

淮河流域闸坝运行 对河流生态与环境影响研究

蒋艳 栾震宇 赵长森 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

淮河流域闸坝运行 对河流生态与环境影响研究

蒋艳 栾震宇 赵长森 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要从淮河流域水环境重点整治与生态可持续研究的角度出发,较为全面系统地分析了流域水环境变化趋势,从流域的气候条件、水文要素和生态需水等各方面,详细分析了影响河流水环境变化的主要因素。同时本书旨在发挥水利工程在改善淮河流域水环境方面的作用,研制和开发适用于淮河流域洪水演进和水量水质联合调度的数学模型。本书的研究内容对淮河流域河流生态系统可持续发展的环境影响评价与保护有重要的意义,而且对于淮河流域经济社会可持续发展有重要的实用价值。

本书适合于从事水利水电科技及管理工作的人员,也可作为大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

淮河流域闸坝运行对河流生态与环境影响研究 / 蒋艳, 栾震宇, 赵长森编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014.3
ISBN 978-7-5170-1830-8

I. ①淮… II. ①蒋… ②栾… ③赵… III. ①淮河—流域—水闸—影响—水文环境—研究②淮河—流域—挡水坝—影响—水文环境—研究 IV. ①P343.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第052024号

书 名	淮河流域闸坝运行对河流生态与环境影响研究
作 者	蒋艳 栾震宇 赵长森 编著
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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8.75印张 208千字
版 次	2014年3月第1版 2014年3月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	30.00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

由于严重的洪水灾害威胁,淮河流域修建了大量闸坝水利工程。截至2000年,流域修建的闸坝水利工程已经达1.1万多座。闸坝建设在流域防洪、农业灌溉和供水等方面发挥了巨大的经济和社会效益。但是,流域经济建设过程中排污负荷控制的问题、闸坝工程的调度问题与水环境修复、保护之间的协调与矛盾问题十分突出。

淮河水污染问题受到了高度关注,但是淮河水污染综合治理情况复杂,难度较大,许多科学技术问题及其相关的调度管理问题亟待研究。当前淮河水环境治理和生态修复迫切需要研究和回答的关键问题:如何认识和客观评价淮河水污染的成因,合理控制河流排污负荷?如何客观评价闸坝工程建设对河流生态与环境的影响?如何在发挥闸坝工程防洪和供水巨大效益的同时,能够通过合理的防洪—生态调度修复河流生态,改善河流水质状况?

闸坝工程对河流水环境和水生生态系统的影响是国际上水文生态领域的热点研究问题。传统的生态水文学主要研究水与陆地植被的关系,即以陆地植被系统为研究对象,较少涉及水生生态系统方面的研究。另外,人类活动对河流水生生态系统的影响时间尺度并不一致,大规模的干扰能够在短时间导致河流生态系统的结构、功能发生显著变化,而小尺度干扰只能影响较小的河流区域,同时需要较长时间才能显现出来。闸坝建设使得流速、流量等水文特征很快发生显著变化,但是对下游河床演变及水生生态系统的影响却是一个逐步的过程,有关的生态影响观测资料比较缺乏,使得评估闸坝对河流生态系统的影响更加困难。因此,淮河流域闸坝对河流生态与环境的影响研究,不仅对淮河流域河流生态系统可持续发展的环境影响评价与保护有重要的意义,而且对于淮河流域经济社会可持续发展有重要的实用价值。

淮河流域水库、湖泊、节制闸和分蓄洪区垸等水利工程比较完善,具备了利用洪水资源冲污、释污和净污的水利工程条件。利用水库、闸坝调度,将水库、湖泊和淮河干支流河网有机地联系起来,通过水量水质的联合优化、合理调度,确保在枯水期和干旱期河道内正常的生态基流,增大河道水体流动,增强河流的净化功能,从而改善河流水质。在淮河流域的水文、河道及湖盆地形现状条件下,建立一个能适应各种复杂条件下一、二维混合的非恒

定流模型,进行淮河干流和水系河网的洪水演进和污水迁移调度仿真研究,以反映污水在淮河干支流中的运动规律及预测和评估各种水库闸坝调度方案下的对流扩散、稀释、降解效果,为发挥水利工程改善淮河流域水环境的对策研究提供科学依据和技术支撑。

本书建立了一个能适应水系密布、河网交错、水库闸坝众多并相互制约等复杂水流条件和水质调度要求的一、二维混合水量水质耦合的非恒定流模型。采用1981年和1999年两场典型洪水和2004—2006年污染联防调度的实测资料,对模型进行了率定和检验,其结果表明,所建模型清晰地重现了淮河流域的洪水演进和污水迁移过程。模型客观地反映了淮河流域干流河段、支流水系复杂河网的主要水流流动特征。所建模型实现了对淮河流域水量水质联合调度方案实施效果及影响进行评价的模拟功能,初步分析了洪汝河水系、沙颍河水系、涡河水系、史河水系、淝河水系、沂沭河水系和淮河干流水库闸坝群联合调度及其水量水质联合调度方案,获得一批合理可用的定性和定量结果,展示了本模型的模拟功能和可能的应用前景。

