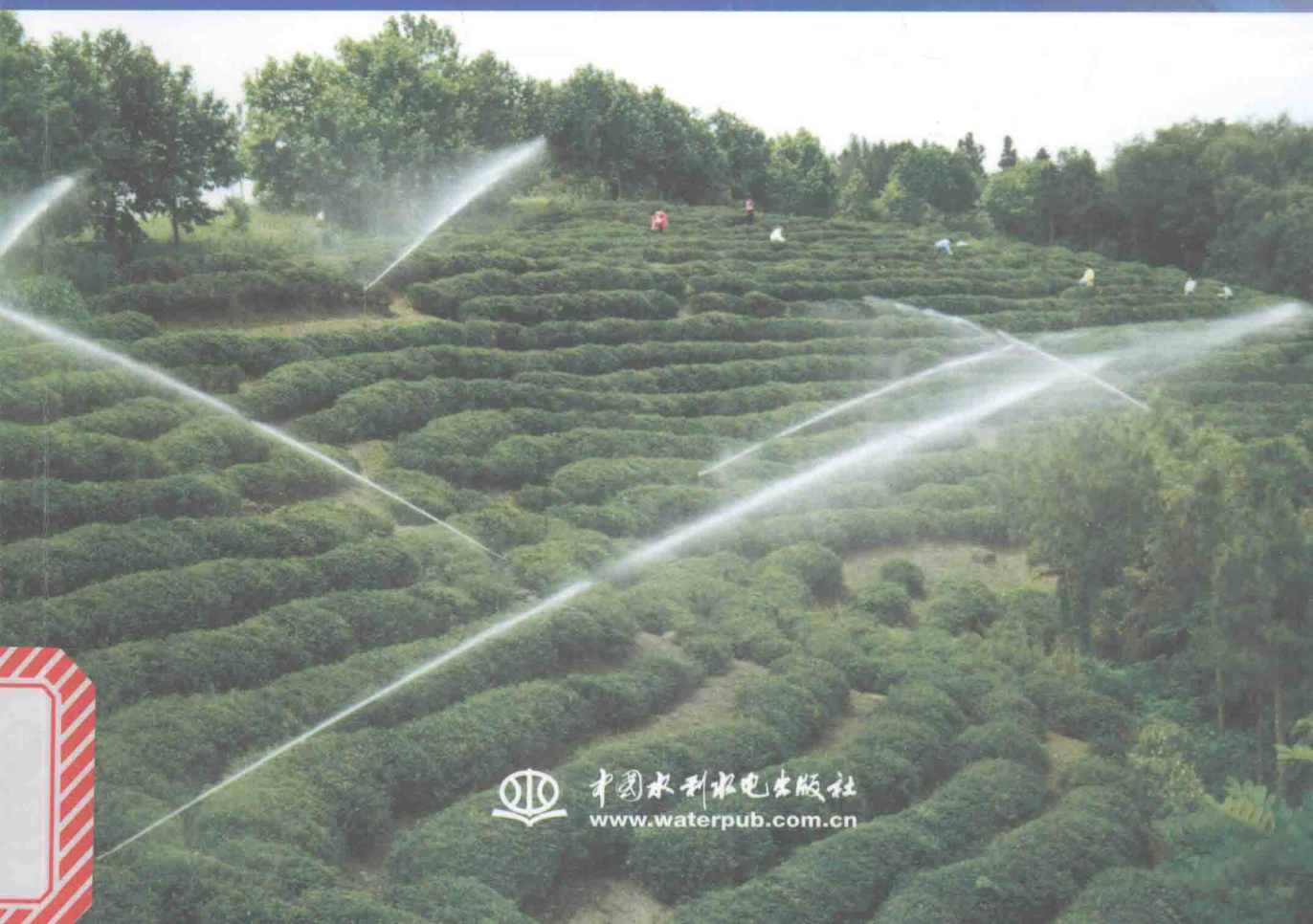


灌溉现代化

水管理关键技术与设备研发

谢崇宝 张国华 崔远来 罗玉峰 蔡守华 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

灌溉现代化 水管理关键技术与设备研发

谢崇宝 张国华 崔远来 罗玉峰 蔡守华 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

灌溉现代化是农业现代化的重要组成部分。本书围绕灌溉现代化这个核心,提出了灌溉现代化的定义、核心理念、基本特征、评价标准和表现形式,重点关注灌溉现代化水管理关键技术及设备研发,不涉及灌区管理体制、运行机制和水价改革等内容。本书围绕灌溉现代化主题,在水源配置、渠系配水、田间灌水和灌溉管理四个方面,重点开展灌溉水源优化调度技术、渠系水量优化配置技术、灌溉需水预报技术、灌溉用水决策支持系统等四项技术的研究,同时开展渠系水量监测设备、渠系水量控制设备、水情信息传输设备、田间高效用水设备四项设备研发,构建了灌溉现代化水管理基本框架和“供水可靠化、调度灵活化、用水精准化、管理信息化”协同发展的灌溉现代化水管理技术模式,为推进灌溉现代化水管理工作提供实用的技术支撑。

本书可供从事灌溉工作的技术人员和管理人员阅读使用,也可作为高等院校相关专业的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

灌溉现代化水管理关键技术及设备研发 / 谢崇宝等
著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5170-5063-6

