

洞庭湖生态水文与生态需水研究

郭文献 钱湛 卓志宇 黄伟 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

洞庭湖生态水文与生态需水研究

郭文献 钱湛 卓志宇 黄伟 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

近年来洞庭湖流域出现枯水年干旱季节工程性缺水、局部地区和少数城市资源性缺水和局部河段水质性缺水，水资源开发利用与河湖生态需水保障的矛盾加剧等现象。针对洞庭湖流域主要河湖水生态系统保护存在的主要问题，以及洞庭湖地区水资源条件和水生态特点，开展了洞庭湖生态水文和生态需水研究，并提出了以工程措施和非工程措施相结合的生态基流和生态水位保障措施及对策方案。

本书可供从事生态水利等相关专业的科研和管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

洞庭湖生态水文与生态需水研究 / 郭文献等著. —
北京：中国水利水电出版社，2018.9
ISBN 978-7-5170-6987-4

I. ①洞… II. ①郭… III. ①洞庭湖—区域水文学—
研究 IV. ①P344.264

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第225226号

书 名	洞庭湖生态水文与生态需水研究 DONGTINGHU SHENGTAI SHUIWEN YU SHENGTAI XUSHUI YANJIU
作 者	郭文献 钱 湛 卓志宇 黄 伟 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：(010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话：(010) 88383994、63202643、68545874 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	北京虎彩文化传播有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.5印张 297千字
版 次	2018年9月第1版 2018年9月第1次印刷
印 数	001—500册
定 价	80.00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

近年来洞庭湖流域出现枯水年干旱季节工程性缺水、局部地区和少数城市资源性缺水和局部河段水质性缺水，水资源开发利用与河湖生态需水保障的矛盾加剧等现象。针对洞庭湖流域主要河湖水生态系统保护存在的主要问题，以及洞庭湖各重点流域和地区水资源条件和水生态特点，本书调查评价了洞庭湖主要河湖水文状况、水环境状况、物理形态状况以及水生态状况；综合运用水文统计方法和 IHA-RVA 法定量评估了人类活动对洞庭湖河湖生态水文情势改变程度；以 IHA 软件为平台，分析了洞庭湖环境流组成及其环境流指标变化情况；提出了基于 IHA-RVA 法的河湖最小和适宜生态需水评价方法，综合评价了洞庭湖主要河湖生态需水量；提出了以工程措施和非工程措施相结合的洞庭湖流域生态需水保障措施和对策方案。

本书在编写过程中得到了众多人士的帮助和支持。感谢湖南省水利水电勘测设计研究总院徐贵副院长、姜恒博士以及中国水利水电科学研究院水环境所彭文启所长、付意成高工给予的指导。此外，华北水利水电大学硕士研究生查胡飞、李越、李萌萌参与了本书部分编写工作；编写过程中参考和引用了大量国内外专家和学者的研究成果，在此一并向他们表示感谢！

本书研究工作得到了湖南省重大水利科技项目“湖南省典型河湖生态环境用水保障策略研究”（湘水科计〔2015〕186-11）、国家自然科学基金“水电梯级开发对长江中游重要鱼类生境累积效应及调控机制研究”（51679090）和河南省高校科技创新人才支持计划“梯级水库群多尺度多目标生态调控模型与方法研究”（16HASTIT024）联合资助。

由于作者水平所限，书中疏漏在所难免，恳请各位读者批评指正。

作者

2018年7月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外研究进展	2
1.2.1 河湖生态水文研究	2
1.2.2 河湖生态需水研究	4
1.3 研究内容与技术路线	8
1.3.1 研究内容	8
1.3.2 技术路线	9
1.4 主要创新点	10
第2章 研究区概况	11
2.1 自然地理	11
2.1.1 地形地貌	11
2.1.2 地质条件	11
2.1.3 土壤植被	12
2.2 水文气象特征	12
2.2.1 气象特征	12
2.2.2 水文特征	13
2.3 河流水系特征	15
2.3.1 四水水系	16
2.3.2 三口水系	18
2.3.3 其他河流	19
2.3.4 湖泊	19
2.4 水资源开发利用状况	19
2.5 洞庭湖湿地重要性	20
第3章 洞庭湖流域水生态环境调查评价	21
3.1 主要评价河流与湖泊湿地	21
3.1.1 主要评价河流	21
3.1.2 主要评价湖泊	21
3.2 主要河湖水文调查评价	22
3.2.1 洞庭湖水位变化	22

