

河南省重点研发与推广专项申请书

（科技攻关）

项目名称：融合多源数据的小麦智能灌溉决策控制系统研发与应用

项目领域：现代农业农村

申请单位（签章）：河南农业大学

合作单位：

填报日期：2024 年 10 月 24 日

推荐部门（签章）：河南省教育厅

河南省科学技术厅制

填 报 说 明

1. 根据《河南省科技计划项目管理办法（试行）》，申报省科技攻关计划项目必须填报《河南省重点研发与推广专项申请书（科技攻关）》。

2. “申请书”的各项内容应认真填写，表述准确，实事求是。其中引用的名称、数据等内容均应标明出处，外来语要同时用原文和中文表达，第一次出现的缩写词须注明全称。

3. 申请书第二、三、四、五部分不得出现项目负责人、申请单位等相关信息，否则按无效申报处理。

4. 若项目申报者有合作单位，请填合作单位概况，且必须在“申请书”后附合作协议（合同）。

5. “申请书”中未列但需说明的内容可加附页，相关技术文献等材料应作为附件一并报送。

6. “申请书”打印规格统一使用 A4 纸，4 号宋体字，书籍式装订成册。

一、概况

项目概况	项目名称	融合多源数据的小麦智能灌溉决策控制系统研发与应用					
	项目所属产业领域	战略性新兴产业	(1) 1、新一代信息技术 2、生物 3、新能源 4、新能源汽车 5、新材料 6、节能环保 7、高端装备制造				
		传统产业	() 1、食品 2、有色 3、化工 4、装备制造 5、汽车及零部件 6、纺织服装				
		其他产业	()				
	技术来源	(1) 1、自主研发 2、合作(委托)研究开发 3、国内其他单位技术 4、国外技术					
	技术水平	(6) 1、国际首创 2、国际领先 3、国际先进 4、国内首创 5、国内领先 6、国内先进 7、一般水平					
	预期主要成果形式	(1 2 1、论文论著 2、研究报告 3、新产品或农业新品种 4、新设备 5、7) 新材料 6、新工艺或方法 7、软件 8、技术标准 9、其他					
	经费投入(万元)		申请省拨款	地方投入	银行贷款	自筹	其他
	10.0000		10.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	项目起止时间		2025 年 01 月 01 日至 2026 年 12 月 31 日		项目分组	41650、农业工程	
	项目预期经济效益(万元)	年生产能力			就业人数		
		年销售收入		0.0000	年出口创汇		0.0000(万美元)
		年纳税总额		0.0000	年净利润		0.0000
	项目预期专利情况	申请专利数		1 项	其中:发明专利		0 项
		授权专利数		0 项	其中:发明专利		0 项

项目 负责人	姓名	汪强	性别	男	年龄	45	民族	汉族
	党派	群众	单位		河南农业大学		身份证号	412927197912301113
	职称	副教授	职务		教师		现从事专业	计算机应用
	手机	15937115936	传真				电子邮箱	
	是否入选国家“千人计划” 2 1、是 2、否				是否入选我省“百人计划” 2 1、是 2、否			

申 请 单 位 概 况	单位名称	河南农业大学						
	单位性质	(2) 1、科研院所 2、高等学校 3、其他						
	注册时间	1984 年 12 月 01 日		统一社会信用代码		12410000415804131K		
	行政主管部门	河南省教育厅						
	财务主管部门	河南省教育厅						
	通信地址	郑州市郑东新区平安大道 218 号						
	联 系 人	许恒	手机	15538191629		传真	0371-63558720	
	邮政编码	450002	电子邮箱	hnndkjc@126.com				
	开户银行	中国农业银行郑州市商都支行		账号	16003101040006945		信用等级	AAA
	所在省级产业集聚区		无					
	所在省级以上高新区		无					
	获得省级以上技术研发资质情况		() 1、实验室 2、中试基地 3、技术创新中心 4、重点实验室 5、工程技术研究中心 6、临床医学中心 7、其他 ()					
职工总数	2532	中级职称技术人员		1035	高级职称技术人员		979	
研发 (R&D) 人员数		1967 人		上年度研发 (R&D) 经费		29072.7000 万元		

二、项目的立项依据和意义（说明国家有关产业技术政策，国内外相关领域技术发展水平和趋势等）

1. 研究意义

我国是传统的农业大国，绝大部分农业生产活动都离不开水资源，农田灌溉是农业生产的重要环节。随着我国经济社会的不断发展，对水资源的需求也与日俱增，但我国的水资源严重不足，人均水资源占有量不到世界平均水平的 1/4。2024 年 2 月，水利部发布了《水利系统节约用水工作要点》政策文件，文件中提出了全面实施节水行动、深度节水控水攻坚和精细精准节水的具体要求，为农业节水工作提供了强有力的支持，并明确了农田灌溉水有效利用系数的提升目标。因此，大力发展现代灌溉技术来提高水资源利用率，以最佳的用水效率来管理农田灌溉具有重要意义。

传统农业灌溉主要以沟灌和漫灌为主，这些方式效率底下，并造成大量的水资源浪费和环境污染，这不仅不利于农作物高质高产，而且对农业可持续发展带来负面影响。目前，我国大田农业生产仍以漫灌为主，灌水均匀性差，水量浪费较大，造成大量的水资源浪费且生产效率较低。2024 年 6 月，国家发展改革委、水利部、工业和信息化部、住房城乡建设部、农业农村部五部门联合发布了《关于加快发展节水产业的指导意见》，意见中提出，推动节水产业市场供需两端有效衔接，促进科技创新和产品装备有效供给，积极发展节水灌溉，推动工程设施建设，以节水产业高质量发展推动水资源节约集约利用水平持续提升。

使用高效的智能灌溉技术，确保土壤含水量保持在适宜作物生长的最佳状态，成为缓解农业用水供需矛盾、推动节水灌溉的有效方法。农业灌区智能节水灌溉系统采用先进的物联网和人工智能技术，能够根据作物对水分的需求进行用水量计算和智能灌溉决策，实现对灌溉过程的实时监测，开展数据分析和决策优化，从而减少水资源浪费，并提高农作物的生长效益。良好的灌溉决策方法应在保证作物生长需求的基础上，尽量减少灌溉用水，同时在满足作物生长过程中对灌水时间、灌溉位置、灌水量等的精确要求，可以最大限度地提高水资源的利用效率，并保护农业生产环境，实现农业水资源的可持续利用。在传统农业向现代农业的转变过程中，物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术被大量应用到农业工程中，农业生产者可在线实时监测影响作物生长的各项气象因素及土壤环境，对农业装备进行远程开关控制，实现农业生产过程的智慧化管理。推动数字节水技术的发展，关注农业智能装备制造、农业智能测控终端研发等，旨在提升智慧农业软、硬件装备的支

