

河流生态需水计算方法评述

徐志侠¹ 陈敏建² 董增川¹

(1.河海大学水资源环境学院,江苏 南京 210098;2.中国水利水电科学研究院水资源所,北京 100044)

摘要:回顾了国内外生态需水研究的历史,介绍国内外河道内及河口生态需水的计算方法,将河道内生态需水计算方法分为 4 类——历史流量法、水力定额法、栖息地法、整体分析法;总结分析各种计算方法的特点、使用条件、存在的主要问题,指出在我国使用这些方法时应该注意的事项,以便正确使用这些计算方法。

关键词:生态需水;计算方法;历史流量法;水力定额法;栖息地法;整体分析法

中图分类号:TV211.1+1:P333 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1980(2004)01-0005-05

随着社会经济的发展,人类对水资源开发利用的力度不断加大,对生态系统的干扰程度不断提高,产生了与水相关的生态问题。国外在 20 世纪 40 年代就开始注意河流生态问题,此后,相继研究并提出了各种生态需水计算方法。我国在 20 世纪 80 年代,由于经济快速发展,对河流的干扰程度大大超过了世界上同类自然条件的国家和地区,水资源合理利用与生态保护日渐成为突出的水问题。本文围绕生态需水计算方法,介绍国内外的研究进展并进行评述。

1 生态需水发展过程

20 世纪 40 年代,随着水库建设和水资源开发利用程度的提高,美国的资源管理部门开始注意和关心渔场的减少问题。美国鱼类和野生动物保护协会对河道内流量进行了许多研究,研究关于鱼类生长繁殖和产量与河流流量的关系,从而提出了河流最小环境(或生物)流量的概念。以后,随着人们对景观旅游业和生物多样性保护的重视,又提出了景观河流流量和湿地环境用水以及海湾—三角洲出流的概念。

20 世纪 70 年代以来,欧洲、澳大利亚和南非等国家都开展了许多关于鱼类生长繁殖、产量与河流流量关系的研究,提出了许多计算和评价方法^[1]。1950~1960 年期间出现了关于河流生态流量定量和基于过程的研究。一些早期的工作建立了流量和流速、鲑鱼、大型无脊椎动物、大型水生植物的联系。在此研究期内,河流生态学家将注意力集中在能量流、碳通量和大型无脊椎动物生活史^[2]等方面。

1960~1970 年间,生物对水流改变的响应研究方面取得了相当进展。联系水流和生态的重要催化剂是《河流生态与人》一书^[3]。然而,在当时河流管理是一门艺术而不是不科学。Fraser 举例说明:“推荐的流量常常更多地基于生物学家和工程师的猜测,而不是基于流量和河流生态、审美学等定量评价。”

在 20 世纪 70 年代后期,河道内流量增加法的出现使得河道内流量分配方法趋于客观。该方法已经成为在北美洲广泛应用的方法,用来评估流量变化对鲑鱼栖息地等的影响^[4]。

目前,国际上对河流生态需水还没有统一的概念,缺乏明确的定义,而是用与河流生态需水相关、相近的概念代替。使用较为广泛和通用的概念是枯季流量、河道内流量需求、最小可接收流量等代替。

在我国,汤奇成等人于 20 世纪 80 年代末期在分析新疆塔里木盆地水资源与绿洲建设问题时提出了“生态用水”问题。文献[5]在进行全国水资源利用前景分析时,考虑干旱区绿洲的生态用水,估算的外流河河道内生态需水量为水资源总量的 40%。文献[6]提出了我国 21 世纪水资源供需的“生态水利”问题。20 世纪 90 年代中后期,在国家“九五”科技攻关中,对干旱区生态需水进行了系统深入的研究,提出了针对干旱区特色的生态需水研究计算方法,基于河流系统与干旱平原区植被生态系统的演变机理,研究植被生长需水的区域

分布规律,采用遥感和地理信息系统技术实现生态的空间分区,以生态分区和流域水平衡为基础量化生态需水,基于可持续发展的生态模式,确定生态保护目标和生态建设规模,并预测生态需水^[7,8]。针对华北地区河流、黄河生态需水进行了初步的研究,产生了相应的方法。国内河流计算方法主要采用最枯年天然径流估算法和河流年最小月均流量的多年平均值作为河流的基本生态需水量^[9]。针对黄河流域的水土流失问题,研究了水土保持需水量,其需水量的计算主要是依据实测水文资料和水土保持资料,应用水文循环原理和水量平衡原理,计算水土保持对流域产水量的影响^[10]。

2 国外生态需水计算方法

国外河流生态需水计算方法可分为河道内及河口两类,研究主要集中在河道内。

2.1 河道内生态需水计算方法

河内鱼类及野生生物的生态环境用水计算,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2次全国水资源评价。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39.2亿 m^3/d ^[11],约占美国本土多年平均河川径流量17039亿 m^3 的84%,比重是相当大的。

