

科学技术进步奖公示内容

一、 项目名称：面向洪旱灾害防控的水库群风险调度关键技术及应用

二、 提名者及提名意见（包含提名等级）：陕西省教育厅

针对传统确定性入库径流调度无法在不确定性环境下提供有效决策的瓶颈，项目在国家重点研发计划、国家自然科学基金等国家重大任务支持下，项目取得3项创新成果：变化环境下径流预报及不确定性定量表征技术；流域水资源风险动态评估关键技术；水库群风险调度关键技术。成果已广泛应用于国家与地方重大决策：支撑《区域旱情等级》国家标准、《全国抗旱规划实施方案（2014-2016）》及《黄河流域综合规划》编制；被水利部采纳用于全国首次自然灾害综合风险普查，显著提升了水资源风险管理水平，产生了重大社会效益与人才培养效益。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，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：

水库群优化调度是流域水资源合理开发利用的重要措施和关键技术。然而，在气候变化和人类活动共同主导下，水库群入库径流不确定性显著增加。传统的基于确定性入库径流的水库调度模式，难以为决策者在不确定性状态下提供有效决策信息，导致水库调度决策失效问题突出，流域水资源管理面临严峻的风险挑战。在国家重点研发计划、国家自然科学基金、水利部公益性行业科研专项等国家重大科研项目的支持下，围绕变化环境下流域水库群调度面临的不确定性风险问题，项目提出了径流预报及其不确定性定量表征技术、流域水资源风险动态评估关键技术和水库群风险调度关键技术，取得以下三大创新性成果：

（1）创建了变化环境下径流预报及其不确定性定量表征技术：建立了基于全球气候模式的分布式水文模型与改进神经网络深度学习模型，解决了样本稀少、代表性不足问题；提出了多模型融合集合概率预报方法，实现了结构不确定性量化；发展了二元非线性涌现约束干旱模拟预测技术，将干旱预估不确定性降低35%。

（2）研发了变化环境下流域水资源风险动态评估关键技术：研发了考虑多变量的干旱风险评估技术，揭示了黄河流域干旱风险的时空演变规律；构建了街区-城市-流域多尺度的雨洪灾害多维属性时变风险评估技术；提出了基于水库群发电损失概率的发电风险评估方法；成果被纳入国家标准《区域旱情等级》

(GB/T32135-2015)、水利行业标准《洪水风险图编制导则》(SL483-2017)。

(3) 提出了水库群风险调度关键技术：揭示了风险节点相互作用与发电/缺水风险在流域上的传递机制；提出了稳健决策+风险传递耦合的调度技术，使平均出力不足风险降低 $\geq 15\%$ 、不确定性适应性提高 $\geq 50\%$ ；建立了风险数据挖掘、模式识别与决策平台，解决了不确定性下决策失效问题；成果被写入《抗旱效益评估技术导则》(SL/T 817-2021)。

成果在相关行业主管部门及生产单位获得了广泛的应用。提出的变化环境下径流预报与不确定性定量表征方法，以及变化环境下流域水资源风险动态评估技术，支撑了《黄河流域综合规划》的完成和实施；考虑多变量的干旱风险评估技术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》；雨洪灾害多维属性感知与风险评估技术被应用于第一次全国自然灾害综合风险普查中洪水灾害风险调查评估与区划编制（2021年郑州“7.20”特大暴雨灾害突发事件的郑州洪涝模拟分析与风险评估等工作，相关分析结论被国务院灾害调查组采纳，在国务院河南郑州“7.20”特大暴雨灾害调查中提供了重要技术支撑）；基于干旱及洪水风险评估技术提交的《全球变化下河南省特重大旱涝急转防灾减灾对策建议》，得到河南省委主要领导批示，要求进行专题研究部署；水库群风险调度关键技术有力支撑了水利部《水资源调度管理办法》，在水利部水旱灾害防御司、黄河水利委员会水旱灾害防御局、河南省水利厅、珠江水利委员会珠江水利科学研究院、长江电力股份有限公司等单位得到了广泛应用；研发的水库群安全调度模式体系与决策平台有力支撑了黄河干流在干旱风险下的水库群调度。成果应用取得了显著的经济社会效益。

