

区域水资源高效利用 与优化调度研究

QYU SHUIZIYUAN GAOXIAO LIYONG
YU YOUHUA DIAODU YANJIU

和吉 张安 陈晓楠 等 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

区域水资源高效利用 与优化调度研究

QUYU SHUIZIYUAN GAOXIAO LIYONG
YU YOUHUA DIAODU YANJIU

和吉 张安 陈晓楠 著
段春青 赵妍 冯晓波



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书结合我国水资源管理的需要与现状,依据近年来多项水资源优化配置及实时调度课题的研究成果,比较全面、系统地介绍了区域水资源高效利用及优化调度理论、方法和技术。

全书分为上下两篇共9章,前5章为上篇,主要以河南省渠村灌区为研究区域,详尽论述了农业水资源实时调度的理论、方法及数学模型,包括灌区水资源中长期来需水预报及优化调度、灌溉实时需水预报、预报误差实时修正、水资源实时调度模型与求解方法、实时动态渠系配水模型等,并将理论应用于渠村灌区实际,为灌区农业水资源调度科学化、实时化、现代化的实现提供理论及技术支持。后4章为下篇,以辽宁朝阳市为例,结合城市水资源实时监控与管理系统建设、城市水务一体化管理以及水信息化管理系统建设中存在的主要问题和关键问题,以水资源的优化调度与科学管理为核心,建立集城市水资源系统模拟、实时评价、实时预报、实时管理、实时调度和供水安全与实时预警为一体的城市水资源实时调度与管理理论技术体系,进行城市水资源高效利用与管理的研究。

本书在内容上力求浅显易懂、实用易学,可作为高等院校水文水资源、农田水利、水务工程或其他相近专业的教材,也可供从事水资源管理工作的工程技术人员或相关领域的科研人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

区域水资源高效利用及优化调度研究/和吉著. —北京:中国电力出版社,2017.1

ISBN 978-7-5198-0101-4

I. ①区… II. ①和… III. ①区域资源—水资源利用—研究
②区域资源—水资源—调度—研究 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第296042号

中国电力出版社出版发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

责任编辑:王晓蕾

联系电话:010-63412610

责任印制:蔺义舟

责任校对:马宁

北京同江印刷厂印刷·各地新华书店经售

2017年1月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 16开本 12.5印张 300千字

定价:58.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

水是生命之源、生产之要、生态之基。水资源可持续利用事关人类生存、经济发展、社会进步。随着人口的增加和工农业的发展，人类活动对自然界影响越来越大，很多迹象表明水资源危机正在深深地困扰着人类的生存与发展。

我国水资源总量不足，时空分布不均且与人口、耕地、生产力布局极不协调，造成大部分地区水资源短缺，严重制约着国民经济的发展。长期以来我国在水资源开发利用方面，管理体制不顺，思想陈旧，管理方式粗放，技术手段落后，导致了水资源的掠夺性开发，用水效率低，水资源浪费严重，引发了地下水超采、地下水位下降、河流湖泊萎缩、水污染加剧等一系列问题，严重威胁到社会、经济与生态环境间的协调发展。因此，针对我国水资源浪费与水资源紧缺并存的问题，借助于先进的水资源管理和实时控制理论、优化和预测技术、模拟技术、以及计算机技术等，研究如何科学合理地调度与管理水资源，从而实现水资源高效利用，促进国民经济的可持续发展，对缓解我国日益突出的水资源供需矛盾具有十分重要的战略意义。

近年来，华北水利水电大学水文水资源研究所联合相关单位，先后承担了渠村、东石岭、宁陵引黄补源等灌区、郑州市惠济区生态园的水资源优化配置研究等课题的研究，以及辽宁省朝阳市、山东省即墨市、河南省安阳市等城市水资源规划及优化配置、供水安全预测预警及应急管理课题的研究工作。本书就是这些研究成果及工作经验的总结，内容主要包括灌区水资源中长期来需水预报及优化调度、灌溉实时需水预报、预报误差实时修正、水资源实时调度模型与求解方法、实时动态渠系配水模型等农业水资源实时调度的理论、方法，以及城市水资源实时调度与管理基础理论与方法、城市水资源系统分析与模拟、城市水资源实时调度与管理模型率定及应用等集城市水资源系统模拟、实时评价、实时预报、实时管理、实时调度和供水安全与实时预警为一体的城市水资源实时调度与管理理论技术体系。

本书的上篇由华北水利水电大学的和吉编写，第七章、第八章由水利部水利水电规划设计总院的张安编写，其余部分由南水北调中线干线工程建设管理局陈晓楠、北京市水务局水利水电技术中心段春青、中国水利水电科学研究院赵妍、南水北调工程建设监管中心冯晓波等共同编写。

