

基于桥梁检测数据的结构状态识别及模型修正

徐 辉

江苏中路工程技术研究院有限公司 江苏 南京 211899

摘要: 随着桥梁使用年限的增加,其结构性能逐渐发生变化,因此,准确的结构状态识别和模型修正在桥梁维护和管理中至关重要。本文首先介绍了桥梁检测数据的来源与特点,然后详细阐述了基于检测数据的结构状态识别方法,包括数据处理、特征提取和模式识别等步骤。接着,提出了针对桥梁模型的修正策略,包括模型更新和参数调整等。

关键词: 桥梁检测数据; 结构状态识别; 模型修正; 特征提取; 模式识别

引言

桥梁作为交通网络中的关键节点,其结构安全和稳定性对保障交通运输的畅通至关重要。然而,桥梁在长期使用过程中,受到环境侵蚀、交通荷载等多种因素的影响,其结构性能会逐渐退化。为了及时发现桥梁的潜在安全隐患并进行有效维护,基于桥梁检测数据的结构状态识别和模型修正成为研究的热点问题。

1 桥梁检测数据与预处理

1.1 桥梁检测数据来源

桥梁检测是确保桥梁结构安全与评估其性能状况的关键环节。常见的桥梁检测手段包括静载试验、动载试验和无损检测等。静载试验通过在桥梁上施加静态荷载,如放置重物或使用千斤顶,来观测桥梁的变形和应力分布情况,从而评估其承载能力。动载试验则是通过模拟实际车辆行驶等动态荷载作用,分析桥梁的振动特性和动力响应。无损检测技术则运用声波、电磁波等物理原理,对桥梁进行非破坏性的内部缺陷检测和材料性能评估,如超声波检测、射线检测和磁粉检测等。这些检测手段的实施离不开先进的数据采集设备和技术。例如,精密的位移传感器和应变计能够准确测量桥梁的变形和应力变化;高速摄像机和激光扫描仪则能捕捉桥梁的动态响应和表面形态;无损检测设备则能够在不破坏桥梁结构的前提下,获取其内部信息和材料特性。

1.2 桥梁检测数据特点分析

桥梁检测数据具有多样性、复杂性和不确定性等显著特点。多样性体现在数据来源广泛,包括静载、动载、无损检测等多种手段,每种手段又涉及不同的传感器和采集技术。复杂性则源于桥梁结构本身的复杂性,以及环境因素、荷载变化等对检测数据的影响,使得数据呈现出多维、非线性和时变等特性。不确定性则主要来自测量误差、设备精度、人为操作等因素,这些因素

都可能导致检测数据与实际情况存在一定偏差。这些特点为后续的数据处理提供了重要依据。针对多样性,需要采用统一的数据格式和标准化处理方法,以便整合不同来源的数据。对于复杂性,需要运用高级的数据分析技术,如机器学习、深度学习等,来挖掘数据中的隐藏信息和规律。而不确定性则要求在处理数据时充分考虑各种误差来源,采用合适的方法进行数据清洗和修正,以提高数据的准确性和可靠性。

1.3 桥梁检测数据预处理

针对桥梁检测数据,一个有效的预处理流程对于提高数据质量至关重要。首先,进行数据清洗,去除或修正异常值、缺失值和重复数据,确保数据的完整性和准确性。其次,进行去噪处理,采用滤波技术或小波变换等方法,消除数据中的随机误差和噪声干扰,突出有用的信号特征。最后,进行归一化处理,将数据转换到统一的尺度范围内,消除不同特征之间的量纲差异,提高数据的可比性和计算效率^[1]。这一预处理流程能够有效地提升桥梁检测数据的质量,为后续的结构状态识别和模型修正提供可靠的数据基础。同时,预处理过程中还可以结合数据可视化技术,对数据进行初步的探索性分析,进一步了解数据的分布规律和潜在结构,为后续的深入研究提供有益的参考。

2 基于检测数据的结构状态识别

2.1 特征提取方法

预处理后的检测数据蕴含着桥梁结构状态的丰富信息,但要实现有效的状态识别,首先需要从这些数据中提取出能够敏感反映结构状态变化的特征参数。变形是评估桥梁结构状态的重要指标之一。通过提取预处理后检测数据中的位移信息,如桥面各测点的沉降量、横向偏移等,可以有效表征桥梁在不同荷载作用下的变形行为。这些变形数据不仅反映了桥梁的整体刚度,还能揭

