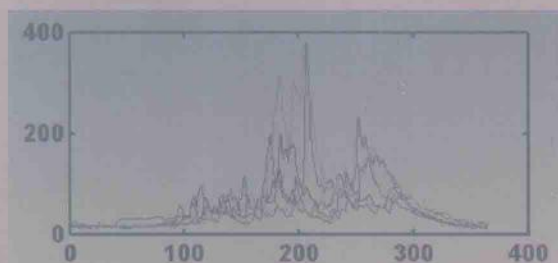


河道内生态需水量计算 生态水力半径模型 及其应用

门宝辉 刘昌明 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

本书得到国家自然科学基金青年基金 (No. 50809027)、中央高校基本科研
专项资金项目 (11MG15)、清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室
开放基金 (No. sklhse-2013-A-03)、武汉大学—水资源与水电工程科学国家重点
实验室开放基金 (No.2009B050)、中国博士后基金 (No. 2005037430) 的资助

河道内生态需水量计算 生态水力半径模型 及其应用

门宝辉 刘昌明 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是在南水北调西线工程坝址下游河道内生态需水量研究的基础上撰写而成的, 主要内容包括调水河流下游河道水力几何形态分析、河道内径流补给来源分析、河道内径流变化的影响因素分析、径流序列的分形特征及其趋势分析、生态水力半径模型及其河道内生态需水量的计算等, 形成了一套河流系统河道内生态需水量计算的模型计算系统, 反映了目前我国河流生态系统河道内生态需水量计算的最新研究成果。

本书可供水利(水务)、水文水资源、水生态、水环境等规划设计与科研等部门的科技工作者、规划管理人员使用, 也可供大专院校相关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

河道内生态需水量计算生态水力半径模型及其应用 / 门宝辉, 刘昌明著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 11

ISBN 978-7-5170-1515-4

I. ①河… II. ①门… ②刘… III. ①河流—生态环
境—需水量—研究 IV. ①X143

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第302747号

书 名	河道内生态需水量计算生态水力半径模型及其应用
作 者	门宝辉 刘昌明 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 (发行部)
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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 16.25印张 309千字
版 次	2013年11月第1版 2013年11月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	65.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

河流生态系统是陆地水生态系统中非常重要的自然界生态系统之一。古代人们逐水而居，尼罗河流域、两河流域、印度河流域和黄河流域孕育了世界四大文明古国。从某种意义上讲，人们在通过认识、改造、开发、利用和保护河流的过程中创造了今天的现代文明世界。人类在发展社会经济和开发利用水资源的过程中曾一度忽略了河流、湖泊等生态系统本身对水的需求，出现了社会经济用水挤占生态环境用水的局面，出现了过度开发利用水资源的阶段，并将社会经济各个环节所产生的工业、农业、生活的污水直接排放到河流中，使经济发达地区的河流成为了排水通道，使原本健康的河流生态系统的演进规律发生了变化，导致了河流断流、河湖水面面积锐减、水质污染严重、河流水生生物减少、海水倒灌、土壤次生盐碱化等一系列严重生态与环境问题。随着科学技术的发展和社会的进步，人类逐渐认识到人与水和谐共存的重要性，在开发、利用水资源以满足社会经济发展需要的同时，要保护和修复被人类干扰的河流、湖泊等水生态系统。

《中华人民共和国水法》中明确规定：“开发、利用、节约、保护水资源和防治水害，应当全面规划、统筹兼顾、标本兼治、综合利用、讲求实效，发挥水资源的多种功能，协调好生活、生产经营和生态环境用水。”《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中把保护和修复自然生态系统作为一项主要任务，水利部自2004年开始，组织开展了水生态系统保护与修复的相关工作。2012年党的十八大报告以“大力推进生态文明建设”为题，独立成篇地系统论述了生态文明建设，将生态文明建设提高到一个前所未有的高度。生态文明建设是关系人民福祉、关乎民族未来的长远大计，要求把生态文明建设放在突出地位，融入经济建设、政治建设、文化建设、