I. ①灌… II. ①谢… III. ①灌溉—农业现代化—水
资源管理—技术—研究 IV. ①S274②TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第317502号

书 名	灌溉现代化水管理关键技术及设备研发 GUANGAI XIANDAIHUA SHUI GUANLI GUANJIAN JISHU JI SHEBEI YANFA
作 者	谢崇宝 张国华 崔远来 罗玉峰 蔡守华 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 (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	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 11.75印张 279千字
版 次	2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	68.00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



前言

灌溉是农业生产不可或缺的基础条件，我国是一个人口大国，粮食安全始终是一个重大的战略问题。灌溉工程是保障国家粮食安全、改善农业生产条件、提高农民收入、保护和改善生态环境的重要基础设施。新中国成立以来，党和国家始终高度重视灌溉工作，团结和带领全国人民开展了大规模农田水利建设和一系列水利改革，不断完善灌排设施，不断提升灌溉管理水平，不断提高灌溉保障及支撑能力，为发展灌溉现代化奠定了坚实基础，为实现粮食连续增产发挥了重要作用。根据《全国现代灌溉发展规划（2012—2020年）》，到2020年农田灌溉水有效利用系数提高到0.55以上，灌溉面积达到11.00亿亩左右，其中农田有效灌溉面积达到10.01亿亩左右，全国水土资源配置与灌溉发展布局更趋合理，灌溉物质装备水平与科学技术水平明显提升，水土资源利用效率和效益进一步提高，改革与管理工作取得重大进展，灌区生态文明建设有效推进，灌溉对小康社会建设和美丽田园建设的保障能力持续增强，灌溉现代化事业取得显著进展；到2030年农田灌溉水有效利用系数提高到0.60以上，灌溉面积达到11.40亿亩左右，其中农田有效灌溉面积达到10.30亿亩左右，现代灌溉、现代农业、美丽田园建设协同发展，基本完成已有灌区改造升级，新建一批现代灌区，全国基本实现灌溉现代化。

灌溉现代化是指通过技术设施革新和体制机制改革，不断提高灌溉供水服务的安全性、公平性、可靠性和灵活性水平，不断提高灌区劳动力资源和水资源的使用效率和效益，持续保障灌区节水省工增效的过程。从上述灌溉现代化定义可以看出，灌溉现代化是灌溉系统技术更新、管理水平提高及体制机制改革的过程，是由单纯供水向优质服务的转变过程，是传统水管理模式向现代服务模式的转变过程。灌溉现代化的根本目的是解放和发展生产力，就灌溉而言，其基本的生产要素包括“劳动力”和“水资源”，而且也不能因为灌溉导致区域的环境恶化，要开展灌溉现代化建设，必须坚持把“以人为本”、“节水优先”和“环境友好”作为核心理念。灌溉现代化是一个不断改进服务和提高效率的过程，“服务改善”“效率提高”和“运转持续”是灌溉现代化应有的基本特征。灌溉设施的更新改造、灌溉技术革新、体制机制改

革，其根本目标就是要为用水户提供更好的供水服务。就用水户而言，他们更关心供水服务质量的好坏，因此，灌溉现代化应以灌溉供水的“安全性”“公平性”“可靠性”和“灵活性”四个指标综合表征其实现程度。从整体上来看，要实现灌溉现代化，需要统筹协调水源配置、渠系调度、田间灌水和灌溉管理四方面的同步改进，构建“供水可靠化、调度灵活化、用水精准化、管理信息化”协同发展的灌溉现代化水管理技术模式，这四个环节体现了灌溉现代化水管理的主要表现形式，不可或缺，是实现供水服务安全性、公平性、可靠性和灵活性的重要载体。

水管理是灌溉现代化的重要内容，也是实现灌溉现代化的重要支撑。其主要内容应包括灌溉水源配置与保障、渠系水量调度、作物需水预报技术、田间灌溉技术和水管理决策技术五个方面。在水源配置与保障方面，主要从灌区整体上考虑供求关系，从供给侧看，包括灌溉水源供水容量大小及灌溉水质保障、灌溉调度规则及调度技术等；从需求侧看，包括经济结构和种植结构调整、节水灌溉技术的应用等；从供求协调上看，包括缺水条件下的水资源最优配置技术和最优种植模式等。在渠系水量调度方面，包括水量监测、控制、配置和信息传输等技术，旨在实现灌溉输配水的安全性、公平性、可靠性和灵活性，应以提高灌溉水利用率和效益为目标，重点研发成本低廉的水位监测设备、堰高可调的闸控设备、容量宽裕的通信设备以及减少水损的调度模型等。在田间灌溉技术方面，基于节水省工高效的精量灌溉要求，重点研发地埋式自升降取水设备、地埋式自升降一体化喷灌设备、地埋式自升降喷头关键设备等。在作物需水预报方面，基于适时适量精准供水的需求，重点研发简便、实用、精度高的作物需水预报技术，预报所需资料要少而易得，同时可实现预报信息的区域发布、定向发布和精准发布等。在灌溉现代化水管理决策方面，主要基于灌溉预报、渠系动态配水、用水信息管理等模块，研发能够指导灌溉的决策支持系统。

本书汇集了作者多年来在灌溉现代化水管理方面的深入思考、研究方法和主要成果。在灌溉现代化水管理研究方面，作者先后承担了“九五”国家科技支撑计划课题“田间节水灌溉新技术研究”、“十五”国家重大科技专项“渠道输水系统防渗抗冻胀新材料新设备与水量监控产品研制及产业化开发”、“十五”“863”专题“现代灌溉系统水量监测与调配技术及新产品”、“十一五”国家科技支撑计划课题“灌区用水管理及量水技术与产品开发”、“十二五”国家科技支撑计划课题“灌溉用水实时调控技术与方法”和水利部公益性行业科研专项“自驱动多功能高效节水灌溉关键设备研发”等项目，

