闸坝控制下河流生态调度研究

◎宋刚福　著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

闸坝控制下河流生态调度研究

◎宋刚福　著

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn
·北京·

内 容 提 要

本书结合作者多年来的项目研究结果进行系统的整理与归纳。全书共分9章，主要内容包括：闸坝生态调度研究的背景、意义、研究现状以及研究内容和方法；研究区域基本概况；闸坝对河流生态影响及评价；闸坝生态调度理论方法研究；北运河闸坝生态调度方式研究；闸坝下游河流水动力及水质演变过程研究；北运河闸坝运行管理模式研究；闸坝生态调度综合效益评价；结论与展望。

本书可作为环境工程、水资源管理等学科研究者及高校师生的参考用书，也可作为水利部门、环境保护部门的管理者以及相关领域研究人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

闸坝控制下河流生态调度研究 / 宋刚福著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2019.5

ISBN 978-7-5170-7713-8

Ⅰ. ①闸… Ⅱ. ①宋… Ⅲ. ①水闸—影响—河流—生态环境—环境管理—研究②挡水坝—影响—河流—生态环境—环境管理—研究 Ⅳ. ①TV6②X522.06

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第095729号

责任编辑：陈 洁　　封面设计：王 伟

书　名	闸坝控制下河流生态调度研究 ZHABA KONGZHI XIA HELIU SHENGTAI DIAODU YANJIU
作　者	宋刚福　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：mchannel@263.net（万水） sales@waterpub.com.cn 电话：（010）68367658（营销中心）、82562819（万水）
经　售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排　版	北京万水电子信息有限公司
印　刷	三河市元兴印务有限公司
规　格	170mm×240mm　16开本　12印张　170千字
版　次	2019年6月第1版　2019年6月第1次印刷
印　数	0001-3000册
定　价	54.00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

党的十九大报告明确提出：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，提升生态系统质量和稳定性。河流生态系统是自然界中最重要的系统之一，是陆地生态系统和水生态系统间物质循环的主要通道。随着社会经济发展，人口的迅速增加，人类活动对河流生态的影响越来越大，特别是在河流上大规模筑坝建闸拦截河流水量（发电、灌溉、控制洪水等），改变了河流原有的物质场、能量场、化学场和生物场，直接导致河流的连通性降低、生态系统破坏严重、水污染加剧等一系列问题。为了较好地解决这一问题，尽可能地减少闸坝的建设和运行给河流生态造成的影响，逐步恢复河流生态健康，本书以闸坝控制下的北运河为例，开展闸坝对河流生态影响、闸坝生态调度的相关理论的研究，分析不同闸坝调度情况的河流水动力及水质特性，探讨闸坝生态调度管理理论，并对闸坝生态调度进行综合效益评价。主要研究成果如下：

（1）从河流水文，水力学特性，河流物理、化学特性，河流生态系统结构、河流区域生态响应等4个方面详细阐述了闸坝的建设和运行对河流产生的生态影响。并以北运河为例，通过对闸坝对河流影响因素的分析，建立了河流闸坝生态影响评价体系，运用改进的拉开档次方法对北运河河流生态影响进行评价，提出改变现有闸坝调度方式，开展闸坝生态调度的必要性。

（2）构建了闸坝生态调度基本理论体系，包括闸坝生态调度的内涵理解、调度内容、调度原则、调度目标及表征形式，并以北运河为例，运用了基于水功能区划的河流生态需水量计算方法，分时段、分区域、分等级计算北运河河流生态环境需水量，建立了以防洪为约束条件，以河流生态用水为保障的北运河闸坝生态调度模式。

（3）通过建立闸坝群联合调度模型，对北运河闸坝群不同调度运

行方式下下游河道水量水质进行了模拟，探讨分析了不同调度情况下的河流水动力及水质特性，为北运河闸坝生态调度的实施提供技术支持。

（4）将企业生产管理领域的绿色供应链管理模式引入到闸坝管理运行中，构建了闸坝生态调度绿色供应链管理模型，设计了北运河闸坝生态调度绿色供应链管理系统结构图，并对闸坝生态调度绿色供应链管理进行了阐述，提出了建设性对策。

（5）从生态环境、社会效益、资源、工程技术、经济5个方面建立了闸坝生态调度综合效益评价指标体系和闸坝生态调度综合效益评价模型，运用多层次模糊综合评价的方法对北运河闸坝生态调度进行了综合效益的评价。

