

# Green Performance Enhancement Approaches for Building Envelopes of Tibetan Dwellings in Heritage Conservation

Wei Xiong

Lhasa Municipality Design Group Co., Ltd., Lhasa, Xizang, 850032, China

## Abstract

Tibetan vernacular dwellings, as unique cultural heritage in plateau regions, hold significant importance for heritage conservation and sustainable development through enhancing the green performance of their building envelopes. This study integrates heritage conservation theory with green building criteria to systematically analyze the thermal performance characteristics and regionally adaptive design strategies of Tibetan dwelling envelopes. It proposes multidimensional enhancement pathways spanning material upgrades, structural optimization, and technological integration. Furthermore, to balance cultural continuity and performance improvement, a layered retrofit strategy of «core structural preservation + peripheral system modernization» is advocated. The research establishes a tripartite evaluation framework encompassing thermal performance, cultural compatibility, and economic viability, and develops a parametric design methodology for building envelopes based on regional climatic parameters.

## Keywords

Tibetan Dwellings; Heritage Conservation; Building Envelopes; Green Performance Enhancement Approaches

## 面向遗产保护的藏式民居围护结构绿色性能提升路径

熊卫

拉萨市设计集团有限公司, 中国 西藏 拉萨 850032

## 摘 要

藏式民居作为高原地区独特的文化遗产, 其围护结构的绿色性能提升对遗产保护与可持续发展具有重要意义。研究结合遗产保护理论与绿色建筑标准, 系统分析了藏式民居围护结构的热工性能特征及地域适应性设计策略。研究提出在材料、结构、技术集成等多维度层面提升路径; 同时, 以兼顾文化传承与性能提升, 需采用“核心构件保护+外围系统升级”的分层改造策略, 构建了包含热工性能、文化契合度、经济可行性的三维评价体系, 提出基于地域气候参数的围护结构参数化设计方法。

## 关键词

藏式民居; 围护结构; 绿色性能; 遗产保护; 技术路径

## 1 引言

藏式民居作为高原地区独特的文化遗产, 其建筑形态与地域文化深度融合, 展现了藏族人民适应高寒环境的智慧结晶。在气候条件严苛、建材技术受限的高原环境中, 藏式民居围护结构的热工性能与节能潜力尚未得到充分挖掘。在全球气候变暖与可持续发展理念深化的背景下, 提升藏式民居围护结构的绿色性能已成为文化遗产保护与生态协同发展的重要命题。本研究立足于遗产保护视角, 结合绿色建筑、建筑节能技术、可持续发展等理论, 旨在探索围护结构性能提升与文化传承的协同路径。

## 2 当前技术措施的问题与矛盾

针对藏地民居的绿色性能提升, 当前主流技术提升措施有: 新型复合保温体系包括新型保温装饰一体化构造、优化开窗比例与遮阳构造、太阳能-地热能复合供能系统与围

护结构优化结合、本地烧制粘土砖与掺入牦牛粪的改良夯土墙等新型复合夯土墙、本地建材的就地取材, 被动式通风廊道、双层中空夯土墙等。

传统建筑材料与构造方式的局限性, 是制约绿色性能提升的核心问题。藏式民居普遍采用夯土、木材与石材等天然材料, 虽具有良好的地域适应性与文化延续性, 但其热工性能与气密性存在明显不足, 尤其在严寒气候条件下, 围护结构的保温隔热能力难以满足现代节能标准。夯土墙体的导热系数较高, 导致冬季热损失显著, 而现代轻质材料的替代虽能改善热工性能, 却可能破坏建筑的历史肌理与文化表征<sup>[1]</sup>。

在相关技术集成路径中, 光伏-储能-地暖联供系统相较于独立太阳能热水系统, 能源综合利用效率显著提升, 但初期投资成本增加; 地源热泵系统在海拔 3500 米以上区域的适用性显示, 垂直埋管换热效率较水平埋管提升, 但需特别考虑冻融循环对管道材料的耐久性要求; 智能控制系统的

引入使建筑综合能耗降低,但对运维人员专业素养的要求成为技术推广的主要瓶颈。

藏区高原具有显著的昼夜温差大、日照时间长、紫外线强烈等气候特点,这要求围护结构需兼顾冬季保温、夏季通风与遮阳的多重功能。传统藏式民居通过深檐、小窗与厚重墙体实现被动式热调节,但面对极端气候波动与室内热舒适需求升级,现有构造方式已显不足。通过增设外遮阳系统、优化开窗比例及引入相变蓄热材料,可有效改善围护结构的热稳定性,但容易因过度干预导致建筑立面效果及历史文化特征的弱化。

