

DOI: 10.5846/stxb201801300243

李咏红, 刘旭, 李盼盼, 陈利顶, 朱庆平, 王彤. 基于不同保护目标下河道内生态需水量分析——以琉璃河湿地为例. 生态学报, 2018, 38(12):

Li Y H, Liu X, Li P P, Chen L D, Zhu Q P, Wang T. Analysis of ecological water requirement of rivers for different purposes: the case of Liuli River. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12):

基于不同保护目标下河道内生态需水量分析 ——以琉璃河湿地为例

李咏红^{1,2}, 刘旭^{1,2,3,*}, 李盼盼^{1,2}, 陈利顶⁴, 朱庆平^{1,2}, 王彤^{1,2}

1 北京东方园林环境股份有限公司, 北京 100015

2 湖泊水污染治理与生态修复技术国家工程实验室, 北京 100015

3 清华大学环境学院, 北京 100084

4 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

摘要:为探索不同阶段保护目标下的河道内生态需水量,以北京市房山区琉璃河为研究区域,基于琉璃河湿地工程的特殊性,在同一工程项目中不同阶段创新应用环境需水量和生态需水量两种方法,分别计算在截污工程完成前满足水质要求的河道内环境需水量和截污工程完成后满足以生态修复及维系为目标的河道内生态需水量。结果表明:①在考虑景观娱乐水量的情况下,二者一次生态需水量均为 196.78 万 m³;②以消纳污水为目标的河道内,在考虑河道稀释及自净能力的情况下,利用水环境容量法计算净化需水量为 30.39 万 m³/d,景观娱乐需水量为 180.43 万 m³,河道内的土壤储水量为 16.136 万 m³,水体年蒸发量为 78.03 万 m³,日均 0.21 万 m³,水体渗透量 21.69 万 m³,日均渗漏量 0.03 万 m³;③以生态修复及维系为目标的河道中,河道内的水生生物栖息地需水量为 71.73 万 m³。④在截污工作未完成之前,琉璃河内需每日注入 30.39 万 m³/d 的湿地出水以保持水质。在不同保护目标下,如何依据河流实际情况,满足不同的需求,完善生态需水的计算方法,维持生态系统的稳定健康,将是未来关注的重点。

关键词:生态需水量;环境需水量;净化需水量;琉璃河

Analysis of ecological water requirement of rivers for different purposes: the case of Liuli River

LI Yonghong^{1,2}, LIU Xu^{1,2,3,*}, LI Panpan^{1,2}, CHEN Liding⁴, ZHU Qingping^{1,2}, WANG Tong^{1,2}

1 Beijing Orient Landscape & Environment Co., Ltd., Beijing 100015, China

2 National Engineering Laboratory for Lake Pollution Control and Ecological Restoration, Beijing 100015, China

3 School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

4 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: In order to explore the ecological water requirement of rivers for different purposes, the case of Liuli River in Beijing Fangshan district was studied. The meaning and methods of calculation of environmental water requirement and ecological water requirement were defined. In this paper, environmental water requirement and ecological water requirement were calculated in the same project for the first time. Because the sewage treatment plant will be operated in 2021, sewage will continue to be discharged into Liuli River in 2019 and 2020. Before the operation of sewage treatment plant, the function of environmental water requirement is to eliminate sewage. However, after operation, the function of ecological

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0503000);水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07103)

收稿日期:2018-01-30; **修订日期:**2018-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liu_xu@orientecol.com

water requirement would be to maintain the ecological balance. Both types of water requirement were calculated in this paper. The results indicated that both of the ecological and environmental water requirements were 1967800 m^3 . For eliminating sewage, the amount of purified water requirement was 303900 m^3 considering water dilution and self-purification. The amount of landscape water demand was 1804300 m^3 . The amount of soil water storage was 161360 m^3 . The amount of annual evaporation from the river was 780300 m^3 . The amount of annual infiltration of the river was 216900 m^3 . For maintaining ecological balance, the water requirement for the habitat of aquatic organisms was 717300 m^3 . Future studies should be focused on the methods of coordinating the needs of different targets, refining the calculation methods of ecological water requirement, and maintaining a stable and healthy ecosystem under different situations.

Key Words: ecological water requirement; environmental water requirement; purified water requirement; Liuli River

河道内生态需水量是河道内、漫滩内用以维护河道生态系统稳定的水量,对于改善水质、协调生态系统、回补地下水、美化环境等具有重要作用^[1-3]。生态需水量的研究是合理配置水资源、实现水资源可持续利用的基础^[4]。关于生态需水量的研究可追溯到 20 世纪 40 年代,美国渔业与野生动物保护组织规定了河流最小生态流量^[5-6],60—70 年代,一些研究者提出了用河道内历年流量来确定自然和景观河流基本流量的方法,80 年代,随着美国在流域的开发和探索,初步形成了生态需水量的理论,并提出了生态需水量计算的方法^[7-10]。我国在 80—90 年代,为了解决河流断流、污染问题,一些专家开始对河道在水资源配置中考虑生态需水量,但在实施、管理应用中仍处于探索阶段^[4]。目前,生态需水量国内外未形成统一的定义,出现了诸如环境需水、生态用水等相互联系、但又各有区别的概念^[11-12]。在生态需水量包含的项目方面,仍未有统一的定论,一般认为河道内生态需水量主要包括:河道栖息地需水量;维持河流输沙平衡的最小流动水量;改善水环境质量的的最小稀释净化水量;河道渗透、蒸发水量;土壤储水量;景观需水量;航运需水量^[13-18]。