本书得到国家水体污染控制与治理科技重大专项（2008ZX07209-002）、河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目（2018GGJS077）、河南省科技攻关项目（182102310814）、河南省水环境模拟与治理重点实验室的支持和资助。

由于时间仓促，作者水平有限，本书难免存在错误、疏漏之处，恳请广大读者批评指正，不吝赐教。

作　者

2019年3月

目 录

前言

第 1 章 绪论 …… 1

1.1 研究背景和意义 …… 2

1.1.1 研究背景 …… 2

1.1.2 研究意义 …… 5

1.2 国内外研究现状 …… 6

1.2.1 闸坝对河流影响研究 …… 6

1.2.2 闸坝生态调度研究 …… 10

1.3 研究的主要内容及技术路线 …… 18

1.3.1 研究内容 …… 18

1.3.2 研究方法及技术路线 …… 19

第 2 章 研究区域基本概况 …… 21

2.1 自然地理 …… 22

2.1.1 北运河流域范围 …… 22

2.1.2 自然环境概况 …… 23

2.1.3 社会经济概况 …… 24

2.1.4 水系结构 …… 25

2.2 主要水利工程 …… 28

2.2.1 主要闸坝情况 …… 28

2.2.2 堤防工程 …… 31

2.2.3 大黄堡蓄滞洪区 …… 32

2.2.4 主要水文站基本情况 …… 33

2.3 水资源开发利用状况 …… 34

2.3.1 流域供水 …… 34

2.3.2 流域排水 …… 35

2.3.3 再生水利用情况 …… 35

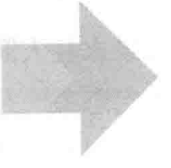
2.4 流域生态环境现状 …… 37
2.4.1 河道断流 …… 37
2.4.2 地质生态环境恶化 …… 38
2.4.3 水污染加剧 …… 38
2.4.4 生物资源现状 …… 38
2.5 本章小结 …… 39
第3章 闸坝对河流生态影响研究 …… 40
3.1 闸坝对河流生态的影响 …… 41
3.1.1 闸坝对河流水文、水力学特性的影响 …… 41
3.1.2 闸坝对河流物理/化学特性的影响 …… 43
3.1.3 闸坝对河流生态系统结构的影响 …… 44
3.1.4 闸坝建设的区域生态响应 …… 46
3.2 北运河河流生态影响评价 …… 47
3.2.1 改进的“拉开档次”法 …… 48
3.2.2 评价指标体系确定 …… 51
3.2.3 评价标准及权重系数的确定 …… 54
3.2.4 北运河生态影响评价结果及分析 …… 56
3.3 本章小结 …… 60
第4章 闸坝生态调度理论方法研究 …… 61
4.1 闸坝生态调度的内涵 …… 62
4.2 闸坝生态调度的内容 …… 63
4.3 闸坝生态调度原则 …… 66
4.4 闸坝生态调度目标确定及表征 …… 67
4.5 本章小结 …… 69
第5章 北运河闸坝生态调度方式研究 …… 70
5.1 北运河闸坝现行调度方案 …… 71
5.2 北运河闸坝生态调度原则 …… 73
5.3 北运河闸坝生态调度目标的确定 …… 74
5.3.1 北运河河流生态需水量计算方法确定 …… 74
5.3.2 北运河生态需水量计算 …… 76

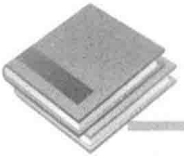
5.3.3 计算结果分析 …… 81
5.3.4 北运河闸坝生态调度目标 …… 83
5.4 北运河闸坝生态调度方式拟定 …… 84
5.4.1 泄流方案情景设置 …… 84
5.4.2 闸坝生态调度运行方式 …… 85
5.5 本章小结 …… 85
第6章 闸坝下游河流水动力及水质演变过程研究 …… 86
6.1 相关研究进展 …… 87
6.2 水动力—水质模型原理 …… 88
6.2.1 河流水动力模型 …… 88
6.2.2 河流水质模型 …… 90
6.3 北运河闸坝下游河流水动力特性和水质特性 …… 91
6.3.1 调度边界条件和约束条件 …… 91
6.3.2 调度工况设计 …… 98
6.3.3 水动力学特性 …… 99
6.3.4 水质特性 …… 120
6.4 本章小结 …… 124
第7章 北运河闸坝运行管理模式研究 …… 126
7.1 北运河现行闸坝运行管理模式 …… 127
7.2 绿色供应链管理 …… 128
7.2.1 供应链 …… 128
7.2.2 绿色供应链管理内涵 …… 129
7.2.3 绿色供应链管理特征 …… 130
7.2.4 绿色供应链管理基本思想 …… 131
7.3 闸坝生态调度管理与绿色供应链管理 …… 132
7.3.1 适应性分析 …… 132
7.3.2 优越性分析 …… 134
7.4 闸坝生态调度绿色供应链管理结构 …… 135
7.4.1 结构设计原则 …… 135
7.4.2 北运河闸坝生态调度绿色供应链结构框架 …… 136

