

河湖生态环境需水量的涵义与计算方法研究

张思思, 付作光

湖北 武汉 430070

DOI:10.61369/WCEST.2025050004

摘要 : 河湖生态环境需水量是河湖体系需要人工补充的用于消耗和置换的水量; 是具有时空分布差异性与阈值特性的水量; 是系统性地保障城市河湖自然生态健康并提供可持续利用的生态服务功能的水量。河湖生态环境需水量是健康评价、生态资源保护、水利工程兴建与地下水治理等综合性工程的科学标准。河流生态环境需水量分为基础生态需水量、移沙需水量、净污需水量及蒸散需水量; 湖泊生态环境需水量分为基底需水量、下渗需水量、蒸散需水量、净污需水量及生物栖息需水量。需水总量应根据不同的需水等级逐项区划后累加, 后针对不同的生态功能需求、重要性及管理方式, 进行水资源优化配置。

关键词 : 河湖生态环境需水量; 生态服务; 生态资源保护; 水资源优化配置

Research on the definition and calculation of ecological environmental demand of water for rivers and lakes

Zhang Sisi, Fu Zuoguang

Wuhan, Hubei 430070

Abstract : The ecological and environmental demand of water for rivers and lakes refers to the artificial supply water for consumable and replaceable purpose. This demand can of course maintain systematically the ecological health and provide ecological services sustainably with its spatiotemporally distributed natures and thresholds. It can also be scientifically referenced by health assessment, ecological resource conservation, water conservancy construction, groundwater management and some comprehensive projects. The mentioned water demand for rivers consists of ecological baseline term, sediment transportation term, pollution purification term and evaporation term, while that for lakes is certainly composed by substrate term, infiltration term, pollution purification and evaporation term also, as well as biotic habitat term. The total volume that is finally the summation of those divisions in terms of the pre-determined requirement levels may lead to water resources optimization on the basis of the ecological demands, importance differences and management styles.

Keywords : ecological and environmental demand of water for rivers and lakes; ecological services; ecological resource conservation; water resources optimization

引言

河湖水资源是重要的自然资源, 是维系城市生态健康的基础条件; 而有限的水资源无法完全满足人们日益提高的生产、生活等用水需求。河湖水资源开发、利用与调配过程中, 生态环境用水在一定程度上未被重视, 继而引发河流断流、水体水质恶化、生态系统功能退化等问题。为保障城市河湖生态系统稳定, 实行基于河湖生态环境需水量要求的水资源调配优化显得尤为必要。本文总结城市河湖生态需水量的定义与特征, 归纳河湖生态环境需水量常用的计算方法, 为河湖生态环境规划与治理, 水资源管理与调配工作提供科学依据。

一、河湖生态环境需水量的定义与内涵

结构状态, 且受到人为控制因素的影响。生态环境需水量是自然生态系统、城市水文水资源系统与社会经济系统的耦合与体现。

生态需水量是指在一定时间和空间范围内, 维持生态系统循环, 满足人类宜居环境需求的水资源总量^[1]。它取决于生态系统的

河湖系统为城市自然生态系统中重要的组成部分, 决定城市水分结构和水分生态特征, 并参与生态水文循环的全过程。河湖

作者简介:

张思思(1995.04-), 女, 汉族, 湖北应城人, 工学硕士研究生, 工程师, 生态水利工程;
付作光(1985.11-), 男, 汉族, 湖北武汉人, 工学博士研究生, 工程师, 水利水电工程。

生态环境需水量是指在一定的时空尺度之下，河湖体系需要人工补充的用于消耗或置换的水量^[2]。它不仅体现城市的生态环境状况与水文循环条件，且能与水资源管理与调配方式形成影响闭环，即河湖生态环境需水量的确定将直接影响水资源分配的方式，而合理的分配终将反馈河湖生态环境需水量的落实。

河湖生态环境需水量是一个目标导向的、动态的且具有阈值特性的水量，核心即为系统性地满足城市河湖自然生态系统自身健康，提供良好生态服务功能的基本需求。河湖生态环境需水量是协同社会经济发展需求与河湖自然保护，保障城市可持续发展的关键的科学概念，是水资源管理的重要的核心内容。它是水资源合理配置的基础参考条件；它是制定水资源规划，执行水权分配时必须优先考虑和保障的刚性需求。河湖生态环境需水量的内涵为：