国外河道内生态需水计算方法大致可以分为4类:(a)历史流量法;(b)水力定额法;(c)栖息地定额法;(d)整体分析法。

2.1.1 历史流量法

历史流量法包括蒙大拿法、流量历时曲线法等方法。(a)蒙大拿法。该方法可能是最常用的历史流量法,其解决的是水生生物、河流景观及娱乐与河流流量之间适应关系的问题。它将年平均流量的百分比作为基流,更适宜于以季节性为基础的需求。它具有宏观的定性指导意义。在美国维吉尼亚地区的河流中证实:10%的年平均流量是退化的或贫瘠的栖息地条件,20%的年平均流量提供了保护水生生物栖息地的适当标准,在小河流中,定义30%的年平均流量接近最佳生物栖息地标准^[12]。(b)流量历时曲线法。该方法利用历史流量资料构建各月流量历时曲线,以某个保证率相应的流量作为河道内流量的需求。这种方法是建立在至少20a的日流量记录数据的基础之上,并且对每个月作一个推荐流量^[13]。流量历时曲线法保留了仅采用水文资料的简单性,但它却更好地反映了径流年际、年内分布的不均匀性,因此,它比这个分类中的其他方法更精确,然而,还不能代表流域的全部情况^[14]。

2.1.2 水力定额法

水力定额法包括湿周法、R-2法等方法。(a)湿周法。湿周法的假设是: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。通过在临界的栖息地区域(通常大部分是浅滩)现场搜集河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。该方法使用于宽浅型河流,河道的形状影响该方法的分析结果。(b)R-2法。R-2法具有和湿周法相同的假设。对于一般的浅滩式河流栖息地,如果将河流平均深度、平均流速和湿周长度作为反映生物栖息地质量的水力学指标,且在浅滩栖息地能够使这些指标保持在相当满意的水平上,那么也足以维护生物体和水生环境健康。该法确定最小生态需水量具有两个标准:一是湿周率,二是保持一定比例的河流宽度、平均水深以及平均流速等。R-2法以曼宁公式为基础。

与历史流量法相比,水力定额法包含了更多更为具体的河流信息。然而这类方法忽视了水流流速的变化,未能考虑河流中具体的物种或生命阶段的需求。同时,该类方法假定河道在时间尺度上是稳定的,并且所选择的横截面能够确切地表征整个河道的特征,而实际情况并非如此。

2.1.3 栖息地定额法

栖息地定额法包括有效宽度(UW)法、加权有效宽度(WUW)法、河道内流量增加法(IFIM)等。(a)有效宽度法。该方法是建立河道流量和某个物种有效水面宽度的关系,以有效宽度占总宽度的某个百分数相应的流量作为最小可接收流量的方法。有效宽度是指满足某个物种需要的水深、流速等参数的水面宽度。不满足要求的部分就算无效宽度。(b)加权有效宽度法。该方法与有效宽度法的不同之处在于加权有效宽度法是将一个断面分为几个部分,每一部分乘以该部分的平均流速、平均深度和相应的权重参数,从而得出加权后的有

效水面宽度,权重参数的取值范围从 0 到 1。(c)河道内流量增加法,该方法是人们应用最广的方法,它考虑的主要指标有流速、最小水深、底质情况、水温、溶解氧、总碱度、浊度、透光度等,河道内流量增加法通常用来评价水资源开发建设对下游水生生物栖息地的影响。

河道内流量增加法很复杂,要求投入相当多的时间、资金和专门技术,在一般情况下,该法要求输入的定量生态信息是缺乏的,所以有人主张在大多数情况下限制其使用^[15]。传统的河道内流量增加法将其重点放在一些河流生物物种的保护上,而没有考虑诸如河流规划以及包括河流两岸在内的整个河流生态系统的需求,由此计算出的推荐流量值并不符合整个河流的管理要求^[16]。

栖息地定额方法与历史流量法或水力定额法相比具有更大的灵活性,它有可能考虑全年中许多物种及其不同生命阶段所利用栖息地的变化,从而选择能提供这种栖息地的流量。不过,这意味着需要对水生生态系统有足够的了解和清晰的管理目标,以便解决不同物种或不同生命阶段在栖息地需求上的矛盾。栖息地定额方法特别适合于“比较权衡”,可以将栖息地的变化与资源的社会经济效益相比较。栖息地流量关系可以用来评估不同的流量管理目标,并成为选择适当流量的信息基础。

2.1.4 整体分析法

整体分析法建立在尽量维持河流水生态系统原始功能的原则之上,相应地,整个生态系统的水需求量,包括发源地、河道、河岸地带、洪积平原、地下水、沼泽和河口都需要评价。在这种方法中,河流的天然状态是作为河流生态系统最基本的指导,相应地,为了维持生态系统功能的整体性,天然状态的根本特征(比如径流季节性形式、枯季流量和无流量时期、不同级别的洪水、持续时间、重现期和冲刷流量)都被包含在改变后的水情中^[17]。

