

一、项目名称

喷、微灌水肥一体化精量调控技术与应用

二、提名单位

水利部

三、项目简介

水肥资源约束是制约农业可持续发展的关键因素，我国每年因缺水得不到灌溉的面积在 1 亿亩以上，亩均施肥量达国外先进水平的 3~4 倍，大力推广喷灌和微灌等高效节水灌溉技术成为保障国家粮食安全、水安全、助力农业绿色发展的重大战略。本项目紧密跟踪喷、微灌在我国不同发展阶段存在的理论体系不完善、关键技术缺乏、产品和技术模式适应性差等问题，开展了 21 年研究，破解了水肥利用率持续提升和减轻农田面源污染的难题，实现我国喷、微灌技术创新能力和应用水平的全面提升。

1、创立了喷、微灌水肥模拟优化理论，提高了模型和调控精度。探明了水、肥在灌溉施肥过程中的不同步特征，创建了灌水和施肥均匀性评价方法；发展了可以精确描述滴灌水肥一体化条件下溶质—土壤界面动态过程的水氮运移模拟模型，精度提高 20% 以上；探明了层状土壤中养分迁移的滞后性，创立了考虑水氮三维扩散特征、滞后性及水肥施入次序的微灌系统精准设计与调控方法，实现了适时适量适位满足作物水肥需求，产量提高 30%；首次建立了基于能量平衡的冠层截留损失计算模型，得出冠层截留净水量损失占灌水量 4%~6%，明确回答了冠层截留不影响喷灌的节水效果。

2、创新和发展了变量灌溉、喷灌和微灌均匀系数分区标准及水肥气热综合调控等 3 项关键技术，显著提升了喷、微灌技术水平。建成我国第一套具有自主知识产权的高精度变量灌溉系统，灌溉水深控制误差比处于国际先进水平的美国维蒙特产品降低 21%；首创了基于差异化灌水下限及精确确定土壤含水率传感器埋深数量和位置的非充分变量灌溉技术体系，系统造价降低 30%，提升了变量灌溉技术对我国水资源紧缺地区的适用性；拓展和深化了国际上对灌溉均匀系数的认识，降低了现行均匀系数标准的取值范围，为灌溉系统低压运行奠定了理论基础。

3、创制了耐高温低压薄壁滴灌带、多功能喷头等 7 套水肥精量调控设备，

性能达到国际先进水平，推动了喷、微灌设备向低压高性能的更新换代。发明了低压运行滴灌设备结构参数优化方法和材料耐热性能改进的生产工艺，工作压力降低 5 m，耐热温度提高 35℃；发明了喷洒角度记忆调节装置和结构简化方法，提高了喷头运行的抗干扰能力，攻克了复杂环境和规模化应用条件下水肥精量施入的难题；形成 3 套针对不同区域和典型作物的喷、微灌水肥精量调控模式，水分和肥料利用率平均提高 26%和 13%，系统能耗降低 19%，为东北节水增粮、华北节水压采和西北节水增效等国家节水行动提供了技术支撑。

项目获发明专利 22 件，软件著作权 4 件，编制 7 项国家/行业标准，获国际节水技术创新杰出贡献奖和国际微灌奖，两项国际奖每年度全球仅授奖一项，获省部级一等奖 2 项。取得的原创性成果产生了重大的国际影响力，被国际农业工程学会等 5 个权威国际学会纳入实用技术手册。发表论文 239 篇，总引用逾 3363 次。研制产品国内市场占有率 30%以上，近 3 年销售 46 亿元，出口 20 余个国家，创汇 2110 万美元。成果示范应用 1285 万亩，累计节水 22 亿 m³、节肥 35 万吨，增收节支逾 69 亿元，辐射推广 3000 万亩，为提高水肥利用效率、促进农业可持续发展提供了支撑。

四、客观评价

1、成果评价

2017 年 9 月 28 日，水利部科技推广中心组织了以康绍忠院士为组长的评价咨询专家组对项目进行了科学技术成果评价。专家组认为**成果总体上达到国际领先水平**。

