

西安护城河水环境污染状况分析与综合评价

陶望雄, 李文宾, 孙菲

(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 为研究西安市护城河水环境污染特征,对护城河10个采样点水体的溶解氧(DO)、化学需氧量(COD_{Cr})、总氮(TN)、氨氮(NH₃-N)及总磷(TP)等指标进行测定分析,并对其污染成因进行了探讨。结果表明:西安护城河南-西段从A1~A5,DO、COD_{Cr}、TN、NH₃-N、TP均是随着流向逐渐增大的趋势,水体主要受内源污染;而东-北段沿B1~B5,各监测指标无明显变化规律,但COD_{Cr}、TN、NH₃-N、TP多在B3达到峰值,水体除了受到内源污染外,主要受外源污染影响。采用城市河流环境综合评价方法,构建西安护城河水环境综合评价指标体系和评价模型。护城河总体水环境质量水平较差,其中南段相对较好,西段、东段次之,北段最差,亟待治理和保护。

关键词: 污染成因; 外源污染; 城市河流环境综合评价; 护城河

中图分类号: X502

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)03-0072-04

Analysis and comprehensive evaluation on pollution situation of water environment in Xi'an moat

TAO Wangxiong, LI Wenbin, SUN Fei

(College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to analyze the pollution characteristics of water environment in Xi'an moat, the paper measured the indexes including DO, COD_{Cr}, TN, NH₃-N and TP from 10 sampling points and analyzed its pollution causes. The results show that DO, COD_{Cr}, TN, NH₃-N and TP presents a gradual increase trend with the flow along south-west section of Xi'an moat from sampling points A1 to A5, which indicates that the south-west section may be mainly affected by endogenous pollutants; While these parameters have no obvious variation trend along the east-north section from sampling points B1 to B5, but in the sampling point B3, the indicators such as COD_{Cr}, TN, NH₃-N and TP reached the maximum value in 10 sampling points, which shows that the east-north section may be polluted not only endogenous pollutants, but mainly polluted by exogenous pollutants. The paper applied integrated evaluation method of urban river environment to establish the comprehensive evaluation index system and evaluation model of Xi'an moat. The results show that overall water environmental quality level is poor, that of the southern section is relatively good, that of the western part and the eastern section is the second, and that of the northern section is the worst.

Key words: pollution reason; exogenous pollution; comprehensive evaluation of water environment of urban river; moat

西安护城河是中国城池文化的典型代表,随着西安城市社会经济的不断发展,人们对水环境价值的保护措施的不完善和重视不足,护城河的水质受到不同程度的污染,对城市生态环境和居民健康构成了严重威胁,不但影响了整个城市的形象,同时也制约了城市

经济与社会的发展^[1-4]。

因此,有必要对护城河水环境质量进行系统的分析,对其水环境污染现状与成因做出全面的评价,提出对护城河水环境有效的保护方案,为护城河的规划提供科学依据。

收稿日期:2014-12-26; 修回日期:2015-01-21

基金项目:高等学校学科创新引智计划项目(B08039); 干旱半干旱地区多种农业水资源合理配置及有效利用战略研究(2014-07-XZ-002)

作者简介:陶望雄(1991-),男,湖南益阳人,硕士研究生,主要从事水文学及水资源研究。

1 实验设计

1.1 采样点设置

西安护城河围绕明城墙分为东、南、西、北四段,东南角地势最高,护城河水从此处分为两支,一支沿南、西段流至西北角,另一支沿东、北段流至西北角。通过调查了解护城河水质基本情况及各河段排污口分布情况,设置以下 10 个采样点^[1],如图 1。南-西段为 A 支,东-北段为 B 支,A、B 支各 5 个。

