

NONGYE SHUIZIYUAN YOUHUA PEIZHI

农业水资源优化配置 模糊集分析决策模型研究

马建琴 张振伟 著

MOHUJI FENXI JUECE
MOXING YANJIU



黄河水利出版社

农业水资源优化配置模糊集 分析决策模型研究

马建琴 张振伟 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书全面、系统地阐述了北方农业水资源优化配置模糊集分析决策模型的理论、技术与方法,以及干旱评价指标体系。主要内容包括:绪论、多维多目标模糊优选动态规划方法及其在农业灌溉中的应用、作物种植结构多目标模糊优化模型与方法、渠井灌区配水序贯多指标变权重模糊决策方法、复杂水资源系统的随机多维模糊优选动态方法及其在作物灌溉制度中的应用、多层次多指标模糊模式识别方法及其在节水灌溉技术优选中的应用、区域农业水资源可持续利用优化管理模型、水量订单制度下黄河下游灌区水资源实时分配模型及管理软件开发、基于模糊综合评判的华北地区干旱评价指标体系及其应用等。

本书可供水文水资源、农业水利工程、管理科学等专业的研究生、科研人员及大中专院校师生参考,也可灌区、农田水利等管理部门的领导和技术人员提供决策依据和参考。

图书在版编目(CIP)数据

农业水资源优化配置模糊集分析决策模型研究/马建琴,
张振伟著. —郑州:黄河水利出版社,2010.6
ISBN 978-7-80734-832-0

I. ①农… II. ①马… ②张… III. ①农业资源:水资源—资源分配—模糊集理论—研究 IV. ①S279

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 096514 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371-66024331 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:8

字数:182 千字

版次:2010 年 6 月第 1 版

印数:1—1 000

印次:2010 年 6 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

前 言

我国是一个水资源相对贫乏的国家,特别是北方地区,近年来随着社会经济的迅速发展,水资源短缺问题日益严重。农业是用水大户,用水量约占我国总用水量的 70%,水资源短缺已成为制约我国农业可持续发展的一个重要瓶颈问题。同时,落后的水资源管理方式又导致农业用水存在严重浪费,灌溉水利用系数仅为 0.46,对农业水资源进行可持续利用研究刻不容缓。

干旱灾害是我国最为严重的自然灾害之一,我国每年因旱灾所造成的损失占各种自然灾害的 15% 以上,每年受灾面积高达 2 000 多万 hm^2 ,粮食减产 100 亿 kg 。近年来我国北方遭遇连年干旱,如自 2008 年冬季至 2009 年春季,大部分地区雨雪稀少,干旱面积逐步扩大,严重影响和制约着冬小麦的生长发育及产量形成,对我国农业生产造成很大的影响。干旱对农业可持续发展、粮食安全和社会稳定构成了严重威胁。因此,研究我国北方农业水资源的管理、利用和干旱影响具有特殊的意义,对缓解我国粮食生产、维持水资源的可持续利用具有重大意义。

本书是作者在过去研究与实践的基础上,对研究方向的一次全面总结与体系的提升。本书阐述了水文水资源的不确定性、模糊水文水资源学的发展现状、我国农业水资源的概况和研究背景及研究的必要性等;分析了我国农业水资源现状及其可持续利用;在论述区域农业水资源优化领域研究现状的基础上,鉴于农业水资源系统优化的多目标、多层次、多功能、多阶段、多维与随机的特征,针对系统中普遍存在的模糊性和随机性开展研究,最后对农业干旱风险问题进行了探究。主要研究内容和研究成果概括如下。

(1) 基于陈守煜提出的多目标模糊优选动态规划理论,提出复杂水资源系统的多维多目标模糊优选动态规划问题的两种求解办法,即多维多目标决策序列相对优属度总和最大法和多维多目标阶段模糊优选动态规划方法。其中,多维多目标决策序列相对优属度总和最大法适于解决不涉及时间维的“静态”多阶段优化问题,而多维多目标阶段模糊优选动态规划方法不仅适用于“静态”问题,而且适用于“动态”的任一阶段或任一层次的优化问题。针对不同的情况,提出了多目标模糊优选与多维动态规划相结合的求解方法,并给出具体的求解步骤。多维多目标模糊优选动态规划方法拓展了模糊优选理论的应用范围。

(2) 针对现行非充分灌溉制度优化设计模型中约束的不合理性,致使作物在敏感性指数小的阶段未土壤含水率易趋于凋萎系数,生产中存在风险的不足,提出了考虑作物种植风险指标情况下的非充分灌溉制度的多目标优化模型,并采用本书提出的多维多目标动态规划方法进行模型求解。

(3) 为解决灌区多作物间争水和合理种植面积问题,提出了作物种植结构的多目标模糊优化模型,对灌区有限的水、土资源进行优化配置,克服了以往方法中只注重经济效益,而忽视社会效益和环境效益的不足。

(4) 为使渠井结合灌区的地表水、地下水联合调度决策与实际结合更紧密,本书提出

了考虑时段指标变权重的多指标模糊关系优选决策方法,模型中各指标的权重随作物所处生长阶段的不同而发生变化,并将模型与算法应用于实例中。

(5)针对复杂大系统多层次、多因素、多指标的特点,提出了适用于系统任一层次的多指标模糊模式识别方法。在优选的过程中采用主客观相结合的方法来确定指标权重,并将该方法应用于节水灌溉系统,对田间节水灌溉技术方案进行了优选。

(6)在多维多目标动态规划工作的基础上,结合水文过程的随机性和时序性的特点,提出了多维多目标随机模糊优选动态规划方法,并根据所研究问题的性质,给出了两种解法,即随机多维决策序列相对优属度总和最大法和随机多维多目标阶段模糊优选法。这两种解法具有普适性,随机的引入使得系统决策更符合实际情况。

