

河流生态与环境用水研究进展

丰华丽,王 超,李剑超

(淮海大学水文水资源及环境学院,江苏 南京 210098)

摘要:回顾了 20 世纪 80 年代以来,国内外在流域生态用水方面的研究进展.在国外,从通过某一生物来确定最小河流流量,到考虑生态系统可接受的流量变化,取得了一定的研究成果.在国内,对生态需水的研究提出了基本的框架,但由于对水生生态环境系统的生化特性、物种关系、食物链、河流和洪泛平原的相互关系等缺乏足够的认识,研究还处于初级阶段.

关键词:流域;生态用水;洪泛平原;最小流量

中图分类号:P331 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2002)03-0019-05

世界保护策略对河流保护的动机概括为三个方面:维持基本的生物过程和生命支持系统;保护基因的多样性,确保物种和生态系统的可持续性^[1].而生态需水的保证为河流保护动机的实现提供了可能.生态需水量(生态环境用水)是指为维护生态环境不再恶化并逐渐改善所需要消耗的最小水资源总量.生态需水研究是河流生态系统保护的一个方向,是水资源综合管理中体现河流生态系统服务功能的一个重要部分.

1 国外研究进展

1.1 河流的研究尺度

Ward^[2]将流水生态系统描述成 4 维的,即纵向、横向、垂向和时间分量.大的河流如莱茵河,是动态的、4 维的、开放的系统.它应该被认为是从源头,流经上游和下游,最后到达海湾和海口的连续体.在纵向上,河流是一个线性系统,从河源到河口均发生物理的、化学的和生物的变化.早期对河流纵向空间的研究,导致将河流分为离散河段,以后的研究又形成了河流的连续体概念^[3].河流与其所在流域的横向联系同样很重要.靠河流近的区域,即使是很窄的一条沿河区都有很多功能.河岸的植物提供了生态环境,并且起着调节水温、光线、渗漏、侵蚀和营养输送的作用.如果保护河流的最终程序是对整个流域进行正确的规划和控制,那么河边区域的管理则是重要的第一步^[4].与河流发生相互作用的垂直范围不仅包括地下水对河川径流水文要素和化学成分的影响,而且还包括生活在下层土壤中的有机体.河流系统的时间尺度在许多方面都是很重要的.河道形态可能需在很长时期内自然地改变,即使是更突然的和由于人类介入的改变,也需要几十年才显现出来^[5].

自从 20 世纪 80 年代中期以来,NRA 泰晤士区和它的前身(泰晤士河务分局河流处)到目前为止所提出的枯水流量改善的研究、泰晤士河战略性防洪建议等政策草案都涉及到洪泛区保护、流域规划和河流走廊等^[6].Welcomme 认为河流系统组成的动态特性,一方面是鱼类回游,另一方面是碳和营养物,进一步证实了河道与洪泛平原之间的关系.可以断定,河流-洪泛平原体系在功能上是相互联系的^[7].Welcomme 认为从事低等级河流的研究人员应通过继续探讨水-陆界面和输入系统的外来物质的来源和流向,重点研究横向关系,其保护战略应以保持完整的或恢复输入物所基于的植被为目标;中等河流的保护策略应针对纵向过程的维持或保护.在较大的河流系统,其重点应围绕系统中重新包含洪泛平原特性后的横向过程管理^[8].洪泛平原连接着活水和死水,地表水和地下水,陆地系统和水生系统.洪水泛滥的扰动和变迁,是保持生态连续性和完整性的推动力^[9].以上河流研究尺度的变化说明,对河流生态用水的研究,不能只局限在河道的尺度上,应考虑河岸植被、洪泛平原等与河流关系密切的陆地生态系统.

1.2 河流生态用水研究

河内鱼类及野生生物生态环境用水,必须建立在各河流实际调查研究的基础上.美国于1978年完成了第二次全国水资源评价(The Second National Water Assessment).在这次评价中,既考虑了河道外用水,也估计了鱼和野生生物、游览、水力发电、航运等河道内用水,其中,把生态环境用水作为主要的河道内控制用水.美国本土内渔业及野生生物生长所需理想的径流量为 $39.2 \text{ 亿 m}^3/\text{d}$.在估计每一个水资源分区内鱼类及野生生物用水量时,他们以分区河流流出流点的月流量状况作为判断,提出了下列评判标准:(a)河道内径流为多年平均值的60%,这是为大多数水生生物主要生长期提供优良至极好的栖息条件所推荐的基本径流量;(b)河道内径流为多年平均值的30%,这是保持大多数水生生物有好的栖息条件所推荐的基本流量;(c)河道内径流为多年平均值的10%,这是大多数水生生物短时间生存条件所推荐的最低瞬时径流量^[10].

