

山区现代水利自动化 与信息化系统

贵州省水利科学研究院 张和喜 王永涛 李军 等 编著

非外借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

山区现代水利自动化 与信息化系统

贵州省水利科学研究院 张和喜 王永涛 李军 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书介绍了贵州山区现代水利自动化与信息化系统的实施背景与意义以及应用现状与发展趋势，提出了系统建设的主要内容及目标，完成了系统总体设计与详细设计。本书重点讲述了系统上位机、下位机硬件的设计与选型，并应用快速成形技术对外壳进行了设计与制作；同时介绍了系统主要设备的选型与配置、太阳能供电功率核算、灌溉系统软件及控制策略、主要作物灌溉制度研究、系统试验验证及应用示范等内容。

本书可供山区水利自动化与信息化设计、施工与监理人员参考和学习。

图书在版编目（C I P）数据

山区现代水利自动化与信息化系统 / 张和喜等编著

． 一 北京：中国水利水电出版社，2017.9

ISBN 978-7-5170-6025-3

I. ①山… II. ①张… III. ①山区—水利建设—自动化系统—研究—中国②山区—水利建设—信息化建设—研究—中国 IV. ①TV-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第273372号

书 名	山区现代水利自动化与信息化系统 SHANQU XIANDAI SHUILI ZIDONGHUA YU XINXIHUA XITONG
作 者 出版发行	贵州省水利科学研究院 张和喜 王永涛 李军 等 编著 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 (营销中心)
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 印 刷 规 格 版 次 印 数 定 价	中国水利水电出版社微机排版中心 北京瑞斯通印务发展有限公司 184mm×260mm 16开本 12.75印张 279千字 2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷 0001—2000册 78.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

近年来，党中央、国务院和水利部从治国安邦和实现中华民族伟大复兴的战略高度，从党和国家事业发展的全局出发，对水利工作作出了全面部署，动员全党、全社会大兴水利，加快实现水利改革发展新跨越，着力推动中国特色水利现代化建设。水利自动化与信息化是水利现代化的重要基础和标志，是引领和带动水利现代化的重要措施。因此，当前和今后的一个时期，加快推进水利自动化与信息化建设，支撑和保障水利改革发展，促进并带动水利现代化，是一项事关水利发展全局的重大战略任务。

贵州省委、省政府高度重视信息化工作，坚持全面贯彻落实党的精神，按照党中央以信息化带动工业化、以工业化促进信息化，走新型工业化道路的战略部署，“十五”以来相继对信息化发展重点进行了部署，启动了“金字工程”，作出了推行电子政务、加强信息资源开发利用、振兴软件产业、加强信息安全保障、加快发展电子商务等一系列决定。紧紧围绕贵州省国民经济和社会发展的总目标，全面推进全省国民经济和社会信息化。各地区、各部门从实际出发，认真贯彻落实，不断开拓进取，全省信息化建设取得了可喜的进展。

水是农业的命脉，也是国民经济的基础产业。没有水利现代化作支撑，农业现代化就举步维艰。2014年8月以来，贵州山区现代水利试点区项目本着“先行先试”的原则，以水利自动化与信息化为手段，大数据与水利云平台为支撑的贵州山区现代水利试点区项目建设快速推进，体现水利建设的新思路、新举措和新的水利改革发展方向。

贵州山区现代水利以水利现代化引领农业现代化，建成了国内先进水平的现代高效水利云平台管理系统，是集气象监测、土壤墒情监测、水肥一体化、高效节水灌溉系统管网、用水量计量及水费征收的远程控制和管理、水泵自动启闭及远程控制等多要素为一体的大数据系统。此系统以云计算为手段，实现了智能化灌溉、精量化施肥、无人化管理，降低了水利管理的运行成本，提高了节水效率和农村经济组织和群众的经济效益。

实施的贵州山区现代水利试点区项目围绕水利工程“建设、管理、养护和使用”等环节实现了理论探索和创新。但需要总结“贵州山区现代水利”

值得总结推广的经验，只有在不断总结的基础上，才能寻找出适应贵州水利发展的新路子。通过本书，进一步提升总结系统工程孕育的深刻内涵，形成更多可复制、可推广的经验总结，凸显贵州山区现代水利试点区项目在贵州省水利发展改革工作中呈现的新亮点，进一步探索农业水利发展新路径，为下一步在全省推广和复制提供重要的技术支撑。

本书由贵州省水利科学研究院张和喜、王永涛、李军、蒋毛席、付杰编著，参加编著的还有贵州省水利科学研究院雷薇、周琴慧、刘浏、胡玥和毛玉姣，贵州大学李家春、卢剑锋和陈跃威，重庆交通大学的杨璐瑶，沈阳农业大学基本建设处张宁宁，贵州省科技信息中心弓晓锋以及贵州省农业职业学院黄翠等，在此一并表示感谢！

