

陕西省科学技术进步奖提名书

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	“丝绸之路”土遗址劣化损伤机理及加固保护关键技术
主要完成人	李东波，芦 苇，苗元耀，毛筱霏，杨永宏 张鹏飞，何张保，吴 春，樊 东，高 衡
主要完成单位	西安建筑科技大学，陕西建工第十三建设集团有限公司， 陕西省文物保护工程有限公司，西安建筑科大工程技术有限公司， 西安城墙管理委员会

二、提名意见（适用于单位提名）

提 名 者	西安建筑科技大学	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input checked="" type="checkbox"/> 二等奖 <input type="checkbox"/> 三等奖
<p>提名意见：</p> <p>土遗址是“丝绸之路”最典型文化遗产形制，也是丝路起点陕西的最主要建筑遗存，对其科学保护既关乎文化遗产存续，更是推进“一带一路”倡议和文化自信战略的重要内容。在自然与人为因素共同作用下，其普遍存在材料劣化、裂隙发育、根部掏蚀等病害，直接威胁遗址安全。但由于遗址保护涉及跨学科、多领域，及“最小干预”、“修旧如旧”等特殊要求，现有基础理论系统性差，适宜性修复材料和精准化加固技术匮乏，严重制约遗址科学保护。</p> <p>多年来，在 6 项国家自然科学基金和 10 余项省部级项目支持下，项目组以“劣化机理揭示—修复材料研发—加固技术集成”为主线，系统揭示了土遗址材料及结构性能劣化机理，提出了针对不同病害的修复材料性能调控方法，研发了“充-锚-撑”一体化等关键加固技术，解决了系列科学和技术难题。</p> <p>成果授权发明专利 10 项，主编标准 1 部，出版专著 2 部，发表论文 88 篇；获陕西高校科技进步奖一等奖、二等奖及陕西省土木建筑科技进步奖一等奖。成果应用于秦始皇帝陵内城垣、高昌故城等 20 余个世界遗产和全国重点文物保护单位，获中国文物保护示范工程、全国优秀文物维修工程等。经鉴定，成果整体达到国际先进水平，“充-锚-撑”一体化加固技术达到国际领先水平。</p> <p>项目创新性强，成果系统，内容丰富，有广阔应用前景和推广价值。提名材料齐全、规范。经公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合提名条件。</p> <p>提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。</p> <p>说明：省科学技术进步奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖”的评审落选项目不再降格参评三等奖。项目组与提名单位沟通后，做出提名等级意见；提名项目正式提交后，提名等级建议不得变更。</p> <p>软科学标准计量科普类项目请勾选“二等奖”或者“三等奖”。</p>			

三、项目简介

1. 立项背景与意义

“丝绸之路”沿线土遗址众多，但由于材料的脆弱性和结构的既有缺陷，在长期的干湿、冻融、盐渍和地震等自然营力联合作用下，其普遍存在强度劣化、底部掏蚀和结构开裂等损伤，结构安全性被大幅削弱，在外力扰动下极易诱发坍塌、倾覆等损毁性破坏，造成文物本体及其承载的历史文化信息的永久丧失。

此外，为保持原真性，遗址保护须符合“最小干预”、“修旧如旧”、“安全第一”和“最大相容”等原则，致使现代建筑所采用的修复材料和加固技术适宜性较差，且现有土遗址加固保护措施多呈现经验或半经验性，缺乏科学依据和理论支撑。因此，系统开展多因素耦合作用下土遗址劣化损伤机理研究，进而研发适宜性修复材料和加固技术，对于保障土遗址长期安全和人类文明传承具有重要意义。

2. 总体思路与创新成果

自 2011 年以来，项目组积极响应党中央“关于加强文物科技创新”的总体战略部署，紧密围绕我国“丝绸之路”沿线文化遗产保护重大需求，依托 6 项国家自然科学基金和 10 余项省部级项目的持续资助，以“劣化机理揭示—修复材料研发—加固技术集成”为主线，实地勘测了陕西、甘肃、宁夏、新疆等地的烽燧、长城、城墙等 100 余个不同类型土遗址，开展了 800 余个专用注浆、锚杆、夯土、土坯等材料性能测试，及 200 余项结构加固试验。基于试验测试、数值模拟和理论分析，完善了土遗址保护基础理论体系，研发了适宜性修复材料，集成了一体化加固技术，形成了“基础理论-技术研发-推广应用”的系统化保护路径，为“丝绸之路”土遗址科学化保护提供理论依据和技术支撑。主要创新成果如下：

