

王振龙 朱梅 章启兵 钱筱暄 董秀颖◎著

皖中皖北 水资源演变与配置技术

中国科学技术大学出版社

中皖北

水资源演变与配置技术

王振龙 朱梅 章启兵 钱筱暄 董秀颖◎著

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

皖中皖北属严重缺水地区,且地表水体污染严重,集中式饮用水达标率低,整体上面临极大的缺水和水污染压力,部分区域面临生存和安全压力,供水安全和水环境安全面临前所未有的挑战。

本书以皖中皖北为研究对象,揭示了水资源的演变特征,分析研究了区域内重点缺水区域、主要城市的现状及近期不同年型不同保证率的缺水态势,评价了区域的供水安全状况,提出了研究区安全供水方案及供水保障关键技术,为皖中皖北水资源优化配置、可持续利用和管理提供了技术支撑。

图书在版编目(CIP)数据

皖中皖北水资源演变与配置技术/王振龙,朱梅,章启兵,钱筱暄,董秀颖著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2015. 1

ISBN 978-7-312-03637-8

I. 皖… II. ①王…②朱…③章…④钱…⑤董… III. 水资源管理—研究—安徽省 IV. TV213. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 312046 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,邮编:230026

网址:<http://press.ustc.edu.cn>

印刷 安徽省瑞隆印务有限公司

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 25.5

字数 528 千

版次 2015 年 1 月第 1 版

印次 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价 59.00 元

序

近 20 年来,人类活动的影响加剧和城市化进程的快速推进,特别是为防洪除涝、农田排灌及水资源开发而进行的各种水利工程的续建配套和兴建,以及安徽省沿淮及淮北煤炭的大规模开采引发的大面积深陷区的形成,使得皖中皖北地区水文循环条件、水资源转化关系和水资源情势发生了变化,同时水资源利用方式、供水结构发生了较大的改变。因此,本书着重对皖中皖北地区水资源情势变化和缺水态势与供水安全保障进行综合研究,揭示变化条件下水资源的演变特征及情势规律,对区域内重要跨省界水资源区域、重点缺水区域、主要城市的供水安全状况进行系统评价,从区域特点和实际出发,研究供水安全保障关键技术,提出重要水资源区域的安全供水方案及供水保障关键技术,意义重大又十分迫切。这不仅能解决这些地区日益复杂的水资源问题和满足供水安全的迫切需要,也事关区域经济社会可持续发展的重大战略问题,具有非常重要的现实意义。

本书是作者在系统对皖中皖北地区水资源演变和综合利用研究的基础上撰写而成的,主要阐述了开展研究的基本情况、皖中皖北地区及重点区域水资源概况、水文循环与水资源演变、供需平衡及缺水态势、水资源开发潜力与承载力、供水安全评价、供水安全保障关键技术和供水安全保障方案以及重点城市和区域的水资源优化配置等研究结论和相关技术。

书中利用安徽省水文局淠史杭蒸发实验站、五道沟水文水资源实验站历年实验研究资料和皖中皖北地区近 150 个水文站点长系列水文监测资料,首次开展变化环境下皖中皖北地区水文情势演变规律和水资源变化规律的研究,把水循环要素转换关系和水资源演变研究成果,应用于水资源开采潜力、承载力及供水安全评价中,并将水资源承载力和供水安全研究成果,又应用于区域供水安全保障关键技术研究。相关研究结果和技术自 2009 年以来,已在皖中皖北的水利和科研等部门的水资源综合规划、流域综合规划、农村水利规划、易旱缺水地区综合治理规划、城市供水规划、水资源调度与管理等方面得到广泛应用,并取得显著的社会经济和生态效益,为保障区域社会经济与城市协调发展提供了重要技术支撑。

