

公路桥梁裂缝检测与裂缝宽度评估方法研究

张宝仓

新疆北新科技创新咨询有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 公路桥梁裂缝是造成桥梁结构安全和耐久性下降的主要病害, 而桥面裂缝检测及宽度判定也成为了桥梁养护管理工作中的关键技术之一。详细介绍了公路桥梁常见的几种裂缝类型和产生原因, 有结构性受力裂缝和非结构性裂缝的区别特点等; 综合介绍了传统人工目测法、基于图像和机器视觉法、无人机检测法等桥梁裂缝检测技术的相关原理与适用范围并用图表方式进行比较, 着重阐述了对于桥面裂缝宽度量化评价的方法有传统测量法、基于图像处理的方法以及其精确度如何控制等方面的内容。研究发现, 深度学习式的智能辨识技术和立体视觉三维重建手段能够达到 0.01mm 的宽度辨别准确度, 是针对桥梁裂缝检查及评定自动化、智能化的一种技术支持。

[关键词] 公路桥梁; 裂缝检测; 宽度评估

DOI: 10.33142/aem.v8i4.19619

中图分类号: U445.7

文献标识码: A

Research on Crack Detection and Crack Width Evaluation Methods for Highway Bridges

ZHANG Baocang

Xinjiang Beixin Science and Technology Innovation Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Cracks in highway bridges are the main diseases that cause a decrease in the safety and durability of bridge structures, and the detection and width determination of bridge deck cracks have become one of the key technologies in bridge maintenance and management. Detailed introduction of several common types of cracks and their causes in highway bridges, including the differences and characteristics between structural stress cracks and non structural cracks; Comprehensively introduced the relevant principles and scope of application of traditional manual visual inspection methods, image-based and machine vision methods, unmanned aerial vehicle detection methods, and other bridge crack detection technologies, and compared them in the form of charts; Emphasis was placed on the quantitative evaluation methods for bridge deck crack width, including traditional measurement methods, image processing based methods, and how to control their accuracy. Research has found that deep learning based intelligent identification technology and stereoscopic vision 3D reconstruction methods can achieve a width discrimination accuracy of 0.01mm, which is a technical support for the automation and intelligence of bridge crack inspection and evaluation.

Keywords: highway bridges; crack detection; width assessment

引言

公路桥梁结构的安全直接影响着公众的生命财产及交通安全, 役桥梁受车辆静定荷载、温差作用及大气环境腐蚀, 混凝土裂纹是典型的结构劣变形式。裂缝不仅仅破坏了结构的整体美观, 还会加快钢筋腐蚀程度、减弱结构的整体刚性和承载力, 严重时会出现崩塌等突变破坏。进行裂缝监测以及宽度测量的研究工作对于桥梁状况监测、病害预报以及合理养护有着重要的实际意义。近来随着计算机视觉技术、无人机技术以及人工智能的发展进步使得裂缝监测由人工肉眼观察转变为自动化的、智能化的过程。传统的裂缝识别方式存在费时耗力、人为判断误差大等问

题, 尤其不能够很好地解决桥面高空部位检测的问题, 基于数字图像处理技术以及深度学习的智能性检测技术可以有效克服以上问题, 实现快速便捷的量化分析。全面归纳当前裂缝检测及评价手段的技术特征及使用范围, 在实际工程项目中有借鉴作用。本文基于裂缝检测及裂缝宽度测定, 探讨裂缝种类及其成因, 在此基础上介绍检测技术和鉴定技术, 归纳优缺点, 以供桥梁检测技术改进参考。

1 公路桥梁裂缝的类型及形成机理

公路桥梁裂缝根据产生机理可以分为结构性的受力裂缝以及非结构性的裂缝两种类型。结构性的裂缝是由于

受力后混凝土的拉应大于其抗拉强度引起的,主要有弯曲裂缝、剪切裂缝和扭转变形裂缝;非结构性的裂缝主要是因为材料本身的性质以及周围环境的影响,主要有收缩裂缝、温度裂缝和钢筋锈蚀裂缝。裂缝出现是因为设计、施工、荷载及环境等诸方面共同影响形成的:在设计中的配筋率偏低或者截面过于狭小是隐患原因;施工环节中配合比控制失当、保养不到位等问题是实际原因;使用过程中的超载以及疲劳作用使裂缝发展;碳化和氯离子渗透使得钢筋生锈从而导致顺筋裂缝。裂缝对桥梁结构性能的影响在于耐久性、承载能力和适用性三个方面,裂缝给腐蚀介质提供了一条通路,促进了钢筋的锈蚀,加快了混凝土的老化速度;产生裂缝会使梁体截面强度减小、挠度增加,严重的剪切裂缝会导致脆性破坏,过大裂缝会影响美观还给人们带来一种不安感,《公路桥梁技术状况评定标准》中规定,裂缝宽度的大小以0.05mm作为划分等级的标准,在整个桥梁的技术状况评价中起着决定作用。