2005 年 9 月 7 日，水利部国际合作与科技司组织了以李英能为组长、康绍忠为副组长的鉴定委员会，对项目中的系列喷头研制和产业化开发内容进行鉴定，鉴定专家组认为**成果总体达到国际先进水平**。”

2、主要知识产权

本成果出版专著 4 部，参编 3 部，发表论文 239 篇，其中，SCI 收录 67 篇，EI 收录 100 篇，Web of Science 引用 671 次，EI 引用 242 次，总引用逾 3363 次（国家农业图书馆出具检索报告）。获得国家发明专利 22 件，实用新型专利 12 件，软件著作权登记 4 件、新产品鉴定证书 3 件，参编国家标准 7 项（5 项发布，2 项在编）、行业标准 1 项（发布）、地方标准 2 项（发布）。

3、主要科技奖励

第 1 完成人李久生获得 2016 年度国际灌排委员会 (ICID) 国际农业节水技术创新杰出贡献奖, 该奖项每年全球范围仅授予 1 人。

第 1 完成人李久生获得 2017 年度美国农业与生物工程学会 (ASABE) 授予的国际微灌奖, 得到微灌技术全球领先的美国农业工程界的赞赏, 是该奖项首次授予非美国籍的科学家, 该奖项每年全球范围仅授予 1 人。

获大禹水利科学技术奖一等奖 (2018), 获农业节水科技奖一等奖 (2012)。

五、推广应用情况

项目形成了适合东北、华北、西北和西南地区小麦、玉米等主要粮食作物以及设施农业、果蔬等经济作物喷、微灌水肥精量调控技术模式, 在黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、北京、河北、河南、山东、甘肃、新疆、云南、广西、贵州等 13 个省市示范推广应用面积达到 1285 万亩。近三年, 累计实现节水 22.63 亿 m^3 , 减施肥料 35.13 万吨。

六、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	有效状态
发明专利	一种双翼型防灼伤滴灌带	中国	201610490532.7	2018.2.2	2802966	大禹节水(天津)有限公司	王冲,寇潇雨	有效
发明专利	设置电磁阀启闭循环周期的方法及装置	中国	201410635754.4	2017. 2.15	2384957	中国水利水电科学研究院;中农智冠(北京)科技有限公司	赵伟霞,李久生,王春晔,栗岩峰	有效
发明专利	一种确定土壤水分监测仪器埋设位置的方法和装置	中国	201410814832.7	2016. 1.27	1932030	中国水利水电科学研究院	赵伟霞,李久生,栗岩峰,王珍	有效
发明专利	地埋式滴灌专用单向管接旁通及制备方法	中国	201510432814.7	2018.3.6	2836233	大禹节水(天津)有限公司	王冲,纪学伟,保功辉,冯厚军	有效
发明专利	一种旋转射线喷头的角度调节装置	中国	201310192794.1	2015.5.20	1666559	中国水利水电科学研究院	栗岩峰,李久生,赵伟霞,谢时友	失效
发明专利	旋转射线喷头	中国	201410391137.4	2016.10.19	2279536	中国水利水电科学研究院	栗岩峰,李久生,赵伟霞,谢时友	失效

发明专利	具有换向旋转装置和角度控制记忆功能的升降式喷头	中国	200910080297.6	2012.5.30	961628	中国水利水电科学研究院	栗岩峰,李久生,李蓓,谢时友	失效
发明专利	一种水肥气高效耦合灌溉供水系统及灌溉方法	中国	201310269757.6	2015.5.13	1662810	鲁东大学	张振华,李久生,杨润亚,赵伟霞,潘英华	有效
发明专利	一种测量水气耦合滴灌水气出流量的系统与amp;方法	中国	2013105553919	2016.2.10	1950267	鲁东大学	张振华,李久生,姜中武,张亮,于君宝	有效
发明专利	太阳能供地热的温室重力滴灌系统	中国	201110391437.9	2015.8.12	1751029	甘肃大禹节水集团股份有限公司	门旗,王栋,王冲,谢永生,战国隆	有效