本文认为生态需水量是维持河道正常生态系统所需的需水量,环境需水量是改善水环境使之符合水质目标同时能维持河道正常生态系统的水量。目前,关于生态需水量的研究主要集中在生态需水量理论模型、计算方法等方面,对于区分环境需水量和生态需水量的研究极少。本文在不同阶段不同保护目标下的同一工程项目,运用两种计算方法,使计算结果更符合工程实际。研究不同目标下环境需水量和生态需水量的变化对于河道水资源可持续利用意义重大,也是未来河道生态水文的重要研究方向。

北京市属于水资源紧缺型城市,近年来水资源供需矛盾、河流生态环境问题日益严重。河道内生态需水量研究对于节约水资源、提高水资源利用效率、控制河道污染、提高河道生态环境具有重要实用价值。研究区位于北京市房山区,该区内琉璃河河道萎缩,两岸居民区及工业区污水直排入河,污染严重。研究区内,由于市政管线铺设、污水厂建设等不能与琉璃河项目同时完工,因此在项目运营前期,琉璃河内仍有污水排入,项目以消纳污水、水质达标为主,后期污水配套设施完工后,以生态修复及维系为目标。本文拟以截污完成前和截污完成后的生态需水量为研究目标,定义了环境需水量、生态需水量两种概念。环境需水量是计算在有污水排入时,为维持水质目标而所需的水量,生态需水量是计算无外源污染排入时,河道基本的生态环境需水量。本文首次在同一工程中对环境需水量、生态需水量两个值进行计算,创新性的将两个概念对比,对其他类似工程具有一定的指导意义。

1 研究区概况

北京琉璃河湿地公园位于北京市房山区琉璃河镇,总面积 528.58 hm^2 ,涉及房山区大石河及其支沟白草洼沟等多条水系。项目区位于大石河下游,自琉璃河镇边界至兴礼桥长约 10.6 km (图 1)。

房山区属暖温带半湿润大陆性气候,四季分明。全区多年平均降水量 590 mm ,其中山区为 595 mm ,平原区 578 mm ;多年平均气温 12.1°C ,多年平均降水量 590 mm ,降水年际变化大,年最大降水量为 1069.2 mm (1956 年),年最小降水量为 316.2 mm (1965 年)。降水年内分布不均,多集中在 6—9 月份。多年平均蒸发量

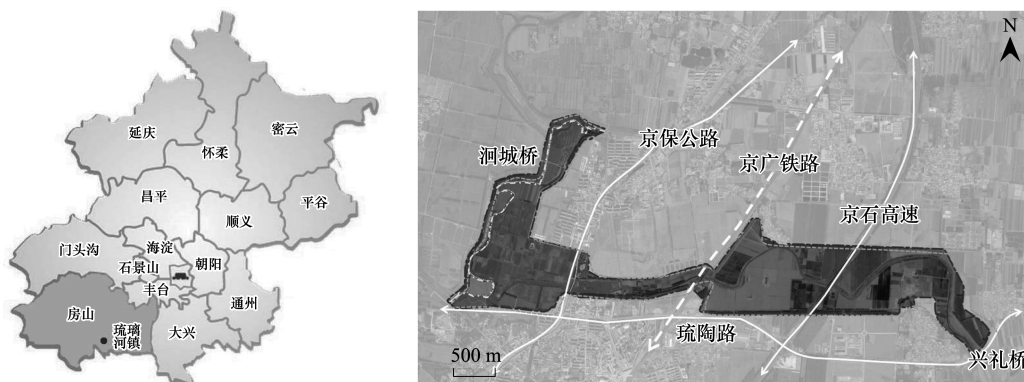


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the project

1080—1140 mm。

由于人类不合理的开发利用,城市及人口规模扩张加快,造成了水资源短缺,河道萎缩,洪涝灾害频发,水体污染严重。现状区域内为麦田、藕塘、林地等。在《京津冀地区生态环境保护整体方案》中,重点保护首都及周边地区生态等原则,确定了琉璃河湿地工程建设的必要性。房山区可依托琉璃河湿地工程提升河槽防洪标准,满足下游河道防洪要求,改善生态环境。

琉璃河湿地目标水质为地表Ⅲ类水,常规补水水源如图2所示:为城关镇再生水厂、韩村河镇再生水厂、窦店工业基地再生水厂、琉璃河再生水厂。补水水源出水水质为一级A,经河边湿地处理后,水质可满足地表Ⅲ类水要求,用以补充琉璃河。本工程涉及大石河段来水主要为上游周口店河、夹括河、窦店白草洼沟污水。