由于作者的水平、时间和经费所限，本书介绍的成果仅是贵州山区现代水利自动化与信息化建设成就的主要方面，对许多问题的认识和研究还有待进一步深化，错误和不足之处敬请专家、同行、学者批评指正！

作 者

2016年12月于贵阳

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 系统的背景与意义	1
1.2 系统应用现状与发展趋势	6
1.3 系统主要内容	13
本章小结	13
第 2 章 系统关键技术	14
2.1 数据库技术	14
2.2 并发控制与恢复机制	16
2.3 公钥密码系统技术	17
2.4 系统网络架构	18
2.5 系统开发方法	20
本章小结	21
第 3 章 系统需求分析与总体设计	22
3.1 系统选点	22
3.2 系统需求分析	22
3.3 控制指标选取	23
3.4 系统总体设计	24
本章小结	27
第 4 章 系统主要硬件研制	28
4.1 上位机硬件研制	28
4.2 下位机硬件研制	34
4.3 外壳设计	42
4.4 抗风喷头的设计	44
本章小结	57
第 5 章 主要设备选型与配置	58
5.1 无线传感器网络	58
5.2 采集传感设备	59
5.3 水肥一体化系统	60

5.4 无线远传视频监控	61
5.5 泵房水池自适应控制	61
5.6 防雷设计	63
5.7 远程网络气象监测站	63
本章小结	66
第6章 太阳能供电功率核算	67
6.1 上位机太阳能部分的计算	67
6.2 下位机太阳能部分的计算	69
本章小结	71
第7章 系统主要作物灌溉制度研究	72
7.1 试验方案	72
7.2 作物需(耗)水规律	75
7.3 不同作物适宜的土壤水分控制阈值	107
本章小结	109
第8章 系统软件及控制方法	110
8.1 下位机软件设计	110
8.2 上位机软件的设计	117
8.3 系统主要功能模块设计及实现	132
8.4 无线通信的设计与实现	144
8.5 数据库系统设计与安全	144
8.6 控制方法的选取	147
8.7 用 MATLAB 模糊逻辑工具箱设计模糊控制器	151
本章小结	157
第9章 系统试验验证及应用示范	158
9.1 系统试验验证	158
9.2 系统应用示范	160
本章小结	164
第10章 现代水利自动化与信息化典型工程设计	165
10.1 总体设计	165
10.2 系统设备技术参数	178
10.3 监控中心管理系统	184
10.4 自动化与信息化系统概算	187
附录 思南县山区现代水利自动化与信息化工程量清单	189
参考文献	194

第1章 绪 论

1.1 系统的背景与意义

1.1.1 系统的背景

水是生产之要、生态之基、生命之源。对水资源的高效利用、合理开发和有效保护，关系我国经济社会的可持续发展。我国水资源利用中存在的主要问题之一是水资源短缺与浪费并存。我国农业灌溉用水占总用水量的 67% 左右，是节水潜力最大的领域。在农业领域中，灌溉用水大多采用人工管理，盲目性较大，水资源管理和区域配置不够合理，浪费非常严重。先进的农业节水自动化灌溉设施和信息化管理系统仅仅停留在理论研究阶段和示范点的建设阶段，大面积推广和应用不足。同时现有灌溉设施和新产品种类较少，难以适应灌溉需求；灌溉形式单一，灌溉用水量无法满足作物自适应需求，不利于作物的优质、高产；坡地高低不平，喷灌设备难以应用；部分地区供电设施匮乏和用电困难，难以实现灌溉自动化。

水利自动化与信息化系统属于水资源管理与高效技术领域。党中央、国务院高度重视水资源管理问题，近年来采取了一系列重大战略举措切实推动水资源管理工作。2011 年《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》和中央水利工作会议明确提出实行最严格水资源管理制度，把严格水资源管理作为加快转变经济发展方式的重要举措。2012 年《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》对实行最严格水资源管理制度作出了全面部署和具体安排，明确了最严格水资源管理制度用水总量控制、用水效率控制、水功能区限制纳污“三条红线”和相关制度措施要求。党的“十八大”把生态文明建设纳入中国特色社会主义建设总体布局，把实行最严格水资源管理制度作为生态文明建设的重要内容，提出要通过加强水源地保护和用水总量管理，推进水循环利用，建设节水型社会；通过完善最严格水资源管理制度，全面促进资源节约，大幅降低能源、水、土地的消耗强度，提高利用效率和效益。

2013 年，党的十八届三中全会对资源环境等领域的改革提出了明确要求，将水资源管理、水环境保护、水生态修复、水价改革、水权交易等纳入生态文明制度建设的重要内容，明确了改革的要求。2013 年，国务院发布了《实行最严格水资源管理制度考核办法》，明确了实行最严格水资源管理制度的责任主体与考核对象，以及各省（自治区、直辖市）水资源管理控制目标，标志着我国最严格水资源管理责任与考核制度的正式确立。2014 年，水利部、发展和改革委员会等十部委联合印发了《实行最严格水资源管

