

超高层建筑风振响应监测数据可靠性分析

殷惠芬

孝昌县辉煌建设工程质量检测有限公司 湖北孝感

【摘要】超高层建筑在风荷载作用下易产生明显振动响应，监测数据的可靠性直接影响结构安全评估与控制策略的科学性。本文基于风振响应实测数据，探讨了信号采集、传感器布设与数据处理环节对监测结果的影响，结合统计分析与对比验证方法，揭示了异常数据产生的主要原因及可靠性差异。研究表明，合理的监测系统设计与多维度数据校核可有效提升数据可信度，为超高层建筑抗风性能评估及运行安全管理提供重要参考。

【关键词】超高层建筑；风振响应；监测数据；可靠性分析

【收稿日期】2025 年 4 月 22 日 **【出刊日期】**2025 年 5 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000199

Reliability analysis of wind vibration response monitoring data of super high-rise building

Huifen Yin

Xiaochang County Huihuang Construction Engineering Quality Testing Co., Ltd. Xiaogan, Hubei

【Abstract】Supertall buildings are prone to significant vibration responses under wind loads, where the reliability of monitoring data directly impacts the scientific validity of structural safety assessments and control strategies. This study investigates how signal acquisition, sensor deployment, and data processing influence monitoring outcomes based on actual wind vibration response measurements. Through statistical analysis and comparative verification methods, we identify key causes of abnormal data and reliability discrepancies. The research demonstrates that well-designed monitoring systems with multi-dimensional data validation can substantially enhance data credibility, providing crucial references for evaluating wind resistance performance and ensuring operational safety management in supertall buildings.

【Keywords】Supertall buildings; Wind vibration response; Monitoring data; Reliability analysis

引言

随着城市高密度发展趋势的加剧，超高层建筑数量持续增加，其在风荷载作用下的动力特性受到广泛关注。风致振动不仅影响结构安全，还会对使用舒适度和运营稳定性产生重要影响，因此对风振响应的监测与数据分析尤为关键。可靠的数据是揭示结构真实动力特性的前提，但实际监测中常受到传感器误差、信号干扰及环境因素的影响，导致结果存在偏差。通过深入研究监测数据的可靠性问题，可为复杂风环境下的结构性能评估提供更为坚实的依据。

1 超高层建筑风振响应监测数据存在的主要问题

超高层建筑在风荷载作用下表现出的动力响应十分复杂，监测数据往往承载着对结构性能评估和安全管理的直接价值。然而在实际工程实践中，监测数据的获取与传输常受到多方面限制，可靠性问题时有发生。传感器在布设过程中若位置不当，容易导致对关键部

位响应捕捉不全面，使所采集信号偏离结构真实的动力特征^[1]。传感器本身的灵敏度衰减与温度漂移也会对结果造成不可忽视的干扰，从而使原始数据中夹杂噪声，影响对风致振动的准确识别。尤其在高空环境下，风速与风向的变化剧烈，外部扰动加剧了信号的不稳定性，使监测结果的可信度进一步降低。

在数据采集与传输环节中，信号损耗和干扰同样是影响可靠性的突出因素。超高层建筑监测系统通常依赖无线传输或有线网络，一旦信号受到电磁干扰或网络波动的影响，就可能导致数据缺失或延迟，形成不连续的数据序列。数据处理环节中的滤波算法和噪声抑制技术若参数选择不合理，亦会引入新的偏差，掩盖结构的真实响应。部分工程中为了节省成本，监测点数量不足，空间分布稀疏，导致风振响应无法得到全局性刻画，使得监测结果难以全面反映结构的整体动力状态。这些问题不仅削弱了数据的完整性和一致性，还限

制了其在结构分析和风险评估中的应用价值。

在长周期监测过程中,环境条件的复杂性进一步放大了数据的不确定性。超高层建筑位于高空,其外部环境包括强风、湿度变化以及温差效应,均会对传感器及传输设备造成潜在影响。监测系统若缺乏定期校准和维护,设备的累积误差将逐渐积累并放大,最终导致监测数据的长期偏差。数据中常出现漂移、突变点或不规则波动,这些异常现象不仅增加了分析难度,也削弱了数据的工程可信度。在实际结构健康监测与风振控制研究中,这类问题可能引导设计人员或运营方做出偏差较大的判断,给结构安全评估带来隐患^[2]。对超高层建筑风振响应监测数据存在的可靠性问题进行深入剖析,是确保后续分析方法有效性和安全管理科学性的关键前提。