2 研究方法

2.1 生态需水概念

对于河道而言,生态需水量是维持其正常生态系统平衡稳定所需的水量,其值有一个阈值范围,超过其上限或者下限均会对生态系统造成破坏^[19]。本文研究的是河道生态需水的最小值,其值并不是简单的各项加和,应根据各项之间相互关系来确定^[20]。本文将河道生态需水量分为关联因素 Q_1 和必须因素 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 。关联因素 Q_1 是指的作用有交叉重合的因素, Q_1 包含河道栖息地需水量;维持河流输沙平衡的最小流动水量;改善江河水环境质量的最低稀释净化水量;景观需水量;航运需水量。必须因素如 Q_2 为河道渗透水量、 Q_3 为蒸发水量、 Q_4 为土壤储水量。

生态需水量的内涵包括水量和水质双重含义^[21],崔保山等认为可分为生态需水量和环境需水量两部分^[22]。环境需水侧重于环境方面,是为了解决水污染、保护水环境所需要的水量^[23]。生态需水量侧重于生态方面,主要是解决生物群落所消耗的水量。虽然生态需水与环境需水两者之间存在着交叉与重合的部分,但从目标上讲两个使用方向不同的。本文按照其侧重不同将其做如下区分:

环境需水量的 Q_1 中含有稀释净化水量,不含生物栖息地需水量;

生态需水量的 Q_1 中含有生物栖息地需水量,不含稀释净化水量;

本文以北京市房山区琉璃河湿地公园为例,分别计算以排污为主的河道环境需水量,以生态系统构建为

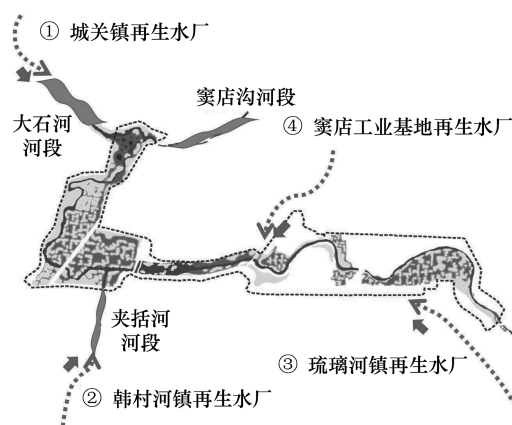


图2 琉璃河补水水源示意图

Fig.2 Water source of Liuli river

主的河道生态需水量。

2.2 生态需水量计算

(1) 环境需水计算方法

环境需水量可以定义为在一定的污染负荷水平下河流水质达到环境功能要求和相应的水质标准所需的最小流量^[24]。河道最小环境需水量要满足的环境功能主要包括两个:保持水体一定的稀释能力,保持水体一定的自净能力^[25]。环境需水量计算方法主要有:7Q10 法、水质目标法^[26]、稳态水质模型法^[26]等。本文认为环境需水计算方法为:

$$Q_1 = \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} \text{改善水环境质量的} \text{最小净化水量, 维持河流输沙平衡的最小流动水量,} \\ \text{景观娱乐需水量} \end{array} \right\}$$

$$\text{河道内环境需水} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

式中, Q_1 : 关联因素水量(万 m^3), Q_2 : 河道渗透水量(万 m^3), Q_3 : 蒸发水量(万 m^3), Q_4 : 土壤储水量(万 m^3)。

河道水质应从控制污染源入手,不能依靠增加生态用水实现^[27],由于项目的两侧的污水排放点需进行污水管道铺设后排入污水厂,污水厂开始运行时间晚于琉璃河完工时间,故在项目初期需要考虑两侧污水的排入后净化水质所需的水量,待琉璃河两侧污水截污工作完成后,可不考虑此水量。

(2) 生态需水量计算方法

生态需水量指维护生态系统正常结构、功能与完整性所需要的水分,强调的是满足不同生态环境体系,维持其正常生态体系健康的基本水量需求^[13]。根据研究表明河道内水生生物栖息地需水量计算方法主要方法有:湿周法、R2cross 法、增量法^[28]、组合法、生境模拟法^[29]。本文认为生态需水计算方法为:

$$Q_1 = \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} \text{河道栖息地需水量, 维持河流输沙平衡的最小流动水量,} \\ \text{景观娱乐需水量} \end{array} \right\}$$

$$\text{河道内生态需水} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

2.3 数据计算方法

(1) 景观娱乐水量

目前对保持景观水量和水上娱乐功能所需的水面面积及流量等需水量计算方法还没有统一的计算方法和标准。在我国部分城市进行规划时,常采用人均水面面积指标来衡量和确定维持景观、娱乐的水面面积和景观需水量。

本项目中为满足景观需要,在河道桩号 25+000 处(兴礼桥上游 100 m)修建气盾坝,坝高 3.5 m,边坡坡度为 1:3,河底宽度 70 m。河道内景观蓄水量采用槽蓄法计算:

$$W_q = \sum_{i=1}^6 \int_0^{L_i} A_i dl_i \times 10^{-4}$$

$$A_i = (3 h_i + 70) h_i$$

$$h_i = h_{i,\text{上}} + \frac{\Delta H_i}{L_i} l_i$$

则

$$dl_i = \frac{L_i}{\Delta H_i} dh_i$$

$$W_q = \frac{L_i}{\Delta H_i} \sum_{i=1}^6 \int_{h_i}^{h_{i,\text{下}}} (3 h_i + 70) h_i dh_i \times 10^{-4}$$