撑能力和智能决策水平，促进节水灌溉农业领域的数字化转型。

本项目以小麦为研究对象，基于 **Penman-Monteith** 作物参考需水量计算方法，结合田块级智慧农业监测站实时采集的大气温湿度、土壤温湿度、光照、降雨量、大气压力等多源数据，融合自注意力机制的长短期记忆神经网络(LSTM)，研究并构建小麦根区土壤水分预测模型。基于水量平衡方程，结合试验区实测气象数据及作物参考需水量等多通道参数，构建小麦智能灌溉决策模型。研建小麦智能灌溉决策系统，研发小麦智能灌溉装置，开展小麦灌溉智能化、自动化决策推广与应用。实现小麦生产的精准灌溉作业管理，推动我国小麦智能灌溉决策系统的研究和发展，提高我国农业生产的智能化水平，为我国农业智能化灌溉提供理论依据和实践参考。

2. 国内外研究现状及发展趋势分析

2.1 作物需水量预测研究

作物需水量指作物为了生长发育需要消耗的水量，主要包括植株蒸腾与棵间蒸发两部分。在正常生育状况和最佳水、肥条件下，作物整个生育期中，农田消耗于蒸散的水量，一般以可能蒸散量表示，即为植株蒸腾量与株间土壤蒸发量之和，以毫米或立方米/亩计。作物需水量是研究农田水分变化规律、水分资源开发利用、农田水利工程规划和设计、分析和计算灌溉用水量等的依据之一。

作物需水量的计算主要有两类方法，分别是直接计算法和间接计算法。其中，直接计算法的计算公式需要基于实验数据统计建立，受到诸多具体条件限制，不易推广。间接计算法中有两个数值需要被确定，分别是参考作物需水量 (ET_0) 和作物系数 (K_c)。目前国内外研究者常用的计算作物参考需水量方法有：**Penman-Monteith** 法、**Penman** 法、蒸发皿法、辐射法、布莱尼-克雷多 (Blaney-Criddle) 法等。**Penman** 等提出了参考作物蒸发蒸腾量的概念，后经简化和修正，得到了 **Penman-FAO** 公式。**Monteith** 等通过引入表面阻力提出了 **PenmanMonteith** 公式，该公式的计算精度高，不仅能计算作物月参考腾发量，还能计算日参考腾发量，它既不需要改变参数，也不需要地区率定，因此被广泛使用。顺生等采用交替灌溉与普通灌溉两种模式对夏玉米的作物需水量进行预测研究，结果发现采用单作物系数法对夏玉米作物需水量预测在两种灌溉模式下均适用。孟玮等使用径向基神经网络对苹果的需水量进行了相关预测，但径向基神经网络对数据的依赖性较高，在数据不够充分的时候该神经网络将无法工作。

刘婧然、刘心等根据多年气象资料、青椒的冠层温度以及逐日作物需水量资料，构建了以冠层温度、气象因素为输入因子的预测 MFR-DI 种植模式下青椒作物需水量的 GA-SVM 模型。李志新、赖志琴等构建了以日序数、日照时数、日平均气温等因子为输入向量，以逐日参考作物需水量为输出向量的 GA-Elman 神经网络参考作物需水量预测模型，结果表明构建的 GA-Elman 模型具有较高的预测性能和精度。商志根等提出基于粒子群优化算法(PSO)优化最小二乘支持向量机(LS-SVM)的预测模型，实验结果表明与神经网络和随机森林相比，PSO 优化的 LSSVM 可获得更好的预测精度和泛化能力。张明岳等设计了一种基于改进的 Elman 神经网络和模糊控制的智能灌溉系统，利用 Elman 神经网络对作物蒸发蒸腾量即作物需水量进行了相关预测研究。孙博瑞基于 LSTM 神经网络对枣树需水量进行预测研究，结果表明 LSTM 模型的实际值与预测值的拟合系数为 0.9872，高于 RNN 模型的 0.8438 且残差波动较小。

在国外，Karar M E 等利用 MLP 神经网络设计了一种智能灌溉系统，由 MLP 神经网络根据传感器采集的气象信息来预测出作物需水量，然后根据预测值对作物进行灌溉，MLP 神经网络对数据的要求较高，且最严重的问题是把一切推理都变为数值计算，在结果输出时会丢失信息。Sidhu R K 等构建了 LSTM 神经网络预测模型，以气象站和已有的灌溉数据来训练模型，用于对需水量进行预测，根据模型预测值来制定灌溉计划。Hegde M N A 等提出了一种以 ANN 神经网络来优化农业用水的方法，ANN 神经网络用于预测未来几天的需水量。Abdullah 等采用极限学习机对作物蒸腾量进行预测，与彭曼公式计算结果对比，研究表明极限学习机网络模型效率快且预测精度高。Feng 等采用三种模型对中国南部地区的作物需水量进行预测，研究表明极限学习机 (Extreme Learning Machine, ELM) 预测模型表现最佳。Kumar 等同样也采用了 Sigmoid 激活函数的极限学习机、支持向量机 (Support Vector Machine, SVM)、遗传编程 (Genetic Programming, GP) 分别对参考作物需水量进行预测，对比三种模型，研究结果表明通过极限学习机建立的预测模型效果最优。

综上所述，作物需水量的研究对现代智能灌溉系统的设计起着至关重要的作用。然而，从目前学者对作物需水量的研究来看，大多数研究是对以前或者当下的作物需水量进行计算或预测模型的建立，却忽略了未来一天作物需水量对于智能灌溉决策的影响，为提高智能灌溉决策的精准性，本研究将分别以网络气象数据和田块内物联网实时监测数据为输入量，对研究区域未来一天作物需水量建立动态预测模型，为精准的智能灌溉决策系统设计提供理论依据。

2.2 土壤水分预测的研究进展

土壤水分预测对于灌溉计划的制定具有重要意义。目前国内外针对土壤水分预测的方法主要有经验公式法、水量平衡法、消退指数法、遥感监测法和神经网络法等。尚松浩等基于土壤水分变化率与贮水量正比关系这一假定,建立了小麦生育期土壤墒情预报的经验模型,模型预报效果较好。任罡根据汾河灌区各监测站多年实测的土壤含水量资料以及多年的气象资料建立了土壤墒情预报的经验模型。王铁英等基于根区水量平衡原理,以实时根区平均土壤含水率为自变量构建了动态土壤墒情预测模型。蒲胜海等根据北疆膜下滴灌棉花全生育期土壤水分观测数据,研究了不同深度的棉田土壤水分消退指数随作物生长时间的变化规律,探讨了棉花生育期土壤水分预报的经验递推方法。冀荣华等利用基于多值神经元的复数神经网络方法,建立了土壤墒情多步预测模型。薛明等提出了一种基于多种算法的土壤墒情组合预测模型 GA_IPSO_BP-SVM,提高了土壤墒情预测精度。

王丽丽、王振龙等采用 BP 神经网络方法建立了小麦生育期不同土层(10、30、50 cm)的土壤水分预测模型,并用遗传算法优化上述 BP 神经网络模型。结果表明两种模型均可用于小麦生育期土壤水分预测,遗传算法优化 BP 神经网络能够更好提高预测精度,且随着土层厚度增加,预测精度提高。聂红梅等选取宝鸡市 2014 年至 2016 年小麦种植区 3—5 月的气象、地形和土壤属性 3 个方面共 15 个预测因子,建立了基于主成分分析(principal component analysis, PCA)的支持向量回归机(support vector regression, SVR)模型预测,结果表明 PCA-SVR 模型对宝鸡市小麦土壤水分具有更好的预测能力。梁鑫婕等建立了 BP 动态多因素神经网络模型和 RNN 动态多因素土壤水分预测模型,对两种土壤水分动态预测模型进行研究,研究结果表明, RNN 模型的动态多因素土壤墒情预测具有更好效果。范嘉智等基于长沙站 2016—2019 年 10 cm 深度土壤水分自动观测小时数据集,利用长短期记忆神经网络(LSTM)模型结合随机采样学习方法,开展了土壤水分多时次预测,准确率均优于自回归整合滑动平均(ARIMA)模型,且误差稳定、无异常值出现,预测准确率远优于相关研究。

