

河道与湖泊生态需水

理论与实践

徐志侠 王浩 董增川 唐克旺 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

河道与湖泊生态需水 理论与实践

徐志侠 王浩 董增川 唐克旺 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

生态需水是处理人与生态关系的核心。本书在吸收国内外生态需水研究成果的基础上,研究了生态需水的基本内涵、生态用水决策过程和研究层次;定义了生态需水的重要概念,分析了生态需水的特性;提出了河道全年最小非生物需水、全年最小生态需水和鱼类产卵期适宜生态需水计算方法及吞吐型湖泊生态需水的组成;建立了湖泊最小生态需水和适宜生态需水计算模型。书中以淮河流域的南四湖、颍河及涡河为研究实例,详细介绍了河道与湖泊生态需水计算方法、过程和步骤,并利用计算结果建立了全年最小生态流量地区经验公式。

本书可供与河道和湖泊生态需水相关的科研人员和管理者及相关专业的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

河道与湖泊生态需水理论与实践 / 徐志侠等著. —北京:中国水利水电出版社, 2006

ISBN 7-5084-3480-3

I. 河... II. 徐... III. ①河道—生态系统—需水量—研究②湖泊—生态系统—需水量—研究
IV. P941.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 151496 号

书 名	河道与湖泊生态需水理论与实践
作 者	徐志侠 王浩 董增川 唐克旺 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 5 印张 130 千字
版 次	2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—2500 册
定 价	15.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前言

随着社会经济的发展,人类对水资源的开发利用量不断增加,致使对生态系统的干扰不断加大,甚至超出生态系统的承受能力,生态问题日渐突出。由于我国人口压力大、水资源时空分布不均匀和水土配置不协调,加之在以前的水资源配置中没有考虑生态需水,导致生态用水被挤占,在较大范围内存在生态缺水问题,可持续发展面临严峻的挑战。位于淮河、黄河与海河流域的我国华北平原地区,人均水资源量有限,水资源开发利用率高,面临着更为严峻的水生态问题。

目前,在我国,生态用水受到了高度重视。流域水资源综合规划中要求突出人与自然的和谐,全过程贯彻科学发展观。在此过程中,合理确定生态需水起着至关重要的作用。然而,生态需水概念不统一,没有公认的、普遍适用的方法,许多理论和方法还有待研究。本书在研究生态需水理论的基础上,依据我国生态资料的现状条件,主要研究了适合我国河道与湖泊特点的生态需水计算方法。

本书的主要研究成果和特色之处归纳为:在生态需水基本内涵方面,分析了径流与河道生态系统的关系;研究了基于价值的期望生态需水定义、三种临界生态需水定义、三种临界生态需水的量化途径、生态需水的时空特性和逐级分类方法。在河道生态需水方面,研究了确定河道全年最小非生物需水的计算方法——径流与河床形态分析法的原理、计算步骤和特点;探讨了河道全年最小生态需水计算方法——生物空间最小需求法,分析了河道适宜生态需水的估算方法,并进行了实例研究。在湖泊生态需水方面,研究了吞吐型湖泊生态需水组成、

湖泊最低生态水位的计算方法、湖区和出湖最小生态需水计算方法、湖泊适宜生态需水的计算方法及湖泊的入湖生态需水、湖区生态需水、出湖生态需水三个方面之间的关系，从而全面研究了湖泊生态需水计算方法，并进行了实例研究。在实例研究方面，总结了颍河与涡河全年最小生态流量的特点，全年最小生态流量占多年平均天然流量的百分比，表现为下游小于上游，而全年最小生态流量水面宽率则表现为下游大于上游的特点，表明大型河流的生态风险小于小型河流；建立了颍河与涡河全年最小生态流量地区经验公式。

在本书的研究过程中，得到众多人士的帮助和支持：

感谢南京水利科学研究院陈敏建教授、河海大学崔广柏教授、许圣斌教授、郝振纯教授、李致家教授、夏自强教授、梁忠民教授、陈界仁副教授和舒大兴副教授在研究过程中的指导和帮助！感谢河海大学水资源环境学院其他领导和老师的关心和帮助！

感谢中国水利水电科学研究院水资源所王研高级工程师、汪党献教授、王芳高级工程师、杨爱民高级工程师的关心和帮助！感谢中国水利水电科学研究院水资源所其他同志的关心和帮助！