七、主要完成人情况

姓名	李久生	排名	1
技术职称	研究员	行政职务	-
工作单位	中国水利水电科学研究院		
完成单位	中国水利水电科学研究院		
对本项目技术创造性贡献：			
<p>本研究的课题组长，完成了项目的总体设计，领导了项目组的研究工作。构建了喷、微灌水肥一体化精量调控研究的总体框架，对项目“主要科技创新”均做出创造性贡献，组织了大型喷灌机变量灌溉系统研发和试验研究工作，提出喷、微灌均匀系数设计标准分区研究的思路，指导了水肥精量调控设备研发和不同区域喷微灌水肥精量模式集成与推广，是两项国际奖和两项省部级一等奖的第一完成人。</p>			

姓名	王冲	排名	2
技术职称	教授级高级工程师	行政职务	董事长
工作单位	大禹节水（天津）有限公司		
完成单位	大禹节水（天津）有限公司		
对本项目技术创造性贡献：			
<p>组织完成了低压高性能精量设备的研发和产业化工作。发明了双翼型防灼伤滴灌带，领导实施了抗堵塞低压薄壁滴灌带、双流道迷宫式滴灌带、耐热薄壁微压滴灌带、双翼型防灼伤滴灌带和注入式比例调节自动施肥机等 5 类产品的研发和生产，完成了太阳能供地热温室重力滴灌系统的研发工作，组织实施了研发产品的销售和推广应用。</p>			

姓名	栗岩峰	排名	3
技术职称	教授级高级工程师	行政职务	-
工作单位	中国水利水电科学研究院		
完成单位	中国水利水电科学研究院		
对本项目技术创造性贡献：			
<p>完成了滴灌水氮管理优化、水肥气热综合调控及多功能喷头研发等工作。揭示了滴灌水肥管理措施对水氮动态和作物产量与品质的影响机理，提出了滴灌水肥高效利用模式；协助创立了喷微灌水肥施入特征模拟优化理论，构建了滴灌水肥气热综合调控技术。完成了相关论文、专利、标准和专著有关章节的撰写。</p>			

姓名	赵伟霞	排名	4
技术职称	高级工程师	行政职务	-
工作单位	中国水利水电科学研究院		
完成单位	中国水利水电科学研究院		
对本项目技术创造性贡献：			
<p>完成了变量灌溉理论和控制方法的研究工作。搭建了圆形喷灌机变量灌溉系统，提出了变量灌溉水深精量控制方法，提出了变量灌溉分区和水分管理决策方法；提出了土壤水分传感器埋设方法，完成了相关论文、专利、标准、软件和专著有关章节的撰写。</p>			

姓名	王珍	排名	5
技术职称	高级工程师	行政职务	-
工作单位	中国水利水电科学研究院		
完成单位	中国水利水电科学研究院		
对本项目技术创造性贡献：			
<p>完成了华北半湿润区滴灌均匀系数对土壤水氮分布、淋失和作物产量影响的研究。提出降低水氮淋失风险的均匀系数适宜范围，建立了评价土壤空间变异和滴灌均匀性对水氮淋失影响的模拟模型，提出滴灌均匀系数、降雨年型和土壤变异综合作用的水氮淋失影响评价方法，完成了相关论文和专著有关章节的撰写。</p>			

姓名	王军	排名	6
技术职称	高级工程师	行政职务	-
工作单位	中国水利水电科学研究院		
完成单位	中国水利水电科学研究院		
对本项目技术创造性贡献：			
<p>完成了水肥气热调控及均匀系数影响的模拟评价研究工作。建立了基于分布式农业水文模型的区域节水灌溉技术效益评价方法，构建了滴灌条件下二维土壤水分运移和作物生长耦合模拟模型，模拟了北疆地区膜下滴灌棉花适宜的灌溉制度，完成了相关论文和专著有关章节的撰写。</p>			

