

科学技术进步奖公示内容

一、 项目名称：四预一体化干旱精准防御理论与关键技术

主要完成人：黄生志、屈艳萍、粟晓玲、顾西辉、张洪波、王浩、许佳、严子奇、赵静、冷国勇、郭怿、冯凯、吴海江、姜田亮

主要完成单位：西安理工大学、西北农林科技大学、中国水利水电科学研究院、中国地质大学（武汉）、长安大学、黄河勘测规划设计研究院有限公司、中国科学院地理科学与资源研究所、华北水利水电大学

二、 提名者及提名意见（包含提名等级）：

面向提升我国自然灾害防治能力的重大需求，该项目依托国家重大科研项目，围绕干旱精准防御理论与关键技术开展系统攻关，8家单位联合持续开展10余年研究，重点破解了变化环境下干旱形成与长链条传递机制不清、精准预报与梯级预警能力不足、重大干旱风险预演与农业抗旱精准调度能力不足等关键科学与技术难题。项目取得三大创新性成果：（1）创立变化环境下干旱长链条演变与致灾理论，系统揭示干旱长链条传递规律与机制，阐明变化环境下干旱对陆地生态系统和农业的致灾机制；（2）创建多类型、多尺度干旱精准预报与梯级预警技术，突破干旱精准预报、长预见期预测及多类多级触发阈值识别等关键技术瓶颈；（3）创建重大干旱风险预演与农业抗旱精准调度关键技术，实现历史特大干旱影响定量预演，提出基于分期分级旱限水位与多水源分层配置的农业抗旱调度技术，相关成果集成应用于黄河水旱灾害防御“四预”系统。

项目成果具有显著的社会公益性、技术先进性和工程实用性。相关成果支撑了《全国抗旱规划实施方案（2014-2016年）》和《黄河干流抗旱应急调度预案》等国家及流域重大抗旱规划、预案的编制与实施，形成的干旱精准预报预警、风险预演和水资源调控成果集成应用于黄河水旱灾害防御“四预”系统，为黄河流域水旱灾害预报、预警、预演、预案业务提供了重要科技支撑。该项目在支撑国家和地方重大抗旱决策、保障流域水安全与粮食安全、提升重大干旱风险防御能力以及高层次人才培养等方面取得了显著社会效益，具有重要的推广应用价值。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，完成人及完成单位排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

三、 项目简介：

变化环境下干旱呈频发、广发态势，严重威胁粮食安全，并造成巨大经济损失。我国干旱问题突出，如1951-2018年因旱导致的粮食损失高达230亿公斤/年，年均旱灾经济损失1526亿元。提升干旱防御能力是减缓旱灾损失的关键途径，也是国家重大需求。然而，干旱精准防御既是国际学术前沿也是世界性难题。

究其原因在于与其他自然灾害相比，变化环境下干旱的形成机理与致灾机制错综复杂，其准确预报与预警的难度非常大，历史特大干旱对当前社会经济的不利影响难以准确复盘和重演。项目以“预报-预警-预演-预案”四预一体化的干旱精准防御为研究主线，形成了四预一体化干旱精准防御理论与关键技术，取得了三大创新性成果：

1、创立变化环境下干旱长链条演变与致灾理论，突破干旱精准防御的理论认知瓶颈。

2、创建多类型、多尺度干旱精准预报与梯级预警技术，突破干旱预报预警核心技术瓶颈。

3、创建重大干旱风险预演与农业抗旱精准调度关键技术，支撑黄河流域水旱灾害“四预”协同防御。

四、 客观评价：

1、科技查新

通过教育部科技查新工作站对本研究涉及的变化环境下干旱形成与长链条传播机理、干旱对生态系统和农业的致灾机制、基于机器学习和物理模型的干旱精准预报、旱情旱灾梯级预警、历史特大干旱重演影响分析及水库旱限水位控制等技术进行国内外查新，结果表明：在国内外公开发表的中外文文献中，未见与本项目查新点完全相同的报道，表明本项目相关理论与技术具有突出创新性。

2、验收意见

国家自然科学基金（No.51379014、No.51879222）：国家自然科学基金项目的审查结果：“按有关规定已审核完毕，准予结题。”

中国工程院重大咨询项目（2012-ZD-13）：2015 年由中国工程院土木、水利与建筑工程学部组织专家进行项目验收，专家组一致认为：“验收材料齐全、规范，符合验收要求；提出的我国旱涝事件应对的综合战略对应对我国旱涝事件具有重要的指导意义；同意通过项目技术验收。”

