

生态环境需水量计算方法研究现状

冯宝平¹, 张展羽¹, 陈守伦²

(1. 河海大学现代农业工程系, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 将区域生态环境需水量的定量计算分为河道内和河道外两部分需水, 并综述了一些常用的计算方法. 提出对生态环境需水的 4 点认识: ①生态环境需水的内涵应界定在可持续发展前提下, 是区域水资源合理配置的一个重要前提条件; ②生态环境需水量具有时空特性; ③生态环境需水和水资源承载能力是相互统一的; ④区域生态环境需水量是对应于区域不同环境质量的一系列值.

关键词 生态环境需水量 河道内需水 河道外需水

中图分类号 X171.4

文献标识码 A

文章编号 1006-7647(2004)06-0059-04

水是生态环境系统的核心要素, 充足、优质的水资源是 21 世纪可持续发展战略实施的重要保障. 但是, 在水资源的开发利用中, 人们往往只重视生产和生活对水资源的需要, 而忽视生态环境保护 and 发展的需水要求, 致使区域生态环境恶化, 表现为植被退化、河道断流、湖泊萎缩、水土流失加剧、土地荒漠化等生态环境问题, 直接威胁到人类的生存与发展. 维护生态系统的良性循环必须重视对水资源的合理开发与保护, 充分考虑生态环境需水和水资源的永续利用. 如何协调人与生态环境的关系, 维持、恢复、重建、改善区域生态环境, 保障生态环境用水, 是当前人类面临的迫切任务, 也是可持续发展和水资源可持续利用的重要内容.

目前, 生态环境需水的定量化研究还有一定难度^[1], 但该研究是目前水资源可持续管理的一种迫切需要^[2]. 生态水文学 (ecohydrology)^[3~5] 是现代水文科学与生态科学交叉中发展的一个新的学科生长点, 以生态过程和生态格局的水文学机制为研究核心, 揭示陆生环境和水生环境植物与水的相互作用关系, 研究对象涉及旱地、湿地、森林、草地、山地、湖泊、河流等. 以生态水文学为基础, 研究与水循环过程相关的生态环境变化的成因与调控, 可以积极地保护和改善自然景观, 正确指导生态环境脆弱地区的生态环境建设与水资源管理. 据此, 将区域生态环境需水量的定量计算分为河道内和河道外两部分需水. 河道内按不同生态功能计算需水量. 河道外的需水量计算, 由于森林 (林地)、草地、半荒漠、荒漠等生物类型区域生态需水不同, 应首先选定天然植被并

进行本底分区, 然后由区域天然植被生长的年降水量、气温及热量平衡资料结合区域水量平衡算出植被的需水量. 两者之和扣除重复量才是整个区域的生态环境需水量.

1 河道内生态环境需水量

河流系统的生态需水是指为维护河流系统正常的生态结构和功能所必须保持的水量^[6]. 河道内生态环境需水量研究范围应包括河道及连通的湖泊、湿地、洪泛区范围内的陆地. 主要计算方法如下.

1.1 保护水生生物栖息地需水量研究方法

河流生态用水涉及各类生物体及其生态环境需水. 河流系统中的生物体本身就生活在水体中, 生物体需水研究不可能完全脱离生物栖息和生长环境. 多数情况下针对河流生物需水量都基于这样一个假设, 即保护水生生物和植物指示物种所需的水量与保护整个河流生态环境所需的水量大致相同. 保护水生生物栖息地需水量的计算方法主要用以维持水生生物正常生长的需水要求.

a. 河道内流量增加法 (IFIM 法)^[7~10]. 该方法是 20 世纪 80 年代由美国渔业和野生动物保护组织开发研制的用于河流规划、保护和管理等的决策支持系统. 系统由一系列水量、水质、生态等专业模型和各类方法库组成, 综合考虑水量、流速、水质、水生物种等影响因子, 结合水生生物学信息, 进行流量增加的变化对水生生物栖息地影响的评价, 需要多学科配合研究和详尽的资料信息支撑. 该方法更通常用来评价水资源开发建设项目对下游水生栖息地的影响.

