

生态环境需水研究综述

宋兰兰, 陆桂华

(河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要:对目前有关生态环境需水的定义进行辨析,根据生态环境需水的分类,总结生态环境需水的计算方法及存在的主要问题,回顾国内外生态环境需水的发展和研究现状,指出今后生态环境需水研究需要从基础理论等方面进行完善。

关键词:生态环境用水;生态环境需水;历史流量法;水力学法;栖息地法

中图分类号:X171.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7647(2004)03-0057-05

长期以来,人类在水资源利用时考虑自身的需求,而不考虑其它生物对水的需求.水是有限的可再生资源,随着水需求的增长,水资源短缺日益严重.我国的经济的发展主要以传统经济理论为基础,而传统经济理论是将整个经济社会看作一个系统,没有特别考虑自然资源和环境的影响,这必然造成资源和环境的浪费和恶化.资源短缺和环境恶化的压力迫使人类重新面对自然界,也就是说,人们在水资源利用时,除了考虑经济和生活需水外,还必须考虑生态环境需水量.

1 生态环境需水定义及分类

迄今国内对生态环境需水仍没有形成一个公认的定义,主要在以下三方面存在争论:生态需水与生态用水之间的联系;生态需水是否包括环境需水和生态需水量的阈值问题.

1.1 生态需水与生态用水问题

生态需水是生态系统发挥不同生态功能所需的水量,它随着生态系统的发展而动态地变化^[1].生态用水是在一定环境条件下,生态系统被动接受的水量.因此需水和用水具有不同的内涵,从理论上讲,生态需水量大于生态用水量.对于生态环境脆弱的地区,采用生态用水这个概念比较合适,但是从可持续发展的观点出发,建议采用生态需水这个概念.

1.2 生态需水与环境需水问题

生态需水实质上就是维持生态系统生物群落和栖息环境动态稳定,为解决生态问题(如保护水生生物、生态防护林等)所需要的水量.环境需水是保证和改善人类居住环境质量所需要的水量,侧重人和

资源的关系.

在实际研究中,有人认为生态需水和环境需水是两个概念,环境需水不应包括在生态需水概念之中.有的认为生态需水和环境需水属于同一命题,生态需水包括环境需水的概念.有的学者综合了上述两种观点,提出了“生态环境需水”的概念,其下再划分生态需水和环境需水.笔者认为生物和环境是不可分割的整体,生物和环境之间相互联系又相互影响,因此从生态系统的结构分析,建议采用“生态环境需水”这个概念.

1.3 生态环境需水阈值问题

生态环境需水存在着临界值.一旦临界值被超越,系统的物质平衡关系就会遭到破坏,系统的健康就会受到损害并趋于恶化甚至衰亡.关于临界值的确定,目前还没有统一的计算方法,可根据水的年际变化^[2]或采用灰数四则运算方法^[3]来研究和判定生态环境需水阈值.

综上所述,生态环境需水可以概括为:不同时空条件下,区域内维持特定的生态环境功能所必须的最小水资源需求量.生态环境需水是一个时空变量,具有生态、环境和自然的属性.它既受人类活动的影响,同时又体现了人们对生态系统的认识和管理水平.

2 生态环境需水分类

由于出发点和对生态需水研究尺度不同,生态环境需水的分类也不同.笔者认为生态环境需水由河道内生态环境需水、河道外生态环境需水量和城镇生态环境需水组成.由于城市作为一种特殊的生

态系统,不同于其它生物群落,以人的行为为主导,是人与自然矛盾最集中的地方,因此笔者将城市生态环境需水单独作为一类。

3 国内生态环境需水研究现状

生态用水概念是我国学者汤奇成^[4]首次明确提出的,他认为必须在水资源总量中划分出一部分作为生态用水.1993年由水利部正式将生态环境用水作为环境脆弱地区水资源规划中必须予以保证的用水类型.20世纪90年代后,随着国际地圈生物圈计划(IGBP)和国家“九五”科技攻关项目有关课题开展,对生态环境用水也做出初步的测算,取得一些进展.但是,目前有关生态需水的研究仍处在初级发展阶段.从研究尺度上来看,国内的一些学者已从早期关注河道内生态环境需水扩展到与之关系密切的河岸植被生态系统、洪泛平原、湿地、湖泊、地下水等陆地淡水生态系统。

目前的研究成果主要集中在河道外生态环境需水和河道内生态环境需水的研究.对于将水资源与生态环境作为整体研究其生态环境需水,虽然有所涉及,但大多为定性描述。

3.1 河道外生态环境需水

河道外生态环境需水主要指保护和恢复河流下游天然植被及生态环境、水土保持建设所需水量.河道外生态环境需水研究主要针对生态环境脆弱区天然植被和林草植被建设进行,根据相关文献分析,大多数计算方法是根据水量平衡原理设计计算模型。

