

基于生态服务功能的城市湖泊生态系统需水量分析

冯翠红¹, 刘海学², 余建民¹

(1. 华北水利水电学院资源与环境学院, 郑州 450011; 2. 中化地质矿山总局河南地质勘查院, 郑州 450011)

摘要: 城市湖泊生态系统具有提供产品、调节生态、文化娱乐和生命支持等四大服务功能, 城市湖泊生态系统需水量的确定应以维护其生态服务功能, 实现湖泊生态系统可持续发展为目标。阐述了城市湖泊生态系统需水量的内涵, 提出了需水量计算应遵循功能性原则、生态优先原则、兼容性原则和动态性原则, 建立了基于生态服务功能的城市湖泊生态系统需水量动态模拟模型, 最后进行了实证检验。

关键词: 城市湖泊; 生态系统; 服务功能; 需水量; 模拟

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0161-02

The Water Requirement Analysis of Lake Ecological System Based on Ecological Service

FENG Cui-hong¹, LIU Hai-xue², YU Jian-min¹

(1. Geotechnical Engineering, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011;

2. Henan Geological Exploration Institute of China Chemical Geology & Mining Bureau, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: The city lake ecological system have four service functions: supplying product, adjusting ecology, culture and entertainment, sustaining lives. The determination of the city water requirement of lake ecological system must consider maintaining the ecological service function and the sustainable development of the lake ecological system. The meaning of the water requirement of city lake ecological system is represented; the functional principle, ecology priority principle, compatibility principle and dynamic principle for calculating the water requirement are put forward; the dynamic simulation model of water requirement of lake ecological system based on ecological service is built. At last, verifies the theory.

Key words: the city lake; ecological system; service functions; water requirement; simulation

1 引言

湖泊水资源可持续利用与生态环境效应调控已成为湖泊及流域科学和城市水利科学发展的一个重要方向^[1]。城市湖泊是城市水文系统的重要组成部分, 是理想城市模式的重要组成部分, 是联系自然生态系统与人口——社会系统的重要纽带^[2]。城市湖泊承担着防汛、供水、调节城市生态平衡和美化城市风貌等重要职能^[3]。但人们在规划、开发利用城市湖泊的过程中, 往往仅注重它是资源和功能的载体, 而忽视了如何维护它的生态服务功能。科学合理的确定城市湖泊生态系统需水量, 对于维护它的生态服务功能, 可持续利用城市湖泊水资源, 实现它的生态价值和经济价值具有重要的意义。

2 城市湖泊生态系统的服务功能定位

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用^[4]。它不仅包括各类生态系统为人类所提供的食物、医药及其它工农业生产原料, 更重要的是支撑与维持了地球的生命支持系统^[5]。

城市湖泊是城市水文系统的重要组成部分, 由于人类活动的影响, 城市湖泊生态系统具有不同于自然湖泊的特点:

湖岸带及湖体人工化, 湖盆浅, 换水周期长, 珍稀物种、挺水及浮水水生植物缺失等。城市湖泊在保留自然湖泊生态系统服务功能的同时, 又增加了一些人为的服务功能。根据城市湖泊生态系统提供服务的机制、类型和效用, 把城市湖泊生态系统的服务功能划分为提供产品、调节生态、文化娱乐和生命支持四大类^[3, 6, 7]。

城市湖泊提供的产品主要包括城市生活及生产用水、水产资源等。城市湖泊的生态调节作用主要包括: 雨洪调节、水资源蓄积、水质净化、空气净化、区域气候调节等。城市湖泊的文化娱乐功能主要包括: 教育价值、景观价值、文化遗产价值、娱乐和生态旅游价值等等。城市湖泊的生命支持功能是指维持自然生态过程与区域生态环境条件的功能, 是上述服务功能产生的基础。如: 土壤形成与保持、光合产氧、氮循环、水循环、初级生产力和提供生境等。

