

宁夏北干渠灌区多目标优化配水 决策支持系统研究

RESEARCH ON WATER DECISION SUPPORT SYSTEMS OF MULTI-OBJECTIVE
OPTIMIZATION IN NINGXIA NORTH IRRIGATION DISTRICT

张立新 丁 晔 赵 帅 李庆达 著



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

宁夏北干渠灌区多目标优化配水 决策支持系统研究

RESEARCH ON WATER DECISION SUPPORT SYSTEMS OF MULTI-OBJECTIVE
OPTIMIZATION IN NINGXIA NORTH IRRIGATION DISTRICT

张立新 丁 晔 赵 帅 李庆达 著



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

宁夏北干渠灌区多目标优化配水决策支持系统研究 /
张立新等著. — 银川: 宁夏人民出版社, 2016.11
ISBN 978-7-227-06535-7

I. ①宁… II. ①张… III. ①灌区—配水—决策支持系
统—研究—宁夏 IV. ①TV213.4—39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第297363号

宁夏北干渠灌区多目标优化配水决策支持系统研究 张立新 丁 晔 赵 帅 李庆达 著

责任编辑 康景堂 王 瑞

封面设计 石 磊

责任印制 肖 艳



黄河出版传媒集团 出版发行
宁夏人民出版社

出 版 人 王杨宝

地 址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦(750001)

网 址 <http://www.nxpph.com> <http://www.yrpubm.com>

网上书店 <http://shop126547358.taobao.com> <http://www.hh-book.com>

电子信箱 nxrmcbs@126.com renminshe@yrpubm.com

邮购电话 0951-5019391 5052104

经 销 全国新华书店

印刷装订 宁夏银报印务有限公司

印刷委托书号 (宁) 0003645

开本 787mm × 1092 mm 1/16

印张 10.75 字数 180千字

版次 2016年12月第1版

印次 2016年12月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-227-06535-7

定价 42.00元

版权所有 侵权必究

前 言

本书是宁夏水利厅宁西供水公司关于“北干渠灌区水资源多目标优化配置研究”课题的部分研究内容。本书针对北干渠灌区存在的灌溉调度信息处理慢、水资源经验型配置不合理等实际问题,在综述国内外多目标优化配水模型和决策支持系统研究现状的基础上,以“量水而行,以水定发展”为研究理念,采用遗传算法、动态规划法、地理信息系统、计算机应用技术等作为研究方法,对北干渠灌区的需水量预测、多目标优化配水、用水决策支持系统进行了较为系统的研究。主要取得以下成果。

(1)预测了北干渠灌区不同规划水平年工业、农业、生活和生态需水量。采用定额法计算得出了北干渠灌区现状年 2009 年不同部门需水量及总用水量;采用间接推算法预测了北干渠灌区不同规划水平年的需水量。在考虑工程节水、田间节水的基础上,确定了北干渠灌区不同规划水平年的水资源余缺量。

(2)建立了北干渠下段西夏渠灌区多目标优化配水数学模型,采用遗传算法求解,计算得出了不同规划水平年不同部门最优效益及最优配水方案。本方案提高了水资源的利用效率,增加了灌区整体效益。

(3)采用动态规划方法,计算得出了北干渠灌区上段水稻生育期各阶

段的非充分灌溉用水量,在非充分灌溉条件下, $600\text{m}^3/\text{亩}$ 灌溉定额即可使水稻产量达到最高,为北干渠灌区水稻非充分灌溉制度提供了理论依据。

(4)建立了基于GIS北干渠灌区多目标优化配水决策支持系统,采用图形分析与GIS空间数字化相结合的方法,开发了具有可视化查询、用水预测、北干渠灌区多目标优化配水的决策支持系统软件,实现了空间数据与属性数据的互相查询和模糊查询,在最短的时间内帮助用户找到所需的信息,制定灌区多目标优化配水方案。

本书在灌区决策支持系统的图形分析与GIS空间数字化结合应用方面有一定的创新。研究成果为灌区优化配水决策提供了理论和技术依据及新型工具,对提高灌区用水管理水平和水资源高效利用具有重要意义和实用价值。

