

城市大型缓流景观水体水环境 容量总量动态控制研究

郑剑锋^{1,2}, 贾泽宇^{1,2}, 邱春生^{1,2}, 孙力平^{1,2}

(1. 天津城建大学 环境与市政工程学院, 天津 300384; 2. 天津市水质科学与技术重点实验室, 天津 300384)

摘 要: 针对缺水城市大型缓流景观水体水环境容量小、水质易恶化问题,提出了利用水环境容量总量动态控制模型进行水质管理的方法。以天津渤龙湖景观水体为研究对象进行实例研究。水环境容量计算结果表明:渤龙湖自然水环境容量无法容纳污染物输入总量的要求,而水体循环净化系统按照设计负荷运行时,会产生较大的剩余水环境容量。利用模型对渤龙湖水环境容量总量动态控制结果表明,在水体达到 IV 类水质标准的同时,优化后水体循环净化设施水量负荷可降低 46.1%,且水环境容量得以充分利用。

关键词: 缺水城市; 景观水体; 水环境容量; 总量动态控制模型

中图分类号: X26 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2014)02-0046-03

Study on dynamic control of total content of water environmental capacity in landscape water body of large flow in urban city

ZHENG Jianfeng^{1,2}, JIA Zeyu^{1,2}, QIU Chunsheng^{1,2}, SUN Liping^{1,2}

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China;

2. Tianjin Key Laboratory of Aquatic Science and Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: In the light of problem of small water environmental capacity and bad water quality of urban landscape water body in water-deficient city, the paper proposed a method that use dynamic control model of water environmental capacity and total content to conduct water quality management. Taking Bolong urban landscape lake in Tianjin as a case study, water environmental capacity calculation results of Bolong urban landscape lake showed that natural water environmental capacity cant not satisfy the requirement the total pollutant input, but if water purification system operates according to design patterns, which can produce more remaining water environmental capacity. Using the model to conduct dynamical control for total water environmental capacity in Bolong urban landscape lake and when the water quality standard reach class IV, the water load of water purification system can be reduced by 46.1 percent. The water environmental capacity can be fully used.

Key words: water-deficient city; urban landscape water; water environmental capacity; dynamic control model of total content

大型景观水体作为城市水系统的重要组成部分,兼具景观娱乐、改善城市生态环境和雨洪调蓄等多重功能,良好的水质是实现其各项功能的关键。但我国许多缺水城市淡水资源严重匮乏,景观水体的用水需求往往不在公共供水系统的原有服务范围内,其补水多来自于雨水、再生水等低质水源,加上缓流景观水体水环境容量小,水质极易恶化。水体

循环净化是景观水体水质维护常采用的方法^[1-3],但如何根据水体水质变化情况及时准确调整水体净化系统的运行方式,一直是景观水体水质管理的重点和难点。利用水环境容量总量控制模型进行水质管理,具有灵活、快速、可操作性强等优点^[4-10],本研究以天津滨海高新区渤龙湖景观水体为研究对象,定量研究水体水质和污染物排放量的定量关系,

收稿日期:2013-10-18; 修回日期:2013-11-14

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07308-002);国家自然科学基金(21206106、51108299);天津水质科学与技术重点实验室开放基金(TJKLAST-2011-16)

作者简介:郑剑锋(1976-),男,浙江人,博士,主要从事水污染控制理论与技术方面的研究。

建立其水环境容量总量动态控制模型,提出其水体循环净化系统最佳运行方案。

1 研究区概况

渤龙湖位于天津滨海高新区、濒临渤海、海河下游,属暖温带半湿润大陆性季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,春、秋短促,年平均气温 $10 \sim 12^\circ\text{C}$, 年均降水量为 $522 \sim 663 \text{ mm}$, 雨水多集中在 $6 \sim 8$ 月, 占全年总降水量的 $70\% \sim 73\%$, 年平均蒸发量高达 $1\,500 \sim 2\,000 \text{ mm}$, 属典型的缺水地区。渤龙湖景观水体工程由渤龙湖、景观河道、湿地和净化塘构成, 常水位(2 m)时, 总水面面积为 1.76 km^2 , 蓄水量 240 万 m^3 , 其补水水源为雨水和再生水, 为进一步提升补水水质, 构建了表面流湿地雨水净化系统和潜流湿地再生水深度净化系统, 其水体循环净化系统由规模为 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 循环泵站和净化塘组成。

