

# 基于 BIM 的高层建筑结构振动监测技术

张磊

濮阳市科信建筑科技有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i1.4606

**[摘要]** 为了提高高层建筑的结构安全性与舒适度,本文分析了BIM(Building Information Modeling)技术在高层建筑结构振动监测中的应用。分析认为,传统的振动监测技术存在实时性差、准确性不足等问题,而BIM技术通过三维建模、实时数据采集与可视化呈现,能够显著提高振动监测的精确度和效率。鉴于此,建议进一步加强BIM与人工智能技术的融合应用,并通过精细化建模、合理布置传感器等措施,提升高层建筑振动监测的效果与可持续性。

**[关键词]** BIM; 高层建筑; 结构振动; 振动监测

中图分类号: TU97 文献标识码: A

## Vibration Identification Technology for High – Rise Building Structures Based on BIM

Lei Zhang

Puyang Kexin Construction Technology Co.

**[Abstract]** In order to enhance the structural safety and comfort of high-rise buildings, this paper analyzes the application of Building Information Modeling (BIM) technology in the vibration identification of high-rise building structures. The analysis reveals that traditional vibration monitoring techniques face issues such as poor real-time performance and insufficient accuracy. In contrast, BIM technology, through three-dimensional modeling, real-time data collection, and visual representation, significantly improves the precision and efficiency of vibration identification. Based on this, the paper suggests further strengthening the integration of BIM with artificial intelligence (AI) technology, as well as adopting measures such as detailed modeling and optimal sensor placement to improve the effectiveness and sustainability of vibration identification in high-rise buildings.

**[Key words]** BIM, High-Rise Building; Structural Vibration; Vibration Identification

### 引言

随着城市化进程的加速,高层建筑逐渐成为城市景观的重要组成部分。高层建筑的结构振动问题不仅直接影响建筑物的稳定性和安全性,还可能对建筑的使用功能和居民的舒适度产生负面影响。传统的振动监测技术常常受到设备、环境等因素的制约,难以高效、准确地实现对建筑结构振动的实时监控和早期预警。而BIM技术作为现代建筑行业中的创新工具,为高层建筑振动监测提供了新的解决方案。本文将探讨BIM技术在高层建筑结构振动监测中的应用,并分析其在提升振动监测效果方面的潜力。

### 1 振动对高层建筑结构的影响

#### 1.1 安全性影响

高层建筑在复杂的自然环境与使用过程中,振动对其安全性有着多维度且不可忽视的影响。从结构疲劳损伤角度来看,长期处于振动环境下,建筑结构会不断承受交变应力。在微观层

面,材料内部的晶体结构逐渐产生位错与滑移,随着时间的累积,这些微观损伤不断发展,形成宏观的裂纹。例如,钢梁在长期振动下,其焊缝处极易出现疲劳裂纹,当裂纹扩展到一定程度,就会削弱钢梁的承载能力,严重时甚至导致钢梁断裂。从关键构件破坏方面分析,在地震、强风等极端荷载引发的强烈振动作用下,高层建筑的关键构件也会受到严重影响。其中,核心筒作为高层建筑抵抗水平力的重要结构,在振动中会承受巨大的剪力和弯矩。当振动超过其设计承受范围,核心筒的墙体可能出现裂缝、剥落甚至局部坍塌。

#### 1.2 稳定性影响

振动对高层建筑稳定性的影响是一个渐进且危险的过程。共振现象是导致高层建筑失稳的关键因素之一。当外界激励的频率接近或等于高层建筑结构的固有频率时,就会发生共振。此时,结构的振幅会急剧增大。结构的内力分布也会发生巨大变化,超过材料的屈服强度,从而使结构失去稳定平衡状态,有倒塌的

风险。此外,振动的累积效应同样不容忽视。在日常使用中,高层建筑会受到各种微小振动的持续作用,如交通振动、设备振动等。这些微小振动虽然单次作用的影响看似微不足道,但长期积累下来,会逐渐削弱结构的刚度和承载能力。结构的变形会不断累加,导致结构的几何形状发生改变,从而降低结构的稳定性。

### 1.3 舒适度影响

在高层建筑的高层区域,由于结构的柔性较大,振动响应更为显著,居住者或使用者可能会感觉如同置身于摇晃的船舱中。长期暴露于低频振动环境中,会刺激人体前庭系统,引发头晕、恶心、呕吐等应激反应,严重影响生理机能和健康状况。从心理层面分析,长期处于振动环境中可能对心理健康产生负面影响。在居住环境中,居民因频繁感受到建筑振动而对建筑安全性产生忧虑,这种心理压力可能导致焦虑、失眠等问题,长期积累甚至可能引发心理疾病。

