



# 农业水资源实时灌溉理论 与综合管理系统

马建琴 刘蕾 张振伟 郝秀平 彭高辉 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

水利部 948 项目资助 (201047)

# 农业水资源实时灌溉理论 与综合管理系统

马建琴 刘蕾 张振伟 郝秀平 彭高辉 著

 中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书全面系统地阐述了农业水资源实时高效利用理论与系统建设方面的研究、技术与方法。主要内容包括：作物需水量、作物灌溉制度与实时灌溉、作物非充分在线实时灌溉制度、实验设计、作物在线实时灌溉制度模拟分析与实时预报、郑州地区冬小麦产量和需水量变化特征、灌区水资源优化配置、国外农田实时灌溉管理系统——WaterSense、我国农田实时灌溉管理系统的开发、农田实时灌溉管理系统功能与编程实现等。

本书可供农业水土工程、水文水资源、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，也可作为灌区、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 (C I P) 数据

农业水资源实时灌溉理论与综合管理系统 / 马建琴等著. — 北京：中国水利水电出版社，2013. 8  
ISBN 978-7-5170-0945-0

I. ①农… II. ①马… III. ①灌溉—实时控制—理论  
②灌溉管理—实时控制软件—研究 IV. ①S274-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第172983号

书 名	农业水资源实时灌溉理论与综合管理系统
作 者	马建琴 刘蕾 张振伟 郝秀平 彭高辉 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.75印张 326千字
版 次	2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	48.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

我国灌溉水资源严重紧缺，同时又存在着灌溉水利用效率较低等问题，灌溉水资源的实时高效利用一直是农业水管理中的热点与难点问题。随着网络与计算机技术的发展，农业水资源实时综合管理系统必将成为农业管理中的重要工具。

本书是作者近几年来在农业水资源实时高效利用理论与系统建设方面研究与实践的基础上，特别是结合水利部的“948”项目研究成果，对研究方向的一次全面总结与体系的提升。全书共分理论篇、实践篇、系统建设篇、结论篇四部分共12章，主要研究内容和研究成果概括如下：

绪论部分基于目前农业水资源高效利用与系统建设方面的研究现状及研究中存在的问题，提出了本书的研究内容与研究意义。

理论篇包括作物需水量、作物灌溉制度与实时灌溉、作物非充分在线实时灌溉制度3章。本篇对作物需水量研究的理论与方法进行了评述，对作物的非充分灌溉理论与非充分灌溉研究中的问题进行了论述与剖析，针对现有研究中的不足，提出作物的非充分灌溉在线实时预报理论和方法，基于实时土壤水分监测数据及降雨信息，利用田间水量平衡原理，提出了充分利用降雨的作物非充分在线实时灌溉制度模型。包括作物非充分在线实时灌溉模型以及模型各要素的确定和修正。

实践篇包括实验设计、作物在线实时灌溉制度模拟分析与实时预报、郑州地区冬小麦产量和需水量变化特征、灌区水资源优化配置4章。本篇在理论研究的基础上，设计了实时灌溉实验方案，确定了研究所需测定指标及各指标数据的测取方法。以冬小麦为例进行试验研究，把冬小麦按生长特点进行了生育期的划分，结合作物的非充分在线实时灌溉制度模型和试验测取数据，对本研究中非充分灌溉不同水分处理的冬小麦灌溉制度和生育期需水规律进行了逐日模拟分析，实现了冬小麦的非充分实时灌溉制度的制定和作物系数的逐日修正，对作物系数的修正情况进行了分析。在此基础上，对郑州地区冬小麦产量和需水量变化特征进行了模拟分析；建立了灌区水资源配置模型，实施全灌区水量科学合理的配置和管理。

系统建设篇包括国外农田实时灌溉管理系统——WaterSense、我国农田

实时灌溉管理系统的开发、农田实时灌溉管理系统功能与编程实现 3 章。本篇论述了已有的在线调度工具的发展现状，在对澳大利亚的半旱地农业水土资源高效利用综合管理系统（EnviroScan/WaterSense）所用模型、参数修正等功能介绍的基础上，借鉴 WaterSense 实时灌溉的网络可视化功能和实现技术，研制了适合我国的农田实时灌溉在线管理系统，提出了农田实时灌溉在线管理系统的设计原则及模块功能，实现了作物的在线实时灌溉，以及土壤水分、降雨、灌溉信息的可视化管理。

