

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.21.008

撤堰改闸方案对河道水量水质的影响评估

王川涛¹, 黄纪萍¹, 牛宇琛¹, 王俊佳¹, 黄丽娇²

(1. 中国城市规划设计研究院 深圳分院, 广东 深圳 518040; 2. 深圳市宝安区大空港新城发展事务中心, 广东 深圳 518100)

摘要: 城市水系的环境综合治理是改善生态的关键,以东莞市生态园南畲朗-大圳埔排水分区为例,针对汇入南畲朗、大圳埔排渠的9条支渠运行水位较高导致溢流堰失效的问题,构建MIKE11一维水动力水质耦合模型,研究了撤堰改闸方案对南畲朗、大圳埔排渠水量水质的影响。结果表明,撤堰改闸方案实施后,可以减少污染负荷,并能有效改善东莞生态园的水环境,其中南畲朗排渠COD削减率为58.4%、氨氮削减率为51.5%、总磷削减率为46.4%;大圳埔排渠COD削减率为51.2%、氨氮削减率为48.8%、总磷削减率为42.3%,这为高密度开发区域污染河道的治理提供了思路。

关键词: MIKE11模型; 撤堰改闸; 水量水质; 水动力水质耦合模型

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)21-0057-07

Impact Assessment of Transforming Weir to Sluice Gate Scheme on Quantity and Quality of River Water

WANG Chuan-tao¹, HUANG Ji-ping¹, NIU Yu-chen¹, WANG Jun-jia¹, HUANG Li-jiao²

(1. Shenzhen Branch, China Academy of Urban Planning & Design, Shenzhen 518040, China;
2. Center for Aero City Development Affair of Bao'an, Shenzhen 518100, China)

Abstract: The comprehensive environmental protection of urban water system is the key to improve its ecological environment. To solve the failure of overflow weir caused by the high water level of 9 branch channels flowing into Nanshelang and Dazhenpu drainage channels in Nanshelang-Dazhenpu drainage district of Dongguan Ecological Park, a MIKE11 one-dimensional hydrodynamic and water quality coupling model was constructed to investigate the impact of transforming weir to sluice gate scheme on water quantity and quality of Nanshelang and Dazhenpu drainage channels. After the implementation of the scheme, the pollution load was reduced, and the water environment of Dongguan Ecological Park was effectively improved. The reduction rates of COD, ammonia nitrogen and total phosphorus of Nanshelang drainage channel were 58.4%, 51.5% and 46.4%, and those of Dazhenpu drainage channel were 51.2%, 48.8% and 42.3%. This paper provided another option for the treatment of polluted rivers in high-density development areas.

Key words: MIKE11 model; transforming weir to sluice gate; water quantity and quality; hydrodynamic and water quality coupling model

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71741024)

通信作者: 王川涛 E-mail: 1690813@qq.com

随着我国城镇化进程的不断推进,水与城的矛盾不断凸显,许多城市发展中的水体黑臭、生态退化等问题亟需解决。近年来,国家相继出台了一系列治水文件,科研人员通过梳理城市点源污染、面源污染等系统,运用 MIKE、SWMM 和 QUAL 等技术手段来消除黑臭水体,治理了水环境,修复了水与城的关系^[1-4]。