（1）河湖生态修复与保护的依据，即为河湖系统的生态修复、湿地保护、水利工程兴建与地下水治理等系统工程提供科学的供水需求标准^[3]。

（2）评价人类活动影响河湖健康的标准，即通过对比河湖生态环境需水量要求与河湖实际水量，量化评价水资源开发利用对河湖生态系统健康的影响程度。为制定后续的增减调整提供参考依据^[4]。

（3）实现河湖可持续发展的关键要素，即保障生态环境需水要求，实现人类与河湖自然的和谐共生，保证河湖水资源可持续利用的根本前提条件^[5]。

二、河湖生态环境需水量的基本特征

河湖生态环境需水量（ W ）具有水量（ Q ）、水质（ A ）、时间（ T ）与空间（ R ）的四维属性，即 $W=f(Q, A, T, R)$ ，并具备下述几种特征：

（一）河湖生态环境需水量的时间特征

河湖生态环境需水量的时间特性表现为水资源循环系统的时变同步性，中长时域尺度下即表现为系统的进化、交替与变更；短时域尺度下即表现为系统的年度、季度甚至是昼夜变化。河湖生态环境需水量受到生态环境时间变化的直接影响，亦呈现出明显的分配差异性^[6]。如特定的调控周期内，河道既要保证具有维持河道基本水生功能的低流量，又要包含冲沙入海的洪峰流量；而湖泊既要储备满足水生物栖息与繁殖的基础水量，又要容纳雨期高强度的调蓄及水质进化的水量。河湖生态需水因时制宜的特征终将决定其管理与调控方式的多样性与复杂性。

（二）河湖生态环境需水量的空间特征

河湖生态环境需水量的空间特性表现为生态系统的空间差异同步性。气候气象、地理位置、水文地质条件及植物群落的层次结构等生态系统中的自然要素和城市化水平均会导致需水量的较大差别^[7]。例如干旱区域，最重要的生态用水需求即为应对气候恶劣与缺水导致的沙漠化与河湖系统脆弱的问题，保证水生态系统的功能与正常循环；对于湿润和半湿润地区，生态环境需水应充分考虑城市化进程导致水文循环异化、河湖管制困难、水涝与水污染严重等城市生态问题。河湖生态需水具有明显的地域化差异，供给与调配优化目标应为改善生态环境质量，建立适应经济可持续发展的良性生态环境。

（三）河湖生态环境需水量的社会属性及阈值特征

河湖生态环境需水量是既能反映水生态系统的稳定性与可持

续性，又能反映水生态维系社会发展的能力的兼具生态、环境和社会属性的复杂概念。社会发展的技术与人类认知水平平均会对河湖生态环境及需水产生深远的影响，如城市发展需求、水资源开发利用能力、污染物排放量、水资源工程投资与运营均为河湖生态优化及需水供应过程中重要的考虑对象。

河湖生态环境需水量具有下限阈值与上限阈值。若河湖水资源量过少，不能满足生态循环的基本要求时，河湖系统将发生紊乱，不再适合生物生存及人类利用。下限阈值旨在保障河湖生态系统功能的完备与稳定。若河湖水资源过多，超过自身可容纳范围，河湖系统将发生突变，如水体置换消减甚至停滞，水生植物根系因缺氧窒息、烂根，动物栖息地减少，城市洪涝风险增高。上限阈值旨在降低超标水量的管控风险。综上所述，可供水资源量成为河湖系统的限制因子，当它处于阈值之间，才能更好地维持生态的供需平衡，保障生物拥有最优的生长与繁殖条件，促进人类与自然环境的合理共济。

三、河湖生态环境需水量计算方法

河湖是城市重要的水文循环途径，具备多重生态及环境功能，用水需求具备多样性与复杂性。需水量的确定应以保障河湖生态条件为基础，促进可持续发展为目的，是完整的生物生态链巩固的重要依据，应分门别类逐一区划后累加^[8]。本文给出河流及湖泊生态环境需水量的分类及计算方法如下。

