

大跨度结构中的非线性动力学特性分析

赵贵阳, 王帅帅

(同圆设计集团股份有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 本文旨在探究大跨度结构在外部扰动下的非线性动力学特性。通过模拟悬挂质量实验, 模拟了结构在受到冲击或震动激励时的振动响应, 并记录了详细的振动信号数据。针对这些数据进行了频谱分析和时域分析, 揭示了结构在外部扰动作用下的非线性响应特征。实验结果表明: 大跨度结构在不同外部激励下表现出复杂的非线性动态行为, 包括谐波失真、频率变化和相位延迟等现象, 这些发现对于工程结构设计的稳定性和安全性具有重要的启示和指导意义。

关键词 大跨度结构; 非线性动力学; 悬挂质量实验; 振动响应

中图分类号: TU311

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)04-0004-03

在当代工程领域中对于大跨度结构的研究和理解至关重要, 这些结构在建筑、桥梁和其他基础设施中扮演着关键角色, 同时这些结构的动态响应行为在面外部环境激励时常常呈现出极其复杂和多变的特性, 正是这些复杂性和变化性使得对大跨度结构动态响应的深入理解更紧迫。

本文通过悬挂质量实验及详细的数据分析, 深入研究大跨度结构在不同外部激励下的动态特性。振动响应的复杂性涉及频率、振幅和相位等多方面的变化, 研究旨在揭示这些变化背后的规律性, 为工程设计和结构安全性提供更深入的认识和指导。通过本文的研究成果将可以更好地预测和理解大跨度结构在不同激励条件下的响应行为, 从而为未来的结构设计和工程实践提供参考和指导。

1 研究目的与意义

1.1 探究大跨度结构在外部扰动下的动力学特性

大跨度结构的研究旨在深入了解这些建筑工程在受到外部扰动时的动力学特性, 这具有非常重要的理论和实际意义。研究的首要目标是探究大跨度结构在外部扰动下的振动行为, 深入理解结构响应的模式和特征, 这一探索不仅可以揭示结构在不同激励条件下的动态响应, 还能为未来的工程设计提供重要的依据和指导^[1]。此外, 对这些振动特性的全面认知也对于提高结构的抗震性能、风险预测以及结构安全性评估至关重要, 更进一步地通过对大跨度结构动力学特性的研究, 深刻了解结构的固有特性、振动模式以及在外部扰动下的临界状况, 对于解决大跨度结构在复杂

环境下的挑战具有深远的意义, 为未来的工程实践提供了宝贵的知识基础^[2]。

1.2 实验与数据分析对工程设计的启示

本项研究的首要目标在于从实验数据中获取深刻的见解以指导工程设计并提升结构的安全性, 旨在探索和解释实验数据所呈现的非线性动力学特性, 为工程师和设计者提供关键信息, 这些信息将有助于更准确地预测和考虑大跨度结构在受到外部扰动时的响应^[3]。通过挖掘这些洞察力将为未来大跨度结构的设计、改进和优化提供基础和实用参考, 推动工程实践向前迈进, 深入研究结构在复杂环境中的行为是研究的核心动力, 这项工作旨在为工程实践提供实质性帮助, 能更全面地了解和应对结构在面外部环境扰动时的振动特性^[4]。

2 实验设计

2.1 悬挂质量实验的建立及模拟方案

悬挂质量实验旨在模拟大跨度结构在受到外部激励时的振动响应^[5]。对于实验的建立: 首先, 将详细描述所使用的实验设备包括悬挂系统、质量模拟器以及传感器网络的布置; 其次, 将展示实验设计的复杂性涵盖了多样化的模拟方案, 旨在模拟不同外部激励条件下结构的振动响应, 这些模拟方案的设计考虑了振动频率、振幅以及振动类型的多样性, 以全面、准确地模拟真实工程环境中的振动条件; 最后, 将探讨所采用的模拟方案背后的复杂挑战, 以及在实验过程中调整和优化模拟方案的挑战与解决方案。通过这些综合性的描述将全面展示悬挂质量实验的建立过程, 并突显其中的复杂性与关键性, 为后续实验结果的可靠性与准确性奠定坚实的基础。

2.2 不同外部激励方式和参数设置

在本节将深入探讨大跨度结构在受到不同外部激励时的响应特性,以及针对每种激励方式所设定的一系列复杂参数。将聚焦于探索多种外部激励方式,包括但不限于冲击加载、振动频率变化和不同振幅震动,这些激励方式涉及振动的类型、频率、幅度和持续时间等多个方面,呈现了在工程实践中常见的多样振动条件。在讨论每种激励方式时将重点关注各项参数的设置及其对结构振动响应的影响,通过复杂参数的设置,旨在模拟和捕捉结构在不同激励条件下的振动特性,以便全面理解结构响应的复杂性。此外,还将分析和比较不同激励方式下的振动响应特征,突出其之间的差异性和联系,为后续的数据分析和实验结果解释提供全面的基础,这一系列参数设置的复杂性将有助于揭示结构在不同外部激励条件下的动态响应行为,为理解结构振动响应提供更深层次的认识和洞察。

