

大顺碉楼砌体材料性能及传统营建工艺的工程解析

李司润

武汉文理学院，湖北武汉

摘要：重庆涪陵大顺碉楼作为巴渝地域文化与移民文化融合的典型建筑遗存，其空间布局与构造蕴含独特的工程技术智慧。本文通过实地调研、文献分析与案例解析，从工程技术视角系统研究大顺碉楼的空间布局原则、结构构造特征及防护工程技术体系，探讨其在地形适应、材料应用、结构安全及防御功能实现等方面的工程价值。针对当前碉楼保护与利用中的技术难题，提出基于传统工艺传承与现代工程技术结合的现代化再利用方案，包括结构加固、功能适配、环境改善等工程技术路径。研究成果为乡土建筑遗产的保护性修复与可持续利用提供工程技术层面的参考，为传统建筑技艺的现代化转化提供实践范式。

关键词：大顺碉楼；空间形制；工程技术；结构构造；保护性利用；现代化传承

Engineering Analysis of Masonry Material Properties and Traditional Construction Techniques of Dashun Watchtowers

Sirun Li

Wuhan University of Arts and Sciences, Wuhan, Hubei

Abstract: The Dashun Watchtowers in Fuling, Chongqing, as typical architectural relics integrating the regional culture of Bayu and immigrant culture, embody unique engineering wisdom in their spatial layout and structure. Based on field investigations, literature analysis, and case studies, this paper systematically studies the spatial layout principles, structural characteristics, and protective engineering systems of the Dashun Watchtowers from an engineering perspective, exploring their engineering value in terrain adaptation, material application, structural safety, and the realization of defensive functions. Aiming at the technical challenges in the current protection and utilization of the watchtowers, this paper proposes a modern reuse scheme combining traditional craft inheritance with modern engineering technology, including engineering technical paths such as structural reinforcement, functional adaptation, and environmental improvement. The research results provide engineering-level references for the protective restoration and sustainable utilization of vernacular architectural heritage, and offer a practical paradigm for the modern transformation of traditional architectural techniques.

Keywords: Dashun Watchtowers; Spatial form; Engineering technology; Structural configuration; Protective utilization; Modern inheritance

1 大顺碉楼的建筑空间布局与工程构造特征

1.1 地形适配的空间布局工程原则

大顺碉楼的建造严格遵循“因地制宜”的工程逻辑，充分利用山地地形条件构建兼具居住与防御功能的建筑体系。其空间布局以地形适应性为核心，形成了多层次的防御与生活空间整合模式，体现了传统建筑与自然环境协调共生的工程智慧[1,2]。

1.1.1 防御导向的选址工程策略

大顺碉楼均选址于地势较高的台地或坡地，利用山脉走向与复杂地形形成天然防御屏障，构建“易守难攻”的空间格局。选址过程中综合考量多重工程要素：一是地形坡度控制，优先选择 15° - 30° 的缓坡地带，既便于建筑基础施工，又能利用高差增强防御性；二是地质条件适配，建筑基底多选择岩层稳定或土层坚实的区域，通过夯实地基提高建筑整体稳定性；三是资源保障工程，选址必须临近耕地与水源，构建“自给自足”的补给系统，满足长期防御需求[3,4]。

1.1.2 功能整合的平面布局工程类型

受巴渝山地地形与生活需求影响，大顺碉楼形成了灵活多样的平面布局形式，其核心在于实现居住功能与防御功能的工程化整合。与北方礼制建筑的对称布局不同，大顺碉楼平面布局更注重功能实用性与地形适应性，形成了四种典型的空间组合工程模式[5,6]：

嵌入式布局将碉楼与普通住宅上下整合，采用“下居上防”的垂直功能分区，通过结构承重体系的一体化设计，实现居住空间与防御空间的有机衔接。附着式布局采用碉楼与住房紧密衔接的工程设计，通过共享墙体、连通通道等构造措施，实现使用便捷性与防御遮蔽性的统一。隔离式布局基于地形优势进行独立式设计，碉楼与住房保持一定安全距离，利用自然地形形成防御缓冲带。围合型布局为大型庄园的典型形式，采用“夯土围栏+角部碉楼”的工程构造，形成封闭性防御体系。典型

案例中，瞿九畴客家土楼采用四方状平面布局，占地面积约3000平方米，通过中轴线对称设计实现礼仪秩序与工程合理性的统一。建筑基础采用条石砌筑，夯土墙厚度达0.9米，内部设置“四厅相向，中涵一庭”的十字形空间结构，天井作为核心采光通风井，同时承担排水功能，地面采用泛水设计引导雨水排出。