2 公路桥梁裂缝检测方法

2.1 传统人工检测方法

传统的手工目测检查是最为基本的一种桥梁裂缝监测方法,在这个过程中主要是依靠观测人员利用一些仪器设备对现场进行观察并记录下来,工作人员可以用脚手架或者是使用桥检车靠近结构表面,用放大镜和裂缝宽度对比卡等简单的设备就可以识别裂缝的形式以及宽度的数据指标。混凝土裂缝宽度检测仪是比较常用的一种仪器设备,它的测量方式是采用高倍率的光学放大结合刻度细分的方式来完成,可以直接在现场读取到裂缝宽度数值,手工目测检查的优点在于它具有很高的机动性,并且设备价格便宜,可以凭借操作者的经验综合评判裂缝类型并及时进行进一步的研究分析。但是传统的人工目视检查也有很大的缺点。检测速度慢是最大的问题,大跨径桥梁进行一次完整的检测可能要花费几周甚至是几个月的时间;其检测结果具有较大的随意性,不同的检测人员对同一个裂缝观察得出的结果可能会有很大的差别;高空区域无法到达,桥墩、梁底等地位一般需要借助一些专用的登高工具才可以接近,比较危险;另外人工检测很难建立起系统的裂缝库,裂缝的位置、形状等方面的信息常常只是靠文字描述以及简单的手绘图形来记录,不利于后期变化情况的研究。正是基于以上的瓶颈,让桥梁检测逐渐向着自动化、智能化的方向发展。

2.2 基于图像与机器视觉的检测方法

基于图像和机器视觉的混凝土裂缝检测技术以工业相机拍摄桥梁结构表面图片为依托,利用数字化图像处理

技术达到对裂缝的自动判定及量化测量的目的。整个过程分为如下四个步骤:对裂缝图片进行采集、预处理、裂缝分割以及特征量度等。其中在预处理阶段,对于最初的图片先经过灰度化、降噪和增强等一系列操作;由于现场拍摄得到的图片会受到光线分布不均、阴影遮挡等问题的影响降低了对裂缝的识别准确率,因此可以采用一些常用预处理的方法有:用中值滤波器去除椒盐噪声、通过直方图均衡化来提高图像的对比度、使用顶帽变换减小光照差异等;裂缝的分离就是从背景中提取出裂缝部分的过程。经典图像分割算法采用灰度阈值或者边缘检测算子进行分割,Otsu自适应阈值法可以基于图像的灰度分布自动寻找最佳分割阈值;Canny边缘检测算子基于梯度来获取裂缝边缘边界。但是针对复杂的场景下,裂缝检测仍然存在很大的困难,道路阴影、脏点、接缝等干扰因素容易导致裂缝与其他物体混淆。因此研究人员利用机器学习的方法提高识别准确率。传统的机器学习方法如支持向量机、随机森林等都运用人们设定好的纹理、形状特性来进行训练模型,在一定程度上改善了纯图像处理的效果,但是由于特征的选择对分类结果有决定性的影响,而裂缝形态各异又难以选取全面的特征覆盖各种状况。

2.3 基于无人机的检测方法

无人机监测技术给桥梁裂缝监测提供了一种全新的视角以及工作方法。通过装有高精度数码相机或者红外热像仪的无人机,可以近距离拍摄桥梁各个部位的情况,尤其是在一些高塔的大跨度桥梁、跨江跨海桥梁等人员很难接近的地方,相较于传统的人工或者桥检车上进行检查的方式,它不需要封闭道路也不用搭建脚手架,大大减少了监测费用和危险系数,工作效率提高了若干倍至几十倍之多。无人机根据其控制方式进行分类,有手动飞行和预设路线自动飞行两种形式,其中一种可以通过对桥梁三维建模后设置预定航线以达到全面测量桥梁表面的目的。无人机监测的技术难点主要集中在对采集到的照片的质量要求上以及对于大量获取的数据如何分析处理的问题。飞行稳定性影响到影像质量的好坏,需要加装三轴或者五轴云台防抖装置;光照条件突变会导致同一条裂缝在不同的时间段拍摄下照片亮度差别很大,不利于裂缝自动识别的一致性。对于后期影像处理,单个画面裂缝检测方法可以直接用来做整体桥梁外观的检测,但是整座桥的外观检测经常要用上千甚至上万张照片进行合成整个画面,对于图像拼合、融合处理算法的要求也较高。另外无人机续航时间有限,大跨径桥梁的检测必须分批起飞降落,工作时间增加也增大了外界干扰的风险。