相关课题研究过程中得到了黄委会河南河务局、濮阳市河务局、河南省水文局、郑州市水利局、朝阳市水利局等单位领导和专家的指导和帮助，在本书正式出版之际，特向有关领导和专家表示衷心的感谢。

本书编写过程中，作者参阅和引用了大量相关文献和研究成果，在此谨向有关作者和专家表示衷心的感谢。

限于水平有限，书中错误在所难免，不当之处恳请批评指正。

著 者

2016年11月

目 录

前言

上篇 灌区水资源优化调度研究

第 1 章 灌区水资源优化调度研究概述	3
1.1 研究背景和意义	3
1.2 国内外研究进展	4
1.3 存在问题及发展趋势	7
1.4 本篇研究的主要内容	9
1.5 研究区域	9
第 2 章 基于现代优化方法的典型年灌溉制度优化设计	16
2.1 引言	16
2.2 作物灌溉制度	17
2.3 作物灌溉制度优化设计	21
2.4 灌区水资源优化配置	29
2.5 渠村灌区典型年灌溉制度优化设计	31
第 3 章 基于多目标决策的多水源典型年联合调度模型	35
3.1 引言	35
3.2 多水源多目标联合调度原理	35
3.3 多水源多目标典型年联合调度模型	37
3.4 交互的多目标决策分析过程	39
3.5 渠村灌区典型年地表水地下水联合调度实例	43
第 4 章 基于信息扩散近似推理的中长期灌溉制度制定	45
4.1 引言	45
4.2 信息分配	45
4.3 信息扩散	49
4.4 基于信息扩散近似推理的渠村灌区中长期灌溉制度制定	53
第 5 章 基于现代预测技术的灌区实时调度模型	58
5.1 引言	58
5.2 实时调度与中长期调度的耦合模型	59

5.3	实时灌溉预报	59
5.4	基于混沌遗传程序设计的参考作物腾发量预测模型	60
5.5	基于推理的灌区实时调度模型	65
5.6	实时调度模型在渠村灌区中的应用	69

下篇 城市水资源实时调度与管理研究

第6章	城市水资源实时调度与管理研究综述	75
6.1	研究背景及意义	75
6.2	城市水资源实时调度与管理研究现状与趋势	76
6.3	城市水资源实时调度与管理基础理论	77
第7章	城市水资源系统分析与模拟	82
7.1	城市水资源系统分析	82
7.2	地表水循环要素的模拟	83
7.3	地下水的模拟	84
7.4	人工侧支水系统模拟	85
7.5	水质模拟	87
第8章	城市水资源实时调度与管理模型	93
8.1	实时调度与管理整体模型	93
8.2	水资源实时评价	93
8.3	水资源实时预报	97
8.4	水资源实时管理	104
8.5	水资源实时调度	108
第9章	城市水资源实时调度与管理实例研究	117
9.1	朝阳市概况	117
9.2	朝阳市水资源系统概化与模拟	123
9.3	朝阳市水资源实时评价	138
9.4	朝阳市水资源实时预报	165
9.5	水资源实时管理	175
9.6	实时调度结果	179
9.7	朝阳市水资源实时预警	185
	参考文献	187



上 篇

灌区水资源优化调度研究

灌区水资源优化调度研究概述

1.1 研究背景和意义

随着人口的增加和工农业的发展,人类活动对自然界影响越来越大,世界一些地区水资源正在出现危机。很多迹象表明水资源危机正在深深地困扰着人类的生存与发展。

我国人均水资源占有量仅为世界人均水平的四分之一,居世界 149 个国家的第 110 位。到 2030 年,我国人口将达 16 亿~17 亿,以 16.5 亿人计算,届时我国人均水量仅为 1700m^3 。按国际上的通行标准,人均拥有水资源占有量 2000m^3 为严重缺水边缘,那时我国将超出严重缺水边缘的界限。另外,从水资源总量的利用程度方面来看,我国面临的局面也不容乐观。1998 年全国水资源总量为 34 017 亿 m^3 ,用水总量为 5435.4 亿 m^3 ,利用程度达到水资源总量的 16%,1999 年、2000 年均 20%,2001 年为 21%,2002 年为 19%,2004 年已达到 23%。按照国际经验,一个国家用水量超过其水资源总量的 20% 就很可能发生水资源危机。这表明我国水资源在丰水年利用量接近水资源危机的边缘,平水和枯水年份已超过了国际上公认的水资源危机临界值。由此看来,我国属于水资源十分紧缺的国家,正面临着严重水危机。