依托项目研究的主要技术和成果，获国家领导人批示 1 项，省部级领导批示 2 项，制定国家行业标准 3 部；获发明专利 25 项，软件著作权 36 项；出版专著 8 部；发表高水平论文 400 余篇，其中，SCI 检索 300 篇（中科院一区 120 篇），ESI 高被引论文 18 篇，1%热点论文 6 篇。



图 1 项目整体框架

四、 客观评价：

1. 科技查新报告

通过教育部科技查新工作站对本研究“围绕流域水库群调度面临的不确定性风险问题，开展的变化环境下径流预报与不确定性定量表征，流域水资源风险动态评估关键技术，水库群风险调度关键技术以及水库群安全调度模式体系与决策平台研究，创立的变化环境下流域水库群风险调度关键技术及应用”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与本项目查新点完全相同的未见报道。可见，本成果在国内外同行业领域创新突出。

2. 项目验收意见

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。”

国家重点研发计划水资源高效利用专项（项目编号：2017YFC0405904），流域水资源实时风险调度与应急调控：项目综合绩效评价结论为通过，评分为 95.00 分，绩效等级为合格。

国家自然科学基金（项目编号：51879213），基于风险传递的水库群优化调度研究：国家自然科学基金项目审查结果为“按有关规定已审核完毕，准予结题。”

水利部公益性行业科研专项项目（项目编号：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。”

陕西省防洪规划（2021~2035 年）项目，验收专家认为：完成了合同约定的工作内容，资料基本齐全，报告编制较为规范，项目成果基本达到了计划任务书的要求，同意通过验收。

3. 获得的科技奖励

（1）变化环境下干旱传播机理与风险评估技术，获 2020 年陕西高等学校科学技术奖一等奖。

（2）四预一体化干旱精准防御理论关键技术，获 2024 年陕西高等学校科学技术奖一等奖。

（3）西北太平洋热带气旋移动特征、机理过程及其暴雨洪水效应，获 2023

中国气象服务协会科学技术奖气象科技创新奖，二等奖。

（4）西北太平洋热带气旋移动特征、机理过程及其暴雨洪水效应，中国气象局 2023 年度科技成果评价“良好”等级。

（5）融合卫星-地面物联网的干旱综合监测评估技术与应用。中国气象局 2024 年度科技成果评价“良好”等级，2024。

（6）面向农业干旱综合监测的地理空间传感网关键技术与系统。美国硅谷国际发明展银奖，2024。

4. 国内外同行评价

提出的径流预报模型，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 600 多个学者引用，总引用次数 180 次，成为全球领域内引用前 1% ESI 高被引论文。美国工程院院士、美国德克萨斯农工大学教授 Vijay P. Singh 在其多篇预报论文中多次引用并正面评价提出的模型。

以干旱多属性、风险全要素、时空动态的全视角，发展了干旱全景风险评估方法体系，填补了干旱动态风险的研究空白，创新性突出。干旱胁迫下植被易损性研究成果发表于国际遥感顶级期刊 *Remote Sensing of Environment*，引起了国内外学者的广泛关注，SCI 他引 128 次，入选 ESI 高被引论文。如加州大学伯克利分校的 Maggi Kelly 教授正面评价了这一成果：“从两变量概率视角出发，在干旱-半干旱生态区开展了干旱胁迫下植被易损性的定量评估研究”；被 *Nature Food* 论文引用以佐证气候变化对粮食安全的影响；中国科学院院士傅伯杰在多次在其研究中正面引证并借鉴应用本项目提出的植被脆弱性评估方法。