感谢丰华丽博士、顾正华博士、左仲国博士、黄德春博士、贾超博士、张贵金博士、孙宗凤博士、瞿思敏博士、郑建平博士、赵斌博士、苏飞博士等帮助和支持。

本研究得到全国水资源综合规划专题研究项目——河道外生态需水研究和“十五”国家科技攻关重大项目“水安全保障技术研究”课题一：“中国分区域生态用水标准研究”（课题编号：2001BA610A—01）的资助，在此表示感谢！

最后，向所有关心和帮助过我们的同志们，表示诚挚的感谢！

由于河道与湖泊生态需水的复杂性，其理论和实践均需要深入和广泛的研究，本书仅是初步研究。由于时间和认识水平有限，可能存在一些错误和不足之处，敬请读者批评指正。

作者

2005年11月

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.1.1 生态需水被忽略	1
1.1.2 忽视生态需水的结果导致生态恶化	2
1.1.3 对生态需水的再认识	2
1.2 国内外研究进展	3
1.2.1 生态需水研究的发展过程	3
1.2.2 生态需水概念	6
1.2.3 生态需水计算方法	7
2 河道生态需水基本内涵	19
2.1 河道生态系统的基本特性	19
2.1.1 概念	19
2.1.2 组成	20
2.1.3 结构与功能	21
2.1.4 生态系统的失衡	24
2.1.5 主要特征	24
2.2 河道径流与生态系统关系	25
2.2.1 径流与河床关系	25
2.2.2 径流与生态系统关系	28
2.3 生态需水定义	29
2.3.1 基于价值的期望生态需水定义	29
2.3.2 生态用水研究层次	33
2.3.3 三种临界生态需水定义	34

2.3.4	其他生态需水相关重要概念的定义	37
2.4	生态需水特性	38
2.4.1	时间性	39
2.4.2	空间性	42
2.4.3	阈值性	43
2.5	生态需水分类	44
2.6	河道生态需水量化途径	47
2.6.1	生态需水计算方法对比	47
2.6.2	期望生态需水的量化途径	48
2.6.3	河道最小非生物需水量化途径	49
2.6.4	河道最小生态需水量化途径	49
2.6.5	河道适宜生态需水量化途径	50
2.7	小结	50
3	河道生态需水计算方法	54
3.1	河道最小非生物需水计算方法	54
3.1.1	径流与河床形态分析法原理	54
3.1.2	水文站断面对河段的代表性	66
3.1.3	用水文站资料计算最小非生物流量的步骤	66
3.1.4	径流与河床形态分析法的特点	70
3.1.5	本方法适用条件和适用范围以外情况的处理方法	71
3.2	河道最小生态需水计算方法	71
3.2.1	方法原理	72
3.2.2	计算操作步骤	74
3.2.3	生物空间最小需求法的特点	75
3.3	河道适宜生态需水估算方法	75
3.4	小结	77
3.4.1	最小非生物需水计算方法	77
3.4.2	最小生态需水计算方法	78
3.4.3	适宜生态需水计算方法	78
4	吞吐型湖泊生态需水计算方法	79

4.1	湖泊类型	79
4.1.1	成因分类	79
4.1.2	水文分类	80
4.2	吞吐型湖泊生态需水的组成	80
4.2.1	湖泊水量平衡	81
4.2.2	入湖水量、出湖水量和湖泊水位的生态作用	82
4.2.3	吞吐型湖泊生态需水组成	84
4.3	吞吐型湖泊最小生态需水	85
4.3.1	湖泊最小生态需水的定义和组成	85
4.3.2	湖区最小生态需水	86
4.3.3	出湖最小生态需水	93
4.3.4	湖泊最小生态需水	94
4.4	吞吐型湖泊适宜生态需水	94
4.4.1	生态演变分析法	95
4.4.2	湖区适宜生态需水的估算	96
4.4.3	出湖适宜生态需水的估算	97
4.4.4	湖泊适宜生态需水	97
4.5	小结	98
5	河道与湖泊生态需水研究实例	100
5.1	河道生态需水研究实例	100
5.1.1	流域基本情况	100
5.1.2	最小非生物需水和最小生态需水计算	101
5.1.3	适宜生态需水估算	115
5.2	湖泊生态需水研究实例	120
5.2.1	基本情况	120
5.2.2	生态功能	122
5.2.3	生态问题及生态保护目标	124
5.2.4	最低生态水位	126
5.2.5	最小生态需水	130
5.2.6	适宜生态需水	132

