

河道内生态需水估算方法概述

陆东燕^{1 2} 李洪晶¹ 宋桂云¹ 徐 健¹

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 上海青浦区水务局, 上海 201700)

摘要: 为诸如生态调度等水资源配置研究提供必要的理论基础, 根据国内外的研究进展, 总结归纳出河道内生态需水估算的方法。指出河道内生态需水的确定应综合考虑下游河道的基本生态需水(生态基流)、水质、输沙、水生生物、水面蒸发等因素, 详细阐述了生态需水各分项的计算方法、优缺点、适用条件、相关关系以及根据各分项计算河道内生态需水量的方法。

关键词: 生态需水量; 生态基流; 河道; 生态调度

中图分类号: TV213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7647(2010)S1-0187-04

我国水利工程传统的调度方式主要考虑社会经济开发(防洪、供水、灌溉、发电等), 对生态环境方面考虑不多, 容易造成一系列的生态问题。因此, 基于河湖生态系统健康考虑的生态调度逐渐被人们所关注, 并成为讨论和研究的热点问题之一。生态调度研究的基本前提是生态需水量的计算, 可见生态需水研究的重要性。

目前, 生态需水研究已成为生态环境与社会可持续发展、生态系统良性循环、实现水资源合理配置以及生态环境恶化治理紧迫性的需要, 对其研究不仅具有理论上的重要意义, 而且具有较高的实际应用价值。通过国内外多年的研究, 目前已形成了一些相对成熟的河道内生态需水估算方法。这些方法主要可以分为 4 类: 历史流量法、水力学法、栖息地定额法和整体法。历史流量法中较为常用的是 Tennant 法^[1]和 7Q10 法^[2]; 水力学法中较为常用的是湿周法和 R2-Cross 法^[3]; 栖息地定额法中代表性方法为 IFIM 法^[4]; 整体法中比较有代表性的是 BBM 法^[5]。这些方法各有其优缺点和适用范围, 为更好、更合理地计算河道内的生态需水量, 应该综合考虑各方面因素, 将这些方法有机地结合起来, 合理应用并系统地估算河道内的生态需水量。

1 相关概念

目前, 国内外对生态需水的概念讨论比较多, 但迄今为止对生态环境需水仍没有形成一个公认的定义。笔者认为生态需水是指在特定生态保护和修复

目标之下, 河湖等水体范围内有地表径流或者地下径流支撑的生态系统的需水, 包含了对水质、水量及其过程的需求。它具有时间性^[6]、空间性、动态性、量质双重性、阈值性^[7]等特性。

根据水资源循环系统的空间格局或按水量作用的不同区域, 可以将生态需水划分成河道外生态需水和河道内生态需水。河道外生态需水是指在给定目标下, 为保护、恢复或建设特定区域的环境和生态所需要的水量, 可结合灌溉、供水等用水一并考虑; 河道内生态需水主要考虑为满足河道下游给定目标条件下的河流环境和生态功能。在该文中主要侧重于河道内生态需水估算方法的探讨。

2 河道内生态需水量确定

2.1 原则^[8]

a. 生态优先原则。河流生态环境需水计算以保证河流生态环境功能为前提的, 以实现河流生态环境可持续发展为目的。目前河流生态环境需水的确定方法一般是估算, 不可能面面俱到, 而是优先考虑河流主要的生态环境功能。

b. 兼容性原则。兼容性是河流生态环境需水的一个特性, 表现出不同功能的生态环境需水具有相同的需水形式, 在河流生态系统中, 河道基本功能的用水量、自净需水、输沙需水等之间存在着兼容, 即维持河流生态环境的不同功能的水是兼容的, 因此在确定最终的河流生态环境需水时不是把它们简单地叠加。

c. 外包值原则。各项具有兼容性的河流生态环境需水 ,一般采用外包值来确定最终推荐的河流生态环境需水 ,这样可以满足各项功能的生态环境需水。

d. 等级划分原则。河流生态环境需水存在着上下限 ,在上下限范围内 ,河流水生生态系统的平衡健康状况与生态环境需水存在着一定的对应关系。

2.2 河道内生态需水量的确定

根据河道内生态需水量的内涵以及特性的阐述 ,综合考虑上述原则以及生态基流、污染物稀释净化需水量、输沙需水量、水生生物保护用水量、水面蒸发需水量等关系 ,确定河道内生态需水量。如果下游河道内无特殊要求 ,一般可采用维持河道基本功能的用水量作为其生态需水量^[9]。

