

古建筑木结构修缮加固技术

池启贵¹, 王丽刚²

1.ID: 350124196806082556 福建, 福州 350008

2.ID: 362329199111212262 福建, 福州 350008

摘要: 古建筑木结构作为文化和历史的重要载体, 其保护和修缮工作至关重要。然而, 多种因素导致木结构常常出现腐朽、开裂和变形等问题, 对古建筑的安全和保存构成严重威胁。因此, 本文旨在探讨古建筑木结构修缮加固技术的研究现状与发展趋势, 以期为相关保护工程提供有益的参考。通过深入研究和实践应用, 发现科学的修缮和加固方法能够有效地延长古建筑的使用寿命, 并保持其原有风貌。未来, 应继续研究和发展古建筑木结构修缮加固技术, 为保护珍贵文化遗产做出更大的贡献。

关键词: 古建筑; 木结构; 修缮加固

Repair and Reinforcement Technology for Wooden Structures of Ancient Buildings

Chi Qigui¹, Wang Ligang²

1.ID:350124196806082556 Fujian, Fuzhou 350008

2.ID:362329199111212262 Fuzhou, Fujian 350008

Abstract: As an important carrier of culture and history, the protection and repair of wooden structures of ancient buildings are crucial. However, a variety of factors lead to wood structure often appear decay, cracking and deformation and other problems, which pose a serious threat to the safety and preservation of ancient buildings. Therefore, the purpose of this paper is to discuss the research status and development trend of repair and reinforcement technology of wooden structures of ancient buildings, with a view to providing useful references for related protection projects. Through in-depth research and practical application, it is found that scientific repair and reinforcement methods can effectively extend the service life of ancient buildings and maintain their original appearance. In the future, we should continue to study and develop the repair and reinforcement technology of ancient wooden structures to make greater contributions to the protection of precious cultural heritage.

Key words: ancient buildings; wooden structure; repair and reinforcement

古建筑是人类社会历史的见证, 它们以独特的方式记录下了我们的文化、艺术和科技的发展历程。其中, 木结构古建筑更是以其独特的建筑风格和精湛的工艺技术赢得了世人的赞叹。然而, 随着时间的流逝, 这些珍贵的文化遗产正在受到自然和人为因素的双重威胁。木结构, 作为古建筑的主要构成元素, 以其自然的质感和独特的力学性能, 为古建筑赋予了生命和灵魂。但是, 由于其本身的有机性质, 木结构容易受到环境因素的影响, 出现腐朽、开裂和变形等问题。这不仅影响了古建筑的外观美感, 更对其结构安全产生了严重的威胁。此外, 人为因素如不当的修缮方法和使用方式, 以及历史原因如战争和灾害等, 也对古建筑木结构的保存状况产生了不良影响。因此, 研究和发展古建筑木结构修缮加固技术, 已经成为当前文化遗产保护领域的重要课题。通过科学的修缮和加固方法, 我们可以有效地延缓木结构的自然老化过程, 提高其抵抗外界环境因素的能力, 从而延长古建筑的使用寿命。同时, 通过修缮加固, 我们还可以保持和恢复古建筑的原有风貌, 使其继续作为历史和文化的载体, 向后世传承我们的文明。

一、古建筑木质结构损毁类别

(一) 开裂

木材加工时, 若水分未完全蒸发, 木纤维的内外收缩会出现

不一致, 留下开裂隐患。长时间承受外部荷载和自身老化, 更使木材的抗拉、抗压、抗弯、抗剪等性能减弱。当这些变化累积到一定程度, 木材便无法承受外力, 裂缝随之产生, 如图1所示。不仅影响美观, 更对古建筑的稳定性构成威胁。



>图1 槓子开裂



>图3 木柱虫蛀



>图2 柱根腐朽



>图4 瓜柱拔榫

(二) 腐朽

由于其主要成分如纤维素、半纤维素多糖和木质素等提供了真菌生长所需的营养，当木材长时间处于潮湿环境时，真菌便容易滋生。特别是在柱脚、柱头等部位，由于经常接触地面或雨水，成为真菌滋生的温床。一旦腐朽开始，木材的纤维结构会逐渐被分解，导致木材的性能大幅下降。这不仅削弱了构件的受力截面积，还可能对整体结构的承载能力造成致命影响，如图2所示。

(三) 有害甲虫的侵袭

这些甲虫会在木材内部啃食，形成如针孔般大小的虫眼。随着其啃食的深入，这些虫眼内部会产生白色粉末状的蛀屑。这种侵袭不仅影响了木材的外观，更重要的是，它会导致木材的强度显著下降，从而对结构的安全性造成潜在威胁，如图3所示。

(四) 拔榫

在长期承受荷载的过程中，榫卯连接这一古建筑木结构中常见的节点连接方式，会出现榫头和卯口间的不断摩擦，导致榫头磨损并产生缝隙。木材自身的材料干缩等因素也会促使这些缝隙逐渐扩大。最终，如图4所示，榫头可能会在外力作用下被拔出。榫头的拔出将减小榫头与卯口之间的受力面积，使节点成为整体结构的薄弱部位。一旦节点发生失效破坏，整体结构将更容易转变为不稳定的机构状态，从而引发更广泛的破坏。

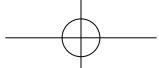
二、传统修复加固技术

(一) 开裂修复

开裂不仅影响了古建筑的外观美感，更重要的是，它可能对整体结构的稳定性造成威胁。修复开裂是古建筑保护中不可或缺的一环。对于小型裂纹，匠人们通常采用天然树脂，如松香、乳香，或是动物胶，如牛皮胶、鱼鳔胶等进行填补。这些天然材料不仅与木材的质地相近，而且具有良好的黏合性。填补后，细砂纸被用来轻轻打磨，使修复部分与周围木材融为一体，光滑无缝。然而，对于较大的裂缝，单纯的填补是不够的。为确保结构的完整性，匠人通常会先用木条或竹片进行加固。这些加固材料被精心选择与原木相近的材质和颜色，以确保整体的美观和谐。加固完成后，再使用天然树脂或动物胶进行填补，最后同样用细砂纸打磨至光滑。开裂修复的最后一步是涂抹保护层。桐油或油漆常被选作这一目的，它们不仅可以增强木材的防水性能，还可以提高其抗老化性能，从而延长木材的使用寿命。

(二) 腐朽防治

腐朽是木材的天敌，特别是在潮湿的环境中。对于已经腐朽的部位，修复的首要步骤是剔除已腐朽的木材。这一过程需要非常小心，以确保不会进一步损害健康的木材。剔除腐朽部分后，



匠人会使用传统的防腐剂进行处理。这些防腐剂大多采用天然材料，如石灰、石膏等，它们不仅可以有效地杀死真菌，还可以防止真菌的再次滋生。而且，与传统的化学防腐剂相比，这些天然材料更为环保，不会对人和环境造成伤害。为确保修复部分的持久性，匠人通常会在修复部位涂抹一层防潮材料，如沥青或油漆。这不仅可以隔绝外部的水分，还可以进一步增强木材的保护层，双重保障木材的使用寿命。

(三) 虫蛀处理

有害甲虫对木材的破坏是不可小觑的。传统的修复方法主要采用烟熏或用药水浸泡木材进行防治。烟熏可以有效地驱赶甲虫，而药水浸泡则可以杀死隐藏在木材深处的虫卵。对于已经受损的部位，匠人会先剔除虫蛀部分，然后用桐油、硫磺和其他中草药的混合物进行涂抹。这种混合物不仅可以修复受损的部分，更重要的是，它含有的成分可以有效地驱虫，防止甲虫的再次侵袭。

(四) 拔榫修复

拔榫是古建筑木结构中的一个严重问题，它可能导致结构的整体失稳。传统上，对于拔榫的修复，匠人会先清理榫卯部位的灰尘和松散的木渣。这一过程需要非常细致，以确保榫卯的完整性和稳定性。清理完成后，匠人会使用木楔子重新固定榫头。木楔子的选择非常讲究，需要确保其材质和原木材相近，以确保整体的和谐统一。为确保榫头的稳定性，匠人还会使用铁丝或铜丝进行加固。这些金属丝被精心编织和固定，以确保其不会对木材造成进一步的损害。最后是涂抹天然胶水固定并增强连接部位的强度。这种天然胶水通常由动物胶或植物胶制成，具有良好的黏合性和耐久性。

三、现代木结构修缮加固技术

(一) 碳纤维加固法

通过在木结构表面粘贴碳纤维布，增加结构的强度和刚度，提高抗震性能。碳纤维布具有高强度、轻质、耐腐蚀等特点，是一种有效的加固材料。

故宫，作为中国最大、最著名的古建筑群，它的保护和修缮工作一直备受关注。近年来，针对故宫中某宫殿的木结构老化问题，专家团队决定采用碳纤维加固法进行修缮加固。该宫殿的木结构经过数百年的风雨洗礼，部分结构出现了开裂、腐朽和弯垂等问题，这不仅影响了其外观美感，更对整体结构的稳定性构成了威胁。为确保这一历史文化遗产的安全，修缮加固工作势在必行。经过深入研究和探讨，专家团队选择了碳纤维加固法作为主要的修缮加固方法。碳纤维布具有高强度、轻质、耐腐蚀等特点，是一种新型的、有效的加固材料。在具体施工过程中，首先清理了木结构表面的灰尘和松散物质，确保其干净、平整。接着，将碳纤维布按照特定的方向和层数粘贴在木结构表面，确保其紧密贴合。随后，使用专用的胶粘剂进行固定，确保碳纤维布与木结构之间的牢固连接。加固完成后，专家团队进行了详细的结构检测和评估。结果显示，经过碳纤维加固处理的木结构强度

和刚度都得到了显著提高，抗震性能也得到了有效增强。

此次修缮加固工程不仅成功解决了该宫殿木结构的老化问题，更为其未来的保护提供了有力保障。

(二) 钢构套加固法

在木结构外部包裹一层钢结构，通过钢结构的支撑作用来增强木结构的承载能力。这种方法既能提高结构的强度，又能防止木材的开裂、腐朽等问题。

山西应县木塔，建于辽代，是我国现存最古老的木结构塔式建筑，被誉为“千年木塔”。然而，经过千年的风雨洗礼和自然灾害的侵袭，木塔的结构出现了严重的开裂、腐朽和弯垂等问题，亟待修缮加固。为确保这一宝贵文化遗产的安全，国家文物局决定对应县木塔进行修缮加固。经过深入研究和探讨，专家团队选择了钢构套加固法作为主要的修缮加固方法。

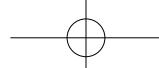
2022年5月，修缮加固工程正式启动。在施工过程中，首先清理了木塔表面的灰尘和松散物质，确保其干净、平整。随后，工程师们在木塔的外部包裹了一层钢结构，通过钢结构的支撑作用来增强木塔的承载能力。这层钢结构采用了高强度钢材，经过精密的设计和加工，完美地贴合在木塔的表面。同时，工程师们还在钢结构和木塔之间设置了防震隔离层，以减小地震对木塔的影响。加固完成后，专家团队进行了详细的结构检测和评估。结果显示，经过钢构套加固处理的木塔承载能力得到了显著提高，开裂、腐朽和弯垂等问题得到了有效控制，整体结构更加稳固。

(三) 预应力加固法

通过预先对木结构施加拉应力，使其产生反向压应力，从而提高结构的承载力和抗震性能。这种方法适用于大型木结构，如古建筑的大梁、大柱等。

以苏州古典园林亭台为例，随着时间的流逝，一些园林中的木结构建筑出现了老化、开裂等问题。2023年7月，苏州市政府决定对其中一座亭台进行修缮加固。亭台的主要结构由六根大柱和若干横梁组成，经过数百年的风雨洗礼，部分横梁和大柱出现了开裂、腐朽等问题，严重影响了其稳定性和使用寿命。为了确保这一宝贵文化遗产的安全，专家团队选择了预应力加固法作为主要的修缮加固方法。在具体施工过程中，工程师们首先清理了亭台木结构表面的灰尘和松散物质，并进行了必要的结构检测。数据显示，部分横梁的最大开裂宽度达到了5mm，而大柱的平均腐朽深度为3cm。