5.3 小结	138
6 结论与展望	140
6.1 结论	140
6.2 展望	144
参考文献	146

绪 论

1.1 研究背景和意义

由于人们未能及时准确识别出水资源开发利用与生态环境演变的内在联系,因而未能正确认识相关社会经济活动的生态后效;同时受经济利益的驱动,加之缺乏正确的生态价值观的指导,使得在各项生产活动中过多偏重了直接经济利益的获取,忽视了生态系统的保护^[1]。这样,在对水资源的竞争使用过程中,形成了城市用水和工业用水挤占农业用水,农业用水挤占生态用水的格局,导致生态用水严重不足,出现了大面积水土流失、水生生态失衡、生物多样性丧失、生态系统功能降低等一系列生态环境问题。这些生态问题迫使我们全面认识生态系统服务功能,研究生态需水的理论和实践。

1.1.1 生态需水被忽略

生态系统是人类生存发展的基本自然条件。它不仅为人类提供直接服务,还为人类提供间接服务。其直接服务为人类提供了商品,如提供食物、医药及其他生产生活资料等。其间接服务是人类从生态系统中得到的非商品服务。这些间接服务包括提供动植物生境、维持生物多样性、调节气候、固定二氧化碳、调节水分、净化水源、疏通河道、防止土地退化、防御疾病、土壤形成、养分循环、精神方面、娱乐与生态旅游、美学方面、激励功能、教育功能、故土情、文化继承等。可以看

出, 人类社会的生存与发展一刻都离不开自然生态系统的间接服务。然而, 由于生态系统的间接服务不是商品, 并不需要人们直接支付其费用, 因此, 往往被人们忽略。水是生态系统的控制性因素之一: 一方面, 水作为生态系统中最活跃的要素, 是决定生物生存的重要条件之一; 另一方面, 在生态系统中, 所有的物质循环都是在水分的参与和推动下实现的。水深刻地影响着生态系统中的物理过程、化学过程和生物过程。由于水生态系统的间接服务功能被忽视, 导致在水资源开发利用等人类活动中, 生态需水被忽视, 水生态系统的间接服务功能退化。

1.1.2 忽视生态需水的结果导致生态恶化

忽视生态需水的结果导致社会经济用水挤占生态用水, 生态系统功能降低, 部分生态系统功能严重衰退。由于我国人口压力大, 水资源时空分布不均匀, 水土配置不协调, 加之在以前的水资源配置中没有考虑生态需水, 在较大范围内存在生态缺水问题, 生态现状严峻, 可持续发展面临挑战。位于淮河、黄河和海河流域的我国华北平原地区, 由于水资源量有限, 人口密集, 水资源开发利用率高, 面临着更为严峻的生态问题。其表现在河流径流减少, 河道断流, 水生态系统受到严重破坏; 河流流量减少, 排污量增加, 河流污染严重; 地下水超采严重, 造成环境地质问题; 湿地萎缩, 湿地生态遭到破坏; 入海水量减少, 海水入侵, 河口生态系统退化等。生态恶化已经制约了社会经济的发展。

1.1.3 对生态需水的再认识

通过水资源管理的多年实践, 人们已经认识到水资源不仅是社会经济发展的重要战略性基础资源, 同时, 也是生态环境系统的重要物质基础, 对生态环境保护具有重要的不可或缺的重要作用。保护和改善生态环境, 是保障社会经济可持续发展所必须坚持的基本方针, 而保证生态需水是实现这一基本方针的重要基础。正是基于认识的提高, 在相关法律法规中, 规定

了对生态系统的保护条款。《中华人民共和国水法》第四、三十、四十条等都明确提出了保护水资源与水生态系统的要求。水利部水资源(2004)316号文件中指出“开展水生态系统保护与修复工作是贯彻落实《中华人民共和国水法》，实现人与自然和谐相处的重要内容，是各级水行政主管部门的重要职责。为此，要在全面总结以往工作的基础上，统一认识、理清思路，逐步建立和完善水生态系统保护与修复工作体系。”生态需水是“保护水资源与水生态系统”和“开展生态系统保护与修复工作”的基础和关键。