示出局部结构的潜在损伤或弱化。应力分布同样是判断桥梁结构状态的重要依据。检测数据中包含了桥梁关键部位如墩柱、梁体等的应力应变信息。通过提取这些数据，可以分析桥梁在实际工作状态下的应力水平及其分布规律，进而判断结构是否存在过载、应力集中等安全隐患。此外，频率特性也是评估桥梁结构动力性能的重要指标。通过提取预处理后检测数据中的振动频率、阻尼比等动态特性参数，可以分析桥梁的振动模态和响应特征，进而评估其抗风、抗震等动力性能。从预处理后的检测数据中提取变形、应力、频率等特征参数，是实现桥梁结构状态识别的关键步骤。这些特征参数不仅为后续的模式识别提供了有效的输入，也为桥梁的维护决策提供了科学的依据。通过不断优化特征提取方法，我们可以更加准确地把握桥梁的结构状态。

2.2 模式识别算法

在基于检测数据的桥梁结构状态识别中，模式识别算法扮演着核心角色。机器学习、深度学习等先进算法被广泛应用于构建分类器或回归模型，以实现桥梁结构状态的有效识别。机器学习算法，如支持向量机（SVM）、决策树、随机森林等（表1），通过从预处理后的检测数据中学习特征与结构状态之间的映射关系，构建分类模型。这些算法能够自动挖掘数据中的潜在规律，将复杂的模式识别问题转化为可计算的数学模型。在训练过程中，算法不断调整模型参数，以最小化分类错误或回归误差，从而提高识别准确性。深度学习算法，特别是卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）等，具有强大的特征学习和分类能力。它们通过构建深度网络结构，模拟人脑神经元的连接方式，逐层提取数据的抽象特征。在桥梁结构状态识别中，深度学习算法可以自动学习从原始检测数据到结构状态标签的复杂映射，无需过多依赖人工特征和先验知识。通过大规模数据的训练和优化，深度学习模型能够实现桥梁结构状态的高精度识别^[2]。实际应用中，根据具体问题和数据特点，可以选择合适的模式识别算法进行建模。同时，为了提高模型的泛化能力和鲁棒性，还可以采用集成学习、迁移学习等策略。通过这些算法和技术的综合运用，我们可以实现对桥梁结构状态的准确、高效识别，为桥梁的安全评估和维护提供有力支持。

表1 模型训练过程中的性能指标

算法	准确率	精确率	召回率	F1分数
支持向量机 (SVM)	90.00%	88.00%	92.00%	90.00%
决策树	85.00%	83.00%	87.00%	85.00%
随机森林	88.00%	86.00%	90.00%	88.00%
神经网络	89.00%	87.00%	91.00%	89.00%

2.3 识别结果评估

在基于检测数据的桥梁结构状态识别中，对识别结果的准确性进行评估不仅有助于验证识别算法的有效性，还能为后续的桥梁维护决策提供可靠依据。混淆矩阵是一种常用的评估工具，它通过统计分类模型在测试数据集上的真实类别与预测类别之间的对应关系，直观地展示了模型的性能。基于混淆矩阵，我们可以进一步计算出准确率、召回率等量化指标。准确率是衡量模型整体分类性能的重要指标，它表示模型正确预测的样本数占总样本数的比例。高准确率意味着模型在识别桥梁结构状态时具有较高的可靠性。召回率则反映了模型对某一特定类别的识别能力，它表示在所有实际属于该类别的样本中，模型正确预测的比例。对于桥梁结构状态识别而言，召回率的高低直接关系到能否及时发现潜在的安全隐患。除了上述指标外，我们还可以根据实际需要引入其他评估方法，如精确率、F1分数等，以更全面地评价模型的性能。这些指标和方法相互补充，共同构成了对桥梁结构状态识别结果准确性的综合评估体系。在实际应用中，我们可以根据评估结果对识别算法进行优化和改进，提高其对桥梁结构状态的识别准确性。同时，评估结果也能为桥梁维护人员提供有价值的参考信息，帮助他们更加准确地判断桥梁的结构状态，从而制定出更加科学合理的维护方案。