社会建设的各方面和全过程。报告明确指出：“建设生态文明，实质上就是要建设以资源环境承载力为基础、以自然规律为准则、以可持续发展为目标的资源节约型、环境友好型社会。”水利部2013年发出了水资源〔2013〕1号文件《水利部关于加快推进水生态文明建设工作的意见》，意见中明确提出了水生态文明建设的重要意义，“水是生命之源、生产之要、生态之基，水生态文明是生态文明建设的重要组成部分和基础保障”。

水作为河流的组成部分，在河流生态系统演进过程中发挥着不可替代的、非常重要的决定性作用，要使河流生态系统保持健康的水平、要使自然界保持一个良性的水循环状态，在满足生产和生活等社会经济用水的基础上，必须首先考虑满足河流生态系统本身对水的需求，包括水量、水质等。

近年来，在国家自然科学基金项目“南水北调西线工程坝址下游河道内生态需水量研究（50809027）”、中国博士后科学基金项目“基于MODIS遥感数据的流域生态需水量研究（2005037430）”、中央高校基本科研业务费项目“变化条件下流域生态需水及水资源优化配置研究（11MG15）”、清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室开放基金“面向生态的流域水资源优化配置研究（sklhse-2013-A-03）”等支持下，对调水河流下游河道内生态需水量进行了研究，提出了一种水文学与水力学相结合的河道内生态需水量的计算方法，即生态水力半径模型。为了体现研究的系统完整性，还补充了调水河流下游河道水力几何形态、河道内径流补给来源、河道内径流变化的影响因素以及径流序列的分形特征及其趋势分析等相关研究内容，形成了一套河流系统河道内生态需水量计算的模型计算系统，反映了目前我国河流生态系统河道内生态需水量计算的最新研究成果。

全书共分10章。第1章绪论——阐述了南水北调西线工程调水区河道内生态需水研究的背景及意义，综述了目前生态需水研究的国内外进展，提出了本书研究的主要内容、需要解决的关键问题、预期所要达到的目标及其研究的技术路线。第2章调水区概况——

主要从自然概况、地形地貌、地质构造、土壤与植被、气候特征、河流水系、径流以及鱼类和野生动物等方面简要概述调水区的自然地理概况，从人口分布、耕地面积、有效灌溉面积、粮食产量、农牧渔业产值、工业产值等方面对调水区的社会经济状况进行了较为详细的阐述。第3章调水河流下游河道水力几何形态分析——采用 Leopold 所提出的水力几何形态关系，研究南水北调西线调水区各水文站断面的水力几何形态的年际变化规律、水力几何形态关系（包括河宽~流量、平均水深~流量、平均流速~流量、过水断面面积~流量）中系数与指数的关系，初步确定各水文站断面的宽深比~流量之间的关系，并对横断面的特点、横断面的稳定性进行了阐述。第4章调水河流径流补给来源的初步分析——选取南水北调西线一期工程下游的朱倭、朱巴、绰斯甲和足木足4个水文站的径流资料及其同期的降水、气温等数据，采用灰色关联分析方法，对调水河流的径流补给来源进行了初步分析；采用同位素水文学方法对调水区河流水的氢氧同位素的含量以及氘过量参数来表征径流中大气水、地表水和地下水等各种水的成分组成，以此来初步判断河流内径流补给来源的可能性。第5章调水河流河道内径流变化的影响因素分析——以泥渠河为例，利用朱巴站1961—2010年的降水、径流等水文资料及色达的气温等气象资料，通过计算水文和气象要素的变差系数、完全调节系数、集中度和集中期、峰型度、丰枯率以及气候倾向率等参数，分析了南水北调西线一期工程调水区影响径流变化的水文与气候因子。第6章调水河流径流序列的分形特征及其趋势分析——在介绍分形理论的产生和发展、分形的定义及其特征的基础上，利用 ArcGIS 扩展模块 HawthTools 中的 Line Metrics 计算南水北调西线调水河流上朱巴、道孚、甘孜、雅江和足木足等水文站月流量序列的分维数，探讨流量与其分维数的关系；并采用赫斯特提出的分形统计的方法——重标度极差法对以上5个水文站历史流量序列的赫斯特系数 H 进行了计算，还对流量的未来变化趋势进行相应的分析。第7章河道内生态需水量计算方法介绍——从水文学、水力学、栖息地和综合方法等4方面对目前国内