2 风荷载与结构特性对监测数据可靠性的影响

风荷载是影响超高层建筑风振响应监测数据可靠性的核心因素之一。在复杂的城市风环境中,风速、风向及湍流强度的多变性使得建筑物在不同高度和不同朝向上承受的荷载差异显著。当风速超过临界值时,建筑物会产生涡激振动与气动耦合作用,导致监测信号中出现高频成分与幅值突变。风场的不规则性还会使局部测点响应出现偏差,若监测系统无法全面捕捉风荷载的空间分布特征,得到的数据就难以准确反映结构整体受力状态^[3]。这种由风环境本身复杂性带来的不确定性,使监测数据存在随机性和离散性,增加了后续分析与建模的难度。

结构特性对监测数据的影响同样不可忽视。超高层建筑在设计上具有柔性大、阻尼低、振动模态复杂等特征,当风荷载作用于结构时,响应表现为多阶模态的叠加。监测系统若只关注某一局部模态或未考虑结构全局动力特性,便可能导致数据呈现出失真或片面化的趋势。结构高度越大,振动响应的放大效应越明显,尤其在塔冠和高层区域,风振加速度与位移响应更为显著,若监测设备在高空布设不足或稳定性欠佳,所得数据就会受到显著干扰。此外,材料性能的时变效应也会对风振响应产生影响,混凝土收缩徐变、钢材连接松动等问题会使结构动力特性逐渐变化,导致监测数据在不同阶段出现差异,削弱其长期可靠性。

在风荷载与结构特性的耦合作用下,监测数据往往呈现复杂性与不确定性并存的特点。风致振动的非线性特征使监测信号容易受到噪声放大效应的影响,出现非平稳波动,而结构本身的局部刚度变化或阻尼非均匀分布又会进一步加剧这一问题。若监测系统缺

乏足够的冗余布设或多源验证手段,就可能无法有效区分真实响应与外部干扰^[4]。数据在长期积累过程中常伴随异常漂移或突变现象,这不仅源于风场的瞬态变化,也与结构固有频率的动态调整相关。因此,风荷载的复杂性与结构特性的多样性共同决定了监测数据的可靠性水平,对其规律的深入认识是开展高效监测与科学分析的关键前提。

3 提升超高层建筑风振监测数据可靠性的关键方法

提升超高层建筑风振监测数据的可靠性,需要从监测系统的整体设计与实施环节入手。监测点位布设应当考虑风荷载的非均匀分布特征,覆盖结构的关键受力部位与振动敏感区域,避免因点位选择不合理而导致数据代表性不足^[5]。传感器类型的选用也至关重要,高精度加速度计、位移计与风速仪的联合应用能够保证监测结果在不同响应层次上的一致性。对于高空复杂环境下的监测,应增加冗余布设,以实现多点比对和交叉校核,从而提高数据的稳定性和抗干扰能力。

在数据采集与传输过程中,信号处理技术的优化对于可靠性提升具有关键作用。通过实时滤波、噪声抑制与信号重构等方法,可以有效剔除电磁干扰和环境噪声对原始信号的影响,避免因信号畸变造成误判。无线传输系统应采用抗干扰能力强的协议,并配置稳定的网络冗余机制,以防止数据丢失或延迟带来的不连续性。在数据融合环节,多源传感器数据的联合分析能够弥补单一信号的不足,通过时域与频域方法相结合,揭示风振响应的真实特征。对于异常数据,应建立自动识别与修正机制,利用大数据技术和机器学习模型实现对漂移与突变的实时监控与修正,从而进一步保证数据的准确性。

长期监测的可靠性维护则依赖于系统的规范化管理与动态校准。设备需要在使用周期内定期进行标定,以抵消因环境因素和材料老化引起的灵敏度偏差。运维环节应建立标准化流程,包括设备巡检、数据质量审查与异常情况反馈机制,使监测系统处于高效运行状态。在研究层面,通过建立风振响应数据库与经验模型,可以将实际监测数据与理论结果进行对比,从而实现双重验证,提升对数据真实性的信任度^[6]。这一系列方法的综合应用,能够在多维度保障超高层建筑风振监测数据的可靠性,为结构安全评估与运行管理提供坚实的技术支撑。