该类方法包括南非的建筑堆块法(BBM法)和澳大利亚的整体分析法。在整体分析法中,河流的天然特征用逐月流量来描述。确定河道内流量的过程通常由从水生态到水利工程师的多学科的专家组完成。河道内流量的重要成分包括枯季流量、泛滥流量和中、小洪水,不能被管理的大洪水一般被忽略。

枯季流量是一个最小月径流量,它被用统计方法确定为“水文学定义的基流”,用流量历时曲线上的某个保证率的流量确定。对于季节性河流这意味着枯季的断流。

关于汛期径流:首先是要确定汛期第 1 场洪水,它向河流供应溶解的和颗粒状的有机物和营养物质,并冲走残骸、藻类和细淤泥,可能提供与生命周期和迁移同步的生物条件。该径流对河口的冲刷可能是明显的。其次,是要确定中等洪水,它可能是每年发生一到两次的洪水,人们认为是它维持了生物栖息地的多样性(它引起局部扰动,冲走外来的植被,并且淹没河滨植被、洪泛平原、湿地来维持生物栖息地的多样性)。第三,是要确定汛期径流的差异性。

河流生态系统的年需水量是枯季流量、汛期径流量和洪水的总和,此外还需考虑附加流量(如冲刷流量等)。这样,整个系统的需水量依据下列因素来确定:月或者更短时段的流量分配,最大和最小月流量,希望的流量变化水平及发生时间,洪水的范围和持续时间,冲刷流量。

2.2 河道内生态需水计算方法存在的问题

水流影响水生生态系统 6 项参数的大部分:食物、栖息地、温度、水质、水流状况和生物间的相互作用,所以联系水文和生态是一门复杂的科学。由此可知流量影响生物区和生物间的相互作用的途径很多,现有的研究还达不到把一种流量或水流状态同物种组成及丰富程度联系起来的水平。作为替代,在评价中用流量、湿周或栖息地作为生物反应的替代指标。现在的所有方法都没有将这 6 项参数全部考虑进去。由于缺乏对食物、生物间的相互作用等因素的机理研究,建立考虑上述 6 项参数的确定性模型在现阶段是难以实现的。从这个意义上讲,现在的计算方法还是粗略的。

2.3 河口生态需水

国内外对河流入海口的生态需水研究较少,计算河口的生态需水相当复杂,有人建议用含盐量指标变化作为计算依据,有人建议用温度指标变化作为计算依据,还有人建议用饵料质量指标变化作为计算依据,但至今尚未见到比较公认的方法或标准。南非制订了河口生态需水的标准,确定了河口生态需水计算的步骤,但是尚不清楚其计算生态需水的具体方法^[18]。

河口生态需水项目包括生物多样性、水质、泥沙冲淤平衡及旅游娱乐,水质包括含盐量、溶解氧、pH 值、悬移质、硝酸盐、有毒物质、微生物指标。具体的河口需水量主要包括控制含盐量需水量、航运需水量、生物多

样性需水量、冲刷淤积需水量及河口湿地需水量等。在南非,1986年第1次评估了河口淡水需求。评估分两部分:淹没需求和蒸发需求。第1部分考虑打开临时关闭的河口拦门沙、淹没湿地和冲刷淤积所必须的水量;后者计算蒸发量,由此,防止河口超量盐度的出现^[19]。

3 国内河流生态用水计算方法研究

3.1 河流生态用水量计算

a. 枯年天然径流估算法:以最枯年天然径流进行估算。

b. 将河流年最小月均流量的多年平均值作为河流的基本生态环境需水量。

这两种河流生态用水量计算方法属于历史流量法的范围,具有与历史流量法相同的优点和不足。

3.2 防治河流水质污染的计算方法

a. 10a最枯月平均流量法。7Q10法采用90%保证率最枯连续7d的平均水量作为河流最小流量设计值。该法在20世纪70年代传入我国,主要用于计算污染物允许排放量,在许多大型水利工程建设的环境影响评价中得到应用。由于该标准要求比较高,鉴于我国的经济水平比较落后、南北方水资源情况差别较大,我国在(GB 3839—83)《制订地方水污染物排放标准的技术原则和方法》中规定:一般河流采用近10a最枯月平均流量或90%保证率最枯月平均流量^[20]。

b. 以水质目标为约束的生态环境需水量计算。为达到水质目标所需要的水量,依据环境水利学有关水质污染稀释自净需水量计算方法进行计算^[21]。

3.3 河口生态需水

尚未发现河口生态需水量计算方法。

总之,国内对环境用水的研究方法还处在起步阶段,理论和方法研究都处在探索阶段。

4 结 语

生态环境用水量计算方法的研究取得了一定的进展,为水资源合理利用提供了基础性的依据。但是,由于水和生态的关系非常复杂,生态需水研究尚处在初级阶段,理论研究处在探索之中,计算方法还不能全面、真实地反映实际情况,计算结果可能存在较大风险。对此,在使用这些方法时应该牢记在心。

