

历史建筑结构的动态性能分析与抗震鉴定

张怀超¹, 张廷廷²

(1. 山东鲁勘集团有限公司, 山东 济南 250104;
2. 济南市建设监理有限公司, 山东 济南 250014)

摘要 历史建筑是文化遗产中的重要组成部分, 其承载着特定时期的社会、政治、经济和文化信息。然而, 随着岁月的流逝与自然灾害的频发, 这些珍贵的建筑遗产正面临着前所未有的挑战。地震作为最具破坏性的自然灾害之一, 对历史建筑结构的安全性与稳定性构成了严重威胁。本文认为开展历史建筑结构的动态性能分析与抗震鉴定工作, 不仅是对历史建筑遗产进行有效保护的关键所在, 也是推动文化遗产可持续发展的重要举措。

关键词 历史建筑结构; 动态性能; 抗震鉴定; 荷载; 应力

中图分类号: TU317

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.039

0 引言

动态性能分析作为结构工程领域的前沿技术, 通过对结构在动力荷载作用下的响应进行精确模拟与预测, 为结构的抗震性能评估提供了强有力的支持。而抗震鉴定, 则是基于动态性能分析的结果, 结合结构的具体特点与历史背景, 对结构的抗震能力进行综合评价与判断。这两项工作的有机结合, 能够帮助我们深入了解历史建筑在地震作用下的受力机制与破坏模式。

1 历史建筑的定义与保护原则

历史建筑作为城市记忆与地域文化的珍贵载体, 其定义与保护原则在《历史文化名城名镇名村保护条例》(2008 年国务院颁布) 中得到了明确界定。相较于文物建筑, 历史建筑虽未达到文物保护或不可移动文物的级别, 但它们同样承载着丰富的历史信息与地方特色, 是构成城市历史风貌不可或缺的一部分。因此, 历史建筑的认定与管理, 既需严谨细致, 又需兼顾灵活性, 以确保这些宝贵资源得到妥善保护与合理利用^[1]。在保护原则上, 历史建筑与文物建筑虽有一定共性, 如都强调保护其历史价值与文化意义, 但两者在具体实施上却存在显著差异。文物建筑的保护遵循“最小干预”原则, 即“不改变文物现状”, 任何利用行为都不得对其现状造成改变, 包括损毁、改建、添建或拆除等, 旨在维持其原真性与完整性。而历史建筑的保护则更为灵活, 虽同样强调不得拆除, 但在维修时, 只要保持其外形与风貌不变, 内部空间可以进行适应性改造, 以满足现代生活或功能需求。这一保护原则的差异化处理为其活化利用提供了可能, 使得历史建

筑在保护中得以重生, 成为连接过去与未来的桥梁, 为城市文化多样性与可持续发展贡献力量。因此, 在制定具体保护措施时, 应充分考虑历史建筑的特点, 平衡保护与发展的关系, 确保每一座历史建筑都能在新时代的浪潮中焕发新的生机与活力^[2]。

2 历史建筑结构的动态性能分析

2.1 荷载与外力的种类

在历史建筑结构的动态性能分析中, 荷载与外力的种类是不可或缺的重要考量因素。荷载这一术语在建筑结构领域特指那些能够引发结构或构件产生内力和变形的外力及其他影响因素。从广义上划分, 荷载主要分为竖向荷载和水平荷载两大类。竖向荷载, 如建筑物的自重、楼层活荷载等, 主要对结构的垂直方向产生影响; 而水平荷载, 如风力、地震力等, 则主要作用于结构的水平方向。长期应力可能导致结构的蠕变与疲劳损伤, 而短期应力则可能引发结构的瞬时变形与破坏。因此, 在结构设计中, 必须确保在固定荷载与临时荷载共同作用下, 结构支承上的长期与短期应力值均不超过各容许应力值, 以保障历史建筑结构的安全性及稳定性^[3]。

2.2 荷载与结构因素

在历史建筑结构的动态性能分析中, 荷载与结构因素之间的相互作用关系同样至关重要。由刚接构成的框架结构, 因其具有良好的整体刚度和稳定性, 成为历史建筑结构中常见的结构形式。在对应于竖向荷载的结构方式上, 框架结构相较于其他结构形式, 能够更有效地加长跨距或降低框架的重量, 从而满足历

史建筑在功能性与美观性方面的双重需求。而在对应于水平荷载方面, 框架结构中的刚接节点能够显著增强结构的水平承载能力, 成为补强框架结构抗震性能的关键因素^[4]。在地震等自然灾害发生时, 刚接框架结构能够有效地吸收和分散地震能量, 减少结构的破坏程度, 保护历史建筑的安全与完整。因此, 在历史建筑结构的动态性能分析中, 必须充分考虑荷载与结构因素之间的相互作用关系, 以确保结构设计的合理性与有效性。

