

多水源联合配置与 供水安全保障综合利用技术

储德义 杨林海 王振龙 沈宏 胡志坚 编著



非
斗
借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

多水源联合配置与 供水安全保障综合利用技术

储德义 杨林海 王振龙 沈宏 胡志坚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书以蚌埠市为研究背景，在继承现有成熟理论、技术、方法的基础上，研究提出了水资源演变特征辨识、水资源动态管理、枯水期多水源动态模拟、水资源供需态势分析、多水源多用户联合配置与调度、水环境与水生态修复、供水安全保障等新方法、新模型和关键技术体系。本书揭示了蚌埠市水资源数量、质量在年内、年际、年代际之间的变化规律，以及水资源量的长期趋势性、周期性、突变性等演化特征，完整刻画了区域水资源禀赋条件，为区域水资源的可持续利用提供了有力支持；提出了多水源、多用户、多控制要素下的动态蓄引技术和不同组合条件下的联合配置方案；揭示了淮河干流蚌埠闸以上枯水期多水源演变规律；构建了适合蚌埠市的水域综合治理，生态景观补水，生态复育、水景观要素控制，自然生态型河道设计等技术方法体系。

本书适合水资源管理工作读者阅读，也可作为水文水资源专业人员的科研、教学参考书。

图书在版编目（C I P）数据

多水源联合配置与供水安全保障综合利用技术 / 褚德义等编著. — 北京：中国水利水电出版社，2017.9
ISBN 978-7-5170-5902-8

I. ①多… II. ①褚… III. ①区域资源—水资源管理—研究—蚌埠②城市供水—研究—蚌埠 IV. ①TV213.4
②TU991

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第236355号

书 名	多水源联合配置与供水安全保障综合利用技术 DUOSHUIYUAN LIANHE PEIZHI YU GONGSHUI
作 者	ANQUAN BAOZHANG ZONGHE LIYONG JISHU
出版发行	褚德义 杨林海 王振龙 沈 宏 胡志坚 编著 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 (营销中心)
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14.25印张 338千字
版 次	2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	59.00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



蚌埠市位于淮河中游下段，安徽省东北部，淮北平原南部，是皖北地区的商贸中心、加工制造业中心和邮电通信指挥调度中心。京沪高速铁路，京福、宁洛高速公路，贯穿其中，是全国重要的水陆交通枢纽；是沿海经济与西部经济过渡区，易于承接产业转移。经过多年的发展，蚌埠已经成为皖北地区的交通、商业、物流中心，农副产品生产基地，安徽省重要的综合性工业基地，高新技术产品出口基地。蚌埠市是“合芜蚌自主创新综合配套改革试验区”区域之一，是沿淮城市群“雁阵”发展格局中北翼、中翼的“领头雁”、沿淮城市群整体经济发展的“引擎”、产业梯度转移中高新技术产业的主要承接地。区位优势明显，具有较大发展潜力。

蚌埠市位于我国南北气候过渡带，资源型缺水、水质型缺水和工程型缺水相互交织，水安全形势极为严峻，具体表现为5个方面：①水资源情势与演变机制复杂多变，其机理和规律尚未完全厘清；②供水水源单一，缺少地表水、地下水、沿淮洼地蓄水、外调水、再生水等多水源联合调度关键技术，供水保证程度不高；③枯水年、枯水期应对手段缺乏，抗风险能力不强；④频受淮河上中游突发水污染事件的侵害，应急保障能力薄弱；⑤水资源开发利用中目标单一，注重生活生产供水，对水生态修复、水景观、水文化需求等关注不够。因此，为贯彻落实科学发展观，加强蚌埠市水资源的优化配置、合理利用和有效保护，指导水资源开发利用和保护，推进实施最严格水资源管理制度，作者编写了本书。

本书以蚌埠市为研究背景，在继承现有成熟理论、技术、方法的基础上，研究提出了水资源演变特征辨识、水资源动态管理、枯水期多水源动态模拟、水资源供需态势分析、多水源多用户联合配置与调度、水环境与水生态修复、供水安全保障等新方法、新模型和关键技术体系。本书揭示了蚌埠市水资源数量、质量在年内、年际、年代际之间的变化规律，以及水资源量的长期趋势性、周期性、突变性等演化特征，完整刻画了区域水资源禀赋条件，为区域水资源的可持续利用提供了有力支持；提出了多水源、多用户、多控制要素下的动态蓄引技术和不同组合条件下的联合配置方案；揭示了淮河干流蚌

