

安徽省“十三五”重点图书出版规划项目

淮河中游

枯水期水资源调度 技术与实践

刘猛 王式成 陈竹青 钱筱暄 著

中国科学技术大学出版社

安徽省「十三五」重点图书出版规划项目

淮河中游

枯水期水资源调度 技术与实践

刘 猛 王式成 陈竹青 钱筱暄 著

中国科学技术大学出版社



内 容 简 介

淮河流域降水时空分布不均,年内年际变化剧烈,属于严重缺水地区。近年来随着城市化和工业化进程快速推进,供需水矛盾加剧,干旱灾害频次增加、范围扩大、损失加重,给居民生活、工农业生产及生态环境带来严重影响。因此,为了解决淮河干流枯水期日益复杂的水资源利用和供水安全问题,迫切需要开展淮河中游枯水期水资源利用及调度研究。

本书以淮河流域为研究背景,以淮河中游区为重点研究区域和研究对象,开展枯水期水资源演变规律、枯水期来水量预测和枯水期水资源配置及调度技术研究,并提出枯水期应急调度实施方案。研究成果已在流域水资源管理、水资源规划、水量分配与调度等方面得到广泛应用,并取得较好的社会经济效益,为保障流域社会经济、城市供水安全、粮食生产安全等提供了重要技术支撑。

本书主要供淮河流域水资源研究、管理人员阅读,也可供其他相关研究人员借鉴使用。

图书在版编目(CIP)数据

淮河中游枯水期水资源调度技术与实践/刘猛,王式成,陈竹青,钱筱暄著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2016.6

ISBN 978-7-312-03892-1

I. 淮… II. ①刘… ②王… ③陈… ④钱… III. 淮河—流域—水资源管理—研究 IV. TV882.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 297587 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 安徽联众印刷有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×1000 mm 1/16
印张 25
字数 562 千
版次 2016 年 6 月第 1 版
印次 2016 年 6 月第 1 次印刷
定价 68.00 元

前 言

淮河流域面积约 27 万 km^2 , 跨河南、安徽、江苏、山东、湖北五省 45 个地级市, 地处我国东部, 是南北气候、高低纬度和海陆相三种气候过渡带的典型地区, 降水时空分布不均, 年内年际变化剧烈, 水土资源分布不平衡, 人口密度居全国七大流域之首, 流域多年平均水资源总量为 795 亿 m^3 , 可利用总量 445 亿 m^3 , 人均水资源占有量不到 500 m^3 , 约为全国人均水资源占有量的 1/5, 属于严重缺水地区。

近年来, 随着国家实施中部发展战略、流域层面和流域内各省经济社会发展规划的实施, 淮河流域社会经济进入了快速发展期, 也是水资源和水环境新问题和矛盾更为频发期, 供需水态势发生了深刻的变化, 水资源供需矛盾日益突出, 尤其是遇到干旱年、连续干旱年等特殊枯水期, 淮干上下游、省际间用水矛盾日趋加剧, 城市、工业、航运、农业等用水户争水矛盾以及河道生态环境问题更加突出, 工农业生产及生活用水大量挤占生态用水, 水资源短缺问题已成为制约沿淮城市经济社会可持续发展的“瓶颈”。因此, 为了贯彻落实科学发展观, 推进实施最严格水资源管理制度, 着力解决淮河干流枯水期复杂的水资源利用和供水安全问题, 同时为未来引江济淮通水后淮河干流枯水期水资源利用及水量合理配置与调度提供技术支撑, 作者撰写了本书。

本书由安徽省(水利部淮河水利委员会, 简称淮委)水利科学研究院、淮河水利委员会水文局(信息中心)、天津大学、安徽淮河水资源科技有限公司等单位联合完成。以淮河流域为研究背景, 以淮河干流(简称淮干)中游区(正阳关—洪泽湖)为重点区域开展研究。研究区域内人口密集, 是我国重点粮食主产区, 也是我国重要的火电能源中心和华东地区主要的煤炭供应基地。本书采用淮河流域 152 个水文站(点) 1956~2012 年长系列水文水资源资料, 结合区域社会经济资料, 采用野外实验、模型计算和资料分析等综合手段开展研究, 将现场调研和资料分析、模型研制和参数拟合、成果验证和实际应用较好结合起来。成果已在淮河流域有关主管和科研等部门的水资源管理、水资源综合规划、水量分配与调度、城市供水规划等方面得到广泛应用, 为水利科技行业、水资源学科的发展及产学研结合起到积极的推动作用, 为淮河中游重要区域、主要城市供水安全和粮食安全, 经济结构的布局调整, 保障区域社会经济快速发展起到重要的支撑作用, 并产生了显著的社会效益、经济和生态环境效益。