(1) 跨尺度揭示了多因素耦合作用下土遗址材料劣化损伤机理，构建了环境振动等荷载作用下遗址本体的动力响应阈值体系，提出了自然营力与人工扰动联合作用下遗址安全性综合评估方法，为适宜性修复材料和加固技术研发奠定理论基础。

基于分子动力学理论、微观测试技术与宏观试验，系统揭示了干湿-冻融-盐渍等多因素耦合作用下土遗址材料的跨尺度劣化损伤机理，阐明了水分主导的“七促”损伤效应。量化制定了台体类和墙体类土遗址分类标准，针对性提出了结构动力特性计算方法，考虑振源特性、结构形制和文保级别，构建了遗址本体动力响应计算方法与多级阈值体系。针对传统安全评估主观赋权与指标割裂的局限，考虑环境、荷载、材料、结构的多维指标影响，提出了基于熵权法的权重动态分配与优化方法，建立了安全评估修正模型，量化了遗址本体赋存状态，为精准修复奠定理论基础。

(2) 基于“最大相容”原则，研发了土遗址的充填、锚固、补砌等加固保护系

列新材料，实现了流动度与凝结性的可调、锚固力与排水性的协同、强度与抗渗性的可控，为成套加固技术研发提供适宜性材料。针对裂隙封护、锚孔充填等注浆需求，研发了水气两硬型“零水泥”生态注浆材料，提出了浆体流动度、凝结性的调控方法及分区注浆工艺，克服了传统水泥基材料的不相容问题。针对结构隐蔽拉结与即时排水需求，研发了竹筋拉压型、变刚度透水型等系列复合锚杆，实现了高承载、低损伤与主动排水性能的协同提升。针对补砌支撑、底部防渗等需求，研发了具备抗渗特性和适宜强度的土坯与砌筑浆料，达到了结构补强与拒水防渗的双重效果。成果完整涵盖了土遗址开裂、空洞、缺损、掏蚀等结构性病害修复所需的适宜性材料，为拒水防渗、注浆充填、锚固拉结、补砌支撑等技术集成奠定了基础。

(3) 秉持系统化理念，构建了“抗-排”协同的治水体系，提出了“供需平衡”的锚固反演设计方法，集成了“充-锚-撑”一体化结构稳控技术，推动了土遗址加固保护技术的精准化、集成化和规范化。融合土遗址主被动综合治水理念，提出了基于防渗浆体的毛细水阻隔措施和基于牺牲层的导排水技术，构建了“灌-注-封”主动抗渗及“疏-导-排”被动引水的“抗-排”协同治水体系。聚焦土遗址精准锚固难题，建立了锚固系统的承载力解析预测模型，考虑遗址本体耐受性，提出了锚固力需求评估理论，制定了“供需平衡”的锚固参数反演设计方法。系统考虑遗址局部补强与整体稳定的关联性，依据安全性评估结论和适度修缮原则，差异化定制“充填阻裂-锚固抗滑-支撑控变”的“充-锚-撑”一体化集成策略，最终实现“最小干预”和“安全第一”的遗址保护目标。

3. 成果应用与推广情况

成果授权发明专利 10 项，主编标准 1 部，出版专著 2 部，发表论文 88 篇。获陕西高校科学技术进步奖一等奖、二等奖及陕西省土木建筑科技进步奖一等奖。先后培养了国家文物局专家库成员、陕西省中青年科技创新领军人才等百余位科研和技术人员。成果应用于秦始皇帝陵内城垣、唐长安城含光门遗址、高昌故城等 20 余个世界遗产和全国重点文物保护单位。获中国文物保护示范工程、中国文化遗产保护最佳工程、全国优秀文物维修工程等。