即

$$W_q = \frac{L_i}{\Delta H_i} \sum_{i=1}^6 [(H_{i,\text{下}}^3 + 35 H_{i,\text{下}}^2) - (H_{i,\text{上}}^3 + 35 H_{i,\text{上}}^2)] \times 10^{-4}$$

式中, W_q : 琉璃河主河槽蓄水量(万 m^3), i : 河段序数, L_i : 第 i 个河段的长度(m), A_i : 第 i 个河段距上游 l_i 米处的截面积(m^2), l_i : 第 i 个河段距上游 l_i 米处的长度(m), ΔH_i : 第 i 个河段上下游水位差(m), h_i : 第 i 个河

段距上游 l_i 米处的深度 (m), $H_{i,上}$:第 i 个河段上游起始处的深度 (m), $H_{i,下}$:第 i 个河段下游终止处的深度 (m)。

(2) 维持河流输沙平衡的最小流动水量

根据《北京市水文年鉴(2012年)》,大石河年平均输沙率 7.71 kg/s ,其中汛期输沙率 30.3 kg/s ,非汛期输沙率 0 kg/s 。琉璃河位于房山区大石河下游段,无实测泥沙资料。根据实地调查分析,上游、中游大石河泥沙含量较高,项目区段河道来沙量较低。项目河道内对原有河道进行拓宽,河底重新翻新,且补水水源为再生水,不考虑河道输沙的水量。

(3) 改善水环境质量的最低净化水量

由于 7Q10 法、水质目标法未考虑河道自净能力,仅考虑河道稀释作用,稳态水质模型法对于排污口概化问题尚不清晰,故本文采用水域纳污能力法计算。在计算最小净化需水量时,考虑到河道的稀释及自净作用,根据《全国水环境容量核定技术指南》,河道环境容量计算公式为:

$$R = 86.4Q(C_s - C_0) + 0.001KVC_s$$

式中, R :环境容量 (kg/d), Q :河道流量 (m^3/s), C_s :水质目标浓度 (mg/L), C_0 :上方河段水质现状断面浓度 (mg/L), K :污染物的降解系数 ($1/\text{d}$), V :蓄水量 (m^3)。

计算河道最小净化需水量,环境容量 R 等于排入河道污水负荷,即:

$$R = 0.001C_{\text{污水}} \times Q_{\text{污水}}$$

$C_{\text{污水}}$ 为进入河道的污水浓度, mg/L

$Q_{\text{污水}}$ 为进入河道的污水流量, m^3/d

可得:

$$V = \frac{R - 86.4Q(C_s - C_0)}{0.001KC_s}$$

V 为槽蓄量,即:

$$V = \text{最小净化需水量} + \text{污水排入量}$$

可得:

$$\text{最小净化需水量} = V - \text{污水排入量}$$

(4) 土壤储水量

土壤储水量主要受土壤含水量、土壤层厚度和湿地土壤面积影响,可采用土壤重量含水量计算土壤储水量:

$$W_s = (\gamma \times \alpha_s \times H_1 \times A_1 + \gamma \times \alpha_F \times H_2 \times A_2) / \rho$$

式中, W_s :河道内的土壤储水量 (万 m^3), γ :土壤容重 (g/cm^3), ρ :水的密度 (g/cm^3), α_s :土壤达到饱和含水量时对应的重量百分比含水量 (%), α_F :土壤达到田间持水量时对应的重量百分比含水量 (%), H_1 :水面的土壤层厚度 (m), H_2 :河道内非水面区域的土壤层厚度 (m), A_1 :河道内水面面积 (hm^2), A_2 :河道内非水面区域面积 (hm^2)。

(5) 河道内水面蒸发需水量

河道蒸发量由下式计算:

$$W_e = \sum AT$$

式中, W_e :水体蒸发量 (万 m^3), A :水面面积 (hm^2), T :平均水面蒸发量 (m)。

(6) 渗透需水量

考虑补水水源选取再生水,为更好保护地下水及景观蓄水,采取减渗措施降低渗漏量。

$$Q_s = 365 \times K_s \times A$$

式中, Q_s :渗透量 (万 m^3), k_s :渗透系数 (m/s), A :渗透剖面面积 (ha)。

(7)生物的栖息地需水量

水生生物的栖息地主要是由水面、沼泽植被等组成的,提供给鱼类、鸟类等繁殖场所、及生存所需的水量^[30]。生物栖息地需水量就是根据不同的湿地类型,找到关键物种,根据正常年份鸟类及鱼类在该区栖息、繁殖的正常需水量^[31]。琉璃河湿地生态恢复以鱼类、鸟类栖息地恢复为主,以期发展观鸟产业。一般认为,为保证野生生物栖息地的健康,湿地的水深应在 0.3—2.0m 之间^[32]。

严军等认为栖息地需水量的计算方法为^[33]:

$$W = \beta A_j h_i$$

式中, W :栖息地需水量(万 m³), β :水面面积百分比%, A_j :湿地面积(m²), h_i :平均水深(m)

3 结果与讨论

3.1 计算结果

(1)景观娱乐需水量

各河段常水位水深范围如表 1 所示:

表 1 琉璃河主河槽常水位水深
Table 1 Normal water level of Liuli river

序号 No.	桩号 Stake number	常水深 Normal water level/m	序号 No.	桩号 Stake number	常水深 Normal water level/m
1	(14+500)—(14+900)	0.88—1.00	4	(18+900)—(20+700)	2.00—2.50
2	(14+900)—(16+900)	1.00—1.50	5	(20+700)—(22+900)	2.50—3.00
3	(16+900)—(18+900)	1.50—2.00	6	(22+900)—(25+000)	3.00—3.50

琉璃河常水位蓄水量计算结果如表 2 所示:

表 2 琉璃河主河槽常水位蓄水量
Table 2 Normal water storage of Liuli river

桩号 Stake number	河段长度(L_i) Length of River/m	上下游水位差(ΔH_i) Water head difference between upstream and downstream/m	上游水位($H_{i,上}$) Upstream water level/m	下游水位($H_{i,下}$) Downstream water level/m	蓄水量(W_q) Water storage/ (万 m ³)
14+500—14+900	400	0.12	0.88	1.00	2.74
14+900—16+900	2000	0.50	1.00	1.50	18.45
16+900—18+900	2000	0.50	1.50	2.00	26.35
18+900—20+700	1800	0.50	2.00	2.50	31.10
20+700—22+900	2200	0.50	2.50	3.00	47.36
22+900—25+000	2100	0.50	3.00	3.50	54.44
总计	10500	2.62			180.43

经计算,得到琉璃河景观娱乐需水量为 180.43 万 m³。

(2)改善水环境质量的最小净化水量

据现场踏勘及调查,项目区周边现状存在污水直接入河问题,现状污水入河情况可根据污水性质分为三类:

- 1)污水处理厂未达标出水:3 处,分别为窦店污水处理厂出水、窦店沟污水、韩村河污水处理厂出水;
- S2)生活污水:6 处,包括泃城村、依澜阳光小区、二街三街村、燕都立民附近小区的生活污水。
- 3)工业污水:3 处,分别为琉璃河水泥厂、燕都立民屠宰场、中粮五谷道场排出的工业污水。

由于污水厂出水由湿地处理至达标后排入琉璃河,故此次污水厂出水不计入污染源。计入排污的污染点源分布如下。



图 3 污染点源分布
Fig.3 Distribution of point pollution

经过现场勘查,污染点源的污染水质及水量见表 3。

表 3 琉璃河污染点源水量及水质
Table 3 Quantity and quality of point pollution

位置 Location	化学需氧量 (COD _{Cr}) Chemical oxygen demand/ (mg/L)	氨氮 (NH ₃ -N) Ammonia nitrogen/ (mg/L)	总氮 (TN) Total nitrogen/ (mg/L)	总磷 (TP) Total phosphorus/ (mg/L)	水量 Water quantity/ (mg/L)
泗城村(1)	297	11.4	38	3.13	104
泗城村(2)	267	10.5	35	2.43	124
依澜阳光小区	152	11.4	38	2.97	171
二街村	226	7.8	26	2.86	162
三街村	238	7.2	24	2.52	206
燕都立民小区	162	7.5	25	2.84	342
琉璃河水泥厂	110	3.06	10.2	2.18	206
燕都立民屠宰场	308	11.1	37	4.26	142
中粮五谷道场	253	6.18	20.6	3.6	262

有研究表明,影响水质的最主要因素是 COD 浓度^[34],这适用于污染严重的阶段,在琉璃河水质目标情境下,其主要问题为秋冬季富营养化,因此选取总氮、总磷作为主要控制污染物,计算河道生态需水量。总氮和总磷的降解系数分别取 0.053/d、0.033/d^[35]。根据《北京市水文年鉴(2012 年)》,大石河漫水水文站 2012 年平均径流量 1.78m³/s,其中汛期径流量 6.93m³/s,非汛期径流量 0.04m³/s,取非汛期径流量 0.04m³/s。河道目标水质为地表 V 类,水质目标 TN 为 2.0 mg/L,TP 为 0.4 mg/L,再生水厂水经湿地处理后出水水质 TN 为 1.587 mg/L,TP 为 0.236 mg/L,以湿地出水水质为计算断面浓度,计算结果见表。

由表中可见,消纳 TP 的需水量大部分为负值,这是由于自湿地出水后,保持流量 0.04m³/s 的情况下,水体环境容量大于污水排入量,消纳 TP 的值总体为负值,不需考虑消纳 TP 的所需水量,只考虑 TN 水量即可。由计算可得,改善水环境质量的最小净化水量为 30.39 万 m³/d。根据《房山琉璃河镇中心区控制性详细规划(2008 年—2020 年)》,琉璃河镇污水厂 2020 年开始运行。琉璃河湿地工程 2018 年完工,期间 2019、2020 年两年尚有污水排入,这两年需要考虑环境需水。