全书共分 11 章, 其中, 第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 10 章和第 11 章由刘猛、王式成编写, 第 4 章、第 5 章和第 6 章由陈竹青、王敬磊和曹先树编写, 第 7 章和第 8 章由钱筱喧、许一编写, 第 9 章由王艺晗编写, 合肥市 168 中学的陆研霏同学参与了部分基础资料的整理与分析工作, 最后由刘猛统稿。需要特别说明的是, 本书研究内容和成果主要源于多项科研成果, 这些成果凝聚了王振龙、王发信、章启兵、王辉、陈小凤等同志

的辛勤劳动,此外,还有很多参加研究工作的同事未能一一列出。本书得到了淮河水利委员会,安徽省水利厅、河南省水利厅、江苏省水利厅、山东省水利厅、安徽省水文局、河南省水文局、山东省水文局、江苏省水文局、蚌埠市水利局、淮南市水利局等单位的大力支持和帮助,在此,向关心和支持我们的单位、领导以及各位同志表示衷心感谢!

由于作者水平有限,书中疏漏不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2016年1月

目 录

前言	(i)
1 研究情况概述	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 国内外研究现状	(2)
1.3 研究需求与目标	(12)
1.4 研究内容与技术路线	(16)
2 研究区基本情况	(21)
2.1 区域水资源系统	(21)
2.2 水资源概况	(25)
2.3 历史旱灾情况	(32)
2.4 水量应急调度实例	(34)
3 枯水期水资源系统解析与动态模拟技术研究	(36)
3.1 枯水期水资源系统概述	(36)
3.2 枯水期水资源演变规律	(38)
3.3 枯水期水资源情势演变影响因素	(107)
3.4 本章小结	(111)
4 枯水期水资源开发利用及供需态势研究	(112)
4.1 不同水平年水资源开发利用分析	(112)
4.2 不同枯水组合的水资源开发利用及可利用量研究	(131)
4.3 枯水期水资源供需态势分析	(133)
4.4 枯水期供水安全评价技术	(136)
4.5 本章小结	(151)
5 枯水期水源条件分析	(153)
5.1 水源概述	(153)
5.2 枯水期主要水源可供水情况	(184)
5.3 水量调度工程条件	(185)
5.4 枯水期各水源供水可行性分析	(188)
5.5 本章小结	(190)

6 重点控制断面规划年来水量预测	(191)
6.1 规划来水量预测.....	(191)
6.2 本章小结.....	(218)
7 多枯水组合情境下水资源配置技术研究	(220)
7.1 枯水期水资源配置模型.....	(220)
7.2 模型验证.....	(235)
7.3 本章小结.....	(255)
8 枯水期水资源调度技术研究	(258)
8.1 水资源调度模型研制.....	(258)
8.2 调度方案编制及实施技术研究.....	(285)
8.3 本章小结.....	(319)
9 枯水期水资源配置与调度管理系统	(320)
9.1 水资源调度管理系统研制.....	(320)
9.2 水资源监测方案研究.....	(340)
9.3 水资源调度管理技术研究.....	(351)
9.4 本章小结.....	(364)
10 成果应用	(366)
10.1 沿淮城市枯水期水资源调度与配置方案	(366)
10.2 水利规划方面	(367)
10.3 水资源管理方面	(367)
10.4 人才培养与国内外学术交流方面	(369)
10.5 应用前景	(369)
11 成果总结与建议	(371)
11.1 主要结论	(371)
11.2 成果特色	(376)
11.3 成果创新性	(377)
11.4 主要先进性和创新性	(378)
11.5 对科技进步的推动作用	(380)
11.6 与国内同类技术比较	(382)
11.7 社会、经济、环境等综合效益	(383)
11.8 建议	(384)
参考文献	(386)

1 研究情况概述

1.1 研究背景

淮河流域人均水资源占有量不到 500 m^3 , 约为全国人均水资源占有量的 $1/5$, 属于严重缺水地区。随着国家中部发展战略和流域内各省经济社会发展规划的实施, 淮河流域已进入快速发展期, 也进入了水资源和水环境新问题和矛盾的频发期, 水资源供需矛盾日益突出。近些年来, 随着城市化和工业化进程的快速推进, 供需水态势发生了深刻的变化, 从淮河干流的取用水总量显著增加, 供需水矛盾加剧, 尤其是淮河中游, 呈现出枯水期发生频次增加, 枯水期持续时间延长, 枯水期水量交换关系更加复杂多变的现象。因此, 开展淮河中游枯水期水资源利用及调度研究十分迫切。这不仅解决淮河干流枯水期日益复杂水资源利用和供水安全问题的需要, 也是事关淮河上下游区域社会经济可持续发展的重点战略问题, 同时为未来引江济淮通水后淮河干流枯水期水资源利用及水量合理配置与调度提供重要的技术支撑。