此外，成果助力我国与哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦三国联合申报“丝绸之路：长安-天山廊道的路网”成功入选“世界遗产”，有效促进了“一带一路”沿线的文明交流与民心互鉴。成果还极大推动了陕西等西部地区的文旅、文娱、文创产业健康持续发展，带动了当地就业，促进了高等院校、文博部门和施工企业的协同合作，实现了产学研深度融合，具备显著的社会效益。

四、客观评价

1. 成果评价意见

2025 年 7 月 17 日，由陕西省土木建筑学会组织，以全国勘察设计大师郑建国为主任、中国文化遗产研究院原院长柴晓明为副主任的评价委员会对本项目成果进行了评价鉴定。结论为：项目成果整体达到国际先进水平，其中“充-锚-撑”一体化加固技术达到国际领先水平。【支撑附件：2-3-1】

2. 成果查新结论

2025 年 9 月，由中国科学院上海科技查新咨询中心对本项目成果进行了科技查新，结论为：经检索，国内外公开文献中未见与该项目技术特点相同的报道。因此，该项目具有新颖性。【支撑附件：2-3-2】

3. 应用单位评价

(1) 新疆维吾尔自治区文物古迹保护中心组织国家文物局有关专家，对采用本项目技术修复的新疆高昌故城、台藏塔、七个星佛寺、石头城等进行了加固保护效果评价，专家组一致认为：本项目针对土遗址常见的裂隙发育、底部掏蚀等病害研发的适宜性修复材料和加固技术，有效解决了遗址本体的稳定性问题，所提出的“抗-排”协同治水体系，“充-锚-撑”一体化加固技术等有效解决了遗址的水蚀灾害和失稳坍塌问题，对同类工程具有良好示范效应，在遗址保护领域具有重要推广价值。【支撑附件 2-1-3，2-1-5，2-3-3，2-3-4】

(2) 秦始皇帝陵博物院对采用本项目注浆充填技术与补砌技术修复的秦始皇陵内城垣等的修复效果进行了综合评价，认为遗址加固保护系列新材料很好满足了文物保护的“相容性”要求，加固技术阻止了既有残损的进一步发展，有效提升了结构安全性，且经济性高、隐蔽性好、施工方便，推荐在同类工程中推广应用。【支撑附件：2-1-1，2-1-2】

(3) 陕西省文物保护工程有限公司在统万城、建安堡、汉阳陵等遗址保护工程中对本项目技术进行了综合评价，认为项目研发的“灌-注-封”裂隙修复技术避免了应力集中，有效增强了结构整体性；提出的“抗-排”协调治水体系能从主动抗渗和被动排水两方面解决水分侵入对遗址的影响，且不损伤遗址本体；“充-锚-撑”稳控技术的加固效果和安全冗余度较传统方法提升 30%以上。能为同类土遗址科学保护提供重要借鉴。【支撑附件：2-1-4，2-1-7，2-1-10】

4. 同行专家评价

4.1 工程应用评价

项目成果先后应用于“丝绸之路”沿线的 20 余个国家重点文物保护工程，得到

了相关专家高度认可，主要代表性评价如下【支撑附件：2-3-5 ~ 2-3-8】：

（1）**北京大学考古与文博学院周双林教授**：保护技术有效解决了土遗址的结构破坏问题，防止了遗址的快速破坏，上部防水的整治办法适用。

（2）**西北大学文化遗产学院孙满利教授**：土遗址加固中利用的充填、锚固和补砌等一体化加固措施对有效提升土遗址本体稳定性具有良好效果。

（3）**陕西省文化遗产研究院贺林教授级高工**：项目所采用的支护、砌筑扶壁柱、局部锚固等技术措施，解决了高昌故城重点遗迹存在的安全隐患，所使用的修复材料，能对本体起到有效保护作用，且整个保护工程外部观感协调。