3 桥梁模型修正策略与方法

3.1 模型修正需求分析

桥梁模型修正策略与方法是桥梁维护与安全评估中的关键环节。基于结构状态识别结果，我们可以发现实际桥梁结构与既有模型之间可能存在的差异，这些差异可能源于模型的简化假设、材料老化、荷载变化、环境因素等多种原因。当识别结果显示桥梁的某些结构性能指标与预期不符，或者桥梁在特定荷载下的响应与模型预测结果存在显著偏差时，就表明既有桥梁模型已不能准确反映桥梁的实际工作状态。这种情况下，对桥梁模型进行修正是必要的。修正的目的在于提高模型的预测精度，使其能够更准确地模拟桥梁在实际运营中的各种响应，进而为桥梁的安全性评估、剩余寿命预测以及维护决策提供可靠依据。桥梁模型的修正需求还可能来自新技术、新材料的应用，或者桥梁使用功能的改变。例如，随着无损检测技术的发展，我们可以获取更精确的桥梁材料性能数据，这些数据可以用于更新模型的材料参数。

3.2 模型修正策略制定

桥梁模型修正策略的制定是确保桥梁结构安全和提

升模型预测精度的关键步骤。针对桥梁模型的不足和实际需求,我们提出以下具体的修正策略:首先是模型更新。由于桥梁在实际使用过程中可能会受到材料老化、环境侵蚀等因素的影响,其结构性能会发生变化。因此,我们需要定期更新桥梁模型,以反映这些变化。更新策略包括引入新的结构组件、调整材料属性、重新划分有限元网格等,以便更准确地模拟桥梁的实际工作状态。其次是参数调整。桥梁模型的参数对于模拟结果的准确性至关重要。根据结构状态识别结果和实际检测数据,我们可以对模型的参数进行调整。这包括调整弹性模量、泊松比、密度等物理参数,以及优化边界条件、荷载分布等计算参数。通过参数调整,我们可以使模型的预测结果更加接近实际情况^[3]。在实施修正策略时,我们需要遵循一定的原理和步骤。

3.3 修正效果评估方法

桥梁模型修正后的效果评估至关重要,它直接关系到修正策略的有效性和修正后模型的可靠性。为了全面评估修正效果,我们通常采用多种方法进行综合验证。首先,最直接有效的方法是对比修正前后模型的模拟结果(图1)与实际检测数据。通过将修正后的模型置于与实际桥梁相同的荷载和环境条件下进行模拟分析,我们可以得到一系列预测数据。然后,将这些预测数据与桥梁在实际运营中通过检测手段获取的数据进行对比,如变形量、应力分布、振动频率等关键参数。如果修正后模型的模拟结果与实际检测数据更加吻合,说明修正策略是有效的,修正后的模型具有更高的准确性。除了直接对比模拟结果与实际检测数据外,我们还可以采用其他评估方法。在评估过程中,我们还需要关注修正后模型的可靠性。可靠性评估通常涉及模型的稳定性、敏感性和不确定性分析。稳定性分析旨在评估模型在不同输

入条件下的输出稳定性;敏感性分析则用于识别对模型输出影响最大的输入参数;不确定性分析则量化了模型输出中的不确定性范围。通过综合运用多种评估方法,我们可以全面评价桥梁模型修正后的效果和可靠性。

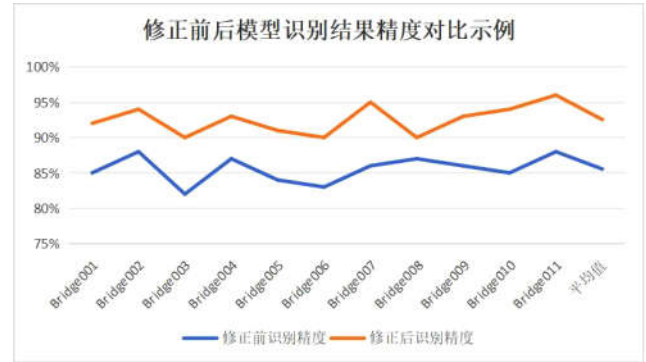


图1 修正前后模型识别精度对比

结语

本文研究了基于桥梁检测数据的结构状态识别及模型修正方法。通过数据处理、特征提取和模式识别等步骤,实现了对桥梁结构状态的准确识别;同时,提出了针对桥梁模型的修正策略。未来,随着传感器技术、数据处理技术和人工智能技术的不断发展,基于桥梁检测数据的结构状态识别和模型修正将变得更加智能化和自动化。

参考文献

- [1]宗周红,褚福鹏,牛杰.基于响应面模型修正的桥梁结构损伤识别方法[J].土木工程学报,2019,02:115-122.
- [2]张纯,宋固全.去噪正则化模型修正方法在桥梁损伤识别中的应用[J].振动工程学报,2021,01:97-102.
- [3]钟儒勉,宗周红,秦中远,郑沛娟.基于多尺度模型修正的结合梁斜拉桥损伤识别方法[J].东南大学学报(自然科学版),2019,02:350-356.