

城市河流综合整治工程的治理效果预测研究

陈荣昌¹, 曾维华¹, 郭立平², 宋其龙¹

(1. 北京师范大学环境污染控制与模拟国家重点实验室, 北京 100875; 2. 中国水污染与废水资源化研究中心, 北京 100101)

摘要 以湖南省常德市穿紫河综合整治工程为例, 利用美国环保局开发的综合水质模型 QUAL2E 对该工程治理方案进行效果预测。根据综合整治的主要治理措施设计了穿紫河水质模拟的五大类情景, 模拟了 COD_{Cr}、DO、BOD₅、NH₃-N 等 4 项指标, 进一步分析了不同截污程度、引水方案和引水量组合工程措施对提高水质达标率的作用, 为穿紫河综合整治工程提供合理化建议。

关键词 城市水系 综合整治 水质模型 模拟设计

中图分类号: TV213.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2005)02-0036-04

Prediction of the effect of urban river integrated treatment projects

CHEN Rong-chang¹, ZENG Wei-hua¹, GUO Li-ping², SONG Qi-long¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. China Research Center for Water Pollution & Waste Water Reuse, Beijing 100101, China)

Abstract The USEPA supported water quality model, QUAL2E, is used to study the effects of the urban river treatment project in Chuanzihe River in Changde, Hunan. Five conditions of water quality simulation are designed according to the main method in the integrated treatment. Four water quality parameters, including COD_{Cr}, DO, BOD₅, and NH₃-N, were simulated. The contribution of different combination of wastewater cut-off, water diversion project, and the diverted water volume to the improvement of water quality is analyzed. Reasonable suggestions are put forward for decision support of the Chuanzihe River integrated treatment project.

Key words urban river; integrated treatment; water quality model; simulation design

城市河流综合整治是一项投资巨大、影响深远的区域性水环境治理工程, 为避免决策失误, 对河流综合整治的各项措施进行深入分析、充分论证十分必要。国内外开展的城市河流综合整治工程所采用的工程措施效果预测方法可分为两类, 一类通过历史水量水质监测数据分析实施效果^[1]; 另一类则通过建立水环境模型对治理效果进行预测, 而后者又可分为建立物理模型^[2]和计算机模型^[3~7]两种。本文将 QUAL2E 水质模型应用于湖南省常德市穿紫河水环境综合整治项目多种治理方案的效果预测。

1 穿紫河水环境现状、综合整治目标与措施

穿紫河水系位于常德市江北城区, 东邻柳叶湖, 南接沅江, 全长 17.3 km (图 1)。近年来, 由于城市

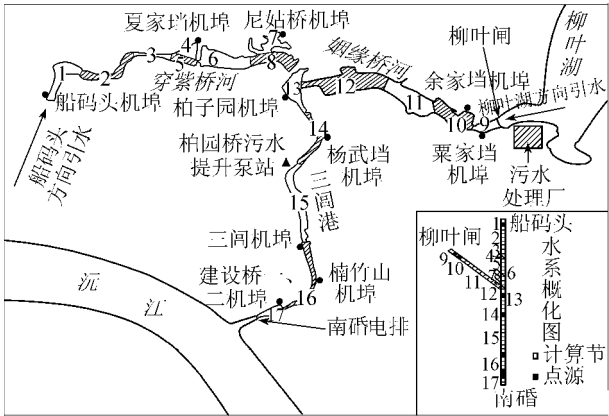


图 1 穿紫河河段划分和沿岸排污机埠情况
排水体制不合理等多方面原因, 穿紫河水水质急剧恶化。根据 2003 年 11 月对穿紫河 6 个断面的监测结

果 ,各项指标值均已经超过 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅴ类水质标准。

综合整治工程的治理目标为穿紫河水质达到Ⅳ类水质标准(GB 3838—2002)。截污子工程针对目前常德市排水体制为直排式合流制的现状 ,将依次在沿岸 11 个排污机埠前设截流管 ,将污水输送至污水处理厂处理。引水子工程可选方案包括一头引水(船码头方向引水)和两头引水(船码头和柳叶湖两个方向引水)两种。清淤子工程清除穿紫河河底淤泥 2 m ,解决穿紫河内源污染。

