

RESEARCH ON WATER RESOURCES ANALYSIS AND
REASONABLE ALLOCATION IN
XI'AN HEIHE WATER DIVERSION SYSTEM

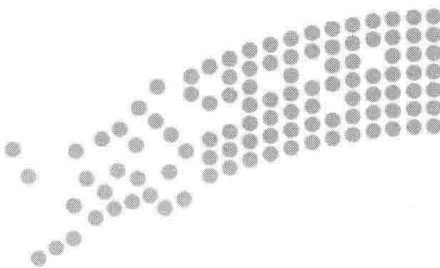
西安黑河 引水系统水资源量分析及 合理配置研究

刘玘玘◎著



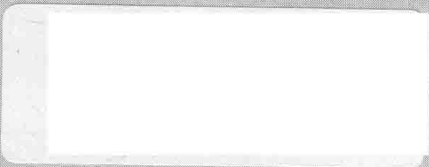
经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

RESEARCH ON WATER RESOURCES ANALYSIS AND
REASONABLE ALLOCATION IN
XI'AN HEIHE WATER DIVERSION SYSTEM



西安黑河 引水系统水资源量分析及 合理配置研究

刘玘玘◎著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

西安黑河引水系统水资源量分析及合理配置研究/刘玘玘著. —北京: 经济管理出版社, 2017. 3

ISBN 978 - 7 - 5096 - 4936 - 7

I. ①西… II. ①刘… III. ①引水—水利工程—研究—西安 IV. ①TV67

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 025203 号

组稿编辑: 胡 茜

责任编辑: 王格格

责任印制: 黄章平

责任校对: 超 凡

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京玺诚印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm × 1000mm/16

印 张: 16

字 数: 305 千字

版 次: 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 4936 - 7

定 价: 59.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

前 言

水乃万物生命之源泉，九曲黄河孕育了上下五千年的华夏文明，八水绕长安成就了西安十三朝古都的美誉。但是，随着城市化进程的加快，水资源的供需矛盾却成为西安经济和社会发展的“瓶颈”。西安市黑河引水工程是一项以城区供水为主，兼顾农田灌溉、水力发电及防洪等综合效益，跨流域引水、综合利用的大型工程。该工程解决了西安城市饮水、农田用水及工业用水等水资源短缺的问题。随着西安市经济发展及城市规模的扩大，城市用水量急剧增长，需要更深入地从配置、节约及保护等方面开展研究，综合提升水资源科学管理水平。本书从水资源的实际情况出发，分析和掌握西安的水资源条件，充分挖掘黑河引水系统潜力，计算水资源可利用量，并建立水资源合理配置模型，以实现水资源合理配置，确定合理的城区供水量，完善对黑河引水系统的科学管理。本书的主要内容和结论如下：

(1) 收集整理西安市水资源状况相关资料，并重点分析调查西安市城市供水的生命线工程——黑河引水工程现状及规划情况下的可利用水源，包含如下河流：石头河、西骆峪河、黑河、就峪河、田峪河、耿峪河、甘峪河、涝峪河、太平峪河、高冠峪河、沔峪河、石砭峪河，以及引渭济黑和引乾济石调水工程。

(2) 在总结了水资源可利用量及城市供水传统计算方法的基础上，提出了考虑非汛期基流量、汛期弃水量及水权的水资源可利用量估算方法，综合考虑水资源、生态环境和社会经济发展三方面因素，对黑河引水系统各水源的水资源可利用量进行估算分析。为了充分挖掘黑河引水系统向城市供水的供水潜力，城市供水量采用不计管道约束及渗漏损失的方法进行计算。

(3) 结合黑河引水系统规划水源工程分析了未来可供水量，以此为基础，进行一次、二次、三次供需平衡分析，并对此进行数学表述。建立以区域可持续发展思想为指导的水资源合理配置模型，该模型为包括水量分析模型、经济分析模型、生态环境分析模型的多目标模型。为了求解这一大系统多目标模型，提出改进蚁群算法，该算法能够克服收敛速度慢且易陷入局部极值的弊端。将该模型