3 城市湖泊生态系统需水量的概念与计算原则

3.1 城市湖泊生态系统需水量的概念

根据城市湖泊生态系统服务功能的定位, 可将城市湖泊生态系统需水量定义为: 为保证特定发展阶段的城市湖泊生态系统结构, 维护其生态服务功能, 保护生物多样性, 维护并逐步改善生态环境, 保障一定范围的社会经济系统用水, 为

* 收稿日期: 2006-06-09

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2002AA2Z4291); 华北水院青年科研基金(HSQJ2004005)

作者简介: 冯翠红(1973-), 女, 华北水利水电学院资源与环境学院, 硕士, 主要从事水文水资源方面的教学和研究。

实现其生态价值和经济价值所需的一定质量的水量。

3.2 基于生态服务功能的城市湖泊生态系统需水量的计算原则

城市湖泊生态系统需水量的计算要遵循功能性原则、生态优先原则、兼容性原则和动态性原则。

(1) 功能性原则。城市湖泊生态系统需水量的确定必须与维护其服务功能,实现湖泊生态系统可持续发展为目标。为维护提供产品的服务功能,城市湖泊必须满足一定范围的社会经济需水量;为维护调节功能,必须满足湖泊自身存在的需水量、水面和水生植物蒸散发量、湖泊净化需水量;为维护文化功能,必须满足景观和娱乐需水量;为维护生命支持功能,必须满足湖泊渗漏需水量和生物栖息地的需水量。

(2) 生态优先原则。城市湖泊生态系统需水量计算应以保证湖泊的生态环境功能,恢复和维护其生物多样性和生态完整性为前提^[8],应优先满足湖泊自身存在的需水量、水面和水生植物蒸散发量、湖泊渗漏需水量、湖泊净化需水量和生物栖息地的需水量^[9]。

(3) 兼容性原则。由于水资源的特殊性,城市湖泊生态系统的服务功能具有兼容性,从而使得各项需水量中部分类型具有兼容性。兼容性主要表现在:①湖泊自身存在的需水、生物栖息地的需水和景观娱乐需水三者兼容;②湖泊向城市的供水过程与湖泊的水体净化循环过程兼容,社会经济需水与湖泊净化需水兼容。

(4) 动态性原则。动态性原则表现在:①由于各项需水量的动态变化,如社会经济需水随季节和人口、经济规模的变化,以及湖泊蒸散发需水的季节性变化,导致城市湖泊生态系统需水量的动态变化;②城市湖泊水深随着降雨的丰枯和防洪要求发生季节性变化。

4 基于生态服务功能的城市湖泊生态系统需水量动态模拟

4.1 总体思路

基于生态服务功能的城市湖泊生态系统需水量动态模拟的总体思路是,以维护城市湖泊生态系统的服务功能,实现城市湖泊的生态价值和经济价值为目标,遵循功能性原则、生态优先原则、兼容性原则和动态性原则,将城市湖泊水体循环过程与一定范围的社会经济需水过程统一运行,推求出既满足城市湖泊生态环境需水又满足一定范围社会经济需水的城市湖泊生态系统需水过程。

4.2 模拟模型

(1) 目标函数

①为提高水资源的利用效率,拟定城市湖泊生态系统需水量最小。

$$\min W = \sum_{t=1}^n W(t) \tag{1}$$

式中: $W(t)$ ——第 t 时段城市湖泊生态系统需水量 (m^3);

②为防止对湖泊生态系统的破坏,拟定城市湖泊各时段始末最大水位差最小。

$$\min \Delta h = \min \max |h(t+1) - h(t)| \tag{2}$$

式中: $h(t+1)$ ——城市湖泊第 t 时段末水位 (m); $h(t)$ ——城市湖泊第 t 时段初水位 (m)。

(2) 约束条件

①水量平衡约束

$$V(t+1) = W(t) - EW(t) - LO(t) - DL(t) - DR(t) \tag{3}$$

式中: $V(t+1)$ ——第 t 时段末城市湖泊的蓄水量 (m^3); $EW(t)$ ——第 t 时段城市湖泊供水范围内的社会经济需水量 (m^3); $LO(t)$ ——第 t 时段城市湖泊的蒸散发需水量与渗漏需水量之和 (m^3); $DL(t)$ ——因防洪度汛,第 t 时段城市湖泊的弃水量 (m^3); $DR(t)$ ——因水质超标,第 t 时段城市