2 研究方法

2.1 水环境容量计算模型

渤龙湖景观水体为浅水缓流水体, 水质空间分布均匀, 故忽略水质的空间差异性, 可根据混合型零维水质模型构建其水环境容量计算模型, 对于这种连续流完全混合反应的理想情况, 根据质量平衡原理, 可建立水质因子浓度变化的微分方程为:

$$V \frac{dC_0^p}{dt} = \sum_{i=1}^m Q_i C_i^p - Q_0 C_0^p - \eta^p Q_j C_0^p - k^p V C_0^p \quad (1)$$

式中: C_0^p 为景观水体中和外排水中第 p 种污染物的浓度; C_i^p 为第 i 种补水水源的第 p 种污染物浓度; Q_0 为外排水流量; Q_i 为第 i 种水源的补水流量; Q_j 为水体循环净化系统的水量负荷; V 为景观水体的蓄水量; k^p 为第 p 种污染物的自然衰减系数; η^p 为水体循环净化系统对第 p 种污染物的去除率; m 为水源数量。

依据混合型水质模型, 当水体水质处于稳定状态时, 即 $\frac{dC_0^p}{dt} = 0$, 则(1)式可变为:

$$\sum_{i=1}^m Q_i C_i^p = Q_0 C_0^p + \eta^p Q_j C_0^p + k^p V C_0^p \quad (2)$$

水体中主要污染物浓度 C_0^p 应达到或接近理想水质标准 C_b^p , 即:

$$\text{Min}\{DC^{p\pm} = C_0^p - C_b^p\} \quad (3)$$

式中: C_b^p 为水体第 p 种污染物的理想水质标准限定值。

若水体中污染物浓度与满足景观水体功能的情况下理想水质出现负偏差, 说明水体水质比预期水

质要好。当水体中第 p 种污染物浓度 C_0^p 与理想水质标准相同, 即 $C_0^p = C_b^p$, 根据公式(2)可得到满足景观水体功能的第 p 种污染物允许最大排入量, 即水体对第 p 种污染物的水环境容量。进入水体的第 p 种污染物的输入量应小于其水环境容量总量。水环境容量计算模型如下:

$$W^p = Q_0 C_b^p + \eta^p Q_j C_b^p + k^p V C_b^p \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m Q_i C_i^p \leq W^p \quad (5)$$

式中: W^p 为景观水体对第 p 种污染物的水环境容量。

2.2 水环境容量总量动态控制模型

由式(4)可知, 在水体水质达到理想水质标准且处于稳定状态时, 水环境容量包括迁移容量 $Q_0 C_b^p$ 、自净容量 $k^p V C_b^p$ 和人工净化容量 $\eta_j^p Q_j C_b^p$ 3 部分, 其中人工净化容量是可调控的, 故可通过调节人工净化容量进行水环境容量总量动态控制。由于水源的补水量和污染物浓度通常是非恒定的, 故若以固定条件下的水环境容量进行污染物总量控制, 会导致水环境容量浪费。若在水质目标确定的情况下, 可通过调节人工净化容量进行水环境容量总量动态控制, 以适应水源补水量和水质的变化。水环境容量总量动态控制模型如下:

$$\sum_{i=1}^m Q_i C_i^p - Q_0 C_b^p - k^p V C_b^p \leq M^p \quad (6)$$

$$M^p = \eta_j^p Q_j C_b^p \quad (7)$$

3 结果与分析

3.1 水环境容量计算条件设定

(1) 分别对水体循环净化系统最大水量负荷 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 和无水体净化系统作用 2 种情况进行水环境容量计算;

(2) 以月为计算时间单位对 3 - 11 月景观水体的水环境容量进行计算;

(3) 选用 COD 和氨氮作为水环境容量计算水质因子;

(4) 以《地表水环境质量标准 (GB3838 - 2002)》的 IV 类水体水质指标限定值作为水环境容量计算的水质标准;

(5) 利用水体水质监测数据对水体 COD 和氨氮自然衰减系数的估值计算, 率定 COD 和氨氮自然衰减系数分别为 k^{COD} 为 0.01 d^{-1} 、 $k^{\text{NH}_3-\text{N}}$ 为 0.01 d^{-1} ;

