

项目编号: SKS-2022053

水利部重大科技项目 任 务 书

项目名称: 面向水稻规模化种植的高效灌排装备及数字孪生

灌排管理系统关键技术研究

项目类别: ☐任务类 ☒申报类

牵头承担单位: 浙江水利水电学院 (公章)

项目负责人: 项春 职称/职务: 教授

项目联系人: 钱亨 电话 / 手机 15068876140

推荐单位: 浙江水利水电学院 (公章)

起止年限: 2023 年 1 月 至 2025 年 12 月

中华人民共和国水利部制

2023 年 2 月 10 日

填 报 要 求

1. 《水利部重大科技项目任务书》(以下简称任务书)的填写应以《水利部重大科技项目申报书》为基础,不得降低考核指标,不得自行调整项目内容。任务类项目依据水利部下达任务直接填报。

2. 任务书将作为项目实施管理的重要依据。

3. 任务书中单位名称应与单位公章一致。

4. 项目牵头承担单位通过“水利部科技推广中心业务管理信息系统”(<http://cwsts.mwr.cn:8080/web>) 在线填报。任务书上传内容,标题统一用黑体四号字,正文部分统一用仿宋四号字填写,行距统一为 30 磅。凡不填写的内容,请用“无”表示。

5. 项目牵头承担单位完成任务书在线填报,并提交审核确认无误后,用 A4 纸在线打印、装订、签章,经推荐单位审定,一式五份报管理机构签章,其中主管部门、管理机构、推荐单位、承担单位和项目负责人各留存一份。

项目基本信息表（限 1 页）

| | | | | | | | |
|------------------|-------|--|--------------------|--|------|-------------|--|
| 项目编号 | | SKS-2022053 | | | | | |
| 项目名称 | | 面向水稻规模化种植的高效灌排装备及数字孪生灌排管理系统关键技术研究 | | | | | |
| 项目类别 | | <input type="checkbox"/> 任务类 <input checked="" type="checkbox"/> 申报类 | | | | | |
| 牵头 承担 单位 | 名 称 | 浙江水利水电学院 | | | | | |
| | 单位属性 | <input type="checkbox"/> 科研院所 <input type="checkbox"/> 其他事业单位 <input checked="" type="checkbox"/> 高校 <input type="checkbox"/> 企业 <input type="checkbox"/> 其他 | | | | | |
| | 项目负责人 | 项春 | 职称/职务 | 教授 | 移动电话 | 13616552730 | |
| | | | 电子邮箱 | xiangchun@zjweu.edu.cn | 联系电话 | 无 | |
| | | 身份证号 | 33072219740319882X | | | | |
| | 联系人 | 钱亨 | 职称/职务 | 讲师 | 移动电话 | 15068876140 | |
| | | | 电子邮箱 | qianh@zjweu.edu.cn | 联系电话 | 无 | |
| 身份证号 | | 330326199204092216 | | | | | |
| 协作单位 | | 1. 中国水稻研究所; 2. 中国计量大学; 3. 浙江绿迹农业科技有限公司 | | | | | |
| 推 荐 单 位 | 名 称 | 浙江水利水电学院 | | | | | |
| | 联系人 | 沈晓红 | 职称/职务 | | 移动电话 | | |
| | | | 电子邮箱 | | 联系电话 | | |
| 所属技术领域 | | <input checked="" type="checkbox"/> 水文水资源 <input type="checkbox"/> 水旱灾害防御 <input type="checkbox"/> 水生态保护与修复 <input type="checkbox"/> 水利工程建设与运行 <input type="checkbox"/> 河湖治理 <input type="checkbox"/> 农村水利水电 <input type="checkbox"/> 水土保持 <input type="checkbox"/> 智慧水利 <input type="checkbox"/> 其他 | | | | | |
| 项目经费规模 | | 500 万元 | 项目分类 | <input type="checkbox"/> 基础和应用基础研究 <input checked="" type="checkbox"/> 重大关键技术及装备研发 <input type="checkbox"/> 先进适用科技成果推广应用 | | | |
| 执行年限 | | 2023 年 1 月 至 2025 年 12 月 | | | | | |
| 项目摘要 | | 基于水稻规模化种植中农业高效灌排设施装备市场供给不足、农业生产用水效率低下、面源污染严重、过程管理粗放、生产过程耗时耗工等问题，围绕水资源优化配置与集约节约利用，保障水稻生产质量和农业高效灌排，研制稻田节能减排新型智慧泵阀（闸）等精准灌排装备，研发感知可靠、数据传输高效的稻田终端感知仪器设备，开发水稻长势、稻田需水预测和灌排决策算法，基于数字孪生构建水稻规模化种植高效灌排管理控制系统，在线开展灌排装备全生命周期健康管理，实现水稻规模化种植的精准灌排和生产过程“机器换人”，并开展 500 亩稻田的示范应用，引领推动新阶段水利高质量发展，综合提升社会、生态和经济效益。 | | | | | |

