

公路桥梁荷载试验与承载力评估研究

唐 肖

山东恒建工程检测有限公司 山东 潍坊 261057

摘要：公路桥梁作为交通基础设施的重要组成部分，其安全性和承载力是确保交通顺畅和人民生命财产安全的关键因素。荷载试验和承载力评估是公路桥梁安全检测的重要环节。本文旨在深入探讨公路桥梁荷载试验的方法和承载力评估的技术，以期为桥梁的安全运营和维护提供理论支持和实践指导。

关键词：公路桥梁；荷载试验；承载力评估；安全性

引言

随着交通事业的飞速发展，公路桥梁的建设和维护显得尤为重要。荷载试验作为评估桥梁性能的有效手段，对于确保桥梁安全运营具有不可替代的作用。同时，承载力评估是桥梁设计和维护中的关键环节，它直接关系到桥梁的使用寿命和安全性能。因此，本文将对公路桥梁荷载试验和承载力评估进行深入研究。

1 公路桥梁荷载试验方法

1.1 静载试验

静载试验作为评估公路桥梁结构性能的重要手段，通过模拟桥梁在实际使用中可能遇到的静态荷载条件，来测试和评估桥梁的承载能力、结构刚度和整体稳定性。以下是对静载试验的详细解读。

1.1.1 试验目的与意义

目的：通过施加已知大小的静态荷载，观察桥梁结构的变形和应力分布，从而评估其承载能力和安全性能。**意义：**为桥梁设计提供验证，确保桥梁在实际使用中的安全性；发现潜在的结构缺陷，为维修和加固提供依据。

1.1.2 试验准备与设备

(1) 荷载确定：根据桥梁设计标准和实际交通流量数据，确定合理的试验荷载。(2) 测点布置：在关键结构部位（如主梁跨中、支点等）布置测点，用于安装传感器。(3) 设备准备：包括荷载施加设备（如液压千斤顶、沙袋等）、变形测量设备（如位移计、倾角仪）、应力测量设备（如应变片、测力计）等。

1.1.3 试验步骤与实施

(1) 预加载：施加较小的荷载，检查测量系统和加载设备的正常工作。(2) 正式加载：按照预定的加载方案逐步增加荷载，同时记录各测点的变形和应力数据。(3) 数据记录：在每个荷载步骤后，详细记录各测点的数据，并观察结构是否有异常现象（如裂缝、过大变形等）^[1]。(4) 卸载与后观察：达到最大荷载后逐步卸

载，观察结构的恢复能力，并记录卸载过程中的数据。

1.1.4 数据处理与分析

(1) 数据整理：将试验过程中记录的数据整理成表格或图表形式，便于分析。(2) 对比分析：将试验数据与理论计算值进行对比，分析差异原因。(3) 性能评估：根据数据分析结果，评估桥梁在静载作用下的性能表现。

1.1.5 案例分析

以某公路桥梁为例，进行静载试验分析。该桥为简支梁桥，跨度20米，桥面宽度8米。试验目的是评估桥梁在静载作用下的承载能力和变形情况。试验数据表格如下表1（示例）：

表1 静载试验分析数据

| 荷载步骤 (kN) | 跨中挠度 (mm) | 支点反力 (kN) | 最大应变 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------|-----------|------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 1.2 | 50 | 30 |
| 200 | 2.8 | 105 | 65 |
| 300 | 4.7 | 155 | 100 |
| 400 | 6.8 | 210 | 140 |

试验分析：随着荷载的增加，跨中挠度、支点反力和最大应变均呈线性增加趋势，符合弹性阶段的理论预期。当荷载达到400kN时，跨中挠度为6.8mm，仍小于规范允许的限值，说明桥梁在静载作用下具有较好的刚度。最大应变为140 $\mu\epsilon$ ，远小于材料的屈服应变，表明桥梁在试验荷载下仍处于弹性工作状态。

1.2 动载试验

动载试验是评估公路桥梁在动态荷载作用下性能的关键方法。通过模拟实际交通条件，如车辆行驶产生的动态荷载，来测试和评估桥梁的动力响应、振动特性以及结构安全性。以下是对动载试验的详细解读：

1.2.1 试验目的与重要性

目的：通过施加动态荷载，测量和分析桥梁的动力响应，以评估其在动载作用下的结构性能。**重要性：**动

载试验能够更真实地模拟桥梁在实际使用中的受力情况,对于评估桥梁的抗震能力、疲劳寿命以及整体结构安全性具有重要意义。

1.2.2 试验准备与设备

(1) 荷载确定:根据桥梁设计标准和实际交通情况,确定合理的动态荷载大小、频率和持续时间。(2) 测点布置:在桥梁的关键部位(如桥墩、主梁等)布置加速度计、位移计等传感器,用于监测动力响应。(3) 设备准备:包括动态荷载施加设备(如振动台、激振器等)、传感器、数据采集与分析系统等。

1.2.3 试验步骤与实施

(1) 预测试验:在进行正式试验前,进行小规模预测试验,以检查设备的工作状态和数据的准确性。(2) 动态荷载施加:使用振动台或激振器在桥梁上施加动态荷载,模拟车辆行驶等实际工况。(3) 数据采集:在荷载施加过程中,通过传感器实时采集桥梁的加速度、位移等动力响应数据。(4) 观察与记录:密切观察桥梁在动态荷载作用下的表现,并记录任何异常现象(如过大振动、裂缝等)。

1.2.4 数据处理与分析

(1) 数据预处理:对采集到的原始数据进行滤波、去噪等预处理操作,以提高数据质量。(2) 动力特性分析:通过分析加速度、位移等数据,计算桥梁的自振频率、阻尼比等动力特性参数^[2]。(3) 性能评估:根据动力特性参数和结构响应数据,评估桥梁在动载作用下的性能表现,如抗震性能、疲劳寿命等。

1.2.5 案例分析

以某高速公路上的一座预应力混凝土连续梁桥为例,进行动载试验分析。该桥全长300米,宽度为12米,设计荷载为公路I级。试验目的是评估桥梁在动载作用下的结构性能和安全性能。试验数据表格如下表2(示例):

表2 动载试验分析数据

| 测点位置 | 加速度峰值 (g) | 位移峰值 (mm) | 自振频率 (Hz) | 阻尼比 (%) |
|------|--------------|--------------|--------------|------------|
| 跨中 | 0.05 | 2.5 | 2.8 | 6.5 |
| 1/4跨 | 0.04 | 2.0 | 2.9 | 7.0 |
| 支座 | 0.03 | 1.5 | - | - |

试验分析:在跨中位置,加速度峰值达到0.05g,位移峰值为2.5mm,说明桥梁在动载作用下有一定的振动响应。自振频率为2.8Hz,阻尼比为6.5%,这些参数可用于评估桥梁的动力特性和抗震性能。与理论计算值相比,实际测量值在合理范围内,表明桥梁在动载作用下具有良好的结构性能和安全性能。

2 公路桥梁承载力评估技术

2.1 基于荷载试验的承载力评估

2.1.1 评估原理与目的

原理:在桥梁上施加预定的荷载,通过测量桥梁关键部位的变形和应力响应,来判断桥梁结构的性能。目的:验证桥梁设计的合理性,发现潜在的结构问题,并评估桥梁的实际承载能力。

2.1.2 试验步骤与实施

(1) 试验前准备:确定试验目的和范围。选择合适的试验荷载,通常根据桥梁设计承载力和实际交通流量来确定。在桥梁上布置测点,安装传感器和测量设备,如位移计、应变片等。(2) 荷载施加:根据预定的加载方案,分阶段逐步施加荷载,模拟不同的使用场景。监测并记录桥梁在各阶段的变形和应力数据。(3) 数据采集与记录:使用数据采集系统实时记录各测点的数据变化。对关键部位进行细致观测,记录任何异常现象。

2.1.3 数据处理与承载力评估

(1) 变形分析:通过对比加载前后的变形数据(如挠度、位移),评估桥梁的整体和局部刚度。(2) 应力分析:根据应力分布数据,判断桥梁各部位的受力状态,以及是否存在应力集中现象。(3) 承载力判断:综合变形和应力数据,结合桥梁的设计参数,评估桥梁的实际承载能力。

2.1.4 准确性与可靠性增强措施

(1) 多次重复试验:在不同时间和环境条件下进行多次试验,以提高数据的可靠性。(2) 使用高精度测量设备:确保测量数据的准确性。(3) 专业团队操作:由经验丰富的专业团队进行试验操作和数据解读,以减少人为误差。

2.1.5 实际应用与限制

应用:荷载试验广泛应用于新建桥梁的验收、老旧桥梁的安全评估以及桥梁加固或维修后的性能验证^[3]。限制:荷载试验成本较高,且可能对桥梁的正常运营造成一定影响,因此需要在合适的时间段内进行。

2.2 基于数值模拟的承载力评估

2.2.1 评估原理与基础

数值模拟技术:该技术主要依赖于有限元方法(FEM),这是一种数值技术,用于求解工程和物理问题的近似解。有限元模型:通过将连续的桥梁结构离散成有限数量的、相互连接的单元,每个单元都具有简单的几何形状和物理特性。

2.2.2 评估流程

(1) 模型建立:一是几何建模:根据桥梁的实际设

计图纸和测量数据,创建精确的几何模型。二是材料属性:为每个单元分配与实际桥梁材料相对应的物理和力学属性,如弹性模量、泊松比、密度等。三是边界条件:定义模型的约束条件,如支撑类型、连接方式等。

(2) 荷载施加与模拟:考虑桥梁可能承受的各种荷载,包括恒载(如自重)、活载(如车辆、人群)、环境荷载(如风、雪)等。根据不同的设计场景和安全系数,组合不同的荷载情况进行分析。(3) 求解与分析:一是求解器选择:根据问题的复杂性和计算资源选择合适的求解器,如直接法、迭代法等。二是结果输出:求解完成后,提取关键部位的位移、应力、应变等结果数据。

(4) 承载力评估:一是对比分析:将模拟结果与设计规范、安全标准进行对比,判断桥梁的承载力是否满足要求。二是优化设计:如果发现承载力不足,可以通过调整结构参数、材料属性或增加加固措施来提高承载力。

2.2.3 数值模拟的优势

(1) 经济性:与传统的实地试验相比,数值模拟可以节省大量的人力、物力和时间成本。(2) 灵活性:可以方便地调整模型参数和荷载条件,以模拟不同的工况和场景。(3) 可视化:通过先进的后处理软件,可以直观地查看和分析模拟结果,如应力云图、位移分布等。

2.2.4 注意事项与挑战

(1) 模型验证:确保所建立的有限元模型能够准确反映实际桥梁的力学行为,这通常需要通过与实地测量数据或其他可靠数据进行对比验证。(2) 计算精度与效率:在保证计算精度的同时,也要考虑计算效率,避免不必要的资源浪费。(3) 软件选择:选择经过验证且广泛应用的数值模拟软件,以确保模拟结果的可靠性和准确性。

3 面临的挑战

3.1 安全保障

荷载试验往往需要在桥梁上施加较大的荷载,这对试验人员的专业素养和设备的质量都提出了高要求。如何确保在试验过程中既获取准确数据又保障人员和设备的安全,是一个不容忽视的挑战。试验现场的环境因素,如风、温度等,都可能对试验结果产生影响。如何控制或至少准确记录这些因素,以便在后续数据分析中加以考虑,也是一大难题。

3.2 数据精确采集与处理

用于测量位移、应力等参数的传感器精度直接影响到数据的准确性。目前市场上的传感器种类繁多,性能各异,选择合适的传感器并确保其精度和稳定性是一大挑战^[4]。数据采集系统的稳定性和可靠性对于确保试验数据的完整性至关重要。系统故障或数据传输错误都可能导致试验失败或数据失真。

3.3 评估模型的完善

为了进行数值模拟和承载力评估,常常需要对实际桥梁结构进行简化和假设。这些简化和假设可能导致模型与实际结构之间存在差异,从而影响评估结果的准确性。桥梁材料在长期使用过程中可能会出现非线性行为和损伤累积,如何在评估模型中准确反映这些复杂因素是一个技术难题。

4 未来展望

4.1 智能化发展

随着人工智能和机器学习技术的不断发展,未来有可能开发出更加智能的荷载试验与承载力评估系统。这些系统能够自动分析试验数据,提供准确的评估结果,并给出维护或加固建议。借助先进的自动化技术,未来的荷载试验可能实现更高层次的自动化和远程控制,从而提高试验的效率和安全性。

4.2 精细化发展

随着科技的进步,未来有望出现更高精度的传感器和数据采集技术,为荷载试验提供更加准确的数据支持。借助更先进的计算方法和软件工具,未来的承载力评估模型有望更加精细化,能够更准确地反映桥梁结构的实际受力情况和损伤状态。

4.3 集成化与综合评估

未来可能实现将荷载试验数据、长期监测数据以及桥梁的运营数据等多源数据进行融合分析,为桥梁的安全评估提供更加全面的视角。随着对桥梁性能认识的深化和技术的发展,未来有望建立起更加完善的综合评估体系,涵盖结构安全性、耐久性、使用性能等多个方面。

结语

公路桥梁荷载试验与承载力评估是确保桥梁安全运营的关键环节。通过深入研究荷载试验方法和承载力评估技术,可以为桥梁的设计、施工和维护提供科学依据,从而保障交通安全、延长桥梁使用寿命、提高交通效率。未来,随着新技术的不断发展,荷载试验和承载力评估将更加精准、高效,为公路桥梁的安全运营提供更有力的保障。

参考文献

- [1]李从财,刘焱.荷载试验在公路桥梁检测中的应用[J].交通世界,2021(32):138-139.
- [2]孙艺恒.公路桥梁检测中荷载试验的应用研究[J].运输经理世界,2021(13):66-68.
- [3]徐海平,廖玲玲.公路桥梁检测中荷载试验的应用初探[J].黑龙江交通科技,2020,43(10):223-224.
- [4]刘政.荷载试验在公路桥梁检测中的应用效果评价[J].四川建材,2020,46(03):45-46.