姓名	薛瑞清	排名	7
技术职称	高级工程师	行政职务	副总裁
工作单位	大禹节水集团股份有限公司		
完成单位	大禹节水集团股份有限公司		

对本项目技术创造性贡献：

完成了低压高性能精量设备的产业化和滴灌水肥精量调控模式的推广工作。组织实施了低压薄壁滴灌带、双流道迷宫式滴灌带、耐热薄壁微压滴灌带和注入式比例调节自动施肥机等5类产品的性能测试、改进、新产品鉴定和产业化工作，完成了滴灌水肥精量调控模式在西北、西南和东北部分地区的推广工作。

姓名	谢敬芬	排名	8
技术职称	正高级工程师	行政职务	-
工作单位	河北省水资源研究与水利技术试验推广中心		
完成单位	河北省水资源研究与水利技术试验推广中心		

对本项目技术创造性贡献：

完成了华北地区喷、微灌水肥一体化技术集成和推广工作。提出了河北平原区水肥一体化关键技术，构建了针对华北地区层状质地土壤的微灌系统优化设计和运行管理集成应用模式，建成了华北粮食作物喷灌、蔬菜和果蔬滴灌的水肥一体化精量调控技术示范区，参与编制了地方标准。

姓名	郑文生	排名	9
技术职称	高级工程师	行政职务	副所长
工作单位	黑龙江省水利科学研究院		
完成单位	黑龙江省水利科学研究院		

对本项目技术创造性贡献：

完成了东北地区喷、微灌水肥一体化技术集成和推广工作。提出了膜下滴灌水肥一体化与农艺化控综合管理技术，构建了针对东北地区大田粮食作物的滴灌水肥气热综合调控集成应用模式，建成了东北粮食作物喷微灌水肥一体化精量调控技术示范区，参与了地方标准的编写。

姓名	张建君	排名	10
技术职称	助理研究员	行政职务	-
工作单位	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所		
完成单位	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所		

对本项目技术创造性贡献：

完成了滴灌水肥运移动力学过程研究和模拟工作。揭示了滴灌水肥运移分布规律及不同形态氮素运移分布的差异性，构建了滴灌水氮运移动力学模型，提出了滴灌水氮调控技术参数优化方法，完成了相关论文和专著有关章节的撰写。

八、主要完成单位及创新推广贡献

单位名称	中国水利水电科学研究院				
排 名	1	法定代表人	匡尚富	所 在 地	北京
通讯地址	北京市海淀区车公庄西路 20 号				
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：					
<p>中国水利水电科学研究院为项目主持单位，负责项目总体设计、组织实施、方案拟定、技术把关和成果集成，主持承担了本研究依托的各项国家级课题。系统开展了喷微灌水肥试验和模拟研究工作，揭示了水肥施入差异形成规律与性能优化机理，提出层状结构土壤中根据水肥分布特性优化水力参数的微灌系统设计新方法，创立了喷、微灌水肥施入特征模拟优化理论；研发了国内第一台具有自主知识产权的圆形喷灌机变量灌溉系统，提出不同分区采用差异化灌水下限生成变量灌溉处方图的非充分变量灌溉技术；研究了喷、微灌均匀系数对土壤水氮动态和作物生长的影响，提出喷、微灌均匀系数分区标准值；系统研究了东北地区施氮调控措施、揭膜时间和覆膜方式对水氮转化、吸收及作物产量的影响，提出了水肥气热综合调控方法。发明了具有记忆功能旋转角度控制装置和自动换向装置，发明了无需齿轮传动机构的射线喷头旋转角度调节装置和外置流量调节装置。以第一完成单位获得 ICID 国际节水技术奖、ASABE 国际微灌奖和两项省部级科技一等奖，完成了项目论文、专著、专利、软件和标准的撰写等工作，是项目创新成果取得的核心单位。</p>					