然而，生态系统究竟需要多少水？我们应该给生态系统配置多少水？现在都没有公认的答案，还有许多理论和方法值得研究。本书在研究生态需水理论的基础上，探讨适合我国河流湖泊特点的生态需水计算方法。

1.2 国内外研究进展

随着社会经济的发展，水资源开发利用率不断提高，人类对生态系统的干扰不断增强，产生了和水资源开发相关的生态问题。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，对部分河流的干扰程度大大超过了世界上同类自然条件的其他国家和地区，水资源合理利用与生态保护日渐成为突出的水问题。

1.2.1 生态需水研究的发展过程

1.2.1.1 国外生态需水研究的发展过程

20世纪40年代，随着水库的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流量进行了许多研究，主要是关于鱼类生长繁殖和产量与河流流量关系，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河流入海口生态需水的概念。

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,产生了许多计算和评价方法^[2]。20世纪50~60年代期间出现了关于河流生态流量的定量研究和基于过程的研究。一些早期的研究建立了流量和流速、鲑鱼、大型无脊椎动物、大型水生植物的联系。在此期间,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方面^[3]。

1960~1970年,生物对水流改变的响应研究取得了相当进展。水流和生态相联系的代表作是《河流生态与人》一书。然而,那时,河流管理是一门艺术而不是科学。Fraser举例说明:“建议的河流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、审美学等的定量评价。”

在20世纪70年代后期,河道流量增加法(IFIM)的出现,使得河道流量分配方法趋于客观。该法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]。

早期的环境流量评估方法集中在最敏感或者说是在经济和生态上重要的用户上。Hooper和Ottey(1982年)调查了枯水流量和丰水流量的大波动对海底生物群落的影响。Singh(1983年)建议用专用库容来满足鱼类对枯季流量的需求。Tsai Wiley(1983年)把他们的注意力集中在鱼类种群的多样性和组成上^①。Williams和McKellar(1984年)举例说明在水能和水生系统生产力之间的权衡问题。一些研究者报道了确定生态重要性的枯水流量指数方面的研究。

单一目标(例如:为满足鱼类需求)的河流管理不再被看

① Tsai C F, Wiley, M L. Instream flow requirements for fish and fisheries in Maryland. Water resources research center completion report. University of Maryland. 1983

成是完全有效的方法。现在,河流被看作平衡的生态系统,要求建议的河道流量能满足鱼类通道、水温、各种栖息地的维持、泥沙控制、娱乐等多方面的要求。Narayanan 等(1983年)建议用河道某段时间内的多方面需求来评估河道流量。将某段时间内的各种流量需求的最大值定为河道流量需水量,并且必须考虑城市用水和农业用水的竞争。

最近几年引起注意和被接受的一个研究趋势是枯水流量管理的经济问题。一些学者研究了保持一定枯水流量的效益;回顾了保证河流枯水流量在某一水平的经济成本和环境效益的权衡技术^[5]。

1.2.1.2 国内生态需水研究的发展过程

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。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^[6],估算的外流河河道生态需水量为水资源总量的40%。之后,提出了我国21世纪水资源供需的“生态水利”问题^[7]。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研究,提出了针对干旱区特点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^[8]。针对黄河、华北地区河流生态需水进行了研究,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]。“十五”国家攻关项目——中国分区域生态用水标准研究对生态



需水进行了历时 3 年的全面研究。该项研究, 提出了水循环尺度生态效应及其作用和转化理论, 建立了全国分区域生态需水理论和计算方法体系; 构建了生态用水标准技术分析体系, 研究了生态用水分析机制, 开发了系列区域生态需水计算关键技术; 提出了北方半湿润半干旱区四大流域生态需水特征值和不同发展阶段生态用水控制性指标, 开展了内陆河生态圈层结构实验实证分析。

1.2.2 生态需水概念

目前, 河流生态需水没有统一的概念, 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^[11]。

在美国, 生态用水是指服务于鱼类和野生动物、娱乐及其他美学价值类的水资源需求; 美国官方一般把生态用水的概念界定为“能被管理并且可以量化的用水”。在特别需要的地方, 也包括维持季节性河流两岸植被生长的浅层地下水^①。

