

高层建筑风荷载控制关键技术研究

李东

江西业责建设工程有限公司 江西省 330077

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12282

[摘要] 高层建筑风荷载控制是确保建筑安全性和稳定性的关键技术。本研究围绕风荷载基础理论展开,深入探讨了风荷载的产生机制、特性参数及相关规范标准。通过分析风荷载监测技术、结构抗风设计技术及风致振动控制技术,提出了有效的控制策略。研究结果表明,这些技术不仅能够显著提升建筑抗风性能,还能降低风致灾害风险,为高层建筑的安全设计提供了科学依据和实用指导。

[关键词] 高层建筑; 风荷载控制; 关键技术; 结构安全; 风致振动

引言:

随着城市化进程的加快,高层建筑的数量迅速增加,风荷载成为影响其安全的重要因素。本研究旨在探讨高层建筑风荷载控制的关键技术,以提升建筑结构的安全性和稳定性。通过分析风荷载的基础理论及其控制技术,本研究不仅为建筑抗风设计提供了理论支持,还为降低风致灾害风险提供了实用解决方案。

1. 风荷载基础理论

1.1 风荷载产生机制

风荷载的产生源于大气的流动。当气流遇到高层建筑时,由于建筑物的阻挡,气流的流动状态发生改变。在建筑物的迎风面,气流速度降低,压力升高,形成正压区;而在建筑物的侧面和背风面,由于气流的分离和漩涡的形成,压力降低,产生负压区。这种压力差就是风荷载产生的根本原因。此外,大气边界层内的风速随高度增加而增大,不同的地貌(如城市、郊区、山区等)会影响风速剖面,进而影响风荷载的大小。风的脉动特性也对风荷载有重要影响,脉动风会引起建筑物的振动,增加结构的疲劳损伤风险。

1.2 风荷载特性参数

风荷载具有多个重要的特性参数。风速是关键参数之一,平均风速和脉动风速都对风荷载产生影响。平均风速决定了风荷载的基本大小,而脉动风速则是引起结构振动的重要因素。风压系数是另一个重要参数,它反映了建筑物表面风压与参考风压的比值关系,不同的建筑外形和表面粗糙度会导致风压系数的差异。风荷载的方向也是一个特性参数,不同方向的风对建筑物的作用效果不同,在结构设计时需要考虑各个方向风荷载的最不利组合。此外,风的湍流强度也影响风荷载,湍流强度越大,风荷载的动力效应越显著。

1.3 风荷载相关规范标准

风荷载相关的规范标准是确保高层建筑安全的重要依据。国内外都有各自的规范,如中国的《建筑结构荷载规范》等。这些规范对风荷载的计算方法、风压取值、体型系数、风振系数等都有详细规定。规范中根据不同的地貌类型、建筑高度等因素确定基本风压,通过体型系数考虑建筑外形对风荷载的影响,风振系数则用于考虑脉动风引起的结构振动放大效应。规范标准还对风洞试验等确定风荷载的特殊方法进行了规定,以满足特殊建筑形式或复杂地形条件下风荷载准确计算的需求。

2. 风荷载监测技术

2.1 监测系统组成架构

风荷载监测系统的架构主要包括传感器子系统、数据采集子系统、数据传输子系统和数据处理与分析子系统。传感器子系统负责采集与风荷载相关的各种物理量,如风速、风向、风压等,是整个监测系统的前端。数据采集子系统将传感器采集到的模拟信号转换为数字信号,并进行初步的信号调理,确保数据的准确性和完整性。数据传输子系统实现数

据从采集端到处理中心的传输,可采用有线(如光纤)或无线(如 ZigBee、GPRS 等)方式。数据处理与分析子系统对采集到的数据进行进一步的处理,如滤波、特征提取等,并进行风荷载相关参数的分析计算,为结构安全评估提供依据。

2.2 传感器选型要点

在风荷载监测中,传感器选型至关重要。对于风速传感器,应考虑测量范围、精度、分辨率等因素。例如,超声风速仪具有高精度、无转动部件、响应速度快等优点,适用于复杂风场的测量。风向传感器要保证测量的准确性和稳定性,可选用具有高分辨率和低滞后性的传感器。风压传感器需要能够承受较大的压力范围,并且具有良好的线性度和稳定性。此外,传感器的环境适应性也不容忽视,如在恶劣气候条件下(高温、低温、潮湿等)仍能正常工作。同时,还要考虑传感器的成本、安装便捷性以及与整个监测系统的兼容性。