结论篇总结了本书的主要研究成果，并对有待进一步研究的问题进行了展望。

在本书写作过程中，作者参阅和引用了大量的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。本书的出版得到了水利部 948 项目（201047）的资助，在此表示感谢。

本书能够得以问世，要特别感谢陈守煜教授、邱林教授、徐建新教授等的指导与帮助，同时也要感谢魏蕊、李明、许龙宾、李英、宋智睿、王文政等人为本书相关研究所做出的基础工作。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，且部分成果有待进一步深入研究，书中不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2013 年 4 月

# 目 录

## 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的和意义	1
1.3 发展现状	2
1.4 存在的问题	5
1.5 本书研究的主要内容	6

## 理 论 篇

第 2 章 作物需水量	11
2.1 作物需水量研究	11
2.2 作物需水量的计算方法	16
2.3 小结	28
第 3 章 作物灌溉制度与实时灌溉	29
3.1 充分灌溉与非充分灌溉理论	29
3.2 非充分灌溉制度研究	29
3.3 实时灌溉预报研究	33
3.4 灌区灌溉制度优化国内外研究现状	34
3.5 多种农作物间的最优水量分配	36
3.6 灌溉管理系统国内外研究现状	40
第 4 章 作物非充分在线实时灌溉制度	43
4.1 作物非充分在线实时灌溉制度模型	43
4.2 作物灌溉模型参数的确定及修正	49
4.3 小结	53

## 实 践 篇

第 5 章 实验设计	57
5.1 实验区概况及实验方案设计	57
5.2 实验观测及数据的获取	59

5.3	实验数据初步分析	63
5.4	不同灌水处理对冬小麦水分利用效率的影响	70
5.5	小结	71
<b>第6章</b>	<b>作物在线实时灌溉制度模拟分析与实时预报</b>	<b>72</b>
6.1	灌溉预报研究现状	72
6.2	冬小麦实时灌溉制度研究	73
6.3	冬小麦在线实时灌溉模拟	78
6.4	冬小麦在线实时灌溉预报	83
6.5	小结	91
<b>第7章</b>	<b>郑州地区冬小麦产量和需水量变化特征</b>	<b>92</b>
7.1	引言	92
7.2	情景建立	93
7.3	模拟结果分析	93
7.4	小结	97
<b>第8章</b>	<b>灌区水资源优化配置</b>	<b>98</b>
8.1	引言	98
8.2	灌区水资源优化配置模型	98
8.3	模型求解	103
8.4	小结	114

## 系统建设篇

<b>第9章</b>	<b>国外农田实时灌溉管理系统——WaterSense</b>	<b>117</b>
9.1	引言	117
9.2	WaterSense 管理软件系统总体介绍	117
9.3	WaterSense 系统的总体开发思路	119
9.4	农田水分监测数据分析软件——IrriMAX	121
9.5	WaterSense 在线灌溉调度模型的实际应用	134
9.6	小结	137
<b>第10章</b>	<b>我国农田实时灌溉管理系统的开发</b>	<b>138</b>
10.1	研究背景	138
10.2	农田实时灌溉管理系统的需求分析	138
10.3	实时灌溉在线管理系统的开发技术	140
10.4	系统框架搭建	147
10.5	实时灌溉在线管理系统功能模块设计	150
10.6	数据库设计	153
10.7	小结	168

<b>第 11 章 农田实时灌溉管理系统功能与编程实现</b> .....	169
11.1 系统安装配置说明 .....	169
11.2 系统操作说明 .....	170
11.3 小结 .....	194

## 结 论 篇

<b>第 12 章 结论与展望</b> .....	197
12.1 结论 .....	197
12.2 展望 .....	198
<b>参考文献</b> .....	200