湖泊的排水量 (m^3)。

②库容约束:

$$V_{\min} \leq V(t) \leq V_{\max}(t) \tag{4}$$

式中: $V(t)$ ——第 t 时段初城市湖泊的蓄水量 (m^3); V_{\min} ——城市湖泊的最小蓄水量(城市湖泊自身存在的需水量、生物栖息地的需水量和景观娱乐需水量三者的最大值) (m^3); $V_{\max}(t)$ ——第 t 时段城市湖泊的允许最大蓄水量 (m^3),汛期为汛限水位以下的库容,其余时期为正常蓄水位以下的库容。

③排水约束:

若 $C_2(t) > C_s(t)$, 则

$$\frac{(W(t) - V(t))C_1(t) + V(t)C_2(t) - W(t)C_s(t)}{C_2(t) - C_s(t)} \leq DR(t) \leq V(t) \tag{5}$$

若 $C_2(t) \leq C_s(t)$, 则

$$DR(t) = 0 \tag{6}$$

式中: $C_1(t)$ ——第 t 时段城市湖泊补充新鲜水体中污染物的浓度 (mg/L); $C_2(t)$ ——第 t 时段城市湖泊中污染物的浓度 (mg/L); $C_s(t)$ ——第 t 时段污染物浓度控制标准 (mg/L)。

④变量非负约束。

5 应用实例

某生态住宅小区以城市生态水系工程为基础,形成湖面、滨湖绿地和环湖住宅区的幽美环境,以提升城市品位。该生态小区湖泊除了具有调节城市生态平衡和美化城市风貌等功能外,还将作为城市非饮用水(居民生活杂用和市政用水)水源。本次研究拟计算该生态小区湖泊满足上述生态服务功能的生态系统需水量。

由于该生态小区湖泊是人工城市湖泊,建成之后要一次性蓄满。在运行阶段,为维护湖泊提供产品的服务功能,必须满足一定范围的社会经济需水量(居民生活杂用和市政用水);为维护调节城市生态平衡的功能,必须满足湖泊水面和水生植物蒸散发量、湖泊净化需水量;为维护美化城市风貌的功能,必须满足景观和娱乐需水量;为维护生命支持功能,必须满足湖泊渗漏需水量和生物栖息地的需水量。根据城市湖泊生态系统需水量的计算原则,该生态小区湖泊生态系统需水量必须满足湖泊最小蓄水量(湖泊自身存在的需水量、生物栖息地的需水量和景观娱乐需水量三者的最大值)、湖泊蒸散发和渗漏需水、小区的社会经济需水要求。多年平均条件下该生态小区湖泊最小蓄水量为 240.0 万 m^3 ,湖泊蒸散发和渗漏需水量为 214.6 万 m^3 ,2010年和2030年小区的社会经济需水量分别为 600.5 万 m^3 和 839.0 万 m^3 。

本次分析采用长系列操作,资料系列为1951~2000年。假定该生态小区湖泊水质满足水质要求。根据基于生态服务功能的城市湖泊生态系统需水量动态模拟模型,模拟计算得2010年和2030年该生态小区湖泊生态系统需水量分别为 $4\,005.3 \text{ 万 m}^3$ 和 $4\,244.2 \text{ 万 m}^3$ 。该生态小区湖泊生态系统逐月需水量如表1所示:

表 1 生态小区湖泊生态系统需水量模拟计算成果

		万 m^3											
水平年		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2010年		314.3	317.6	337.3	340.7	336.3	339.0	332.9	326.8	353.9	339.0	324.6	322.9
2030年		323.8	327.7	353.1	358.3	354.0	389.8	359.8	351.8	385.3	358.3	343.7	338.6

6 结 论

城市湖泊生态系统具有提供产品、调节生态、文化娱乐和生命支持等四大服务功能。城市湖泊生态系统需水量的确定应以维护其生态服务功能,实现湖泊生态系统可持续发

(下转第 165 页)

料。

5 具体的生态恢复工艺

5.1 土质边坡

(1) 1~ 5 m 路堤边坡。以草本为主,在坡肩和坡角栽植小灌木。采用条播或者喷播方式在坡面上种植生命长短不一的各类豆科禾本科牧草。牧草应具有根系发达,固土能力强,对环境要求不严,抗性强、耐瘠薄的特征,类型可选择冰草、野牛草、羊草、紫花苜蓿、沙打旺、小冠花等。

(2) 5~ 10 m 路堤边坡。采取灌木为主,草本为辅的植被恢复措施。设计在坡面上以株行距 0.5 m× 0.5 m 或 0.5 m× 1.0 m 栽植灌木,品字形排列,灌木类型可选择锦鸡儿、紫穗槐、珍珠梅等。中间套种或间种生命长短不一的各类豆科禾本科牧草,草本选择沙打旺、紫花苜蓿、草木樨、无芒雀麦等。

(3) 10 m 以上路堤边坡。在采取网格面墙的工程措施稳定边坡后,再在坡面上栽植以灌木为主的护坡植物。灌木类型可选择锦鸡儿、紫穗槐、珍珠梅等。坡角或平地栽植乔木数行,树种选择山杨、杨槐、旱柳等。

(4) 路堑边坡。对于宽度小于 5 m 的路堑边坡可直接进行植被恢复,对于宽度大于 5m 的路堑边坡应先采取修建挡土墙的方式稳定边坡后,再采取以藤本为主,灌木为辅的植被恢复措施。坡角种植 1 行藤本植物,路堑上部平坦处可栽植小灌木。藤本选用爬山虎、牵牛、蝙蝠葛、野葡萄等,灌木可选择丁香、珍珠梅、锦鸡儿等。

5.2 石质边坡

(1) 坡度 < 45°, 宽度 < 5 m 的路堑边坡。在坡角平台挖种植池,种植向上爬的攀缘植物,在边坡顶挖种植槽栽植向下垂挂的植物,造成上垂下爬的效果;按照一定图案和比例规划,在边坡上挖种植池,客土种植小灌木以点缀坡面,可形成一定的路域景观。藤本选用爬山虎、牵牛、蝙蝠葛、野葡萄等。

葡萄、大瓣铁线莲等,灌木可选择丁香、珍珠梅、锦鸡儿等。

(2) 坡度 > 45°, 宽度 < 5 m 的路堑边坡。在坡角平台挖种植池,种植向上爬的攀缘植物,在边坡顶挖种植槽栽植向下垂挂的植物,通过上爬下垂而形成覆盖整个边坡的效果。藤本选用爬山虎、牵牛、蝙蝠葛、野葡萄、大瓣铁线莲等。

(3) 宽度 > 5 m 的路堑边。较好的做法是先采取浆砌石护面墙等工程措施对边坡进行防护,再在坡角、边坡台面和坡顶种植攀缘植物和花灌木,攀缘植物最终能覆盖坡面,形成软硬质混合景观,改善视觉效果。藤本选用爬山虎、牵牛、蝙蝠葛、野葡萄、大瓣铁线莲等。

