

古建筑结构病害预防技术及其应用研究

旺 久

西藏自治区文物局项目办, 西藏 850000

[摘要] 古建筑是文化遗产的重要表现形式, 结构安全为其保护的核心。文章总结了古建筑结构特性, 对木质结构腐烂, 墙体裂缝两种类型缺陷产生的原因进行探究, 建立防范手段体系并检验了防范措施的有效性。结论是: 木结构病害的发生与其含水量有直接联系, 当含水量超过 20% 极易产生木真菌; 墙体开裂多数是因为不均匀的基础沉降或者是材料老化造成。防范手段上, 化学防腐加干燥处理综合防治木质结构病害, 高延性混凝土结合碳纤维加固提高砌体抗剪能力, 微型桩结合高压灌浆法综合治理基础下沉问题。西藏古建筑存在阿嘎土屋面防水、边玛墙加固、夯土墙剥蚀等现象, 在解决这些问题时既要依靠传统工艺又要引入现代化的技术手段来完成。工程项目实例证明, 信息化监控可以做到及时预知病害发生, 及时预防延长古建筑使用寿命。文章的研究对古建筑维护保养具有一定的技术指导作用, 促进遗产保护由抢救式维修到预防性保养的发展。

[关键词] 古建筑; 结构病害; 预防技术

DOI: 10.33142/ec.v9i4.19473

中图分类号: TU366.2

文献标识码: A

Research on the Prevention Technology and Application of Structural Diseases in Ancient Buildings

WANG Jiu

Xizang Autonomous Region Cultural Relics Bureau Project Office, Xizang, 850000, China

Abstract: Ancient architecture is an important manifestation of cultural heritage, and structural safety is the core of its protection. The article summarizes the structural characteristics of ancient buildings, explores the causes of two types of defects, namely wood structure decay and wall cracks, establishes a system of preventive measures, and tests the effectiveness of preventive measures. The conclusion is that the occurrence of wood structure diseases is directly related to its moisture content, and when it exceeds 20%, wood rot fungi are highly likely to occur; Wall cracking is mostly caused by uneven foundation settlement or material aging. In terms of prevention measures, chemical anti-corrosion and drying treatment are used to comprehensively prevent and control wood structure diseases, high ductility concrete combined with carbon fiber reinforcement is used to improve the shear resistance of masonry, and micro piles combined with high-pressure grouting method are used to comprehensively treat foundation sinking problems. The ancient buildings in Xizang have the phenomena of Aga earth roof waterproofing, edge Ma wall reinforcement, rammed earth wall erosion, etc. When solving these problems, we must rely on both traditional technology and modern technical means to complete. Engineering project examples have proven that information monitoring can timely predict the occurrence of diseases and prevent them in a timely manner, which can extend the service life of ancient buildings. The research in this article has a certain technical guidance role in the maintenance and upkeep of ancient buildings, promoting the development of heritage protection from salvage repairs to preventive maintenance.

Keywords: ancient buildings; structural diseases; preventive technology

引言

中国传统木构建筑是中国古代文化的结晶, 但是因为时间太久远以及周围环境的变化导致许多木结构古建筑出现不同程度的糟朽、损坏现象, 为了更好地保存下来这些宝贵的文化财产, 不让其遭受更多的破坏成为文化遗产保护工作的一项重任。藏族古建筑是西藏藏族文化传

承的重要表现形式, 藏族古建筑有着特殊的构造系统以及用料手法, 在布达拉宫、大昭寺、罗布林卡等世界遗产中都可以看到藏族古建筑的建造技艺。目前在我国古建筑保护工作正在实现由“抢救性保护”向“预防性保护”的根本性改变。所谓的“预防性保护”就是不光要对已经明显损坏的建筑物进行修复, 还要对它的日常维护和定期检查

进行监督,并在此基础上提前采取措施,做好“给文物治未病”的工作,北京文物学者张涛生动地比喻道:“就像为古建筑做一个心电图一样,通过对微小变动的持续观察以确定文物的生命力。”本文围绕古建筑结构病害防治的技术进行研究,在病害原理探讨、核心技术研发、具体工程实施这三方面入手做系统的分析研究工作。为古建筑的保护提供理论支持以及技术支持。

