

## 项目公示信息（自然科学奖）

一、项目名称：黄土高原自然-社会水循环结构演变及驱动机制研究

二、提名者及提名意见（专家提名项目应公示提名专家的姓名、工作单位、职称和学科专业）

干旱半干旱区水文过程与生态系统的耦合是地理学和生态学交叉研究的前沿和难点领域。社会经济的快速发展对区域水资源提出了更高的要求，固碳耗水和社会生产用水的不协调一直是制约该地区高质量发展的短板。黄土高原位于黄河中游，约占整个黄河流域面积的80%，在黄河流域水安全与生态安全中具有举足轻重的作用。20世纪90年代末以来，黄土高原实施了大规模退耕还草工程，20年来区域生态环境发生了显著变化，但是植被恢复及水土保持综合治理等所引发的区域水分平衡也发生了巨大变化，急需开展系统定量的深入研究。提名项目是研究团队20余年来研究成果的系统总结，将站点观测、遥感反演和模型模拟相结合，围绕区域水文过程演变、生态恢复影响水文变化的机理和固碳耗水-社会生产用水关系开展了系统定量研究，并取得了重要科学发现。

(1)创新性地揭示黄土高原不同条件下关键水文要素长时间序列演变规律及其相互作用关系；(2)建立了关键水文要素变化归因分析方法，厘定了黄土高原多年来不同时期植被恢复、水土保持工程、自然条件、气候变化等驱动因素影响水循环的贡献率；(3)发展了耦合固碳耗水与生产用水的水资源植被承载力分析框架，定量揭示了黄土高原县域承载力的格局、阈值和承载度，阐明了固碳耗水与社会生产用水的关系及其时空变异规律。项目产出了丰硕的研究成果，获得了国内外同行的广泛认可和高度评价，为黄土高原地区的水资源调控管理及高质量发展提供了重要科学依据，在引领自然地理学与生态学的交叉融合与集成创新方面做出了卓越贡献。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

### 三、项目简介

生态水文过程涉及到大气-土壤-生物等繁多的要素，除各要素之间存在多向反馈作用外，还受到自然和人类活动的双重作用，表现出复杂的时空异质性与非稳定性。在气候变化、植被蒸腾作用、水土保持措施以及社会经济发展共同驱动下，黄土高原地表生态水文过程和水资源供需平衡关系发生了巨大的变化，时刻影响着水资源系统和生态系统的稳定与安全。本研究围绕黄土高原水资源短缺、水量分布不均衡、水文过程的复杂性和非稳态等特性，具体取得以下成果：

#### (1) 理清了关键水文要素时空演变及其相互作用关系

综合利用分布式水文模型、陆面过程模型等模拟手段，模拟了黄土高原生态工程实施前后关键水文变量的长时间时空动态，理清了不同降水梯度、不同水文气候条件下降水、蒸散发和土壤水分之间的非线性关系，探索了土壤水分对不同降水梯度下降水和蒸散发变化的时滞响应特征。为水资源有限的流域生态系统恢复和水资源短缺的预警提供了科学参考和发展建议。

#### (2) 明晰了生态工程影响区域水资源变化的机理

通过站点观测与遥感相结合，采用因子分析法，结合动力学视角，系统全面地分析了植被覆盖变化对水资源的影响，区分了不同影响因子对关键水资源要素的影响程度，揭示了地表径流变率对气候变化和人类活动的响应特征。基于 Budyko 框架的弹性和分解方法，量化了气候变率和生态恢复对径流变化的贡献率，这支持了人为生态恢复计划在径流变化而非气候因素中起主导作用的假设。

#### (3) 揭示了固碳耗水与社会经济用水关系协同演化机制

针对黄土高原这种水资源限制地区，采用多尺度、多要素、多时空的综合观测与模拟手段，发展了耦合固碳耗水与生产用水的水资源植被承载力分析框架，定量揭示了黄土高原县域承载力的格局、阈值和承载度，阐明了社会经济与生态建设的用水规模和效率驱动的自然-社会协同演化机制，通过研发承载力综合评估模拟平台，指导了面向自然-社会协同发展的区域水资源监测和优化调控实践。

本研究依托国家自然科学基金等项目，代表论著在科学引文索引数据库检索结果中被引用多次，也受到国内外相关领域的著名科研团队的正面评价。值得指出的是，该项目有关水文系统关键要素时空演