6 结 语

生态脆弱区主要分布在我国经济落后地区,这些地区不仅自然环境状况恶劣,经济技术水平也比较低。目前国内外普遍采用地一些先进边坡生态恢复技术投资都比较大,对技术设施水平要求也比较高,在这些地区很难大范围推广,尤其对于一些由地方政府或企业投资建设的地方性道路工程,很难拿出大量资金用于道路边坡的生态修复工程,因此,研究适用于生态脆弱区,投资较少,技术要求不高,后期管理较粗放,且能达到较好生态恢复效果的边坡生态恢复技术具有十分重要的现实意义。

沙蔚铁路生态恢复实践中并未对边坡的生态恢复技术进行重大改革和创新,只是在充分调查道路沿线边坡立地条件的基础上,考虑经济技术可行性和企业的承受能力,按照适地适树,以乡土树种为主的原则对传统边坡生态恢复技术进行了系统优化,对适用植被进行了优化选择,形成了自己的一套完整的边坡生态恢复技术体系,对各类边坡进行了量化分类,分别采取有针对性生态恢复技术,达到了恢复生态环境和节省投资的双重目的,具有较强的可操作性,希望能为今后生态脆弱区的边坡生态恢复实践提供一定的参考。

[1] 孙书存,包维楷,等.恢复生态学[M].北京化学工业出版社,2004.11.
[2] 潘树林,王丽等.论边坡的生态恢复[J].生态学杂志,2005,(2):217-221.
[3] 刘龙.平西高速公路生态恢复适用技术研究[J].公路,2005,(2):139-143.
[4] 邓辅唐,吕小铃,邓辅商.高速公路边坡生态恢复研究进展[J].中国水土保持,2005,(11):48-50.
[5] 何兵,陈其兵,曾得刚,等.高速公路建设中生态恢复理论及其应用研究[J].四川林业科技,2005,26(4):66-69.
[6] 董建辉.山区高速公路生态恢复研究[J].陕西林业科技,2005,(3):52-54.
[7] 王淑芬,龚雪琴.山区高等级公路边坡景观设计[J].北京工业大学学报,2005,31:61-63.

(上接第 162 页)

展为目标,既要满足湖泊生态环境需水,又要满足湖泊供水范围内的社会经济需水要求,以实现城市湖泊的生态价值和经济价值。根据城市湖泊生态系统服务功能的定位和需水量的内涵,需水量计算应遵循功能性原则、生态优先原则、兼容性原则和动态性原则。本文探讨了城市湖泊生态系统需水量的计算方法,为城市生态湖泊的规划和生态环境效应调控提供了新的思路和方法。

容性原则和动态性原则。本文探讨了城市湖泊生态系统需水量的计算方法,为城市生态湖泊的规划和生态环境效应调控提供了新的思路和方法。

[1] 冷疏影,杨桂山,刘正文,等.湖泊及流域科学重点发展领域与方向[J].中国科学基金,2003,(2):82-85.
[2] 白咸勇.以人为本,建设生态河湖——浅谈城市湖泊的规划与发展[EB/OL].http://www.cws.net.cn/Journal/cwr/200102/35.html.
[3] 白咸勇.北京城市湖泊滨水地区景观设计初探[EB/OL].http://www.cws.net.cn/CWR-Journal/200112/54.html.
[4] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystem[M]. Washington D C: Island Press, 1997.
[5] 郑华,欧阳志云,赵同谦,等.人类活动对生态系统服务功能的影响[J].自然资源学报,2003,18(1):118-126.
[6] 欧阳志云,赵同谦,王效科,等.水生态服务功能分析及其间接价值评价[J].生态学报,2004,24(10):2091-2099.
[7] 潘文斌,唐涛,邓红兵等.湖泊生态系统服务功能评估初探——以湖北保安湖为例[J].应用生态学报,2002,13(10):1315-1318.
[8] 杨志峰,崔保山,刘静玲,等.生态环境需水量理论、方法与实践[M].北京:科学出版社,2003.
[9] 肖芳,刘静玲,杨志峰.城市湖泊生态环境需水量计算——以北京市六海为例[J].水科学进展,2004,15(6):781-786.