

干旱区城市景观水体优化调度研究

徐继红

(新疆塔里木河流域希尼尔水库管理局,新疆 库尔勒 841000)

【摘要】 为满足城市景观水体水量水质的要求,实现合理经济高效的景观水体运行维护,建立了城市景观水体水量—水质耦合的优化调度模型,并应用该模型对新疆库尔勒市杜鹃河景观水体进行了研究。研究表明:在合理确定运行参数如补水方式、补水周期、循环周期等的基础上,通过优化调度,可最大限度地降低景观水体的日均运行维护费用。研究成果可为城市景观水体治理方案优化决策、水质管理和运行维护提供科学依据。

【关键词】 景观水体;水量平衡;水质;优化调度

中图分类号: TV698

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2018)01-019-04

Study on optimized dispatching of urban landscape waters in arid area

XU Jihong

(Xinjiang Tarim River Basin Xinier Reservoir Administration; Korla 841000, China)

Abstract: An optimized dispatching model of water quantity-water quality coupling in urban landscape water body is established in order to meet the requirements on water quantity and water quality of urban landscape water body, and realize reasonable, economic and efficient water operation maintenance. The model is applied for studying Dujan River landscape water body in Xinjiang korla. The study shows that operation parameters are rationally determined, such as water make-up pattern, water make-up cycle, cycle period, etc. Daily average operation and maintenance cost of landscape water body can be maximally reduced through optimized dispatching on the basis. The study results can provide scientific basis for urban landscape water governance plan optimized decision-making, water quality management and operation maintenance.

Key words: landscape water body; water balance; water quality; optimized dispatching

随着水污染和水资源紧缺的加剧,以供水量和经济效益最大为目标的优化调度模式已不能满足发展需求,而兼顾社会经济和生态环境协调发展的水量水质联合优化调度,逐渐成为国内外研究的热点之一^[1]。Mohammad K 等人建立研究区灌溉系统的地表水和地下水资源动态规划优化模型,模型考虑了水质、地下水回流与输出^[2]。国内研究起步较晚,但发展很快,对灌区水资源优化调度和区域(流域/跨流域)水资源优化调度的研究都取得了很大成就,但是大都强调水量,而对水量水质联合优化调度的研究较少^[3-7]。城市景观水体的优化调度由于水域面积比较小、水深较浅、水域

环境复杂、影响因素多、水质差、投入产出比低等原因,目前对其研究很少。往往早期投巨资修建,但缺乏后期运行维护,使景观水体面临水量不足、水质恶化等问题,失去原有的调节水温、气候和提高环境质量的职能。本文将系统优化的理论和方法引入景观水体中,在满足水体水量和水质的条件下,建立城市景观水体水量—水质耦合优化调度模型,并利用 NSGA-II 算法、模糊层次分析法以及综合距离评价法求解,最终提出合理的景观水体运行方式及水质处理措施,使水体日均费用最低。

1 建立水量——水质耦合的优化调度模型

1.1 水体、水量平衡

足够的水量是景观水体存在的前提条件。景观水体作为半封闭或封闭性水域,既有水量的损耗和使用,也有水量的补充。在景观水体的设计、运行和维护中必须充分考虑影响水量的各种因素,如:水体规模、水源(包括河水、地下水等)、损耗(蒸发、渗漏等)以及场地用水(绿化灌溉、喷洒路面等)。在水量平衡计算的基础上,确定水体损失量和补水量。

1.1.1 水体损耗

水量损耗主要体现在自然蒸发、水体渗漏、绿地浇灌、道路浇洒量等方面。由于目前景观水体、水质不容乐观,污染比较严重,大多不能满足绿地浇灌和硬地喷洒所需水质,且随着污水处理回用技术的提高,对水质要求不高的市政用水开始普及使用中水,因此景观水体水量损耗主要为自然蒸发和景观水体底部和侧部的渗漏。

a. 蒸发量:

$$W_z = AFT \quad (1)$$

式中 W_z ——水面蒸发量, m^3 ;

A ——水体面积, m^2 ;

F ——水体日平均蒸发量, $m^3/(m^2 \cdot d)$;

T ——时间, d 。

b. 渗漏量:

$$W_s = \alpha KIA_s T \quad (2)$$

式中 W_s ——景观水体的底部和侧壁在一段时期(T 天)内的渗漏量, m^3 ;

