

智能检测技术在交通安全设施工程质量验收中的应用与创新

李迎秋

云南省交通科学研究院有限公司 云南 昆明 650041

【摘要】：交通安全设施工程质量验收是保障高速公路通行安全的重要基础，在以往的工程验收中，存在效率低、主观性强、隐蔽隐患难以发现等问题，使得现有的工程验收方法难以满足实际需求。文章通过对物联网、人工智能、机器视觉等核心技术与验收场景之间的匹配关系进行系统研究，将智能检测技术应用于工程验收流程，对交通安全设施实体工程关键部件进行专门的智能测试，并对整个过程的智能控制机理进行研究，将为交通安全设施工程项目施工过程中的质量保证提供技术支撑，提高施工管理水平，并为推动交安工程质量验收向数字化、智能化、精准化转型奠定坚实基础。

【关键词】：智能检测技术；交通安全设施工程；质量验收；创新应用

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.023

交通安全设施工程是公路车辆通行最基本的安全基础和保障，其质量直接关系到道路使用者的生命财产安全，对提升公路通行效率、降低交通事故发生率具有不可替代的作用。传统的交安工程质量验收多依赖人工目测、简单工具测量及经验判断，这种模式不仅耗时耗力，验收效率低下，难以满足大规模、高强度的工程建设需求。随着我国公路建设事业的飞速发展，交安工程的规模和复杂度不断提升，对质量验收的标准和要求也日益严苛，传统验收模式的固有弊端愈发凸显，亟需引入更为先进、高效、智能的检测技术手段，以实现对接安工程质量的精准把控和科学评估。

1 智能检测技术应用于交通安全设施工程质量验收的基础与背景

交安工程质量验收作为工程建设的最后一道关卡，承担着对工程实体质量、使用功能及安全性进行全面检验与评估的重要职责。传统的交安工程质量验收模式主要依赖人工目测、手持仪器单点检测及纸质记录等方式，该模式在实际操作中暴露出诸多局限性：一是验收效率低下，面对大规模、高强度的验收任务，人工检测难以满足工期要求，尤其在偏远山区或恶劣天气条件下，作业难度显著增加；二是主观性强，检测结果易受检测人员经验、责任心及环境因素影响，不同人员对同一指标的判断可能存在偏差，导致验收标准执行不一致；三是隐蔽隐患难以发现，对于标志标牌的内部结构连接、标线的抗滑性能衰减趋势、防护栏的动态防撞能力等隐蔽性或动态性指标，传统方法难以实现精准、全面地检测，易形成质量盲区。

在此背景下，物联网、人工智能、机器视觉、大数据等智能检测技术的快速发展为交安工程质量验收模式的革新提供了新的可能。智能检测技术通过自动化感知、智能化分析和数字化管理，能够有效弥补传

统验收模式的短板，实现对交安工程质量的精准、高效、客观评估。

2 智能检测技术在交通安全设施工程质量验收中的核心应用措施

2.1 关键构件专项智能检测技术及应用方案

(1) 护栏智能检测：针对护栏结构参数的智能检测，采用基于机器视觉与激光雷达融合的检测方案。通过搭载高分辨率工业相机和三维激光扫描仪的检测车，以50—80km/h的速度在待检测路段行驶，实时采集护栏的图像数据和点云数据。其中，图像数据用于识别护栏的类型（如波形梁护栏、混凝土护栏等）、立柱间距、防阻块或托架的安装状态等二维特征；激光点云数据则通过点云分割与拟合算法，精确计算护栏的高度、横梁中心距地面高度、立柱垂直度等三维几何参数，测量精度可达±2mm。系统内置护栏参数数据库，可自动匹配不同路段的护栏设计标准，对采集到的参数进行实时比对，例如波形梁护栏的波高、波距是否符合《公路交通安全设施设计规范》（JTGD81）要求，立柱埋深是否满足设计图纸规定值。同时，针对护栏的损伤缺陷检测，引入深度学习目标检测算法（如改进的YOLOv5模型），对图像中的护栏变形、破损、锈蚀、螺栓缺失或松动等问题进行自动识别与分类，识别准确率超过95%。检测完成后，系统自动生成护栏检测报告，包含各参数的实测值、偏差率、缺陷位置分布热力图及修复建议，为验收人员提供直观、量化的质量评估依据。

(2) 标志标线工程智能检测：标志标线工程作为引导交通流、规范驾驶行为的关键设施，其设置的规范性、清晰度及耐久性直接影响道路通行效率与行车安全，因此对其实施智能化检测具有重要意义。