应用于黑河引水系统,以期通过对该系统各水源的合理配置解决西安市供需水矛盾,提高经济、社会效益,并加强生态环境保护。

(4) 市场及水价在水资源配置中具有举足轻重的作用。笔者首先对水资源价值计算方法进行了综述,针对水资源的多元特性建立了包括水资源自然资源价值和环境资源价值在内的水资源价值的核算模型,其中选取物元分析法和旅行费用法分别计算水资源的自然价值和环境价值,最终计算得到现状水资源总价值为 16.22×10^4 万元,水价为 2.27 元/立方米,与实际情况基本一致。

(5) 目前,应急备用水源已成为城市供水安全的主要问题。本书系统分析了西安市旱灾特点,在综合分析西安市干旱典型年水资源供需平衡情况的基础上,探讨了干旱所带来的影响。对西安市现状年及规划年供水安全进行评估,可知规划水平年发生特大干旱时,全市城乡生活用水的保障程度仅达到 94% 左右,约有 80 万人饮水困难,需加强对应急水源建设的重视,并针对实际情况介绍了应急备用水源工程的实施情况。

(6) 计算黑河引水系统水资源总量及可供水量(包括多年平均量,50%、75%、95% 等不同频率量),其中对调水工程(引乾济石、引渭济黑)分析计算其所在河流上水文站控制流域的径流量,引水断面以上控制流域径流量及可调水总量(包括多年平均径流量,50%、75%、95% 等不同频率量)。对多配置方案进行分析确定,其中:在现状及规划水源情况下,黑河引水系统合理城市可供水量分别为 71409.32 万立方米和 78890.27 万立方米;考虑输水渠道约束后,在现状及规划水源情况下,黑河引水系统城市可供水量分别为 36219.27 万立方米和 38346.07 万立方米。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 问题的提出	1
第二节 水资源可利用量综述	2
第三节 水资源可利用量计算方法综述	5
第四节 水资源配置综述	6
第五节 研究内容及框架	13
第二章 西安市水资源概况	15
第一节 自然概况	15
第二节 水资源概况	19
第三节 黑河引水系统组成	20
第三章 黑河引水系统水资源可利用量分析	31
第一节 有关概念	31
第二节 地表水资源可利用量估算	34
第四章 黑河引水系统多水源合理配置模型	49
第一节 多水源合理配置理论概述	49
第二节 黑河引水系统结构及配置原则	50
第三节 多水源合理配置模型	52
第四节 水资源合理配置模型求解	57
第五节 水源合理配置的管理模式	61
第五章 水资源配置过程中的经济杠杆作用	62
第一节 经济杠杆在水资源配置中的作用	62



第二节	水资源价值模型的选择	63
第三节	水资源价值核算模型的建立	67
第四节	黑河引水系统可供水量价值核算	73
第六章	黑河引水系统应急备用研究	79
第一节	西安市干旱灾害概况	79
第二节	西安市干旱典型年水资源供需分析	82
第三节	西安市抗旱能力评估	88
第四节	抗旱应急备用水源工程规划	90
第七章	黑河引水系统水资源量分析及配置结果	91
第一节	黑河引水系统水资源总量	91
第二节	黑河引水系统需水量	102
第三节	黑河引水系统可供水量	109
第四节	黑河引水系统联合供水分析	145
第八章	结论与展望	150
第一节	主要研究成果	150
第二节	创新点	151
第三节	展望	152
附表		153
参考文献		241
后记		250

第一章 绪论

第一节 问题的提出

水资源对城市的发展起着至关重要的作用，自古以来几乎所有的城市都处于水资源较为丰富的地区，大多与江河相依。随着城市规模的扩大及工业的发展，城区人口密度增大、饮用水及工业用水需求过度集中，城市逐渐发展为水问题最多、水管理最难的区域。进行水资源可利用量的估算能够为充分利用当地水资源，分析研究水资源开发利用潜力及承载能力提供基础依据，为科学管理、合理配置、高效利用以及节约保护水资源提供决策前提，以便实现水资源的持续利用以及社会、经济的持续发展。