2 基于水质模型的治理效果预测

2.1 QUAL2E 建模

QUAL2E 是美国环保局维护的一维稳态综合水质模型 ,适用于完全混合的枝状河流 ,可模拟 15 种水质组分^[8]。模型的基本方程如下 :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial \left(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x} \right)}{A_x \partial x} - \frac{\alpha (A_x UC)}{A_x \partial x} + \frac{dC}{dt} + \frac{S}{V}$$

式中 : C 为水质组分质量浓度 , mg/L ; A_x 为河流断面面积 , m^2 ; D_L 为纵向弥散系数 , m^2/d ; U 为纵向平均流速 , m/s ; S 为水质组分的源和汇 , mg/d ; $V = A_x d_x$,为计算节体积 , m^3 。

模拟范围为船码头至南碚出口 ,包括支流姻缘桥河共 8.6 km。模拟中 ,将穿紫河划分为 17 个河段 ,60 个计算节 ,每个计算节长 0.158 km。河段划分和穿紫河沿岸排污机埠的位置及水系概化情况见图 1。

穿紫河的水质污染主要是由于生活污水排放而产生的有机污染 ,因此选取的水质指标为 : COD_{Cr} 、 BOD_5 、 DO 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。模型的几个重要参数取值如表 1 所示。

参数取值在模拟中考虑最不利条件 ,并且把 COD_{Cr} 作为保守物质考虑。由于穿紫河正在进行大规模的综合整治 ,各种参数在综合整治后将发生巨大变化 ,模型所需的率定和验证数据难以获取。因此 ,水质模拟的重点为在 同一前提下不同措施(截污、引水等)组合方案的效果预测与比较 ,并根据预测结果分析问题和提供合理化建议。

表 1 模型所需的部分参数列表^[9,10]

模型参数	物理意义	数值范围 ^[11]	太湖流域水质模型取值 ^[12]	穿紫河水质模型取值	随河段变否	随温度变否	数值可靠程度
K_1/d	CBOD 的耗氧率	0.1 ~ 2.0	0.1 ~ 0.25	0.1	是	是	差
K_2/d	复氧率	0.0 ~ 100	0.25 ~ 0.5	0.25	是	是	好
$K_4/(\text{mgO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1})$	SOD	*	0.18 ~ 2.96	1.6	是	是	差
K_{N1}/d	NH_3 氧化为 NO_2 的速率常数	0.1 ~ 0.5	0.05 ~ 0.15	0.1	是	是	很好
K_{N2}/d	NO_2 氧化为 NO_3 的速率常数	0.5 ~ 2.0	0.5 ~ 2.0	0.5	是	是	很好

2.2 基于工程措施的预测情景设计

穿紫河水质模拟情景分为 5 类 ,如表 2 所示。截污工程首先截船码头和柏子园两个机埠的污水 ,即部分截污。全部截污考虑剩余 9 个机埠的截污。截污分部分和全部截污两种情景。各机埠的截污比按 80% 计算 ,即假定截污后仍有 20% 的机埠污水排入穿紫河。在模拟中假定污染源为均匀连续排放 ,机埠排放量由其对应集水区的面积、人口密度和排污系数求得。

表 2 穿紫河水质模拟情景设计

模拟情景	截污程度	柳叶闸开启状态	引水方案					
			一头引水			两头引水		
			I	II	III	I	II	III
1	部分	关	✓					
2	部分	开	✓					
	部分	开		✓				
	部分	开			✓			
3	部分	开				✓		
	部分	开					✓	
	部分	开						✓
4	全部	开	✓					
	全部	开		✓				
	全部	开			✓			
5	全部	开				✓		
	全部	开					✓	
	全部	开						✓

