

项目公示信息

一、项目名称：冻土区桩基承载理论与安全保障关键技术

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省教育厅

随着暖湿化趋势的加剧，冻土区桩基服役环境发生重大变化，由桩基承载劣化导致的病害问题日益突出，给冻土区桩基工程建设和运维带来巨大挑战。在国家、省部级等科研课题的支持下，结合工程实践，历时10余年，采取理论研究、技术研发与实践验证相结合的方法，建立了冻土区桩基承载力计算理论，发明了冻土区桩基状态感知技术，创新了冻土区桩基安全保障技术。经陕西省岩土力学与工程学会组织专家对成果进行鉴定，认为“项目成果经济、社会和生态环境效益显著，推广应用前景广阔，总体达到国际领先水平。”

项目成果成功应用于兰新铁路、沈白高铁、佳鹤铁路等50余项重大工程，为“一带一路”交通廊道、中俄原油管道等国家战略工程的安全建设和稳定运营提供有力支撑，社会经济效益显著。

项目材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。特提名为陕西省科技进步奖二等奖。

三、项目简介

我国是世界第三冻土大国，冻土区约占国土面积的 $\frac{2}{3}$ ，工程数量和密度居全球首位。桩基因其承载力高、适应性强的优点，在冻土工程中广泛应用。气候变化、工程活动等对冻土的扰动是桩基病害发育的根本原因，更是冻土桩基承载性能劣化的主要诱因。近年来，大气升温、冻土退化等持续加剧的气候暖湿化使桩基服役环境愈发恶劣，“冻融”与“热融”联合作用下桩基病害超 15%，给冻土工程的安全运营和健康服役带来巨大挑战。冻土桩基工程面临三大难题：桩土体系冻融状态复杂，接触模式多变，病害型式多样，传统承载理论不适用；桩土界面水热状态测不准，温度变化导致桩身内力测试误差大，桩基状态精准感知难实现；多变的水热环境加速桩基性能劣化，复杂的桩-土接触状态导致病害发育隐蔽，桩基工程安

全难保障。以上难题成为制约冻土区桩基工程长期稳定的难点与痛点，亟需攻关解决。本项目在国家、省部级科研课题的支持下，产、学、研、用相结合，历时 10 余年，攻克了冻土区桩基承载理论、状态感知与安全保障技术难题，取得以下创新成果：

1.建立了冻土区桩基承载力计算理论

探明了冻土区桩-土体系病害长周期多源发育模式，揭示了热融、冻融作用下桩基承载劣化病害机制，构建了反映界面“温-湿”变化的桩-土界面强度模型，提出了考虑地气温度、冻融厚度、服役年限等多因素的冻土区桩基承载力计算新方法，攻克了服役环境动态变化下的桩基承载力计算难题。

2.发明了冻土区桩基状态感知技术

创新了考虑温度应变及荷载应变分离的桩基内力线测法测试技术，发明了桩周冻土相变及水热迁移的协同感知新方法，建立了桩-土相变区界面强度预报模型，构建了“环境-桩体-冻土”三位一体承载状态监测系统，实现了对冻土区桩基服役状态的精准感知，解决了“温-湿-力”耦合作用下桩基承载性状预测评估难题。

3.创新了冻土区桩基安全保障技术

研制了包衣硬脂酸疏水微胶囊，协同保障了混凝土疏水与力学性能；研发了低温高性能混凝土及其施工工艺，解决了混凝土早期强度及后期耐久性能低的核心技术难题；提出了灌注桩分区控温方法，实现了桩体与桩周土温度的主动调控，优化了混凝土水化-防冻-强度协同优化，形成了冻土区桩基安全保障技术体系。

本项目发表论文 105 篇（SCI/EI 论文 67 篇），出版专著 4 部，授权专利 30 余项，主/参编国家、行业标准 3 部，软件著作权 3 项，培育了陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍，获陕西省高等学校科学技术研究优秀成果一等奖、陕西省研究生创新成果奖等多项科技奖励。