西安市水资源十分匮乏，境内地表水年均径流量为 24.87 亿立方米，地下水资源量为 16.90 亿立方米，水资源总量为 31.40 亿立方米，人均占有地表水量为 384 立方米，为全国人均占有量的 $1/6$ ，全世界人均占有量的 $1/24$ ，远小于国际公认的维持一个地区经济社会及环境必需的人均 500 ~ 1000 立方米的临界值。一直以来，西安市水资源供需形势严峻，已成为制约社会、经济的发展的主要因素。

黑河引水系统是一项跨流域引水、综合利用的大型水利工程。该工程以西安市城市供水为主，兼有农田灌溉、发电、防洪等综合效益，由黑河（金盆水库）城市引水渠道工程、石头河水库补充水源渠道工程、石砭峪水库备用水源渠道工程、沔峪河径流引水工程、田峪河径流引水工程、甘峪水库和就峪河径流引水工程共 7 处组成，黑河引水系统运行多年以来，为西安市的发展做出了巨大贡献，从根本上缓解了西安市用水短缺的问题。伴随西安市社会经济的快速发展，城市规模不断扩大，需水量迅速增长，还要更深入地开展研究，从配置、节约、保护



等多方面入手,全面提升科学管理水平。本书从水资源的实际情况出发,分析和掌握水资源条件,充分挖掘黑河引水系统潜力,计算水资源可利用量,并建立水资源合理配置模型,实现水资源合理配置,确定合理城区供水量,实行城市供水的科学调度,完善对黑河引水系统的科学管理。

第二节 水资源可利用量综述

水资源这个词出现得比较早,随着时代的进步,该词的内涵在不断丰富和发展。然而,水资源的概念却既简单又复杂,其复杂的内涵表现为:水类型很多,且具有运动特性,各类型水体能够相互转化;水可以广泛用于不同的目的,对其量与质均有不同的要求;水资源所涵盖的“量”与“质”在特定条件下能够发生变化。所以,从不同视角进行认识和体会,能够产生对“水资源”一词不同的理解。与水资源可利用量相关的概念更是繁多,归因于水资源的开发利用受经济技术、社会及环境条件的制约,水资源可利用量的理论体系尚未成熟完善,不同的学者和专家在对水资源可利用量进行研究时方法和途径差异较大,概念明确且易于操作的计算模型尚未建立等。

一、国内研究综述

在水资源可利用量概念提出之前,国内水资源配置时主要考虑社会经济发展对水资源的需求。国内研究水量的分配开始相对较晚,发展速度却很快。20世纪60年代,水库优化调度研究开创了水资源分配研究的先河。80年代初,以华士乾教授为首的科研小组(1988)对水资源利用系统工程方法展开研究,该项研究综合考虑了水量的分配、水资源利用率、水利工程建设顺序以及水资源开发利用对国民经济的作用等方面,成为水资源系统中有关水量分配的最初形式。后来,该模型被应用于北京和海河以北的区域。

“八五”期间,中国水科院、清华大学与航天工业总公司710研究所(1994)合作,在国家“八五”攻关和一些重大国际合作项目中对之前的研究方法和经验进行了全面总结,把系统方法、宏观经济与区域水资源规划实践结合起来,形成了以宏观经济为基础的水资源优化配置理论,并以该理论为指导,提出了多层次、多目标、群决策方法,将其应用于华北水资源专题研究。这一时期,国内首次提出了水资源可利用量这个概念,随后在1999年、2002年和2003年的相应研究中都提出了可利用量的概念,但由于研究问题的侧重点不同,其外延均



不同。综观国内学者对水资源可利用量的研究,可以归纳为四个主要的研究阶段。

第一阶段:1993年“华北水资源研究”提出水资源可利用量含义及估算途径,此次提出的水资源可利用量的含义是,在经济合理、技术可能及生态环境允许的前提下,通过各种工程措施可以控制并利用的不重复的一次性水量。随着科技水平的提升和经济实力的增强,水资源的开发利用措施和手段不断更新和增多,得到的可利用量也会产生变化。