1.2 虚实结合的建筑空间工程特征

大顺碉楼的空间构造体现了“实用与审美统一、防御与居住兼顾”的工程理念，通过虚实空间的有机组合，形成兼具安全性与舒适性的建筑环境，其工程特征主要体现在外部防护构造与内部空间营造两个维度。

1.2.1 防御导向的外部空间工程构造

大顺碉楼的外部空间构造以防御功能为核心，通过墙体结构、开窗设计、附属空间等工程措施，构建多层次的防护体系。建筑外观多呈正方形或矩形，单边长度5-10米，层数3-4层，檐口高度9-12米，这种体量设计既保证防御视野，又通过合理的高宽比确保结构稳定性。

墙体构造采用“夯土为主、砖石为辅”的工程技术，中小型碉楼外墙厚度0.6-0.8米，大型碉楼达1.0-1.5米，采用“三土三石”的夯筑工艺，部分关键部位掺入竹筋或碎瓷片增强整体性。墙体分为三段式构造：底层采用石砌基础，厚度比上部墙体增加20%，抵抗地下水侵蚀与地基沉降；中层为主体夯土层，采用夹板夯筑法，每层夯筑高度控制在20-30厘米，确保密实度；顶层为木结构坡屋顶，采用穿斗式构架与夯土墙衔接，形成稳固的承重体系。

附属空间的工程设计兼具实用与防御功能：檐下空间采用单挑或双挑构造，出檐长度0.8-1.5米，通过檩条与挑枋直接支撑，既保护墙面免受雨水侵蚀，又形成防御缓冲带；廊式空间采用木结构檐廊与挑廊设计，与厚实的夯土墙形成结构对比，挑廊出挑长度1.0-1.2米，采用穿枋插入墙体的固定方式，既增强采光通风，又可作为防御瞭望平台；挑

台空间通过穿枋挑出外墙1米左右，上部铺设木板或木棍形成工作区，兼具晾晒、储物与防御功能，结构设计简洁实用，施工便捷。

客家土楼作为独特类型，外立面采用更深厚的三合土土墙，厚度达1.2-1.5米，内部为木构住宅空间，这种“外刚内柔”的工程构造既满足防御需求，又保证居住舒适性。与福建客家土楼相比，大顺土楼构造更为精炼，适应重庆气候与地形条件，土墙采用“黄土+石灰+糯米浆”的改良配方，增强抗风化与防水性能[7,8]。

1.2.2 安居导向的内部空间工程构造

大顺碉楼的内部空间构造以居住舒适性为基础，通过结构优化、空间分割、设施配置等工程措施，实现防御功能与生活需求的平衡，其工程特征体现在结构体系、空间划分与功能适配三个方面。

结构体系采用“土木共构”与“纯砖石木构”两种类型。土木共构体系中，外部墙面采用夯筑材质，与底部石砌基础完整衔接，屋架采用穿斗式木结构，木柱与夯土墙共同承重，形成稳固的空间结构。纯砖石木构体系主要用于大型碉楼，采用砖石墙体与木构屋架组合，木柱、砖柱与外墙混合承重，增大空间尺度，部分建筑设置天井实现垂直空间贯通，增强采光通风效果。

碉楼内部空间的防御构造延续整体设计理念，外墙厚实密封，开窗小巧，采用对称布置增强结构稳定性。单开间、方形形制的碉楼以夯土墙为主，屋架和地板局部使用木构造，结构简洁实用；顶层空间功能多样，可满足瞭望、储物等需求，部分设置木质挑廊增强防御视野，挑廊分为单边、对边、单角、对角及环廊等形式，根据防御需求灵活布置。

2 大顺碉楼建筑空间形制的保护现状与工程技术问题

2.1 保护现状与工程隐患

2.1.1 建筑结构老化与损伤

实地调研显示，大顺碉楼普遍存在结构老化问题，主要表现为夯土墙风化、木构件腐朽、基础沉

降等工程隐患。由于建造年代久远，部分碉楼夯土墙表面出现裂缝、剥落现象，裂缝宽度最大达5厘米，深度延伸至墙体核心部位，影响结构整体性；木构件受潮湿气候影响，普遍存在腐朽、虫蛀问题，穿斗式构架的榫卯节点松动，部分木柱底部腐朽严重，承载力显著下降。

基础工程病害尤为突出，部分碉楼建于坡地，缺乏有效的地基加固措施，受雨水侵蚀与地质沉降影响，出现基础不均匀沉降，导致墙体倾斜，倾斜角度最大达 3° ，超出安全限值。屋顶结构普遍存在漏雨问题，小青瓦松动、破损，屋面防水层失效，雨水渗透导致夯土墙含水量过高，加速墙体风化和木构件腐朽。

