

DOI: 10.11835/j.issn.2096-6717.2025.118



开放科学(资源服务)标识码 OSID:



中国革命旧址保护与修缮研究进展

徐光煦¹, 刘汉龙^{2a,2b}, 唐昌伦¹, 周勇¹, 杨阳^{2a,2b,3}, 夏华^{2a}, 张瑾璇^{2a}, 吴焕然^{2a,2b}

(1. 重庆红岩革命历史博物馆 山地革命文物保护实验室, 重庆 400043; 2. 重庆大学 a. 土木工程学院; b. 山区土木工程安全与韧性全国重点实验室, 重庆 400045; 3. 西北工业大学 考古探测与文物保护技术教育部重点实验室, 西安 710129)

摘要: 革命旧址作为中国不可移动革命文物的核心类型, 是见证近代以来中国革命斗争历程、承载革命历史场景记忆与革命精神内涵的关键空间载体, 其保护与修缮直接关系到革命历史连续性的维系、集体记忆的传承及“以物载史、以史育人”公共文化福祉的实现。中国现存革命旧址涵盖重大历史事件发生地、重要机构旧址、战争及工业遗址、故(旧)居等多元形态, 这类遗存既具备砖木、夯土、砖石等建筑的土木工程属性, 又留存革命标语、战斗工事、生活陈设、历史环境等不可再生的历史信息, 其保护修缮需同步实现物质本体安全与历史场景真实性的双重目标。系统梳理中国革命旧址保护与修缮近年来的实践进展与技术成果, 分析当前保护与修缮工作中面临的材质与环境适配难题突出、技术适配性不足、支撑条件薄弱等挑战; 详细介绍传统技艺与现代科技相结合的核心保护修缮技术方法, 探讨保护修缮工作的实践案例及成果; 对未来研究方向进行展望, 提出加强多学科交叉融合以构建“监测-评估-修缮”全链条技术体系, 完善修缮标准并强化传统营造技艺的活态传承, 推动革命旧址保护与修缮工作向科学化、标准化、可持续化发展, 切实守护好革命历史的空间见证与红色精神的传承载体。

关键词: 革命旧址; 保护修缮; 研究进展; 实践应用; 保护技术

中图分类号: TU-87; K878 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-6717(XXXX)XX-0001-13

Research progress on the conservation and renovation of Chinese revolutionary sites

XU Guangxu¹, LIU Hanlong^{2a,2b}, TANG Changlun¹, ZHOU Yong¹,
YANG Yang^{2a,2b,3}, XIA Hua^{2a}, ZHANG Jinxuan^{2a}, WU Huanran^{2a,2b}

(1. Laboratory of Mountainous Revolutionary Cultural Relics Protection, Chongqing Hongyan Revolutionary History Museum, Chongqing 400043, P. R. China; 2a. School of Civil Engineering; 2b. State Key Laboratory of Safety and Resilience of Civil Engineering in Mountain Area, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 3. Key Laboratory of Archaeological Exploration and Cultural Heritage Conservation Technology (Northwestern Polytechnical University), Ministry of Education, Xi'an 710129, P. R. China)

收稿日期: 2025-10-27

基金项目: 考古探测与文物保护技术教育部重点实验室(西北工业大学)开放课题(2024KFZ01); 国家自然科学基金(52478326)

作者简介: 徐光煦(1968-), 男, 副研究馆员, 主要从事党史和文物保护研究, E-mail: ierwei-zhou@163.com。

杨阳(通信作者), 男, 副教授, 博士生导师, E-mail: yyyoung@cqu.edu.cn。

Received: 2025-10-27

Foundation items: Key Laboratory of Archaeological Exploration and Cultural Heritage Conservation Technology (Northwestern Polytechnical University), Ministry of Education Open Project (No. 2024KFZ01); National Natural Science Foundation of China (No. 52478326)

Author brief: XU Guangxu (1968-), main research interests: Party history and cultural relics protection research, E-mail: ierwei-zhou@163.com.

YANG Yang (corresponding author), associate professor, doctoral supervisor, E-mail: yyyoung@cqu.edu.cn.

Abstract: As the core category of China's immovable revolutionary cultural heritage, revolutionary sites serve as crucial spatial carriers that bear witness to the trajectory of China's revolutionary struggle since modern times, preserving both the memories of historical events and the connotations of revolutionary spirit. Their conservation and restoration are directly linked to sustaining the continuity of revolutionary history, safeguarding collective memory, and advancing the public cultural mission of "carrying history through objects and educating people through history". China's existing revolutionary sites encompass diverse forms, including locations of major historical events, important institutional sites, wartime and industrial facilities, and former residences. These sites not only possess the civil-engineering characteristics of traditional brick-wood structures, rammed earth, and masonry buildings, but also retain irreplaceable historical information such as revolutionary slogans, defensive fortifications, living artifacts, and environmental context. Consequently, their conservation must simultaneously achieve dual objectives: ensuring the physical security of the material fabric and maintaining the authenticity of historical settings. This paper systematically reviews recent practical progress and technical developments in the conservation and restoration of Chinese revolutionary sites and analyzes current challenges, such as the pronounced mismatch between materials and environments, insufficient technological adaptability, and weak supporting conditions. It further introduces key conservation approaches that integrate traditional craftsmanship with modern scientific techniques, highlighting representative practical cases and achievements. Finally, the paper outlines future research directions, advocating for deeper interdisciplinary integration to establish a comprehensive "monitoring-assessment-restoration" technological system, improve restoration standards, and strengthen the living transmission of traditional construction techniques. These efforts aim to promote the scientific, standardized, and sustainable development of conservation practices for revolutionary sites, thereby safeguarding the material witnesses of revolutionary history and the enduring carriers of the red revolutionary spirit.

Keywords: revolutionary sites; conservation and renovation; research progress; practical application; protection technology

革命文物凝结着中国共产党的光荣历史,展现了近代以来中国人民英勇奋斗的壮丽篇章,是革命文化的物质载体,也是传承红色精神、赓续红色血脉的重要载体^[1]。革命文物不仅蕴含鲜明的政治意义和深厚的历史价值,同时也是独特工程与技术属性的建筑遗产,反映了特定时代的建筑材料、结构形式与施工工艺。当前,中国共有 4.2 万余处不可移动革命文物分布于不同地理环境和气候条件之下。革命旧址是其核心组成部分,涵盖会议旧址、故(旧)居、驻地、战争及工业遗址、学校等多种类型,结构形式包括砖木结构、夯土结构、石砌结构以及早期钢筋混凝土结构等^[2],体现出显著的地域性与多样性。与一般历史建筑相比,革命旧址的保护与修缮工作具有更高的复杂性与特殊性,其修缮不仅要解决建筑结构老化、材料退化、地基变形、环境侵蚀等工程问题,还需兼顾历史真实性与革命精神传承的要求。革命旧址的保护原则应在“最小干预”“可逆性”“原真性”和“整体性”基础上,统筹结构安全、历史信息保存与文化功能延续三者的平衡。特别是在当代社会,革命旧址的修缮已不再局限于被动的抢救性保护,而更强调科学化、系统化

与可持续发展。

近年来,随着国家“革命文物保护利用工程”的推进,革命旧址保护理念和技术体系不断完善。从“抢救性保护”为主转向“抢救性与预防性保护”并重,从单体修缮到片区化、系统化保护,已逐步建立起涵盖调查评估、规划设计、修缮施工与展示利用的完整技术链条。在技术层面,结构加固、木构件防腐防虫、夯土墙体加固、石质结构病害清理与保护材料优化等方面的传统修缮工艺与现代科学技术实现了有效融合。同时,三维激光扫描、BIM/GIS 集成、数字孪生监测与微环境传感技术等信息化与数字化手段的广泛应用,为革命旧址的科学保护提供了精确的数据支撑。