(6) 根据渤龙湖水体净化系统的污染物设计去除负荷, 核算得到最大水量负荷条件下 COD 和氨氮

的去除率分别为 η^{COD} 为 36%、 $\eta^{\text{NH}_3\text{-N}}$ 为 40%；

(7) 渤龙湖水量消耗情况见图 1, 5-8 月水体水量消耗由雨水补充, 3、4、10、11 月由再生水补充。

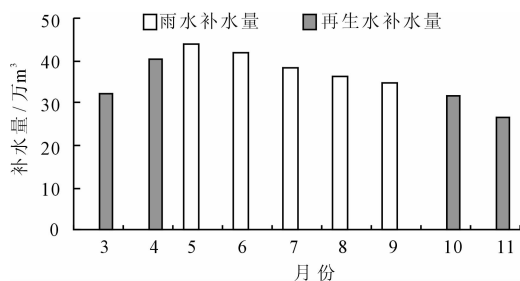


图1 渤龙湖补水量现状

(8) 由于研究时段外排水量为零, 则不计算迁移容量 $Q_0 C_b^p$;

(9) 6、7、8 月为汛期, 渤龙湖水位维持在汛限水位 1.7m(蓄水量 216 万 m^3) 运行, 其它时段保持正常水位 2 m(蓄水量 240 万 m^3) 运行。

3.2 现状水环境容量计算结果分析

渤龙湖景观水体现状水环境容量计算结果见图 2、3, 各月 COD 输入负荷量范围为 13.32 ~ 49.29 t/月, 氨氮为 1.31 ~ 2.02 t/月。水体自然水环境容量(无水体循环净化系统作用)计算结果表明, COD 水环境容量为 19.44 ~ 21.6 t/月, 5-9 月水环境容量远小于 COD 输入负荷量; 氨氮水环境容量为 1.3 ~ 1.44 t/月, 氨氮水环境容量普遍小于输入负荷量, 表明在无水体循环净化系统作用的情况下, 水质无法满足水体 IV 水质标准要求。当水体循环净化系统在设计最大水量负荷 300 万 m^3 /月条件下运行时, 水环境容量大幅增加, COD 为 51.8 ~ 54 t/月, 氨氮为 2.77 ~ 2.88 t/月, 水体各月水环境容量均大于 COD 和氨氮输入负荷量, 但若水体循环净化系统按设计最大水量负荷运行时, 各月水环境容量均有较大剩余量。

3.3 水环境容量总量动态控制结果分析

利用水环境容量总量动态控制模型, 对水体循环净化系统的水量负荷进行优化, 结果见图 4。COD 和氨氮达到 IV 水质标准所需的水体循环净化水量负荷各月均不相同, 为了使 COD 和氨氮两项水质指标同时达标, 3、4、10、11 月需根据氨氮达标要求进行水体循环净化系统水量负荷控制, 5-9 月应按 COD 达标要求控制水体循环净化系统的水量负荷。通过水环境容量计算, 提出水体循环净化系统运行方案(图 5), 优化后水体净化系统平均水量负荷为 161.8 万 m^3 /月, 仅为设计最大水量负荷的

53.9%。水环境容量总量动态控制结果表明, 若根据污染物输入负荷量的变化, 通过水环境容量总量动态控制, 优化水体净化系统水量负荷, 可减少水环境容量浪费, 降低水体循环净化系统运行成本。

