

河道内生态需水估算方法及其评述

钟华平^{1,2}, 刘 恒², 耿雷华², 徐春晓²

(1. 河海大学, 江苏 南京 210098; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 针对目前常用的水文指标法、水力学法、整体分析法和栖息地法, 4 大类河道内生态需水估算方法就其适用条件和范围作了相关评述。认为不同的估算方法有其不同的适用条件和范围, 在实际应用中需根据已有资料条件和研究的目的, 选用不同的计算方法。

关键词: 生态需水; 估算方法; 河道内; 栖息地

中图分类号: X143; X171.1; G853.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2006)03-0430-05

河道内生态需水通常是指河流为了维持某一特定生态系统的基本生态功能, 河道应保持的流量。河道内生态流量一般指维持水生和岸栖生物生存的最小需水量^[1]。

国外经过多年来的研究, 已形成了一些相对成熟的生态需水估算方法。基本可以分为: 水文指标法、水力学法、整体分析法和栖息地法等 4 大类。不同的计算方法各有其适用条件和适用范围, 选定生态需水评估方法应考虑下列因素: 河流类型; 人们的生态环境价值观; 计算结果的精度要求; 收集资料的费用和困难程度等。一些国家的生态需水评价, 还依据计算的精度进行评价结果分级^[1]。

1 河道内生态需水评估方法

1.1 水文指标法 (Hydrological Index Methods)

水文指标法 (也称历史流量法) 是生态需水评价中最简单的、需要数据最少的方法, 它依据历史水文数据确定需水量。最常用的方法有 Tennant 法或称蒙大拿 (Montana) 法、水生物基流法、可变范围法、7Q10 法、德克萨斯 (Texas) 法、流量持续时间曲线分析法、年最小流量法和水力变化指标法 (IHA) 等。

(1) Tennant 法 Tennant 法是由美国 Don Tennant 于 1976 年首次提出, 开始应用于美国中西部。通过 12 个栖息地河道流量与栖息地质量关系的研究, 经多次改进^[2], 现被美国 16 个州采用。Tennant 法确定的河道内最小生态流量是以测站的年平均天然流量百分率表示, 如以天然流量的 10% 为标准确定的生态流量, 表示可以维持河道生物栖息地生存, 30% 表示能维持适宜的栖息地生态系统 (加拿大临近大西洋的各省采用 25% 的比例), 60% ~ 100% 表示原始天然河流的生态系统^[3]。根据鱼类等的生长条件, 分两个时段 (10~3 月, 4~9 月) 设定不同标准。

使用 Tennant 法应注意, Tennant 法是建立在干旱半干旱地区永久性河流基础上, 判别栖息地环境优劣的推荐基流标准在平均流量的 10% ~ 200% 范围内设定。这种方法未考虑河流的几何形态对流量的影响, 未考虑流量变化大的河流及季节性河流, 在实际应用时, 使用该方法应根据本地区的情况对基流标准进行适当改进, 该方法计算结果的精度还与对栖息地重要性认知程度有关。

Tennant 法主要优点是使用简单, 操作方便, 一旦建立了流量与水生生态系统之间的关系, 需要的数据就相对少, 也不需要大量的野外工作, 可以在生态资料缺乏的地区使用。但由于对河流的实际情况作了简化处理, 没有直接考虑生物的需求和生物间的相互影响, 只能在优先度不高的河段使用, 或者作为检验其它计算方法的一种粗略方法^[4]。

收稿日期: 2004-12-18; 修订日期: 2005-04-30

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 资助项目 (2003CB415104)

作者简介: 钟华平 (1964-), 男, 江西赣县人, 南京水利科学研究院教授级高级工程师, 河海大学博士研究生, 主要从事水资源可持续利用、水政策法规研究。E-mail: hpzhong@nhri.cn

Tennant 法主要不足之处是仅描述了最小生态需水, 不能表征河道生态需水的天然变化过程, 需要把实测的流量还原到没有受人类影响的天然状态的流量, 该法不适合干旱地区的季节性河流(有零流量), 在实际工作中要建立流量与水生生态系统之间的关系比较困难, 关系的建立一般需要有 30 年以上的径流还原资料。