# 第 1 章 绪 论

本章主要论述了灌区水资源的实时高效利用理论及实践的国内外研究现状、存在问题和原因、发展趋势，提出了本书研究的主要内容。

## 1.1 研究背景

水是农业的命脉，也是整个国民经济和人类生活的命脉。

中国是一个水资源十分短缺的国家，淡水资源总量为 28000 亿  $\text{m}^3$ ，占全球水资源的 6%，仅次于巴西、俄罗斯和加拿大，居世界第四位，但人均水资源量仅为 2300 $\text{m}^3$ ，只有世界平均水平的 1/4、美国的 1/5，在世界排名第 121 位，是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。扣除难以利用的洪水径流和散布在偏远地区的地下水资源后，中国可利用的淡水资源量则更少，仅为 11000 亿  $\text{m}^3$  左右，人均可利用水资源量约为 900 $\text{m}^3$ 。同时，我国作为一个农业大国，农业用水量占我国总用水量的绝大部分。近几年，全国总供水量大约在 5500 亿  $\text{m}^3$  左右，其中农业灌溉用水量大约在 3600 亿  $\text{m}^3$ ，占农业总用水量的 90%，占全国总供水量的 65% 左右，占各行业总用水的 60% 以上。

北方地区是我国主要粮食产区，面积占全国面积的 43.8%，水资源拥有量只占全国水资源总量的 9.7%，黄河、淮河、海河、辽河流域人均水资源量仅占全国平均水平的 1/3，河川流量仅为南方地区的 1/6 左右，据预测中国北方地区人均水量到 2030 年为 712 $\text{m}^3$ ，远低于国际公认的人均 1700 $\text{m}^3$  缺水警戒线，用水尤其紧张。

另外，我国农业灌溉水资源浪费严重，灌溉水利用效率较低。一些土质较差的渠道输水渗漏损失约占引水量的 50%~60%，我国每年因渠道输水渗漏造成的损失高达 1500 亿  $\text{m}^3$ ；地面灌溉效率低，目前我国灌溉水利用系数只有 0.51 左右，渠灌区水的有效利用率只有 40% 左右，井灌区也只有 60% 左右，单方水生产粮食不足 1kg，而一些发达国家用水的有效利用率可达 80% 以上，单方水生产粮食大体都在 2kg 以上。北方地区灌溉用水尤其紧张，不少地方靠超采地下水、挤占生态环境用水维持用水现状，对农业可持续发展和水资源的可持续利用非常不利。传统的充分灌溉已无法适应客观现实的需要，要缓解水资源危机，完善灌溉水资源配置制度，提高灌溉水利用率已成为一项必要手段。

实行非充分灌溉制度和制定动态用水计划，对作物进行实时、适量的灌溉，达到充分利用每一滴水，不浪费水资源，是提高灌溉水利用率的关键，也是缓解我国北方地区水资源缺乏和实现节水高产的必然选择。

## 1.2 研究目的和意义

当前，我国正处于由传统农业向现代农业转变的关键时期，农业科技的总体水平还不



够高,在农业生产中如何科学合理用水,提高水分利用效率,使有限的水资源发挥最大的经济效益,是迫切需要解决的一个重大问题。由国内外的研究可见,实行作物非充分灌溉是实现有限水量条件下农业水资源高效利用的有效途径,也是当前水资源紧缺情况下农业灌溉的必选之路。国内外已有的实时灌溉预报和灌溉管理系统的研究趋势表明,把非充分灌溉制度与计算机网络技术相结合,实现农作物的在线实时灌溉预报已经成为实现农田水分有效管理、节约农业水资源、缓解水资源短缺问题的重要手段之一,能够有效推动农业节水增效的规模化和产业化发展。

本书是结合水利部“948”项目——半旱地农业水土资源高效利用综合管理系统引进(201047),针对北方灌区水资源的实时高效利用理论及实践等一系列问题展开研究,重点进行了作物的非充分在线实时灌溉制度研究、灌溉水资源高效利用综合管理系统的研发、非充分灌溉的实时模拟与实验观测等。

研究目的在于:

(1) 结合我国的国情及农业管理水平,建立作物的非充分在线实时灌溉制度模型,在对土壤水分实现逐日监测的基础上,结合短期天气预报,准确、实时地预测未来不同时段的水分动态,并制定合理的灌溉预报方案,为充分利用降雨,节约农业用水,提高灌溉水利用率提供依据。

(2) 以冬小麦为例,实现作物的在线实时灌溉以及作物系数、土壤根区含水量等的逐日修正,并模拟分析非充分灌溉不同水分处理条件下冬小麦的需水量以及需水规律,为研究地区冬小麦非充分灌溉制定合理的土壤水分上、下限指标提供依据。

(3) 借鉴国外的灌溉管理软件 WaterSense,在学习、研究 WaterSense 所用模型和实现功能的基础上,分析我国农田实时灌溉在线管理系统的设计原则与实现功能。

(4) 以冬小麦为例,采用非充分灌溉制度和计算机网络技术相结合的非充分在线实时灌溉制度模型来实时、适量的指导作物灌水,开发适合我国国情的实时灌溉在线管理系统。该系统能够在对土壤水分逐日监测及网络传输的前提下,实现作物的在线实时灌溉,使土壤水分、降雨、灌溉等信息以图表形式可见,用户无需通过客户端,通过网络便可查看、查询,方便用户进行作物的用水管理,实现了灌溉的网络化管理,为节水高产灌溉的实现提供了保证,有利于实现农业可持续发展。

本文对作物需水量、作物灌溉制度、实验实践、灌溉模拟与实时预报、产量和需水量变化特征、灌溉管理系统等内容进行了论述,本书的研究结论和成果可为农业灌溉节约用水,提高农田水分利用率,缓解我国水资源紧缺和农业灌溉用水的实时管理、高效利用提供科技支撑和决策参考。

### 1.3 发展现状

经过近几十年的发展,现代灌区水资源利用的研究方向,已经由以往的单一考虑植物需水状况、时令节气发展到将区域性的农田水循环与整个水气大循环相结合,将农田水利系统与整个大系统环境作为一个整体,严格考虑在大气中、土壤中以及地下水系统中。而每一环节对于土壤含水量、作物需水量的影响,也使农田水循环系统由静态走向动态、由



点到面，更加的直观、生动、系统、科学。新型农田灌溉技术的研究重点，已经由以往的较少输水损失、提高用水效率转变为如何依照作物的生长需求，科学、精量、适时地为作物补充水分，最大程度地减少水资源的浪费，最大程度地提高水资源的利用效率。

随着计算机技术的不断推进，新型的农田水循环技术的复杂计算工作可以由计算机加以处理，这在一定程度上提高了作物需水预报的时效性、准确性，进而提高了灌溉水的利用效率。

现代灌区水资源管理已经发展成为一个多门学科、多种技术相融合的一个综合性技术，是在原有的农田水循环技术基础上，将生物学、计算机技术等一系列新科技、新技术融为一体，加以合理运用。

### 1. 国外研究现状

目前，世界各国都逐步意识到了农田节水技术对于社会高用水机制建设的重要作用，逐步体会到先进的现代灌区水资源管理技术对农业整体水平发展进步所带来的诸多益处。发达国家灌区管理虽达到一定水平，但仍需要在信息化、自动化、高效化、智能化等方向更进一步地发展。

国外许多国家的农田水利灌溉技术的现代化水平已经相当的成熟。美国垦务局将自动控制技术应用于灌区配水调度，将配水效率由 80% 提高到 96%。以色列节水灌溉主要采用了喷、微喷及滴灌等现代灌溉技术和自动控制技术，灌溉水平平均利用率达 90%。但对于渠道灌溉的灌区而言，灌溉系统的自动化程度都不是很高。主要原因是一般的自动化闸门造价过高，且在野外恶劣环境下的可靠性没有得到很好的解决。

日本灌区的水管理普遍采用比较先进的计算机及自动控制等现代技术，极大地提高了灌区的管理水平，在日本灌区从渠首到各个分水点都配置了遥测、遥控装置；中央管理所集中监测并发布指令，遥控闸门、水泵自动启闭从而进行分水和配水工作。澳大利亚在灌区的水管理方面，自动控制和远程控制设备应用也比较广泛，如通过计算机远程控制一些重要的闸门等。