在国外, Gill 等应用支持向量机(SVM),将土壤水分和气象数据作为模型输入,预测了未来四天和七天的土壤水分,结果表明支持向量机模型比人工神经网络模型对土壤水分的预测效果更好。Bera 等建立了对数线性回归模型,成功预测细粒土壤含水量。Matei 等应用数据挖掘技术,基于多个气象站的天气数据,实时预测第二天的土壤含水量,并在现实条件下进行了测试,证明了该系统具有很高的预测精度。

综上所述，使用机器学习算法进行土壤含水率的预测研究众多，但是这些预测模型大多仅通过多个输入变量直接预测出土壤含水率，导致土壤含水率与降雨量、作物需水量等补水耗水行为之间的联系较为模糊，缺乏对土壤水分变化过程的连续性模拟，难以指导精量灌溉。本研究将中国气象局的气象数据和物联网实时监测数据为输入量，对土壤水分变化过程进行连续性模拟，建立土壤含水率、降雨量、作物需水量等补水耗水关联性预测决策模型。

2.3 智能灌溉系统工程研究进展

在国外，一些发达国家特别是水资源同样短缺的国家非常注重节约农业用水，最大程度提高灌溉用水利用率。在众多的节水灌溉研究中，将人工智能技术、传感器技术、智能控制技术等新一代信息技术应用在农业灌溉决策和控制系统中，研究如何节约农业灌溉用水，如何通过智能控制系统提高水资源利用率，并把技术成果应用在农业生产当中，取得了较好的效果。

以色列由于水资源短缺，是较早研究出提高灌溉利用率设备和技术的国家之一，比如他们是最早采用滴灌和喷灌设备的，也是最早使用由计算机控制实现自动灌溉的。近年，又开发出现代诊断式控制器，通过各种类型的传感器将平时由于地域和天气等原因不易收集的信息采集后，再利用互联网或移动通信等通信技术进行数据传输，然后通过 PC 机中建立与灌溉有关的模型来分析这些采集到的数据，给出灌溉计划，实现智能灌溉。

美国在农业灌溉方面，节水措施主要针对输水、灌水、田间三个环节，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，20 世纪 60 年开始美国大力发展管道输水灌溉。同时，利用全球定位系统和遥感技术采集环境信息，如全方位监测土壤水分状况、天气预报、作物需水量、水源等影响因素，然后预报灌水日期和灌水量，比较适用于大型灌溉系统。当前，美国的大部分灌区都不同程度的应用了电子技术进行自动控制与监测，基本实现了智能灌溉的工程化应用。

加拿大、澳大利亚和韩国等国家也开发出了一系列的灌溉控制系统。其中澳大利亚的 HARDIE11 和 RGATION 公司的灌溉控制器曾多次获得节水奖，有 MlcRo、MASTER、RAINJET 和 HR6100 等多个系列几十种型号的产品，可适用于不同条件下的农田智能灌溉的控制系统。

日本由于土地较少，在农业物联网方面最先进的是应用在温室管理上，利用计算机对温室里面的光照强度、温湿度、通风、灌溉控制等环境参数进行调整，为农作物制造出最

适宜的成长条件，比如“Open PLANET”系统，把相对分散的大棚作物利用集群管理的模式，不仅节省了人力物力，还提高了监管水平。

在国内，随着国家的政策导向，越来越多的研究团队和科技公司来研究如何将先进技术应用到农业生产方面，并已经有重要的技术突破。物联网、大数据、人工智能已经开始应用于农业的生产管理当中，如花卉、蔬果等经济作物已经实现了自动通风、自动浇水、自动升降温等智能化控制与管理。但是我国农业人工智能的研究和应用起步较晚，所以智能灌溉的研究和工程化应用相对发达国家仍然落后。

师志刚等设计了基于物联网的水肥一体化智能灌溉系统，农田气象检测系统采用自动气象站采集雨量、湿度、温度等参数信息，并传送至智慧平台，根据内置数据库，结合彭曼公式分析得出参考作物需水量 ET_0 、作物系数 K_c 、作物实际需水量 ET_c 等，为制定灌溉制度提供数据参数。孙博瑞等设计开发了一款基于 LSTM（长短期记忆神经网络）需水量预测模型的智能灌溉系统。系统以树莓派为下位机控制器，阿里云服务器为上位机，实现了数据采集、数据监测、需水量预测及智能控制灌溉等功能。

彭小莉等设计了一种基于遗传算法的农田智能灌溉控制系统，在系统硬件部分，采用 PID 算法设计智能灌溉控制器，并利用遗传算法进行控制参数寻优，实现智能灌溉控制。慕容蓉等采用传感器和设备实时感知农田环境数据，借助神经网络智能预测系统进行数据处理，设计灵活的节水系统架构等技术理论，涵盖系统架构设计、智能节水系统主程序设计、灌溉监控系统设计和实施精准化智能节水灌溉等应用路径。徐世周等为了实现智能精准灌溉，以 STM32 为主控板，将基于卷积神经网络图像识别技术应用在灌溉系统中，结合 EC-5 土壤水分和温度传感器来检测土壤的湿度和实时温度，利用图像识别技术对土壤不同的干旱情况下植物叶片状态的识别，结合农作物叶片状态和土壤的湿度情况进行精准灌溉。

严崇瑞等利用 STM32 单片机通过传感器进行多点数据的采集，采集到的数据利用 LoRa 模块和 4G 模块发送到云平台，从而实现了云端设备与泵站设备的通信，云端设备数据解析后再通过单片机控制泵站设备以实现泵站的智能化灌溉和管理。赵善政等设计了以 Nordic 公司 NRF52832 蓝牙系统级芯片(System on Chip, SOC)为核心的果园无线环境监测与灌溉控制系统，通过信息采集终端模块实时采集果园的土壤含水率、空气温湿度等环境信息，通过蓝牙 Mesh 中继节点将数据包发送到 Mesh 网关上，蓝牙 Mesh 系统有效精准执行灌溉指令，且水分利用效率大幅提高。网关通过通用无线分组网(general packet radio service, GPRS)将处理后的数据包传输到物联网云平台，为农业数据分析提供基础信息，通过电磁

阀节点实现精准灌溉。

综上所述,我国的智能灌溉控制系统仍处于研究和开发阶段,我国农田南北地域差异较大,大规模实现农田灌溉的智能化决策和自动化控制,仍需要进一步研究和实践,在进行小规模农田智能灌溉试验成熟后,进行推广和应用。本研究基于物联网、云计算、大数据等新一代技术,以黄淮海小麦智能灌溉为研究内容,建立区域小麦智能灌溉决策模型,开发中小规模田块级小麦智能灌溉决策系统,研发伸缩式自动化智能灌溉装置,实现小麦耕作管理的智能化决策和自动化灌溉。