笔者以南畲朗-大圳浦排水分区为例,评估现状溢流堰方案和撤堰改闸方案对河道水量水质的影响,旨在为高密度开发区域的水环境治理提供基本思路。

1 南畲朗-大圳浦排水分区概况

1.1 下垫面分析

南畲朗-大圳浦排水分区土地利用情况见图1。

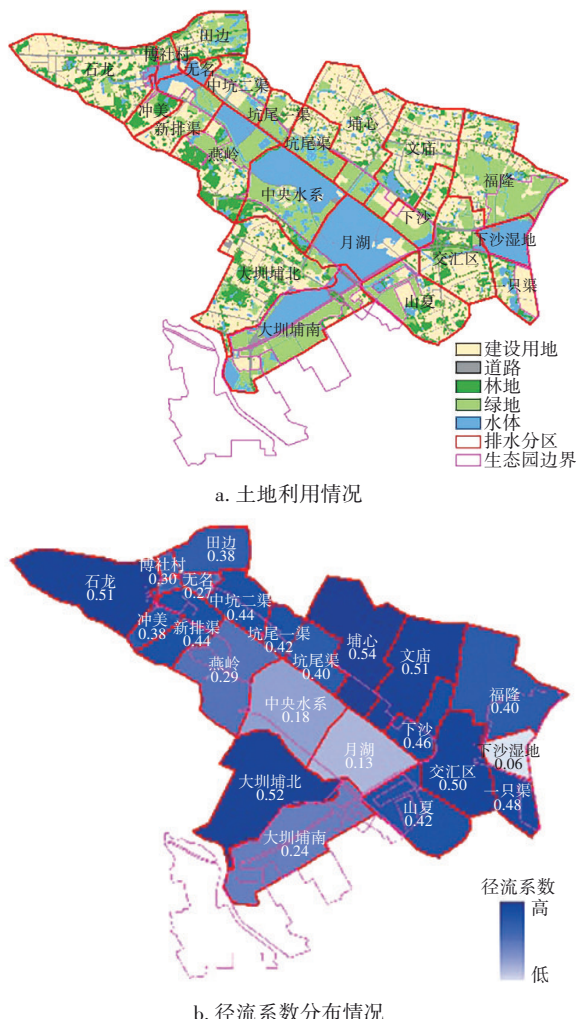


图1 南畲朗-大圳浦排水分区土地利用和径流系数分布
Fig.1 Land use and distribution of runoff coefficient of Nanshelang-Dazhenpu drainage district

南畲朗排渠与大圳浦排渠位于东莞生态园,但汇水面积包括了茶山镇、石排镇和石龙镇等其他镇街的行政范围。南畲朗-大圳浦排水分区面积约为 7 270 hm²,现状城镇建设用占地面积约占 50%,其中位于东莞生态园内的面积约为 3 030 hm²,城镇建设用占地面积约占 19%;生态园外各镇街约为 4 240 hm²,城镇建设用占地面积约占 63%。各镇街污水通过 9 条排渠流入南畲朗排渠和大圳浦排渠,严重影响了水环境。

为了方便进行进一步的研究,将南畲朗-大圳浦排水分区划分为 22 个二级排水分区,见图 1(b)。从径流系数的分布情况可知,由于周边镇街的建设密度较大,生态园外的径流系数明显高于园区内。

1.2 水系概况

南畲朗-大圳浦排水分区的主干水系为南畲朗排渠、大圳浦排渠和新排渠,新排渠与大圳浦排渠之间为月湖。9 条支渠(冲美渠、田边排渠、中坑二渠、坑尾一渠、坑尾渠、埔心排渠、文庙排渠、下沙排渠、福隆排渠)均汇入南畲朗排渠。当遭遇暴雨时,南畲朗-大圳浦排水分区内涝水通过下沙排站、南畲朗排站和大圳浦新旧排站排往东江与寒溪河。

9 条支渠流程较短,补给水源为各镇街的直排污水和雨季溢流水,现状均为黑臭水体。为解决水环境问题,在每条支渠上设置 1 个溢流堰(见图 2)。



图2 南畲朗-大圳浦排水分区水系与水工构筑物分布
Fig.2 Water system and hydraulic structures distribution of Nanshelang-Dazhenpu drainage district

溢流堰的堰高均为 1.3 m,工程建设的目的是拦截支渠污水,解决南畲朗排渠与大圳浦排渠的水质问题。但目前由于地形原因,排涝泵站运行的起排水位较高,南畲朗与大圳浦排渠等主干水系常水

位保持在1.5 m,因此造成溢流堰时常淹没在水面下,截流效果基本失效,虽然有燕岭湿地的深度处理补水,但南畲朗、大圳浦等主干水系的水质仍然较差,均为劣V类。

2 模型构建

2.1 河网概化

为了真实模拟现状,并遵循与实际河网过流能力、调蓄能力相一致的原则,将南畲朗-大圳浦排水分区内的水系进行平面(NET)与断面(cross section)概化。平面上,共概化了13条河道,包括9条支渠、南畲朗排渠、大圳浦排渠、新排渠和月湖,其中9条支渠上各设置1个溢流堰,南畲朗与大圳浦排渠上设置了3处泵站;在断面上,根据实际测量数据进行输入,断面间距约为100~300 m,13条河道共概化了79个断面。

2.2 模型参数选取与率定

2.2.1 产汇流模块(RR)

