

# 道路桥梁结构安全性评估方法与实践

李 健

单县交通运输局 山东 单县 274300

**摘要：**随着交通运输业的快速发展，道路桥梁作为关键基础设施，其结构安全性直接关系到社会经济的稳定与人民生命财产的安全。本文旨在探讨道路桥梁结构安全性评估的方法与实践，通过总结现有评估技术，分析其优缺点，提出一套系统性的评估框架，为桥梁管理、养护及加固提供科学依据。

**关键词：**道路桥梁；结构安全性；评估方法；实践

## 引言

桥梁结构安全性评估是近几十年来随着结构工程理论的不断发展和工程实际需求而兴起的研究领域。安全性评估不仅是对桥梁结构当前状态的全面评价，更是制定合理养护与维修计划的重要基础。本文将从理论计算、现场监测、专家系统等多个维度，系统阐述道路桥梁结构安全性评估的方法与实践。

## 1 道路桥梁结构安全性评估方法概述

### 1.1 基于外观检查评定法

#### 1.1.1 评分系统

外观检查评定法是一种结构化的评估方法，它最早应用于建筑结构损伤评估，并逐渐发展成为一种量化评分系统。该方法的实施首先需要制定一套详细的评分标准及损伤程度分类体系，该体系应涵盖桥梁的多个关键方面，包括但不限于材料质量（如混凝土强度、钢筋腐蚀程度）、损伤程度（如裂缝宽度、剥落面积）、结构完整性（如构件连接状况、整体稳定性）、构件变形情况（如梁体挠度、支座位移）等。在实际评估过程中，由经验丰富的工程师对桥梁进行现场细致检查，对每一个检查项根据预先设定的标准进行评分，评分可以设计为五分制或百分制，以反映不同损伤程度的严重性。最终，通过汇总各项评分，可以得出桥梁的整体安全状况评分，进而判断桥梁的安全性能<sup>[1]</sup>。在我国《公路养护技术规范》中，桥梁的综合评定结果通常分为四类，如一类桥梁表示状况良好，仅需常规养护；二类桥梁表示有轻微损伤，需进行小修；三类桥梁表示有中等损伤，需进行中修；四类桥梁表示严重损伤，需进行大修或重建。这样的分类指导了不同级别的养护措施的实施。

#### 1.1.2 经验系数法

经验系数法是一种依赖于广泛调查研究和实际工程经验的评估方法。它首先确定影响桥梁承载能力的多个关键系数，这些系数包括但不限于残存承载能力系数

（反映桥梁剩余承载能力的比例）、桥面条件系数（反映桥面铺装状况对承载能力的影响）、交通荷载系数（反映桥梁所承受交通荷载的大小和频率）等。这些系数通过调查研究和实际测量获得，并反映了桥梁在不同方面的性能状况。然后，通过一套经过验证的计算公式，将这些系数综合起来，得出桥梁的实际承载能力。如：

桥梁实际承载能力 = 残存承载能力系数 × 设计承载能力 × 桥面条件系数 × 交通荷载系数

其中，“设计承载能力”是桥梁在设计时所预期的承载能力，它反映了桥梁在理想条件下的性能；“残存承载能力系数”是一个介于0和1之间的数值，它表示桥梁当前剩余承载能力与设计承载能力的比例；“桥面条件系数”和“交通荷载系数”则是根据桥面铺装状况和交通荷载情况对承载能力进行修正的系数。该方法的优点在于简便易行，能够快速给出桥梁的承载能力评估结果，为桥梁的养护和维修提供决策依据。然而，其局限性在于系数的确定存在较大的不确定性，因为系数的取值往往依赖于工程师的主观判断和实际工程经验的积累，缺乏统一的标准和客观的测量依据。因此，计算结果可能较为粗糙，需要结合实际情况和其他评估方法进行综合判断，以提高评估的准确性和可靠性。

## 1.2 荷载试验评定法

### 1.2.1 静载试验

静载试验是通过在桥梁上施加静力荷载，模拟桥梁在实际运营中的受力情况，从而评估桥梁的承载能力和结构性能。具体过程包括：（1）试验准备：确定试验目的、制定试验方案、选择加载设备和传感器、布置测点等。（2）加载与观测：按照预定的加载程序逐级施加荷载，同时观测并记录桥梁的应变、位移、裂缝等参数的变化情况。（3）数据分析：对收集到的数据进行处理和分析，评估桥梁的承载能力、变形特性、损伤状况等。静载试验的优点在于能够直观地反映桥梁在静力荷载作