参考文献

- [1] Hargreaves G H, Samani Z A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2): 96-99.
- [2] Karar M E, Al-Rasheed M, Al-Rasheed A, et al. IoT and neural network-based water pumping control system for smart irrigation[J], 2020.
- [3] Sidhu R K, Kumar R, Rana P S J M P L B. Long short-term memory neural network-based multi-level model for smart irrigation[J], 2020, 34(36): 2050418.
- [4] Hegde M A, Naik M S, Chaitra S, et al. Prediction and Analysis of Water Requirement in Automated Irrigation System using Artificial Neural Network (ANN) and Lora Technology[C]. 2021 IEEE International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER), 2021: 88-92.
- [5] Abdullah S S, Malek M A, Abdullah N S, Kisi O, Yap K S. 2015. Extreme Learning Machines: A new approach for prediction of reference evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 527: 184-195.
- [6] Kumar D, Adamowski J, Suresh R, Ozga-Zielinski B. 2016. Estimating evapotranspiration using an extreme learning machine model: case study in north Bihar, India. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(9): 04016032.
- [7] Feng Y, Cui N, Zhao L, Hu X, Gong D. 2016. Comparison of ELM, GANN, WNN and empirical models for estimating reference evapotranspiration in humid region of Southwest China. *Journal of Hydrology*, 536: 376-383.
- [8] Gill M K, Asefa T, Kemblowski M W, McKee M. 2006. Soil moisture prediction using support vector machines 1. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(4): 1033-1046.
- [9] Bera A, Ghosh A. 2011. Regression model for prediction of optimum moisture content and maximum dry unit weight of fine grained soil. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 5(3): 297-305.
- [10] Matei O, Rusu T, Petrovan A, Mihuț G. 2017. A data mining system for real time soil moisture prediction. *Procedia Engineering*, 181: 837-844.
- [11] 胡庆芳, 杨大文, 王银堂等. Hargreaves 公式的全局校正及适用性评价[J]. *水科学进展*, 2011, 22(02):160-167.

- [12]汪顺生, 费良军, 高传昌等. 不同沟灌方式下夏玉米单作物系数试验研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(11):105-111.
- [13]孟玮, 孙西欢, 郭向红, 等. 基于人工蜂群径向基神经网络预测参考作物需水量[J]. 节水灌溉, 2020(01): 79-83.
- [14]张明岳, 李丽敏, 温宗周, 等. 基于改进 Elman 神经网络和模糊控制的智能灌溉算法设计[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(11): 155-160.
- [15]郎需强. 基于 ZigBee 和 GPRS 的远程果园智能灌溉系统的设计与实现[D]. 山东农业大学, 2011.
- [16]戈晓伟, 刘佳丽, 颜悦.乡村振兴背景下的农产品电商发展 [J] . 农业工程, 2019, 9(8):135-139.
- [17]刘婧然, 刘心, 武海霞等. 基于 GA 优化的支持向量机模型在青椒作物需水量预测中的应用[J]. 节水灌溉, 2021(01):70-76.
- [18]李志新, 赖志琴, 龙云墨. 基于 GA-Elman 神经网络的参考作物需水量预测[J]. 节水灌溉, 2019(02):117-120.
- [19]商志根, 段小汇. 基于 PSO 与 LS-SVM 的作物需水量预测[J]. 计算机与现代化, 2018(10):44-47.
- [20]马建琴, 陈哲. 非充分灌溉条件下作物需水量预测[J]. 人民珠江, 2017, 38(12):58-61.
- [21]尚松浩, 雷志栋, 杨诗秀. 冬小麦田间墒情预报的经验模型[J]. 农业工程学报, 2000(05):31-33.
- [22]王铁英, 王仰仁, 战国隆等. 基于实时含水率数据的土壤墒情动态建模及预测[J]. 中国农业气象, 2021, 42(01):13-23.
- [23]薛明, 韦波, 李娟等. 基于改进 BP 神经网络与支持向量机的土壤墒情预测方法研究[J]. 土壤通报, 2021, 52(04):793-800.
- [24]梁鑫婕, 李卫东, 孟凡谦等. 基于神经网络的土壤水分动态预测模型研究[J]. 南方农机, 2021, 52(15):14-17.
- [25]范嘉智, 谭诗琪, 罗宇等. 长短期记忆神经网络在多时次土壤水分动态预测中的应用[J]. 土壤, 2021, 53(01):209-216.
- [26]王丽丽, 王振龙, 索梅芹等. 基于神经网络的冬小麦生育期日土壤水分预测模型研究[J]. 节水灌溉, 2020(11):64-67.
- [27]聂红梅, 杨联安, 李新尧等. 基于 PCA-SVR 的冬小麦土壤水分预测[J]. 土壤, 2018, 50(04):812-818.
- [28]师志刚, 刘群昌, 白美健等. 基于物联网的水肥一体化智能灌溉系统设计及效益分析[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(3):221-227.
- [29]孙博瑞. 基于 LSTM 神经网络的智能灌溉系统开发[D].塔里木大学, 2023.
- [30]彭小莉, 周苏红, 尹峥等. 基于遗传算法的农田智能灌溉控制系统设计[J]. 水利技术监督, 2024(03):38-40+55.
- [31]慕蓉蓉. 基于物联网的智能节水灌溉系统研究与应用[J]. 农业与技术, 2024, 44(06):12-14.
- [32]徐世周, 鲁宸硕, 张梦洁等. 基于高精度传感器和卷积神经网络的智能灌溉系统研究[J/OL]. 河南师范大学学报(自然科学版):1-7[2024-04-08]. <https://doi.org/10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.06.15.0001>.
- [33]严崇瑞, 张文兴, 陈兴等. 基于 Lo Ra 通信的智能灌溉系统[J]. 科技与创新, 2023(21):41-45.
- [34]赵善政. 基于蓝牙 Mesh 的果园智慧灌溉系统的设计[J]. 黑龙江科学, 2024, 15(04):158-161.
- [35]惠瑞晗, 林丽, 曹伟等. 基于 P-M 模型的棉田智能灌溉系统的设计与试验[J]. 新疆农业科学, 2024, 61(02):300-309.

- [36] 韩欣宇. 关于农业智能灌溉技术要点探讨[J]. 河南农业, 2023(23):62-64.
- [37] 丁春艳. 小麦种植滴灌水肥一体化技术研究[J]. 黑龙江粮食, 2023(07):28-30.
- [38] 罗锡文, 胡炼, 何杰等. 中国大田无人农场关键技术研究为建设实践[J]. 农业工程学报, 2024, 40(01):1-16.
- [39] 张洪奇, 张艳, 张晨等. 设施智慧农场大数据平台开发与应用[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2024, 55(03): 295-303+475.