通过对东莞站31年(1984年—2014年)降雨量资料进行统计,利用P-Ⅲ曲线适线的方法,计算丰水年(年降雨量频率为25%)、平水年(年降雨量频率为50%)、枯水年(年降雨量频率为75%)的年降雨量。考虑到生态园作为封闭管理水体且具有稳定的补水水源,因此受枯水年影响较小。由于丰水年的溢流频次更多,对水环境的影响更大,25%丰水年的降雨总量为2 024 mm,2004年的降雨总量为2 047 mm,两者降雨总量基本相当,因此选取2004年逐时数据作为丰水典型年进行后续研究,降雨数据总量为8 760个。

根据水系与排水管网布局,将南畲朗-大圳浦排水分区划分为22个二级分区,由于现状基本为城镇建成区,模型采用降雨径流模块Urban Model(B)模拟降雨径流,在产汇流模块参数文件中完成22个二级分区的面积、形状、下垫面条件及降雨量等相关水文参数的设置。

2.2.2 边界条件(Boundary)

在模型的边界条件设置中,将9条支渠设置为闭边界,南畲朗排渠、大圳浦排渠边界设置为闸门与泵站联合运行的开边界,直排污水以点源的形式进入模型。

2.2.3 水动力模块(HD)

水动力模块是MIKE11模型的核心模块,主要使用有限差分格式求解圣维南方程组,得到河道的水位、流量与流速等数据。

在水动力模块参数文件中设置初始水位、河道糙率等参数,其中初始水位根据实际运行情况设置为1.5 m,河床糙率曼宁系数设置为0.3。

将模型模拟时间设置为2016年1月1日—12月31日,时间步长设置为30 s,对水动力模型进行率定,以南畲朗排渠与埔心排渠交界处为分析断面,对比实测数据与模型运行数据,两者的相关系数为0.71,说明模拟结果较为准确,基本可以反映水动力的变化过程。

2.2.4 水质对流扩散模块(AD)

对流扩散模块基于水动力模块的模拟结果,模拟物质在水中形成对流扩散过程,基于一维对流-扩散方程,以线性衰减系数代表对水中各模拟物质浓度的影响。对流扩散模块需要率定的参数为扩散系数和COD、氨氮、总磷的衰减系数。9条支渠扩散条件较差,扩散系数取值为 $5 \text{ m}^2/\text{s}$,南畲朗排渠、大圳浦排渠和新排渠等主干水系扩散条件较好,扩散系数取值为 $10 \text{ m}^2/\text{s}$ 。COD、氨氮、总磷的衰减系数无实测值。本研究根据文献[5]和[6]取值,其中支渠与主干水系COD的衰减系数分别为0.035、0.048 d^{-1} ,氨氮的衰减系数分别为0.015、0.024 d^{-1} ,总磷的衰减系数分别为0.010、0.019 d^{-1} 。

将模型模拟时间设置为2016年1月1日—12月31日,时间步长设置为30 s,对对流扩散模块进行率定,以南畲朗排渠与埔心排渠交界处为分析断面,对比实测数据与模型运行数据,两者的相关系数为0.73,说明模拟结果较为准确,基本可以反映水质的变化过程。

2.3 MIKE11水量水质耦合模型构建

建立模型过程中,通过输入河道的平面(NET)、断面(cross section)、产汇流模块(RR)、边界条件(Boundary)、水动力模块(HD)和水质对流扩散模块(AD)等6大模块,构建MIKE11水动力与水质耦合模型,模拟现状溢流堰方案与撤堰改闸方案的水量水质变化。

3 方案模拟与评估

3.1 现状溢流堰方案评估

3.1.1 溢流堰方案水量水质情景

① 点源污染

生态园现状为雨污分流制管网,污水全部进入

南畲朗污水厂进行处理,但汇水范围内各镇街污水系统不完善,仍存在雨污合流及直排河道的管道(见图3)。在旱季,由于溢流堰失效,9条排渠的污水将直接排往生态园。另外,根据管网普查资料,规划范围外分散向生态园排放生活污水的排水口共34个(见图4),其中排往大圳浦排渠18个,排往南畲朗排渠16个。

