

大跨径斜拉桥涡激振动抑制措施研究

李君伟

四川省公路院工程监理有限公司 四川成都

【摘要】大跨径斜拉桥在风荷载作用下，尤其是在特定风速下，易发生涡激振动，影响桥梁的结构安全性和舒适性。本文旨在研究和探讨大跨径斜拉桥涡激振动的抑制措施，提出了多种有效的控制策略，包括空气动力学形状优化、阻尼装置设计及振动控制材料应用等，分析其不同条件下的适用性和效果。合理的设计改进与科技手段的结合能够显著减少涡激振动对桥梁的影响，确保桥梁的长期稳定性与安全性。最后，结合数值模拟与实验验证，提出了适用于实际工程中的有效解决方案。

【关键词】大跨径斜拉桥；涡激振动；抑制措施；空气动力学；阻尼装置

【收稿日期】2025 年 3 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 5 日

【DOI】10.12208/j.ace.2025000128

Research on vortex-induced vibration suppression measures for long-span cable-stayed bridges

Junwei Li

Sichuan Provincial Highway Engineering Supervision Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan

【Abstract】Under wind loads, especially at specific wind speeds, long-span cable-stayed bridges are prone to vortex-induced vibrations, which affect the structural safety and comfort of the bridge. This paper aims to study and explore the suppression measures for vortex-induced vibrations of long-span cable-stayed bridges, and proposes a variety of effective control strategies, including aerodynamic shape optimization, damping device design, and application of vibration control materials, etc. The applicability and effects under different conditions are analyzed. The combination of reasonable design improvements and technological means can significantly reduce the impact of vortex-induced vibrations on the bridge, ensuring the long-term stability and safety of the bridge. Finally, combined with numerical simulation and experimental verification, effective solutions applicable to practical engineering are proposed.

【Keywords】Long-span cable-stayed bridge; Vortex-induced vibration; Suppression measure; Aerodynamics; Damping device

引言

大跨径斜拉桥因其独特的结构和功能，广泛应用于跨越大河流和峡谷的关键交通网络中。然而，这种桥梁在特定风速下，尤其是在迎风方向，易发生涡激振动，导致桥梁的结构安全性与耐久性下降，甚至可能对行车舒适性和桥梁使用寿命产生不利影响。研究如何有效抑制大跨径斜拉桥的涡激振动，已成为桥梁工程领域的重要课题。本文将重点探讨几种不同的抑制措施，评估它们在实际工程中的应用效果，并结合案例分析，提出一些针对涡激振动的控制策略。通过对这些方法的研究与分析，旨在为未来大跨径斜拉桥的设计提供理论依据与实践指导。

1 大跨径斜拉桥涡激振动的产生机理

大跨径斜拉桥的涡激振动是一种由风流与桥梁结构之间相互作用引发的周期性振动现象。这种现象通常发生在风速较高或风向不稳定的情况下，尤其是桥梁结构中的某些部位，如桥塔和桥面等，其几何形状会导致风流发生周期性脱离并形成涡旋^[1]。当风速和结构的固有频率发生共振时，桥梁的局部或整体会受到强烈的振动。这种现象在大跨径斜拉桥中尤为严重，因为桥梁跨度较大，风力的影响更加显著，且桥梁的塔柱、索塔以及桥面等部位更容易发生涡激振动，严重时甚至可能导致桥梁结构的疲劳损伤或失稳。

涡激振动的产生机理主要与桥梁结构的空气动力学特性密切相关。具体而言，当桥梁受到风流的影响时，空气流动会在桥塔等结构部件周围形成低压区域，导

致风流发生周期性分离。这些分离的涡流在桥梁结构表面附近交替形成并脱离,从而引发周期性的推力变化,进而产生涡激振动。根据研究,桥梁的几何形状、表面粗糙度以及风速等因素直接决定了涡流的形成及其对桥梁的影响。特别是在桥塔的上风面,由于风流的高压与低压区域交替变化,涡流的频率与风速之间可能会发生共振现象,导致桥梁在某些条件下发生较为严重的振动。

涡激振动对大跨径斜拉桥的结构安全性产生了潜在威胁,尤其在极端天气条件下,其影响更为突出。桥塔及拉索的振动不仅会导致桥梁的变形,还可能影响车辆的通行舒适性及桥梁的耐久性。在一些极端情况下,涡激振动可能会导致结构的过度变形,甚至损坏关键部件,造成交通事故或工程停运。理解涡激振动的产生机理并寻找有效的抑制措施,成为确保大跨径斜拉桥安全运营的关键任务。为了避免涡激振动对桥梁的负面影响,需要结合桥梁的设计特点,采用空气动力学优化、阻尼系统以及振动控制装置等手段来降低或消除这种振动。