然而,革命旧址保护与修缮仍面临诸多挑战。一方面,由于旧址历经岁月洗礼、分布广泛、保存环境复杂,其建筑结构多样且病害类型繁多,技术体系难以统一^[3];另一方面,修缮过程中仍存在材料兼容性不足、工艺延续性弱、专业人才缺乏以及维护管理机制不健全等问题。此外,气候变化、自然灾害及社会活动的叠加作用,对革命旧址的耐久性和安全性提出了新的挑战。

因此,随着国家对红色文化遗产与革命遗产保护的重视程度不断提高,革命旧址的保护与修缮已成为文化遗产与土木工程交叉领域的重要研究方向。系统推进革命旧址的科学保护与工程修缮,不仅关系到红色历史记忆的延续与革命精神的弘扬,也为新时代文化强国建设与高质量发展提供了坚实的物质基础与技术支撑。笔者通过收集国内革命旧址保护与修缮的相关资料,系统梳理其研究现状、面临的主要技术挑战、传统与现代修缮技术的融合路径以及数字化与预防性保护典型工程实践案例,总结经验规律,以期为革命旧址的科学保护与可持续利用提供参考与借鉴。

1 革命旧址保护修缮的现状与挑战

1.1 政策体系的演变与制度完善

在中国,1950年中央人民政府发布《关于征集革命文物的命令》、1956年国务院发布《关于在农业生产建设中保护文物的通知》,逐步开始革命文物的调查认定及保护工作。国务院1961年发布的《文物保护单位暂行条例》是中华人民共和国首部综合性文物行政法规,《文物保护单位暂行条例》将“革命遗址及革命纪念建筑物”纳入保护范畴,并公布33处革命遗址及革命纪念建筑物为第一批全国重点文物保护单位。1982年《中华人民共和国文物保护法》的颁布实施,确立了革命旧址等不可移动文化遗产的法治化保护框架,标志着中国革命遗产保护进入制度化阶段。随着保护实践深化,国家层面相继出台多项政策文件,2018年中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于实施革命文物保护利用工程(2018—2022年)的意见》,标志着实践迈入“全域统筹、分类施策、系统推进”的新阶段,推动革命旧址保护进入科学化、系统化阶段。2025年新修订实施的《中华人民共和国文物保护法》及《关于加强抗战文物保护利用工作的通知》进一步强化“最小干预”“真实性保持”“片区化整体保护”等核心原则,推动形成“国家导则、地方细则”的制度体系^[4-5]。

同时,国家文物局于2025年印发《全国重点文物保护单位文物建筑预防性保护技术导则(试行)》(文物保发[2025]26号),明确提出以“预防性保护”为核心理念,强化对不可移动文物建筑的常态化维护与监测。早在2021年,国家文物局已启动11处文物建筑预防性保护试点项目,以中国古代“岁修”模式为蓝本,选取故宫、天坛、承德外八庙、晋祠、苏州吴中区、兰溪诸葛村、曲阜孔庙孔府、青岛八大关、广州光孝寺、梓潼七曲山大庙、西安城墙等具有代表性的文物建筑,开展为期两年的实践探索。该

项目虽未正式发表总结成果,但在技术规范化和经验积累方面对革命旧址的预防性保护体系建设具有重要参考价值。

截至2025年,中国已基本形成以《文物保护法》为核心,6部行政法规、10部部门规章及400余部地方性法规为主体支撑的文物保护法治体系^[6],全国已登记不可移动革命文物约4.2万处,近2000项全国重点文物保护修缮工程有力推进,37个革命文物保护利用片区集中连片保护^[7],为后续的高质量保护与利用奠定了制度基础。

1.2 研究现状与技术发展趋势

近年来,革命文物的保护与修缮是全社会各领域研究的热点问题。在保护利用模式创新领域,地理信息系统(GIS)空间分析技术成为片区化保护规划的重要支撑。延安革命文物保护区通过该技术精准识别出12处“高价值、高风险”区域,并据此提出“分类保护、轴线带动”的保护策略^[8-9];东北抗联革命文物保护借助《东北抗联革命文物保护利用三年行动计划(2023—2025年)》,在红石砬子山脉及周边发现房址、地窖子、战斗工事等各类遗迹3300余处^[10]。

从工程技术应用维度来看,针对革命旧址保护修缮的研究与实践,早期研究主要聚焦于结构安全性提升,通过增设钢结构支撑体系、替换腐朽木梁与加固夯土墙体等措施,提高建筑整体的承载能力与稳定性^[11-12]。此外,基础隔震与减震技术作为先进的结构防护手段,已在部分重点旧址中应用。通过在建筑底部设置隔震层或阻尼装置,显著降低地震作用对上部结构的冲击,提高了建筑的抗震韧性与灾后可修复性^[13]。在数字化保护与信息化研究方面,革命旧址保护进入了以高精度建模、数字孪生与智能分析为核心的发展阶段。三维激光扫描技术凭借非接触、高精度、高效率的优势,被广泛用于旧址结构的三维信息采集,能够获取毫米级空间数据,为形态分析、病害识别与修缮设计提供基础支撑。与此同时,建筑信息模型(BIM)与GIS的集成应用,使研究者能够实现建筑结构、地理环境及病害信息的空间关联与动态管理。数字孪生技术正成为研究前沿,通过虚拟模型与实测数据的实时耦合,可实现旧址在虚拟环境中的监测、预测与维护模拟,为科学决策提供依据^[14-16]。当前革命旧址研究聚焦于如何通过先进技术手段提升其保护效果、拓宽利用途径,关键材料长期相容与可逆性评估、跨平台数据治理及绩效指标体系仍待完善。

1.3 革命旧址保护与修缮面临挑战

随着革命旧址保护理念与科学技术体系的不

断完善,中国在修缮实践方面取得了显著进展。然而,在具体实施过程中仍面临多重挑战。这些问题既源于旧址结构复杂、材质多样的本体特征,也受制于资金投入不足、技术体系不完善及专业人才短缺等外部因素。总体来看,革命旧址保护与修缮的主要难题集中在类型多样与保存复杂、技术瓶颈突出以及资金与人才缺乏3个方面。

1.3.1 文物类型多样,保存状况复杂

作为承载特定历史记忆、兼具土木工程遗产属性与革命历史文化价值的物质载体,中国革命旧址的保护修缮工程面临着诸多系统性挑战,其中建筑类型的多样性和保存状况的复杂性是核心难题,对保护策略和修缮技术提出了严峻考验。革命旧址涵盖木结构、土木结构、砖木结构、砖石结构、钢筋混凝土结构、岩土类建筑等多种典型工程结构体系,其主要构筑材料在物理力学性能参数、结构老

化演变机制、损伤劣化动力学过程等方面均存在显著差异。这种基于结构类型与材料特性的多样性,导致革命旧址在温湿度波动、光照辐射、盐蚀、冻融循环以及微生物侵蚀等环境荷载作用下,表现出不同的响应阈值与劣化模式,进而对其结构稳定性与耐久性产生差异化影响^[17]。环境因素对不同类型革命旧址的劣化影响与控制要点如表1所示,革命旧址中木结构建筑长期温湿波动导致的干缩所产生的内应力与外部荷载相互叠加,是木构件开裂的主要诱因。裂缝进一步削弱承载性能并为水分渗入与微生物定殖打开通道,从而加速本体损伤进程^[18]。相比之下,砖石结构类建筑、城墙、碑刻等在长期暴露条件下更易受到风化、侵蚀与盐析的综合作用,出现墙体剥蚀、砖砌体开裂及表层粉化等问题,不仅破坏历史风貌与表观完整性,也显著降低结构整体稳定性^[19-20]。

表1 环境因素对不同类型革命旧址的劣化影响与控制要点

Table 1 The influence of environmental factors on the deterioration of revolutionary sites of different types and the key points of control

