

2024 年度甘肃省科学技术奖公示材料

项目名称： 寒区输水工程灾变机理与运维安全关键技术及应用

申报奖种： 甘肃省科技进步一等奖

项目简介：

（一）主要技术内容

寒区的调水干线具有众多类型的建筑，数量庞大，并呈现出多交叉、多工程、多线路、多水源、多功能、多泥沙的“六多”特点。由于工程结构物受到干湿冻融循环、冷热交替、盐渍侵蚀和风沙侵蚀等典型的自然条件，使得输水工程的高效运行和水质安全保障面临前所未有的难度和复杂性。本项目针对寒区长距离输水工程灾变机理、水质保障、漏损防控、运行调控等关键技术内容，提出了寒区长距离输水工程运营期冰害破坏防治技术，研发了绿色抗冻水工混凝土材料，创建了跨流域调水“水质-水量-生态”三维一体的寒区工程安全保障与运维技术体系。

（二）主要技术创新点

1、揭示了寒区长距离输水工程运维期性能演化与灾变机理。

基于河渠冰对输水建筑物破坏机理，设计了输水建筑物渠首、渠道破冰和防冰装置，创建了渠道断面结构优化设计方法；研发了冰、水与输水建筑物流固耦合相互作用数值仿真系统，揭示了极端环境条件下冰对输水建筑物冻胀破坏、冲击破坏和挤压破坏规律，为寒区输水建筑物的设计、运营和安全评估提供技术保障。

2、解决了寒区长距离输水工程低温输水与冬季运行控制关键技术。

基于寒区特有的环境条件，设计室内加速试验，模拟寒区输水明渠衬砌混凝土损伤过程；通过室内试验与现场试验相结合，深入研究水工混凝土结构的损伤过程及服役性能衰减过程，探索寒区输水明渠衬砌的病害机理及劣化规律，为寒区输水工程设计、施工和运维提供科学依据，优化寒区水工混凝土配比设计，为提寒区冬季输水建筑物的服役寿命提供了有力的理论支持。

3、开展了寒区长距离输水工程运维能力提升与安全保障集成示范。

基于自行开发的寒区输水工程计算平台，研究了运维期复杂工况下寒区长距离输水工程的冰期运维安全，确定了冰盖的静、动力动态响应规律和稳定性机理；计算了寒区长距离输水渠道水热力及水热动力过程，揭示了渠道的冰冻害发生机理，提出了低温环境下输水渠道的安全运行保障技术，为寒区水利工程的设计与运维提供了理论基础和技术参考。

4、构建了多污染因素耦合作用下长距离输水工程突发水污染运维技术体系。

构建了寒区多污染因素耦合作用下长距离输水工程突发水污染“溯源-评价-预测”模型，通过耦合概

率密度函数与 BAS 算法结合，实现了对污染物排放源头的精准定位和追踪的“源-径-汇”污染溯源追踪技术；构建了长距离输水“水质-水量-生态”三维一体的寒区工程安全保障与运维技术体系，为长距离输水工程运维安全提供保障。

（三）知识产权

项目具有完全自主知识产权，申请授权发明专利 15 项，实用新型专利 11 项，软件著作权 9 项，出版专著 4 部。

（四）经济效益及社会效益

项目为寒区跨流域输水工程灾变机理与运维安全奠定理论基础，最大限度地减少破坏运维安全的影响。项目针对寒区跨流域输水工程灾变机理与运维安全的理论、技术和应急管理，建立跨流域输水工程灾变机理与运维安全理论与关键技术，为事故发生减少了经济损失，可产生间接经济效益不低于 2.5 亿元人民币，在应对输水工程灾变与运维安全方面取得了重要的经济效益。