外河流生态需水计算方法进行了简要的总结和概括。第8章生态水力半径模型——界定了生态流速和生态水力半径的概念，提出了一种同时考虑河道信息（水力半径、糙率、水力坡度）和维持某一生态功能所需河流流速的水力学方法，即生态水力半径模型，找出了该模型的关键参数是确定生态水力半径所对应的河道过水断面面积，重点推导了抛物线形过水断面与水力半径之间的关系。这种新方法的计算不仅能更好地适应鱼类对流速的要求，而且可用于其他生态问题有关的生态水流（如输运泥沙和污染自净）的计算等。第9章调水河流河道内生态需水量计算及分析——采用水文学方法中的Tennant法、水力学方法中的湿周法，以及水文学与水力学相结合的生态水力半径模型对南水北调西线一期工程调水河流下游泥渠河朱巴、鲜水河道孚、雅砻江干流甘孜、雅江以及大渡河支流足木足河足木足站等典型控制断面的河道内生态需水量进行了计算。第10章结论与展望——概括总结了本书研究的主要结论并对未来研究进行了展望。

在本书撰写的过程中，得到了华北电力大学可再生能源学院、中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环与地表过程重点实验室的领导与老师们的大力支持，书中内容也汲取了参考文献的丰富营养，在此一并表示衷心的感谢。

鉴于河流生态需水的复杂性，其理论和方法仍需进一步深入研究，加之时间和作者认识水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。（联系地址：102206 北京 华北电力大学可再生能源学院；E-mail：menbh@126.com）。

著 者

2013年8月于北京

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 背景及意义	1
1.2 国内外研究现状及分析	2
1.3 研究内容	15
1.4 研究目标	17
1.5 拟解决的关键问题	17
1.6 采用的方法	17
1.7 研究的技术路线	18
第 2 章 调水区概况	19
2.1 自然概况	19
2.2 社会经济概况	36
2.3 小结	43
第 3 章 调水河流下游河道水力几何形态分析	44
3.1 概述	44
3.2 横断面水力几何关系	46
3.3 沿程水力几何形态关系变化规律	67
3.4 横断面特点	68
3.5 断面河相关系	70
3.6 河道横向稳定性	71
3.7 小结	73
第 4 章 调水河流径流补给来源的初步分析	74
4.1 概述	74
4.2 灰色系统理论	75
4.3 同位素水文学方法	78
4.4 调水河流径流补给来源分析	91

4.5	小结	96
第 5 章	调水河流河道内径流变化的影响因素分析	97
5.1	概述	97
5.2	数据资料	98
5.3	研究方法	99
5.4	泥渠河地表水资源的变化特征	102
5.5	气候因子对地表水资源的影响分析	108
5.6	小结	115
第 6 章	调水河流径流序列的分形特征及其趋势分析	117
6.1	概述	117
6.2	分形理论	118
6.3	数据资料	124
6.4	河流流量序列的分形特征分析	125
6.5	河流流量序列的趋势分析	130
6.6	小结	133
第 7 章	河道内生态需水量计算方法介绍	134
7.1	水文学方法	134
7.2	水力学方法	138
7.3	栖息地方法	143
7.4	综合方法	145
7.5	小结	146
第 8 章	生态水力半径模型	148
8.1	基本概念	148
8.2	模型的构建	150
8.3	应用实例	155
8.4	小结	159
第 9 章	调水河流河道内生态需水量计算及分析	161
9.1	断面的选择	161
9.2	典型年的选取及数据资料准备	162
9.3	Tennant 法	166
9.4	湿周法	175
9.5	生态水力半径模型	182

