

# Application of automation and intelligent technology in bridge detection

Jinbo Guo Dayun He

Zhejiang Zhongneng Engineering Testing Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311106, China

## Abstract

With the continuous increase in highway bridge construction projects, requirements for safety and durability have become increasingly stringent. Against this backdrop, the issue of concrete bridge aging and deterioration has become more prominent. Traditional manual inspection methods primarily rely on subjective judgment, making it difficult to detect internal damage conditions. Automated and intelligent technologies such as drones, sensors, and machine vision have been widely applied in practice. While these advancements have improved inspection efficiency and safety to some extent, challenges remain including sensor power supply issues, multi-source data fusion problems, talent shortages, and funding limitations. It is necessary to integrate relevant technologies, manage data effectively, cultivate professional talents, and improve related policies to promote more optimized application of these technologies.

## Keywords

bridge detection; automation; intelligent technology; applied research

## 桥梁检测中的自动化与智能化技术应用

郭进波 何大运

浙江中能工程检测有限公司, 中国·浙江 杭州 311106

## 摘要

随着公路桥梁建设项目数量不断增加, 对于其安全性以及耐久性等要求也日益提高。在这样的背景下, 混凝土桥梁老化损坏的问题日益突显, 传统的人工检测方式主要依靠主观判断, 很难发现桥梁内部所存在的损伤情况, 自动化与智能化技术像无人机、传感器、机器视觉等在实际中应用较为广泛。这在一定程度上提升了检测的效率以及安全性, 但面临着传感器供电方面的问题、多源数据融合方面的问题、人才缺口方面的问题以及资金不足等诸多问题。需要对相关技术进行整合、对数据进行管理、培养专业人才并且完善相关政策, 以此来推动技术更加优化地应用。

## 关键词

桥梁检测; 自动化; 智能化技术; 应用研究

## 1 引言

随着公路桥梁建设项目增加, 对桥梁工程安全性、耐久性、可靠性方面要求不断提高。公路桥梁往往建设在地形、自然环境比较复杂的区域, 在投入使用后容易导致严重的安全事故, 对公路桥梁正常运营以及人们生命安全产生不利影响。现代城市交通建设中, 混凝土桥梁作为重要的交通基础设施, 承载着重要的运输功能。然而, 随着时间的推移, 混凝土桥梁的老化和损坏问题日益凸显, 严重影响了桥梁的结构安全和使用寿命。因此, 运用有效的检测方法和合理的加固技术, 对混凝土桥梁的保养与修复具有重要意义。

## 2 桥梁检测技术现状分析

### 2.1 传统桥梁检测方法

传统的桥梁检测大多依靠人工来进行操作, 检测人员依靠肉眼观察以及凭借自身经验作出判断, 以此对桥梁表面出现的裂缝、变形以及腐蚀等可直接看到的缺陷展开排查, 还会借助像裂缝显微镜、回弹仪、吊篮等这类较为简单的工具来辅助检测工作<sup>[1]</sup>。比如, 使用裂缝显微镜可观测到裂缝的宽度, 其精度可以达到 0.1mm, 而回弹仪则是用来检测混凝土强度的。这种检测方式成本比较低, 操作起来相对也较为简便, 在过去得到了广泛应用, 不过弊端也十分突出, 在很大程度上依赖检测人员的主观判断, 不同的检测人员得出的检测结果可能会存在偏差, 并且人工检测很难发现桥梁内部所存在的损伤或者是微小的缺陷。

【作者简介】郭进波(1979-), 男, 汉, 湖北南漳, 本科, 工程师, 从事工程质量检测研究。



图 1：桥梁检测

## 2.2 自动化与智能化技术在桥梁检测中的应用现状

随着科技不断发展,自动化以及智能化技术在桥梁检测领域获得了越发广泛的运用,无人机配备高清摄像装置、激光雷达以及红外热成像模块可针对桥梁开展全面的巡检工作,可到达人工很难触及的高空区域,裂缝识别的精确程度可以达到 0.2mm,单架次覆盖检测的面积提升到了 5000 平方米,在 5 分钟之内就可完成 1000 多米范围的检查,大幅提升了检测的效率以及安全性<sup>[2]</sup>。爬壁机器人、爬索机器人等被用于斜拉索等部位的检测,降低了人工进行高危作业的风险,数字孪生技术借助构建桥梁虚拟模型,再结合实时监测数据,为桥梁维护决策提供了有力的支撑。