3.2.2	湘、资、沅、澧四水入湖水量变化	23
3.2.3	荆江三口水文变化	24
3.3	主要河湖环境调查评价	27
3.3.1	近五年洞庭湖水质现状总体评价	27
3.3.2	近五年洞庭湖丰、枯水期水质类别变化特征	29
3.3.3	洞庭湖水体富营养状况	30
3.3.4	四水水质变化趋势	32
3.3.5	荆江三口水质变化趋势	34
3.3.6	主要河湖环境问题诊断	35
3.4	主要河湖物理形态调查评价	36
3.4.1	荆江三口河道冲淤变化	36
3.4.2	洞庭湖泥沙冲淤变化	37
3.4.3	洞庭湖容积变化	37
3.5	主要河湖生物调查评价	40
3.5.1	湘水流域	40
3.5.2	资水流域	41
3.5.3	沅水流域	42
3.5.4	澧水流域	43
3.5.5	洞庭湖	43
3.6	洞庭湖主要水生态问题及影响因素	44
3.6.1	主要水生态问题	44
3.6.2	主要水生态问题影响因素	47
3.7	主要河湖生态系统健康状况评价	48
3.7.1	评价指标体系建立原则与方法	48
3.7.2	河湖健康评价指标体系结构	49
3.7.3	河湖健康评价指标计算方法	50
3.7.4	评价指标标准的确定	52
3.7.5	河湖生态系统健康状况评价模型	53
3.7.6	主要河湖生态系统健康综合评价	56
3.8	小结	58
第4章	洞庭湖流域生态水文情势演变规律	59
4.1	数据资料与研究方法	59
4.1.1	数据资料	59
4.1.2	研究方法	59
4.2	荆江三口生态水文情势变化	62
4.2.1	荆江三口年均流量变化特征	62
4.2.2	河流生态水文指标变化	63

4.2.3	河流生态水文改变度评价	69
4.3	四水生态水文情势变化	71
4.3.1	年均流量变化特征	71
4.3.2	河流生态水文指标变化	76
4.3.3	河流水文改变度评价	95
4.4	洞庭湖生态水文情势变化	98
4.4.1	洞庭湖年均水位变化特征	98
4.4.2	洞庭湖生态水文指标变化	100
4.4.3	河流水文改变度评价	105
4.5	小结	107
第5章	洞庭湖流域环境流量指标分析	109
5.1	环境流量组成定义	109
5.2	环境流量组成的界定	110
5.2.1	主要阈值参数	110
5.2.2	流量事件界定	111
5.2.3	环境流量指标的计算	113
5.3	荆江三口环境流量指标分析	113
5.3.1	太平口(弥陀寺)	115
5.3.2	藕池口(康家岗、管家铺)	116
5.3.3	松滋口(新江口、沙道观)	118
5.4	四水环境流量指标分析	119
5.4.1	湘水(湘潭)	119
5.4.2	资水(桃江)	122
5.4.3	沅水(桃源)	124
5.4.4	澧水(石门)	125
5.5	洞庭湖环境流量指标分析	127
5.5.1	东洞庭湖(城陵矶)	129
5.5.2	西洞庭湖(南咀)	130
5.5.3	南洞庭湖(杨柳潭)	132
5.6	小结	133
第6章	洞庭湖流域生态需水评估	135
6.1	河湖生态保护目标	135
6.1.1	河流生态需水保护目标	135
6.1.2	湖泊生态水位保护目标	136
6.2	河湖生态需水计算方法	137
6.2.1	河流生态需水计算方法	137
6.2.2	湖泊生态水位计算方法	141

6.2.3	河湖生态需水满足度计算	143
6.3	洞庭湖流域生态需水量计算分析	144
6.3.1	主要河流生态流量计算	144
6.3.2	洞庭湖生态水位计算	149
6.4	河湖生态需水保障程度分析	152
6.4.1	现状保障程度	152
6.4.2	历史保障程度	158
6.5	小结	168
第7章	洞庭湖流域生态需水保障对策措施	169
7.1	工程措施	169
7.1.1	生态补水水源工程	169
7.1.2	四口水系综合整治工程	172
7.1.3	河湖水系连通工程	173
7.1.4	城陵矶综合枢纽工程	173
7.2	非工程性措施	175
7.2.1	实行最严格水资源管理制度、实施流域水务一体化管理	175
7.2.2	加强湖南省生态用水调查、建立宏观调控机制	175
7.2.3	优化配置水资源、建立河湖生态用水危机管理机制	176
7.2.4	建立流域性水工程统一调度机制、优化水工程调度方案	177
7.2.5	开展全面节水行动、推进节水型社会建设	178
7.2.6	全面实施控污治污措施、保障洞庭湖区水质	179
7.3	主要河湖生态需水保障对策措施	181
7.3.1	三口生态流量保障	181
7.3.2	四水生态流量保障	182
7.3.3	洞庭湖生态水位保障	182
7.4	小结	184
第8章	结论与展望	186
8.1	结论	186
8.2	展望	187
	参考文献	188

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景和意义

湖南省河网密布，5km 以上的河流 5341 条，总长度 9 万 km，其中流域面积在 55000km² 以上的大河 11117 条。省内除少数属珠江水系和赣江水系外，主要为湘、资、沅、澧四水及其支流，顺着地势由南向北汇入洞庭湖、长江，形成一个比较完整的洞庭湖水系。湘水为湖南最大的河流，也是长江七大支流之一；洞庭湖是全省最大的湖泊，跨湘、鄂两省。全省天然水资源总量为中国南方 9 省之冠。^[1]