这些研究成果为撰写本书奠定了坚实的基础，因此作者首先要真诚感谢先后合作过的各位同事和朋友，感谢他们的大力支持。在水管理关键设备研发的过程中，作者要特别感谢黄斌、曹宏伟、谢时友、董建幸、王全民等专家所做出的贡献；感谢周祖昊、尹正杰、高虹、鲁少华、白静、王旭、卢文娟、陈娟等为本书有关内容提供的宝贵支持。为便于读者更好地了解该领域的研究进展，本书还简要总结了其他相关研究成果，在此对这些文献的作者一并致谢！

灌溉现代化是一个不断发展的过程，相关理论、技术及设备也在不断完善与革新过程中，本书旨在探讨灌溉现代化的核心内涵，构建灌溉现代化水管理的基本框架，展示研究过程，提出研究思路和研究方法，但由于所涉及的行业跨度大，学科门类多，研究周期长，遇到的问题较为复杂，加上作者水平所限，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正！

作 者

2016 年 10 月



目录

前言

第1章 灌溉现代化的核心内涵	1
1.1 灌溉现代化的定义	1
1.2 灌溉现代化的核心理念	2
1.3 灌溉现代化的基本特征	2
1.4 灌溉现代化的表现形式	3
1.5 灌溉现代化的评价标准	3
1.6 灌溉现代化水管理关键技术	6
第2章 灌溉水源优化配置与保障关键技术	9
2.1 多目标水库优化调度自优化模拟技术	9
2.2 多作物灌溉供水量最优分配动态规划模型	16
2.3 多水源灌区供水与配水整合优化调度模型	21
2.4 多级别多目标水库供水调度规则	27
第3章 渠系水量监测关键技术及设备研发	33
3.1 灌区水量监测关键技术要素	33
3.2 直读式柱形量水槽研发	35
3.3 低成本磁感应浮子水位计研发	54
3.4 低功耗自记式浮子水位计研发	57
3.5 低功耗智能型自记式量水仪表研发	58
3.6 灌区水位测量记录设备安装技术	60
第4章 渠系水量控制关键技术及设备研发	64
4.1 灌区水量控制关键技术要素	64
4.2 自控闸门机械离合保护装置研发	67
4.3 底升式测控一体化闸门研发	69
4.4 活页式测控一体化闸门研发	71
4.5 太阳能驱动闸门控制系统研发	73
第5章 渠系水情信息传输关键技术及设备研发	76
5.1 信息传输关键技术要素	76
5.2 基于IPv6的数据传输模块研发	79

5.3 应用 GSM 公网组成区域水情监测信息系统的技术与设备	83
第 6 章 渠系水量调度关键技术	87
6.1 渠系水量调度关键技术要素	88
6.2 基于自由搜索算法的灌渠配水优化模型	89
6.3 基于粒子群优化算法的灌溉渠道配水优化模型	93
第 7 章 灌区作物需水预报关键技术	100
7.1 基于气温的 ET_0 预报	101
7.2 基于天气预报和 PM 公式的 ET_0 预报	111
7.3 基于天气预报和 HS 公式的作物需水量预报	118
第 8 章 田间现代灌溉关键技术及设备研发	124
8.1 田间现代灌溉技术分类	124
8.2 地埋式自升降取水关键设备研发	126
8.3 地埋式自升降喷头关键设备研发	137
8.4 地埋式自升降一体化喷灌设备研发	146
第 9 章 灌溉现代化水管理决策支持系统开发	154
9.1 实时灌溉预报及渠系动态配水模型	154
9.2 灌溉用水信息管理	160
9.3 灌区用水动态管理决策支持系统	165
9.4 系统应用及测试评价	172
9.5 小结	174
参考文献	175

第1章 灌溉现代化的核心内涵

现代化（Modernization）是以经济工业化和政治民主化为主要标志，是人类社会从传统的农业社会向现代工业社会转变的必经阶段。我国是一个农业大国，人口多、耕地少、水资源紧缺、水旱灾害频繁，特殊的气候、地理等自然条件以及社会条件决定了我国农业必须走灌溉农业的发展道路，因此，灌溉现代化（Irrigation Modernization）也是农业现代化的必然要求。根据世界银行和联合国粮农组织的研究，国际上一般认为，灌溉现代化指结合灌区管理体制和运行机制的改革，通过技术上和管理上的改进，提高灌溉系统效率和效益的过程，其根本目的是提高劳动力资源和水资源的使用效率和效益，改善灌区供水服务质量。灌溉现代化不仅包括渠道衬砌、建筑物更新、自动化设备配置、计算机网络链接等硬件设施的改变，也应包括灌区技术革新和管理水平提高，是由用水管理向供水服务的转变过程。

1.1 灌溉现代化的定义

所谓灌溉，就是按照作物生长需要，借助水利设施有计划地将水输送和分配到田间，以补充农田水分的人工措施。所谓现代化，是人类文明的一种深刻变化，其核心是生产力的解放。现代化既是进步，也是选择，更是淘汰。现代化是动态的，不是静止的；是一个过程，也是一种状态。因此，灌溉现代化也是一个过程，是一个不断改进的影响灌溉效率关键环节的过程，是一个不断提升劳动力资源和水资源使用效率的过程。

