古建筑木构件白蚁综合治理策略的耐久性与经济性研究

王 玲

宜宾市优创有害生物防治有限公司 四川 宜宾 644000

【摘 要】：江南地区明清古建筑木构件长期受高湿、通风不足及有机质积累影响，白蚁危害已由局部蛀蚀转向结构耐久性削弱。围绕耐久性与经济性协同目标，构建由304不锈钢网、球孢白僵菌制剂和氟虫腈微胶囊组成的综合治理策略，并引入生命周期成本与成本效益比进行评价。案例评估显示，综合治理策略实施后5年白蚁活动率由0%增至5%，明显低于传统化学防治方案的10%至30%；其生命周期成本为8.2万元，低于传统方案的12.5万元，成本效益比达到12.2，高于传统方案的6.4。结果表明，该策略能够在降低后期维护压力的同时提升古建筑木构件长期防护效果。

【关键词】：古建筑木构件；白蚁防治；耐久性；生命周期成本；综合治理

0 引言

江南地区明清古建筑以木构件承担主要结构功能，潮湿环境与隐蔽节点为白蚁滋生和扩散提供了条件。传统防治多依赖单一化学药剂，存在持效期有限、反复维护频繁及保护扰动风险。如何在不损害古建筑原真性的前提下提升防护周期、控制治理成本，成为木构文物保护中亟需解决的问题。

1 古建筑木构件白蚁危害现状与综合治理需求分析

江南地区明清古建筑多以梁架、斗栱、椽檩以及柱础上部木构件承担主要受力功能，长期处于高湿、通风不足以及有机质积累环境中，白蚁侵入后易沿木材纹理形成隐蔽蚁道。相关调查资料显示，江南地区明清古建筑木构件白蚁侵染率可达65%，危害已由局部蛀蚀转向结构耐久性削弱。现有治理仍偏重单一技术路径，化学防治依靠药剂屏障来开展灭治，但药效受雨水淋溶、木材吸附以及微生物降解影响，平均持效期仅3-5年，后续维护压力较大。生物防治在生态安全方面具有适配性，却因菌剂培养、诱饵布设以及持续监测成本较高，单位面积投入比化学防治高40%。鉴于古建筑保护需兼顾原真性、长期安全以及维护经费约束，把耐久性以及经济性纳入同一治理框架，已成为白蚁综合治理策略构建的现实需求。

2 耐久性与经济性导向的白蚁综合治理策略构建

2.1 基于耐久性的白蚁防治技术组合设计

江南地区明清古建筑木构件的白蚁防治，需要把木材含水率波动、地基潮气上返以及梁架节点隐蔽性纳入技术筛选范围。物理屏障可选用304不锈钢网作为基础隔离材料来开展构造阻断，其耐腐蚀性较强，网孔尺度能够限制白蚁穿越，在柱础周边、木柱入榫部位以及墙体木基层交接区布设后，设计寿命可达到20年以上，适宜承担长期防线功能。生物防治可选用球孢白僵菌制剂，球孢白僵菌属于昆虫病原真菌，能够借助孢子附着、萌发以及侵染过程削弱白蚁种群活性，持效期通常为5-8年，更适宜布设在潮湿暗角、蚁路活动频繁区以及不宜反复施药的木构件邻近空间。低毒化学缓释剂可选用氟虫腈微胶囊，微胶囊载体能够把有效成分释放过程拉长，减少一次性高浓度药剂对古建筑材料表面的扰动，持效期可达到8-10年。三类技术在防护机制上并不重叠，物理屏障侧重阻断入侵路径，生物制剂侧重种群压制，缓释化学剂侧重持续毒杀以及外部补防。由此形成物理屏障、生物制剂以及缓释化学剂协同运用的组合方案，可把短期灭治需求同长期耐久防护衔接

2.2 经济性优化的治理方案成本模型构建

古建筑白蚁治理的经济性评价不宜只核算单次施工支出，还需把后续监测、药剂补充以及局部构件复查纳入同一成本口径。生命周期成本模型可把治理方案在服务周期内发生的现金支出折算至基准年，初始投入涵盖304不锈钢网、球孢白僵菌制剂、氟虫腈微胶囊材料费以及现场施工人工费，长期维护成本涵盖红外复测、诱集点巡查、缓释剂补充以及生物制剂更新等费用。鉴于

古建筑维护经费通常具有年度分配特性，模型引入 5%的折现率来修正不同年份费用的时间价值。生命周期成本计算如下：

$$LCC = C_{\text{initial}} + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_{\text{maintenance},t}}{(1+r)^t}$$