(2) 水生物基流法(Aquatic Base Flow Method, ABF) 水生物基流法属标准设定法, 由美国鱼类和野生动物保护部门在研究了 48 条流域面积在 50 平方英里以上, 且有 25 年以上观测资料, 没有修建对环境影响较大的大坝或调水工程的河流后创立的方法^[2]。它设定某一特定时段月平均流量最小值的月份, 其流量满足鱼类生存条件。该方法一年分 3 个时段考虑, 夏季主要考虑满足最低流量, 设定流量为一年中 3 个时段最低的, 以 8 月份的月平均流量表示; 秋季和冬季时段, 要考虑水生物的产卵和孵化, 设定的流量为中等流量, 以 2 月份的月平均流量表示; 春季也主要考虑水生物的产卵和孵化, 所需流量在 3 个时段中为最大, 以 4 月份或 5 月份的月平均流量表示。

这种方法的优点是考虑了流量的季节变化, 对小河流比较适合。其缺点是对于较大河流, 由于受人为影响因素大, 要获得还原后的径流量, 需要有长期的河流取水统计资料; 另外, 对某些月份, 河流的径流量达不到设定流量的要求。此法不适合于季节性河流。

(3) 可变范围法(Range of Variability Approach, RVA) RVA 法是最常用的水文指标法, 其目的是提供河流系统与流量相关的生态综合统计特征, 识别水文变化在维护生态系统中的重要作用。RVA 法主要用于确定保护天然生态系统和生物多样性的河道天然流量的目标流量^[5]。RVA 描述的流量过程线的可变范围是指天然生态系统可以承受的变化范围, 并可提供影响环境变化的流量分级指标。RVA 法可以反映取水和其它人为改变径流量的影响情况, 表征维持湿地、漫滩和其它生态系统价值和作用的水文系统。在 RVA 流量过程线中, 当其流量为最大与最小流量差值的 1/4 时^[6], 该数值为所求的生态需水流量。

RVA 法至少需要有 20 年的流量数据资料。如果数据不足, 就要延长观测, 或利用水文模拟模型模拟。RVA 法的应用在河流管理与现代水生生态理论之间构筑了一条通道。

(4) 7Q10 法 7Q10 法采用近 10 年中每年最枯连续 7 天的平均水量作为河流最小流量的设计值。该方法最初是由美国开发用于保证污水处理厂排放的废水在干旱季节满足水质标准, 不代表河道内生态需水量。

7Q10 法的应用在我国演变为采用近 10 年最小月平均流量或 90% 保证率最小月平均流量。该法主要是为了防止河流水质污染而设定的, 在许多大型水利工程建设的环境影响评价中得到应用。基于水文学参数的 7Q10 法, 没有考虑水生物、水量的季节变化, 其计算的生态流量一般比其它方法计算出的流量要小, 只可维持低水平的栖息地。

(5) 德克萨斯(Texas)法 德克萨斯法采用某一保证率的月平均流量表述所需的生态流量, 月流量保证率的设定考虑了区域内典型动物群(鱼类总量和已知的水生物)的生存状态对水量的需求。德克萨斯法首次考虑了不同的生物特性(如产卵期或孵化期)和区域水文特征(月流量变化大)条件下的月需水量, 比现有的一些同类规划方法前进了一步。

上述水文指标法, 其优点是: 使用相对简单, 在流域层面上, 适合于对需水量计算精度要求较低的评估, 这些方法要求现场实测数据较少, 在多数情况下仅要求有历史流量记录数据, 不需要使用昂贵的设备进行野外工作。水文指标法的缺点: 虽然水文指标法对资源现场调查的数据资料精度要求较低, 但还要求进行大量的野外工作, 以满足设定不同标准和获取必要的参数; 这些方法仅适用于已进行了河流观测和研究的地区。

1.2 水力学法(Hydraulic Methods)