理制度考核工作实施方案》，全面启动了实行最严格水资源管理制度考核工作。

2015年3月，习近平总书记在中央财经领导小组第五次会议上就我国水安全战略发表了重要讲话，提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水新思路，以系统思维统筹推进智能节水灌溉发展，准确把握节水优先的根本方针，充分发挥智能灌溉的先进作用，促进农业节水增效；同时把握空间均衡的重大原则，统筹考虑农业生产和工业化、城镇化以及生态环境用水需求，通过智能灌溉、智能决策提高用水效率，提升水资源、水生态、水环境的承载能力；其次是要把握系统治理的思想方法，把智能灌溉、智慧农业作为当前水利改革的重大举措，系统谋划治水、兴水、节水、管水各项工作。

水利部党组高度重视，积极谋划，狠抓落实，认真贯彻落实中央关于推进水资源管理工作的重大决策部署，各级水资源管理部门开拓创新，全力实施。2012年，水利部印发了《落实〈国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见〉实施方案》，细化了工作任务，落实措施要求，明确责任分工。2013年，水利部印发了《关于加快推进水生态文明建设的意见》，对水生态文明建设进行了全面部署，并启动了水生态文明项目工作。2014年1月，水利部印发了《关于深化水利改革的指导意见》，再次明确要求落实和完善最严格水资源管理制度。2014年，水利部联合有关部委联合印发了《水利部、国家发展和改革委员会、工业和信息化部、财政部、国土资源部、环境保护部、住房和城乡建设部、农业部、审计署、统计局关于印发〈实行最严格水资源管理制度考核工作实施方案〉的通知》，正式明确了考核工作的具体方案。

水利自动化与信息化系统同时也属于农业现代化技术领域。2015年2月1日，中央发布《关于加大改革创新力度加快农业现代化建设的若干意见》，其主要内容有：加快转变农业发展方式；加大惠农政策力度促农民增收；深入推进新农村建设；全面深化农村改革；加强农村法治建设等方面。其中指出要“加快大中型灌区续建配套与节水改造，加快推进现代灌区建设，加强小型农田水利基础设施建设”“大力推广节水技术，全面实施区域规模化高效节水灌溉行动”“建立全程可追溯、互联共享的农产品质量和食品安全信息平台”“强化农业科技创新驱动作用，加快农业科技创新，建立农业科技协同创新联盟，依托国家农业科技园区搭建农业科技融资、信息、品牌服务平台。支持农机、化肥、农药企业技术创新”等发展要求。

中共贵州省委十一届二次全会提出推进“5个100工程”重点发展平台建设，其中包括100个现代高效农业示范项目区建设。贵州省第十二届人民代表大会第一次会议通过的《政府工作报告》指出，要重点打造100个现代高效农业示范项目区。到2017年，100个现代高效农业示范项目区实现规划设计科学、产业特色鲜明、基础设施配套、生产要素集聚、科技含量较高、经营机制完善、产品商品率高、综合效益显著，成为做大产业规模、提升产业水平、促进农民增收、推动经济发展的“推动器”和“发动机”。

贵州现代山地高效农业示范园区是现代农业的展示窗口，是农业科技成果转化的孵化器，是生态型安全食品的生产基地，是现代农业信息、技术、品种的博览园，是提高

农村经济效益和农民收入的必然选择。现代农业项目区以环境优美、设施先进、技术领先、品种优新、高效开放为特点,代表现代和谐农业的发展方向,是实现社会主义新农村建设的亮点工程。但总体而言,贵州现有山地种植技术落后、管理制度不健全、灌溉方式粗放、效率低下、资源浪费严重等问题与目前国家迫切的土地需求、新建大型农田灌区节水灌溉智能化的需求日益矛盾。山地灌溉一直是制约贵州农业发展大步向前的一个瓶颈,山地水资源缺陷和水利设施配套不完善等问题尤为突出,发展以智能灌溉技术为核心的现代农业技术体系意义重大。

贵州省委在 2014 全省半年经济工作会议上指出,滴灌、喷灌等节水农业技术特别适用于山区,要大力推广滴灌、喷灌等节水技术,发展山地现代高效农业。贵州省 2015 年《政府工作报告》和贵州农业工作会议在部署 2015 年“四大”重点任务时,都明确规定:大力发展以绿色有机无公害为标准的现代水利自动化与信息化技术、大力推广水肥一体化技术、大力发展农业领域电子商务、促进 100 个现代高效农业示范园区增产增效等。

贵州省也相应出台了《贵州省人民政府关于实行最严格的水资源管理制度的意见》(黔府发〔2013〕27 号)、《省人民政府办公厅关于印发〈贵州省实行最严格水资源管理制度考核暂行办法〉的通知》(黔府办函〔2014〕88 号)。为进一步贯彻落实相关文件精神,促进全省最严格水资源管理制度体系的确立,充分发挥水资源费成为开展水资源管理工作重要资金来源支撑的作用,贵州省水利厅发出了《省水利厅关于做好省级水资源项目储备工作的通知》,要求各水行政主管部门围绕最严格水资源管理制度建设和水生态文明建设内容,建设规范严格的水资源管理体系,确保水资源开发利用和节约保护主要目标的实现,积极开展水资源费项目的储备工作。