Preface

This is the Department of water resources of Ning West Water Company “North channel multi-objective optimization allocation of water resources in irrigation districts” part of the research content of the topic. This thesis focuses on north main canal irrigation area of irrigation scheduling information practical problems such as slow, water resources-experience configuring. In an overview of the multi-objective optimization of water distribution models at home and abroad and research on decision support system on the basis of the status. “Quantity water line water figuration development” for the study of philosophy, using genetic algorithms, dynamic programming, and as research tools such as geographic information systems, computer technologies, to conduct more systematic studies North Canal of irrigation water demand forecasting, multi-objective optimization decision support system for water distribution. Made the following main results:

(1) Forecast north main canal irrigation area of different planning level year in industry, agriculture, and ecological water requirements. Calculated using a fixed law come to North Channel present situation of irrigation water demand in different parts of the year 2009 and total consumption; Indirect projection

method to predict the North canal irrigation water demand of different planning levels for years. In considering the engineering water-saving, on the basis of field water saving identified north main canal irrigation area of different water resources planning levels for years, additional ballots.

(2)Xixia canal irrigation district established under the North Channel multi-objective optimization mathematical model of water distribution, using genetic algorithms for solving calculated a different planning level for optimal efficiency and optimal water distribution scheme for different parts of the year. This program improves the efficient use of water resources, increased overall efficiency of irrigation district.

(3)Using dynamic programming method, calculates the North canal irrigation area of rice growth stage of upper stages of non-full irrigation system. In non-full irrigation, rice production reached 600m³/acres of irrigation quota to make up; the rice provided a theoretical basis for non-full irrigation in Canal irrigated area in the North.

(4)Established North canal irrigation district based on GIS decision support system for multi-objective optimization of water distribution, and using graphical analysis and GIS Spatial combination of digital methods, having developed a Visual query, North canal irrigation district water forecasting, decision support system software for multi-objective optimization of water distribution; Achieved mutual query spatial data and attribute data and fuzzy query, in the shortest possible time required to help users find information, development of multi-objective optimization of irrigation area water distribution programs.

This thesis analysis in irrigation area of decision support systems and digital combined with application of GIS space for some innovation. Research results include optimal water in irrigation districts provide theoretical and technical

basis and a new tool for decision-making. It will improve water management and efficient use of water resources in irrigation districts has significance and practical value.

Keywords: The geographic information system; North irrigation district;
Multi-objective; The optimization scheduling; Decision support system

目 录

Contents

第一章 综 述 / 001

- 1.1 用水量预测研究综述 / 001
- 1.2 多目标优化配水研究综述 / 011
- 1.3 灌区决策支持系统研究综述 / 016
- 1.4 本书研究的目标、意义、内容与技术路线 / 022

第二章 基于 GIS 北干渠灌区多目标优化配水决策支持系统设计 / 024

- 2.1 开发 JGDYDSS 的需求及可行性分析 / 024
- 2.2 JGDYDSS 总体设计 / 026
- 2.3 系统总体开发原则 / 028
- 2.4 系统开发流程 / 029
- 2.5 本章小结 / 030

第三章 北干渠灌区基本情况分析 / 031

- 3.1 北干渠灌区自然地理概况 / 031
- 3.2 农业种植情况分析 / 034
- 3.3 工业基本情况分析 / 035
- 3.4 土地资源及利用现状分析 / 035
- 3.5 水资源要素 / 036