湖南省降水丰沛，水资源总量较丰富，但年内和地域分布不均匀，地表水的利用需要一定的工程措施加以调节，才能保证与需水的时间和空间相吻合。从近年实际发生的情况看，湖南省的缺水特征主要表现为枯水年干旱季节工程性缺水、局部地区和少数城市资源性缺水和局部河段水质性缺水。局部地区水污染严重。由于人均水资源量少，年内年际变化大，分布不均匀且与生产力布局不相匹配，造成水资源开发利用与河湖生态需水保障的矛盾加剧。^[2] 经济社会发展大量挤占河道内生态环境用水和超采地下水，导致许多地区出现河流断流、干涸，湖泊、湿地萎缩，河口淤积萎缩、地下水位持续下降、地面沉降等一系列与水有关的生态环境问题。

进入 21 世纪后，按照新形势下的发展需求，国家更加重视资源和环境问题。2007 年的十七大提出了生态文明建设，到 2012 年十八大和 2017 年十九大，生态文明的战略定位持续提升。水利工作积极落实相关的工作部署，逐步转变过去片面服务社会经济发展的治水模式，从节水型社会建设、西北干旱内陆天然绿洲保护、最严格水资源管理到最新的河长制等，水资源和水生态大保护的势头越来越强劲。可以说，我国的治水已经由古代的防水（防洪为主）和近代的用水（开发利用为主），进入到全面保水（水资源和水生态保护）的新时代。^[3]

新的治水方向以水资源和水生态保护为主导，重点解决长期过度开发导致的河湖水空间占用、水质恶化、用水过度及超载、用水效率效益低下、河流廊道结构破碎化及生态系统退化等一系列资源和生态问题，助力生态文明及美丽中国建设。同时，也不忽视社会发展需求，要继续提升服务质量及水平，解决部分地区的水资源不平衡及群众对水安全需求满足的不充分问题。新方向的核心是水天平的再平衡，即由历史上过度地倾斜于社会经济端向自然生态端的再平衡，实现“人与自然和谐共生”。十九大的报告提出“加大生态系统保护力度，实施重要生态系统保护和修复重大工程，优化生态安全屏障体系，构建生态廊道和生物多样性保护网络”。大建大引大用大排和高堤大库等近代治水模式已经过时，新时代水方面的伟大工程应该是兼顾社会经济水安全前提下的国家河流湖泊修复与保护，让河湖重现生机和活力。

水是不可替代的独特的自然资源，保护水资源、修复水生态是建设生态文明的重大任



务和伟大工程，是中华民族永续发展的千年大计。今后我国的治水思路、理念、任务、体制等都要继续大胆地改革创新，适应新时代的发展需要。到 21 世纪中叶，要把我国的河流湖泊变成一条条自然健康的生态廊道、美观秀丽的风景线、绿色发展的高地，践行绿水青山就是金山银山的发展理念。

本书旨在维护和保障河湖生态环境用水需求，针对典型河湖（四水水系、荆江三口、洞庭湖）水生态系统保护存在的主要问题，根据湖南省各重点流域和地区水资源条件和水生态特点，合理调配水资源，保障生态用水需求。

开展湖南省典型河湖生态环境用水保障策略研究是贯彻落实十九大精神和 2011 年中央 1 号文件精神，建设社会主义生态文明的重要举措；是实现水资源合理开发和有效保护，推动湖南省水生态保护与修复工作的重要技术支撑；同时也为湖南省第三次水资源调查评价工作及全面推进河长制一河一策工作提供了技术支撑。

根据已了解的情况，目前针对湖南省水资源及水生态的研究和设计主要集中在水资源配置及优化调度方面，对于重点区域水环境、水生态，特别是关于生态基流、生态水位及敏感生态需水方面的研究基本还是空白。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 河湖生态水文研究

20 世纪中后期，生态水文学理论的发展达到巅峰，在河流生态学研究不断提出一系列新的概念和理论，从不同角度理解了河流生态水文学的理论框架，这些理论的发展奠定了河流生态水文的坚实基础。1954 年，Huet 等^[4]提出了地带性的概念（Zonation Concept, ZC），是描述河流生态系统完整性的第一次尝试。地带性概念描述了河流的划分情况，即按照鱼类种群或大型无脊椎动物种群特征将其分为不同区域，不同的分区反映了水体不同的温度和流量对水生生物的影响。1980 年，Vannote^[5]提出了河流连续体的概念（River Continuum Concept, RCC），描述了河流从发源地到入海口之间，整个河流长度内的生物群落整体性结构特征和功能，是对河流生态学理论的一大发展，影响颇深。该理论指出在自然水系中，河流的每个角落都有生物群落的存在，且它们沿河流的流向在发生着变化，构成时空连续体。同时描述了整条河流水力梯度的连续性；分析了各个河段水文、水力条件的变化引起的生物生产力的变化；介绍了不同颗粒级配有机物质的运输、遮阴效应影响以及河流底质组成对食物网的影响等。河流连续体概念强调河流沿纵向的变化，忽视了河道与基底、高地和洪泛区之间的联系和功能。1983 年，Ward^[6]提出了河流非连续体的概念（Serial Discontinuity Concept, SDC），主旨在于强调梯级布置的大坝对河流生态系统的影响。河流非连续体概念设定了两组参数来评价大坝工程对河流生态系统的影响，并强调了大坝工程对其结构和功能的改变。其中一组参数命名为“非连续性距离”，另外一组称为强度参数（Intensity），反映了人工调蓄水量的行为对河流生态系统造成影响的强烈程度。随后，该理论得到了进一步的发展和应用。1986 年，Frissel 等^[7]提出了流域的概念（Catchment Concepts, CC），意在考查河流与整个流域时空尺度的关系，在之前理论研究的