表 4 最小净化水量计算表

Table 4 Calculation of minimum purified water requirement

位置 Location	总氮(TN _{Cr}) Total nitrogen/ (mg/L)	总磷(TP) Total phosphorus/ (mg/L)	水量 Water quantity/ (mg/L)	总氮含量 Total nitrogen quantity/ (kg/d)	总磷含量 Total phosphorus quantity/ (kg/d)	总磷需水量 Purified water quantity for Total phosphorus/ (m ³ /d)	总氮需水量 Purified water quantity for nitrogen quantity/ (m ³ /d)
洄城村	38	3.13	104	3.95	0.33	23713.66	-18277.58
洄城村	35	3.02	124	4.34	0.30	27354.04	-20110.91
依澜阳光小区	38	2.97	171	6.50	0.51	47665.53	-4463.18
二街村	26	2.86	162	4.21	0.46	26108.49	-7838.18
三街村	24	2.52	206	4.94	0.52	32970.15	-3610.91
燕都立民小区	25	2.84	342	8.55	0.97	66853.02	30643.64
琉璃河水泥厂	10.2	3.18	206	2.10	0.45	6151.28	-8916.97
燕都立民屠宰场	37	7	142	5.25	0.60	35958.68	2889.09
中粮五谷道场	20.6	15	262	5.40	0.94	37189.62	28516.36
合计						303964.47	0

(4) 土壤储水量

本项目中,土壤容重取 1.25 g/cm³;水的密度取 1.0 g/cm³;根据研究, α_s 、 α_F 分别介于 50%—60% 和 30%—50%^[36],本文取 $\alpha_s = 50\%$ 和 $\alpha_F = 30\%$;水面的土壤层厚度 H_1 为 0.3 m,非水面区域的土壤层厚度 H_2 为 0.5 m;河道内水面面积 A_1 为 79.7 hm²,非水面区域面积 A_2 为 6.36 hm²,计算得到河道内的土壤储水量为 16.136 万 m³。

(5) 河道内水面蒸发需水量

河道内水面面积为 79.7 hm²,根据国家气象局网站资料(站台 54511),蒸发量如图 4、5 所示,计算得到每个月的蒸发量如所示:

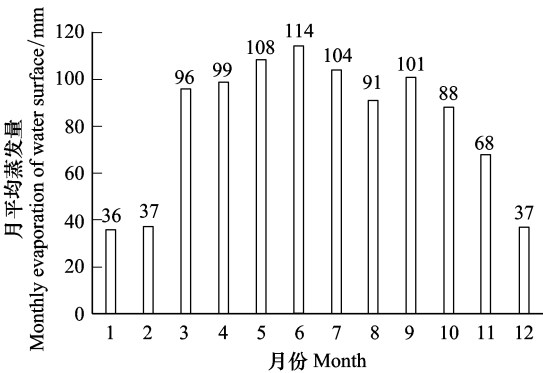


图 4 月平均蒸发量

Fig.4 Monthly evaporation of water surface

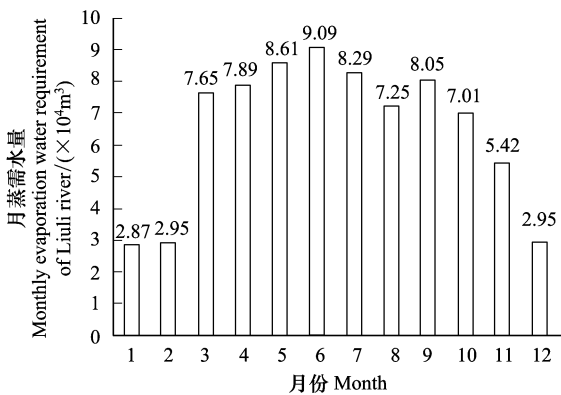


图 5 琉璃河月蒸发需水量

Fig.5 Monthly evaporation water requirement of Liuli river

经计算水体年蒸发量为 78.03 万 m³,日均 2138 m³。

(6) 渗透需水量

减渗材料采用膨润土防水毯,渗透系数 5×10^{-8} cm/s (4.32×10^{-4} m/d),计算可得,水体渗透量 21.69 万 m³,日均渗漏量 0.034 万 m³。

(7) 河道栖息地需水量计算

根据周维博等人的研究,湿地指示鸟类的需水水深如表 5 所示^[31]。

表 5 湿地指示鸟类需水规律
Table 5 Water requirement of bird in wetland

需水时间 Demand time of water	平均需水水深 Average water level/m	需水水深范围 Range of water depth /m	需水原因 Reasons for water Demand
4—6 月 April—June	0.1	0.1—0.5	繁殖
7—10 月 July—October	0.5	0.2—0.8	鸟类生长、繁殖
11—次年 3 月 November-March of next year	0.2	0.1—1	鸟类越冬

北方一般淡水鱼品种为草鱼、鲤鱼、鲢鱼等,本文以生活在水体底层且活力较强的鲤鱼为例,以此计算琉璃河的生态需水。张文鸽认为鲤鱼适宜水深为 1.0—1.5 m^[37],而韩振华认为,鲤鱼适宜水深为 0.45m^[38],国内外对鱼道的研究表明,鱼道所需的最小深度是鱼类身高的 3 倍^[39],取鲤鱼身高 30cm,则鲤鱼所需水深为 0.9m。

比较鱼类、鸟类所需水深,取二者较大值鱼类需水水深 0.9m 为栖息地所需平均水深,河道内水面面积为 79.7 hm²,则河道内的水生生物栖息地需水量为 71.73 万 m³。