在模型研制的基础上,进一步开发了“淮河流域闸坝管理水量水质调度系统”。系统界面友好、操作简便、运行稳定;可以便捷地进行方案设置,并直观展示不同调度方案下模型的计算结果,能为淮河流域水污染联防工作提供一定的技术支撑。

全书包括了7个章节,其中第1章、第2章、第3章由蒋艳完成、第4章由蒋艳、赵长森完成,第5章、第6章由栾震宇、蒋艳完成,第7章由栾震宇、彭期冬完成。

由于时间和水平有限,书中难免有不足或失误之处,敬请读者批评指正。

作者

2013年7月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究现状及分析	4
第 2 章 流域概况	8
2.1 地形地貌	8
2.2 土壤植被	9
2.3 土地资源	10
2.4 气候特征	10
2.5 河流水系	11
2.6 水利设施	14
2.7 社会经济	14
第 3 章 流域环境变化分析与评价	17
3.1 河道水质现状评价	17
3.2 湖泊与水库水质现状评价	20
3.3 水质多年变化趋势	23
3.4 其他生态环境问题	27
3.5 流域生态环境状况评价	32
第 4 章 影响环境变化的环境影响因子分析	36
4.1 气候因子	36
4.2 降水	41
4.3 洪涝灾害成因分析	47
4.4 径流	50
4.5 蒸发	55
4.6 泥沙	59
4.7 水生态环境	63
4.8 生态需水	69
第 5 章 建立水量水质联合调度数学模拟模型	78
5.1 模型范围	78
5.2 模块划分	80

5.3	模型算法	80
5.4	闸坝控制计算模式	85
5.5	模型率定与检验	86
5.6	淮河水污染联防调度的复演	90
第 6 章	水库和闸坝联合调度的模拟	100
6.1	闸坝群联合调度机制及技术途径	100
6.2	调度方案设计	100
6.3	联合调度方案计算	103
第 7 章	淮河流域闸坝管理水量水质调度系统	122
7.1	技术途径和功能需求	122
7.2	系统结构设计	122
7.3	系统运行流程	122
7.4	系统组成及其功能	122
参考文献		130

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

淮河流域面积为 27 万 km^2 ，占国土面积的 3.5%，水资源量占全国的 3.4%，耕地却占到全国的 15.2%，人口占全国的 16.2%，水资源利用率超过 60%。由于独特的气候条件、水系形态、地形地貌，淮河流域成为我国水旱灾害发生最为严重和频繁的地区之一。淮河是我国第一条全面治理的大河，为了解决淮河的洪水问题和水资源短缺问题，截至 2000 年流域修建了约 1.1 万座蓄水水库和拦河节制闸蓄水工程，形成了集防洪、除涝、灌溉、供水为一体的综合性水利工程体系。淮河流域水利工程建设后引起了天然径流过程的大幅度改变，同时未经过处理的大量工业废水和生活污水直接排入，排放总量远远超过了水环境容量，对河流生态与环境造成了重大影响。近年来出现的排污负荷控制、闸坝工程的调度与水环境修复、保护之间的协调与矛盾问题日益突出，淮河水污染事件频繁发生。

淮河流域水污染始于 20 世纪 70 年代后期，进入 20 世纪 80 年代，随着流域经济快速发展和城市化进度加快，流域水体污染日趋严重，水污染事件时有发生。历史资料显示，1975 年淮河发生首次污染，1982 年发生第二次污染。进入 20 世纪 90 年代，污染事件频繁发生。1992 年、1994 年、1995 年沙颍河、淮河连续发生大面积水污染事故，对沿淮广大地区工农业生产和城镇供水安全造成严重威胁。其中，影响较大的一次污染事件发生在 1994 年 7 月，当时沿淮各自来水厂被迫停水达 54 天，150 万人没水喝，直接经济损失上亿元，成为震惊中外的“淮河水污染事件”。2004 年 7 月 16—20 日，淮河支流沙颍河、洪河、涡河上游局部地区普降暴雨，上游 5.4 亿 t 高浓度污水顺流而下，形成长 130—140km 的污水团。这次污染事件大大突破 1994 年 7 月污水团总长 90km 的“历史纪录”。