同时我国又是一个农业大国,农业是国民经济的基础,而水则是农业发展的命脉,水对农业有特殊重要的意义。随着水危机的出现,农业用水也存在着严重的缺水问题,特别是社会经济迅速发展,工业和生活用水开始不断挤占农业用水量,农业用水面临十分严峻的局面。另一方面,我国灌溉用水浪费的现象十分严重,现存的灌溉方式仍然是大水漫灌的方式,使得灌溉定额过大,北方大部分灌区的灌溉定额达到 $9000\sim 12\,000\text{m}^3/\text{hm}^2$,高出实际作物需要的 2~5 倍,目前我国每千克粮食的耗水量是发达国家的 2~3 倍。此外,灌区中工程老化问题突出,造成灌溉水的有效利用率比较低,全国农业灌溉水的利用系数平均仅在 0.3~0.4,和先进国家的 0.7~0.8 相比,灌溉效率落后了 30~50 年。我国的水分利用效率为 $0.6\sim 1.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。以色列通过节水和高效用水,水分利用率已从 1955 年的 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 提高到 1998 年的 $2.6\text{kg}/\text{m}^3$ 。我国山东桓台县 1997—1998 年实施综合节水措施后,水分利用效率已提高至 $2.02\text{kg}/\text{m}^3$ 。北京昌平区南绍乡 1994—1997 年冬小麦的水分利用效率已达 $2.3\sim 2.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。河南商丘、清丰等试验田、示范区的水分利用效率也都接近或超过 $2\text{kg}/\text{m}^3$ 。这些资料表明,我国农业节水的潜力很大。

因此,针对我国水资源浪费与水资源紧缺并存的问题,借助于先进的节水灌溉和实时控制理论、优化和预测技术、模拟技术、以及计算机技术等,研究如何科学合理地调度与管理

灌区水资源,从而实现灌区水资源高效利用,促进国民经济的可持续发展,对缓解我国日益突出的水资源供需矛盾具有十分重要的战略意义。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 地表水与地下水联合调度研究进展

随着水资源供需矛盾的日趋尖锐,单纯考虑和研究地表水或地下水均不能有效地解决水资源紧缺问题,因此联合利用地下水和地表水资源的重要性逐渐引起人们的重视。

国外早期主要将动态规划模型和线性规划模型以及模拟技术运用到地面水地下水联合调度中,20世纪50年代,人们就认识到地下水和地表水联合调度可以产生较高的经济效益或提高稳定的可供水量。自N. Buras和W. A. Hall用动态规划求解地表与地下水的分配问题以来,地表水与地下水联合规划与管理问题的研究有了较大进展,解决了一些重要的实际问题。同年,Castll和Lindebory首次将线性规划引入联合运用系统,解决了地面水和地下水在两个农户之间的水量分配。由于地面水地下水是复杂的大规模系统,随着近代控制理论和系统理论的发展,大系统优化理论被广泛地应用到地表水地下水联合运用问题中,Haimes和Dreizin研究了由河流、含水层和下游水库组成的联合运用系统,各子系统操作上级分配的地表水量,并决定地下水开采量,目标是本区费用最小,上级协调器协调各区开采的相互影响。随着各种优化模型的发展,复合模型也运用到了地表水和地下水联合运用中,Johnsone把动态规划和模拟技术结合起来,确定地表水和地下水联合系统的地表水库和地下水水库的最优容积;S. A. Sloiman综合了许多优化方法,提出了离散变量空间的优化模型。总之在地表水和地下水联合运用方面,国外取得了较大的发展。

国内也主要将动态规划、线性规划、非线性规划、模拟技术以及多目标规划与大系统优化理论等方法运用到地表水地下水联合运用中:谢新民等利用大系统理论和模糊数学,应用数值模拟和响应矩阵法,研究了地表—地下水资源系统多目标管理模型与模糊决策问题,建立了水电站水库群与地下水资源系统联合运行管理模型,并提出一种目标—协调计算方法;丁瑞勇等针对缺乏水文地质参数的特点,采用二维单增量搜索动态规划方法探讨了内陆河流下游干旱平原地区的地面水、地下水联合调度问题;曾赛星等针对内蒙古河套灌区永联试区的具体情况,运用大系统分解协调方法建立了灌区优化灌溉制度及地面水、地下水联合运用的谱系模型,模型中第一层子系统优化采用动态规划方法确定各种作物的灌溉制度,第二层平衡协调模型通过线性规划方法确定了各时段地面水引水量、地下水抽水量及最优种植模式,以求达到灌区效益最大的目标;石玉波等从不同角度对地表水地下水联合调度进行了研究。

1.2.2 降雨预测

降雨预测是实时调度中的一个重要部分,对于指导灌区制定合理的灌水计划及确定未来年份的丰枯类型有至关重要的作用,因此确保实时调度顺利进行的关键之一在于中长期降雨的准确预报。中长期降雨预测是自然与技术领域内的一项研究难题,有着十分重要的理论和实际意义,目前就国内外的研究现状而言,由于其复杂性还处于探索阶段,其存在的主要问题