淮河流域干旱灾害频次增加、范围扩大、损失加重, 给受旱区城镇居民生活、工农业生产及生态环境带来严重影响。淮河干流是流域内地表水集中开发区, 枯水期水资源矛盾突出, 曾多次发生断流: 1978 年, 淮河干流中渡段断流时间长达 247 天, 洪泽湖接近干枯; 1999 年, 蚌埠闸从 8 月 1 日至 28 日持续关闸, 蚌埠闸上出现了历史上罕见的低水位, 蚌埠闸下吴家渡断面甚至出现断流现象, 洪泽湖在死水位以下运行长达 63 天; 2001 年淮河流域降水偏少, 淮河水位持续下降, 蚌埠、淮南等市供水紧张, 蚌埠闸自 5 月 23 日至 7 月 31 日连续关闭, 闸下河道的生态环境遭到一定程度破坏。干旱缺水对区域经济社会影响越来越显著, 研究编制淮河水系枯水期水量调度实施方案, 加强枯水期水量调度与管理势在必行。

近年来, 淮河干流重要河段——淮南—蚌埠段经济社会进入快速发展时期, 对水资源提出了更高的要求, 从该河段取水量不断增加, 水资源供需矛盾日益突出, 尤其是遇到干旱年、连续干旱年等特殊枯水期, 淮干上下游、省际用水矛盾日趋加剧, 城市、工业、航运、农业等用水户争水矛盾以及河道生态环境问题更加突出, 工农业生产及生活用水大量挤占生态用水, 水资源短缺问题已成为制约淮干沿淮城市经济社会可持续发展的“瓶颈”。同时, 由于缺乏淮河枯水期水量配置与调度方案, 淮干水资源得不到合理高效使用, 更无法实施科学水量调度, 解决淮干水资源分配与调度问题已成当务之

急。为使枯水期淮河水资源得到有效利用,解决好上下游、省际的用水矛盾,提高流域机构水资源管理水平,科学合理地配置与调度枯水期淮河干流水资源,开展淮河水系水量分配及调度研究是一项十分必要和迫切的任务。

鉴于研究区域在淮河流域的重要性、典型性以及干旱缺水对区域经济社会影响越来越显著,有必要编制枯水期淮河干流水量调度方案,开发水量调度管理平台,为该河段枯水期的水量调度与管理提供决策依据。通过实施淮河水系枯水期水量调度,充分挖掘供水潜力,并协调好地区间、部门间、用户间的用水关系,保障枯水期沿淮城市生活用水和重要工业用水的安全,最大限度减少干旱缺水对经济、社会发展的影响,保障区域经济安全、淮河干流生态安全,以水资源的可持续利用支持该地区经济社会的可持续发展。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究

1.2.1.1 水循环研究现状与进展

1. 气候变化对水循环影响的研究进展

气候变化已成为当今科学界、各国政府和社会普遍关注的环境问题。气候变化的研究具有很多不确定性,主要由未来温室气体排放量、气候系统的响应和自然界的多开展变性引起(Metoffice,2002)。在1977年,美国国家研究协会(USNA)就组织会议讨论了气候、气候变化和供水之间的相互关系和影响,但直到20世纪80年代中期,关于气候变化对水文水资源的影响的研究才引起国际水文界的高度重视。从1990年开始,国际上许多科学机构和科学家参与全球能量和水循环实验计划(GEWEX)。Mohamad I. Hejazi 等应用 HEC—HMS 模型对伊利诺伊州 12 个城市化程度较高的流域的洪水进行模拟,得出城市化较气候变化对洪峰流量的影响多 34%,且环境变化后径流量较之前至少增加了 19% 的结论。但由于概念性模型机理上的局限,在定量研究驱动因子对水资源的影响时略显不足。Tim P. Barnett 等将“指纹算法”结合气象水文模型应用于美国中西部地区的水资源演变归因分析中,得出该地区水资源演变的 60% 为气候变化驱动的结论。上述研究将水文模型机理优势与统计方法的规律优势结合,在水资源演变的归因分析中具有不可替代的作用。

2. 人类活动对水循环影响的研究

土地利用/土地覆盖变化(Land-Use and Land-Cover Change,LUCC)是自然与人文过程交互作用最密切的问题,对它的研究是当前国际上全球变化研究中的核心和焦点。全球变化对水文过程的影响主要表现在对水分循环和水质水量的改变上,LUCC 代表了一种人为“系统干扰”,直接或间接影响水文过程的主要边界条件。Boulain N.

将耦合生态模型的水文模型应用于小尺度流域,根据 1959 年、1975 年、1992 年的覆被情况分析气候和土地利用变化对水文水资源的影响,发现土地利用变化对水资源的影响比气候变化影响大,水资源对土地利用变化的敏感性大约为对气候变化敏感性的 1.5 倍。上述研究模型因其物理机制与生态模型的耦合可在一定程度上模拟驱动因子对水资源影响的过程,结果可信度较大。Huang Shaochun 应用分布式生态水文动力学 SWIM 模型,模拟大尺度流域水资源对土地利用变化的响应,在对水循环模拟的基础上又模拟了地下水氮负荷和氮浓度,获得了优化的农业土地利用和管理是减少氮负荷和改善流域水质的必要条件的结论。

1.2.1.2 水资源演变规律研究

目前,对水资源演变规律研究包括以下几个方面:

(1) 应用概念性水文模型界定流域水资源对气候和下垫面变化的响应

Mohamad I Hejazi 等应用 HEC-HMS 模型对伊利诺伊州 12 个城市化程度较高的流域洪水进行模拟,得出城市化较气候变化对洪峰流量的影响多 34%,且环境变化后径流量较之前至少增加了 19%。但由于概念性模型机理上的局限,在定量研究驱动因子对水资源的影响时略显不足。

(2) 基于物理机制分布式水文模型耦合生态模型,研究下垫面和气候变化两个驱动因子对流域水资源的影响

Boulain N. 将耦合生态模型的水文模型应用于小尺度流域,根据 1959 年、1975 年、1992 年的覆被情况分析气候和土地利用变化对水文水资源的影响,发现土地利用变化对水资源的影响比气候变化影响大,水资源对土地利用变化的敏感性大约为对气候变化敏感性的 1.5 倍。上述研究模型因其物理机制与生态模型的耦合可在一定程度上模拟驱动因子对水资源影响的过程,结果可信度较大。

(3) 在分布式水文模型耦合其他模型基础上,结合统计方法对流域水资源演变进行归因分析

Tim P. Barnett 等将“指纹算法”结合气象水文模型应用于美国中西部地区的水资源演变归因分析中,得出该地区水资源演变动力的 60% 为气候变化所驱动。上述研究将水文模型机理优势与统计方法的规律优势结合,在水资源演变的归因分析中具有不可替代的作用。

(4) 突破传统水资源演变研究多集中于水量的演变,拓展为水质对驱动因子的响应

Huang Shaochun 应用分布式生态水文动力学 SWIM 模型,模拟大尺度流域水资源对土地利用变化的响应,在对水循环模拟的基础上又模拟了地下水氮负荷和氮浓度,获知优化的农业土地利用和管理是减少氮负荷和改善流域水质的必要条件。

1.2.1.3 水资源配置方面

国外对水资源配置的研究更多是在水资源系统模拟的框架下进行。国外已有一些成功的应用实例和模拟模型,总体上模拟系统的范围在扩大,系统集成性在加强,但

现阶段模型主要以河流为主干,分析水量的流入与流出,对资料条件要求较高,模型输入端为散布的用水点,不支持区域套流域供需平衡分析,与综合规划以行政分区、流域分区或流域套行政区的供用水统计口径不匹配。由于水资源短缺的普遍性,世界银行(1995)在总结各种水资源配置方法不同地区应用的基础上,提出了以经济目标为导向,在深入分析用水户和各方利益相关者的边际成本和效益下配置水资源的机制。相对而言,国外在水资源模拟的软件产品上处于领先优势,开发的模型具有较高的应用价值,充分利用计算机技术完成系统化集成。

(1) Mike Basin 是由丹麦水利与环境研究所(DHI)开发的集成式流域水资源规划管理决策支持软件。其最大特点是基于 GIS 开发和应用,以 Arc View 为平台引导用户自主建立模型,提供不同时空尺度的水资源系统模拟计算以及结果分析展示、数据交互等功能。Mike Basin 以河流水系为主干,工程、用户以及分汇水点等为节点和相应水力连线构建流域系统图,以用户建立的系统和各类对象相应的属性实现动态模拟。模型考虑了地表水和地下水的联合供水,对不同方式下的水库运行以及库群联合调度提供了计算方法,并对系统中的农业灌区水电站及污水处理厂设置了相关计算。通过可修改调整的优先序或规则进行水量分配计算,并配有不同的扩展专业模块供用户选择。

(2) WMS 是美国杨百翰大学与陆军工程兵团共同开发的可用于流域模拟的软件,属于 EMS 软件系统的一个组成部分。该软件重视水文学和水动力学机理,从宏观和微观两个层次同时反映流域水资源运移转换。WMS 以通用的数据接口提供多达十余种的水文模型和水力学模型,并提供多种相关的扩展功能模块供用户选用,并内嵌了完整的 GIS 工具,可以实现流域描绘和各种 GIS 功能分析。该模型提供融汇地表水和地下水转化影响的二维分布式水文模型,也可以进行水质变化和泥沙传输沉积的模拟,并提供随机模拟以及对各类参数的不确定性分析。目前该软件已被引入国内,并在部分研究中得到了应用。

(3) Waterware 是奥地利环境软件与服务公司开发的流域综合管理软件,其功能包括流域的水资源规划管理、水资源配置、污染控制以及水资源开发利用的环境影响评价。软件中集成了 GIS 分析工具模拟模型和专家系统,以面向对象数据库为支持,结合 GIS 直观显示分析结果。Waterware 立足于社会经济、环境和技术三个方面分析流域水资源问题,得出合理的水资源以及污染物排放指标的配置。模型以面向对象技术构建,以流域内的水利工程用水节点、控制站点、河道等基本元素组成的网络为模拟基础,采用水质控制约束下的经济及环境用水配置的效益最大化为目标,实现整个系统的水量计算。