9.6 输沙需水量的计算	207
9.7 小结	213
第 10 章 结论与展望	215
10.1 结论	215
10.2 展望	216
参考文献	218

第1章 绪 论

本章阐述了南水北调西线工程调水区河道内生态需水研究的背景及意义，较为详细的综述了目前生态需水研究的国内外进展，提出了本书研究的主要内容、需要解决的关键问题、预期所要达到的目标及其研究的技术路线。

1.1 背景及意义

近年来，随着我国经济社会的快速发展，人民生活水平提高，生态意识增强，水利水电工程开发建设规模逐渐扩大，引发了社会对水利工程生态影响问题的争论。特别是围绕大坝对生态环境的影响和利弊得失，不少人提出了一些疑问和担忧。2005年8月由水利部发展研究中心和“今日中国论坛”组委会共同主办的“水利工程生态影响”论坛会议在北京正式召开了，原水利部部长汪恕诚作了重要讲话（汪恕诚，2005），在讲话中明确指出“任何一项水利工程其本质都应该是生态工程，水利工程在改变自然的同时不能以破坏生态为代价，保护生态是水利工作的应有之义。树立和落实科学发展观，按照人与自然和谐相处的理念，认识和处理水利工程生态影响问题，要求水利工作者比以往、比任何人都更加重视生态与环境问题。我国是发展中国家，解决我国水资源问题、能源问题，保障经济社会发展，还必须抓紧兴建一大批水利水电工程”。“在今后的水利工作中，将继续高度重视生态问题，把改善和修复生态作为水利工作的重要任务，保护河流的健康生命，认真对待和科学处理水利工程对生态的影响问题”。2007年10月15日，中国共产党第十七次全国代表大会在北京召开，胡锦涛在中共十七大报告中把建设生态文明作为实现全面建设小康社会奋斗目标的新要求提出来，这是中国共产党第一次将生态文明作为一项关系到社会主义建设全局的重要战略任务加以明确。2011年新年伊始，国务院发布了2011年中央一号文件——《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》，文件中着重指出了新形势下水利的战略地位：“水利是现代农业生产不可或缺的首要条件，是经济社会发展不可替代的基础支撑，是生态环境改善不可分割的保障系统，具有很强的公益性、基础性、战略性。加快水利改革发展，不仅事关农业农村发展，而且事关经济社会发展全局；不仅关系到防洪安全、供水安全、粮食安全，而且关系到经济安全、生态安全、国家安全。”

而且提出了最严格的水资源管理制度,即建立用水总量控制制度、用水效率控制制度、水功能区限制纳污制度、水资源管理责任和考核制度,要确立“三条红线”,第一条红线是水资源开发利用控制红线,抓紧制定主要江河水量分配方案,建立取用水总量控制指标体系;第二条红线是用水效率控制红线,坚决遏制用水浪费,把节水工作贯穿于经济社会发展和群众生产生活全过程;第三条红线是水功能区限制纳污红线,从严核定水域纳污容量,严格控制入河湖排污总量。强化水资源统一调度,协调好生活、生产、生态环境用水。2012年,胡锦涛在党的十八大报告提出大力推进生态文明建设,必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念。将生态文明建设放在如此突出、如此重要的地位加以阐述、强调、谋划,这在党的历史上是第一次,具有特别重大的现实意义和深远的历史意义。这进一步昭示出党加强生态文明建设的意志和决心,标志着党对自然规律及人与自然关系的再认识取得了重要成果。