遗产保护与绿色改造的技术协调性,是制约提升路径选择的重要因素。根据《文化遗产保护国际宪章》原则,任何技术干预都应遵循“最小干预”与“可逆性”准则,这与绿色改造中可能需要的结构加固或系统性更新形成矛盾。例如,屋顶光伏板的安装虽能提升能源自给率,但若破坏原有的建筑形制,则违背遗产保护原则。因此,需建立多目标优化模型,量化评估不同改造方案对文化遗产价值与绿色性能的综合影响,优先选择对建筑本体干扰最小、能产生协同效益的技术措施,如利用传统彩绘颜料的热反射特性,或改良夯土中黏土与碎石配比,以提升围护结构的保温性能。

技术经济可行性与地域建造传统的适配性亦构成现实制约。藏区地广人稀、建材运输成本高昂,且本地工匠多依赖传统营造技艺,这对新技术的推广与实施形成挑战。比如采用本地取材的改良夯土复合墙体,其建造成本低,且可依托传统夯筑工艺实现,显示出显著的经济与社会可行性。

### 3 解决策略

在面向遗产保护的前提下,单一技术措施难以实现建筑绿色性能与文化遗产价值的双重目标。材料改良类措施在文化延续性方面优势显著,但需通过现代工艺提升性能;结构优化措施具有较好的经济性,但需与传统建筑形制有机结合;技术集成方案虽能显著提升能效,但需建立适应高原环境的技术标准体系。本研究建议采用“核心构件保护+外围系统升级”的分层改造策略,优先在非核心区域应用新型技术,建立包含技术、管理、政策的三位一体提升体系。

## 4 提升路径

### 4.1 技术路径

#### 4.1.1 墙体构造

针对夯土墙热工性能不足的问题,可采用复合保温技术,通过在墙体内部嵌入轻质气凝胶板或纤维增强石膏板形成保温夹层,在保持原有承重结构与外观特征的同时提升保温性能。对于石砌墙体,可结合矿物基相变材料喷涂技术,利用其在昼夜温差较大的高原环境中实现蓄热调节。此外,通过在夯土中掺入牦牛毛纤维或玄武岩纤维进行材料改性,既能增强墙体抗剪切强度,又能改善孔隙率分布以优化保温性能<sup>[2]</sup>。

### 4.1.2 屋顶体系

针对传统平屋顶易积雪导致结构荷载过大的问题,可采用预应力钢筋网加固技术,在屋面结构层设置预应力筋网以分散荷载,并在保温层中嵌入导热系数低的发泡水泥板。为改善冬季室内热舒适性,可在屋顶坡度适宜的建筑物中增设倒置式保温层,将憎水性挤塑聚苯板置于防水层上方,通过数值模拟确定保温层厚度与屋面通风口尺寸的最优组合。对于传统彩画装饰的屋顶,可利用透光性光伏瓦片与传统纹样结合的复合材料,在不改变建筑风貌前提下实现太阳能利用。

#### 4.1.3 门窗系统

针对木格窗传热系数过高的问题,可采用双层中空玻璃与传统木框结合的复合窗型,通过窗框冷桥缝隙填充硅酮密封胶,并设多道密封条实现气密性提升;为维持室内自然通风,可在窗框上部设可调节穿孔板通风器;对于开敞式门廊,可引入智能调光玻璃技术,通过电致变色涂层,实现透光率的实时调节,同时结合风速传感器与自动控制系统,形成自适应遮阳体系。

#### 4.1.4 材料选择

材料选择与构造技术的协同优化是提升围护结构绿色性能的关键。应优先采用本地可再生材料,如利用青稞秸秆、牦牛粪等农业废弃物制备轻质保温砖,其导热系数低且具有良好的防火性能。对于传统黏土砖,可通过添加粉煤灰或火山灰矿物掺合料改善烧结性能,在降低生产能耗的同时提升材料抗冻融能力。

#### 4.1.5 施工工艺

在施工工艺方面,需建立传统匠作技艺与现代建造技术的衔接标准,例如采用3D打印技术复刻传统砖雕纹样,既保证装饰构件的形制精度,又减少手工雕刻的材料损耗;在保持藏式民居文化特质的基础上,构建具有地域适应性的围护结构绿色提升体系。

## 4.2 管理路径

政府应建立系统化的政策法规体系,明确围护结构绿色改造的技术标准与文化遗产保护要求,制定地方性规范文件;需建立跨部门协同机制,整合住建、文旅、民族宗教等部门职能,形成规划审批、施工监管、效益评估的全流程管理闭环,避免因部门职能交叉导致的改造标准冲突<sup>[3][4]</sup>。

同时,政府应构建基于全生命周期的管理机制。在改造实施阶段,需建立传统工艺与现代技术的融合管理机制,要求设计单位在采用新型保温材料或节能技术时,通过文化部门组织的专家论证,确保对建筑肌理与地域特色的最小干预;在施工过程中,应实施全过程监理制度;在运营维护阶段,需建立居民参与的长效管理机制,通过定期培训,提升使用者对绿色技术的维护能力;建立能耗与碳排放的动态监测档案,为后续性能优化提供数据支撑。

