

生态需水研究进展及估算方法评述

靳美娟

(宝鸡文理学院,陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室,陕西 宝鸡 721013)

摘要:生态需水研究是实现水资源优化配置、维持流域生态环境健康发展的前提和基础。在当前生态需水研究中,估算方法众多,选用的监测指标提供的整体信息容易发生重叠,不易得出生态需水变化规律。为此,在回顾国内外生态需水研究进展的基础上,对生态需水量估算方法的优缺点、适用条件等方面进行了系统评价,以便在实际应用中根据研究目的选用不同方法。同时,指出当前研究中存在诸如术语混乱、概念不清、定量研究突破少等若干问题,今后应从加强收集监测资料、建立生态学模型、建立一套完善的生态需水概念体系,以及加强多学科合作交流等方面提出未来研究方向。

关键词:生态需水;研究进展;估算方法;展望

中图分类号:X22

文献标志码:A

文章编号:1005-4944(2013)05-0053-05

Review of Evaluation Methods and Research Advance on Ecological Water Requirement

JIN Mei-juan

(Shaanxi Key Laboratory of Disasters Monitoring and Mechanism Simulation, Baoji 721013, China)

Abstract: The study of ecological water requirement is the premise and foundation of achieving water resources optimal allocation and maintaining ecological environment healthy development. In the current study on ecological water requirement, there are many estimation methods, of which the overall information from monitoring indicators is inclined to overlap, not easy to draw the change laws of ecological water requirement. Therefore, on the basis of reviewing the research advances in ecological water requirement at home and abroad, the paper systematically evaluated the advantages and disadvantages and the adaptability of the estimation methods, so as to choose different methods according to research purposes in practice. Meanwhile, it pointed out some problems in current research. At last, the future research directions were put forward such as strengthening the collection of monitoring data, building ecological model, establishing a set of perfect concept system about ecological water requirement, strengthening cooperation and exchange of multidisciplinary, etc.

Keywords: ecological water requirement; research advance; evaluation methods; prospection

水资源作为基础的自然资源,能够维持整个生态系统的功能完整和良性循环;同时,它也是重要的战略性资源,在社会经济发展中具有不可缺少和无以替代的作用。然而长期以来,人们在水资源开发利用中着重考虑了生产、生活用水的经济效益,而在维护河流和流域健康方面的需水并未引起足够重视,忽略了生态系统本身的需水,致使生态失衡,河流干涸或断流、水土流失等环境问题频发,进而制约了经济的发

展。在这种背景下,生态需水问题逐渐引起关注,并成为学术界研究和讨论的热点及难点问题之一^[1-2]。

生态需水研究是实现水资源合理开发和优化配置的基础性工作,也是维持和改善生态系统、实现水资源永续利用的根本保障。国内这方面的研究目前尚处在起步阶段,有些项目论证中甚至不考虑这部分的估算,同时由于估算方法的差异直接影响了生态需水量估算的准确性,也就影响到相关持续发展的若干战略性问题。为此,文章通过回顾国内外生态需水研究的理论进展,对常用的几类生态需水量估算方法的优缺点、适用范围等方面进行了系统评价,指出当前研究中存在问题和未来发展趋势,以期为生态系统的建设和水资源合理配置等方面提供有益的参考。

收稿日期:2013-07-09

基金项目:宝鸡文理学院重点学科项目(ZK11023);陕西省水利科技计划项目(陕财办农[2012]223号);陕西省自然地理学重点学科资助项目(ZK087)

作者简介:靳美娟(1978—),女,陕西临潼人,硕士,讲师,主要从事城市生态方面的研究。E-mail:jmj61@163.com

1 生态需水研究概况

1.1 国外生态需水研究概述

国外生态需水研究始于美国,主要集中在河流生态系统方面。早在 20 世纪 40 年代,美国渔业与野生动物保护组织为避免河流生态系统退化,开始对河道内最小生态流量进行研究^[3],主要研究鱼类生长繁殖和产量与河流流量的关系。20 世纪 50—60 年代,针对河道枯水流量和鱼类及无脊椎动物等所需水量,制定了一些关于补偿流量的规定,目的在于保护鱼类、航运需求和下游公众健康用水权益。1963 年英国水资源法(第 19 条)要求河流管理局设置最小需水量(MAFs),并对其进行定期监测。