(7)由于降雨对作物生长影响较大,而且实际生产过程中面临阶段的降雨是随机过程的情况,本书建立了考虑随机降雨情况下的农作物非充分灌溉制度的多目标优化设计模型,并将多维多目标随机模糊优选方法应用于灌溉制度优化设计中。

(8)采用本书所提到的作物灌溉制度的确定性与随机性模型、种植结构模型、多维与随机多维多目标动态规划方法,运用大系统分解协调理论,结合有关科研项目,在典型灌区系统地进行了应用,构建了区域农业水资源可持续利用的模糊集分析决策综合模型,对区域农业水资源进行了时空优化配置。

(9)基于黄河水资源管理缺乏微观研究及现有理论与实际调度系统的差距,针对黄河下游引黄灌区水量订单随意性大、水资源利用率低的问题,紧密结合当前调度管理制度,提出了黄河下游灌区水资源实时分配管理模型,模型包括考虑土壤墒情、雨水资源及天气情况影响的作物需水预测模型和灌区实时水量订单模型;基于模糊聚类理论提出了缺测资料地区不同天气情况对作物需水量影响的确定方法。结合典型灌区进行模型的应用,并开发了相应的水资源管理软件,根据来水情况给出用水建议。

(10)建立干旱综合评价指标体系能为干旱进行综合评价提供良好的决策依据,本书以濮阳渠村引黄灌区为例,建立了干旱评价综合指标体系,并引入层次分析法(AHP)确定各指标的权重,最后用模糊综合评判法对方案进行综合评价。

最后对全书作了总结,并对有待进一步研究的问题作了展望。

本书第1~5章由马建琴撰写,第6~10章由张振伟撰写。全书由马建琴统稿。

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。本书的出版得到了华北水利水电学院省级重点学科——水文水资源学科、工程管理学科,以及河南省教育厅骨干教师资助项目的支持,在此表示感谢。

在本书的编写过程中,要特别感谢大连理工大学博士生导师陈守煜教授、华北水利水电学院邱林教授所给予的指导与帮助,同时也要感谢魏蕊、郭晶晶等为本书相关研究所做的基础工作。在本书正式出版之际,特向有关领导、专家以及为本书付出劳动的各位同仁表示衷心的感谢!

限于作者水平有限,且部分成果有待进一步深入研究,书中谬误及不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2010年2月

目 录

前 言

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 工程模糊集理论及其在水文水资源系统中的研究现状	(1)
1.2 我国农业水资源的现状及其可持续利用	(8)
1.3 农业水资源优化研究领域的发展与现状	(13)
1.4 主要研究内容	(21)
第 2 章 多维多目标模糊优选动态规划方法及其在农业灌溉中的应用	(24)
2.1 水资源系统中多维多目标问题的解决方法	(24)
2.2 多维多目标模糊优选动态规划方法	(25)
2.3 作物非充分灌溉制度设计的多目标模糊优化模型	(32)
2.4 应用实例及求解结果	(36)
2.5 小 结	(38)
第 3 章 作物种植结构多目标模糊优化模型与方法	(40)
3.1 作物种植结构优化问题的研究现状及存在问题	(40)
3.2 作物种植结构的多目标模糊优化模型	(41)
3.3 指标权向量的模糊定权法	(44)
3.4 应用实例	(45)
3.5 小 结	(47)
第 4 章 渠井灌区配水序贯多指标变权重模糊决策方法	(49)
4.1 问题的提出	(49)
4.2 配水序贯多指标系统模糊关系优选方法	(50)
4.3 指标变权重确定的主、客观结合法	(51)
4.4 实 例	(53)
4.5 小 结	(55)
第 5 章 复杂水资源系统的随机多维模糊优选动态方法及其在作物灌溉制度中的应用	(57)
5.1 动态规划及其存在问题	(57)
5.2 随机系列的生成	(58)
5.3 随机多维模糊优选动态规划方法	(59)
5.4 作物非充分灌溉制度设计的随机多维模糊优化模型	(65)
5.5 实 例	(67)
5.6 小 结	(69)

第 6 章	多层次多指标模糊模式识别方法及其在节水灌溉技术优选中的应用	(70)
6.1	引 言	(70)
6.2	多层次多指标模糊模式识别方法	(71)
6.3	指标权重的确定	(73)
6.4	实 例	(75)
6.5	小 结	(80)
第 7 章	区域农业水资源可持续利用优化管理模型	(82)
7.1	农业可持续发展与农业水资源的可持续利用	(82)
7.2	区域农业水资源可持续利用优化管理模型	(85)
7.3	实 例	(87)
7.4	小 结	(92)
第 8 章	水量订单制度下黄河下游灌区水资源实时分配模型及管理软件开发	(94)
8.1	引黄灌区实时需水预测及水量订单模型	(94)
8.2	天气类型对作物需水量影响的模糊聚类分析	(97)
8.3	研究灌区及模型应用	(100)
8.4	系统软件的编制与应用	(101)
8.5	小 结	(102)
第 9 章	基于模糊综合评判的华北地区干旱评价指标体系及其应用	(103)
9.1	干旱评价指标体系	(104)
9.2	模糊综合评判模型	(107)
9.3	模型应用	(108)
9.4	结 论	(109)
第 10 章	结论与展望	(110)
10.1	结 论	(110)
10.2	展 望	(112)
参考文献		(113)

第1章 绪论

1.1 工程模糊集理论及其在水文水资源系统中的研究现状

模糊性由于在水资源系统中存在的广泛性与普遍性,自工程模糊集理论创建以来,在水文水资源系统中得到了广泛的应用,特别是在考虑决策者因素的,兼有自然、社会经济、生态环境的复杂水资源系统优化中得以大量应用,但在区域农业水资源系统优化中的应用却较少。