3.6 水资源及利用现状分析 / 042

3.7 结论 / 043

第四章 北干渠灌区用水量计算及预测 / 046

4.1 北干渠灌区现状实际灌溉用水量计算 / 046

4.2 根据用水定额法预测各类用水量 / 072

4.3 各类用户需水量预测结果分析 / 090

4.4 结论 / 090

第五章 北干渠灌区水资源供需平衡分析 / 091

5.1 水资源量计算 / 091

5.2 水资源总量计算 / 096

5.3 水资源供需平衡分析 / 098

5.4 结论 / 101

第六章 北干渠灌区下段多目标优化配水模型及求解 / 102

6.1 北干渠灌区下段西夏渠多目标优化配水模型的建立 / 102

6.2 模型求解及分析 / 109

6.3 水量优化配置方案分析 / 112

6.4 结论 / 113

第七章 北干渠上段水稻非充分灌溉制度研究 / 114

7.1 非充分灌溉制度参数确定 / 114

7.2 数学模型 / 117

7.3 模型计算及结果分析 / 122

7.4 结论 / 123

第八章 基于 GIS 北干渠灌区多目标优化配水决策支持系统实现 / 125

8.1 灌区决策支持系统的开发工具 / 125

8.2	JGDYDSS 关键技术开发 / 126
8.3	JGDYDSS 数据库运行管理 / 128
8.4	各模块具体功能实现 / 131
8.5	运行结果分析 / 141
8.6	结论 / 143
第九章	结论与展望 / 144
9.1	主要研究成果 / 144
9.2	研究特色与创新点 / 145
9.3	展望 / 145
	参考文献 / 147
	后 记 / 159

第一章 综 述

本文涉及用水量预测研究、多目标优化配水、灌区决策支持系统研究三个方面的综述,同时阐述了这三方面研究存在的问题。

1.1 用水量预测研究综述

在国外,有的发达国家已经把用水量的长期预测作为供需水规划的一项基础工作。比如美国在 20 世纪 80 年代就已经在大约 2/3 的州制定了有利于供水规划的政策,同时对各地的用水量进行预测,有些地方甚至已经预测规划到了本世纪中期。又像苏格兰分别在上世纪 1973 年、1984 年和 1994 年进行了三次较完整的水资源供需规划,同时将 1994 年的规划中的水量与 1991 年的预测值和实际值进行了比较,预测结果比较令人满意,而且以五年作为一个阶段预测,规划到了本世纪的 2016 年。

我国是从 20 世纪 80 年代左右,开始在国内农业区划工作的带动下,借鉴国外经验的同时,进行了用水量预测的研究。中国科学院水问题联合中心从 20 世纪的 1992 年开始组织完成了“中国水资源开发利用在国土整治中的地位与作用”这一重大专项课题,同时编制了《中国 21 世纪议程》,从如何解决我国的水资源持续利用问题出发,吸引了许多学者从不同方法和

不同角度开始了新一轮用水量预测的探讨和研究。

1.1.1 工业用水量预测

佟长福等(2011年)以鄂尔多斯市为研究对象,对工业用水变化规律和影响因素进行了分析,确定其未来的需水定额。采用定额法和增长比率法对鄂尔多斯市2010年和2020年工业需水量进行了预测研究,结果比较符合鄂尔多斯市的发展实际,对水资源决策有一定的参考价值。^[1]

刘俊萍等(2007年)重点分析了工业用水定额的变化对需水预测的影响。结果表明,工业结构、生产工艺、设备、规模和工序对万元产值取水量和复用率等工业用水定额影响较大,而确定工业用水定额的变化将引起需水量的变化。^[2]

鲁欣等(2009年)对世界几个发达国家以及我国的工业用水变化情况进行研究,总结用水变化的原因,提出我国在工业需水预测方面存在的问题,为水资源规划和供水工程建设提供依据。^[3]

和刚等(2008年)在分析工业需水影响因素的基础上,建立了以定额法组成的工业需水预测模型,并以郑州市为例进行了分析检验,结果表明,郑州市在未来2010年、2020年和2030年,工业需水量及需水定额比较符合郑州市的发展实际。^[4]

郭法强(2010年)以抚顺地区1994-2004年工业用水资料为例,建立灰色CM(1,1)预测模型,运用残差检验与后验差检验2种方法对模型进行精度检验,其模型拟合精度达98.7%。用所建立的模型对抚顺2001-2004年工业用水量进行外推预测。^[5]

孙爱军(2007年)为未来工业耗水量预测的精确度的提高,建立预测工业耗水量的误差修正模型。针对工业用水系统,提出工业用水技术效率的概念,总结运用随机生产函数、随机前沿生产函数、随机成本函数等三种不同形式计算工业用水技术效率的方法。^[6]