政府可通过设立专项基金与税收减免政策,引导企业

参与绿色建材研发与改造工程；在社区层面，建立居民利益共享机制，增强其参与改造的主动性；同时引入第三方专业机构，开展绿色性能认证，通过市场化激励推动改造项目的标准化实施；对于具有突出文化价值的遗产建筑，可探索“保护性改造+文化展示”的复合管理模式<sup>[5][6][7]</sup>。

通过建立动态优化的监测评估体系，形成管理路径闭环；结合居民满意度调查，构建多维度评估指标；基于数据分析结果，定期修订技术标准与管理规范，形成“评估-反馈-优化”的迭代机制。对于改造后出现的文化特征弱化或性能衰减等问题，应及时启动修复预案，确保绿色改造与遗产保护目标的动态平衡。

#### 4.3 政策路径

政策引导与制度保障是推动技术转化和模式创新的核心动力。政府及相关机构需从顶层设计出发，构建多层次、多维度的政策体系，以系统性思维破解现存瓶颈。首先，应建立差异化财政补贴与税收减免机制，针对不同海拔、气候分区及经济条件的地区制定精准扶持政策。例如，对采用被动式节能技术、可再生能源系统的民居改造项目提供阶梯式资金补贴，并对使用本地环保建材的企业给予增值税优惠。此外，可设立专项绿色建筑发展基金，通过政府引导、社会资本参与的模式，为低收入家庭提供低息贷款或以工代赈机会，降低居民改造经济压力。

政府需从顶层设计出发，构建多层次、多维度的政策体系，以系统性思维破解现存瓶颈，建立差异化财政补贴与税收减免机制，针对不同海拔、气候分区及经济条件的地区制定精准扶持政策；同时，需不断推动建立区域性建材数据库与技术推广平台，并通过示范工程验证技术适配性，形成可复制的高原民居绿色技术清单；强化跨部门协同治理与长效管理机制，由住建部门牵头，联合文化、生态、能源等部门成立专项工作组，统筹协调民居保护与绿色升级中的规划审批、文化遗产保护、生态补偿等事项；在项目实施阶段，推行“政府+科研机构+工匠协会”的三方协作模式，确保传统建造技艺与现代绿色技术有机融合；注重政策宣传与社区参与能力建设，通过编制通俗易懂的绿色改造手册、组织工匠培训与技能竞赛等形式，提升基层技术人员的专业水

平。此外，需建立改造项目全生命周期评估制度，通过物联网监测系统实时采集民居热工性能、能耗数据，定期评估政策实施成效并动态调整技术路线与补贴标准。

## 5 结语

藏式传统民居的围护结构具有显著的地域适应性特征，但受限于传统材料性能与建造技术的局限性，其保温隔热、气密性及采光通风等方面仍有提升空间。藏式民居围护结构的绿色性能提升，需遵循“传统智慧与现代技术融合”的核心原则，通过“技术、管理、政策”三大体系，构建多层级的被动式节能体系，达到材料创新、构造优化、系统协同的综合提升。另外，地域气候适应性与文脉保护应贯穿优化全过程，文化价值与技术性能的平衡是关键挑战；通过加强政策引导与多方协同机制建设，可以推动传统建筑保护与绿色建筑标准的衔接。未来可进一步研究建立长期性监测数据库，以评估改造技术的耐久性；开发适用于高原地区的“围护结构热工-环境-文化”复合评价体系，以及探索基于可再生能源的围护结构一体化系统，为藏式民居的绿色可持续发展提供系统性支撑，最终实现藏式民居在文化遗产与生态可持续发展之间的动态平衡。

## 参考文献

- [1] 许月.西藏林芝传统民居气候适应性研究——以夏季实测数据为主作为分析依据[D].华中科技大学, 2014.
- [2] 冷木吉.地域适应下农区藏式传统民居建筑环境与节能潜力研究[D].天津大学, 2017.
- [3] 李浩林.川西北地区传统藏式民居室内热环境对比优化分析[D].四川农业大学, 2024.
- [4] 程静月.基于外围护结构优化的川西北藏式民居室内热环境改善及节能研究[D].四川农业大学, 2024.
- [5] 余艳川.西北嘉绒藏式民居室内热环境优化研究[D].四川农业大学, 2018.
- [6] 杨玉严,李强,董学卓等.基于太阳能技术的西藏负能耗绿色建筑的设计[J].建筑节能, 2018(01):66-70.
- [7] 陈永爱.拉萨地区住宅光伏光热一体化系统设计与性能研究[D].天津大学, 2025.