一、总体目标及内容

（一）项目的总体目标

本项目聚焦“水资源优化配置与集约节约利用”重点研发方向，按照水利部提出的“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求，基于浙北杭嘉湖平原规模化水稻种植特点，开展高效灌排智慧泵阀装备和感知仪器研发，实现高效灌排设施装备的集成化和自动化，为市场提供让农民用得起、管得好的智能化装备，实现水资源精准调度；通过对水稻长势、土壤水势、设备运行参数和环境信息的自动收集和分析，基于机理揭示和规律把握，构建稻田水稻长势模型、稻田需水模型、灌溉决策模型，最大程度避免粗放灌溉，实现水资源科学调度、合理配置。基于数字孪生技术实现稻田灌排运行可视化、业务信息数字化、运行管理智慧化，提高灌溉水利用效率，降低农业面源污染，减少水稻栽培物资和人工成本，提高水稻的产量和品质。

（二）项目的主要工作内容

1.2.1 稻田高效灌排设施装备研发

1) 生态友好型一体化智慧灌溉泵站研发

针对浙北杭嘉湖平原水稻规模化种植的生产需求，考虑输水环境和过流介质因素，建立固液两相流方程和复杂工况下旋转机械动力学模型，优化叶轮形式和参数，研发适用于复杂介质下变工况宽高效区的自动化高效灌溉给水泵。基于远程控制、变频调节等机电一体化技术，研发一体化灌溉泵站装置，实现灌溉给水系统流量、扬程动态调节，输配水管网泵阀设备能耗、压力、温度等设备信息自动采集。

2) 高效可靠灌排进出水阀（闸）门产品研发

针对水稻生产过程中阀（闸）门应用环境，分析阀（闸）门失效机理，优化阀（闸）门结构，降低阀门堵塞和卡阻频次。改进阀（闸）门电机驱动执行方式，提高阀（闸）门单次充电下使用寿命。优化阀（闸）门供电方式，利用太阳能供电和锂电池与高功率无线充电，减少田间供电线路。

3) 稻田水稻长势和土壤水势双相传感器研发

以水稻生长模型为基础，设计和研制基于光照模块的水稻长势阵列传感器，采集稻田冠层光照信号，实现对水稻植株长势的实时监测。在此基础上，结合激光液位计或超声波液位仪，通过空心漏管结构，无线传输和独立太阳能供电系统，实现对稻田水位的实时监测和传输，最终结合形成稻田精准灌溉双相传感设备。

1.2.2 稻田高效灌排算法研发

1) 基于冠层发育的水稻长势模型构建

通过采集水稻动态冠层光照特征数据，模拟和构建水稻冠层发育 logistics 生长模型和判别函数，计算水稻冠层初始值、发育峰值、PI 冠层指数、冠层发育衰退指数等，利用模糊控制原理，将长势指数与栽培的够苗期、幼穗分化期、齐穗期建立联系，明确水稻发育指数与生育阶段的关联。

