

## 一、项目名称

主要水蚀区坡耕地水土流失阻控机理与技术

## 二、推荐单位意见

坡耕地是我国耕地资源的重要组成部分，水土流失减少耕地地力、危及国家粮食安全、恶化生态环境。历经 27 年的协同攻关，研发了土壤点/线源入渗-流量-含沙量自动连续监测设备与技术体系，显著提高了产流产沙过程的测量精度；发展了系统确定模型参数的方法体系，构建了多尺度水土流失过程预报模型；阐明了侵蚀环境下坡耕地退化的微观机制，发展了以消减径流动能、减少侵蚀泥沙为核心的水土流失阻控关键技术，提出了坡耕地理想的退耕坡度；凝炼了与区域社会、经济、环境和资源可持续发展相协调的水土流失综合治理范式。成果获陕西省科学技术一等奖 2 项，授权专利 7 项，发表论文 204 篇，其中 SCI 收录 36 篇，出版专著 5 部，被引共计 7203 次。成果深具中国特色和鲜明创新性，为土壤水蚀过程模拟与预报模型的建立探索了新的途径，是一项推动我国水土保持科技进步的创新性成果。成果被水利部、国务院三峡工程建设委员会等管理部门，长江水利委员会、黄河水利委员会、四川省水保局、湖南省水保监测中心、黑龙江省九三农垦局等生产单位应用；有效支撑了“全国水土流失监测重点工程”、“三峡水库移民安置区水土流失治理”、“丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划”、《黄河流域综合规划（2012~2030 年）》（2013 年国务院“国函[2013]34 号”文批复）等重大水土保持项目的实施，为区域生态恢复和粮食安全保障提供了有力的科技支撑。

推荐该项目为国家科学技术进步奖一等奖。

### 三、项目简介

我国坡耕地约 3.59 亿亩，土壤流失量占全国的 28.3%，坡耕地水土流失治理，对保障我国粮食安全和生态环境建设有重大意义。然而，传统水土流失监测设备与方法难以快速、准确、连续监测；国际上缓坡耕地研究成果不适合我国陡坡侵蚀环境；坡耕地水土流失阻控技术以经验为主、机理依然不清楚、技术体系区域针对性不强。在“七五”国家科技攻关计划、“973”计划、中科院“百人计划”、国家自然科学基金重点项目等项目支撑下，历经 26 年协同攻关，系统研究了陡坡耕地水土流失动力学机制，建立了多尺度水土流失预报模型，发展了坡耕地水土流失阻控关键技术，优化了流域水土保持措施配置技术体系，凝炼了主要水蚀区水土流失综合治理范式，为我国坡耕地保护和粮食安全保障提供了科技支撑。

创新性成果：①研发了土壤点源/线源入渗、流量与含沙量自动连续监测的设备与技术体系，实现了降雨入渗、坡面产流产沙过程的准确测量；②建立了陡坡坡面径流挟沙力方程，发展了确定模型参数的方法体系，构建了多尺度水土流失过程预报模型；提出了坡耕地理想的退耕坡度；③以土壤结构为核心、养分变化为线索，阐明了土壤侵蚀退化的微观机制，发展了以“截能减沙”（消减径流动能、减少侵蚀泥沙）为核心的水土流失阻控关键技术，并通过流域模拟与措施配置的情景分析，建立了流域水土保持措施优化配置体系；④以“截能减沙”为核心，以水土流失关键阻控技术为基础，凝炼了与区域社会、经济、环境和资源可持续发展相协调的水土流失综合治理范式，并在各区示范、推广。

研究成果获陕西省科学技术一等奖 2 项，何梁何利基金科学与技术奖 1 项，中国科学院自然科学奖二等奖 1 项，中国土壤学会科学技

术奖 1 项。专利 7 项，发表论文 204 篇，其中 SCI 收录 36 篇、EI 收录 38 篇，出版专著 5 部，被引用共计 7203 次。“中国侵蚀环境演变与调控及水土保持体系”成果鉴定意见认为“成果深具中国特色和鲜明的创新性，是一项推动我国水土保持科技进步的高水平成果”；“细沟土壤侵蚀物理过程模型研究”成果鉴定意见认为“为土壤水蚀过程模拟与预报模型的建立探索了新的途径，填补了国际国内同类研究的空白”。成果拓展了土壤侵蚀的理论体系、丰富了水土保持科学的内涵。

