

# 钢结构高耸支架设计中的风振问题研究

郭江涛 董建华 段寿国

浙江八方电信有限公司 浙江 杭州 311123

**摘要:** 能过探讨钢结构高耸支架设计中的风振问题, 分析风荷载的计算方法及其对高耸支架的影响, 详细阐述风振问题的成因、响应特性和控制技术。通过实际工程案例分析, 总结风振控制措施的实施效果, 并强调在设计中需兼顾结构安全性和可持续性的重要性。采用先进的计算方法和材料技术, 可有效提升高耸支架的抗风性能和长期运行安全性。

**关键词:** 钢结构; 高耸支架设计; 风振问题

## 1 钢结构高耸支架设计概述

钢结构高耸支架设计是现代工程建设中的重要领域, 其设计需综合考虑结构稳定性、材料特性、环境因素及使用需求等多方面因素。高耸支架通常采用高强度、耐腐蚀的钢材作为主要建筑材料, 以确保其能承受大跨度、大荷载以及极端气候条件的影响。设计过程中, 首先需对使用地点进行风压、地震等自然环境条件的详尽分析, 以确保结构能够安全抵抗各种自然力作用。特别是在风振问题上, 需通过精细的模拟分析或风洞试验, 预测结构在强风下的振动特性与应力分布, 并据此采取相应的加强措施, 如设置阻尼器、优化结构外形以减少风阻等。另外, 结构设计还需兼顾施工与后期维护的便利性。采用合理的结构形式和连接方式, 简化施工过程, 降低安装难度; 同时, 考虑到钢材易锈蚀的特点, 设计时需采取有效的防腐措施, 以延长结构使用寿命<sup>[1]</sup>。总的来说, 钢结构高耸支架设计是一项高度综合且技术复杂的工作, 要求设计师具备深厚的专业知识和丰富的实践经验。通过科学的设计方法与先进的计算工具, 能够设计出既安全可靠又经济合理的高耸支架结构, 为现代社会的发展提供有力支撑。

## 2 风荷载对钢结构高耸支架的影响分析

### 2.1 风荷载计算方法

风荷载是钢结构高耸支架设计中必须重点考虑的环境因素之一。其计算方法主要基于流体力学和结构动力学原理, 通常包括基本风速的确定、风压系数的选取、风向和地形地貌的修正等多个步骤。基本风速是根据当地的气象资料统计得出的, 代表了该地区常见的最大风速水平。风压系数则反映了风压在不同建筑表面上的分布特性, 受结构形状、高度、风向等多种因素影响。另外, 还需要考虑地形地貌对风速的放大或减弱作用, 以及风向对风荷载方向的影响。综合这些因素, 可以计算

出作用于高耸支架上的风荷载大小和方向。

### 2.2 高耸支架的风荷载特点

钢结构高耸支架由于其高度的特殊性, 其承受的风荷载也呈现出一些独特的特点; 随着高度的增加, 风速往往呈指数增长, 导致高耸支架顶部承受的风压远大于底部; 由于高耸支架的结构形式多样, 如塔式、桅杆式等, 其受风面积和风向敏感性也存在差异。例如, 塔式结构可能具有较大的受风面积, 而桅杆式结构则可能对风向变化更为敏感; 高耸支架的细长比大, 容易发生动力失稳现象, 因此风荷载的动力效应也是设计中不可忽视的因素。

### 2.3 风荷载对支架结构的振动影响

风荷载作用于钢结构高耸支架上时, 会引起结构的振动。这种振动不仅影响结构的正常使用和安全性能, 还可能加剧结构的疲劳损伤和动力失稳风险。具体来说, 风荷载中的脉动成分会激发结构的固有振动模态, 导致结构产生共振现象。当脉动风的主频与结构的某阶自振频率相近时, 振动幅度会显著增大, 形成所谓的“风致振动”。另外, 风荷载还会引起结构的弯曲、扭转等多种振动形式, 对结构的整体稳定性和局部强度产生复杂影响。因此, 在设计中需要采取有效措施来抑制或减轻风荷载对支架结构的振动影响, 如设置阻尼器、优化结构刚度分布、加强连接节点等<sup>[2]</sup>。

## 3 风振问题的分析与控制

### 3.1 风振问题的成因分析

风振问题是钢结构高耸支架在强风作用下发生的一种动态响应现象, 其成因主要源于自然风的脉动特性和结构的动力特性之间的相互作用。自然风并非完全平稳, 而是包含一系列随机变化的脉动成分。这些脉动风作用于结构上时, 会产生随时间变化的动力荷载, 从而激发结构的振动; 高耸支架由于其细长比大、自振频率

低等特点,对风荷载的动力作用较为敏感。当脉动风的主频与结构的某阶自振频率相近时,会发生共振现象,导致结构振动幅度显著增大,形成风振问题。此外,结构的阻尼特性、刚度分布、形状尺寸等因素也会对风振问题产生影响。