(4) Aquarius 是以美国农业部(USDA)为主开发的流域水资源模拟模型,该模型以概化建立的水资源系统网络为基础,采用各类经济用水边际效益大致均衡为经济准则进行水资源优化配置,并采用非线性规划技术寻求最优解。该模型以面向对象技术构架系统,系统网络图中的各类概化后的元素均以面向对象编程技术中的类表达,并将其设计为符合软件标准的 COM 组件。模型以流域系统内相关的客观实体为建模对象,可对水库水电站灌区市政以及工业用水户、各类分汇水节点以及生态景观及娱

乐用水要求进行概化反映,并将其有机耦合在一个整体框架之中。

(5) ICMS(Interactive Component Modeling System)是澳大利亚研制的水资源系统管理模型。ICMS 由一系列功能组件构成,包括模型创建组件(ICMS Builder)、模型库(Model libraries,MDL)、方案生成(Project)、结果显示(ICMS Views)四部分。其主要特点是强大的交互性和方案生成的灵活性,通过组件式的开发实现由用户选择系统模拟方法。其中 ICMS Builder 是系统支撑平台并提供系统网络图创建功能;MDL 是各专业模块的组合,可以由用户自由选择嵌入系统中使用;Project 在已建立的系统图和选定的计算模型方法基础上,自动生成计算方案并进行模拟计算。ICMS Views 以图表形式直观展示计算结果。

1.2.1.4 水量分配与调度方面

近年来,由于全球人口增长造成水资源短缺,全球气候变化造成水资源系统不确定性增加,全球区域经济发展加速跨境水资源的竞争利用以及冷战后国际边境的急剧变化造成国际河流的复杂化的大趋势,使得国际河流水资源公平合理分配和合理利用的严重性和紧迫性日益突出,特别是国际河流集中、人口增长过快的非洲和亚洲,情况更为复杂和突出。1948 年以来成立了 23 个国际河流流域组织,到目前已有 15 个组织的沿岸国家就整体水资源规划和开发进行合作。水资源的国际分配有三种模式,即按全流域分配、按建设项目分配和按流域整体规划分配。国际水资源分配必须基于三个法律框架文件:签署分水协议,明确水权和分水原则;负责实施和监督的组织机构;协定分水方案(技术性协定)。为了进行公平分配和合理利用国际河流(湖泊)的水资源,早在 1966 年国际法律协会的《赫尔辛基规则》第 5 条中,就给出了需要考虑的相关因素。国外水资源分配与调度方面较为典型的是美国的科罗拉多河分水、中东地区水资源分配和尼罗河分水等。

1. 美国与墨西哥科罗拉多河分水

1944 年美国 and 墨西哥之间对科罗拉多河和格兰德河的水分配签署了分水条约,在该条约中双方确定了各自的分水比例。

2. 尼罗河分水

1929 年英国殖民者与埃及签订的《尼罗河条约》规定,尼罗河上游的非洲国家不得采取可能减少尼罗河流量的行动,埃及在受到水源威胁时有权禁止别国使用尼罗河南端的维多利亚湖水。但地处上游的埃塞俄比亚、肯尼亚、坦桑尼亚、乌干达等国家后来对此提出异议,希望修改条约,放开限制,以便它们在尼罗河上建造大型水电工程及利用河水进行农业灌溉。1993 年 2 月,以研究和协调尼罗河水资源开发利用问题为宗旨的尼罗河流域国家组织成立,就如何合理分配和共同开发尼罗河水资源问题进行了讨论。

3. 美国科罗拉多河州间分水

美国科罗拉多河流域的水权分配是一个逐渐细化、日益广泛、不断修正的过程。20 世纪初期,美国西部开发引起了越来越多农业用水冲突。为此,7 个分属上游和下游的州之间通过长期协商,于 1922 年达成《科罗拉多河契约》。此后,在下游诸州内部

的州际水权分配又经过了很长时期的协商,最终于 1928 年达成博尔德峡谷项目法案。1935 年成立的科罗拉多河委员会进一步加强了各州在水权分配方面的合作,其职能范围通过签署新的协定而不断扩大。1964 年美国高等法院对亚利桑那和加利福尼亚水权争端的裁定,确立了科罗拉多河水权分配和河流管理的许多重要原则。20 世纪后期,美国国内科罗拉多河的水资源日益紧缺。在用水紧张又很难改变原来的水权分配格局的情况下,通过不断补充签订有关协议,并采取基于利益补偿的水权交易机制;水在各州之间、各部门之间的流转显著增加。

4. 以色列分水

以色列的水资源系统归国家所有,由政府负责管理,水行政长官每年决定水资源的分配,而水价由议会所属专门委员会负责制定。每年可利用水量的计算结果都被作为以色列水利委员会分配分量的依据。在确定可利用水量过程中权力的作用使得这种过程成为一个政策工具和受制于政治谈判的一种形态。1981~1990 年间,每年水量的分配都是基于全部可利用水量,并未顾及实际可供水量较少的事实,结果造成水源的过度抽取和消耗,引发了严重的水质问题,特别是在沿海地区和山区地下水蓄积区。1990~1991 年,水问题成为以色列公众关注的焦点。摆在以色列水利委员会和农业部面前需要决策的关键问题是如何对城市、工业、农业和水库这四个用水部门的水量进行分配。以色列每年都需要按年度做出水量分配方案,由水利委员会在农业年度开始时对外公布。