用下的实际响应，为桥梁的养护和维修提供直接依据。然而，其缺点在于试验过程复杂、耗时长、成本高，且可能对交通造成一定影响。

### 1.2.2 动载试验

动载试验则是通过在桥梁上施加动态荷载（如模拟车辆行驶），评估桥梁在动态荷载作用下的结构性能和安全性。具体过程包括：（1）试验准备：与静载试验类似，包括确定试验目的、制定试验方案、安装传感器等。（2）加载与观测：利用加载设备模拟车辆行驶等动态荷载情况，同时观测并记录桥梁的位移、应力、振幅等参数的变化情况。（3）数据分析：通过对动态响应数据的处理和分析，评估桥梁的结构稳定性、刚度、阻尼比等性能指标。动载试验的优点在于能够模拟桥梁在实际使用中的受力情况，更全面地评估桥梁的性能和安全性<sup>[2]</sup>。同时，动载试验还能够发现桥梁在静载试验中难以发现的隐患和问题。然而，与静载试验相比，动载试验的技术难度更高，对设备和人员的要求也更严格。

### 1.3 专家系统评定法

专家系统基于人工智能领域的知识工程和推理技术，具备知识处理、表达、利用和推理能力。它能够集成专家在桥梁工程领域的专业知识、信息处理、表达以及判断推理等方面的能力，形成一个智能化的评估系统。通过该系统，可以对桥梁的安全性进行全面、系统的评估，特别擅长处理评估过程中的不定因素。其核心特点包括：一是知识集成：专家系统能够集成大量专家的经验 and 知识，形成一个庞大的知识库。这些知识包括桥梁设计、施工、运营维护等各个环节的经验和数据，为评估提供坚实的基础。二是智能推理：系统能够根据输入的评估信息和知识库中的规则进行智能推理，得出合理的评估结论。这种推理过程模拟了人类专家的决策思维，具有较高的准确性和可靠性。三是模糊处理：由于桥梁结构安全性评估中存在许多不确定因素，专家系统能够对这些因素进行模糊处理。通过模糊逻辑等方法，系统能够综合考虑各种因素的不确定性，得出更加合理的评估结果。四是动态更新：专家系统具备自我学习和动态更新的能力。随着新知识和新经验的不断积累，系统能够不断更新和优化自身的知识库和推理规则，以适应评估标准的不断变化和发展。评估流程为：

（1）信息输入：首先，需要将桥梁的相关评估信息输入到专家系统中。这些信息可能包括桥梁的设计资料、施工记录、运营维护数据以及现场检测结果等。（2）知识匹配：系统根据输入的评估信息，在知识库中寻找与之匹配的知识和规则。通过匹配过程，系统能够识别出与

评估对象相关的专家经验和知识。（3）智能推理：在知识匹配的基础上，系统利用推理机进行智能推理。推理过程可能涉及多个环节和多个因素的综合考虑，最终得出合理的评估结论。（4）结果输出：推理完成后，系统将评估结果以清晰、易懂的方式输出给用户。评估结果可能包括桥梁的安全性等级、存在的问题以及改进建议等。

### 1.4 理论计算与模型试验法

理论计算与模型试验法是一种结合了理论分析与实际试验的桥梁结构安全性评估方法。该方法首先通过外观调查获取桥梁的实际状况，包括桥梁的尺寸、材料性能、损伤情况等，为后续的理论分析和模型试验提供基础数据。在获取了桥梁的实际状况后，接下来需要结合桥梁结构理论进行分析计算。这一步骤主要依赖于结构力学、材料力学等理论知识，通过计算分析桥梁在特定荷载作用下的应力、应变等响应，从而评估桥梁的承载能力和安全性。对于大型复杂桥梁，由于其结构形式、荷载情况等因素的复杂性，常采用有限元模拟等方法进行承载能力评估。有限元模拟是一种数值分析方法，能够将桥梁结构划分为有限个单元，通过计算每个单元的应力、应变等响应，进而得到整个桥梁的受力状态和安全性能。然而，理论计算与模型试验法的准确性很大程度上依赖于准确的输入参数和合理的计算模型<sup>[3]</sup>。如果输入参数不准确或计算模型不合理，那么评估结果的可靠性将受到严重影响。因此，在进行理论计算与模型试验时，需要确保输入参数的准确性和计算模型的合理性。