在交通标志智能检测方面，数据采集可采用车载检测系统或无人机巡检平台。车载系统通常配备高分辨率工业相机、激光测距仪、GNSS定位模块及惯导系统，在车辆行驶过程中，相机对道路两侧及上方的交通标志进行连续拍摄，激光测距仪同步获取标志与检测车辆的相对距离和高度，结合GNSS和惯导数据，精确计算标志的实际安装位置、设置高度、侧向偏移量等几何参数。对于标志版面，通过图像预处理（如畸变校正、图像增强）和字符识别（OCR）技术，可自动识别标志的类型、禁令/指示/警告等属性、字符内容及图案完整性，判断是否存在信息错误、模糊或缺失。在道路标志的智能化检测中，如何快速、无接触地对道路标志的物性参数和几何参数进行快速、无接触的测试，是道路标志的智能化检测的关键技术。一个代表性的车辆探测装置包括激光轮廓传感器，超光谱摄像机，路面状态传感器等。该方法将线性激光测温技术应用于标线表面，通过对反光变形的研究，实现对标线厚度、宽度及其与道面的结合状况的准确识别，实现对表面损伤（如剥落、开裂、起泡等）的有效识别。利用高光谱成像技术，对道路标志物质组成和老化情况进行研究，通过特殊的计算方法，反演出道路标志物质的组成和结构，从而对道路标志物的服役年限进行估算。抗滑性能检测可通过集成摩擦系数测试模块，模拟轮胎与标线表面的摩擦行为，实时获取标线的横向力系数（SFC）或摆值（BPN），评估其防滑效果。

（3）隔离与防眩设施智能检测：针对隔离与防眩设施的智能检测，首先构建基于车载激光雷达与高清相机的多模态数据采集系统。激光雷达可精确获取隔离栅（如波形梁护栏、混凝土护栏）的三维点云数据，通过点云分割与拟合算法，计算其高度、间距、立柱垂直度、横梁中心距等关键结构参数，同时识别是否存在变形、缺损、连接松动等物理缺陷；高清相机则采集防眩板的图像信息，结合深度学习目标检测与语义分割模型，自动识别防眩板的安装位置、数量、颜色均匀性及表面损伤（如裂纹、褪色、缺失）情况，并通过图像测距技术验证其横向间距与遮光角是否符合设计要求。对于防眩设施中的绿植防眩带，还可引入近红外光纤传感器，分析叶片的叶绿素含量与覆盖度，评估其防眩效果的有效性与其生长状态。

2.2 全流程验收智能化管控措施

（1）检测数据实时采集与传输机制：为实现检测数据的高效流转与实时共享，系统采用“边缘计算+5G/北斗双模通信”架构。检测设备端集成高性能边

缘计算模块，对传感器采集的原始数据（如点云、图像、光谱等）进行实时预处理，包括数据降噪、格式转换及特征提取，在本地完成初步分析与关键参数计算，有效降低数据传输量。同时，搭载的北斗高精度定位模块可实时获取检测位置的经纬度坐标，并与检测数据进行时间戳同步绑定，确保空间位置信息的准确性。数据传输环节采用5G通信技术为主、北斗短报文为备份的双链路机制：5G网络提供高速率、低延迟的数据传输通道，支持点云、高清图像等大容量数据的实时回传；当检测区域处于网络信号弱或无覆盖环境时，自动切换至北斗短报文模式，将关键检测结果（如异常参数、定位信息）以加密报文形式发送至云端管理平台，保障数据传输的连续性与可靠性。

（2）验收标准数字化适配：为实现智能检测数据与工程验收标准的精准匹配，需构建动态更新的验收标准数字化数据库。该数据库以国家现行《公路交通安全设施施工技术规范》（JTG/T 3671-2021）、《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》（JTG F80/1-2017）等规范为基础，通过自然语言处理技术对条文内容进行结构化解析，提取关键指标（如某段护栏板厚度偏差允许值、标志板反光膜逆反射系数阈值、标线涂层厚度范围等）、检测方法描述及合格判定规则，转化为可计算的参数化模型。针对不同类型交通安全设施（如波形梁护栏、混凝土护栏、交通标志、热熔标线等），建立分类别的标准数据子集，每个子集包含基础属性（设施类型、适用路段）、技术参数（分项工程实测项目、权值、允许偏差）、缺陷等级划分标准（轻微、一般、严重缺陷的量化定义）及关联检测方法索引。同时，开发标准适配接口模块，实现检测数据采集终端与数字化标准库的实时联动：当智能检测设备获取某项实测数据（如某段护栏的立柱埋深检测值）后，系统自动根据设施类型、检测项目调用数据库中对应的标准阈值及判定逻辑，通过数值比对算法（如偏差率计算、区间匹配）完成实时合格性判定，并生成可视化的比对结果（如绿色正常、黄色预警、红色超限）。

（3）异常问题智能预警与定位：为实现对交安工程质量缺陷的主动识别与精准追溯，系统构建了“多层级预警模型+空间坐标映射”的异常问题智能预警与定位体系。在预警模型构建方面，采用基于机器学习的异常检测算法，通过对历史验收数据（含合格样本与典型缺陷样本）的特征学习，建立多维度检测参数的正常波动范围基线。当实时检测数据传入云端平台后，系统自动将当前参数（如护栏板的几何尺寸偏