发达国家在灌区灌溉管理所需要软件的标准化和通用程度方面做得比较好，开发了一批用于灌区灌溉管理的通用软件。国际粮农组织为了推进灌溉计划的管理开发了灌溉计划管理信息系统（SIMIS），该系统是一个通用的、模块化的系统，具有适用性好、多语言（英、法、西等）和简单易用的特点。

澳大利亚研制了很多用于指导农场灌溉用水的管理系统。澳大利亚农业产量研究机构（APSRU）研究开发 APSIM 系统，该系统通过一系列互相独立的模块（如生物模块、环境模块、管理模块等）来表现被模拟的灌溉系统，这些模块之间通过一个通信框架（也称为引擎）进行连接。澳大利亚联邦科学与工业研究组织（CSIRO）应用现代 3S 技术进行灌溉水管理，研制开发了卫星与短信灌溉水管理系统，将遥感、作物耗水和现代通信方式结合起来，通过使用最新的遥感技术和 SMS 传输技术，来测定作物的需水量、泵站的运行时间及滴管系统的灌溉持续时间，并将信息通过 SMS 的方式发送给用户。

美国佛罗里达大学针对佛罗里达州的农业特点开发了 AFSIRS 系统，用户可以根据



作物类型、土壤情况、灌溉系统、生长季节、气候条件和管理方式等诸多变量,使用该系统估计出对象区域的灌溉需水量。系统收集了佛罗里达州9个气象观测站的长期观测资料,比较全面地反映了佛罗里达州的气象条件,在佛罗里达州得到了广泛的应用。

网络作为一个新兴技术,凭借其强大的兼容性、扩展性和延续性,获得了飞速的发展和进步,其新颖的设计思路和迅捷的传输方式,正在逐步影响着众多与其相关的学科。国际上的现代灌区水资源管理技术就是利用网络技术中数据传输便利、便于远程操作、易于实时监控等一系列特点,将网络技术应用到灌溉技术中,提高了灌溉技术的智能化和现代化水平。西方发达国家灌区管理部门一般将灌区渠系、闸门、水文站、用水户等的数据都由计算机管理,并存储在文件或数据库中,通过网站将信息提供给用水户。如澳大利亚的马兰比吉灌溉公司在自己的网站上提供了内容全面、丰富,更新及时的信息,并提供气象数据等多项免费服务。而CSIRO开发的Swagman farm灌溉水管理系统软件可以在网站上直接供农户使用。

## 2. 国内研究现状

近年来,随着水资源短缺问题的凸显,我国也开始并日益重视新的计算机技术与传统节水技术的结合,并积极进行实践和推广,取得了一些成果。2007年3月,辽宁省西部地区墒情自动监测系统招投标工作的完成,标志着辽宁省西部地区墒情自动监测系统建设及早情基础理论研究工作也即将开展。该系统在辽宁西部地区建立33个土壤墒情自动监测站,监测系统于2008年4月建完。辽宁省开原市投入了40余万元建立了土壤墒情监测系统,该系统有6个分站,已经于2007年10月投入使用。西藏土壤墒情监测系统也于2007年10月投入使用,该系统的使用实现了西藏一些典型地区旱情信息采集的自动化、规范化和标准化,为西藏自治区的抗旱减灾提供了有力的支持和决策论据。河南省为我国的农业大省,水资源也比较紧缺。为使有限的水资源发挥更大的经济效益,河南省在2005年建立了全省土壤墒情预报业务服务系统,该系统是结合中长期预报结果,在农田土壤水分平衡方程的基础上建立的(刘荣花等,2005),主要包含气象资料、土壤墒情资料等数据库,土壤墒情数据库中有116个土壤墒情监测点,系统可以在实测土壤墒情的基础上生成周、旬或月的预报结果。目前该系统有市县版本预报和省级预报两种系统,主要针对冬小麦和夏玉米两种作物。虽然该系统得到了一定的应用,但也存在着一定的不足。一是系统中认为作物系数是土壤含水量和叶面积系数的函数,亦即认为作物系数是随作物所处水文年型以及作物生育期而发生变化的;二是在计算农田实际蒸散量的过程中没有考虑土壤水分修正系数对作物耗水量的影响。