单位名称	大禹节水集团股份有限公司				
排 名	2	法定代表人	王浩宇	所 在 地	甘肃
通讯地址	甘肃省酒泉市肃州区解放路 290 号				
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：					
<p>作为项目主要完成单位，承担了低压高性能水肥精量控制设备的研发和产业化工作，实施了喷微灌水肥精量调控模式的部分示范推广工作。创制了耐高温低压薄壁滴灌带系列产品，发明了低压滴灌灌水器交错倒刺型结构流道设计方法和迷宫双流道组合实现流量范围扩大的方法，定型了抗堵塞低压薄壁滴灌带、双流道迷宫式滴灌带、耐热薄壁微压滴灌带和双翼型防灼伤滴灌带等 4 种产品，研发了一种可实现施肥浓度自动测控的注入式比例调节自动施肥机，发明了适用于温室滴灌系统的太阳能地热调控装置，实施了低压高性能水肥精量控制系列产品的生产、销售和推广应用工作，实施了耐灼伤低压滴灌系统集成应用模式和大型喷灌机水肥优化管理集成应用模式等在西北、西南和东北部分地区的示范推广工作。完成了相关专利的撰写和新产品鉴定等工作。</p>					

单位名称	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所				
排 名	3	法定代表人	周清波	所 在 地	北京
通讯地址	北京市中关村南大街 12 号				
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：					
<p>作为项目主要完成单位，承担了喷微灌水肥调控基础理论试验研究和模拟工作。系统开展滴灌条件下土壤水分和溶质运移的试验和模拟研究，创建了描述滴灌条件下水氮运移分布动力学过程及差异性的数学模拟模型，系统阐释了不同质地土壤中滴头流量、灌水量和肥液浓度等技术参数对水氮运移、分布及淋失的影响规律；提出了滴灌水氮调控技术参数优化方法；建立了国际上最早描述滴灌水氮运移的人工神经网络模型，系统揭示了灌水量、施肥量、施肥灌溉系统运行方式等技术参数对水肥施入特征的调控机理及作物响应特征；开展了不同施肥装置灌溉施肥性能的试验研究和模拟评价工作，完善了喷微灌灌溉施肥性能田间评价方法，协助中国水利水电科学研究院构建了喷微灌水肥施入特征模拟优化理论，完成了相关论文和专著部分章节的撰写工作。</p>					

单位名称	黑龙江省水利科学研究院				
排 名	4	法定代表人	张守杰	所 在 地	黑龙江
通讯地址	哈尔滨市南岗区延兴路 78 号				
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：					
<p>作为项目主要完成单位，承担了滴灌水肥热高效利用模式的研究示范区建设和推广应用工作。建立了适合东北地区膜下滴灌的覆膜方式和水肥调控措施优化组合方法，建立了以水肥气热综合调控技术为核心的大田粮食作物膜下滴灌水肥高效利用模式，提出东北地区适宜的滴灌覆膜方式，建成了东北地区滴灌水肥热高效利用模式示范区，完成了相关地方标准和论文的编写。</p>					

单位名称	宁海县润茵节水喷灌设备有限公司				
排 名	5	法定代表人	徐亚君	所 在 地	浙江
通讯地址	宁波市宁海县力洋模具产业园区 10 幢				
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：					

作为项目主要完成单位，承担了多功能喷头的研发和产业化工作。参与发明了具有记忆功能旋转角度控制装置和自动换向装置，定型了齿轮传动、散射式、涡轮驱动和旋转射线喷头等 4 个系列多功能喷头产品。实施了多功能系列喷头产品的生产、销售和推广应用工作。

单位名称	河北省水资源研究与水利技术试验推广中心				
排 名	6	法定代表人	刘印良	所在地	河北
通讯地址	石家庄市石清路 69 号				
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：					
作为项目主要完成单位，承担了华北地区喷、微灌水肥一体化技术集成和推广工作，提出了河北平原区水肥一体化关键技术，建立了针对典型作物的滴灌系统设计和运行管理集成应用模式，建成了华北粮食作物喷灌、蔬菜和果蔬滴灌的水肥一体化精量调控技术示范区，主持编制了地方标准。					

单位名称	鲁东大学				
排 名	7	法定代表人	王庆	所在地	山东
通讯地址	山东省烟台市红旗中路 186 号				
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：					
作为项目主要完成单位，承担了水气耦合调控技术研究和滴灌水肥精量调控技术的集成推广工作，研制了基于循环曝气的水气耦合灌溉系统，提出了针对不同作物的水气耦合滴灌技术参数确定方法。在山东地区建成了滴灌水肥一体化系统设计和运行管理标准化技术模式示范区，完成了相关专利的撰写。					