经计算,环境需水量 Q_1 取景观娱乐及航运需水量 180.43 万 m³,土壤储水量为 16.12 万 m³,琉璃河河道内一次环境需水量为 196.78 万 m³,日均用水量 2482 m³,高日用水量 3374 m³。为保证水质不低于地表 V 类,对污水进行稀释和自净,湿地处理后每天进入河道内的水量应不低于 30.39 万 m³,琉璃河河道水循环周期为 5.93 d。

生态需水量 Q_1 取景观娱乐及航运需水量 180.43 万 m³,琉璃河河道内一次环境需水量为 196.78 万 m³,日均用水量 2482 m³,高日用水量 3374 m³。不考虑河道内污水排入,河道水循环周期可按照正常设计进行。

3.2 讨论

(1) 由于琉璃河工程的独特,决定了不同时期生态需水量的特殊性,在生态需水量的讨论中,本文定义了一种新的计算方法:按照有无污水排入分为环境需水量和生态需水量,两种需水量计算中仅在 Q_1 上有所区别。计算方法是 Q_1 、河道渗透水量、蒸发量、土壤存水量之和。生态需水量还有 Tennant 法、枯水频率法(7Q10)、湿周法、R2CROSS 法等其他水文学、水力学方法。不同计算方法侧重方向不同,生态需水量加和法侧重于生态需水量蒸发、渗透等环境功能,Tennant 法侧重于保护河道健康环境的最小流量,7Q10 法是美国考虑水质因素确定的河道内生态环境需水的方法,它从控制污染源的角度出发,采用 90%保证率最枯连续 7d 的平均水量作为河道生态需水最小流量值。不同的计算方法对结果产生一定影响。

(2) 在最小净化需水量的计算中,计算方法采用的是零维环境容量法,零维模式是建立在河水完全混合的情况下,即不受时间、空间的约束,不考虑空间方向上的浓度梯度,而在实际水体中污水分布存在一定浓度梯度,因此,计算结果与实际情况有一定的出入。

(3) 在最小净化需水量计算中,受温度、光照等环境因素的影响,不同地区河流污染物降解系数有所差别,如中国河流 COD 综合降解系数范围为 0.009—0.47 d⁻¹,氨氮的综合降解系数范围为 0.105—0.350 d⁻¹^[40]。本文中选取的降解系数为平原河网典型污染物降解系数,此数据应与房山区实际降解系数有一定差距,对计算结果有一定的影响。

(4) 本次生态需水量计算中,仅计算了平水期水量,并未考虑汛期来水的影响。琉璃河作为城市排涝河道,汛期流量为 6.93m/s,在最小净化需水量计算中,若考虑汛期流量,则每日无需湿地出水量即可保证水质。

4 结论与建议

(1) 关于生态需水量的研究大多集中在理论模型、计算方法上,对于生态需水量和环境需水量的区分研究极少。本文基于不同阶段不同保护目标,在同一工程项目中分别计算生态需水量和环境需水量,以期对同类工程项目起到指导作用。

(2) 研究结果表明:在 Q_1 的比较中,景观娱乐需水量均为最大值,为 180.43 万 m^3 。生态需水量和环境需水量中,景观娱乐用水量所占比例最大,为 91.6% ,土壤储水量占 8.2% ,水体蒸发量占 0.1% ,渗透量占 0.1% 。水体蒸发量和渗透量为消耗水量,平均每日消耗水量为 0.24 m^3 ,最高日为 0.337 m^3 。保证水质不低于地表 V 类,以消纳污水为主的河道,需每日进入不低于 30.39 万 m^3 的湿地出水。在以生态修复为目标的河道内,没有污水注入,不须考虑此值。

(3) 本工程中二者计算结果相同,但是在一些排污量较大,景观需水量较小的工程中,运用此方法二者的计算结果不同。在 2020 年琉璃河两岸截污工作完成后,点源污染完全消除,可不计算改善水环境质量的最低净化水量,直接应用生态需水量。在一些无污染排入的河流中,可忽略改善水环境质量的最低净化水量。

(4) 目前在改善水环境质量的最低净化水量的研究中,只考虑了河道的稀释能力,计算结果偏大。在本文计算中引入河道纳污能力的概念,指出河道发挥稀释、自净两种作用,计算结果更贴近实际。计算方法与水力学、环境学相结合,从研究方法上向多学科拓展。

在北方地区水资源缺乏、水污染严重的现状下,河道的水资源供需矛盾更加尖锐,如何协调水污染,水生态,水资源之间平衡,将是未来研究的重点。

参考文献 (References):