这次提出的可利用量与供需分析中的可供水量在概念上有所区别。同时,因受当地水资源条件和研究深度的限制,在可利用量计算中虽然强调了生态环境的约束条件,但没有对其进行划分,更没有考虑河道内生态需求的最低限度需水量。同时,对工程控制利用的水量是当地水量,抑或是外调水量没有明确表述。

第二阶段:1999年“水资源评价导则”提出水资源可利用量含义及估算途径,此次提出的地表水资源可利用量是指以经济合理、技术可行及河道内生态基流以及下游用水为前提,通过各类地表水工程措施能够控制并利用的河道外一次性最大水量。地表水可利用量应小于等于当地河川径流与入境水量之和再减去出境水量之差。

这次对可利用量的计算采取扣除法,该方法估算水资源利用总量时扣除地下水可开采量本身的重复利用量以及地表水可利用量与地下水可开采量之间的重复利用量。在水资源可利用量的估算中尽管强调了河道内用水,但并未交代河道外生态用水的归属问题,更没有细化河道内生态用水的组成。同样,没有明确表述工程控制利用的水量是当地水量还是外调水量。

第三阶段:2002年“全国水资源综合规划技术细则”提出水资源可利用量含义及估算途径,此次提出的水资源可利用总量是指在可预见期内,以综合考虑生活、生产和生态环境用水为基础,通过经济合理、技术可行的措施在当地水资源中可一次性利用的最大水量。既包括地表水资源可利用量又包括地下水资源可开采量。

这次在估算水资源可利用量时,没有明确说明生态环境用水是河道内还是河道外用水,但首次提出工程控制利用的一次性水量是当地水量。

第四阶段:2003年南京水文所提出水资源可利用量含义和估算途径,本次提出地表水资源可利用量是指在可预见期内,以综合考虑河道内生态环境和其他用水为基础,通过经济合理、技术可行的措施,能够提供河道外生活、生产一次性利用的最大水量(不包括回归水的重复利用)。

地下水资源可开采量即地下水可利用量,是指在可预见期内,通过经济合



理、技术可行的措施,以不引起生态环境恶化为前提,允许从含水层中获取的最大水量。

这次提出的水资源可利用量包括两个部分,一部分是地表水资源可利用量,另一部分是地下水资源可开采量。此定义明确表述了河道内生态环境用水不包含在水资源可利用量中,但没有明确表述河道外生态环境用水是否计入水资源可利用量中。

综上所述,对水资源可利用量的研究,各阶段的主要分歧在于河道内、外生态环境耗水量的归属问题。值得注意的是,每个阶段对水资源可利用量的界定只是对“水量”的界定,对“水质”并未强调。

二、国外研究综述

笔者查阅了大量的国外有关水资源规划、管理、开发、利用的文献,关于水资源可利用量的研究很少,但有很多流域水量分配方面的研究,这一概念与我国提出的可利用量概念非常相似。

20 世纪 40 年代, Mases 提出的“水库优化调度模型”成为国外水量分配研究的开始,但由于计算手段的制约,对水资源系统内部关系以及人为影响因素很难表述。50 年代后,引入了系统分析理论和优化技术,尤其是 60 年代随着计算机技术的发展,人们对水资源系统内部关系的研究逐步深入,提出了“水资源模拟模型”,它解决了 Mases 的优化模型无法解决的水资源系统内部关系以及人为影响因素,为水资源宏观规划和实际调度提供科学依据。最早的“水资源模拟模型”由美国陆军工程师兵团 (USACE) (1953) 设计,其目的是研究美国密苏里河流域 6 座水库的运行调度问题。其后, Emery 和 Meek (1960) 构建了专门的模拟模型,其目的在于解决尼罗河流域水库的规模及其运行调度问题。最成功和具有影响力的例子是美国麻省理工学院 (MIT) (1979) 完成的 Rio Colorado 流域的水资源开发规划,它利用仿真模型研究流域水资源量的利用,提出了多目标规划理论以及水资源规划的数学建模方法,并开始应用。