水力学法是把流量变化与河道的各种水力几何学参数联系起来的求解生态需水的方法。目前, 水力学法应用最广的是湿周法。

(1) 湿周法(Wetted Perimeter Method) 湿周法是基于野外测流方法估算最小生态需水量的最简单的方法^[7]。河道的湿周是指河道横断面湿润表面(水面以下河床)的线性长度。湿周法假定能保护好临界区域水生物栖息地的湿周, 也能对非临界区域的栖息地提供足够的保护^[8]。采用湿周法确定栖息地最小生态需水量, 需要建立浅

滩湿周与流量的关系曲线。

在湿周与流量关系曲线中,其转折点的流量就是维持浅滩的最小生态需水量(图1),它表征在该处流量减少较小时湿周的减少会显著增大。在湿周与流量曲线图上,转折点代表该处曲线的曲率为 45° ,曲线的斜率为1。曲线的转折点受河道形态特征、礁石和沙洲的存在与否、河岸的变化以及下游回水等因素影响。支流较多的河道,其湿周与流量关系的规律性一般较差,曲线可能有多个转折点,这种情况,关系曲线上最低的转折点为所要求的最小生态流量。

湿周法假定河流的流量与鱼类食物量的生产区域大小成比例,浅滩的湿周是其相关指标。湿周法是为了保护敏感水生物栖息地而设定适当流量的一种计算方法。采用湿周法需要测量特定地点(如浅滩)的河道横断面,并确定该断面的流量变化。

采用湿周法的优点是使用相对简单,要求的数据量相对少。缺点是只能获得最小生态基流量,没有考虑水温变化对水生物的影响。

(2) R2Cross法 R2Cross法是由科罗拉多水利委员会针对高海拔的冷水河流为保护浅滩栖息地冷水鱼类(如鲑鱼、鳟鱼等)而开发的,属中等标准设定法。该法选择特定的浅滩——水生无脊椎动物和一些鱼类繁殖的重要栖息地,确定其临界流量,假定临界流量如果能满足该处生物的生存,则河流其它地方的流量也能满足其它栖息地的要求。利用曼宁公式,计算特定浅滩处的河道最小流量代表整个河道的最小流量。河道流量由河道的平均水深、湿周率和平均流速确定。这种方法仅提出了维持浅滩的夏季最小生态流量,没有考虑年内其它时段的天然径流过程。

R2Cross法只要求进行一些野外现场观测,不一定要有观测站的观测数据,因此没有设立观测站的河流也可用此法,但必须选择合适的研究断面。

1.3 整体分析法(Holistic Methods)

整体分析法主要指BBM法(Building Block Method),BBM法是由南非水务及林业部与有关科研机构一起开发的,在南部非洲已得到广泛应用^[1]。

在BBM法中,依据现状生态环境把河道内生态环境状况分为6级,即:生态环境未变化;生态环境变化很小;生态环境适度改变;生态环境有较大的改变;天然栖息地广泛丧失;以及生态环境处于危险境地。根据生态环境状态的前4级设定4种未来生态管理类型^[9]。

BBM法把河道内的流量划分4部分,即最小流量、栖息地能维持的洪水流量、河道可维持的洪水流量和生物产卵期回游需要的流量,要求分别确定这4部分的月分配流量、生态环境状况级别和生态管理类型。

BBM法的主要目的是求算上述4部分的年均天然径流量的百分率。在依据生态环境状况分级和生态管理分类的基础上,分别为4种生态管理类型建立维持最小流量的百分率与可变性指数(变差系数/基流指数, CV/BFI)之间的关系曲线。变差系数指标准偏差与平均值的比值,基流指数指总流量占基流量的比值。

BBM法的优点:对大、小生态流量均考虑了月流量的变化;分部分的最小流量可初步作为河道内的生态需水量。主要缺点:由于该方法是针对南部非洲的环境开发的,针对性强,且计算过程比较繁琐,其它地方采用此方法应根据当地实际情况对方法进行适当改造。

1.4 栖息地法(Habitat Methods)