2.1.2 保护意识薄弱导致的工程破坏

由于当地居民保护意识薄弱，许多碉楼在使用过程中遭到不合理改造，破坏了原有结构体系与工程构造。部分居民为满足现代生活需求，擅自拆除原有墙体、扩大门窗洞口，导致夯土墙承重结构受损；部分建筑新增混凝土构件与原有夯土结构衔接不当，形成应力集中，加剧墙体开裂；周边现代建筑的修建改变了原有地形与排水系统，导致部分碉楼处于积水环境，基础浸泡受损。

政府层面存在修护理念滞后的问题，部分地区为追求经济利益，开展“大拆大建”的新村建设，许多有价值的碉楼被拆除或改建，原有工程构造与空间格局遭到毁灭性破坏。王家湾民居前院厢房被拆除，新建两层楼房与原有碉楼风格不协调，同时改变了原有排水路径，导致碉楼基础受雨水侵蚀加剧。

2.1.3 生活设施缺失与工程适配性不足

大顺碉楼内部普遍缺乏现代生活设施，居住舒适性极差，尤其是仍作为居住空间使用的碉楼，存在诸多工程适配性问题。由于原有设计开窗较小，室内采光、通风不足，平均采光系数仅为0.5%-1.0%，低于国家居住建筑标准；室内无完善的给排水系统，污水随意排放，既影响居住环境，又加速建筑基础腐蚀；缺乏有效的保温隔热措施，夏季室

内温度比室外高出3-5℃，冬季则偏低4-6℃，热环境舒适度差。

人口老龄化加剧了设施适配性问题，碉楼内部缺少无障碍设施，楼梯坡度较大（部分达45°），老年人通行困难；缺乏消防设施，木构件密集区域存在严重消防安全隐患，灭火设施与水源不足，难以应对火灾风险。

2.1.4 产权矛盾与工程保护困境

大顺碉楼产权多为私产，部分为家族遗产或政府分配住房，产权分散导致保护责任难以落实。文物部门虽有保护职责，但缺乏对私有产权建筑的有效管理权限，居民为改善居住条件擅自改造建筑，破坏原有工程构造，文物保护与居民生活需求的矛盾突出。

由于居民生活困难、文化水平不高，参与保护的积极性极低，缺乏必要的日常维护资金与技术能力。碉楼的日常维护需要专业的工程技术支持，如夯土墙修补、木构件防腐、屋顶修缮等，但居民往往采用简单粗暴的方式进行维修，使用水泥砂浆修补夯土墙、用铁钉加固木构件等错误做法，加剧了建筑结构损伤。

2.2 现代化传承的工程技术需求

2.2.1 结构安全保障的技术需求

大顺碉楼的现代化传承首先需要解决结构安全问题，针对现存的墙体开裂、基础沉降、木构件腐朽等工程隐患，亟需研发适宜的加固技术。加固技术需兼顾结构安全性与传统风貌保护，避免过度干预，在保留原有工程构造的基础上提升结构稳定性[9]。

对于夯土墙裂缝，需要开发适合传统夯土材料的修补技术，确保修补材料与原有墙体兼容，避免因材料差异导致二次开裂；木构件腐朽需要采用防腐防虫技术，在不破坏原有构件的前提下提升耐久性；基础沉降需要通过地基加固技术，控制不均匀沉降，恢复建筑垂直度，确保结构安全。

2.2.2 功能适配改造的技术需求

为实现碉楼的可持续利用，需要通过工程

技术手段改造内部空间，适配现代生活功能。需在保留原有空间格局的基础上，进行功能优化设计，增设现代生活设施，提升居住舒适性与使用便捷性。

采光通风改善需要研发适宜的开窗改造技术，在不破坏墙体结构的前提下增大采光面积，或采用新型透光材料改善室内采光；给排水系统改造需设计隐蔽式管线布置方案，避免破坏原有建筑构造；保温隔热改造需开发与传统建筑兼容的节能技术，在不影响建筑风貌的前提下提升热环境舒适度。

2.2.3 传统工艺传承的技术需求

大顺碉楼的工程技术传承核心在于传统工艺的保护与创新，需要系统整理夯土筑墙、榫卯构造、屋面铺设等传统工艺，结合现代工程技术进行优化提升。传统夯土工艺需要改良配方，增强抗风化、防水性能；榫卯结构需要结合现代材料科学，提升节点稳定性与耐久性；传统屋面工艺需要与现代防水技术结合，解决漏雨问题。