（一）河流生态环境需水量的计算

为维持形态稳定及基本生态功能正常，根据自身水力特性，河流生态环境需水量可分为基础生态需水量、移沙需水量、净污需水量及蒸散需水量四种类型，各项定义与计算方法如下：

（1）基础生态需水量（ W_b ），又称为生态基流量，即水平年内保证生态过程正常的小需水量^[9]。常见计算方法有 Texas 法与 Tennant 法，根据河道的径流特性，国内学者认为最小月平均径流量统计法更为合适。统计年份索引为 n ，计算公式为：

$$W_b = \frac{\left(\sum_{i=1}^n Q_i^{\min} \right) \cdot T}{n}$$

式中， Q_i^{\min} 为第 i 年内，月平均径流量的最小值（ m^3/s ）； T 为时间总量（s）。

（2）移沙需水量（ W_s ），即确保河流水沙平衡，发挥河流输沙、排沙功能，避免河流长期淤积导致的河床抬升、水质恶化及水生物骤减的重要需水项。移沙需水量与河道输沙量紧密相关，计算公式为：

$$W_s = \mu \left(W_q - \frac{W_f}{\gamma_s} \right)$$

式中， μ 为移沙效率系数， $\mu \in (0, 1]$ ； W_q 为径流总量（ m^3 ）； W_f 为移沙总量（ m^3 ）； γ_s 为砂体容重（ t/m^3 ）。

（3）净污需水量（ W_c ），即当河流本身自净能力不足时，用以稀释河道污染物浓度，避免河流基本的生态环境功能遭到破坏的额外的需水量。净污需水量一般采用 90% 保证率最小月均流量，计算公式为：

$$W_c = P_{90\%}(Q_i^{\min}) \cdot T$$

式中, Q_i^{\min} 为第 i 年内, 月平均径流量的最小值 (m^3/s) ; P 为频率 (拟合) 函数; T 为时间总量 (s)。

(4) 蒸散需水量 (W_e), 根据城市水循环特性, 当累计降水量无法补偿河道水面总蒸散量时, 从河道外调给的用以维持河道生态系统的正常运转的额外水量。蒸散需水量的计算公式为:

$$W_e = \delta A(E - R) \quad (E > R)$$

上式中, A 为河道的等效水域面积 (m^2) ; E 为河道的水面累计蒸散量 (mm) ; R 为河道水面承载的总降水量 (mm) ; δ 为尺寸转换因子。

河流的生态环境总需水量 (W_t), 即为上述四项的累加, 计算过程中应考虑河道水流的功能性重叠效应, 如河道基流不仅可用于自净, 亦可用于排沙。故采用“最大值”原则进行求和计算, 公式为:

$$W_t = \max\{W_b, W_s, W_c\} + W_e$$

受河流特征与周边城市开发条件的影响, 不同河流的生态环境需水量组成成分有所不同, 重要性亦不相同。

(二) 湖泊生态环境需水量的计算

城市湖泊不仅具有明确的生态功能, 如水力平衡功能、水生物栖息功能、自生修复与调节功能等; 还发挥着显著的环境功能, 如城市水源功能、防洪排涝功能、净化污染功能等^[10]。为更好地反应河湖生态功能的健康状况, 维持与保障生态功能健全, 笔者认为采用功能法计算湖泊生态环境需水量更为可靠, 遂将湖泊生态环境需水量分为基底需水量、下渗需水量、蒸散需水量、净污需水量及生物栖息需水量并逐一分类计算如下:

(1) 基底需水量 (L_b), 水体满足湖泊基本功能与水生物栖息的基本需水量。国内常采用最低水位法计算基底需水量, 公式为:

$$L_b = A_b(h_b - h_{\min})$$

式中, h_b 为保证湖泊基本生态功能的对应水位 (m) ; h_{\min} 为湖泊底高程 (m) ; A_b 基本生态水位对应的蓄水面积 (m^2) 。

(2) 下渗需水量 (L_k), 即当湖泊水位高于周边地下水位时, 通过湖底及岸边的渗透通道向地下水形成补给的需水量, 采用达西公式计算:

$$L_k = \left(\sum_{i=1}^n K_i I_i S_i \right) \cdot T$$

在第 i 条渗透通道中, K_i 为渗透系数 (m/s) ; I_i 为水力坡降; S_i 为过流截面面积 (m^2) 。 n 为渗透通道总数; T 为渗透时

参考文献

- [1] 许新宜, 杨志峰. 试论生态环境需水量 [J]. 中国水利, 2003 (5): 12-15.
- [2] 王俊, 孙秀玲, 曹升乐, 等. 东平湖老湖区生态环境需水量研究 [J]. 人民黄河, 2014 (11): 77-80.
- [3] 田英, 杨志峰, 刘静玲, 等. 城市生态环境需水量研究 [J]. 环境科学学报, 2003, 23 (1): 100-106.
- [4] 吴琼, 王莹, 张青. 河湖生态系统健康评价研究现状与展望 [J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(3): 131-133.
- [5] 王建华, 胡鹏. 立足系统观念的河湖生态环境复苏认知与实践框架 [J]. 中国水利, 2022 (7): 36-39, 56.
- [6] 肖莹, 李世曜, 李磊. 九龍江流域生态需水量时空变化趋势分析 [J]. 水土保持研究, 2023, 30 (1): 364-369, 378.
- [7] 南笛, 杨子寒, 毕旭, 等. 生态系统服务价值与人类活动的时空关联分析——以长江中游华阳河湖群地区为例 [J]. 中国环境科学, 2018, 38(9): 3531-3541.
- [8] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算 [J]. 地理学报, 2000, 55(4): 495-500.
- [9] 王钦建. 九龍江流域生态环境需水量计算 [J]. 环境科学与管理, 2011, 36(4): 152-155, 160.
- [10] 刘静玲, 杨志峰. 湖泊生态环境需水量计算方法研究 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 604-609.

长 (s)。

(3) 蒸散需水量 (L_e), 即湖泊水面蒸散需水量宜采用定额法进行计算, 即水生植物蒸腾量 (单位量) 与覆盖面积之积。

(4) 净污需水量 (L_e), 即将湖泊污水浓度稀释到标准浓度所需的最大水量, 须根据国家环境保护法、水污染防治法要求及污水监测浓度计算, 公式为:

$$L_e = \max \left\{ \left(\frac{c_i^m}{c_i^s} - 1 \right) W_o \right\}_{i=1}^n$$

对于第 i 种污染物, c_i^m 为监测浓度 (kg/m^3) ; c_i^s 为标准浓度 (kg/m^3) 。 n 为污染物种类, W_o 为湖泊蓄水总量 (m^3) 。

(5) 生物栖息需水量 (L_s), 即湖泊确保生物栖息与繁殖所需要的最小水量, 为湿周范围内的最小蓄水总量扣除湖泊最小需水量, 计算公式为:

$$L_s = (A_s - A_b) h_b$$

式中, A_s 为湖泊湿周面积 (m^2) 。

与河流生态环境总需水量类似, 湖泊生态环境需水总量 (L_t) 亦为上述各项的累加, 计算过程中同样应考虑湖泊水体的功能性重叠效应, 采用“最大值”原则进行求和计算, 公式为:

$$L_t = \max\{L_b, L_k, L_e\} + L_c + L_s$$

受湖泊特征与周边城市开发条件的影响, 不同湖泊的生态环境需水量组成成分有所不同, 重要性亦不相同。应根据河湖的时空分布特点制定不同的需水量等级, 针对不同的生态功能需求、重要性及管理方式进行水资源优化配置。

四、结语

综上所述, 河湖生态环境需水量是一种具有时空分布差异性与阈值特性的水量; 是系统性地满足城市河湖自然生态系统自身健康, 提供良好生态服务功能的基本需求的水量。河湖生态环境需水量具备较强的社会属性, 是河湖系统的生态资源保护、水利工程兴建与地下水治理等系统工程的科学标准; 是量化评价水资源开发利用对河湖生态系统健康的影响程度, 制定增减调整措施的重要参考依据。河湖生态环境需水具备多样性与复杂性, 应分门别类逐一划后累加。各项需水量计算方法不尽相同但都具有功能性重叠效应, 应根据河湖时空分布特点划分不同的需水量等级, 针对不同的生态功能需求、重要性及管理方式制定水资源优化配置与调度措施。