

- 河南省高校创新人才培养工程资助项目
- 河南省科技攻关资助项目

灌区

GUANQU SHUIZIYUAN GUANLI JI YINGYONG

水资源管理及应用

邱林 陈晓楠 段春青
和吉 陈海涛 熊建清 孔维芬 / 著

河南人民出版社



- 河南省高校创新人才培养工程资助项目
- 河南省科技攻关资助项目

灌区水资源管理及应用

邱林 陈晓楠 段春青 和吉 陈海涛 熊建清 孔维芬 / 著

河南人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

灌区水资源管理及应用/邱林等著. - 郑州:河南
人民出版社,2006.12

ISBN 7-215-06071-3

I. 灌… II. 邱… III. 灌区-水资源管理-研究-
世界 IV. ①S274②TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 119135 号

河南人民出版社出版发行

(地址:郑州市经五路 66 号 邮政编码:450002 电话:65723341)

新华书店经销 黄委会设计院印刷厂印刷

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16

字数 280 千字

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

定价:45.00 元

内 容 提 要

本书结合我国灌区水资源管理的需要和现状,依据近年来多项节水灌溉管理课题的研究资料和研究成果,比较全面、系统地介绍了灌区水资源管理的理论、方法和技术。

全书分为上下两篇共 11 章,前 8 章为灌区调度的理论研究,详细地论述了灌区水资源管理的理论、方法和数学模型,包括灌区水资源数据库管理系统的建立、实时调度的方法和模型、多水源联合调度的理论与技术,以及地理信息系统在灌区水管理中的应用。后 3 章将模型方法应用于实际,借助 GIS、数据库等现代计算机技术,研发渠村灌区水资源调度管理决策支持系统,为当地科学、合理、高效地利用水资源,实现水资源的可持续利用提供理论和技术上的支撑。

本书在内容上力求浅显易懂,实用宜学,可作为高校水资源、农田水利或其他相近专业的教材,也可供从事节水灌溉工作的工程技术人员或相关领域的研究者、工作人员参考。

前 言

我国水资源总量不足,时空分布不均且水资源与人口、耕地、生产力布局极不协调。造成大部分地区水资源短缺,严重地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利用,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,严重地威胁到社会、经济与生态环境间的协调发展。

我国是一个农业大国,水资源是农业生产的命脉,农业用水占整个国民经济用水的比例最大。但农业用水效率很低,浪费严重。如何提高农业用水效率,实现农业节水,对缓解我国日益严重的水资源短缺问题有着十分重要的意义。

为利用现代的管理理念和先进的科学技术,提高我国灌区水资源管理水平,促进灌区水资源管理工作由“经验性管理”向“科学管理”转变,实现水资源的实时优化配置,指导灌区合理、高效用水,节约用水。近年来,华北水利水电学院水文水资源研究所先后承担了渠村、东石岭、宁陵引黄补源等灌区和郑州市惠济区(原邙山区)生态园的水资源优化配置研究及相关软件系统研制课题。本书是这些研究成果及工作经验的总结。内容包括:灌区水资源评价、综合管理数据库、中长期来需水预测、短期来需水预报及预报误差修正、水资源多目标实时调度模型与求解方法、渠系动态配水、GIS的应用、管理决策支持系统研制等。

工作过程中作者得到了黄河水利委员会河南省河务局、濮阳市河务局、河南省水文水资源局、郑州市水利局等单位领导和专家的指导和帮助,并得到河南省高校创新人才培养工程项目和河南省科技攻关项目的资助。为此,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。

本书写作过程中,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。

限于作者水平有限,书中错误在所难免,不当之处恳请批评指正。

作者

2006年12月

目 录

上篇 灌区水资源调度理论研究

第1章 绪论	3
1.1 研究背景及意义	3
1.2 国内外研究现状及发展趋势	4
1.3 研究的主要内容	10
第2章 灌区水资源数据库管理系统	12
2.1 数据库的基本概念	12
2.2 关系数据库	16
2.3 关系代数	18
2.4 关系数据库标准语言——SQL	20
2.5 数据库设计流程和原则	23
2.6 数据库结构在水资源管理中的应用	25
2.7 水资源管理中数据库设计	27
第3章 水资源与水资源评价	29
3.1 水资源定义	29
3.2 世界水资源概况	30
3.3 中国水资源概况	31
3.4 地表水资源评价	33
3.5 地下水资源评价	43
第4章 灌区中长期来需水量预测	52
4.1 中长期降水量预测	52
4.2 地下水预测	58
4.3 灌区需水量预测	61
第5章 灌区水资源中长期优化配置	66
5.1 作物水分亏缺及水分胁迫	66
5.2 作物水分生产函数	67

