

## 2020 年度甘肃省科学技术奖申报项目一

序号	申报 奖种	项目 名称	完成单位	完成人	项目简介（关键技术与创新点、论文专著专利等知识产权情况）
1	甘 肃 省 科 学 技 术 进 步 一 等 奖	青 藏 铁 路 冻 土 路 基 次 生 病 害 形 成 机 理 及 防 控 技 术	中国科学院西北生态环境资源研究院、中国铁路青藏集团有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、南京工业大学	牛俊 富巍 马战 林举 王进昌 罗京 吴志坚 刘明浩 葛建军 穆彦虎 刘争平 王 爽 李国玉 俞祁浩 尹国安 明 锋	<p>本项目综合青藏铁路沿线冻土路基次生病害调查、监测数据分析、高分辨率遥感资料解译、室内试验、数值仿真、实体工程示范等手段，系统开展了青藏铁路冻土路基次生病害形成机理、影响因素与防控技术研究。主要关键技术与创新点包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 揭示了青藏铁路冻土路基次生病害机理，完成了分类体系划分。系统完成了青藏铁路冻土路基次生病害分类，揭示了其病害特征、机理与分布规律，并预测了其发展趋势；建立了次生病害易发性评价方法，完成了全线冻土段路基次生病害易发性系统评价。相关成果提升了冻土工程病害理论研究水平，为冻土工程次生病害防治提供了依据。</li> <li>2. 全面评价了各类冷却路基结构的优缺点及其适应性。基于青藏铁路主体路基结构 10 余年的地温、变形监测资料，系统评价了不同类型的主体冷却路基热稳定性状况，揭示了力学稳定性影响机制，预测了未来变形趋势；完善了青藏铁路正线上管道通风路基、遮阳棚路基的效果评价，提出了进一步优化对策。成果为多年冻土区路基稳定性补强及新型路基结构研发提供了科学依据。</li> <li>3. 研发了系列复合冷却路基新结构。基于冷却路基换热机理与潜在病害防治目标，优化了现行主体路基结构，研发了强化坡面通风的块石护坡路基、复合遮阳路基及冷桩等新型冷却结构，在青藏铁路冻土路基维护补强与病害防治中得以应用，并在其他冻土路基工程中进行了成功示范，提升了冷却路基结构在高温高含冰量多年冻土区的适应性。</li> <li>4. 提出了青藏铁路次生病害防治对策体系。针对目前青藏铁路出现的病害类型，提出了成套的冻土路基次生病害防治、边坡整治、桩基维护、防排水结构优化等工程对策，并应用于青藏铁路稳定性维护与病害处置工程实践。确保了青藏铁路整体稳定（稳定率达 90% 以上），行车速度保持在设计的 100km/h。</li> </ol> <p>项目研究共发表科技论文 101 篇，其中科学引文索引(SCI)收录 50 篇、工程(EI)索引收录 20 篇，授权发明专利 7 项、实用新型专利 5 项，参编行业标准 1 部。研究成果成功应用于冻土路基次生病害处置，攻克了多年冻土路基高病害率难题，确保了青藏铁路稳定率达 90% 以上，维持了世界上冻土区最快的列车速度。同时成果也成功应用于我国其他寒区工程病害防治，发挥了良好的社会效益。</p>

主要完成人情况:

姓名	排名	技术职称	工作单位	对本项目技术创造性贡献
牛富俊	1	研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	项目负责人, 全面负责研究项目的设计与组织实施, 对主要技术创新点 1、2、3 做出了创造性贡献。系统提出了青藏铁路冻土路基次生病害分类; 系统评价了青藏铁路不同结构冻土路基的长期热力稳定状况; 研发了具有更好降温效应的新型路基; 提出了系列冻土路基次生病害防治与整治措施。
马巍	2	研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	参与本项目的整体设计与实施, 主要负责了青藏铁路冻土路基变形机制研究。对主要技术创新点 2、3 做出了创造性贡献。基于青藏铁路冻土路基长期监测系统, 系统研究和评价了不同冷却路基的降温过程及冷却效应, 并揭示了不同冻土路基的变形特征、来源及机制。
林战举	3	副研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	负责青藏铁路次生病害现场调研及部分室内试验, 对主要技术创新点 1、4 做出了重要贡献。参与了青藏铁路次生病害分类及病害特征和机理研究, 阐述了各类病害的破坏特征; 通过野外地质钻探、长期观测以及室内循环冻融测试, 揭示了包括寒冻风化、热融湖塘、热融沟等病害的发生、发育机理。
王进昌	4	教授级高级工程师	中国铁路青藏集团有限公司	负责本项目中冻土路基病害防治措施与整治技术, 及青藏铁路正线工程的现场试验及实体工程示范, 对主要技术创新点 3、4 做出了贡献。协助建立了青藏铁路沱沱河段的应用示范工程; 提出了青藏铁路病害防治目标及处理方法。
罗京	5	副研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	主要参与本项目青藏铁路沿线次生病害分布规律及发展趋势的灾害成图研究, 对主要技术创新点 1、2 做出了贡献。完成了青藏铁路沿线次生病害的分布成图, 并预估了各类病害在气候变暖背景下的发展趋势; 研究了青藏铁路遮阳棚路基的长期降温过程及特征。
吴志坚	6	教授	南京工业大学	主要参与本项目青藏铁路冻土工程的稳定性评价研究, 对主要技术创新点 2、4 做出了贡献。揭示了影响青藏铁路冻土区路基和桥梁以及过渡段稳定性的影响因素, 提出了工程稳定性综合评价方法。阐明了青藏铁路运营期典型工程病害与整治技术, 提出了针对冻土路基和冻土桥梁典型工程病害处理及整治技术。
刘明浩	7	助理研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	主要参与本项目块石路基冷却降温效能和新型冻土冷却结构的研发及效果验证研究, 对主要技术创新点 2、3 做出了贡献。研究了青藏铁路典型 U 型块石结构在长期降温过程中变形特征; 开展了强化坡面通风和遮阳的新型块石护坡结构在青藏铁路以及其他实体工程现场监测研究。
葛建军	8	教授级高级工程师	中铁第一勘察设计集团有限公司	主要参与青藏铁路冻土路基地温工程效果评价研究。对主要技术创新点 2 做出了贡献。参与建立了青藏铁路楚玛尔河高温冻土路基正线工程试验段地温和变形的现场监测, 研究了青藏铁路不同结构冻土路基的热状况, 评价了不同结构在长期使用中的降温效应。

穆彦虎	9	副研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	主要参与本项目青藏铁路冻土路基稳定性评价研究，对主要技术创新点 2、3 做出了贡献。研究了青藏铁路正线工程不同地温分区块石路基的地温动态变化过程，揭示了块石路基的降温效能及其与地温分区的关系。
刘争平	10	教授级高级工程师	中铁第一勘察设计院集团有限公司	参与青藏铁路冻土路基地温和变形现场监测及长期效果评价研究。对主要技术创新点 2 做出了贡献。协助建立了青藏铁路高温冻土路基 12 处正线工程试验段地温和变形的监测场地，研究了青藏铁路高温冻土区不同结构块石路基的长期热状况，评价了不同结构在长期使用中的优劣性。
王 爽	11	教授级高级工程师	中国铁路青藏集团有限公司	参与青藏铁路冻土路基边坡稳定性评价及病害整治研究。对主要技术创新点 2 做出了贡献。采用极限分析有限元结合强度折减理论对路基边坡稳定性进行了研究，将边坡安全系数作为判定边坡是否失稳的依据，并验证了其实用性。
李国玉	12	研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	参与青藏铁路冻土路基降温机制研究。对主要技术创新点 3、4 做出了贡献。揭示了新型复合护坡路基的降温机制，为有效治理高温冻土区碎石护坡路基病害提供了依据。
俞祁浩	13	研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	参与青藏铁路冻土路基病害整治示范技术研究，提出了部分降低多年冻土温度的工程措施。对主要技术创新点 3、4 做出了贡献。研发了一种多年冻土区桩基础及其施工技术，能够减小施工对多年冻土的扰动，有效保护多年冻土路基稳定。
尹国安	14	助理研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	参与青藏铁路周边高温冻土环境效应研究。对主要技术创新点 1 做出了贡献。采用降尺度模型，模拟了不同气候情境下青藏铁路高温冻土路基退化趋势及其可能引起的路基次生病害。
明 锋	15	助理研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	参与青藏铁路冻土路基变形机理研究。对主要技术创新点 2 做出了贡献。通过建立考虑热传导、土体压缩变形、融化固结和冻土蠕变的数值模型，分析了多年冻土路基沉降行为，揭示了冻土路基长期变形机理。