N. 伯拉斯所著的《水资源科学分配》(1983),是早期对水资源分配理论及方法进行全面研究的一部专著。该书对 20 世纪 60 ~ 70 年代兴起的水资源系统工程学内容进行了简要的论述,较全面地阐述了水资源开发利用的合理方法,针对如何设计和应用水资源系统这一核心问题,重点介绍了运筹学方法以及计算机技术在水资源工程中的应用。对这些方法进行研究能够初步筛选系统方案,对方案做一步分析;然后,对这些方案进行详细分析,得到一个或几个优化设计。然而,正如笔者所说,这本书是“数学分析应用于水资源工程中的研究成果及其推广的结果”。



20 世纪 90 年代,“可持续发展”观点被人类社会广泛接受,世界各国政府针对如何使社会、经济、资源与环境协调发展这一问题做了大量工作。同时,每年联合国及其所属组织针对“环境与可持续发展”问题出版大量书籍和刊物,使全球范围的可持续发展研究取得了极大的进展。于是,人们当前所面临的挑战是:在已经控制和利用水的基础上,学习怎样与水维持平衡,并在这一平衡下和谐地生存和发展。在此形势下,各种以可持续发展为研究目标的研究理论和方法屡屡见诸报端。

对水资源量如何分配,国外目前也未出现新的计算方法,大多数仍沿用 20 世纪 60~70 年代兴起的“水资源系统工程学”理论和方法。但从查阅的资料中能够看到个别研究者用博弈论的思想在某一流域把出山径流沿河道纵向按行政区进行水量分配研究,主要解决各用水户的初始水权问题。

第三节 水资源可利用量计算方法综述

一、国内研究综述

由于国内对水资源可利用量的概念仍不统一,因此存在多种计算方法。例如:郭周亭(2001)分析了水资源开发利用程度及其发展状况,对区域进行划分,按各类型分别估算地表水资源可利用量,针对不同开发利用条件分别提出地表水资源可利用量估算方法。冯尚友等(1999)探讨了水资源可利用量的计算方法,详细说明了水资源可利用量的计算程序、主要影响因素以及计算方法。燕华云等(2005)基于湟水水资源的特点,采用经验法、分项估算法、切割法等方法分析计算河道内生态环境需水量、汛期弃水量等,对湟水的水资源可利用量进行了定量评价。王建生(2006)、高建芳等(2004)认为,水资源可利用总量为地表水资源可利用量与浅层地下水可开采量之和再扣除二者间的重复计算量。

二、国外研究综述

国外学者在水资源可利用量的概念以及计算方法方面的研究成果同国内学者存在一定的差异,例如:Upall Amarasinghe(2000)将地表水资源潜在的可利用量定义为通过各种物理和经济途径能够被首次使用和下游再次重复使用的那部分水资源,包括回归水的利用。美国(2001、2005)提出了基于优先水权的



德克萨斯州水资源可利用量模型系统。墨西哥（1996、1997）以水量与水质综合评价方法为基础，提出了综合考虑水量和水质的水资源可利用量 AI 指数法。

综上，国内外对于水资源可利用量的研究均处于起步和发展阶段，对水资源可利用量的概念的界定，国内外都还没有形成统一的认识。计算水资源的可利用量，国内外也都没有呈现出成熟的方法，在不同地区使用不同的方法，没有固定的计算模式。国内研究水资源可利用量时，大多数情况下单独从水量方面考虑，对水质和水权因素的考虑存在不足之处；对水资源可利用量的研究区域存在局限性，主要集中在西北、华北等干旱、半干旱，水资源相对匮乏的地区。

第四节 水资源配置综述

一、国内研究综述

1. 配置方法的研究

随着水资源的供需矛盾日益突出，水资源利用造成生态环境日益恶化，水资源开发利用的有效性、公平性、可持续性越来越受到人们的普遍关注，水资源的合理配置将成为缓解水资源供求矛盾、解决各类水问题、消除水危机的重要手段。所以，经过国内外相关领域的专家学者的研究与实践，研究方法从仿真技术和常规优化算法发展到优化技术与仿真技术相结合、模糊优化、随机规划、智能规划方法、神经网络、复杂系统理论等技术。