b. 湿周法(wetted perimeter method)^[10,11]. 湿周法假设保护好临界区域的水生物栖息地的湿周,也将对非临界区域的栖息地提供足够的保护.该方法利用湿周作为栖息地的质量指标来估算期望的河道内流量值.通过在临界的栖息地现场搜集渠道的几何尺寸和流量数据,并以临界的栖息地类型作为河流其余部分的栖息地指标.根据河流流量与湿周的关系,将河流临界湿周区域作为水生物栖息地保护的最低要求.湿周法适用于湿润河网区,河道的形状影响该方法的分析结果.

c. R2CROSS 法^[12]. 假设浅滩是最临界的河流栖息地类型,而保护浅滩栖息地也将保护其他的水生生物栖息地.通过水域生态系统平衡分析,根据水生生物生产量和栖息地与水深、流速、河宽等的关系,来计算所需水量.该方法适用于一般浅滩式的河流栖息地类型.

d. 物理栖息地模拟法(physical habitat simulation)^[9,13,14]. 该方法是用于生物群的恢复和维持的决策支持系统,尤其适用于河流中的鱼类.它根据不同的流量情况、田间测量技术、水利校准、物种栖息地等参数,预测不同河段内适宜的物理栖息地数量.

e. 建立分区法(building block methodology)^[15,16]. 该方法推动了河流生态需水评价向一个全新的方向发展.作为一种全盘方法,它强调河流生态系数的每个组成部分结构和机能的健康,而不是只重视某些物种.该方法在南非和澳大利亚得以广泛应用.

1.2 河流基本生态环境需水量研究方法

对常年性河流而言,维持河流的基本生态环境功能不受破坏,就是要求年内各时段的河川径流量都能维持在一定的水平上,不出现诸如断流等可能导致河流生态环境功能破坏的现象.常用的方法有:

a. 7Q10 法^[17]. 7Q10 法基于水文学参数,考虑水质因素,采用 90% 保证率最枯月连续 7 d 的平均水量作为河流最小流量设计值.

b. 10 年最枯月平均流量法. 对于我国而言,7Q10 法的要求标准比较高.根据我国经济发展水平比较落后、南北方水资源情况差别较大的特点,我国在 GB3839-83《制订地方水污染物排放标准的技术原则和方法》^[18] 中规定:一般河流采用近 10 年最枯月平均流量或 90% 保证率最枯月平均流量,一般湖泊采用近 10 年最低平均水位或 90% 保证率最低月平均水位相应的蓄水量作为水源保护区的设计水量.

c. 最小月平均径流量多年平均值法^[19]. 以河流最小月平均实测径流量的多年平均值作为河流的基本生态环境需水量,计算我国华北地区海河流域河流基本生态需水总量.

d. 径流时段曲线分析法(flow duration curve analysis)^[8,20]. 径流时段曲线分析法以水文分析为基础,采用逐月最小径流量的特殊百分比作为河流生态环境需水量.

e. 水面蒸发生态需水量法. 水面蒸发生态需水量法是为保持水体调节气候、美化景观,以及防止河道断流、湖泊萎缩所需维持的最小径流量.当水面蒸发高于降水时,必须从流域河道水面系统接纳以外的水体来弥补.当降水量大于蒸发量时,蒸发生态需水量为零.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^[6].该方法还可用于湖泊、湿地、洪泛地区的生态需水量计算^[6,19,21].

f. 蒙大拿法(Montana method)^[9,10,20,22]. 蒙大拿法即 Tennant 法,是应用较多的计算河道生态环境需水量的综合方法,该法是脱离特定用途的综合型计算方法,属非现场测定类型的标准设定法.根据生态环境和水文条件特点,在分析历史流量记录的基础上,取年天然径流量的百分比作为河流生态环境需水量.在美国,该法通常作为在优先度不高的河段研究河流流量推荐值使用,或者作为其他方法的一种检验.