20 世纪 60—70 年代,孟加拉、印度和埃及等国家对其流域(如布拉马普特河流域、印度河流域、埃及尼罗河工程等)水资源进行重新评价和规划,并在 1971 年利用“河道内流量法”计算了河流的基本流量^[4]。

20 世纪 70—80 年代末期,河流生态需水及其相关概念得到人们普遍认可,学者们开始从不同角度对其进行研究。1976 年 Tennant 等^[5]根据水文历史资料进行河流流量分析,在完成对美国西部地区河流流量与生物关系的研究后,提出了基于历史流量资料的 Montana 法,奠定了河流生态需水的理论基础,对以后的研究起到很大带动作用。随后,一些水力学家根据实测河道断面参数(如宽度、深度、流速和湿周等)估算河流所需流量,形成了基于水力学分析的方法,例如湿周法、流量-水面宽关系曲线法。但由于上述 2 类方法没有与相关的生物变量结合,致使河道生态需水研究缺乏生物学依据,影响了方法的可信度,于是有专家将水力分析与生境评价相结合,提出了基于生境适宜性评价和模拟的方法,例如 IFIM/PHABSIM 法、R2-Cross 法^[6]。

20 世纪 90 年代,随着生态环境问题的日益严重,水资源和生态相关性的研究陆续开展,生态环境需水量研究才逐渐成为全球关注的焦点^[7],这一时期明确提出了生态需水的概念^[8],并开展了广泛讨论,强调在确定河流流量的同时应考虑生态系统的完整性。近年来国际间为促进水文水资源研究,通力合作,其中包括对河流低流量的研究,如 FRIEND(Flow Regimes from International Experimental and Network Data)行动计划,这个行动计划概括了这一时期的主要研究成果^[9],其中最新的研究成果有北欧地区小流量和干旱研究、南非区域水资源和干旱评估方法研究、枯水期

流量时间系列与断流分析、地域性生态水文学理论和水资源统一管理的论述等。总之,国际间的类似合作,使得先进的研究技术和手段应用到更多的具有完整水文数据库的国家和地区,与此同时,生态需水研究对象也才由过去仅关心的物种及河道形态的研究,扩展到维持河道生态功能的最小流量和最适宜流量的研究,而且还考虑了河流生态系统的整体性,其研究方向也扩展到河流外生态系统^[10-11]。

总体来说,国外关于生态需水理论及技术的研究主要集中在河流生态需水,尤其在河道内生态需水方面的研究,目前已形成了一套相对成熟的理论和方法体系^[12]。

1.2 国内生态需水研究进展

国内生态需水研究尚处于起步阶段,归结起来大致可分为 3 个阶段:

(1)20 世纪 70 年代末为初步认识阶段。先是探讨河流最小流量问题,主要集中在河流最小流量确定方法的研究方面。以长江水资源保护科学研究所的《环境用水初步探讨》为代表。

(2)20 世纪 80 年代为探索阶段。针对水污染日益严重的问题,国家环境保护委员会在《关于防治水污染技术政策的规定》中指出:在水资源规划中要保证为改善水质所需的环境用水,主要集中在宏观战略方面的研究,对如何具体实施和管理仍处于探索阶段。

(3)20 世纪 90 年代后期—21 世纪初期为蓬勃发展阶段。在国家“九五”科技攻关项目“西北地区水资源保护与合理利用”和 1999 年中国工程院项目“中国可持续发展水资源战略研究”等的推动下,真正揭开了我国生态需水研究的序幕,有关生态需水研究迅速开展起来,研究对象也从河流生态系统逐渐拓展到植被、湖泊、湿地、城市等各种生态系统。如倪晋仁等^[13]针对黄河河流系统的主要功能目标,利用 1950 年以来的观测资料,分析了黄河下游河流各类最小生态环境需水量;赵文智等^[14]在评述干旱区生态水文过程研究进展的基础上,提出了生态需水量的概念及相关确定方法,并从恢复生态学和生态水文学的角度,确定干旱区适宜人工植被的种类组成和格局;崔保山等^[15]从生态水文学原理出发,对湖泊最小生态需水量的概念进行了探讨,并提出了计算最小生态需水量的 3 种方法(1.曲线相关法;2.功能法;3.最低生态水位法);李九一等^[16]提出了沼泽湿地生态储水量的概念与内涵,界定了其与生态需水量的区别与联系,探讨了两者的计算依据与方法,并以扎龙湿地为实例进行了计算;杨