## 2.3 存在的问题与挑战

尽管自动化与智能化技术不断发展,但桥梁检测依旧面临着诸多难题。在技术方面,传感器网络存在供电不稳定以及耐久性较差的状况,致使大约 20% 的监测节点在三年之内出现失效的情况,对数据的持续采集与分析造成了影响。在多源数据融合时,算法误差率较高,这使得检测结果的准确性有所降低。从人才层面来讲,桥梁养护专业人才的缺口较大,复合型技术团队的建设较为滞后,检测人员对于新技术的掌握不够充分,对先进技术的应用形成了制约。在成本方面,中小城市桥梁数字化改造的资金缺口较大,资金的匮乏限制了自动化、智能化检测设备的配备以及技术的升级。

# 3 自动化与智能化技术在桥梁检测中的应用

## 3.1 无人机技术

无人机技术在桥梁检测领域呈现出独特的优势,借助搭载高清摄像设备、激光雷达以及红外热成像模块,无人机可对桥梁展开全方位的巡检工作。在针对高空区域的检测过程中,可轻易抵达人工难以触及的位置,像是桥梁拱顶、高墩等地方。例如,在对跨江大桥进行检测时,无人机可以沿着桥体纵向飞行,借助高清摄像头以 0.2mm 的识别精度去捕捉桥梁表面出现的裂缝、混凝土剥落等缺陷,激光雷达可快速获取桥梁结构的三维点云数据,构建出精确的模型<sup>[3]</sup>。

基于此,提升了效率又规避了人工登高作业所存在的安全风险,为桥梁检测提供了安全且高效的全新手段。



图 2：无人机技术

## 3.2 传感器技术

传感器技术对于实时监测桥梁状态而言非常关键,各种各样的传感器被安置在桥梁的不同部位,像主梁、桥墩以及斜拉索等地方,其目的在于实时收集桥梁的应力、振动、位移以及温度等数据,一旦桥梁受到车辆荷载、环境温度变化等因素的作用时,传感器可及时察觉到结构出现的细微变化。应变传感器可以较为精确地测量桥梁构件的受力状况,振动传感器则可监测桥梁在动态荷载作用下的响应情况,这些实时数据借助无线传输网络被发送到监测中心,工作人员依据这些数据可实时了解桥梁的结构状态,及时找出潜在的安全隐患。

## 3.3 机器视觉技术

机器视觉技术在桥梁缺陷检测里有着关键作用,其借助计算机视觉算法针对采集到的桥梁图像给予分析,实现对裂缝、孔洞以及锈蚀等缺陷的自动识别与量化。在实际运用中,可借助安装于检测车上的线阵相机或者无人机搭载的面阵相机来获取桥梁表面的高清图像,运用深度学习算法比如卷积神经网络,对图像里的缺陷展开识别与分类<sup>[4]</sup>。这项技术可以提升检测的精度以及自动化程度,减少人工判读的误差与工作量,比如在对某高速公路桥梁开展检测时,机器视觉技术成功识别出宽度仅 0.15mm 的微裂缝,漏检率相较于人工检测降低,它还可对缺陷的发展趋势进行跟踪分析,为桥梁的维护和加固给予准确依据,促使桥梁检测朝着智能化、自动化方向发展。

## 3.4 数据分析与处理技术

数据分析跟处理技术是桥梁检测智能化的关键所在,在桥梁检测期间,会出现许多源自不一样的传感器以及检测设备的数据,像无人机巡检获取的图像数据、传感器收集的实时监测数据等,数据分析跟处理技术借助对这些多源数据给予融合、挖掘以及分析,提炼出有价值的信息,给桥梁的

维护决策给予科学依据。借助数字孪生技术搭建桥梁的虚拟模型,把实时监测数据输入至模型里,可实现对桥梁寿命的精准预测,凭借对历史数据的分析,可发觉桥梁结构性能的变化规律,提前对潜在的安全风险发出预警,还可运用大数据分析技术,对不同桥梁的检测数据开展对比分析,为桥梁的养护管理提供参考。数据分析与处理技术把海量的检测数据转变成有效的决策信息,提高了桥梁检测的智能化水平以及管理效率。