城市暴雨洪水模拟与机理方面的成果，被 *Nature* 作为研究亮点专文报道，被多篇子刊引用和正面评价；非一致性洪水风险评估方面的成果，作为洪水过程对人类活动非一致性响应的有力证据和代表性成果，被联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次报告《自然科学基础》和《影响、适应和脆弱性》8 次采纳；台风加剧我国洪水风险方面的成果，被美国科学院院士 Kerry Emanuel 教授、东京大学 Hyungjun Kim 教授分别在 *Nature Climate Change* 4 次引用和正面评价。

构建的流域水库群调度风险传递模型，以及提出的结合稳健性决策和风险传递的水库群风险调控技术，SCI 他引 128 次。其中发表的水库群多目标调度模型研究论文，被引 56 次，入选 2020 年 ESI 1% 高被引论文及 ESI 1% 热点论文，得到国内外学者高度关注；发表的水库群应对不确定性的稳健性调度规则制定方法

研究论文，被引 23 次，英联邦科学与工业研究组织首席研究科学家 Enayat A. Moallemi 教授发表于国际著名期刊 Global Environmental Change 的论文将该研究作为揭示中国适应性水资源管理的重要依据；发表的评估供水水库可靠性、韧性及脆弱性的论文，被引 49 次，并于 2020 年入选 ESI 1% 高被引论文。

5. 取得的重要知识产权

依托项目研究的主要技术和成果，获国家领导人批示 1 项，省部级领导批示 2 项，制定国家行业标准 3 部；获发明专利 25 项，软件著作权 36 项；出版专著 8 部；发表高水平论文 400 余篇，其中，SCI 检索 300 篇（中科院一区 120 篇），ESI 高被引论文 18 篇，1% 热点论文 6 篇。

五、应用情况：

在多个国家级科研项目的支持下，围绕流域水库群调度面临的不确定性风险问题，开展了变化环境下径流预报与不确定性定量表征，流域水资源风险动态评估关键技术，及水库群风险调度关键技术研究。研究成果直接应用于相关的涉水管理部门、科研院所以及实际生产单位，典型应用如下：

提出的基于多模型融合的径流集合概率预报方法，考虑多变量的干旱与洪水风险评估技术，以及结合稳健性决策和风险传递的水库群风险调控技术，得到水利部水旱灾害防御司的应用，在此基础上编制了《全国抗旱规划实施方案（2014-2016）》，由水利部、国家发展改革委等部门联合印发。

河南省水利厅将项目技术在水旱灾害防御工作中应用，成功应对了多次重大洪旱灾害事件，降低了灾害损失，保障了人民群众生命财产安全，维护了社会稳定和经济发展。

项目研发的考虑多变量的干旱风险评估技术，被黄河水利委员会水旱灾害防御局应用于黄河流域水旱灾害防御工作当中：对应对黄河流域水旱灾害起到了关键作用，具有很好的推广应用价值。

陕西省水利厅水旱灾害防御处应用项目成果支撑了陕西省旱情监测预警平台建设，为抗旱应急响应工作提供重要的理论和技术支撑，取得了显著的社会效益，具有重要的推广应用意义。

黑龙江水利厅水旱灾害防御处应用于黑龙江省水旱灾害防治工作当中，对应对流域水旱灾害起到了关键作用，具有很好的推广应用价值。

陕西省水利电力勘测设计研究院（集团）有限公司将研究成果应用于陕西省渭北地区雨洪资源拦蓄综合利用规划研究、南水北调西线工程陕西受水区治沙造地灌溉规划研究、省市水网建设规划、省市防洪规划、省市灌溉规划等相关项目研究论证中，取得了显著的社会经济效益。

珠江水利委员会珠江水利科学研究院将本项目的成果应用在珠江流域，取得了显著成效：该项目成果已成功应用于“十三五”国家重点研发计划水资源高效利用专项《珠江流域水资源多目标调度技术与应用》的实施方案，以及《北盘江流域水量调度方案(试行)》的编制，为流域水资源实时风险调度与应急调控提供了技术支撑，具有较好的推广应用价值。

中国长江电力股份有限公司将本项目研究成果应用于金下-三峡梯级水库群的联合调度和智能决策中，极大解决了汛期防洪风险与洪水资源利用之间的矛盾。有力推动了长江流域以清洁能源为主导的新型电力系统建设，取得了显著的社会效益。

