

仿古建筑隔震加固研究

栾 昊

中国园林博物馆北京筹备办公室 北京 100072

摘 要：仿古建筑承载历史文化，但其结构形式复杂、材料特性明显、造型装饰精美，地震易损性高。基础隔震、消能减震、结构加固、多重抗震设防、碳纤维加固等技术是常用的仿古建筑隔震加固技术。同时，仿古建筑在方向防震设置、无粘接支持系统减震方面存在规划布局欠妥、材料性能不稳等问题，可通过科学规划、优化设计等措施解决。对仿古建筑隔震加固技术的研究和问题的解决，有助于提高仿古建筑抗震能力，保护历史文化遗产。

关键词：仿古建筑；隔震加固；抗震保护

引言：仿古建筑作为历史文化的重要载体，具有极高的文化、艺术和历史价值。然而，地震灾害对仿古建筑的安全构成了严重威胁。一旦遭受地震破坏，不仅会造成巨大的经济损失，更会导致不可挽回的文化损失，使民族的历史记忆和文化遗产出现断层。因此，对仿古建筑的隔震加固研究具有极其重要的现实意义。本文通过分析仿古建筑的特点及地震易损性，探讨常用的隔震加固技术，并针对现存的其他问题提出相应措施，旨在为仿古建筑的抗震保护提供理论依据和实践指导。

1 仿古建筑抗震设计的必要性

仿古建筑承载着丰富的历史文化内涵，是历史的见证和文化的象征。如中国园林博物馆是中国第一座以园林为主题的国家一级博物馆，是全面展示中国园林悠久历史、灿烂文化、多元功能以及辉煌成就的重要窗口，被誉为“有生命”的博物馆。一旦在地震中受损或倒塌，将造成不可挽回的文化损失，使中国园林的历史记忆和文化遗产出现断层。还有许多仿古建筑是旅游景点或公共活动场所，人员往来频繁。若仿古建筑抗震性能不足，地震发生时，建筑结构的破坏可能会对现场人员的生命安全构成严重威胁，导致大量的人员伤亡，造成巨大的社会悲剧。从建设角度看，仿古建筑的建造往往投入巨大，包括人力、物力和财力。若不进行抗震设计，一旦遭遇地震，建筑损坏甚至倒塌，不仅前期的建设投入付诸东流，后续的修复或重建还需耗费大量资金。从社会角度来看，如中国园林博物馆，是重要的科普、文化、旅游资源，若因地震受损，会影响当地旅游业及园林科普教育的发展，带来相应的间接经济损失和文化损失。随着社会的发展，人们对历史文化的重视程度不断提高，对仿古建筑的保护和利用需求也日益增加。抗震设计能够提高仿古建筑的安全性和耐久性，使其更好地适应现代社会的发展需求，为人们提供更多了

解历史文化的机会，促进文化传承和社会进步。

2 仿古建筑的特点及地震易损性

2.1 仿古建筑的特点

（1）结构形式复杂：仿古建筑多采用木构架体系，像抬梁式结构，通过层层叠叠的梁枋将屋顶重量传递到柱子上，常用于大型宫殿、庙宇等建筑，可营造出宏大的室内空间；穿斗式结构则是用穿枋将柱子串联起来，形成稳固的木构架，多见于民间小型建筑，用料较为节省^[1]。而榫卯连接是木构架体系的关键，这种连接方式使建筑具有一定柔性，能在一定程度上吸收和消耗外力能量，但也正因如此，在强震等极端外力作用下，节点容易出现松动、脱榫等问题。（2）材料特性明显：主要采用木材、砖石等材料。木材具有良好的韧性和弹性，能使建筑在一定程度上适应变形，但经过长时间的风吹日晒、虫蛀腐朽，木材的强度会大幅下降。砖石材料虽然坚固，但长期受自然侵蚀，也会出现开裂、风化等现象，影响墙体的整体性和承载能力。（3）造型与装饰精美：屋顶形式多样，有庑殿顶、歇山顶、悬山顶、硬山顶和各种攒尖顶等，不同的屋顶形式不仅具有独特的美学价值，还体现了建筑的等级和功能。建筑装饰上常运用木雕、石雕、彩绘等工艺，这些精美的装饰不仅是艺术的展现，也蕴含着丰富的文化内涵，但同时也增加了建筑的重量和地震时的潜在危险。

2.2 仿古建筑的地震易损性

（1）结构方面：除了榫卯节点易松动脱榫外，木构架体系的整体性在强震下也面临挑战。例如，当地震力超过结构的承受能力时，梁柱可能会发生倾斜、歪闪，甚至导致整个建筑坍塌。而且，仿古建筑的高度和体量较大时，其抗震能力会相对更弱。（2）材料方面：老化、腐朽的木材在地震作用下更容易折断，使结构失去支撑。砖石墙体的开裂则会降低其抗剪能力，在地震力