三、项目创新点、主要研究开发内容及目标（实施方案、技术关键、技术路线和技术经济指标等）

1. 研究目标

项目以小麦为研究对象， 基于 Penman-Monteith 作物参考需水量计算方法，融合大气温湿度、土壤温湿度、光照、降雨量、大气压力等多源数据，研究构建小麦生长需水量动态预测模型。将小麦需水量动态预测模型耦合到田间水量平衡方程中，结合物联网监测的小麦生育期每日根区土壤含水量，开展数据分析和决策优化，建立小麦灌溉时间和灌溉水量的智能决策模型。基于构建的小麦智能灌溉决策模型，研发小麦智能灌溉系统，实现田间数据自动采集、智能监测、定量精准灌溉控制等功能。提供一种小麦灌溉量以及灌溉时间的精准决策方法，促进我国小麦智能灌溉决策方法的研究创新，推动我国小麦智能灌溉决策系统的应用和发展，为我国农业智能化灌溉发展提供理论依据和实践参考。

2. 研究内容

项目基于物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术，针对我国小麦智能灌溉应用需求开展技术攻关与系统研发。建立小麦需水量动态预测模型，构建小麦智能灌溉决策模型，研发大田自动伸缩式深埋管道智能灌溉控制系统。按照国家标准（GB/T 33474-2016）的物联网“六域模型”参考架构，设计小麦智能灌溉决策控系统工程架构，实现小麦智能灌溉决策与控制的应用和推广，为小麦生产农户、专业技术人员、种植合作社等提供科学、高效、可扩展的小麦智能灌溉决策控制技术支撑。系统整体设计框架如图 1 所示。

（1）建立小麦需水量动态预测模型。对试验区气象站测得的大气温湿度、土壤温湿度、大气压力、光照等数据与网络气象数据进行耦合，基于 Penman-Monteith 法计算的参考作物需水量进行相关性分析，筛选出相关性较高的数据作为预测模型的输入因子，融合自注意力机制的 LSTM（长短期记忆神经网络）模型，构建未来一天作物需水量动态预测模型。

（2）小麦智能灌溉决策模型构建。基于机器学习算法开展田间土壤含水率预测方法研究，结合物联网监测的土壤含水率，分析土壤含水率与降雨量、作物需水量等补水耗水行为之间的相关性，构建小麦生育期每日根区土壤含水量预测模型，再将小麦需水量动态预测模型耦合到田间水量平衡方程中，建立小麦智能灌溉决策模型，根据不同生育期及生长环境状况给出小麦灌溉时间、灌溉水量、灌溉位置等重要的灌溉决策指标。

（3）大田自动伸缩式深埋管道智能灌溉控制系统及灌溉装置研发。基于小麦智能灌溉

决策模型，开发小麦智能灌溉决策控制系统，研发田块级自动伸缩式深埋管道智能灌溉装置，开展田间环境数据采集、无线数据传输、智能灌溉决策、自动伸缩式深埋管道智能喷灌等试验，开展小麦耕作管理智能化决策和自动化灌溉的应用和推广。

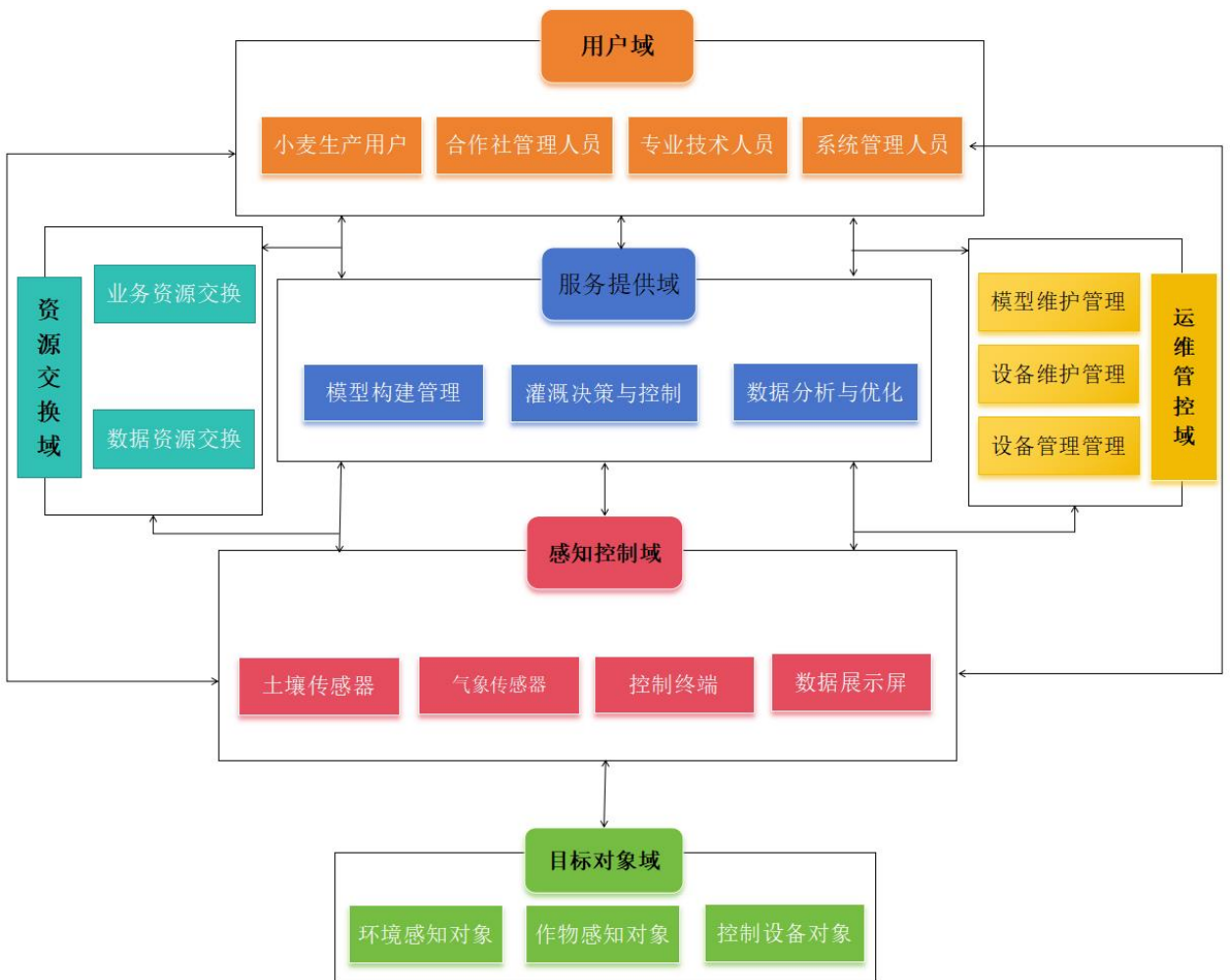


图1 小麦智能灌溉决策控制系统框架图

3. 项目创新点

项目以气象数据、物联网监测数据为基础，构建土壤含水率、降雨量、作物需水量等补水耗水关联性预测决策模型，结合田间水量平衡原理，构建小麦智能灌溉决策模型，建立小麦不同生育期智能灌溉决策机制，开发小麦智能灌溉决策控制系统，研发伸缩式自动化智能灌溉装置，实现小麦灌溉决策的智能化、自动化控制和管理。引入自注意力机制对模型进行优化，以高权重聚焦重要决策参数，以低权重忽略不相关参数，以多点位多层次田块级物联网数据及气象矫正数据为决策依据，建立小麦田间动态智能灌溉决策模型，依据预测的第二天作物根区含水量提前判断是否需要灌溉，并通过模型计算灌溉量、灌溉点和灌溉时间，实现小麦精准、定量、定位、自动化灌溉。