南水北调工程是我国一项跨世纪的水利工程,目前南水北调东线、中线工程已经开工,西线工程现正在进行项目建议书工作。西线工程规划从长江上游的通天河、雅砻江、大渡河调水 170 亿 m^3 ,以补充黄河水量的不足并解决其上游青海、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西等西北 6 省(自治区)的严重缺水问题。西线工程规划分为三期,本着由低海拔到高海拔、由小到大、由近及远、由易到难的规划思路,选择达曲—贾曲(自雅砻江支流达曲开始引水,通过引水枢纽和隧洞串联雅砻江支流泥渠河、大渡河支流色曲、杜柯河、玛柯河、阿柯河,穿过大渡河与黄河的分水岭到黄河支流贾曲)联合自流线路为第一期工程,该方案计划年调水量 40 亿 m^3 ,输水到黄河。就引水点而言,这个调水量占引水坝址处河川径流量的比例达 65%~70%,也就是说,调水后引水坝址下游河道的水量,只有原水量的 30%~35%(谈英武,2002)。而且调水工程下游将出现一段减水河道,剩余的径流量能否维持这 6 条河流河道内生态系统的平衡,就需要研究并估算调水区河道内的最小生态径流量。研究调水工程下游河道内的生态需水量,对于确定调水工程的合理规模以及研究调水工程对调水区局地生态与环境的影响(刘昌明,1996、1997、2002a、2002b)等具有重要的现实意义,为南水北调西线工程的实施提供技术支撑。

1.2 国内外研究现状及分析

1.2.1 国外研究现状及分析

1.2.1.1 河流生态与环境需水的研究

国外对河流生态需水的研究主要是确定其最小流量或最佳流量。最小流量或最佳流量只是一个范围,这一范围考虑河流系统恢复和保护的需要,以便维

持河流生态系统的功能。实际上,最小或最佳流量与生态、环境需水类似,只是生态与环境需水比最小或最佳流量有更广泛的内涵,它不止局限于对水生生态系统的描述,也适用于陆地生态系统。在国外,对其他生态系统的需水研究较少(Baird, 1999; 丰华丽等, 2002a)。

早期对河流枯水流量的研究,主要是为了满足河流的航运功能,随后是关于最小可接受流量的研究,主要是为了满足排水纳污的环境用水需要。近些年,逐步开始研究生态系统可接受的流量变化,其目的主要是为了恢复河流生态系统的整体性功能(丰华丽等, 2002b; 王西琴等, 2002)。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,也估计了水生生物、游览、水力发电、航运等河道内用水。其中,以生态与环境用水作为主要的河道内控制流量。在估计每一个水资源分区内的水生生物用水量时,他们以分区河段出流点的月流量作为判断的依据(黄永基等, 1990)。

White (1976) 为产卵、饲养和鱼道定义了微生态环境指标,利用这些指标和水力模型预测了流量变化对渔业的影响。Bovee (1982) 提出的河道内流量增量法(Instream Flow Incremental Methodology, IFIM) 是预测最小保护流量的一种方法。IFIM是一套技术,它用于评价典型河段的水流型式,并将这些型式与所关心的目标物种的水力偏爱(即偏爱流速、深度、底质)相关联,同时建议使用鱼类、底栖生物及其他河内用途(如游船等)适配曲线的方法来确定流量。通常把可用栖息地曲线上的拐点(此处栖息地价值随流量减少而迅速下降)作为维持目标生物种群完整性或寿命期的最小可接受流量点。Petts (1984) 在《蓄水河流对环境的影响》一书中,对河流流量确定方法进行了综述,主要内容包括:根据河道物理形态、无脊椎动物和鱼类对水质的忍耐能力,来确定最小和最佳的流量,确定河流流量最简单的方法是采用年平均流量法,较为复杂的方法则考虑了汛期大流量、冲刷深槽、补给沼泽地或促进鱼类产卵和迁移活动等。但研究针对的只是某一个所关心的物种,没有同时考虑多种生物流量需求。研究表明,只有在综合考虑一定数量的鱼类群体、底栖大型无脊椎动物的生长发育、淤积物的冲刷和良好河边环境的维持等因素,才能更为合理地、有效地确定所需的河流流量。Gore (1989a、1989b) 研究认为种群多样性与流速多样性之间存在着显著的相关性,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。

在确定河流的流量时,为了考虑生态系统的完整性,应把整个流域的生态需要与河流流量变化的特征相联系,包括河流纵向上的联系(防止断流),洪泛平原流量和维持河道的最小或最适宜的流量(Petts, 1996)。在此基础上,确定了河流系统可接受流量变化的两个步骤。为了保证水资源的可持续利用,