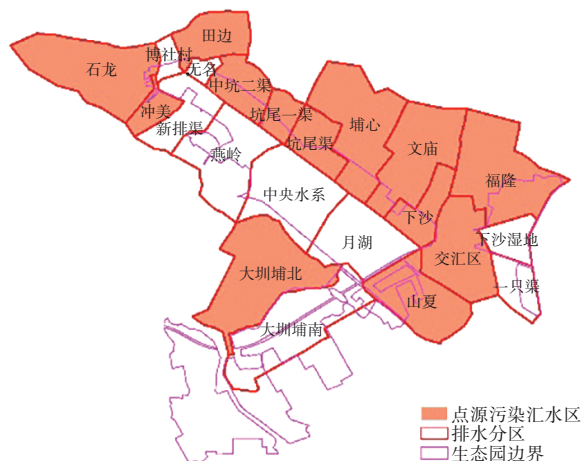


图3 存在污水直排口的二级汇水分区布局

Fig.3 Distribution of secondary catchment areas with straight sewage outlets



图4 9条排渠外汇入河道的污水直排口布局

Fig.4 Layout of straight outlets of sewage from the nine drainage channels into the river

通过对22个排水分区建设用地与排水管网系统的分析,识别出13个汇水分区有直排污水点源。按照单位用地给水量预测污水总量,污染物浓度按照一般生活污水COD、氨氮与总磷的浓度输入。

② 面源污染

按照22个排水分区不同的建设用地分类,计算

出不同用地的污染负荷,形成面源污染文件输入到模型中。

③ 污水处理厂补水

南畲朗污水厂现状处理规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 经污水厂净化至一级A标准后排入南畲朗排渠, $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 经燕岭垂直流湿地深度净化处理后排入月湖。

④ 水工设施

每条支渠上的溢流堰按照宽顶堰进行概化,堰顶高度为1.3 m,堰宽为5~10 m。下沙泵站、南畲朗泵站和大圳浦新旧排站的起排水位为1.7 m,停排水位为1.5 m。

3.1.2 溢流堰方案的水量水质评估

① 水量评估

在现状溢流堰情景下,河道运行水位相对较高,9条排渠平时仅有直排污水汇入。降雨时产生径流,汇水面积越大,水量越大。现状最高水位与最大流量见表1。

表1 现状溢流堰方案各河道最高水位和最大流量

Tab.1 Maximum water level and flow of each river in current overflow weir scheme

项目	最高水位/m	最大流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
南畲朗排渠	1.80~2.19	105.4
新排渠	1.80~1.92	82.5
冲美渠	1.80	6.0
中坑二渠	1.90	9.3
坑尾渠	1.98	9.4
文庙排渠	2.20	27.1
福隆排渠	2.23	23.6
大圳浦排渠	1.70~2.10	54.0
月湖	1.85	83.0
田边排渠	1.89	21.9
坑尾一渠	1.93	5.1
埔心排渠	2.15	27.3
下沙排渠	2.16	7.6

② 水质评估

在现状溢流堰的情景下,9条排渠水质较差,由于设置的水位较高,溢流堰的污染物拦截作用基本失效,其中埔心排渠、文庙排渠和田边排渠汇水范围较大,而且城市建设开发强度越大,污染物排放量越高。南畲朗、大圳浦排渠的水质受到9条排渠的影响,总体水质较差,在埔心排渠、文庙排渠和田边排渠处,影响最严重,水质最差,具体指标如表2

所示。

表 2 现状溢流堰方案各河道水质模拟分析

Tab.2 Water quality simulation analysis of each channel in current overflow weir scheme

mg·L⁻¹

项 目	COD		氨氮		总磷	
	最高浓度	年均浓度	最高浓度	年均浓度	最高浓度	年均浓度
南畚朗排渠	125.6	95.2	11.0	9.7	3.4	2.8
新排渠	64.2	44.1	6.4	5.2	2.1	1.6
冲美渠	137.5	77.1	9.7	7.8	3.0	2.3
中坑二渠	113.6	63.2	7.3	6.3	2.3	1.8
坑尾渠	101.2	67.5	8.2	6.9	2.6	2.1
文庙排渠	126.9	89.8	10.0	8.9	3.1	2.6
福隆排渠	129.7	95.6	10.4	9.4	3.2	2.7
大圳浦排渠	98.8	71.1	10.2	8.0	3.2	2.4
月湖	60.3	44.1	6.4	5.2	2.1	1.6
田边排渠	132.1	66.2	8.5	6.8	2.7	2.0
坑尾一渠	88.5	60.8	7.6	6.4	2.4	1.9
埔心排渠	160.8	90.8	9.7	8.8	3.0	2.6
下沙排渠	129.4	97.9	11.1	9.8	3.4	2.9