4. 研究方案

4.1 技术路线

项目针对小麦智能灌溉决策及灌溉装备研发等需求，安装智慧农业监测站，采集试验区的空气温湿度、土壤温湿度、风速、降雨量、光照等环境数据，同时获取网络天气预报数据，处理筛选模型数据输入参数，融合自注意力机制的 LSTM（长短期记忆神经网络）模型，构建未来一天作物需水量动态预测模型。结合物联网监测的土壤含水率及气象数据，分析土壤含水率与降雨量、作物需水量等补水耗水行为之间的相关性，预测小麦生育期每日根区土壤含水量。基于未来一天作物需水量动态预测模型，结合田间水量平衡方程，生成小麦灌溉时间、灌溉水量、灌溉位置等重要的灌溉决策指标。基于小麦智能灌溉决策模型，研发自动伸缩式深埋管道智能灌溉装置，开发小麦智能决策灌溉决策控制系统，开展小麦灌溉智能化、自动化决策推广与应用。项目研究技术路线如图 2 所示。

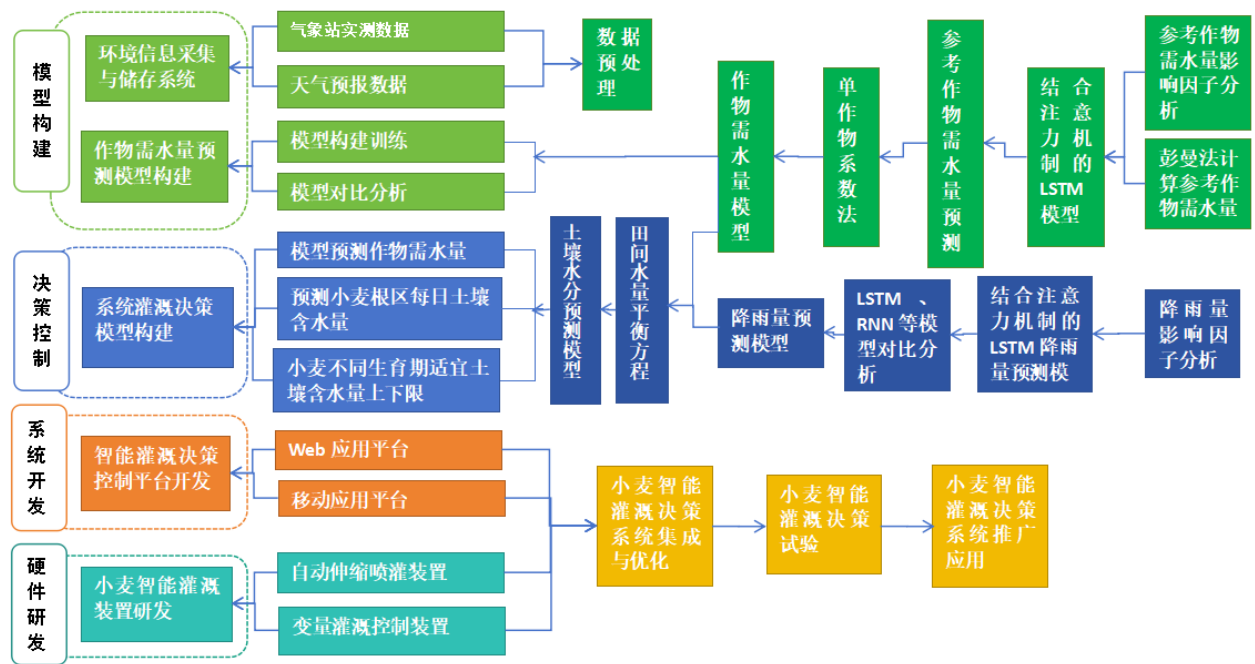


图 2 项目研究技术路线

4.2 实验设计与工程技术方案

试验设置在新乡、许昌两个试验区进行，试验区内安装有智慧农业监测设备，可监测采集田块级气象数据和土壤数据，包括空气温湿度、土壤温湿度、土壤 PH 值、光照、降雨量、大气压力等数据，每 5 分钟采集数据 1 次，并将数据实时存储于阿里云服务器，待下载处理。供试品种为矮抗 58、周麦 22、郑麦 366 和西农 509，试验设 4 个施氮水平，分别为 0(N0)、120(N1)、225(N2)和 330(N3)kg · hm⁻²，其中 50%用作基肥，50%为拔节期

追肥，磷钾肥用作基肥施入，试验采用随机区组设计，每个处理设 3 次重复。灌溉处理对 3 次重复分区分别进行智能灌溉、大水漫灌、不灌溉三种方式处理，依据构建的小麦智能灌溉决策模型，实时开展智能灌溉决策计算，并根据计算结果开展智能灌溉控制管理。试验区的其他栽培管理措施，同一般高产麦田。

4.3 智能灌溉决策控制系统设计

基于构建的小麦智能灌溉决策模型，设计开发智能灌溉决策控制系统，开展小麦智能灌溉决策管理。系统主要功能包括用户管理、参数配置、数据管理、田块管理、模型管理、灌溉控制、远程操作等。系统管理，主要用于对系统用户的建立、权限控制、角色分配等功能处理。数据管理，针对田间监测数据的参数配置、数据管理、数据的备份下载等进行处理，其中包括气象数据管理、土壤数据管理、田块数据管理、灌溉数据管理等。田块管理，包括品种管理、土壤类型管理、区域管理等。灌溉控制，包括决策模型配置、决策管理、灌溉时间管理、灌溉区域管理、灌溉决策命令执行等。系统功能模块设计如图 3 所示。