7.5 闸坝生态调度绿色供应链管理 …… 138
7.5.1 协调机制 …… 138
7.5.2 信息共享机制 …… 141
7.6 本章小结 …… 143
第8章 闸坝生态调度综合效益评价 …… 144
8.1 评价指标的选择及指标体系的建立 …… 145
8.1.1 评价指标选择 …… 145
8.1.2 评价指标体系建立 …… 146
8.2 闸坝生态调度综合效益评价模型 …… 147
8.2.1 多层次模糊综合评价原理及模型 …… 147
8.2.2 评价指标权重的确定 …… 149
8.2.3 评价指标隶属度的确定 …… 149
8.3 评价结果推求及等级确定 …… 150
8.3.1 综合效益评价结果推求 …… 150
8.3.2 综合效益效果等级的确定 …… 151
8.4 闸坝生态调度综合效益评价 …… 152
8.4.1 北关闸实行闸坝生态调度前综合效益评价 …… 152
8.4.2 北关闸闸坝生态调度后综合效益评价 …… 158
8.4.3 北运河闸坝生态调度综合效益评价 …… 161
8.5 本章小结 …… 163
第9章 结论与展望 …… 165
9.1 结论 …… 166
9.2 创新点 …… 168
9.3 展望 …… 169
参考文献 …… 171



第1章 绪 论





第1章 绪 论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

党的十九大报告明确提出：加快生态文明体制改革，建设美丽中国。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，提升生态系统质量和稳定性。在2018年5月18日召开的全国生态环境保护大会上习近平总书记指出，新时代推进生态文明建设，必须坚持人与自然和谐共生，坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针，像保护眼睛一样保护生态环境，像对待生命一样对待生态环境，让自然生态美景永驻人间，还自然以宁静、和谐、美丽。

河流生态系统是自然界中最重要的系统之一，是陆地生态系统和水生态系统间物质循环的主要通道[1]。长期以来，河流生态系统以其纷繁多样的生态功能为人类的生存与发展提供了形式各异的生态服务。随着社会经济发展和水资源问题的日益突出，人类为满足自身发展对水资源的需求，在河流上修建大量的闸坝等水工建筑物。据国际大坝委员会统计，在全球140多个国家中1998年建成的大坝已达到49248座，其中我国拥有25821座，占总数的52%[2]。

闸坝等水工建筑物的建设，在防洪、发电、灌溉、航运等提高水资源利用效率方面起到了重大社会和经济效益。然而，随着时间的推移，人们发现大量的闸坝对河流影响越来越大，据有关部门统计，目前在全球范围内运行的36000座大中型闸坝，控制着20%左右的全球

径流量[3]。闸坝现已成为人类影响河流生态最广泛、最显著、最严重的因素之一[4]。

美国1950—1955年期间在罗阿诺克河干支流上共修建了4座水坝。通过计算对比发现，水坝建成后，受水坝影响，春季（5、6月）的平均流量增加，导致幼鲈鱼存活率降低，同时由于水文过程线脉冲频率增加，而使得栖息在岸缘的可作为鲈鱼食饵的无脊椎动物因无法适应快速的干湿交替，数量减少，从而使得该河鲈鱼数量急剧下降；另一方面受水坝影响，该河洪水变小、变少，持续时间缩短，使得洪泛区森林物种多样性降低，而森林的改变又会对迁徙的鸟类产生影响[5]。