2) 考虑时序特征的稻田需水预测模型构建

通过采集气象环境、土壤水势、水稻长势等信息，结合田块历史种植数据，构建不同水稻种植周期下灌溉量-长势-产量间的映射关系，基于长短期记忆神经网络（LSTM），以水量平衡原理为依据确定不同田块的当前需水量，避免盲目灌溉造成水资源的浪费。

3) 稻田高效灌排决策模型构建

在泵、管、阀设备历史运行数据的基础上,采用遗传-支持向量回归算法对不同工况下的泵、管、阀运行性能开展预测,统筹形成灌溉管网装置性能曲线,构建田块灌排输水决策模型,结合不同田块灌溉水量需求,以总能耗最低为约束条件求解执行机构运行方案,确定稻田高效灌排装备运行控制策略。

1.2.3 基于数字孪生的管理控制系统研发

1) 基于数字孪生的高效灌排场景构建

以无人机倾斜摄影为三维底图,结合关键田间设备 BIM 建模,从灌区全貌、功能建设、设备运行、灌排过程等多个维度进行数字化映射。基于传感技术及无线传输技术,以全感知数据获取和超感知数据分析为手段,收集和传输水稻生长参数,稻田水位、水质等环境参数以及泵阀等机电设备运行参数等,由基于云平台的智能灌排控制模型进行灌排预测、决策和管理,形成实时交互的远程闭环管理控制系统。

2) 高效灌排设施装备安康管理系统构建

将稻田物理空间、机电设备运行参数与数字空间结合,以高效灌排智能管理系统平台为基础,利用信息化巡检、在线监测、DCS 系统等信息,实现泵阀及管路等设备状态的全方位监控;研发具有实时监控设备故障诊断、健康状态预测、设备状态量化管理和评测设施装备工作状态等模块的设施装备安康管理系统。

3) 稻田高效灌排技术应用示范

为发挥本项目的经济和社会效益,集成高效灌排设施装备,规范稻田高效灌排技术应用及管理行为,与项目协作单位,创新采用“设

施优化+算法优化+管理优化”的“三合一”节水技术，通过物联网设备布设，先进节水技术研发，现代信息化管理技术推广，在浙北杭嘉湖平原开展 500 亩稻田高效灌排集成技术的应用示范。

二、预期成果及考核指标

2.1.1 预期成果

本项目基于信息化、数字化、智能化等技术，以全面感知、高效执行、智能分析、全景管理为主要目标，研发智慧精准灌排装备和感知仪器，结合机器学习、深度学习等先进算法，建立水稻精准灌溉预测、决策模型，搭建直观、可交互的稻田规模化种植高效灌排管理控制系统，实现稻田生产高效、高质、提量、减耗的目标。具体成果为：

1) 稻田精准灌溉一体化智慧泵站一套；2) 稻田精准灌溉高效可靠阀（闸）门一套；3) 稻田水势与水稻长势感知仪器一套；4) 精准灌溉预测、决策模型一套；5) 基于数字孪生的稻田规模化种植高效灌排管理控制系统一个；6) 高效灌排集成技术示范样板 500 亩。

2.1.2 考核指标

1) 技术指标及质量指标

稻田精准灌溉设施装备。其中一体化泵站流量范围 400-1000m³/h，扬程范围 4-10m，最高效率可达 80%以上，气蚀余量大于 3 米；阀产品口径 DN100-DN200，工作压力低于 1.0Mpa；稻田感知仪器水位测量精度≤1mm，量程在-300mm 至 300mm 之间，光照精度量≤1 勒克斯，量程 0-65535 勒克斯，通讯距离≥2.5Km，具备中继功能。

基于数字孪生的稻田规模化种植高效灌排管理控制系统。倾斜摄

影地面分辨率优于 5cm，关键灌排装备 BIM 建模按照 LOD400 精度等级要求建模，所有 BIM 模型部件统一、编码规范清晰，包含设备基本属性信息、数据信息。管理系统可在 Web 端，手机端，大屏端运行，具备用户权限管理。