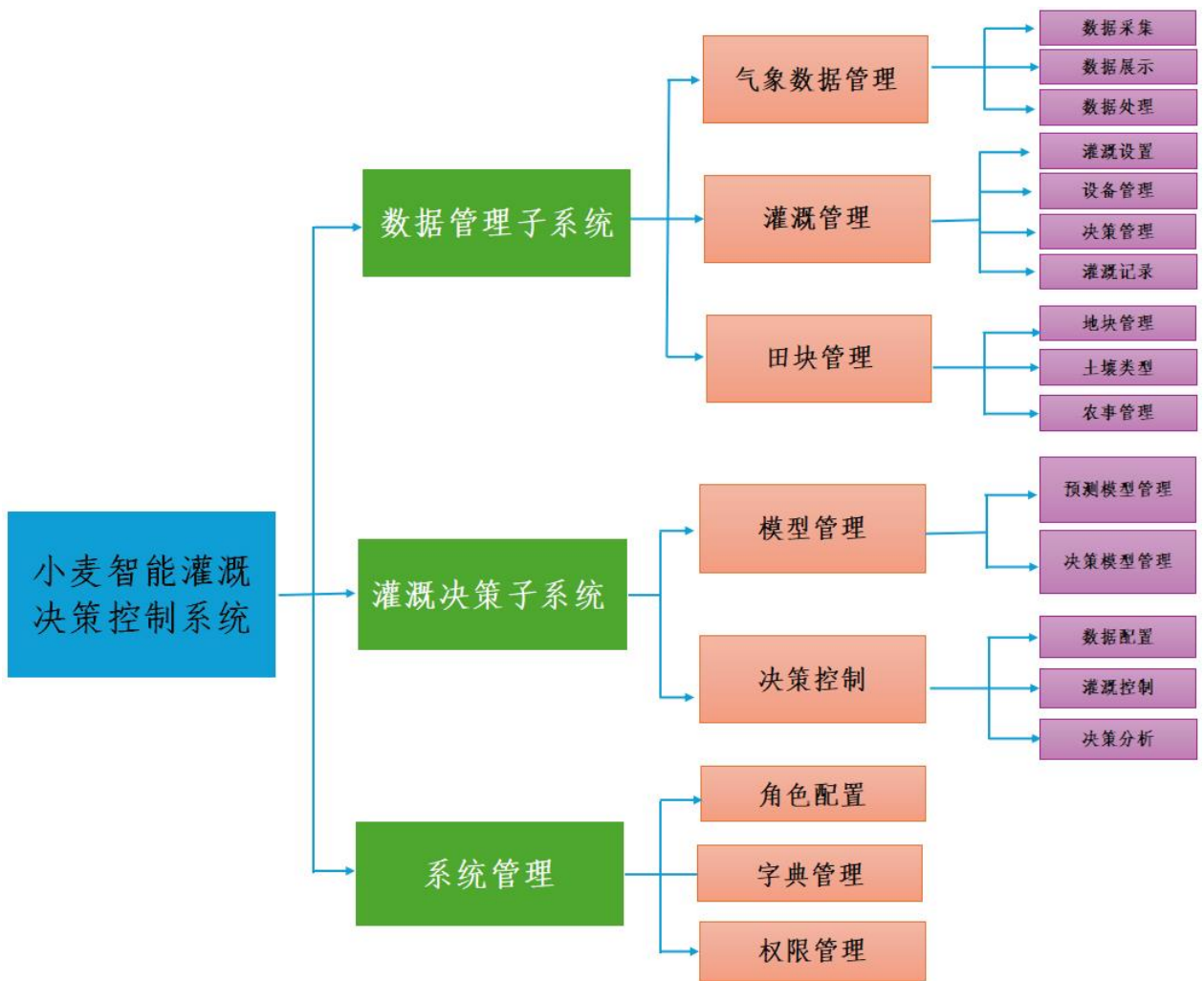


图 3 小麦智能灌溉决策控制系统功能模块图

4.4 自动伸缩式深埋管道智能灌溉装置设计

为减少灌溉管道对耕作管理的影响，研发自动伸缩式深埋管道智能灌溉装置，将管道埋于地下 60cm，灌溉喷杆采用垂直上下自动伸缩设计，利用水流方向改变及水压的压力，采用轮式滚动方式推动喷杆上下伸缩，以提高装置的机械动力。在需要灌溉时由水压推动喷杆伸出地面，灌溉后改变水流方向推动喷杆缩回地下，从而不会对耕种管收造成挂绊等影响。基于小麦智能灌溉决策控制系统需求，设计水井数量、水泵功率、管道型号、铺设方案等。利用智能水阀控制装置，设计数字化、智能化精准灌溉控制系统。

4.5 小麦智能灌溉决策控制策略设计

基于物联网实时监测的环境信息、土壤信息等决策控制参数，根据小麦不同生育时期的需水量需求，自动启动智能水阀控制装置，调节土壤湿度至适宜小麦生长的最佳水平，以实现小麦的精准灌溉决策管理。在应用灌溉区内，安装物联网监测系统，实时获取土壤及气象数据和设备状态，数据经过处理后传送至云端服务器，并通过小麦智能灌溉决策控制模型计算后开展自动或手动控制，启动灌溉装置开展灌溉作业。自动模式下，系统根据控制模型自动调整灌溉设备，手动模式下，管理人员可通过触摸屏按键或手机 APP 进行现场或远程控制，系统控制策略及流程如图 4 所示。

5. 技术经济指标

- (1) 构建小麦智能灌溉决策模型 1 套。
- (2) 研发小麦智能灌溉决策系统 1 套。
- (3) 研发自动伸缩式深埋管道智能灌溉装置 1 套。
- (4) 申请软件著作权 1—2 件。
- (5) 申请专利 1 项。
- (6) 培养研究生 1 名。
- (7) 在核心期刊上发表学术论文 1—2 篇。