灌溉现代化与灌区现代化、现代化灌区、现代灌区、现代化灌溉、现代灌溉等既有区别又有联系。灌区现代化和现代化灌区包含了灌溉现代化，现代化灌溉和现代灌溉是灌溉现代化的一个重要组成部分，现代灌区包含了灌溉现代化的部分内容。因此，从整体上看，灌区现代化、现代化灌区、现代化灌溉、现代灌区、现代灌溉等概念，其核心为灌溉现代化。灌溉现代化是最基础的工作，从供求整体关系来看，灌溉现代化条件下的来水和需水应是可预测可调节的，应能得到可靠的保障，有适当的预测预报和调蓄调节能力；从配送具体过程来看，灌溉现代化条件下的配水和用水应是可监控可计量的，有适当的监测控制和精准投放能力。因此，灌溉现代化应展现“供水可靠化”“调度灵活化”“用水精准化”和“管理信息化”等主要表现形式。本书在总结前人工作的基础上，将灌溉现代化作如下定义。

灌溉现代化是指通过技术设施革新和体制机制改革，不断提高灌溉供水服务的安全性、公平性、可靠性和灵活性水平，不断提高灌溉劳动力资源和水资源的使用效率和效益，持续保障灌区节水省工增效的过程。

1.2 灌溉现代化的核心理念

灌溉现代化的根本目的是解放和发展生产力。就灌溉而言，其基本的生产要素包括“劳动力”和“水资源”，而且在开展灌溉的活动中，不能以牺牲环境为代价，反过来又影响人类的健康。因此，灌溉现代化必须坚持把“以人为本”“节水优先”“环境友好”作为其核心理念。

(1) 以人为本。实现灌溉现代化是解放和发展生产力的根本要求，追求以最少劳动力投入为用水户提供最优质供水服务这个根本目标，而且其服务质量应由用水户来评判。在全心全意为用水户服务的理念指导下，开展灌区的改造与改革，开展灌溉技术的选择与升级。这些改造既包括硬件的改善也包括管理体制和运行机制的改革，是一个不断改进服务的过程，从这个意义上讲，单纯的节水技术不再是灌溉现代化的全部，灌溉现代化必须是解放生产力的，必须是节约劳动力的，因此，灌溉现代化必须坚持“以人为本”的核心理念。

(2) 节水优先。实现灌溉现代化的基本要求是节水，从观念、意识、措施等各方面都要把节水放在优先位置。坚持节水优先，深挖农业节水潜力，大力发展高效节水灌溉技术，积极推广节约用水的生产方式和消费模式。要积极推广低压管道输水、喷灌、微灌等高效节水灌溉技术、改进地面灌溉技术、节水型水稻控制灌溉技术，抓好输水、配水、用水全过程节水，摒弃大水漫灌等粗放型灌溉方式，实现水资源的优化配置和用水效率的提高，因此，灌溉现代化必须坚持“节水优先”的核心理念。

(3) 环境友好。灌溉现代化不是以牺牲环境为代价的现代化，而应充分坚持人与自然和谐发展的理念，按照生态规律办事，以维持生态系统的相对稳定及脆弱生态系统的自我修复使其良性循环为底线，创造出比自然生态系统有更高生产力的“人—社会—自然”协调发展的灌溉现代化。灌溉现代化追求的是生态与经济双赢，通过建设现代化的水利设施和良好的生态环境，使经济与生态形成合理、高效的良性循环，实现可持续发展，并为人们提供一个良好的生产和生活环境，因此，灌溉现代化必须坚持“环境友好”的核心理念。

1.3 灌溉现代化的基本特征

灌溉现代化是一个不断改进服务和提高劳动力效率及水资源效率的过程，因此，必须始终准确把握灌溉现代化的基本特征。

(1) 服务改善。从用水户的角度来看，灌溉现代化开展的一切活动均应能促进灌区供水服务质量的改善，这种改善可以通过一定的规则来定量或定性评价，其结果应是积极而正面的，也就是这种服务的改善是可以测量和感知的，能够为广大用水户所认可，也是广大用水户所期待的。

(2) 效率提高。从管理者的角度来看，灌溉现代化主要指劳动力效率和水资源利用效率的双提高，同样，这种提高应该是可以测量的，能够为广大用水户和灌区管理机构所认

可，而且这种效率提高的幅度应高于一定范围内的平均水平。

(3) 运转持续。从体制机制的保障措施来看，灌溉方式或技术的现代化必须满足技术经济的合理性，在没有外界干预或者特定环境下，能够自我维持良性发展，因此，可持续运行是灌溉现代化的又一重要特征。

1.4 灌溉现代化的表现形式

在开展灌溉现代化的建设过程中，必须自始至终坚持“以人为本、节水优先、环境友好”的核心理念，考察在多种措施的综合作用下，灌区是否具备“服务改善、效率提高、运转持续”的基本特征。但是如何实现灌溉现代化，则构建灌溉现代化的技术模式是十分必要的，这种技术模式具备“供水可靠化、调度灵活化、用水精准化、管理信息化”的特征，构成了灌溉现代化的重要表现形式。

(1) 供水可靠化。灌溉现代化必须要有稳定可靠的水源，它与控制的灌溉面积应是相匹配的，灌区内种植的作物及相应的灌溉定额也应是满足供求关系的，其设计理念应是以供定需。在水源优化运行的前提下，可通过调整区域经济结构和灌区种植结构，采用节水灌溉等措施，满足灌区控制范围内的用水需求。