5.3	各种作物的最优灌溉制度	71
5.4	基于现代优化技术的作物灌溉制度优化设计	74
5.5	作物间的优化配水	80
5.6	灌区中长期最优运行调度	81
第6章	灌区水资源实时优化调度	85
6.1	实时优化调度的内涵	85
6.2	实时优化调度模型	85
6.3	实时预报系统	87
6.4	实时修正系统	96
6.5	渠系实时配水	96
第7章	灌区多水源调度理论与模型	101
7.1	集中参数系统地下水资源管理模型	101
7.2	分布参数系统地下水资源管理模型	107
7.3	多种作物多水源的最优配水	109
7.4	子区间水量的最优分配	112
第8章	GIS技术在水资源管理中的应用	113
8.1	地理信息系统概念及功能	113
8.2	地理信息系统在国内外发展概况	115
8.3	应用型地理信息系统的开发	117
8.4	基于GIS技术的水资源管理决策支持系统的设计	118

下篇 渠村灌区水资源调度管理决策支持系统研制

第9章	河南省渠村灌区基本情况	131
9.1	渠村灌区概况	131
9.2	水资源现状	136
9.3	社会经济状况	139
9.4	土地利用及工程状况	140
9.5	灌区存在的问题	143
第10章	渠村灌区水资源调度管理	144
10.1	灌区中长期来水预报	144
10.2	灌区需水量预报	150
10.3	灌区中长期水资源优化调度	151
10.4	灌区水资源实时优化调度	154
10.5	GIS的系统功能实现	159
第11章	软件系统结构及使用说明	169
11.1	概述	169
11.2	系统结构及组成	169

11.3 数据库管理操作.....	174
11.4 优化调度操作.....	179
主要参考文献.....	184

上 篇

灌区水资源调度理论研究



第 1 章 绪 论

1.1 研究背景及意义

水是人类赖以生存和发展不可替代的宝贵资源,是保障国民经济持续健康发展的重要基础。早在 1977 年联合国就公开向全世界宣言:水资源危机不久将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。随着社会经济的发展,特别是工业化、城市化进程的加快,水资源短缺已成为全球性问题。

我国是世界上严重缺水的国家之一,年均降水量为 6 万亿 m^3 ,水资源总量为 2.81 万亿 m^3 ,居世界第六位,人均占有量 2 300 m^3 ,仅为世界人均占有量的 1/4,列世界第 108 位,是世界上 13 个贫水国之一。我国不仅水资源量贫乏,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,另外降雨量年内分配也极不均匀,汛期雨量过于集中,利用难度很大,非汛期雨量过少,同时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。

我国是农业大国,农业是国民经济的基础,水是农业发展的命脉,水对农业有特殊重要的意义。农业是用水大户,灌溉用水量占总用水量的比例很大,新中国成立初农业用水量占总用水量的 97% 以上。自新中国成立以来,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 ,目前全国已建成的大中型灌区有 5 600 多处,全国有效灌溉面积发展到 5 660 万 hm^2 ,在大中型灌区中,设计灌溉面积在 2 万 hm^2 以上的大型灌区共有 402 处,总规划灌溉面积 1 920 万 hm^2 ,约占全国有效灌溉面积的 35%,占耕地总面积的 14.7%。随着国民经济的发展,农业用水量在全国总用水量中的比重不断下降:1949 年我国农业用水量约为 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%,据有关专家预测,到 2050 年我国农业用水将降至 54%。干旱缺水已成为影响我国农业生产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。

我国灌溉用水一方面存在着短缺,另一方面存在着严重浪费的现象。目前我国许多地区仍采用大水漫灌的方式进行灌溉,灌溉定额过大,例如黄河上游的河套灌区引水量高达 8 000 ~ 10 000 m^3/hm^2 ;同时灌区中灌溉工程老化问题突出,农田灌溉大多是采用土渠输水,渠道输水损失大,跑、冒、滴、漏等问题严重,造成灌溉水的利用率相当低,灌区灌溉水的有效