其中，LCC 表示生命周期成本，单位为万元，C_{initial} 表示初始投入成本，单位为万元，$C_{\text{maintenance},t}$ 表示第 t 年维护成本，单位为万元，r 表示折现率，取值为 5%，t 表示治理后的年份，n 表示评价周期年限。

在获得生命周期成本后，需进一步把成本投入同防治收益进行对应。成本效益比可把白蚁抑制率当作效益指标来使用，用于比较不同组合方案在单位成本下形成的防治效率。其计算如下：

$$CER = \frac{\eta}{LCC}$$

其中，CER 表示成本效益比，单位为每万元对应的抑制率，η 表示白蚁抑制率，单位为%，LCC 表示生命周期成本，单位为万元。

2.3 综合治理策略实施流程设计

综合治理策略的实施需要围绕古建筑木构件的保护边界开展流程化组织，见图 1。前期检测环节应把红外热成像、敲击声学判读以及木材含水率测定结合起来，红外热成像主要用于识别白蚁巢穴以及隐蔽蚁道可能形成的异常热区，含水率测定则用于判断梁架端部、柱脚上方以及檐口木基层是否处于白蚁适生湿度范围。方案定制环节需依据检测结果划分高风险区、扩散风险区以及预防控制区，把 304 不锈钢网布设于基础交界以及地面返潮通道，把球孢白僵菌制剂布设于蚁路活跃且通风弱的位置，把氟虫腈微胶囊施用于构件周边土壤以及非彩绘木构件邻近缝隙。施工实施环节需控制开槽深度、药剂渗入范围以及木构件表面接触方式，避免对榫卯节点、彩画层以及历史修补痕迹造成额外扰动。定期监测环节应形成季度巡查以及年度复测的组合机制，并且依据诱集点取食量、红外异常区变化以及新鲜蚁泥出现情况调整维护频次。维护更新环节则依据材料寿命差异开展分级更新，使物理屏障长期保留，生物制剂以及缓释药剂按持效期进行补充。