(2) 调度灵活化。灌溉现代化必须要有灵活的调度手段。灌溉用水具有明显的季节性和气候性特点，尤其是干旱季节，来水少用水多，灵活的调度措施和高效的调度手段是确保灌溉现代化标准不降低的重要支撑，也是考验灌溉是否达到现代化的关键环节。灵活的调度措施应能够按照作物实时需水情况和灌区来水情况，有重点有次序的对灌区各类作物用水进行及时调配；高效的调度手段应能按照科学的调度规则，及时快速调度各类测控设施，依靠可靠的渠系网络，适时保障作物的用水需求。

(3) 用水精准化。灌溉现代化必须要做到将灌溉水适时适量精准送至作物根部。过多或过少、提前或滞后灌溉都不符合作物的需水规律，难以满足作物的用水需求，影响作物的产量和品质，因此在灌溉现代化的实施过程中，必须不断研发或改进已有的灌溉技术，大力推广和使用符合精准灌溉需求的新技术及新产品，确保灌溉水均匀、适量、及时送至作物根部，最高效地满足作物需水。

(4) 管理信息化。灌溉现代化必须要有简便快捷的管理手段。影响灌溉的因素很多，收集和管理众多的灌溉信息，是灌溉现代化的前提和基础，应用大数据和云平台等现代信息技术，分类管理各种信息，同时基于大量的信息监测和高效的信息分析，辅之各种数学模型，充分发挥现代信息技术的优势，实现灌溉决策的科学化和灌溉管理的高效化。

1.5 灌溉现代化的评价标准

灌溉现代化的出发点和最终目标就是通过设施的改造和体制机制的改革为用水户提供优质的服务。为评价灌溉现代化对提高供水服务质量的影响，本书提出采用灌溉供水的安全性、公平性、可靠性和灵活性四个指标来衡量灌溉现代化的实现程度。要实现灌溉现代化，实现灌溉供水服务的安全性、公平性、可靠性和灵活性，需要从“灌溉水源”“渠系

配水”“田间灌水”和“灌溉管理”四个方面同步改进，这四个环节构成了灌溉现代化的完整过程，不可或缺。灌溉现代化的基本框架，见图1-1。

(1) 安全性。是指灌溉对象不会因供水系统的修建和运行面临不安全的潜在威胁。在整个灌溉区域涉及范围内，生命安全、工程安全、水质安全和生态安全等诸多方面不会因为灌溉行为而面临现实的威胁或未来的潜在风险。

评价生命安全性，可以从供水工程基础设施在遭受自然或人为破坏后保障人和动物生命安全的能力等方面进行评价；评价工程安全性，主要对供水工程发生漫顶、垮塌的可能性进行评价；评价水质安全性，主要从劣质水灌溉可能造成的后果进行评价，可以根据农田灌溉水质标准，确定灌区供水服务环境安全性等级；评价生态安全性，主要是评价灌溉供水对灌区生态的影响，其中以灌区供水对灌区生态用水的满足程度为主要评价指标。

(2) 公平性。主要用来评价位于不同区域的用水户是否都得到了适时适量的灌溉，重点表征灌溉系统的调度规则和各配水口得到水量的合理性。

上级渠道向下级渠道服务的公平性与调度规则、灌溉水费、灌溉效益、灌溉安全等众多方面有着密切的联系。因行政归属、渠道系统、种植结构、经济发展水平等方面的差异，不同灌溉区域对灌溉供水的需求也不同。丰水年份，水源充足，不同区域的供水需求均能得到满足；而枯水年份，灌溉水源有限，灌区用水供需矛盾突出。灌区公平合理的供水服务，不仅能够提高灌区的经济效益和生态效益，而且对提高用水户缴纳水费的积极性，促进灌区的社会和谐和公共安全具有重要的意义。末级配水点供水服务公平性水平直接关系到各用水单元能否获得公平供水服务。灌区各田块和用水单位对应灌区不同的末级配水点，而末级配水点之间也存在着密切的联系，协调末级配水点间的供水关系，确保末级配水点控制区域内的水平衡关系，成为末级配水点供水服务是否公平的关键所在，也是衡量灌区供水服务公平性水平的基本标准。

(3) 可靠性。供水日期、供水历时、供水流量是衡量供水可靠性的指标，重点表征灌溉系统运行状况和下级渠道或作物得到适当水量的及时性。

上级渠道向下级渠道的实际可靠性服务水平可以从下级渠道能否获得所需水量的时间和年内下级渠道缺水次数等方面衡量。下级渠道所需水量和上级渠道配水时间是基于渠道的过水断面和灌区的来水情况，通过预测下级渠道控制区域的各种作物需水量和需水时间综合确定。因此，下级渠道能否获得可靠的所需水量和供水时间，是灌区能否取得较大效益的关键，也是衡量上级渠道向下级渠道实际可靠性服务水平的落脚点。

末级配水点的服务可靠性水平主要从作物能否获得生长发育所需灌水量、充足的灌溉持续时间和灌溉频率等方面衡量。作物耗水量除与作物本身生理有关外，与自然气候条件、土壤水肥状况等也有密切的联系。在丰水年份，若灌区的渠道系统完整，则灌区末级配水点能够为各区域作物提供可靠的供水服务；但在枯水年份，灌溉水源紧张，可能会造成末级配水点供水服务可靠性水平下降。通过灌区科学合理的水量调度，以灌区社会效益、经济效益和生态效益最大化为目标，合理配置不同用水单元农作物的供水量和供水时间，保证灌区获得最大效益，也是衡量末级配水点供水服务可靠性的重要指标。