地带性理论是植被生态环境需水研究的理论基础.地带性理论主要依据太阳入射角度、距海远近、海拔高度等,这些因素均制约着植被、土壤以及栖息地动物的区域分布.地带性植被完全消耗降水量,非地带性植被以消耗径流量为主,降水补充^[5].从水资源可利用量角度分析,生态环境需水主要研究非地带性植被的耗水量,计算方法分为直接计算法和间接计算法两种^[6].直接计算法是以某一地区某一类型植被的面积乘以其生态需水定额,该方法简单,是常用的方法.间接计算法以某一植被类型在某一生态水位的面积乘以该地下水位的潜水蒸发与植被系数,计算其需水量.生态水位就是干旱区非地带性天然植被生长需要的地下水埋藏深度.间接计算法中植物生态水位的确定比较困难,目前已采用遥感数据分析流域地下水与植被生长、植物种群演替、植被覆盖度的关系,确定其生态水位,但这些研究还不成熟,仅仅为半定量描述方法。

对于某一生态系统而言,土壤水是其需水的重要组成部分,每年需要的土壤水分必须得以保证,并

且要求有一定的范围值以支持生态系统的发展,因而生态环境水应该特殊考虑土壤水的存在.土壤最小含水定额是根据一定比例的田间持水量来计算的,其中,土壤田间持水量可根据 Saxton 建立的土壤水分与土壤颗粒经验关系式计算^[7]

3.2 河道内生态环境需水

国内生态环境需水的研究主要集中在河道内的生态需水的研究上.河道内生态环境需水主要从以下几方面考虑:

a. 生态基流就是为了维护水生生物栖息、繁殖的生存环境,必须提供水生生物需要的基本水量.李丽娟等^[8]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.崔保山等^[2]认为湿地生态环境需水是关键保护物种(如鱼类或鸟类)正常年份的栖息、繁殖范围内的正常水量,可通过水面面积百分比和水深要素计算栖息地需水量。

b. 河流输沙用水是从中国河流特殊的生态系统考虑而提出的概念.河流输沙需水量主要针对黄河,且大多从水力学角度进行研究.关于输沙需水量计算有以下几种观点:①汛期的输沙用水量就是所求需水量;②根据实测资料建立水量和沙量的相关关系;③平滩流量为输沙需水量。

c. 水质污染稀释自净需水量,也即为改善水质需要的环境水量.目前防治水污染的最小水量主要采用3种方法计算:①10年最枯月平均流量法:采用近10年最枯月平均流量或90%保证率最枯月平均流量.②段首控制法^[9]:根据水量平衡原理,河道最小环境需水量从理论上来说主要由河流的基础流量组成.水量是汇水面积或河长的单调增函数或阶跃递增函数.即可在河流上找到一个断面 K ,且 K 断面以下的河道水量一般能满足 $Q \geq Q_0(p)$,因此:

$$Q_{wi} \geq \lambda Q_{wi}, Q_{wi} \geq Q_{ni}(p) \quad (p \geq p_0)$$

式中: λ 为河流稀释系数; Q_{wi} 为第 i 段合理的污水排放总量,合理的污水排放量是指达标排放的废污水量; $Q_{ni}(p)$ 为在不同水文年设定保证率(指月保证率,如 $p_0 = 90\%, 80\%, \dots$) 时第 i 段的河道流量.③采用稳态水质模型,计算设计流量下的环境容量。

河流入海水量的计算方法基本上是宏观估算,没有定量计算.河口区生态环境需水量确定受众多因素影响,美国海湾—三角洲出流环境用水量是采用运筹学方法定量的.目前河口区生态环境需水量计算还未见报道.防止河道断流、湖泊萎缩所需维持的最小径流量就是消耗于蒸发的净水量.目前对保持景观河流流量和水上娱乐功能所需的水面面积及流量还没有统一的计算方法和标准.我国部分城市进行规划时,常采用人均水面面积指标衡量和确定

其需水量。

3.3 城市生态环境需水

目前,将城市作为整体来进行生态环境需水量的研究很少.田英等^[10]从整体来考虑城市生态环境需水量,并提出城市生态环境质量指标分级的标准,但没有考虑城市生态系统的特殊性。