## 2020 年度甘肃省科学技术奖申报项目二

序号	申报 奖种	项目名称	完成单位	完成人	项目简介（关键技术与创新点、论文专著专利等知识产权情况）
1	甘肃省自然科学一等奖	青藏高原冻土变化过程、机理和影响研究	中国科学院西北生态环境资源研究院	赵林	<p>本项目在青藏高原冻土变化、机理和影响等方面开展了研究，取得了系统性成果，主要有：</p> <p>1. 通过调查、监测和遥感反演等数据获取方法的创新，建立了多年冻土调查、监测和研究的系统方法，构建了完善的高原多年冻土全要素监测网络，查明了青藏高原多年冻土分布和特征及多年冻土区植被、土壤等本底信息并发布了系列数据产品。</p> <p>2. 依托调查和监测数据，提出了“冻融过程的四个阶段”、“冻土退化的三种模式”；利用数理统计、数值模型、机器学习等方法阐明了青藏高原多年冻土的变化过程；通过对土壤导热率参数化方案、冰水相变和未冻水的物理机制研究，改进了多年冻土模型，阐明了冻土对气候变化的响应机制。</p> <p>3. 通过野外调查、室内分析和模型模拟，厘清了多年冻土区各个环境因子之间复杂的相互关系，揭示了高原多年冻土区土壤碳循环的机制，评估了多年冻土退化的环境和气候效应。</p> <p>项目共发表论文和专著 140 篇，被诸如 Nature 及其子刊、GRL、ESSD 等国际顶级期刊广泛引用（单篇及总引用次数以甘肃省科学技术情报研究所查新结果为准）。结果为高原生态屏障建设提供了基础数据和理论依据，为全国政协、国家发改委提供了数据、成果和对策建议，为部队的工程建设和水源问题提供了解决方案。成果在国际上也得到了极大关注。形成的方法被相关部门和领域广泛应用，建立的观测网络被国际气象组织（WMO）推荐为国际标准，成为国际陆面监测网络（GCOS）的重要组成部分。</p>

### 主要完成人情况：

姓名	排名	技术职称	工作单位	对本项目技术创造性贡献
赵林	1	研究员	中国科学院西北生态环境资源研	作为团队负责人，全面参与了本项目的全部工作，建立了多年冻土调查、监测和研究的系统方法，建立了青藏高原冻土综合全要素的观测网络，对多年冻土开展了大范围的调查，提出了多年冻土“冻融过

			究院	程的四个阶段”、“冻土退化的三种模式”，给出了青藏高原经过验证精度最高的多年冻土分布图。
吴通华	2	研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	分析了青藏高原冻土的变化和时空特征和影响因素，发展了物探法监测多年冻土的技术。
吴晓东	3	研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	分析了多年冻土复杂的环境因子之间的相互关系，给出了各环境因子影响多年冻土和土壤碳含量的权重，建立了多年冻土区植被和土壤分类数据集，评估了冻土退化的环境影响。
胡国杰	4	副研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	考虑多年冻土未冻水和冰水相变的过程，改进了多年冻土的模型，揭示了多年冻土对气候变化响应的机理。
李 韧	5	研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	系统分析了多年冻土的热力学特征，完善了多年冻土模型中导热系数和反照率的参数化方案，评估了高原冻土变化的变化过程，对多年冻土与气候的相互作用关系做出了贡献。

### 2020 年度甘肃省科学技术奖申报项目三

序号	申报奖种	项目名称	完成单位	完成人	项目简介（关键技术与创新点、论文专著专利等知识产权情况）
1	甘肃省自然科学二等奖	砾石覆盖的生态水文效应研究	中国科学院西北生态环境资源研究院	王亚军 邱阳 谢忠奎	<p>砾石覆盖农田俗称“砂田”，起源于甘肃，是中国西北半干旱区特有的一种通过在土壤表面覆盖砂砾来减少水分损失的农业耕作措施，至今已有 300 多年历史。但砾石覆盖的生态水文效应研究比较薄弱，覆盖主导的水热耦合效应、蒸发阻力模拟、降雨径流和侵蚀过程、水分高效利用及土壤退化机制等还不明确，导致覆盖区域陆面水文过程的模型模拟和砾石覆盖层的结构优化难以进行。</p> <p>本项目经过近 20 年的农田试验、野外调查、径流场观测、人工模拟降雨试验和系统分析，取得系列创新成果：</p> <p>（1）构建了覆盖土壤蒸发过程模拟的砾石层结构特征参数体系，明确了砾石覆盖层结构特征参数和蒸发过程的定量关系，揭示了砾石层阻碍水分蒸发的动力学机制，首次建立了基于砾石覆盖层结构特征参数的蒸发阻力数学模型，填补了砾石覆盖土壤蒸发定量计算的空白。</p> <p>（2）定量研究了砾石等效粒径、厚度和比表面积等结构参数对降雨截留、水分入渗、径流和土壤侵蚀过程的影响。揭示了砾石层多孔介质特性产生的毛细管孔隙和表面水膜与不同降雨特征下的雨水截留和储水容量的定量关系。发现砾石层具有延缓雨水在地表的集聚速度和强度，对径流起阻隔和分散作用。明确了砾石覆盖层促进入渗、延缓径流产生时间、减少径流量和侵蚀量的物理过程，首次提出了水土保持效果最好的砾石覆盖层结构，研究结果有助于解决中国西北黄土高原区域严重的水土流失问题。</p> <p>（3）明确了砾石长期覆盖对农田土壤有机碳组分、酶活性和土壤微生物的影响，发现长期砾石覆盖的压实作用导致表层土壤容重升高，覆盖层下界面沙粒和土壤混合导致增温保水效应减弱，土壤轻组有机碳和微生物量碳显著降低，揭示了砾石长期覆盖导致土壤退化的原因，为砂田可持续利用的技术创新提供了理论基础。</p> <p>（4）明确了砾石覆盖层结构对水热耦合效应的影响，揭示了砾石覆盖促进作物根系生长、改变作物根系空间分布的规律。提出了在半干旱地区，水分利用效率和作物产量表现最优的砾石覆盖耕作模式，首次将滴灌补灌技术引入砂田耕作体系，定量评估了砾石覆盖下补灌措施提高作物水分生产率的经济可行性，为干旱地区的农业可持续发展提供了理论依据和实践指导。</p> <p>客观评价：砾石覆盖不仅是一种传统的耕作措施，实质上是造成了陆地下垫面结构的变化，这种结构变化对生态水文过程产生巨大的影响，生态水文过程的模型模拟是生态水文研究的前沿和热点，特别是多孔介质主导的复杂下垫面的生态水文效应研究越来越受到关注，但是在模型模拟过程中缺乏必要的参数和对水文过程动力学机制的认识，项目组针对上述问题进行了长期细致的研究，共发表学术论文 29 篇，其中 SCI 论文 18 篇。5 篇代表性论文 SCI 他引 323 次，单篇最高 SCI 最高他引 162 次。他引论文发</p>