水利部公益性行业科研专项项目（200901046）：2013 年中华人民共和国水利部组织专家进行项目验收，专家组一致认为：“构建的城市干旱预警指标体系及应急响应决策支持示范平台为城市科学抗旱提供技术支持。项目成果为《全国旱警水位（流量）确定试点项目》和《中国干旱灾害风险管理战略试点研究》提供了技术支持，具有较好的应用前景。”

国家重点研发计划国际科技创新合作重点专项项目（2023YFE0103900）：2025 年科技部国际科技合作中心组织专家对项目进行验收，专家组一致认为：“项目突破了耦合复杂气候网络和深度神经网络的海洋-中亚干旱预测关键技术，完成了海洋-中亚干旱预测预警系统的构建，项目成果提高了研究区防旱抗旱和防灾减灾能力。专家组建议项目综合绩效评价结论为通过。”

3、国内外重要科技奖励

“变化环境下干旱传播机理与风险评估技术”获 2021 年陕西省高等学校科学技术一等奖。

“水循环关键过程对全球变化的非稳态响应及其洪旱效应”获 2024 年大禹水利科学技术奖自然科学奖二等奖。

“干旱海陆传播全过程智能感知与水资源孪生调控技术及应用”获 2025 年自然资源科学技术奖科技进步奖二等奖。

“气候变化背景下农业干旱智能感知与风险评估关键技术及减灾应用”获 2025 年中国产学研合作促进会科技创新奖—创新成果奖二等奖。

“融合卫星—地面多源观测的干旱综合监测评估技术与应用”获 2024 年中国气象服务协会科学技术奖气象技术发明奖二等奖。

4、国内外同行专家评价

(1) 干旱长链条传递成果发表于国际水文与气象领域国际权威期刊 *Agricultural and Forest Meteorology*、*Journal of Hydrology*、*Global and Planetary Change* 等，得到了国内外学者的广泛关注与引用。

(2) 干旱致灾机制方面，本项目首次在全球范围构建的干旱下作物减产风险评估模型研究成果被 SCI 他引 153 次，并被《*Science*》、IPCC AR6、联合国减灾署、世界银行等广泛引用。

(3) 基于机器学习和物理模型研发的干旱预报模型受到了国内外学者的广泛关注，先后被美国、韩国、挪威、印度等 30 多个国家和地区的学者累计引用 800 余次。

(4) 中山大学陈晓宏教授、合肥工业大学金菊良教授对本项目提出的干旱预案成果进行正面评价。

(5) 研发的考虑灌溉的地球系统模型先后被美国新一代地球系统模式 E3SM 及国际著名陆面模式 CLM 采纳，成果被选为 AGU 世界地球日研究亮点且被美国能源部重点报道。美国宇航局 NASA 水文实验室主任 Matthew Rodell 团队、国际著名科学家 Sonia Seneviratne 教授团队对该成果进行了正面评价。

(6) 海—气—陆水循环下农业干旱智能感知、形成机制与数字减灾成果被评为 2026 年全国数字减灾大会优秀科技成果（全国仅 5 项）。

5、取得的重要知识产权

依托项目研究的主要技术和成果，制定国家标准 1 部、导则 1 部；获发明专利 39 项，软件著作权 65 项；出版专著 8 部；发表高水平论文 300 余篇，其中，SCI 检索 196 篇（一区 105 篇），ESI 高被引论文 20 篇，1%热点论文 6 篇。

五、应用情况：

以国家级和省部级项目为依托，项目组针对变化环境下干旱形成与长链条传递机制不清、精准预报与梯级预警能力不足、重大干旱风险预演与农业抗旱精准调度能力不足等关键问题，形成了涵盖理论认知、精准预报、梯级预警、风险预演、抗旱调度和业务应用的干旱精准防御理论与技术体系。研究成果已在相关涉水管理部门、科研院所及生产单位得到应用，取得了显著社会效益。典型应用如下：

(1) 项目研发的陕西省旱情监测预警综合平台填补了陕西省旱灾防御领域

专有业务平台的长期空白，具有典型的先行先试与引领示范作用。

（2）项目形成的干旱精准预报预警、重大干旱风险预演和水库旱限水位调控等关键技术成果，被水利部水旱灾害防御司应用于《全国抗旱规划实施方案（2014-2016）》的编制，并被黄河水利委员会水资源管理与调度局应用于《黄河干流抗旱应急调度预案》中最优旱限水位的确定，为跨年度抗旱减灾方案编制及实现黄河干流不断流提供强有力支撑。