利用率仅为 0.3~0.4,井灌区的灌溉水利用率也只有 0.6 左右,灌溉用水浪费严重,远低于发达国家农业灌溉水资源有效利用率 0.8 左右的水平。

面对水危机,要使农业持续发展就要发展节水型农业,以便合理开发利用水资源,使有限的水资源发挥更大的效用。节水型农业是充分利用降水和水利与农业措施,节约水资源,提高水的利用率和经济效益。发展节水型农业重要的一方面就是提高灌区的管理水平,以便实现农业的可持续发展。灌区管理工作是以大量的基础资料和实时信息为基础依据,这些信息除包含大量与时间有关的资料外,还涉及较多空间特性的信息,任一时间序列资料(诸如降雨、水位、流量)和文档资料(如渠系概况、闸坝资料)等都产生一个特定的空间位置。各信息所具有的影响和可能发挥的作用都与它所处的空间位置息息相关,运用传统的数据库管理系统难以同时对时间和空间信息进行分析和处理,而利用 GIS 技术来处理则能做到方便自如、形象直观,它不仅可以将此类信息看做许多具有空间特性的对象,而且能将这些对象的特征理解成数据自身的属性,进而分析研究它们自身和相互之间的关系及形象表示。引入地理信息系统平台技术将使系统的功能更加完善,实用性更强。

如何科学合理地调度与管理灌区水资源,提高其利用效率,节约用水,将 GIS 引入到灌区管理中,对灌区进行信息化管理,编制灌区水资源信息管理决策支持系统软件,对缓解灌区水资源紧缺状况,提高灌区管理水平,实现灌区可持续发展等具有重要意义。

(1)强大的数据库支持系统:由于灌区水资源管理中涉及大量的信息,运用数据库可以方便地进行信息管理,整个数据库具有灵活性、可修改性、实用性等特点,方便了数据信息的查询、修改等,为制定决策提供依据。

(2)农业水资源实时优化调度:有利于合理分配短缺的农业水资源,在不足水量的情况下获得最大效益。目前灌区水资源浪费极其严重,在节水灌溉理论的基础上,对灌区进行典型年的水资源合理分配,然后结合预测技术和先进的实时控制理论,对灌区进行实时优化配置,以达到合理地控制灌水时间和灌溉水量的目的,对于指导灌区管理者改善灌溉方法、进行实时灌溉,使有限的水资源得到最合理的分配,扩大灌溉面积,降低灌溉成本等均具有重大意义。

(3)GIS 在水资源调度管理中应用:GIS 作为一种以可视化的地图、影像、多媒体等方式显示地物信息系统,能够清晰、准确地将地物的数量、质量、空间分布特征、相互关系及其变化规律等以图像、图形的方式动态显示出来,以供管理者迅速、准确地了解灌区基本信息、用水及需水状况,帮助管理者及时准确地做出决定。所以将 GIS 技术引入灌区用水管理必将使灌区基本信息的显示更加直观化,并且通过对灌区所有信息进行综合的分析和处理,对灌区水资源在空间上的优化配置,在时间上合理利用,宏观、全局地制定用水计划及发展战略具有重要意义;同时也可使管理者既能通过图形显示把握灌区实时用水及需水的总体状况,又能通过各种快捷的查询手段了解各种非图形因素的信息,使管理者可获取的信息量成倍地提高。

1.2 国内外研究现状及发展趋势

研制灌区水资源信息管理决策支持系统软件,主要包括数据库设计、灌区水资源实时调

度、GIS 应用以及决策支持系统的开发四大部分,其中灌区水资源实时调度中包括中长期降雨预测、作物需水量预测及水资源实时调度三部分。

1.2.1 中长期降雨预测

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、随机预测技术发展发展到模糊预测、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众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。

(一)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以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。

(二)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 ARMA 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;王立坤等利用长系列资料,通过趋势分析,建立了季节性周期预测降雨模型;由于降雨过程中存在大量不确定、不精确的信息,孙才志等针对降水量为相依随机变量的特点,采取以规范

化的各阶自相关系数为权重,用加权的马尔科夫链来预测未来降水的丰枯变化情况。

(三) 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。这一方法是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。