（4）**中冶建筑研究总院有限公司检测中心副主任张文革教授级高工**：高昌故城等加固保护项目，工程技术措施有效，规模合理，工程质量良好。

4.2 学术性评价

项目成果发表于《Computers and Geotechnics》、《岩土力学》等国内外权威学术期刊，得到了同行学者的高度认可，主要代表性评价如下：

（1）**故宫博物院院长王旭东教授团队**等在领域顶级期刊《International Journal of Architectural Heritage》、《npj Heritage Science》、《Journal of Cultural Heritage》等发表成果，对本项目关于锚固界面黏结-滑移力学行为标定、锚固传力机理解析、锚固系统数值模拟方法等研究内容做了重要评价，认为该研究成果有力支撑了遗址加固技术的科学化、规范化。【支撑附件：2-3-9 ~ 2-3-11】

（2）**西班牙著名建筑遗产保护专家 Martínez-Martínez, J**在顶级期刊《Science of The Total Environment》、《Construction and Building Materials》等发表成果，高度评价了本研究在改善遗产修复材料耐候性方面的创新贡献，尤其是材料的耐水性和抗风蚀性能得到了大幅提升，并将相关技术推广应用于欧洲相关建筑遗产的保护工程中。【支撑附件：2-3-12 ~ 2-3-13】

（3）**国家级人才，西南交通大学马述起教授**在其发表于《International Journal of Geomechanics》、《Environmental Earth Sciences》等期刊的论文中引用了本项目成果，认为建立的锚固性能解析模型预测精度高，在矿井和边坡锚固、FRP-混凝土黏结界面等的滑移分析中同样适用。【支撑附件：2-3-14 ~ 2-3-15】

此外，项目组修复完成的高昌故城助力我国与哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦联合申报“丝绸之路：长安-天山廊道的路网”成功入选“世界遗产”，被新华网、人民网、中央电视台等官方媒体广泛报道。

五、应用情况

研究成果已成功应用于陕西、新疆等丝路沿线的秦始皇帝陵、高昌故城、隋大兴唐长安城墙遗址等 20 余个国家重点文物保护单位的加固保护工程中，其中以修缮后的高昌故城为重要遗址点的“丝绸之路：长安-天山廊道的路网”被成功列入《世界遗产名录》，实现了我国首例跨国联合申遗突破；“陕西明长城建安堡保护加固工程”荣获第三届全国优秀文物维修工程；“秦始皇帝陵内城垣及相关遗址保护展示项目”和“统万城遗址保护加固工程”荣获“中国文物保护示范工程”荣誉称号；“台藏塔保护工程”获评中国文化遗产保护最佳工程；为丝绸之路沿线文化遗产保护做出了积极贡献。主要应用情况如表 1。

表 1 本项目技术主要应用情况

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人
1	秦始皇帝陵博物院	监测预警、安全性评估	世界遗产：秦始皇陵兵马俑坑（1 号、2 号坑）	2019 年-2020 年	郭向东
2	秦始皇帝陵博物院	注浆充填技术、表部封护技术	世界遗产：秦始皇陵内城垣遗址（内城墙及相关遗址）	2018 年-2020 年	郭向东
3	新疆维吾尔自治区文物古迹保护中心	锚固反演设计、“灌-注-封”裂隙修复及“充-锚-撑”加固技术	世界遗产：高昌故城（2-3 期保护工程）	2014 年-2020 年	陆继才
4	陕西省文物保护工程有限公司	“灌-注-封”裂隙修复、补砌支撑技术	全国重点文物保护单位：统万城遗址（本体）	2015 年-2020 年	杜飞
5	新疆维吾尔自治区文物古迹保护中心	锚固反演设计及“充-锚-撑”一体化加固技术	全国重点文物保护单位：台藏塔（本体）	2016 年-2020 年	陆继才
6	西安城墙管理委员会	监测预警、安全评估、排水防渗治理	全国重点文物保护单位：唐长安城遗址（含光门土遗址本体）	2021 年-2023 年	李艳芳
7	陕西省文物保护工程有限公司	修复材料和“充填-橡夯-补砌”成套加固技术	全国重点文物保护单位：明长城建安堡（土遗址本体）	2016 年-2021 年	杜飞
8	陕西蓝川建筑工程有限公司	“灌-注-封”裂隙修复、振动控制技术	全国重点文物保护单位：银川明长城（河东墙五虎墩段）	2018 年-2021 年	高飞
9	陕西德鲲建筑科技有限公司	补砌支撑技术、“木构支撑+墙体支顶”协同受力结构	全国重点文物保护单位：潼关故城（西门瓮城遗址）	2018 年-2022 年	刘娜
10	陕西省文物保护工程有限公司	“灌-注-封”裂隙修复	全国重点文物保护单位：汉阳陵（南阙门土遗址）	2012 年-2022 年	杜飞