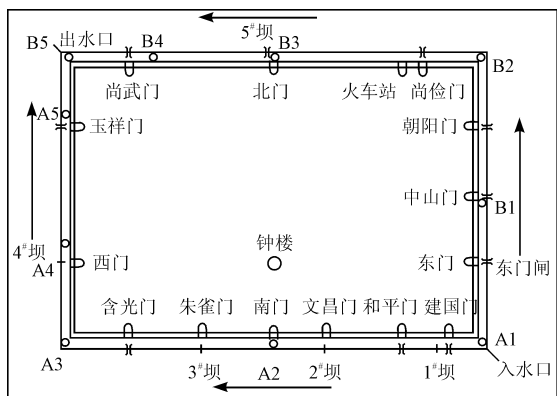


图 1 西安护城河监测点分布

实验从 2013 年 5 月至 11 月,采样频率为每月一次,采样时间为每月的下旬当天的 10:00 - 14:00。采样方法参照《水和废水监测分析方法》,在水面以下 0.5 m 左右深处取样,每个采样点取两组水量各 500 mL,混合作为水样。监测指标包括:PH、化学需氧量(COD)、溶解氧(DO)、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)。

1.2 主要分析指标和方法

该实验分析的主要指标、方法及仪器见表 1。

2 实验结果及讨论

2.1 水质污染指标检测

根据样品检测数据,采用单因子法评价分析,得

到样品监测指标的超标率,见表 2。从表 2 可以看出,除 PH 外,其余指标均超标,以氮磷超标最为严重,护城河整体水质达不到地表水 IV 的标准,不符合景观用水的标准。

表 1 分析的主要指标、方法和仪器

项目	分析方法	仪器名称
水温	温度计法	
pH	玻璃电极法	哈希 HQ40d
溶解氧(DO)	便携式溶解氧仪法	哈希 HQ40d
化学需氧量(COD)	重铬酸钾法	分光光度计
总磷(TP)	钼酸铵分光光度法	紫外可见分光光度计
氨氮(NH ₃ -N)	纳氏试剂分光光度法	紫外可见分光光度计
总氮(TN)	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	紫外可见分光光度计

表 2 样品监测指标超标率

检测指标	pH	DO	COD	TN	NH ₃ -N	TP
超标率/%	0	1.4	54.3	92.8	78.6	71.4

2.2 污染指标空间变化分析

为了进一步研究护城河水水质污染特性,对护城河水水质指标各月份的空间变化趋势进行了分析,本文选取 DO、NH₃-N 和 TP 分析其变化规律见图 2、图 3、图 4。

如图 2 可知,护城河南-西段 DO 从 A1 ~ A5 总体呈上升趋势,A4 开始 DO 有显著升高,其原因是西门至西南角护城河种植了大量的菹草,菹草光合作用释放氧气,提升了该河段 DO 含量;东-北段 DO 值从 B1 ~ B5 呈波动趋势,从 B1 ~ B3,DO 含量呈降低趋势,B3 处出现最低值,B4 处 DO 有较大的回升,由于北门至西北角段,护城河内种植大量菹草,因此 DO 含量较其他河段高。

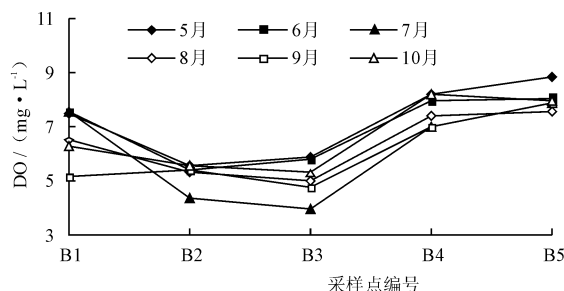
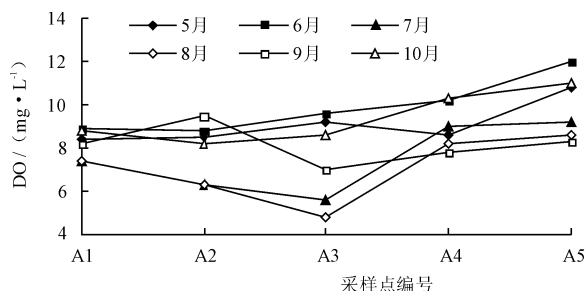