成果被水利部、国务院三峡工程建设委员会、重庆市水利局、松辽水利委员会、长江水利委员会、黄河水利委员会等 13 个单位应用；有效支撑了“中国水土流失与生态安全综合科学考察”、“全国水土流失监测重点工程”、“三峡水库移民安置区水土流失治理”等重大水土保持项目的实施；在我国主要水蚀区的水土流失监测、水土保持规划和效益评估中发挥了重要的科技引领作用。相关技术与范式应用面积 5200 余万亩，取得了显著的生态、经济和社会效益。

## 四、客观评价

### 1. 本项目科研成果的鉴定意见

(1) 2008 年 5 月 24 日，中国科学院西安分院组织的鉴定委员会专家（李振声院士、孙鸿烈院士、安芷生院士、赵其国院士等），对本项目“中国侵蚀环境演变与调控及水土保持体系”进行了鉴定，认为研究成果“在较高的层面上，对我国土壤侵蚀与水土保持的若干关键问题”，“进行了现场深入研究，取得了丰硕成果”，“研究成果很多内容国际上也未涉及，综观整体，这是一项深具中国特色，兼具理论性、实践性和创新性，起到推动我国水土保持科技进步的高水平科研成果，具有重要的学术价值和应用价值”。该成果 2009 年获

得陕西省科学技术一等奖。

(2) 2008年12月28日，中国科学院西安分院组织的鉴定委员会专家对本项目“细沟土壤侵蚀物理过程模型研究”进行了鉴定，以刘昌明院士和王光谦院士等组成的鉴定委员会认为，研究成果“从物理本质的揭示到实证试验与计算方法，得到了令人置信的研究成果”，“为土壤水蚀过程模拟与预报模型的建立探索了新的途径”，“瞄准土壤侵蚀学科前沿，试验设计科学合理，解决了模型中参数的求解问题，在国内外属于首创”。成果获得陕西省科学技术一等奖。

## 2. 国内外对本项目研究成果的引用

(1) 论文收录及引用：本项目研究成果在国内外本领域重要学术刊物 Water Resources Research、European Journal of Soil Science、Geodema、Journal of Hydrology、《中国科学》、《土壤学报》、《水利学报》、《生态学报》、《农业工程学报》、《中国农业科学》、《水土保持学报》等发表论文 204 篇，其中 SCI 收录 36 篇、EI 收录 38 篇，出版专著 5 部，被引用共计 7203 次。

(2) 国家知识产权及技术部门认定：获国家专利 7 项，其中发明专利 4 项。

## 五、推广应用情况

本项目针对坡耕地水土流失治理的重大问题立项，高等院校、水利管理、监测、规划、治理等部门、企业等单位联合攻关，采用“研究、试验、示范、推广”相结合的研究思路和推广模式，在我国主要水蚀区推广应用。成果被水利部、国务院三峡工程建设委员会等管理部门，长江水利委员会、黄河水利委员会、四川省水保局、湖南省水保监测中心、黑龙江省九三农垦局等生产单位应用；有效支撑了“全国水土流失监测重点工程”、“三峡水库移民安置区水土流失治理”、

“丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划”、《黄河流域综合规划（2012~2030年）》（2013年国务院“国函[2013]34号”文批复）等重大水土保持项目的实施，在我国主要水蚀区的水土流失监测和治理中发挥了科技引领作用，为区域生态恢复和粮食安全保障提供了有力的科技支撑；相关技术与范式应用面积 5200 余万亩，取得了显著的生态效益、经济效益和社会效益。

## 六、主要知识产权证明目录

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	农地耕层与犁底层土壤入渗性能连续测量装置及方法	中国	ZL201110190034.8	2013.2.27	1142855	中国农业大学	雷廷武、孙蓓、马玉莹、赵军	授权
发明专利	径流泥沙含量的连续自动测量装置	中国	ZL02121557.X	2005.11.2	234152	中国农业大学	雷廷武、赵军、王辉、刘清坤	授权
发明专利	体积置换法测土壤质量含水率和体积密度的装置及方法	中国	ZL201210343248.9	2014.8.13	1461880	中国农业大学	雷廷武、马玉莹	授权
发明专利	一种裸露红砂岩陡坡植被恢复方法	中国	ZL200910273292.5	2011.11.2	856925	华中农业大学	李璐、史志华、方怒放、尹炜、赵春华	授权
实用新型专利	坡式土体入渗率的测试装置	中国	ZL 03 200405.2	2003.12.10	592174	中国农业大学	雷廷武、詹卫华、潘英华	授权
实用新型专利	$\gamma$ 射线河流泥沙含量及流速智能测量仪	中国	ZL02256511.6	2003.8.27	570752	中国科学院水利部水土保持研究所,中国农业大学	雷廷武、赵军、刘清坤、王辉	授权
实用新型专利	土壤侵蚀临界剪切应力的测量装置	中国	ZL99248672.6	2000.7.7	391538	中国科学院水利部水土保持研究所	雷廷武	授权