六、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	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	标准	城市轨道交通工程沿线土遗址振动控制与监测标准	中国	DB 61/T 5079-2023	2023.12.10	DB 61/T 5079-2023	西安建筑科技大学；西安轨道交通集团有限公司；陕西省文化遗产研究院；中铁第一勘察设计院集团有限公司；中铁十八局集团有限公司；中交二公局铁路建设有限公司；陕西省交通规划设计研究院有限公司；西安建筑科大工程技术有限公司	曹振；曹双胜；刘庚；任瑞；李东波；张新颖；李文博；陈长海；范力；金妮；雷斌；毛筱霏；刘长江；张宁；王旭杰；权宗国；王远航；耿娟；芦苇；李永江；赵珂；赵冬；王锁利；万思宇；汤成功；冯佳豪；孙玉辉；高小雅；田准；赵昕；刘洪瑜；吴帅
2	发明专利	一种用于土遗址的风蚀-雨蚀模拟系统	中国	CN 115165713 B	2024.05.10	ZL 2022 1 0609284.9	西安建筑科技大学	芦苇；骆望；李东波；赵冬；艾宇
3	专著	唐长安城含光门遗址地下防渗技术研究与应用	中国	ISBN: 9787554157916	2022.10.01	ISBN: 978-7-5541-5800-5	西安城墙管理委员会	庞磊；高衡；杜德新
4	发明专利	一种包砖城墙锚固体系统拟静力试验装置及方法	中国	CN 111638147 B	2024.8.16	ZL 2020 10627850.X	西安建筑科技大学	芦苇；李东波；毛筱霏；艾宇

5	发明专利	一种含纵向裂隙夯土城墙遗址楠竹锚杆抗震加固设计方法	中国	CN 110378013 B	2022.9.13	ZL 2019 10641795.7	西安建筑科技大学	芦苇; 李东波; 毛筱霏; 艾宇
6	发明专利	一种夯土墙体的支撑-锚拉复合加固结构及方法	中国	CN 112761380 B	2024.12.17	ZL 2021 10091032.7	陕西建工第十三建设集团有限公司	何张保; 张瑜; 王弘起; 张保荣; 王磊; 董元兴; 常健; 芦苇
7	论文	Analytical Method for Interfacial Slip Failure Processes Based on UFL Bond-Slip Model: Study of Grout/Soil Anchorage Interfaces in Earthen Sites	中国	2024,176: 106778	2024.12.01	Computes and Geotechnics	西安建筑科技大学	Haolang Sun; Wei Lu ; Dong Zhao; Dongbo Li
8	论文	裂隙封护土遗址压力型锚固系统界面应力传递与承载性能解析方法	中国	2024,56(1):198-211	2024.01.15	力学学报	西安建筑科技大学	芦苇; 孙浩朗; 李东波; 闫笑琦; 王奕妃
9	论文	椰壳纤维加筋土遗址生态注浆材料的性能	中国	2024,27(1): 90-98	2024.01.10	建筑材料学报	西安建筑科技大学	芦苇; 骆望; 李东波; 刘秦龙; 刘加平
10	论文	土遗址全长黏结式锚固系统动力响应解析方法	中国	2020,41(4): 1377-1387	2020.04.10	岩土力学	西安建筑科技大学	芦苇; 赵冬; 李东波; 毛筱霏

七、主要完成人情况表

姓 名	李东波	排 名	1
行政职务	副院长		
技术职称	教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献：			
主要完成了土遗址的营造技艺解析、材料性能退化机理与结构灾变机理、拟静力试验与理论分析等研究，从宏-微观角度揭示了土遗址材料劣化机理，建立了考虑既有残损的结构变形破坏解析方法，推导了墙体压剪作用下的性能指标计算公式。组织实施了本项目在新疆、陕西等相关工程中的推广应用。			
在创新点 1、2、3 均做出了突出贡献。			

