要功能是在削减面源污染的同时增加系统排涝功能, 初步实现削减管道洪峰作用, 结合本工程实际占地面积, 确定调蓄池容积 $10\,000\text{ m}^3$ (其中, 接收池容积 $6\,000\text{ m}^3$, 通过池容积 $4\,000\text{ m}^3$)。

4 调蓄池环境效应分析

4.1 溢流量的削减

由于暂无调蓄池实际运行资料, 本调蓄池溢流量及污染物削减分析在广州本地降雨气象条件下参考上海调蓄池计算思路及方法进行分析。

4.1.1 调蓄池年运行次数及调蓄量估算

利用广州市 1973—2002 年逐日的降水资料统计分析发现, 广州出现 $1 \sim 5\text{ d}$ 降水的可能性最大, 其可能性多数随着降水天数增加而减少; 且广州市降雨超过 100 mm 的降雨主要集中在 3—9 月, 超过 50 mm 的降雨在 11—12 月。

结合以上统计资料分析确定, 广州市 3—9 月、11—12 月按照每次降雨 5 d , 有效降雨次数 (即调蓄池运行次数) 为 54 次; 1 月、2 月、10 月按照每月 2 次运行, 则调蓄池总共运行次数为 60 次。综合计算, 上西关涌调蓄池一年总调蓄量为 36 万 m^3 。

4.1.2 总溢流量估算

根据《广东省水文图集》(广东省水文总站, 1991 版), 广州年平均降雨量为 $1\,600\text{ mm/a}$ (广东省 1956—1979 年降水量等值线图), 平均径流深为 800 mm (广东省 1956—1979 年平均年径流深等值线图)。本工程范围面积 123 hm^2 , 则范围内年总降

雨径流量为 98.4 万 m^3 。

故总溢流量为: $98.4\text{ 万 m}^3 - 36\text{ 万 m}^3 = 62.4\text{ 万 m}^3$ 。所以, 本调蓄工程溢流量削减比例为 36.6% 。

4.2 溢流污染物的削减

根据《广州市城区暴雨径流非点源污染特性及管理应用研究》的计算结果, 得到不同降雨频率下广州 1 小时降雨量见表 3。

表 3 广州各典型降雨强度的小时降雨量

Table 3 Hourly rainfall at different frequencies in Guangzhou

降雨频率 (P)	1 小时降雨强度 ($\text{L}/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$)	1 小时降雨量 (mm)
0.5 年一遇	125.71	45.26
1 年一遇	151.30	54.47
2 年一遇	176.13	63.41
3 年一遇	190.95	68.74
5 年一遇	209.66	75.48

本调蓄池服务面积为 123 hm^2 , 调蓄池有效容积为 1 万 m^3 , 即当发生 5 年一遇的降雨时, 该调蓄池可截留当场降雨约 10.8% 的径流排放总量。据前述研究报告显示, 控制降雨径流前一部分的流量就可以较好的控制初期雨水中的污染物含量, 减少合流制排水系统雨天溢流 (CSO) 对天然水体的污染。对于广州地区而言, 当降雨强度为 5 年一遇时, 通过本调蓄池可截留降雨 10.8% 的径流量, 相应可带走约 55% 以上的 COD 总排放量 (图 2)。

若溢流污染物 COD、TSS 和 NH_4^+-N 的浓度分别以 285 、 262 和 9.5 mg/L 计, 则本工程的污染物削减量分别如下: COD 削减量为 49.05 t/a 、SS 削减量为 50.00 t/a 、 NH_4^+-N 削减量为 1.18 t/a 。据资料显示 2006—2009 年, 上海成都路调蓄池 (池容 $7\,400\text{ m}^3$) 对暴雨溢流 COD、SS 和 NH_4^+-N 的平均削减量分别为 37.32 、 45.36 和 1.92 t/a ^[14, 15]。可见, 调蓄池的建设对合流制排水片区雨季溢流污染负荷的削减具有极其重要的作用。

5 结 论

合流污水调蓄是控制降雨溢流污染的一项关键技术, 上西关涌流域调蓄池的建设, 可贮存部分合流水、提高系统截留倍数, 相应地削减或延迟了降雨对管道输送量的峰值出现期, 另一方面, 调蓄池所截留的为降雨初期污染负荷最高的合流水, 相应大大削

减了雨季溢流至下游的污染负荷总量,可实现最大限度地发挥调蓄池的截污减排效能,对保护上西关涌一期工程的景观及水环境质量具有举足轻重的地位。

调蓄池建成后,其运行调控方式将会对调蓄池暴雨溢流削减量和削减率产生很大的影响,因此在调蓄池的设计中充分考虑设置水质在线监测及自动控制设备以实现调蓄池功能的最大化利用。