埠闸以上枯水期多水源演变规律；构建了适合蚌埠市的水域综合治理，生态景观补水，生态复育、水景观要素控制，自然生态型河道设计等技术方法体系。

本书由水利部淮河水利委员会联合安徽省·水利部淮河水利委员会水利科学研究院、河海大学、中水淮河规划设计研究有限公司、上海睿臻工程咨询有限公司等多家单位，坚持问题导向和实践需求，“产学研用”相结合，采用水文水资源、系统工程、社会经济以及地理遥感等信息技术，在水利部行业公益性项目和安徽省水资源重点项目等资助下，历时5年联合攻关，形成了最终研究成果，并撰写了本书。

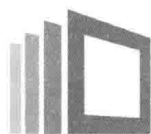
本书共分10章，第1章由尚新红、张志刚编写，第2章由许晓生编写，第3章由王振龙、尚新红、刘超编写，第4章由杨林海、方建军编写，第5章由沈宏、许晓生编写，第6章由尚新红、许晓生编写，第7章由胡瑞、张志刚编写，第8章由胡志坚、张志刚编写，第9章由刘超、胡瑞编写，第10章由储德义、张志刚编写，全书由储德义统稿。

本书的出版得到了水利部发展研究中心、安徽省水利厅、安徽省淮河河道管理局、蚌埠市水利局等有关单位的大力支持和帮助。在此，向给予关心和支持的单位及领导和同事们表示衷心的感谢！

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。

作者

2016年11月



前言

第 1 章 绪论	1
1.1 国内外水资源配置技术及研究现状	1
1.1.1 水循环研究现状与进展	1
1.1.2 水资源配置研究	3
1.1.3 水量分配与调度研究	6
1.2 技术需求与主要研究内容	9
1.2.1 技术需求	9
1.2.2 主要研究内容	9
第 2 章 蚌埠市概况	11
2.1 自然地理	11
2.2 水文气象	11
2.3 河流水系	11
2.4 土壤植被与水文地质	12
2.5 水利工程	13
2.6 社会经济	14
2.6.1 人口状况	14
2.6.2 经济	15
第 3 章 水量水质评价及水资源演变规律研究	16
3.1 水资源量评价	16
3.1.1 地表水资源量评价	16
3.1.2 地下水资源量评价	17
3.1.3 水资源总量评价	22
3.1.4 过境水量	23
3.2 水质评价	25
3.2.1 地表水水质评价	25
3.2.2 地下水水质评价	25
3.3 水资源演变规律研究	26
3.3.1 降雨演变分析	26
3.3.2 地下水位动态变化	30

3.3.3 径流演变分析	35
第4章 水资源开发利用状况与问题研究	38
4.1 工程供水能力	38
4.2 水资源开发利用分析	39
4.2.1 地表水开发利用程度分析	39
4.2.2 浅层地下水开发利用程度分析	40
4.2.3 地表水开发利用潜力分析	40
4.2.4 浅层地下水开发利用潜力分析	40
4.3 水资源开发利用的演变情势	40
4.4 水资源开发利用特点	42
4.5 水资源开发利用问题	43
4.6 水资源管理“三条红线”要求	44
第5章 节水潜力与水资源需求态势研究	45
5.1 节约用水	45
5.1.1 节水现状与潜力分析	45
5.1.2 节水措施	46
5.1.3 用水效率指标	47
5.2 需水预测	47
5.2.1 需水预测方法	47
5.2.2 社会经济发展预测	50
5.2.3 需水量预测	51
5.2.4 需水量汇总	55
5.3 成果合理性	56
5.3.1 增长趋势分析	56
5.3.2 需水结构变化分析	56
5.3.3 用水水平和用水效率分析	57
第6章 蚌埠闸上枯水期水资源动态演变与供需态势研究	59
6.1 蚌埠闸	59
6.1.1 水位控制条件	59
6.1.2 来水量分析	60
6.1.3 蚌埠闸上区域历年干旱年情况	60
6.2 枯水期水资源演变规律	61
6.2.1 枯水期的确定	61
6.2.2 降水量演变规律分析	65
6.2.3 枯水期径流情势演变规律	76
6.2.4 典型断面枯水期径流演变及动态模拟分析	84
6.3 枯水期水资源情势演变影响因素	88