同时需要建立传统工艺传承体系，培养专业技术人才，确保传统建筑技艺能够延续发展。通过技术创新，实现传统工艺与现代工程技术的有机融合，既保留传统建筑的工程智慧，又提升建筑的现代适应性。

2.2.4 可持续利用的技术需求

大顺碉楼的现代化传承需要实现保护与利用的良性循环，通过工程技术手段实现建筑的可持续利用。需根据碉楼的结构状况、空间特征，结合现代使用需求，制定个性化的再利用方案，实现功能转型与价值提升。

再利用过程中需要注重生态环境保护，采用绿色节能技术，降低建筑能耗，减少对环境的影响；需要建立长效的维护管理机制，开发便捷的日常维护技术，降低维护成本，确保建筑长期稳定使用；需要结合旅游开发、文化展示等功能，开发适宜的改造技术，实现文化价值与经济价值的统一。

3 大顺碣楼空间形制现代化传承的工程技术路径

3.1 结构加固与传统工艺传承的工程技术

3.1.1 夯土墙加固工程技术

针对大顺碣楼夯土墙开裂、剥落、风化等问题，采用“传统工艺+现代材料”的复合加固技术，在保留原有夯土肌理的基础上提升结构稳定性。首先对墙体裂缝进行处理，宽度小于0.5厘米的裂缝采用传统灰浆（黄土+石灰+糯米浆=6:3:1）灌注修补，宽度大于0.5厘米的裂缝采用“清理-嵌入竹筋-灰浆填充”的工艺，竹筋间距20厘米，长度超出裂缝两端各30厘米，增强裂缝衔接强度。

对于墙体风化剥落部位，采用“补夯法”进行修复，按照原有夯土配方（黄土+砂+石灰+稻草）制备夯土材料，采用小型夹板分层夯筑，每层夯筑厚度15-20厘米，夯击密实度不低于 $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ ，确保修复部位与原有墙体紧密结合。为提升夯土墙耐久性，在表面涂刷传统桐油与现代纳米硅烷复合保护层，既保留传统风貌，又增强防水抗风化性能。

对于倾斜墙体，采用“基础加固+墙体纠偏”的综合技术，首先通过注浆技术加固地基，采用水泥浆与粉煤灰混合浆液（配合比1:0.5），注浆孔间距1.5米，深度达到基础以下2米，提升地基承载力；然后采用缓慢纠偏法，通过设置千斤顶与支撑体系，逐步调整墙体垂直度，纠偏速度控制在每天 0.5° 以内，避免因纠偏过快导致墙体开裂。

3.1.2 木构件修复与防腐工程技术

木构件修复遵循“最小干预”原则，对腐朽程度较轻（腐朽面积小于30%）的构件，采用“剔除腐朽部分-防腐处理-填补修补”的工艺，剔除腐朽木材后，涂刷桐油与五氯酚钠复合防腐涂料，然后用环氧树脂与木屑混合材料填补缺损部位，确保修补部位与原有构件外形一致。

3.1.3 基础加固工程技术

针对基础沉降问题，采用“注浆加固+扩大基础”的工程技术，首先对基础周边土壤进行注浆处

理，采用水泥-水玻璃双液注浆，注浆压力控制在 $0.3\text{--}0.5\text{MPa}$ ，注浆孔布置在基础外侧1米处，间距1.2米，形成加固地基帷幕；然后在原有基础外侧增设混凝土扩大基础，扩大基础宽度为原有基础的1.5倍，厚度30厘米，采用植筋技术与原有基础连接，植筋深度15厘米，间距20厘米，确保新旧基础协同工作。

对于处于积水区域的基础，增设排水工程，在基础外侧设置碎石盲沟，盲沟宽度30厘米，深度低于基础底面50厘米，填充碎石粒径 $20\text{--}40\text{mm}$ ，盲沟坡度3%，将地下水引至周边排水渠，避免基础长期浸泡；基础表面涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料，增强抗渗性能，防止地下水侵蚀。

3.2 功能适配改造的工程技术方案

3.2.1 采光通风改善技术

在保留传统建筑风貌的前提下，采用多种技术手段改善室内采光通风条件。对于采光不足的空间，在非主要立面采用“隐形开窗”技术，开窗尺寸控制在 0.6×0.8 米以内，窗框采用实木材质，与墙体紧密结合，窗户采用双层玻璃（内层传统纸窗，外层low-e玻璃），既提升采光性能，又保留传统风貌；在天井顶部增设可开启式玻璃天窗，天窗面积控制在天井面积的30%以内，采用电动开启装置，根据室内采光需求调节开启角度。