2 空气动力学形状优化在涡激振动抑制中的作用

空气动力学形状优化在抑制涡激振动中发挥着至关重要的作用,尤其是在大跨径斜拉桥的设计中。通过优化桥梁的几何形状,能够有效减少风流分离和涡流的形成,从而降低涡激振动的强度。涡激振动通常由桥梁表面形状引起的风流分离所致,结构表面的不规则性或尖锐边缘往往会导致气流的非稳定脱离,产生周期性的涡流。空气动力学形状优化的关键在于通过调整桥塔、索塔以及桥面等部位的几何特性,使得风流在这些部位的流动更加平稳,避免不必要的涡流产生。这种优化不仅能够显著降低涡激振动的幅度,还能够提高桥梁在风荷载作用下的稳定性。

空气动力学优化的常用手段之一是对桥梁结构的前端进行圆滑化设计。桥塔和其他垂直结构部件的尖锐棱角和不规则表面容易引起气流的急剧变化,导致涡流的生成。通过对桥塔或索塔进行圆滑或流线型设计,能够有效减少气流的阻力,并使风流平稳地绕过这些结构部件,降低风流分离的可能性。相对的,传统的棱角分明的结构设计容易形成强烈的涡流,增加涡激振动的发生概率。桥梁设计师通常会使用风洞试验和计算流体动力学(CFD)模拟工具,针对不同风速和风向条件下的空气动力学表现进行分析,确保结构形状优化能够有效控制涡流的产生和传播。

空气动力学形状优化不仅能够减少涡激振动,还

能提高桥梁的风载响应性能。在风速较高时,优化后的桥梁结构能够更好地适应风流的变化,避免共振现象的发生^[2]。通过调整桥塔和桥面的形状,可以有效地分散风荷载的作用力,减少振动的能量传递。空气动力学优化还可降低桥梁在极端天气条件下的稳定性风险,确保桥梁在长期运营过程中不会因频繁的涡激振动而受到损害。综上所述,空气动力学形状优化不仅提升了桥梁的安全性,还在一定程度上降低了维护成本,对于大跨径斜拉桥的设计和使用寿命具有重要意义。

3 阻尼装置设计与涡激振动的关系

阻尼装置在涡激振动的控制中扮演着重要角色,尤其是在大跨径斜拉桥的应用中,能够有效减少由风流引发的周期性振动。涡激振动是一种由气流与结构相互作用引起的振动现象,其产生的原因通常是风流在桥梁表面产生的周期性涡流。在这一过程中,桥梁的固有频率与涡流的频率相近时,容易发生共振,导致桥梁结构产生较大的振动幅度。为了抑制这种振动,阻尼装置通过吸收振动能量,减小振动幅度,从而增强结构的稳定性。

阻尼装置的设计原则在于能够在涡激振动的关键部位提供有效的能量耗散。常见的阻尼装置类型包括粘性阻尼器、摩擦阻尼器和质量阻尼器等。粘性阻尼器通过液体的流动阻力来消耗振动能量,适用于缓慢振动的控制;摩擦阻尼器则通过摩擦力作用消耗机械能,适用于高速振动的抑制;而质量阻尼器通过调节附加质量与弹簧系统的设计,达到减少结构振动的效果。这些阻尼装置的应用,可以根据不同桥梁的结构特点以及风速、振动频率等因素进行选择,从而在涡激振动的影响下,降低桥梁的应力和变形,确保桥梁的安全性。

随着桥梁设计技术的进步,现代阻尼装置的研究也逐渐朝着智能化和自适应化方向发展。某些新型阻尼系统能够根据实时监测数据,自动调节阻尼力的大小,以适应不同风速和涡激振动的强度。这种动态调节的阻尼装置能够在不同气候条件下都保持较高的抑制效果,进一步提高桥梁的稳定性^[3-7]。阻尼装置不仅可以减少涡激振动的影响,还能延长桥梁的使用寿命,降低因振动带来的结构疲劳损伤。阻尼装置在大跨径斜拉桥中的应用,已经成为提升结构安全性和可靠性的重要手段。通过合理的阻尼设计,可以有效控制涡激振动对桥梁的影响,确保桥梁在复杂风环境中的长期稳定运行。