生态需水与气候、水文、地理、地质、社会经济等密切相关,因此,这些源自国外的生态环境用水量计算方法不一定适合中国的情况。在使用这些方法时,一是要弄清它的适用条件,二是要对方法在我国的适用性进行检验。由于我国缺乏生态资料,因此,目前河流生态需水量计算主要应该使用历史流量法和水力定额法。

由于河口生态系统非常复杂,加之人们对河口生态需水的研究较少,所以河口生态需水量的计算还没有较为成熟的方法。

参考文献:

- [1] PETTIS G E. Water allocation to protect river ecosystems[J]. Regulated Rivers: Research & Management, 1996, 12: 353—365.
- [2] RESH V H. Periodical citations in aquatic entomology and freshwater benthic biology[J]. Freshwater Biology, 1985, 15: 757—766.
- [3] OGLESBY R T. River ecology and management[M]. New York: Academic Press, 1972. 10—30.
- [4] CONDER A L, ANNEAR T C. Test of weighted usable area estimates derived from a PHABSIM model for instream flow studies on trout streams[J]. North American Journal of Fisheries Management, 1987, 7: 339—50.
- [5] 陈敏建, 贺伟程. 中国水资源利用前景初探[J]. 自然资源学报, 1998(增刊): 22—25.
- [6] 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.
- [7] 王芳, 梁瑞驹, 杨小柳, 等. 中国西北地区生态需水研究(2)——基于遥感和地理信息系统技术的区域生态需水计算机分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 129—137.
- [8] 王浩, 陈敏建, 秦大庸. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003. 31—32.
- [9] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态需水量计算[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 495—500.
- [10] 牛志明. 生态用水理论及其在水土保持生态环境建设中的现实意义[J]. 资源环境, 2001(7): 8—11.
- [11] 丰华丽, 王超, 李剑超. 河流生态与环境用水研究进展[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(3): 19—23.

[12] ORTH D J ,LEONARDP M. Comparison of discharge methods and habitat optimization for recommending instream flows to protect fish habita[J]. Regulated River ,1988 5 :129—138.

[13] LOAR J M ,MICHAEL J S. Analysis of environmental issues related to small-scale hydroelectric developmen[M]. Oak Ridge :Oak Ridge National Press ,1981. 123—128.

[14] RICHARDSON B A. Evaluation of instream flow methodologies for fresh water fish in new south Wales[A]. In : CAMPBELL I C. Stream Protection ,the Management of Rivers for Instream Uses[C]. Maryland :American Fisheries Society ,1986. 143—147.

[15] ORTH D J ,MAUGHAN O E. Evaluation of the incremental methodology for recommending instream flows for fishes[J]. Trans Am Fish Soc ,1982 ,111(4) 413—445.

[16] 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.

[17] ARTHINGTON A H. Development of an holistic approach for assessing environmental flow requirements of riverine ecosystems[A]. In : JOHN J P ,BRUCE P H. Water allocation for the environments[C]. Armidale :The Center for Water Policy Research ,University of New England ,1992. 69—76.

[18] SUSAN T L. Water resources protection policy implementation ,resource directed measures for protection of water resources ,estuarine ecosystems[M]. Pretoria : Department of Water Affairs and Forestry South Africa ,1999. 5—10.

[19] JEZEWSKI W A. Estuarine and lake freshwater requirement[M]. Pretoria : Department of Water Affairs ,1986. 12—16.

[20] 倪晋仁.论河流生态环境需水[J].水利学报 2002 (9) :14—19.

[21] 刘凌,董增川,崔广柏,等.内陆河流生态环境需水量定量研究[J].湖泊科学 2002 ,14(1) 25—31.

Comments on calculation methods for river ecological water demand

XU Zhi-xia¹ , CHEN Min-jian² , DONG Zeng-chuan¹

(1. College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China ;
2. Department of Water Resources , China Institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100044 , China)

Abstract : Researches on ecological water demand at home and abroad are reviewed , and calculation methods for ecological water demand by rivers and estuaries are introduced . The calculation methods for river ecological water demand are classified into four kinds : the historical flow method , hydraulic rating method , habitat rating method , and holistic method . By analysis of the characteristics , conditions of application , and some key problems of the above methods , some issues which should be paid much attention to are pointed out from the angle of their applicability in China , so that the methods can be correctly used .

Key words : ecological water demand ; calculation method ; historical flow method ; hydraulic rating method ; habitat rating method ; holistic method