- [1] 崔保山, 胡波, 杨志峰. 西南纵向岭谷区河道生态需水计算方法. 生态学报, 2006, 26(1): 174-185.
- [2] 王西琴, 刘昌明, 杨志峰. 河道最小环境需水量确定方法及其应用研究(I)——理论. 环境科学学报, 2001, 21(5): 544-547.
- [3] 杨志峰, 陈贺. 一种动态生态环境需水计算方法及其应用. 生态学报, 2006, 26(9): 2989-2995.
- [4] 张丽, 李丽娟, 梁丽乔, 李九一, 姜德娟, 胥铭兴, 宋文献. 流域生态需水的理论及计算研究进展. 农业工程学报, 2008, 24(7): 307-312.
- [5] 高文娟. 槟榔江流域生态环境需水研究[D]. 南京: 河海大学, 2008.
- [6] 陈贺, 杨盈, 于世伟, 杨志峰. 基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究. 生态学报, 2011, 31(23): 7218-7226.
- [7] Armentrout G W, Wilson J F. Assessment of Low Flows in Streams in Northeastern Wyoming. USGS Water Resources Investigation Report. Cheyenne, Wyoming: U.S. Geological Survey, 1987.
- [8] Hughes D A. Providing hydrological information and data analysis tools for the determination of ecological instream flow requirements for South African Rivers. Journal of Hydrology, 2001, 241(1/2): 140-151.
- [9] Henry C P, Amoros C. Restoration ecology of riverine wetlands: I. A scientific base. Environmental Management, 1995, 19(6): 891-902.
- [10] Henry C P, Amoros C, Giuliani Y. Restoration ecology of riverine wetlands: II. An example in a former channel of the Rhône River. Environmental Management, 1995, 19(6): 903-913.
- [11] 崔琰, 张强, 陈晓宏, 江涛. 生态需水理论与方法研究进展. 湖泊科学, 2010, 22(4): 465-480.
- [12] 汤洁, 余孝云, 林年丰, 麻素挺. 生态环境需水的理论和方法研究进展. 地理科学, 2005, 25(3): 367-373.
- [13] 姜跃良. 河流生态环境需水量的理论研究及应用[D]. 成都: 四川大学, 2004.
- [14] 王根绪, 刘桂民, 常娟. 流域尺度生态水文研究评述. 生态学报, 2005, 25(4): 892-903.
- [15] 倪深海, 崔广柏. 河道生态环境需水量的计算. 人民黄河, 2002, 24(9): 37-38.
- [16] 姜德娟, 王会肖, 李丽娟. 生态环境需水量分类及计算方法综述. 地理科学进展, 2003, 22(4): 369-378.
- [17] 康萍萍, 周林飞, 李波, 孙佳竹. 辽河干流河道生态需水量研究. 水资源保护, 2011, 27(3): 11-15.
- [18] 张雪梅. 城市河流生态需水研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
- [19] 董李勤, 章光新, 张昆. 嫩江流域湿地生态需水量分析与预估. 生态学报, 2015, 35(18): 6165-6172.
- [20] 吴春华, 牛治宇. 河流生态需水量研究进展. 中国水土保持, 2006, (12): 20-22.
- [21] 吴洁珍. 区域生态环境需水指标体系及综合评价研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [22] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态环境需水量研究. 环境科学学报, 2002, 22(2): 219-224.
- [23] 谢新民, 杨小柳. 半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测理论与实践. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [24] 唐颖, 乔振杰. 河道生态环境需水量的计算. 资源节约与环保, 2009, (1): 70-71.
- [25] 崔起, 于颖. 河道生态需水量计算方法综述. 东北水利水电, 2008, 26(1): 44-47.
- [26] 谭永明. 济南市小清河水质评价及环境需水量研究[D]. 济南: 山东大学, 2009.
- [27] 王礼先. 植被生态建设与生态用水——以西北地区为例. 水土保持研究, 2000, 7(3): 5-7.

- [28] 毛熹, 张杰豪, 罗婷, 梁心蓝, 周俊宇, 任文杰. 生态需水计算方法综述. 水资源研究, 2017, 6(3): 215-220.
- [29] 邓春秀. 浅议水电工程河流生态需水计算方法研究进展. 科协论坛, 2013, (1): 136-137.
- [30] 赵旭阳, 刘浩杰, 韩晨霞. 滹沱河岗黄段湿地生态需水量研究. 安徽农业科学, 2007, 35(35): 11531-11533.
- [31] 周维博, 李跃鹏, 王世岩, 杨恒. 三门峡库区湿地生态需水量估算. 南水北调与水利科技, 2015, 13(5): 877-882.
- [32] 孙才志, 高颖, 朱正如. 基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算. 生态学报, 2013, 33(5): 1513-1523.
- [33] 严军, 苗卉, 柴洪敏, 张晓亮, 张晓松. 永定河下游河道生态需水量. 人民黄河, 2006, 28(2): 51-53.
- [34] 王凯, 安航永. 城市河道生态需水量探讨. 黑龙江水利, 2015, 1(4): 36-39.
- [35] 冯帅, 李叙勇, 邓建才. 平原河网典型污染物生物降解系数的研究. 环境科学, 2016, 37(5): 1724-1733.
- [36] 全国土壤普查办公室. 中国土种志(第四卷). 北京: 农业出版社, 1993.
- [37] 张文鸽, 黄强, 蒋晓辉. 基于物理栖息地模拟的河道内生态流量研究. 水科学进展, 2008, 19(2): 192-197.
- [38] 韩振华, 王芳, 韩宇平, 王富强. 闽江流域山溪性河流生态需水量计算. 南水北调与水利科技, 2012, 10(6): 42-46.
- [39] 徐志侠, 陈敏建, 董增川. 基于生态系统分析的河道最小生态需水计算方法研究(I). 水利水电技术, 2004, 35(12): 15-18.
- [40] 朱晓娟, 沈万斌, 高凯, 刘景帅. 吉林省松花江干流氨氮综合衰减系数分段研究. 科学技术与工程, 2013, 13(10): 2758-2761, 2773-2773.