虽然我国目前对灌区管理的研究逐渐增多,但灌区的信息化和管理水平还比较低,主要原因在于灌区信息采集点少、采集手段落后;灌区信息传输手段比较单一、落后;由于灌区信息化建设缺乏统一的规划和标准,灌区信息的共享性比较差;灌区信息化系统的综合集成能力差等。

随着专家系统及智能化决策支持系统等在实践中的改进和理论的不完善,将对新的系统设计产生指导作用,从而推动人工智能学科的不断发。计算机、自动化、通信技术



的革新会为系统功能的实现提供必要的硬件基础，进而推动灌溉用水管理走向现代化、自动化、智能化，这也将是 21 世纪我国灌溉农业发展的必然趋势。

## 1.4 存在的问题

我国自“九五”期间以来，国家和地方政府高度重视节水灌溉工作，积极引进国外先进灌溉技术，研究、推广和应用了多种适合中国国情的农业措施。但由于我国现代化农业起步较晚，目前大多数仍局限于节水灌溉工程措施的推广和应用，缺乏旱区农业水土资源高效利用发展所需要的基础数据积累和对农业用水状况的有效监测与控制；农业高效用水应用基础研究薄弱，特别是对农业高效用水发展起关键作用的从纯基础到应用层面的应用基础研究还很欠缺，在农田水分高效利用、区域高效用水和环境友好的农业用水优化模式等方面的研究还比较欠缺；根据不同地区特点的单项农业用水技术研究较多，但缺乏适合不同地区的标准化、模式化、集成化的旱区农业水土资源高效利用综合技术体系。从整体上讲，多以理论性、探索性或专家咨询性研究成果为主，且多数研究成果都尚不完善，真正能在生产中应用、通用性较强、实用灵活、且应用方便的程序软件尚为研制；尤其缺乏基于 Web 的在线实时灌溉调度工具，缺乏可用于生产实践的干旱区农业水土资源高效利用综合管理的系统研究成果。可以说到目前为止，我国农业灌溉管理决策支持系统方面的研究还处于探索研究阶段，与节水发达国家相比，我国灌溉管理存在着水平低、方法落后等问题。

目前已有的灌溉管理系统，如中科院水土保持所开发的旱作物需水量预报决策辅助系统、扬州大学的周明耀开发的农田水分管理决策支持系统等，大部分是 C/S（Client 客户端/Server 服务器）模式系统，要求要有专门的客户端程序，常被称为胖客户端系统，存在难以适应大范围跨平台、跨系统的信息访问和共享需要，系统维护工作量大、升级困难和可移植性差等问题。

就国内的灌溉管理系统而言，现在的农业现代化和信息化水平还比较落后，总的来讲，主要有以下几个方面：

- (1) 农业的基础设施不完善，田间数据特别是实时数据的采集与传输受到很大的制约。
- (2) 现有的技术还不够成熟，尚需时间进行产业化和规模化。
- (3) 对于相应软件的编制投入较少。
- (4) 缺少水资源管理软件的行业准则和规范，造成了管理软件的重复开发和资源的浪费。
- (5) 相关工作人员的专业性和前瞻性有待提高。