2) 成果数量指标

申请专利 3-5 项；

发表论文 3-5 篇，其中 SCI 或 EI 2 篇；

授权软件著作权版权 3-5 项；

3) 社会效益和产业化指标

习近平总书记高度重视粮食生产和安全，强调“中国人的饭碗任何时候都要牢牢端在自己手上”，粮食安全始终是关系我国国民经济发展、社会稳定和国家自立的全局性重大战略问题，水稻种植高效灌排关键技术研究能实现水稻生产的绿色优质高效，对保障粮食安全具有重要作用。

本项目开展智能灌排设施装备的研发，结合水稻历史生产数据，当前稻田环境和设备参数，设计水稻灌排用水精准预测、科学决策模型，构建基于数字孪生构建水稻规模化种植高效灌排管理控制系统，实现水稻生产灌溉用水相较于项目未开展前减少 30%、肥料用量减少 15%，用工减少 15%，建设示范应用面积 500 亩。

三、进度安排

2023.1-2023.6

确定课题目标，制定具体工作计划，成立项目小组，开展市场考

察、调研和课题论证。开展拟采用技术研究和论证，确定总体技术方案及各子课题实施方案，撰写项目调研报告 1-2 篇。具体包括：示范地区现有水稻品种，生产过程农事活动时间节点，年降水量情况，现有管道布置情况等。计算所需泵设备扬程、流量，田间物联网通信距离，寻找能够反映示范区典型气象、土壤特征的数据采集点。

2023.6-2023.12

针对上述调研情况，开展针对性泵产品选型，并对水力结构进行优化设计，以适应稻田生产过程中需水量多变和生态友好型需求。设计新能源一体化泵车，以小范围试验田（10 亩）供水所需，制造第一代泵车，并在实际使用的过程中研究太阳能供电可能存在的稳定性、可靠性问题；以降低阀门工作能耗和提升电池续航为主要目标，结合无线充电技术开展高效可靠灌排进出水阀（闸）门研发；基于水稻长势模型研发水稻长势传感器研发，同时开展基于冠层发育的水稻长势模型构建与现场试验；基于示范区作物历史种植数据和气象数据，结合人工智能算法，研发稻田需水预测模型和稻田高效灌排决策模型理论。申请专利 2-3 项，软著 1-2 个，发表论文 1-2 篇。

2024.1-2024.6

总结前期一体化泵站在使用中遇到的问题，优化结构设计，降低制造难度和制造成本，设计制造第二代面向示范区的新能源一体化泵车；基于无人机倾斜摄影，并对关键田间设备进行 BIM 建模，开展稻田高效灌排数字孪生场景搭建；明确稻田生产过程中的故障类型，揭示故障机理和监测指标，构建稻田高效灌排设施装备安康管理系统；根据稻田生产过程中的农事流程，水稻品种的栽培模式，搭建稻田高

效灌排管理控制系统；生产样机 2-3 台，申请专利 2-3 项，软著 1-2 个，发表论文 1-2 篇。

2024.6-2024.12

开展一体化泵站、智慧阀门、作物双相传感器等水稻种植高效灌排装备关键技术集成，并在示范田的中试，设计设备相互耦合作用下的通讯方法、数据交互，开展压力测试，提升系统可靠性，完成稻田高效灌排管理控制系统 1 个。撰写数字孪生技术在大田生产中的应用相关论文 1 篇。

2025.1-2025.6

根据试运行情况，对关键技术、核心指标持续改进和提升，达到稳定工作状态，做好在 500 亩示范田全面推广应用的软硬件安装调试。生产改进型样机 1-2 台，申请专利 1-2 个，软著 1-2 个，发表论文 1-2 篇。