刘家峡水电厂将本项目研究成果应用于刘家峡调度运行实践中：结合智能决策支持和风险调度策略的水库群调度技术和调度决策系统，为刘家峡水电厂制定了高效的调度方案，年均发电量大幅提高。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	应用单位联系人/电话
1	水利部水旱灾害防御司	面向洪旱灾害防控的水库群风险调度关键技术及应用	《全国抗旱规划实施方案（2014-2016）》	2014-2019年	成福云
2	黄河水利委员会水旱灾害防御局	面向洪旱灾害防控的水库群风险调度关键技术及应用	黄河流域水库群水旱灾害防御	2020年至今	魏向阳
3	河南省水利厅	面向洪旱灾害防控的水库群风险调度关键技术及应用	河南省	2020年至今	王慧越
4	陕西省水利厅水旱灾害防御处	面向洪旱灾害防控的水库群风险调度关键技术及应用	陕西省	2020年至今	张东江
5	黑龙江水利厅水旱灾害防御处	面向洪旱灾害防控的水库群风险调度关键技术及应用	黑龙江省	2020年至今	陈建
6	水利部水利水电规划设计总院	面向洪旱灾害防控的水库群风险调度关键技术及应用	全国农业干旱	2022年至今	彭少明
7	陕西省水利电力勘测设计研究院(集团)有限公司	面向洪旱灾害防控的水库群风险调度关键技术及应用	陕西省	2019-至今	周伟

8	珠江水利委员会 珠江水利科学研 究院	面向洪旱灾害防控的水库群 风险调度关键技术及应用	“十三五”重 点研发计 划，北盘江 流域水量调 度方案	2017-2 021 年	王森
9	中国长江电力股 份有限公司	面向洪旱灾害防控的水库群 风险调度关键技术及应用	金下-三峡 梯级水库群	2021-2 023 年	曹辉
10	国网甘肃省电力 公司刘家峡水电 厂	面向洪旱灾害防控的水库群 风险调度关键技术及应用	刘家峡水电 厂	2018-2 022 年	赵一平

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 2024 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/T32135-20155	2015.10.13	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	中华人民共和国水利部	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	洪水风险图编制导则	中国	SL483-2017	2017.5.28	中华人民共和国水利部	中国水利水电科学研究院	向立云;曹大岭;郑敬伟;徐美;王艳艳;张大伟;徐卫红;张葆蔚
3	标准	抗旱效益评估技术导则	中国	SL817-2021	2021.11.18	中华人民共和国水利部	中国水利水电科学研究院	吕娟;苏志诚;屈艳萍;吴玉成;高辉;刘洪岫;马苗苗;冯琳;黄慧;张学君;杨晓静
4	发明专利	INTENSIFICATION MECHANISM ANALYSIS AND ANTHROPOGENIC CLIMATE	美国	US12174337B1	2024.12.24	US12174337B1	CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCE	Xihui Gu, Wuhan (CN); YansongGuan, Wuhan (CN); Lunche Wang,Wuhan

		CHANGE SIGNAL IDENTIFICATION METHOD FOR TERRESTRIAL WATER CYCLE (TWC) IN DRY AND WET REGIONS					S(WUHAN)	(CN); Xiang Zhang, Wuhan(CN); Yanhui Zheng, Wuhan (CN); JieGong, Wuhan(CN); Dongdong Kong, Wuhan(CN)
5	发明专利	一种极端干旱事件水汽溯源和输送异常识别方法及系统	中国	ZL 2022 1 044417 7.5	2024. 11.1	第 7487216 号	中国地质大学（武汉）	管延松;顾西辉; 孔冬冬;刘剑宇; 颜雪松
6	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	ZL 2024 1 046230 5.8	2024. 10.29	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
7	发明专利	一种骤旱识别方法及系统	中国	ZL 2022 1 147543 4.8	2023. 11.24	第 6509185 号	西安理工大学	郑旭东;黄生志; 王浩;刘登峰;黄强;马川惠;冷国勇;穆振侠;史海匀
8	发明专利	一种水文干旱历时和烈度相依结构变异的诊断方法	中国	ZL 2021 1 129140 8.5	2022. 9.27	第 5478752 号	西安理工大学	马川惠;黄强;黄生志;权全
9	专著	水文序列变异诊断理论与方法	中国	ISBN97 870306 24390	2020. 7	ISBN9787 03062439 0	西安理工大学	黄强;黄生志;樊晶晶
10	论文	Assessing the reliability, resilience and vulnerability of water supply system under multiple uncertain sources	中国	2020, 252: 119806	2020. 9	Journal of Cleaner Production	西安理工大学	Kang Ren;Shengzhi Huang;Qiang Huang;Hao Wang;Guoyong Leng;Wei Fang;Pei Li