栖息地法(也称生境法)是生态需水估算最复杂和最灵活的方法。该方法对自然生态系统状态不需要预先假

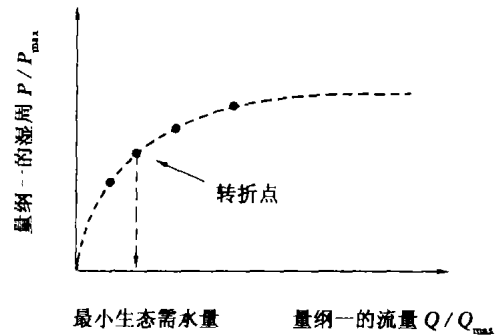


图1 采用湿周法确定河道内生态需水量

Fig. 1 Use of the wetted perimeter method to estimate instream flows

设,但需要考虑自然栖息地河道流量的变化,并与特定物种栖息地参数选择相结合,确定某一流量的栖息地的可利用范围。可利用的栖息地面积与河道流量的关系是曲线关系,从曲线上可以求得对特定数量物种最适宜的河道流量。其结果可用作推荐的生态流量的参考值。栖息地法最常用的是河道内流量增量法(Instream Flow Incremental Methodology, IFIM)。

IFIM法是评估水资源开发和管理活动对水生及岸栖生态系统影响的概念模型,20世纪70年代由美国鱼类和野生动物保护部门开发,用于解决水资源管理和影响生态系统最小需水量问题。IFIM法是解析方法和计算机模拟相结合的产物,可以针对特定问题和情形采用不同的方法。该方法的目的是建立鱼类和野生动物参数与河道流量的相关关系^[1]。

IFIM法基于假定生物有机体在流动的河水中其分布受水力条件的控制。由IFIM法产生的决策变量是栖息地的总面积,该面积随特定物种的生长阶段或特定的行为(如产卵)而变化,是流量的函数。IFIM法通常与自然栖息地仿真系统模型(PHABSIM, Physical Habitat Simulation)(现在多采用MESOHABSIM模型, Meso Habitat Simulation)进行耦合,用于建立栖息地与流量的关系和预测环境参数的变化。PHABSIM可以预测流量变化对鱼类、无脊椎动物和大型水生植物的影响,预测自然栖息地变化并可量化其生态价值。应用PHABSIM模型需要进行有关河流水力和形态方面的详细勘查以及掌握重要物种选择栖息地的知识。

IFIM法的主要优点:如果挑选合适人选使用IFIM法,该法可体现各方的利益;该法考虑了选定的指示物种各生长阶段对流量的要求;利用还原的径流数据可以单独估算天然需水量。

该方法的缺点:IFIM技术主要适用于中小型栖息地,很少利用IFIM技术评价整个流域的生态环境需水;方法针对性强,在某一个地方获得的参数不能直接应用到另一个地方;需要有水文学、河流形态学、水质、水生物和陆地生态学等方面的专家一起研究,才能用好IFIM技术,同时要大量的野外现场调查工作;应用IFIM技术需要耗费大量时间且研究费用较高。

1.5 河道内生态需水计算方法比较

Tennant法和湿周法,计算比较快捷,一般适合于在宏观水资源管理中确定最小生态需水量,但这些方法提供的生态流量一般比较保守,可用于粗略评价在给定条件下适宜的生态需水量。BBM法也可用于快速估算生态流量,但需要有还原月径流系列数据和编写专门的计算软件。采用与PHABSIM模型耦合的IFIM法,是用于解决复杂问题(如修建水电站、在生态敏感的河道取水)常用的方法,可确定必要的生态流量。不同的生态需水计算方法解决问题的侧重点不一样,并有其适用条件,如水文学方法研究主要关注最小流量和水位,在实际应用中应针对实际情况做出最好的选择。总之,由历史流量法到BBM法再到生物栖息地法,资料条件的要求随之增高,针对性也随之增强。