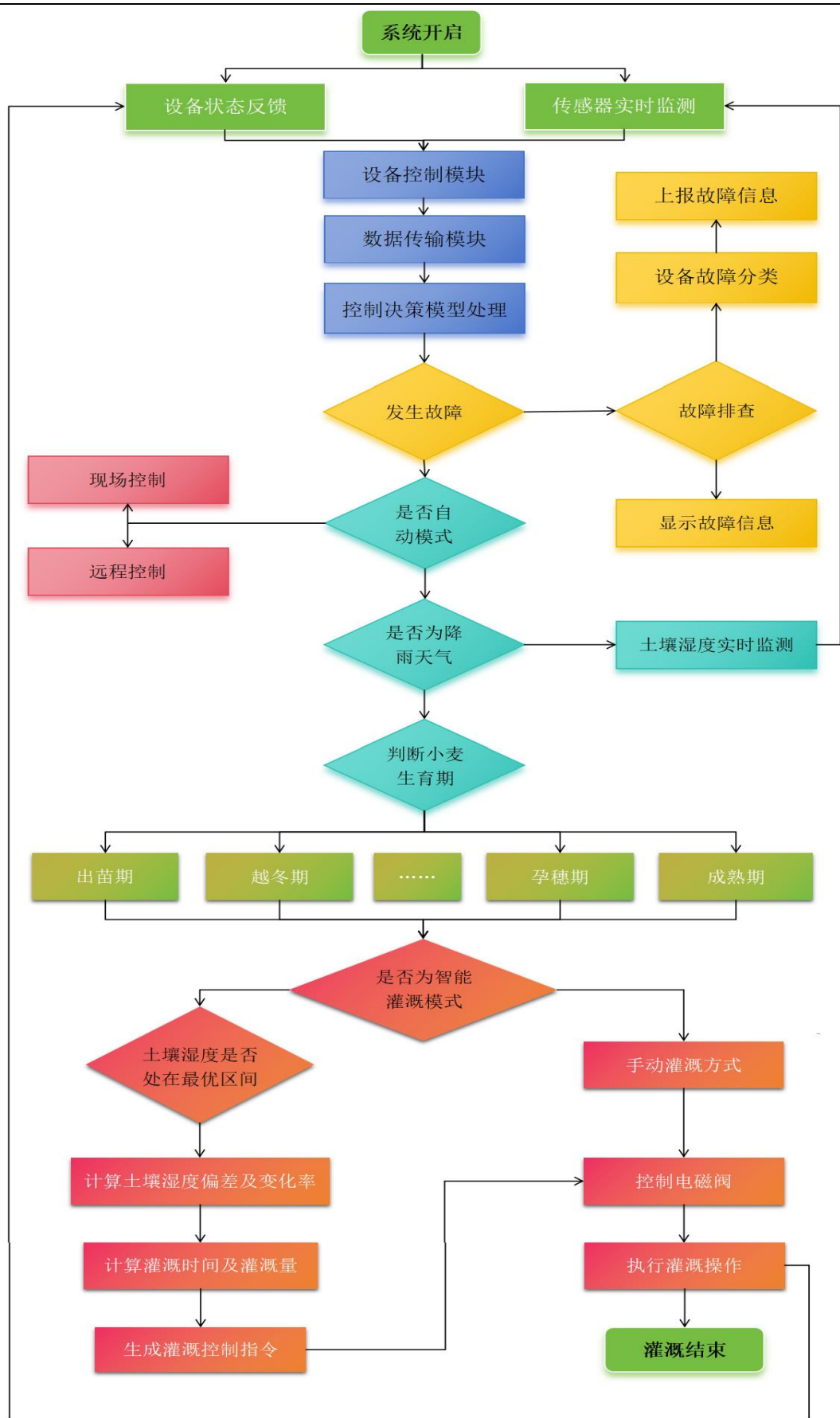


图 4 系统控制策略及控制流程图

四、项目的预期经济、社会和环境效益

项目构建了小麦的生长需水量动态预测模型，结合物联网监测的土壤含水率及气象参数，预测小麦生育期每日根区土壤含水量，再将小麦需水量动态预测模型耦合到田间水量平衡方程中，开展数据分析和决策优化，建立小麦灌溉时间和灌溉水量的智能决策模型。基于构建的小麦智能灌溉决策模型，研发自动伸缩式深埋管道智能灌溉装置，开发小麦智能灌溉决策控制系统，实现田间数据自动采集、智能监测、定量精准灌溉控制等功能。

1. 经济效益分析

项目的研究和应用为大田农业生产提供一种智能化灌溉决策方法，通过自动伸缩式深埋管道智能灌溉装置，减少大水漫灌式的小麦灌溉用水浪费，降低了人力物力的资源消耗，提高了小麦生产管理工作效率。采用智能灌溉系统进行灌溉，实现了小麦精准、定量、定位、自动化灌溉，减少了人工灌溉的各种成本，节约了大量的水资源、及人力物力成本。

2. 社会效益分析

项目提供了一种小麦灌溉量以及灌溉时间的精准决策方法，研发自动伸缩式深埋管道智能灌溉装置，开发小麦智能灌溉决策系统，可实现小麦生产管理的精准节水灌溉。项目的应用和推广将提高小麦的生产管理效率，减少资源浪费，促进我国小麦智能灌溉决策方法的研究创新，推动我国小麦智能灌溉决策系统的应用和发展，为我国农业智能化灌溉发展提供理论依据和实践参考。

3. 环境效益

项目开发大田小麦智能灌溉决策控制系统，实现小麦生产管理的精准节水灌溉，避免了传统灌溉方式所造成的水资源浪费，最大限度地提高农业用水资源的利用效率，为改善土壤生产环境提供技术支持，实现农业水资源的可持续利用，为保护农业生态环境提供技术支撑和实践参考。

五、项目实施的计划进度

全部项目拟于 2025 年 1 月 1 日——2026 年 12 月 31 日完成。

（1）2025 年度

采集试验区气象站的气象数据，融合网络气象数据，通过 Penman-Monteith 法计算参考作物需水量，开展数据与模型预测结果的相关性分析，筛选相关性较高的气象因素作为预测模型的输入因子，融合自注意力机制的 LSTM（长短期记忆神经网络）模型，构建未来一天作物需水量动态预测模型。结合物联网采集的土壤含水率及气象数据，基于机器学习算法，开展田间土壤含水率预测方法研究，分析土壤含水率与降雨量、作物需水量等补水耗水行为之间的相关性，将小麦需水量动态预测模型耦合到田间水量平衡方程中，建立小麦智能灌溉决策模型。

（2）2026 年度

基于小麦智能灌溉决策模型，开发小麦智能灌溉决策控制系统，根据试验区的田块面积、环境状况，设计水井数量、水泵功率、管道型号、铺设方案，利用智能水阀控制装置，设计数字化智能化精准灌溉控制系统。结合小麦智能灌溉决策控制系统，研发自动伸缩式深埋管道智能灌溉装置，开展田间环境数据采集、无线数据传输、智能灌溉决策、自动伸缩式深埋管道智能喷灌试验。选择 1-2 个中小规模小麦种植地块区域，安装田间自动灌溉装置及小麦智能灌溉决策控制系统，开展小麦自动化、智能化灌溉应用和推广。

六、项目合作开发情况（省外合作、国外合作、产学研合作等）

七、项目主要参加人员情况（项目负责人情况不再填写）

姓名	性别	年龄	民族	党派	单位	职称	职务	现从事专业
郭伟	女	44	汉族	中国共产党党员	河南农业大学	教授	系副主任	计算机科学技术其他学科
时雷	女	45	汉族	中国共产党党员	河南农业大学	教授	院科研秘书	计算机工程
乔红波	男	46	汉族	中国共产党党员	河南农业大学	教授	副院长	计算机科学技术其他学科
李清阳	男	27	汉族	群众	河南农业大学	其他	研究生	农学其他学科
李美琳	女	24	汉族	中国共产党党员	河南农业大学	其他	研究生	农学其他学科
李浩东	男	20	汉族	群众	河南农业大学	其他	本科生	人工智能
李煜博	男	19	汉族	群众	河南农业大学	其他	本科生	人工智能
卢建龙	男	23	汉族	群众	河南农业大学	其他	本科生	人工智能

申请单位意见：

负责人：

（签章）

年 月 日

推荐部门意见：

负责人：

（签章）

年 月 日

项目绩效目标

指标类别 (参考分值)	序号	指标名称	预期指标值（参考举例）	考核方式方法	考核指标分值	备注
任务产出指标 (30 分)	1	技术攻关完成度	通过研发突破 项关键技术或解决 项技术难题，实现预期目标	专家评价	30	必选项
技术产出指标 (20 分)	1	指标 1	形成新工艺、新技术、新方法 1 项	第三方评测	20	可选项
成果产出指标 (20 分)	1	知识产权	申请专利 1 件以上	第三方评测	5	可选项
	2	知识产权	申请软件著作权 1 件以上	第三方评测	10	可选项
	3	论文发表情况	发表论文 1 篇	第三方评测	5	可选项
效益指标（10 分）	1	社会效益	团队研究水平明显提升，职称或学历晋升 1 人	第三方评测	10	必选项
项目管理指标 (20 分)	1	指标 1	项目研发投入 10 万元	专家评价	10	必选项
	2	指标 2	预算合理、管理规范、专账核算，未出现严重违规违纪问题	专家评价	5	必选项
	3	指标 3	项目实施按计划进行，按时结项	专家评价	5	必选项