（3）项目构建的旱灾危机预警系统、提出的四预一体化的干旱精准防御技术、历史特大干旱的预演分析方法等被黄河上游青海省水利厅、甘肃省水利厅、宁夏回族自治区水利厅、内蒙古自治区水利厅，黄河中游陕西省水利厅和黄河下游河南省水利厅、山东省水利厅广泛应用于各省抗旱预案的编制，为各省合理利用引黄水、当地地下水等水源，有序应对干旱，以及在干旱枯水年份合理调配水资源提供了科学依据和重要支撑，进一步提升了区域抗旱减灾能力。

（4）项目提出的高时空分辨率干旱传递时间与阈值的计算方法，被水利部水利水电规划设计总院应用于第一次全国自然灾害综合风险普查的《干旱灾害风险调查评估与区划编制》工作，作为第一次全国灾害综合风险普查技术规范的核心内容推广至全国，促进了我国第一次灾害综合风险普查的顺利开展。

六、 主要知识产权和标准规范等目录：（限 10 条，所列专利证书颁发日期、标准规范发布日期、论文发表日期应在 2025 年 12 月 31 日之前。填写论文专著时请注意按原文中英文填写）

序号	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
1	标准	区域旱情等级	中国	GB/T 32135-2015	2015 年 10 月 13 日	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会	国家防汛抗旱总指挥部办公室、中国水利水电科学研究院	张志彤、成福云、吕娟、吴玉成、苏志诚、屈艳萍、刘宝军、刘洪岫、孙远斌、马涛、高辉、孙洪泉、张海滨、马苗苗、吕厚荃、高歌
2	标准	抗旱预案编制导则	中国	SL 590-2013	2013 年 1 月 22 日	中华人民共和国水利部	中国水利水电科学研究院	张志彤、张旭、刘学峰、万群志、吕娟、苏志诚、付成伟、冯琳、屈艳萍、王为、杨光、吴玉成、张海滨、高辉、孙洪泉、李云玲

3	专著	区域极端降水事件时空统计特征及机理	中国	ISBN 978-7-03-046869-7	2020年10月	科学出版社	中国地质大学（武汉）	顾西辉、张强
4	发明专利	一种考虑时空关联的三类型干旱传递识别方法	中国	ZL202211232849.2	2025年3月	第7824667号	西北农林科技大学	粟晓玲、姜田亮
5	发明专利	一种基于二元涌现约束的表层土壤水预测方法	中国	ZL202410462305.8	2024年10月	第7486230号	中国科学院地理科学与资源研究所	冷国勇、姚蕾、邱嘉丽、黄生志、廖晓勇
6	发明专利	一种高温—干燥条件下干旱事件气候变化信号检测方法	中国	ZL202310411090.2	2024年6月	第8194874号	中国地质大学（武汉）	闵睿盈、顾西辉、蒋磊、冯舒云、张翔、郑炎辉、孔冬冬
7	发明专利	一种梯级水库分级分期旱限库容的计算方法	中国	ZL202110551122.X	2022年2月	第4915875号	中国水利水电科学研究院	严子奇、郑金丽、周祖昊、严登华、贾仰文、王浩、刘佳嘉
8	发明专利	一种基于条件概率高时空分辨率的干旱传播时间计算方法	中国	ZL202111161033.0	2021年9月	第7274821号	西安理工大学	黄生志、李逸飞、马川惠、冷国勇、王韩叶、方伟、邓铭江
9	发明专利	INTENSIFICATION MECHANISM ANALYSIS AND ANTHROPOGENIC CLIMATE CHANGE SIGNAL IDENTIFICATION METHOD FOR TERRESTRIAL WATER CYCLE	美国	US12174337B1	2024年12月	United States Patent and Trademark Office	CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES(WUHAN)	Xihui Gu; YansongGuan; Lunche Wang; Xiang Zhang; Yanhui Zheng; JieGong; Dongdong Kong

		(TWC) IN DRY AND WET REGIONS						
10	论文	Comparison between canonical vine copulas and a meta-Gaussian model for forecasting agricultural drought over China	中国	2022, 26(14): 3847-3861	2022 年 1 月	Hydrology and Earth System Sciences	西北农林科技大学	Haijiang Wu、Xiaoling Su、Vijay P. Singh、Te Zhang、Jixia Qi、Shengzhi Huang

承诺：上述知识产权无争议且为本项目独有，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年其他省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖提名项目中作为支撑材料出现。用于提名陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的权利人（专利发明人）的同意，有关知情证明材料均存档备查。