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（专利指发明人）的同意，有关知情证明材料均存档备查。

七、 主要完成人情况：

主要完成人：（依次列写完成人姓名）

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，创建了变化环境下径流预报及其不确定性定量表征技术，开发了基于水库群发电损失概率的风险评估方法；（2）对发现点 1-3 做出了创造性贡献；（3）代表作 10 的第二兼通讯作者，代表作 7 和 9 的第二完成人
2	屈艳萍	正高级工程师	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，揭示了多元风险目标的互馈机制，支撑了水旱灾害风险管理；（2）对发现点 3 做出了创造性贡献；（3）代表作 1、3 的共同完成人
3	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，量化不同等级洪水风险；（2）对发现点2 做出了创造性贡献；（3）代表作 4 的第一完成人，代表作 5 的第二完成人
4	任康	讲师	无	三峡大学	西安理工大学	（1）参与完成了本项目研究，构建了流域水库群调度风险传递模型，量化了水库群调度风险节点间的相互作用及风险在流域的传递特征；（2）对发现点 3 做出了主要贡献；（3）是代表作 10 的第一作者
5	吕娟	正高级工程师	减灾中心原副主任	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，揭示了多元风险目标的互馈机制，支撑了水旱灾害风险管理；（2）对发现点 3 做出了创造性贡献；（3）代表作 3 的第一完成人，代表作 1 的共同完成人
6	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，构建了发电多变量风险动态评估技术；（2）对发现点2 做出了主要贡献；（3）共同参与水利部公益性行业科研项目
7	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，构建了干旱风险动态评估技术；（2）对发现点 2 做出了主要贡献；（3）代表作 6 的第一完成人，代表作 7、10 的共同完成人

8	周伟	高级工程师	分院院长	陕西省水利电力勘测设计研究院（集团）有限公司	陕西省水利电力勘测设计研究院（集团）有限公司	（1）参与完成了本项目研究，发展二元非线性涌现约束干旱模拟预测技术； （2）对发现点 1 做出了创造性贡献； （3）共同参与水利部公益性行业科研项目
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，构建了流域水库群调度风险传递模型；（2）对发现点 3 做出了部分贡献；（3）共同参与水利部公益性行业科研项目
10	曹大岭	高级工程师	部门副主任	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，开发了基于水库群发电损失概率的风险评估方法，解决了水库群调度的不确定性风险精准评估难题；（2）对发现点2 做出了部分贡献；（3）是代表作 2 的第二完成人
11	王浩	教授级高工	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，创建了径流不确定性的定量表征技术；（2）对发现点 1 做出了部分贡献；（3）是代表作 7、10 的共同作者
12	徐卫红	正高级工程师	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，开发了基于水库群发电损失概率的风险评估方法，解决了水库群调度的不确定性风险精准评估难题；（2）对发现点2 做出了部分贡献；（3）是代表作 2 的共同完成人
13	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，构建了流域水库群调度风险传递模型；（2）对发现点 3 做出了部分贡献；（3）共同参与水利部公益性行业科研项目
14	赵梦龙	工程师	无	黄河勘测规划设计研究院有限公司	西安理工大学	（1）参与完成了本项目研究，提出了耦合不确定性表征的发电风险评估技术；（2）对发现点2 做出了部分贡献； （3）共同参与水利部公益性行业科研项目
15	黄强	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，提出了水库群风险调度关键技术；（2）对发现点 3 做出了部分贡献；（3）是代表作 9 的第一作者，7、8、10 的共同作者