参考文献

- [1] 张善发. 合流制排水系统雨天溢流污染防治技术研究. 上海: 同济大学博士学位论文, 2006
Zhang Shanfa. Study on the overflow pollution control technology of a combined sewer system in rainy days. Shanghai: Doctor Dissertation of Tongji University, 2006 (in Chinese)
- [2] 赵磊, 杨逢乐, 王俊松, 等. 合流制排水系统降雨径流污染物的特性及来源. 环境科学学报, 2008, 28(8): 1561-1570
Zhao Lei, Yang Fengle, Wang Junsong, et al. Characterization of storm-water pollutant sources in a combined sewer network. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(8): 1561-1570 (in Chinese)
- [3] 车伍, 刘燕, 李俊奇. 国内外城市雨水水质及污染控制. 给水排水, 2003, 29(10): 38-42
Che Wu, Liu Yan, Li Junqi. Urban rainwater and its pollution control. Water and Wastewater Engineering, 2003, 29(10): 38-42 (in Chinese)
- [4] Gromaire-Mertz M. C., Chebbo G., Saad M. Origins and characteristics of urban wet weather pollution in combined sewer systems: The experimental urban catchment "Le Marais" in Paris. Water Science and Technology, 1998, 37(1): 35-43
- [5] 杨雪, 车伍, 李俊奇, 等. 国内外对合流制管道溢流污染的控制与管理. 中国给水排水, 2008, 24(16): 7-11
Yang Xue, Che Wu, Li Junqi, et al. Control and management of combined sewer overflow pollution at home and abroad. China Water & Wastewater, 2008, 24(6): 7-11 (in Chinese)
- [6] Gromaire M. C., Garnaud F., Saad M., et al. Attribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers. Water Research, 2000, 35: 521-533
- [7] 唐造造, 董志, 刘树锋, 等. 广州市荔湾区河涌整治排涝方案研究. 中国农村水利水电, 2013, (4): 164-167
Tang Zaozao, Dong Zhi, Liu Shufeng, et al. Study of Liwan creek remediation and drainage project in Guangzhou city. China Rural Water and Hydropower, 2013, (4): 164-167 (in Chinese)
- [8] 倪培桐, 唐造造, 黄健东, 等. 广州市河涌整治模拟研究与应用. 广东水利水电, 2011, (3): 11-15
Ni Peitong, Tang Zaozao, Huang Jiandong, et al. Guangzhou city creek remediation simulation research and application. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2011, (3): 11-15 (in Chinese)
- [9] 申丽勤, 车伍, 李海燕, 等. 我国城市道路雨水径流污染状况及控制措施. 中国给水排水, 2009, 25(4): 23-28
Shen Liqin, Che Wu, Li Haiyan, et al. Urban road rainwater runoff pollution and its control measures in China. China Water & Wastewater, 2009, 25(4): 23-28 (in Chinese)
- [10] 黄国如, 聂铁锋. 广州城区雨水径流非点源污染特性及污染负荷. 华南理工大学学报(自然科学版), 2012, 40(2): 142-148
Huang Guoru, Nie Tiefeng. Characteristics and load of non-Point source pollution of urban rainfall runoff in Guangzhou, China. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 40(2): 142-148 (in Chinese)
- [11] 车伍, 张伟, 李俊奇. 城市初期雨水和初期冲刷问题剖析. 中国给水排水, 2011, 27(14): 9-14
Che Wu, Zhang Wei, Li Junqi. Analysis of urban initial rainwater and first flush. China Water & Wastewater, 2011, 27(14): 9-14 (in Chinese)
- [12] 冯伟, 王建龙, 车伍. 不同地表雨水径流冲刷特性分析. 环境工程学报, 2012, 6(3): 817-822
Feng Wei, Wang Jianlong, Che Wu. Analysis on characteristics of stormwater runoff flush on different land surfaces. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(3): 817-822
- [13] 张辰. 合流制排水系统溢流调蓄技术研究及应用实例分析. 城市道桥与防洪, 2006, (5): 1-4
Zhang Chen. Study of overflow storage technology of combined sewerage system and analysis of practical example. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2006, (5): 1-4 (in Chinese)
- [14] 颜晓斐. 上海成都路合流污水调蓄池的污染减排效益及优化. 中国给水排水, 2010, 26(8): 6-10, 14
Yan Xiaofei. Pollution reduction benefit and optimization measures of Chengdulu combined sewage detention tank in Shanghai. China Water & Wastewater, 2010, 26(8): 6-10, 14 (in Chinese)
- [15] 黄鸣, 陈华, 程江, 等. 上海市成都路雨水调蓄池的设计和运行效能分析. 中国给水排水, 2008, 24(18): 33-36
Huang Ming, Chen Hua, Cheng Jiang, et al. Design and operation efficiency analysis of Chengdu road stormwater retention tank of Shanghai city. China Water & Wastewater, 2008, 24(18): 33-36