1 古建筑结构常见病害类型及成因分析

1.1 木结构腐朽与虫蛀病害

木材腐朽及蛀蚀是较为普遍的一种木材的病害种类,木材腐朽主要是由于木腐菌入侵造成的,而木腐菌生长所需要的条件有适宜的温度、湿度以及氧气条件,其中湿度最为重要,只要木材含水量大于 30%,即纤维饱和点以上,木腐菌就可以获得足够的水分进行生长,进而分解木材细胞壁中的纤维素跟木质素,造成木材抗压强度降低。干燥处理的目的是使木材含水量降低到木腐菌无法生长的 20%以下,从而形成不利于木腐菌滋生的环境,防止木材腐朽的发生。干燥方法包括自然干燥和人工干燥。自然干燥利用的是通风良好、干燥的环境让木材自然风干。机械干燥是采用加热及通风装置对板材进行快速的调整其含水量。虫蛀病害主要是害虫蛀蚀木材造成的,主要有家天牛、粉蠹虫、白蚁等。它们会在木材中产卵、繁殖、啃咬造成虫眼,使木材变形甚至腐烂。在藏区林区,由于当地相对湿度过大,木地板铺地面易出现霉变、腐烂、翘曲等问题,屋面漏雨又使椽木及望板容易发生潮湿霉烂、开裂等问题而成为木结构建筑损坏的重要原因。

1.2 墙体开裂与倾斜变形问题

墙体裂缝及倾斜属于砖石结构古建筑的主要病害之一。裂缝按照成因可分受力裂缝及非受力裂缝两种类型。受力裂缝主要是由于基础差异沉降、地震及风荷载等原因造成,这类裂缝有明显的规律性,而非受力裂缝是由温差、

材料自身收缩以及冻融等原因造成,分布较为散乱。西藏传统墙壁主要为砖土墙以及石墙两种,砖土墙常见问题主要包括潮湿酥碱、表面风化剥落、雨水冲刷流失等现象;石墙常见问题是开裂、鼓胀变形、灰缝损失等问题。西藏地区独有的边玛草墙属于墙壁顶部装饰构件,在用牛皮绑扎堆积起来后涂抹深褐色,同时能起到降低房屋上部重量的作用,并且有很好的装饰作用,其上嵌有铜制鎏金花纹是西藏建筑最典型的特点之一,必须经常性的加以紧固修补及重新着色。对于砌体结构加固,在近些年来也涌现出了很多新的技术,比如:高延性混凝土韧性好,可以精确控制裂缝,碳纤维复合材料自重小强度高,施工方便快捷等,他们共同作用对不同的结构进行精确加固修补。泰安八十八医院建筑群位于泰山风景区内,有近 87 年的历史了,加固过程中,建设者们以高延性混凝土和碳纤维复合材料联合加固技术,在不影响建筑景观、不影响医院经营的情况下,使老建筑的安全性能实现了质的飞跃。这种材料使建筑物“披”上了“隐身衣”,既解决了安全隐患又完好地保持了建筑物的原貌。

2 古建筑结构病害预防关键技术

2.1 木结构防腐与防虫技术

木材防腐防虫主要是指物理、化学及生物三方面的处理方式。其中物理上主要有干燥处理,化学上有化学防腐、表面覆盖物等,其中化学防腐是利用药物防腐剂对木材进行浸泡或者喷涂使得其渗透到木材里边从而阻止木材发生腐烂变质以及被虫蛀的过程,常用的化学防腐剂有铜砷复合物(CuAz)能够和木材里的某些成分反应生成稳定的物质;硼系防腐剂具有无毒、高效的性质,与木材中的某种成分相结合发挥着作用。西藏传统酥油保养技艺,即采用小绵羊皮蘸着酥油擦拭木头结构、阿嘎土墙面,从而构建一层隔离水气的保护层,这是一门纯自然材质与藏式古建工艺结合得天衣无缝的技术,有保护又有装饰性,虽