注 :表中 I、II、III 表示同一引水方式下的不同流量。

为防止穿紫河劣Ⅴ类水污染柳叶湖 ,位于穿紫河与柳叶湖交界处的柳叶闸常年关闭。在模拟中 ,考虑将柳叶闸打开 ,分为柳叶闸开启和关闭两种情景。

引水方案分为一头引水和两头引水两种情景。引水量根据全部截污情景下的污水排放量计算 ,如表 3 所示。部分截污情景考虑实际引水量为计算引水量的 1 倍、1.6 倍和 2.2 倍的情况 ,全部截污情景考虑实际引水流量为计算引水量的 100%、80% 和 60% 的情况(与表 2 中引水方案的 I、II、III 三种流量对应)。

表 3 引水方案设计

引水方式	来水方向	引水流量/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
一头引水	船码头流量	1.569
	进入姻缘桥河流量	0.223
两头引水	船码头流量	1.474
	柳叶闸流量	0.450

3 预测结果分析及建议

3.1 模型计算结果

图2为同一引水流量、不同截污程度和引水方式下,情景2至情景5干流(穿紫桥河、三间港)COD_{Cr}和BOD₅质量浓度的沿程变化。图中,以南碛闸为起点,船码头的位置在6.5 km处。

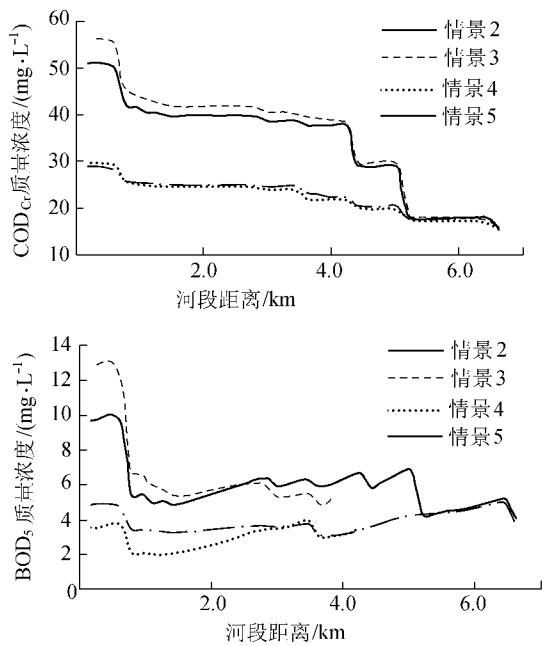


图2 干流 COD_{Cr}和 BOD₅ 质量浓度沿程变化

3.2 基于情景预测的治理方案分析

3.2.1 柳叶闸对姻缘桥河段水质的影响

在柳叶闸关闭的情景下,姻缘桥河水质基本为劣V类。打通柳叶闸将使三间港的COD_{Cr}质量浓度平均下降5 mg/L左右,而姻缘桥河段水质将有大幅度改善。由于打开柳叶闸将对柳叶湖水质产生冲击,在部分截污时不宜打开柳叶闸。因此建议考虑两头引水的方案。图3为干流和支流在柳叶闸打开与否两种情况下,COD_{Cr}质量浓度沿程变化的比较(柳叶闸位于河段距离0 km处)。

3.2.2 两种引水方案对穿紫河及柳叶湖水质影响

通过情景2~5在不同截污程度和不同引水量下对穿紫河水质的预测,在两种引水方案下各指标Ⅳ类水质达标率与引水量的关系如图4所示。在部分截污时,一头引水将更有利于提高水质达标率。在给定引水流量、一头引水时,COD_{Cr}、DO和NH₃-N各指标质量浓度的达标率比相应两头引水时高10%左右。分析原因:一是柳叶湖水质相对较差;二是从柳叶湖引水将把栗家垵和余家垵的机埠污水带入三间港。因此在部分截污实施后,建议立刻对栗家垵和余家垵机埠进行截污。

