

桥梁设计中的风荷载影响与优化措施

黄江荣

1426021976****1515

摘要: 风荷载是桥梁设计中的关键荷载因素,直接影响桥梁的结构安全、稳定性与使用寿命。本文聚焦桥梁设计中风荷载的作用机制与优化应对策略,从风荷载特性分析、对不同类型桥梁的影响、设计参数影响、优化设计措施到监测评估体系展开探讨,旨在梳理风荷载作用规律与科学应对路径,为桥梁抗风设计提供技术参考,保障桥梁在复杂风环境下的安全可靠运行。通过对风荷载特性、影响因素、优化措施及监测评估体系的全面梳理,本文为桥梁抗风设计提供了系统的理论支持与实践指导,助力桥梁工程的安全与可持续发展。

关键词: 桥梁设计; 风荷载; 结构安全; 抗风优化; 风致振动

DOI: 10. 69979/3029-2727. 25. 10. 062

引言

随着桥梁跨度不断增大、结构形式日益轻盈,风荷载对桥梁的作用愈发显著,风致振动引发的桥梁破坏案例时有发生,凸显了抗风设计的重要性。风荷载不仅会产生静态推力,还会引发颤振、涡振等动态效应,对桥梁结构的强度、刚度与稳定性构成多重挑战。在桥梁设计中,精准分析风荷载特性、科学采取抗风优化措施,是确保桥梁安全运营的核心环节。研究风荷载影响与优化策略,对提升桥梁抗风性能、推动大跨度桥梁技术发展具有重要意义。本文围绕风荷载在桥梁设计中的作用机制与优化措施展开研究,探索其在复杂风环境下的应对策略,为桥梁抗风设计提供科学依据和技术支持。

1 桥梁风荷载的特性与作用机制

1.1 自然风的基本特性与参数表征

自然风具有随机性、方向性和速度变化等特性,其基本参数包括风速、风向、湍流强度等。风速是风荷载的主要参数,通常用平均风速和脉动风速来表征。平均风速反映了风的总体强度,而脉动风速则体现了风速的波动特性。风向决定了风对桥梁的作用方向,湍流强度则影响风荷载的分布和大小。在桥梁设计中,需要根据当地的气象数据和地形条件,准确确定自然风的基本特性,为风荷载的计算和分析提供依据。例如,在沿海地区,由于海风的湍流强度较大,桥梁设计时需要特别关注风速的波动对结构的影响。

1.2 风荷载的静态作用与动态效应分类

风荷载对桥梁的作用可以分为静态作用和动态效应。静态作用主要是风对桥梁产生的水平推力和垂直压

力,这些力作用在桥梁的结构上,引起结构的变形和内力变化。动态效应则包括颤振、涡振和抖振等,这些效应是由于风的脉动特性引起的桥梁结构的振动。颤振是由于风的周期性作用引起的桥梁结构的自激振动,涡振是由于风绕过桥梁结构时产生的涡流引起的振动,抖振则是由于风的湍流特性引起的桥梁结构的随机振动。在桥梁设计中,需要对风荷载的静态作用和动态效应进行分类分析,采取相应的抗风措施,以确保桥梁的安全性和稳定性。

1.3 不同风环境下的荷载特性差异分析

不同风环境下,风荷载的特性存在显著差异。在开阔地区,风速较为均匀,风向相对稳定,风荷载主要表现为均匀分布的静态压力。在山区和峡谷地区,由于地形的遮挡和引导作用,风速和风向变化较大,风荷载的分布较为复杂。在沿海地区,海风的湍流强度较大,风速的波动较为明显,风荷载的动态效应更为显著。在桥梁设计中,需要根据不同的风环境条件,分析风荷载的特性差异,采取针对性的抗风设计措施。例如,在山区和峡谷地区,桥梁设计时需要特别关注风速和风向的变化对结构的影响,在沿海地区则需要重点考虑风的湍流特性对结构动态效应的影响。

2 风荷载对不同类型桥梁的影响分析

2.1 大跨度悬索桥的风致振动响应

大跨度悬索桥由于其结构形式轻盈、跨度大,对风荷载非常敏感。风致振动是悬索桥的主要抗风问题之一,尤其是颤振和涡振。颤振是由于风的周期性作用引起的桥梁主梁的自激振动,当风速达到一定值时,主梁会发