题是预报精度较低,在实际工作中难以有效地指导生产实践。早期降雨预测的方法主要有数理统计预测方法、数学物理模型预报方法,随着数值计算技术的发展,水文预测同其他学科也有了交叉并产生了一些新方法,如人工神经网络方法、灰色系统预测方法、投影寻踪方法及均生函数预测方法等。降雨预测从传统的线性回归预测、确定型时间序列预测、随机型时间序列预测、随机预测技术发展到了模糊预测、灰色预测、神经网络预测、混沌时间序列预测以及这些方法的组合混合预测方法。以上预测方法均有各自的优缺点及适用条件,但由于影响降雨的因素有很多且它们之间的关系难以确定,因此如何提高它们的预测精度是目前研究的热点之一。

1. 成因分析法

利用成因分析法对降雨进行预测,就是根据降雨的经纬度、大气环流、太阳辐射等因素与降水量建立统计关系,在已知这些因素的规律和发展趋势后可以根据它们的内在关系进行降雨预测。这种方法科学合理,在短期的天气预测以及水文预测方面都取得了很好的预测效果,但是影响一个地区的降雨因素众多并且关系复杂,尤其是影响降雨的其他相关因素同样难于预测,因此在目前科技条件限制下还难于达到满意的预测结果。

总之,联系大气环流、太阳辐射等长期演变及前后承替规律来进行降雨的中长期预报是一条具有物理基础的重要途径,也是中长期降雨预报的发展方向。

2. 数理统计法

数理统计法是通过历史资料的统计分析进行概率预测,可分为两类:一类是分析历史降水序列自身随时间变化的统计规律,然后利用这种规律进行预报,如历史演变法、时间序列分析法以及混沌时间序列法等;另一类是多元回归分析法,建立预报方案进行预报。

多元回归分析常用的方法主要有聚类分析、主成分分析,逐步回归等。这些方法的主要问题是合理选择因子个数,解决拟合效果和预报效果不一致的问题。时间序列分析是应用历史降雨资料,寻找其自身的演变规律来进行预报,常用的有平稳时间序列中的自回归模型、周期均值叠加,马尔可夫链等。20世纪60年代以前主要采取把序列分解成趋势、周期、平稳等项,然后再分项预测后进行叠加而得到预报结果。70年代后,Box提出的AR-MA类模型逐步应用于中长期降水预报,同时具有非线性特点的TAR模型也开始用于中长期降雨预报。陈森法等人在Nakakita的确定性短期降雨预测模型的基础上,利用随机微分方程理论,建立了预测降雨强度的随机模型,通过随机分析理论,得出了模型的解,同时研究了求解的近似数值方法和利用Fourier变换转化该随机降雨模型方程为常微分方程组的可行性。

3. 模糊预测法

模糊数学方法是一种研究和处理模糊现象的新型数学方法,可以用来表达和处理客观存在的模糊信息,研究具有模糊信息的时间序列。这一方法由美国自动控制专家查德于1965年首次提出来的。我国陈守煜首先将模糊数学运用到水文水资源系统中,并且创立了模糊水文水资源学。陈守煜等根据模糊控制的基本原理,以大伙房水库汛期入库流量为检验资料,提出了径流长期预报模糊推理模型;王本德在传统历史演变的基础上,应用模糊推理原理,提出了水文气象单要素预报模糊推理法;陈守煜提出了模糊模式识别模型、模糊聚类模型,并在此基础上建立了模糊模式识别预测模型。

4. 人工神经网络预测

人工神经网络是基于连接学说构造的智能仿生模型,是由大量神经元组成的非线性动力学系统,具有并行分布处理、自组织、自适应、自学习和兼错性等特点。人工神经网络预测方法是目前预测运用较多的一种方法,其应用十分广泛,如智能控制、模式识别、知识处理、非线性优化和机器人研制等领域,实际应用较多的主要有BP神经网络及基于径向基函数的神经元网络两种。Hall在1996年利用人工神经网络模型建立了降雨预测模型,取得较好结果;张少文等采用改进的BP算法对黄河兰州水文站45年的年降雨和径流实测资料进行了分析,建立了基于人工神经网络的年降雨—径流预测模型,研究结果表明所建模型对下一时段的径流预测与传统的统计建模方法相比,预报精度较高,能较好地反映黄河上游区的年降雨—径流规律;邱林等提出了模糊模式识别神经网络预测模型,开创了神经网络拓扑结构建模的新思路。