2 适合国内的计算方法

河道内生态需水是生态环境需水的组成部分,其需水量的估算实质上是求解其阈值问题。目前的估算方法有侧重水文学方面的方法,也有侧重水力学方面的方法或生态学方面的方法。不同的估算方法有其适用条件和适用范围,应根据当地的实际情况和计算生态需水量的目的来选用合适的计算方法。针对我国目前的研究现状,在现阶段水文指标法最适合于我国河流研究,可以作为区域和流域大空间尺度的宏观研究手段,但需要对其评价标准做进一步研究,以适合于我国河流要求。

3 存在的主要问题及研究展望

3.1 存在的主要问题

上述河道内生态需水计算方法基本上是国外的研究成果,是否全部适合我国国情,还有待深入研究。近年来,国内研究河道内生态需水是热门课题,出了大批研究成果,但大多停留在理论探讨阶段,计算方法多从国

外引进,还没有形成一套比较完整的被普遍认可的适合我国国情的河道内生态需水计算方法。

许多河道内生态需水的计算方法涉及到生物方面的资料并需要实测数据支持,目前,国内缺乏系统建立在水文学、生态学和地学理论及定量分析方法基础上的生态需水量计算方法。其原因在于河道内生态需水的研究比较复杂,对河道生态运行机制、河流生物及沿岸各种生命系统与水资源的关系研究的还不够深入^[10],也与人们对生态环境价值观念等因素有关。

3.2 展望

针对目前河道内生态需水研究没有明确的定义,没有成熟的理论体系,缺乏系统完善的定量计算方法等问题。今后河道内生态需水研究的重点与方向应是:(1)河道内生态需水的机理研究;(2)基于生态物理过程实验的生态需水计算方法(模型)研究^[11];(3)河道内健康生态系统的评价指标体系研究;(4)适合我国国情的河道内生态需水计算方法研究。

参考文献:

- [1] DFID of the UK. Handbook for the assessment of catchment water demand and use[M]. Oxon:HR Wallingford, 2003. 20 - 41.
- [2] CEI Environmental Edge. Water Wars Heat Up[EB/OL]. <http://ceiengineers.com/publications/EE1203.pdf>, 2003.
- [3] Tennant D L. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources[J]. Fisheries, 1976, 1(4): 6 - 10.
- [4] 徐志侠,董增川,周健康,等.生态需水计算的蒙大拿法及其应用[J].水利水电技术, 2003, 34(11): 15 - 17.
- [5] Richter B D, Baumgartner J V, Wigington Robert, et al. How much water does a river need? [J]. Freshwater Biology, 1997, 37: 231 - 249.
- [6] Ipswich River Fisheries Restoration Task Group. Ipswich River Fisheries Current Status and Restoration Approach [EB/OL]. <http://www.ipswichriver.org/FishRestReport.pdf>, 2002.
- [7] Gppel C J, Stewardson MJ. Use of the wetted perimeter in defining the minimum environmental flows[J]. Regulated Rivers: Research and Management, 1998, 14: 53 - 67.
- [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] Hughes, Münster F. A decision support system for an initial "low confidence" estimate of the quantity component for the reserve of rivers[M]. South Africa: Rhodes University, 1999. 5 - 45.
- [10] 张丽,董增川,丁大发.生态需水研究进展及存在问题[J].中国农村水利水电, 2003(1): 13 - 15.
- [11] 粟晓玲,康绍忠.生态需水的概念及其计算方法[J].水科学进展, 2003, 14(6): 740 - 744.

Review of assessment methods for instream ecological flow requirements^{*}

ZHONG Hua-ping^{1,2}, LIU Heng², GENG Lei-hua², XU Chun-xiao²

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Some appropriate assessing methods for instream ecological flow or environmental flow requirements are established after many years research. Each method differs in its data requirements, procedures for selecting flow requirements, and ecological assumptions. An applicable method is chosen based on the current information and the goals. Four categories of the common methods, namely, hydrological index methods, the hydraulic methods, the holistic methods, and habitat methods, available for assessing instream environmental flow, are reviewed according to their applicability.

Key words: ecological flow requirements; assessment method; instream; habitat

* The study is financially supported by the National Key Project for Basic Research on Ecosystem Changes in Longitudinal Range-Gorge Region and Transboundary Eco-security of Southwest China (2003CB415104).