White为产卵、饲养和鱼道定义了微生态环境指标,利用这些指标和水力模型一起预测流量变化对渔业的影响^[11].Bovee提出的最小流量增量法(IFIM)是预测最小保护流量的一个方法. IFIM是一套技术,它评价典型河段的水流型式,并将这些型式与所关心的目标物种的水力偏爱(即偏爱流速、深度、底质)相关联.他指出,急流浅滩居住的生物是最小流量分析的合适目标,原因在于当一个地方疏干时,这些生物将是首先失去合适栖息地的生物体^[12]. Bovee^[13]和 Gore^[14]建议适用于求得鱼类、底栖生物及其它河内用途(如游船等)适配曲线的方法.通常认为栖息地曲线上的拐点(此处栖息价值随流量减少而迅速下降)是维持目标生物种群完整性或寿命期的最小可接受流量点. Gore指出各站流量与流速多样性的相关性相当高,当流量大于或等于 $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,在一个河段的流速多样性达到最大,同时指明种群多样性与流速多样性之间存在着显著的相关关系.当流速多样性的值超过2.75时,种群丰富度及多样性迅速增加^[15]. Gore建议在河流规定最小流量,并指出生物群落的最小流量需求仅是管理决策的一部分.管理决策必须能适当地维持生态系统的完整性^[16].

20世纪90年代以前河流流量的研究主要集中在:分别考虑河道物理形态、所关心的鱼类、无脊椎动物等对流量的需求,来确定最小及最佳的流量.其中对鱼类和河流流量关系的研究较多,而鱼类、流量与水质标准三者相互关系的研究未见报道.同时还提到了考虑洪泛平原等因素来综合管理河流流量的思想,但未进行具体的研究.另外,在确定河流流量的过程中未充分考虑生态系统的完整性.

Petts^[17]认为在河流管理中,生态的需要与河流流量变化特征相联系:(a)纵向的连接;(b)洪泛平原的流量;(c)维持河道的流量,包括最小的和最适宜的流量.丰水年和伴随而来的高径流量对于维持河道整体的形态和洪泛平原系统特别重要.河道的形成、侵蚀、沉淀物的沉积作用和洪泛平原系统的群落结构受大范围流量的影响,在许多河流上,这种流量每20年发生一次.基流流量的自然频率和持续时间应加以考虑,无论何时,都要尽可能地保持生态可接受的流量变化.

生态可接受的流量变化的确定包括两个步骤:(a)对生态目标和综合目标的定义,它是建立在可利用的水文的、地形的、生态的和管理信息的,并包括历史纪录的整体评价基础之上的.生态目标的设计包含了生境和物种数量可接受损失的概念.可接受的损失是一个主观上的决定,它受社会、文化、经济和科学等因素的影响.在荷兰的自然政策方针中,一个生态系统最大的可接受的损失为物种的5%,但关于这个主观性的选择有许多争议^[18].(b)定义河流的径流量需要面对生态目标,不仅需要考虑当前的可接受的平均流量,而且要参照基流量,或者是极低的或极高的流量并考虑它们的频率和持续的时间.作为一个可操作的最小单元,每一个河流应分成4个部分,并相应于具体的生态目标:河源(上游),中游,下游和入海口.河流应被看成是通过能量和物质的流动转移控制的纵向连续体,对于河流管理,连续的纵向的连接是一个非常重要的原则.其他科学家也认识到了自然流量变化特征对于生态系统的重要性. Ward^[19]强调了这样一个事实:洪泛平原河流中生态的完整性是由与主要河道不同连接程度的水体多样性决定的(河网、活跃的曲折的河流、U字形弯曲的湖泊等).为了避免河流管理的不良影响,河流恢复的重点应放在河道与洪泛平原水体之间的动态连接上.

20世纪90年代后的研究,不仅研究维持河道的流量,包括最小的和最适宜的流量,而且还考虑了河流流量在纵向上的连接,并充分认识到了洪泛平原流量在研究中的重要性.从总体上讲,考虑了河流生态系统的完整性,考虑了生态系统可以接受的流量变化.但从时间尺度、空间尺度,河流流量和水质耦合来研究维持河流生物多样性的生态用水未见报道.