通风改善采用“自然通风+机械辅助”的复合技术，优化室内空间气流组织，通过增设通风道（直径15厘米的陶管），连接室内与屋顶，形成垂直通风系统；在厨房、卫生间等区域设置静音排风扇，排风扇采用隐蔽式安装，与建筑装饰风格协调；利用穿堂风原理，合理布置门窗开启方向，提升自然通风效率，室内通风量达到3次/小时以上。

3.2.2 现代生活设施适配技术

给排水系统改造采用“隐蔽式管线”设计，给排水管道沿墙角、梁下布置，采用仿古装饰材料包裹，避免破坏原有建筑结构；给水管采用PE管（直径20mm），暗敷于墙体内部或地板下，接口采用热熔连接，确保密封性能；排水管采用UPVC

管（直径50mm），设置独立排水系统，污水经化粪池处理后排放，避免污染环境。

3.2.3 无障碍设施适配技术

针对人口老龄化问题，增设无障碍设施，提升通行安全性。楼梯改造采用“缓坡化”设计，将原有楼梯坡度从45°调整至30°，踏步高度控制在15厘米，宽度30厘米，增设实木扶手（高度90厘米），扶手表面打磨光滑，便于抓握；在楼梯两侧设置休息平台，每隔3级踏步设置一个宽1.2米的平台，方便老年人休息。

室内地面采用防滑处理，铺设仿古地砖（防滑系数 ≥ 0.6 ），地面坡度控制在1%以内，避免积水；增设紧急呼叫系统，在卧室、卫生间等关键区域设置呼叫按钮，连接至社区服务中心，确保老年人遇到紧急情况时能够及时求助；卫生间增设防滑扶手、坐便器等无障碍设施，提升使用便捷性。

保温隔热改造采用“内保温”技术，在室内墙面铺设传统草本纤维板（厚度20mm），纤维板内侧涂刷环保保温涂料，既提升保温隔热性能，又保留传统质感；屋顶增设保温层，采用挤塑板（厚度30mm）铺设在木望板上方，挤塑板上方铺设防水卷材，再铺设小青瓦，确保保温与防水双重效果；通过保温改造，使室内夏季温度降低3-5℃，冬季温度提升4-6℃，达到现代居住建筑热环境标准。

4 结论

重庆涪陵大顺碕楼作为巴渝地域文化与移民文化融合的建筑瑰宝，其空间布局与工程构造蕴含着丰富的传统建筑智慧，在地形适应、结构安全、防御功能与材料应用等方面展现出独特的工程技术

价值。通过系统研究发现，大顺碕楼采用“因地制宜”的选址策略、“功能整合”的平面布局、“虚实结合”的空间构造，构建了兼具居住与防御功能的建筑体系，其夯土筑墙、榫卯结构、屋面铺设等传统工艺，是我国乡土建筑工程技术的重要遗产。

未来的研究应进一步深化传统工艺的现代化转化，研发更多适宜乡土建筑的低成本、易操作的加固与改造技术；建立完善的技术标准体系，规范碕楼保护与利用的工程实践；加强多学科合作，结合建筑工程、材料科学、文化遗产保护等多领域知识，为传统建筑的可持续发展提供更全面的技术支持，让大顺碕楼所承载的建筑智慧与文化价值得以永久传承。

参考文献

- [1]张靓, 陈易, 庄葳. 从国际宪章视角论世界文化遗产保护的理论发展[J]. 住宅科技, 2012, 32(10): 32-35.
- [2]陆元鼎. 中国民居研究五十年[J]. 建筑学报, 2007(11): 66-69.
- [3]陈志华, 赵巍. 《关于乡土建筑遗产的宪章》[J]. 时代建筑, 2000(03): 20-24.
- [4]钱毅, 杜凡丁. 中国碕楼研究概述[J]. 建筑史, 2011.
- [5]季富政. 重庆碕楼类型演变[J]. 小重庆建筑, 2016(5): 5-8.
- [6]季富政. 四川碕楼民居文化综览[J]. 华中建筑, 1994(02): 26-32.
- [7]黄友良. 四川客家人的来源移入及分布[J]. 四川师范大学学报, 1992(11): 83-91.
- [8]舒莺, 刘志伟. 巴渝地区碕楼建筑历史演变与保护利用[J]. 重庆社会科学, 2018(10): 123-130.
- [9]梁静. 重庆涪陵地区穿斗架民居挑结构做法研究[J]. 建筑与文化, 2018(11): 212-213.