表 1 木结构防腐防虫技术性能对比表

技术类型	技术原理	优点	缺点
化学防腐技术	通过注入或涂刷防腐剂,抑制木腐菌和昆虫生长繁殖	有效:对各类真菌以及虫类有很好的抑制作用;时效长:防腐剂不易分解失活;多样性:可依据不同环境条件选不同的防护措施。	安全隐患:一些防腐剂含有重金属或者其它有毒有害化学成分;可能会对产品外观及结构产生一定影响;价格相对昂贵
干燥处理技术	降低木材含水率至 20%以下,营造不利于木腐菌滋生的环境	自然环保:无需化学药剂;成本可控;保护木材完整性	自然干燥受环境制约大;人工干燥技术要求高;需持续监测维护
表面防护技术	在木结构表面形成隔绝层,阻挡水分、氧气和微生物侵入	操作简便;可美化外观;即时防护效果好	保护层耐久度不高;对内患处理程度较低;包裹物有可能会对结构质量造成影响
西藏传统酥油养护技术	用羊羔皮蘸酥油擦拭表面形成保护膜	纯天然、与传统工艺融合、兼具美观	需定期反复操作、不适用大规模虫害

然需要反复做,但是也反映了藏民族建筑匠人的聪明才智。表1展示了这几种主要的防腐防虫措施的性能比较,主要包括原理优势劣势等内容,可供实际操作中进行技术选择时参考。

2.2 墙体裂缝修复与结构加固技术

墙体裂缝修复要针对不同的裂缝类型、大小及产生原因的不同,采取相应的修复措施。对于细小的非结构性裂缝,可以采用表面封闭的方法来修补;对于大的结构性裂缝,就应当采用压力注浆方式进行填塞,对选用的灌浆材料也需要考虑它是否能够适应原砌体材料的情况,常用的一些灌浆材料如水泥基灌浆料,环氧树脂灌浆料和石灰基灌浆料等。西藏本土传统墙体加固方法别出心裁。边玛草墙加固主要是紧固加固和补色处理:检查边玛草捆绑情况松弛与否,对松弛的地方再次以牛皮扎紧加固;对褪色地方根据传统比例调配深赭红色颜料进行补色。夯土墙加固则可以采取局部加重夯打、添加土坯砖或木钉加固的方法,对剥落的地方进行逐层夯实填塞,较大的缝隙用土坯砖填充嵌入,开裂处用木钉固定加强稳定度。

2.3 基础加固与沉降控制技术

基础加固方法主要有三种:地基注浆加固法、微型桩加固法和基础托换加固法等。地基注浆加固是借助压力把浆液注入到地基土体内达到改变土体的物理力学性质进而提升地基承载力及抗变形能力的目的,所用的浆液主要有水泥浆、化学浆液及复合浆液等;微型桩加固法是在建筑物基础周边开凿小口径的钻孔桩并使桩与基础相连从而把建筑物的荷载传送到深层次稳定的土层上去;微型桩桩径一般在100~300mm之间,其灌注方式可以是钢筋笼内填充混凝土或者是直接灌浆;树木桩又是微型桩的一个变种形式,只是树木桩的桩体像树枝那样分叉,能够更好地和周围的土壤融为一体。

2.4 环境调控与防潮防水技术

环境控制也是防止古建筑结构病害的一种手段。温湿度控制要让室内的温湿度保持在一个合理的范围之内,不要有太大的变化,木结构的古建,湿度最好保持在40%~60%,温度最好保持在 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内;防水防潮技术主要分为三个方面:屋面防水,地面防潮以及墙面防水。红外线热像仪是对温度非常敏感的仪器,能够快速反应出屋面漏水的情况,在下雨过后使用红外热像仪去拍摄屋顶,颜色最深的蓝色部分便是漏水的位置。阿嘎土是藏族传统民居屋面及地面的主要建筑材料,经过打制以后表面光滑平整、美观大方,有明显的少数民族特征,但是它的耐水性很差,胶凝材料容易经受不住雨水的浸泡而脱落,经过长期