6.3.1	气候条件变化的影响	88
6.3.2	下垫面变化的影响	89
6.4	不同枯水组合水资源利用及可利用量研究	91
6.4.1	不同枯水组合的水资源开发利用情况	91
6.4.2	不同枯水组合的水资源可利用量	91
6.5	枯水期水资源供需态势分析	92
6.5.1	流域水资源开发利用程度分析	92
6.5.2	流域用水量变化趋势	92
6.5.3	蚌埠闸上受旱典型年水量平衡分析	92
6.5.4	不同频率、不同枯水组合下水资源供需态势	92
6.6	枯水期供水安全评价技术	93
6.6.1	供水安全评价指标体系	93
6.6.2	水资源安全综合评价模型	96
6.6.3	供水安全评价结果	103
第7章	多水源多用户联合配置技术	105
7.1	地表水	105
7.1.1	地表水水源条件	105
7.1.2	地表水可供水量分析	105
7.1.3	地表水可供水量预测	106
7.2	地下水	107
7.2.1	地下水赋存条件	107
7.2.2	地下水可开采量分析	107
7.2.3	地下水可供水量预测	108
7.3	沿淮洼地洪水资源利用	109
7.3.1	蚌埠市沿淮洼地分布	109
7.3.2	沿淮洼地与淮河连通关系	110
7.3.3	沿淮洼地水资源利用	110
7.4	再生水源	111
7.4.1	再生水利用范围	111
7.4.2	可回用污水量预测	111
7.4.3	再生水可供水量	112
7.5	外调水供水	112
7.5.1	南水北调工程	112
7.5.2	引江济淮工程	113
7.5.3	外调水可供水量	113
7.6	多水源多用户水量配置技术	113
7.6.1	配置原则与方法	113
7.6.2	交互式情景共享—系统仿真耦合模型	115

7.6.3	供需平衡分析成果	125
7.6.4	多水源多用户水量配置成果	127
第8章	水环境保护与水生态修复技术	129
8.1	水功能区划	129
8.2	水环境现状与问题	130
8.3	水功能区纳污能力计算	132
8.3.1	现状纳污量调查分析	132
8.3.2	污染物纳污能力	133
8.4	水资源保护方案	134
8.4.1	水资源保护目标	134
8.4.2	地表水保护措施	135
8.5	水环境修复与水景观布局	137
8.5.1	总体布局	137
8.5.2	蚌埠市区水景观与水生态河湖规划布局	137
8.5.3	怀远县水景观与水生态河湖规划布局	138
8.5.4	固镇县水景观与水生态河湖规划布局	140
8.5.5	五河县水景观与水生态河湖规划布局	140
8.5.6	主要功能区规划	142
8.5.7	主要对策措施	145
第9章	供水安全保障关键技术	149
9.1	地表水联合调度利用	149
9.1.1	淮河干流蚌埠闸—正阳关水量配置研究	149
9.1.2	蚌埠闸与怀洪新河联合调度利用	160
9.1.3	蚌埠闸上水资源调度关键技术	163
9.2	地下水资源安全开采技术研究	180
9.2.1	浅层地下水开发	181
9.2.2	中深层孔隙水开发	181
9.3	特枯水期水资源应急调度技术	182
9.3.1	典型干旱年水量平衡分析	182
9.3.2	特枯水期水源条件分析	183
9.3.3	应急调度方案	193
9.4	水资源可持续管理技术	195
9.4.1	水资源监测初步研究	195
9.4.2	水资源管理措施	195
9.4.3	监管与考核体系建设	195
9.4.4	水资源可持续管理技术	199
9.5	保障措施	202

9.5.1 水源工程保障	202
9.5.2 水环境工程保障	207
第 10 章 主要成果与建议	209
10.1 主要成果.....	209
10.2 水资源综合开发与配置对策建议.....	212
参考文献	215

第 1 章 绪 论

蚌埠市是一个资源型缺水、水质型缺水及工程型缺水兼有的典型缺水城市,人均占有水资源量为 550m^3 左右。近几年来,城市化进程的快速推进及社会经济的快速发展,导致水资源需求量显著增加及水资源紧缺形势日益严峻,供水水源单一及淮河干流枯水期水资源不足带来的供水安全问题日益突出,因此,水资源紧缺及水环境污染已是制约地区国民经济持续发展的主要瓶颈。

蚌埠市近几年来用水量大幅度增加,其水资源可利用量严重不足,供需矛盾日益加剧,工业与生活、城市与农村争水矛盾突出,水资源紧缺制约了工业企业和城市规模的发展。淮河蚌埠闸以上 12.1万 km^2 汇水面积的来水丰富,淮干及一级支流过境水量较大,但过境水利用率很低,大多是洪水、涝水,加上地势平坦、调蓄能力弱,易涝易旱易污染。

蚌埠市现状用水结构及配置方案不合理,市、县城区供水结构单一,饮水水源地建设滞后,市、县城区地下水超采严重,且开采布局不合理,地下水位降落漏斗逐年增加,长期下去必将引起地面沉降等环境地质灾害。而茨河、天河、怀洪新河、浍河、茨淮新河等河湖水域目前的主要功能是防洪除涝。