七、 主要完成人情况：

排名	姓名	技术职称	行政职务	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	黄生志	教授	无	西安理工大学	西安理工大学	（1）参与完成了本项目研究，探明了气象干旱到农业、水文、地下水和生态干旱的长链条传递规律与机理，揭示了大规模植树造林和灌溉对干旱胁迫下植被易损性的影响机制；（2）对创新点 1~3 做出了创造性贡献；（3）代表作 8 的第一作者，代表作 10 的共同作者。
2	屈艳萍	教授级高级工程师	防洪抗旱减灾所副所长	中国水利水电科学研究院	中国水利水电科学研究院	（1）参与完成了本项目研究，预演了历史特大干旱事件对我国现状供水、粮食与经济的可能影响；（2）对创新点 3 做出了主要贡献；（3）代表作 1、2 的共同作者。
3	栗晓玲	教授	无	西北农林科技大学	西北农林科技大学	（1）参与完成了本项目研究，创建了综合生态干旱监测指数 CDI_C、研发了农业干旱预测模型和预警模型及关中地区农业干旱预测预警平台；（2）对创新点 1、2 做出了创造性贡献；（3）代表作 4 的第一作者，代表作 10 的第二兼通讯作者。

4	顾西辉	教授	无	中国地质大学（武汉）	中国地质大学（武汉）	（1）参与完成了本项目研究，参与揭示了多气象因子非线性变化及其交互作用驱动的气象干旱形成机制；（2）对创新点1做出了主要贡献；（3）代表作3、9的第一作者，代表作6的共同作者。
5	张洪波	教授	教育部重点实验室副主任	长安大学	长安大学	（1）参与完成了本项目研究，创建多类多级干旱触发阈值识别与梯级预警技术；（2）对创新点2做出了贡献；（3）共同参与水利部公益性行业科研项目。
6	王浩	教授 高级工（中国工程院院士）	国家重点实验室主任	中国水利水电科学研究院	中国水利水电科学研究院	（1）参与完成了本项目研究，阐明了气象干旱到农业和水文干旱的传递过程与机理；（2）对创新点1做出了贡献；（3）代表作7的共同作者。
7	许佳	高级工程师	无	黄河勘测规划设计研究院有限公司	黄河勘测规划设计研究院有限公司	（1）参与完成了本项目研究，阐明了气象干旱到农业和水文干旱的传递过程与机理；（2）对创新点1做出了贡献；（3）共同参与水利部公益性行业科研项目。
8	严子奇	正高级工程师	研究室主任	中国水利水电科学研究院	中国水利水电科学研究院	（1）研发了基于旱限水位与分层配置的农业抗旱调度技术；（2）对创新点3做出了贡献；（3）代表作7的第一作者。
9	赵静	副教授	无	西安理工大学	西安理工大学	（1）参与完成了本项目研究，探明了气象干旱到农业、水文、地下水和生态干旱的长链条传递规律与机理；（2）对创新点1做出了贡献；（3）共同参与水利部公益性行业科研项目。
10	冷国勇	研究员	无	中国科学院地理科学与资源研究所	中国科学院地理科学与资源研究所	（1）参与完成了本项目研究，阐明了气候变化对气象、农业和水文干旱的影响，预估了未来我国气象、农业和水文干旱的时空演变，研发了灌溉模块的地球系统模型；（2）对创新点2、3做出了贡献；（3）代表作5的第一作者、代表作8的共同作者。
11	郭恽	讲师	无	西安理工大学	西安理工大学	（1）参与完成了本项目研究，建立了基于贝叶斯网络的干旱传播阈值模型；（2）对创新点2做出了贡献；（3）共同参与水利部公益性行业科研项目。
12	冯凯	教授	无	华北水利水电大学	华北水利水电大学	（1）参与完成了本项目研究，创建深度学习、分解-合成与物理约束融合的干旱精准预报技术；（2）对创新点2做出了

						贡献；（3）共同参与水利部公益性行业科研项目。
13	吴海江	教授	无	西北农林科技大学	西北农林科技大学	（1）研发了考虑大气环流因子的长预见期农业干旱预测模型、基于高维 Vine Copula 概率分布的农业干旱预测模型；（2）对创新点 2 做出了贡献；（3）代表作 10 的第一作者。
14	姜田亮	工程师	无	中国水利水电科学研究院	中国水利水电科学研究院	（1）参与完成了本项目研究，提出了基于旱限水位与分层配置的农业抗旱调度技术；（2）对创新点 3 做出了主要贡献；（3）代表作 4 的第一作者。