			<p>表期刊包括“Geoderma”、“Agricultural and Forest Meteorology”、“Soil &amp; Tillage Research”、“Agricultural Water Management”、“Land Degradation &amp; Development”和“Journal of Hydrology”等相关领域顶级期刊。</p> <p>中科院水利部水土保持研究所邵明安院士团队在多篇论文中引用了我们的系列研究，高度评价了我们建立的蒸发阻力模型，引用该模型科学解释了其研究中蚂蚁和蜈蚣对地表扰动形成的多孔结构对水分蒸发的影响。多孔结构的厚度和水汽运移到空气的通道长度呈正相关关系，扰动层粒径大小及孔隙度与蒸发量的关系和我们的研究结果一致（见 Li et al. 2019; Yang et al. 2020）。</p> <p>澳大利亚迪肯大学 Al-Shammary 教授团队高度认可我们关于砾石覆盖可以减少土壤蒸发、保持土壤含水量以满足植物的需求，增加作物产量的观点（见 Al-Shammary et al. 2020）。</p> <p>捷克共和国 Radka 教授在论文中多次高度评价了我们在砾石覆盖上的研究成果，同时他们用实验验证了砾石覆盖减少土壤蒸发，且土壤温度与砂砾粒径呈负相关关系的结论（见 Kodesova et al. 2014）。</p> <p>西北农林科技大学冯浩教授团队指出我们的研究证明了在中国半干旱和干旱地区，砾石覆盖技术是减少蒸发、改善土壤物理状况和作物生产的一种很有前途的有效方法（Wang, Feng et al. 2018）。</p> <p><b>代表性论文 5 篇（*为通讯作者）：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Yajun Wang*</b>, <b>Zhongkui Xie</b>, Sukhdev S. Malhi, Cecil L. Vera, Yubao Zhang, Jinniu Wang. 2009. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid loess plateau, china. <i>Agricultural Water Management</i>, 96(3), 374-382.</li> <li>2. <b>Yajun Wang*</b>, <b>Zhongkui Xie</b>, Sukhdev S. Malhi, Cecil L. Vera, Yubao Zhang, Zhihong Guo. 2011. Effects of gravel-sand mulch, plastic mulch and ridge and furrow rainfall harvesting system combinations on water use efficiency, soil temperature and watermelon yield in a semi-arid Loess Plateau of northwestern China. <i>Agricultural Water Management</i>, 101, 88-92.</li> <li>3. <b>Yang Qiu</b>, <b>Zhongkui Xie*</b>, <b>Yajun Wang</b>, Jilong Ren, Sukhdev S. Malhi. 2014. Influence of gravel mulch stratum thickness and gravel grain size on evaporation resistance. <i>Journal of Hydrology</i>, 519, 1908-1913.</li> <li>4. <b>Zhongkui Xie</b>, <b>Yajun Wang*</b>, Wenlan Jiang, Xinghu Wei. 2006. Evaporation and evapotranspiration in a watermelon field mulched with gravel of different sizes in northwest China, <i>Agricultural Water Management</i>, 81(1-2): 173-184.</li> <li>5. <b>Zhongkui Xie</b>, <b>Yajun Wang*</b>, Guodong Cheng, Sukhdev S. Malhi, Cecil L Vera, Zhihong Guo, Yubao Zhang. 2010. Particle size effects on soil temperature, evaporation, water use efficiency and watermelon yield in fields mulched with gravel and sand in semi-arid Loess Plateau of northwest China. <i>Agricultural Water Management</i>, 97, 917-923.</li> </ol>
--	--	--	--

主要完成人情况:

姓名	排名	技术职称	工作单位	对本项目技术创造性贡献
王亚军	1	副研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	研究了砾石覆盖层结构特征对农田土壤蒸发、土壤质量、土壤微生物和作物生长的影响,明确了砾石覆盖层的水热耦合效应,揭示了砾石覆盖促进作物根系生长分布和提高作物水分利用效率的机理。提出了水分高效利用的砾石层结构和覆盖耕作模式,为干旱地区的农业可持续发展提供了理论依据和实践指导。
邱阳	2	助理研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	明确了砾石覆盖对不同降雨特征下的雨水截留和储存的规律和特征,揭示了砾石层阻碍水分蒸发的动力学机制,首次构建了基于砾石覆盖层结构特征参数的蒸发阻力计算模型。定量分析了砾石覆盖结构参数对水分入渗、表层径流、土壤侵蚀和养分流失过程的影响。提出了水土保持效果最好的砾石覆盖层结构。
谢忠奎	3	研究员	中国科学院西北生态环境资源研究院	完成了砾石覆盖层结构的参数化,构建了覆盖土壤蒸发过程模拟的砾石层结构特征参数体系,明确了砾石覆盖层结构特征参数和蒸发过程的定量关系。首次将滴灌补灌技术引入砂田耕作体系,定量评估了砾石覆盖下补灌措施提高作物水分生产率的经济可行性。