姓 名	芦苇	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献：			
主要开展了土遗址的注浆与补砌材料研发、锚固拉结技术研发等工作，通过调整材料配比实现了注浆材料强度与固化时间的可调可控，建立了各类锚杆的传力机理解析方法和锚固性能预测方法，提出了基于“供需平衡”理念的锚固优化设计方法。协助了本项目成果在陕西、宁夏、甘肃、新疆等相关工程中的推广应用。			
在创新点 1、2、3 均做出了重要贡献。			

姓 名	苗元耀	排 名	3
行政职务	副总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	西安建筑科大工程技术有限公司		
完成单位	西安建筑科大工程技术有限公司		
对本项目技术创造性贡献：			
主要开展了土遗址内、外部残损现状无损检测方法研究，建立了基于电磁波速、电阻率、模态振型等的内部残损识别与定位方法，系统制定了考虑既有残损病害与自身构造缺陷的结构损伤指标阈值体系 and 安全性评价方法。组织实施了成果在陕西、新疆等相关工程中的推广应用。			
在创新点 2、3 做出了重要贡献。			

姓 名	毛筱霏	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献：			
主要研发了适用于不同类型锚固需求的土工长丝、碳纤维楠竹锚杆，建立了配套锚固施工工艺；研发并揭示了修复材料的渗透特性和强化机理，建立了灌注、锚固、补砌等加固工艺和技术参数标准。组织实施了本项目在新疆、宁夏、陕西等相关工程中的推广应用。			
在创新点 1、2、3 均做出了重要贡献。			

姓 名	杨永宏	排 名	5
行政职务	总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	陕西建工第十三建设集团有限公司		
完成单位	陕西建工第十三建设集团有限公司		
对本项目技术创造性贡献：			
主要开展了土遗址加固保护系列材料的研发与量产工作，制定了不同性能需求下的浆体、砌体材料配比标准对照表，筛选并确定了土工长丝锚杆、碳纤维楠竹锚杆、竹筋拉压复合锚杆等的选材标准和制作工艺参数。组织了本项目成果在陕西、河北等相关工程中的推广应用。			
在创新点 2、3 做出了重要贡献。			

姓 名	张鹏飞	排 名	6
行政职务	副总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	陕西省文物保护工程有限公司		
完成单位	陕西省文物保护工程有限公司		
对本项目技术创造性贡献： <p>主要开展了针对土遗址不同病害的加固施工工艺优化研究，揭示了施工振动、注浆压力、支护方式等对遗址本体应力分布与演化特征的影响规律，建立了施工过程中各类指标的控制标准，提出古建筑施工标准化工艺流程。组织了本项目成果在陕西等相关工程中的推广应用。</p> <p>在创新点 3 做出了重要贡献。</p>			

姓 名	何张保	排 名	7
行政职务	张家口分公司总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	陕西建工第十三建设集团有限公司		
完成单位	陕西建工第十三建设集团有限公司		
对本项目技术创造性贡献：			
主要开展了古建筑夯土墙体的加固保护研究工作，明确了不同残损特征下墙体的典型破坏模式，提出了结合支撑、锚拉加固措施的墙体隐蔽加固技术方案，揭示了加固措施对墙体稳定性的提升机制。协助了本项目成果在陕西、河北等相关工程中的推广应用。			
在创新点 2、3 做出了重要贡献。			

姓 名	吴 春	排 名	8
行政职务	原副主任		
技术职称	副研究员		
工作单位	西安城墙管理委员会		
完成单位	西安城墙管理委员会		
对本项目技术创造性贡献： 主要开展了城垣类建筑的预防性保护体系建设及监测研究，揭示了水分场分布特征与墙体变形的关联特性，建立了基于缪子成像技术的城垣类土遗址内部损伤无损探测方法，研发了一站式可视化数智保护管理系统。协助了本项目在陕西、新疆、甘肃等相关工程中的推广应用。 在创新点 1、3 做出了重要贡献。			