Gore (1989 年)^[12] 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。Covich (1993 年)^[13] 强调了在水资源管理中要保证恢复和维持生态系统健康发展所需的水量。Gleick^[14] 1996 年提出了基本生态需水量的概念 (basic ecological water requirement), 即提供一定质量和数量的水给天然生境, 以求最小程度地改变生态系统, 保护物种多样性和生态系统的完整性; 同时应该考虑气候、季节变化、现状生态等因素对生态系统的影响, 认为基本生态需水应该是在一定的范围内可以变动的值。在其后来的研究中将此概念进一步升华并同水资源短缺、危机与配置相联系。Falkenmark^② 将绿水 (green water) 的概念从其他水资源中分离出来, 提醒人们注

① 崔树彬. 关于生态需水若干问题的探讨. <http://www.hwcc.com.cn>, 2001.7.16

② 丰华丽. 河流生态环境需水理论方法及应用研究. 河海大学, 2002

意生态系统对水资源的需求。指出水资源的供给不仅要满足人类的需求,而且要满足生态系统的需求。这种“绿色”水包含在雨养农业、林业和天然植被等生态系统中。俄罗斯学者提出了生态径流的概念:指出“生态径流”符合水体的生态学要求,这个径流应当保证在人类活动影响下河流生态系统的完整性。若河道流量小于生态径流,将导致河道生态系统存在的破坏。

国内学者研究的生态需水内容广泛,提出了许多生态需水定义。从广义上来讲,维持全球生物地理生态系统水分平衡所需用的水,包括水热平衡、生物平衡、水沙平衡、水盐平衡等所需用的水都是生态需水^[15,16]。狭义地讲,生态需水是为了维持生态系统的某种质量水平,需要向生态系统不断地提供或保留的水量^[17]。

对于河流,为维护生态系统的天然结构与功能,河流系统生态环境所需水量即是生态需水^[18]。对干旱区的研究认为,绿洲应是干旱区的主体景观。基于此点,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^[19]。

最小生态需水是维系生态环境系统基本功能的一种水量^[20]。按照生态环境需水量的基本特征和表现,将其分为生态需水和生态环境需水两部分^[21]。

1.2.3 生态需水计算方法

生态需水研究主要集中在河流生态需水研究方面。早期的研究是关于河道枯水流量的研究。这个时期主要是为满足河流的航运功能对枯水流量进行研究。随后,由于河流污染问题的出现,开始对最小可接受流量研究。其最小可接受流量除了满足航运功能外,还要满足排水纳污功能。随着河流受人为因素影响和控制的加强,河流生态系统结构和功能遭到破坏,生态可接受流量的研究逐渐展开,其主要是为恢复河流生态系统功能,为满足不同的环境要求而进行生态可接受流量范围的

研究^[22]。

1.2.3.1 河流生态需水计算方法

生态需水计算方法很多，全球生态需水计算方法超过 200 种。由于生态系统的复杂性以及人类对河流生态系统认识有限，没有一种令人满意的通用的方法。

国外河流生态需水计算方法大体上可以分为四类：①历史流量法：蒙大拿法、流量历时曲线法、产水常数法。②水力定额法：湿周法、简化水尺分析法、R2CROSS 法、WSP 水力模拟法等。③栖息地定额法：河道流量增加法（IFIM）、有效宽度（UW）法、加权有效宽度（WUW）法、偏好面积法等。④整体分析法：BBM 法、澳大利亚的整体法等。

上述确定河道流量的方法还可以分为两大类^[23]：标准设定法和非标准设定法。标准设定法确定河流保护所需的最小流量标准。它又可进一步分为非现场类型、栖息地保持类型，包括历史流量法、水力定额法和整体分析法。非标准设定法是栖息地定额法。它并不产生一个流量标准，而只建立水力数据与生物栖息地之间的关系。

在美国，生态用水主要包括四项内容：①联邦和州确定的天然和景观河流的基本流量。②河道生态用水，指用于航运、娱乐、渔类和野生动物保护以及景观等美学价值等的用水。③湿地需水，主要指湿地保护区的需水，包括咸水湿地、微盐沼泽和淡水湿地的需水。④海湾和三角洲的流量，为保持和控制海湾和三角洲的环境包括咸度、入海流量而规定的需水量^①。

河道生态用水必须建立在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。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、航运等河道用水，其中，把河道生态用水作为主要的河道

① 林超，田琦等编译。美国的环境用水 <http://www.chinawater.com.cn/>，2000.5