反复作用下, 砖石可能会脱落、倒塌, 进而危及整个建筑的安全。(3) 共振问题: 较长的自振周期使仿古建筑在地震中容易与地震波发生共振。一旦发生共振, 建筑的晃动幅度会显著增大, 结构所承受的地震力也会成倍增加, 这对建筑的结构构件和连接节点都会造成极大的破坏。为了保护仿古建筑, 需要采取有效的抗震措施, 如对结构进行加固、加强材料的防护和维护、通过技术手段调整建筑的自振周期等, 以提高其抗震能力, 使其能够更好地传承和弘扬传统文化。

3 仿古建筑隔震加固的常用技术

3.1 基础隔震技术

基础隔震技术作为仿古建筑隔震加固的重要手段, 核心在于在仿古建筑的基础与上部结构之间巧妙地设置隔震层。隔震层中的隔震橡胶支座是较为常见的部件, 由复合材料体和上、下连接件构成。其水平方向十分轻柔, 能够在地震发生时, 像一个“缓冲垫”一样, 有效隔离地震能量向上部房屋结构的输入。弹性滑板支座也是隔震层的常用组件之一, 它利用滑板之间的低摩擦特性, 使上部结构在地震时能够相对基础滑动, 从而耗散地震能量。以故宫博物院北院区为例, 运用了6种隔震支座和阻尼器产品, 尤其是隔震橡胶支座, 水平极限剪应变超过450%, 这也充分证明了基础隔震技术在大型建筑中的有效性。

3.2 消能减震技术

消能减震技术则是在仿古建筑的结构中设置消能器, 以此来消耗地震能量。其中, 粘滞阻尼器是利用粘滞流体的粘性阻力来耗散能量。当地震波传来, 结构发生振动时, 粘滞阻尼器内的流体在活塞的作用下流动, 产生与运动方向相反的阻尼力, 从而减小结构的振动幅度。摩擦阻尼器也是常用的消能器之一, 它通过摩擦片之间的摩擦作用来耗散能量^[2]。在地震作用下, 摩擦阻尼器的摩擦片会相对滑动, 将地震能量转化为热能散失掉。比如在一些仿古建筑的回廊或楼阁结构中, 设置粘滞阻尼器或摩擦阻尼器, 可以在不影响建筑外观和使用功能的前提下, 有效提高结构的抗震能力。

3.3 结构加固技术

结构加固技术主要是针对仿古建筑的薄弱部位进行强化。对于木构件, 采用碳纤维布加固是一种常见的方法。碳纤维布具有高强度、高弹性模量、重量轻等优点, 将其粘贴在木构件表面, 可以有效提高木构件的承载能力和抗震性能。比如在一些古戏台的木柱、木梁等部位粘贴碳纤维布, 既能增强结构的强度, 又能最大程度地保留古建筑的原貌。对于砖石墙体, 钢板加固是一

种有效的手段。通过在墙体表面安装钢板, 并采用螺栓或粘结等方式将其与墙体连接牢固, 可以提高墙体的抗剪、抗压能力。此外, 榫卯节点作为仿古建筑结构中的关键连接部位, 其连接强度直接关系到结构的稳定性。对榫卯节点进行修复和加强时, 可采用添加金属连接件、调整榫卯尺寸和形状等方法, 增强节点的连接强度, 使其在地震作用下能够更好地传递力, 保证结构的整体性。

3.4 仿古建筑多重抗震设防设计

在设计仿古建筑的抗震措施时, 专业人员需重视构建多层次的抗震防护机制。这包括选用具有良好延展性的构建部分, 它们可以通过协同作用来缓解和分散地震带来的冲击力。此外, 也可以利用冗余构件自身的变形和屈服来吸收大量的地震能量, 以及在其损坏后帮助维持结构的稳定性, 引导结构周期性地适应动态变化, 从而避免产生共振现象, 减少地震对仿古建筑可能造成的损害。这些多层次抗震防线包括: 首先, 建立一个有效的抗震系统^[3]。这一系统通常由多个具有良好延展性的子系统组成, 并通过延展性结构的相互配合运作。比如, “框架-抗震墙”系统就是由延展性框架和抗震墙共同组成的; “双肢”或“多肢”抗震墙系统则由多个“单肢墙”组合而成。其次, 设计仿古建筑的抗震结构时, 要特别加强内外结构的冗余度, 并设计一系列的“屈服区”, 以确保结构主体能够快速消耗地震能量。这种方法在结构遭受破坏时, 同样有助于后续的修复工作。在设计“框架-抗震墙”系统时, 设计者应全面考虑在遭受小、中、大地震后结构的完整性。确保即便连梁失去稳定性, 主体结构仍能保持承重能力, 保证建筑不会倒塌。