美国的科罗拉多河1966年格伦峡大坝建坝前，每年带走河道泥沙5700万吨，河水基本呈现泥红色。而建坝后，由于格伦峡大坝蓄水，下泄流量的季节性变化降低，洪峰过程基本消失；由于河水变清，流速降低，致使在鲍威尔湖中淤积了84%的泥沙，直接导致下游一些沙洲、河滩遭到侵蚀而面积减小；建坝前，河水的水温保持在0℃～29℃之间，而建坝后河流水温则保持在9℃左右；自建坝以来，一些本地物种已经或濒临灭绝，外来物种入侵严重。据生物调查显示，已经灭绝的本地鱼有3种，弓背鲑也濒临灭绝，60多个生物物种受到不同程度的威胁[4]。

在我国，淮河流域是我国流域人口密度最大、经济最发达的地区之一。截至2000年，淮河流域修建闸坝已经达1.1×10^4余座[6]。过多的闸坝建设使得淮河河道径流减少，水流速度减缓，水体自净能力削弱，加剧了淮河流域水体污染。此外，大多数闸坝在枯水期关闸蓄水，闸上污水聚集，易形成被称作“死亡之水”的高浓度污水团，当汛期首次开闸泄洪时，污水团下泄极易造成突发污染事故。这种极不合理的闸坝调度方式导致的严重突发性水污染事件频频发生。1989年8月，淮河发生第一次重大污染事故，大量的污染团下泄，沿途生态与环境遭到严重破坏，经济损失超过亿元。1994年，淮河发生震惊全国的“7.23”特大污染事故，居民饮水困难，工厂被迫停工。2004年7月，淮河干流再次发生重大污染事故，污水团下泄形成150多km长

的污染水带，致使淮河干流沿线城镇供水中断，洪泽湖等水域鱼虾大量死亡，生态与环境再次遭到严重破坏[7]。

根据海河水利委员会提供的资料，海河建设挡潮闸以来，河宽由原来的250m缩窄至现在的100m，其闸下淤积的泥沙量累计已经达2200多万m^3，河床淤积达到4.7m高，过水断面缩小了近85%，而河口的泄流能力已经从原来的2100m^3/s降到现在的800m^3/s。需要特别指出的是，这800m^3/s的泄流能力是通过在河口处修建疏浚码头，配备疏浚船队不断疏浚的情况下方能达到的泄流量。同时由于大量污染物的积聚，水质常年处于劣Ⅴ类，而在对近岸海域的5种主要水产贝类的检测过程中，发现其有机物的检出率高达50%～100%，恶化的河流生态环境已经使海河流域鱼类种群越来越小型化，有限的贝类资源急剧下降，而中华绒螯蟹处于几乎绝迹的状态[8]。

为了有效避免长江流域发生大型洪水对沿岸人们生产生活带来的威胁，并兼顾发电和航运效益，1994年我国开始建设三峡大坝，并于2003年正式通航发电。由于三峡大坝的建设没有充分考虑下游生态以及对库区水环境的保护措施，致使大坝建成后出现了许多新的生态问题。每年4月底至5月初，由于三峡大坝的泄水较天然情况的水温偏低以及三峡水库的削峰作用，大坝下游“四大家鱼”推迟产卵时间约20天，并影响其产卵量。同时，由于水库泄洪时下泄水流中氮气过饱和，使大坝下游的鱼类（尤其是鱼苗）发生“气泡病”，降低其成活率，最终导致长江中下游的“四大家鱼”数量减少。此外，调查结果显示，随着大坝蓄水位的不断升高，库区水流流速降低，水体自净能力较蓄水前下降较大，纳污能力减弱，在一些支流和库湾区，受水库回水顶托的影响，已出现水体富营养化和“水华”（如大坝在135m蓄水过程中的香溪河发生“水华”）现象。可见，尽管闸坝本身虽不产生什么污染物，但闸坝的存在会降低库区水体自净能力，影响库区水体水质，致使污染问题凸显[9]。

在河流流域范围内，过多的闸坝建设人为地改变了河流自有的能量场、物质场、化学场、生物场，影响着生源要素在河流中的生物地球化学行为，包括生源要素的输送通量、赋存形态和组成比例，致使

河流生源要素、河流和区域生态环境的改变，造成河流的连通性降低、生态系统破坏严重、水污染加剧等一系列生态问题。因此，对于闸坝建设与河流生态保护的问题已经引起政府和广大学者的广泛关注。现有情况下，如何正确处理好闸坝与河流生态之间的关系，使得人与河流能够和谐相处，是当前河流开发利用过程中需要迫切解决的问题之一。