2.3 连接点的种类

在历史建筑结构的动态性能分析中, 连接点的种类及其作用机制是深入探究的关键所在。连接点作为建筑结构中的核心组成部分, 主要包括支点和节点两大类。支承系统作为建筑结构与地基之间的核心传力界面, 其力学性能直接影响结构的整体稳定性和受力特征。不同类型的支承结构表现出独特的力学响应: 移动支座仅在垂直于位移自由度方向产生单一反力, 体现了约束与释放的力学平衡; 回转支座通过在两个正交方向上形成反力对来抵抗外部荷载, 但允许构件端部发生转动; 固定支座则通过在两个正交方向的约束力及抵抗转动的弯矩, 实现对构件六个自由度的完全约束。这些反力的存在, 不仅保证了建筑结构的稳定性, 还为其在动态荷载作用下的响应提供了重要的力学支撑。节点则是两支或两支以上构件的交点, 是建筑结构内部力流传递的重要枢纽。节点的连接方式、刚度和强度, 直接影响着建筑结构的整体性能。在历史建筑结构中, 节点的设计往往融合了传统工艺与现代技术, 既保留了建筑的历史韵味, 又满足了现代建筑对于安全性、耐久性和抗震性的要求。节点的连接方式多样, 包括焊接、螺栓连接、铆接等, 每种连接方式都有其独特的力学特性和应用场景。在动态荷载作用下, 节点的受力状态复杂多变, 需要对其进行精确的力学分析和计算, 以确保建筑结构的安全性和稳定性^[5]。

2.4 应力与变形

在历史建筑结构的动态性能分析中, 应力与变形机制是评估结构安全性的重要指标。应力作为材料内部抵抗外力的能力, 其大小和分布状态直接影响着建筑结构的强度和稳定性。轴方向力、剪力和弯矩是建筑结构中最常见的三种应力形式。建筑结构在外部荷载作用下产生的内力响应主要包括轴向力、剪力和弯矩三种基本形式。其中, 轴向力体现为沿构件纵向轴线方向的应力分布, 可分为使材料产生拉伸变形的拉应力和导致压缩变形的压应力; 剪力则表现为垂直于

构件轴线方向的切应力, 这种应力往往导致材料发生剪切变形甚至破坏; 弯矩作为使构件产生弯曲变形的力偶矩, 在结构截面上形成压拉应力分布。这些内力作用的综合效应直接反映在结构的变形特征上, 包括轴向伸长或压缩、横向位移以及构件挠曲等多种形式。通过对结构变形的精确测量和分析, 不仅能够评估结构的整体刚度和局部稳定性, 还可揭示内力分布规律, 为结构设计优化和安全性评估提供重要依据。在历史建筑结构中, 变形主要包括弹性变形和塑性变形两种。弹性变形是指结构在荷载作用下发生的可逆变形, 当荷载卸载后, 结构能够恢复到原始状态。塑性变形则是指结构在荷载作用下发生的不可逆变形, 当荷载卸载后, 结构无法恢复到原始状态。屈曲现象是塑性变形的一种极端表现, 当外力持续增加至某一临界值时, 结构会发生急剧的变形, 甚至导致结构失效^[6]。因此, 在历史建筑结构的动态性能分析中, 需要充分考虑应力与变形机制的影响, 以确保结构的安全性和稳定性。

3 历史建筑结构的抗震鉴定

3.1 钢筋后锚固技术的完善

在历史建筑结构的抗震鉴定与加固中, 钢筋后锚固技术作为一项关键技术, 发挥着举足轻重的作用。这一技术主要包括胀管螺栓锚固和植筋技术两大类, 植筋技术在抗震加固工程中展现出了独特优势。植筋技术的实施过程精细且严谨, 首先, 需要在待加固的构件上精确打孔, 这一步骤对孔位的准确性和孔径的大小有着严格要求, 以确保后续锚固效果。随后, 向孔内注入专用的粘结剂, 这种粘结剂的选择至关重要, 它直接关系到植筋的牢固程度与耐久性。目前, 市场上常用的粘结剂种类繁多, 既有以环氧树脂为基本材料的有机化学粘结剂, 凭借其优异的黏结性能和耐候性受到青睐; 也有采用无收缩快硬硅酸盐水泥为胶结料配制的“浆锚砂浆”, 以其强度高、固化速度快的特点, 在特定应用场景下表现出色。植筋技术的核心在于粘结剂与混凝土及钢筋之间的黏结作用。当粘结剂注入孔内并插入钢筋后, 随着粘结剂的凝结硬化, 钢筋与周围混凝土逐渐形成一个整体, 实现了有效的锚固。这一过程中, 粘结剂的黏结强度、钢筋的材质与直径、混凝土的强度与龄期等因素均会对植筋效果产生显著影响。因此, 在实施植筋技术时, 必须根据具体情况进行精确计算与细致施工, 以确保加固效果达到最佳。