志峰等^[17]从降水量概念和水资源量概念 2 个角度界定了城市生态环境需水量的概念与内涵,分析其类型和属性特征,建立了城市生态环境需水量的方法体系。

(4)21 世纪初期以来的实证研究阶段。主要从水循环角度研究具体河流的河道生态需水,如渭河、黄河、海滦河、塔里木河等,研究重点也转向河道生态需水在实践中如何配置的问题,另有学者从水量和水质相结合的角度重新认识生态需水^[18]。

综上分析,我国生态需水研究是在巨大的人口压力导致生态环境严重恶化的背景下提出的,多从河流地貌学、水文和水资源角度研究,主要集中在干旱、半干旱地区和半湿润地区,其内涵和外延均较国外大、涵盖面较广。

2 生态需水的分类及估算方法

生态需水估算方法归纳起来主要涵盖 2 个方面:一是河流生态需水即河道内生态需水;二是陆地生态需水即河道外生态需水。生态需水估算应根据各种生态类型的需水特点,考虑不同保证率下的生态需水状况。

2.1 河流生态需水

河流生态需水是指在特定时间和空间条件下,能够满足河流系统诸项功能(如水土保持、输水输沙、泄洪、防污、航运、景观及生态等)所需水量的总称。已有的常见各类方法的代表模型、优缺点及适用范围见表1。

以上各大类中都包含许多具体方法,而每种具体

方法又有其不同的适用条件和范围。在实际应用中,关键是根据已有资料和研究目的,从这些方法中选取一种或几种适合自身研究的简单易行且满足河流生态系统保护要求的方法。

2.2 陆地生态需水

陆地生态需水即河道外生态需水,主要是植被生态需水。对于干旱与半干旱地区而言,植被生态需水量是保证植物正常、健康生长,同时能够抑制土地沙化、碱化,乃至荒漠化发展所需的最小水资源量。其主要计算方法的优缺点及适用条件见表 2。

3 存在问题

国内学者虽对生态需水进行了大量研究,但至今为止在诸如生态需水概念、术语使用等方面还未达成共识,产生如下分歧:

(1)同一术语认识不同。如中国人大王西琴^[18]认为河流生态环境需水是指为维护地表水体特定的生态环境功能,天然水体必须储存和消耗的最小水量,其水量应从水质和水量 2 个方面考虑;西北大学宋进喜^[20]认为河流生态环境需水是由生物自身生存所需水量和生物体赖以生存的环境需水量两部分组成的,其实质是指为了维持生态系统生物群落和栖息环境的动态稳定,在天然生态系统保护和生态建设所需要的水资源总量。

(2)不同术语混用或相互替代。如有定义生态需水^[21-24],有定义生态用水^[25-27],有定义生态耗水^[23],有定义环境需(用)水^[28],有定义生态环境需水^[29-33],有定义生

表 1 河流生态需水量估算方法^[18]

估算方法	方法描述	代表模型	优点	缺点	适用条件
水文学方法	取历史流量资料中的年均天然径流量的百分数作为河流生态需水量的推荐值	Tennant 法、Texas 法、7Q10 法	历史数据易满足,无需现场测量	标准需要验证,没有考虑最大流量	适用于已进行过多年监测的河流,有充足的数据资料
水力学方法	据河道断面水力参数如宽度、深度、流速和湿周等确定河流所需流量	湿周法、流量-河宽关系曲线法、R2-Cross 法	现场测量简单,资料易获取,不需要详细的物种生境关系数据	忽略了河流的季节性变化,故而不能用于季节性河流流量的估算	适用于河床较稳定的浅滩式河流类型
栖息地法	根据给定物种所需栖息地与河流流量之间的关系曲线图,确定最优河流流量	IFIM/HABSIM 法、CASIMIR 法	以水力学法为基础,将水力学因素和给定物种的栖息地偏好因素相结合	需要的生物资料不易获取,各因素之间的关系复杂	适用于较少受人类影响的河流
综合法	根据专家意见综合研究流量、泥沙运输、河床形状与河岸带群落的关系,使推荐的河道流量同时满足生物保护、栖息地维持、泥沙沉积、污染控制和景观维护等功能	BBM 法、HEA 法、专家组评价法	生态整体性、与流域管理规划相结合	必须有实测天然日流量系列、专家小组意见以及公众参与等,不易被应用	目前只是在南非应用比较广泛,在其他地区应用时需进行校正
环境功能设定法	将河流划分若干小段,根据河流水质模型分段计算各小段河道需水量,再汇总求出整个河段的最小环境需水量	环境功能设定法	将水质和水量结合起来综合考虑	计算结果偏大,实际难以满足	适合污染严重河流需水量估算

