

高层建筑抗风优化设计和风振控制相关问题研究

于 乔

辽宁诚晟建设工程咨询有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘 要：高层建筑风振控制技术是确保建筑安全性和舒适性的关键措施。其中，主动控制技术与被动控制技术各具特色。被动控制技术通过耗能减振、基底隔震和吸振减振等手段，无需外部能源即可有效减少风振响应；而主动控制技术则依赖于外部能源输入，通过实时监测和主动干预实现对结构振动的精准控制。在实际应用中，两种技术可以单独或结合使用，以满足不同建筑的需求。随着科技的不断进步，高层建筑风振控制技术将持续发展，为建筑安全提供更有力的保障。

关键词：高层建筑；抗风设计；风振控制；策略

1 高层建筑的抗风设计原则

1.1 结构设计原则

结构的原则如下；稳定性原则：确保高层建筑结构在受到风荷载作用时，能够保持足够的稳定性，避免发生倾覆或破坏。强度原则：高层建筑结构需要具有足够的强度，以承受风荷载的作用，确保结构在风荷载下不会发生破坏或变形。刚度原则：结构应具有足够的刚度，以减小在风荷载作用下的变形，确保结构的稳定性和安全性。减振原则：采用适当的减振措施，如阻尼器等，减小结构在风荷载作用下的振动幅度，提高结构的稳定性和居住者的舒适性。可靠性原则：设计时需充分考虑风荷载的不确定性和变化性，确保结构的可靠性和安全性。

1.2 结构形式原则

结构的原则呈现以下；合理的结构体系：选择合适的结构体系，如框架-剪力墙结构、筒体结构等，以提高结构的抗风能力。优化的建筑外形：合理设计建筑的平面和立面形状，减小风阻力。通过调整建筑的平面布置和立面形态，减小建筑表面的投影面积，降低风的作用力。对称布置：尽量采用对称的平面形状和对称的结构布置，以减少风力偏心产生的扭转影响。围护构件的连接：外墙、玻璃、女儿墙等围护构件需要与主体结构可靠地连接，以防止局部破坏。

2 风荷载对高层建筑结构的影响

风荷载对高层建筑结构的影响是多方面的，且显著且不可忽视。随着建筑物高度的增加，其受风荷载作用的程度也逐渐加剧，因此风荷载成为高层建筑设计中必须考虑的关键因素^[1]。风荷载会直接对高层建筑产生静力作用，使建筑物产生侧向位移和内力。这种作用不仅会影响建筑物的正常使用功能，如导致窗户和门的变形

或损坏，还会对建筑物的结构安全构成威胁。当风荷载过大时，建筑物可能因无法承受而发生破坏，甚至导致倒塌。风荷载还会引起高层建筑结构的动力响应，在风的作用下，建筑物会产生振动，这种振动不仅会影响建筑物的使用寿命，还会对居住者的舒适性和安全性产生不良影响。特别是当建筑物位于强风区或地形复杂地区时，风荷载引起的动力响应可能更加显著。风荷载还会对高层建筑的稳定性产生影响，高层建筑由于其高度和细长比的特点，在风的作用下容易产生侧向弯曲或扭转，这种不稳定的状态不仅会降低建筑物的使用寿命，还可能对居住者的生命安全构成威胁。

3 高层建筑的抗风设计与风振控制策略

3.1 风洞试验

高层建筑的抗风设计与风振控制策略是确保建筑物在强风环境下安全稳定的关键。在进行抗风设计时，设计师需要充分考虑风荷载对建筑物的影响，通过精确的计算和合理的结构布局来确保建筑物的稳定性和安全性。风振控制策略也是不可忽视的一部分，它能够有效减小建筑物在风荷载作用下的振动幅度，提高居住者的舒适性和安全性。在抗风设计过程中，风洞试验扮演着至关重要的角色，风洞试验是一种模拟真实风环境对建筑物作用的试验方法，通过模拟不同风速、风向和地形条件，研究人员可以准确地评估建筑物在风荷载下的响应和性能。在风洞试验中，可以通过安装传感器和测量设备来监测建筑物的位移、加速度、应力和应变等参数，从而获取建筑物在风荷载作用下的详细数据。风洞试验不仅为抗风设计提供了可靠的数据支持，还为风振控制策略的制定提供了依据。通过分析风洞试验数据，设计师可以了解建筑物在风荷载作用下的振动特性，如振动频率、振型和阻尼比等。基于这些数据，设计师可

以制定相应的风振控制策略,如采用阻尼器、调谐质量阻尼器(TMD)或主动控制系统等,来减小建筑物在风荷载作用下的振动幅度。在风洞试验中,还可以模拟不同风速分布和湍流强度等复杂风环境,以评估建筑物在极端风况下的性能。这种模拟能力使得设计师能够更全面地了解建筑物在真实风环境中的行为,从而制定出更加合理和有效的抗风设计和风振控制策略。