1.1.2 研究意义

20世纪后期，可持续发展的理念很快风行于世界，我国政府也已将可持续发展确定为基本的国策。在将可持续发展的理念引入到新的江河治理方略中时，有丰富的内涵值得探讨。其中应该突出强调的是人与河流共存的理念。与河流共存，即人类对河流的治理，必须尽力维护并改善河流固有的各种基本功能，而不是导致河流的消亡。因此，从可持续发展的理念出发，河流内人类的开发活动与河流的治理活动应在考虑人的发展与安全需求的同时，考虑流域内生态系统的安全，使人与自然相和谐[10]。

中华人民共和国成立后，为了充分利用水资源，排除各种水害，国家进行了大量的河流整治工程。特别是近些年来，伴随着我国经济的持续快速发展和人们对水资源需求的日益增加，大量的工业和生活污水未经处理直接排入河道，对河流水环境造成很大压力和破坏，有时甚至是致命的。同时，随着河流水资源的开发利用加快，河道上的闸坝等水利设施的日益增多，对河流系统的物质循环和能量输送等自然功能造成一定影响，直接导致河道淤积，河流形态变化，行蓄洪能力降低，水流流速趋缓，水体自净能力下降，污染加剧，鱼类等河流生物洄游通道受阻，鱼类资源减少，河流生物多样性退化等一系列河流生态问题。因此，对多闸坝用水进行合理调度，控制河流水质目标，不断改善河流生态环境，促进河流水资源的有效、可持续利用，是国家实现科学、可持续发展的重大需求。

在过去很长一段时期内，人们利用闸坝对水资源进行的调度，主要是针对水库调度而言，其调度多考虑兴利和防洪，在此基础上兼顾

航运、供水、灌溉、养殖、旅游等各个综合利用任务，但没有考虑建闸筑坝对河流生态所产生的影响[11]。作为水库调度的新阶段——闸坝生态调度就是在闸坝控制下的河道上，将生态因素纳入到现行的闸坝调度过程中，使闸坝的调度一方面要注重水利工程的经济效益和社会效益，同时另一方面更要将河流的生态效益提到应有的高度，对闸坝等水利工程设施对河流所产生的生态影响进行补偿，并尽可能考虑河流的水文特征变化，满足下游河道的生态需水。可见通过开展闸坝生态调度的研究，在多闸坝控制的河道上建立以河流生态健康为核心，以下游河道生态需水量为保障，兼顾防洪、发电、供水、灌溉、航运等社会经济目标的闸坝调度和管理方式，是实现闸坝河道生态恢复的有效途径，是贯彻落实党的十九大精神和习近平生态文明思想的有效举措，对实现人与水的和谐共生，具有重大的现实意义。

1.2 国内外研究现状

人们对于河流闸坝影响的关注和研究主要经历了两个阶段[12-15]：第一阶段是单纯的闸坝对河流生态影响研究。主要是人们针对闸坝等水利工程所导致的水环境问题的日益突出，重点研究闸坝对下游物质循环、能量输送、河道结构以及对河流某种生物的影响进行试验和观测等。第二阶段是针对闸坝等水利工程对河流所产生的生态影响，如何通过闸坝管理调度，使闸坝发挥其更多的积极作用，进而减小闸坝所带来的负面影响等方面进行较深入的认识和研究。

1.2.1 闸坝对河流影响研究

鉴于闸坝建设所造成的河流生源要素、河流生态环境的改变，进而对河流流域产生的许多负面影响，国际上许多科学家开始对河流的生态系统结构组成及其生态响应过程给予了广泛关注，并成为当时河流生态水文领域研究的重点课题之一。