(4) 灵活性。需求的改变是否能够得到适当的响应是衡量灵活性的重要考虑因素，其响应时间是构成灵活性的主要指标。灵活性有助于实现水资源的高效利用，在灌区田间尺

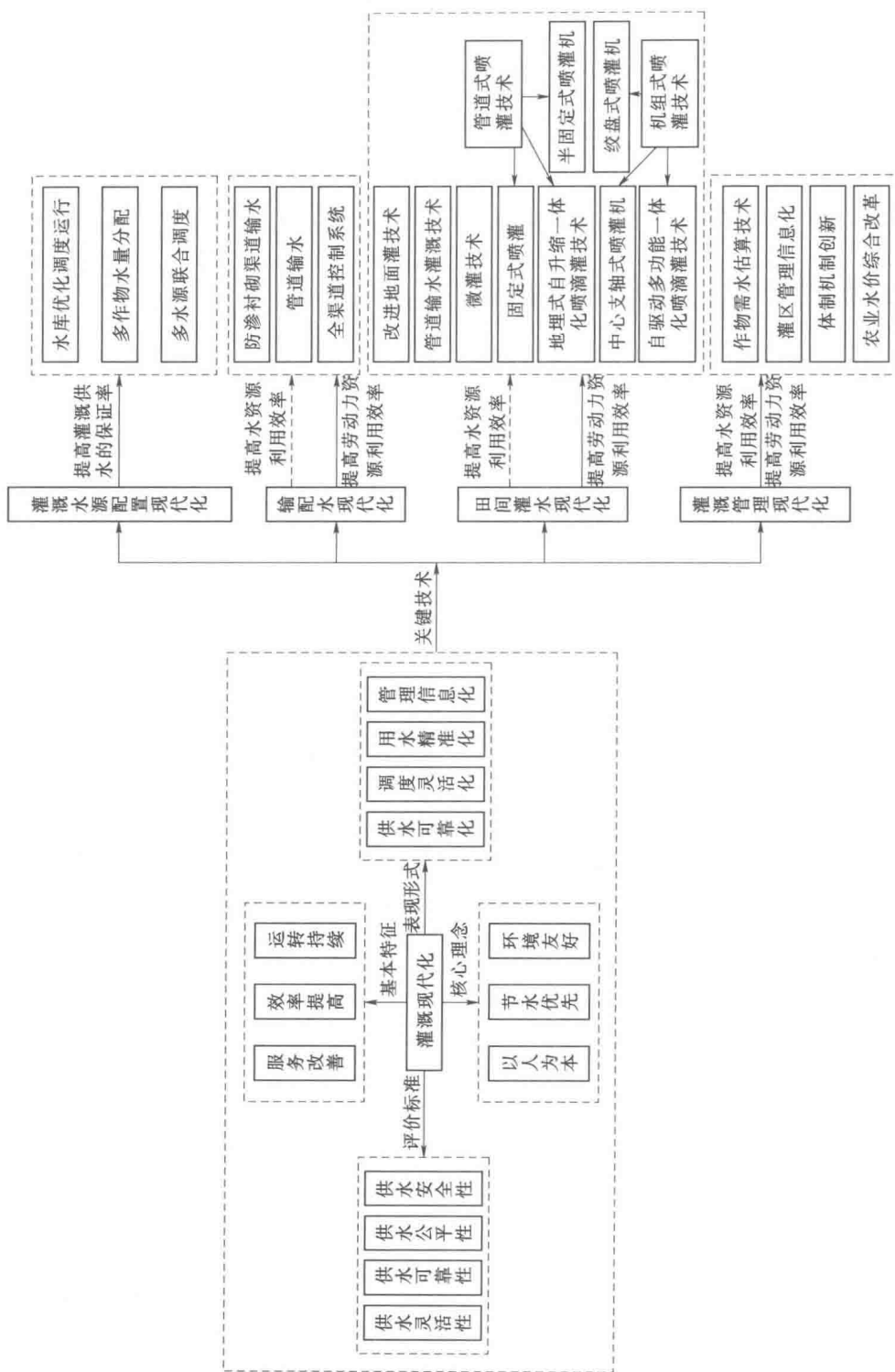


图 1-1 灌溉现代化的基本框架

度上尽可能实现按需供水，重点表征系统的设计状况和作物按需供水的可能性。

评价灌溉供水服务灵活性的指标与灌溉供水服务公平性指标基本一致，也从上级渠道对下级渠道服务灵活性水平和末级配水点服务灵活性水平等方面表征。上级渠道对下级渠道的供水次数、供水流量和供水时间的灵活性，供水计划调整的灵活性；末级配水点能否根据计划供水，供水次数和供水水量及时间是否固定；泵站供水流量是否有较大的调节幅度，供水次数和供水流量及供水时间是否有较大的灵活性，是否能保证根据实际需要调整供水方案。所有这些因素构成了供水服务灵活性的基本要素。