3.2 结构优化设计

高层建筑的抗风设计与风振控制策略中,结构优化设计是至关重要的一环。结构优化设计不仅涉及到建筑的形态设计,还包括材料的选取、结构的布置和构造的细节处理等多个方面。在形态设计上,设计师会采用流线型或者减少风阻的立面设计,以减少风荷载对建筑的直接作用。通过合理的建筑布局和开口设计,可以引导风流,减少风力在建筑表面产生的漩涡和负压区域,从而降低风荷载的大小。在材料选取上,结构优化设计会考虑使用轻质高强度的材料,如高性能混凝土、钢材和复合材料等,以提高结构的刚度和强度,增强建筑的整体抗风能力。采用新型阻尼材料和隔震材料也可以有效减小风振响应,提高建筑的舒适性和安全性。结构的布置是结构优化设计中的关键步骤。设计人员会通过合理的结构体系选择和构件布置,来增强结构的整体稳定性和刚度。构造的细节处理也是结构优化设计不可忽视的方面,设计人员会注重节点的设计和连接件的选取,以确保结构在风荷载作用下的整体性和稳定性^[2]。

3.3 采用适当的材料

高层建筑的抗风设计与风振控制策略中,采用适当的材料是至关重要的一环。在面临日益严峻的风荷载挑战时,选择合适的材料能够显著提升建筑结构的抗风能力和减少风振效应,从而确保高层建筑的安全性和稳定性。轻质高强度的材料是高层建筑抗风设计的首选,这类材料如高性能混凝土、高强度钢材和复合材料等,不仅具有出色的抗压、抗拉和抗剪能力,而且能够有效减轻建筑自重,降低风荷载对结构的影响。通过采用这些材料,设计师可以在保证结构安全性的同时,实现更加轻盈、灵活的建筑设计。具有良好阻尼性能的材料也是抗风设计中不可或缺的一部分,在风荷载作用下,高层建筑会产生振动,而具有良好阻尼性能的材料能够吸收和消散这些振动能量,从而减小风振效应。耐候性和耐久性也是选择材料时需要考虑的重要因素。高层建筑长期处于户外环境中,经受着风雨、日晒等自然因素的侵蚀,因此所选材料必须具有良好的耐候性和耐久性,以确保结构在长期使用过程中能够保持稳定的性能。

3.4 动态设计和性能评估

高层建筑的抗风设计与风振控制策略中,动态设计和性能评估是两个至关重要的环节。随着建筑高度的不断增加,高层建筑对风荷载的敏感性和风振响应的复杂性也日益突出,采用动态设计和进行性能评估成为确保建筑安全性和稳定性的关键措施。动态设计是一种考虑结构在风荷载作用下动态响应的设计方法。它基于结构动力学原理,通过精确计算和分析,预测建筑在风荷载作用下的振动形态、频率和振幅等动态特性。在动态设计中,设计人员会充分考虑建筑的结构形式、材料特性、风荷载特性以及阻尼措施等因素,通过优化结构布局、选择合适的材料和阻尼系统等手段,使建筑在风荷载作用下具有更好的动态性能。这种设计方法能够有效减小风振响应,提高建筑的舒适性和安全性。性能评估是对高层建筑抗风设计和风振控制效果进行量化评价的过程。它基于风洞试验、数值模拟和现场监测等手段,对建筑的抗风性能和风振响应进行全面评估。在性能评估中,会考虑不同风速、风向和地形条件下的风荷载作用,以及建筑结构的动态响应和振动特性。通过对比设计目标和实际性能,评估建筑在风荷载作用下的安全性和稳定性是否满足要求。性能评估的结果可以为设计师提供反馈和参考,帮助他们进一步优化抗风设计和风振控制策略。

3.5 建筑外形优化设计与风阻方案

高层建筑的抗风设计与风振控制策略中,建筑外形优化设计与风阻方案是不可或缺的一环。随着建筑高度的不断增加,风荷载对高层建筑的影响愈发显著,通过优化建筑外形设计和制定有效的风阻方案,能够显著减少风荷载对建筑物的作用,提高结构的稳定性和安全性。建筑外形优化设计是抗风设计中的重要手段之一,设计人员会充分考虑风的作用原理和流动特性,通过合理的建筑形态设计来减小风阻和降低风荷载。合理的开口设计和布局也能有效引导风流,减少风力对建筑的影响^[3]。建筑师还会通过模拟和测试,不断优化建筑外形,找到最佳的抗风形态,以最大程度地减小风荷载对建筑物的作用。风阻方案是抗风设计中的另一项重要内容。它涉及到建筑表面材料的选择、构造细节的处理以及风障设施的设置等方面。在材料选择方面,采用具有较低风阻系数的材料能够降低风对建筑的阻力。在构造细节处理上,通过合理的节点设计和连接件的选取,能够增强结构的整体性和稳定性,从而提高建筑的抗风能力。设置风障设施也是一种有效的风阻方案。建筑外形优化设计与风阻方案的结合,能够显著提高高层建筑的抗风