## 七、主要完成人情况

姓名	雷廷武	排名	1
技术职称	教授	行政职务	无
工作单位	中国农业大学		
完成单位	中国科学院水利部水土保持研究所		
<p><b>对本项目技术创造性贡献:</b></p> <p>项目第一负责人, 负责项目研究计划、方案和技术路线的制定、实施。发展了系统确定模型参数的理论和方法体系, 提出了水土流失过程的数值模拟方法, 研发了不同尺度的径流泥沙过程自动测量系统。</p>			

姓名	唐克丽	排名	2
技术职称	研究员	行政职务	无
工作单位	西北农林科技大学		
完成单位	中国科学院水利部水土保持研究所		
<p><b>对本项目技术创造性贡献:</b></p> <p>阐明了坡耕地特殊侵蚀类型浅沟侵蚀的危害; 明确阐述了土壤侵蚀发生发展的时空规律, 提出了黄土高原退耕上限为 <math>15^{\circ}</math>, 并进行了科学论证。</p>			

姓名	蔡强国	排名	3
技术职称	研究员	行政职务	无
工作单位	中国科学院地理科学与资源研究所		
完成单位	中国科学院地理科学与资源研究所		
<p><b>对本项目技术创造性贡献:</b></p> <p>系统研究了黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟, 发展了植物篱技术体系, 凝练了主要水蚀区水土流失综合治理范式。</p>			

姓 名	张晴雯	排 名	4
技术职称	研究员	行政职务	无
工作单位	中国农科院农业环境与可持续发展研究所		
完成单位	中国科学院水利部水土保持研究所		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 提出了系统确定水蚀预报模型参数体系的实验方法和计算方法，并定量计算了水蚀预报模型中的参数。			

姓 名	史志华	排 名	5
技术职称	研究员	行政职务	无
工作单位	华中农业大学		
完成单位	中国科学院水利部水土保持研究所		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 发展了流域系统综合模拟与水土保持措施配置的情景分析方法，提出了流域养分流失调控与水土保持措施的优化配置体系。			

姓 名	张光辉	排 名	6
技术职称	研究员	行政职务	无
工作单位	北京师范大学		
完成单位	中国科学院水利部水土保持研究所		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 发展了陡坡土壤侵蚀过程的动力学机制有创造性贡献，揭示了陡坡高含水水流动力学特性、坡面水流输沙能力、侵蚀与输沙的耦合关系。			

姓 名	谭文峰	排 名	7
技术职称	教授	行政职务	无
工作单位	华中农业大学		
完成单位	中国科学院水利部水土保持研究所		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 揭示了土壤团聚体抗蚀的微观机理, 明确了侵蚀驱动下土壤的化学退化特征。			

姓 名	唐泽军	排 名	8
技术职称	教授	行政职务	
工作单位	中国农业大学		
完成单位	中国农业大学		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 提出了聚丙烯酰胺 (PAM) 调控水土与养分流失的技术体系。			

姓 名	孙莉英	排 名	9
技术职称	助理研究员	行政职务	无
工作单位	中国科学院地理科学与资源研究所		
完成单位	中国科学院地理科学与资源研究所		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 系统研究了坡耕地水土保持措施体系及其减蚀机理, 凝炼了主要水蚀区水土流失综合治理范式。			



姓 名	武高林	排 名	10
技术职称	副研究员	行政职务	
工作单位	西北农林科技大学		
完成单位	西北农林科技大学		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 发展了流域系统综合模拟与水土保持措施配置的情景分析方法, 提出了流域养分流失调控与水土保持措施的优化配置体系。			

姓 名	闫丽娟	排 名	11
技术职称	高级工程师	行政职务	无
工作单位	水利部综合事业局		
完成单位	中国农业大学		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 建立了以物理概念为基础的侵蚀预报模型, 用有限元方法和 C++语言对模型进行了数值计算并模拟细沟侵蚀动态过程。			

姓 名	张科利	排 名	12
技术职称	教授	行政职务	
工作单位	北京师范大学		
完成单位	中国科学院水利部水土保持研究所		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 在坡面浅沟侵蚀规律及分布特征方面的研究成果, 为黄土高原地区退耕还林上限坡度的提出作出了贡献。			

姓名	潘英华	排名	13
技术职称	教授	行政职务	无
工作单位	鲁东大学		
完成单位	中国科学院水利部水土保持研究所		
<p><b>对本项目技术创造性贡献:</b></p> <p>研究证明了 PAM 的减流增渗、预防坡面土壤侵蚀的作用, 物理调控方法对坡地土壤水分空间分布的调控作用。</p>			

姓名	郑明国	排名	14
技术职称	副研究员	行政职务	无
工作单位	中国科学院地理科学与资源研究所		
完成单位	中国科学院地理科学与资源研究所		
<p><b>对本项目技术创造性贡献:</b></p> <p>系统研究了坡面-流域水沙关系, 凝炼了主要水蚀区水土流失综合治理范式。</p>			

姓名	唐科明	排名	15
技术职称	讲师	行政职务	无
工作单位	北京师范大学		
完成单位	北京师范大学		
<p><b>对本项目技术创造性贡献:</b></p> <p>对陡坡土壤侵蚀过程的动力学机制有创造性贡献, 主要集中在土壤侵蚀过程的水动力学机理和土地利用对土壤侵蚀速率的影响等方面。</p>			

## 八、主要完成单位情况

单位名称	西北农林科技大学				
排 名	1	法定代表人	孙其信	所 在 地	陕西
通讯地址	陕西省杨凌示范区邠成璐3号				
<b>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</b>					
<p>作为主要完成单位，对项目组织、申报给予了全方位的支持。在项目的实施过程中，从时间、人力、物力等方面为项目科技人员提供了有力的保障，在成果推广和应用过程中，发挥了重要的组织、协调和落实作用，保证了项目任务顺利实施和目标全面实现。</p>					

单位名称	中国科学院水利部水土保持研究所				
排 名	2	法定代表人	刘国彬	所 在 地	陕西
通讯地址	陕西省杨凌示范区西农路26号				
<b>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</b>					
<p>中国科学院水土保持研究所和黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室注意对多年来的科研工作集成与综合，以黄土高原侵蚀环境调控和提高旱地农业生产能力为研究方向，解决黄土高原水土流失环境治理中重大关键科学问题，是国家在生态环境建设方面的迫切需要，也是该所和国家重点实验室的主攻方向。该项目以水土保持研究所的实验条件和研究基础为平台，以雷廷武研究员领导的科研小组于1998年入选中国科学院“百人计划”，为该项目的实施和顺利完成打下了坚实的基础。在此基础上，雷廷武研究员再次获得了国家自然科学基金重点项目“黄土区多尺度小流域土壤水蚀动态过程模拟研究”（项目编号：40635027）的资助。在项目实施过程中，水土保持研究所在实验条件、工作人员的工作时间及其实验设备等方面予以重点保障，管理部门按照课题管理办法进行检查、监督和组织协调，并根据项目的特点和进展情况，匹配资金予以支持，在试验仪器的设计、开发、研制等方面提供了技术和人才的支持，为该成果的完成提供了技术支撑和实验平台，确保了项目的顺利实施和圆满完成。在本研究的立项、实施、总结及鉴定等整个过程中给予了人力、物力和财力的支持。</p>					

单位名称	中国农业大学				
排 名	3	法定代表人	柯炳生	所 在 地	北京
通讯地址	北京市海淀区清华东路 17 号				
<b>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献:</b>					
<p>中国农业大学在全国范围内，特别在干旱半干旱地区的水土流失与环境治理问题的解决等方面进行了长期深入的研究。本项目以中国农业大学为依托单位，国家自然科学基金重点项目的支持，在本项目的实施、总结、鉴定与成果申报等方面中国农业大学给予了大力支持与协助。</p>					

单位名称	中国科学院地理科学与资源研究所				
排 名	4	法定代表人	刘毅	所 在 地	北京
通讯地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号				
<b>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献:</b>					
<p>中国科学院地理科学与资源研究所定位是以解决关系国家全局和制约长远发展的资源环境领域的重大公益性科技问题为着力点，水土流失问题是中国科学院地理科学与资源研究所的主要研究方向之一，研究所紧密结合全国可持续发展战略，在世界范围内寻求环境与发展相互协调对策，对我国主要水蚀区的水土流失问题进行了长期深入的研究。本项目以中国科学院地理科学与资源研究所为依托单位，获得了国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题:水土流失综合调控原理与治理范式(2007CB407207)的支持，在本项目的实施、总结、鉴定与成果申报等方面中国科学院地理科学与资源研究所给予了大力支持与协助。</p>					

单位名称	中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所				
排 名	5	法定代表人	张燕卿	所在地	北京
通讯地址	北京市中关村南大街 12 号				
<b>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献:</b>					
<p>水土流失环境治理是迫切需要解决重大关键科学问题，也是国家在农业环境可持续发展与生态环境建设方面的迫切需要，也是中国农业科学院一级学科和主攻的重大科学问题之一。在项目的实施、总结、鉴定与成果申报等方面，中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所在实验条件、工作人员的工作时间及其实验设备等方面予以重点保障，管理部门按照课题管理办法进行检查、监督和组织协调，为该成果的完成给予了人力、物力和财力的支持，确保了项目的顺利实施和圆满完成。</p>					

单位名称	华中农业大学				
排 名	6	法定代表人	邓秀新	所在地	湖北
通讯地址	武汉市洪山区狮子山特 1 号				
<b>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献:</b>					
<p>华中农业大学是一所教育部直属、国家建设的全国重点大学。水土流失、土壤肥力提升、土壤改良是华中农业大学的重要研究方向之一，特别是在土壤侵蚀退化特征与水土流失阻控方面取得较好进展。本项目以华中农业大学为依托单位，在项目的实施、工作时间、总结、鉴定与成果申报等方面予以保障，管理部门按照课题管理办法进行检查、监督和组织协调，为该成果的完成给予了人力、物力和财力的支持，确保了项目的顺利实施和圆满完成。</p>					

单位名称	北京师范大学				
排 名	7	法定代表人	董奇	所在地	北京
通讯地址	北京市海淀区新外大街 19 号				
<b>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</b>					
<p>北京师范大学是教育部直属重点大学首批列入建设计划，“十五”期间，学校进入国家建设计划。在项目的实施、总结、鉴定与成果申报等方面，在实验条件、工作人员的工作时间及其实验设备等方面予以重点保障，管理部门按照课题管理办法进行检查、监督和组织协调，为该成果的完成给予了人力、物力和财力的支持，确保了项目的顺利实施和圆满完成。</p>					

## 九、完成人合作关系说明

本项目完成人及工作单位包括：雷廷武（工作单位中国农业大学）、张晴雯（工作单位中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所）、史志华和谭文峰（工作单位华中农业大学），张光辉和张科利（工作单位北京师范大学）、潘英华（工作单位鲁东大学），以上完成人完成该项目的单位为中国科学院水利部水土保持研究所（现为西北农林科技大学水土保持研究所）；唐克丽和武高林（工作单位西北农林科技大学，完成该项目的单位为中国科学院水利部水土保持研究所），蔡强国、孙莉英和郑明国（中国科学院地理科学与资源研究所），唐泽军（中国农业大学），闫丽娟（工作单位水利部综合事业局，完成单位中国农业大学），唐科明（北京师范大学）。

雷廷武负责项目总体设计，组织实施项目计划。

以黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室为平台，唐克丽

和张科利合作提出以发生浅沟的临界坡度作为退耕上限坡度新标准，建立了符合我国坡耕地面蚀—细沟—浅沟—谷坡切沟链状侵蚀动力机制研究模式。在继承发展该研究成果的基础上，雷廷武与张光辉、张晴雯、唐泽军、闫丽娟、潘英华、唐科明合作，深入研究了坡耕地坡面、细沟、浅沟侵蚀时空演变规律，针对土壤侵蚀物理预报模型基本参数缺乏合理的实验和数学确定方法等研究难点，建立了确定模型参数的理论和方法体系，提出了水土流失过程数值模拟方法，构建了陡坡、高含沙水流侵蚀环境下水土流失过程模型。同时，针对现有测量手段无法实时测定径流和含沙量时空变化的研究难点，融合多传感器、 $\gamma$ 射线等技术，研发了不同尺度径流泥沙过程自动测量系统，该系统已在水利部、黄委会、松辽委、长江水利委员会、地方水保局、监测站、水保站的多处监测点得到应用，成果为国家确立强化坡耕地治理的决策与举措提供了科学支撑和监测评价手段。主要体现在合作完成了创新点 1、2、3、4。

雷廷武与蔡强国、孙莉英和郑明国合作，共同承担了国家自然科学基金重点项目“黄土高原多尺度小流域土壤水蚀动态过程模拟研究”，系统研究了黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟，并开展了主要水蚀区水土流失综合治理范式的示范推广工作，主要体现在合作完成了创新点 2、3、4。

史志华、谭文峰在成果完成期间 2009 年入选中科院“百人计划”，以黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室为平台，雷廷武与史志华、谭文峰、武高林合作，揭示了坡耕地抗蚀的微观机理，明确了侵蚀驱动下土壤退化特征，发展了流域系统综合模拟与水土保持措施配置的情景分析方法，提出了流域养分流失调控与水土保持措施的优化配置体系。主要体现在合作完成了创新点 3。