八、 主要完成单位及创新推广贡献：

主要完成单位：（依次列写单位名称）

排 名	完成单位	创新推广贡献
1	西安理工大学	<p>该项目由西安理工大学、中国水利水电科学研究院、中国地质大学（武汉）、黄河勘测规划设计研究院有限公司、中科院地理所、陕西省水利电力勘测设计研究院（集团）有限公司共同完成，六家单位多年来在水库群风险调度研究方面长期合作，并取得系列创新成果。</p> <p>西安理工大学在项目的立项、执行和成果总结凝炼全过程提供了学科研究支撑，给予了人力、物力保障，西安理工大学西北旱区生态水利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。</p> <p>西安理工大学项目团队在变化环境下径流预报及其不确定性定量表征、流域水资源风险动态评估、水库群风险调度等方面开展了系统深入研究并取得创新成果，对该项目的科学发现点 1、2、3 做出了创造性贡献。</p>
2	中国水利水电科学研究院	<p>中国水利水电科学研究院在项目的执行和成果的凝炼中，为该项目提供了学科支撑，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，对发现点 2、3 做出了部分贡献。</p>
3	中国地质大学（武汉）	<p>中国地质大学（武汉）在项目的执行和成果的凝炼中，为该项目提供了学科支撑，给予了人力、物力保障，中国地质大学（武汉）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，对发现点2 做出了部分贡献。</p>
4	黄河勘测规划设计研究院有限公司	<p>黄河勘测规划设计研究院有限公司在项目的执行和成果的凝炼，为该项目提供了学科支撑，给予了人力、物力保障。构建了发电多变量风险动态评估技术，对发现点2 做出了主要贡献。</p>
5	中国科学院地理科学与资源研究所	<p>中科院地理所在项目的执行和成果的凝炼，为该项目提供了学科支撑，给予了人力、物力保障，构建了干旱风险动态评估技术，对发现点2 做出了部分贡献。</p>
6	陕西省水利电力勘测设计研究院（集团）有限公司	<p>陕西省水利电力勘测设计研究院（集团）有限公司在项目的执行和成果的凝炼，为该项目提供了学科支撑，给予了人力、物力保障，发展二元非线性涌现约束干旱模拟预测技术，对发现点 1 做出了部分贡献。</p>

九、 完成人合作关系说明：（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。下表中的“项目排名”指在本次报奖中的完成人排序。）

完成人合作关系情况汇总表

序	合作方式	合作者/项目排名	合作起始	合作完	合作成果名称
---	------	----------	------	-----	--------

号			时间	成时间	
1	共同立项	吕娟/5 黄强/15 屈艳萍/2 周伟/8 许佳/6 顾西辉/3 黄生志/1 曹大岭/10 徐卫红/12 赵静/9 郭恽/13 赵梦龙/14	2009-2012	2013	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
2	共同参与制定标准规范	曹大岭/10 徐卫红/12	2015-2017	2017	洪水风险图编制导则
3	共同参与制定标准规范	吕娟/5 屈艳萍/2	2013-2021	2021	抗旱效益评估技术导则
4	共同知识产权	黄生志/1 冷国勇/7	2015-2024	2024	一种基于二元涌现约束的表层土壤水预测方法
5	共同知识产权	冷国勇/7 王浩/11 黄强/15	2015-2023	2023	一种骤旱识别方法及系统
6	专著合著	黄生志/1 黄强/15	2013-2020	2020	水文序列变异诊断理论与方法
7	论文合著	任康/4 黄强/15 王浩/11	2018-2020	2020	Assessing the reliability, resilience and vulnerability of water supply system under multiple uncertain sources