

人工智能在大型钢结构桥梁工程材料无损检测中的应用研究

朱 超

摘 要: 论文首先阐述了人工智能在钢结构检测中的应用概况, 包括人工智能技术简介、钢结构桥梁特点及检测需求以及人工智能应用的优势。接着详细探讨了人工智能在无损检测中的应用要点, 涵盖数据采集与预处理技术、基于深度学习的损伤识别技术、基于机器学习的缺陷分类与预测技术以及智能检测设备与系统集成技术。研究表明, 人工智能在大型钢结构桥梁工程材料无损检测中具有显著优势, 能够提高检测效率和准确性, 为桥梁的安全运行提供有力保障。

关键词: 人工智能; 大型钢结构桥梁; 无损检测; 应用要点

引言

大型钢结构桥梁是交通基础设施中非常重要的一部分, 桥梁的安全性与可靠性至关重要。钢结构桥梁经过长时间服役后, 受环境、荷载以及其他诸多因素作用而产生各种破坏与缺陷, 例如裂纹、锈蚀等。对这些损伤与缺陷进行及时、准确的检测, 对确保桥梁安全运营、延长桥梁使用寿命具有十分重要的意义。

传统钢结构桥梁的检测手段主要依靠人工目视检查与无损检测技术相结合, 例如超声波检测和磁粉探伤。但这些方法普遍存在效率低下、主观性强、数据离散度高以及高空作业风险大等局限性, 难以适应大规模桥梁网络精细化维护的需求。伴随着人工智能技术的飞速发展, 其在钢结构桥梁检测领域得到了越来越多的应用。人工智能技术可借助先进算法与模型对桥梁检测数据进行高效处理与分析, 提升检测准确性与效率, 从而为桥梁养护与管理工作提供科学依据。

一、人工智能在钢结构检测中的应用概述

(一) 人工智能技术简介

人工智能是一门致力于探索如何让计算机模仿人类智能的学科, 涵盖机器学习、深度学习、计算机视觉以及自然语言处理等多个研究领域。钢结构检测中常采用的人工智能技术主要包括机器学习和深度学习等。

机器学习作为人工智能的重要分支之一, 在对海量数据进行学习与分析的基础上, 实现从数据中自动提取特征与规律, 并构建相应模型。常见机器学习算法有决策树、支持向量机和神经网络等。这些算法可应用于钢结构损伤分类、预测与评估。

深度学习作为机器学习的一个子领域, 建立在人工神经网络基础之上, 通过构建多层神经网络模型, 能够自动学习数据的深层次特征。深度学习已在图像识别和语音识别等领域取得显著成效。对于钢结构检测而言, 利用深度学习可对钢结构内部裂纹、锈蚀及其他损伤进行识别, 从而提升检测精度与效率。

(二) 钢结构桥梁的特点和检测需求

钢结构桥梁具有材料强度高、自重轻、施工速度快、抗震性能好等优点, 广泛应用于大型桥梁工程中。然而, 钢结构桥梁在使用过程中也面临腐蚀、疲劳、裂纹等问题。这些问题会影响桥梁的结构安全, 因此需定期开展检测和维护。

钢结构桥梁的检测需求主要包括以下几个方面: 一是检测钢结构中的裂纹、锈蚀等损伤, 及时发现潜在安全隐患; 二是评估钢结构的承载能力和使用寿命, 为桥梁的维护和管理提供科学依据; 三是监测钢结构的变形和位移, 及时发现桥梁的异常情况。

(三) 人工智能在钢结构检测中的优势

人工智能在钢结构检测中优势显著。传统质检依赖工程师目视判断, 主观影响大; 而人工智能通过分析大量焊接数据和图像, 可判断焊缝质量与焊接设备工作状态, 提前发现潜在问题并予以修正, 避免人为失误, 提高焊接准确性和效率。

作者简介: 朱超 (1984.09—), 男, 汉族, 本科学历, 一级建造师 (2019年取得), 主要从事科技管理类的、工程检测类、房建市政项目工程质量检测等方面的研究工作。