### 3.2 风振响应特性

风振响应特性是描述钢结构高耸支架在风荷载作用下振动行为的重要参数。它主要包括振动频率、振动幅度、相位差等方面。第一,振动频率反映了结构振动的快慢程度,通常与结构的自振频率和脉动风的主频有关。当两者相近时,振动频率较低,结构易发生共振。第二,振动幅度描述了结构振动的强弱程度,受风荷载大小、结构刚度、阻尼等多种因素影响。在共振情况下,振动幅度会显著增大,对结构安全构成威胁。第三,相位差反映不同位置处结构振动的相位关系,对于理解结构的整体振动行为具有重要意义。通过风振试验或数值模拟等方法,可以获得结构的风振响应特性,为风振控制提供依据。

### 3.3 风振控制技术

针对钢结构高耸支架的风振问题,需要采取有效的控制技术来减轻或抑制结构的振动。目前,常用的风振控制技术主要包括被动控制、主动控制和半主动控制三种类型。被动控制技术主要通过调整结构自身的性能参数来降低风振响应,如设置调频质量阻尼器(TMD)、粘滞阻尼器等。这些装置能够在风荷载作用下产生与结构振动方向相反的力或力矩,从而消耗振动能量,减小振动幅度。主动控制技术则利用传感器监测结构的振动状态,并通过作动器施加控制力来实时调整结构的振动行为。这种技术需要外部能源支持,但控制效果更为精确和灵活。半主动控制则是介于被动和主动控制之间的一种技术,它利用可变阻尼或刚度元件来根据结构的振动状态实时调整控制参数,实现风振的有效控制。在实际应用中,应根据结构的具体情况和需求选择合适的风振控制技术。

## 4 钢结构高耸支架风振控制的工程实践

### 4.1 风振问题典型案例分析

在钢结构高耸支架的设计与建设过程中,风振问题是一个不可忽视的挑战。通过回顾和分析典型的风振问题案例,可以更深入地理解风振现象的发生机理及其对结构安全的影响。例如,某电视塔在强风作用下出现了明显的振动现象,经过详细调查和分析发现,这是由于结构设计时未充分考虑风荷载的动力效应,导致结构在特定风速下发生共振。这一案例不仅揭示风振问题的严

重性,也为我们提供宝贵的经验教训:在钢结构高耸支架的设计阶段,必须充分考虑风荷载的动态特性及其对结构的影响,采取有效的风振控制措施。

### 4.2 风振控制措施的实施与效果评估

针对钢结构高耸支架的风振问题,工程实践中采取多种控制措施。这些措施的实施过程需要精细的规划和严格的执行。以某通讯塔为例,为了减轻风振对结构的影响,设计团队在塔顶安装调频质量阻尼器(TMD)。在实施过程中,首先进行了详细的风洞试验和数值模拟,以确定TMD的最优参数和安装位置。随后,按照设计方案进行了TMD的安装和调试。经过实际运行监测,发现该通讯塔在强风作用下的振动幅度显著减小,风振问题得到了有效控制。这一案例表明,合理的风振控制措施能够显著提高钢结构高耸支架的抗风性能,保障结构的安全运行。

### 4.3 实际工程应用经验总结

通过总结实际工程中的风振控制经验,可以得出以下结论:(1)风振控制是一个系统工程,需要从设计、施工、监测等多个环节入手,全面考虑风荷载的动态特性和结构的动力特性。(2)风振控制措施的选择应根据具体工程情况而定,综合考虑控制效果、经济性和可行性等因素。例如,在风荷载较小或结构刚度较大的情况下,可以采用被动控制措施;而在风荷载较大或结构对振动敏感的情况下,则需要考虑采用主动或半主动控制措施。(3)风振控制效果的评估也是至关重要的环节,需要通过实时监测和数据分析来验证控制措施的有效性,并根据实际情况进行必要的调整和优化。(4)随着科技的不断进步和工程实践的不断积累,我们将能够开发出更加先进和有效的风振控制技术,为钢结构高耸支架的安全运行提供更加坚实的保障。

## 5 钢结构高耸支架设计中的安全性与可持续性考虑

### 5.1 结构安全设计与预警体系建立

在钢结构高耸支架的设计过程中,确保结构的安全性被置于核心地位,这直接关系到其全生命周期内的稳定运行与人员安全。设计师在规划初期,需全面而深入地识别并分析各种可能影响结构安全的风险因素,包括但不限于极端气象条件下的风荷载变化、地震活动的潜在威胁、材料在长期服役过程中的性能退化(如腐蚀、疲劳)以及人为操作失误或外部撞击等。为了有效应对这些风险,设计需采取一系列增强结构承载能力和稳定性的措施<sup>[1]</sup>。具体而言,可能包括优化结构设计以分散荷载、采用高强度钢材或特殊合金材料以提高结构强度与韧性、设计合理的连接节点以增强结构的整体稳定性、