蚌埠市水系复杂,河湖交错,有利于建设亲水城市圈(河湖水域沟通和城区水景观),打造人水和谐,发展生态水利、资源水利、环境水利、景观水利。同时,境外来水污染依然严重,水功能区和排污口需进一步规划调整,亟待提出排污量控制和治理方案,排污总量有待控制削减,地表水利用率低,水环境及水生态治理修复任务重且十分迫切。

开展蚌埠市多水源联合配置与供水安全技术研究,揭示蚌埠市水资源演变规律、建立蚌埠市水资源优化配置平台、提出不同组合条件下的多水源多用户联合配置方案、揭示淮河干流蚌埠闸上枯水期多水源演变规律、提出了基于用户满意度的水资源应急调度供水安全保障方案等科技问题,为加强蚌埠市水资源合理开发利用、科学配置和节约保护水资源,进一步实行最严格水资源管理制度及“三条红线”指标考核落实的总体部署要求,促进人水和谐,提高水资源配置和调控能力,保障以水资源的可持续开发支撑蚌埠市经济社会的可持续发展,具有十分重要的意义。

1.1 国内外水资源配置技术及研究现状

1.1.1 水循环研究现状与进展

1.1.1.1 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世界、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的数量、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影响的研究才引起国际水文界重视。从 1990 年开始, 国际上许多科学机构和科学家参与了全球能量和水循环实验计划 (GEWEX)。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。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。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。

目前, 对未来气候变化的预测相当的困难且具有不确定性, 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, 来自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。国家科学技术委员会、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。

1.1.1.2 人类活动对水循环影响的研究

土地利用/土地覆盖是自然与人文过程交互最密切的问题, LUCC 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”, 直接或间接地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。



目前,国内研究人类活动对水循环影响的主要观点是人类对水资源的开发利用涵盖两部分: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。下垫面特征将对在陆地表面再分配起重要作用,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, Cooper1993; Doe, Castro1999),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,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,得出植被覆盖度的降低可能是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 年的径流量,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。

1.1.2 水资源配置研究

国外对水资源配置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,如美国的 MITSIM,奥地利的流域综合管理软件 Waterware,苏格兰的流域水资源系统模拟软件 Aquator,美国农业部和科罗拉多州大学合作开发的流域水资源配置通用模型 Aquarius,澳大利亚水量水质综合模拟模型 IQQM 等。总体上模拟系统的范围在扩大,系统集成性在加强,但这些模型以河流为主干,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。Shafer J. M. 等 (1978) 提出在水资源系统模拟框架下的水资源配置和管理,并建立了流域管理模型。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。Mckinney 等 (2002) 提出基于 GIS 的 GIS 系统 (OOGIS) 的水资源模拟系统框架,作了流域水资源配置研究的尝试。20 世纪 90 年代以来,水资源系统规划管理软件得到了长足发展,为水资源配置提供了更多的工具。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。

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 Arcview 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。

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。

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。

Aquarius 是由美国农业部 (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,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。

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 是系统的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。

根据《全国水资源综合规划技术大纲》之规定:水资源配置是指在流域或特定的区域范围内,遵循公平、高效和可持续利用的原则,通过各种工程与非工程措施,考虑市场经济的规律和资源配置准则,通过合理抑制需求、有效增加供水、积极保护生态环境等手段和措施,对多种可利用水源在区域间和各用水部门间进行的调配。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。

水资源配置模型的定义 (尹明万等, 2004) 为针对以供水为主要目的的水资源系统,以系统分析理论、运筹学方法、知识规则、逻辑推理等为技术基础,对各种工程措施和非



工程措施进行适当组合和合理的联合运用,以追求系统整体的持续利用功能最优为目标的计算机模型。国内 20 世纪 60—90 年代初,侧重于水库调度研究,以常规调度方法为主。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。

目前,国内常用的水资源优化配置模型主要包括: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、存储论和对策论、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,从实际需要看,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。南京水利科学研究院水文水资源所研究采用系统工程方法对北京地区水资源系统进行了研究,建立了地下水和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。中国水利水电科学研究院等单位(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水资源配置的研究,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,因此推广和应用有难度。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。

1.1.3 水量分配与调度研究

1.1.3.1 国际河流水量分配与调度

在国际河流水资源分配中,1948年以来缔约了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。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。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,以便他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,七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决定对城市、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 86m^3 ,而以色列的是 447m^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7000万~8000万 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,泰国、老挝、柬埔寨、越南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