1.1.1 水资源系统中的不确定性与模糊水文水资源学

水文现象具有两大规律,即确定性规律与不确定性规律。确定性规律是指水文现象之间具有的一定因果关系;不确定性规律则是指水文现象发生的不确定性,这种不确定性在理论上又分为随机性和模糊性。

由于水文现象的影响因素众多、关系复杂,目前人类还无法准确地给出影响某一水文现象的因素或条件,从而导致事物发生的条件不充分,使得在条件之间不能出现必然的因果关系,这就形成了水文现象的随机性。例如,最常见的面临阶段的降雨日期、降雨历时以及降雨量的大小,由于人类无法准确地给出它们发生的充分条件,因此它们的准确值都是无法预见的,都是随机的。水文现象的随机性早已为人们所普遍接受。在研究与解决实际水文问题中广泛应用概率统计的方法来处理水文现象与水文过程的随机性。

水文现象的模糊性作为一种基本的事实,主要是指客观现象的差异在中介过渡时呈现的亦此亦彼性,是由于水文概念本身没有明确的外延,一个对象是否符合这个概念难以确定而形成的不确定性。例如,水文现象中的汛期与非汛期的界定、年径流的丰与枯的界定、干旱与湿润的划分、农业灌溉水量的适宜与否,以及灌溉制度的合理与否等问题,由于给不出明确的界定和概念,从而形成了水文现象的模糊性。

由于水文现象与水文实践中存在着大量的模糊概念,给传统的水文分析计算带来了很多不便和麻烦,使很多水文分析计算中保留了不少经验的成分。为寻求系统的精确解,人们开始用系统分析的方法来解决水文问题。

系统分析方法是从小体的观点出发,对相当多的客观因素及其关系给予定量描述,把不确定因素引导到决策者的注意范围,并尽可能加以清晰的处理,用系统的、逻辑推理的和数学的方法来揭示各种决策可能产生的作用和影响,用选优去劣的原理来分析、比较方案,从而使决策者可以更好地进行直觉判断。系统分析的这些优点是无法否定的,也是行为科学无法替代的。但是,在系统分析中所使用的模型都是从客观现实中经过大量的简化后抽象出来的,因此它只能近似地反映客观世界中已为人们所理解的那一部分内容,很

难全面反映水资源系统规划管理中的各种复杂因素,其中包括很多对决策起较大作用的因素,如决策人的知识经验、传统习惯等,这些不易量化的因素无法被纳入模型当中,就极易导致模型的失真。

随着水资源系统理论与实践的发展,系统变得愈来愈复杂,系统分析的一些弊端也随之暴露出来,系统中精确性与复杂性之间的矛盾日益突出。例如,在决策分析过程中,每一方案的经济效益、社会效益和生态影响的评价既要进行定量计算,又要进行定性分析,目标之间的衡量还要凭借经验判断,对这样的复杂问题就无法用模型来进行描述。模糊集理论的创始人 L. A. Zadeh 在实践总结的基础上提出互克性原理:当系统的复杂性日趋增长时,我们做出系统特性的精确而有意义的描述的能力将相应降低,直到达到一个阈值,一旦超过它,精确性和意义将变成两个几乎互相排斥的特性。J. A. Gogen 说得更为明确:描述的不精确性并非坏事,相反,倒是对复杂事物做出高效率的判断和处理,也就是说,不精确性有助于提高效率。

由于现代水资源系统输入的不确定性和难以预测性,目标的多样性既包括大量的定性目标,又包括大量的定量目标,约束条件的多样性以及系统决策受多个模糊因素影响特性,决定了它的优化决策是一个自然与社会、定量与定性、结构性与非结构性决策相结合的模糊系统多目标决策问题,对这样一个结构复杂、功能综合、影响因素众多的复杂大系统,传统的系统分析方法就显得无能为力了,此时模糊数学的方法就应运而生了。

1965 年, L. A. Zadeh 发表了关于模糊集合的第一篇论文,由此创立了一个新的数学分支——模糊数学。模糊数学的产生把数学的应用范围从精确扩展到了模糊现象领域,一经产生就显示出强大的生命力。其学科发展十分迅速,建立起很多分支理论,如模糊拓扑、模糊逻辑、模糊测度、模糊群、模糊算术、可能性理论、模糊优选理论、双枝模糊集理论等。

陈守煜在多年研究的基础上给模糊性以更为严格的定义,他认为:模糊性是客观事物处于共维条件下的差异在中介过渡时所呈现的亦此亦彼性。其特别强调了客观事物在共维前提下作比较时的差异才呈现出模糊性。

由模糊性的定义出发,陈守煜进一步提出了绝对隶属度和绝对隶属函数、相对隶属度和相对隶属函数的概念与定义,并对它们的应用范畴进行了严格的界定,相对隶属度和相对隶属函数的提出是对 L. A. Zadeh 建立的隶属度、隶属函数的唯一性概念与定义的突破,是模糊数学研究理论与方法上的新发展,对模糊集理论与方法论研究产生了重大的影响。

为完整地分析、描述水文现象与表达水文系统的特征及在水资源分析中重视决策人的知识与经验,将定量计算与定性分析相结合,把基于事物的物理本质、经济规律进行严密的科学计算与根据人的经验、知识和智慧进行直觉判断有机地结合起来。在分析现有水文学及水资源系统模糊系统分析理论的基础上,1987 年陈守煜首次提出了建立模糊水文学与水资源系统模糊系统分析这一新学科的研究任务,经过多年研究,取得了丰硕的成果,形成了模糊水文水资源学的系统理论:模糊优选理论、模糊决策分析理论、模糊识别、非结构性决策单元系统理论、模糊智能决策等理论,对复杂水资源系统优化分配理论有重要的科学意义和使用价值。

由于人的知识经验以及一些定性因素属于非结构性问题的研究范畴,在非结构性决策理论与方法方面,20世纪70年代末,美国运筹学家萨迪提出求解非结构性决策问题的层次分析法(AHP),80年代引入我国,得到了广泛的应用并具有相当大的影响,但其根本缺陷在于层次分析法的基础二元比较互反性思维模式不符合我国决策思维习惯,另外,层次分析法将指标间二元比较的属性,一律归结为重要性的比较也不合理,事实上,指标间属性的比较,有重要性的比较,更有优越性的比较,优越的指标不一定重要,重要的指标也不一定优越。此外,层次分析法中各个层次计算的基本公式都是线性模型,不能反映水资源系统实际决策中各种复杂的非线性问题。为了研究含有人的因素,特别是决策者因素的兼有自然、社会经济、生态环境系统特征的复杂水资源系统优化,陈守煜提出了符合我国决策思维习惯的二元比较互补性准则,开辟了模糊集理论研究的新篇章。

陈守煜创建的模糊水文学与水资源系统分析模糊理论现已被广泛用于水文水资源的许多领域,无论是理论上还是应用中均取得了巨大的成绩,它区别于其他水文学科的基本特征在于它不仅考虑水文现象、水文时间的系统成因和随机特性,而且涉及水文现象、时间在中介过渡阶段划分中的模糊性;不仅吸收了系统分析的成果,而且有效地将这些成果与人的知识、经验、智慧结合起来,并把那些难以定量的因素规范化、模型化,能更好地研究解决现代复杂水资源大系统的管理决策问题,是对传统水文学的一个突破。

1.1.2 工程模糊集理论在水资源系统中的研究现状

由于模糊性在水文现象中存在的普遍性,目前模糊集理论已被广泛用于水文水资源系统的各个方面。为简要起见,仅论述与研究领域相关的主要研究发展状况。

1.1.2.1 工程方案评价与决策

水资源工程系统涉及自然、社会、经济、环境等各个方面,由于研究问题的复杂性和多样性,决定了水资源工程方案优选决策是一个复杂的多目标系统。对于多目标问题,最初的解决思路在于将多目标问题转化为单目标问题,利用比较成熟的单目标求解策略求解。例如,将多个目标中一个认为最重要的目标作为基本目标,而将其他目标转化为约束条件,从而将多目标问题转化为单目标问题。这类方法由于人为地将目标单一化,极易造成最优解的遗失。

另外,水资源工程系统中涉及大量的指标,既有定量指标,又有定性指标,而且目标往往有多个,目标间又往往存在相互竞争性和不可公度性。决策者需要凭借自身经验,进行一系列模糊概念的分析、推理和判断,通过综合评判选择方案。从方法上讲,传统的方案优选方法有语言化评判方法、直接打分法、区间打分法、选项打分法、德尔斐法以及层次分析法等。

以上的方法和手段对解决相对简单的多目标问题是有效的,但当问题复杂程度增加时,就存在一定的局限性。为更好地解决多目标方案优选问题,陈守煜建立了以相对隶属度、相对隶属函数为基础的多目标决策系统模糊优选的理论、模型与方法,并给出了两级与多级模糊优选模型。

随着多目标决策系统模糊优选理论的不完善和推广,其在水资源系统方案评价与优选中得到了广泛的应用,可以说是涉及了水利系统的各个方面,并在应用中得以更好的

发展。例如,胡志根系统地分析了施工布置方案的影响因素,建立了施工布置方案的多目标模糊优选模型;林洪孝等应用多层次多目标工程模糊集理论进行抽水试验井位的优选,克服了过去只作定性对比或分别考虑单因素决策的代表性井位选择问题,取得了较好的效果;张文国等考虑到环境影响评价中定性描述环境因子的影响,将系统模糊优选理论模型用于环境影响评价系统,建立了定性与定量多目标多层次混合系统模糊优选理论模型,并以一个水库工程的8个备选方案的优化决策过程,阐明了模糊优选理论与模型是解决定量与定性多目标混合系统优化问题的有力工具;李登峰和陈守煜考虑到带有时间因素的多目标决策问题,建立了时序多目标决策的模糊优选理论模型;谢新民等提出一种规范加权目标协调法,分析和研究了地表-地下水资源系统多目标管理问题和有限方案多目标决策问题;施熙灿等建立了城市防洪标准多目标多因素评价体系,用模糊综合评价法优选城市的防洪标准;郝聚民等将多目标模糊优选技术引入遗传算法,建立了基于模糊优选技术的混合多目标优化遗传算法模型,结果表明基于模糊优选技术的多目标混合优化遗传算法较传统的解决多目标优化问题的遗传算法更有效;王国利等应用多目标模糊优选理论模型,提出含水层易污染性及其评价的模糊优选方法,结果表明模糊优选方法具有很强的优越性;潘峰等在水环境质量评价中应用陈守煜提出的多目标模糊优选模型,通过与其他评价方法的比较表明,该方法用于环境质量评价具有通用性、合理性和实用性;张鹏等对绿洲水资源-生态环境-经济社会耦合系统互动关系进行分析,对该耦合系统可持续发展模式进行探讨,利用模糊优选模型将多个评价指标转化为单一指标,采用描述复杂水资源系统可持续发展水平的评价方法,并结合且末绿洲水资源开发与利用的实际情况,研究且末区域水资源可持续利用与经济社会协调发展的关系。

对复杂多目标水资源系统进行方案优选,合理确定指标间的重要性或优越性将直接影响决策者对方案的取舍。而目标权重的事先确定是一个相当困难的问题,确定指标权重的方法有很多,如德尔斐(Delphi)方法和层次分析法(AHP)等。陈守煜从“人的经验知识经常是通过两个重要的模糊概念——重要性与优越性的反复思考、比较来体现”的观点出发,提出了基于二元对比的半结构、非结构多目标系统决策模型,不但解决了定性目标难以定量度量的问题,而且能够解决目标权重确定的模糊性和任意性,在方案选择中得到了较为广泛的应用,然后依据目标相对重属度,通过确定目标对模糊概念“重要性” $B_{\sim}$ 的相对隶属度来确定目标权重,提出了确定目标权重相对隶属度的理论与方法,并采用该方法,结合多级模糊识别模型,对汉中盆地平坝区水资源可持续发展的程度进行评价。为克服实践中主观确定权重的任意性和人为因素的影响,陈守煜在以相对隶属度、隶属函数为基础的多目标决策系统模糊优选的理论、模型与方法中,提出了主客观相结合的确定目标权重的方法和模糊模式识别交叉迭代模型。首先采用模糊交叉算法,确定指标权向量的“客观”权重值,作为多指标系统优化决策指标权向量的初始值,以减小决策者确定指标权向量时的困难,然后根据该初始值用二元对比法对指标权向量的初始值进行调整,并应用于水库的防洪调度实践中,进行防洪调度多目标模糊优选决策实例。陈守煜等分析了多目标模糊优选决策理论与模型对权变化的敏感性质,给出了权扰动的转移方程,进而得到几个权扰动量估计的不等式,为多目标决策系统目标权重变动对决策的影响提供理论依据,并在权扰动方程的基础上,给出了保持最优决策序列不变的权扰动条件。陈守煜

等研究了多目标决策模糊优选(优化)模型的逆命题,提出了符合决策者意图的两种权重计算方法:一是采用海明距离的线性方程组求解方法;二是采用欧氏距离的模糊模式识别交叉迭代模型权重直接计算法。同时,将这两种方法应用于丰满水库防洪调度决策中的模糊优选逆命题的目标权重计算。

以上确定权重的计算方法较为简洁,且物理意义明晰,用于方案优选与评价中能较好地解决权重问题。陈守煜等将以上几种方法分别应用于海洋平台选型、水电装机优选、防洪调度系统、含水层本质脆弱性分析评价、水质评价等,取得了满意的结果。由于权重理论的新颖性,在许多涉及人的决策思维的领域还有待发展,比如理论研究相对滞后的农业水资源系统。

1.1.2.2 水资源系统的规划管理

对水资源系统进行规划和管理一般是采用系统分析的方法。系统分析的方法被用于水资源系统调度管理,总的来讲可以分为以下四种类型:线性规划、非线性规划、动态规划以及模拟技术。随着模糊数学在水文水资源系统中的应用和推广,系统分析的方法也被赋予一些新的内容,下面分别从系统分析的四种类型加以论述。

线性规划是由于目标函数及约束条件受到的必须是线性的限制,而复杂的水资源系统是明显的非线性问题,目标函数往往是非线性的,因此应用的不是很多。谢新民等在研究解决地下水资源系统管理问题时,利用模糊数学规划的理论和方法,分析和研究地下水资源系统的模糊管理问题,建立模糊管理模型,提出一种模糊分步线性规划方法;谢永胜等利用三角模糊数以及自然来水量与负荷的不确定性,用模糊机会约束来描述水库蓄水量约束及线路的安全约束,并通过线性规划求解模型。

由于系统目标的多样性,且目标函数与约束条件往往是非线性的,为寻求解决多目标问题的方法常将模糊集理论与非线性规划结合运用在水资源的规划与管理中。熊德琪等将模糊集理论与非线性规划优化方法有机地结合起来,提出水环境污染系统规划的模糊非线性规划模型,并将其应用于沈阳市南部污水排放系统的最优化处理规划中;周惠成等建立了一般形式的流域汇流模糊系数非线性微分动态模型(FNLDDM)来描述雨洪的非线性关系,提出了线性模型计重要度误差最小二乘法,并与非线性规划相结合来优选模型参数;龙子泉等通过对典型圩垸的研究,建立了圩垸内排水系统优化规划的非线性模型,并提出了该数学模型的网格搜索与线性规划相结合的求解方法以及二级模糊多目标决策技术。

对许多问题的求解,采用动态规划的方法去处理,常比线性规划或非线性规划更有成效,特别是对于离散性的问题。由于它不需要有一个标准的数学表达式和明确定义的一组规则,因此一些解析数学无法解决的问题,采用动态规划使得多阶段优化与决策问题得以有效解决,但大都只用于解决单目标系统的最优控制,将其有效地应用于多目标(指标)、多阶段系统的优化问题已逐渐受到重视。

多目标动态规划是多目标决策的一个重要分支,在水资源规划管理领域中得到了广泛的应用。Chankong 等将 SWT 法和单目标动态规划方法相结合用于求解多目标动态规划;Tauxe 提出将非基本目标处理为状态变量的多目标动态规划;冯尚友在 Tauxe 研究的基础上,将其扩展为多维决策变量的多目标动态规划。由于采用经典的动态规划以及在

动态规划的递推过程中应用经典的多目标规划方法,所以求出多目标优化决策问题的最优均衡解有一定的难度。贺北方等将径流过程的随机描述与模糊动态规划相结合,建立了水库优化调度的随机系统模糊动态规划模型(SFDPM);聂相田等考虑了计算时段间径流过程的变化,在模糊模式识别模型的基础上,提出了一种适用于水库水沙调节优化调度的随机动态规划模型;胡铁松等以多目标决策的权重法为基础,提出了一种基于知识的交互式多目标动态规划决策方法,权重的修正是通过知识库中的产生式规则经模糊推理实现;邵东国等针对河北省洋河水库特点,建立了有模糊约束条件的防洪优化调度模型,提出了含变动罚函数的离散微分动态规划法;殷春霞等利用权重系数法来求解多目标动态规划,并引入人工神经网络与专家系统决定权重系数;陈守煜考虑梯级水电站最大、最小工作深度为弹性约束,提出梯级水电站工作深度优选的模糊非线性规划模型,并选用动态规划原理和方法。

由于水资源系统的决策目标常涉及大量的定性目标,如何对这些定性目标进行量度,直接关乎这类复杂水资源系统的优化及调度问题的解决,为此陈守煜提出了多目标模糊优选动态规划理论,既解决了复杂水资源系统的大量定性目标与定量目标的统一标度问题,又比较成功地解决了多目标优化问题。邱林等将随机模糊动态规划(MOFOSDP)与动态规划的POA方法相结合,提出了水库实时优化调度模型和多目标水库实时优化调度模型,实现了多目标水库的实时优化调度目的。熊德琪等在模糊集理论中的权距离和隶属度概念的基础上,根据多阶段系统前后阶段联系特点,将模糊优选理论与动态规划原理有机地结合起来,提出能够有效地寻求多阶段多目标优化问题的最优均衡策略的模糊优选动态规划技术。但以上研究均对于多维与随机多维多目标多阶段问题尚未研究,实际上在资源配置过程中,不只涉及多目标多阶段问题,还常常涉及多维多目标的多阶段问题,多维问题的解决将会进一步拓展模糊集理论的研究范围。

模糊集理论还被引入到了模拟技术当中,程春田等从长江洪水系统的特点出发,建立了长江上中游防洪系统模糊优化调度模型,并以几个典型洪水年对模型及软件系统进行了模拟运行;周惠成等采用水库调洪数值解法、多目标模糊优选决策模型、人机交互决策方法、面向对象技术和数据库技术,设计并开发了模块化、接口通用化和通用的水库洪水调度系统,可实现水库调度方案的迅速生成、制定、仿真模拟、评价与选择等过程。

1.1.2.3 区域水资源优化分配

区域是社会经济活动中相对独立的基本管理单位,水又是区域发展中不可替代的资源,区域水资源总量的有限性决定了其开发阈限存在的客观性,因此对区域水资源进行优化分配具有特殊的意义,需要兼顾经济、社会等多方面利益,进行多目标方案优选或优化。

国内对区域水资源进行多目标可持续利用优化分配的研究工作尚属起步阶段,这一新兴研究方向还没有形成系统的优化思想和理论,将模糊集理论系统用在区域水资源优化分配中的则更为少见。目前,大部分工作是基于模糊综合评判所作的评价和方案优选,如唐斌山根据模糊综合评判原理研究了石羊河流域水资源开发利用的战略问题、区域发展目标以及区域发展的战略重点;高彦春等提出了区域水资源开发利用的总体模式,利用模糊综合评判模型确定了当前汉中盆地平坝区水资源开发利用所处的阶段,并提出了相应的开发对策;陈守煜在论述区域水资源可持续利用与水资源承载能力关系的前提下,提

出了区域水资源可持续利用评价的模糊模式识别理论、模型和方法,并应用所建立的模型对汉中盆地水资源可持续利用的程度进行了评价;肖长来等采用模糊综合评判方法确定了吉林省西部各区、市、县及主要城镇的水资源可持续开发模式;冯耀龙等采用模糊层次评价方法,对天津市 1985 ~ 1998 年水资源系统可持续发展状况进行了评价研究;陈守煜等在完成国家科学技术委员会地方性重大科研项目时,研究了大连市水资源综合利用与经济发展协调管理模式,应用建立的水资源与经济协调管理模型优选出大连市 2000 年、2010 年的支柱产业和必要发展行业的规划战略。

1.1.2.4 农业水资源管理

模糊集理论与传统的系统分析相结合,广泛地应用于水库调度、决策方案优选与评价,显现出了强大的生命力。但在农业水资源中的应用则相对滞后,目前主要被用于模糊综合评判中,在规划和优化设计中的应用则较为少见,系统地对农业水资源进行多目标优化管理还未看到。

对农业水资源的某一方面进行多目标优选与评价是继可持续发展的观点提出后,近十多年来新兴的课题,最早的研究是在 1990 年,贾全昌将灌区井渠灌溉调配问题归结为多目标的灰色局势决策问题,对衡水湖灌区地表水与地下水调配运用进行了决策分析;1994 年陈守煜将模糊优选与模糊关系有机地结合起来,提出了多目标系统模糊关系优选决策理论,并对河南省人民胜利渠灌区进行了灌溉序贯决策和农业系统耕作方式的优选决策,取得了理想的效果,为农业决策提供了一条新的途径,但在优选决策过程中目标是等权重的,尚需做进一步的改进;田媛应用模糊优化原理,对提灌区不同规划方案进行了最优化排序;罗金耀等在提出节水灌溉工程综合评价指标体系及结构模型的基础上,研究了节水灌溉工程模糊综合评价的理论和方法,将节水灌溉工程综合概括为涉及政治、技术、经济、资源、环境和社会等六大类问题,归纳出 42 条指标,建立综合评价体系,采用两级模糊优选模型对广西凭祥市巴休节水灌溉示范工程进行了 8 个方案评价,优选出喷灌所用喷头及管网材料,然后又对指标进行合理度和满意度讨论,用总可能满意度来评价方案,但其方案间优属度及可能满意度间的差值均较小;戴楠采用关联分析与模糊识别相结合的办法,考虑工程投资、运行费用、工程占地和生态环境 4 种因素,进行了灌区排水系统方案优选;周华用模糊综合评价理论,建立了宁夏河套灌区综合评价指标体系及结构模型,提出灌区节水灌溉工程实施最佳方案;喻黎明等采用模糊综合评判对灌区进行喷灌喷头的选择;赵建世等通过引入灌溉用水和作物产量的关系及模糊数学的概念,提出了对农业灌溉供水的模糊评价方法;赵竞成等针对农业高效用水的特点建立了基于模糊方法且比较完整的农业高效用水工程综合评价体系;徐建新在综合评价体系的基础上,采用两级模糊优选模型对大名县某灌区的灌水方式进行了优选,其中各指标的相对隶属度分别采用陈守煜提出的定量与定性指标的相对隶属度的确定方法,各级权重采用专家打分的方法来确定。冯峰、许士国针对灌区水资源综合效益的评价问题,对于不同层次权向量的确定方法进行改进,构建了改进的多级多目标模糊优选评价模型对方案优劣进行评价。可见,多目标模糊模型基本上还是用于评价与方案优选,而且在目标和指标权重的处理上基本是采用主观打分的方法,主观任意性较大。

在农业水资源规划及优化工作中,模糊多目标模型还不多见。张展羽等针对农作物

供水量常常受水源条件制约的问题,提出作物非充分灌溉制度的设计方法,将作物蒸发条件下土壤水分的消长函数概化为线性和非线性两部分,用模糊动态规划的方法确定作物的非充分灌溉制度,给出了作物全生育期的水量分配过程;马建琴采用陈守煜模糊优选模型设计非充分灌溉条件下作物的灌溉制度;针对非充分灌溉制度设计中约束的不合理性,考虑作物凋萎的风险,陈守煜、马建琴等提出了农作物非充分灌溉制度多目标模糊优化设计;为解决多作物间争水和种植面积问题,汤瑞凉、郭存芝等考虑灌区的多个目标,建立了熵权系数模型对灌溉水资源进行优化调配;针对熵权系数模型中存在的问题,陈守煜、马建琴等又提出了作物种植结构多目标模糊优化模型与方法,在考虑社会、经济、环境等多个目标下,对灌区的水、土资源进行了优化,并对目标权重进行了探讨,为农业水资源的优化分配给予了新的理论指导。

通过以上对模糊集理论在水资源系统中研究现状的综述,可以看出,模糊集在农业水资源优化中的研究与应用都是较为欠缺的,特别是对区域农业水资源模糊集的系统研究与应用,如何应用模糊集理论,对灌区多目标水资源系统进行时空优化分配将是一个有意义的研究课题。

1.2 我国农业水资源的现状及其可持续利用

农业是用水大户,随着我国水危机问题的出现,农业也面临着严重的危机。为实现农业的可持续发展,必须充分利用有限的农业水资源。发展节水农业是实现我国农业可持续发展的一个关键性问题,而对灌区实行用水管理,对作物进行非充分灌溉,制定作物的非充分灌溉制度、优化作物种植结构和面积则是节水农业的重要内容之一。

1.2.1 水危机及我国水资源的现状

早在1977年联合国就公开向全世界宣言:水资源的危机不久就会成为一个极其严重的社会危机,继石油危机之后,接踵而至的便是水危机。水危机已经或正在威胁着人类的生存和发展。

我国是世界上严重缺水国家之一,全球年均降水量约 119×10^4 亿 m^3 ,我国仅为 6×10^4 亿 m^3 ,占世界年均降水量的5%,年均水资源总量为 2.81×10^4 亿 m^3 ;从数量上来看,我国水资源量并不少,居世界第六位。但是我国人口众多,人均水量只有 $2\,251 \text{ m}^3$,仅为世界人均水平的1/4,居世界149个国家的第110位,已达到严重缺水的边缘,是世界上13个贫水国之一。

我国不但水资源量缺乏,而且水资源分布严重不均衡。降水在地域上是东南多、西北少,山区多、平原少;雨量大致由东南向西北递减,东南沿海正常年份降雨量大于 $1\,200 \text{ mm}$,西北广大地区小于 250 mm 。长江流域及其以南地区,仅占国土面积的30%,而降水量却约占全国的80%;同时,降水量年内分配也极不均匀,冬春少雨,夏秋多雨;汛期雨量过于集中且利用难度很大,非汛期又往往缺乏水量。另外,降水量的年际变化大,丰水年与枯水年的水量相差悬殊,极易造成水旱灾害。

水资源分布不均造成我国北方大部分地区水资源匮乏,有关资料表明,目前我国干旱

缺水的地区涉及 20 多个省市,在全国 600 多座建制市中,有近 400 座城市缺水,其中严重缺水的有 108 座;全国城市每年缺水量为 60 亿 m^3 ,日缺水量已超过 $1\,600 \text{ 万 m}^3$ 。缺水给城市工业产值造成的损失在 2 000 亿元以上,且呈增长之势。农业缺水问题也很突出,按现状用水统计,农业正常年用水缺水量为 300 多亿 m^3 ,受旱面积达 3 亿~4 亿亩(1 亩 = $1/15 \text{ hm}^2$),每年因干旱减产粮食几百亿千克;资料表明,1994 年干旱造成 2 653 万人和 1 840 万头牲畜饮水困难。近年来,我国北方遭遇连年干旱,如从 2008 年冬季到 2009 年春季,大部分地区雨雪稀少,干旱面积逐步扩大,严重影响和制约着冬小麦的生长发育和产量形成,对我国农业生产造成很大的影响,对农业可持续发展、粮食安全和社会稳定构成了严重威胁。

在水资源匮乏的同时,我国的水污染问题也十分严重。由于经济的快速发展,工业废水和城市生活废污水排放量的急剧增加,以及农药、化肥施用量的不断增加,致使我国水体污染及水环境问题日益严重。水利部门对全国约 700 条大中河流近 10 万 km 河长的检测表明,我国现有河流约 1/2 的河段受到污染,1/10 的河长污染严重,已失去了使用价值。目前,我国因污染而不能饮用的地表水占全部监测水体的 40%,流经城市的河段中 78% 不适合作为饮用水源,50% 的地下水受到污染,64% 的人正在使用不合格的水源。水污染问题无疑加重了水资源危机,因河流水质恶化导致供水困难的情况已日趋增加,使水资源短缺状况更加严峻。