$W_{\text{rEEWRs}} = \max(W_R, W_v, W_s, W_c) + W_E + W_I$ (1)
式中 : W_{rEEWRs} 为河道内生态需水量 ; W_R 为生态基流 ; W_v 为污染物稀释净化需水量 ; W_s 为输沙需水量 ; W_c 为水生生物保护用水量 ; W_E 为水面蒸发需水量 ; W_I 为河道年渗漏补给量。

3 河道内生态需水各分项计算方法

3.1 生态基流 W_R

生态基流是指为考虑河流生态保护目标要求 ,维持河流基本形态和基本生态功能 ,即防止河道断流、避免河流水生生物群落遭受到无法恢复破坏的河道内最小流量。可以说 ,生态基流是满足各类生态需水共性基本要求的水量红线。

生态基流计算方法及适用条件见表 1。在基础数据满足的情况下 ,应采用多种方法计算生态基流。对比分析各类计算结果 ,选择最适当的方法和计算结果 ,对不同水平年断面下泄流量的评价建议采用 Tennant 法。

3.2 污染物稀释净化需水量 W_v

污染物稀释净化需水量是指在下游正常排污的情况下 ,为了使水质达到一定的标准 ,下游河道内必须保留的最小水量。为保证下游的污染物稀释净化 ,需要限制上、中游的用水定额 ,保证一定比例的下泄流量 ,也就是说通过河流上、中、下游的内部调节来达到流域的用水平衡。目前调节流域用水平衡主要采用以下 2 种方法 ,即水质目标法和水环境功能设定法。

3.2.1 水质目标法

水质目标法是依据水环境容量的基本原理 ,按照水质目标为约束的方法计算。主要计算污染水体水质稀释自净的需水量 ,作为满足环境质量目标约束的河道最小流量值。其基本原理是在考虑河段上

表 1 生态基流计算方法及适用性

方法	指标表达	适用条件	优缺点
Tennant 法	将多年平均流量的推荐生态百分比作为生态基流	流量较大的河流 ,拥有长序列水文资料	简单快速 ,但未考虑到流量的季节变化
90% 保证率法	90% 保证率最枯月平均流量	水资源量小且开发利用程度已经较高的河流 ,拥有长序列水文资料 ,应用于不断流断面	维持河流水质标准 ,更适合国内河流的生态环境需水要求
近 10 年最枯月流量法	近 10 年最枯月平均流量	与 90% 保证率法相同 ,均用于纳污能力计算 ,应用于不断流断面	维持河流水质标准 ,更适合国内河流的生态环境需水要求
流量历时曲线法	利用历史流量资料构建各月流量历时曲线 ,以 90% 保证率对应流量作为生态基流	拥有至少 20 年的日均流量资料	简单快速 ,同时考虑了各个月份流量的差异
湿周法	根据湿周流量关系图中的拐点确定生态流量。拐点不明显时以某个湿周率相应的流量作为生态流量 ;湿周率为 50% 对应的流量可作为生态基流	宽浅矩形渠道和抛物线形河道 ,且河床形状稳定	只需进行简单的现场测量 ,而且假设河道是稳定的 ;可同时计算生态基流和河流湿地及河谷林的最小生态流量
7Q10 法	90% 保证率最枯连续 7 d 的平均流量	水资源量小且开发利用程度已经较高的河流 ,拥有长序列水文资料	维持河道不断流

注 :保证率指根据实测样本资料所求的大于或者等于某一水文变量的概率 , $P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$ 。

游来流污染物浓度 ,以及河段内污染物产生量、污染物治理浓度、污水资源化程度、城市污水产生总量和污染物削减综合条件下 ,得出满足河段水质控制目标的相应水量。水质目标法能够比较准确地计算出河道内维持水体稀释自净所需的流量值 ,目前应用较为广泛。

以水质目标为约束计算河段的最小流量 ,基本模式如下 :

$$C_s [Q_i + \sum q (1 - K_2)] = (1 - K_1) [Q_i C_i + W (1 - K_1) (1 - K_2)] \quad (2)$$

式中 : C_s 为计算河段水质目标值 ,mg/L ; Q_i 为断面上游来水量 , m^3/s ; C_i 为 i 断面污染物的质量浓度 ,mg/L ; W 为河段内的污染物总量 ,g/s ; $\sum q$ 为河段内的污水总量 , m^3/s ; K 为污染物削减综合系数 ; K_1 为河段内污染物治理系数 ; K_2 为河段内污水资源化系数。 K_1 和 K_2 是与社会经济发展、环境保