5. 巴以分水

巴勒斯坦和以色列所在的那个地区严重缺水,而且占有情况极不均衡,巴勒斯坦的人均年占有量是 86 m^3 ,而以色列的是 447 m^3 ,这当中就潜伏着危机。所以,奥斯陆协议在巴以之间专门设了一个共同委员会,以处理水这个敏感问题。1995 年 9 月,以巴签订了临时协议,以色列第一次承认巴勒斯坦具有约旦河西岸的地下水所有权,每年可以抽取 $7 \times 10^7 \sim 8 \times 10^7 \text{ m}^3$ 地下水,虽然这只能解决巴勒斯坦的生活用水,但毕竟也向和平解决水争端迈进了一步。

6. 印度与孟加拉国分水

印度和孟加拉国为解决两国在恒河问题上长期存在的纠纷,于 1996 年签订了一项为期 30 年的条约,印度和尼泊尔也就此签了协定。

7. 湄公河分水

1995 年 4 月 5 日,泰、老、柬、越 4 国代表在泰国清莱签署了持久开发湄公河下游合作协定,同时成立了湄公河委员会。其宗旨是在可持续发展、利用、管理、保护湄公河流域水资源及其他资源方面加强全方位的合作。由国际粮食政策研究学会、国际水资源管理学会和湄公河委员会联合举办的湄公河流域环境和开发问题研讨会于 2002 年 1 月 23 日开幕,会议除了讨论湄公河流域的环境及开发等问题外,还就一些特定的问题展开商讨,其中包括湄公河流域的渔业研究和生产、农业开发、水利灌溉、农林业管理和水资源分配战略等。湄公河委员会认为,应该制定一个长期合作研究计划来帮助管理和开发湄公河流域的重要资源。

1.2.2 国内研究

1.2.2.1 水循环研究现状与进展

1. 气候变化对水循环影响的研究进展

目前,对未来气候变化的预测具有相当的困难和不确定性,只能在一系列连贯的有关主要发展驱动力及其相互关系的假设基础上,形成对未来世界的总体描述,即情景。研究当中,有四类气候情景可供选择:类比情景、惯性情景、增量情景和环流模型(GCMs)情景。分布式水文模型耦合通用环流模型(GCMs)是研究气候变化对水循环各个影响因子的发展方向。

自20世纪70年代起,我国气候变化研究渐趋活跃,1985年Villach会议后,国际上的动力和要求促使着我国气候变化和影响研究的加速进展。我国开展气候变化对水文水资源影响的专门研究开始于20世纪80年代。由于西北和华北地区是我国主要的缺水地区,1988年在中国科学院及中国自然科学基金支持下的“中国气候与海面变化及其趋势和影响研究”重大项目中,首先设立了气候变化对西北华北水资源的影响研究。国家科委、水利部共同组织了国家八五科技攻关项目“气候变化对水文水资源的影响及适应对策研究”。

国内众多学者基于不同的水文模型,研究气候变化条件下的水循环变化特征。蓝永超等根据祁连山区和河西走廊平原区的降水、气温和径流资料,分析了该区域近50年径流对气候变化的响应。袁飞等应用大尺度陆面水文模型—可变下渗能力模型VIC和区域气候变化影响研究模型PRECIS耦合,研究气候变化情景下海河流域水资源的变化趋势。

2. 人类活动对水循环影响的研究

目前国内对人类活动对水循环影响的研究主要观点如下:

人类对水资源的开发利用包括两部分,一部分是水利工程建设,严格意义上属于人类对下垫面的改造;另一部分包括“取水—输水—用水—排水—回归”一系列过程,即人工取水过程。下垫面特征对在陆地表面水的再分配起重要作用,而LUCC是下垫面变化的主要方面——在产流过程中影响截留、渗透及土壤水的分配过程(Ragab Cooper, 1993; Doe Castro, 1999),在汇流过程中影响地表的粗糙程度、地表容蓄水量和行洪路径(袁艺等, 2003; 高俊峰等, 1999);还通过改变湖泊、水库的调蓄容量,改变水系微结构等影响流域的蓄泄洪能力。目前关于水资源开发利用对水循环的影响主要指水利工程建设及人工取水过程。姜德娟等应用统计方法研究了洮儿河流域中上游水循环要素变化,获得植被覆盖度的降低可能为该流域天然年径流量增加的主要原因,且定量分析了水资源开发利用对径流的影响。张建兴等应用混沌理论、小波理论、近似熵复杂性理论、生命轮回理论等分析了昕水河流域近50年径流量,认为人类因素是影响该流域径流变化的主要因素。但驱动因子分类较简单。王浩等设定黄河流域2000年现状在下垫面条件下有、无取用水情景,应用基于物理机制的分布式水文模型