（1）20 世纪 60~80 年代。20 世纪 60 年代，水库优化调度研究开创了水资源分配研究的先河，最初研究是以发电为主的水库优化调度。80 年代后，由于社会需求的增长和计算机技术的发展，开始增加对区域水量调配和水资源系统模拟方面的研究。以华士乾教授为首的科研小组在 80 年代初对水资源利用系统工程方法展开研究，该项研究综合考虑了水量的分配、水资源利用率、水利工程建设顺序以及水资源开发利用对国民经济的作用等方面，成为水资源系统中有关水量分配的最初形式。后来，该模型被应用于北京和海河以北的区域。

（2）20 世纪 90 年代。国内学者开展从经济发展和生态环境保护角度出发的水资源研究，并把宏观经济和系统方法与区域水资源规划实践结合起来，形成了



宏观经济下的水资源优化配置理论,并以该理论为指导提出了多目标、多层次、群决策方法。“八五”期间,许新宜等创建了以宏观经济为基础的水资源优化配置理论技术体系。1983年,刘健民等运用大系统递阶分析方法创建了将模拟和优化结合于一体的三层递阶水资源供水模拟模型,并将该模型应用于京津唐地区的供水规划和优化调度。1994年,唐德善以多目标规划为思路,创建了黄河流域水资源多目标分析模型,并提出大系统多目标规划的求解方法;沈佩君等针对区域性多水源联合优化调度的问题,结合具体区域水资源系统运行特点,创建了涵盖分区管理调度和统一调度模型的大系统分析协调模型,以历史系列资料进行计算、以人工系列资料做风险分析的方法提出区域性水利建设方案。1995年,翁文斌等从宏观经济角度提出了区域水资源系统概念,以水资源作为经济活动的约束因子,建立区域水资源规划多目标集成系统。伴随计算机技术的发展,以月为时段进行的长系列的仿真计算得以应用,“水资源配置”也逐渐成为一个专门的研究方向,开创了以流域或区域水资源配置为主的研究方向。1996年,方创琳应用灰色计算模型,动态模拟河西走廊生态系统现状,并对其前景进行预测分析,认为适度投入与产出的可持续发展方案是确保河西走廊经济持续发展、生态环境良性循环的最佳方案。1997年,中国水科院等单位对曾经的工作经验进行系统总结,把系统方法和宏观经济与区域水资源规划实践结合起来,开发了基于宏观经济的水资源优化配置模型,开辟了大系统水资源配置研究的新道路。1998年,黄河水利委员会开展了“黄河流域水资源合理分配及优化调度研究”,对经济发展、生态环境保护以及水资源条件进行了综合分析,是我国首例对整个流域进行的水资源配置研究,成为将模型软件应用于大流域水资源配置的典范。

(3) 21世纪初。2001年,王浩等著《黄淮海水资源合理配置研究》,该书提出水资源“三次平衡”的配置理念,系统阐述了流域水资源可持续利用的配置方法。2002年,尹明万等以河南省水资源综合规划试点项目为依据,遵循国家新的治水方针和“三先三后”的原则,首次建立考虑河道内与河道外生态环境需水量的水资源动态配置仿真模型,为科学制定各类水资源配置方案提供了有力的技术支撑;贺北方等提出了基于遗传算法的区域水资源优化配置模型,采用大系统分解协调技术,将模型分解为二级递阶结构,并论述了多目标遗传算法在区域水资源二级递阶优化模型中的应用。2003年,左其亭等提出了基于可持续发展的水资源管理量化模型,包含水量—水质—生态耦合系统模型、社会经济系统模型以及水量—水质—生态系统与社会经济系统的耦合系统模型,并将该模型应用于博斯腾湖,对其进行了可持续水资源管理应用研究。2004年,赵丹等基于系统分析的思想,创建了南阳渠灌区面向生态和节水的水资源优化配置模拟模