1. 国外研究现状

1978 年，Williams[16]研究了大坝的存在对河流下游径流及河床的

影响，他认为大坝改变了其下游径流模式，增加了大坝下游河床较细粒度物质侵蚀程度，但却对洪峰影响减小。1980 年，Vannote[17] 提出了河流连续体概念。他认为一系列不同级别的河流形成了完整的河流流域系统。在这种系统中，河道的物理结构、能量输入和水文循环产生的连续的生物学调整以及沿河有机质、养分、悬浮物等的运动、运输、利用和储蓄共同构成了这个连续体；1984 年，Petts[4] 研究发现在河流筑坝蓄水后，河流将产生一系列复杂的连锁反应，而这种反映改变了河流原有的物理、化学、生物因素，进而得出河流的物理、化学、生态特征是河流流域众多因素综合作用的结果。1985 年，Minshall[18] 等针对 Vannote 提出了河流连续体概念（River Continuum Concept，RCC）进行了进一步的研究，他认为这种连续体注重河流生态系统中生物因素及其物理环境的连续性，同时注重河流系统景观空间的异质性，河流连续体应包括河流的地理空间及空间的连续性。Junk[19] 明确提出了河流生态系统是具有纵向、横向以及垂直方向三维结构特征的统一体，强调流域的生态系统与河流的生态系统的相互作用过程，同时强调河流生态系统在流域景观中的生态功能。Ward[20] 通过进一步研究认为，河流生态系统应具有四维结构：纵向、横向、垂向和时间尺度，并强调河流生态系统的连续性和完整性，更加注重流域与河流生态系统的相互关系。1991 年，Karr[21] 从理论上系统地研究了大坝建设对河流的生态影响，他认为由于大坝建设的建设，河流原有的物质场、能量场、化学场和生物场被人为地改变，而这种改变又直接影响了河流生态系统的物种结构组成、栖息地分布以及相应的生态功能。Williams[22] 则认为在河流上修建大坝会改变河流的自然水文情势，同时他认为正是这种改变对河道所产生的修正作用才造成了河道的萎缩。而 Kondolf[23,24] 进一步认为由于大坝的存在，使得河流泥沙传输的连续性受到破坏，经过库区的沉淀，使水流处于泥沙含量不饱和状态，而这些“不饱和的水”被水库下泄后，会加剧对坝下河道的侵蚀，并认为正是由于布莱克大坝的拦截作用，下泄的“不饱和的水”加剧对斯托尼河下游河道的冲刷，使得其形状由原来的麻花型演变成了现在的单线型。2002 年，Angela[25] 总结出河流生态系统的重要“驱动者”是河

流的自然流程，大坝的存在改变了河流的自然流程，对河流生态产生破坏，如库区及下游水质变坏；水质富营养化（甚至“水华”）；大量的湿地、沼泽损失；鱼类生境被破坏；流域鸟类数量及物种减少；许多水生生物的数量减少或灭绝；外来物种入侵等。

2. 国内研究现状

国内针对闸坝对河流的影响研究比国外起步要晚。作为世界上建坝最多的国家，随着闸坝建设带来的一系列生态问题的出现，近些年来，国内学者开始关注闸坝建设对河流的生态影响研究，并取得丰硕的成果。1995 年，陈国阶[26]等研究发现，由于三峡大坝的修建，阻碍了鱼类的洄游通道，使得鱼类在长江产卵场的位置及规模被人为地改变，破坏了鱼类栖息、繁殖条件，从而对长江流域物种的遗传、生存及繁殖形成巨大的威胁。窦贻俭[27]等对曹娥江的研究发现，相比建库前，建库后曹娥江的年平均流量略有减少，并且年内径流分配越来越趋向均匀化。庞增铨[28]等在对贵州喀斯特地区河流梯级开发的水环境变异的研究过程中发现，由于水库的建成运行，在库区形成了一个相对静止的环境，自然河流被人为地渠道化，河流的水动力条件从根本上被改变，进而使得河流流量减少，流速减缓，河流中含带的泥沙沉积增加，水库效益发挥受到不同程度的影响。东江水库建库后，周建波[29]等分析了库区的气温变化，发现 1 月份气温较建库前升高，而 7 月却降低，相应的库区与库周边地区年降雨量的相差程度加大。2002 年，国家电网公司西北勘察设计院联合青海省电力局、气象局共同观测研究了黄河上游龙羊峡水库蓄水后的气候变化，发现与建库前相比，建库蓄水后当地年平均气温升高、温差降低，伴随着当地降雨和空气湿度的增加。刘兰芬[30]等研究表明水库在形成的初期，由于库区水位的升高，直接淹没了高等水生植物，水域的原有形态特性、水的营养性能、土壤和原始种源也被间接改变，从而影响了水域高等水生植物生存、生长。同时水库的修建对浮游植物的区系组成、生物数量、初级生产力等也都产生影响，水库富营养化加重，水库水质受到影响。汪恕诚[31]等认为水库建成后，由于水库的拦截作用，大量泥沙淤积在水库内，水库泄流时强烈侵蚀大坝以下的河段，使河床加深，河堤及