类型	实际案例	关键环境因子	典型病害/症状	监测与防护要点
传统民居 (砖木混合)	福建永定虎岗崇德楼;江西于都红军团部旧址	温湿度、现代装修材料化学影响	木构件磨损、油污;砖石墙面涂料剥落、交接缝开裂 ^[22-23]	游客限流;木构件用可逆防护涂层,砖石选兼容环保材料;定期检查材质交接部位
廊桥 (木石结合)	福建寿宁犀溪红军桥;浙江庆元后坑桥	河水水汽、水流冲刷、冻融、过桥荷载	木桥板翘裂腐朽,石墩冲刷剥落,桥体变形晃动 ^[24-25]	木质防水防腐并定期检查,石墩做防冲刷护面;设荷载限制标识,结构变形监测传感器
厂房 (钢混结构)	上海杨树浦水厂;重庆钢铁厂迁建委员会生产车间旧址	工业污染物、设备拆除后应力改变、温湿度、荷载振动	混凝土锈胀开裂、钢构件锈蚀变形,厂房局部沉降 ^[26-27]	工业污染物残留检测;混凝土用耐化学涂层,钢结构除锈封护;对设备移除区作荷载评估加固
防空洞 (岩土衬砌)	重庆大轰炸“六五”大隧道惨案遗址;延安枣园窑洞防空洞	地下水位变化、洞内高湿、地震、有害气体	衬砌粉化、霉斑,岩土体坍塌致衬砌变形裂缝 ^[28]	监测地下水位与排水,洞内装通风温湿度设备;衬砌用透气防护材料,设地震与岩土位移监测
革命标语 (壁画类)	江西瑞金洋溪红军壁画群;云南禄劝九龙木克红军壁画	紫外线、温湿度、微生物、人为触摸	颜料褪色、起甲剥落,基底酥碱、触摸污染 ^[29-30]	装防紫外线膜,设微环境调控;用红外监测颜料层,设隔离栏,用可呼吸材料加固
渡口码头 (木/砖石+混凝土)	遵义茅台镇红军三渡渡口;云南禄劝皎平渡口江西于都长征渡口	河水浸泡、水流冲刷、盐分、水生生物附着	木栈桥腐朽变形,砖石码头冲刷盐析、生物附着 ^[24]	木质用环保防腐剂,砖石做防冲刷涂层;装水下监测设备,咸水区域除盐
碉堡 (砖石/混凝土+岩土)	南京方山抗战碉堡群;重庆兵工署第一工厂防御工事	战争冲击、自然风化、植物根系、人为涂鸦	墙体弹孔崩落、风化剥落、根系钻入、涂鸦污染 ^[31-32]	战争损伤用可逆材料修补,表面喷防风化剂;监测裂缝与根系,激光清洗涂鸦
粮仓 (砖木/夯土)	江西瑞金武阳镇红军粮食储备库;延安八路军三五九旅粮库旧址	温湿度、粮食残留微生物/虫鼠、人为荷载、通风不良	木梁腐朽虫蛀,夯土墙酥碱裂缝,虫鼠啃噬构件 ^[22,33]	装温湿度与有害生物监测,保持通风;木结构防虫防腐,夯土墙用透气防水措施;限制仓储重量
学堂 (砖木)	陕西旬邑陕北公学旧址;陕西蒲城高等小学堂;云南禄劝九龙木克红军学校	温湿度、微生物/虫害、装修污染	木地板磨损凹陷,门窗松动剥落,墙面粉化霉变 ^[22,34]	高频区用可逆耐磨层,装温湿度系统;定期防虫,选环保材料,加固榫卯、修复漆面
铁路站点 (砖木+铁道设施)	滇越铁路芷村车站;长春站;吉林龙潭山站	火车振动、温湿度、盐分、工业粉尘、人为磨损	建筑裂缝、门窗松动,金属锈蚀,砖石盐析粉化 ^[27,35-36]	建筑与铁道间设减振装置;金属防锈、盐碱区除盐;装空气净化设备,磨损地面用可逆材料

此外,不同类型革命旧址对环境变化的敏感度差异显著,这使得统一的保存环境控制方案难以奏效。例如,岩土类旧址需保持干燥以防渗蚀,但过低湿度又会引发材料收缩开裂;而早期钢筋混凝土旧址在高湿环境下易出现钢筋锈蚀与混凝土胀裂^[21]。同时,多种材料共存的复合结构在修缮中也增加了技术复杂度,单一修复材料或工艺往往无法兼容全部构件,甚至可能引发二次损伤。因此,革命旧址的保护需要多学科协作,通过精准诊断和材料匹配,制定差异化、定制化的修缮方案。

1.3.2 修缮技术瓶颈与材料兼容性问题

革命旧址保护修缮是一项高度复杂的工程体系,既涉及建筑结构安全与材料科学问题,也关联环境控制与文化真实性的平衡。目前,在工程技术层面仍存在明显瓶颈,尤其是修缮材料的兼容性与可逆性问题。在夯土结构革命旧址加固中,传统夯土材料抗风化性能较弱,而掺入现代水泥虽能提升强度,但会改变原始材质特性^[37-38]。在木结构旧址修缮中,化学防腐药剂与传统木材的相容性仍需优化,以避免对原有材料造成二次损害或加速老化^[39-40]。此外,复杂结构的加固难题也有待突破,窑洞式革命旧址的拱券结构在地震作用下易发生“多米诺效应”,现有有限元分析模型因未充分考虑拱券与土体的协同受力,难以精准模拟结构动力响应^[41-42]。在砖石结构裂隙修复方面,微生物诱导碳酸钙沉积(MICP)技术因其绿色环保、无损加固的特性而被引入,但碳酸钙沉积的均匀性与渗透深度控制尚未完全成熟,限制了其在高风险区域的推

广^[43-44]。与此同时,基层保护单位的环境监测体系建设不足,温湿度调控精度不高,长期运行维护能力有限,难以满足文物保存的严格环境需求^[45-46]。部分防风化材料和表层加固剂在自然暴露条件下仍易出现粉化、剥落现象^[47-48]。因此,面对这些技术难题,亟须加强革命旧址修缮技术的系统创新,融合多学科知识,研发与原材料兼容、可逆且耐久的新型保护材料,提升革命旧址保护修缮工作的科学性与有效性。

1.3.3 资金与人才短缺

革命旧址保护与修缮工作是一项长期性、系统性、资金密集型工程,资金来源渠道相对单一,主要是依赖政府财政拨款,社会资本与公益基金的参与度相对不足,难以支撑广泛分布、规模庞大的旧址保护需求。专业人才缺乏问题日益突出,其保护修缮涉及多学科交叉,当前缺乏系统化、跨学科培养体系。传统工匠技艺传承不足,现代科技应用能力有限,影响项目执行质量。

2 革命旧址保护与修缮技术传承创新及研究进展

2.1 传统保护修缮技术的传承

革命旧址作为典型的建筑类文化遗产,其保护对象涵盖木结构建筑、夯土建筑、砖石墙体、石拱结构及早期钢筋混凝土建筑等类型。由于其材质特性和保存环境的复杂性,修缮技术必须兼顾建筑的整体性、结构安全性与环境协调性。革命旧址常规保护与修缮技术及应用场景如表 2 所示。

表 2 革命旧址常规保护与修缮技术及应用场景

Table 2 Conventional conservation and renovation methods and application scenarios of revolutionary sites		
文物类型	常规保护修缮手段	应用场景
木结构	传统木销嵌合、防腐铁件补强;碳纤维布/玻璃纤维布加固;纤维增强复合材料修复开裂;匹配原材料的木材修补材料填充腐朽;环保型防腐药剂防虫防腐 ^[22,40,49-50]	福建永定虎岗崇德楼;江西于都红军团部旧址等祠堂、民居类革命旧址
砖石结构	低压水冲洗、软毛刷物理清理;温和清洁剂清理顽固污渍;匹配原砖石成分修补材料填充裂缝;石灰水、硅酸乙酯等加固剂补强 ^[19,51-52]	南京方山抗战碉堡群;重庆兵工署第一工厂防御工事等城墙、碉堡类革命旧址
混凝土墙面	清除表面附着物、霉斑;聚合物砂浆填补缺陷;环氧树脂灌浆;钢筋除锈防腐,混凝土回补;硅烷/硅氧烷渗透型防护 ^[53-55]	上海杨树浦水厂;重庆钢铁厂迁建委员会生产车间旧址等旧工厂类革命旧址
土遗址	匹配原土料夯筑填补;草泥抹面、芦苇覆盖防护;修筑排水沟、散水坡;植物清除与抑制 ^[23,37,56]	延安枣园窑洞防空洞;江西瑞金武阳镇红军粮食储备库等夯土类革命旧址
石拱结构	物理清洁、苔藓清除;石材专用修补砂浆填补裂缝;局部石材补配替换;灌浆加固或结构支撑 ^[57-59]	福建寿宁犀溪红军桥等石拱桥、石拱门类革命旧址