K ——渗透系数, cm/s ;

I ——水力梯度;

A_s ——渗透截面积, cm^2 ;

α ——单位换算系数,其值为 0.0864。

1.1.2 水体补充

由于景观水体的蒸发和渗漏,水量减少,水位不断降低,为维持一定的水位,必须采取一定的补水措施。考虑到地面沉降问题,许多地区限制地下水的利用;对于景观水而言,自来水的费用较高,一般不使用自来水作为补充水源;景观水体大多处于城区,距离天然河流、湖泊、水库等都比较远,长距离的输送水显然在经济和实际操作中也不太现实。利用再生水补给景观水,可以降低经济成本,提高城市水资源利用率,节约

大量的新鲜水资源,目前再生水已逐渐成为景观水体的主要补充水源。但是在追求再生水回收利用的低水价带来的经济优势的同时,也要考虑到其水质问题。景观水体的流动性比较差,补充再生水之后很容易使藻类过量繁殖,水体富营养化。

a. 大气降水

$$W_y = P(A + A_j) \quad (3)$$

式中 W_y ——景观水体一段时间内接纳的雨水量, m^3 ;

P ——景观水体一段时间内的面雨量, m ;

A_j ——景观水体的有效汇水面积, m^2 。

b. 人工补水(再生水)

$$W_b = W_z + W_s - W_y \quad (4)$$

式中 W_b ——景观水体一段时间的补充水量, m^3 。

1.2 水体水质维护

景观水体建成之后,由于其生态的脆弱性,自净能力较差,很容易发生富营养化,达不到国家地面水环境质量 V 类标准。往往需要结合自身情况采取一系列的物理、化学和生态方法,维持水体水质,使水中的 COD、TN、TP 等指标达标。其中要遵循的原则为:经济实用;提高补水水源质量;增加水体流通性;建立适宜的生态系统,提高其自净能力。

1.3 建立优化调度模型

景观水体优化调度是根据系统优化的理论、方法,通过合理选择景观水体水量补充与水质维护的各种技术方案,在满足景观水体水位、水质达标的前提下,使运行维护费用达到最小,从而实现景观河湖的各项功能。一般景观水日常运行维护费用主要由补水的水费、保证水质达标的处理成本及运行电费等组成,以景观水体运行维护费用最小为目标函数:

$$E = E_b + E_c + E_d \quad (5)$$

式中 E ——水体日常运行维护费;

E_b ——达到目标水位所需的补充水的水费;

E_c ——保证水质达标的处理费用;

E_d ——景观水运行的电费。

1.3.1 模型约束条件

a. 景观水体水位应满足最低水位要求,并尽量达到常水位以实现水体的景观功能。

$$H_{\min} \leq H \leq H_{\max} \quad (6)$$

式中 H, H_{\min}, H_{\max} ——景观水体水位及补水要求的水位上、下限。

b. 为了抑制藻类生长,防止水体富营养化,需控制水体流速,流速范围为

$$u_1 \leq u \leq u_2 \quad (7)$$

式中 u_1, u_2 ——景观水体流速的上、下限。

c. 为保证水质,补充水必须先经过处理再进入景观水体,所以需要控制各处理单元的水力负荷,以各处理单元的水力停留时间表示:

$$\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2 \quad (8)$$

式中 $\theta, \theta_1, \theta_2$ ——水力停留时间及水力停留时间上、下限。

d. 景观水体中的水体水质应满足国家规定的水体标准:

$$c \leq c_0 \quad (9)$$

式中 c_0 ——景观水体中污染物限值。

e. 景观水体补水前、后水量应保持平衡:

$$W_q + W_b + W_y - W_z - W_s = W_h \quad (10)$$

式中 W_q, W_h ——补水前后景观水体水量。

f. 日补充水量受补充水源及补水设备供水能力约束:

$$Q_b \leq \min\{Q_y, Q_s\} \quad (11)$$

式中 Q_b ——日补充水量;