4 涡激振动抑制措施的实验研究与工程应用

涡激振动抑制措施的实验研究在工程应用中起到

了重要的指导作用。通过开展实验研究,能够直观地验证不同抑制方法的效果,并为实际工程中的设计提供科学依据。常见的实验手段包括风洞试验、现场监测和数值模拟等。在风洞试验中,研究人员通过模拟风流作用下桥梁模型的振动情况,观察不同形状、不同阻尼装置下的振动反应,进而分析涡激振动的产生机理以及有效的抑制策略。现场监测则通过安装振动传感器、风速测量仪等设备,实时获取桥梁在实际风力作用下的振动数据,为后续的抑制措施评估提供参考。数值模拟方法通过建立桥梁和风流相互作用的数学模型,能够在多种工况下预测涡激振动的发生情况,并对比不同设计方案的抑制效果。这些实验手段相结合,能够为涡激振动抑制措施的优化和选择提供全面的数据支持。

实验研究表明,针对大跨径斜拉桥的涡激振动,空气动力学优化和阻尼装置的结合应用具有显著的抑制效果。在实际应用中,通过风洞试验验证了圆滑化的桥塔形状可以有效降低涡流的生成,并使桥梁在风速较高时保持较好的稳定性。实验中还发现,安装质量阻尼器或粘性阻尼器等装置能够有效减小桥梁在风荷载作用下的振动幅度,尤其是在涡激振动频率和桥梁固有频率接近时,阻尼装置发挥了至关重要的作用。通过对不同阻尼方式的对比实验,研究人员进一步明确了不同桥梁结构和风环境条件下最佳的阻尼装置类型和配置方式,为工程应用提供了可操作性的方案。

在实际工程中,涡激振动抑制措施已被广泛应用于多个大跨径斜拉桥项目中。在一些已建成的桥梁中,通过应用空气动力学形状优化和现代阻尼技术,显著降低了桥梁的涡激振动风险。某些桥梁通过改进桥塔的外形设计,结合涡流阻尼器、液压阻尼系统等多种措施,不仅提高了桥梁的耐久性,还有效减少了因振动引发的维修费用和安全隐患^[8]。这些工程应用表明,合理的涡激振动抑制措施能够大大提高桥梁的安全性和稳定性,确保其在复杂环境中的长期运行。而随着技术的不断发展,更多高效、智能的涡激振动控制方法有望在未来的桥梁设计中得到应用,进一步推动大跨径斜拉桥的安全与可持续发展。

5 结语

涡激振动作为大跨径斜拉桥设计中的重要问题,

已经引起了广泛关注。通过空气动力学形状优化与阻尼装置的有效结合,可以显著降低涡激振动对桥梁的影响,提升桥梁的稳定性和安全性。实验研究与工程应用的不断深入,为涡激振动的控制提供了重要的理论与实践依据。未来,随着技术的进步和新型抑制措施的应用,涡激振动的抑制手段将更加成熟,为大跨径斜拉桥的设计和运营提供更加可靠的保障,确保其在各种复杂环境下的长期安全运行。

参考文献

- [1] 宣菲,吴斌,陈亮,等.大跨径独塔斜拉桥钢箱梁安装临时支架优化理论与设计[J].建筑技术开发,2025,52(06):115-117.
- [2] 高升,刘绍焕,吴春成,等.大跨径非对称混合梁独塔斜拉桥利用三维激光扫描+BIM 安装钢箱梁技术研究[J].建筑机械,2025,(06):111-115+4.
- [3] 何奇,宋元印,陈龙,等.大跨径斜拉桥索塔锚固区结构形式比较及受力性能研究[J/OL].公路,2025,(06):168-176[2025-06-24].
- [4] 高艳滨.台风“杜苏芮”期间某大跨径斜拉桥结构响应分析[J].价值工程,2025,44(13):19-21.
- [5] 陈华梁,袁帅华.高速铁路大跨径混合梁部分斜拉桥参数敏感性分析[J].桥梁建设,2025,55(02):108-115.
- [6] 世界最大跨径单塔部分地锚式斜拉桥主墩承台全部浇筑完成[J].江西建材,2024,(12):157.
- [7] 赵鑫,应世明,张镇东,等.大跨径多矮塔斜拉桥合龙施工温度效应研究[J].施工技术(中英文),2024,53(24):106-111+143.
- [8] 李武安,赵澜婷.大跨径组合梁斜拉桥钢-混结合段合理位置和受力性能研究[J].价值工程,2024,43(35):93-96.

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