(WEP—L)进行水文模拟,基于情境下模拟结果对比,定量评价了取用水与下垫面变化对黄河流域狭义水资源、有效降水利用量、广义水资源总量演变规律的影响。该研究突破了研究对象仅为径流的局限。

1.2.2.2 水资源演变规律研究

前人已经对水资源演变规律进行了以下的研究:

(1)应用统计方法研究水资源演变规律,分别得出气温和下垫面的变化引起的水资源演变。

(2)应用新方法分析流域水资源演变规律。

(3)分布式物理机制水文模型结果结合动态水资源评价。

1.2.2.3 水资源配置方面

目前,国内常用的水资源优化配置模型主要有线性规划模型、非线性规划模型、动态规划模型、模拟模型、多目标优化模型、大系统优化模型等。近年来,运筹学优化理论中的排队论、存贮论和对策论、模糊数学、灰色系统理论、人工神经网络理论、遗传算法等多种理论和方法的引入,也大大丰富了水资源优化配置技术的研究手段和途径。此外,从实际需要,多种优化方法的组合模型也得到了较快发展。如动态规划与模拟技术相结合、图论方法与线性规划方法相结合、动态规划与线性规划相结合、网络方法与线性规划方法相结合等方法。

水资源优化配置是多目标多决策的大系统问题,必须利用大系统理论的思想进行分析研究。传统的水资源配置存在对环境保护重视不够、强调节水而忽视高效、重视缺水地区的水资源优化配置而忽视水资源充足地区的用水效率提高、突出水资源的分配效率而忽视行业内部用水合理性等问题,影响了区域经济的发展和水资源的可持续利用。因此,应加强水资源优化配置研究,特别是新理论和新方法的研究,如水质水量联合优化配置和水资源优化配置效果评价的理论、模型和方法以及3S技术和新优化算法在水资源优化配置中的应用等,协调好资源、社会、经济和生态环境的动态关系,以确保实现社会、经济、环境和资源的可持续发展。

国内学者在20世纪60年代就开始了以水库优化调度为手段的水资源配置研究。自80年代起,由于水资源规划管理的需要,采用系统优化和模拟进行水资源配置的研究逐渐受到重视。南京水文水资源研究所采用系统工程方法对北京地区水资源系统进行了研究,建立了地下水 and 地表水联合优化调度的系统仿真模型,并在国家“七五”攻关项目中进一步完善并应用。刘健民等(1993)采用大系统递阶分析方法建立了模拟和优化相结合的三层递阶水资源供水模拟模型,并对京津唐地区的供水规划和优化调度进行了应用研究。中国水科院等单位(1997)系统地总结了以往工作经验,将宏观经济系统方法与区域水资源规划实践相结合,提出了基于宏观经济的多层次、多目标、群决策方法的水资源优化配置理论,开发出了华北宏观经济水资源优化配置模型,为大系统水资源配置研究开辟了新道路。黄河水利委员会(1998)进行了“黄河流域水资源合理配置及优化调度研究”,综合分析区域经济发展、生态环境保护与水资源条件,

是我国第一个对全流域进行的水资源配置研究,对构建模型软件实施大流域水资源配置起到了典范作用。

中国工程院“西北水资源”项目组(2003)经过广泛深入研究,提出了水资源配置必须服务于生态环境建设和可持续发展战略,实现人与自然和谐共存,在水资源可持续利用和保护生态环境的条件下合理地配置水资源。并在对西北干旱半干旱地区水循环转换机理研究的基础上,得出生态环境和社会经济系统的耗水各占 50% 的基本配置格局。该项研究为面向生态的水资源配置研究奠定了理论基础。

不少学者结合当前发展需求和新技术研究了水资源系统配置的一些理论和方法。甘泓、杨小柳等(2000)给出了水资源配置的目标量度和配置机制,提出了水资源配置动态模拟模型,开发了相应的决策支持系统,研制出可适用于巨型水资源系统的智能型模拟模型。王浩等(2002)提出了水资源配置“三次平衡”和水资源可持续利用的思想,系统阐述了基于流域的水资源系统分析方法,提出了协调国民经济用水和生态用水矛盾下的水资源配置理论。赵建世等(2002)在考虑水资源系统机理复杂性的基础上,应用复杂适应系统理论的基本原理和方法提出了水资源配置理论和模型。冯耀龙等(2003)系统分析了面向可持续发展的区域水资源优化配置的内涵与原则,建立了优化配置模型,给出了其实用可行的求解方法。尹明万等(2004)在探讨水资源系统及水资源配置模型概念的基础上,介绍了全面考虑生活用水、生产用水和生态环境用水要求的,系统反映各种水源及工程供水特点的水资源配置模型的建模思路 and 技巧,给出了可以应用于大型复杂水资源系统的水资源配置系统模型实例。