4 国外生态环境需水研究现状

国外生态环境需水研究可分为陆地生态环境需水和河流生态环境需水这两方面。

早期的陆地生态环境需水研究主要是为了满足农作物需水.在农作物需水的研究中,可采用 IRSIS 计算机模拟程序计算农作物的实际蒸发量,在 IRSIS 程序中,根据作物的生长和降雨量自动调整作物系数和潜在蒸发量^[11].土壤含水量对植物蒸发量的影响不可忽略,土壤水分的变化与气候、土壤和植被三者间的关系密切,降雨的随机性和渗透非线性,蒸散发和下渗等作用使得土壤含水量变化十分复杂.因此必须根据物理概念对土壤水分过程进行简化. Bucket 模型和 Richard 模型就是植被生态系统的土壤水分动力简化模型^[12].水资源管理决策系统模型建立在水文模型基础上,并且考虑了人类活动多引起的土地利用变化、水污染等因素.这类模型大多基于遥感和 GIS 技术,如分布式生态水文流域模型 TOPOG-IRM、综合性流域模型 SWATMOD 和 SWAT 模型^[13,14]。

目前,国外对陆地生态环境需水量研究大多集中在建立水文模型和其参数估计等细节上,对于生态系统的时空变异性和尺度问题的研究进展缓慢,对于水文、生态、气象之间的相关性还处于探索阶段。

国外河流生态环境需水的理论研究始于 20 世纪 40 年代,美国渔业和野生动物保护组织为避免河流生态系统退化,规定需保持河流最小生态流量,这也是最早生态环境需水流量的概念,并于 70 年代初通过立法列入地方法案.英国、澳大利亚等国自 80 年代起接受河流生态流量的概念,并广泛开展研究,亚洲、南美洲等国家目前逐步接受这一概念.从研究尺度上看,河流生态环境需水研究方面目前从纵向、横向、垂向和时间域四维进行研究,即从河流源头、上游、下游到入海口,垂直河岸的横向及垂向水量和物质交换、与地下水联系等,随时间延伸产生河道形态影响等研究.河流生态系统涉及多学科,这就要求河流生态系统的水质、水文、地形和生态变量的尺度域必须相同。

国外关于河流生态环境需水的计算方法较多,根据其用途可分为标准设定法、增量法和监测/诊断

法^[15];根据其机理分为历史流量法、水力学评估方法和栖息地评估方法^[16]。

标准设定法是通过设计一定的流量比例来保护鱼类资源,是建立在水文统计学基础上的方法.标准设定法主要从政治和经济方面考虑最小流量标准,所定标准适合于水资源利用而不是水资源保护.许多今天还在用的标准已不能提供健康的水生生态系统.比如维持水生生物最小流量标准 7Q10 法缺少科学依据,且常常导致水生生物严重退化.增量法主要根据指示生物的生物信息,确定流量增加对水生生物栖息地的影响.增量法一般用于河流规划、保护和管理等决策支持系统,确定因素较标准设定法多,需要考虑水量、流速、水质、底质、水温等多个影响因子。

历史流量法、水力学法与河流流域面积及水文特性有关.栖息地评估方法模拟河流天然状态,建立水生生物对水深和流速的需求.这 3 类方法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就是保护整个河流生态系统所需水量.尽管所有的评估方法都是维持河流生态环境,但是它们重点在水流的不同方面,即流量、湿周或实际栖息地。

4.1 历史流量法

历史流量法是根据观测资料估计河流的流量范围. Tennant (Montana) 方法是历史流量法中的代表方法^[17],该方法基于以下假设:一定比例的平均流量将维持合适水深和流速,维持健康的河流环境所必需的流量.用 Tennant 方法估计不同流量下的环境质量是以实际栖息地的质量为基础的. 10% 的平均流量为最小的推荐流量,维持短期的生存流量; 30% 为生态基流,维持较好的生存环境和一般的娱乐用水; 60% 的平均流量提供了绝大多数生物幼儿时期极好的生存环境和大多数的娱乐用水. Fraser 提出将 Tennant 方法通过月平均流量的百分比推广到季节的平均流量. Tennant 方法是非现场测定类型的标准设定方法,具有宏观的定性指导意义.其它历史流量法可将某个保证率下的流量作为维护该生态系统的生态环境流量.而有些国家干脆做出硬性规定,例如,法国规定最小河流生态用水流量不应小于多年平均流量的 1/10。