淮河流域现有水闸 5400 余座，这些闸坝的存在破坏了水系的连通性，导致淮河纳污能力大幅度下降。为了保证灌溉等经济用水，淮河流域大多数闸坝在整个枯水期基本关闭，排入河道的工业废水和生活污水在闸坝前大量集聚，当汛期首次开闸泄洪时，这些被称作“死亡之水”的高浓度污水集中下泄，极易造成突发污染事故，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。这种因污水团集中下泄而出现的大面积污染事故在 1994 年、2001 年、2002 年、2004 年相继发生，直接威胁沿岸城镇居民饮用水安全。近年来，由于河南省多次下泄污水团导致蚌埠市、淮南市城市居民饮用水困难，严重影响淮河流域下游城镇的经济发展和社会稳定。有些学者指责闸坝过多是导致淮河污染的主要原因之一，流域的水资源被几千个闸坝分割控制，调控能力极弱，生态环境用水缺乏，水体自净能力基本丧失，闸坝分割控制加剧河流水质污染。

2006 年 3 月，针对淮河水污染成因的国内激烈争论问题和治理目标的紧迫性，淮河

水资源保护局和淮河水利委员会设计院联合开展“淮河流域闸坝对河流生态与环境影响评估研究”，这是专门针对淮河闸坝群对水环境和生态影响评价的专项技术研究，重点是闸坝工程建设对河流生态与环境影响的监测与调查分析，重点研究内容包括：闸坝对河流水环境影响的评价；闸坝对河流生态影响的评价；改善闸坝对河流生态与环境影响的对策建议。采用多学科交叉研究手段，根据淮河流域的环境状况，通过调研确定闸坝系统主要影响的生态与环境问题。基于资料收集和实际调查研究，建立能够描述河网闸坝水系统的水量、水质、生态相互联系的模型和水环境及生态质量评价模型。研究中建立了淮河流域分布式 SWAT 模型，用于描述淮河流域水循环过程，运用水量水质联合评价模型、水环境及生态质量评价的多因子关联评价模型，结合闸坝群的分段水功能区划和系统分析，开展现状条件闸坝群河流系统的水环境质量评价，计算河段纳污能力，识别污染源状况，评价闸坝群建设与运行对河流水环境的影响。基于闸坝系统的水文-生态模型与方法，评价现状条件闸坝群河流水生态的影响。依据河流功能和生态保护目标，分析计算河流生态需水。基于淮河水系统的模型，模拟与评价无闸坝和有闸坝等多情景条件下的河流系统水环境与生态状况的变化。通过分析与综合比较，提出闸坝对淮河河流生态与环境影响的分析结论、水生态与水环境保护的对策建议。对“闸坝与河流健康关系求解”（科学时报，2007 年 1 月 31 日）问题提出了量化的评价体系和方法。

闸坝建设并不产生污染负荷，只是改变了水质浓度的时空分布（“搬家”），而位于河流上不同地理位置的闸坝正是可以通过合理的调度方式改变污水团峰值的到达时间（“错峰”），尽量减小上游污水下泄对淮河干流水质浓度的影响，是一个“时程”的概念，闸坝与污染源对水质浓度的影响不是同一个概念，不能等同。

淮河流域的“闸污”规律是在枯水期污水蓄积，第一场洪水来临前小流量下泄一部分，对第一场洪水“蓄一部分，放一部分”。“汛前闸坝调度以维持生态用水和水环境区划功能要求为目标，开展水量水质联合调度，保持河道适当流量下泄，维持水体一定的自净能力，若干支流水体达不到功能区划要求，则通过增加淮南淮北支流水库的下泄流量稀释污水，以期在汛期来临时各支流汇入淮河干流的污染物质浓度有所减少。汛期来临时，则以充分利用汛期第一场洪水资源稀释污水为目的，降低水体污染浓度，延长污染水下泄时间，在保证防汛安全的前提下，通过闸坝调度，减轻对下游的污染”。

在枯水期闸上污水蓄积，通过一段时间内的沉淀和降解作用，污染物浓度值有所降低，第一场洪水来临前和形成时，下泄一部分流量，会造成下游浓度值的升高，汛期内大量水体下泄，下流浓度值有所降低。可见，在枯水期闸坝上游拦蓄作用和汛期的冲刷稀释作用，减轻了下流污染（正效应）；汛期前期下泄一定水量，对下游水质造成了一定的污染（负效应），闸坝对水质的影响效应不能一概否定。

党中央、国务院高度重视淮河流域水资源保护与水污染防治工作，淮河水污染被列入国家“九五”、“十五”重点治理的“三河三湖”之首。1994 年 5 月，淮河流域环保执法检查现场会在安徽省蚌埠召开，从此拉开了国家全面治理淮河流域水污染的序幕。1995 年 8 月 8 日，国务院颁布了我国第一部流域水污染防治法规《淮河流域水污染防治暂行条例》，该条例的颁布为淮河流域水污染防治提供了法律依据。1996 年 6 月 29 日，国务院批复了《淮河流域水污染防治规划及“九五”计划》。2003 年 1 月 11 日，国务院又批复