首先应满足河流、湖泊和湿地生态系统对水量的需求 (Raskin 等, 1996; Whipple, 1999), 但作者并没有给出明确的概念和计算方法。

除了对河流系统生态需水开展研究外, 国外还对其他生态系统的需水进行了研究。Gleick (1998、2000) 提出了基本生态需水量 (Basic Ecological Water Requirement) 的概念, 即提供一定质量和数量的水给自然生境, 以求最大程度地保护物种多样性和生态系统的完整性。其概念的实质是生态建设 (恢复) 用水, 缺乏天然生态系统维系自身发展所需的生态用水内涵。在其后来的研究中将此概念进一步升华并同水资源短缺、水资源危机与水资源配置相联系。Falkenmark (1999) 将绿水 (Green Water) 的概念从其他水资源中分离出来, 提醒人们重视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, 而且也要满足生态系统的需求。为了克服水资源开发的盲目性, 人类需要把注意力从“蓝色”水的社会利用部门转向利用“绿色”水的生态系统中来, 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。Baird 等 (1999) 针对各种类型生态系统 (旱地、林地、河流、湖泊、淡水湿地等) 的基本结构和功能, 较详细地分析了植物与水文过程的相互关系, 强调了水作为环境因子对自然保护和恢复所起到的重要作用。Baird 尽管没有将生态需水量作为研究对象, 但许多相关的思想、原理和方法在很大程度上推动了生态需水的研究进展。

专家们对河流生态需水量的研究成果和主张, 得到了管理者的认可, 并开始以新的观念来管理流域水资源的分配。河流生态系统对水的需求, 要求管理者重新认识水资源的配置, 把生态系统需水作为合理的、正当的需求。在维尔、帕恩格和塞特康比布克河, 已采取了减少枯水期引水量和大幅度减少地下水开采以恢复河川基流的补救措施, 并取得了明显的效果 (英国国家河流管理局, 1999)。近年来, 在许多国际会议上, 政府官员及水利专家都一致认为, 需要一个新的解决方案, 此方案的核心就是要确保生态系统的完整性和有效性。关键性的第一步是制定水生动植物体系的生态标准。在缺水地区, 为了满足生态标准, 需要鼓励大力节约用水, 同时要求更加合理地进行水资源配置。

从以上相关研究的综述可知, 国外对生态需水的研究始于河流生态系统, 20 世纪 90 年代以前对生态需水量 (当时称为河流流量需求) 的研究主要侧重于河道生态系统。研究主要集中在根据河道物理形态、所关注的鱼类、无脊椎动物等对流量的需求, 来确定最小及最佳的流量。但大部分集中在所关心的个别鱼类与河流流量关系的研究上。同时还提到了考虑洪泛平原等因素来综合管理河流流量的思想, 但未进行翔实、具体的研究。另外, 在确定河流流量的过程中, 未充分考虑生态系统的完整性。20 世纪 90 年代后的研究, 不仅研究维持河道的流量, 包括最小的和最适宜的流量, 而且还考虑了河流流量在纵向上

的连续, 并充分认识到了洪泛平原流量在保护河流生态系统中的重要性。从总体上讲, 考虑了河流生态系统的完整性及河流生态系统可接受的流量变化。但研究的时间尺度、空间尺度不明确, 缺乏河流流量和水质耦合的研究。另外, 研究的方向不再局限于河流生态系统类型, 也扩展到了湖泊、湿地等其他生态系统类型, 但对其他生态系统的需水研究成果较少, 仅仅是概念上的描述。此外, 管理者和决策者也已认识到了生态需水的重要性。