护投资及水污染治理投资、污染源治理效益和废污水资源化条件等有关的治理系数。

3.2.2 水环境功能设定法

a. 功能区段的划分。对于较长的河流(河段),其地质条件、沿程水量、水功能等方面存在着差异。所以,为计算方便,首先应根据河流(河段)的特点和实际需要,选择环境需水量设计断面,将河流(河段)划分为若干小段,并将每个小段看作1个集水汇流区。先对各小段进行计算,最后求出整个河流(河段)的最小生态环境需水量。一般情况下,环境需水设计断面应选择在行政区的区界或有代表性的水质监测断面。

b. 计算方法确定。根据河流的稀释、自净等环境功能,设定合理的河道环境需水量(W_v)。这种方法是首先将河道(河段)划分为 n 个小段,将每个小段看做是闭合的汇水区,计算每段的环境需水量 W_{vi} ($i = 1, 2, \dots, n$),然后,对其求和即可得到整个河流(河段)环境需水量 W_v 。

对于每个小段 i 的 W_{vi} 必须满足下列方程:

$$W_{vi} \geq \lambda W_{wi} \quad (3)$$
$$W_{vi} \geq W_{ni}(p) \quad (p \geq p_0) \quad (4)$$

式中: W_{vi} 为第 i 段河段内的最小环境需水量; λ 为河流稀释系数,可根据主要控制指标的污水排放标准与河流水环境标准确定,一般河流的稀释系数不得低于5; W_{wi} 为第 i 段合理的污水排放总量,即达标排放的废污水量; $W_{ni}(p)$ 为不同水文年(如多年平均、枯水年、平水年、丰水年)设定保证率(指月保证率,如 $p_0 = 90\%$)下第 i 段的河道流量。

该法是针对我国水环境污染严重状况提出的,其优点是将河流水量与水质保护相结合,适合研究污染严重河流的需水量。缺点是根据污染排放浓度确定所需水量,容易造成计算出的需水量过大。具体计算方法见王西琴以黄河支流渭河为例的环境需水量计算^[10-11]。

3.3 输沙需水量 W_s

输沙是河流系统的另一个重要功能。为了输沙排沙,维持冲刷与侵蚀的动态平衡,需要一定的生态水量与之匹配,这部分水量就称为输沙需水量。在一定的输沙总量要求下,输沙水量直接取决于水流含沙量的大小。对于北方河流系统而言,汛期的输沙量约占全年输沙总量的80%以上,即河流的输沙功能主要在汛期完成,因此,忽略非汛期较小的输沙水量。输沙用水量计算公式为

$$W_s = S_1 \frac{1}{S_{cw}} \quad (5)$$

式中: S_1 为多年平均输沙量, kg ; S_{cw} 为多年平均汛期

含沙量, kg/m^3 。

基岩河床的河流或河床比降较大的山区河流,一般情况下水流处于非饱和输沙状态,可用多年最大月含沙量平均值代表水流对泥沙的输送能力,输沙用水量计算公式为

$$W_s = S_1 \frac{1}{S_{c_{max}}} \quad (6)$$

式中: $S_{c_{max}}$ 为多年最大月平均含沙量, kg/m^3 。

3.4 水生生物保护用水量 W_c

水生生物保护用水量计算公式为

$$W_c = \sum_{i=1}^{12} \max(W_{cij}) \quad (7)$$

式中: W_{cij} 为第 i 月第 j 种生物需水量, m^3 ;其值根据具体生物物种生活(生长)习性确定。

资料缺乏地区,参照 Tennant 法,可按多年平均流量的百分比估算河道内水生生物的需水量,一般河流枯水期可取多年平均径流量的10%~20%,丰水期可取多年平均径流量的30%左右,有国家级保护生物的河流(河段)可适当提高百分比。

3.5 水面蒸发需水量 W_E

水面蒸发生态需水量是为保持水体调节气候、美化景观以及防止河道断流、湖泊萎缩所需的最小径流量^[12]。当河流水面蒸发量高于降水量时,必须接纳外来水量以弥补流域河道水量;当降水量大于蒸发量时,蒸发生态需水量为零,即不需要额外的水量用于蒸发。根据河流水面面积、降水量、水面蒸发量,可以求得相应各月的蒸发生态需水量表达式如下:

$$W_E = \begin{cases} A(E - P) & E > P \\ 0 & E < P \end{cases} \quad (8)$$

式中: W_E 为计算时段内水体的净蒸发损失量; A 为计算时段内水体平均水面面积; E 为计算时段内水体蒸发量; P 为计算时段内水体降雨量。

3.6 河道渗漏补给需水量 W_l

当河道水位高于滨岸区地下水位时,河水在重力作用下以渗流的形式补给地下水,此时该部分水量就成为维持河流滨岸生态系统正常生态功能的主要水分来源。这种现象常年出现于下列情况:①在山前倾斜平原上的河段;②由于下游河床淤积而填高,从而产生河水补给地下水;③在汛期才补给地下水,汛后则排泄地下水。因此,应对每条河道的水文特性和河岸地下水动态进行分析后才能确定河水补给地下水的河段,然后逐段进行渗漏补给量的计算。河道渗漏补给量的大小主要受河床岩性、河道输水流量、地下水埋深等因素的影响。河道年渗漏补给量可按下式计算:

W₁ = L ∑ⁿ_{i=1} η_iQ_iΔt_i (9)

式中:W₁ 为河道年渗漏补给量, m³; Δt_i 为年内河道过水第 i 时段的历时, d; n 为计算时段数; L 为计算河段长度, m; Q_i 为第 i 时段内的平均流量, m³/d; η_i 为对应的单位长度渗漏率, m⁻¹。

4 结 语

河道内生态需水量的确定应该根据下游河道的基本生态需水(生态基流)、水质、输沙、水生生物、水面蒸发等因素综合确定。文章指出了生态需水各分项的计算方法、优缺点、适用条件、相关关系,以及依据生态优先原则、兼容性原则、外包值原则、等级划分等原则,总结了利用各分项综合计算河道内生态需水量的方法,以期为相关的水资源合理配置提供必要的理论基础。在实际运用中,应该针对具体的区域、具体的生态系统,灵活应用上述方法。

参考文献:

[1] TENNAT D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources[A]. Maryland: American Fisheries Society, 1976 359-373.
[2] BONER M C, FURLAND L P. Seasonal treatment and variable effluent quality based on assimilative capacity[J]. Journal Water Pollution Control, 1982, 54: 1408-1416.
[3] MOSELY M P. The effect of changing discharge on channel

morphology and instream uses and in a Braide River, Ohau River, New Zealand[J]. Water Resources Researches, 1982 (18): 800-812.
[4] STALNAKER C B, LAMB B L, HENRIKSEN J et al. The instream flow incremental methodology: a primer for IFIM[R]. Colorado: National Ecology Research Center, Fort Collins: International Publication, 1994.
[5] KING J M, LOW D. Instream flow assessment for regulated rivers in South Africa using the building block methodology[J]. Aquat Ecosyst Health Manag, 1998(1): 109-124.
[6] 张鑫. 区域生态环境需水量与水资源合理配置[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2004.
[7] 张远, 杨志峰, 王西琴. 河道生态环境分区需水量的计算方法与实例分析[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 429-435.
[8] 罗艳. 宁波市樟溪河流域生态环境需水研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
[9] 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.
[10] 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[J]. 环境科学学报, 2001, 21(5): 544-547.
[11] 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(II)应用[J]. 环境科学学报, 2001, 21(5): 548-552.
[12] 刘增进, 张敏, 潘乐. 生态环境需水量计算方法的探讨[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(32): 13921-13922.

(收稿日期: 2009-08-01 编辑: 高建群)

· 简讯 ·

“ 水文水资源学术研讨会 ” 将在南京举行

为了纪念我国著名水文学家、教育家、新中国水文高等教育的奠基人、河海大学博士生导师刘光文教授百年诞辰, 河海大学和水利部水文局决定于 2010 年河海大学校庆期间(2010 年 10 月 26—27 日) 在南京举办水文水资源学术研讨会, 旨在研讨水文学与水资源学科的发展战略, 交流近年来水文科学研究的新进展和发展趋势。会议主题为: ①水文水资源基础理论; ②水文预报技术; ③水文水资源信息技术; ④水文水资源不确定性与水灾害风险评估; ⑤变化环境下水资源可持续利用和水环境保护。(本刊编辑部供稿)

“ 2010 年统计与管理科学国际学术会议 ” 将在南京举行

由河海大学和中国现场统计研究会资源与环境统计分会主办的 2010 年统计与管理科学国际学术会议将于 2010 年 10 月 29—31 日在南京举行。本次会议得到国家自然科学基金委、中科院数学与系统科学研究院应用数学研究所、中科院复杂随机结构与数据科学重点实验室、上海财经大学、江苏科技大学、河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室等单位的联合支持。会议目的是在资源与环境、经济与金融、统计应用方法, 以及在资源、环境、生态、经济、金融等领域中统计理论、方法的应用及其相互交叉领域上开展广泛的国际学术交流与合作, 大力推广统计方法与管理科学在经济和社会发展各个领域的结合与应用, 推动统计、资源、环境、经济与金融等有关方面的前沿研究, 开创互补多赢的局面。会议主题包括: ①环境与经济; ②资源与环境及水资源管理; ③资源与环境、生态等数据的统计分析; ④经济计量; ⑤金融统计; ⑥风险管理; ⑦应用统计; ⑧生存分析; ⑨数据挖掘与机器学习。

(本刊编辑部供稿)