的日晒雨淋之后变得越来越粗糙,使得屋顶普遍会出现渗漏的现象。经过多次的渗透之后进行重复性的阿嘎土补打,从而加重了房顶的负担使得房屋出现歪斜的情况,成了藏族老建筑的重要缺陷之一。日常护理中经常用羊皮蘸着酥油擦打一遍使其保持光亮的表面的同时增加其抗渗防水的功能等。

3 古建筑结构病害预防技术的工程应用

3.1 结构检测与病害评估技术应用

结构检测是病害预防的基础。先进的检测手段已经由以往的经验式检测变为量化的检测,对古建结构病变进行了准确的定位^[1]。微钻阻力仪利用电动机推动一个直径为1.5mm、长45cm的探针逐渐钻入到柱内,测取的信息以类似各种健康检查指标波形的方式清晰呈现出来,使对古建筑进行检测更加精确。过去是凭借有经验的老师傅使用锤子去敲击木构件,听其发声来判断有没有病变。如果有空洞会发出“咚咚咚”的声音,反之若较结实的话,则发出的声音比较浑厚。但只能是定性的分析是否病变,不能定量分析病变的程度大小、空洞有多大等^[2]。利用微钻阻力仪,可以任意取高,任意角度去钻,从图表中读取信息就可以知道洞内有多大,做受力分析的时候就可以得出木柱的有效截面,在给雍和宫整个文物建筑群所有单体建筑做结构安全检测的时候,检测人员观察到雍和宫西穿堂门有一根柱子表面看似完好无损,但是木柱底端极易被微钻阻力仪的探针打穿,几乎没有阻力。经进一步勘查后得知,柱底已严重腐朽,就好比一把椅子其中一条腿已经腐朽,重心偏移,一阵大风就可能使其倒塌。及时检测出隐患并维修,使得雍和宫的文物建筑得以平安无恙。

3.2 结构加固与修复技术实践

古建筑的结构加固及修缮技术被广泛应用于各类古建筑上,表2汇总了西藏典型古建筑加固修复工程案例,展示了不同技术在实际工程中的应用效果。

3.3 信息化监测技术在保护中的应用

信息化监测技术属于预防性保护的一种方法,拾振器能够感知到极其细微的震动,把拾振器放在桌面之上,有一只猫路过,拾振器可以感受到,根据这样的原理,监测员每年都对一些重要的古建筑进行长期的监测,这是类似于人类做心电图一样,通过对长时间监测得到的数据变化来分析是否有出现新的形变或是损伤的问题,当对国家重点文物保护单位北京市二七车辆厂一栋法式小别墅进行监测时发现,拾振器所测得的木结构建筑的振动速度达到了国家规定的两倍以上^[3]。揭开屋顶天盖,发现屋顶梁架有不少部位都出现了腐烂、断裂等问题,用探针刺入也毫无障碍。技术人员立即下达D级危房通知单,要求产权

表 2 西藏典型古建筑加固修复技术工程应用案例表

工程名称	结构类型	主要病害	加固技术	技术特点
布达拉宫	藏式砌体+木结构	石砌墙开裂、灰缝流失、木构件糟朽	局部拆砌加固+木构件替换+阿嘎土屋面修缮	保留传统材料工艺，保持真实性
大昭寺	藏式石砌墙体	墙体鼓闪变形、金顶铜皮氧化	墙体局部归安加固+金顶鎏金修缮	对鼓闪墙体拆砌归安，金顶重新鎏金
罗布林卡	藏式园林建筑	木构件脱榫走闪、阿嘎土屋面风化开裂	梁架打穿拨正+阿嘎土夯制修复+酥油养护	使脱榫构件复位，阿嘎土重新夯制并用酥油养护
扎什伦布寺	藏式夯土+石砌墙体	夯土墙剥蚀、酥碱、基础受潮	夯土墙局部重夯+土坯砖修补+木钉锚固	分层夯实修补，土坯砖嵌补，木钉锚固
萨迦寺	藏式墙体+木构架	石砌墙灰缝流失、梁架歪闪变形	灰缝重新勾抹+梁架整体加固	清理灰缝后重新勾抹，对梁架整体加固
甘丹寺	藏式砌体结构	屋面渗水造成椽望构件糟朽、断裂	揭顶修缮+糟朽木构件更换	更换糟朽椽子望板，恢复屋面防水