1.3 保持河流水质需水量研究方法

保持河流水质需水量指维持河流水沙、水盐等平衡的需水量.

a. 河流输沙需水量. 河流输沙排沙,维持冲刷与侵蚀的动态平衡,需要一定的水量与之相匹配,这部分水量就称为输沙平衡需水量.将各月的平均输沙量与历年最大平均含沙量的比值作为各月的排沙需水量^[6].或通过输沙率法或断面法等确定河道冲淤量,再进行水流挟沙能力的分析,最后通过确定防淤的最小挟沙能力来反推所需径流量^[21].

b. 防止海水入侵所需维持的河道最小流量^[21]. 先根据河口含盐度分布和水流循环特征,将河口分为高度成层型河口(盐水楔型、峡湾型, $n > 0.7$)、缓混合型($n = 0.2 \sim 0.5$)、强混合型($n < 0.1$)4 类(其中 n 为掺混系数,即涨潮期内径流的平均流量与涨潮总量的比值).前两类用盐水入侵长度关于流量的表达式来计算最小流量,后两类用一维水量和水质模型来推求盐水入侵长度的表达式,再反推最小流量.

c. 以水质目标为约束的河道需水量计算方法^[21]. 防止河流水污染,需要保持河道系统具有一定的稀释净化能力的水量.该方法通过计算污染水质稀释自净的需水量,作为满足环境质量目标约束的城市河段最小流量.

d. 有限容积多箱模型(multi box modeling)方法^[23]. 该方法是基于单元模型思想,利用计算机强

大的运算功能,采用多单元耦合,以及水量、水质、生态系统子模型耦合来建立陆面水量-水质-生态耦合系统模型,并利用其对我国西北干旱区湖泊生态系统水量进行了研究.

2 河道外生态环境需水量

河道外生态环境需水量主要指保护和恢复河流下游的天然植被及生态环境、水土保持及水保范围之外的林草植被建设所需水量^[24].植被是组成生态系统中生物部分最基本的成分,是生态系统的主要生产者,它形成具有植物群落特征的生态环境,并调控生物群落在该生态环境的存在.因而,植被是自然环境最直观的反映,植被需水的规律是生态需水的基础.地带性植被利用降水中形不成径流的水来维持生命,不受水资源开发利用的影响,但直接影响径流的形成和分配,与径流在数量上的对比关系因天然植被的破坏或重建而从固定的关系转化为消彼长的关系.非地带性植被主要是靠径流支撑,受水资源开发利用的影响.

国外在 20 世纪 20 年代开始对农作物需水进行研究^[25],以此为基础建立了不同条件下农作物、森林和草地生态需水的计算和预报模型,可完成模拟土壤水分变化、植被生长需水过程的水平衡问题和需水预测,具有较成熟的理论和方法^[26].我国学者主要集中在对干旱区的生态需水分类和计算方法研究上,而对生态环境需水的概念和理论方法研究较少,研究的目的是进行干旱区水资源的宏观调控,计算方法大多根据水量平衡理论,以植物耗水量(植被蒸腾量)代替生态需水量,采用面积定额法计算,可分为直接法和间接法两类.

直接计算方法是某一区域某一类型覆盖的面积乘以其生态需水定额,计算得到的水量即为生态需水量^[27~29].植被生态需水定额可参考植被蒸腾量(包括棵间蒸发量和植被蒸腾量)确定.计算方法有彭曼公式、实测蒸腾量法、道尔顿经验公式、阿维杨诺公式等.该方法适用于基础工作较好的地区与覆盖类型.其计算的关键是要确定不同生态需水类型的生态需水定额.考虑到‘无为而治’更重于保护与恢复,而不仅仅是重建与再造,利用自然力(包括降雨、土壤水)恢复自然生态环境系统,用生态需水定额除去实际降水量.

对于某些地区的天然植被生态需水计算,如果以前工作积累较少,模型参数获取困难,可以考虑采用间接计算方法.间接计算方法是根据潜水蒸发量间接计算生态需水量,即用某植被在某一潜水位下的面积乘以该潜水位下的潜水蒸发量与植被系

数^[27,30,31].这种方法主要适合于干旱区植被生存主要依赖于地下水的情况.