历史流量法推荐的最小流量在一定的历史流量范围之内,其它因子如食物、栖息地、水质、温度均假设满足水生生物的生存要求,且没有考虑地形对生态环境的影响。

4.2 水力学方法

水力学方法是建立河道的水力几何参数和流量关系的方法,基于调查断面数据,采用曼宁或谢才公式或水面线计算建立不同流量下的水力几何参数与

流量的关系。

最常用的水力学方法是湿周法。湿周法考虑了地形对生态环境需水的影响,从水力学知识可知,湿周随着流量的增大而增加,当湿周超过某临界值后,河流流量的增加也只能导致湿周的微小变化,这个临界点称之为影响点。当流量低于影响点时,水生生物的栖息地环境急剧变差,因此只要保护好水生生物栖息地的临界湿周区域,也就基本上满足非临界区域水生生物栖息保护的最低需求。河道断面形状对于影响点的确定有很大的影响,单断面影响点明显。Gippel 等^[18]认为利用湿周-流量关系确定影响点存在一定的主观性,且曲线的坡度变化明显依赖于坐标轴的比例,他提出通过数学方法克服影响点确定的主观性,并将影响点定义为斜率等于某给定值或者曲率等于最大值的点。

Toe-Width 方法是根据收集的数据得出河底底宽,通常是产卵和育儿流量的平方关系,以此确定影响栖息地质量的关键点。

4.3 栖息地法

栖息地法是将生物群偏爱的栖息地特征与河流水力特性关联起来,估计在不同流量条件下生物栖息地的面积。栖息地法是水力学方法的扩展,是基于生物学原则的定量方法,反映了生态需求在某种水力条件下的适应程度。这种方法不局限于水生的生物,还可应用于景观需水量的计算(如涉水、独木舟和其他娱乐的追求)。当考虑多个物种需水量的时候,用栖息地法计算的需水量会产生矛盾,某一物种的需水量降低而另一物种需水量增加。栖息地法最初用于评估产卵鲑鱼适宜流量。目前,栖息地法应用于大多数河流生物学和娱乐中。

IFIM 法是栖息地法中应用最广泛的方法,是美国常用的方法。IFIM 法是定量预测流量变化与鱼类有效栖息地变化关系的最佳方法。IFIM 法的栖息地评价依赖于断面资料和水力栖息地模拟技术 PHAB-SIM,需要利用详细的水力和河道形态的实测值和指示生物栖息地相关知识进行流量增加变化对栖息地影响的评价。主要评价指标包括河流中水流流速、最小水深、河床底质、水温、溶解氧、总碱度、浊度、透光度等。该方法在某些流量下(如最枯流量),还有其他变量如鱼类的迁移路径,种群之间的竞争和捕食,食物的供给都未考虑。除了 PHABSIM 模型,IFIM 模型中还包括水质、底质、河道的稳定性、温度、水文和其他影响鱼类产量的模型。

BBM 法是目前最新的方法,是由 King 和 Louw (1998)提出的。BBM 法根据专家(鱼类专家、无脊椎动物专家、滨岸植物学家和地貌学专家)的相关知

识,在理解栖息地需求和河流水力的特征基础上,确定区域内的流量需求。BBM 法计算生态需水量可分为:正常年份逐月低流量或基本流量、干旱年份逐月低流量或基本流量、正常年份逐月冲洗流量(流量和历时)、干旱年份逐月冲洗流量 4 种流量。BBM 法生态需水量公式可表示为:生态环境需水量 = 水文动态流量 + 生态功能流量 + 流量和栖息地关系流量 + 噪音流量。噪音流量指还未被认识的方面。由于 BBM 法所需评价时间长,需要新的方法迅速进行生态需水量的评价,因此发展了 DRM (desktop reserve model),它的设计思路来自 BBM 法,模型从水文的角度考虑生态需水量的估算,即生态环境需水量 = 水文动态流量 + 噪音流量,这里噪音流量比 BBM 法噪音流量包含更多的不确定性^[19]。

5 生态环境需水研究成果的不足之处

目前我国生态环境需水概念较国外广,但由于研究角度的不同导致生态环境需水的内涵及计算方法不完全一致,如从自然生态环境平衡角度出发,生态需水说法比较合适,而从水资源供需平衡角度出发,则应采用生态用水说法。因此必须明确生态环境需水的定义。

生态环境需水涉及生态学、水文学、环境学、地理学等多门学科,各个学科具有自己的尺度,只有当数据建立在适合各学科尺度时,研究结论才最为可靠。目前,尺度转换问题研究非常重要但又不被足够重视。

生态环境需水量是一个变量,它随时间和地点不同而不同,同时也与生态环境保护目标密切相关。影响生态环境需水量的因素很多,有许多机理尚不清楚,目前生态环境需水计算不能反映其对生态系统稳定性的影响,不能体现它的满足程度及其波动性,因此分析生态环境需水空间和时间上的变化规律,建立生态环境需水定额函数是十分必要的。目前,生态环境需水计算基本上是以现状为主,而生态环境现状的合理性分析与诊断比较欠缺,亦无具体的生态保护目标,因此无法准确判断其成果的实际价值。