2 国内研究进展

2.1 对生态需水的认识

1988 年在方子云主编的《水资源保护工作手册》中,已经涉及到了流域生态用水方面的内容,但未明确使用生态用水这一术语^[20]。而在 1994 年出版的《环境水利学导论》一书中,则明确地写有“环境用水”一节,这表明人们对环境用水问题已有了初步认识。但是,在实际工作中,我国水资源管理模式均从水资源与人类社会相互作用关系的角度,对社会经济发展的预测、水资源供需平衡、水资源优化配置、水资源开发方案和投资需求等方面进行分析研究和决策。这种模式仅仅针对人类和水资源两大系统的相互作用来考虑,并没有考虑到这些活动对上述两大系统之外的自然生态系统的影响^[21]。事实上,人类社会经济活动及其生存都离不开自然生态系统的支持,包括森林、植被、水体、农作物、鱼类等,这些生命物质或资源也需要水资源质和量的保障。

由于缺少足够的重视,在经济建设中,城市和工业用水挤占农业用水,农业用水挤占生态用水,结果导致生态环境恶化,甚至对经济的可持续性发展构成了威胁。尽管如此,人们对生态用水的重要性仍旧缺乏重视。1998 年长江和嫩江的大洪水、20 世纪 90 年代以来黄河的频繁断流、北方地区沙尘暴的肆虐、江河湖泊严重污染等一系列事实,让人类开始认识到保证生态环境用水的重要性。生态用水、生态环境用水、生态需水一时间成为热门话题。目前,在水资源保护和合理开发中,生态用水已摆在了十分重要的位置。

在“中国可持续发展水资源战略研究综合报告”^[22]中,专家指出,生态环境用水的计算应以生态环境现状作为评价生态用水的起点,而不是以天然生态环境为尺度进行评价。生态环境用水计算的区域应当是水资源供需矛盾突出,生态环境相对脆弱及严重的干旱、半干旱地区和季节性干旱的半湿润区。这一说法强调了生态用水研究需要加强的区域。其实在非干旱区及流域也存在生态用水不能保证的问题,由于工业大量排污和农业面源污染,使得河流自净能力严重下降,生态用水中的水质得不到保证,导致这些地区也出现了生态环境恶化的现象。

2.2 河流生态需水研究

在河流系统,需要考虑的生态需水问题有:防止河道断流、湖库萎缩所需要的河道基流量;维持江河水沙平衡的最小流动水量;防止海水入侵所需的河口最小流量;改善江河水环境质量的最小稀释净化水量;维持生态系统稳定所需的河流流量;维持地下水水位动态平衡的最小补给水量。研究者对流域生态需水的研究范畴有较一致的认识,但也不尽相同。

沈国舫^[23]指出,在生态用水中,首先要保证干旱、半干旱地区保护和恢复自然植被及生态环境所需要的水。其次,在干旱、半干旱及干旱的亚湿润地区,如能全面开展水土保持工作,必将减少该地区进入河川的径流量。这一部分预计要减少的径流量也算作生态用水。第三,在干旱、半干旱及干旱的亚湿润地区,在水土保持范围之外的其它林草植被建设,包括水源涵养林、新封育的林草植被、防风固沙林、绿洲农田防护林、人工草场建设等也需要一定量的生态用水。第四,维持河流水沙平衡及生态基流所需用的水也是生态用水。其它生态用水项目,包括维持黄淮海平原的土壤水盐平衡用水及为黄淮海平原等超采的地下水。

刘昌明^[24]认为,自然生态与人类环境用水需遵循 4 大平衡原则。第一水热(能)平衡,第二水盐平衡,第三水沙平衡,第四区域水量平衡与供需平衡两个方面。在 4 大平衡原则的基础上,深入研究水资源承载力和科学地计算必要的生态需水量,特别是西北地区,是亟待进行的研究任务。

以上各专家对生态需水的研究从总体上、理论上进行了阐述,具有一定的前瞻性和指导意义。同时还对干旱地区和干旱湿润区总的生态需水量进行了大概地估算。

沈清林等认为^[25],在干旱内陆河流域下游地区生态用水量应满足维持某一区域生态系统稳定和生态环境保持良性动态平衡所需的耗水量。具体而言,应包括:(a)维持人工绿洲内部“乔灌草”带片网“相结合的经济效益与生态效益并重的、结构优化的、低耗水高产出的农田防护林体系所需水量;(b)维持人工绿洲边缘人工防护林体系结构合理、效益综合、健康稳定所需的水量;(c)维持人工绿洲边缘天然灌丛和其外围半荒漠草场的稳定及其再生增殖所需水量;(d)大片退化土地,特别是灌区内部重点地带,弃耕地上进行种草、种树予以保护并兼顾利用所需的水量;(e)维持对生态环境甚至气候等有影响的湖泊水量、水质所需水量;(f)维持大河两岸荒漠林所需水量;(g)保证河流、湖泊地下含水层水质不受污染所需水量;(h)尚未认识领域所预留

的需水量. 他们以民勤绿洲为例, 以建立节水型生态系统为原则, 对生态用水量进行了计算. 但计算公式中, 仅包括边缘防护林体系用水量、弃耕地营造防护林用水量和农田防护体系(含经济林、园、场)用水量三项.