智能识别方面能力突出。借助图像识别技术，能快速、准确识别钢结构中的裂纹、锈蚀等损伤，迅速锁定病灶，为后续修复争取时间，提高检测效率和准确性；而传统检测方式在面对大面积、复杂结构时效率较低。

在施工进度与资源优化配置方面亦具积极作用。依据项目需求和资源配置情况，可动态调整施工计划，合理安排劳动力和材料使用，避免资源浪费，提高施工效率，保障项目有序推进。

还可结合物联网技术实现施工过程智能化监控。在施工现场实时监测钢结构安装状态，一旦出现异常及时预警，确保工程质量，将安全隐患扼杀在萌芽状态，保障钢结构的安全性与稳定性，为工程顺利完工保驾护航。

二、人工智能在大型钢结构桥梁工程材料无损检测中的应用要点

（一）数据采集与预处理技术

数据采集是人工智能在钢结构检测中应用的基础。为了获取全面、准确的检测数据，需要采用多种传感器和检测设备，如振动传感器、应变传感器、温度传感器、图像传感器等，对桥梁的结构响应、环境状态等信息进行实时采集。同时，还需要结合无人机、爬壁机器人等智能装备，扩大检测范围，提高检测的灵活性和效率。

然而，采集到的原始数据往往包含大量的噪声和异常值，直接用于人工智能模型训练会影响模型的性能和准确性。因此，需要对采集到的数据进行预处理。数据预处理主要包括数据清洗、数据归一化、特征提取等步骤。数据清洗的目的是去除数据中的噪声和异常值，提高数据的质量。数据归一化则是将不同量纲的数据转换为统一的量纲，便于后续的分析 and 处理。特征提取是从原始数据中提取出与损伤和缺陷相关的特征信息，如频率、幅度、波形变化等，为人工智能模型的训练提供有效的输入。

例如，在对桥梁的振动信号进行预处理时，可以采



图1 桥梁振动监测设备示意

用小波去噪方法去除信号中的噪声，然后对去噪后的信号进行傅里叶变换，提取其频率特征。对于桥梁的图像数据，可以采用图像增强技术提高图像的清晰度，然后利用边缘检测算法提取图像中的边缘特征，这些边缘特征可以作为识别裂缝等损伤的重要依据。

（二）基于深度学习的损伤识别技术

以深度学习为基础的损伤识别技术，在结构损伤检测领域展现出显著优越性。该技术具备处理海量数据的能力，从而增强识别的精确度与鲁棒性。其工作原理基于深度神经网络架构，构建多层非线性特征提取模型，以高效提取并识别损伤信息。

从数据角度看，损伤识别技术需建立高质量的损伤特征数据库，其数据来源包括实验测试、仿真分析或数值模拟，涵盖裂纹、腐蚀等不同类型的损伤。在数据预处理阶段，需对数据进行清洗、归一化、特征提取等操作，以增强模型泛化能力、提升识别精度。为提高训练数据多样性，通常采用随机裁剪、旋转、添加噪声等数据增强技术；此外，还可利用生成对抗网络（GAN）生成高质量合成数据，弥补真实数据不足，提升模型在复杂环境下的识别能力。

深度学习模型的构建是关键环节。卷积神经网络（CNN）是用于图像信号损伤检测的主要工具，其通过卷积操作与池化处理提取图像关键特征，并进一步通过全连接层完成分类；循环神经网络（RNN）则主要用于时间序列分析。此外，还可引入多层感知机（MLP）和注意力机制以增强模型表达能力。多模态数据融合技术亦得到应用，该技术整合振动信号、声发射信号等多种信息源，实现更全面的损伤识别；尤其在复杂损伤场景中，可显著提升识别准确性。