姓 名	樊 东	排 名	9
行政职务	副总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	陕西省文物保护工程有限公司		
完成单位	陕西省文物保护工程有限公司		
对本项目技术创造性贡献：			
主要开展了土遗址保护材料的研发和日常监测与维护技术研究工作，研发了适用于土体渗透加固的硅酸乙酯预聚物和石灰-偏高岭土复合修复材料，协助改进了一体化加固方法，最大程度减小了对结构的干预。组织了本项目成果在陕西等相关工程中的推广应用。			
在创新点 3 做出了重要贡献。			

姓 名	高衡	排 名	10
行政职务	文保部部长		
技术职称	副研究员		
工作单位	西安城墙管理委员会		
完成单位	西安城墙管理委员会		
对本项目技术创造性贡献：			
主要开展土遗址地下防渗技术的研发与推广，针对城垣类土遗址的病害勘察方法、水文地质调查、病害发育机理、病害监测与发展趋势等，提出了相应的理论分析及相应保护措施。重点实施了唐长安城含光门遗址地下防渗工程及应用效果评价工作，对土遗址防渗等保护工程具有很强的应用价值。			
对项目创新点 1、2 做出了重要贡献。			

八、主要完成单位情况表

单位名称	西安建筑科技大学
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>主要负责项目总体策划、方案制定、实施推进等，为项目建设提供设备、试验条件和科研资金投入等；牵头完成了土遗址性能劣化机理揭示、结构损伤探测评估、修复材料及加固技术研发等核心研究工作；组织实施了研究成果在陕西、甘肃、宁夏、新疆等“丝绸之路”沿线土遗址的推广应用。</p> <p>对项目创新点 1、2、3 做出了突出贡献。</p>	

单位名称	陕西建工第十三建设集团有限公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>主要协助修复材料、加固技术的研发，重点负责施工工艺的完善及工程推广应用。具体包括注浆、锚杆、砌块等修复材料的研发，主导完成了材料的质量标准制定与量产工作，建立了包括注浆、锚固、补砌、支顶等相关加固技术的标准化施工流程，协助完成了研究成果在陕西、甘肃、新疆等地的推广应用。</p> <p>对项目创新点 2、3 做出了重要贡献。</p>	

单位名称	陕西省文物保护工程有限公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>主要负责土遗址的实地勘测、加固方案制定及技术推广应用。具体包括协助完成了土遗址的系列加固保护材料的研发工作，完成了统万城、卫城、明长城建安堡等十余个全国重点文物保护单位的加固保护工作，协助完成了研究成果在陕西、甘肃、宁夏和新疆等地的推广应用。</p> <p>对项目创新点 2、3 做出了重要贡献。</p>	

单位名称	西安建筑科大工程技术有限公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>主要完成了土遗址的实地勘测、病害探查、无损检测与安全性评估等工作，建立了针对各类残损的无损检测理论与技术，系统制定了结构安全性评价方法，推动了研究成果在陕西等地的推广应用。</p> <p>对项目创新点 2、3 做出了重要贡献。</p>	

单位名称	西安城墙管理委员会
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>主要完成了包砖城墙的构筑技法解析、砌筑材料及内夯土成分分析与性能测试、墙体变形和振动的监测预警、防渗技术等方面的研究工作，协助完成了研究成果在城垣类土遗址中的推广应用。</p> <p>对项目创新点 2、3 做出了重要贡献。</p>	

完成人合作关系说明

本项目由西安建筑科技大学、陕西建工第十三建设集团有限公司、陕西省文物保护工程有限公司、西安建筑科大工程技术有限公司和西安城墙管理委员会等五家单位联合完成。十位完成人分别为李东波、芦苇、苗元耀、毛筱霏、杨永宏、张鹏飞、何张保、吴春、樊东、高衡。