生大幅度的振动，甚至可能导致桥梁的破坏。涡振则是由于风绕过主梁时产生的涡流引起的振动，这种振动在一定风速范围内会发生共振，使主梁产生较大的振幅。在大跨度悬索桥的设计中，需要对风致振动进行详细分析，采取有效的抗风措施，如优化主梁的气动外形、设置减震装置等，以确保桥梁的安全性和稳定性。

2.2 斜拉桥的风荷载作用与结构反应

斜拉桥是一种典型的高耸结构，其塔、梁、索系统在风荷载作用下会产生复杂的结构反应。风荷载对斜拉桥的作用主要体现在塔身的侧向推力、主梁的振动以及斜拉索的风致振动。塔身的侧向推力会导致塔身的弯曲变形和基础的不均匀沉降，主梁的振动会影响桥梁的行车舒适性和结构安全性，斜拉索的风致振动则可能导致索的疲劳破坏。在斜拉桥的设计中，需要对风荷载作用下的结构反应进行详细分析，优化塔身和主梁的结构形式，设置斜拉索的减震装置，以提高桥梁的抗风性能。

2.3 中小跨度梁桥的风荷载影响特点

中小跨度梁桥虽然跨度相对较小，但仍然会受到风荷载的影响。风荷载对中小跨度梁桥的影响主要体现在桥面的局部振动和整体结构的稳定性上。桥面的局部振动会影响行车舒适性，整体结构的稳定性则关系到桥梁的安全性。在中小跨度梁桥的设计中，需要根据桥梁的具体情况，分析风荷载的影响特点，采取相应的抗风措施。例如，优化桥面的断面形式，设置防风栏杆等，以提高桥梁的抗风性能。

3 影响桥梁风荷载作用的关键设计参数

3.1 桥梁跨度与结构刚度对风荷载的影响

桥梁跨度和结构刚度是影响风荷载作用的关键设计参数。桥梁跨度越大，结构刚度越小，风荷载对桥梁的影响越显著。大跨度桥梁在风荷载作用下更容易发生振动，尤其是颤振和涡振。结构刚度则决定了桥梁在风荷载作用下的变形和内力分布。刚度较小的桥梁在风荷载作用下会产生较大的变形，导致结构的内力分布不均匀，影响桥梁的安全性和稳定性。在桥梁设计中，需要根据桥梁的跨度和使用要求，合理确定结构刚度，以提高桥梁的抗风性能。例如，通过增加主梁的截面尺寸、优化主梁的结构形式等措施，提高桥梁的结构刚度，减少风荷载对桥梁的影响。

3.2 桥面宽度与断面形式的抗风性能差异

桥面宽度和断面形式对桥梁的抗风性能有重要影

响。桥面宽度越大，风荷载的作用面积越大，风致振动的可能性也越大。桥面断面形式则决定了风荷载的分布和大小。不同的桥面断面形式具有不同的气动特性，对风荷载的响应也不同。例如，流线型断面形式具有较好的抗风性能，可以有效减少风荷载对桥梁的影响。在桥梁设计中，需要根据桥梁的具体情况，合理确定桥面宽度和断面形式，以提高桥梁的抗风性能。例如，采用流线型断面形式，优化桥面的附属设施布局等，以减少风荷载对桥梁的影响。

3.3 桥面附属设施对风荷载分布的影响

桥面附属设施如防风栏杆、路灯、交通标志等对风荷载分布有重要影响。这些附属设施会改变风的流动方向和速度，导致风荷载的分布发生变化。例如，防风栏杆可以有效减少风对桥面的影响，但同时也会影响风的流动方向，导致局部风速增大。路灯和交通标志等设施则会在风荷载作用下产生附加的振动，影响桥梁的结构稳定性。在桥梁设计中，需要对桥面附属设施进行合理设计和布局，以减少其对风荷载分布的影响。例如，优化防风栏杆的高度和间距，合理布置路灯和交通标志等设施，以提高桥梁的抗风性能。