1.1.2 系统的意义

人多水少、水资源时空分布不均,与生产力布局不相匹配,是我国的基本国情和水情。随着我国人口的不断增长、经济持续快速发展、工业化和城镇化进程的不断加快以及人民生活水平的逐步提高,长期以来形成的水资源过度开发、粗放利用、污染严重、生态退化的状况仍未得到根本改善。特别是在全球气候变化和人类活动的双重因素制约下,水资源问题已成为制约经济社会可持续发展的主要瓶颈。

水利自动化与信息化技术是一个多种学科交叉、多种高科技领域综合的技术体系,它涉及力学、水利工程、农业工程、机械工程、化学工程与技术、材料科学与工程、作物学、农业资源利用、控制科学与工程等 10 多个学科及水利、土壤、作物、化工、气象、机械、计算机等多个行业研究领域和应用。经过多年探索和实践,我国在水源开发与优化利用技术、节水灌溉工程技术、农业耕作栽培节水技术和节水管理技术等方面基本形成了适合我国经济情况和农业特点的节水灌溉技术体系,节水灌溉技术日趋成熟,大面积推广上达到了经济性可接受程度。但是,节水灌溉技术还存在一定不足,在技术创新方面还需进一步突破。体现在信息化领域具体为要综合应用卫星定位技术、遥感技

术、计算机控制技术和自动测量技术,及时掌握区域作物需水精确变化数据,适时确定需水量和时间,按作物需水规律优化供水方案。体现在灌溉设施生产领域具体为加强高效低耗灌溉产品新材料及生产工艺设备的研究。

贵州拥有得天独厚的地理优势,是建立绿色无公害农产品生产基地的理想场所,但贵州传统山地农业普遍存在自动化程度低、水肥一体化水平落后、水资源利用率低、信息化普及程度低等问题,导致贵州农业处于全国落后的局面。

因此,要想抓住发展机遇,改变现状,当务之急是必须在贵州尽快开展现代山地农业智能灌溉关键技术研发与示范,从山地智能节水灌溉和施肥应用等现代农业技术研究入手,达到节约用水、节约肥料、节约劳动力等目的,提升水、肥利用率,提高土地产出率,提高农民收入和农业综合效益等目标,并逐渐推广,形成规模化应用与示范,通过互联网信息平台 and 大数据技术,打造绿色农产品、特色经济作物的全生育期控制与追溯,推动贵州现代水利自动化与信息化技术发展,构建全国性山地现代高效农业示范。

物联网技术是在互联网的基础上发展起来的一种信息交换和通信网络技术,该技术通过各种信息传感设备以达到通过互联网对各种物品进行智能化管理、识别和监控等能力。随着农业技术中智能化和精确化设备的发展,各种智能传感仪器、嵌入式微处理器等设备逐渐投入到农业领域中,加快了物联网技术在农业中的应用。例如,在农田中布置无线传感器网络以及一些自动化智能化设备可以实现远程对农田信息的实时监测和控制,保证农作物的科学合理生长,大大减少了各种人力资源的消耗,改变了传统农业生产方式,提高了农业发展的速度。此外,各种物联网技术在农业中的应用,对于提高农作物的品质和产量、改善农作物生长环境、提高对自然灾害的抵御能力以及保证种植土壤的产出率等都有明显的帮助。农业物联网技术在农业领域中的应用逐渐成为新时代农业现代化水平的标志。各国通过发展物联网技术在农业中的应用,已达到对传统农业技术的升级,并为各国农业技术之间的交流提供了更高层次的平台。

在农业物联网技术领域已经开展了不少项目的研究,例如,对土壤墒情的监测并建立农作物专家系统,可指导农作物的耕种方式;对粮食生长过程的信息监测,能为粮情监管部门提供有效数据进行分析,从而制定粮食安全保护政策;对农业大棚环境实现自动化管理和对土壤温度、湿度的监测,实现智能灌溉功能,有利于发展大棚种植经济;通过物联网共享平台技术的发展以及智能手机技术的应用,农民可以使用智能手机实时获取农作物生长过程中的指导信息以对农作物进行管理,也可以使用计算机在室内进行对种植物的灌溉、施肥等环节的自动化管理,并可以使用不同的管理方式获取不同品质的种作物。随着国家对物联网研发的重视,开展对物联网中关键问题的研究和突破相关技术难点,都有助于加速物联网技术在实际过程中的应用。

农业物联网技术中仍然存在以下相关难点:

(1) 农业领域智能传感器的成本问题。目前,应用于农业环境中采集各种墒情的传感器和信息传输设备价格比较昂贵,例如,若按批量(100万个)采购,每个应用在农

产品供应链上的电子标签售价约为 14 美分/个, 还不包括配套基础设施(射频识别技术阅读器等)的建设。并且大部分农产品的本身价值并不高。因此, 目前射频识别技术(RFID) 仅仅实施在某些价值很高的农产品上, 尚不能推广到所有环节。