了《淮河流域水污染防治“十五”计划》。国务院环境保护委员会先后在淮河流域召开了3次环保执法检查现场会,流域各省和国家相关部委领导参加,共同研究部署淮河流域水污染防治工作。

为加强淮河流域水资源保护与水污染防治工作的组织领导,国家先后成立了以水利部和国家环境保护局为组长单位的淮河流域水资源保护领导小组和淮河流域水资源保护机构,负责协调解决流域水资源保护和水污染防治工作。流域各省也相应采取了一系列治理措施,有效遏制了淮河水污染的加剧。1994—2003年间,淮河流域35个城市国内生产总值(GDP)增加了135%,而主要污染物排放量没有相应增长。

据统计,近10年来,通过“关、停、禁、改、转”等措施,对重点污染企业实行限期治理成效明显,全流域入河排污量明显下降,主要污染物质COD排放量已从1995年的150万t,削减到1998年的116.7万t和2000年的94.7万t,削减率分别为22.2%和36.9%;淮河干流高锰酸盐指数(COD_{Mn})浓度值总体呈好转趋势,由1994年的6.78mg/L降至2003年的4.91mg/L;重大水污染事故明显减少。

2004年10月国务院在蚌埠召开淮河流域水污染防治现场会,2004年12月,国务院办公厅发出了《关于加强淮河流域水污染防治工作的通知》(国办发[2004]93号),进一步明确要“抓紧对淮河流域现有闸坝运行管理进行评估,正确处理闸坝调度、水资源利用和生态保护的关系”。淮河流域成为中国江河水环境重点整治与生态可持续性重点研究的对象之一。

淮河流域处于我国南北气候过渡带,属于温带半湿润季风气候区,流域平均降水量883mm。淮河以南降水较大,为900~1400mm,淮河以北降水较小,为600~900mm,年内降水分布不均。夏季6—8月降水约占全年40%~70%。因此,在非汛期,淮河以北地区主要靠水库和河道闸坝蓄水灌溉农田。由于淮河以北地区大量污水排入河道,导致闸前水体污染严重,不仅影响农业灌溉,而且使得在闸门开启初期,高浓度的污水团就会集中下泻,对下游极易形成水污染事故。

《水污染防治法》及实施细则明确规定,水资源在开发利用和调节、调度的时候,应当统筹兼顾,维护江河的合理流量和湖泊、水库以及地下水体的合理水位,维持水体的自然净化能力。淮河流域闸坝成群,干支流总长2900多km,修建大大小小闸坝5000多座。水库和闸坝调度在承担防洪、发电、航运和灌溉任务的同时需要兼顾改善水环境的任务。

根据国内外实践证明,利用闸坝加大泄水流量改善水质是可行的,但不能代替污水处理。如美国俄勒冈州的威拉米特河流治理就充分利用水库调度,改变下泄流量,改善了水质。在我国,利用闸坝调度来改善水质也有很好的例子,如上海市苏州河发黑发臭问题得以解决,主要是通过闸坝调度。有关专家调查分析认为,官厅水库库存水少于3亿 m^3 时,水中的各种污染物质含量远远超标,专家呼吁除加大周边治理外,应增强水库闸坝的调度。因此,淮河流域通过河网水体优化调度改善河道水质污染是可行的治理策略。

淮河流域水库、湖泊、节制闸和分蓄洪区垸等水利工程比较完善,具备了利用洪水资源冲污、释污和净污的水利工程条件。利用水库、闸坝调度,将水库、湖泊和淮河干支流河网有机地联系起来,通过水量水质的联合优化、合理调度,确保在枯水期和干旱期河道内正常的生态基流,增大河道水体流动,增强河流的净化功能;在汛期充分利用洪水资源

稀释污水后,开启闸坝泄洪,避免污水团下泄引起水污染事件的发生,减轻淮河干流及主要支流重要用水水域的水污染程度,减轻闸坝以上污水下泄对下游河道水质影响。因此,充分利用淮河流域洪水资源,通过水库闸坝群的水量水质联合优化调度改善淮河干流水质,成为亟待解决的问题。