1.6 灌溉现代化水管理关键技术

水源供水、渠系配水和田间用水是灌溉系统的基本组成部分，供水可靠化、调度灵活化、用水精准化及管理信息化是灌溉现代化的具体表现，灌溉现代化水管理技术是灌溉现代化的核心。灌溉现代化水管理技术主要包括灌溉水源优化配置与保障关键技术、灌区渠系水量调度关键技术、田间现代灌溉关键技术及作物需水预报关键技术等四个方面。本书重点涉及水管理关键技术及设备研发，不涉及同样在灌溉现代化中占有重要地位的体制机制创新与农业水价综合改革等内容，见图1-2。

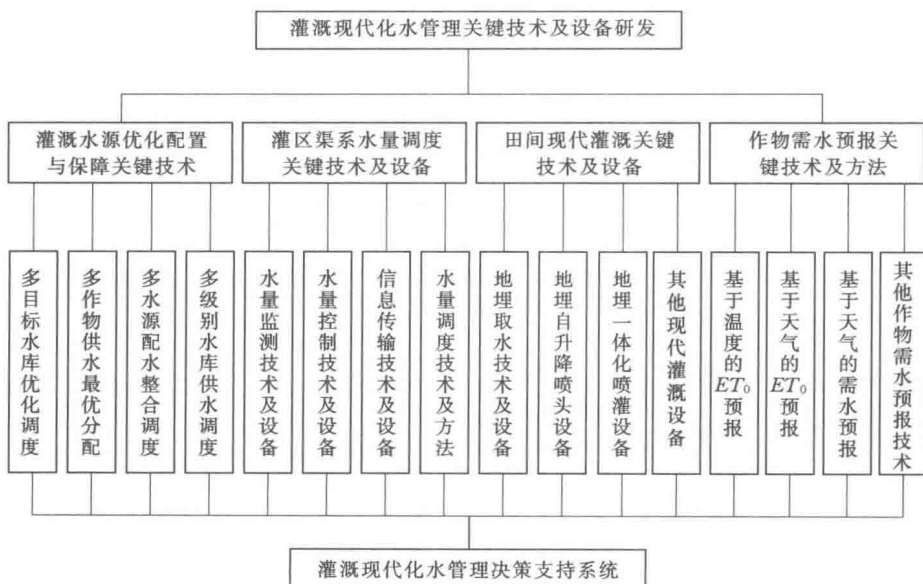


图1-2 灌溉现代化水管理关键技术基本框架

1.6.1 灌溉水源优化配置与保障关键技术

灌溉水源优化配置是解决农业水资源紧缺的重要技术措施，也是灌溉现代化水管理的重要组成部分。无论是过去、现在、还是未来的一段时间，灌溉始终是我国的用水大户，《全国现代灌溉发展规划（2012—2020年）》预计到2020年，在多年平均情形下，全国灌溉可用水量占总用水量的比重为56%；到2030年，在多年平均情形下，全国灌溉可用水

量占总用水量的比重为 53%。因此,针对灌区水资源紧缺以及灌区多水源特征,研究非充分灌溉条件下的农作物经济灌溉定额、最优灌溉制度、最优种植比例,作物间灌溉水量最优分配、水库优化调度、灌区多水源联合调度及区间灌溉水量调配等关键技术,对促进灌区水资源高效利用,减少地下水开采,缓解由于过度开采对生态环境造成的危害,实现灌区农业健康持续发展,具有十分重要的意义。

1.6.2 灌区渠系水量调度关键技术及设备

灌区渠系水量调度是灌溉现代化水管理的核心,考察灌区渠系水量调度现代化的指标主要包括上级渠道向下级渠道供水服务水平、渠系建筑物配水服务水平、末级配水点供水服务水平、水量调度信息服务水平等,而评价灌区渠系水量调度现代化的基础依然是基于供水服务安全性、公平性、可靠性和灵活性的服务理念。当调度系统完成之后,渠系上的各级测控建筑物及其运行调度是影响供水服务质量的关键因素。从灌溉现代化的理念出发,输配水系统的现代化改造升级,主要体现在对渠道的防渗衬砌以减少输水损失,对闸门或闸阀的信息化改造以提高调度质量、减小劳动强度、契合灌溉需求,这些措施可不同程度上实现节水和省工的双重功效,是灌溉现代化的重要措施。因此,基于灌溉现代化水管理要求,应重点围绕监测、控制、传输、配置等方面开展灌区渠系水量调度关键技术及设备研发。

1.6.3 田间现代灌溉关键技术及设备

田间灌溉技术是灌溉现代化水管理的落脚点,集中体现灌溉现代化的成效。田间灌水技术的选择和应用应因地制宜,合理确定。喷灌、微灌、管道输水灌溉等现代灌溉技术近年来发展较快,但也存在一些亟须解决的技术问题。现有的田间取水设备主要采用两种方式:其一,依靠混凝土构筑物在地面以上或地下一定范围内形成保护装置;其二,在耕作层以下安装取水闸阀,每次使用前开挖田间土壤连接取水设备,使用后卸下取水设备,回填土壤保护取水闸阀。导致的问题主要有影响耕作和收割,不利于田间机械化作业抑或损坏作业机械,寻找出水口困难,破坏土壤耕作层等。现有的喷微灌设备,灌溉之前需要与遍布田间的取水口配接竖管和喷头,灌溉之后,再将这些设备全部拆卸,并搬运回库房存放,金属结构还需要防锈处理。地上取水口不仅影响耕作,而且灌溉过程还需要耗费大量的人力物力,并且不可避免会造成部分管件的损坏,占用库房,额外增加仓储管理费用等问题。因此,创新研发与现代农业要求相适应的灌溉现代化关键技术及设备,是发展现代农业实现农业现代化的必然要求。