图 2 护城河采样点 DO 变化图

由图3可知,南-西段从A1~A5, $\text{NH}_3\text{-N}$ 呈上升趋势。东-北段 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值 B1~B5 呈波动趋势,在B3处 $\text{NH}_3\text{-N}$ 出现峰值,其主要原因是从B2到B3经过火车站涵洞,此段河流的溶解氧较低,适宜反硝化细菌生长,使得 $\text{NH}_3\text{-N}$ 增高更为明显。

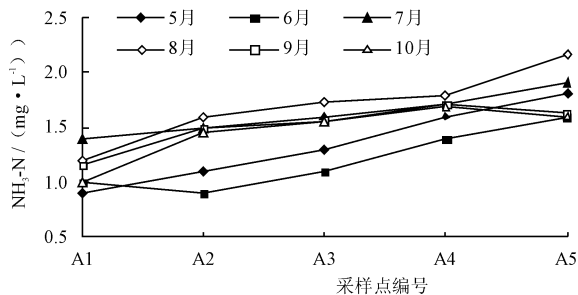
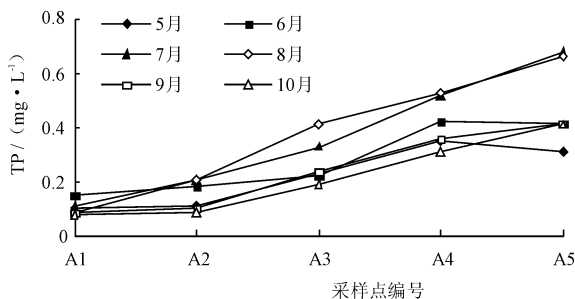


图3 护城河 $\text{NH}_3\text{-N}$ 变化图



由图4可知,南-西段A1~A5, TP 呈较大的增长趋势。在A1点时 TP 的含量较低,小于 0.3 mg/L,说明进水的 TP 没有超标,之后 A2~A5, TP 值逐渐升高。东-北段 B1~B5, TP 的变化规律不明显,在B3点出现峰值。

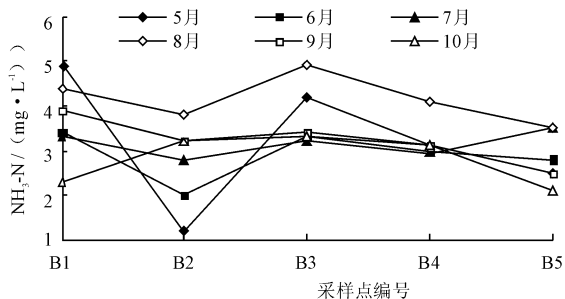


图4 护城河 TP 变化图

综上所述,西安护城河南西段 A1~A5, DO 、 COD_{Cr} 、 TN 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 随着流向均呈增大趋势,由于护城东南角为护城河改造试验河段,管理完善,且有补充水源丰富,因此 A1 污染物指标均低,但沿南西段流向,由于拦河坝拦截河水,使得护城河流速减慢,加上 A2 到 A5 补充水源减少,水利条件恶化,大量污染物沉积形成底泥,底泥及腐殖质积累的有机物、氮、磷,在藻类、水生动物、微生物等的共同作用下,导致底泥污染物释放,导致水质恶化^[6-7]。因此,内源污染是南-西段水体的主要污染源。东-北段 B1~B5, COD_{Cr} 、 TN 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 均呈波动趋势,且均在 B3 达到峰值。经调查发现, B1~B2 之间有兴庆湖退水以及多条污水管和雨水管,且截污箱涵跑、冒、漏情况严重,致使生活污水大量排入河中。B2、B3 之间紧邻着环城北路,护坡硬化过度,绿化面积不足,降雨冲刷公路、建筑物、公园形成的径流(其中包括空气中污染物、空气沉积物、交通污染物,垃圾渗滤物等大量进入此段河流;且此段有火车站及多个客运站形成交通枢纽为点源污染,客流量大、垃圾产量大,管理任务繁重,这些都加剧了护城河污染。因此东-北段除了受到内源污染外,