Q_y, Q_s ——补充水源及补水设施供水能力。

1.3.2 模型求解

模型求解采用遗传算法(NSGA-II算法)结合VB.NET 2.0编程实现^[8]。

2 模型应用

2.1 研究区概况

以新疆库尔勒市杜鹃河城市景观水体为研究对象,该区域属于资源型缺水地区。考虑到3—11月该地区水面蒸发和渗透量远大于降水量,因此需要补充景观水;冬季(12月、1月、2月)属于冰冻期,不考虑补水。3月冰冻期刚结束,河道处于枯水期,不仅水位低,水质也比较差。选取4月为初始状态,寻求经济的水量补充措施并且考虑到水质及该区对景观水体水质要求,采用推动水体循环和湿地处理相结合的方法维护水体水质,防止水体发生富营养化。通过优化景观水体的调度方案,达到整个系统的经济运行。

景观水体的正常水深2.2m,最高水位2.5m,3月最低水位1.8m。景观水体的总水量为500万 m^3 ,水面面积1.2 km^2 。

2.2 基本参数的确定

2.2.1 研究区水体水量的损失与补充

根据该区域多年水面蒸发数据统计的各月水面蒸发系数,除冰冻期外,其余各月份蒸发系数相差不大。取5月水面平均蒸发系数为99mm/月,则该景观水体的日蒸发量 Q_{sd} 为3960 m^3/d 。

研究区渗透量仍取5月数值,计算该景观水体5月的日渗透损失量 Q_{sl} 为1480 m^3/d 。由于5月降雨量很少,故不考虑雨水对景观水体的补充,则再生水日补充量 Q_{bd} 为日蒸发量与日渗透量之和,为5440 m^3/d 。

2.2.2 初始水位及目标水位

景观水体的正常水深为2.2m,冰冻期结束未补水时的景观水体水位最低降低到1.8m。假设当前水位为2.0m,根据景观要求和补水费用,确定补水目标水位为2.2m。

2.2.3 补水期及维护期的确定

一般情况下,景观水体的补水方式为间歇补水,具体来说,当水位降低至某一水位时,集中补充一段时间——补水期(t_b);当水位达到要求水位后停止补水,由于蒸发和渗漏等损失,水位会下降;当降低到设定水位时,再次补水,这期间为维持期(t_w)。补水期+维持期为一个完整的补水周期。

根据上述设定,水位由初始2.0m上升到2.2m,总补水量 $W=0.2 \times 1.20 \times 10^6 = 24$ 万 m^3

由于受再生水补充水源及补水设施供水能力的限制,其日补水量不能太大, t_b 不能太短;但 t_b 过长,则日补水量过少,水位上升缓慢,再加上蒸发和渗漏损失等,水位长期不能达到目标水位,影响河湖景观美感要求,因此设定补水期为15~30d。停止补水后,进入维持期,维护期为44d。

2.3 目标函数和约束

2.3.1 目标函数

目标函数为景观水体日平均维护费用最小:

$$\text{Min}f = \min \frac{E_{water} + E_{ele} + E_{cir-ele}}{t_b + t_w} \quad (12)$$

式中 f ——景观水体日平均维护费用,元/d;

E_{water} ——达到目标水位所补充的再生水水费,元;

E_{ele} ——补水期内再生水补充泵所耗电费,元;

$E_{cir-ele}$ ——补水期内循环泵所耗电费,元。

2.3.2 约束条件

a. 河湖达到常水位,以实现景观功能,故水位需提升 0.2m; $H=0.2\text{m}$ 。

b. 为抑制藻类生长,防止水体发生富营养化,并使循环费用最小,控制景观河道的流速: $0.05\text{m/s} \leq u \leq 0.1\text{m/s}$ 。

c. 再生水流经湿地的最佳水力停留时间: $\theta=1\text{d}$ 。

d. 河道水体满足设定的水质标准,以氨氮为例: $c_{\text{NH}_3\text{-N}} \leq 2\text{mg/L}$ 。

e. 景观水体补水前后水量平衡:

$$W_q + W_b - W_z - W_s = W_h \quad (13)$$

f. 日补充水量受再生水水厂供水能力和再生水管网供水能力的约束: $Q_{bd} \leq 2 \text{万 m}^3/\text{d}$ 。

g. 补水期约束: $15\text{d} \leq t_b \leq 30\text{d}$ 。

2.4 结果分析

优化调度模型的求解采用 VB.NET 2.0 编程实现^[8],首先是采用带精英策略的非支配排序遗传算法(NSGA-II 算法),得到多组调度方案,具体计算步骤为:①随机产生一个初始父代种群 P_0 ,对种群进行非劣排序并赋予于每个个体,然后进行选择、交叉、变异遗传操作,产生规模为 N 的下一代种群 Q_0 ,令进化代数 $t=0$;②产生新的规模为 $2N$ 的种群 $R_t = P_t \cup Q_t$,对该种群按照非劣排序,并确定其非劣前端 F_1, F_2, \dots ;③对所有的 F_i 按照拥挤度距离机制进行排序,选择其中最好的 N 个个体产生新的种群 P_{t+1} ;④对新种群 P_{t+1} 进行选择、交叉、变异操作,产生新的子代群体 Q_{t+1} ;⑤判断是否达到终止条件或进化代数达到最大,若是,进化结束,否则返回②继续。初始调度方案为:日蒸发量 Q_{ed} 为 $3960\text{m}^3/\text{d}$,日渗透损失量 Q_{sd} 为 $1480\text{m}^3/\text{d}$,再生水日补充量 Q_{bd} 为 $5440\text{m}^3/\text{d}$,初始水深 H 为 2.0m ,补水期 t_b 为 25d ,维持期 t_m 为 44d ,停留时间 θ 为 1d ,河道流速为 0.06m/s 。NSGA-II 算法的种群设置为 200,进化代数为 150,交叉概率 0.8,变异概率 0.1,得到稳定且均匀分布的 Pareto 前沿面。其次引入一种新型的计算权重方法——模糊层次分析法(FAHP)确定调度方案评价指标权重,各指标权重系数相加等于 1。再次是基于理想解的综合距离评价方法(TOPSIS)计算各方案的贴近度,贴近度越大方案越理想,即为最终的最优方案。最后得到最佳运行方案:补水期 $t_b=30\text{d}$;水力停留时间为 1d ,再生水氨氮含量为

3.04mg/L ;河道循环流速为 $u=0.05\text{m/s}$,水体总循环周期为 $8 \sim 10\text{d}$;补水周期内日平均运行费用为 5822 元。对比 t_b 分别为 $15\text{d}, 20\text{d}, 25\text{d}$ 和 30d 的调度方案,可知日均维护费用随补水周期的增长而降低,因此在满足补水期约束的前提下,尽量延长补水期可以降低日平均维护费用。

3 结论

随着经济的发展,节能降耗成为人们关注的焦点,而景观水体在运行过程中,水量水质问题日益凸显。本文将优化调度模型引入景观水体运行维护中,在小流域范围内进行研究,依据系统优化的理论和方法,在合理选择景观水体水量补充与水质保持技术的基础上,结合补水方式、补水量、补水周期、河道水体循环及循环周期等运行参数的合理确定,建立景观水体运行与维护的优化调度模型,确保在水体水位适当、水质达标的前提下,降低景观水体维护运行管理费用,以发挥景观水体的最大功能和效益。同时结合实例,通过优化调度模型的分析计算,结合 NSGA-II 算法、模糊层次分析法以及综合距离评价法,确定经济合理的运行方案,为景观水体治理方案的优化决策、水质管理和规划提供可靠的科学依据。

参考文献

[1] 王浩,王建华. 流域水资源合理配置的研究进展和发展方向[J]. 水科学进展,2004,15(1):123-128.
 [2] Mohammad K, Reza K, Banafsheh Z. Monthly water resources and irrigation planning: case study of conjunctive use of surface and groundwater resources[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2004, 130(5):391-402.
 [3] 徐强,盛宁. 城市给水系统优化调度研究综述[J]. 南水北调与水利科技,2008,6(3):115-117.
 [4] 徐鹏,赵洁,徐速. 多水源供水系统的直接优化调度研究[J]. 中国给水排水,2012,28(1):35-38.
 [5] 杨萌,许尚杰,林森. 基于水生态可持续发展的水库调度模式[J]. 水利建设与管理,2015(4):65-67.
 [6] 刘继磊. 沂河葛沟橡胶坝防洪调度相关问题研究[J]. 水利建设与管理,2014(7):56-58.
 [7] 张建春,蔡云富. 基于生态服务功能的黄石城区湖泊群引水调度研究[J]. 水利建设与管理,2015(9):4-7,13.
 [8] 司彦杰. 城市景观水体维护及优化运行研究[D]. 天津:天津大学,2007.