基础上增加了流域时空尺度的内容,最后强调并建议了河流栖息地的分级框架,包括河道、池塘、浅滩和小型栖息地之间的分级。1989年, Junk^[8]提出了洪水脉冲的概念(Flood Pulse Concept, FPC),强调了洪水脉冲是洪水对河道和洪水滩区生态系统中生物生存、发展和相互作用的主导力量。从而成为河流生态学理论上的一项重大突破,为以后河流规划整治项目和河流生态修复工作起到了举足轻重的作用,解决了相关领域中的不少难题。

各国学者在不断实地观测验证河流连续体理论的同时,也不断对其补充和完善。Ward^[9]提出了将河流生态系统由纵向连续扩展到四维系统,分别为垂向、横向、纵向和时间,其中垂向是指河道至基底,横向指洪泛区至高地,纵向指上游至下游,时间指每个方向随时间的变化分量,详细地说明了河流生态系统与流域之间的相互作用,并着重指出要把河流生态系统的开放性、连续性和完整性作为以后研究工作的重点。使RCC后来成为河流生态学中一个具有深远影响的理论,为广大学者对河流生态理论的研究提供了深厚的理论支撑。1997年Poff^[10]提出了自然水流范式(Nature Flow Paradigm, NFP)的概念,强调了未被干扰状态下自然水流的重要地位,其对河流生态系统的完整性和原有生物多样性具有关键意义。Poff认为动态的水流条件对河流的泥沙运动和营养物质运输产生重要影响,自然水流的关键非生命变量表示为水量、频率、时间、持续时间和过程变化率,认为可以利用这些因子之间的相互关系来描述整个水文过程。在河流生态修复工程中,可以将未受干扰的天然流水文参数作为生态修复的参照。^[11]此外,还有一些在河流生态学研究极为重要的概念,即营养螺旋的概念(Resource Spiraling Concept, RSC)^[12]、河流水力的概念(Stream Hydraulics Concept, SHC)^[13]、河流生产力模型的概念(Riverine Productivity Model, RPM)^[14]、近岸保持力的概念(Inshore Retentivity Concept, IRC)^[15]以及地带分布的概念(Zonation Concept, ZC)^[16]等。

值得说明的是,上述的概念模型仍存在些许不足之处。生态系统是一个由各个生态要素综合作用的整体,各生态要素不可能独立存在,它们之间的作用是相互交融的。同时生境要素也会产生多种综合效应,并且与各生物因子相互作用。以上介绍的几种概念模型是将生态环境要素与生态系统的结构和功能之间的关系作为研究前提,体现了河流生态系统的局部特征,而未能从综合性和整体性角度将生态系统的综合特征充分显现出来。

为了弥补现存模型的不足,2008年董哲仁^[17]提出了“河流生态系统结构功能整体模型”(Holistic Concept Model for the Structure and Function of River Ecosystems),创建了河流水流流势、水文情势、地貌景观这三大类生态环境因子与河流生态系统的结构和功能之间的相关联系。强调了河流生态系统各个组成之间的相互关系,也包括与结构关系相对应的物质循环、生物生产、信息流动等生态系统功能特征。这也是我国学者对河流生态系统的一项伟大创新,但其实际应用价值还有待进一步考究。

在河湖生态水文评价方法方面,Richter等^[18]在1997年提出了一种评估水文情势变化程度的指标体系IHA(Indication of Hydrologic Alteration),IHA法包括月流量值、年水文极值大小和历时、年极值水文状况发生时间、高低流量脉冲的频率及历时和水流条件变化率及频率等5类指标体系,共包括33个指标,每个指标代表不同的生态意义。Richter等人采用IHA法分析了洛诺克河上四座大坝建坝前后的生态水文情势的变化。澳大利亚的Growth等^[19]提出了一套包括7类指标体系共91个指标的水文情势评价指标体