主要完成单位及创新推广贡献：

1：甘肃民族师范学院（排名第一）

对本项目的贡献：主持本成果相关科研项目申报，项目主要研究内容、技术创新的主体，主持创新点1、2、3、4的主要核心技术开发，具体如下：解决了长距离输水工程灾变机理、水质保障、漏损防控、运行调控等关键技术难题，完成了复杂工况下寒区长距离输水工程的冰期运维安全研究以及低温输水与冬季运行控制技术研究，成功研发出绿色抗冻性水工建筑材料，确定了危害输水建筑物冬季运行损伤侵蚀类型与劣化机理之间的耦合关系，并针对性地提出了高寒环境下混凝土耐久性增强方案，有效提高了寒区冬季输水建筑物的服役寿命，进而保障寒区长距离输水工程在复杂工况下能够安全稳定运行。

2：兰州交通大学（排名第二）

对本项目的贡献：参与本项目创新点1、2、3、4的部分核心技术开发。具体内容如下：主要开展了长距离输水工程中灾变机理和水质保障两方面的研究，提出了寒区长距离输水工程运营期冰害破坏防治技术，构建了长距离输水“水质-水量-生态”三维一体的寒旱区工程安全保障与运维技术体系，为寒区的水资源合理利用和生态环境保护提供坚实的技术支撑。

3：天津大学（排名第三）

对本项目的贡献：参与了本项目创新点1、3的部分核心技术开发。具体如下：开展了长距离输水工程渠道冰情智能识别和冰害监测，研发了冰、水与输水建筑物流固耦合相互作用仿真系统，丰富了冰水力学基础科学研究内涵，揭示了极端环境条件下冰对输水建筑物冻胀破坏、冲击破坏和挤压破坏规律，为寒区输水建筑物的设计、运营和安全评估提供技术保障。

4：中国水利水电科学研究院（排名第四）

对本项目的贡献：参与了本项目创新点1的部分核心技术开发。具体如下：探究了运维期复杂工况下

寒区长距离输水工程的冰期运维安全，确定了冰盖的静、动力动态响应规律和稳定性机理，研发和示范了系列寒区输水工程冰期稳定性调控新技术，揭示了寒区长距离输水工程运维期性能演化与灾变机理，计算了寒区长距离输水渠道水热力及水热动力过程，揭示了渠道的冰冻害发生机理。

5：甘肃省水利科学研究院（排名第五）

对本项目的贡献：参与了本项目创新点 4 的部分核心技术开发。具体如下：考虑经济、社会、环境、生态、政策等综合因素，按“目标层-准则层-指标层”三层结构，对突发水污染事件迅速全面评估，确定污染类型、程度、范围及污染物来源、迁移路径追踪提供了科学依据。

6：甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司（排名第六）

对本项目的贡献：参与了本项目创新点 2 的部分核心技术开发。具体如下：基于表观特征和宏观耐久性指标，深入研究了冻融循环与硫酸盐侵蚀双因素复合作用下的损伤过程；进一步地建立了考虑侵蚀过程中硫酸盐消耗、开裂引起的渗透加速和孔隙填充导致的扩散率降低的混凝土模型，得出混凝土内硫酸根离子扩散过程、膨胀应变及应力变化、开裂破坏等全过程。研究成果显著提高了高寒特殊环境下输水工程服役寿命及安全运行性能，为寒区水利工程运维安全提供了理论支撑和技术支持。

推广应用情况：

通过深入探究寒区输水工程的灾变机理并应用运维安全关键技术，应用研究成果已在甘肃省引大入秦、甘肃省疏勒河水污染溯源应急管理等项目，以及在兰州铁道设计院、黄河勘测规划设计研究院实际工程设计中得到成功应用，显著降低了工程运维成本，提升了工程质量与可靠度，成功实现了研究成果的实际应用转化，取得社会经济效益高达 2.5 亿元。同时，显著提升了我国在寒区调水工程领域的技术水平，在实践中积累的宝贵经验和创新成果，增强了我国家相关领域的竞争力，更为国内外类似工程提供了极具价值的参考范例，有效推动了整个行业的进步与发展。