(2) 传感设备和控制系统的功耗问题。在大规模的农产品种植场所铺设各种传感设备以及自动化装置需要提供电能, 例如, 在农田搭建无线传感器网络就需要布置大量的传感器节点, 由此带来的分布式电源供应问题则日益突出。因此如何降低各传感设备的功耗问题将是发展农业物联网技术的难点。

(3) 大量农业信息传输和汇聚问题。农业物联网技术具有信息量大、时效性强等特点。若要对农业监测区域的各种信息采集, 就需要大量的传感器节点。例如, 在农田布置 ZigBee 微处理器时, 就需要布置各种传感器节点、中间节点、汇聚节点, 汇聚节点和中间节点, 需要汇集大量的传感数据, 而这些微控制器在数据计算、数据存储以及数据通信领域均存在局限性。因此, 如何管理各种数据的高效传输和提高各监测仪器的协作性等问题都需要进行更深层次的研究。

通过以上对农业物联网技术的分析以及贵州农业现状的特点可以看出, 在物联网技术飞速发展的新时代, 作为科研院所与高校应该加强关于物联网技术与本地实际农业发展的协作研究。本系统结合国内外各农业设施生产单位研发的农业装备特点, 研发适宜本地的农业发展设施, 建设喀斯特坡地地区农业物联网技术试验基地。通过结合国际农业物联网技术的发展动态, 实现促进农业技术由传统技术过渡到物联网技术的阶段, 综合提高喀斯特坡地地区农业技术的管理水平。本系统同时针对农业、园林及烤烟等作物灌溉的特点, 在充分吸取消化国外节水前沿技术的基础上, 对节水灌溉的关键技术、装备和产品进行系列化和产业化研究, 以微灌、喷灌和渗灌、滴灌为重点, 构建“贵州山区现代水利自动化与信息化系统”新技术体系, 研发新体系下新型节水灌溉自动化设备和产品, 构建自适应节能节水灌溉示范基地, 促进贵州省农业节水领域自动化、精确化等技术水平的提高和跨越式发展, 实现节约能源、劳动力、水资源的目标, 为实现贵州省农业现代化提供技术支撑。具体来说, 系统应用高效太阳能与光机电一体化、比例积分微分(PID)、模糊控制等技术, 研制节水节能的全自动灌溉设备, 以解决园林、农业自动控制程度低、用电不便和管理、维护困难等问题, 实现园林、农业的高效节能节水与自动化灌溉。

系统以国内水利自动化与信息化技术的技术问题破解需求为导向, 引进、吸收国外水利自动化与信息化技术的技术优势, 结合我国现代山地农业灌溉和特色农作物的水肥需求等特点进行集成创新, 突破发达国家的技术堡垒, 在实现水肥一体化关键装备国产化、大幅降低成本的同时, 提高产品性能, 形成一批拥有自主知识产权, 并进行应用和示范, 达到辐射影响周边的应用示范效果, 实现节水、节地、节肥。同时, 结合高效灌溉新技术、新产品, 运用信息技术、生物技术促进农作物产量和质量的提高, 保障特色农产品和食品的安全及质量, 提升特色农产品和食品市场竞争力, 对于推动贵州省农业现代化的进程十分必要。

1.2 系统应用现状与发展趋势

1.2.1 国外应用现状

国外节水灌溉自动化发展较早,水平较高。美国在1996年开发了Agrimate自动灌溉系统,集灌区雨量监测、水池水位监测、水泵启停、变频调速、阀门开度等信息采集和自动控制于一体,并与决策支持的数据库系统配合使用。目前,该系统已在农业生产中发挥重要作用。日本几乎所有灌区都实行自动化动态管理。以色列的农业管理者在家中就可以完成农业灌水时间、灌水量的远程控制,还可根据灌溉历史数据分析未来作物的需配水规律,水资源的利用效率很高。这些国家目前广泛应用计算机控制、模糊控制和神经网络控制等技术,控制精度、智能化程度和可靠性不断提高,操作也越来越简便。

发达国家都把发展节水高效农业作为农业可持续发展的重要措施,始终把提高灌溉(降)水的利用率、作物水分的生产效率、水资源的再生利用率和单方水的农业生产效益作为研究重点和主要目标。从最早的水力控制、机械控制,到后来的机械电子混合协调式控制,再到目前广泛应用的计算机控制、模糊控制和神经网络控制等,控制精度和智能化程度越来越高,可靠性越来越好,操作也越来越简便,其中比较有代表性的国家有美国、以色列、澳大利亚等。

1. 在节水灌溉方面

(1) 美国。高效节水农业灌溉技术的发展取决于国家的政策。美国对农业采取强有力的保护政策,联邦以及州政府都尽可能地降低农业生产成本,比如水价,美国主体水利工程,诸如水库、主干渠道等的投入都由政府承担,且工程建成后,不计入水成本,因此美国的农业水价不高。

美国农业灌溉的节水主要是针对输水、灌水、田间3个环节,地面灌溉特别强调通过提高田间入渗均匀度,实现节水,同时做到输水管道化。地面灌水技术在美国农业灌溉中占主导地位,60%以上的农业灌溉采用这种灌水技术,其方法主要有沟灌、畦灌。美国的沟灌与畦灌是经过技术改良的,它融合了现代最新技术成果与科研成就,所以传统的灌溉方法在美国仍然具有较高的科技含量。无论是沟灌还是畦灌,其田间大部分都是采用管道输水,水通过管道直送沟、畦,因此,输水过程的水损失相当少。田间通过应用激光平整、脉冲灌水、尾水回收利用等技术,灌水均匀度很高,水流均匀入渗,从而提高了灌水效率。输水防渗、田间改造以及相应的配套设备,构成了美国地面灌溉节水的3个核心内容。

美国特别重视微灌系统的配套性、可靠性和先进性的研究,将计算机模拟技术、自控技术、先进的制造成模工艺技术相结合开发出了高水力性能的微灌系列新产品、微灌系统施肥装置和过滤器。喷头是影响喷灌技术灌水质量的关键设备,世界主要发达国家

一直致力于喷头的改进及研究开发,其发展趋势是向多功能、节能、低压等综合方向发展。美国先后开发出不同摇臂形式、不同仰角及适用于不同目的的多功能喷头,具有防风、多功能利用、低压工作的显著特点。

从世界范围看,美国在灌溉农业中,25%的玉米、60%的马铃薯、32.8%的果树采用水肥一体化技术。

在水管理节水技术方面,美国将作物水分养分的需求规律和农田水分养分的实时状况相结合,利用自控的滴灌系统向作物同步精确供给水分和养分,既提高了水分和养分的利用率,最大限度地降低了水分养分的流失和污染的危险,也优化了水肥耦合关系,从而提高了农作物的产量和品质。美国已大量使用热脉冲技术测定作物茎秆的液流和蒸腾,用于监测作物的水分状态,并提出土壤墒情监测与预报的理论和方法,将空间信息技术和计算机模拟技术用于监测土壤墒情。

(2) 以色列。真正的计算机控制灌溉源于以色列,该国最初把自动化控制技术应用到灌溉中的原因是:一方面,以色列是一个极其缺水的国家,从自然条件上讲必须发展节水农业;另一方面是出于安全的考虑,以色列人想通过自动化控制技术在家里控制农田灌水,减少由于武装冲突带来的危险。最初的灌溉控制器是一个简单的定时器,这可以看做是灌溉控制自动化的第一阶段。随着控制技术、传感器及水的发展,以色列开发了现代诊断式控制器,这种控制器通过不同的传感器获得以前不能采集到的信息,通过互联网、远程控制、全球移动通信系统(GSM)等来实现数据传输,然后通过计算机中的一些模型来处理信息,做出灌溉计划。

以色列主要采用滴灌和喷灌系统,每个系统都装有电子传感器和测定水、肥需求的计算机,操作者在办公室内遥控,且施肥和灌溉可同时进行。滴灌系统是通过塑料管道和滴头将水直接送至需水的作物根部,可以用少量的水达到最佳的灌溉效果,减少了田间灌溉过程中的渗漏和蒸发损失,使水、肥利用率达到80%~90%,农业用水减少30%以上,节省肥料30%~50%。在缺水的地区,滴灌能使荒地、废地变成高产区。此系统不但适合于年降雨量特别少和无雨,但却有相对大量的水源如自流井或河流的地区,也适用于那些雨量充足的地区。滴灌可以经济地利用水,并降低生产成本。滴灌系统适用于干旱地区、雨量充足的地区以及气候恶劣、广泛应用塑料大棚和温室的地区。目前,以色列全国有25万 hm^2 的灌溉面积已全部实现喷灌、滴灌化。

以色列90%以上的农业实现了水肥一体化技术,从一个“沙漠之国”发展成了“农业强国”。

(3) 澳大利亚。澳大利亚土地资源丰富,但严重缺乏水资源,主要水源为河水和水库。农业区均沿着河流分布,水资源是灌溉农业的命脉。在农业节水灌溉技术方面,首先是改进地面灌溉技术,提高用水效率,如渠道管道化、精确平地、土壤水分含量自动测定等。大力推行节能省水的滴灌和微喷技术,所有新建果园必须采用滴灌灌溉方式,喷灌向节能、节水方向发展。

在水管理节水技术方面,目前澳大利亚已将3S[遥感技术(RS)、地理信息系统

(GIS) 和全球定位系统 (GPS)] 和信息管理技术应用于农业灌溉, 这包括在水分监测、水分利用评估、管理风险及水资源利用对环境和自然资源的影响等方面的应用, 如通过土壤水分监测, 分析土壤水分状况和作物需水情况, 确定适宜的灌溉时间、灌水定额, 以提高水利用率。

2. 在农业互联网方面

美国和欧洲在农业资源监测和利用领域主要利用资源卫星对土地利用信息进行实时监测, 并将其结果发送到各级监测站, 进入信息融合与决策系统, 实现大区域农业的统筹规划。例如, 美国加州大学洛杉矶分校建立的林业资源环境监测网络通过对加州地区的森林资源进行实时监测, 为相应部门提供实时的资源利用信息, 为统筹管理林业提供支撑。

在农业生态环境监测领域, 美国、法国和日本等一些国家主要综合运用高科技手段构建先进农业生态环境监测网络, 通过利用先进的传感器感知技术、信息融合传输技术和互联网技术等建立覆盖全国的农业信息化平台, 实现对农业生态环境的自动监测, 保证农业生态环境的可持续发展。例如, 美国已形成了生态环境信息采集-信息传输处理-信息发布的分层体系结构; 法国利用通信卫星技术对灾害性天气进行预报, 对病虫害进行测报。

在农业生产精细管理领域, 省大田粮食作物种植精准作业、设施农业环境监测和灌溉施肥控制、果园生产不同尺度的信息采集和灌溉控制、畜禽水产精细化养殖监测网络和精细养殖等方面在美国、澳大利亚、法国、加拿大等一些国家应用广泛。例如, 2008年, 法国建立了较为完备的农业区域监测网络, 指导施肥、施药、收获等农业生产过程; 荷兰 VELOS 智能化母猪管理系统在荷兰以及欧美许多国家得到广泛应用, 能够实现自动供料、自动管理、自动数据传输和自动报警; 泰国初步形成了小规模的水产养殖互联网, 解决了 RFID 技术在水产品领域的应用难题。

国外在农业环境监测技术上的研究一直领先于中国, 其中最具有历史革命意义的是 1949 年在美国加州的帕萨德那技术中心美国植物学家与园艺学家温特建立了世界上第一座“人工气候室”, 这个人工气候室能够采集现场信息并进行显示、记录, 能够控制环境中光照、温度、土壤湿度和气体成分。目前世界各国的温室控制技术发展迅速, 一些国家已经实现了自动化, 并在此基础上又朝着完全智能化、无人化的方向发展。

一方面, 以计算机为代表的信息技术不断发展与普及, 使自动化智能化水平不断提高。例如, 日本将各种作物不同生长发育阶段所需要的环境条件输入计算机程序, 这样, 当其中任一环境因素发生改变时, 其余因素即可根据计算机程序自动作出相应的调整或修正, 使各个环境因素随时能够处于最佳配合状态。又比如, 以设施园艺著称的荷兰, 其先进的鲜花生产技术闻名世界, 荷兰用于培植鲜花的玻璃温室全部由计算机操作。希腊 Loukfarm 公司研制的温控系统由三部分组成, 包括即控制气候状况的计算机、营养液控制系统和气象站, 该系统连接到装有控制软件的计算机, 可以对数据的采集处理进行远程控制, 这里由机电设备来保证控制温室单元环境参数的精确性和有效

性。此外,一些国家如奥地利、美国、日本等已经拥有世界上最高科技的植物工厂,其采用完全封闭的生产形式,既可以自动控制也可人工控制,但基本以计算机控制为主,利用机器人或机械手进行播种、施肥、采收等。

另一方面,无线通信技术的迅速发展使农业技术与无线相结合,不断扩展新技术。英国 Wireless System 公司研究推出了一系列无线通信监控设备,针对分布较分散广阔的花园温室系统、加热和通风控制系统、储藏室无线霜冻警报系统、便携的无线电视系统、远程无线洒水系统等。美国霍尼韦尔和美新半导体公司联合搭建的无线传感器平台,在每个温室都组建一个无线传感器网络,网络中采用不同的传感器测量节点和具有简单执行控制的节点,其中节点用来测量土壤湿度、土壤成分、pH 值、温度、空气土壤湿度、气压、光照强度和 CO_2 浓度等数据,以便知道温室中的环境状况,同时将生物信息获取方法应用于无线传感器节点,为对温室环境进行适当的调控提供科学依据。温室控制现在正向着规模化集约化的方向发展,通信技术的迅猛发展为其提供了重要的支撑。目前许多高效的温室环境控制管理系统都与通信技术相结合,成为普遍应用的方式。国外利用先进的嵌入式技术,结合 GPS、GIS 技术和通信技术已经开发出一系列成熟的产品,广泛应用于远程监控、农业监测等各行各业。

1.2.2 国内应用现状

中国在节水灌溉自动化系统方面的研究总体水平不高,还处于研制和探索阶段。目前,使用的大多数节水灌溉自动化系统都是引进国外技术,未充分考虑中国国情,无法充分发挥它的优势,且价格和维护成本较高,长期投入和大规模使用的较少。国内研制的控制器控制对象较为单一,功能还不够完善,稳定性还有待提高。