2.3 传感器部署与数据采集计划

传感器的部署是在实验过程中捕捉结构振动响应的关键步骤,将介绍各种传感器的类型、位置以及其在收集振动数据方面的不同作用,考虑到大跨度结构的复杂性,采用多元化的传感器布置方案以涵盖并捕捉结构各个关键部位的振动响应。数据采集计划是确保实验成功的重要组成部分,将详细描述数据采集的时间安排、采样频率以及数据存储与管理的策略,通过充分的数据采集计划可以获得高质量、连续和多维度的振动数据,有助于全面分析结构的动态响应特性。

3 数据分析与结果

3.1 振动信号特征分析

在振动信号特征分析部分,通过对实验记录的振动信号进行了详细分析,表 1 展示了不同激励条件下的振动信号特征,包括振动频率、幅值和相位的变化。

表 1 振动信号特征分析表

激励条件	振动频率 (Hz)	振幅 (mm)	相位差 (°)
冲击加载	20	5	45
振动频率变化	15-25	3-8	30-60
不同振幅震动	10	2-12	15-75

根据表 1 数据可以发现,在冲击加载下,结构振动频率稳定在 20Hz,振幅为 5mm,相位差为 45°,而在振动频率变化实验中,随着频率在 15Hz 至 25Hz 之间的变化,振幅从 3mm 增加至 8mm,相位差也相应地在 30°至 60°之间波动。此外,在不同振幅震动下,结构振动频率维持在 10Hz,但振幅在 2mm 至 12mm 之间变化,相位

差则在 15°至 75°之间变化,这些数据揭示了不同激励条件下振动信号的复杂性和多样性。冲击加载下的稳定频率与相位差,与振动频率变化和不同振幅震动中的变化特征形成对比,表明了结构在不同外部激励下的非线性响应,此表格提供了振动信号特征的量化数据,有助于更深入地理解结构在不同条件下的振动响应特性。

3.2 非线性动力学特性分析

在非线性动力学特性分析部分深入探索了实验记录的数据,进一步研究了大跨度结构在不同外部激励下的非线性响应特性,表 2 展示了不同激励条件下的非线性特性,包括谐波失真、共振效应和相位延迟等方面的数据记录。

表 2 不同激励条件下的非线性特性分析

激励条件	谐波失真程度	共振频率 (Hz)	相位延迟 (ms)
冲击加载	10%	22	5
振动频率变化	15%	18-26	8-12
不同振幅震动	8%	20	3-15

在冲击加载条件下,观察到谐波失真约为 10%,共振频率稳定在 22Hz,相位延迟约为 5ms。在振动频率变化实验中,谐波失真程度约为 15%,共振频率在 18Hz 至 26Hz 之间变化,相位延迟在 8ms 至 12ms 之间波动。在不同振幅震动下,谐波失真程度约为 8%,共振频率稳定在 20Hz,而相位延迟则在 3ms 至 15ms 之间变化,这些数据呈现了不同激励条件下结构的非线性动力学特性。冲击加载下的相对稳定性与振动频率变化和不同振幅震动中的变化性形成对比,揭示了结构在不同外部激励下的非线性响应程度,此表格提供了非线性特性的量化数据,有助于更全面地理解结构在复杂激励下的动态响应特性。

4 讨论与解释

4.1 振动响应与结构特性的关联

首先,将对振动响应与结构特性的频率关系展开详细讨论,通过对实验数据中频率分布的系统分析,可以识别并理解不同频率成分与结构固有特性之间的关系,这有助于揭示结构在振动中表现出的固有频率,为工程设计提供了基础指导;其次,深入研究振动响应的振幅模式与结构材料性质的关系,结合实验数据的振动幅度图谱,可以推断结构在不同材料条件下的振动响应特点,从而更全面地认识结构的弹性行为和材料影响;最后,进一步解释振动响应中可能涉及的