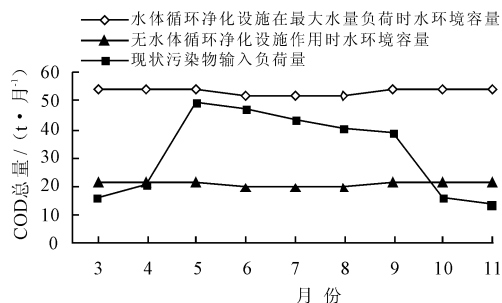


图2 COD输入负荷量及水环境容量

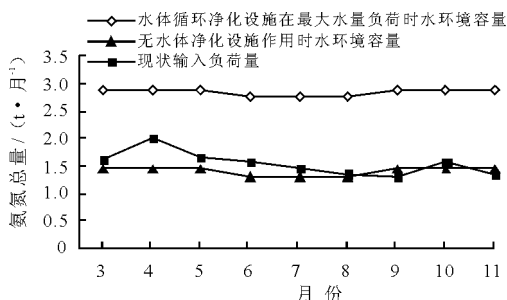


图3 氨氮输入负荷量及水环境容量

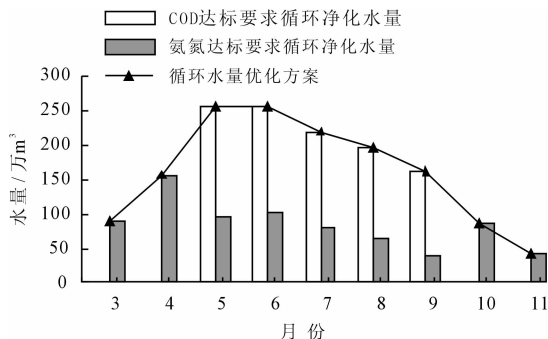


图4 水体循环净化系统优化结果

4 结 语

以缺水城市大型缓流景观水体为研究对象, 从水环境容量总量控制的角度, 提出了一种应用于景观水体水质管理的水环境容量总量动态控制模型, 模型充分考虑水文特征、水源补水方式、水体自净能力和水体净化系统运行方式。应用模型对天津滨海高新区渤龙湖景观水体进行实例研究, 水环境容量计算结果表明, 利用自然水环境容量无法满足水体 IV 水质标准要求, 需利用水体净化系统增加水环境容量。但若水体循环净化系统在设计最大水量负荷条件下运行

(下转第 53 页)

系,在 pH 为 3.0、0.75 mmol/L Fe^{2+} 和电流密度为 2.0 mA/cm^2 的条件下,经过 180 min 电解可实现 73.9% 三氯生的降解,这为电芬顿处理水中药品及个人护理品污染提供了理论基础。

参考文献:

- [1] Meshko V, Markovska L, Mincheva M, et al. Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite [J]. Water Research, 2001, 35(14): 3357–3366.
- [2] Martinez – Huitle C A, and Brillas E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2009, 87(3): 105–145.
- [3] Rosales E, Pazos M, and Sanromán M A. Advances in the electro-fenton process for remediation of recalcitrant organic compounds [J]. Chemical Engineering Technology 2012, 35(4): 609–617.
- [4] Brillas E, Sireś I, and Oturan M A. Electro-fenton process and related electrochemical technologies based on fenton's reaction chemistry [J]. Chemistry Reviews, 2009, 109(12): 6570–6631.

- [5] Geim A K. Graphene: status and prospects [J]. Science, 2009, 324: 1530–1534.
- [6] Geim A K, Novoselov K S, Morozov S V, et al. Electric field effect in atomically thin carbon films [J]. Science, 2004, 306: 666–669.
- [7] Hummers Jr W S, Offeman R E. Preparation of graphitic oxide [J]. Journal of the American Chemical Society, 1958, 80(6): 1339–1339.
- [8] Kovtyukhova N I, Ollivier P J, Martin B R, et al. Layer – by – layer assembly of ultrathin composite films from micron – sized graphite oxide sheets and polycations [J]. Chemistry of Materials, 1999, 11(3): 771–778.
- [9] Flox C, Ammar S, Arias C, et al. Electro-fenton and photoelectro-fenton degradation of indigo carmine in acidic aqueous medium [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2006, 67(1–2): 93–104.
- [10] Brillas E, Mur E, Saulea R, et al. Anline mineralization by AOPs: anodic oxidation, photocatalysis, electro – Fenton and photo – Fenton processes [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 1998, 16(1): 31–42.

(上接第 48 页)

时,会导致水环境容量浪费较大。利用模型对水体循环净化系统的水量负荷进行优化,可使水体达到 IV 水质标准且水环境容量得以充分利用。

参考文献:

- [1] 王秀朵. 北方缺水城市景观水体污染控制 [J]. 给水排水, 2011, 37(7): 1–3+46.
- [2] 关代宇, 贾海瀛. 天津泰达再生水景观水体构建技术及工程示范 [J]. 中国给水排水, 2013, 29(3): 33–37.
- [3] 彭澄瑶, 张杰, 李冬, 等. 城市水资源可持续利用新模式研究——以中新天津生态城为例 [J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(5): 753–759.
- [4] 逢勇, 陆桂华, 吴泽毅, 等. 水环境容量计算理论及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.

- [5] 黄真理, 李玉梁, 李锦秀, 等. 三峡水库水环境容量计算 [J]. 水利学报, 2004, 35(3): 7–14.
- [6] 姜欣, 许士国, 练建军, 等. 北方河流动态水环境容量分析与计算 [J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(4): 409–414.
- [7] 赵显波, 雷晓云, 沈志伟, 等. 蘑菇湖水库水环境容量总量控制研究 [J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(2): 86–89.
- [8] 杨杰军, 王琳, 王成见, 等. 中国北方河流环境容量核算方法研究 [J]. 水利学报, 2009, 40(2): 194–200.
- [9] 陈丁江, 吕军, 沈晔娜, 等. 饮用水水源保护区河流水环境容量计算模型 [J]. 环境科学, 2008, 29(9): 2437–2440.
- [10] 王玉敏, 周孝德, 李家科. 湖泊水环境容量迭加计算方法研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(6): 108–112.