缺水还导致过量引用地表水和超采地下水,造成了西北内陆河流域下游湖泊干涸,荒漠化、盐碱化不断发展,华北等许多地区出现大规模的地下水降落漏斗,青岛、烟台等地大规模的海水入侵,黄河干流的高频率、长时间断流且不断加剧等十分严重的生态环境问题,也造成了地区之间、工农业之间、城乡之间用水矛盾十分尖锐的社会问题,威胁到了人类生存的环境和农业的可持续发展。

在未来年份,我国缺水问题将会更加严重。据专家预测,我国的缺水高峰将在 2010 ~ 2020 年出现,乐观的估计是 2020 年将缺水 300 多亿 m^3 ,届时,我国可能出现全局性的大面积水荒,淮、辽、海河在枯水期将更加黑臭,长江和珠江污染河段将超过一半,太湖等湖泊富营养化可能会形成不可逆转的局面,如果 2020 年前后,我国地下水水质出现大面积恶化,后果将不堪设想,全国人民的生存将会产生危机。

由以上资料可见,我国的可利用水资源量极其有限,随着我国人口的增加和经济的快速发展,人们对水的需求将会进一步增加,从而导致水资源供需矛盾的加剧。如果不能妥善处理水资源短缺问题,则水资源问题将会成为制约我国社会经济进一步发展和人民生活不断改善的重要因素。因此,必须加强水资源管理,合理调配和充分利用水资源。水问题的妥善处理将会对我国经济产生深远的影响。

1.2.2 我国农业水资源的状况、存在问题及对策

农业是国民经济的基础,水是农业发展的命脉,也是整个国民经济发展和人类生活的命脉,因此水对农业有着特殊的重要意义,是任何物质所不能代替的。在各个用水部门中,农业是用水大户,灌溉用水量最多,约占全国总用水量的 70%。

我国农业可持续发展的主要制约因素是水土资源不足及其分布不均。全国人均耕地

不足世界平均水平的 $1/3$, 人均水资源占有量不足世界人均水平的 $1/4$, 且 81% 的水资源集中分布在长江以南。而人口和耕地分别占全国的 45.3% 和 64% 的长江以北地区人均、单位面积耕地水资源量仅分别为全国平均水平的 $1/5$ 和 $1/3$, 分别为世界平均水平的 $1/20$ 和 $1/5$, 水资源与生产发展不相适应的程度十分突出, 而西北、华北地区则更为突出。

新中国成立以来, 我国农业灌溉面积呈上升趋势, 农业灌溉面积已从 1950 年的 1 600 万 hm^2 增加到 1993 年的 5 000 万 hm^2 , 现有大型灌区 248 个, 其中有效灌溉面积约 1 530 万 hm^2 。虽然灌溉面积在逐年增加, 但随着国民经济的发展, 农业用水量在全国总用水量中所占的比例已呈逐年下降趋势: 1949 年我国农业用水量约 1 001 亿 m^3 , 占全国总用水量 1 030 亿 m^3 的 97.2% , 到 1997 年该比例下降到 75.5% , 目前我国单位耕地面积占有水量为 $28\,320\text{ m}^3/\text{hm}^2$, 仅为世界平均水平的 78% , 据有关专家预测, 随着工业和城市的发展, 工业和城市生活用水将大幅度增加, 并进一步挤占农业用水, 到 2050 年, 农业用水将会降至 54% 。干旱缺水已成为影响我国农业生产的最大的且不断加剧的自然灾害, 全国受旱成灾面积呈上升趋势(见表 1-1)。

表 1-1 全国受旱面积统计

(单位: 万 hm^2)

年份	平均受旱面积	平均成灾面积	成灾率	最大受灾面积	最大成灾面积
1950 ~ 1959	1 160	370	31.9%	3 381	1 117
1960 ~ 1969	2 164	1 003	46.3%	3 812	1 865
1970 ~ 1979	2 612	745	28.5%	4 017	1 797
1980 ~ 1989	2 456	1 176	47.9%	3 290	1 530

农业用水量的下降给农业生产带来了严重的问题。目前, 全国尚有近半数的耕地未得到灌溉, 有 7 500 万农村人口和 2 000 万牲畜连饮水都有困难。随着工农业争水问题的日益加剧, 当前农业所面临的水资源供需矛盾非常突出: 全国每年受旱农田面积占整个耕地面积的 $25\% \sim 35\%$, 灌区年缺水量 300 亿 m^3 , 现有的 0.5 亿 hm^2 灌溉面积中, 约有 16% 的面积没有充分发挥效益, 每年因干旱减产的粮食达 1 000 亿 kg 。缺水对农业生产产生了十分不利的影响, 使粮食安全受到严重威胁。

我国是一个农业大国, 同时又是一个人口大国, 我国要以占世界 7.3% 的耕地养育占世界 22% 的人口, 就必须生产足够的粮食, 据预测, 我国将在 21 世纪中叶出现人口高峰值, 达 16 亿人, 人口的增长将会引起对粮食及其他农产品需求的急剧增加, 要想基本满足人口增长和生活水平提高对粮食的需求, 就必须提高粮食产量。而粮食的增加可以通过扩大耕地面积、提高作物单产和扩大灌溉面积三条途径来实现。

新中国成立 60 多年来, 我国的耕地面积一直呈递减趋势, 人均耕地面积从 1952 年的 0.19 hm^2 减至 1995 年的 0.08 hm^2 , 仅相当于世界人均水平的 $1/3$; 而且, 随着城市化步伐的加快, 城市向农村的进一步扩张, 农村耕地面积只会越来越少, 不可能再有所增加。

粮食单产的大幅度提高有赖于作物品种的改良, 特别是生物基因工程技术的突破, 仅就目前的品种来讲, 灌溉则是提高单产的重要途径, 据水利部 20 世纪 80 年代初对全国灌溉农田和非灌溉农田粮食产量的调查, 旱作物的平均产量为 $4\,500\text{ kg}/\text{hm}^2$, 而非灌溉农田