1.2.1.2 国外的主要研究方法

在国外, 由于对生态需水的研究主要集中在河流生态系统上, 所以研究成果和方法也主要体现在这一方面。目前, 河流生态需水研究方法主要有: 河道内流量增加法 (In-stream Flow Incremental Methodology, IFIM) (Gore J A 等, 1991; Stalnaker C B 等, 1994), 是一种应用最广泛的方法。它由一套分析工具和计算机模型组成, 用来评价河道内流量的变化对渠道结构、水质、温度和所选物种适宜栖息地的影响; 物理栖息地模拟模型 (Physical Habitat Simulation Model, PHABSIM) 是 IFIM 的计算机程序包, 它是关于河道内物理变量 (深度、流速、底质和盖度) 变化、特殊物种栖息地及研究生物的生活阶段的一套计算机模型; 蒙大拿法 (Montana Method, Tennant) (Tennant D L, 1976a、1976b) 是一种统计分析的方法, 它建立在历史流量统计的基础上, 将多年平均径流量的百分比作为一定保护目标下的流量需求。流量持续时间曲线分析法 (Flow Duration Curve Analysis, FDCA) 是利用流量持续时间曲线的特殊百分点提供逐月最小流量。水力学评价法 (Hydraulic Rating Methodology) 是在生境~流量关系的基础上进行研究的, 它包括湿周、水面宽度、流速、深度和底质类型等多个水力学参数。这些水力学参数是沿着河流的横断面, 在不同流量条件下获取的, 进而建立了流量和生境之间的关系, 用于预测适宜河道内栖息地数量的变化。它与 IFIM 的区别在于没有考虑生物因素的响应。此外还有基于水文学参数的 7Q10 法 (Caissie D 等, 1998)、湿周法 (Ubertini L 等, 1996; Christopher J 等, 1998)、基于水力学参数的 R-2CROSS 法 (Mosely M P 等, 1982)、Texas 法 (Mathews R C 等, 1991)、加权有效宽度法 (Weighted Usable Width Method, WUWM)、加权可利用栖息地面积法 (Weighted Usable Area, WUA) 和偏爱面积法 (Preferred Area Method, PAM) 等研究方法 (Khalid K 等, 1995)。但是传统 IFIM 法分析的重点是目标物种而非整个河流生态系统, 因此, 它的输出结果也非整个河流管理计划所要求的流量推荐值 (King J M 等, 1994)。同时由于定量化的生物信息较难获得, 也大大限制了该方法的使用 (Orth D J 等, 1982)。综合法中典型代表性的方法就是 BBM (the Building Block Methodology) 法, 目前该法在南非得到了应用 (King J M 等, 1994; Rowntree K 等, 1998; King J 等,

1998)。BBM 法集中于流量的变化对河流生态环境的影响分析,需要对流量大小变化与相应的河流生态系统进行长年的观测,对不同流量的界定非常关键,整个过程需要由水生生态学家到水利工程师等多学科团体的参与,较复杂,使用起来比较困难。

目前所采用的方法只适用于确定河流生态系统的流量,主要是河道内流量的确定。对于其他类型的生态系统,生态需水的研究才刚刚起步。在国外,一般以水资源管理部门对生态系统的配水来代替需水。实际上,以配水代替需水,并没有从生态系统本身对水的需求角度来考虑,往往对生态系统不利。

1.2.2 国内研究现状及分析

在我国,系统研究生态与环境需水的工作尚处于起步阶段,对生态环境需水的概念、内涵与外延等还没有统一的定义(杨振怀等,1990;贾宝全等,1998;谢新民等,1999),对其计算方法的研究也不够深入、完善,基本停留在定性分析和宏观定量分析阶段(王西琴等,2002)。其研究大致可分为四个阶段:

(1) 20世纪70年代末,我国学者开始研究探讨河流最小流量问题。主要集中在河流最小流量确定方法的研究方面。长江水资源保护科学研究所的《环境用水初步探讨》是其典型代表。

(2) 20世纪80年代,针对水污染日益严重的问题,国务院环境保护委员会《关于防治水污染技术政策的规定》指出:在水资源规划时,要保证为改善水质所需的环境用水,主要集中在宏观战略方面的研究,对如何实施、如何管理处于探索阶段。