主要完成人情况对项目主要贡献

排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献	曾获科技奖励情况
1	贡力	教授	甘肃民族师范学院	甘肃民族师范学院	全面主持项目研发与推广应用的工作。完成创新点 1、2、3、4 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 90%。	“干寒地区跨流域调水工程运维安全关键技术与应用”项目曾获中国大坝工程学会科技进步二等奖，2023 年 3 月, 1-10。
2	靳春玲	教授	兰州交通大学	兰州交通大学	负责项目寒区多污染因素耦合作用下长距离输水工程突发水污染模型构建与评价工作。完成创新点 4 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 85%。	“寒旱地区长距离输水工程运营安全关键技术与应用”项目曾获甘肃省科技进步二等奖，2022 年 6 月, 4-10。
3	刘东海	教授	天津大学	天津大学	负责项目渠道冰清智能识别算法设计与研发工作。完成创新点 1、3 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 50%。	“高等级公路智能化施工质量实时管控关键技术及应用”项目曾获天津市科技进步一等奖，2023 年 4 月。
4	王涛	正高级工程师	中国水利水电科学研究院	中国水利水电科学研究院	负责项目河渠冰的静、动力动态响应规律和稳定性机理的研究。参与完成创新点 1 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 50%。	“河渠冰情监测预报与冰凌灾害防治关键技术装备”项目曾获水力发电科学技术一等奖中国大坝工程学会科技进步一等奖，2021 年，3-15。
5	邓建伟	正高级工程师	甘肃省水利科学研究院	甘肃省水利科学研究院	负责项目寒区工程安全保障与运维技术体系关键技术研发。完成创新点 4 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 35%。	“疏勒河流域规模化集约高效农业过程控制技术”项目曾获甘肃省科技进步二等奖，2020 年 1 月，1-10。
6	崔晓宁	讲师	兰州交通大学	兰州交通大学	负责项目低温环境下输水渠道的抗冻性研究。完成创新点 2、3 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 30%。	“填沟造地高回填结构体系力学调控理论与建造关键技术”项目曾获甘肃省科技进步二等奖，2023 年 6 月，9-10。
7	马莉	讲师	兰州交通大学	兰州交通大学	负责项目工程基础大体积混凝土温度场分布研究。完成创新点 2 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 30%。	“铁路高填土隧洞结构减载及衬砌结构性能优化关键技术与工程应用”项目曾获中国铁道学会科学技术奖三等，2023 年 2 月，4-15。
8	王立	副教授	兰州交通大学	兰州交通大学	负责项目跨流域输调水配水方案优化。完成创新点 1 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 30%。	无

9	杨腾腾	无	兰州交通大学	兰州交通大学	负责项目输水建筑物渠首、渠道破冰和防冰装置设计，并创建了渠道断面结构优化设计方法。完成创新点 1 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 30%。	无
10	薄士威	高级工程师	甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司	甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司	负责项目中水工混凝土的损伤过程和劣化机理研究。完成创新点 2 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 25%。	无
11	熊利锋	高级工程师	甘肃省水土保持科学研究所	甘肃省水土保持科学研究所	负责项目中监测-溯源一体化的河渠瞬时固定点源突发性污染物排放应急响应研究工作。完成创新点 4 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 25%。	无
12	龙其锦	高级工程师	中国铁路广州局站房建设指挥部	中国铁路广州局站房建设指挥部	负责项目中水工建筑物的服役寿命预测。完成创新点 2 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 25%。	无
13	党丹丹	无	兰州交通大学	兰州交通大学	负责项目中寒区引水隧洞衬砌结构安全状态研究的评价指标体系的建立，并构建基于未知测度理论对寒区引水隧洞衬砌安全状态的评价模型。完成创新点 1 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 25%。	无
14	秦军	无	兰州交通大学	兰州交通大学	负责项目中寒区水工混凝土室内加速试验设计，研究了水工混凝土结构的损伤过程及服役性能衰减过程。完成创新点 1 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 25%。	无
15	李中正	副教授	甘肃民族师范学院	甘肃民族师范学院	负责项目中冰-水-工程结构流固耦合作用过程中流体介质影响分析。完成创新点 1 的研究工作，对该项目研究的贡献率为 25%。	无