本书是针对皖中皖北地区系统全面的水文水资源科学基础和应用研究的专著,适合全国广大水文水资源科技工作者在实际工作中参考和借鉴。

编 著

2014 年 9 月

前 言

皖中皖北地区地处我国的东部,位于黄河和长江之间,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,由于特殊的地理位置和气候条件,水资源时空分布极不均匀、人均占有量偏少、空间分布与人口土地经济社会格局不匹配、水体污染严重,导致该区洪涝旱灾害频发及水资源问题的复杂性。尤其是位于皖中的江淮分水岭缺水地区,人均水资源占有量不到 600 m^3 ,皖北地区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和经济社会的快速发展,沿淮城市群、合肥经济圈、皖江城市带三大区域发展战略加速推进,安徽省“三化”同步发展进程加快,皖中皖北已进入快速发展期,也是水资源和水环境新问题和矛盾更为频发期,供需矛盾日益突出,水资源短缺已成为区域发展的重大制约。整体上面临越来越大的缺水和水污染的压力,部分地区已面临生存和安全的压力,供水安全和水环境安全面临前所未有的挑战。新时期水资源的合理开发、高效利用和科学调配,成为皖中皖北地区当前乃至更长时期迫切需要解决好的水安全重大问题之一。这不仅解决该区日益复杂流域水资源问题和供水安全、粮食安全的迫切需要,也是事关流域区域经济社会可持续发展和经济安全全局的重大战略问题,同时解决皖中皖北水资源问题对全国也有着较好的借鉴意义。

本书以安徽省皖中皖北地区重要缺水区域、重要流域、重要城市等为重点研究对象。按照“把当地水留住,把当地水用好,注重节约,优水优用”的水资源开发利用战略指向,将水循环和水资源演变放到区域背景中,构建河湖连通、库塘调配的水资源配置格局。以皖中皖北地区丘陵代表站和平原代表站淠史杭蒸发实验站、五道沟水文水资源实验站为依托,采用皖中皖北地区近 150 个站点 1956~2010 年长系列水文水资源资料和区域社会经济资料,采用野外实验、资料分析、模型计算等手段开展研究,揭示了变化条件下水循环和水资源演变特征。在此基础上,开展了皖中皖北地区重点区域和主要城市缺水态势和供水潜力与水资源承载能力分析,评价重要水资源区域、重要城市的供水安全现状。在区域、流域和灌区水资源总体配置框架下,针对不同区域水资源特征和利用条件,提出供水安全保障关键技术。结合区域社会经济发展对水资源的需求,紧紧围绕供水安全,提出保障重点水资源区和主要城市供水安全的优化配置方案及特枯水期和突发事件期应急供水预案。

本书由安徽省·水利部淮河水利委员会水利科学研究院、安徽省水文局、安徽

农业大学等单位,历时近三年联合攻关完成。王振龙负责全书的大纲编写与统稿。全书主要由王振龙、章启兵、朱梅、钱筱暄、董秀颖负责编著完成,章启兵、王兵、柏菊编写第一、二章,朱梅、尚晓三、王发信编写第三、四章,钱筱暄、尚新红、陈小凤、王辉编写第五、六章,董秀颖、许一、刘猛、张梦然编写第七、八章,张乃丰、胡勇、胡军编写第九章。安徽农业大学郑佳重、周迪、时召军、赵家祥、赵博、梅海鹏参与专著资料整理、分析及文稿编排等工作。

书中所述技术于2009~2012年在水利规划设计、水资源保护规划、科学研究、水资源管理配置、农业抗旱及高校等部门得到了广泛应用,为产学研结合及水资源学科的发展起到了积极的推动作用,为安徽省皖中皖北地区重点缺水区域及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经济效益。本书在写作过程中,得到了安徽省水利厅、淮河水利委员会、河海大学、五道沟水文水资源实验站、淠史杭蒸发实验站、蚌埠市水利局、六安市水利局、合肥市水务局以及淠史杭灌区管理总局等单位的大力支持和帮助,本书凝聚了这些单位水利工作者多年的辛勤劳动。书中采用了皖中皖北地区近150个水文站点及实验站的长系列资料,这些资料的取得都凝聚了大量基层水文工作者多年的辛苦积累。在此,向一直关心和支持本书写作的单位、领导和同志们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中疏漏或不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2014年9月

目 录

序	(i)
前言	(iii)
第 1 章 绪论	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.1.1 皖中皖北水资源与水安全问题	(1)
1.1.2 研究的意义	(1)
1.2 皖中皖北供水现状与水资源研究回顾	(2)
1.2.1 皖中皖北供水现状与缺水态势	(2)
1.2.2 皖中皖北水资源研究回顾	(3)
1.3 研究现状	(4)
1.3.1 水文情势	(4)
1.3.2 水资源演变	(4)
1.3.3 水资源开发利用与承载能力	(5)
1.3.4 供水安全	(6)
1.3.5 水资源配置	(6)
第 2 章 皖中皖北地区概况	(8)
2.1 区域概况	(8)
2.1.1 自然地理	(8)
2.1.2 社会经济	(10)
2.1.3 水文气象	(11)
2.1.4 河流水系	(12)
2.2 水资源开发利用与配置	(13)
2.2.1 水资源与分布	(13)
2.2.2 水资源开发利用与“三条”红线	(14)
2.2.3 发展规划与供水需求	(16)
2.2.4 水资源配置现状与问题	(20)
2.2.5 水资源管理	(25)
2.3 重点研究区域与重点城市	(28)
2.3.1 江淮分水岭易旱、易涝地区与淮北地区	(28)

2.3.2 合肥市与阜阳市	(30)
第3章 水文及水资源要素演变规律	(39)
3.1 皖中地区	(40)
3.1.1 水文要素演变特征	(40)
3.1.2 水资源演变特征	(51)
3.1.3 水资源开发利用演变	(60)
3.1.4 水资源演变驱动因子分析	(65)
3.2 皖北地区	(66)
3.2.1 水文要素演变特征	(66)
3.2.2 水资源情势演变分析	(77)
3.2.3 水资源开发利用演变	(90)
3.2.4 水资源演变驱动因素分析	(92)
第4章 水资源供需平衡与缺水态势研究	(100)
4.1 皖中地区	(100)
4.1.1 需水预测	(100)
4.1.2 节约用水	(115)
4.1.3 供水预测	(123)
4.1.4 供需平衡	(133)
4.1.5 皖中地区缺水态势分析	(143)
4.2 皖北地区	(144)
4.2.1 需水预测	(144)
4.2.2 节约用水	(149)
4.2.3 供水预测	(153)
4.2.4 供需平衡	(154)
4.2.5 皖北地区缺水态势分析	(163)
第5章 水资源开发潜力与承载力研究	(164)
5.1 水资源开发潜力研究	(164)
5.1.1 负载指数的引入	(164)
5.1.2 安徽省淮河流域水资源开发潜力	(165)
5.1.3 安徽省江淮分水岭地区水资源开发潜力	(166)
5.2 基于模糊综合评价的水资源承载力研究	(167)
5.2.1 相关理论与评价模型	(167)
5.2.2 主要城市水资源承载力研究	(177)
5.3 皖中江淮分水岭区域水环境承载能力初步研究	(187)

5.3.1 皖中江淮分水岭重点地区水功能区划	(187)
5.3.2 水环境现状及污染分析	(191)
5.3.3 水环境承载能力计算	(199)
5.3.4 水环境承载能力分析	(212)
5.3.5 水污染控制措施	(212)
第6章 供水安全评价方法与方案研究	(232)
6.1 评价指标体系的建立	(232)
6.1.1 建立原则	(232)
6.1.2 建立方法	(232)
6.2 水资源安全综合评价模型	(235)
6.2.1 层次分析法	(235)
6.2.2 多层次模糊综合评价模型	(236)
6.3 皖中地区供水安全评价	(241)
6.4 皖北地区供水安全评价	(245)
6.5 重点区域及重点城市	(250)
6.5.1 江淮分水岭易旱地区	(250)
6.5.2 蚌埠闸以上地区	(259)
6.5.3 合肥市(建城区)	(261)
6.5.4 阜阳市(建城区)	(263)
第7章 供水保障关键技术研究	(266)
7.1 区域水资源调度技术的研究	(266)
7.1.1 淮河上游水资源调度与管理关键技术	(266)
7.1.2 蚌埠闸与怀洪新河联合调度利用	(281)
7.2 特殊水资源利用技术的研究	(285)
7.2.1 雨洪资源安全利用技术研究	(285)
7.2.2 特枯水期及突发事件时期水资源应急方案研究	(290)
7.2.3 皖中江淮丘陵地区地下水分布规律与开采技术的研究	(317)
7.3 重点区域与水资源利用技术研究	(320)
7.3.1 皖中皖北地区重点区域供水保障方案研究	(320)
7.3.2 皖中皖北地区主要城市安全供水保障技术研究	(333)
第8章 成果与建议	(369)
8.1 研究成果	(369)
8.1.1 揭示了皖中皖北地区动态条件下的水文循环变化特征	(369)
8.1.2 探明了流域水资源情势演变的主要规律	(370)

8.1.3	剖析了皖中皖北地区水资源供需状况和缺水态势	(372)
8.1.4	提出开采潜力和水资源承载力等级和指标	(374)
8.1.5	构建供水安全评价模型和评价指标体系,安全供水现状评价	(376)
8.1.6	开展供水安全保障关键技术综合研究,综合提出了重点区域、主要 城市的供水安全优化配置保障方案	(376)
8.2	成果综合应用	(378)
8.2.1	为区域水资源综合规划和农村水利规划编制提供技术支撑 ...	(378)
8.2.2	为区域水利工程建设提供支撑,保障供水安全	(379)
8.2.3	指导灌区水资源合理配置与节水增产,保障粮食安全	(380)
8.2.4	为社会经济发展规划制定与实施提供水资源支撑,保障经济安全	(381)
8.2.5	在水资源管理方面应用	(381)
8.2.6	在水利基础研究方面应用	(382)
8.2.7	在人才培养方面	(382)
8.2.8	在国内外学术交流方面	(382)
8.3	水资源安全的对策建议	(383)
8.3.1	充分利用现有水资源工程,提高雨洪资源和中水利用量,实现 水资源优化配置	(383)
8.3.2	新建和扩建水资源拦蓄工程及跨流域跨区域调水工程,提高供水 能力	(384)
8.3.3	建立水资源及水环境安全实时调度管理系统,实现水资源科学调度 管理	(384)
8.3.4	加强皖中皖北水资源统一配置和调度,进一步加强水环境承载能力	(385)
参考文献		(386)

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 皖中皖北水资源与水安全问题

皖中皖北地区是安徽省政治、经济、文化、交通、能源的重要区域,也是经济发展极具潜力的区域。区内中小流域众多,水系发达,尤其是区内的淮河流域,是我国独具特色的流域和水系,涉及河南、安徽、江苏、山东、湖北四个省级行政区,流域独特的地形地貌、气候特征和社会经济特点导致其水问题交织而十分复杂。皖中皖北区域,尤其是淮河流域长期的水旱灾害致使淮河流域经济处在我国经济洼地,但优越的地理位置、丰富的煤炭资源和良好的光热资源,使得区域经济发展又极具潜力。国家实施中部发展战略、合肥经济圈建设、皖江城市带承接产业转移示范区等重大战略的实施,为本地区发挥区位、交通、土地、劳动力、农副产品资源等优势,构建现代农业产业体系,提供了更大的发展空间;我省经济在“十二五”期间的跨越式发展,将为江淮分水岭地区发展提供有力支撑。皖中皖北地区已进入快速发展期,也是水资源和水环境新问题、新矛盾更为频发期,供需矛盾日益突出,整体上面临越来越大的缺水和污染的压力,部分地区已面临生存和安全的压力,供水安全 and 环境安全面临前所未有的挑战。皖中境内的巢湖水质常年处于Ⅳ~Ⅴ类标准,水多却不能有效利用,水环境形势较为严峻;皖北境内淮河干流水质有所好转,但仍有 65%左右的水质存在不同程度的污染,28.6%的水质重度污染。地表水污染严重,不仅使其失去生态和使用功能,引起结构性缺水,加剧了水资源匮乏,而且还会导致地下水污染。皖中皖北集中式饮用水达标率只有 70%左右,低于全省平均水平 23 个百分点。新时期皖中皖北地区尤其是重点缺水地区水资源合理开发、高效利用和科学调配,已成为当前乃至更长时期迫切需要解决好的水安全保障重大问题。

1.1.2 研究的意义

皖中皖北地区是受人类活动影响最剧烈的流域。尤其是近 20 年来,由于人类

活动的影响加剧和城市化进程的快速推进,特别是防洪除涝、农田排灌及水资源开发各种水利工程的兴建,以及安徽省沿淮及淮北煤炭的大规模开采引发的大面积沉陷区形成,使得区域水文循环条件、水资源转化关系和水资源情势发生了变化,同时水资源利用方式、供水结构发生了较大的改变。因此,在整个区域背景下,开展皖中皖北地区水资源缺水态势与供水保障综合研究,揭示变化条件下水资源的演变特征及情势规律,对区域内重要水资源区域、主要城市的供水安全状况进行系统评价,从地区特点和实际出发,研究供水安全保障关键技术和措施,提出重要水资源区域的安全供水方案及供水保障关键技术,意义重大且十分迫切。这不仅是解决该区日益复杂水资源问题和供水安全、粮食安全的迫切需要,也是事关区域经济社会可持续发展和经济安全全局的重大战略问题。

本项目以皖中皖北地区为研究区域,重点研究区域水资源问题突出的江淮分水岭区域、平原区及重要城市等;针对流域内近 20 年来较为剧烈频繁的人类活动,开展了对水文循环要素时空变化规律、水资源供需关系及缺水态势、水资源开发潜力与承载力及供水安全评价的研究;对区域内水资源问题突出和流域层面水资源管理重点关注的区域的供水安全及保障措施进行了评价;对流域内提高供水安全保障的关键技术进行了研究,提出“水资源优化调度与管理技术”、“洪水资源安全利用技术”、“地下水水资源分布规律与开采技术”、“特殊干旱期水资源安全利用技术”等系列关键技术成果,在此基础上提出了皖中皖北重要城市和重点区域供水安全保障技术与优化配置方案,为保障区域供水安全、粮食安全、经济安全提供了技术支撑。

1.2 皖中皖北供水现状与水资源研究回顾

1.2.1 皖中皖北供水现状与缺水态势

根据调查分析,皖中地区(主要为江淮分水岭区域的六安市、合肥市、巢湖市、滁州市)区内供水量由 1980 年的 59.5 亿 m^3 增加到 2010 年的 98.9 亿 m^3 ,年均递增 2%。其中,供水增长最快的为合肥市,年均增幅 2.3%。现状年 2010 年供水工程中,蓄水工程供水量 55.00 亿 m^3 ,占区域总供水量的 56.0%;引水工程供水量 12.2 亿 m^3 ,占区域总供水量的 12.4%;提水工程供水量 24.5 亿 m^3 ,占区域总供水量的 24.90%;跨流域调水工程供水量 3.16 亿 m^3 ,占区域总供水量的 3.22%。其中六安市供水量最大为 29.7 亿 m^3 ,主要是淠史杭灌区从大别山水库群引水并承担着跨流域调水任务,其他依次为巢湖市 26.26 亿 m^3 、合肥市 21.86 亿 m^3 、滁

州市 20.49 亿 m^3 。

皖中地区特别是江淮分水岭地区,地形复杂,水资源条件差、地区差异大,气候、地质条件特殊,河流短,泄水快、蓄水条件差,干旱缺水一直是该地区的突出气象特征,也是制约该地区农业生产发展、农民生活改善和经济社会发展的主要矛盾。1997年,安徽省省委、省政府决定实施江淮分水岭易旱地区综合治理开发,经过多年治理成效明显,除了从淠史杭灌区引水解决缺水问题外,主要是库、塘、坝、井并举,坚持“留天水、拦雨水、抽井水、省用水”。随着社会经济的发展和城市化进程的加快,用水需求进一步加大。分析统计,在供水量结构中,农业用水量减少趋势明显,生活和工业用水量明显增加,尤其是合肥市用水量增加较快,用水结构转换明显。统计资料显示,淠史杭灌区向合肥市市区调水量由2000年的0.18亿 m^3 增加到目前的近2亿 m^3 ,增加的水量主要是补充合肥市的城市生活用水和公共服务用水。作为我国五大淡水湖之一的巢湖,由于水质污染和富营养化,近年来虽然通过多种渠道进行治理,但水质仍未根本好转,水质仍处在Ⅳ~Ⅴ类,水源充裕但难以利用,从而造成区域和城镇水质型缺水。

1.2.2 皖中皖北水资源研究回顾

自20世纪60年代以来,以淮北地区的五道沟实验站、杨楼实验流域以及江淮丘陵地区的淠史杭蒸发试验站和城西径流试验站等为代表的水文水资源研究基地及农业生态实验基地建设得到不断加强。20世纪80年代以来,安徽省水利科学院先后承担完成了省部级科技攻关及技术创新项目近30项,获省部级一等奖一项、二等奖三项、三等奖六项。其中,“淮河中游河床演变”获安徽省科技进步一等奖,“淮北平原变化环境下水文循环实验研究与应用”项目获2010年度大禹水利科学技术奖二等奖,“安徽淮北地区浅层地下水资源评价”和“实用土壤墒情预报研究”分别获安徽省科技进步二等奖,“安徽淮北地区地下水资源开采潜力研究与应用”、“淮北地区墒情监测预报和抗旱减灾信息系统”、“安徽淮北地下水动态监测与调控预报技术综合研究”、“安徽省水资源评价与利用研究”、“五道沟水文模型”、“淮北地区农田排灌与水资源综合利用研究”分别获安徽省科技进步四等奖,水利部科技创新项目“节水灌溉示范项目工程技术与政策管理研究”获省水利科学技术一等奖。淠史杭蒸发试验站自1982年建站以来,在蒸发试验、径流实验、灌溉试验及土壤墒情监测及预报等方面取得10项实验成果。其中,“APE-500型土壤蒸发器研制成果”、“水稻节水增产浅湿间歇灌溉制度推广应用”获安徽省科学技术成果三等奖,“提高旱涝渍害中低产田生产力综合研究”成果获安徽省水利科学技术进步一等奖,“山区冷浸田改造的试验研究”等四项成果获安徽省水利科学技术进步三等奖。

1.3 研究现状

1.3.1 水文情势

水文循环决定了水资源的形成和演变规律,任何水资源问题的研究都不能脱离水文循环的研究,水资源承载能力、供水安全评价与保障技术的研究也不例外。

水文情势包括灌区水文情势、河川水文情势、地下水水文情势和海洋水文情势等。水文情势的变化影响主要表现在对湿地、生态、水环境、森林等方面。

目前国内外对水文情势变化的研究主要在以下方面:

① 主要研究内容:在灌区、流域、地下、海洋等特征地域,对人类活动、降雨、蒸发、径流及气象要素的研究。主要表现在通过对各个水文要素的单项或综合分析,探求区域水文情势的变化趋势和演变规律。

② 主要分析方法:目前国内外对水文情势的演变研究的主要方法有相关关系分析、IHA 和 RAV 法、Mann - Kendall、Spearman 秩次相关检验法、小波分析、持续性分析、模糊分析、神经网络及多种统计学方法。

③ 水文情势演变规律和影响水文情势的成因有:降雨蒸发对河川、灌区、山地、森林、地下径流变化的影响;水利工程建设对水文情势变化规律的影响;温度、湿度、风速、气压及太阳辐射等气象因子对水文情势的影响。

随着科学的进步以及水利工程生态环境效应的逐步显现,人类意识到,水利工程在造福于人类的同时也改变了水文情势、水流形态,进而改变着人类赖以生存的生态系统。由于水文循环具有联系地球系统“地圈—生物圈—大气圈”的纽带作用,水文循环过程变化与其相关的生态环境变化交叉的研究是今后研究的主要方向。

1.3.2 水资源演变

国内外的水资源演变研究主要包括以下几个方面:

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。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的变化情况,获得结论: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。