(3) 20世纪90年代,针对黄河断流、水污染严重等问题,水利部提出在水资源配置中应考虑生态环境用水。如在全国水功能区划中考虑了生态与环境用水问题。刘昌明(1999)提出了我国21世纪水资源供需的“生态水利”问题。

(4) 21世纪初期,我国生态与环境需水量研究进入了蓬勃发展的时期,涵盖了河道内的基本生态需水、输沙需水、河道自净需水等,以及河道外的植被需水、河口区(湿地)需水、水利工程下游河道内生态需水等许多方面,下面对其主要研究成果进行归纳和分析。

1.2.2.1 对生态与环境需水量研究的综述

丰华丽等(2002a、2003)、王西琴等(2002)、宋进喜等(2003)、张丽等(2003)、刘昌明(2004)、姜德娟等(2004)、王珊琳等(2004)、赵西宁等(2005)对生态与环境需水量的研究进行回顾和总结,并提出了关于生态与环境需水量研究可能存在的问题及今后的研究方向。朱玉伟等(2005)对黄河河口的生态需水量研究进行了总结,并提出要保护和维持河口三角洲湿地环境,

协调人类活动与生态、资源、环境之间的关系，做到水资源可持续发展，而确定其生态与环境需水量是核心问题。何永涛等（2005）针对植被生态需水量的研究进行了综述并对将来的研究提出了展望，指出在区域植被生态需水量的计算中，最关键的是对单位面积、单位时间内某一植被类型生态需水定额的确定。杨志峰等（2003a）、徐志侠等（2004a）对河流生态与环境需水量的计算方法进行了综述，并对各种计算方法进行了对比研究。李俊峰等（2005）在总结国内外关于生态和环境需水研究的基础上，界定了玛纳斯河流域生态与环境需水的内涵。

吴洁珍等（2005）将生态环境需水引入生态环境建设规划中，使得建设工作在满足农业需水、工业需水和生活需水三部分的同时也满足自然生态系统本身的需水要求，即生态环境需水，使社会经济环境可持续发展。首先阐述了生态环境需水与生态环境建设的概念，并分析了两者具有一致性，会产生相互影响的结果。接着对现在的生态环境需水在生态环境建设规划及相关规划中的应用情况作了详细介绍，在前面的基础上提出在生态环境建设规划中引入生态环境需水的重要性和紧迫性：①配置足够的生态环境需水是生态环境建设顺利进行的关键所在；②引入生态环境需水为水资源管理提供新思想、新途径，促进生态环境建设规划的实施；③合理的生态环境需水是生态环境建设规划的实现目标；④生态环境建设设定目标反过来又促进生态环境需水的研究。王根绪等（2005a）根据国际上生态水文学发展的主要方向，归纳了现阶段流域生态水文学的生态水文过程与生态水资源两大主要学科领域及其进展。全球变化下流域生态过程对水文循环加剧的应对策略，基于土地利用与覆盖变化的流域水土界面可持续管理将是未来流域生态水文过程研究的前沿核心问题。以生态需水量为主，分析了生态水资源领域存在的问题，评述了河道内与河道外生态需水量评价的方法与问题，建立更加适用的生态需水量评价体系是目前生态需水量研究的关键问题，一个全新的面向生态系统的水资源评价和规划的理论体系是未来人类社会可持续发展的基础。

1.2.2.2 对生态与环境需水量理论及概念的研究

汤奇成（1989）提出了与生态需水直接相关的生态用水问题。他认为“为了保证塔里木盆地各绿洲的存在和发展，必须要保护各绿洲的生态与环境，而生态与环境的保护离不开水，这部分水可统称为生态用水”。他认为“对生态与环境用水很少或根本没有安排，这种情况必须彻底加以改变，否则干旱区绿洲外的环境将日益恶化；应该在水资源总量中专门划出一部分作为生态与环境用水，另一部分为国民经济各部门的用水，包括工业、农业及城市生活用水等”（汤奇成，1995）。刘昌明等（1989）在《华北平原农业水文与水资源》一书中提出了海河流域的水、盐平衡与水、沙平衡。以后许多专家学者对生态需