4 桥梁抗风设计的优化措施与技术路径

4.1 气动外形优化与流线型结构设计

气动外形优化和流线型结构设计是提高桥梁抗风性能的重要措施。通过优化桥梁的气动外形，可以有效减少风荷载对桥梁的影响。例如，采用流线型的主梁断面形式，可以减少风的阻力，降低风致振动的可能性。流线型结构设计还可以优化风的流动方向，减少局部风速增大对桥梁的影响。在桥梁设计中，需要根据桥梁的具体情况，进行气动外形优化和流线型结构设计，以提高桥梁的抗风性能。例如，通过风洞试验和数值模拟等手段，对桥梁的气动外形进行优化设计，确保桥梁在复杂风环境下的安全性和稳定性。

4.2 减震装置与气动控制措施应用

减震装置和气动控制措施是提高桥梁抗风性能的重要技术手段。减震装置如阻尼器、质量阻尼器等可以有效减少桥梁的振动，提高桥梁的稳定性。气动控制措施如设置导流板、扰流板等可以改变风的流动方向和速度，减少风荷载对桥梁的影响。在桥梁设计中，需要根据桥梁的具体情况，合理选择和应用减震装置和气动控制措施，以提高桥梁的抗风性能。例如，在大跨度悬索

桥中,设置阻尼器可以有效减少主梁的振动,在斜拉桥中,设置导流板可以优化风的流动方向,减少风荷载对斜拉索的影响。

4.3 结构刚度强化与材料性能提升

结构刚度强化和材料性能提升是提高桥梁抗风性能的重要措施。通过增加桥梁的结构刚度,可以减少风荷载对桥梁的影响,提高桥梁的稳定性。材料性能提升则可以通过使用高强度、高韧性材料,提高桥梁的抗风能力。例如,采用高强度钢材可以提高桥梁的结构刚度,减少风荷载对桥梁的影响。在桥梁设计中,需要根据桥梁的具体情况,进行结构刚度强化和材料性能提升,以提高桥梁的抗风性能。例如,通过增加主梁的截面尺寸、优化主梁的结构形式等措施,提高桥梁的结构刚度,使用高强度、高韧性材料,提高桥梁的抗风能力。

5 桥梁风荷载监测与抗风性能评估体系

5.1 风环境监测与荷载数据采集系统设计

风环境监测和荷载数据采集是桥梁抗风性能评估的重要基础。通过建立风环境监测系统,可以实时监测桥梁所在区域的风速、风向、湍流强度等参数,为风荷载的计算和分析提供依据。荷载数据采集系统则可以实时采集桥梁在风荷载作用下的响应数据,如主梁的变形、振动频率、内力分布等,为抗风性能评估提供数据支持。在桥梁设计中,需要根据桥梁的具体情况,设计合理的风环境监测和荷载数据采集系统,以提高桥梁抗风性能评估的准确性。例如,通过安装风速仪、风向仪等设备,

建立风环境监测系统,在桥梁的关键部位安装应变片、加速度传感器等设备,建立荷载数据采集系统,实时监测桥梁的响应数据。

5.2 风致振动响应监测与预警机制建立

风致振动响应监测和预警机制是保障桥梁安全运营的重要手段。通过建立风致振动响应监测系统,可以实时监测桥梁在风荷载作用下的振动响应,及时发现桥梁的异常振动。预警机制则可以根据监测数据,及时发出预警信号,提醒相关人员采取措施,保障桥梁的安全运营。在桥梁设计中,需要根据桥梁的具体情况,建立风致振动响应监测和预警机制,以提高桥梁的安全性和可靠性。例如,通过安装加速度传感器、位移传感器等设备,建立风致振动响应监测系统,根据监测数据设定合理的预警阈值,建立预警机制,及时发出预警信号。