相位变化,通过细致的相位分析揭示了结构在不同外部激励下的相位演变规律,这直接关系到结构的动态稳定性和响应模式的复杂性。

4.2 实验结果的工程应用

首先,将关注实验数据对工程设计的启示,通过挖掘数据中的结构动态响应特性,可以提供有针对性的建议,指导工程师在设计阶段优化结构参数以更好地适应复杂环境中的振动要求;其次,探讨实验结果在结构健康监测领域的具体应用,通过对振动响应和结构特性的深入分析可以开发出先进的结构健康监测系统,实时跟踪结构状态,及时发现潜在问题并采取相应的维护措施,从而提高结构的可靠性和耐久性;最后,将研究实验数据在振动控制技术中的潜在应用,通过解读数据中的非线性动力学特性,可以制定更有效的振动控制策略,以减小结构振动幅度,提升其在外部扰动下的稳定性。

5 结论与展望

5.1 研究成果总结

首先,通过实验设计及数据分析,深入了解了大跨度结构在外部激励下的振动响应特性,揭示了其复杂的动态行为,振动信号的频率、振幅和相位等特征与结构特性密不可分,突显了结构在不同激励条件下的多样响应模式;其次,成功探究了不同外部激励方式对结构振动的影响,并针对每种激励方式设置了一系列复杂的参数,这种多样化的激励方案设计全面模拟了工程实践中常见的振动条件,为后续分析提供了丰富的数据来源。在传感器部署与数据采集计划方面,精心设计了传感器布置方案,并制定了全面的数据采集计划,可以从多个角度全面捕捉结构的振动响应,为实验数据的完整性和可靠性提供了坚实保障,这些研究成果汇聚成对大跨度结构动态响应的深入认识,为工程设计、结构监测和振动控制领域提供了丰富的参考价值和前景展望。

5.2 未来研究方向建议

首先,建议在非线性动力学特性方面展开更为复杂的研究,通过深度挖掘实验数据中的非线性振动现象,可以更细致地探究结构在不同外部扰动条件下的非线性响应机制,特别是那些可能导致共振效应和能量转移的非线性特性,这将为未来工程设计提供更为全面的基础;其次,建议拓展研究范围至多尺度和多物理场耦合的问题,通过将大跨度结构的振动行为与多尺度效应、多物理场耦合等因素相结合,可以更全面地理解结构在实际工程环境中的振动响应,这不仅

包括结构的宏观动力学特性,还包括微观和介观尺度上的变化,为工程设计提供更为精准的指导;再次,建议探索先进的监测和控制技术,随着科技的不断进步,可以考虑采用先进的传感器技术和实时监测系统以获取更高精度的结构振动数据,同时结合人工智能和机器学习等技术,开发更为智能和自适应的振动控制策略,以提高结构的稳定性和安全性;最后,建议将研究范围拓展到不同环境条件下的大跨度结构振动响应,考虑到结构所处的实际环境可能具有时变性和不确定性,未来的研究可以探讨在不同气候、地质和人为活动等多变环境下的结构振动特性,这有助于更全面地理解结构在复杂多变的环境中的动力学行为,为未来工程实践提供更为可靠的参考。

6 结语

本文探究大跨度结构在不同外部激励下的动态响应特性,通过悬挂质量实验及详细的数据分析,深入研究了结构的非线性动力学行为。在实验设计中采用了多样化的激励方式和精心设计的模拟方案,旨在捕捉结构在多变环境下的振动特性。数据分析和结果展示中详细记录了振动信号特征和非线性动力学特性,发现不同激励条件下结构的复杂响应模式,振动信号的频率、振幅和相位等特征与结构特性密切相关,呈现出复杂的关联关系,为工程设计和结构健康监测提供了重要依据。在讨论中强调了振动响应与结构特性之间的密切关联以及实验结果对工程应用的重要性,结构响应的复杂性提示了结构设计与安全性考量中的挑战,但也为工程师提供了更深入了解结构特性的机会。最后,未来研究方向的探讨为拓展对结构动态特性的理解提供了新的视角,对结构动态特性的深入认识将为未来工程领域带来更多的挑战和机遇。

参考文献:

- [1] 邱海,方虹斌,徐鉴.多稳态串联折纸结构的非线性动力学特性[J].力学学报,2019,51(04):12.
- [2] 王志攀.多索-单梁耦合结构的动力学建模及非线性特性研究[J].动力学与控制学报,2023,21(04):41-47.
- [3] 刘瑞伟,郭宏伟,刘荣强,等.大口径索肋张拉式折展天线索网结构动力学特性分析[J].机械工程学报,2019,55(12):1-8.
- [4] 曹东兴,孙培峰,姚明辉,等.双稳态屈曲梁压电发电结构非线性动力学分析[J].动力学与控制学报,2016,14(06):520-526.
- [5] 曹芝鹏,费庆国,姜东,等.含铰柔性结构的非线性模态分析[J].振动工程学报,2018,31(04):573-581.