2.1.1 木结构修缮技术

木结构旧址修缮的核心是榫卯节点加固与构件防腐防虫,需兼顾结构稳定与历史风貌保留。传统木销嵌合、防腐铁件补强工艺仍是基础,同时融合现代材料技术,引入碳纤维布、玻璃纤维布等轻质高强复合材料,提升节点抗拔与抗剪性能^[49]。针

对开裂构件,根据裂缝深度与受力特征,选用金属连接件或纤维增强复合材料进行局部加固;腐朽严重的构件则采用密度与弹性模量匹配的修补材料精确填充,既恢复力学完整性,又保持原始工艺特征^[40-50]。防腐防虫方面,在传统桐油、生漆工艺基础上,研发环保型防腐药剂,降低对木材的二次损害。

2.1.2 砖石结构修缮技术

砖石结构修缮遵循“最小干预”原则,表面清理优先采用低压水冲洗、软毛刷物理清理等物理方法。对顽固积垢,选用温和无侵蚀清洁剂,经小范围预试后控制药剂浓度与作用时间^[51]。裂缝与孔洞病害处理中,选用与原砖石在化学成分、孔隙率和力学性能上相匹配的修补材料进行填充。局部疏松区域采用石灰水、硅酸乙酯等渗透型加固剂提升强度与耐久性的同时保证原结构的透气性与稳定性^[19,52]。

2.1.3 岩土类旧址修缮技术

岩土类旧址修缮传承“避光防潮”理念,采用“气相补水”协同技术,通过调控环境湿度与温差,实现微气候平衡,减缓材料劣化。修补材料选用与原有土壤成分、粒径相近的土料夯筑填补,表面防护结合草泥抹面、芦苇覆盖等传统工艺,提升抗风化、抗侵蚀能力^[23,37,56]。同时修筑传统排水沟、散水

坡,控制地下水位,防止水蚀引发的坍塌与变形。

2.1.4 早期钢筋混凝土结构修缮技术

早期钢筋混凝土结构常见混凝土碳化、钢筋锈蚀、保护层剥落以及结构开裂等典型病害^[60-61]。局部修补选用与原有混凝土性质、颜色和纹理相近的低碱水泥基砂浆或掺入传统火山灰材料的改良砂浆^[62-63],确保力学和热工性能协调性,减少应力不匹配引发的二次开裂。此外,钢筋锈蚀处理采用除锈和钝化工艺,再以收缩灌浆料修补,恢复结构整体性并提升耐久性能^[53,64]。表面防护优先选择硅烷/硅氧烷类渗透型防护剂形成防护涂层,防止水分侵入同时允许混凝土“呼吸”,避免内部水分积聚而导致的冻融与碳化加剧^[54-55]。传统保护修缮技术传承与创新路径如图1所示,这些以传统工艺为基础、融合现代材料科学的新型技术体系,为延长革命旧址建筑寿命、维护结构安全与延续历史价值提供了技术支撑。



图1 传统保护修缮技术传承与创新路径图^[37,51-52,55,63,65-69]

Fig. 1 Traditional conservation and renovation technology inheritance and innovation path map^[37,51-52,55,63,65-69]

2.2 现代科技在革命旧址保护修缮中的应用

现代科技在革命旧址保护修缮中的应用聚焦精准化、智能化、绿色化,空间信息采集管理是保护修缮的基础前提,MICP技术是绿色修复材料的典型代表,二者分别覆盖“数据支撑”与“材料创新”两大核心维度,以下选取核心技术方向展开阐述。

2.2.1 空间信息采集与数字化管理技术

以三维数字化、GIS及BIM为核心的技术集

群,能构建革命旧址毫米级高精度模型,实现空间信息整合、风险评估和全生命周期管理^[70-74]。三维激光扫描技术可快速获取旧址建筑三维空间数据,精准还原建筑形态与病害特征,为修缮设计提供精确基础数据;BIM技术实现修缮全过程数字化管理,从方案设计、施工模拟到后期维护形成完整信息链条;GIS与BIM集成应用,将建筑单体信息与区域地理环境结合,为片区化保护规划与风险预警

提供支撑。数字孪生技术作为前沿方向,通过虚拟仿真模型与现场传感器数据实时耦合,实现旧址监测、病害模拟与维护预测,为预防性保护提供科学依据^[14-16]。

2.2.2 微生物诱导矿化(MICP)修复技术

微生物诱导碳酸钙沉积(MICP)技术作为绿色环保修复技术,在石质、岩土类革命旧址保护中优势显著^[75-76]。该技术利用微生物新陈代谢产生的碳酸根离子与钙离子结合,生成稳定碳酸钙结晶,实现结构加固与裂隙修复。应用过程中,先通过基因测序分析旧址区域土著微生物菌群,筛选具有矿化能力的种群进行分离、纯化与扩大培养,再优化微生物修复砂浆配比,制备高性能修复材料。其兼容性与环境友好性契合“最小干预”原则,已在石质纪念碑、砖石墙体修复中成功应用。

2.2.3 其他保护修缮技术

在病害诊断领域,红外热成像、CT探伤等无损检测技术广泛应用,可精准识别结构内部缺陷与病害分布^[26];结构加固领域,碳纤维布、玻璃纤维布等复合材料加固技术,在不改变建筑外观的前提下提升结构承载能力,成为木结构、砖石结构加固常用技术^[13,49]。

3 革命旧址保护修缮典型工程实践

3.1 延安杨家岭革命旧址:数字孪生驱动的预防性保护模式

延安杨家岭革命旧址以土窑洞为主,具有典型的地域性和脆弱性。针对雨季渗水、墙体变形、温湿度波动等问题,当地文物部门联合高校科研团队开发了“数字孪生预防性保护系统”。该系统利用多点传感网络监测窑洞结构含水率、应变及温度变化,并通过云端模型实时预警。该系统同时采用蜂窝铝板活动展墙,减少直接接触文物本体的干扰。实践证明,该模式显著降低了雨季结构病害的发生率,使旧址维护由“经验修缮”迈入“数据驱动”的新阶段。然而,设备长期稳定运行和数据治理体系建设仍面临技术与资金双重挑战,显示出预防性保护在自然暴露环境下的复杂性。

3.2 北大红楼及周边片区:片区化保护与价值阐释的融合实践

北大红楼旧址作为新文化运动与中国共产党早期活动的重要地点,保护修缮采取了“以点带面”的片区化策略。北京市政府将红楼与周边三十一处革命旧址整合为“红色文化遗产带”,同步推进结构修缮、风貌整治与数字化展陈。修缮过程中坚持“可逆性”与“最小干预”原则,利用非接触式测绘和

结构加固技术实现文物建筑的本体稳固。针对砖木结构的典型病害,结合传统工艺与现代材料进行修复,保持建筑历史风貌的同时提升结构安全性。该项目强化了空间连续性与历史叙事逻辑,为同类片区化革命旧址保护提供了实践经验。

3.3 重庆兵工署第一兵工厂旧址:工业遗产型革命旧址的再生利用

重庆兵工署第一兵工厂旧址属于抗战时期的重要工业遗存,修缮项目将地下防空洞与地面厂房共同纳入保护体系,形成“建川博物馆群重庆园”,如图2所示。在保持厂房钢筋混凝土结构原貌的基础上,采用结构加固与防潮通风改造技术,解决洞体湿度高、通风差等问题。展陈层面运用多媒体与场景复原技术,实现工业记忆与革命叙事的融合,为工业遗产型革命旧址的保护修缮与活化利用提供了范例。