淮河干支流量水质联合调度数值模拟的复杂性不仅体现在洪水演进复杂,而且还体现在众多闸坝群的多目标联合调度及其调控模式的数值仿真上。淮河流域洪水行为复杂是由于淮河流域水系结构的复杂:一是支流多,淮河上中游水系呈不对称的扇形分布,南岸支流众多,均发源于山区和丘陵区,源短流急,较大的支流有史灌河、淝河、东淝河、池河等。北岸主要支流有洪汝河、沙颍河、涡河、浍河等。沙颍河为淮河最大的支流,发源于伏牛山区。二是落差大,淮河发源于河南省桐柏山,流经河南、安徽,至江苏扬州的三江营入长江,全长约1000km,总落差200m。而从淮河源到洪河口的上游364km河段,落差就有178m,占总落差的89%。三是“卡脖子”,在上中游的许多河段,由于河道弯曲狭窄,支流洪水迅猛汇集后,极易造成行洪不畅。四是“两头翘”,上游基本上是山区丘陵地带,坡大流急,而淮河水系最大的湖泊洪泽湖由于多年泥沙淤积、加高加固,湖底已高于淮河河床,形成“地上湖”,情形类似黄河下游。再加上从洪泽湖中渡以下全长150km的下游,落差只有6m,致使淮河洪水越到下游越缓慢,往往一次洪水过程长达30天甚至更长。淮河流域洪水行为复杂也取决于洪水组合:淮河流域每降暴雨,常常在淮北各支流洪水缓慢汇入淮河的同时,淮河干流上游与淮南山区各河又接连发生洪水,这种洪水组合对淮河干流的威胁最大,同时,干流和河网区也极易产生倒流、往复流和水面负坡,流态极为复杂。

淮河流域水库、湖泊和闸坝群之间有很强的耦合作用,相互影响和相互制约,加之系统与外界(引、排水)之间的水量交换,使淮河水系具有显著的复杂开放系统的特征。以往的闸坝调度研究以防洪、航运及灌溉调度为主,主要采用依赖于实测资料和个体经验的定性或半定量的描述和推理,以及局部的水力数值模拟和缺乏细节的宏观水文概算。由于缺乏合适的试验手段,难以开展水量水质联合调度方案的整体性试验、多方案重复性试验、蓄洪净污临界性试验以及特大洪水泄污方案的破坏性试验,在很大程度上制约了淮河水系水量水质联合调度研究的深入和发展,这迫切需要建立集水量水质于一体的整体模拟模型。

利用集洪水预报、水量水质调度于一体的整体模拟模型,进行湖泊、河网、闸坝和蓄滞洪区洪水行进、污水稀释降解模拟,探讨洪水资源冲污、释污和净污安全利用的技术途径、实施方案和联合调度方案的优选,从而达到洪水资源水环境安全利用的认识和宏观把握,为洪水资源水环境安全利用量的确定、水量水质联合调度方案的制定和实施,提供科学依据和技术支撑。

1.2 研究现状及分析

水利工程的建设为供水、防洪和发电等促进人类社会经济发展的活动带来了正面影响,改善了局地的温度、湿度和区域小气候。但工程的建设因河流情势变化对坝下与河口

水体生态环境产生潜在影响。由于阻断了河流的连续性,上下游的水动力特性的巨大变更使原有的河势、泥沙输移、河口形态、生物物种的生存空间等都随之发生变化,特别是大坝的阻隔作用对生物物种、珍稀迴游性鱼类产生了较大的影响^[1-3]。中国的水电工程建设高潮引起全世界的注目,同时也面临诸多来自国际国内对大规模人类活动影响及未知后果的担忧,大型河流系统受到大坝的影响而面临着更高的水资源安全(如灌溉)压力。2006年,R. Stone 和 H. Jia 在《Sciences》上报告中国南水北调工程实施中所迫切需要研究的水安全与生态安全的许多风险和未知后果问题的激烈讨论^[7]。

近年来许多研究均将流量调节作为河流生态系统健康的关键要素之一^[8],原因在于河川水流控制了影响水域生物栖息地的重要因素,诸如流速及水深等。河川径流的自然变化是维持水生生态系统最重要的驱动力之一,河川径流影响包括下列6项因素:食物、栖息地、水温、水质、流态、生物间的相互关系,这是影响河流生态系统最重要的因素。GWSP 主席 Vörösmarty (2004) 认为:各种人为因素以直接或间接方式对全球水系统产生影响,这些因素包括:土地利用变化、河道工程措施、灌溉、耗水损失、水生栖息地的消失以及污染^[12]。大规模水利工程建设对陆地水系统与水安全影响,是全球水系统计划(GWSP, 2005)重点研究的科学问题^[13]。