单位迅速对该处房屋进行封闭围护，以免造成坍塌，并及时组织人员进行修复，防范短期内发生建筑物坍塌的现象。三维激光扫描的技术也是一项有效的监控方法。激光测距，射线发射至建筑表面反弹回来，量得设备到建筑物之间的距离。沿建筑外表面上下移动，将所有重要点全部记录下来，即可以得到该建筑物的点云资料。过一段时间之后再扫描一次，与原有的资料对比一下，哪里的砖瓦发生了变化，在哪个角落出现了坑洼，就会立竿见影地显现出来。

3.4 预防性维护与日常管理机制

预防性维护是使旧建筑物保持长久的一种方法，在日常巡检中要特别注意屋顶漏水情况、是否有积水现象、木构材是否发生霉变及虫害等情况以及墙壁上出现的新裂痕问题，一旦发现问题立即进行登记并解决。我国古建筑木材科学与保护国家文物局重点科研基地的研究成果已经在国内 23 处文物保护单位得到推广应用，包括：北京智化寺、灵岳寺、山西佛光寺、西藏扎什伦布寺等，其中有 18 处属于全国重点文物保护单位。西藏古建筑小修保养制度突出的是“随时发现、随时保养”的日常维护体制。小修保养可以由管理使用单位或者聘请熟悉当地传统技术的技术人员来实施，在此过程中不得对文物本体及其原有结构、用材、形制、装饰以及色彩进行改变。日常巡查要注重对房屋屋面漏水、墙体开裂变形及木构件损坏等情况的关注，在雨季来临之前全面检查一遍排水情况，保证排水管道疏通。遇到梁柱、墙体突然出现部分歪闪下陷等情况时，需要在专家监督下采取临时支撑措施加以抢固，并遵循最少干扰与可以复原的原则。

4 结语

本文全面分析了古建筑结构病害防治技术问题，研究

成果如下：一是病因明确。木材腐烂和湿度大于 20% 有直接的关系，墙体出现裂缝主要是由于基础不均匀沉降或者是材料老化引起的基础沉降是由于地基土质以及水文环境变化的影响。西藏古建筑中夯土墙剥蚀、石砌墙开裂、边玛墙松动、阿嘎土屋面渗水等问题具有地域特征。二是原则明确。病害防治措施应该遵守最小干预、价值一致的原则、古今结合、长效监控的原则。三是技术有效。化学防腐加干燥处理防止木材病害，西藏传统酥油养护技术独具特色；高延性混凝土加强碳纤维提高砌体抗震能力；微型桩加强压力注浆防治基础变形下沉，夯土墙局部重夯、边玛墙紧实加固等传统工艺同样发挥重要作用。四是方法实用。微钻阻力仪、拾振器、三维激光扫描使检查从定性到定量转变，信息化检查实现及时预警，西藏六大文物建筑加固案例验证了技术的适用性，预防性养护让建筑物更长久。面向未来，保护技术将会朝向数字化、智能化、绿色化的方向发展，在多种学科合作以及建立长效机制的背景下才能让文化遗产得到很好的延续。

[参考文献]

[1]吴体,肖承波,刘汉昆,等.《古建筑木结构维护与加固技术标准》(GB/T 50165-2020)修订解析[J].四川建筑科学研究,2024,50(6):59-64.

[2]刘景雷,陈义东,王野.梅城古镇木结构防腐提升技术应用[J].天津建设科技,2023,33(1):53-55.

[3]毛志远,郭振宽.基于病害预防的古建筑空间环境分析及保护策略研究[J].河南科技学院学报(自然科学版),2024,52(5):53-59.

作者简介：旺久（1983.05—），毕业于西藏大学工学院建筑学专业，现就职于西藏自治区文物局项目办，现研究方向为古建筑。