系, Growns 等人采用这类指标体系分析了澳大利亚东南部 107 条河流长系列数据的水文特征变化。郭文献等^[20]采用 RVA 方法对丹江口水库建坝前后汉江中下游襄阳水文站历年水文数据进行了分析。分析结果表明, 丹江口水库建坝后, 下游的水文情势改变程度为中度改变, 下游水文情势的变化影响了生物多样性。徐天宝等^[21]采用澳大利亚的 Growns 提出的生态水文的指标体系方法分析了葛洲坝江段建坝前后的生态水文特征。分析表明, 葛洲坝建坝后对江段的涨水落水过程有一定的影响, 而涨水落水过程是刺激长江中下游中华鲟和“四大家鱼”等鱼类产卵繁殖的必要条件, 所以葛洲坝建坝后对该江段鱼类产卵繁殖造成了一定的不利影响。冯瑞萍等^[22]以长江干流关键点为研究对象, 通过 IHA 法计算水文参数, 从各控制站点的水文变化角度评估了长江流量的变化和生态环境影响。王俊娜等^[23]以三峡-葛洲坝梯级水库作为研究对象, 采用水文变化指标法和变化范围法, 评估梯级水库正常运行对生态水文因子的改变程度及其生态环境影响, 分析认为梯级水库的运行改变了河流水流组成模式, 对 5 月、10 月的水流影响较大。张洪波等^[24]以渭河流域的 21 个水文站点为研究区域, 以生态水文联系为分区因子, 通过水文改变指数法及变异范围法评估不同时间段的水文改变程度, 并通过层次聚类法及主成分分析法对渭河流域进行生态水文分区, 反映不同区域内其生态水文联系综合变异情势及生态水文联系变异的分布特征。赵伟华等^[25]通过流量过程变异程度、高流量频率等 8 个指标构建物理完整性评价指标, 并分析蓄水前后长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区关键河段的物理完整性, 揭示了向家坝水库蓄水对保护区水文情势如流量脉冲频率及持续时间、水深及流速多样性、底质中值粒径等具有一定影响。综观我国学者在河湖生态方面研究, 多为水利工程对河流水文情势的影响, 缺乏对河流生态效应、水生生物种群资源、生物多样性、河流生态系统结构和功能以及河流生态系统具体修复措施的研究。水利工程建设与运行过程中需要结合重点生态保护因素, 以确保连续性和稳定性的生态过程, 但本阶段相关的研究少之又少。因此还有很多方面需要进一步深入研究。

1.2.2 河湖生态需水研究

国外针对河流生态需水的研究起源于 20 世纪 40 年代, 美国鱼类和野生动物保护协会研究河道流速与鱼类生长的关系, 提出了“最小生物流量”的概念。20 世纪 50 年代大量的研究建立了流量、流速对生态系统的影响, 主要研究的水生生物有鱼类、大型无脊椎动物、大型水生物植物。20 世纪 60 年代末到 70 年代, 提出了许多保护栖息地和鱼类的河流生态需水量的评价模型, 形成了许多成熟的计算方法^[26]。据统计, 截至 2003 年, 关于河道内生态流量的计算方法接近 207 种, 方法大致分为 4 类, 即水文学法、水力学法、栖息地模拟法以及整体分析法^[27-29]。水文学法包括蒙大拿法(或者称 Tennant 法)、7Q10 法、Texas 法、RVA 法等^[30-34]; 水力学法包括水力湿周法、R2CROSS 法、CASMI 法等^[35-36]; 栖息地模拟法包括物理栖息地模拟法、IFM 法、RCHARC 法、PHABSM 法、Basque 法等^[37-39]; 整体分析法包括南非的 BBM (Building Block Methodology) 法和澳大利亚的整体评价法 (Holistic Approach) 等^[40-42]。水文学法又称为标准设定法或快速评价法, 是最简单、最具代表性的一类方法。该类方法主要以长系列的历史监测数据为基础, 采用固定流量(年平均或日平均)百分数的形式给出环境流量推荐值, 通过这些推荐值来



表示维持河流不同生态环境功能的最小环境流量。该方法适用于设定初级目标和国家性战略决策，至今仍然是应用最为广泛的方法。水力学法一般需要对河流的断面进行实地调查，才能确定有关的水力参数，使得该法操作比较困难，这也是 20 多年来该方法一直发展比较缓慢的一个原因。但是，该方法可以为栖息地模拟法和整体研究法提供研究方法和手段，属于向栖息地模拟法和整体研究法过渡的方法，终将融合到这两种方法之中。栖息地模拟法强调水文、物理形态和生物信息的有机结合，并产生动态的水文和栖息地时间序列数据，能够用这些数据来验证不同的生态环境用水对目标生物生命周期和聚集习性的影响，最具科学性，但对数据要求较高。整体分析法从河流生态系统整体出发，根据专家意见综合研究流量、泥沙运输、河床形状与河岸带群落之间的关系，使推荐的河道流量能够同时满足生物保护、栖息地维持、泥沙沉积、污染控制和景观维护等功能。因此，该类方法需要组成包括生态学家、地理学家、水文学家、水文学家等在内的专家队伍。整体分析法的基本原则是保持河流流量的天然性、完整性、季节变化性。将水生生物生存繁衍、生物群落重新分布，河流生态结构破坏对应不同的流量。该类方法强调流域系统的整体性，符合流域综合管理的要求，是生态环境需水计算方法的巨大进步，但对该法对数据的要求依然很高。根据对上述方法的评述可知，水文学法简单、方便，但考虑因素单一，准确性较差；水力学法虽然考虑了水力学因素，但所需参数需要实测，不易操作；生境模拟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，由此计算出和推荐的流量范围值，并不符合整个河流的管理要求。表 1.2.1 比较了生态需水评价方法。