变及其相互相应关系、社会-植被-水文互馈过程及其协同演化，特别是植被恢复过程中固碳耗水与社会生产用水关系等诸多研究成果得到水利水保部门和地方政府的采纳并应用，为黄土高原区域生态高效治理，维持区域水资源可持续发展提供了关键科学支撑作用。

#### 四、客观评价

本项目成果公开发表后，受到了国内外诸多水文学研究领域著名科研团队的高度关注，引用本项目论文的著名学术期刊有：Nature Sustainability、Hydrological Processes、Ecosystem Services、Ecological Indicator、Land Degradation & Development、Agricultural and Forest Meteorology、Frontiers of Earth Science、Journal of Cleaner Production、Water Resources Research、International Journal of Climatology、Journal of Geophysical Research-Atmospheres、Hydrology and Earth System Sciences、Chinese Geographical Science、科学通报、Global and Planetary Change、Journal of Hydrology、Remote Sensing of Environment、Hydrology and Earth System Sciences 和地理学报等。代表性论著在科学引文索引数据库检索结果中被引用多次。该项目在水文过程模拟、植被恢复影响水文变化的机理和固碳耗水-社会经济发展用水关系等方面实现创新，为区域水资源可持续开发黄河流域的高质量发展提供了重要支撑。根据项目核心研究内容，客观评价选录如下：

(1)关于科学发现点一关键水文要素时空演变及其相互作用关系的评价

关于关键水资源要素时空演变及其相互作用关系发表在Agricultural Water Management、Scientific Reports，并引起相关学者的广泛关注。相关研究成果证明了使用 SWAT 模型模拟黄河流域水循环的可行性，并被 Journal of Hydrology 引用和肯定。也挖掘出黄土高原地区关键水资源要素的时空变化特征，特别是其中对土壤水分的多维时空异质性分析，以及土壤水分在陆-气交互过程中关键作用的分析，得到了相关学者的认同。在阐释水文要素之间的关系时，对土壤水分与蒸散发在不同水分条件下变化的滞后时间的确定，成为后来相关研究结果解释的重要依据。相关研究中得到的黄河流域径流与降水和潜在蒸散量的非线性关系也得到相关学者的肯定。

(2)关于科学发现点二生态工程影响区域水资源变化机理的评价

生态工程影响区域水资源变化的研究成果已经很多，但缺乏动力学因素的影响。本研究成果综合考虑各方面影响因素及其之间的相互叠加/抵消作用，在国内外引起强烈反响。从植被类型、覆盖度、坡度、坡向等多方面角度，分析了生态工程影响下自然条件发生变化后造成水资源的变化，相关结果被 *Geoderma*、*Ecological Complexity* 等国际知名期刊引用。生态恢复过程中，除了植被恢复外，广泛的水土保持措施，特别是梯田和拦河坝，大大减少了生态系统的产水量，将区域复杂的水文过程进行了系统阐述，成为 *Science of the Total Environment* 等知名期刊中各地区水循环过程不确定性分析的重要依据。对于植被恢复的区域气温效应分析，该研究充分考虑了造林会改变当地的反照率和感热通量，并反馈于区域气候，进而影响蒸散发，最终发现在黄土高原地区，与气候变化相比，LUCC 主导了区域蒸散发的变化，蒸散发的增大是径流系数降低的重要原因，该研究发现被 *Nature Sustainability*、*Journal of Geophysical Research-atmospheres* 等国际知名期刊所引用。美国马里兰大学 Solange Filoso 教授在论文中肯定了项目组通过构建了黄土高原遥感生态水文模型结合多源数据所揭示的黄土高原蒸散发变化驱动机制和径流变化的归因。英国埃克塞特大学 Joe M. Osborne 教授在 *Hydrology and Earth System Sciences* 上发表论文肯定了项目组定量揭示的黄土高原蒸散发变化驱动机制以及气候变化和生态恢复对径流影响的研究。

(3)关于科学发现点三固碳耗水与社会经济用水关系协同演化机制的评价

在 *Journal of Hydrology*、*Hydrology and Earth System Sciences*、*Water Resources Research* 等发表的多篇文章均肯定了项目组在黄土高原开展的固碳耗水-社会经济用水关系的研究。美国路易斯安那州立大学 Q. Tian 教授在 *Water Resources Research* 发表论文阐述了水土保持措施对生态环境的影响，肯定了项目组建立的表达生态建设工程-流域下垫面特征变化-流域水分能量平衡变化的关键线索及对流域特征参数研究从平均态的静态解析表达转变到变化态的动态变化的驱动力分析研究的重要推动作用。美国加州大学伯克利分校 Razafindratsima Onja H 教授及中国科学院吕一河研究员分别在