主要受外源污染的影响。

3 富营养化分析

护城河中 COD 、 TN 、TP 超标严重,容易引起护城河富营养化。因此,选取 A3 和 B2 点分别分析护城河南西段和东北段的富营养化情况。水体富营养化是水体中氮、磷等营养盐含量升高,导致某种优势藻类大量生长繁殖的过程。本文从藻类调查和富营养状态评价两方面对护城河富营养化进行研究。

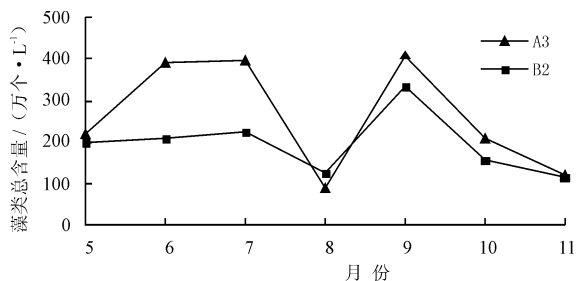


图5 藻类总含量变化趋势

图7为护城河 A3 和 B2 藻类总含量随时间的变化趋势图,由图可知护城河 A3 点藻类在 5、6、7 月生长迅速,密度增加,8 月份由于采样前降雨对河

水的扰动较大,大量藻类随水流外排,藻类的数量大量减少,但 9 月时已有所恢复,此后藻类随着温度光照等变化,藻类的繁殖衰退,数量逐月减少。B2 点藻类密度变化和 A3 点整体近似。

表 3 为护城河综合营养状态指数计算结果。由表可知:护城河南-西段和东-北段都呈现富营养化的状态,A3 点在 6、7、8、9 月呈中度富营养,7 月份富营养程度最重。B2 点在 6、7 月呈中度富营养,8 月为重度富营养,9 月恢复为中度富营养。由此可见,护城河在从 5 月开始富营养化逐渐加重,在 7 月或 8 月达到峰值,之后富营养化逐渐减弱。这是由于从 5 月开始,气温回升,护城河中氮、磷为藻类提供了充足的营养,藻类迅速繁殖,在 7、8 月份达到峰值,之后随着温度、光照、水质变化、藻类生长规律以及优势种群的变化,富营养化逐渐减弱。

表 3 综合营养状态指数及营养状态分级^[5]

采样点	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
A3	53.44	62.12	66.88	65.08	63.85	56.81	57.25
	轻度	中度	中度	中度	中度	轻度	轻度
B2	59.61	62.03	67.09	71.25	65.65	59.89	55.91
	轻度	中度	中度	重度	中度	轻度	轻度

4 西安护城河水环境综合评价

通过上述分析,可知西安护城河水水质污染严重已成事实。但护城河水环境不仅仅是水质的问题,它还包括河流的形态结构、生态和景观等方面^[8]。为了对西安护城河水环境现状进行综合评价,采用城市河流环境综合评价方法,基于护城河水质、动力、形态、生态和景观 5 个方面构建综合评价指标体系和评价模型^[9],确定各指标分为 3 个等级:I 级(差)、II 级(一般)、III 级(好)。具体的评价指标体系和指标评价标准参照朱伟在《城市河流环境综合评价方法探讨》中表 1 及表 2,由于篇幅有限,文中没有列出。

具体评价步骤如下^[5,10]:

(1)确定评价对象节域、经典域与待评物元矩阵 $R_p = (P, C_i, X_{pi}), R_0 = (N_0, C_i, X_{0i}), R_x = (N_x, C_i, X_i)$ 。其中 $C_i (i = 1, 2 \dots 25)$ 为护城河水环境综合评价的 25 个评价指标, X_{pi} 是指标 C_i 所取的总体标准值的量值区间 $[a_{pi}, b_{pi}]$, 即节域; N_0 是某一级标准事物, X_{0i} 是指标 C_i 所规定的某一级标准量值范围 $[a_{0i}, b_{0i}]$, 即经典域; N_x 为将要评价的对象, X_i 为指标 C_i 的量值, 即评价对象的指标实测值。

(2) 确定各指标对于各等级的关联度:

$$K_j(x_i) = \begin{cases} \frac{\rho(x_i, X_{0i})}{\rho(x_i, X_{pi}) - \rho(x_i, X_{0i})} \\ \rho(x_i, X_{pi}) - \rho(x_i, X_{0i}) \neq 0 \\ -\rho(x_i, X_{0i}) - 1 \\ \rho(x_i, X_{pi}) - \rho(x_i, X_{0i}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\rho(x, X)$ 表示 x 值到 X 的区间 $[a, b]$ 距离:

$$\rho(x, X) = |x - (a + b)/2| - (b - a)/2 \quad (2)$$

(3) 综合关联度的计算。即目标层 A 和要素层 B_i 关于各等级 j 的综合关联度。

$$K_j(X) = \sum_{i=1}^n \omega_i K_j(x_i) \quad (3)$$

式中: ω_i 表示第 i 种指标的权重。若 $K_j(X) = \max_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(X)$, 则评定对象属于等级 j 。

(4) 级别变量特征值的确定 j^* 。 j^* 值的大小反映了被评价事物隶属等级的相对位置, 可以比较同一级之间被评价事物的优劣, 从而评价结果更准确。

$$\text{令 } \bar{K}_j(X) = \frac{K_j(X) - \min K_j(X)}{\max K_j(X) - \min K_j(X)} \quad (4)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m (j \cdot \bar{K}_j)}{\sum_{j=1}^m K_j(X)} \quad (5)$$

经过对护城河的实地调查, 结合护城河的自然状态分别将东、南、西、北 4 个河段作为评价对象 S1、S2、S3、S4, 对各评价指标进行归一化处理, 按照公式(1)~(5)和各指标总排序权重值计算, 得出各河段水环境质量评价结果如表 4。

表 4 各河段水环境质量评价结果

河段	水环境综合质量 $K_j(X)$			j	j^*
	I 级	II 级	III 级		
S1	0.040	-0.099	-0.384	I	1.402
S2	-0.269	-0.012	-0.278	II	1.968
S3	-0.210	-0.090	-0.254	II	1.787
S4	0.242	-0.058	-0.459	I	1.364

由表 4 可知, 从各河段的 j 值可以看出各河段 S1、S2、S3、S4 的水环境质量分别是 I、II、II、I, 其中 S1(东段)、S4(北段)为水环境综合质量较差, S2(南段)、S3(西段)为一般。根据等级特征值 j^* 为各河段水环境质量排序为: S2 > S3 > S1 > S4。并由各河段等级水平 j 以及等级特征值 j^* 的大小可知西安护城河总体的水环境质量水平较差。

(下转第 79 页)

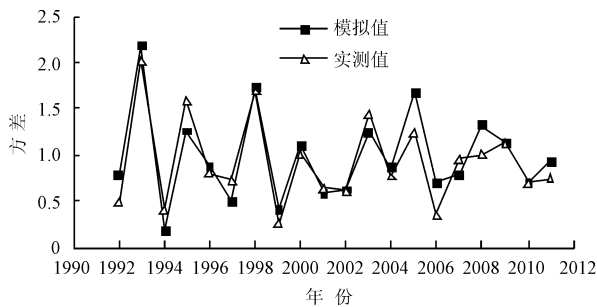


图3 计算值与实测值方差对比图

从图2和图3的对比中可以看出,模拟值和实测值的统计参数(均值和方差)之间有很高的拟合度,其中均值的相关系数高达97%以上,方差的相关系数也在90%以上。表明用此模型来模拟实测值有较高的精度,此种方法适用于月平均流量系列的模拟。