表 1.2.1 生态需水评价方法比较

评价方法		评价方式	生态基础	优点	缺点
水文学法	Tennant	水文指标	天然流量和生态系统状况的关系	快速、数据容易满足，不需要现场测量标准	需要验证、未能考虑高流量
	流量历时曲线				
	水文指标法				
	7Q10 法				
	RVA 法				
水力学法	湿周法	河流水力参数	生物生产力与河道湿周面积的关系	简单的现场测量	体现不出季节性
	R2CROSS 法				
	河道形态分析法				
栖息地模拟法	IFIM 法	生境适宜性曲线	生境与生态系统之间的关系	理论依据充分	未考虑整个河流生态系统的的需求，操作复杂
	CASIMIR 法				
整体分析法	BBM 法	河流生态系统整体性	天然流量与生态系统整体性的关系	尺度研究生态整体性，可与流域管理规划相结合	需要数据资料复杂，资源消耗大
	DRIFT 法				
	ELOHA 法				

河流生态需水的发展经历由单一目标发展为考虑多方面需求，并根据某时段的各种需求确定需水量的过程；在计算方法上呈现多样化，在空间尺度上对纵向、横向、垂向和时间域构成的思维动态系统进行研究；研究对象也发展到湖泊、湿地、河口三角洲等方面。近年来，国际间的合作交流越来越紧密，如 FRIEND (Flow Regimes form Experimental and Network Data) 行动计划等。该计划主要应用国家流量（水文）数据库以及不同的研



究方法预测河流的高低流量。例如,澳大利亚与中国开展水权合作项目,将整体研究法的思想方法应用于生态需水量研究的国际间的合作,使得先进的研究技术和手段应用到更多的国家和地区,取得了丰硕的成果。

国内开展河流生态需水研究起步较晚,于20世纪80年代开始对旱地植被生态需水进行研究,关于生态需水的研究逐渐展开。^[42]汤奇成在针对塔里木盆地水资源与绿洲关系的研究中提出生态环境用水概念。20世纪90年代后期,生态环境用水进入了较全面的研究阶段,随着生态水文学学科理论的不成熟,针对我国的生态问题,国内开展了不同尺度、不同研究对象的生态需水研究,并取得了很大的进步。刘昌明根据水资源与生态用水关系,提出了水热平衡、水盐平衡、水沙平衡和水量平衡原理,探讨了生活、生产与生态用水之间的共享性;杨志峰等在分析流域生态系统、功能模块的复杂性的基础上,提出了流域生态需水具有整体综合性、模块复杂性、空间连续性、时间差异性以及自然、人工双控性的特性,并结合全国河流生态水文分区体系和分区方法,为从流域尺度开展生态环境需水量提供研究基础,李丽娟等以海滦河为例研究了河流系统生态环境需水,认为河流系统生态需水包括天然和人工植被、水(湿)生生物栖息、河口地区生态平衡、水沙平衡、水盐平衡、稀释净化能力、景观功能、合理的地下水位等8个方面。^[43]王西琴等从水环境污染问题出发,探讨了河道环境需水的内涵,指出河道最小环境需水量是指在河流的最基本功能不受破坏的情况下,在河道中常年流动着的最小水量阈值。严登华等^[44]将河流水划分为生态水、资源水和灾害水,认为河流系统的生态需水是指维持河流正常的生态结构和功能所需要的一定水质最小水量,包括河道系统和洪泛区两大系统的生态用水,并计算了东辽河流域河流系统生态需水量。杨志峰等^[30]从河流生态需水的基本内涵出发,对评价方法进行了研究,提出了生态环境需水量分级和计算方法,并对淮海地区的生态环境需水量进行了评估。于龙娟等^[45]研究了河流生态径流内涵,认为天然条件下随机变化的水文过程不会对河流的物种和种群结构产生根本性的影响,而影响的只是生物量及物种种群大小的变化。在天然状态下,任何一种径流过程都是生态径流过程,并确定了生态径流过程的准则,生态径流不是一个常量,应保持天然条件下河流的水文特征。在此理论方法研究基础上,陈竹青^[46]利用建立的逐月最小生态径流计算法和逐月频率法研究了长江中下游生态径流过程,为长江中下游生态安全提供保障。徐志侠^[47]从径流与河床关系入手,研究了径流与河床形态分析法,用以计算河道最小非生物需水;从径流、河床和生物关系着手,研究最小生态需水计算方法——河道生物空间最小需求法;研究用鱼类产卵所需流速估算河道鱼类产卵期适宜生态需水的方法。最后计算了颍河与涡河最小非生物需水、最小生态需水和适宜生态需水。宋兰兰^[48]采用水文指数法和湿周法计算了广东省河道生态环境需水。苏飞^[49]研究了河道最小和适宜生态需水量计算方法,并且以辽河为例进行了计算。英晓明^[50]研究了IFIM计算方法,采用River2D模型计算了中华鲟产卵生境和流量之间的关系。陈敏建等^[51]构建了多参数生态需水(最小生态需水、适宜生态需水、洪水期生态需水)体系并分析其内涵,组成了能反映河流生态系统健康的流量等级,运用该计算方法计算了黄河流域中下游生态需水量。吉利娜^[52]对河道生态需水计算的水力学方法中的湿周法和流速法进行了深入研究,并用于南水北调西线工程流域。樊健^[53]探讨了基于生态目标的河流生态径流计算方法以及RVA法确定河流生态径流过程的计算方法,并