（三）基于机器学习的缺陷分类与预测技术

机器学习算法可应用于钢结构桥梁工程材料缺陷的分类与预测。支持向量机（SVM）被广泛认为是一种高效的机器学习分类技术，其通过寻找最优超平面区分不同类别数据，展现出优异的分类性能与泛化能力。在桥梁缺陷分类中，可将提取的缺陷特征作为输入数据，采用SVM算法对缺陷进行分类，例如将裂缝划分为横向裂缝、纵向裂缝和斜向裂缝等不同类别。

决策树算法也是一种简单而高效的分类方法，其通过构建决策树模型，依据输入特征的不同取值进行分支判断，最终实现缺陷分类。该算法直观易懂，能清晰呈现缺陷分类规则与流程。

除分类外，机器学习算法亦可用于桥梁缺陷发展趋势预测。随机森林算法是一种集成式学习方法，通过构建多个决策树模型，并融合各模型预测结果，提升整体预测的准确性与稳定性。在桥梁缺陷预测中，可采用随机森林算法分析历史检测数据，构建缺陷发展随时间与荷载变化的关系模型，进而预测缺陷在未来一段时期的变化趋势，为桥梁养护与维修提供决策支持。

（四）智能检测设备与系统集成技术

智能检测设备及系统集成技术为人工智能高效应用于大型钢结构桥梁工程材料无损检测提供了关键支撑。各类智能检测设备各展所长：传感器如同敏锐的神经末梢，精准捕捉桥梁的力学响应、环境状态等细微变化；无人机凭借灵活机动的飞行能力，快速获取桥梁整体及不易接触部位的图像信息；爬壁机器人则如永不疲倦的“蜘蛛侠”，在桥梁表面攀爬并对指定区域开展细致检查。这些装置采集的海量数据，需依托高效的数据传输网络实时汇集至处理中心，确保信息及时、完整。在数据融合环节，各类异构数据相互验证、优势互补，消除信息孤岛现象，提升数据整体价值。在系统中部署训练成熟的AI模型，可快速分析融合后的多源数据，实现损伤识别、缺陷分类及发展趋势预测等功能。数字孪生技术进一步赋能该体系，推动监测数据与桥梁BIM模型深度融合，构建真实可信的“健康数字画像”，使桥梁状态一目了然。通过对智能检测设备与系统的有机整合，实现从数据采集、分析决策到运维反馈的全过程智能化，切实保障桥梁安全，推动桥梁工程向智能化、精细化方向持续迈进。

结论

在大型钢结构桥梁工程材料无损检测领域，人工智能展现出巨大的应用潜力。利用人工智能技术可提升检测效率与准确性、降低检测成本、实现桥梁实时监测与精细化维护。在数据采集与预处理环节，应确保数据准确、完整，并实施高效、规范的预处理；利用深度学习开展损伤识别，结合机器学习实现缺陷分类与预测，有助于对桥梁损伤进行更精准的识别与趋势研判；通过智能检测设备与系统集成技术，可成功实现检测过程的自动化与智能化。未来，钢结构桥梁无损检测仍需进一步加强人工智能技术的研究与应用，持续完善相关算法与模型，不断提升智能检测设备的性能与可靠性，为大型钢结构桥梁的安全运营提供更为坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 张杨峰. 土木工程桥梁材料非破坏性测试方法及应用研究[J]. 艺术与设计(电子版), 2023(2): 0182-0184.
- [2] 易若翔, 刘时风, 耿荣生, 等. 人工智能在声发射检测中的应用[J]. 无损检测, 2002, 24(11): 5.
- [3] 丁奉龙, 刘英, 贺婷, 等. 人工智能在木材加工中的应用[J]. 世界林业研究, 2021, 34(1): 6.
- [4] 赵天伟, 林莉, 张东辉, 等. 机器学习在无损检测中的应用案例浅析[J]. 无损探伤, 2020, 44(3): 5.
- [5] 郭国英, 毅力果奇, 李震, 等. 人工智能在道路桥梁无损检测中的应用研究[J]. 计算机应用文摘, 2025, 41(20): 109-111.