5. 灰色预测

灰色系统理论是由我国学者邓聚龙1982年首创的一种系统科学理论。影响中长期降雨的不确定性因素很多,并且各种因素的作用机理又难以严格区分,灰色系统就是将各种因素的综合视为灰色特性,通过挖掘系统信息,逐步将其灰色特性淡化、白化、量化、模型化,最后达到认识其变化规律,从中获取预测信息。由于影响降雨的因素众多,并且各因素之间又有相当复杂的关系,因此对中长期降雨预测的结果精确度不高。李荣峰等^[43]根据灰色系统理论得出作物生育期降雨序列的GM(1,1)微分方程,建立了作物生育期降雨量的灰色自记忆模型,并将该模型应用于冬小麦和玉米生育期降雨量拟合及预测,结果表明基于灰色微分方程的模型利用了多个观测信息,预测具有较高的计算精度;贾海峰等根据灰色预测模型的优势恰好在反映现象变化的大趋势方面,提出了灰色—时序组合预测法对年降水量进行预测;张闻胜等基于时间序列分解法,引入灰色系统理论中的分离趋势项,建立了降雨预报模型,并应用反馈模拟校正技术对预报结果做出实时校正。

1.2.3 作物需水量预测

作物需水量预报是实时灌溉预报的基础,也是拟定渠系动态配水计划的基础,由于作物需水量和参照作物需水量之间的比值可以通过作物系数和土壤水分修正系数来表示,而作物系数和土壤水分修正系数目前研究比较成熟,因此作物需水量的预测实际也就是参考作物需水量的预测,其关键在于参考作物蒸发量的预测。对于作物蒸发量的中长期预报,一般根据其与气象因素的关系,采用线性回归预测法,对于作物蒸发量短期实时预报以前常用指数平滑预测技术,也有在短期气象预报的基础上采用线性回归预测方法。计算参考作物蒸发量的方法很多,主要有:经验公式法、水汽扩散法、能量平衡法和综合法等,其中以FAO定义彭曼-蒙特斯方法为计算 ET_0 的首选方法,其具有较充分的理论依据和较高的计算精度。为了使公式统一标准化,FAO给出了参考作物的新定义,目前的研究均在此基础上进行。

由于影响作物需水量的因素较多,并且对于计算短时段内作物需水量时公式中的计算参数难以准确测定,因此目前多是利用人工神经网络或其他方法对作物需水量进行预测。国外:Alexandris提出了仅需要太阳辐射、空气温度和相对湿度三个参数的逐小时参考作物蒸发量的计算经验公式;Trajkovic利用人工神经网络建立参考作物需水量的预测模型,结果表明人工神经网络预测模型有较高的精度;Odhiambo应用模糊数学的方法建立了作物需水量模型。



1.2.4 灌区农业水资源实时优化配置

目前我国灌区农业灌溉水量还是依据历史资料,制定出典型年作物灌溉制度,以静态的灌水计划为指导,这与作物实际所需水量有较大的出入,既没有达到高产高效的原则又浪费了水资源量。水资源实时调度是根据短期的来水和用水预报,进行水资源系统的科学调度,以确定短期的管理运行策略,并使其与中长期最优运行策略偏离最小。

水资源实时调度就是要使得面临时段在中长期优化结果约束条件下达到最优调度,这就要求我们兼顾中长期优化调度的规划指导作用和短期调度比较精确的特点,在中长期优化调度的基础上建立短期实时调度优化模型,二者相互渗透、互为前提和约束条件。

实时水资源优化配置是在中长期优化配置的基础上进行的,中长期水资源优化配置即是典型年水资源优化配置。对典型年水资源优化配置主要是研究在作物种植比例一定的条件下,对于非充分灌溉条件下的农作物间最优水量分配,也就是各作物之间在全生长期及生长期的各个阶段的水量最优分配问题。目前该类问题的研究方法比较成熟,主要有线性规划、非线性规划、动态规划、网络技术、多目标优化以及大系统分解协调理论,随着现代科学方法的不断发展,混沌优化算法、遗传算法、蚁群算法以及粒子群算法等进化算法也被运用到优化计算中。

国外对水资源优化配置的研究始于20世纪60年代初期,1960年科罗拉夫的几所大学对计划需水量的估算及满足未来需水量的途径进行了研究,体现了水资源优化配置的思想。20世纪70年代以来,伴随着数学规划和模拟技术的发展及其在水资源领域的应用,水资源优化配置的研究成果不断增多。Yaron和Dinar应用分解原理,提出了一个LP-DP模型,用于求解多种作物灌溉水量最优分配;英国学者PW Herbertson等针对潮汐电站的特点,考虑多部门利益的相互矛盾,利用模拟模型对潮汐海湾的新鲜水量分配进行模拟计算,展现了模拟技术的优越性;荷兰学者E Romijn等考虑了水的多功能性和多种利益关系,强调决策者和决策分析者间的合作,建立了Gelderlandt Doenthe的水资源量分配的多层次模型,体现了水资源配置问题的多目标和层次结构特点;美国学者Norman J Dudley将作物生长模型和具有二维状态变量的随机动态规划相结合,对灌区的季节性灌溉用水量分配进行了研究。