以广东东江河源水文站断面为例,进行了实证研究。郭文献等^[54]采用改进河道湿周法以及生态流速-流量法分别计算了长江中下游河道最小和适宜生态流量,该结果为长江中下游河流生态环境保护提供参考。赵长森等^[55]以淮河上、中、下游的典型河段为研究区域,将传统的水力半径法进行改进,计算闸坝河段类型的生态环境流量。李亚平^[56]依据徒骇河流域的特征,构建了徒骇河流域的分布式水文模型,为量化未来时间段的生态环境需水指明了方向。何婷^[57]针对淮河流域中下游典型河段水生态问题,在分析不同流量的生态学意义的基础上,基于洪水脉冲理论计算淮河典型河段生态水流过程。巩琳琳^[58]以渭河流域为研究区域,提出了基于生态的水资源合理配置原则和机制,并分析了满足生态需水的途径。刘玉安^[59]构建了 SHRD 模型,为估算流域生态需水满足度提供了全新的解决思路。商玲等^[60]通过基于物理机制水循环模拟技术构建了 HIMS 流域分布式水文模型,利用最小流量平均估算了基本生态需水。董哲仁等^[61]针对取水河段的生态问题,采用新型生态水文限度法计算河流生态需水,为生态需水计算提供了新的解决思路。根据以上研究可知,近几年来我国在河道生态需水研究方面也进行了大量研究,但仍有许多方面需要研究。首先,我国学者在河流生态需水的定义、内涵的理解上还存在较大差异,需要进一步研究,对河流生态需水的内涵进行界定;其次,我国关于河流生态需水评价方法的研究在很大程度上采用国外的研究方法,然而每种研究方法均存在一定的适用条件和不足,因此,需要根据我国河流的自身特点,提出适合的评价方法;最后,在研究内容方面需要进一步加强,如河道流量与鱼类生息环境关系的研究,河道流量、水生生物与 DO 三者之间的关系研究,水生生物指示物种与流量之间的关系研究,水库调度考虑生态环境、生态环境水量的优化分配的研究,环境生态用水与经济用水关系的研究等方面。

由于社会经济的快速发展,使得社会经济对水资源的需求与日俱增,并且对水资源的索取与破坏也在增加,导致与生态用水的矛盾日渐突出,出现了河流断流、水环境恶化、湿地萎缩等诸多生态问题。我国制定了诸多生态环境需水相关导则与指南,见表 1.2.2。

表 1.2.2 我国生态环境需水相关导则或指南

年份	导则或者指南	主要内容
2005	建设项目水资源论证导则(试行)	建设项目取水应保证河流生态水量的基本要求,生态脆弱地区的建设项目取水不得进一步加剧生态系统的恶化趋势
2006	水利水电建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南(试行)	包括河道外植被生态需水量计算法、维持水生态系统稳定需水量计算法、维持河流水环境质量的稀释自净水量计算法、河道内输沙需水量、河道蒸发需水量计算法
2006	《江河流域规划环境影响评价规范》(SL 45—2006)	包括河道内生态需水计算的一般规定,并指出河道内的生态需水包括 3 个部分,即河道生态基流、水生生物的需水量以及水流泥沙的冲淤输沙需水量等,河道内生态需水量建议采用 Tennant 法计算
2010	河湖生态需水评估导则(试行)	总结出比较成熟的方法,如水文学法、Tennant、90%保证率最枯月平均流量法、流量历时曲线法、水力学法、湿周法及 R2CROSS
2010	水工程规划设计生态指标体系与应用指导意见	水工程规划与设计时生态水文要素应考虑流域尺度、河流廊道尺度与河段尺度的生态基流与敏感生态需水
2010	水利水电建设项目水资源论证导则(征求意见稿)	对于有最小下泄流量要求的建设项目,该导则建议提出不间断最小下泄流量的工程措施、调度管理及监测措施



随后,相关学者提出天然水文情势在维持河流生物多样性和生态系统完整性方面具有重要的作用。河流在不同的流量模式包括极端低流量、低流量、高脉冲流量、小洪水、大洪水等对于生态系统要素生物多样性、栖息地环境、河道洪泛区的形态具有不同的作用。尽管我国在河流生态需水研究中取得了很大的进步,但目前中国河流的环境水流研究仍存在一些问題,主要归纳为以下几个方面。

(1) 加强交叉学科理论发展。河流生态环境涉及水文学、水力学、生态学以及景观学等众多学科,各学科之间的理论都与河流生态密不可分,但现阶段我国河流生态环境需水研究的发展还不足以支撑全面考虑满足多种因素生态需水的要求,因此迫切希望能够通过交叉学科之间的渗透,完善制定河流生态需水相关理论,实现河流生态环境需水的全面可持续发展。

(2) 时空尺度协调问题。由于不同时空尺度下的生态环境需水规律可能存在差异,因此在生态环境需水实践管理中,如何科学合理地实现不同时空尺度之间的转换,制订适宜的水资源利用方案,并实现与水资源调度及规划之间的耦合,是一个亟待解决的关键科学问题。