2.3 数据采集与传输方式

数据采集方式直接影响数据的质量。采集设备应具备足够高的采样频率,以准确捕捉风荷载的动态特性,尤其是脉动风的特性。对于不同类型的传感器,需要采用合适的信号调理电路,如放大、滤波等,以提高信号的质量。在数据传输方面,有线传输方式如光纤具有传输速度快、抗干扰能力强的优点,适用于距离较近且对数据传输要求高的情况。无线传输方式则具有灵活性高、安装方便的特点,如 ZigBee 适用于短距离、低功耗的数据传输,GPRS 可用于长距离、大范围的数据传输。根据实际情况选择合适的数据采集和传输方式,可以确保风荷载监测数据的有效获取和传输。

3. 结构抗风设计技术

3.1 抗风结构体系类型

高层建筑的抗风结构体系有多种类型。框架-核心筒体系是常见的一种,核心筒主要承担竖向荷载和水平风荷载,框架则协同工作,提供额外的侧向刚度。这种体系在建筑内部空间布局上较为灵活。筒中筒体系由内外筒组成,内筒和外筒通过楼板等连接构件协同抵抗风荷载,具有较大的侧向刚度和抗扭能力,适用于超高层建筑。还有巨型框架结构体系,以巨型柱和巨型梁为主要受力构件,形成大尺度的框架结构,能够有效地抵抗风荷载,并且在建筑造型和空间利用上有独特的优势。此外,束筒结构体系通过将多个筒体组合在一起,提高了结构整体的抗风能力。

3.2 结构风致响应计算

结构风致响应计算是抗风设计的重要环节。在计算方法上,主要有频域法和时域法。频域法基于随机振动理论,将风荷载看作是平稳随机过程,通过计算结构的频率响应函数来得到结构的风致响应,这种方法计算效率较高,适用于初步设计阶段。时域法直接模拟风荷载的时程,将其作用于结构上,通过逐步积分求解结构的动力方程,得到结构的响应时程,能够更准确地反映结构在风荷载作用下的非线性特性,但计算成本较高。在计算过程中,需要考虑结构的自振频率、

振型、阻尼等因素对风致响应的影响, 同时还要考虑风荷载的空间相关性。

3.3 结构优化设计策略

结构优化设计对于提高高层建筑的抗风性能具有重要意义。在概念设计阶段, 可以通过调整建筑的外形, 如采用流线型或多边形的平面形状, 减小建筑的体型系数, 从而降低风荷载。在结构布置方面, 合理调整柱网间距、梁的截面尺寸等, 优化结构的刚度分布, 提高结构的抗风能力。从材料选择上, 采用高强度、轻质的材料, 既能减轻结构自重, 又能提高结构的承载能力。在基于性能的设计理念下, 设定不同的性能目标, 如在不同风荷载水准下的结构变形、应力等指标, 通过优化算法不断调整结构参数, 使结构在满足性能目标的同时达到最优的设计效果。

4. 风致振动控制技术

4.1 被动控制技术原理

被动风致振动控制是利用结构自身的耗能元件或附加的阻尼装置来消耗风致振动能量。例如, 调谐质量阻尼器(TMD)是一种常见的被动控制装置, 它由质量块、弹簧和阻尼器组成。当结构在风荷载作用下振动时, TMD的质量块会在弹簧和阻尼器的作用下产生与结构振动相位相反的运动, 从而消耗结构的振动能量。另一种是粘滞阻尼器, 它通过粘滞流体的剪切变形来消耗能量。在风荷载作用下, 结构的振动使粘滞阻尼器内部的活塞运动, 粘滞流体在活塞与缸体之间产生剪切力, 将振动能量转化为热能散发出去, 从而减小结构的风致振动。

4.2 主动控制技术应用

主动风致振动控制是通过外部能源输入, 根据结构的振动状态实时调整控制装置的参数, 以抑制风致振动。主动质量阻尼器(AMD)是一种典型的主动控制装置, 它通过传感器实时监测结构的振动, 然后由控制器根据监测数据计算出需要施加的控制力, 驱动AMD的质量块运动, 产生与结构振动方向相反的控制力, 从而减小结构的振动。在实际应用场景下, 主动控制技术的有效实施离不开精确的传感器、快速响应的控制器和高效的作动器这三个关键要素。精确的传感器如同敏锐的感知器官, 它能够精准地监测到结构的各种状态信息, 为后续的控制提供可靠的数据基础。而快速响应的控制器则像是一个智慧的大脑, 迅速对传感器传来的信息进行分析处理, 并依据预设的算法计算出所需的控制力。高效的作动器则是执行控制指令的得力助手, 将计算得出的控制力准确地施加到结构上。例如, 在一些超高层建筑中, 主动质量阻尼器(AMD)被应用于抑制风致振动。超高层建筑由于其高度较高, 在风力作用下容易产生振动, 这不仅影响建筑内部人员的舒适度, 还可能对结构安全造成威胁。