生态环境需水计算很少考虑枯水的的天数和流量的变化性,1d 和 6 个月的低流量对生态系统的影响是不同的。水坝的建立或从天然的河流大规模地调水将明显改变流量和河流形态,生态环境需水对这方面的考虑很少。

6 结 语

生态和环境的保护是国家可持续发展的根本性

问题,生态环境需水是维系生态系统平衡最基本的需水量,是生态系统安全的基本阈值.但生态环境需水理论体系目前还不完善,需要从基础理论和计算方法等不同层次进一步完善,加强生态物理过程实验工作,提高生态需水的量化研究,加强生态环境和可持续发展的关系研究,确定可持续发展的生态环境标准,最终建立一套比较完善的生态需水模型.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 崔保山,杨志峰.湿地生态环境需水量研究[J].环境科学学报,2002,22(2):219~224.
- [3] 左其亭.干旱半干旱地区植被生态用水计算[J].水土保持学报,2002,16(3):114~117.
- [4] 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.
- [5] 王芳.干旱半干旱区生态需水研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2000.
- [6] 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.
- [7] 张远,杨志峰.林地生态需水量计算方法与应用[J].应用生态学报,2002,13(12):1566~1570.
- [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.
- [10] 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.

- [11] Beyazg L M, Kayam Y. Estimation method for crop water requirement in the gediy basin of Western Turkez[J]. Journal of Hydrology, 2000, 229: 19~26.
- [12] Guswa A J, Celia M A, Rodrigues-Iturbe I. Models of soil moisture dynamics in ecohydrology: a comparative study[J]. Water Resource Research, 2002, 38(9): 5-1~5-14.
- [13] Sphocleous M A, Koelliker J K. Integrated numerical modeling for basin-wide water management: the case of the rattlesnake creek basin in South-Central Kansas[J]. Journal of Hydrology, 1999, 214: 179~196.
- [14] Dawes W R, Zhang L. Evaluation of distributed parameter ecohydrological model (Topog-IRM) on a small cropping rotation catchment[J]. Journal of Hydrology, 1997, 191: 64~86.
- [15] Kauffman J. Instream flows for reverine resource stewardship [OL]. <http://www.instream.flowcouncil.org/justreleased.htm>, 2003-07-18.
- [16] Jowett G. Instream flow methods: a comparison of approaches [J]. Regulated Rivers: Research & Mangement, 1997, 13(2): 115~127.
- [17] Orth D J, Maughan O E. Evaluation of the "montana method" for recommending instream flows in oklahoma stream [OL]. http://digital.library.okstate.edu/OAS/oas_pdf/v61/P62_66.pdf.
- [18] Gippel C J, Stewardson M J. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows [J]. Regulated Rivers: Research & Mangement, 1998, 14(1): 53~67.
- [19] Hughes D A, Hannart P. A destop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirement of rivers in South Africa[J]. Journal of Hydrology, 2003, 270: 167~181.

(收稿日期:2003-10-08 编辑:张志琴)

(上接第46页)

从图1、图2和表2可以看出:①瞬时溃坝的流量过程线由峰顶流量变化到全部泄空,变化较大.②逐渐溃坝的峰前流量过程线由零增大到最大流量,变化较缓,历时较短, $t_{前} = 3960\text{ s}$; 峰后流量过程线同瞬时溃坝模型,但变化更大,历时更短,泄空时间 $t_{空} = 8280\text{ s}$,总历时 $t = 12240\text{ s}$.

4 结论

a. 逐渐溃坝模型模拟真实,计算准确度高,其结果能够为防洪减灾、水情自动测报系统及水库防洪优化调度系统等提供科学依据,但需综合水力学、泥沙、土力学等学科知识构建模型,计算过程复杂,所需资料多.在条件具备时,应尽量采用逐渐溃坝模型.

b. 瞬时溃坝模型简单、方便,所需资料少,但未考虑实际溃坝机理,计算准确度不高,结果不稳定.可用于初步计算及突发情况的应急计算.

c. 从本例的分析比较结果看,两种模型计算的溃口宽度、最大溃坝流量和泄空时间均接近实际值,因此,两种模型均是可靠的.

本文得到武汉大学水利水电学院郑邦民教授的指导,在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 张国威,何文勤,商思臣.我国干旱区洪水灾害基本特征[J].干旱区地理,1998,21(1):40~48.
- [2] 谢任之.溃坝水力学[M].山东:山东科学技术出版社,1993.

(收稿日期:2003-09-25 编辑:张志琴)