## 2 高层建筑结构振动监测中应用BIM技术的优势

### 2.1 直观呈现振动情况

在高层建筑结构振动监测领域,BIM技术凭借其强大的三维建模与可视化能力,为振动情况的直观呈现开辟了新路径。传统的振动分析结果多以数据表格和抽象图形展示,对于非专业人员理解起来颇具难度。而BIM技术能够构建出与实际建筑1:1对应的三维模型,将振动监测所获取的数据,如位移、速度、加速度等参数,以直观的方式映射到模型上<sup>[1]</sup>。通过色彩渲染,不同振动强度区域可以用不同颜色区分,使结构的振动分布一目了然;借助动态模拟功能,能够以动画形式展示建筑在不同振动工况下的实时变形过程,就像将建筑结构的振动“可视化”,让工程师和相关人员能更直观地把握振动的整体态势和局部特征。

### 2.2 实时监测优势

在高层建筑结构振动监测方面,BIM技术展现出了卓越的性能。通过集成各类先进的传感器,BIM系统能够实时采集建筑结构的振动数据。这些传感器分布于建筑的关键部位,如核心筒、框架梁节点等,持续监测结构的振动状态。采集到的数据会立即传输至BIM模型中,与模型中的结构信息进行实时关联分析。一旦振动参数超出预设的正常范围,系统会迅速捕捉到异常信号,并通过可视化界面和预警提示,及时告知相关人员。例如,在遭遇突发强风时,传感器能第一时间感知到结构振动的变化,BIM系统即刻响应,快速分析振动数据,为管理人员提供实时的结构安全评估,使其能够根据实际情况及时采取应对措施,有效避免因振动异常而引发的安全事故,保障建筑的安全运营。

某500m高层建筑采用BIM-物联网系统,将传感器数据与BIM模型关联构建三维振动可视化系统,实现实时监测。其数据传输时延从传统加速度传感器的10秒降低至2秒,不同方法的数据传输时延对比(见表1),大大提高了响应效率,能更及时地发现振动异常情况并预警。

表1 不同传感器系统的数据传输延迟比较

方法	数据传输时延(秒)	适用范围
传统加速度传感器	10	关键结构部位
MEMS传感器	5	大规模部署
FBG光纤传感	3	长期监测
BIM-物联网平台	2	实时监测

### 2.3 整合全生命周期信息

BIM技术在高层建筑结构振动监测中的独特优势之一是能够整合建筑全生命周期的各类信息。从设计阶段起,BIM模型便承载了建筑结构的材料特性、荷载取值等关键信息,为后续振动分析提供了基础数据。在施工阶段,实际施工过程中记录的参数,如构件的安装偏差、混凝土的实际强度等,也可以被纳入BIM模型。这使得BIM模型能够更真实地反映建筑结构的实际状态,提升振动分析的准确性。

在建筑运营阶段,振动监测数据、维护记录和结构变化信息将不断丰富BIM模型。通过持续更新和维护这些数据,BIM技术可以更全面地理解建筑在不同生命周期阶段的特征变化。这种信息的整合使得振动监测不再仅仅依赖于实时监测数据,而能够综合考虑建筑从设计、施工到运营的各个方面的历史数据<sup>[2]</sup>,从而更准确地分析振动的原因、发展趋势及其对结构性能的长期影响。

### 2.4 保障振动信息快速传递

在高层建筑结构振动监测工作中,多参与方之间的信息高效传递至关重要,而BIM技术恰好能够满足这一需求。传统的信息传递方式存在信息碎片化、沟通不及时等问题,严重影响工作效率。BIM技术构建了一个统一的信息共享平台,将设计单位、施工单位、监测单位和运营管理部门等各方紧密联系在一起。在振动监测过程中,无论是振动监测数据的更新,还是对振动分析结果的讨论,各方都能在这个平台上实时获取最新信息。例如,监测单位获取到新的振动数据后,能立即上传至BIM平台,设计单位和运营管理部门可同步查看并进行分析讨论。

## 3 应用BIM技术提高高层建筑结构振动监测效果的建议

### 3.1 针对关键构件精细化建模

在基于BIM的高层建筑振动监测体系里,对核心筒、主承重梁柱等关键构件进行精细化建模极为重要。依据结构力学原理和设计规范,利用专业软件模拟整体结构,精确确定关键传力构件。建模时,详细录入材料、几何及构造参数,关注核心筒内部构造对刚度的影响,合理选择节点连接模型。并通过多工况振动仿真和实测数据验证、优化模型,为振动监测提供可靠数字基础<sup>[3]</sup>。

### 3.2 合理布置传感器提升数据采集效果

构建高效振动监测系统,要科学规划传感器网络。借助结构模态分析和振型参与系数计算,采用EI-MAC综合优化法(Elemental Modal Assurance Criterion)确定传感器最佳布点。重点监测结构顶部、底部及刚度突变楼层,形成立体监测网络<sup>[4]</sup>。根据需求选配合适的传感器,如低频响应好的加速度传感器、高分辨率位移计等。在系统集成时做好抗干扰设计,建立全生命周期质量保障体系,确保在复杂环境下稳定采集高质量数据。不同监测方案在成本、精度和适用性上各有差异(见表2)。

表2 振动监测系统传感器方案的成本与精度分析

方法	每1000 m <sup>2</sup> 成本(万元)	数据精度(%)	成本	适用性	代表案例
传统加速度传感器	30	95	高	适用于关键结构部位	上海中心大厦
MEMS传感器	18	90	低	适用于大规模部署	广州东塔
FBG光纤传感	25	96	中	适用于长期监测	北京大兴机场
BIM-物联网平台	22	93	中	适用于实时监测	深圳平安金融中心

从表2中数据可知, MEMS传感器(Micro-Electro-Mechanical Systems)结合BIM的方案成本相对较低,每1000m<sup>2</sup>成本约18万元,且适用性广泛,数据精度能保持在90%以上,在大规模部署场景中具有一定优势;传统加速度传感器虽然数据精度可达95%,但每1000m<sup>2</sup>成本高达30万元,适用于对关键结构部位监测精度要求极高的场景;FBG光纤传感(Fiber Bragg Grating)方案成本适中,为每1000m<sup>2</sup>25万元,数据精度96%,适合长期监测;BIM-物联网平台每1000m<sup>2</sup>成本22万元,数据精度93%,在实时监测方面表现出色,如深圳平安金融中心采用该方案实现了高效的实时监测。在实际应用中,可根据项目的具体需求和预算选择合适的方案。

### 3.3 强化BIM与人工智能融合应用

为推动振动监测技术发展,需构建BIM与人工智能协同平台。整合BIM模型信息和振动监测数据,建立多源异构数据库。针对振动信号特点,设计融合时频分析和深度学习的算法框架,如用小波包变换提取特征,结合改进型GCN(Graph Convolutional Networks)捕捉结构损伤规律<sup>[5]</sup>。通过构建丰富样本库训练算法,解决样本不平衡问题。开发模型解释模块,提升识别结果可解释性。借助开放式接口,实现智能算法与BIM模型动态交互,打造智能监测体系。

### 3.4 建立历史振动数据库实现长期监测

建立长效监测机制,需构建全生命周期智能数据中枢。利用

多种传感设备采集多类型数据,形成时-空-频三维数据立方体。采用“边缘计算+云端存储”架构,边缘节点预处理数据,云端进行存储和分析。运用聚类算法和时序预测模型,挖掘振动规律、评估结构性能。建立自适应预警机制,根据结构状况调整预警阈值。定期生成诊断报告,关联BIM模型给出可视化维修建议,为建筑运维提供决策支持。

### 3.5 提升施工人员BIM技术操作水平

培养高素质BIM技术团队,构建“基础-专项-创新”三阶培养体系。基础能力层通过模块化教学,教授BIM基础课程,培养基本技能。专项技能层针对振动控制领域,开展专题培训,传授传感器布置和模型修正技巧。创新应用层开设前沿课程,培养跨学科整合能力。采用“虚拟工坊+实体实验室”实训模式,建设智能实训中心和案例库。建立激励机制,将BIM技术应用能力与职业发展挂钩。搭建产学研用平台,推动技术创新和成果转化,助力施工团队向数字化运维转型。

## 4 结语

综上所述,BIM技术在高层建筑结构振动监测中的应用具有广阔的前景和重要意义。通过三维建模、实时监测、数据整合等优势,BIM能够有效提升振动监测的精度与效率,进而保障建筑物的安全性和舒适度。随着技术的不断发展,BIM与人工智能、大数据等新兴技术的融合应用将进一步优化振动监测系统,实现智能化、自动化的管理模式。未来,随着行业标准的完善和技术成熟,BIM将在高层建筑的振动监测和结构安全监控中发挥更大的作用,为城市建筑的可持续发展提供强有力的技术支撑。

### 参考文献

- [1]董丽萍.BIM可视化技术在超高层建筑设计中的应用[J].中国建筑金属结构,2024,23(01):158-160.
- [2]索耀,孙旭杰.BIM技术在建筑设计中的应用研究[J].散装水泥,2024,(02):68-70.
- [3]张庆勋.基于BIM技术的超高层钢结构振动控制仿真研究[J].冶金与材料,2020,40(02):23-25.
- [4]齐杰,张磊,赵金年.BIM技术在高层基础组合隔震结构中的应用[J].土木工程信息技术,2021,13(05):73-78.
- [5]史艾嘉,胡庆生.BIM建筑设计方法研究与实现[J].价值工程,2020,39(10):229-232.

### 作者简介:

张磊(1977-),男,汉族,河北邯郸人,博士,濮阳市科信建筑科技有限公司,研究方向:建筑工程和智能建造。