项目成果在新疆、陕西、黑龙江等 50 余项重点工程中推广应用，成

果理论有突破，技术有创新，工程有应用，对冻土区桩基设计理论发展和桩基施工测试技术进步做出了创新性贡献，总体达到国际领先水平。随着“一带一路”战略持续推进，项目成果应用前景广阔，经济、社会和生态环境效益显著。

四、客观评价

1 评价结论

2023 年 3 月，陕西省土木建筑学会组织专家对冻土地区桩基承载特性研究与应用成果鉴定认为“项目成果理论有突破，技术有创新，工程有应用，对桩基设计理论发展和桩基测试技术进步做出了创新性贡献，总体达到国际领先水平”。2025 年 6 月，陕西省岩土力学与工程学会组织对西安科技大学、中铁二十局集团有限公司、机械工业勘察设计研究院有限公司等共同完成的“冻土区桩基承载理论与安全保障关键技术”项目成果进行科技成果鉴定，专家组认为：“项目成果经济、社会和生态环境效益显著，推广应用前景广阔，总体达到国际领先水平”。

2 检索评价

经陕西省科学技术情报研究院对本项目成果在国内外进行检索查新，发现本项目成果中“冻土桩基承载力计算方法、考虑水化反应过程的冻土桩基内热源计算模型、冻土桩基风险评价体系、桩周冻土相变状态和水热迁移监测协同感知新方法”，未见与查新项目所述综合研究内容相同的报道。在本领域相关文献中，本项目所发表论文占 50%。

3 学术影响

本项目主要成果发表论文 105 篇，其中 SCI/EI 67 篇，得到学术界广泛引用和高度评价，冻土区桩基承载理论与安全保障关键技术代表性成果发表在国际寒区岩土工程研究顶级期刊上，WOS 引用国际领先，第一完成人唐丽云教授 H 指数 21，多篇高被引。

(1) 由本项目团队 2009 年发表的《多年冻土区桩基竖向承载力的预报模型》，首次提出了冻土区桩-土相互作用模型，多位学者引用并评价：该模型“针对多年冻土区桩基竖向承载力变化规律进行研究，对季节冻融层和多年冻土层的厚度进行了计算，建立了桩-土相互作用关系”，对冻土地区大型工程设施稳定性评价进行了前瞻探索。

(2) 由本项目团队 2010 年发表的《桩基施工对冻土地区桩基热影响

分析》，首次将混凝土水化热绝热温升过程作为内热源引入桩-土体系，多位学者引用并评价：“桩基水化热影响范围约为 6 倍桩径，实际施工中可错开各桩灌注混凝土时间，以减少各桩间水化热的相互影响”。

(3) 由本项目团队 2018 年发表的《A resistivity model for testing unfrozen water content of frozen soil》，建立了冻土电阻率测试新模型，成为本方向热点文章，评审专家认为：“The theory and test technology of unfrozen water is one of the hot issues of the frozen soil engineering. The research in this paper has an important contribution to the scientific research of the journal readers.”（“未冻水测试理论及技术是冻土工程的热点之一，本文研究对读者的相关科学研究具有重要贡献”。）

(4) 由本项目团队在第十五届岩石力学与工程学会年会提交的《大气温度升高下冻土桩负摩阻力试验研究》，获得大会优秀论文。

此外，项目团队在岩石力学与工程学术年会、寒区岩土力学与工程青年学者论坛、青年地学论坛等学术会议上现场汇报本项目研究成果，得到广泛好评。

4 主要科技奖励及人才培养

团队凝聚了一批冻土区桩基工程的科研和工程技术人员，获批“陕西省秦创原‘科学家+工程师’队伍”。项目团队共有 4 人晋升正高级职称，12 人晋升副高级职称，培养研究生 85 名。项目团队成员曾获陕西省高等学校科学技术研究优秀成果一等奖、陕西省研究生创新成果奖等多项科技奖励，有力推动了冻土桩基工程安全保障技术的进步与发展。