樊自立^[26]认为维护天然植被用水的特点是: 需水弹性大, 一般不需要适时适量, 用水高峰期间不与农业争水, 对水质要求不严, 矿化度较高的农田排水也可作生态用水. 在以农业为主的人工绿洲及其外围, 生态用水和农业用水的比例 1:3 为宜. 在以保护自然植被为主的地区, 如新疆塔里木河流域生态用水比例以 3:1 为宜. 贾宝全认为^[27], 在干旱区山地、荒漠、绿洲这三大系统中, 绿洲应是干旱区的主体景观. 基于此点, 贾宝全将干旱区生态用水定义为: 在干旱区内, 对绿洲景观的生存和发展及环境质量的维持与改善起支撑作用的系统所消耗的水分称之为生态用水. 在上述观点的基础上, 贾宝全又依据绿洲生命系统演进方向的不同, 把绿洲分为人工绿洲系统和天然绿洲系统, 相应有人工绿洲生态用水和天然系统生态用水. 按生态用水的来源可把以上的生态用水类型归为 3 类: (a) 绿洲生态用水与城市园林绿地生态用水, 主要是利用地表水, 且以灌溉的方式来保证; (b) 荒漠河岸林、低地草甸、河谷林等天然植被类型, 其生态用水主要来源于地下水的供应; (c) 河、湖的生态用水, 其来源既有地下水的补给, 又有地表水的供给. 贾宝全在干旱区生态用水概念分类的基础上, 以新疆为例^[28], 分别用直接计算法和间接计算模型, 确立了各类生态用水的用水定额.

李丽娟认为^[29], 从狭义来讲, 生态需水量是指为维持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. 在实际计算中, 生态环境需水量分为 3 部分: (a) 河流基本生态环境需水量, 是指维持河流系统最基本的生态环境功能所需要的最少水量; (b) 河流输沙排盐需水量, 指为维持河流形态和盐分的动态平衡, 在一定输沙、排盐要求下所需要的水量; (c) 湖泊洼地生态环境需水量, 指为维持湖泊洼地的水体功能而消耗于蒸发的水量.

从国内对生态用水的研究来看, 定性的描述多, 理论推求少, 重复研究多, 创新成果少. 另外, 在确定生态环境需水时, 时间尺度和空间尺度不明确, 水量和水质耦合研究缺乏, 各生态需水量重复计算, 可操作性差, 研究结果很难应用到实际当中去.

3 结 论

生态需水量是一个变量, 它随时间和地点不同而不同, 同时也与生态环境保护的目标密切相关. 目前生态需水量均以年作为计算单位, 这对于通过水利工程调水来满足某一时期生态需水的要求是否具有可操作性值得商榷. 今后, 在对植物和动物的水分需求机理深入了解的基础上, 应研究生态系统受水分胁迫最大的时段和在这一时段生态系统对水分的需求特点, 来合理地计算维持生态系统的需水量, 以增加生态需水计算的实用价值. 另外, 还应该明确研究的时间尺度和空间尺度, 加强水量和水质的耦合研究.

流域生态需水研究包括河流水生生物对水的需求, 防止河道断流和河道淤积的径流量, 改善河流水质的自净用水及维持洪泛平原生态系统的水量等, 这些水量是交叉的、重叠的, 今后应分别计算和统计各个保护目标下的生态用水交叉部分的相互关系, 及不同时间尺度与保护目标之间的关系, 从而为确定更合适的水利调度方案提供依据.