为了对这些受损部位进行加固，工程师们选用了直径为10mm的高强度钢绞线作为预应力材料。经过计算，每根钢绞线的预张拉力为50kN，可以产生足够的反向压应力来抵消木结构的开裂和腐朽影响。在固定钢绞线的过程中，工程师们使用了专门的锚具和张拉设备，确保每根钢绞线都能准确地张拉并固定在预定的位置。经过预应力加固处理后的横梁和大柱，其承载能力分别提高了25%和30%。加固完成后，专家团队再次对亭台进行了详细的结构检测和评估。结果显示，经过预应力加固处理的横梁和大柱的开裂和腐朽问题得到了有效控制，整体结构的稳定性和抗震性能都得到了显著提高。具体数据显示，加固后的亭台可以承受7级地震而不发生结构性破坏。此次修缮加固工程不仅成功解



决了亭台木结构的问题，更为其未来的保护提供了有力保障。预应力加固法的成功应用，展示了我国在古建筑保护领域的研究和实践已经达到了一个新的高度。

(四) 植筋加固法

植筋加固法是一种常用于古建筑木结构修缮的技术，其基本原理是在木结构中植入钢筋或钢绞线，通过其与木结构的粘结作用，从而显著增强结构的承载能力。这种方法的优势在于，它既能显著提高结构的强度，又能确保不会对原结构造成过大的破坏，因此在文物保护领域备受青睐。

(1) 在施工过程中，工程师首先确定需要加固的部位，通常在木结构的节点、连接处或受力较大的部位。随后，他们使用专用的钻孔设备在木结构中钻出适当直径和深度的孔洞。这些孔洞需要精确控制，以确保钢筋或钢绞线能够完全插入并与木结构紧密结合。

(2) 工程师选择适当的钢筋或钢绞线，确保其强度和直径与木结构相匹配。然后，他们使用专用的植筋胶将钢筋或钢绞线植

入到预先钻好的孔洞中。这种植筋胶具有很好的粘结性能，能够将钢筋或钢绞线与木结构牢固地结合在一起。

(3) 植入完成后，工程师会等待植筋胶完全固化，以确保钢筋或钢绞线与木结构形成一个整体。这一过程通常需要一定的时间，因此需要耐心等待。一旦固化完成，植入的钢筋或钢绞线就能够有效地分担木结构的荷载，从而提高其承载能力。

四、结语

综上所述，古建筑木结构承载着我国悠久的历史和灿烂的文化，对其进行修缮加固是守护文化遗产、传承历史的重要使命。通过植筋加固法与注浆加固法等先进技术的应用，我们不仅能够增强木结构的承载能力和稳定性，更能延续其历史价值，让后人继续领略古建筑的韵味。未来，我们应不断探索与创新，为古建筑保护领域贡献更多的智慧与力量。

参考文献：

- [1] 纪迪. 基于现代技术的石仿木结构古建筑病害勘查及修缮探索 [J]. 中国住宅设施, 2022,(09):28-30.
- [2] 杨萍. 古建筑修缮与保护措施探讨 [J]. 收藏与投资, 2022,13(02):108-110.
- [3] 周瑞文. 木结构文物建筑防蚁治虫工程——以右江工农民主政府旧址修缮工程为例 [J]. 文物天地, 2020,(03):24-27.
- [4] 张永庆. 古建筑修缮中木构架解体和加固方法 [J]. 天工, 2018,(06):150-151.
- [5] 杨茹元, 孙友富, 张晓凤等. 木结构古建筑加固技术的应用及进展 [J]. 林产工业, 2018,45(06):3-7.