3.2 撤堰改闸方案评估

3.2.1 撤堰改闸方案情景

图 5 为撤堰改闸方案的设施布局。

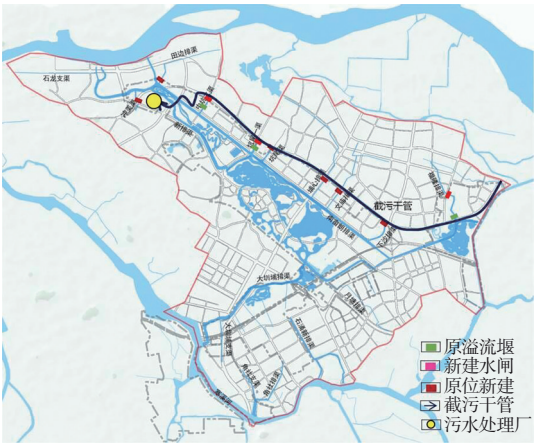


图 5 撤堰改闸方案设施布局示意

Fig.5 Facilities layout in the scheme of transforming weir to sluice gate

现状南畚朗排渠和大圳浦排渠受限于行政区以外 9 条排渠污水收集系统不完善的影响,水质相对较差。但是近期内无法完成截污纳管工程,而且常水位由于受到泵站起排水位的影响而无法下调,溢流堰截污效果基本失效。因此,通过原位新建 6 处闸门、拆堰异地重建 3 处闸门的方式将溢流堰改

成闸门。

实施撤堰改闸方案以后,通过控制闸门,旱季时 9 条排渠相当于调蓄池,通过管道将污水排往截污干渠;在汛期,当 9 条排渠闸前水位达到 1.7 m 时,可以通过开闸将水排入南畚朗排渠和大圳浦排渠,以保障上游的排水安全。

在远期,当 9 条排渠汇水区可完成污水收集处理后,排水水质基本得到改善,取消排渠与截污干管之间的连接管道,闸门的作用调整为控制上游水量与水位,营造水系景观。

3.2.2 河道水量评估

撤堰改闸方案实施后,9 条支渠最高控制水位下降。以埔心排渠和文庙排渠为例,埔心排渠原溢流堰方案最高控制水位为 2.15 m,撤堰改闸方案最高控制水位降至 1.75 m;文庙排渠原溢流堰方案最高控制水位为 2.16 m,撤堰改闸方案最高控制水位降至 1.82 m。

通过 MIKE11 模型预测,撤堰改闸方案实施后能有效减少 9 条支渠进入南畚朗排渠和大圳浦排渠的水量。以埔心排渠和文庙排渠为例,埔心排渠溢流进入主干水系有 12 次,最大溢流量为 10.5 m³/s;文庙排渠溢流进入主干水系有 11 次,最大溢流量为 16.2 m³/s。

撤堰改闸方案实施后 9 条支渠溢流次数与最大流量见表 3。

表 3 撤堰改闸方案 9 条支渠溢流次数与最大流量

Tab.3 Overflow times and maximum overflow of nine branch channels in the scheme of transforming weir to sluice gate

河道名称	溢流次数/次	最大流量/(m ³ ·s ⁻¹)
冲美渠	4	2.7
中坑二渠	3	8.4
坑尾渠	3	6.7
文庙排渠	11	16.2
福隆排渠	5	14.3
田边排渠	4	20.5
坑尾一渠	1	1.7
埔心排渠	12	10.5
下沙排渠	5	3.6

通过闸门的灵活运行,可调节 9 条支渠进入主干水系的水量和控制支渠的最高水位,保障排涝安全。另外,可以有效控制闸门的关闭,保障污染河道的水量尽可能地进入截污干管,降低进入主干水

系的污染负荷。

3.2.3 河道水质评估

撤堰改闸方案实施后,可有效控制 9 条支渠进入南畲朗排渠和大圳浦排渠的水量,从而起到控制水质的目的。通过 MIKE11 模型模拟,9 条支渠水质较差,但南畲朗排渠和大圳浦排渠的污染物浓度得到了较大削减,具体污染物指标见表 4。主干水系