国内主要从确定性优化技术、模糊优化、多目标优化及大系统分解协调原理等方面对水资源优化配置进行了研究。徐建新采用动态规划法进行了已定种植结构下、作物水量优化分配及渠系实时灌溉的研究,并研制了相应的软件程序;刘肇祎针对我国山区较为普遍的长藤结瓜式的灌溉系统,建立了以干库容最小、灌溉面积最大、已建工程作用最大为目标的多目标非线性优化模型;袁宏源等以黑龙港地区为背景,利用临西试验站的灌溉试验资料,建立了一个二维状态及二维决策变量的多维动态规划模型,进行农业灌溉制度的研究;张展羽等根据各阶段灌水量对产量影响的模糊性,将模糊动态规划技术运用到非充分灌溉制度的设计,其中某阶段及其以前灌水量之和为模糊状态变量,各生育阶段灌水量为模糊决策变量。

1.3 存在问题及发展趋势

1.3.1 存在的主要问题

可以看出,对于农业水资源的利用上,目前人们已经逐步认识到地表水与地下水联合调



度的重要性，并对此进行了大量的研究。地下水位过高将导致土壤盐渍化，而过量开采地下水则会形成地下水下降漏斗，破坏地下水的多年采补平衡，引起地下水位持续下降。因此，在灌溉过程中实时控制地下水的开采量对保持地下水位处于合理范围内有重要意义。地下水位随着开采量及灌溉量的不同而实时发生变化，不能简单地将地下水量在不同水平年下作为不同的定值与地表水进行联合调度，而不考虑地下水可开采量的动态变化，否则将得出不符合实际的结果。在地表水与地下水联合调度时应着重考虑地下水位随灌水、降雨、开采及蒸发的变化而变化，将地下水位控制在合理范围内。在对灌区进行地表水与地下水联合调度时，既要考虑充分利用地下水源以实现作物高产的目标，又要将地下水在不同的水平年下控制在合理范围内以实现多年采补平衡的目标，这是一个多目标优化配水问题，涉及经济、环境以及社会等多方面的影响，需要进行深入的研究。

另外，国内外学者在中长期灌溉制度的研究上虽然已取得了不少成果，但典型年优化制度的研究与实际应用之间还有相当大的距离。由于实际降水、气象以及作物等众多复杂因素的影响，灌溉制度的优化设计问题中，存在着很强的随机性和模糊性。确定条件下得出的代表年的优化制度，仅仅可以作为“静态用水计划”的基础和一种参考，灌溉时，需要视当时的实际情况，临时修改以得出合理的灌溉制度。因此，如果要真正实现高产高效的目的，制订出能够指导生产实际的用水计划，必须实行实时灌溉。这一研究涉及优化、预测、控制、决策等多方面技术问题，需要系统地从不确定性以及不完备性角度详细地进行研究。

1.3.2 发展趋势

1. 多水源联合调度的研究

随着水资源供需矛盾的日趋尖锐，单纯考虑和研究地表水或地下水均不能有效地解决水资源紧缺问题，因此联合利用地下水和地表水资源的重要性逐渐引起人们的重视。

2. 实时调度的研究

为了能真正地指导生产实践，必须实行实时调度，通过预报、决策、实施、修正、再预报、再决策、再实施、再修正滚动向前的思想，得出符合实际的灌溉制度。

3. 现代优化方法应用的研究

基于分布式计算技术、网络技术的优化方法，以及一系列进化算法用来解决灌区优化调度中的“维数灾”和“陷入局部极小点”问题，为解决优化问题提供了一种新的途径。

4. 调度中不确定性及不完备性的研究

灌区调度中伴随着大量的不确定性因素，包括研究对象发生与否的不确定性（随机性，这里主要是指天然降水过程的不确定性）、研究对象概念的不确定性（模糊性）、研究对象信息量不充分而出现的信息不完备性等。

5. 调度中多目标问题的研究

多目标问题是现代决策科学的一个核心内容。大型节水灌溉工程一般投资额度大，其投资的效益与合理的规划设计密切相关，而规划设计的首要条件是要确定合理的节水灌溉方案。这一问题涉及政治、技术、经济、资源、环境和社会等多个方面，传统的单目标优化与决策的方法已经不能适应新时期灌区调度的要求，必须寻求多目标之间协调、统一的发展模式。



1.4 本篇研究的主要内容

本书上篇针对目前研究中存在的问题,以及相关研究的发展趋势,紧紧把握国内外研究的热点和前沿问题,以河南濮阳渠村引黄灌区为研究区域,对灌区地表水与地下水联合实时调度进行详细、系统地研究,以期为灌区水资源的合理配置及可持续发展提供决策依据。其具体研究内容如下:

(1) 基于现代优化技术的灌溉制度优化方法。

将现代的优化技术与方法引入到灌溉制度模型中来提高灌溉制度计算精度和速度,在详细分析灌区优化模型特点的基础上,利用混沌优化算法和基于超平面实码遗传算法的大系统分解协调模型进行灌区典型年灌溉制度的优化设计。

(2) 基于多目标的灌区地表水和地下水联合调度模型。

为了充分发挥水资源的效益,兼顾经济、环境和社会等多方面的影响,研究地表水和地下水联合调度的多目标模型,实现灌区高产高效的同时,满足地下水位多年采补平衡的目标。结合灰箱模型或非稳定流模型以及混沌优化算法,建立地表水与地下水联合调度的多目标模型,并利用交互式切比雪夫方法进行模型的求解。

(3) 中长期降雨预测及灌溉制度制定研究。

对未来年份的降水预测以及制定其相应的灌溉制度是进行实时调度的基础。由于影响中长期降雨预测的气象条件的多样性、变异性和复杂性,降水过程存在大量的不确定和不完备的信息,又难以应用物理成因模型进行详细分析,因而需要在现有统计等模型的基础上,探讨更为有效的新方法、新模型,使其能够更为充分地利用和挖掘信息,以便做出科学合理的判断。

(4) 作物腾发量的预测研究。

在作物水量实时调度中需要作物需水量的实时预报,目前由于计算参考作物腾发量的修正彭曼公式中需要大量的气象条件,而在实时预报中不可能获得精确的气象资料,因此对作物需水量进行实时预测是不能够直接利用修正彭曼公式进行计算的,要建立基于遗传程序设计的参考作物腾发量预测模型,在实时调度中应寻求新的理论和方法来提高计算精度,更好地对作物需水量进行实时预测。

(5) 灌区水资源实时调度模型研究。

在灌溉实时预报的基础上,结合云预测模型,建立实时调度模型,对静态灌溉制度进行动态调整,实现短期调度与中长期调度的耦合。在进行灌区实时调度时,不能仅仅根据当前效益进行决策,还要考虑当前决策对未来的影响,即要求整个决策序列最优,建立灌区水资源中长期调度和实时调度二次耦合模型,根据实时资料,基于“预报、决策、实施、修正、再预报、再决策、再实施、再修正”滚动向前的思想进行实时调度。

1.5 研究区域

1.5.1 研究区域选择

本书上篇的研究是以黄河下游濮阳渠村引黄灌区为例进行的。灌区位于濮阳市西部,属

我国北方北温带大陆性季风气候半干旱地区。该灌区虽然有一定的引黄灌溉条件，但由于种种原因存在很多和其他北方半干旱地区同样的问题：受季风影响较为明显，降水稀少且分配不均，易发生冬旱和春旱；受地形地貌和经济条件限制，灌溉设施或者缺乏，或者不甚完善，导致农业生产灌溉率低，很多地区处于雨养农业与灌溉农业之间；水资源管理水平落后，农业用水利用效率低。因此，以渠村灌区为例进行区域农业水资源高效利用及优化调度研究，具有一定的代表性和指导意义。

1.5.2 渠村灌区概况

渠村引黄灌区始建设于1958年，南北长约90km，东西宽约29km，灌区地跨两个流域。1986年和1998年先后建成了通往金堤以北的第一、第三两条濮清南引黄工程，灌溉区域覆盖濮阳市下辖的华龙区、濮阳县、清丰县、南乐县和安阳市的滑县，区域总面积2018.7km²，设计灌溉补源面积12.87万hm²。以金堤河为界，以南为黄河流域是正常灌区，设计灌溉面积近4.97万hm²，以北为海河流域是补水灌区，设计灌溉补源面积7.9万hm²。灌区不仅承担灌区耕地农田灌溉用水的供水任务，同时还要满足濮阳城区40多万居民的生活用水、工业用水和环境用水。渠村引黄灌区位置如图1-1所示。

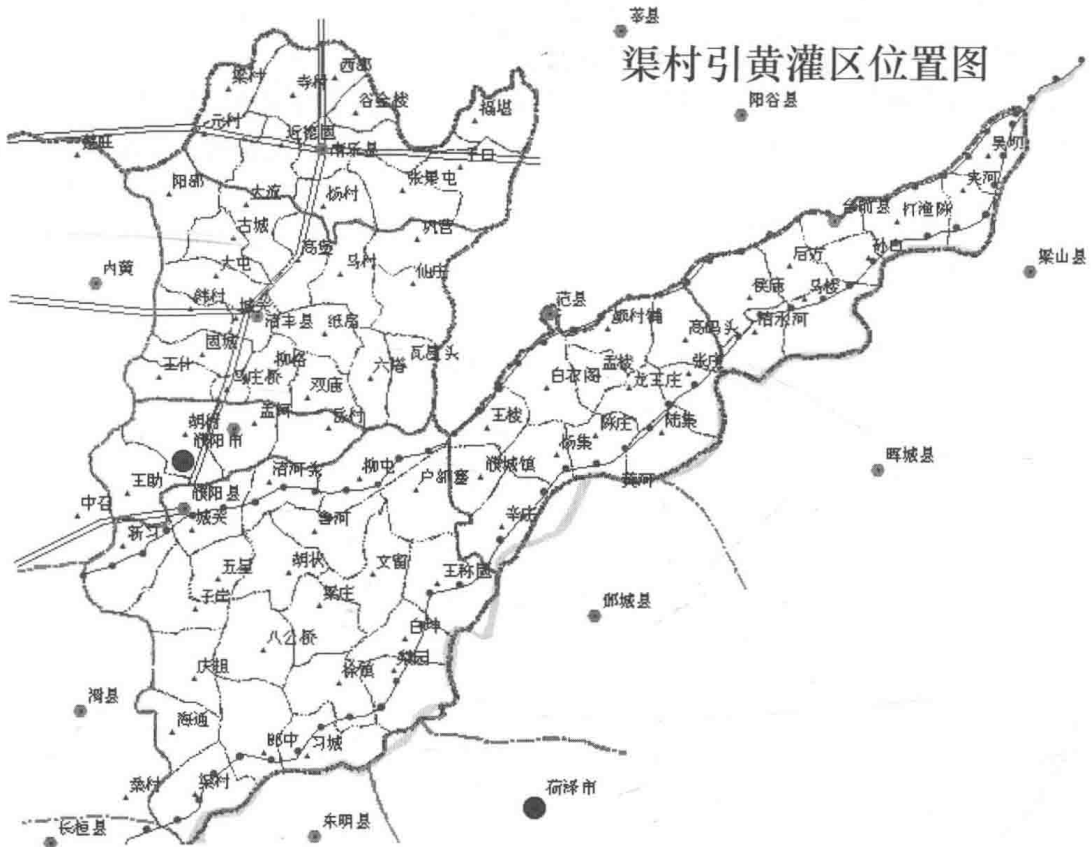


图1-1 渠村灌区渠道布置图

1hm² = 10 000m²。



1.5.3 作物种植结构

灌区内土壤肥沃,适宜粮食、经济作物种植。粮食作物主要有小麦、玉米、水稻、谷子、红薯、高粱、大豆、绿豆及其他杂粮;经济作物有棉花、花生、芝麻、麻类、西瓜、烟叶、油菜等。另外,区内种植的蔬菜品种繁多,以根菜类、叶菜类、葱蒜类、茄果类、瓜类、豆类为主。近几年来,种植业结构有了较大的调整,棉花、蔬菜、苹果和植桑养蚕等一些高效经济作物有了较大发展。棚式蔬菜生产渐成规模。灌区内作物种植面积已达 22.91 万 hm^2 ,其中水稻 0.23 万 hm^2 ,小麦 9.02 万 hm^2 ,棉花 1.14 万 hm^2 ,玉米 4.66 万 hm^2 ,果林 0.75 万 hm^2 ,其他经济作物 3.6 万 hm^2 ,其他粮食作物 3.51 万 hm^2 。复种指数达到 1.78。

渠村灌区正常灌区现状以小麦、玉米、棉花、水稻为主,其他还有花生、大豆、红薯、高粱、谷子、蔬菜等,补水灌区除不考虑水稻种植外,其他同正常灌区。本书的研究区域为堤南、堤北两部分,堤南的研究作物为小麦、玉米、棉花和水稻,堤北的研究作物为小麦、玉米和棉花。其他作物种植面积分别包括在小麦、玉米和棉花之内。灌区现状年作物的种植面积见表 1-1。各种作物生育阶段的参数经计算整理后列于表 1-2~表 1-5 之中。

表 1-1 灌区作物种植面积表

作物名称	种植面积 (万 hm^2)		备注
	正常灌区	补水灌区	
小麦	3.88	6.16	包括果林、蔬菜等
玉米	3.23	5.53	包括豆类、蔬菜等
棉花	1.49	2.37	包括花生等
水稻	0.25	0.00	

表 1-2 小麦各项参数表

生育阶段	敏感系数	潜在腾发量 (mm)	计划土壤湿润 层深 (m)	适宜含水率下限 (%)	适宜含水率上限 (%)
播种~分蘖	0.115 6	43.546	0.3	60	70
越冬	0.114 6	74.852	0.3	60	70
返青	0.110 5	47.795	0.4	60	70
拔节	0.314 8	97.139	0.5	60	70
抽穗~成熟	0.245 4	216.43	0.6	60	70

表 1-3 玉米各项参数表

生育阶段	敏感系数	潜在腾发量 (mm)	计划土壤湿润 层深 (m)	适宜含水率下限 (%)	适宜含水率上限 (%)
播种~苗期	0.34	51.87	0.40	60	70
拔节~抽穗	0.40	92.65	0.55	60	70
抽穗~乳熟	0.72	118.40	0.85	60	70
乳熟~收获	0.50	54.18	1.00	60	70