能力。通过合理的建筑形态设计和有效的风阻方案，可以减小风荷载对建筑物的作用，降低风振响应，提高结构的稳定性和安全性。

4 高层建筑风振控制技术

4.1 质量阻尼器在风振控制中的应用

高层建筑风振控制技术中，质量阻尼器（TMD, Tuned Mass Damper）作为一种有效的被动控制装置，在风振控制中发挥着重要作用。第一、质量阻尼器的基本原理；质量阻尼器是一种通过附加质量、弹簧和阻尼器组成的系统，其工作原理是通过与主体结构间的相互作用，将风荷载引起的振动能量转移到阻尼器上，通过阻尼器的耗能作用来减小主体结构的振动响应。第二、质量阻尼器在风振控制中的应用；质量阻尼器在高层建筑风振控制中表现出显著的减振效果。通过合理设计质量阻尼器的参数，如质量、刚度和阻尼等，可以实现对不同频率范围风振的有效控制。研究表明，质量阻尼器能够有效减小高层建筑在风荷载作用下的位移、加速度和应力等响应。风荷载引起的振动不仅影响建筑的安全性，还影响居住者的舒适度。质量阻尼器的应用可以显著降低建筑在风荷载作用下的振动水平，提高居住者的舒适度。质量阻尼器作为一种被动控制装置，不需要外部能源输入，且对主体结构的改动较小，因此具有较强的适应性和灵活性。它可以应用于不同类型的高层建筑中，并根据具体需求进行参数调整。质量阻尼器还可以与其他风振控制技术相结合，如气动措施、结构措施等，形成复合控制系统，进一步提高风振控制效果。第三、质量阻尼器的设计要点；质量阻尼器的设计需要综合考虑主体结构的动力特性、风荷载特性以及阻尼器的参数等因素，通过优化设计使阻尼器达到最佳减振效果。质量阻尼器的安装位置对减振效果有重要影响。通常，阻尼器应安装在建筑结构的振动敏感部位，如顶层或悬挑部分等。质量阻尼器的材料选择应考虑其耐久性、可靠性和经济性等因素。

4.2 主动控制与被动控制技术

高层建筑风振控制技术中，主动控制与被动控制技术是两种重要的策略，它们各自具有独特的优势和适用

场景。（1）被动控制技术；基本原理：被动控制技术是一种无需外部能源输入的控制方法，它利用结构的自身特性或附加的耗能装置来减少风振响应^[4]。（2）技术类型：耗能减振系统：该系统通过把结构物的某些非承重构件设计成消能元件，或在结构物的某些部位设置阻尼器，来大量耗散能量，使主体结构的动力反应减小。例如，耗能支撑、耗能剪力墙、粘弹性阻尼器VED、金属阻尼器、摩擦阻尼器等。基底隔震技术：在结构的地面以上部分底部设置隔离层，使地上的结构部分与地基中的基础顶面分离开来，从而减小地震和风力的影响。吸振减振技术：在主结构中附加子结构，使结构振动发生转移，达到减小结构风振反应的目的。常见的装置有调谐质量阻尼器（TMD）和调谐液体阻尼器（TLD）。特点：被动控制技术结构简单、可靠性高、成本低，且不需要外部能源支持，因此在高层建筑中得到了广泛应用。（3）主动控制技术；基本原理：主动控制技术需要外部能源输入，通过传感器检测结构的振动状态，并应用一定的控制算法和外界能量动作机构产生控制力，从而实现对结构振动的主动干预和调节。

结束语

高层建筑风振控制技术的应用，对于提升建筑结构的稳定性和安全性具有重要意义。随着技术的不断进步和创新，期待在未来看到更多高效、智能的风振控制方案，为高层建筑提供更为可靠的保障。同时这也要求设计师和工程师们不断学习和探索，将最新的科技成果应用于实际工程中，共同推动建筑行业的持续发展。

参考文献

- [1]傅继阳,吴玫荣,徐安.高层建筑抗风优化设计和风振控制相关问题研究[J].工程力学,2022,39(05):13-33+43.
- [2]黄彬辉.超高层建筑结构抗风设计综述[J].上海建设科技,2019(02):4-9.
- [3]傅继阳,吴玫荣,徐安.高层建筑抗风优化设计和风振控制相关问题研究[J].工程力学,2022,39(5):13-33,43. DOI:10.6052/j.issn.1000-4750.2021.08.ST07.
- [4]林东.高层建筑抗风优化设计和风振控制相关问题研究[J].工程建设,2023,6(6).DOI:10.33142/ec.v6i6.8517.