南畲朗排渠年均 COD 浓度削减了 55.6 mg/L,削减率为 58.4%;年均氨氮浓度削减了 5 mg/L,削减率为 51.5%,年均总磷浓度削减了 1.3 mg/L,削减率为 46.4%。大圳浦排渠年均 COD 浓度削减了 36.4 mg/L, COD 削减率为 51.2%;年均氨氮浓度削减了 3.9 mg/L,削减率为 48.8%;年均总磷浓度削减了 1.1 mg/L,削减率为 42.3%。

表 4 现状溢流堰方案与撤堰改闸方案各河道水质的最高浓度

Tab.4 Comparison of highest concentration of water quality in each river between the current situation and the planning scheme

mg·L⁻¹

项目	现状 COD		现状氨氮		现状总磷		撤堰改闸方案 COD		撤堰改闸方案氨氮		撤堰改闸方案总磷	
	最高浓度	年均浓度	最高浓度	年均浓度	最高浓度	年均浓度	最高浓度	年均浓度	最高浓度	年均浓度	最高浓度	年均浓度
南畲朗排渠	125.6	95.2	11.0	9.7	3.4	2.8	101.9	39.6	7.4	4.7	2.2	1.5
大圳浦排渠	98.8	71.1	10.2	8.0	3.2	2.6	68.4	34.7	6.5	4.1	1.8	1.5
新排渠	64.2	44.1	6.4	5.2	2.1	1.6	45.1	28.8	3.8	2.3	1.2	0.8
月湖	60.3	44.1	6.4	5.2	2.1	1.6	45.1	28.8	3.8	2.3	1.2	0.8
冲美渠	137.5	77.1	9.7	7.8	3.0	2.3	104.6	78.9	8.4	8.0	2.9	2.4
田边排渠	132.1	66.2	8.5	6.8	2.7	2.0	117.5	67.8	8.1	7.1	2.6	2.0
中坑二渠	113.6	63.2	7.3	6.3	2.3	1.8	85.7	67.7	8.2	7.2	2.2	1.9
坑尾一渠	88.5	60.8	7.6	6.4	2.4	1.9	77.2	62.3	7.2	6.5	2.3	1.9
坑尾渠	101.2	67.5	8.2	6.9	2.6	2.1	79.2	71.0	7.8	7.0	2.4	2.1
埔心排渠	160.8	90.8	9.7	8.8	3.0	2.6	137.4	94.7	8.6	8.8	2.8	2.6
文庙排渠	126.9	89.8	10.0	8.9	3.1	2.6	105.0	90.1	9.4	8.9	2.9	2.6
下沙排渠	129.4	97.9	11.1	9.8	3.4	2.9	102.4	98.8	10.7	9.9	3.2	3.0
福隆排渠	129.7	95.6	10.4	9.4	3.2	2.7	110.7	95.8	10.0	9.5	3.0	2.7

9 条支渠闸门前后的水质变化较大。以埔心排渠为例(见图 6),闸后水质明显优于闸前水质,闸前最高 COD 浓度为 137.4 mg/L,闸后为 102.5 mg/L;闸前平均 COD 浓度为 94.7 mg/L,闸后为 42.2 mg/L。可见,撤堰改闸方案实施后可有效降低污染物浓度。

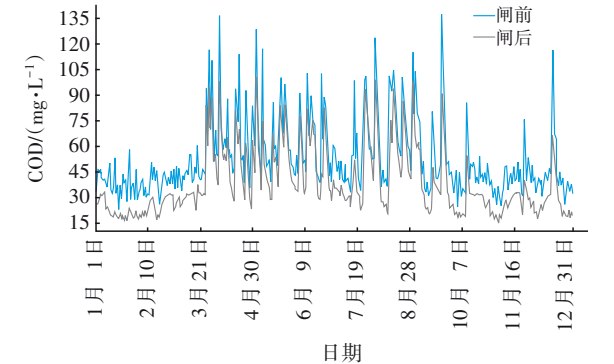


图 6 撤堰改闸方案情景下埔心排渠闸门前后 COD 的变化

Fig.6 Change of COD before and after the gate of Puxin branch in the scheme of transforming weir to sluice gate