(四) 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应用较多的一种方法,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,取得了较好结果;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—一年径流预测模型,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,能较好地反应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。

(五) 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总合视为灰色特性,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。李荣峰等根据灰色系统理论得出作物生育期降雨序列的 $CM(1,1)$ 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利用了多个观测信息的模型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。

(六) 其他预测

随着遗传算法及混沌分析的广泛应用,它们也被运用到了中长期降雨预测中。针对流域降雨时间序列的混沌性和随机性,黄国如等采用基于混沌识别的时间序列模型对降雨预测进行了研究;张双虎等基于混沌时间序列的重构相空间、遗传算法的良好全局搜索和神经网络精确的局部搜索特性,以重构相空间中的饱和嵌入维数作为神经网络输入层节点数,通过采用遗传算法优化神经网络初始权重,将重构相空间、遗传算法、神经网络三者有机地结合,建立了相空间遗传BP神经网络预测模型。由于影响降雨的因素众多,有时一种预测方

法并不能使预测结果达到一定精度,因此需要几种方法结合进行预测。Takasao 和 Nakakita 等提出了基于云物理学概念的降雨预测模型,模型利用雷达反馈的三维分布信息来估计水蒸气转化为液态水的转化率,预测了降雨分布的产生、发展、衰退和雨带的推移等主要特征;Wong 在已有观测资料的基础上,利用每日降雨信息采用空间内插的方法预测未知的降雨,提出了自组织地图、反馈神经网络以及模糊系统相结合的方法预测降雨;Fi-John 等人将成因分析、统计分析以及模糊集理论同神经网络系统有机地结合起来,建立了基于神经网络的模糊系统径流预测模型。

1.2.2 作物需水量预测

作物需水量预测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,因此其关键在于参考作物腾发量的预测。对于作物腾发量的中长期预报,一般根据其气象因素的关系,采用线性回归预测法,对于作物腾发量短期实时预报以前常用指数平滑预测技术,也有的在短期气象预报的基础上采用线性回归预测方法。计算参考作物腾发量的方法很多,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的参考作物腾发量计算经验公式;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。

由于我国近几年在模糊集理论和神经网络的研究上有了突破性进展,我国学者也将这些理论运用到作物需水量预测中。郭宗楼等利用灰色关联空间对影响作物需水量的主要气象因子进行了分析,并通过 GM(1,1) 建立作物潜在需水量灰色预测模型,取得了满意的精度;刘钰等根据 1979 年联合国粮农组织推荐的改进彭曼公式存在的一些弱点,采用彭曼—蒙特斯方程及参照作物的新定义计算了作物的参考需水量,并将修正彭曼公式和彭曼—蒙特斯两种公式进行对比,建议国内应推广使用标准化的彭曼—蒙特斯公式;董斌等根据彭曼公式中所需气象因素多数不能准确定量预报的缺点,采用天气修正系数在多年平均最大旬参考作物需水量的基础上进行修改计算,对汉江平原棉花需水量进行实时预报计算;李远华等采用联合国粮农组织推荐的修正的彭曼公式分析计算了霍泉灌区长系列参考作物的腾发量及其变化规律,在此基础上提出了该灌区作物需水量预测模型,分析了预测模型中参数 A_0 的变化规律,并在预报中进行修改;顾世祥等在充分利用实时信息的基础上,利用径向基函数法对参考作物腾发量进行了预测,取得了较精确的结果;崔远来等建立了基于进化神经网络的参考作物腾发量预测模型;张兵等应用 L-M 优化算法的 BP 神经网络,通过多维气象数据(太阳辐射、空气温度、湿度)与作物需水量的相关分析,确定网络的拓扑结构,建立作物需水量的人工神经网络模型;对作物需水量进行实时预测时,崩智等根据同一地区和相

同年份内,相同天气类型条件下的 ET_0 数值十分稳定这一理论,对于一个地区根据长系列气象记录,计算出各月晴云阴雨4种天气类型条件下的多年平均 ET_0 数值,在实时预报时可以直接利用多年平均值进行预报;崑智等提出了根据天气类型、作物绿叶覆盖率、土壤有效含水率三项因素进行作物需水量实时预报的方法和模型,介绍了具体的预报步骤与计算框图,改进了常规的预报方法,为实时预报提供了准确的依据。