八、 主要完成单位及创新推广贡献：

排名	完成单位	创新推广贡献
1	西安理工大学	该项目由西安理工大学、西北农林科技大学、中国水利水电科学研究院、中国地质大学（武汉）、长安大学、黄河勘测规划设计研究院有限公司、中国科学院地理科学与资源研究所、华北水利水电大学共同完成，八家单位多年来围绕干旱传递机理与干旱精准防御开展长期合作，并取得了一系列创新成果。 西安理工大学在项目立项、执行和成果总结凝练的全过程中提供了学科研究支撑，给予了人力、物力保障，旱区水工程生态环境国家重点实验室为该项目提供了试验场所、计算平台等基础设施条件，对野外生态水文观测给予了支持。西安理工大学项目团队在干旱长链条传递机理与致灾机制、干旱精准预报与预警、历史特大干旱风险预演与农业抗旱精准调度等方面开展了系统深入研究并取得创新成果，对该项目的科技创新点 1~3 做出了创造性贡献。
2	西北农林科技大学	西北农林科技大学作为本项目的第二完成单位，组织了本项目成果中干旱监测、预测预警及平台研发的工作实施，在综合生态干旱监测指数构建、农业干旱预测预警模型等关键技术等方面，取得了创新性成果。在以上研究工作执行期间提供了全方位支撑，包括对支撑项目的立项、执行、成果总结凝练等提供了人力保障，对支撑项目的完成提供了计算云平台和研究场所等后勤保障，对该项目的科技创新点 2 做出了创造性贡献。
3	中国水利水电科学研究院	中国水利水电科学研究院在项目执行和成果凝练过程中提供了学科支撑，在项目执行和成果凝练过程中提供了学科支撑，给予了人力、物力保障，中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室为该项目提供了试验场所、计算平台等基础设施条件，为野外生态水文观测给予了支持，对该项目的科技创新点 1~3 做出了创造性贡献。
4	中国地质大学（武汉）	中国地质大学（武汉）在项目立项、执行和成果总结凝练的全过程中提供了学科研究支撑，给予了人力、物力保障，对支撑项目的完成提供了计算云平台和研究场所等后勤保障。中国地质大学（武汉）项目团队在干旱长链条传递机理与致灾机制方面开展了系统深入研究并取得创新成果，对该项目的科技创新点 1 做出了创造性贡献。

5	长安大学	长安大学在项目执行和成果凝练过程中提供了学科支撑，给予了人力、物力保障；项目团队创建多类多级干旱触发阈值识别与梯级预警技术，对该项目的科技创新点 2 做出了创造性贡献。
6	黄河勘测规划设计研究院有限公司	黄河勘测规划设计研究院有限公司在项目执行和成果凝练过程中提供了学科支撑，给予了人力、物力保障；项目团队在气象干旱到农业和水文干旱的传递过程与机理方面开展了系统深入研究，对该项目的科技创新点 1 做出了创造性贡献。
7	中国科学院地理科学与资源研究所	中国科学院地理科学与资源研究所在项目的执行和成果凝练方面提供了科学支撑，给予了人力、物力保障，中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室为该项目提供了试验场所、计算平台等基础设施条件，对野外生态水文观测给予了重要支持，对该项目的科技创新点 2、3 做出了创造性贡献。
8	华北水利水电大学	华北水利水电大学在项目的执行和成果凝练方面提供了科学支撑，给予了人力、物力保障，项目团队针对干旱精准预报技术开展了深入研究，对该项目的科技创新点 2、3 做出了创造性贡献。

九、完成人合作关系说明：

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果名称
1	共同知识产权	栗晓玲/3、姜田亮/14	2020 年	2025 年	一种考虑时空关联的三类型干旱传递识别方法
2	共同知识产权	黄生志/1、冷国勇/10	2016 年	2024 年	一种基于二元涌现约束的表层土壤水预测方法
3	共同知识产权	王浩/6、严子奇/8	2018 年	2022 年	一种梯级水库分级分期旱限库容的计算方法
4	论文合著	黄生志/1、栗晓玲/3、吴海江/13	2019 年	2022 年	Comparison between canonical vine copulas and a meta-Gaussian model for forecasting agricultural drought over China
5	共同立项	黄生志/1、屈艳萍/2、顾西辉/4、张洪波/5、许佳/7、赵静/9、郭恽/11、冯凯/12	2009 年	2013 年	水利部公益性行业科研项目：干旱预警方法及应急响应关键技术研究