表 2 河道外生态需水量主要计算方法^[19]

方法	优点	缺点	适用条件
直接法	理论依据充分,方法比较成熟	关键在于如何精确地获取指定单位面积需水定额,对参数要求高	适用于基础工作较好的地区与植被类型
间接法	根据潜水蒸发量的计算来间接计算生态需水量	所需数据量大,强调实验机理	适用于干旱区植被生存且主要依赖于地下水的区域
修正后的彭曼公式法	方法简单、成熟,操作性强	计算结果为最大植被生态需水量,且计算结果偏大	适用于干旱区植被生存且主要依赖于地下水的区域
基于遥感技术的植被生态需水量算法	利用遥感和 GIS 技术进行生态分区,确定各级生态分区的面积,然后根据实测资料计算不同植被群落、不同盖度、不同地下水位埋深的植物蒸腾和潜水蒸发,从而求出该区的生态需水量	工作量大、技术复杂,需较多数据支撑,数据获取较难,费用昂贵	计算较大区域范围的植被生态需水量

态基流^[34],也有将生态需水与环境需水进行了区分^[22,24,33]。而大多数学者并没有加以区分,而视上述概念为等同。

(3)定量研究方面突破甚少。据统计,全球约有 207 种计算生态需水的定量方法,可分为水文学方法、水力学方法、生物栖息地法、整体法和综合法及其他方法。从检索国内主要期刊文献来看,虽然研究对象从河流生态系统已逐渐拓展到植被、湖泊、湿地、城市等各种生态系统,但在计算各自生态需水量时,并没有因为研究对象的变化而选取相关的特色指标,直接套用公式居多,致使计算结果的准确度降低,很难有实质性的指导意义。

(4)计算方法缺少对比研究,实际应用困难。国内生态需水研究缺少大量的现场观测数据,各种算法之间对比研究很少,因此很难确定哪种方法的计算结果更加准确。此外,由于各个学者学术背景的差异,导致认识水平和思维方式的差异,进而选用不同的方法去计算生态需水量,结论众多,也无从判断研究成果的实际价值。

4 研究展望

生态需水研究是水资源优化配置中的基础性工作。然而,由于我国相关研究起步较晚,尽管成果较多,但众家纷纭,实践中不易取舍。因此有必要根据研究目的和需要从众多方法中选取一种或几种适合自身研究的简单易行且满足河流生态系统保护要求的方法。除此之外,今后还需要将更多的关注点集中在以下几个方面:

(1)目前国内关于河流生态需水研究的最大障碍就是缺乏长时间系列的河道实测生态资料(如水生生物生活习性数据),因此,今后要加强河道生态资料的监测和收集,建立以生态学信息为基础的物理实验模

型,为今后定量研究河道生态流量提供有力支撑。

(2)尽快建立具有中国特色、国际上有可比性又能够相互区别的生态需水的一套概念体系,在研究时根据具体情况来选择恰当的术语。

(3)继续加强生态需水基础理论研究,诸如明确生态需水目标、建立生态需水评价指标体系、研究不同类型生态需水形成机理及时空分布规律等,为准确计算生态需水提供可靠的理论依据。

(4)生态需水研究涉及生态学、水文学、环境学、气候学等多学科领域,所以要加强相关学科之间的合作与交流,共同丰富和发展生态需水的理论与实践。

(5)生态需水研究并不是生态脆弱地区的“专利”,其他地区也可进行适当的生态需水估算,以做到预防为主,防治结合。

(6)在水资源短缺条件下,生态需水经常为经济需水所挤占,因此在可持续的水资源系统中如何实现生态需水与经济需水的协调,即水资源的优化配置模式,也将成为今后研究的重点。

参考文献:

[1] 刘昌明.中国 21 世纪水供需分析——生态水利研究[J]. 中国水利, 1999(10):18-20.

[2] 夏 军,丰华丽.生态水文学的发展与面临的挑战[C]// 郭生练. 水问题研究与进展. 武汉:湖北科技出版社,2003:396-406.

[3] Armentrout G W,Wilson J F. Assessment of low flows instreams in northeastern Wyoming [J].USGS Water Resources Investigation Report, 1987,4(5):533.