4 监测数据可靠性分析对结构安全评估的启示

监测数据的可靠性分析对于结构安全评估具有直接的指导意义。在超高层建筑的运行过程中,风荷载引

起的振动响应往往呈现出非线性与多模态特征,如果数据本身存在误差或缺失,将会导致对结构动力性能的认知偏差。通过对监测数据进行可靠性检验,可以有效识别出噪声干扰、传感器失真和环境扰动等因素所带来的异常信息,并在此基础上剔除不合理样本^[7]。数据的真实性得到保障后,结构安全评估的输入条件才具备科学依据,从而能够更准确地反映风致作用下的加速度响应、位移响应与应力状态。这种可靠性分析不仅是对监测系统质量的检验,更是对安全评价过程进行前置控制的重要手段。

可靠性分析结果能够为结构安全评估提供分级判断与风险识别依据。在监测数据质量较高的情况下,可以通过对比实测响应与设计阶段的理论预测,验证结构动力性能是否满足安全储备要求。如果分析发现响应幅值超出预期范围,便可及早识别潜在风险点并采取补强措施。相反,若监测数据存在较大偏差,通过可靠性分析能够溯源问题所在,避免因不真实数据而导致错误的安全评估结论。在长期运行阶段,监测数据的趋势性分析更能揭示结构刚度退化、阻尼变化以及局部损伤的演化过程,为安全等级评估提供连续性支撑。可靠性检验与结构安全评价相结合,不仅提高了评估结果的可信度,还为运营管理中的决策提供了定量依据。

在实际工程应用中,可靠性分析还能够推动安全评估方法的精细化发展。通过建立基于高质量监测数据的风振响应数据库,可以将不同工况下的典型特征进行归纳,为安全评估提供多维度参照。结合概率统计方法与大数据技术,能够对风振效应的不确定性进行量化,进而实现基于风险的安全评估模式^[8]。可靠性分析还促使工程师在评估过程中更加注重数据验证与交叉校核,避免依赖单一指标得出结论。对于超高层建筑而言,这种建立在可靠性检验基础上的安全评估,不仅提升了对极端风环境的适应能力,也为后续的运行维护策略提供坚实支撑。在这一过程中,可靠性分析已经不再局限于技术层面的数据校正,而是成为推动结构安全管理科学化与系统化的重要环节。

5 结语

超高层建筑在风荷载作用下的监测数据只有具备可靠性,才能为结构安全评估与运行管理提供真实依据。风振响应的复杂性决定了数据采集与处理必须兼顾全面性与精细化,任何环节的偏差都会削弱结果的可信度。对监测系统的优化设计、数据处理技术的改进以及长期校准与维护的坚持,能够有效提升监测数据的稳定性与准确性。可靠性分析不仅揭示了数据本身的质量问题,更为结构性能判定与风险预警提供了坚实支撑,使超高层建筑的安全管理具备更高的科学性与可控性。

参考文献

- [1] 李涛. 大跨度桥梁施工过程变形监测数据处理方法[J/OL].新疆钢铁,1-3[2025-08-19].
- [2] 张文博. 导向爬升式作业平台在超高层建筑施工中的应用[J].建筑技术,2025,56(15):1868-1872.
- [3] 张鹏,孙辅庭,徐小坤,等. 多源监测数据与智能算法耦合驱动的大坝风险推理方法研究[J/OL].中国农村水利水电,1-10[2025-08-19].
- [4] 杜思美. 基于超高层建筑暖通空调的节能减排设计[J].中国建筑金属结构,2025,24(15):98-100.
- [5] 闻迅. 超高层建筑工程废弃物分类回收的减碳价值估算[J].绿色建造与智能建筑,2025,(08):15-18.
- [6] 卢春玲,巫敏,陈旭东,等. 不同来流下超高层建筑流固耦合风效应特性研究[J/OL].振动.测试与诊断,1-10[2025-08-19].
- [7] 武艳如,段明勋,徐皓,等. 大跨度桁架结构风振响应及风振系数研究[J].建筑科学与工程学报,2025,42(04):10-21.
- [8] 程义凯.沿海强台风地区输电塔风振响应及振动控制技术研究[D].北方工业大学,2025.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS