

桥梁荷载试验中的关键技术与实践研究

张 磊

内蒙古自治区交通运输科学发展研究院 内蒙古 呼和浩特 010051

摘 要：桥梁荷载试验是桥梁工程领域中的一项重要技术，它对于确保桥梁结构的安全性和稳定性起着至关重要的作用。本文将探讨桥梁荷载试验中的关键技术，并分析其在实际操作中的应用优化。通过详细阐述加载方式、测量技术以及数据处理等方面的内容，本文旨在为桥梁工程领域提供更为全面和深入的指导。

关键词：桥梁荷载试验；关键技术；实践应用；加载方式；测量技术

引言

随着交通基础设施建设的不断推进，桥梁作为连接两岸、促进区域经济发展的重要枢纽，其安全性和稳定性越来越受到关注。为了确保桥梁在运营过程中的安全性，荷载试验成为了不可或缺的环节。本文将对桥梁荷载试验中的关键技术进行深入研究，以期对相关工程实践提供有益的参考。

1 桥梁荷载试验的重要性及类型

桥梁荷载试验是评估桥梁结构性能和有效性的手段。通过模拟桥梁在实际使用中的受力状态，可以全面了解桥梁的承载能力、刚度和稳定性等关键性能指标。根据试验目的和加载方式的不同，桥梁荷载试验主要分为静载试验和动载试验两种类型。静载试验主要通过施加静态荷载来观测桥梁的变形、位移等指标，而动载试验则通过施加动态荷载来分析桥梁的动力响应。

2 关键技术与实践应用

2.1 加载技术

2.1.1 静载加载

在静载加载技术中，加载位置和荷载大小的确定是至关重要的环节。合理的加载位置不仅能够真实反映桥梁在实际使用中的受力状态，还能确保试验的有效性和安全性。为了确定这些关键参数，需要综合考虑多个因素。首先，根据桥梁的设计图纸可以了解到桥梁的结构形式、主要受力构件以及预期的荷载分布。这些信息是确定加载位置的基础。其次，施工质量的差异可能会影响桥梁的实际承载能力，因此在确定荷载大小时，必须参考施工过程中的质量控制报告和验收资料。此外，桥梁的运营情况也是不可忽视的因素。长期的运营可能导致桥梁结构的某些部分出现疲劳损伤或性能退化，这需要在加载时给予特别关注^[1]。在选择加载方式时，车辆加载、沙袋、水箱和液压千斤顶等是常用的方式。车辆加载能够快速完成布载和卸载。沙袋加载适用于小型桥

梁或局部加载试验，其优点是成本低、操作简单。水箱加载则能提供更为均匀的荷载分布，适用于需要模拟均布荷载的场合。而液压千斤顶则能提供精确的荷载控制，特别适用于需要精确模拟特定荷载工况的大型桥梁试验。在选择加载方式时，还需考虑现场条件如空间限制、加载设备的可运输性和安装便捷性等。

2.1.2 动载加载

动载加载技术是评估桥梁结构在动态荷载作用下的性能的重要手段。在这一技术中，动态荷载模拟是核心环节，其目标是尽可能地还原桥梁在运营过程中所受的实际动态荷载情况。这通常通过激振器或行驶的车辆等方式来实现。使用激振器时，可以通过调整其工作频率和振幅来模拟不同类型的动态荷载，如地震波、风荷载等。行驶的车辆则能够模拟桥梁在日常使用中承受的移动荷载。为了确保模拟的准确性和有效性，加载时必须精确控制各项参数，包括频率、振幅以及荷载的持续时间。在动态荷载模拟的过程中，安全性是至关重要的考虑因素。由于动态荷载可能会引起桥梁结构的较大变形和振动，因此在试验过程中必须密切关注桥梁的实时响应。这包括桥梁关键部位的位移、应变以及加速度等参数的变化。一旦观察到任何异常或超出预定安全范围的响应，应立即停止加载，并进行必要的检查和分析。

2.2 测量技术

2.2.1 应变测量

应变测量是桥梁荷载试验中不可或缺的一部分，它直接关系到桥梁结构受力状态的准确评估。在进行应变测量时，选择合适的应变片和传感器是确保测量准确性的关键。针对桥梁的材料和结构特点，需要精心挑选适合的应变片和传感器。例如，对于钢结构桥梁，可以选择标距不大于6mm的小标距电阻应变片，其敏感栅材料应与钢材的线膨胀系数相匹配，以减少温度对测量结果的影响。对于混凝土结构，需要采用标距不小于80-

100mm的大标距混凝土应变片或光纤传感器,以适应混凝土材料的特性。在确定测量位置时,应综合考虑桥梁的受力特点、结构形式和关键部位。一般来说,桥梁的支座、跨中、高墩底部等位置是应变测量的重点。这些位置通常是受力复杂、应变变化明显的区域,能够全面反映桥梁的受力状态。通过在关键部位布置测量点,可以捕捉到桥梁在荷载作用下的细微变化,为后续的结构分析和安全评估提供宝贵数据。为了确保测量的准确性,还应注意应变片和传感器的安装质量。安装过程中应严格按照操作规程进行,确保应变片和传感器与桥梁结构紧密贴合,避免产生测量误差。同时,还应定期对测量系统进行校准和维护,以保证测量结果的稳定性和可靠性。

2.2.2 位移测量

在桥梁荷载试验中,位移测量是衡量桥梁结构变形和稳定性的重要手段。为了确保测量的精确性,必须采用高精度的测量设备,如全站仪和激光测距仪。这些设备不仅具有极高的测量精度,还能在复杂环境下保持稳定的性能,从而确保位移数据的准确性。全站仪作为一种集光、机、电为一体的高技术测量仪器,能够同时测量角度和距离,并通过内置的微处理器进行数据处理,自动计算出目标点的三维坐标。在桥梁位移测量中,全站仪可以精确地测定桥梁各关键点的空间位置变化,从而反映桥梁的整体变形情况。激光测距仪则利用激光的高精度测距原理,能够实时、快速地测量出目标点的距离变化^[2]。在桥梁荷载试验中,激光测距仪可以连续监测桥梁特定部位的位移变化,为研究人员提供实时的桥梁变形数据。在进行位移测量时,连续监测与记录是必不可少的环节。通过在加载过程中对桥梁进行持续的位移监测,可以实时捕捉桥梁的变形情况,为研究人员提供宝贵的实时连续数据。这些数据不仅可以用于评估桥梁在当前荷载下的性能表现,还可以为后续的桥梁维护和管理提供重要参考。

2.2.3 振动测量

振动测量是桥梁荷载试验中评估桥梁动力特性的关键环节。为了精准捕捉桥梁的振动响应,加速度传感器的布置显得尤为重要。这些传感器需被精心安置在桥梁的关键位置,如支座、跨中以及跨径和墩高等分点等处,这些都是桥梁振动最为敏感的区域。通过这些位置的振动数据,可以全面而准确地反映桥梁的动力行为。在布置加速度传感器时,不仅要确保其紧密贴合桥梁结构,以减少信号传递过程中的损失,还要考虑到传感器的方向性和灵敏度,确保能够捕捉到桥梁在各个方向上

的振动情况。此外,传感器的数量和分布也需要根据桥梁的具体结构和试验目的进行合理规划。采集到的振动数据是原始的、未经处理的信号,为了从中提取有用的信息,必须进行深入的数据分析与处理。这包括对数据进行频谱分析,以识别桥梁的自振频率和阻尼比等关键动力参数。同时,通过模态识别技术,可以进一步了解桥梁的振动模式和形状,这对于评估桥梁的动力特性和结构安全性至关重要。

2.3 数据处理与分析技术

2.3.1 数据采集与预处理

数据采集是桥梁荷载试验中至关重要的环节,它直接关系到试验结果的准确性和可靠性。为了确保试验数据的精确性和完整性,必须采用高精度的数据采集系统。这样的系统应具备高采样率、高分辨率和低噪声等特点,从而能够捕捉到桥梁在荷载作用下的每一个细微变化。在数据采集过程中,高精度的传感器和数据采集卡是不可或缺的。传感器负责将桥梁的物理变化转化为可测量的电信号,而数据采集卡则负责将这些电信号转化为数字信号,供后续分析使用。为了确保数据的准确性,传感器的选择和安装必须严格按照规范进行,数据采集卡的设置也需要根据试验的具体需求来配置。采集到的原始数据往往包含各种噪声和干扰信号,因此需要进行预处理以提高数据质量。预处理包括滤波、去噪等步骤。滤波可以有效去除数据中的高频噪声和低频漂移,使数据更加平滑;去噪则可以通过各种算法(如小波变换、中值滤波等)进一步减少数据中的随机噪声,突出桥梁响应的真实信号。通过这些预处理步骤,可以大大提高数据的信噪比,为后续的数据分析奠定坚实基础。

2.3.2 特征提取与分析

在桥梁荷载试验的数据处理中,特征提取与分析是核心步骤。这一环节旨在从海量的试验数据中,精准地识别和提取出反映桥梁结构动态特性的关键信息。通过对这些信息的深入分析,能够科学评估桥梁结构的性能状态,进而为桥梁的安全运营和维护提供有力支持。时域分析是特征提取的重要手段之一。它通过对数据在时间序列上的变化进行研究,可以直观地展现桥梁结构在荷载作用下的实时响应。通过时域分析,我们能够观察到桥梁的振动幅值、振动周期等关键指标,从而初步判断桥梁的动态性能^[3]。频域分析则是从频率的角度对数据进行深入剖析。利用傅里叶变换等数学工具,将时域数据转换为频域数据,进而揭示桥梁结构的自振频率、阻尼比等深层次特征。这些特征参数是评估桥梁结构性能状态的重要依据。例如,自振频率可以反映桥梁的刚度

特性，而阻尼比则体现了桥梁的耗能能力。

2.3.3 结果解释与报告编制

在完成数据处理与分析后，对桥梁荷载试验的结果进行综合评估与解释是至关重要的。这一步骤要求将桥梁的理论模型与实际测量数据进行细致的比对，从而判断桥梁结构在实际受力状态下的性能表现。通过对比分析，可以明确桥梁结构是否达到了设计要求，并确认其是否满足使用安全标准。在评估过程中，需要特别关注桥梁的关键部位和潜在风险点，确保这些区域的性能符合预期。评估结果将为后续的桥梁维护和管理提供重要参考，有助于及时发现并解决潜在的安全隐患。最后，根据综合评估的结果，编制一份详尽的试验报告是必不可少的。这份报告应全面记录试验过程、方法、数据分析及评估结论，为后续的桥梁维护、管理以及可能的改造提供科学、准确的决策依据。

3 实践应用中的优化建议

3.1 试验方案优化

在制定桥梁荷载试验的方案时，深入理解和考虑桥梁的结构特点及其实际运营情况至关重要。这包括对桥梁的设计图纸、施工材料、施工方法以及历史维护记录进行全面分析。了解桥梁的跨度、截面形式、支承条件等细节，有助于确定合适的加载位置和方式，从而更准确地模拟桥梁在实际运营中的受力状态。选择合适的加载方式也是试验方案中的关键环节。静载和动载的选择应基于桥梁的实际使用情况和试验目的。例如，对于经常承受静态重载的桥梁，静载试验更为合适；而对于需要评估桥梁在动态荷载下响应的情况，如高速公路桥梁或铁路桥梁，动载试验则更为恰当。此外，测量手段的选择也直接影响试验结果的准确性和可靠性。应根据桥梁的材料和结构特性，选取适当的测量设备和技术，如应变片、位移传感器、加速度传感器等，并确保这些设备的精度和稳定性满足试验要求。

3.2 技术创新与方法改进

随着科技的持续进步，桥梁荷载试验领域也不断迎来新的测量技术和数据处理方法。这些创新为提升试验的精度和效率提供了有力支持。一方面，新的测量技术的引入显著提升了数据收集的准确性和全面性。例如，光纤传感器和振弦式应变测量传感器等高科技设备，以其高精度和高稳定性，正逐渐在桥梁荷载试验中发挥作

用^[4]。它们不仅能够提供更精确的测量数据，还能在恶劣环境下保持稳定的性能。另一方面，数据处理方法的改进也极大地提高了试验效率。传统的数据处理方式往往繁琐且耗时，而现在，借助高级算法和计算机技术，如机器学习、大数据分析等，可以快速地从海量数据中提取出有用信息，为试验人员提供及时的反馈和决策支持。

3.3 安全与风险控制

在桥梁荷载试验中，安全与风险控制是至关重要的环节。试验过程中必须严格遵守安全操作规程，从试验前的准备到试验结束，每一步骤都需要细致入微地考虑安全因素。人员必须佩戴专业的安全防护装备，如安全帽、安全带等，并确保所有参与试验的人员都经过专业的安全培训。设备安全同样不容忽视。试验前应对所有设备进行检查和维护，确保其处于良好的工作状态。在试验过程中，要实时监控设备的运行状态，一旦发现异常，应立即停止试验并进行排查。此外，对可能出现的风险进行充分评估和控制是保障试验顺利进行的关键。这包括对桥梁结构的稳定性、加载设备的可靠性以及测量仪器的精度等方面进行全面的风险评估。针对可能出现的风险，应制定详细的应急预案，以便在紧急情况下能够迅速响应并妥善处理。

结语

本文通过对桥梁荷载试验中的关键技术进行深入剖析，旨在为桥梁检测与评估工作提供有益的参考。在未来的实践中，应继续加强技术创新和方法优化，提高桥梁荷载试验的准确性和有效性。同时，随着智能化和自动化技术的不断发展，桥梁荷载试验将有望实现更高效、更精准的检测与评估，为桥梁工程的安全运营提供有力保障。

参考文献

- [1]姚慰.基于桥梁承载能力与工程质量为导向的桥梁荷载试验检测要点研究[J].中国新技术新产品,2023,(13):105-107.
- [2]蹇钢.公路桥梁荷载试验过程控制要点分析[J].运输经理世界,2023,(16):121-123.
- [3]周特.桥梁荷载试验方案优化及技术应用要点分析[J].工程技术研究,2022,7(24):74-76.
- [4]祝俊平.桥梁荷载试验过程控制要点分析[J].运输经理世界,2022,(18):99-101.