差、标志板的反光膜逆反射系数、防眩板的安装角度等)与基线进行比对,若某项参数超出预设阈值(如规范允许偏差的1.2倍),则触发一级预警;若多项关联参数同时异常(如标线的厚度不足且逆反射系数不达标),则升级为二级预警,并通过融合检测位置的北斗定位坐标与工程BIM模型,在平台界面中精准标注异常点的三维空间位置(如K12+300处右侧波形梁护栏、互通式立交A匝道出口处指路标志)。对于预警事件,系统自动生成包含异常类型(如“护栏立柱埋深不足”“标线纵向间距偏差”)、检测数值、标准限值、定位坐标及现场原始图像/点云数据的异常报告,并通过5G通信实时推送至项目管理人员的移动端APP,辅助快速分析问题成因。

3 交通安全设施工程质量验收中智能检测技术的创新方向

(1)智能检测技术的创新:在多源传感器融合方面,其核心在于构建一个能够协同不同传感器优势、弥补各自短板的智能感知体系。具体而言,首先需要解决的是传感器之间的时空同步问题,确保激光雷达点云、相机图像、IMU姿态数据以及GNSS定位信息在时间和空间上的精确对准。这通常需要通过硬件时钟同步和软件时空配准算法相结合的方式实现,例如利用时间戳对齐技术保证数据采集的时间一致性,并通过标定矩阵和坐标转换模型实现不同传感器坐标系之间的精确映射。数据层面的融合策略是关键,可以采用分层融合架构,从底层的原始数据级融合,到特征级融合,再到决策级融合。在原始数据级,可对激光雷达的距离信息与相机的灰度/彩色信息进行像素级配准,生成带有色彩属性的点云数据,从而同时具备三维结构与纹理细节;特征级融合则侧重于从各传感器数据中提取关键特征,如激光雷达点云中的边缘、平面特征,相机图像中的角点、纹理特征,IMU的运动状态特征等,通过特征关联与匹配,构建更鲁棒的环境特征描述子。

参考文献:

- [1] 罗瑜,刘业锟.基于人工智能深度学习视频分析的交安设施设备状态检测探究[J].中国交通信息化,2025,(10):104-107.
- [2] 苏婕,王宇,吴松.关于新设交通技术监控设备评估论证工作的优化完善思路及建议[J].汽车与安全,2025,(08):52-58.
- [3] 伍宏宇,欧本祚,吴龙,等.路线、路基岩土及交安设施关键技术体系研究[J].城市道桥与防洪,2025,(03):58-64.
- [4] 潘学芝.公路项目安全设施的交工检测技术分析[J].交通世界,2024,(07):10-12.
- [5] 王珊珊,李辉,胡晓庆,等.公路交通安全设施智能养护决策系统研发与应用[J].山东交通科技,2023,(06):27-30.
- [6] 蔡娜娜.探讨公路项目交通安全设施工程的交工检测[J].交通科技与管理,2023,4(01):180-182.

构建激光雷达-机器视觉-红外热像联合探测模式,实现“空域位置-结构特征-态势认知”多维度信息融合,以解决单个技术瓶颈^[6]。该系统能够以每秒百万次的速度采集零件的3D空间坐标值,精确地对护栏立柱倾斜、标牌安装位置等的形位误差进行测量,其位置精度达到了±2厘米;采用高精度摄像机和CNN的图像特征提取方法,对标识标线图案完整性、涂层脱落等纹理瑕疵进行检测,正确率达到99%以上;利用红外热像测量零件表面的温差,可以发现栏杆焊接处的虚焊和隔离网材料的不均匀性等隐患,其测量精度可达到0.05℃。

(2)无人化自主验收系统创新:无人化自主验收系统创新旨在构建一套具备高度自主决策能力的智能化验收体系,通过整合自主移动平台、多模态感知设备、智能决策算法及远程监控中心,实现交通安全设施质量验收的无人化、自动化与智能化。该系统以轮式机器人或履带式机器人为载体,搭载高清工业相机、激光雷达、惯性导航单元(IMU)、GNSS定位模块等多源传感器,能够在复杂的工程现场环境中自主规划路径,完成对护栏、标志标线、隔离防眩设施等的全方位巡检与数据采集。机器人平台具备较强的环境适应性,可应对不同路面条件(如施工便道、不平整路面)及天气状况(如下雨、雾天等),确保验收工作的连续性和稳定性。

4 结语

智能化测试技术的引进为我国公路安全建设项目的质量验收工作带来了系统的革命,从本质上改变了现有的验收方式存在的低效和准确性问题。通过对智能测试的应用依据进行系统性梳理,形成涵盖重要部件的专用测试方案,并在此基础上,构建面向整个过程的智能测试控制系统。今后,需要注重检验过程和标准数据的统一化,加强多种技术的结合和运用,促进检验与智慧交通平台的紧密结合,帮助我国的交通基础设施质量控制体系向智慧化、全寿命周期的发展。