目前对水利工程与生态系统之间相互作用关系的评价体系还尚未完全建立起来,人们常忽视了水利工程在生态系统中的正面作用,水利工程在水量水质调度时促进了水生生物对物理环境的改善作用,使得生物在水体及边界的栖息和繁衍状况发生变化,大量微生物繁殖而加速了污水中有机质的分解,生态系统对水环境的改善通过水生动植物对水质的改善得到反映^[14]。水利工程调度是运用水利工程的蓄、泄和挡水等功能,对河道水流在时间、空间上按需要重新分配或调节江河湖泊水位,其目的在于保证水利工程安全,满足国民经济各部门对除害兴利、综合利用水资源的要求。随着人们对生态环境的重视和环境问题的日益严重,充分利用流域外部水环境容量,开展河道水质和生态环境改善的水资源调度工作,日益受到人们的重视。左其亭、夏军在新疆博斯腾湖流域、伊犁河流域、额尔齐斯河流域实际研究中,建立了陆面水量-水质-生态耦合系统模型^[15],定量研究陆面水资源系统水量变化、水质变化以及它们之间的相互关系。程飞运用大系统递阶分析原理与方法^[16],把生态工程概念引入了水利工程建设中。河流水资源利用需要考虑生态环境用水,并受生态环境用水的最大、最小用水量阈值约束^[17-18]。水利部在提出确保“三生”(生产、生活和生态)用水方针的同时,开展了黑河分水、新疆塔里木河调水、黑龙江扎龙湿地补水、黄河调水调沙试验、南四湖生态补水等实践^[19-22]。

方子云等人(1994)从环境水利的角度出发,在国内提出了水利工程改善环境调度的概念^[23],并提出了三类调度情况:城市上游建有水库、水闸条件的河流,进行合理调度、综合利用,改善下游水质;靠近大江、大河、大湖的城市,从江、河、湖引水改善水质,这在南方地区可以普遍应用;湖泊可通过加强水体循环,改善水质,防止富营养化。钱正英、张光斗(2001)提出生态环境用水的概念^[24],认为生态环境用水是指为维护生态环境不再恶化并逐渐改善所需要消耗的水资源总量。汪恕诚(2001)提出水资源承载能力和水环境承载能力的概念,随后全国水利系统兴起了两个能力的研究高潮,我国对改善河道水质,提高水体环境容量的研究文献也逐渐丰富起来^[25]。为防止水闸等水利工程的不合

理启闭导致水资源调度引发水污染问题,水利部专门以水资源〔2001〕155号文的形式下发了《关于加强闸坝调度管理工作的通知》,明确提出通过水利工程的优化调度改善水环境,是我国“十五”期间的重要水资源保护任务,但这项工作的理论研究还不充分,在实践中存在许多问题,需要不断探索。

通过水利工程的优化调度来改善水环境是通过环境水动力学模拟来实现的,传统水力学主要是研究水流自身运动规律,而环境水动力学则主要是研究水体中所含物质的运动规律,是传统水力学的一种发展,其内容涉及水文学、水力学、水化学、水生物学、生态学、湖沼学、海洋学和沉积学等,是一门综合性很强的交叉学科。美国环境与水资源研究所环境水力学技术委员会提出“环境水力学特别着重于将物理因素(水动力学、泥沙输移和地形条件)、化学因素(保守与非保守物质的传输、反应动力学和水质)和生物因素(生态学)作为一个系统来进行研究”^[26]。从与水污染有关的水力学问题来说,环境水力学主要研究地面及地下水域中物质的扩散、输移和转化规律,建立其分析计算方法,确定物质浓度的时空分布及其应用。

水流-水质计算模型由零维、一维稳态模型向二维、三维动态模型发展;被模拟的状态变量不断增多,由开始的几个增加到二三十个,模拟的变量由非生命物质如“三氧”(溶解氧、生物化学需氧及化学需氧)、“三氮”(氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮)等向细菌、藻类、浮游动物、底栖动物等水生生物发展;应用范围由河流、水库、湖泊等单一水体向流域性综合水域发展;计算的时空网格数几何增长;地理信息系统开始在水质模型中应用^[27]。国内外的水质模型很多,国外常用的水流-水质模型有美国环境保护局研制的QUAL2^[28],WASP5^[29]及BASINS,美国陆军工程兵团研制的CE-QUAL-RI^[30],CE-QUAL-RIV1^[31],CE-QUAL-W2及WQRRS^[32],美国地质调查局研制的GENSCN和MMS,丹麦水力研究所研制的MIKE11^[33],MIKE21^[34],MIKE3及MIKE SHE等。

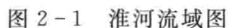
GIS技术可把复杂多变的自然、社会变化以及变化过程以图形、图像的方式进行数字化处理。在其空间和属性库中输入河道基本数据、水文及污染源数据,利用其空间数据库采集、管理、操作和分析能力,可使水质监测与评价产生全新的面貌。通过水流-水质模型计算,可得出反映水域水流、水质变化特性的断面位置,并以逼真的图像显示水域水流水质变化的空间特征、统计特性和未来趋势等。上面提到的BASINS,GENSCN和MMS模型就是和GIS集成的,我国也正在开展这方面的工作^[35-37]。

目前国内外水利工程的优化调度改善水环境实践均为针对单一的河流或湖泊,而对复杂河流网络水系的研究尚处于探索阶段,河流网络系统的水动力学条件极其复杂,又由于各个河流、湖泊污染程度存在较大差异,在污染迁移过程中避免水体污染物质从高污染负荷水体向低污染负荷水体流动,应使水质较差的湖泊得以较大程度的冲污稀释,其水利工程改善水环境的机理也与单一河流湖泊有很大区别。

在洪水演进方面,一维非恒定流模型已相当成熟,目前已广泛应用于洪水波在河网中的流动计算。近年来,单一的二维非恒定流模型在大范围蓄滞洪区洪水演进的应用日益增多。但大型、复杂水系洪水演进的一、二维混合非恒定流模型尚不多见,仍在发展阶段。水库优化调度的研究始于20世纪中叶,是随着数学上最优化方法的发展而兴起的。但国内外的研究大多着眼于发电调度,且已达到较好的水平。近年来,陆续看到一些水量水质

优化调度研究的报道,但无论就其规模和复杂性来说,均不能与淮河流域比拟。在泥沙输运和污染物模拟方面,理论分析、原型观测、物理模型及数值算法都已得到较大的发展,其中数值模拟的工程应用大多局限于局部河段或单一湖泊,水沙分配和污染物质的对流扩散、降解模拟的可靠性和精度也亟待提高。因此,根据大型复杂水系的结构特征、水沙和污水特点以及洪水演进机制,建立集洪水预报、水量水质调度分析于一体的整体模拟模型,进行干支流河网和湖泊水环境规划和水量水质联合调度的水量水质仿真,是当今各国竞相开展、尚待解决的重要课题。

淮河流域水库、湖泊、节制闸和分蓄洪区等水利工程比较完善,具备了利用洪水资源冲污、释污和净污的水利工程条件。以往的闸坝调度研究以防洪、航运及灌溉调度为主,主要采用依赖于实测资料和个体经验的定性或半定量的描述和推理,以及局部的水力数值模拟和缺乏细节的宏观水文概算。淮河干支流量水质联合调度要充分利用淮河流域洪水资源,又要维持自然河川径流过程下的水域生态环境,其复杂性不仅体现在洪水演进和污染物对流扩散、降解的数值模拟复杂,而且还体现在众多水利设施之间的多目标联合调度(Multi-objective optimization model)及其调控模式的数值仿真,陈述彭(1998)提出将GIS地理空间表达方式与水质水量数值模拟相结合^[38],建立将水库、闸坝、湖泊和淮河干支流河网有机地联系起来,实现可视化的水量水质联合优化调控模式。



淮河流域位于我国地热的第二级阶梯的前缘,大都处于第二级阶梯上。地形上体

8

总面积的 13%。其中：淮河水系的山区面积占 17%，丘陵占 17.5%，平原面积占 58.4%，湖洼面积占 7.1%；沂沭泗水系山丘区面积占 31%，平原面积占 67%，湖泊面积占 2%。

流域西部的伏牛、桐柏山区，一般高程 200~500m，太白顶是淮河发源地，海拔 1140m，沙颍河上游的石人山海拔 2153m，为全流域的最高峰；南部大别山区，一般高程在 300~500m，淠河上游白马尖 1774m，是大别山区的最高峰；东北部沂蒙山区，一般高程在 200~500m，龟蒙顶是沂蒙山区的最高峰，海拔 1156m。丘陵主要分布在山区的延伸部分，流域西部高程一般为 100~200m，南部高程为 50~100m，东北部一般在 100m 左右。淮河干流以北为广大冲、洪积平原，高程一般为 15~50m；苏北淮河下游平原高程为 2~10m；南四湖湖西为黄泛平原，高程为 30~50m。

淮河流域地貌具有类型复杂多样、层次分明、平原地貌类型极为丰富的特点。在空间分布上，东北部为鲁中南断块山地，中部为黄淮冲积、湖积、海积平原，西部和南部是山地和丘陵。平原与山地丘陵之间以洪积平原、冲洪积平原和冲积扇过渡；此外，还有零星的喀斯特侵蚀地貌和火山熔岩地貌。地貌的成因主要有流水地貌、湖成地貌、海成地貌。地貌形态上分为山地（中山、低山）、丘陵、台地（岗地）和平原 4 种类型，这 4 种地貌类型的面积占流域面积的比分别为 9.7%、6.5%、17.2% 和 66.6%。