2025.6-2025.12

稻田精准灌排集成技术在 500 亩示范田推广试运行；各种试验数据采集、分析与存档；撰写项目研究报告，提交项目所需成果并完成项目验收。

四、项目承担单位、协作单位及主要参加人员

（一）牵头承担单位

项目承担单位浙江水利水电学院成立于 1953 年，是一所长期注重水利装备领域科学研究和人才培养的工科类高等学校，尤其在先进水利研究领域已处于国内先进、省内领先水平。学校综合实力雄厚，

经过 60 多年的不断进取，在学科专业建设、师资队伍建设、教育教学改革、科研科技服务、基础设施建设等方面取得了显著成绩，形成了以工学门类为主体，以水利水电为特色，土木、机械、电气、管理等多学科协调发展的学科专业体系。2014 年 12 月 17 日，水利部和浙江省人民政府签订共建协议，学校进入省部共建高校行列。2018 年被列入浙江省应用型示范建设高校。学校发挥学科科研优势，不断深化与地方政府、行业企业的需求对接。近 5 年来，获批国家级项目 12 项，省部级项目 99 项，获水利部大禹水利科学技术奖二等奖 1 项，浙江省水利科技创新奖 14 项，浙江省社科学研究优秀成果奖 2 项。公开发表 SCI 论文 58 篇，国内一级期刊论文 36 篇。获得授权发明专利 134 项。学校共承接各级各类横向服务项目 446 项，合同额近亿元。学校围绕机械工程学科，以水利机械装备为中心，以水利信息系统技术、农村水处理技术等为拓展，目前已经开展了大型斜式轴流泵及其泵站辅助系统的关键技术研究与应用、轴流泵全流道数值模拟及抗汽蚀特性的研究、自由曲线非圆齿轮驱动的反渗透海水淡化用差速泵的设计和研制、盐官下河站闸大修工程斜式泵站振动特性检测分析及应对措施、杭嘉湖圩区生态节能经济型闸站研究与应用、低洼易涝区排涝泵站高效技术研究等研究和技术开发。在本项目中主要承担稻田高效灌排设施装备研发，高效灌排模型构建及算法优化，并配合开展灌排控制系统研发。

（二）协作单位

中国水稻研究所是一个以水稻为主要研究对象的多学科综合性国家级研究所，在水稻科学研究领域实力雄厚，分支学科齐全、仪器

设施完备，为国际上享有较高声誉的国家级研究中心和高级人才培养基地。至 2019 年底，共取得省部级以上获奖成果 103 项次，国家级获奖成果 21 项，涵盖了国家自然科学奖、国家技术发明奖、国家科技进步奖三大奖项。“十五”期间协作单位获得全国农业科研机构综合科研能力评估第一名。协作单位在本项目中主要承担稻田水稻长势和土壤水势双相传感器的研发工作，配合开展灌排模型构建及算法优化工作。

中国计量大学是一所以计量、标准、质量、市场监管和检验检疫为办学特色的高等院校。学校现有国家质检中心等省部级以上科研平台近 40 个，高水平研究院 35 个，在智能流体机械及其测控技术、环境友好型流体机械、流体机械内流机理及结构设计等方面有较好的研究基础。主要配合承担泵、阀（闸）等精准灌排设施装备研发和设备安康管理系统构建。

浙江绿迹农业科技有限公司是一家集信息化系统研发和农业种植生产交叉融合的“数字农业生态工厂”。公司在成立的两年内就获得了第二届中国生态农业产业大会生态农业建设创新奖、浙江省第一批“数字农业工厂”试点示范主体、浙江省农业“机器换人”示范基地、浙江省“放心菜园”、浙江省首个上海市外蔬菜主供应基地等荣誉。此外公司具有近万亩的水稻种植基地，在本项目中主要承担水稻高效灌排管理控制系统研发及项目的应用示范。