王晓玲等(2006年)针对BP神经网络在确定输入因子时的任意性,将

相关性分析引入 BP 神经网络输入因子的选取中,通过计算输入因子和输出因子之间的相关系数,并根据相关程度来确定输入因子,同时利用遗传算法优化 BP 神经网络的权值的方法,建立了改进 BP 神经网络模型。将该模型应用于永定河山区工业用水量预测中,通过和传统非线性回归法进行比较,结果表明改进 BP 神经网络拟合和预测精度均较高。改进 BP 神经网络法的平均相对误差,预测结果可为水资源规划和管理提供依据。^[7]

熊义杰(2005 年)运用经济计量学方法,首先考察了影响工业用水需求的各种影响因素与陕西省工业用水需求之间的关系,建立了陕西省工业用水需求的多元线性回归预测模型,并对 21 世纪初陕西省 2005 年和 2010 年的工业用水需求进行了重点预测,对陕西省的水资源供需利用决策提供参考。^[8]

刘二敏等(2008 年)利用系统动力学和分块预测的方法,通过系统的反馈计算机制作用,进行系统分析后建立数学模型,对系统发展的整体水平进行预测,并保证一定的精确度。并通过实例进行应用对区域水资源综合规划及对长期供水规划的制定提供了重要的参考依据。^[9]

综上所述,预测工业需水量的各类算法各有优缺点,还没有达成共识,本文采用产值定额法这一传统方法对工业需水量进行预测。

1.1.2 农业用水量预测

赵振国(2007 年)运用多层前馈网络的误差反向传播算法,通过输入输出因子规格化处理及因子的选取与修正,将 BP 神经网络训练方法用于典型区进行预报检验,进行区域农业用水量预测。^[10]

张小泓(2009 年)以实例(库尔勒市 2000–2006 年灌溉用水资料)建立灰色 GM(1,1)预测模型,运用残差检验、后验差检验以及关联度检验 3 种方法对模型进行精度检验,其模型拟合精度达 96.9%。用所建立的模型对库尔勒市 2007–2011 年农业用水量进行外推预测。^[11]

王芸(2010 年)以实例(阿克苏地区 1995–2005 年农业用水资料)建立

灰色 GM(1,1) 预测模型,运用残差检验、后验差检验以及关联度检验 3 种方法对模型进行精度检验,其模型拟合精度达 98.31%。用所建立的模型对阿克苏地区 2006–2010 年农业用水量进行外推预测。^[12]

宋巧娜(2007 年)运用灰色 GM(1,1) 模型和 BP 神经网络模型相结合的灰色 BP 神经网络模型,对农业用水量进行预测。此组合模型兼有灰色预测和 BP 神经网络预测的优点,既克服了数据波动性大对预测精度的影响,也增强了预测的自适应性。以辽河流域某典型区为例进行预测。^[13]

张新民(2004 年)以粮食自给为前提,对甘肃省未来 30 年的农产品需求及高低节水方案下的农业需水进行了预测。通过对水资源供需平衡进行分析后,为使农业用水保障供给,农业生产走高效用水的道路,提出了发展节水灌溉、建立旱地高效农业、实行水旱互补、统筹发展等农业高效用水量观点^[14]。

郑玉胜(2004 年)采用改进的 BP 网络对灌溉用水量进行了预测,针对 BP 网络的不足,采用遗传算法对网络初始权重进行了优化,并采用 LM (Levenberg–Marquardt) 算法进行了误差逆传播校正。通过引入遗传算法和 LDI 算法,比传统的 BP 网络无论从精度和训练时间上都有了较大的改进。最后对湖北省宜昌市东风渠灌区用水量进行实例分析,证明了该方法的有效性。^[15]

郑玉胜(2004 年)以东风渠灌区为背景,用 AR 模型对季节性的时间序列进行了分析和预测,通过 AR 模型分析求解。引入神经网络模型对灌溉用水量进行了预测,建立了 BP 网络模型,引入了非线性最小二乘法中的 LM 算法,提高了网络的精度,缩短了训练的时间,建立了灌溉用水量的预报模型。采用该模型对东风渠灌区灌溉用水量进行了预测,得到了较好的结果。^[16]