5 成果转化

项目成果已纳入《铁路工程混凝土实体质量检测技术规程》（TB 10433-2023）及《铁路工程结构混凝土强度检测规程》（TB 10426-2019），同时灌注桩成桩后分布式光纤后植入方法正转化为陕西省工程建设标准《桩基内力线测法测试规程》，服务我国冻土区公路、铁路、电力等桩基工程，有力推动行业技术进步。

项目成果为陕西省秦创原西部寒区桩基技术研发与应用“科学家+工程师”队伍的产学研用成果，为探索校企联合创新，发挥大型国企市场主体作用与高校理论基础研究优势，加大研究成果转化落地提供样板工程。

6 应用评价

在“一带一路”倡议、西部大开发新格局及“交通强国”等国家战略背景下，项目成果在黑龙江、新疆、陕西、内蒙古、辽宁等 50 余项重点工程得到应用。其中，兰新铁路精阿段增建二线工程、银川至西安高速铁路、黑龙江省百大项目之一佳鹤铁路、“中巴经济走廊、新欧亚大陆桥”等交通工程均应用了本项目研究成果。

(1) 中铁二十一局集团有限公司应用本项目桩基监测手段，对曾是“新疆通往内地的唯一铁路线”的兰新铁路精阿段增建二线工程，评价认为本项目成果“实现了桩身内力全尺寸连续监测，显著降低了监测误差，精准感知冻土区桩基服役环境，有效控制了地基变形问题，对于提升施工效率和安全性具有重要意义”。

(2) 中铁十六局集团有限公司应用本项目研究成果，对国家中长期铁路网规划中东北快速铁路通道的重要组成部分“沈白高铁”辽宁段项目进行了评价，认为本项目成果“显著提升了混凝土在负温环境下的耐久性和强度稳定性，实现了桩基的均匀沉降控制，避免了因温差导致的应力集中和结构开裂风险，显著提高了工程效率和质量”。

(3) 自治区“十三五”交通规划“6 横 6 纵 7 枢纽 8 通道”公路主骨架网中重要组成部分那巴公路应用本项目成果，开展桩基承载性能监测评估。应用单位新疆祥陇盛宇建设集团有限公司认为本项目成果“实现桩身内力全程连续监测，获取了冻融和荷载共同影响下的桩体应力变化规律，为冻土桩基健康状态预警提供关键技术支持”。

(4) 巴州旅游集散中心工程利用本项目提出的桩侧冻土未冻水测试新方法，实现了冻土未冻水含量快速、大范围的测试，新疆永生华祥建筑工程有限公司认为“利用未冻水测试新方法，为桩基的服役监测及灾害预警提供了有效途径”。

(5) 合安高速公路重庆段的渠江特大桥和嘉陵江特大桥工程建设项目，结合本项目提出的严寒环境的超低温高性能混凝土施工工艺，克服了桩基因冻胀收缩产生的环状分层开裂病害问题。中铁十二局集团有限公司评价：“项目研究成果显著提高了桥梁建设的效率和质量，有效保证了项目的安全、顺利推进”。

五、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	一种脂基硅高强度混凝土整体疏水材料及其制备方法	中国	ZL202310408179.3	2024 年 05 月 03 日	6966485	西安科技大学	唐丽云, 吴丹娜, 谈亚文, 孙仕源, 唐华明, 景宏君, 吴迪
2	论文	A resistivity model for testing unfrozen water content of frozen soil	欧洲	https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2018.05.003	2018 年 09 月 06 日	Cold Regions Science and Technology	Xi'an University of Science and Technology	Liyun Tang, Ke Wang, Long Jin, Gengshe Yang, Hailiang Jia, Assaad Taoum
3	其他	冻土区桥梁桩基监测预报预警系统研究	中国	ISBN 978-7-5369-7647-4	2019 年 09 月 01 日	陕西科学技术出版社	西安科技大学	奚家米, 唐丽云, 杨更社
4	发明专利	严寒地区铁路施工用超低温高性能混凝土的施工工艺	中国	ZL201210319814.2	2014 年 08 月 06 日	1458880	中铁二十局集团有限公司	廖太昌, 帖锋斌, 刘百成, 魏杏色, 谷炼平, 张永鸿, 薛琪, 仲维玲, 赵朝阳, 马颖仙, 曹万玲, 张利民, 冯艳娜, 沈亚妮, 冯英瑞, 李坦
5	计算机软件著作权	基于桩土接触特性的冻土区桩基承载力计算软件 V1.0	中国	2024SR0731439	2024 年 05 月 29 日	13135312	西安科技大学	唐丽云, 张宝东, 邱培勇, 郑娟娟, 王欣蓓, 李若溪

6	发明专利	一种利用光纤测试 PHC 管桩内力的装置及方法	中国	ZL202010468411.9	2021 年 03 月 02 日	4279573	机械工业勘察设计研究院有限公司	于永堂，郑建国，刘争宏，张龙
7	发明专利	一种灌注桩混凝土振捣装置及其使用方法	中国	ZL202410929321.3	2024 年 11 月 26 日	7553460	中铁二十局集团第四工程有限公司；中铁二十局集团有限公司	耿庆军，肖先，喻胜朋，宋华君
8	发明专利	一种土体分层沉降监测装置及方法	中国	ZL2020 11154502.1	2022 年 02 月 08 日	4923440	机械工业勘察设计研究院有限公司	于永堂，郑建国，黄晓维，张继文，刘争宏，张龙，黄鑫
9	标准	铁路工程结构混凝土强度检测规程	中国	TB 10426-2019	2019 年 04 月 18 日	国家铁路 局	中铁二十局集团有限公司	廖太昌，吴应明，高策，曹万玲，黄直久，周勇政，袁杰，蔡小平，吴崇贤，杨文萃，郭张锋，李洁勇，谷炼平，杨阳，章国辉，李昌俸，帖锋斌，赵年全，王克俭，廖引乾，孙小田，张玉海
10	专著	寒区桥梁桩基承载性能分析及服役监测系统研究	中国	ISBN 978-7-5369-8694-7	2023 年 07 月 01 日	陕西科学技术出版社	西安科技大学	唐丽云，张士兵，于永堂

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
唐丽云	1	副院长	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目研究总负责人，负责制定冻土桩基灾变防控理论及方法、设计计算理论及现场监测技术工作路线及研究目标，担任陕西省秦创原西部寒区桩基技术研发与应用“科学家+工程师”队伍首席科学家，对创新点 1、2 和 3 做出了突出贡献，取得的成果包括：揭示了冻土区桩基热融灾变机理，构建了反映接触面“温-湿-力”动态变化的冻土桩基承载力计算理论。
奚家米	2	党委副书记、校长	教授	延安大学	延安大学	项目核心参与人员之一，负责冻土区桩基桩周冻土力学特性、灾害防治新技术现场应用研究，对创新点 1 做出了重大贡献，取得的主要成果包括：提出了地气温度、融冻层厚度、服役年限三参量的冻土桩基承载力预测模型。
杨更社	3	无	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目核心参与人员之一，负责项目冻土桩基承载理论及数值计算分析研究，对创新点 1 做出了重大贡献。取得的主要成果包括：揭示了暖湿化气候叠加水化热影响的桩基热融灾变机理。
仲维玲	4	副部长	正高级工程师	中铁二十局集团有限公司	中铁二十局集团有限公司	项目重要参与人员，主要负责工程试验现场组织协调及数据整理工作，参与项目立项、实施、结题和鉴定，对创新点 3 做出了重大贡献，取得的主要成果包括：研发了适用于严寒环境的超低温高性能混凝土施工工艺，通过复合防冻剂的相变调控、拌合过程的热力学优化及养护阶段的梯度防护，调控了混凝土水化反应进程。
邱培勇	5	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	项目重要参与人员，负责冻土桩基灾变防控理论及桩基状态感知技术研究工作，对创新点 1 和 2 做出重要贡献，取得的成果包括：构建了桩-土相变区界面强度演化模型，构建了表征冻土孔隙结构、冰-水-气赋存状态的四元体导电理论。
耿庆军	6	工管部副部长	高级工程师	中铁二十局集团第四工程有限公司	中铁二十局集团第四工程有限公司	项目重要参与人员，负责项目研究方案制定、现场测试、室内试验和研究报告编写，对创新点 3 做出重要贡献，取得的成果包

						括：发明了一种灌注混凝土振捣装置及其使用方法。
张士兵	7	总经理	正高级工程师	陕西高速公路工程试验检测有限公司	陕西高速公路工程试验检测有限公司	项目主要参与人员，负责冻土桩基灾变防控理论及数值计算分析研究工作，对创新点 1 和 2 做出贡献，取得的成果包括：发现了桩基冻结强度劣化规律，构建了表征冻土孔隙结构、冰-水-气赋存状态的四元体导电理论。
张龙	8	无	工程师	机械工业勘察设计研究院有限公司	机械工业勘察设计研究院有限公司	项目主要参与人之一，负责现场测试、数据处理、报告编写、成果验证与推广，对创新点 2 做出了一定贡献，主要成果包括：研发了线测法测试桩身内力的校准设备，发明了灌注桩成桩后分布式光纤后植入方法。
帖锋斌	9	主任	高级工程师	中铁二十局集团有限公司	中铁二十局集团有限公司	项目主要参与人员之一，对创新点 3 做出了一定贡献，取得的主要成果包括：研发了适用于严寒环境的超低温高性能混凝土施工工艺，调控了混凝土水化反应进程。
黄晓维	10	无	工程师	机械工业勘察设计研究院有限公司	机械工业勘察设计研究院有限公司	项目主要参与人之一，主要成果包括：研发了线测法测试桩基内力的校准设备，发明了灌注桩成桩后分布式光纤后植入（安装）方法。

七、主要完成单位情况

1. 西安科技大学

西安科技大学作为项目的主体承担单位，牵头负责整个项目的总体管理、组织和协调工作，直接负责技术调研、理论研究、现场测试、室内试验、工程应用等各阶段的工作，主要参与创新点 1、2 和 3 的研究内容，首创了考虑混凝土动态水化热影响的冻土桩基内热源计算模型，探明了暖湿化气候下桩基失稳破坏模式，揭示了热（冻）融影响下桩基承载失效机理；建立了反映接触面“温-湿-力”动态变化的冻土桩基承载力计算理论，实现了暖湿化进程下桩基承载力的精准计算；首次提出了基于孔隙通道弱化效应的冻土导电机理，构建了表征冻土孔隙结构、冰-水-气赋存状态的四元体导电理论，提出了基于冻土导电理论的桩周冻土相变状态和水热迁移监测协同感知新方法，实

现了对冻土区桩基服役状态的精准感知；研制了包衣硬脂酸疏水微胶囊，协同保障了混凝土疏水与力学性能。

2. 中铁二十局集团有限公司

中铁二十局集团有限公司作为项目的主要参与单位，主要参与了创新点 1、3 的研究工作，研发了低温高性能混凝土施工工艺，实现了混凝土水化-防冻-强度发展的协同优化，解决了冻土区混凝土灌注桩早期冻害与强度发展的矛盾。主编了《铁路工程结构混凝土强度检测规程》、《铁路工程混凝土实体质量检测技术规》，授权发明专利 10 余项，将项目成果在新疆、甘肃、青海多年冻土路基的设计与施工中推广应用。

3. 机械工业勘察设计研究院有限公司

机械工业勘察设计研究院有限公司作为项目主要参加单位，主要参与创新点 2 的研究工作，围绕冻土区桩基测试项目，组建研发团队，提供研发经费，组织研发了线测法（滑动测微、分布式光纤）测试桩基内力的元件安装、现场测试和数据处理成套技术，发明了灌注桩成桩后分布式光纤后植入（安装）方法，构建了桩身温度应变与荷载应变分离计算模型，消除了光纤与混凝土的耦合误差，突破了冻土区桩基内力连续、精准测试的技术瓶颈，主编了陕西省工程建设标准《桩基内力线测法测试规程》（在编）等，项目成果在陕西、甘肃、宁夏等地的桩基工程中得到推广应用。

4. 延安大学

延安大学作为项目主要参加单位，主要参与创新点 1 的研究工作，探明了冻土区桩基承载力与各影响因素间的联系，分析冻土桩基水热力场状态演化特征，结合各因素影响及桩基力学特性，揭示冻土区基承载劣化规律及内在机理，并提出冻土区桩基监测方法，研发桩基服役监测系统，为冻土区桩基工程提供理论支撑及技术保障。

5. 中铁二十局集团第四工程有限公司

中铁二十局集团第四工程有限公司作为项目主要参加单位，主要参与创新点 3 的研究工作，基于冻土区桩基工程，利用室内模型试验模拟现场工程地质条件，进行融化、冻结过程，基于冻融过程中桩周土体温度、未冻水含量、位移等试验数据对桩土体系的冻胀融沉现象及其形成机理进行分析。与此同时，发明了一种灌注桩混凝土振捣装置及其使用方法，项目成果在东北地区的桩基工程中得到推广应用。

6.陕西高速公路工程试验检测有限公司

陕西高速公路工程试验检测有限公司作为项目主要参加单位，主要参与创新点 1 和创新点 2 的研究工作，探明了冻土区桩-土体系病害长周期多源发育模式，发现了桩基冻结强度劣化规律，构建了表征冻土孔隙结构、冰-水-气赋存状态的四元体导电理论，发明了桩周冻土相变及水热迁移的协同感知新方法。项目成果在新疆、西藏等地的桩基工程中得到推广应用。

八、完成人合作关系说明

项目实施期间，项目完成人唐丽云，奚家米，杨更社，仲维玲，邱培勇，耿庆军，张士兵，张龙，帖锋斌，黄晓维合作参与项目的研究工作，主要取得成果如下：

第一完成人唐丽云，作为项目研究总负责人，负责完成了冻土区桩基承载理论与安全保障关键技术研究，与其他完成人共同完成了冻土区桩基承载力计算理论、桩基状态感知技术、桩基安全保障技术系列研究。

第二完成人奚家米，负责冻土区桩基桩周冻土力学特性及灾害防治新技术现场应用研究，与第一、三完成人合作揭示了冰水相变效应下桩-土界面接触特征，编写专著《冻土区桥梁桩基监测预报预警系统研究》。

第三完成人杨更社，负责项目冻土桩基承载理论及数值计算分析研究，与第一、二完成人合作揭示了暖湿化气候叠加水化热影响的桩

基热融灾变机理，编写专著《冻土区桥梁桩基监测预报预警系统研究》。

第四完成人仲维玲，主要负责工程试验现场组织协调及数据整理工作，参与研发混凝土新材料，与第一、六、八完成人合作完成寒区冻融环境影响下桩基服役性能研究报告，与第九完成人合作发明严寒地区铁路施工用超低温高性能混凝土的施工工艺。

第五完成人邱培勇，参与构建了表征冻土孔隙结构、冰-水-气赋存状态的四元体导电理论，与第一完成人合作完成计算机软件著作权“基于桩土接触特性的冻土区桩基承载力计算软件 V1.0”。

第六完成人耿庆军，负责项目研究方案制定、现场测试、室内试验和研究报告编写，发明了一种灌注混凝土振捣装置及其使用方法，与第一、四、八完成人合作完成寒区冻融环境影响下桩基服役性能研究报告。

第七完成人张士兵，参与了负责冻土桩基灾变防控理论及工程应用，与第一完成人合作编写专著《桥梁桩基承载性能分析及服役监测系统研究》。

第八完成人张龙，参与研发了利用光纤测试 PHC 管桩内力的装置及方法，与第一、四、六完成人合作完成寒区冻融环境影响下桩基服役性能研究报告，与第十完成人合作发明了一种利用光纤测试 PHC 管桩内力的装置及方法。

第九完成人帖锋斌，参与研发适用于低温环境的新型混凝土，与第四完成人合作研发了适用于严寒环境的超低温高性能混凝土施工工艺。

第十完成人黄晓维，参与研发了利用光纤测试 PHC 管桩内力的装置及方法，与第八完成人合作发明了一种利用光纤测试 PHC 管桩内力的装置及方法。