5.3 桥梁抗风性能的长期评估与维护策略

桥梁抗风性能的长期评估和维护策略是保障桥梁全生命周期安全运营的重要环节。通过建立长期评估体系,可以定期对桥梁的抗风性能进行评估,及时发现桥梁的抗风性能变化。维护策略则可以根据评估结果,制定合理的维护计划,及时对桥梁进行维护和加固,保障桥梁的安全运营。在桥梁设计中,需要根据桥梁的具体情况,制定合理的长期评估和维护策略,以提高桥梁的抗风性能和使用寿命。例如,通过定期对桥梁进行风洞试验和数值模拟,评估桥梁的抗风性能,根据评估结果制定合理的维护计划,及时对桥梁进行维护和加固,保障桥梁的安全运营。

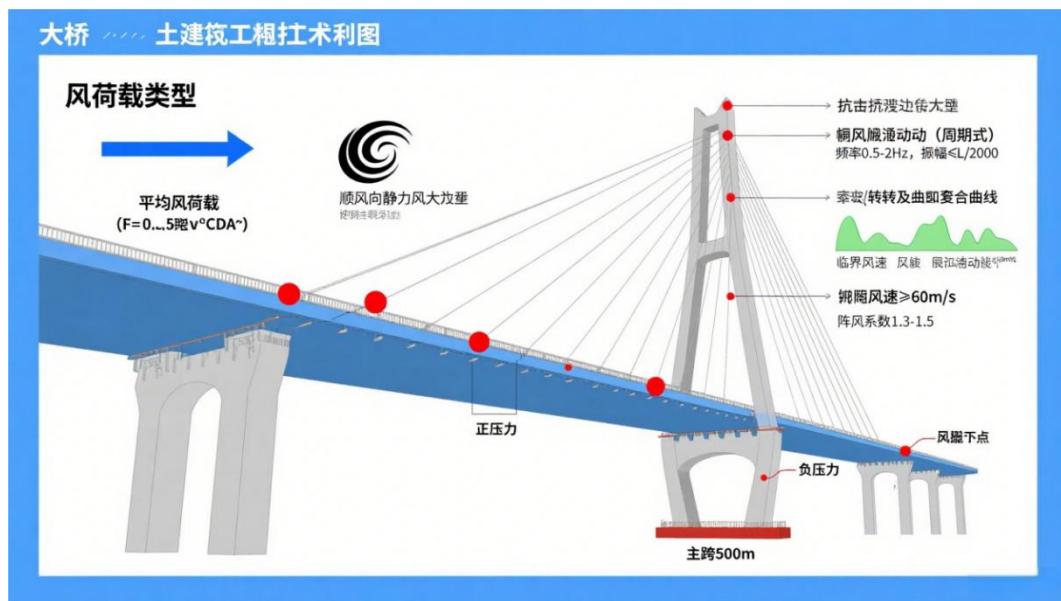


图 1 桥梁风荷载作用与抗风措施示意图

6 结论

风荷载作为桥梁设计中的关键因素,对桥梁结构安全与稳定性具有决定性影响,其静态作用与动态效应需在设计中得到充分考量。不同类型桥梁受风荷载影响存在显著差异,跨度、结构形式等设计参数直接关系抗风性能。通过气动优化、减震装置应用、刚度强化等措施,可有效提升桥梁抗风能力。建立完善的风荷载监测与评估体系,能为桥梁全生命周期抗风安全提供保障。科学应对风荷载影响,对推动桥梁工程技术进步、保障重大交通基础设施安全具有重要实践价值。本文通过对风荷载特性、影响因素、优化措施及监测评估体系的全面梳理,为桥梁抗风设计提供了系统的理论支持与实践指导,助力桥梁工程的安全与可持续发展。

参考文献

- [1] 代笑颜,牛华伟,杨佳,等.单/双承力索桥梁接触网设计风荷载研究[J].铁道科学与工程学报,2023,20(08):2794-2802.
- [2] 代笑颜.峡谷桥梁接触网设计风荷载与风振响应研究[D].湖南大学,2022.
- [3] 金安迪.行走状态挂篮风荷载稳定性计算——以孟家沟大桥为例[J].科学技术创新,2021,(36):138-140.
- [4] 颜志,覃怡.公路桥梁设计荷载及其组合研究[J].黑龙江交通科技,2018,41(06):130-131.
- [5] 周峰.大跨度桥梁施工抗风设计研究[J].建材与装饰,2018,(20):258-259.