## 2 道路桥梁结构安全性评估实践的关键环节

### 2.1 数据采集与处理

#### 2.1.1 数据采集

数据采集是评估工作的基础，其准确性和全面性直接影响到后续分析的质量和评估结果的可靠性。数据采集主要包括以下几个方面：一是外观检查数据：通过人工或自动化设备对桥梁进行外观检查，记录桥梁结构的几何尺寸、材料状况、裂缝分布、锈蚀情况等信息。这些数据通常通过拍照、录像、测量等方式获取。二是监测数据：利用安装在桥梁上的各种传感器（如应变计、位移计、加速度计等）实时或定期采集桥梁的应力、应变、位移、振动等动态数据。这些数据反映了桥梁在实际运营过程中的受力情况和性能变化。

#### 2.1.2 数据处理

数据处理是确保评估结果准确性的重要步骤，主要包括数据清洗、预处理和异常检测等：（1）数据清洗：去除采集到的数据中的噪声、冗余和错误信息，提高数据的质量。例如，去除由于传感器故障或环境因素导致

的异常值。(2)数据预处理:对清洗后的数据进行格式化、归一化等处理,以便于后续的分析 and 建模。例如,将不同传感器的数据转换为统一的格式和单位。(3)异常检测:利用统计学方法或机器学习算法识别数据中的异常值或异常模式,这些异常可能反映了桥梁结构的潜在问题或损伤。

## 2.2 监测数据分析与建模

### 2.2.1 数据分析

数据分析是评估桥梁结构健康状况的关键环节,主要利用现代数据分析技术对监测数据进行深入挖掘和分析:(1)统计分析:计算数据的均值、方差、相关系数等统计量,了解桥梁结构的整体性能和变化趋势。(2)频域分析:对振动数据进行傅里叶变换等频域分析,识别桥梁结构的固有频率、阻尼比等动态特性。(3)时域分析:直接观察和分析时域数据,了解桥梁结构在不同时间点的受力情况和性能变化。

### 2.2.2 数据建模

数据建模是利用机器学习、人工神经网络等先进技术对监测数据进行建模和预测的过程:(1)机器学习模型:利用支持向量机、随机森林等机器学习算法对监测数据进行分类、回归等建模,识别桥梁结构的健康状态或预测其未来运行状态。(2)人工神经网络模型:构建多层感知器、卷积神经网络等人工神经网络模型,通过训练和学习监测数据中的复杂模式,实现更精确的桥梁结构性能评估和预测。

## 2.3 多方法综合评估

桥梁结构安全性评估应综合运用多种方法,结合实际情况进行综合分析,以确保评估结果的全面性和准确性:(1)定量评估与定性评估相结合:通过定量评估方法(如有限元分析、荷载试验等)获取桥梁结构的具体性能参数和承载能力;同时结合定性评估方法(如专家系统、模糊综合评价等)考虑桥梁结构的复杂性、不确定性和主观因素<sup>[4]</sup>。(2)理论计算与现场监测相补充:

利用理论计算方法对桥梁结构进行受力分析和性能预测;同时结合现场监测数据对理论计算结果进行验证和修正,提高评估结果的可靠性和实用性。(3)综合评估报告:根据多种评估方法的结果,撰写综合评估报告。报告应包括评估目的、评估方法、数据来源、处理过程、分析结果和结论建议等内容,为桥梁的养护决策和维修加固提供依据。

## 3 挑战与展望

现有评估方法在不同程度上存在局限性,如经验系数法的主观性、荷载试验法的高成本等。未来需进一步研究更加精确、高效的评估方法。其次,监测数据的质量和解释直接影响评估结果的准确性。提高数据采集和处理技术,优化数据解释方法,是未来研究的重点方向。此外,随着人工智能技术的发展,智能化评估系统将成为趋势。通过集成多种评估方法,实现自动化、实时化的桥梁结构安全性评估,提高评估效率和准确性。

### 结语

道路桥梁结构安全性评估是保障桥梁使用安全、延长使用寿命的重要手段。本文系统总结了现有评估方法,分析了其优缺点,并提出了评估实践的关键环节和未来展望。通过综合运用多种评估方法,结合智能化技术手段,可以实现对桥梁结构安全性的全面、准确评估,为桥梁管理提供科学依据。

### 参考文献

- [1]陆敏婧.高速公路扩建工程主体结构安全性评价[J].建筑技术开发,2022,49(21):116-119.
- [2]胡凤鸣.桥梁结构的安全性和耐久性[J].中国高新科技,2021,(08):71-72.
- [3]南鹏鹏,李滢桉,李章军,等.基于可靠度理论的桥梁结构安全性能评估方法[J].工程技术研究,2024,9(06):16-18.
- [4]冯爱民.公路几何线形安全性评价方法研究[J].交通科技与管理,2024,5(02):34-36.