农业需水量预测已经成熟,但是大多数的算法针对特定的地区,没有普遍的意义。

1.1.3 生态用水量预测

王亚娟(2007年)全面分析青浦区水资源现状及存在的问题,以防污、节水、环境保护和建设为基本出发点,选取适合青浦区河道生态需水计算方法,即 Tennent 改进方法——年月保证率法计算青浦区河道生态需水量。立足于充分利用区域地表水资源,按照产业调整要求及水资源配置的次序,优先保证区域基本生活用水、满足工业用水并力求保证生态用水的原则,综合考虑水的资源化、水的污染防治等措施,对生态需水量进行预测。^[17]

秦长海等(2008年)利用定额法、趋势预测法等研究方法对宁夏的生活需水量、生产需水量及生态需水量进行了模拟预测,确定了宁夏区内不同水平年、不同降水频率下的需水总量。需水量预测结果为宁夏的水资源配置和产业结构调整提供了基础依据。^[18]

王治国(2007年)在分析和预测省内水资源态势的基础上,探讨了生态用水和生态需水概念,同时分析并界定了山西省生态用水的主要组成部分。以行政区内的水系流域、水土流失类型以及行政区划划分了三个层次的生态区,系统的分析和统计了全省的基本背景值。以植物蒸散理论、水量平衡理论等为基础,采用小流域对比分析法,确定了水土保持用水定额,采用生态用水系数 C_u 和生态用水模数 M_u 的概念对生态用水现状进行分析。预测了 21 世纪早期 2010 年和 2015 年的生态需水量,采用生态需水系数 C_n 和生态模数 M_n 的概念对未来需水量预测进行分析,并将传统水资源与生态用水作为一个统一的整体,进行了水资源供需平衡分析。^[19]

雷敏(2003年)从水环境面临的主要生态环境问题出发,以延河流域为例,探讨生态环境需水量的理论内涵和评价计算方法,研究延河流域的生态环境需水量,并预测了未来 30 年延河流域基于生态环境需水量的经济需水量(包括工业、农业、生活三个方面的需水量),针对延河流域水资源特点及生态环境问题,提出了一些建设性建议。并对延河流域生态系统进行了分

类,以生态用水定额法计算了不同生态系统生态环境需水量及流域河道外生态环境需水的值,预测了基于生态环境需水的延河流域未来 30 年的经济需水量。^[20]

周蕾等(2007 年)通过对涵养水源功能分级和自然植被第一性生产力计算,评价自然植被生态承载力;通过水资源总量、用水预测确定供需平衡关系及因素,给出该保护生态功能承载力结论。^[21]

兰康杰(2004 年)通过对万家寨引黄北线供水区生态环境用水现状分析,对未来生态环境需水进行了预测。^[22]

张元波(2005 年)根据武汉市的实际情况,将生态环境需水分为河流、湖泊湿地和城镇三类,采用不同的方法,比较系统的初步分析计算了武汉市的生态环境需水量。^[23]

莫淑红(2010 年)采用 Copula 函数构造河川径流的联合分布,分析了宝鸡市市区段渭河干流及其最大一级支流干河的丰枯遭遇情况,研究了宝鸡市历史供用水结构变化特点及节水现状。针对生态城市需水系统的复杂性,进行了城市需水量预测方法研究。探讨了生态城市河流生态需水量的研究意义及西北地区生态城市河流需水量的确定方法,在充分考虑城市污水处理能力建设条件下,计算了宝鸡市市区渭河干流的生态需水量。^[24]

熊雁晖(2004 年)对海河流域的水资源承载能力和水资源生态环境的承载能力进行了研究。采用宏观经济水资源系统模型、计量经济实证分析模型和水资源生态服务功能价值等理论与方法,运用多目标情景分析技术,建立了分析水资源承载能力与生态环境承载能力的耦合模型,并开发了与此相对应的可视化、可交互的决策支持系统,用以分析不同经济发展模式下的水资源供需平衡与经济系统的作用关系,以及对生态环境的影响,提出未来合理的经济发展模式与水资源优化配置方式。^[25]

陈崇德等(2009 年)依据漳河水库流域实测的历史水文资料与流域各县市社会经济发展现状和规划,以维持河流自净能力所需的基本生态环境