型,提出了涵盖水权、节水以及生态环境等因素的多目标多情景模拟算法。2005年,裴源生等针对我国相对丰水区水质型缺水以及生态环境恶化等问题,通过预测污染物排放量及入河量,进行了水体纳污能力计算,得出河道最小需求流量,然后再引入水资源合理配置模型中,进行水量水质统一调度。2006年,彭祥以黄河流域水资源配置为例,通过建立水资源配置博弈模型,运用非合作博弈论,论证了因制度缺陷和个体理性的存在,开放式用水依然是流域各省区的自主选择;并结合流域用水的合作潜力,运用合作博弈的理论对将来黄河水资源配置做出初步安排。2007年,王德智等针对在供水库群优化调度问题中,动态规划法存在“维数灾”且难以获得真正最优解的缺点,在遗传算法中,嵌入局部搜索,以加速全局寻优能力,并将改进后的算法应用于供水库群的水资源优化配置之中。2008年,甘治国等在对北京市水资源利用现状进行分析之后,开发了基于规则控制的北京市水资源配置模拟模型,通过控制水利工程运行规则、渠道过水能力以及用水户受水优先顺序等变量,实现对北京市水资源的综合配置。2009年,屈吉鸿等运用投影寻踪技术对决策问题进行降维处理,并运用粒子群算法优化投影指标函数,创建了粒子群与投影寻踪耦合的水资源配置模型,通过最佳投影方向计算方案的最佳投影值,实现在低维空间进行水资源配置。

2. 配置类型的研究

20世纪90年代以来,我国水资源配置的研究进入了一个飞速发展的时期,尤其在水资源合理配置的相关概念、优化目标、平衡关系、供需管理、水质管理、市场体制、决策机制以及各类主要模型的数学描述等方面均取得了新的研究成果。针对问题的特点、水资源优化配置范围、对象及规模的不同,水资源配置主要包括以下几个类型。

(1) 仅以水量为主的水资源配置。水资源合理配置研究开始于水量配置方面的研究,最初有关水资源科学分配方面的研究始于20世纪60年代,以水库优化调度研究作为先导。例如,1960年,吴仓浦提出了年调节水库最优运用的DP模型。20世纪70年代,数学规划和模拟技术发展起来并应用于水资源领域,水资源配置的研究成果逐渐增加。

(2) 考虑水质因素的水资源配置。进入20世纪80年代后期,伴随水资源研究中心技术的不断出现以及水资源量与质统一管理研究的不断深化,关于水资源量与质方面的研究有了较大的进步,尤其是模拟优化模型技术、决策支持技术以及资源价值量化方法等的应用为水资源量与质管理方法的研究增添了很多的活力。20世纪90年代以来,水污染和水危机不断加剧,以供水量极大和经济效益极大作为目标的水资源配置模式已经无法满足社会发展的需求,此时,国



外的水资源配置开始注重水质的约束、水资源环境效益以及可持续利用方面的研究。

(3) 以水利工程为控制单元的水资源配置。20 世纪 60 年代,我国就开展了以水库优化调度为先导的水资源分配研究,在这个时期,水资源配置研究主要以单一的防洪、灌溉、发电等水利工程作为对象,以实现工程最大经济效益作为研究目标。水资源配置的基本单元是水利工程,由于其结构简单,影响和制约因素也较少,怎样使水利工程控制的水资源量产生的效益最大,是我国学者较早涉及的研究领域。1982 年,张勇传等在动态规划中引入变向探索法,并将该法应用到水库优化调度研究中。1983 年,董子敖等对改变约束法在水电站优化调度中的应用进行了研究。1986 年,马光文等运用大系统递阶控制原理和方法,以水电站群保证出力最大为准则,供水期出力相等为关联,运用关联平衡法进行分解,通过上下级反复协调迭代求解原问题的最优解。1989 年,曾赛星等运用非线性规划模型确定徐州市某灌区农作物的最优种植模式以及各水源的供水量比例。他们的研究成果丰富和完善了水利工程单元的水量优化配置模型及方法,加快了以有限水量达到最优收益的思路在水利工程管理中的应用速度。

(4) 区域水资源配置研究。区域作为社会经济活动中相对独立的管理单位,它的经济发展具有显著的区域特性。区域水资源系统是一个结构复杂的大系统,各用水部门间存在突出的用水矛盾,科研成果大部分是以大系统优化技术和多目标作为研究方法,在确定可供水量及需水量的情况下,建立区域有限的水量在各分区和用水部门间的优化配置模型,求解模型获得水量优化配置方案。