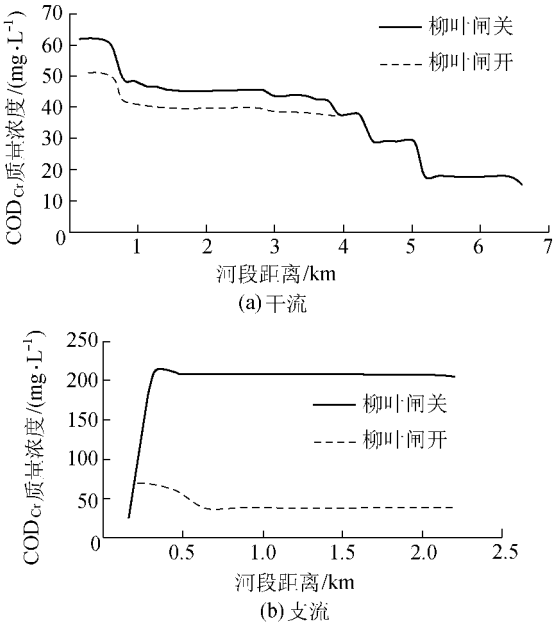


图3 柳叶闸打开与否情况下穿紫河 COD_{Cr}质量浓度沿程变化

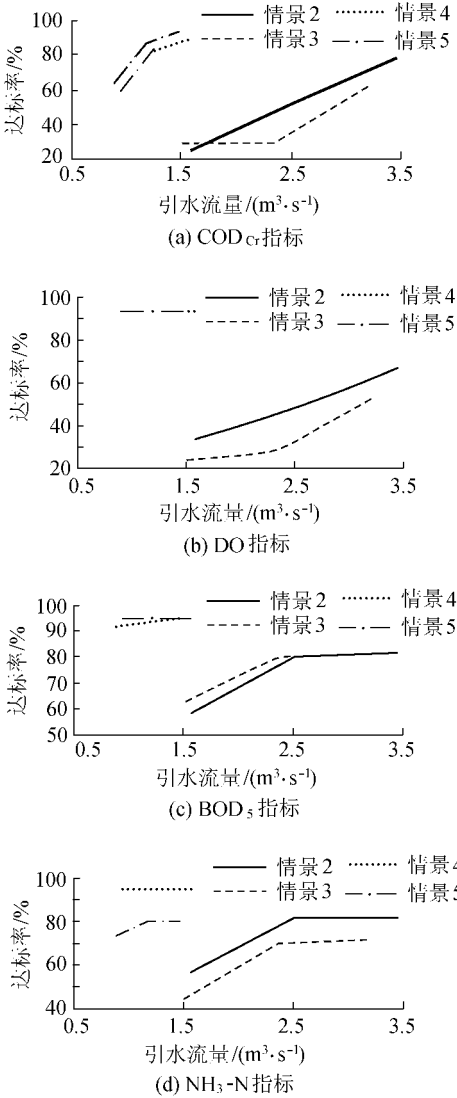


图4 不同情景下各指标Ⅳ类水质达标率与引水量的关系

3.2.3 部分截污与全部截污

部分截污虽然解决了穿紫河中上游的两个大污染源,然而计算引水量下,COD_{Cr}指标达标率不到30%,即使实际引水量加倍,达标率也达不到80%。而全部截污后,穿紫河沿岸各排污机埠污水被截住80%,在计算引水量下,其COD_{Cr}指标达标率就能达到90%以上,即使实际引水量减少为计算引水量的80%,COD_{Cr}指标达标率仍可以保证在80%以上。引水量的变化对各指标达标率的影响在全部截污实施后相对较小。

3.2.4 清污分流是必然趋势

全部截污虽然杜绝了大部分污水进入穿紫河,然而,机埠全部截污的方式并不利于城市的发展。清污分流可使生活污水输送至污水处理厂处理,甚至可以将初期雨水一并输送至污水处理厂处理,这样就彻底解决了城市河流的污染源问题,处理后的水质将与上游来水相近。

清污分流的排水体制是解决城市水系污染问题的最终出路。因此,建议清污分流改造与截污工程协调进行,既要解决机埠污水的排放问题,也要从清污分流角度考虑,分步骤、分区域进行穿紫河水系水环境的综合整治工作。