1.6.4 灌区作物需水预报关键技术

安全可靠的灌区灌溉需水预报是灌溉现代化水管理的重要环节,灌溉需水预报关键是对作物需水量及时准确的估算和实施。作物需水量是指作物在适宜的土壤水分和肥力条件下,经过正常生长发育,获得高产时的植株蒸腾、株间蒸发以及构成植株体的水量之和。计算作物需水量的方法,可归纳为两类:一类是直接计算出作物需水量;另一类是先计算参考作物需水量(ET_0),然后考虑作物系数的影响计算实际作物需水量。参考作物需水

量计算一般采用彭曼-蒙特斯方程。作物系数反映作物本身的生物学特性、产量水平、土壤耕作条件等对作物需水量的影响。灌溉现代化必须适时适量精准供水，掌握需求是关键。需水量预报所需资料要少而易得，区域要大，精度要满足要求，同时预报信息应可区域发布、定向发布和精准发布，因此，基于灌溉现代化水管理要求，应重点围绕参考作物需水量动态估算和作物需水量估算开展灌区作物需水预报关键技术研发。

1.6.5 灌溉现代化水管理决策支持系统

灌溉现代化水管理决策支持系统是实现灌区现代化的必要支撑手段，是灌区管理现代化的核心。灌溉现代化水管理决策支持系统最主要的任务是实现用水调度决策的信息化、科学化，达到节水、高效的目的。基本思路是建成以灌区用水管理信息采集与渠系建筑物监测监控系统为基础、通信和计算机网络平台为支撑、灌区综合数据库和决策支持系统为核心的灌溉现代化水管理决策支持系统，提高灌区用水信息采集、传输、处理自动化程度，降低灌区水管理成本，全面实现灌区优化调度和现代化管理，促进灌区“节水、省工、增效”的进程，同时也为更好地促进灌区供水服务水平的提高，显著改善供水服务的安全性、公平性、可靠性和灵活性，更好地为用水户服务提供高效的技术平台。灌溉现代化水管理决策支持系统建设任务应包括五个方面，即灌区识别技术、水情监测技术、信息通信技术、闸门控制技术、水量调度技术。通过上述五个方面的高效融合与组装集成，在来水预报模型、需水预报模型、水量优化调配模型等专业软件的支持下，为灌区管理者提供用水决策依据，实现灌区水资源的高效利用和优化配置。

第2章 灌溉水源优化配置与保障关键技术

灌溉水源的优化配置与保障技术,主要研究水源的优化调度和水源在不同作物及其不同生育阶段的优化配置问题。目前有关灌溉水源优化模型的研究主要集中在以下几个方面:①灌溉制度优化模型。针对灌溉水资源短缺的情况,采用某种优化方法确定各种作物的灌水定额、灌水次数及灌水时间;利用非充分灌溉,使有效水资源发挥最大效益。以模拟技术为手段,用控制作物不同生育期土壤最低含水率的方法,结合降水的随机性,研究灌区优化配水过程及可实施自修正的灌溉决策软件;②种植模式优化模型。针对某一灌区的实际情况,建立同时考虑灌溉排水、降低地下水位的要求和多种水资源联合调度、联合管理的优化模型,确定农作物最优种植模式及各种水源的供水量比例;③灌区优化配水模型。运用系统分析方法,确定灌区水资源量在工业和农业之间的分配比例。能够根据来水量或农业气象的随机变化,经分析计算,做出配水决策和用水计划,当灌区来水量不足,供需水矛盾突出时,可根据灌区对目标函数的不同选择,及时做出相应优化配水方案;在一定农作物种植比例条件下,将有限水资源分配给各种作物。在优化方法方面,经典的优化配置方法分为线性规划、动态规划、模拟计算、多目标优化以及大系统优化方法等。近年来,对策论、存储论、灰色理论、模糊理论及决策支持系统等方法在地表水、地下水联合运用系统中得到了越来越多的应用。此外,多种优化方法的组合模型也得到了较快发展,如动态规划与模拟技术相结合、图论与线性规划方法相结合、网络与线性方法相结合以及优化方法与灰色理论、模糊理论相结合等。另外,一些智能优化算法,如遗传算法、模拟退火算法、蚁群算法、人工神经网络、粒子群算法及其混合优化策略等,通过模拟或揭示某些自然现象或过程而得到发展,其思想和内容涉及数学、物理学、生物进化、人工智能、神经科学和统计力学等方面,为解决水源优化调度提供了新的思想和手段。

本章主要研究多目标水库优化调度自优化模拟技术、多作物灌溉供水量最优分配动态规划模型和多水源灌区供水与配水整合优化调度模型,构建多级别多目标水库供水调度规则,与灌区作物需水预报关键技术相配合,实现灌区供水可靠化。

2.1 多目标水库优化调度自优化模拟技术

水库的多目标广泛存在,特别是以灌溉供水为主的水库中,往往还需要承担防洪功能。如何协调好防洪和兴利双重功能往往十分重要。本节在分析水库等调蓄工程状态域及自优化模拟技术特征的基础上,建立了以防洪及兴利为目标的水库优化调度自优化模拟模型。将此模型实际应用于某水库A的优化调度中,结果表明用自优化模拟技术作出的最优状态域水库优化调度图,概念清楚,结果可靠。