1988 年,吴泽宁等将经济区社会经济效益最大作为目标,创建了经济区水资源优化配置的大系统多目标模型及其二阶分解协调模型,并运用层次分析法间接考虑水资源配置的生态环境效益,并将该模型应用于三门峡市,对其进行验证。1997 年,许新宜、王浩等提出了从宏观经济角度出发的水资源合理配置理论及方法,涵盖了水资源配置的定义、内涵、决策机制、多目标分析模型、宏观经济分析模型、仿真模型以及多目标、多层次、群决策计算方法等。卢华友等(1997)、黄强(1999)、聂相田等(1999)和辛玉深等(2000)分别将义乌市、西安市、宁陵县和长春市水资源系统作为研究对象,创建多水源、多目标水资源配置模型,并提出相应的解法,得到了水资源系统有限水量在不同用水户间的优化配置方案。

2001 年,方创琳等将柴达木盆地作为研究对象,将定性决策方法和定量决策方法相结合,得出水资源优化配置标准方案。2002 年,贺北方等运用大系



统分解协调技术,建立区域水资源优化配置模型,并对采用多目标遗传算法求解区域水资源二级递阶优化模型的优缺点展开讨论。2003年,谢新民等结合珠海市水资源开发利用存在的问题以及水资源管理中出现的新状况,创建了将原水、净化水混合配置的多目标递阶控制模型。2004年,赵斌等在考虑需水量的情况下,综合考虑各用水部门对水质的不同要求,提出了分质供水的思路及模型。

(5) 流域水资源配置研究。流域水资源合理配置是以流域水资源可持续利用策略为指导,遵守自然规律和经济规律,通过工程措施和非工程措施,依靠先进的决策理论和计算机技术,干预水资源的时间和空间分布,对常规水源和非常规水源进行统一调配,以合理的费用适时保证不同用水部门的水量 and 水质需求,将流域水资源的社会功能和生态功能充分发挥出来,促进流域及区域经济和生态系统的持续健康稳定发展。流域是一个复合系统,兼具层次结构和整体功能,由社会经济系统、水资源系统及生态环境系统构成,是体现水资源综合特征和功能的基本单元。

国内已取得了很多流域水资源合理配置方面的成果。1994年,唐德善将多目标规划的思想应用于黄河流域,创建了水资源多目标分析模型,并提出了大系统多目标规划的求解方法。2002年,阎战友运用综合开发治理措施,综合考虑时间和空间,合理配置水资源,对海河流域生态环境改善和恢复进行研究;陈晓宏等应用逐步宽容约束法和递阶分析法,以东江流域为实例,创建水资源优化调配模型及方法,对该流域特枯年份水量的供需平衡进行重点分析,并进行优化配置;王雁林将实现流域水资源可持续利用作为目标,对陕西省渭河流域面向生态的水资源合理配置与调控模式的内涵进行了分析,提出了该流域水资源优化配置与调控方案。2004年,王浩等提出了基于可持续发展的水资源配置合理性评价主要应包含社会合理性、经济合理性、生态合理性以及效率合理性四个方面,并讨论了评价标准。

(6) 跨流域水资源配置研究。针对我国水资源分布不均衡这一特点,跨流域水资源优化配置研究成为我国学者的一个研究重点。1998年,解建仓等为了解决跨流域水库群补偿调节问题,创建了多目标模型,同时对如何简化求解和应用于实际进行了分析,通过引入决策者交互方式及大系统递阶协调方法,最终实现综合的决策支持(DSS)算法。2001年,王劲峰等为了解决我国水资源供需平衡在空间上的差异而带来的区际调水需求,提出了水资源在时间、空间以及部门的三维优化分配理论模型系统,该系统包含三个相互联系的模块,分别为水资源供给模块、总量时空优化模块以及经济发展目标模块,用户可以通过该决策系统找出研究区域经济发展与水资源相协调的方案。2004年,王