以及考虑在关键部位增设加固构件或采用冗余设计策略以提供额外的安全裕量。建立高效、可靠的预警体系对于及时发现并应对潜在的结构安全问题至关重要。预警体系应当是一个集成化的系统，其核心组成部分包括实时监测系统、先进的数据分析平台以及迅速响应的应急机制。实时监测系统通过在结构关键部位安装高精度传感器，实现对结构状态参数的持续监测，如应力分布、振动频率、位移变化等。这些实时数据是评估结构健康状况和识别潜在风险的重要依据；数据分析平台则利用先进的算法和模型，对监测到的数据进行深度挖掘和分析，识别异常模式，预测发展趋势，并评估结构的整体安全状态。这一过程不仅要求数据处理的高效性，更需确保分析结果的准确性和可靠性。一旦数据分析平台识别出结构存在潜在的安全风险或已发生异常情况，应急响应机制将立即启动。这包括向相关人员发出警报、启动应急预案、调动救援资源以及执行紧急修复或加固措施等。通过这一系列迅速而有效的行动，旨在最大限度地减少事故发生的可能性，或在事故发生后及时控制事态发展，减轻损失。

## 5.2 可持续性设计与绿色材料运用

随着可持续发展理念的深入人心，钢结构高耸支架的设计也应注重可持续性。可持续性设计旨在通过优化资源利用、减少环境影响和提高社会效益来实现建筑与自然环境的和谐共生。在材料选择上，应优先采用绿色、环保、可回收的钢材，并尽量减少资源的浪费。同时，还可以通过优化设计来降低建筑在施工、运营和拆除阶段的能耗和碳排放。例如，采用轻量化设计减轻结构自重，提高能源利用效率；利用自然采光和通风减少人工照明和空调系统的使用；以及采用预制构件和模块化施工方法缩短施工周期，减少现场扬尘和噪音污染。

## 5.3 灾害应急预案与安全管理实践

5.3.1 灾害应急预案的制定：应急预案需基于详尽的风险评估，充分考虑结构可能遭受的各类灾害，包括但不限于强台风带来的极端风荷载、地震波引起的结构振动、火灾导致的结构局部或整体失效，以及可能的爆炸事故等。预案内容应明确详尽，包括但不限于应急组织架构及责任分配、紧急联络通讯系统、救援行动流程与步骤、关键应急资源（如消防设备、急救物资、临时避难

场所）的储备与调配方案，以及灾后恢复与重建策略。

5.3.2 应急响应机制的建立：为了确保在灾害发生时能够迅速启动应急预案，必须建立高效的应急响应机制。这包括建立24小时应急值班制度，确保在任何时间都能接收到灾害预警并迅速响应；设置明确的预警阈值和报警程序，以便在灾害初现端倪时即刻采取行动；以及制定详尽的救援行动指南，为救援人员提供清晰的指导，确保救援工作高效有序地进行。

5.3.3 定期演练与评估：应急预案的价值在于实施，而其实施效果则需通过定期演练来检验。通过模拟真实灾害场景，组织相关人员进行应急演练，可以检验预案的可行性和有效性，发现存在的问题并及时进行修正。同时，演练结束后还应组织评估会议，总结经验教训，不断完善预案内容。

5.3.4 安全管理实践的加强：除了制定和执行应急预案外，加强日常的安全管理实践同样重要。这包括建立健全的安全管理制度和操作规程，明确各级管理人员的安全职责和权限；加强安全教育培训，提高员工的安全意识和自救互救能力；定期进行安全检查和维护保养工作，确保结构的安全性能始终处于良好状态；以及建立安全隐患排查治理机制，及时发现并消除潜在的安全隐患。

## 结束语

钢结构高耸支架作为现代工程的重要组成部分，其设计需综合考虑风振等环境因素，确保结构安全稳定。随着科技的不断进步，风振控制技术日益成熟，为高耸支架的安全运行提供了有力保障；可持续性设计理念的融入，使得钢结构高耸支架在满足功能需求的同时，也能实现与自然环境的和谐共生。未来，应继续深化研究，推动技术创新，为高耸支架的安全、高效、绿色发展贡献力量。

## 参考文献

- [1]郑瑞生.大跨度钢结构屋盖风振控制分析[J].福建建设科技,2020(04):20-23.
- [2]贾亚乐.郝雨杭.高层钢结构风振响应分析[J].农村经济与科技,2020,31(10):392-393.
- [3]赵中伟.张永高.基于本征-虚拟激励法的大跨钢结构风振响应分析[J].空间结构,2020,26(01):15-23.