完成人间主要通过共同承担科研项目、编制标准、撰写论著、授权专利、科研获奖等方式建立良好的合作关系，详见《完成人合作关系情况汇总表》。

第一完成人李东波、第二完成人芦苇、第四完成人毛筱霏隶属西安建筑科技大学，全面负责项目的策划、组织和实施等，完成了土遗址材料性能劣化机理、结构损伤致灾机理、结构加固设计与施工技术等方面的核心研究工作，组织实施了研究成果在陕西、甘肃、宁夏、新疆等“丝绸之路”沿线土遗址的推广应用。

第三完成人苗元耀隶属西安建筑科大工程技术有限公司，主要完成了土遗址的现状无损检测与安全性评估研究工作，建立了针对各类残损的无损检测理论与技术，系统制定了结构安全性评价方法，推动了研究成果在陕西、新疆等地的推广应用。

第五完成人杨永宏、第七完成人何张保隶属陕西建工第十三建设集团有限公司，主要完成了土遗址的系列加固保护材料的研发工作，主导完成了材料的质量标准制定与量产工作，建立了包括注浆、锚固、补砌等相关加固技术的标准化施工流程，协助完成了研究成果在陕西、甘肃、新疆等地的推广应用。

第六完成人张鹏飞、第九完成人樊东隶属陕西省文物保护工程有限公司，主要完成了土遗址的系列加固保护材料的研发工作，完成了统万城、卫城、明长城建安堡等十余个全国重点文物保护单位的加固保护工作，协助完成了研究成果在陕西、甘肃、宁夏和新疆等地的推广应用。

第八完成人吴春、第十完成人高衡隶属西安城墙管理委员会，主要完成了城垣类土遗址的构筑技法解析、砌筑材料及夯土成分分析与性能测试、墙体变形和振动的监测预警、土遗址防渗技术等方面的研究工作，协助完成了研究成果在城垣类土遗址中的推广应用。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同获奖	李东波/1 芦 苇/2 苗元耀/3 毛筱霏/4 杨永宏/5 张鹏飞/6 何张保/7 吴 春/8 樊 东/9	2005.04	2025.04	陕西省土木建筑科技进步奖一等奖： “丝绸之路”砖-土古建筑安全评估与加固保护关键技术研发与应用	附件： 2-4-1
2	共同获奖	李东波/1 芦 苇/2 苗元耀/3 毛筱霏/4 高 衡/10	2005.04	2025.03	陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖二等奖：“丝绸之路”砖-土建筑遗址安全评价与稳定性提升关键技术研发与应用	附件： 2-4-3
3	共同参与制定标准规范	李东波/1 芦 苇/2 毛筱霏/4	2021.10	2023.12	陕西省地方标准：城市轨道交通沿线土遗址振动控制与监测标准	附件： 1-1-1
4	共同获奖	李东波/1 芦 苇/2 毛筱霏/4	2005.04	2022.03	陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖：“丝绸之路”沿线旱区土遗址保护关键技术研发与应用	附件： 2-4-2
5	共同知识产权	李东波/1 芦 苇/2 毛筱霏/4	2015.09	2022.09	国家发明专利：一种含纵向裂隙夯土城墙遗址楠竹锚杆抗震加固设计方法	附件： 2-2-2
6	共同知识产权	芦 苇/2 何张保/7	2021.02	2024.12	国家发明专利：一种夯土墙体的支撑-锚拉复合加固结构及方法	附件： 2-2-3
7	共同知识产权	李东波/1 芦 苇/2 毛筱霏/4	2021.05	2024.05	国家发明专利：一种用于土遗址的风蚀-雨蚀模拟系统	附件： 1-1-2
8	共同知识产权	李东波/1 芦 苇/2 毛筱霏/4	2020.04	2022.07	国家发明专利：一种包砖城墙锚固体系拟静力试验装置及方法	附件： 2-2-1
9	论文合著	李东波/1 芦 苇/2	2022.09	2024.12	论文：Analytical method for interfacial slip failure processes based on UFL bond-slip model: Study of grout/soil anchorage interfaces in earthen sites	附件： 2-2-4
10	论文合著	李东波/1 芦 苇/2 毛筱霏/4	2018.09	2020.4	论文：土遗址全长黏结式锚固系统动力响应解析方法	附件： 2-2-5