5 结 语

(1)本文把随机微分方程的思想运用到河道行洪过程中,对金沙江流域河道出流过程进行模拟,对河道洪水计算有重要的指导意义。

(2)运用随机微分思想建立模型公式,经过多次的迭代运算,对长系列的月平均径流进行模拟,模型参数少,计算简便合理。

(上接第75页)

由评价结果可以看出,经过治理的护城河南段水环境质量要好于其他河段,可见护城河整治工程取得了阶段性的成功,护城河其他河段亟待治理和保护。

5 结 语

(1)通过对护城河不同位置进行取样分析表明,以地表水IV类为标准,西安市护城河水质监测指标中除pH以外,化学需氧量、溶解氧、氨氮、总氮、总磷均超标,不能达到景观水要求。

(2)分析了西安市护城河水质指标的空间趋势变化特征,并对各河段污染来源进行了探讨,结果表明护城河南西段水体主要受内源污染,而东北段主要受外源污染的影响。

(3)通过对西安护城河水环境质量的综合评价,结果表明,护城河总体水环境质量水平较差,其中经整治过的南段水环境质量相对较好,西段、东段次之,北段最差,亟待治理和保护。

参考文献:

[1] 张学真. 城市化对水文生态系统的影响及对策研究

(3)把模拟值与实测值进行对比,结果表明模拟值与实测值的统计参数拟合良好,模型具有较高的精度和准确性,可以作为河道行洪验算的一种计算方法,为河道调洪计算提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 纪昌明,张验科. 基于随机模拟的水库泄洪风险分析[J]. 人民黄河,2009,31(5):36-37+42.
- [2] 王丽学,林凤伟,汪可欣,等. 基于蒙特卡罗模拟的泄洪风险率计算[J]. 人民长江,2008,39(19):20-22.
- [3] 谢萍萍,宋松柏. 非参数解集模型在月径流随机模拟中的应用[J]. 人民黄河,2010,32(8):36-38+42.
- [4] 雷瑞丽,张贵金,陈雄波. 基于随机微分方程的大坝漫顶风险研究[J]. 人民黄河,2010,32(4):114-115+117.
- [5] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [6] 李克先. 扩散波洪峰流量演算模型研究[J]. 中国农村水利水电,2010(3):29-31.
- [7] 芮孝芳,张超. Muskingum法的发展及启示[J]. 水利水电科技进展,2014,34(3):1-6.
- [8] 王虹. 随机微分方程数值解法在水库调洪演算中的应用[D]. 长春:吉林大学,2009.
- [9] 廖宇,倪长健. 金沙江流域近47年降水特征分析[J]. 人民长江,2011,42(5):55-58+85.
- [10] 郭韦,王昱,王昊,等. 城市水污染现状和国内外水生态修复方法研究现状[J]. 水科学与工程学报,2010(2):57-59.
- [11] 王子,李方敏,董战峰,等. 护城河水污染控制探讨-以荆州市护城河为例[J]. 环境科学与管理,2007,32(10):45-48.
- [12] 刘玉玲,高升,白凯. 西安护城河水水质分析与生态修复方案[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(1):63-65.
- [13] 李文宾. 西安护城河水环境污染与保护研究[D]. 西安:长安大学,2014.
- [14] 牛小磊. 西安护城河整治与水体修复研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2007.
- [15] 陶秋丽,韩张雄,刘美美,等. 西安护城河水体现状监测与污染成因分析[J]. 应用化工,2013,42(1):57-61.
- [16] 王振勇. 对温州市河道水环境综合整治规划思路的几点思考[J]. 水利发展研究,2003,3(6):19-21.
- [17] 赵彦伟,杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探[J]. 水科学进展,2005,16(3):349-351.
- [18] 朱伟,夏霆,姜谋余,等. 城市河流水环境综合评价方法探讨[J]. 水科学进展,2007,18(5):736-744.