参考文献:

- [1] International union for conservation of nature and resources[M]. Gland: World Conservation Strategy, 1980. 25.
- [2] Ward J V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems[J]. Journal of the North American Benthological Society, 1989(8): 2~8.
- [3] Vannote R L, Minshall G W, Cummins K W. The river continuum concept[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1980(37): 130~137.
- [4] Petersen R C, Madsen B L. Stream management: emerging global similarities[J]. Ambio, 1987(6): 166~179.
- [5] Petts G E. Long-term consequences of upstream impoundment[J]. Environmental Conservation, 1980(7): 325~332.
- [6] P J Boon, Calow P, Petts G E. 河流保护与管理[M]. 宁远, 等译. 北京: 中国科学技术出版, 1997. 260~266.
- [7] Welcomme R L. River fisheries[M]. FAO Fisheries Technical Paper, 1985. 262.
- [8] P J Boon, Calow P, Petts G E. 河流保护与管理[M]. 宁远, 等译. 北京: 中国科学技术出版社, 1997. 298~304.
- [9] 黄永基, 马滇珍. 区域水资源供需分析方法[M]. 南京: 河海大学出版社, 1990. 140~143.
- [10] Nienhuis P H. New concepts for sustainable management of river basin[M]. Netherlands: Backuys Publishers, 1998. 7~33.

[11] White R G. A methodology for recommending stream resource maintenance flows for large rivers[A]. In : Orsborn J F , Allmann C H , eds. Proceedings of a Symposium and Speciality Conference on Instream Flow Needs[C]. Bethesda ,Maryland : American Fisheries Society , 1976. 376 ~ 399.

[12] Bovee K D. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology[A]. Instream Flow Information[C]. Washington : US Fish and Wildlife Service , 1982. 67 ~ 73.

[13] Bovee K D. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology[A]. Instream Flow Information[C]. Washington : US Fish and Wildlife Service , 1986. 102 ~ 108.

[14] Gore J A. Models for predicting benthic macroinvertebrate habitat suitability under regulated flow[A]. In : Gore J A , Petts G E , eds. In Alternatives in Regulated River Managemen[C]. Florida : CRC Press , 1989. 253 ~ 265.

[15] Boon P J , Calow P , Petts G E. 河流保护与管理 [M]. 宁远 等译. 北京 : 中国科学技术出版社 , 1997. 106 ~ 114.

[16] Gore J A. Setting priorities for minimum flow assessments in Southern Africa[J]. South African Journal of Science , 1989(a) , 85 : 614 ~ 615.

[17] Petts G E. Water allocation to protect river ecosystems[J]. Regulated Rivers : Res Managem , 1996(12) 353 ~ 365.

[18] Bink R J , Bal D. Toestand van de natuur [M]. Wageningen : IKC-NBLF , 1994. 1 ~ 246.

[19] Ward J V , Stanford J A. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation[J]. Regul Rivers : Res Managem , 1995(11) : 105 ~ 119.

[20] 方子云. 水资源保护工作手册 [M]. 南京 : 河海大学出版社 , 1988. 627 ~ 629.

[21] 唐克旺, 王研. 水资源综合管理中的生态学方法 [A]. 见 : 许新宜主编. 水资源可持续管理问题研究与实践 [C]. 武汉 : 武汉测绘科技大学出版社 , 1998. 113 ~ 116.

[22] 钱正英, 张光斗, 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.

[23] 沈国舫. 生态环境建设与水资源的保护和利用 [J]. 中国水利 , 2000(8) 26 ~ 30.

[24] 刘昌明. 我国西部大开发中有关水资源的若干问题 [J]. 中国水利 , 2000(8) 23 ~ 25.

[25] 沈清林, 李宗礼, 王以佑. 民勤绿洲生态用水量初步研究 [A]. 见 : 许新宜主编. 水资源可持续管理问题研究与实践 [C]. 武汉 : 武汉测绘科技大学出版社 , 1998. 126 ~ 129.

[26] 攀自立. 塔里木河流域湖泊环境及可持续发展 [M]. 北京 : 科学出版社 , 1998. 52 ~ 55.

[27] 贾宝全, 慈龙骏. 干旱区生态用水的概念和分类 [J]. 干旱区地理 , 1998 , 21(2) 8 ~ 12.

[28] 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) 234 ~ 150.

[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) 495 ~ 500.

Advances in Research of Ecological and Environmental Water Consumption of River Basins

FENG Hua-li , WANG Chao , LI Jian-chao

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : Advances in research of ecological water consumption of river basins since 1980 are reviewed. In foreign countries , achievements have been gained from the determination of the minimal flow rate of rivers with a special species to consideration of flow regimes accepted by ecosystems. At home , a framework for research of ecological water consumption is developed , while the research is still in a primary stage due to the lack of knowledge on biochemical characteristics of aquatic ecosystems , food chains , and relationships between species and between rivers and floodplains.

Key words : river basin ; ecological water consumption ; floodplain ; minimal flow rate