(3) 未考虑气候对水文过程的影响及生物自身的适应能力。生态环境流量不仅受到人类活动干扰的影响,同时也受到气候变化的影响,虽然现阶段的生态环境需水研究已经意识到气候变化对生态环境流量产生一定的影响,但研究还不够深入全面,一般认为自然水文情势自身的演变对生物有一定的正面意义,完全按照历史资料配水也不是保证河流生态系统健康完整的最佳解决方案,正确衡量气候及水文过程的自然演变及生物自身耐受程度的影响才是科学制订河湖生态环境需水的有效策略。

(4) 生态资料数据库的建立。由于我国基础设施建设落后,缺乏必要的生态监测资料,生态基流的计算大多依托于水文数据,生态物种监测资料是确定生态目标的前提,也是科学合理计算生态基流的基础。因此,创建生态资料数据共享库是摆脱生态需水方法限制的前提,也是推动国内生态需水研究发展的关键一步。

1.3 研究内容与技术路线

1.3.1 研究内容

1. 洞庭湖流域水生态环境调查评价

本书对洞庭湖流域水生态环境状况进行了调查评价,分析了江湖关系变化下湖南省主要河流以及洞庭湖湖区水文状况、水环境状况、物理形态状况以及水生态状况,并对主要河湖水生态问题及影响因素进行了综合评价。

2. 洞庭湖流域生态水文情势演变规律

综合运用水文统计方法和 IHA-RVA 法定量评估了人类活动对荆江三口、四水以及东、西、南洞庭湖湖区生态水文改变程度。

3. 洞庭湖流域环境流量指标分析

以 IHA-RVA 软件为平台,选取湖南省四水、三口和洞庭湖湖区主要水文站的逐日流量、水位资料,依据各水文站点的突变点分为两个变动水文序列,分析水文突变前后洞



洞庭湖流域环境流量组成及其环境流量指标变化情况。

4. 洞庭湖流域生态需水评估

在综合分析河湖生态需水计算方法基础上,提出基于 IHA-RVA 法的河湖最小和适宜生态需水评价方法,提出荆江三口、四水以及东、西、南洞庭湖的最小和适宜推荐生态需水过程,并对河湖生态需水结果和保障程度进行综合评价。

5. 洞庭湖流域生态环境用水保障措施

为保障洞庭湖流域生态环境用水,以满足洞庭湖区域水资源调度和河流生态健康的目标,并促进人水和谐,以尽可能地促进社会经济与生态环境的共同和谐发展,提出以工程措施和非工程措施相结合的保障措施和对策方案。

1.3.2 技术路线

本书针对洞庭湖流域存在的生态问题,以生态水文学理论为指导,采取将定性和定量评价相结合,综合分析河湖生态水文情势变化,借鉴《河湖生态需水评估导则》和《河湖生态环境需水计算规范》,提出河湖生态需水评价新方法,对洞庭湖流域生态需水进行综合评价,重点分析现状和历史河湖生态需水保障程度,提出河湖生态需水保障的工程和非工程措施。其技术路线如图 1.3.1 所示。

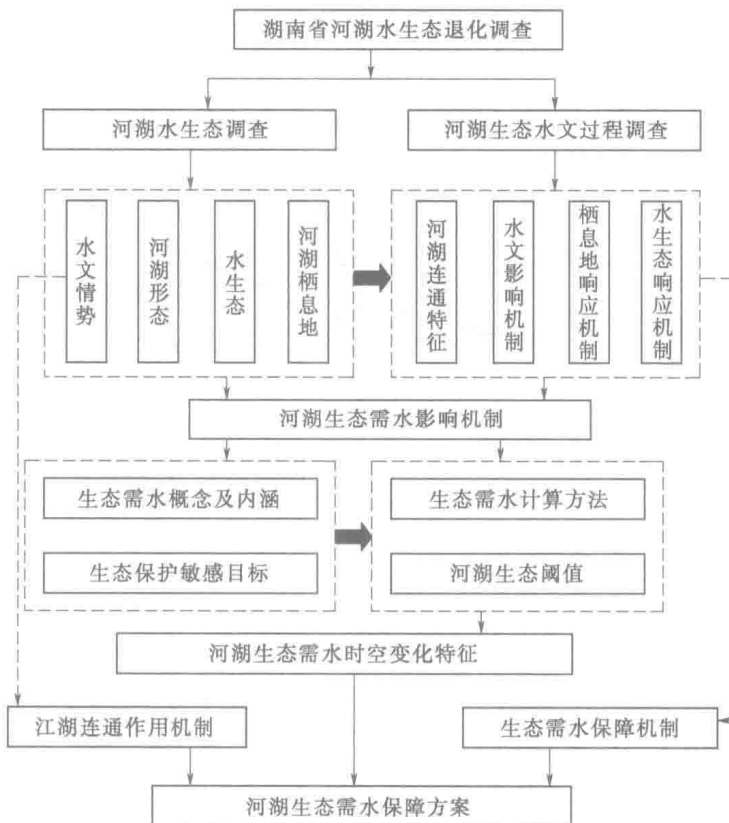


图 1.3.1 研究技术路线