南畲朗排渠溢流堰方案最高 COD 浓度为

125.6 mg/L,撤堰改闸方案为 101.9 mg/L;溢流堰方案年均 COD 浓度为 95.2 mg/L,撤堰改闸方案年均 COD 浓度为 39.6 mg/L。大圳浦排渠溢流堰方案最高 COD 浓度为 98.8 mg/L,撤堰改闸方案为 68.4 mg/L;溢流堰方案年均 COD 浓度为 71.1 mg/L,撤堰改闸方案年均 COD 浓度为 34.7 mg/L。可以看出,南畲朗排渠和大圳浦排渠水质虽然无法达到地表水Ⅳ类标准,但基本消除了黑臭现象,水环境得到较大改善。

4 结论与建议

① 基于 MIKE11 模型,建立了水动力与水质耦合模块,模拟了南畲朗-大圳浦排水分区现状与规划的水量水质变化。结果表明,撤堰改闸方案较大地降低了合流制溢流污染负荷,有效改善了东莞生态园的现状水环境,其中南畲朗排渠 COD 削减率为 58.4%、氨氮削减率为 51.5%、总磷削减率为 46.4%;大圳浦排渠 COD 削减率为 51.2%、氨氮削

减率为48.8%、总磷削减率为42.3%。

② 撤堰改闸方案实施后,虽在一定程度上改善了水质,但距离Ⅳ类地表水的水质目标差距仍较大。下一步工作中,应以南畲朗-大圳浦排水分区为治污单元,综合协调东莞生态园与茶山镇、石排镇和石龙镇等镇街,制定区域联合治污机制,完善污水收集处理系统,实现水质目标,打造清新明亮、水城共融的示范区,并为高密度开发区域污染河道的治理提供新思路。

参考文献:

- [1] 朱茂森. 基于MIKE11的辽河流域一维水质模型[J]. 水资源保护, 2013, 29(3): 6-9.
ZHU Maosen. One-dimensional water quality model based on MIKE11 for Liaohe basin[J]. Water Resources Protection, 2013, 29(3): 6-9 (in Chinese).
- [2] 蔡鲁祥, 范昱, 章黎笋, 等. 杭州市余杭塘河支流的水环境生态修复[J]. 中国给水排水, 2015, 31(10): 99-102.
CAI Luxiang, FAN Yu, ZHANG Lisun, et al. Ecological remediation of tributary of Yuhang Tang River in Hangzhou [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(10): 99-102 (in Chinese).
- [3] 周华. 河流综合水质模型QUAL2K应用研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(1): 71-75.
ZHOU Hua. Application research of a comprehensive river water quality model QUAL2K[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2010, 8(1): 71-75 (in Chinese).
- [4] 熊鸿斌, 陈雪, 张斯思. 基于MIKE11模型提高污染河流水质改善效果的方法[J]. 环境科学, 2017, 38(12): 5063-5073.
XIONG Hongbin, CHEN Xue, ZHANG Sisi. Method of improving the water quality of polluted rivers based on the MIKE11 model[J]. Environmental Science, 2017, 38(12): 5063-5073 (in Chinese).
- [5] 杨洵, 梁国华, 周惠成. 基于MIKE11的太子河观一筏河段水文水力模型研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(11): 84-87, 171.
YANG Xun, LIANG Guohua, ZHOU Huicheng. Study on hydrology and hydrodynamic model in Guanying-Shenwo section of Taizihe River based on MIKE11 [J]. Water Resources and Power, 2010, 28(11): 84-87, 171 (in Chinese).
- [6] 胡琳, 卢卫, 张正康. MIKE11模型在东苕溪水源地水质预警及保护的应用[J]. 水动力学研究与进展, 2016, 31(1): 28-36.
HU Lin, LU Wei, ZHANG Zhengkang. Application of MIKE11 model in water quality early-warning and protection in Dong Tiaoxi water source [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2016, 31(1): 28-36 (in Chinese).

作者简介:王川涛(1985-),男,海南屯昌人,硕士,高级工程师,主要从事城市水系、防洪排涝、海绵城市等研究工作。

E-mail: 1690813@qq.com

收稿日期: 2019-09-16

修回日期: 2019-11-18

(编辑:任莹莹)

珍惜资源,保护环境,建设美丽中国