（三）项目负责人

项目负责人项春，教授，主要从事水利机械产品 CAD/CAM、机械故障诊断、泵站节能技术等，主持或主要参与的纵向和横向项目 20

多项，公开发表论文 30 多篇，获省水利科技创新奖二等奖 1 项，实用新型、发明专利共 10 余项，主编或参编 11 本教材及教辅用书。为省新世纪 151 人才工程第三层次和校中青年骨干教师第一层次人才，省精品课程负责人，省机械设计竞赛委员会专家，省工程图学学会理事。先进水利装备省工程研究中心副主任（常务），方向负责人；农村水利水电资源配置与调控关键技术省重点实验室，方向负责人；机械工程省一流学科，方向负责人。主要开展大型斜式轴流泵及其泵站辅助系统的关键技术研究、轴流泵全流道数值模拟及抗汽蚀特性的研究、大型斜式泵站振动特性研究、生态节能经济型闸站研究、低洼易涝区排涝泵站高效技术研究、泵水力模型研制及测试等方面研究。

(四) 项目组成员基本情况表

| 序号 | 姓名 | 性别 | 年龄 | 职称/职务 | 专业 | 工作单位 | 每年工作时间 (月) | 职责分工 |
|----|-----|----|----|-------|------------|------------------|------------|-------|
| 1 | 项春 | 女 | 48 | 教授 | 机械工程 | 浙江水利水电学院 | 9 | 项目负责人 |
| 2 | 钱亨 | 男 | 30 | 讲师 | 流体机械装备设计 | 浙江水利水电学院 | 9 | 技术骨干 |
| 3 | 段震华 | 男 | 35 | 讲师 | 农业机械装备研发 | 浙江水利水电学院 | 9 | 技术骨干 |
| 4 | 周佩剑 | 男 | 36 | 副教授 | 水动力学与水力机械 | 中国计量大学 | 9 | 技术骨干 |
| 5 | 陈松 | 男 | 41 | 副研究员 | 水稻耕作与栽培 | 中国水稻研究所 | 9 | 技术骨干 |
| 6 | 王丹英 | 女 | 47 | 研究员 | 作物栽培学与耕作学 | 中国水稻研究所 | 6 | 参与人员 |
| 7 | 余魁 | 男 | 40 | 工程师 | 农业信息化、传感技术 | 浙江绿迹农业科技有 限公司 | 9 | 技术骨干 |
| 8 | 张三霞 | 女 | 34 | 讲师 | 信息化、传感技术 | 浙江水利水电学院 | 6 | 参与人员 |
| 9 | 梅从立 | 男 | 44 | 教授 | 控制科学与工程 | 浙江水利水电学院 | 6 | 参与人员 |
| 10 | 蔡建平 | 男 | 47 | 教授 | 控制科学与工程 | 浙江水利水电学院 | 6 | 参与人员 |
| 11 | 方贵盛 | 男 | 49 | 教授 | 计算机应用、软件开发 | 浙江水利水电学院 | 6 | 参与人员 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|---|----|-----|------------|----------|---|------|
| 12 | 江有永 | 男 | 48 | 副教授 | 机械设计 | 浙江水利水电学院 | 6 | 参与人员 |
| 13 | 施高萍 | 女 | 44 | 副教授 | 流体机械 | 浙江水利水电学院 | 6 | 参与人员 |
| 14 | 王莺 | 女 | 44 | 副教授 | 流体机械 | 浙江水利水电学院 | 6 | 参与人员 |
| 15 | 林世勇 | 男 | 43 | 讲师 | 计算机应用、软件开发 | 浙江水利水电学院 | 6 | 参与人员 |

注：1.项目组成员原则上不超过30人，项目负责人有且仅有1人；
2.技术骨干人数不得超过总人数的35%，其余为参与人员。

五、任务书签订各方签章

| | |
|--------|---|
| 牵头承担单位 | <p>单位名称：浙江水利水电学院</p> <p>单位负责人（签字）： </p>  |
| 推荐单位 | <p>单位名称：浙江水利水电学院</p> <p>单位负责人（签字）： </p>  |
| 管理机构 | <p>水利部科技推广中心</p> <p>单位负责人（签字）： </p>  |
| 主管部门 | <p>水利部国际合作与科技司</p> <p>负责人（签字）： </p>  |