3.2 粘钢、碳纤维加固技术

在结构加固领域, 粘钢与碳纤维加固技术作为两

种高效且创新的解决方案,正逐渐成为历史建筑保护与修复的重要手段。粘钢加固技术,其核心理念在于利用专用粘结剂,在被加固的混凝土构件表面精心涂刷,随后将精选的钢板与混凝土构件紧密结合,形成一个协同工作的整体。这一过程不仅要求粘结剂具备卓越的黏结性能,还需确保钢板与混凝土之间的界面黏结强度满足设计要求,从而确保加固后的构件能够显著提升承载能力,延长使用寿命。通过这一技术,原混凝土构件的受力性能得到有效改善,为历史建筑的抗震、抗风能力提升奠定了坚实基础。碳纤维加固技术同样依赖于粘结剂的作用,但所使用的加固材料由钢板转变为碳纤维片材。碳纤维片材以其高强度、高弹性模量、轻质及优异的耐腐蚀性脱颖而出,成为替代传统加固材料的理想选择。与钢板相比,碳纤维片材不仅施工更为便捷,减少了现场焊接等繁琐工序,还大大降低了加固后的结构自重,这对于历史建筑这类对荷载变化敏感的结构尤为重要。此外,碳纤维片材的耐腐蚀性使其能够在恶劣环境下长期保持性能稳定,进一步延长了加固效果的持久性。

3.3 变形缝和节点的加固

在地震频发的地区,变形缝与节点的加固成为历史建筑结构抗震性能提升的关键所在。变形缝作为结构体系中应对地震变形的重要构造措施,其宽度的合理设计至关重要。然而,早期建造的工程受限于当时的设计理念与施工技术,变形缝的宽度往往较小,如常见的 30 mm,甚至因施工误差而实际宽度更小。这样的宽度在强烈地震作用下,几乎无法有效避免结构间的碰撞破坏,从而威胁到整体结构的安全性。因此,在新建结构中,对于变形缝宽度的设定需充分考虑地震碰撞的影响,并呈现出加大的趋势,以适应更高的抗震需求。与此同时,结构节点作为梁柱交汇的核心连接区域,其抗震性能对整体结构的安全性具有决定性影响。然而,传统的加固技术如粘贴钢板、包覆碳纤维等方法在节点区域的应用存在诸多局限。施工过程中不可避免地破坏原有构件表面,影响结构整体性;为确保受力传递的连续性,加固材料需要在节点区域实现有效锚固和连接,这在空间受限的节点核心区往往难以实现。这种技术应用与实际需求之间的矛盾,直接制约了节点加固效果的发挥,也凸显了开发新型节点加固技术的迫切性。鉴于节点加固工程在结构抗震中的重要性及其固有的特殊性和复杂性,我们当前亟需深化对节点抗震加固方法的研究与实践。节点的抗震性能直接关系到整体结构的稳定性和安全性。因

此,我们必须探索更为精细且高效的加固技术,旨在实现钢筋与钢板在不破坏既有节点区结构完整性的前提下实现牢固连接。这要求我们在加固过程中,不仅要精准把握节点的受力特点和潜在的破坏模式,还需依据这些特性制定具有高度针对性的加固策略。深入分析节点在地震作用下的应力分布和变形特征,利用先进的计算模拟技术,预测并评估不同加固方案的效果。在此基础上,我们应开发和应用新型的连接技术和材料,如高性能粘结剂、特殊形状的连接件等,以确保加固后的节点能够显著提升其抗震承载力和变形能力,满足甚至超越当前的抗震设计规范。此外,我们还应关注加固施工过程中的质量控制与监测,确保加固效果达到预期,为结构整体的抗震安全提供坚实保障^[7]。

4 结束语

历史建筑结构的动态性能分析与抗震鉴定工作,是保护文化遗产、推动可持续发展的关键环节。通过深入研究与不断探索,不仅能够为历史建筑提供更加科学、有效的抗震加固方案,还能够为文化遗产的保护与传承贡献更多的智慧与力量。未来,随着科技的进步与研究的深入,历史建筑将焕发出更加璀璨的光芒,成为人类文明史上永恒的瑰宝。

参考文献:

- [1] 朱晓璇,孙沈鹏,王新新,等.基于分布式监测的历史建筑结构整体变形计算方法研究[J].建筑施工,2024,46(11):1825-1828.
- [2] 王小燕,曹力强,叶武平,等.历史建筑砖石结构修复用注浆材料的制备研究[J].新型建筑材料,2024,51(05):33-35,51.
- [3] 陈燕.优秀历史建筑的结构加固与风貌修缮施工技术[J].建筑施工,2024,46(04):515-518.
- [4] 施浩.关于历史建筑进行结构检测的几点建议:以汉口保元里修缮工程为例[J].工程建设与设计,2024(05):29-32.
- [5] 谢沐玄,潘晴炜,李轩,等.历史建筑性能化隔震设计方法初探[J].结构工程师,2020,36(03):206-214.
- [6] 石建光,郑雪峰,林树枝,等.灰缝厚度及水泥砂浆抹面对历史建筑砌体结构性能的影响[J].建筑科学与工程学报,2020,37(01):67-74.
- [7] 潘晴炜,尼凯黎,卢文胜.某历史建筑组合隔震性能评估[J].建筑结构,2018,48(S2):447-451.