3 对生态环境需水的认识

a. 生态环境需水的内涵应界定在可持续发展前提下.良好的生态环境是人类生存和发展的基本条件,是实现经济和社会可持续发展的前提和保障.保护和改善生态环境、优先解决生态环境用水问题已成为我国可持续发展的前提条件,是水资源可持续开发利用的一项主要内容.对于区域而言,考虑生态环境用水的主要目的是为了进行区域水资源合理配置,而且生态环境用水应该先于人类经济活动,甚至先于社会发展用水而优先配置.区域生态环境需水量的确定是区域水资源合理配置的一个重要前提条件,只有这样才能保证水资源开发利用与社会发展、经济建设和生态环境保护协调发展.

b. 生态环境需水具有时空特性.首先,它具有明显的空间性,在不同的地理分布区域如干旱区和湿润区、陆地和水域、城市和农村、同一流域上、中、下游及入海口不同地段等,对维持生态系统平衡的水量及分布的需求有明显差异,生态环境的范围和内容不同.此外,生态环境需水都是针对一定范围而言的,界定在某一区域范围的生态环境需水更容易度量和实施.其次,它具有时间性,一是太阳辐射、空气湿度、气温、风速等,尤其是降水和蒸发具有显著的时间特点,河流的含沙量和输沙量以及植被的蒸腾量有明显的季节变化,而这些因素显著地影响生态环境的需水;二是由于地表水、地下水、土壤水等水资源情势的变化改变了生物赖以生存的环境,导致生物的种群数量、群落结构乃至生态系统发生变化,生态环境需水也随之改变;最后,在未来不同时间尺度上的某个特定时间段,随环境的治理、自然生态的逐步恢复,人类对美化环境和娱乐需水的逐步要求,水资源的功能和用途的变化,生态环境需水的内涵和外延都会有所改变.

c. 在区域可持续发展和区域水资源可持续利用前提下,生态环境需水和水资源承载能力是相互统一的.表面看来,两者似乎互为消长,区域生态环境需水量的增大势必导致区域其他部门用水量的减少,从而降低水资源对区域人口、经济等的支撑能力.其实不然.首先,没有良好的生态环境,人类的生存都成问题,更何况发展,水资源承载能力更是无从谈起.其次,区域是由经济社会和环境诸多因子组成的多层次、多功能的复合生态环境系统,区域水资源承载能力不仅包括对社会和经济的承载,更包括对环境的支撑.

d. 区域生态环境需水量是对应于区域不同生态环境质量的一系列值. 生态环境需水量与生态环境质量密切相关, 维持不同的生态环境质量, 生态环境需水量不同.

参考文献:

- [1] Seyan I, Savenije H H G, Aerts J, et al. Algorithms for water resources distribution in international river basins[J]. Phys Chem Earth (b), 2000, 25(3) 309 ~ 314.
- [2] Sophocleous M. From safe yield to sustainable development of water resources—the Kansas experience[J]. Journal of Hydrology, 2000, 235 27 ~ 43.
- [3] 夏军, 孙雪涛, 丰华丽, 等. 西部地区生态需水问题研究面临的挑战[J]. 中国水利, 2003(9) 57 ~ 60.
- [4] Janauer G A. Ecohydrology: fusing concepts and scales[J]. Ecol Eng, 2000, 16 9 ~ 16.
- [5] Hillbricht ~ Ilkowska A, Rybak J, Rzepecki M. Ecohydrological research of lake—watershed relations in a diversified landscape (Musurian Lakeland, Poland) [J]. Ecol Eng, 2000, 16 91 ~ 98.
- [6] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 东辽河流域河流系统生态需水研究[J]. 水土保持学报[J]. 2001, 15(1) 46 ~ 49.
- [7] Bovee K D, Lamb B L, Bartholow J M, et al. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology [EO/OL]. <http://www.fort.usgs.gov/products/publications/3910/3910.asp>, 2004-10-07.
- [8] Tharme R E. Review of international methodologies for the quantification of the instream flow requirements of rivers Water law review final report for policy development for the Department of Water Affairs and Forestry[R]. Cape Town: University of Cape Town, 1996.
- [9] Estes C C, Orsborn J F. Review and analysis of methods for quantifying instream flow requirements [J]. Water Resources Bulletin, 1986, 22(3) 389 ~ 398.
- [10] Ubertini L, Manciola P, Casadei S. Evaluation of the minimum instream flow of the Tiber River Basin [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1996, 41(2) 125 ~ 136.
- [11] Lamb B L. Quantifying instream flows: matching policy and technology [M]. Covelo CA: Island Press, 1989. 23 ~ 29.
- [12] Mosely M P. The effect of changing discharge on channel morphology and instream uses and in a braided river, Ohau River, New Zealand [J]. Water Resources Research, 1982, 18 800 ~ 812.
- [13] Milhous R T, Grenney W J. Quantification and reservation of instream flows [J]. Water Science and Technology, 1980, 13(3) 129 ~ 154.
- [14] Spence R, Hickley P. The use of PHABSIM in the management of water resources and fisheries in England and Wales [J]. Ecol Eng, 2000, 16 153 ~ 158.
- [15] King J, Tharme R E, de Villiers M S. Environmental flow assessments for rivers: a manual for the building block methodology [R]. Pretoria: Water Research Commission, 2000.
- [16] Hughes D A, Hannart P. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa [J]. Journal of Hydrology, 2003, 270(3) 167 ~ 181.
- [17] Boner M C. Seasonal treatment and variable effluent quality based on assimilative capacity [J]. Journal of Water Pollution Control Field, 1982, 54 1408 ~ 1416.
- [18] 中华人民共和国城乡建设环境保护部. 制订地方水污染物排放标准的技术原则与方法 [EO/OL]. <http://www.tzhky.com/standard/102.htm>, 2003-04-01.
- [19] 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.
- [20] Matola J R, Heyink Leestemaker C J. Towards a more integrated management of the Umbeluzi River [EO/OL]. <http://www.ccwv.ac.za/knprp/jh1.htm>, 2000-12-09.
- [21] 郑冬燕, 夏军, 黄友波. 生态需水量估算问题的初步探讨 [J]. 水电能源科学, 2002, 20(3) 3 ~ 6.
- [22] Tennant D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environment resources [A]. Orsborn J F, Allman C H. Proceedings of Symposium and Specialty Conference on Instream Flow Needs II [C]. Bethesda: American Fisheries Society, 1976. 359 ~ 373.
- [23] 左其亭, 夏军. 陆面水量—水质—生态耦合系统模型研究 [J]. 水利学报, 2002(2) 61 ~ 65.
- [24] 钱正英, 张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 45 ~ 55.
- [25] Pruitt W O, Doorenbos J. Crop water requirements: FAO irrigation and drainage paper [R]. Rome: FAO, 1977.
- [26] Zierl B. A water balance model to simulate drought in forested ecosystems and its application to the entire forested area in Switzerland [J]. Journal of Hydrology, 2001, 242(1-2) 115 ~ 136.
- [27] 左其亭, 周可法, 杨辽. 关于水资源规划中水资源量与生态用水量的探讨 [J]. 干旱区地理, 2002, 25(4) 296 ~ 300.
- [28] 李丽娟, 李海滨, 王娟. 海河流域河道外生态需水研究 [J]. 海河水利, 2002(4) 9 ~ 11.
- [29] 王让会, 宋郁东, 樊自立, 等. 塔里木流域“四源一干”生态需水量的估算 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(1) 19 ~ 22.
- [30] 王让会, 叶新. 中国西部干旱区开发中的生态环境建设方略 [J]. 干旱区地理, 2001, 24(2) 152 ~ 156.
- [31] 贾宝全, 慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算 [J]. 生态学报, 2000, 20(2) 243 ~ 250.

(收稿日期 2003-12-15 编辑 高建群)