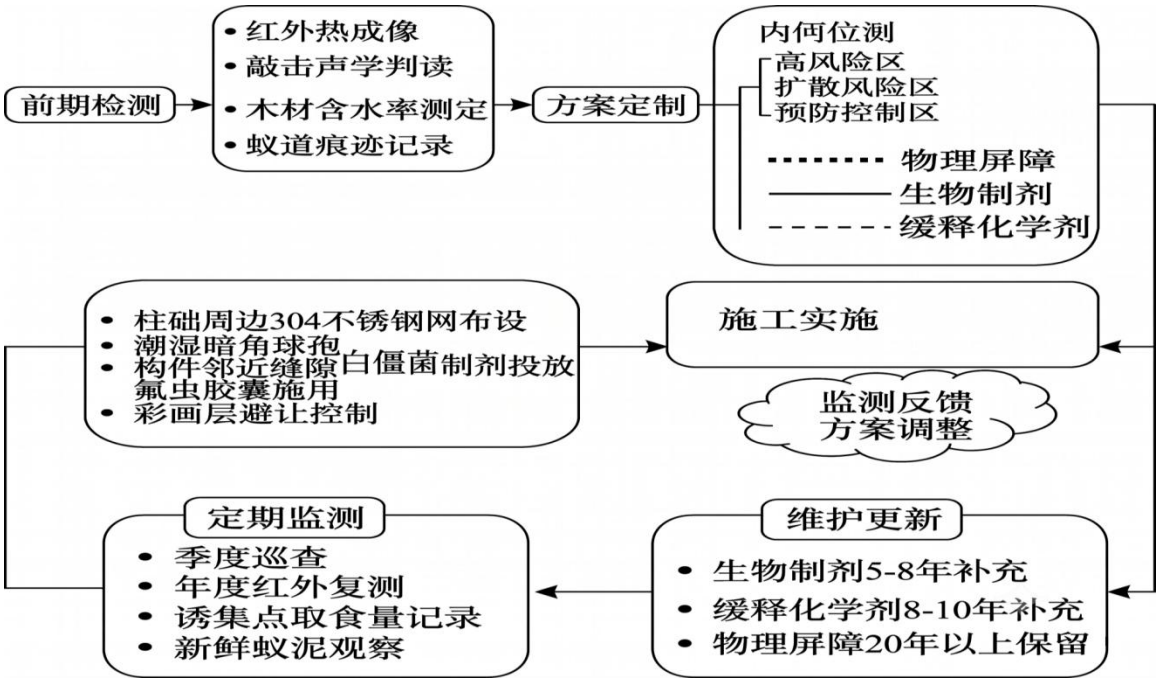

图 1 古建筑木构件白蚁综合治理实施流程图

3 综合治理策略的耐久性与经济性效果评估

3.1 耐久性效果评估

以江南地区 1 处明清古建木构建筑为案例对象，耐久性评估把治理后连续 5 年的白蚁活动率当作核心观察指标来使用。白蚁活动率指监测点中出现新鲜蚁泥、诱集取食痕迹以及红外异常复现的点位占比，能够较直接反映种群回迁以及隐蔽扩散状态。综

合治理策略实施后，第 1 年活动率为 0%，第 2 年为 1%，第 3 年为 2%，第 4 年为 3%，第 5 年为 5%，整体变化呈低位缓慢上升态势，说明 304 不锈钢网形成的路径阻断作用仍保持稳定，球孢白僵菌制剂对活跃蚁路的种群压制效果未出现明显衰减，氟虫腈微胶囊在构件邻近空间仍具备持续补防能力。与之相比，传统化学防治方案同期活动率分别为 10%、15%、20%、25%以及 30%，其增长幅度更为明显，主要缘由在于药剂屏障受潮湿环境、雨水淋溶以及木材吸附影响后，防护连续性较易削弱。结合 5 年监测序列来看，综合治理策略把阻断、压制以及缓释毒杀纳入同一防线体系，使古建筑木构件在高湿环境下获得更长的防护维持周期。

3.2 经济性效果评估

经济性评估围绕案例古建的 5 年服务周期开展，把初始施工投入、季度巡查、年度红外复测、诱集点维护以及药剂补充费用纳入统一成本口径。综合治理策略的生命周期成本为 8.2 万元，低于传统化学防治方案的 12.5 万元，成本差异主要来自维护频次以及补施药剂量的变化。传统方案在初期投入上相对较低，但后续需要依靠重复施药维持药剂屏障，受江南地区湿热环境以及木构件吸附特性影响，维护支出逐年增加。综合治理策略虽然在 304 不锈钢网以及生物制剂布设阶段形成一定前置投入，但物理屏障可长期保留，缓释药剂补充周期较长，因而把后续现金支出压缩在较稳定区间。结合表 1 可见，本策略 5 年白蚁活动率由 0%增至 5%，传统方案由 10%增至 30%，在耐久性差异已经形成的情况下，本策略成本效益比达到 12.2，传统方案为 6.4，表明单位治理成本所对应的抑制收益更高，更契合古建筑保护中长期安全以及经费约束并存的管理需求。

表 1　不同治理方案的耐久性与经济性对比表

治理方案	第 1 年活动率	第 2 年活动率	第 3 年活动率	第 4 年活动率	第 5 年活动率	生命周期成本	白蚁抑制率	成本效益比
综合治理策略	0%	1%	2%	3%	5%	8.2 万元	100%	12.2
传统化学防治方案	10%	15%	20%	25%	30%	12.5 万元	80%	6.4

4 结束语

面向江南地区明清古建筑木构件白蚁防治，应从单次灭治转向全过程综合管理。以物理阻断、生物压制和缓释药剂补防构成的协同体系，能够兼顾隐蔽部位防护、种群持续控制和后期维护优化。生命周期成本模型的引入，使治理方案选择具备更清晰的经济依据。后续实践中，还需结合不同建筑保存状态、环境湿度变化和监测数据反馈，持续优化布设尺度与维护周期。

参考文献

[1]尹立志.小型水库及 4、5 级堤防白蚁防治技术[J].安徽农学通报,2024,30(24):81-84.

[2]杜尚根,李冬虎,陈正峰,郭仁霞.苏中地区传统村落白蚁为害现状及防治对策分析[J].安徽农学通报,2024,30(24):77-80.

[3]杜文静,张飞,姜雪,张微,贺丹,刘瑶.疗养机构白蚁防治现状与措施探讨[J].中华卫生杀虫药械,2024,30(06):601-604.

[4]林江山.黑翅土白蚁的防治效果调查[J].安徽农学通报,2025,31(22):96-100.

[5]狄雅静.古建筑监测预警体系系统解决方案研究[J].故宫博物院院刊,2025,(10):214-225+278.

作者简介：王玲（1986—），女，汉族，高中，研究方向为白蚁防治。