总体而言,我国水资源严重短缺、水生态环境问题日益严重,国内学者对水资源配置理论和应用研究以及相应决策分析做了较多工作。但由于研究范围和投入力量的限制,各类研究通常是针对具体的问题,推广应用有难度。对模型以及软件开发尚缺少必要的投入,与国外研究和应用水平尚有一定差距。

1.2.2.4 水量分配与调度方面

(1) 李勤等(2000)在《江苏省淮河流域水资源规划模型的研究》中提出江苏省淮河流域处于整个淮河流域的下游,该地区水系复杂,水资源分布不均。根据该地区的系统特点,在充分利用和优化配置水资源的目标下,建立了江苏省淮河流域水资源规划模型,并用聚合—分解—协调的优化技术,模拟分析了江苏省淮河流域基准年及 2000 年、2010 年等不同水平年的水资源规划。江苏省淮河流域水资源规划模型能提供不同频率下各水资源区域内的余、缺水过程,以便客观地分析系统内各用水区的缺水情况,并提出对策。整个数学模型的建立,采用模块设计技术,将各片本地水资源供需平衡子模块、子区间(各片之间及流域外)水资源调度子模块及输入、输出 4 个模块有机地组合起来,相互独立又相互联系。其模型的模拟性好、信息量大、运行灵活、操作方便,可进行长系列计算。但整个模型还需进一步细化处理,以进一步提高模型解的精度和灵敏度。

(2) 张楠等(2013)在《基于水资源配置方案的淮河流域水工程系统模拟研究》中提出同时进行“多水源—多用户”的合理性细化考虑。根据系统概化结构及对实际状

况模拟的精细程度、系统用户对所需水源的不同要求等需要,一方面明确水源类型及供水先后顺序,另一方面考虑用水单位地理位置关系及水源、水工程分布情况,细化到县级行政区。模型建立时考虑了蓄水工程水位、供水对象、供水对象的供水量分配比例的可调整性:

① 蓄水工程起调水位调整。对多年调节型蓄水工程,初始起调水位的变化对整个调节周期的供水量及运行情况都有较大的影响。

② 供水对象调整。模拟过程中,可能会出现蓄水工程供水后水量严重剩余或严重不足的情况,因此需通过调整供水对象调整模拟方案,以优化模拟结果。

③ 需水重要性系数。由于市区和县城、县城和农村需水单位及 6 类需水部门重要程度不同,其供水的保证程度要求也不同。在进行水工程系统模拟时,首先选用较高的需水重要性系数和水库起调水位,再根据初次模拟结果逐级进行针对性调整,从而达到理想的模拟结果。但通用性、功能性还有待于提高。

1.2.3 淮河流域开展的相关工作

自 20 世纪 80 年代以来,淮河水利委员会组织编制了《淮河流域(含山东沿海诸河)水资源评价》《淮河及山东半岛水资源利用》《淮河上中游水资源规划》《淮河片水中长期供求计划》等,这为本项目做了充分的前期资料收集准备工作。然而,由于缺乏对淮干水量分配、调度等方面的研究,给水资源管理带来了一定的困难。本项目立项之前,淮河水利委员会在淮河流域内进行了一些相关或类似工作,主要有淮干流水量分配研究、淮沂水系水资源调度、南四湖流域水资源配置方案研究、南水北调东线工程规划等研究,这为开展本项目的研究积累了一定经验。

作为落实最严格水资源管理制度的重要措施,水资源统一调度是实现水资源优化配置的主要手段。多年来淮委高度重视该项工作,淮河流域水量调度工作在基础工作、应急调度、专题研究、监管能力等方面取得了显著成效,流域水量调度能力不断增强,为流域经济社会发展和生态环境保护做出了重要贡献。

1. 水资源调度实例

(1) 南四湖应急补水。2002 年,淮河流域南四湖地区发生百年一遇的特大旱情,部分地区的旱情达到二百年一遇。全湖面临完全干涸的严重局面,工农业生产遭到严重损失,济宁、徐州两地市 1 000 多万亩($1 \text{ 亩} = 666.67 \text{ m}^2$)农作物受旱,32 万人饮水困难,130 多千米主航道断航,湖区生态环境面临毁灭性破坏。为有效缓解南四湖旱情,淮委及时成立应急生态补水协调领导小组,并会同苏鲁两省正式实施南四湖应急生态补水。长江水通过京杭大运河经 9 级泵站提水地流向南四湖,整个补水阶段自 2002 年 12 月至 2003 年 1 月历时 86 天,共补水 1.1 亿 m^3 ,补水后湖面增加 150 多平方千米,生态补水效果显著。

(2) 引沂济淮实施北水南调。近年来,淮委先后两次实施引沂济淮,缓解洪泽湖及周边地区用水紧张局面。2001 年 7 月,洪泽湖水环境恶化,航道断航。淮委与江苏省防指会商后实施“引沂济淮”,将沂沭泗洪水资源调进洪泽湖 6.30 亿 m^3 ,洪泽湖水