中国研制了地面监测站和遥感技术结合的墒情监测系统,建立了农业部至各省、重点地县的农业环境监测网络系统等一批环境监测系统,实现了对农业环境信息的实时监测。例如,中国每年通过农业环境监测网络开展农业环境常规监测工作,获取监测数据 10 万多个;融合智能传感器技术的墒情监测系统已在贵州、辽宁、黑龙江、河南、江苏等省推广应用。

最近 10 年来,中国农业产生了提高设备装置水平的要求,伴随着中国逐步实现自动化的脚步,温室控制技术发展的突出表现也令人眼前一亮。中国近代温室在 20 世纪 30 年代便初见端倪,一直到 20 世纪 70 年代末和 80 年代初大规模的温室生产才开始普及,之后在温室配套设施的生产、科研和普及等各个方面得到了较大的进步。近年来,中国可控环境农业展开了大量信息技术研究和应用,基本以环境控制、信息采集、系统模拟为主线,这对提高可控环境农业的技术含量,促进升级换代起到了重要作用。“十五”期间,以一些高校或科研院所为代表,例如中国农业科学院、中国科学技术大学、国家农业信息化工程技术研究中心即北京农业信息技术研究中心等,在计算机系统软硬件的综合控制、温室专用类型传感器及温室作物模拟系统研究开发方面花了大量心血。

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所可控环境农业试验室联合开发研制了

基于互联网和 RS-485 总线的温室环境监控系统, 该系统采用 ASP.NET 技术规范构建了 Browser/Server (B/S) 模式下的远程监控系统。经过实际应用, 该系统取得了一批具有自主知识产权的技术产品和科研成果, 使中国可控环境农业综合控制与管理水平得到较大的提高。

中国农业大学研制的温室环境监控系统包括主控微机、温室机和室外气象站三大部分。其中, 主控微机用于控制机房, 统一管理整个系统, 包括完成各种系统参数的设置、控制算法的实现、控制命令的生成、测试数据的记录、查询、打印等功能。系统在每个独立的温室都放置一套监控设备, 包括 1 台温室机、控制设备和摄像镜头, 可以将温室内作物的生长状况实时发送到监控现场, 以实现对其温室环境的监测控制。

从传输技术方面来看, 目前农业参数的采集大都采用有线网络或无线网络的方式。

(1) 有线网络方式。作为一个发展中国家, 中国硬件设施不够完善, 通信相对落后, 且大多温室环境地域范围较小, 无需太多监测点, 因此, 利用有线网络方式进行监测仍是不少地区应用的主要方式。但随着农业技术的飞速发展, 出现了很多大型的温室, 一些连栋温室面积可达上万平方米, 监测点数量也成百上千。各地越来越多的大型植物园也将植物栽培与观光业结合起来, 占地更广, 也更加注重外观的构建, 利用有线方式获取农业信息的局限性就越来越明显。农业环境一般地处偏僻, 通信落后, 有线方式成本高昂, 布线烦琐, 造成实际实施能力弱, 应用性较低。

(2) 无线网络方式。无线通信的迅速发展以及物联网的出现都为组建无线网络提供了重要的支持。基于若干传感器组建的无线网络在工业、农业等领域中也逐渐成为研究的热点方向。无线网络具有组网方便、成本投入低、效率高等诸多优点, 更适合分布广泛、地形偏僻的农业环境, 将越来越智能化、自动化的农业技术与通信技术相结合是科技发展的必然趋势, 在实际中具有广泛的应用价值。

1) 农业灌溉自动化与信息化存在的问题。中国农业灌溉用水占全国总用水量的 67% 左右, 是节水潜力最大的领域, 节约灌溉用水对我国实施可持续发展战略具有重要意义。目前, 多数灌区存在严重的用水不足问题, 究其原因, 在于管理体制陈旧、水的利用率不高以及节水意识不强, 使得灌区农田不能在有限的灌溉用水的前提下, 获得最高的农作物产量, 取得最高的经济效益。因此, 在灌区发展自动控制节水灌溉技术是非常必要的。而且随着中国农业现代化进程的加快、农业结构的调整, 中国对农业灌溉自动化技术的要求会越来越高。

高效节水灌溉技术在中国的推广应用仍然非常滞后。中国各地水资源缺乏矛盾日益突出, 发展高效节水灌溉技术成为现代农业发展的重要方向, 国内灌溉技术经过 20 年的发展, 已形成一定规模, 但与国外相比, 国内采用喷灌、微灌和管道输水等先进节水灌溉技术的比例还很低, 其中喷灌、微灌面积不足全国有效灌溉面积的 5%, 同时存在着节水灌溉设备质量差、配套水平低, 技术创新与推广体系不健全等问题。全国有效灌溉面积 95% 以上的地面灌溉普遍存在着土地平整精度差、田间工程不配套、管理粗放的问题。灌溉用水管理技术落后, 信息技术、计算机技术、自动控制技术等高新技术在