[4] Daniel Cassie.Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 1995,22(2):235-246.

[5] Tennat D L. Instream flow regimens for fish,wildlife,recreation,and related environmental resources[J]. American Fisheries Society, 1976: 1(4):6-10.

[6] Nestler J M,Milhous R T,Layzer J B.Instream habitat modeling tech-

- nique [C]//Gore J A, Petts G E (eds). Alternatives in regulative river management. Boca Raton: CRC Press, 1989: 295–315.
- [7] Sherrard J J. Complex response of a sand bed stream to up stream impoundment [J]. *Regul Rivers Res Manag*, 1991(6): 53–70.
- [8] 王西琴, 刘昌明, 杨志峰. 生态及环境需水量研究进展与前瞻[J]. 水科学进展, 2002, 13(4): 507–514.
- [9] Dakova Sn, Uzunov Y, Mandadjiev D. Low flow the rivers ecosystem impacted by flow abstraction in a large postmining area[J]. *Landscape and Planning*, 2000, 51(2): 165–176.
- [10] Willian Whipple. A proposed approach to coordination of water resources development and environmental regulations[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 1999, 35(4): 73–89.
- [11] 胡广录, 赵文智, 谢国勋. 干旱区植被生态需水理论研究进展[J]. 地球科学进展, 2008, 23(2): 193–200.
- [12] 宋炳煜, 杨 劫. 关于生态用水研究的讨论[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 617–625.
- [13] 倪晋仁, 金 玲, 赵业安, 等. 黄河下游河流最小生态环境需水量初步研究[J]. 水利学报, 2002(10): 1–7.
- [14] Zhao W Z, Chang X L, He Z B, et al. Study on vegetation ecological water requirement in Ejina Oasis [J]. *Science in China (Series D—Earth Sciences)*, 2007, 50(1): 121–129.
- [15] 崔保山, 赵 翔, 杨志峰. 基于生态水文学原理的湖泊最小生态需水量计算[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1788–1795.
- [16] 李九一, 李丽娟, 姜德娟, 等. 沼泽湿地生态储水量及生态需水量计算方法探讨[J]. 地理学报, 2006, 61(3): 289–296.
- [17] 杨志峰, 尹 民, 崔保山. 城市生态环境需水量研究——理论与方法[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 389–396.
- [18] 王西琴. 河流生态需水理论、方法与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 110–122, 137–139, 143–145.
- [19] 崔 瑛, 张 强, 陈晓宏, 等. 生态需水理论与方法研究进展[J]. 湖泊科学, 2010, 22(4): 465–480.
- [20] 宋进喜. 渭河生态环境需水量研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 33.
- [21] 王 芳, 梁瑞驹, 杨小柳, 等. 中国西北地区生态需水研究(1)——干旱半干旱地区生态需水理论分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1): 1–8.
- [22] 王让会, 宋郁东, 樊自立, 等. 塔里木流域“四源—干”生态需水量的估算[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 19–22.
- [23] 潘启民, 任志远, 郝国占. 黑河流域生态需水量分析[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2001, 13(1): 14–16.
- [24] 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, 2001, 15(1): 46–49.
- [25] 汤奇成. 塔里木盆地水资源与绿洲建设[J]. 自然资源, 1989(6): 28–34.
- [26] 贾宝全, 许英勤. 干旱区生态用水的概念和分类——以新疆为例[J]. 干旱区地理, 1998, 21(2): 8–12.
- [27] 杨 劫, 宋炳煜, 朴顺姬, 等. 皇甫川丘陵沟壑区小流域生态用水实验研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 513–521.
- [28] 杨振怀, 崔宗培, 徐乾清, 等. 中国水利百科全书(第 2 卷)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1990: 853.
- [29] 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): 496–500.
- [30] 汤奇成. 绿洲的发展与水资源的合理利用[J]. 干旱区资源与环境, 1995, 9(3): 107–112.
- [31] 钱正英, 张光斗, 王淀佐, 等. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告[J]. 中国水利, 2000(8): 5–17.
- [32] 王根绪, 程国栋. 干旱内陆流域生态需水量及其估算——以黑河流域为例[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 129–134.
- [33] 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[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999: 228–229.
- [34] 周 洋, 周孝德, 张新华. 渭河宝鸡段生态基流保障研究[J]. 水力发电学报, 2012, 31(5): 56–62.