1.2.3 灌区水资源实时调度

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。水资源实时优化调度是根据短期的来水和需水预报,进行水资源的科学调度,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。水资源实时调度在印度、巴基斯坦等一些国家的用水管理中已经得到了一定程度的应用,在澳大利亚及西方一些发达国家,利用国际最先进的计算机技术和现代控制理论,对不同类型的灌区根据不同目标进行实时自动控制,并进行多目标的优化实现最优运行,灌区的节水率都在30%以上,充分发挥了灌区自动化系统的效益。

实时调度在我国多用于水库调度中,在农业水资源调度中应用的还很少,处于起步阶段,实时调度应用于农业中开始于20世纪90年代以后,开始主要应用于水库灌区的调度中,把灌溉效益作为一个效益函数,实质上还是水库调度问题,而后主要是侧重于实时灌溉预报理论的研究。

水资源实时优化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等,随着现代科学方法的不断发展,混沌及遗传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年科罗拉多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。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P. W. 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,建立了一个两维状态及两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。

大系统优化是 70 年代发展起来的一门新的学科,也是系统工程发展到新阶段的标志之一,其核心是分解协调原理。大系统具有高维数、多目标、关联性、分散性,更复杂一些的具有随机性、模糊性、发展性和主观性等特点,大系统的这些特点,使得大系统递阶分析与多目标决策分析逐步融汇在一起,形成了大系统多目标递阶分析,是系统分析解决复杂问题的又一重要途径。首先将大系统分解协调理论运用到水资源系统的是 Haimes,他的专著《水资源系统递阶分析》对大系统理论在水资源系统中的应用和发展起着重要作用;都金康在 Haimes 提出的区域水资源供需协调模型的基础上,提出了城市水资源供水、需水、污水处理三大系统分解协调模型;刘建民等应用大系统递阶分析的原理和方法,针对京津唐地区水资源大系统供水规划和调度问题,建立了京津唐地区水资源大系统供水规划和调度优化三级递阶模型和三层递阶模拟模型;沈菊琴等运用大系统分解协调理论,将潘庄灌区分为两类,进行了水资源的宏观管理研究,解决了灌区在灌溉制度既定的前提下水资源的时空分布。大系统优化原理如图 1-1 所示。

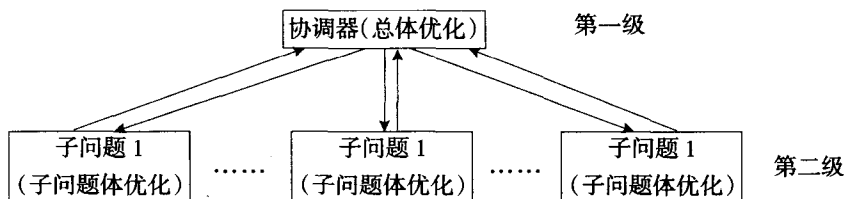


图 1-1 分解协调器示意图

1.2.4 GIS 在水资源管理决策中应用

GIS 以其显著的多学科交叉特征和处理空间数据的独特功能,被广泛应用于众多研究和应用领域,其中在水资源综合开发利用中的应用也很迅速。荷兰政府自 1990 年开始组织有关单位合作研究开发“区域水文地质信息系统”(REGIS),可用于评价全国和省级规模水文地质状况,使用 REGIS 可以查询基本图形、水文地质数据、时间序列数据、地质和水文地质空间模型;美国休斯敦利用 GIS 数据库识别水源保护区内的潜在污染源;博茨瓦纳在其东南部的半干旱地区在 GIS 内可结合野外数据和地理研究来识别地下水开采的目标区;美国阿肯色州利用地理信息系统开发一个自动程序,识别该州东部向单井供水的基本含水层,经过判别,确定了 23 500 口井。

陈刚等应用 ArcView 构建了山西临汾县的水资源管理信息系统;陈建耀等以地理信息系统软件 ArcView 为工具,集成了相关的图形、图像、报表、文档等数据和以往的研究成果,建立了柴达木盆地水资源信息系统,系统具有友好的界面和便利的查询功能、检索功能;张卫等将 GIS 应用于遵义红花岗区水资源管理,在充分研究遵义市红花岗区水文地质条件、水