九、完成人合作关系说明

1、第 1 完成人李久生从 1997 年起，陆续联合项目其他完成人及所在单位协同攻关，合作开展了喷微灌水肥一体化理论技术研究、设备研发和示范应用推广等工作：

- 通过共同立项的方式，与栗岩峰（第 3 完成人）、赵伟霞（第 4 完成人）、王珍（第 5 完成人）、王军（第 6 完成人）等共同承担了国家自然科学基金项目、国家 863 计划课题和国家科技支撑计划课题等国家级科研项目。在本成果任务来源的 5 项课题中，李久生是 3 项课题的负责人，栗岩峰等 4 人作为课题骨干全程参与

课题研究。

● 通过合著论文和专著的方式，与张建君（第 10 完成人）、栗岩峰（第 3 完成人）合作发表了滴灌水氮运移调控机理及数学模拟等方向的学术论文；与赵伟霞（第 4 完成人）、栗岩峰（第 3 完成人）等合作发表了变量灌溉及喷灌水肥管理方向的学术论文，与王珍（第 5 完成人）、王军（第 6 完成人）等合作发表了滴灌均匀系数方向的学术论文，合作出版专著 3 部。

● 通过共同知识产权的方式，与栗岩峰（第 3 完成人）、赵伟霞（第 4 完成人）、宁海县润茵节水喷灌设备有限公司（第 5 完成单位）相关人员共同获得了多功能系列喷头方向的国家发明专利授权；与赵伟霞（第 4 完成人）和栗岩峰（第 3 完成人）共同获得了变量灌溉控制技术等方面的国家发明专利授权；与鲁东大学（第 7 完成单位）相关人员和赵伟霞（第 4 完成人）共同获得了滴灌水气耦合调控技术方向的国家发明专利授权。

● 通过产业合作的方式，由所在单位中国水利水电科学研究院和王冲（第 2 完成人）所在单位大禹节水集团股份有限公司于 2010 年签订院企合作协议书，明确了中国水利水电科学研究院为大禹节水集团股份有限公司的产品研发提供技术支撑，大禹节水集团股份有限公司为中国水利水电科学研究院的科研成果转化及产业化提供试验示范基地。双方共同承担了国家 863 计划和国家科技支撑计划等课题。王冲（第 2 完成人）和薛瑞清（第 7 完成人）利用双方建立的合作平台，创制了本成果中的耐高温低压薄壁滴灌带等系列产品，并具体负责产品的模具加工、中试、生产和产业化等工作；李久生（第 1 完成人）和栗岩峰（第 2 完成人）等为设备研发提供相关技术支持和设备检测服务。

● 通过成果申报的方式，与王冲（第 2 完成人）、栗岩峰（第 3 完成人）、赵伟霞（第 4 完成人）、王珍（第 5 完成人）、王军（第 6 完成人）、薛瑞清（第 7 完成人）、郑文生（第 9 完成人）、张建君（第 10 完成人）等共同完成的成果“喷、微灌水肥一体化精量调控技术与规模化应用”获得 2018 年度大禹水利科学技术一等奖。

2、第 3 完成人栗岩峰通过共同立项的方式，与郑文生（第 9 完成人）共同承担了国家科技支撑计划课题“玉米膜下滴灌技术集成研究与示范”，栗岩峰为课题负责人，郑文生作为主要技术骨干全程参加了课题研究，合作创建了东北地区喷、微灌水肥一体化集成模式，课题已于 2014 年 1 月 23 日通过科技部验收。

3、第 8 完成人谢敬芬通过共同立项的方式，与宁海县润茵节水喷灌设备有限公司（第 5 完成单位）相关科研人员共同承担了河北省水利科研推广计划项目“河北省平原区水肥一体化关键技术集成推广与应用”，课题已于 2017 年初通过河北省科技厅验收。