② 应用概念性水文模型界定区域内流域水资源对气候和下垫面变化的响应。MohamadI Hejazi 等应用 HEC - HMS 模型对伊利诺斯州 12 个城市化较高的流域

洪水进行模拟,得出城市化较气候变化对洪峰流量的影响高 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。

③ 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、1975、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。

④ 在分布式水文模型耦合其他模型基础上,结合统计方法对区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,得出结论:该地区水资源演变的 60% 为气候变化驱动。上述研究将水文模型机理优势与统计方法的规律优势相结合,在水资源演变的归因分析中具有不可替代的作用。

⑤ 应用新方法分析流域水资源演变规律。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听水河流域近 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。

⑥ 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。

⑦ 分布式物理机制水文模型结果结合动态水资源评价。王浩等设定黄河流域 2000 年现状下垫面条件下有无取水情景,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。

1.3.3 水资源开发利用与承载能力

水资源开发利用潜力是指一个地区在可以预见的期间内,以水资源的开发利用不引起环境退化为前提可以开发利用的潜在水资源量。为保障水资源的可持续利用,水资源开发利用不应超过其限度。国内外学者对水资源开发利用潜力早有研究,Falkenrmark 等学者研究了全球或一些发展中国家的水资源的使用限度,为

水资源开发利用潜力的专门研究提供了一定的基础。国内学者对水资源开发利用潜力比较有代表性的有:2008年,张丹等以《中国水资源分区》为基础,采用ARC/INFO软件,统计分析了一级、二级和三级流域分区的水资源负载指数,定量揭示了中国不同地区的水资源利用程度与开发潜力。

国外关于水资源承载力的单项研究比较少,大多将其纳入可持续发展理论中,Joardor 等人在1998年将水资源承载力纳入城市发展规划当中,并从供水的角度对城市水资源承载力进行了相关研究;Rijiberman 等在研究城市水资源评价和管理体系中将承载力作为城市水资源安全保障的衡量标准。我国对水资源承载力的研究始于20世纪80年代中后期,当时只是在我国北方的部分地区进行了探索性研究。目前已有的关于水资源承载力研究大多是从水资源的自然和社会属性着手,综合考虑区域或流域特征以及社会经济发展状况,循着可持续发展的宗旨,借助相关学科理论及知识,应用已有的方法来解决水资源承载力的问题。迄今为止并未形成一个系统科学的研究体系。

1.3.4 供水安全

水安全研究始于20世纪70年代,随着水资源危机的不断加深,人类社会对水安全的关注程度越来越强烈。目前,在水安全评价中运用较多的是可持续发展指标体系,虽然它没有得到世界各国的公认,但是并不影响对其研究和广泛应用。联合国有关组织在对世界水资源状况进行评价时,主要采用以下几种指标:①瑞典水文学家 Malin Falken - mark 提出的“水紧缺指标(Water - Stress Index)”,该指标主要用人均可更新水资源来表示区域水资源的余缺程度;②以水资源的开发利用程度作为用水紧张的分类指标;③以水资源总量折合径流深来衡量生态系统的自然状况,当径流深大于150 mm时,基本上可以保证适当的人类活动,维持原有生态系统不蜕化,即可维持较好的生态环境状况。王淑云等总结了水安全的内涵和水安全评价的主要方法,即层次分析法、模糊综合评价法、模糊物元模型法、投影寻踪法等。总体来看,过去的供水安全评价较侧重在单个城市进行,而流域层面上开展的多为综合性的水资源承载力评价或者水资源安全评价。因此,在安徽省皖中皖北地区开展供水安全专项评价,对于了解流域内水资源供需矛盾、保障城市供水安全和农村饮水安全,以及指导区域内水资源合理配置等具有重要的意义。

1.3.5 水资源配置

传统的水资源配置思路是“以需定供”或“以供定需”,具有一定的局限性,动态的可持续发展的水资源优化配置是基于宏观经济的水资源配置的进一步升华,遵

循人口、资源、环境和经济协调发展的战略原则,在保护生态环境(包括水环境)的同时,促进经济增长和社会繁荣。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。目前,国内外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,从实际需要出发,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。