3.5 碳纤维加固技术

碳纤维加固主要包括碳纤维布加固、碳纤维板加固, 是仿古建筑工程中的一种新型结构加固技术, 主要是将抗拉强度极高的碳纤维用环氧树脂预浸成复合增强材料, 然后在原仿古建筑工程结构上用环氧树脂粘结剂黏贴复合增强材料, 促使其与原有的钢筋混凝土共同受力, 起到一定作用的增强仿古建筑工程结构抗裂、抗剪能力和增强结构强度、刚度、延伸性的作用效果。该技术的施工相对比较简单, 有助于节省空间, 而且也能保证良好的加固处理效果, 在加固处理后几乎不会对原有仿古建筑工程结构尺寸及自重造成影响, 且拥有良好的耐腐蚀性、耐久性能。在不断发展中碳纤维加固技术的应用也更加广泛, 尤其是在混凝土和钢筋混凝土结构加固处理方面拥有比较成熟的技术, 可以广泛地应用于混凝土结构抗弯、抗剪加固, 仿古建筑工程结构的防震、防裂、防腐补强, 混凝土结构物的

梁、柱、面板加固等。

4 仿古建筑存在的其他问题与措施

4.1 仿古建筑的方向防震设置

4.1.1 问题

(1) 规划布局缺乏方向防震考量: 一些仿古建筑在选址和规划时, 没有充分考虑当地的地震活动方向特性, 如未避开地震多发的断裂带方向等, 导致建筑在地震来临时面临更大风险。(2) 结构不对称: 部分仿古建筑为追求独特造型, 设计上存在结构不对称的情况, 使建筑在不同方向上的抗震能力差异较大, 地震时容易因受力不均而发生破坏。(3) 构件连接在方向防震上的不足: 如榫卯节点等连接方式, 在应对特定方向的地震力时, 可能出现连接松动、脱落等问题, 无法有效传递和分散地震能量。

4.1.2 措施

(1) 科学规划选址与布局: 在设计前, 对建筑场地进行详细的地震地质勘察, 明确地震活动方向和场地条件, 使仿古建筑的长轴方向尽量与地震主方向垂直或呈一定角度, 降低地震力的直接冲击。同时, 保证建筑布局规则对称, 使结构在各个方向上的刚度和质量分布均匀。(2) 优化结构设计: 采用加强结构整体性的设计方法, 如设置抗震圈梁、构造柱等, 增强建筑在不同方向上的协同工作能力。对于大跨度或悬挑等薄弱部位, 通过增加支撑、改变结构形式等方式, 提高其在各个方向的抗震性能。(3) 强化构件连接: 对榫卯节点等关键连接部位进行改进和加固, 可采用添加金属连接件、优化榫卯形状和尺寸等方法, 提高节点在不同方向上的抗剪、抗拉能力, 确保在地震作用下能可靠地传递和消耗能量。

4.2 仿古建筑无粘接支持系统的减震

4.2.1 问题

(1) 无粘接材料性能不稳定: 部分无粘接材料在长期使用过程中, 受环境因素如温度、湿度变化等影响, 其物理性能会发生改变, 导致减震效果下降。(2) 支持系统设计不合理: 无粘接支持系统的布置位置、数量和间距等设计不合理, 无法充分发挥减震作用, 在地震时不能有效耗散能量, 使建筑结构仍承受较大的地震力。

(3) 缺乏定期维护与检测: 仿古建筑建成后, 对无粘接支持系统缺乏定期的维护和检测, 难以及时发现材料老化、损坏等问题, 当遇到较强地震时, 系统可能无法正常工作。

4.2.2 措施

(1) 选用优质稳定的无粘接材料: 严格筛选无粘接材料, 选择具有良好耐久性、耐候性和稳定减震性能的产品^[4]。在材料使用前, 进行全面的性能测试和模拟实验, 确保其满足仿古建筑的减震要求。(2) 优化支持系统设计: 根据仿古建筑的结构特点、高度、重量等因素, 运用专业的结构分析软件, 精确计算和设计无粘接支持系统的布置方案, 合理确定支持系统的位置、数量和间距等参数, 使系统能在不同强度和频率的地震作用下, 有效地耗散能量, 降低结构的地震响应。(3) 建立完善的维护检测制度: 制定详细的无粘接支持系统维护检测计划, 定期对系统进行外观检查、性能测试等, 及时发现并处理材料老化、磨损、松动等问题。对于损坏严重的部件, 及时进行更换, 确保系统始终处于良好的工作状态。

结束语: 本文通过多种隔震加固技术的应用, 能够有效提高仿古建筑的抗震能力, 降低地震对其造成的破坏。同时针对仿古建筑在方向防震设置和无粘接支持系统减震等方面存在的问题, 采取科学合理的措施加以解决, 也至关重要。在未来的仿古建筑保护工作中, 应不断加强对隔震加固技术的研究和创新, 提高技术水平, 完善保护措施, 以更好地保护仿古建筑, 传承和弘扬优秀的历史文化。

参考文献

- [1]邓添华.建筑结构加固技术及施工技术要点探究[J].四川水泥,2020(7):149-150.
- [2]曹中才.结构加固技术在建筑施工中的有效利用[J].建材与装饰,2020(16):44+47.
- [3]张文龙,任文杰,付素娟,郝雨杭,刘果彤.仿古建筑的隔震加固研究[J].地震工程学报,2021,43(6):1444-1451.
- [4]张俊腾,尤文贵.民用建筑减隔震技术研究现状综述[J].建筑安全,2024,39(2):48-51.