总的来讲，我国农田水利灌溉技术的现代化水平与国际的先进水平还存在着一定程度的差距，成果的数据共享性较差、成果的规模化还有待提高、成果的技术水平还有待完善。

在 40 年前，节水灌溉管理软件已经在国内开始使用，但是始终无法得到有效的推广，主要原因有以下几个方面：



(1) 系统自身的复杂性, 由于单机版的管理软件对操作人员的计算机和专业知识的  
要求过高, 从而制约了其推广与普及。

(2) 一次性投资过大且后期维护费用较高, 不便于中小区域应用。

因此, 根据国内实际情况, 研制出符合国情的, 系统相对简单、操作相对简易、维护  
费用相对较低的节水灌溉管理系统, 是很有必要的。

## 1.5 本书研究的主要内容

本书是近几年来作者在农业水资源实时高效利用理论与系统建设方面研究的系统总  
结, 全书共分理论篇、实践篇、系统建设篇、结论篇四部分共 12 章。

绪论部分基于目前农业水资源高效利用理论与系统建设方面的现状及研究中存在的问  
题, 提出了本书的主要研究内容与研究的意义。

理论篇包括作物需水量、作物灌溉制度与实时灌溉、作物非充分在线实时灌溉制度 3  
章。本篇对作物需水量研究的理论与方法进行了评述, 对作物的非充分灌溉理论与非充分  
灌溉研究中的问题进行了论述与剖析, 针对现有研究中的不足, 提出作物的非充分灌溉  
在线实时预报理论和方法, 基于实时土壤水分监测数据及降雨信息, 利用田间水量平衡原  
理, 提出了充分利用降雨的作物非充分在线实时灌溉制度模型。包括作物非充分在线实时  
灌溉模型, 以及模型各要素的确定和修正。

实践篇包括实验设计、作物在线实时灌溉制度模拟分析与实时预报、郑州地区冬小麦  
产量和需水量变化特征、灌区水资源优化配置 4 章。本篇介绍了本研究的实验区域状况、  
试验方案, 主要数据测试设备, 阐述了本研究所要测定的指标和各指标数据的测取以及确  
定方法。本书以冬小麦为例进行了实验研究, 把冬小麦按生长特点进行了生育期的划分,  
结合作物的非充分在线实时灌溉制度模型和试验数据测取设备, 对本研究中非充分灌溉  
不同水分处理的冬小麦灌溉制度和生育期需水规律进行了逐日模拟分析, 实现了冬小麦  
的非充分实时灌溉制度的制定和作物系数的逐日修正, 对作物系数的修正情况进行了分  
析。对郑州地区冬小麦产量和需水量变化特征进行了模拟分析; 建立了灌区典型年水资  
源优化配置模型, 对全灌区水量进行合理的管理。

系统建设篇包括国外农田实时灌溉管理系统——WaterSense、我国农田实时灌溉管  
理系统的开发、农田实时灌溉管理系统功能与编程实现 3 章。本篇论述了已有的在线调  
度工具的发展现状, 在对澳大利亚的半旱地农业水土资源高效利用综合管理系统 (Envir-  
oScan/WaterSense) 所用模型、参数修正等功能介绍的基础上, 借鉴 WaterSense 实时灌  
溉的网络可视化功能和实现技术, 研制了适合我国的农田实时灌溉在线管理系统, 提出  
了农田实时灌溉在线管理系统的设计原则及模块功能, 实现了作物的在线实时灌溉, 以  
及土壤水分、降雨、灌溉信息的可视化管理。

结论篇主要对本书的主要研究成果进行了总结, 并对有待进一步研究的问题进行了  
展望。

本书的主要研究结构见图 1-1。

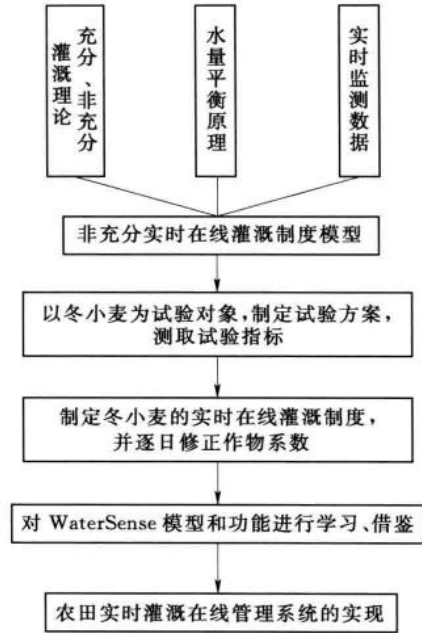


图 1-1 本书主要研究结构简图

Fig. 1-1 Diagram of this thesis structure





# 理 论 篇