4 结 论

本文将QUAL2E水质模型应用于综合整治工程的治理效果预测,为工程措施筛选、工程实施步骤提供决策支持。预测结果对穿紫河综合整治工程具有指导意义。由于综合整治工程实施前后河道的水力和水质特征将发生巨大变化,所采用水质模型的参

(上接第20页)降低到2NTU左右。其中漂洗1次水的最佳投药量为115 mg/L左右,后两次漂洗水混合及漂洗2次水的最佳投药量为75 mg/L左右,漂洗3次水的最佳投药量为67 mg/L左右。由此可见,采用图3中的循环利用方案,既可以使循环利用率达到40%左右,又可以保证浊度的处理效果,满足循环利用的要求。

3 结 论

综上所述,选择洗衣房洗涤废水进行分质循环,只将漂洗2次和漂洗3次的水处理循环利用回洗涤和漂洗一次阶段,与国外的循环利用系统相比,简化了处理方法,只采用混凝剂PAC对洗涤废水进行混凝沉淀,满足了循环利用的要求,节约了水资源,降低了洗衣房洗涤废水的处理成本。

数应随着工程的进行作相应的调整,以确保预测的准确性。

参考文献:

[1] 沈爱春. 望虞河引江对太湖的影响研究[J]. 水资源保护, 2002(1): 29~32.

[2] 王扬. 苏州市水环境治理水力学物理模型试验研究[J]. 人民长江, 2001, 32(4): 16~18.

[3] 裴洪平, 王维维, 何金土, 等. 杭州西湖引水后生态系统中磷循环模型[J]. 生态学报, 1998, 18(6): 648~653.

[4] 孙宗凤, 薛联青. 连云港市区水环境调度模型研究[J]. 水利水电技术, 2003, 34(5): 29~32.

[5] 翟淑华, 秦佩瑛. 太湖流域河网水质管理决策支持系统[J]. 水资源保护, 2002(3): 60~62.

[6] 仇国新, 李曼碧, 贺彬. 滇南湖群环境综合治理总体规划研究[J]. 云南环境科学, 2000, 19(5): 113~116.

[7] 贾海峰, 程声通, 丁建华, 等. 水库调度和营养物消减关系的探讨[J]. 环境科学, 2001, 22(4): 104~107.

[8] 吴燕华, 王金如. 河流综合水质模型QUAL2E在通惠河的应用[J]. 水资源保护, 1999(1): 34~38.

[9] Office of Water US EPA. QUAL2E Windows Interface User's Guide[R]. EPA/823/B/95/003, 1995.

[10] Linfield C B, Thomas O B Jr. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS Documentation and User Manual[R]. EPA/600/3~87/007, 1987.

[11] 余常昭, 马尔柯夫斯基 M, 李玉梁. 水环境中污染物扩散输移原理与水质模型[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.

[12] 丁训静, 姚琪, 毛永根. 太湖流域水质模拟研究[J]. 水资源保护, 1998(4): 10~15.

(收稿日期 2004-11-03 编辑 高渭文)

参考文献:

[1] Nolde E. Greywater reuse system for toilet flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin[J]. Urban Water, 1999(1): 275~284.

[2] Eriksson E, Auffarth K. Characteristics of grey wastewater[J]. Urban Water, 2002(4): 85~104.

[3] Otterpohl R, Albold A. Source control in urban sanitation and waste management: ten systems with reuse of resources[J]. Wat Sci Tech, 1999, 39(5): 153~160.

[4] Laundry Water Re-Use for Marine Wastewater Treatment Systems[EB/OL]. <http://www.hydroxyl.com/products/cleansea.html>

[5] Industrial Laundry Wastewater Treatment[EB/OL]. [http://www.vsep.com/pdf/Industrial Laundry.pdf](http://www.vsep.com/pdf/Industrial%20Laundry.pdf).

(收稿日期 2004-01-06 编辑 高渭文)