2.2 土壤植被

1. 土壤

淮河流域西部伏牛山区主要为棕壤（质地黏重，结合度适中）和褐土（成土母质为各类岩石风化物、洪积冲积物及人工堆垫物）；丘陵区主要为褐土（包括立黄土、油黄土等），土层深厚，质地疏松，易受侵蚀冲刷。淮南山区主要为黄棕壤（黄棕壤是黄红壤与棕壤之间过渡性土类），其次为棕壤和水稻土；丘陵区主要为水稻土，其次为黄棕壤。沂蒙山丘区多为粗骨性褐土（成土母质为硅质岩类和钙质岩类，土层极薄）和粗骨性棕壤，系由岩石的风化残积，坡积物发育而成，土层浅薄，质地疏松，多夹砾石，蓄水保肥能力很差，水土流失严重。淮北平原北部主要为黄潮土，系由河流沉积物和近代黄泛沉积物发育而成，除少数黏质和壤质土壤外，多数质地疏松，肥力较差，并在其间零星分布着小面积的盐化潮土和盐碱土；淮北平原中部和南部主要为砂礓黑土，其次为黄潮土和棕潮土等，砂礓黑土是淮河流域平原地区分布较广的一种颜色较黑的半水成土，也是一种古老的耕种土壤，以安徽淮北平原分布的面积为最大，砂礓的形成受地下水位和水质（富含重碳酸钙）的影响，不过面砂礓的形成，还与土体中碳酸钙的淋溶淀积有密切关系，砂礓黑土的质地比较黏，没有明显的沉积层理；淮河下游平原水网区为水稻土，系由第四纪湖相沉积层组成，土壤肥沃；苏鲁两省滨海平原新垦地多为滨海盐土，含盐量较高，它的最大特点，一是土壤和地下水的盐分组成与海水一致，都是以氯化钠为主，因此又称为氯化物盐土；二是含盐量除表土稍多外，以下土层都比较均匀，这两点是它区别于其他盐土最主要的特征，表 2-1 中列出淮河流域主要土壤类型及面积。

表 2-1

淮河流域主要土壤类型及面积

土壤类型	面积 (万 km ²)	占流域面积百分比 (%)	土壤类型	面积 (万 km ²)	占流域面积百分比 (%)
潮土	9.776	36.207	棕壤	2.441	9.041
砂礓黑土	3.828	14.178	粗骨土	1.903	7.048
水稻土	3.577	13.248	褐土	1.574	5.830

2. 植被

淮河区地跨 4 个纬度带, 气候自北向南由暖温带过渡到亚热带, 植被分布具有明显的地带性特点。伏牛山区及偏北的泰沂山区主要为落叶阔叶-针叶松混交林; 中部的低山丘陵一般为落叶阔叶-常绿阔叶混交林; 南部的大别山区主要为常绿阔叶-落叶阔叶-针叶松混交林, 并夹有竹林, 山区腹部有部分原始森林。据统计, 桐柏山、大别山区的森林覆盖率为 30%, 伏牛山区为 21%, 沂蒙山区为 12%。平原区除苹果、梨、桃等果树林外, 主要为刺槐、泡桐、白杨等零星树林及竹林; 滨湖沼泽地有芦苇、蒲草等。栽培植物的地带性更为明显, 淮南及下游平原水网区以稻、麦(油菜)一年两熟为主, 淮北基本以旱作物为主, 主要有小麦、玉米、棉花、大豆和红芋等; 山东半岛沿海诸河主要作物有小麦、玉米和大豆等。

2.3 土地资源

淮河流域的主要土地资源类型是耕地, 以淮河为界, 以北为旱地, 主要作物为小麦和杂粮, 一年两熟或两年三熟; 淮河以南主要是水田, 农作物主要是水稻和甘蔗、茶叶等亚热带经济作物, 两者占全流域面积的 82.2%。淮河流域的林地主要分布在流域西北部的桐柏山和大别山, 以及北部的蒙山高海拔山区, 草地主要分布在中海拔山区, 林地和草地分别占流域面积的 6.58% 和 3.62%。而城乡用地和未利用分别占流域面积的 3.26% 和 0.04%。

2.4 气候特征

淮河流域地处我国大陆的东部, 秦岭-淮河是我国主要的南北气候分界线。既有南方气候的某些特征(如盛夏酷热), 又有北方气候的一些特点(如蒸发量比南方大)。流域北部属于暖温带半湿润季风气候区, 为典型的北方气候, 冬半年比夏半年长, 过渡季节短, 空气干燥, 年内气温变化大。流域南部属于副热带湿润季风气候区, 特点是夏半年比冬半年长, 空气湿度大, 降水丰沛, 气候温和。淮河流域的气候特点是: 四季分明, 气候温和, 夏季湿热, 冬季干冷, 春季天气多变, 秋季天高气爽。

由于淮河流域位于中纬度地带, 处在副热带湿润气候向暖温带半湿润气候的过渡区, 影响本流域的天气系统众多, 既有北方的西风槽、冷涡, 又有热带的台风、东风波, 也有本地产生的江淮切变线、气旋波。因此, 造成流域的气候多变, 天气变化剧烈。