表 1 公路桥梁裂缝检测方法对比

检测方法	基本原理	检测精度	检测效率	主要优点	主要局限	适用场景
人工目测	肉眼观察配合工具测量	0.05~0.1mm	低	灵活性强、设备成本低	主观性强、高空危险	日常巡查、小范围详查
混凝土裂缝检测仪	光学放大与刻度读数	0.02mm	较低	现场直读、携带方便	需近距离接触	重点裂缝定点监测
图像处理	数字图像采集与分割	0.05mm	中	可量化、可存档	受光照影响大	常规检测、定期巡检
机器视觉+机器学习	特征提取+分类器识别	0.03mm	较高	抗干扰能力较强	特征设计依赖经验	中等规模检测项目
深度学习	卷积神经网络端到端识别	0.01mm	高	自动化程度高、精度优	需大量标注样本	大规模、高频次检测
无人机检测	空中影像采集与处理	0.02~0.05mm	高	覆盖高空区域、不封交	续航有限、受天气影响	高墩、大跨径桥梁

2.4 不同检测方法的对比分析

表 1 列出了主流裂缝监测技术的主要技术特点。从精确度方面来说,光学探测设备的理论精确度最准,可以达到 0.02mm,但是它的实际使用效果会受到操作人员技术水平的影响比较大。基于深度学习的检测方法在精确度以及速度上都有所兼顾,而且它采用端对端的识别结构,不需要人为地设计特征。从速度方面来看的话,无人机加深度学习组合起来的优势最为明显,可以在很短的时间之内实现对大面积桥梁外貌的智能化检测。但是深度学习算法的效果取决于训练样本的质量和规模,需要有一个包括各种光照条件下的场景以及包含不同背景下的裂缝以及不同形状的裂缝等标注过的数据作为工程的泛化训练基础。

3 公路桥梁裂缝宽度评估方法

3.1 裂缝宽度测量原理与评价指标

裂缝宽度是最主要的技术状态等级量化指标。测定方法上认为,裂缝宽度就是指裂缝两边边界的垂直间距,在裂缝走向不确定情况下应取最大裂缝宽度的位置或者是代表性的裂缝宽度的数值大小,实际测定过程中,因裂缝边缘常常有轻微的碎裂或者脱离现象的存在,所以确定统一的标准边缘定规则对保证检测的一致性很重要。根据《公路桥涵养护规范》的规定,裂缝宽度以 0.05mm 的间隔进行划分等级,不同裂缝宽度区间相对应的扣分指数也不同,从而影响了桥梁技术状态的评定结果。除了绝对宽度数值大小之外还应该注意以下几个方面:最大宽度表示的就是裂缝最严重的处所的程度,这是评判过程中的关键因素之一。均值宽度表示的是所有裂缝平均展开度大小,适合比较均质化的裂缝;宽度变异系数是一个时变数值指标,它能够通过不同日期之间测量所得结果来表征裂缝宽度的变化速度,进而判断出病害发展趋势的快慢,正常使用期间桥梁裂缝宽度变化不大,若在短时间内测量到宽度突增,则需加强观测频率并进行进一步研究分析,确定是

否需要进行加固、维修等处理。

3.2 传统宽度测量方法

传统的裂缝宽度检测手段主要有对比卡法、裂缝显微镜法、粘贴式裂缝计法等。对比卡法是在裂缝表面放置有标准宽度线刻的透明片进行对比观察,简便易行、价格便宜,但是精度较低只有 0.1mm 左右级别,而且对观测的角度比较敏感。裂缝显微镜法则运用放大倍数大于 40 倍的光学显微镜配备内嵌刻度尺来进行观测,可以读取到 0.02mm 级别的裂缝宽度值,是最常用的仪器设备之一,但是在使用时要注意保证镜头处于垂直裂缝的位置以及事先进行校准工作。粘贴式裂缝计用于对裂缝做长时间连续观测,在裂缝两边用传感器固定装置将传感器连起来,宽度发生变化则发出电信号。电阻应变式的灵敏度很高但是有零漂的问题,而振弦式稳定性良好,适用于外场长期观测,观测频率可以达到小时甚至日级别,可以采集到裂缝开合度受温度、荷载影响下的周期变化规律问题,但是此方法为单一节点观测,不能反映整体裂缝宽度变化情况。