4.3 混合控制技术优势

混合风致振动控制技术是一种融合了被动控制与主动控制长处的创新技术。被动控制装置一直以来以其可靠性和稳定性在工程领域备受青睐, 其最大的特点就是不需要持续的外部能源输入, 就能够稳定地发挥作用。而主动控制装置则以高精度和强大的适应性在应对复杂情况时表现出色。混合风致振动控制技术将这两者的优点巧妙地结合在一起, 为解决风致振动问题提供了更有效的方案。以将调谐质量阻尼器(TMD)和主动质量阻尼器(AMD)结合使用为例, 我们能更清晰地看到这种混合控制技术的独特优势。在正常的风荷载状况下, TMD凭借自身的特性开始发挥作用。它的工作原理基于自身结构与振动系统的调谐关系, 当结构受到风荷载而产生振动时, TMD会随着振动而产生惯性力, 通过这种方式消耗部分振动能量, 从而对结构的振动起到一定的抑制作用。这个过程就像是一个稳定的“能量消耗器”, 不需要额外的能

源供应, 持续而稳定地发挥着抑制振动的功能。然而, 当面临较大风荷载或者结构振动变得较为剧烈的特殊情况时, 仅靠TMD可能无法满足抑制振动的需求。此时, AMD就会启动。AMD具有主动控制的优势, 它能够通过传感器实时监测结构的振动状态, 然后根据监测到的信息, 借助外部能源驱动执行机构, 产生与结构振动方向相反的控制力, 从而进一步抑制结构的振动。这种主动控制的方式可以更加精准地针对结构的振动情况进行调整, 具有很高的精度, 而且能够适应复杂多变的振动环境。

5. 风荷载控制技术的发展趋势

5.1 智能化控制技术方向

智能化控制是风荷载控制的未来发展方向之一。通过在高层建筑结构中安装大量的传感器, 实现对风荷载、结构响应等数据的实时采集。利用人工智能算法, 如神经网络、模糊逻辑等, 对这些数据进行分析处理, 从而实现对风荷载的智能化预测和结构风致响应的智能化控制。例如, 神经网络可以根据历史风荷载数据和结构响应数据进行训练, 建立风荷载与结构响应之间的复杂非线性关系模型, 进而预测未来风荷载作用下的结构响应, 并根据预测结果自动调整控制策略。智能化控制技术还可以实现多设备的协同控制, 提高风荷载控制的整体效率。

5.2 新材料在风荷载控制中的应用

新材料的应用将为风荷载控制带来新的机遇。例如, 形状记忆合金(SMA)具有独特的超弹性和形状记忆效应。在风荷载作用下, 当结构发生变形时, SMA可以通过自身的变形来消耗能量, 并且在风荷载消失后能够恢复到原来的形状。此外, 新型的高性能复合材料, 如碳纤维增强复合材料, 具有高强度、低密度的特点, 应用于高层建筑结构中, 可以减轻结构自重, 同时提高结构的刚度和阻尼特性, 从而增强结构的抗风能力。这些新材料的应用有望在风荷载控制方面取得新的突破。

5.3 多学科融合发展前景

风荷载控制技术的发展将呈现多学科融合的趋势。在结构工程领域, 与流体力学、空气动力学的融合将更加深入, 通过风洞试验、数值模拟等手段, 更准确地研究风与结构的相互作用。同时, 与材料科学、控制科学、计算机科学等学科的融合也将不断加强。例如, 在材料科学方面, 研发具有特殊性能的新材料用于风荷载控制; 在控制科学方面, 发展更先进的控制理论和方法; 在计算机科学方面, 利用高性能计算技术进行复杂的风荷载计算和结构分析。多学科融合将为风荷载控制技术带来更多的创新点, 推动高层建筑风荷载控制技术不断发展。

结束语:

本研究总结了高层建筑风荷载控制关键技术的主要成果, 强调了这些技术对建筑安全的重要支撑作用。尽管取得了一定进展, 但仍存在一些不足, 如控制技术的精准度和应用场景的拓展等。未来, 随着智能化技术和新材料的应用, 风荷载控制技术将迎来更广阔的发展前景, 为高层建筑的安全设计提供更强大的技术支持。

[参考文献]

- [1] 张乔杰. 城市高层建筑房屋建设工程施工中存在的问题和改进方法[J]. 未来城市设计与运营, 2022, (11): 24-26.
- [2] 胡道航. 某特别不规则高层建筑结构设计与分析[J]. 建筑结构, 2022, 52(23): 92-99.
- [3] 胡衍铨. 罕遇地震下高层建筑抗倾覆的探讨及工程实践[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(22): 104-107.
- [4] 任毅. 浅析基础刚度对于高层建筑结构抗震的影响因素[J]. 中国设备工程, 2022, (22): 234-236.