图2 重庆兵工署第一兵工厂旧址保护与再生利用现状(来源:重庆日报官网)

Fig. 2 The current situation of restoration and recycling of the site of the first arsenal of Chongqing Ordnance Industry Department (Source: Chongqing Daily official website)

3.4 北京香山革命纪念地:片区联动与智能化管理

北京香山革命纪念地依托中共中央进京前活动旧址群形成片区保护格局。项目采用“本体修缮+周边景观协调+智能化管理”三位一体模式,利用BIM与环境监测系统对温湿度、应力及人流进行动态管控,确保建筑安全与展陈环境稳定。纪念馆内部引入无酸材料储藏柜和恒湿展柜,实现馆藏革命文物的预防性保护。片区管理机制创新引入社会资本参与,形成“政府主导、企业协作、公众参与”的运营模式。主要难点在于高峰期人流控制与自然山地环境的生态承载平衡。

3.5 江西瑞金红井:基于微生物矿化的革命旧址附属石质纪念设施修复工程

瑞金红井作为中央苏区时期“吃水不忘挖井人”革命历史的重要见证,其附属的红井纪念碑因长期暴露于南方潮湿环境,出现生物侵蚀、内部空腔发育及裂隙扩展等病害。传统无机材料加固易导致“刚性破坏”,难以兼顾设施结构加固与革命旧址整体历史风貌保留。该革命旧址附属石质纪念

设施的修复过程如图3所示,修复工程创新应用土木工程领域的微生物矿化技术,纳入革命旧址保护修缮体系。在病害诊断阶段,采用CT探伤技术定位纪念设施内部空腔分布,结合红外热成像识别湿度异常区,明确盐析结晶对石材的破坏机制;在加固实施环节,科研人员选取革命旧址区域的土著混合微生物菌群,通过基因测序技术分析菌群结构,精准鉴定出具有矿化能力的微生物种群,进而完成

分离、纯化与保藏操作,对目标微生物进行扩大培养以制备高活性菌液。修复核心阶段,科研人员将石材粉末、筛选后的目标微生物与矿化反应底物按优化比例混合,制备成微生物修复砂浆;砂浆中的微生物通过新陈代谢启动矿化反应,生成稳定的矿化结晶,可将石材粉末紧密黏结,实现革命旧址附属石质纪念设施结构加固。

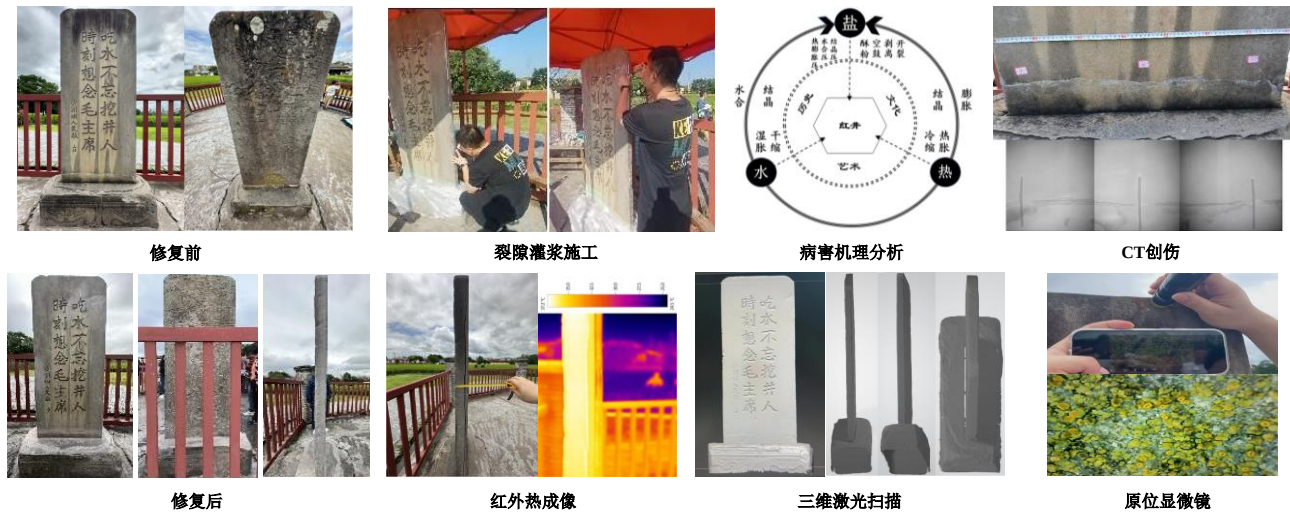


图3 瑞金红井纪念碑修复流程

Fig. 3 The restoration process of Ruijin Hongjing Monument

4 结论与展望

中国革命旧址保护与修缮工作在理念发展、技术研究和实践应用方面均取得了显著进展。通过将传统技艺与现代科技深度融合,革命旧址保护正经历从应急修复向长期监测与材料科学结合的阶段性转型。当前主要形成3条技术路径:以结构诊断与环境监测为核心的风险识别体系;以微生物诱导碳酸钙沉积(MICP)、纳米复合材料等为代表的新型修复材料体系;以信息化记录与数字管理为辅的持续监测体系。各类技术的协同应用,有效提高了旧址本体稳定性与环境适应性,为革命旧址的科学保护提供了可验证的技术支撑。

展望未来,革命旧址的保护与修缮研究应加强修复材料在不同气候与污染条件下的稳定性与可逆性研究,建立微观结构与宏观性能的预测模型。推进传感网络、无人机遥感、三维扫描等技术联合应用,实现结构健康的实时监测与预警。强化本体预防性保护与历史环境整体可持续活态保护。同时针对地域气候差异制定差异化标准,建设示范工程,推动科研成果向实践转化。深化土木工程、材料科学、环境科学与信息技术的融合。此外,还应强化传统营造技艺的活态传承,完善革命旧址保护

修缮标准体系;推动数字化保护标准统一与跨平台数据共享,提升技术应用的规范性与高效性。通过多维度创新,实现革命旧址保护修缮工作的制度化、科学化与可持续发展,使其在新时代语境下继续发挥教育、文化与精神价值。

参考文献

- [1] 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于实施革命文物保护利用工程(2018—2022年)的意见》[A/OL]. [2025-09-17]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5312199.htm.
The General Office of the Central Committee of the Communist Party of China and the General Office of the State Council issued Opinions on the implementation of the project for the protection and utilization of revolutionary cultural relics (2018-2022) [A/OL]. [2025-09-17]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5312199.htm. (in Chinese)
- [2] 刘华. 文化遗产保护管理中的不可移动文物保护可持续发展[J]. 炎黄地理, 2024(7): 72-74.
LIU H. Sustainable development of immovable cultural relics protection in cultural heritage protection and management [J]. Yanhuang Geography, 2024(7): 72-74. (in Chinese)

- [3] 卢世主, 朱昱. 革命文物保护利用研究的现状与进展[J]. 江西师范大学学报(哲学社会科学版), 2020, 53(6): 145-153.
LU S Z, ZHU Y. Status and progress of research on the protection and revolutionary cultural relics [J]. Journal of Jiangxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2020, 53(6): 145-153. (in Chinese)
- [4] 中华人民共和国文物保护法[EB/OL]. (2024-11-09) [2025-09-17]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202411/content_6985748.htm
Law of the People's Republic of China on protection of cultural relics [EB/OL]. (2024-11-09) [2025-09-17]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202411/content_6985748.htm (in Chinese)
- [5] ZHANG S. The development and institutional characteristics of China's built heritage conservation legislation [J]. Built Heritage, 2022, 6(1): 11.
- [6] 班晓悦. 守正创新护文脉 文物事业谱新篇[N]. 中国社会科学报. 2025-10-15.
BAN X Y. A New chapter of the cause spectrum of protecting cultural relics [N]. Chinese Journal of Social Sciences. 2025-10-15. (in Chinese)
- [7] 第四次全国文物普查取得重要阶段性成果[EB/OL]. (2025-09-11)[2025-10-18]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202509/content_7040062.htm.
The Fourth National Cultural Relics Census has achieved important phased results. [EB/OL] (2025-09-11) [2025-10-18]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202509/content_7040062.htm. (in Chinese)
- [8] FERREIRA-LOPES P. Achieving the state of research pertaining to GIS applications for cultural heritage by a systematic literature review [J]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2018, XLII-4: 169-175.
- [9] 吴铮铮, 潘敏. 基于融合发展的延安革命文物保护利用研究[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版), 2024, 54(3): 62-74.
WU Z Z, PAN M. Research on the conservation and utilization of revolutionary relics in Yan'an: based on the concept of coordinate development [J]. Journal of Northwest University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2024, 54(3): 62-74. (in Chinese)
- [10] 吴丽蓉. 深耕抗联革命文物保护 让红色基因焕发新活力[N]. 工人日报, 2024-01-28.
WU L R. The protection of revolutionary cultural relics of the Anti-Japanese Alliance has revitalized the red gene [N]. Workers' Daily, 2024-01-28. (in Chinese)
- [11] 张伟. 木梁、钢丝绳索网支撑体系在屋面运用的实例探讨[J]. 四川建筑, 2023, 43(6): 178-179, 184.
ZHANG W. Discussion on the application of timber beam and steel wire rope net support system in roof [J]. Sichuan Architecture, 2023, 43(6): 178-179, 184. (in Chinese)
- [12] 李爱群, 周坤朋, 王崇臣, 等. 中国古建筑木结构修复加固技术分析展望[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2019, 49(1): 195-206.
LI A Q, ZHOU K P, WANG C C, et al. Prospective analyses on restoration and reinforcement techniques toward wooden structure of Chinese ancient architectures [J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2019, 49(1): 195-206. (in Chinese)
- [13] 薛建阳, 张凤亮, 赵鸿铁, 等. 碳纤维布加固古建筑木结构模型振动台试验研究[J]. 土木工程学报, 2012, 45(11): 95-104.
XUE J Y, ZHANG F L, ZHAO H T, et al. Shaking table test of an ancient timber structure strengthened with CFRP [J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(11): 95-104. (in Chinese)
- [14] 席思远, 纪任鑫, 苗培培, 等. 面向异形古建筑的空地多源影像融合精细化三维重建研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2025, 48(4): 51-54.
XI S Y, JI R X, MIAO P P, et al. Fine 3D reconstruction of air-ground multi-source image fusion for special-shaped ancient architecture [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2025, 48(4): 51-54. (in Chinese)
- [15] 刘存钢, 葛胜, 杨沛. 面向建筑遗产保护的HBIM精细化数字资源构建方法研究[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2025, 40(2): 1-7, 12.
LIU C G, GE S, YANG P. A methodological study on refined digital resource construction for architectural heritage preservation utilizing HBIM technology [J]. Journal of Xuzhou Institute of Technology (Natural Sciences Edition), 2025, 40(2): 1-7, 12. (in Chinese)
- [16] 卢世主, 郭雨晴. 基于数字孪生的革命旧址监测与预警系统研究[J]. 包装工程, 2021, 42(14): 47-55, 64.
LU S Z, GUO Y Q. Monitoring and precaution system of revolutionary sites based on digital twin [J]. Packaging Engineering, 2021, 42(14): 47-55, 64. (in Chinese)
- [17] 馆藏文物保存环境质量 第1部分: 指标要求: WW/T 0016.1—2023[S]. 北京: 文物出版社, 2023.
Museum environment quality Part 1: Indicator requirement: WW/T 0016.1—2023 [S]. Beijing: Cultural Relics Press, 2023. (in Chinese)
- [18] 周海宾, 韩旭, 黄磊, 等. 古建筑木构件开裂机制、评估与加固研究进展[J]. 木材科学与技术, 2024, 38(1): 13-22.
ZHOU H B, HAN X, HUANG L, et al. Research progress on cracking mechanism, evaluation and reinforcement of ancient building timber members [J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2024, 38(1): 13-22. (in Chinese)

- [19] 葛家琪, 林蓓, 张玲, 等. 砖石质文物建筑结构安全稳定性提升措施研究[J]. 建筑结构学报, 2023, 44(8): 47-55.
- GE J Q, LIN L, ZHANG L, et al. Research on safety and stability performance design of masonry historical building structures [J]. Journal of Building Structures, 2023, 44(8): 47-55. (in Chinese)
- [20] 刘远坚, 韩绍康, 张程, 等. 潮湿环境砖石文物本体病害分析及保护技术研究进展[J]. 重庆大学学报, 2024, 47(10): 120-137.
- LIU Y J, HAN S K, ZHANG C, et al. A comprehensive review of the disease analysis and conservation techniques for brick and stone artifacts in humid environments [J]. Journal of Chongqing University, 2024, 47(10): 120-137. (in Chinese)
- [21] 牛贺强, 武发思, 王丽琴, 等. 凝胶材料在文物表面污渍去除中的研究进展[J]. 应用化学, 2021, 38(11): 1441-1453.
- NIU H Q, WU F S, WANG L Q, et al. Research progress of gel materials for the removal of stains on cultural relics surface [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2021, 38(11): 1441-1453. (in Chinese)
- [22] 周乾. 故宫古建筑木柱典型残损问题分析及建议[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(6): 107-112.
- ZHOU Q. Typical structural problems of wooden columns in the ancient buildings of the forbidden city [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2015, 13(6): 107-112. (in Chinese)
- [23] BAGLIONI M, POGGI G, CHELAZZI D, et al. Advanced materials in cultural heritage conservation [J]. Molecules, 2021, 26(13): 3967.
- [24] SRIKANTH I, AROCKIASAMY M, NAGARAJAN S. Performance of aging timber bridges based on field tests and deterioration models [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2022, 2676(10): 315-327.
- [25] GIRESON K, ÇELİK S B, ÇOBANOĞLU İ. Monitoring the decrease of abrasion resistance on natural building stones due to deterioration caused by freezing and thawing cycles [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2023, 82(5): 162.
- [26] 李里, 黄昕. 基于 X-Ray CT 扫描的钢筋混凝土锈蚀膨胀开裂试验研究[J]. 土木工程, 2024, 13(3): 257-268.
- LI L, HUANG X. Experimental study on corrosion cracking of reinforced concrete based on X-ray CT scanning [J]. Hans Journal of Civil Engineering, 2024, 13(3): 257-268. (in Chinese)
- [27] 熊浩怀, 陶忠, 万发嘉, 等. 碳化、钢筋锈蚀在荷载作用下对钢筋混凝土柱力学性能影响的研究综述[J]. 混凝土, 2022(3): 49-52, 56.
- XIONG H H, TAO Z, WAN F J, et al. Review of re-
- searches on the influence of carbonation and steel corrosion on the mechanical properties of reinforced concrete columns under load [J]. Concrete, 2022(3): 49-52, 56. (in Chinese)
- [28] 林波, 王旭东, 郭青林, 等. 敦煌莫高窟第 108 窟西壁岩体内温湿度变化规律研究[J]. 敦煌研究, 2013(1): 86-91.
- LIN B, WANG X D, GUO Q L, et al. A study on the variation laws of temperature and relative humidity in the rock of the west wall in Mogao cave 108, Dunhuang [J]. Dunhuang Research, 2013(1): 86-91. (in Chinese)
- [29] BUNTEM R, LA S. Study on degradation of Cambodian panel painting during UV aging [J]. Color Research & Application, 2022, 47(3): 796-805.
- [30] 于宗仁, 王彦武, 王小伟, 等. 壁画盐害水汽来源研究: 以隆兴寺为例[J]. 地球科学进展, 2017, 32(6): 668-676.
- YU Z R, WANG Y W, WANG X W, et al. Research on the water vapor source induced diseases of wall paintings in Longxing temple [J]. Advances in Earth Science, 2017, 32(6): 668-676. (in Chinese)
- [31] DE LA FUENTE CANTÓ C, SIMONIN M, KING E, et al. An extended root phenotype: The rhizosphere, its formation and impacts on plant fitness [J]. The Plant Journal, 2020, 103(3): 951-964.
- [32] 张燕来, 梅青. 废墟与遗址: 以厦门地区近现代碉堡遗存为例[J]. 新建筑, 2021(2): 138-141.
- ZHANG Y L, MEI Q. Ruins and relics: The architectural remains of modern bunkers in the Xiamen area [J]. New Architecture, 2021(2): 138-141. (in Chinese)
- [33] 郭志谦, 湛文武, 张克文, 等. 中国西北地区气象因子对夯土遗址裂隙发育的影响[C]//2016 年全国工程地质学术年会论文集. 四川成都: 中国地质学会工程地质专业委员会, 2016: 145-153.
- GUO Z Q, ZHAN W W, ZHANG K W, et al. Dependence of the fissures in the ancient rammed-earthen sites on the meteorological factors of the northwestern of China [C]//Proceedings of 2016 National Engineering Geology Annual Conference. Chengdu: Engineering Geology Professional Committee of the Geological Society of China, 2016: 145-153. (in Chinese)
- [34] 袁霄, 陈勇平, 郭文静. 古建筑木结构多发残损的特征及防控分析[J]. 木材科学与技术, 2021(5): 54-59.
- YUAN X, CHEN Y P, GUO W J. Features and prevention of common damages in ancient timber structures [J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2021(5): 54-59. (in Chinese)
- [35] 马蒙, 刘维宁. 我国文物建筑受列车微振动影响研究现状及关键问题分析[J]. 噪声与振动控制, 2019, 39(4): 1-6, 69.
- MA M, LIU W N. Overview and key problem analysis

- of the vibration influences on historic buildings induced by moving trains in China [J]. *Noise and Vibration Control*, 2019, 39(4): 1-6, 69. (in Chinese)
- [36] MALMBORG J, FLODÉN O, PERSSON P, et al. Numerical study on train-induced vibrations: A comparison of timber and concrete buildings [J]. *Structures*, 2024, 62: 106215.
- [37] 朱才辉, 邱嵩, 宋晓峰, 等. 传统改性土工程性能试验研究及在城墙修复中的应用[J]. *建筑科学与工程学报*, 2022, 39(6): 43-54.
- ZHU C H, QIU S, SONG X F, et al. Experimental study on engineering properties of traditional modified soil and its application in city wall restoration [J]. *Journal of Architecture and Civil Engineering*, 2022, 39(6): 43-54. (in Chinese)
- [38] 张磊, 刘思佳, 姜治军, 等. 传统复合灰浆在古建筑中的应用及性能研究综述[J]. *建筑技术*, 2025, 56(3): 379-384.
- ZHANG L, LIU S J, JIANG Z J, et al. A review of the application and performance of traditional Chinese composite mortar in ancient buildings [J]. *Architecture Technology*, 2025, 56(3): 379-384. (in Chinese)
- [39] 盛继翠. 木结构古建筑常见虫害特征及防治方法[J]. *石材*, 2023(8): 5-7, 46.
- SHENG J C. Common pest characteristics and control methods of ancient timber buildings [J]. *Stone*, 2023(8): 5-7, 46. (in Chinese)
- [40] 王祺, 冯鑫浩, 刘新有. 古旧木材加固保护研究进展[J]. *材料导报*, 2024, 38(1): 263-281.
- WANG Q, FENG X H, LIU X Y. Technological advances in the consolidation of historical woods [J]. *Materials Reports*, 2024, 38(1): 263-281. (in Chinese)
- [41] 薛建阳, 胡鹏春, 张凤亮, 等. 独立式砖箍窑洞振动台试验及动力响应分析[J]. *建筑结构学报*, 2022, 43(1): 116-127.
- XUE J Y, HU P C, ZHANG F L, et al. Shaking table tests and dynamic response analysis of freestanding brick cave-dwelling [J]. *Journal of Building Structures*, 2022, 43(1): 116-127. (in Chinese)
- [42] 刘祖强, 马东, 张凤亮, 等. 独立式石箍窑洞地震模拟振动台试验及数值模拟[J]. *振动工程学报*, 2023, 36(4): 1101-1112.
- LIU Z Q, MA D, ZHANG F L, et al. Shaking table test and numerical simulation for free-standing stone cave dwelling [J]. *Journal of Vibration Engineering*, 2023, 36(4): 1101-1112. (in Chinese)
- [43] 黄小山. 基于诱导碳酸钙沉淀技术的砖石古建筑裂缝修复试验研究[D]. 河南 开封: 河南大学, 2021.
- HUANG X S. Experimental study on crack repair of ancient masonry building based on induced calcium carbonate precipitation technology [D]. Kaifeng, Henan: Henan University, 2021. (in Chinese)
- [44] 彭世震, 陈诗雨, 卓祖磊, 等. 微生物诱导碳酸钙沉淀技术修复劣化古建砖石砌体的试验研究[J]. *福建建筑*, 2023(2): 104-109.
- PENG S Z, CHEN S Y, ZHUO Z L, et al. Experimental study on the restoration of deteriorated ancient masonry using microbially induced carbonate precipitation technology [J]. *Fujian Architecture & Construction*, 2023(2): 104-109. (in Chinese)
- [45] 国家文物局关于印发《全国重点文物保护单位文物建筑预防性保护技术导则(试行)》的通知[EB/OL]. (2025-08-01) [2025-10-17]. http://www.ncha.gov.cn/art/2025/8/12/art_2237_47576.html.
- National Cultural Heritage Administration. Circular on printing and issuing the *Technical Guidelines for Preventive Protection of Cultural Relics Buildings in National Key Cultural Relics Protection Units* (Trial) [EB/OL]. (2025-08-01) [2025-10-17]. http://www.ncha.gov.cn/art/2025/8/12/art_2237_47576.html.
- [46] 李永辉. 当前文物建筑保护的难题与对策[J]. *人民论坛*, 2024(18): 96-100.
- LI Y H. The current problems and countermeasures of the protection of cultural relics buildings [J]. *People's Tribune*, 2024(18): 96-100. (in Chinese)
- [47] 张悦, 叶为民. 考虑体变特征的遗址土脱湿过程持水特性[J]. *岩土工程学报*, 2022, 44(3): 456-463.
- ZHANG Y, YE W M. Water retention characteristics of earthen heritage soil during desiccation considering volumetric change [J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2022, 44(3): 456-463. (in Chinese)
- [48] 崔海滨, 范敏, 傅英毅, 等. 土遗址防风化加固材料的应用研究[J]. *广东化工*, 2014, 41(11): 64-65, 83.
- CUI H B, FAN M, FU Y Y, et al. Application research of anti-weathering reinforcement materials for earthen archaeological sites [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2014, 41(11): 64-65, 83. (in Chinese)
- [49] CHEN Z R, LIU X X, CHEN H N, et al. Application of epoxy resin in cultural relics protection [J]. *Chinese Chemical Letters*, 2024, 35(4): 109194.
- [50] 葛福冲, 巩豪杰, 张金涛, 等. 古建筑木结构榫卯节点加固研究[J]. *四川水泥*, 2024(5): 25-27.
- GE F C, GONG H J, ZHANG J T, et al. Research on reinforcement of mortise and tenon joint of ancient timber structure [J]. *Sichuan Cement*, 2024(5): 25-27. (in Chinese)
- [51] 周琪, 陈薇. 西班牙夯土类历史古迹建筑的保护干预经验[J]. *建筑遗产*, 2024(1): 54-59.
- ZHOU Q, CHEN W. Conservation intervention experience of the rammed earth historic monuments in Spain [J]. *Heritage Architecture*, 2024(1): 54-59. (in Chinese)
- [52] 贾京健, 崔瑾, 倪斌. 偶联剂改性复合乳液在古建筑黏

- 土砖修复中的应用[C]//中国文物保护技术协会第七次学术年会论文集. 镇江, 2012: 276-289.
- JIA J J, CUI J, NI B. Application of coupling agent modified composite emulsion in the restoration of ancient building clay bricks [C]//Proceedings of the Seventh Annual Academic Conference of China Association of Cultural Relics Protection Technology. Zhenjiang, 2012: 276-289. (in Chinese)
- [53] 殷炳帅. 混凝土结构中钢筋锈蚀影响因素及其检测方法探讨[J]. 四川水泥, 2024(10): 136-139.
- YIN B S. Discussion on influencing factors and detection methods of steel corrosion in concrete structure [J]. Sichuan Cement, 2024(10): 136-139. (in Chinese)
- [54] 秦昊. 高分子聚合物在混凝土表面修复中的应用研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019.
- QIN H. Application of high macromolecular polymer in concrete surface repair [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019. (in Chinese)
- [55] 裴须强, 朱玉雪. 硅烷防水材料的研制及其在混凝土防护中的应用工艺探究[J]. 新型建筑材料, 2022, 49(7): 67-71.
- PEI X Q, ZHU Y X. Preparation of silane waterproof material and its application technology in concrete protection [J]. New Building Materials, 2022, 49(7): 67-71. (in Chinese)
- [56] HADZHISHALAPOV G N, BATAEVA P D, BATAEV A D. Technologies and materials for repair, restoration and restoration of historical and cultural monuments [J]. Herald of Dagestan State Technical University Technical Sciences, 2023, 50(3): 190-196.
- [57] STASYUK O. Restoration of natural stone architectural details and art works: Aspect of addition of missing parts [J]. Research and Methodological Works of the National Academy of Visual Arts and Architecture, 2018(27): 66-73.
- [58] 尤子森. 四川古桥特征分析及保护措施研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.
- YOU Z L. Analysis on the characteristics of Sichuan ancient bridges and research on protective measures [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2020. (in Chinese)
- [59] WANG X M, LUO H J, YU H D, et al. Determination on the thickness of superficially weathered layer of historical stones from Guanzhong area in China [J]. Heritage Science, 2024, 12: 91.
- [60] 李进旗, 徐伟. 混凝土裂缝的原因分析、修补及防治措施[J]. 科技信息(科学教研), 2008(13): 428-429.
- LI J Q, XU W. Cause analysis, repair and prevention measures of concrete cracks [J]. Science & Technology Information, 2008(13): 428-429. (in Chinese)
- [61] HARRER A, GAUDETTE P. Implementation of conservation approaches for heritage concrete [J]. MATEC Web of Conferences, 2025, 409: 00006.
- [62] 喻乐华, 李琳国, 管亮亮, 等. 水泥基材料中火山岩火山灰反应的效益[J]. 华东交通大学学报, 2015, 32(6): 38-43.
- YU L H, LI L G, GUAN L L, et al. Effect of pozzolanic reaction of volcanic rocks in cement-based material [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2015, 32(6): 38-43. (in Chinese)
- [63] CHEN Z Y, YANG X, WU Q X, et al. Research on the performance of modified shell ash mortar used for strengthening of historical masonry buildings [J]. Case Studies in Construction Materials, 2023, 18: e02139.
- [64] 宋丽莎, 贺焯萌. 浅谈混凝土中钢筋的锈蚀机理及预防措施[J]. 内蒙古公路与运输, 2015(3): 4-7.
- SONG L S, HE Y M. The corrosion mechanism and preventive measures of steel in concrete [J]. Highways & Transportation in Inner Mongolia, 2015(3): 4-7. (in Chinese)
- [65] 崔航, 施毕新, 褚云朋, 等. 古建筑木结构修缮加固技术研究[J]. 山西建筑, 2022, 48(6): 21-25.
- CUI H, SHI B X, CHU Y P, et al. Study on restoration and reinforcement techniques toward wooden structure of ancient architectures [J]. Shanxi Architecture, 2022, 48(6): 21-25. (in Chinese)
- [66] WALSH Z, JANEČEK E R, HODGKINSON J T, et al. Multifunctional supramolecular polymer networks as next-generation consolidants for archaeological wood conservation [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(50): 17743-17748.
- [67] 谌文武, 郭志谦, 徐彦荣, 等. 基于SH加固材料的土遗址夯土试样室内滴渗试验研究[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(8): 1517-1523.
- CHEN W W, GUO Z Q, XU Y R, et al. Laboratory tests on rammed earth samples of earthen sites instilled by reinforcement material SH [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 37(8): 1517-1523. (in Chinese)
- [68] DE ALMEIDA VALENÇA J M, DE ALMEIDA C A F P, BOTAS J L M, et al. Patch restoration method: A new concept for concrete heritage [J]. Construction and Building Materials, 2015, 101: 643-651.
- [69] 陈自敏, 冉志红, 张艳, 等. 改性环氧树脂灌注修复混凝土斜裂缝试验研究[J/OL]. 工程力学, 2025: 1-12. (2025-02-14). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=GCLX20250214006&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- CHEN Z M, RAN Z H, ZHANG Y, et al. Experimental study on repairing diagonal cracks in concrete structural members with modified epoxy resin infusion [J/OL].

Engineering Mechanics, 2025: 1-12. (2025-02-14). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=GCLX20250214006&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>. (in Chinese)

[70] 左盛, 杨国全. BIM技术在历史建筑保护中的应用探究[J/OL]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(27): 97-99.
ZUO S, YANG G Q. Research on the application of BIM technology in the protection of historical buildings[J/OL]. Theoretical Research in Urban Construction, 2024(27): 97-99. (in Chinese)

[71] 尚伟, 何聪, 郑小雪, 等. BIM技术在历史建筑保护中的应用: 以林祥谦烈士就义处修复工程为例[J]. 建筑经济, 2022, 43(增刊2): 307-311.
SHANG W, HE C, ZHENG X X, et al. Application of BIM technology in heritage building protection: Taking the restoration project of martyr Lin Xiangqian as an example [J]. Construction Economy, 2022, 43(Sup 2): 307-311. (in Chinese)

[72] 叶德才, 叶禾. 智能建造技术在历史建筑保护中的应用与挑战: 以青岛圣心修道院为例[J]. 建筑, 2024(9): 122-125.
YE D C, YE H. The application and challenge of intelligent construction technology in the protection of historical buildings: Taking Qingdao Sacred Heart Monastery as an example [J]. Construction and Architecture, 2024 (9): 122-125. (in Chinese)

[73] LIU B B, WU C, XU W X, et al. Emerging trends in GIS application on cultural heritage conservation: A review [J]. Heritage Science, 2024, 12: 139.

[74] CHEN M, ZHAO B, ZHAO H, et al. Character-defining elements comparison and heritage regeneration for the former command posts of the Jinan campaign: A case of Chinese rural revolutionary heritage [J]. Buildings, 2023, 13(8): 1923.

[75] 重大微生物岩土文物保护修复技术让瑞金红井纪念碑“修复如新”[EB/OL]. (2023-11-09)[2025-12-07]. https://app.cqrb.cn/economic/2023-11-09/1678097_pc.html.
The protection and restoration technology of major microbial geotechnical cultural relics makes Ruijin Hongjing Monument restore to like new [EB/OL]. (2023-11-09) [2025-12-07]. https://app.cqrb.cn/economic/2023-11-09/1678097_pc.html. (in Chinese)

[76] 杨阳, 刘汉龙, 张良帅, 等. 不可移动石质文物岩石理化性质研究: 以重庆市石佛寺遗址摩崖造像区为例[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2023, 45(3): 1-8.
YANG Y, LIU H L, ZHANG L S, et al. Physicochemical properties of immovable stone relics: a case study of Moya statue area of Shifosi Site in Chongqing [J]. Journal of Civil and Environmental Engineering, 2023, 45(3): 1-8. (in Chinese)

(编辑 XXX)