Forest Policy and Economics 和 Ecological Indicators 发表论文肯定了项目组通过构建耦合固碳耗水与生产用水的水资源植被承载力分析框架对区域水资源承载力阈值的评估工作，评价该研究为黄土高原的植被恢复与生态建设提供了详实的数据和可靠的科学依据。同时，以本研究为核心内容的 1 篇博士学位论文于 2017 年被评为陕西省优秀博士学位论文，该研究成果也获得陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖。

#### （4）相关企事业单位和地方政府对本研究成果的评价

该项目有关黄土高原关键水文系统要素时空变化及其关系，特别是植被恢复过程中固碳耗水的时空变异规律与社会经济用水的关系等诸多研究成果得到流域水利水保部门和地方政府的关注，为黄土高原区域生态治理和水资源可持续性、生态保护等诸多方面的难题提供了决策依据。有关径流变化定量归因、植被固碳耗水监测与模拟等方面的研究成果得到陕西省水土保持部门的高度重视，邀请课题组主要成员开展有关研究成果交流工作。2019 年 9 月 18 日，习近平总书记发表“推动黄河流域高质量发展，让黄河成为造福人民的幸福河”谈话后，陕西省积极探索陕西黄河流域生态保护和高质量发展的科学路径，持续委托项目组从自然-社会互动的视角，开展陕西省旱作梯田需求分析、陕西省淤地坝遥感调查与分析等专题研究工作，相关研究成果有力地支撑了黄河流域淤地（拦沙）坝建设、坡耕地水土流失综合治理等国家重点生态建设工程规划布局，系统性应用了本研究生态-社会关键水文要素时空演变及其驱动力的科学成果，受到陕西省水土保持和移民工作中心的表彰，产生了良好的社会效益。

五、代表性论文专著目录（不超过 8 篇，其中代表作论文不超过 5 篇）

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成 单位（全 称）	年卷页码（xx 年 xx 卷 xx 页）	发表时 间（某 年某 月）	通讯作 者（按 照文中 标注 的，无 标注的 不填）	第一作 者	国内作者	他引总 次数	知识产权 是否归国 内所有
1	Response of Soil Moisture to Hydro-meteorological Variables Under Different Precipitation	Water Resources Management	Sha Li, Wei Liang, Weibin Zhang, Qinghua Liu	陕西师范大学	2016 年 30 卷 1867-1884 页	201602	梁伟	李莎	李莎, 梁伟, 张为彬, 刘清华	16	是
2	Quantification of the ecosystem carrying capacity on China's Loess Plateau	Ecological Indicators	Wei Liang, Bojie Fu, Shuai Wang, Weibin Zhang, Zhao Jin, Xiaoming Feng, Jianwu Yan, Yu Liu, Sha Zhou	陕西师范大学	2019 年 101 卷 192-202 页	201902	傅伯杰	梁伟	梁伟, 傅伯杰, 王帅, 张为彬, 金朝, 冯晓明, 严建武, 刘宇, 周沙	18	是

3	Vegetation changes in recent large-scale ecological restoration projects and subsequent impact on water resources in China's Loess Plateau	Science of the Total Environment	Shuai Li, Wei Liang, Bojie Fu, Yihe Lü, Shuyi Fu, Shuai Wang, Huimin Su	陕西师范大学	2016年569卷 1032-1039页	201607	梁伟	李帅	李帅, 梁伟, 傅伯杰, 吕一河, 符淑宜, 王帅, 苏惠敏	121	是
4	A Study on the Streamflow Change and its Relationship with Climate Change and Ecological Restoration Measures in a Sediment Concentrated Region in the Loess Plateau, China	Water Resources Management	Wei Liang, Dan Bai, Zhao Jin, Yuchi You, Jiaying Li, Yuting Yang	西安理工大学	2015年29卷 4045-4060页	201507	白丹	梁伟	梁伟, 白丹, 金朝, 游宇驰, 李佳星, 杨雨亭	20	是
5	Separating Vegetation Greening and Climate Change Controls on Evapotranspiration trend over the Loess Plateau	Scientific Reports	Zhao Jin, Wei Liang, YutingYang, Weibin Zhang, JianwuYan, Xuejuan Chen, Sha Li, Xingguo Mo	陕西师范大学	2017年7卷 8191	201708	严建武	金朝	金朝, 梁伟, 杨雨亭, 张为彬, 严建武, 陈学娟, 李莎, 莫兴国	43	是

注：请按照以上格式填写。发表时间应填写到某年某月；通讯作者、第一作者和国内作者为中国公民的，应填写中文名。本次报奖的完成人须为 8 篇代表性论文专著的作者，未列入主要完成人的第一作者和通讯作者应出具知情同意证明（模板见 qq 群文件）

## 六、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
梁伟	1	无	教授	陕西师范大学	陕西师范大学	项目研究内容的主要设计者和负责人，代表作论文 1、3 的通讯作者，2、4 的第一作者。发展了耦合固碳耗水与生产用水的水资源植被承载力分析框架，定量揭示了黄土高原县域承载力的格局、阈值和承载度。
严建武	2	无	副教授	陕西师范大学	陕西师范大学	代表作论文 5 的通讯作者。代表作论文 2 的合作作者。定量模拟了关键水文要素，揭示了生态恢复影响水文过程的机理。
张为彬	3	无	博士研究生	陕西师范大学	陕西师范大学	代表作 1、2、5 的合作者。厘定了黄土高原多年来不同时期植被恢复、水土保持工程、自然条件、气候变化等驱动因素影响水循环的贡献率。
金朝	4	无	博士研究生	西北农林科技大学	陕西师范大学	代表作 5 的第一作者。代表作 2、4 的合作作者，实现了对关键水文变量进行模拟与分析。
白丹	5	无	教授	西安理工大学	西安理工大学	代表作 4 的通讯作者，发展了流域径流变化的归因诊断分析方法，定量揭示了黄土高原过去近 50 年来径流量大幅减少的驱动机制因素。

## 七、主要完成单位情况

单位名称	陕西师范大学				
排名	1	法定代表人	游旭群	所在地	陕西西安
单位性质	大专院校	传真	029-85310097	邮政编码	710119
通讯地址	陕西省西安市长安区西长安街 620 号				
联系人	潘红	单位电话	029-85310337	移动电话	15691703998
电子邮箱	panhong@snnu.edu.cn				
对本项目的贡献：					



作为本项目的依托单位，陕西师范大学为项目的顺利完成、并取得显著创新性成果做出了重要贡献，主要体现在：

- 1) 组织并完成了项目策划和实施工作；
- 2) 为项目的顺利实施提供了人力资源与良好的工作环境与场所；
- 3) 提供了本项目所需的设备、能源、图书资料和网络数据库等资源。

单位名称	西安理工大学				
排名	2	法定代表人	刘云贺	所在地	陕西西安
单位性质	大专院校	传真	029-82312540	邮政编码	710048
通讯地址	陕西省西安市金花南路5号				
联系人	王铨	单位电话	029-82312677	移动电话	15691662829
电子邮箱	yanfa@mail.xaut.edu.cn				

对本项目的贡献：

作为本项目的合作单位，西安理工大学为项目的顺利开展和完成做出了重要贡献，主要体现在：

- 1) 积极配合第一单位完成项目策划和实施工作；
- 2) 为项目的顺利进行提供了人员支持。

## 八、完成人合作关系说明

项目完成人梁伟、严建武、张为彬、金朝和白丹。其中，梁伟和严建武均为陕西师范大学教师，白丹为西安理工大学教师，张为彬和金朝是以陕西师范大学研究生身份完成该项目工作的。项目组5人研

究方向基本一致，共同致力于黄土高原自然-社会水循环结构演变及驱动机制相关方面的研究，已进行了长期合作。具体如下：

1. 梁伟（1）、严建武（2）、张为彬（3）和金朝（4）合作完成代表性论文 2 和 5；

2. 梁伟（1）、金朝（4）和白丹（5）合作完成代表性论文 4；

3. 梁伟（1）、张为彬（3）合作完成代表性论文 1；

4. 梁伟（1）、严建武（2）和金朝（4）共同申报并完成了国家自然科学基金项目“黄土高原地表能量收支及对退耕还林（草）的响应”（项目编号：41501093）；

5. 梁伟（1）和严建武（2）共同申报并完成了陕西省科技厅项目-自然科学基础研究计划项目“黄土高原典型流域生态水文过程演变规律及其驱动机制研究”（项目编号：2017JM4011）；

6. 梁伟（1）和严建武（2）共同申报并完成了西安市科技局项目“秦岭北麓可持续农业模式：主动优化的智能+循环农业研究”（项目编号：201806117YF05NC13（6））；

7. 梁伟（1）和严建武（2）共同立项陕西师范大学中央高校基本科研业创新团队项目“景观生态过程与地理模拟创新团队”（项目编号：GK201901009）。

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。第一完成人签名：