3.3 基于图像处理的宽度评估方法

基于图像处理的裂缝宽度检测的方法是目前的研究方向之一,主要思想就是通过对图像分割得到裂缝所在部分的像素值来转换成真实世界的距离。步骤如下:首先,对所采集到的照片进行纠正畸变和标定尺度,在结构表面上布置一定大小的标准尺或者用相机参数求出每个像素所代表的具体长度;然后,用阈值分离或者深度学习语义分割等技术将得到的裂缝二值图;最后,再以裂缝中心线为基底,沿着法线方向获得宽度数值。近年来,深度学习技术发展迅速使得深度学习相关的工作应用于裂缝宽度检测中。全卷积神经网络融合 U-NET 结构可以同时完成裂纹像素检测及骨架线检测任务,在此基础上提出一种裂缝宽度方向定位的方法,根据骨架线局部的斜率来判断出

法线的方向,从而完成对缝隙宽度尺寸分布特点进行精确描述。此外,双目立体视觉三维建模方法利用两台摄像机之间的相对位移量来恢复裂缝的空间几何结构,能够获取到裂缝的长度、宽度还有深度三个维度的数据结果。文中提出一种基于代价计算以及代价累积的 3D 重建策略,再加上基于中心线优化及点云叠加求和的裂缝长宽测量方式,最后采用基于十字交叉及点云对应的裂缝宽度度量方式,在实际项目中的应用得到了很好的证明。

3.4 评估精度与误差分析

裂缝宽度计算结果的准确性受到很多方面的影响,误差主要源自图像获取过程、算法处理以及物理转换过程。在图像获取过程中存在的误差主要有如下几种:一是因为相机本身的像素数有限造成的对像素级别的宽度量化的误差(以最常用的 0.1mm/像素为例),每个像素之间的误差就是 0.1mm 宽度误差;二是镜头畸变产生的图像边缘部分非线性的形变;三是光线不好引起的裂缝与背景间反差小的问题,从而导致了切割误差。在算法处理阶段,不同的切割方式其精确度也有很大差异。通过使用像素非线性标定的方法加 F-CNN 模型进行切割能够达到 96% 以上的概率识别出 0.01mm 级宽度。此算法的优点就是用非线性回归方程来求得距离、焦距与像素尺寸之间的对应关系,消除由于相机镜头的变形引起的测量误差;物理变换过程中标定误差的影响也是很重要的。现场检测中,标准物必须在裂缝同一水平面内,若不在一个平面上,则会出现透视错位的情况,从而引起整个系统的误差。而且还有测量角度误差的影响也会造成测量结果出现一定的误差,在测量的角度偏移了裂缝的实际法线方向的情况下所测得的结果就是裂缝实际宽度的一个余弦投影量,按 15 度左右计算约会产生 3.4% 的负误差。想要达到更高的评价精确性可采取以下措施:使用高分辨率工业摄像机以及进行仔

细的标定步骤、使用深度学习分割算法以及加入多视点测量融合技术等。

4 结语

公路桥梁开裂状况及宽度判定是保证桥梁结构安全的关键性技术问题。文章对开裂类型的特性及成因进行了系统的阐述,对现有检测手段及评价手段进行了总结。对于检测手段而言,传统的手工检查存在高空作业危险系数大以及工作效率低等缺点,基于深度学习的智能化检测方式则是实现了一体化的高精度开裂检测,效率与准确性上都占有极大的优势;对于宽度评判而言,双目立体视觉三维重建与深度学习相结合的应用可以让开裂宽度的无人化高精度测量测变为现实,识别误差可以控制在 0.01mm 级别之内,完全符合工程项目检测标准的要求。目前的研究还存在着一些亟待解决的问题主要是针对复杂背景下的裂缝鲁棒检测、检测仪器的环境容忍度以及多种检测信息的综合处理等问题。今后可以开展如下几个方面的研究:搭建开放共享的桥梁裂缝标注数据平台;研制轻量级精度高的嵌入式检测装置;制定裂缝检测及评价准则,推进公路桥梁裂缝检测技术的智能化、标准化、工程化。

[参考文献]

- [1]钱正刚.桥梁裂缝成因及预防研究[J].运输经理世界,2024(30):147-149.
 - [2]石晓磊.公路桥梁裂缝成因与预防对策[J].交通世界,2023(08):153-155.
 - [3]李飞,国璟,侯翔,等.基于双目视觉三维重构的桥梁表面裂缝长宽尺寸智能测量[J].交通世界,2024(29):154-157.
- 作者简介:张宝仓(1993—),毕业于东北农业大学土木工程专业,中级工程师,现就职于新疆北新科技创新咨询有限公司。