## 4 自动化与智能化技术在桥梁检测中的优化应用策略

### 4.1 技术整合与优化

技术整合以及优化对于提升桥梁检测效率而言非常关键,要构建起“空地”一体化的检测体系,把无人机有的高空巡检能力、地面检测车拥有的近距离扫描功能以及预埋传感器所有的实时监测功能融合起来,让无人机搭载激光雷达和红外热成像设备去完成宏观缺陷的初步筛查工作,地面机器视觉检测车针对重点部位展开毫米级精度的再次检验,传感器网络持续对结构动态响应进行监测,形成“快速筛查—精准定位—实时预警”这样的闭环检测流程<sup>[5]</sup>。针对多源数据融合误差这一问题,可以引入联邦学习算法,在保障数据隐私的情况下优化融合模型,从根本上降低误差,还需要强化设备的模块化设计,像是为无人机设计可拆卸的传感器吊舱,依据检测需求快速更换激光雷达或者高光谱相机,以此提升设备的适应性和复用率。

### 4.2 数据管理与共享

构建标准化的数据管理和共享机制是实现数据价值的关键所在,需制定统一的数据采集、存储以及交换标准,针对无人机图像、传感器监测数据、机器视觉检测结果等开展格式规范化处理工作,以此解决不同地区检测数据无法兼容的问题,可搭建基于区块链技术的桥梁检测数据平台,借助区块链不可篡改的特性保证数据的真实性与可追溯性,借助智能合约实现数据的授权共享。交通管理部门、养护单位以及科研机构可在授权范围内访问桥梁全生命周期数据,涉及历史检测报告、维修记录以及实时监测数据等,运用数据湖技术整合多源异构数据,借助大数据分析挖掘隐藏的结构性能演化规律,为桥梁养护决策给予更精准的支撑,像预测关键构件的剩余寿命,提前规划维修计划。

### 4.3 人才培养与团队建设

强化人才培养以及团队建设是推动技术应用的根基所在,面对当下存在的 12 万专业人才缺口这一状况,应当构

建起“高校—企业—科研院所”协同育人的机制,高校可开设和桥梁智能检测相关的专业课程,增添如无人机操作、传感器原理、机器学习在工程里的应用等实践课程,以此培育出有跨学科知识的复合型人才。企业需要与科研院所展开合作来建立实训基地,为技术人员提供无人机巡检、数据分析等实际操作培训。建立起合理的人才激励机制,借助提高薪资待遇、提供职业发展通道等办法来吸引并留住人才,组建起由结构工程师、数据分析师、软件开发人员构成的跨领域团队,提升技术应用的程度和范围。

### 4.4 政策支持与法规制定

完善政策支持以及法规制定可为技术推广提供保障,政府部门需要增加对中小城市桥梁数字化改造的资金投入,设立专项扶持基金,以解决资金缺口问题。例如,对采用智能化检测技术的项目给予设备采购费用 30% 的补贴,加快制定桥梁智能检测技术标准与规范,明确无人机巡检、传感器监测等技术的适用范围、检测频率以及评判标准,消除地区间标准不统一的状况。另外,建立智能化检测技术应用的鼓励政策,把智能检测纳入桥梁养护招投标的评分体系,引导养护单位积极采用新技术,还应当加强知识产权保护,对桥梁检测相关的专利、软件著作权等给予重点保护,激发企业和科研机构的创新积极性,推动自动化与智能化技术在桥梁检测中的广泛应用。

## 5 结语

综上所述,自动化与智能化技术用于桥梁检测时呈现出诸多优势,可提高检测效率,让检测结果更为精准,同时提高安全性,为维护决策提供有力支撑。未来,需要整合各类技术,对数据管理进行优化,加强专业人才培养,并获取政策方面的支持,以此来解决现存的问题,推动技术实现创新,提升桥梁检测的智能化程度,保障桥梁可安全运营,促进交通事业不断发展。

### 参考文献

- [1] 张少豪. 基于多特征融合的道路桥梁检测技术要点分析 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (15): 49-51.
- [2] 戴辉. 基于无损检测技术的道路桥梁检测方法研究 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (13): 97-99.
- [3] 孙龙华. 基于大数据的公路桥梁检测技术及应用方法 [J]. 汽车画刊, 2025, (04): 125-127.
- [4] 王超. 无损检测技术在道路桥梁检测中的应用 [J]. 汽车画刊, 2025, (03): 128-130.
- [5] 刘孝奇. 公路桥梁检测无损检测技术应用 [J]. 中国水运, 2025, (06): 120-121+131.