

高速公路试验检测技术难点及对策研究

任 兰

四川智通路桥工程技术有限责任公司 四川 成都 610207

摘要：本文聚焦高速公路试验检测技术，阐述其在保障工程质量、控制施工进度、降低成本及为工程验收提供依据等方面的关键作用。深入剖析材料、路基路面、桥梁、隧道检测以及数据管理与分析等环节的技术难点，如沥青混合料检测数据离散性大、桥梁斜拉索索力检测受风振影响等。针对这些难点，提出构建多维度技术融合体系、发展智能化检测技术等对策。同时，展望智能化检测、多技术融合、大数据驱动决策及绿色检测技术等发展趋势，为高速公路试验检测提供全面指导。

关键词：高速公路；试验检测技术；难点分析；对策研究

1 试验检测技术在高速公路建设中的作用

1.1 保障工程质量

高速公路作为重要的交通基础设施，其工程质量直接关系到行车安全和使用寿命。试验检测技术能够对原材料、构配件和工程实体质量进行全面检测。例如，通过对水泥、钢材等原材料的化学成分、物理性能检测，确保其符合设计要求；对路基压实度、路面平整度等指标的检测，能及时发现质量问题并采取整改措施，从而保障高速公路整体工程质量。

1.2 控制施工进度

在高速公路施工过程中，试验检测结果对施工进度有着重要影响。准确的检测数据可以为施工方案的调整提供依据。比如，若路基检测发现压实度不达标，就需要及时采取补压等措施，避免因质量问题导致返工而延误工期。同时，合理的试验检测安排可以避免不必要的等待时间，使施工各环节紧密衔接，有效控制施工进度^[1]。

1.3 降低工程成本

试验检测有助于优化施工方案和材料使用。通过检测不同材料的性能和价格，选择性价比高的材料，在保证工程质量的前提下降低材料成本。此外，及时发现施工中的质量问题并整改，可避免后期因质量问题进行大规模维修而产生的高额费用，从而降低整个工程的成本。

2 高速公路试验检测技术难点分析

2.1 材料检测技术难点

高速公路材料检测面临多重技术挑战。以沥青混合料为例，马歇尔稳定度试验需精确模拟高温环境下的抗变形能力，但不同批次沥青的粘弹性差异导致试验数据离散性高达15%，需通过动态剪切流变仪（DSR）进行二次验证。水泥检测中，早期强度与28天抗压强度的相关性受养护条件影响显著，实验室标准养护与工地自然养

护的强度偏差可达20%，需建立环境修正系数模型。钢材检测方面，高强钢筋的屈服强度与断后伸长率检测需同步控制加载速率，传统万能试验机因速率波动导致数据误差超5%，需升级为闭环控制电液伺服系统。新型材料如玄武岩纤维的分散性检测缺乏统一标准，现有图像分析法与化学滴定法的结果差异达12%，需研发基于机器视觉的智能识别系统。

2.2 路基路面检测技术难点

路基检测中，传统灌砂法检测压实度存在三大局限：其一，取样深度仅能覆盖表层30cm，无法反映深层压实状态；其二，人工操作导致数据重复性不足，同一点位三次检测结果偏差可达8%；其三，对含水量敏感，雨季施工时数据波动超15%。路面检测方面，平整度检测仪受车辆振动干扰，激光断面仪在车速超80km/h时数据失真率达20%。无损检测技术虽能弥补传统方法不足，但三维探地雷达对10cm以下空洞的分辨率仅0.3m，需结合地质雷达与红外热成像进行多源数据融合。路面抗滑性能检测中，摆式摩擦系数仪受温度影响显著，冬季低温环境下检测值偏低15%，需建立温度补偿算法^[2]。

2.3 桥梁检测技术难点

桥梁检测面临结构复杂性与环境干扰的双重挑战，跨江大桥的斜拉索索力检测中，振动频率法受风振影响，10m/s风速下数据波动达12%，需采用磁通量法进行校准。混凝土桥梁的裂缝检测中，传统人工巡检效率低，单跨检测需2小时，而无人机搭载高清相机虽能缩短至20分钟，但图像识别算法对0.2mm以下微裂缝的识别率仅65%。钢结构桥梁的焊缝检测中，相控阵超声技术对角焊缝的缺陷检出率虽达90%，但厚板焊接的层间未熔合缺陷仍需结合TOFD技术进行复合检测。桥梁健康监测系统的传感器寿命问题突出，应变计在5年使用后数据漂移超

8%，需研发自供电长寿命传感器。

2.4 隧道检测技术难点

隧道检测的核心难点在于空间封闭性与地质条件复杂性。初期支护检测中，地质雷达对拱顶2m以上空洞的探测盲区达40%，需结合激光扫描进行三维建模。二次衬砌检测方面，超声波法对厚度小于30cm的衬砌检测误差超10%，而冲击回波法虽能提高精度，但对含水量敏感，潮湿环境下数据失真率达15%。隧道渗水检测中，红外热成像技术受环境温度影响显著，冬季施工时渗水点识别率仅70%，需结合湿度传感器进行多参数融合。隧道超前地质预报中，TSP法对断层破碎带的预测距离虽达150m，但分辨率不足，需结合水平钻探进行验证，导致单次预报成本增加30%。

2.5 试验检测数据管理与分析难点

试验检测数据管理面临多源异构数据的整合挑战。不同检测设备生成的数据格式差异大，如压力试验机输出CSV格式，而激光扫描仪生成PLY点云数据，需开发统一数据接口。数据存储方面，单个高速公路项目检测数据量超500GB，传统关系型数据库查询效率下降60%，需采用分布式文件系统（如HDFS）进行存储。数据分析环节，传统统计方法对非线性关系的建模能力不足，如路基沉降预测中，多元回归模型的R²值仅0.7，而支持向量机（SVM）模型虽能提升至0.85，但需大量标注数据。另外，数据可视化工具缺乏交互性，现有系统仅能展示静态图表，无法实现动态参数调整，需引入BIM+GIS技术构建三维可视化平台。

3 高速公路试验检测技术难点对策研究

3.1 材料检测技术难点对策

针对材料检测中的技术难点，需构建多维度技术融合体系。对于沥青混合料检测，可引入人工智能辅助的马歇尔稳定度试验系统，通过机器学习算法对历史试验数据进行训练，建立动态修正模型，将数据离散性从15%降低至5%以内。水泥检测方面，开发基于物联网的智能养护箱，实时监测温湿度并自动调节，结合X射线衍射技术分析矿物组成，使强度偏差控制在3%以内。钢材检测领域，推广闭环控制电液伺服万能试验机，配合激光测速仪实时反馈加载速率，确保屈服强度检测误差小于2%。针对新型材料检测，建立玄武岩纤维分散性标准样本库，采用深度学习算法对图像分析法进行优化，使检测结果与化学滴定法差异缩小至3%以内^[3]。同时，构建材料检测大数据平台，整合全国高速公路材料检测数据，为标准制定提供数据支撑。

3.2 路基路面检测技术难点对策

路基路面检测需突破传统方法局限，发展智能化检测技术。针对压实度检测，研发多深度探地雷达系统，通过不同频率天线组合实现0-2m深度全覆盖检测，结合数值模拟算法消除表层干扰，使深层压实度检测误差小于3%。平整度检测方面，开发基于5G通信的车载激光断面仪，通过实时定位与姿态补偿技术，将车速80km/h时的数据失真率降至5%以下。无损检测领域，推进三维探地雷达与红外热成像的融合应用，建立多源数据融合算法模型，使10cm以下空洞分辨率提升至0.1m。对于抗滑性能检测，研发温度自适应摆式摩擦系数仪，内置温度传感器与补偿算法，使冬季检测值偏差控制在2%以内。建立路基路面检测机器人系统，实现自动化巡检与数据实时上传。

3.3 桥梁检测技术难点对策

桥梁检测需构建“空天地海”一体化监测体系。针对斜拉索索力检测，开发风振补偿型振动频率分析仪，通过加速度传感器阵列实时监测风振影响，结合卡尔曼滤波算法消除干扰，使数据波动率降至3%以内。混凝土桥梁裂缝检测方面，推进无人机搭载高光谱成像仪的应用，通过光谱特征分析识别0.1mm级微裂缝，结合深度学习算法使识别率提升至90%以上。钢结构焊缝检测领域，研发相控阵超声-TOFD复合检测系统，通过信号融合技术提高层间未熔合缺陷检出率至95%。对于桥梁健康监测，部署长寿命自供电传感器网络，采用能量收集技术将传感器寿命延长至10年以上，结合边缘计算实现数据本地处理。同时建立桥梁数字孪生模型，通过实时数据驱动实现结构状态预测。

3.4 隧道检测技术难点对策

隧道检测需发展多传感器融合的智能检测技术。针对初期支护检测，开发地质雷达-激光扫描复合检测车，通过雷达波反射与三维点云匹配，消除拱顶检测盲区，使空洞识别率提升至95%。二次衬砌检测方面，研发超声波-冲击回波融合检测系统，建立含水量自适应修正模型，将厚度检测误差控制在3%以内。渗水检测领域，推进红外热成像-湿度传感器阵列的联合应用，通过多参数融合算法使渗水点识别率提升至90%。对于超前地质预报，构建TSP-水平钻探-地质雷达的协同预报体系，开发基于贝叶斯网络的预测模型，将断层破碎带预测准确率提升至85%。同时，建立隧道BIM模型，实现检测数据与三维模型的实时关联，为运维提供决策支持。

3.5 试验检测数据管理与分析难点对策

试验检测数据管理需构建“云-边-端”协同架构。针对多源异构数据整合，开发基于Hadoop的分布式数据处

理平台，通过自定义数据接口实现50+种设备数据的实时接入与格式统一。数据存储方面，采用列式存储数据库（如HBase）与对象存储（如MinIO）的混合架构，使500GB级数据查询响应时间缩短至秒级。数据分析环节，引入图神经网络（GNN）算法处理检测数据间的拓扑关系，使路基沉降预测R²值提升至0.9以上。可视化方面，开发基于Unity的BIM+GIS三维可视化平台，支持动态参数调整与虚拟现实交互，使数据展示直观性提升3倍。建立数据质量管控体系，通过区块链技术实现检测数据全生命周期追溯，确保数据不可篡改与可追溯。

4 高速公路试验检测技术发展趋势与展望

4.1 智能化检测技术的深度应用

随着人工智能、物联网和传感器技术的快速发展，高速公路试验检测将迈向全面智能化时代。未来，智能传感器将广泛部署于高速公路各结构部位，形成全天候、实时监测的网络。例如，新型光纤光栅传感器可嵌入路基、桥梁和隧道结构中，精准感知应力、应变和温度变化，数据传输频率可达毫秒级。同时，智能检测机器人将取代部分人工检测工作，这些机器人具备自主导航、环境感知和决策能力，可完成桥梁底部检测、隧道内部巡查等高危任务。借助计算机视觉和深度学习算法，机器人能自动识别裂缝、腐蚀等缺陷，并生成详细的检测报告，大大提高检测效率和准确性^[4]。

4.2 多技术融合的检测模式创新

未来，高速公路试验检测将呈现多技术深度融合的趋势。地理信息系统（GIS）、建筑信息模型（BIM）与试验检测数据的融合将成为常态。通过GIS技术，可将检测数据与高速公路的地理位置精准关联，实现空间分析和可视化展示，为管理人员提供直观的决策依据。BIM技术则能构建高速公路的三维数字化模型，将检测数据实时映射到模型上，直观呈现结构健康状况。无人机、卫星遥感等技术与传统检测方法的融合，可实现对高速公路大范围、快速检测。例如，利用无人机搭载高分辨率相机和多光谱传感器，可定期对高速公路沿线进行巡查，及时发现路面病害、边坡滑坡等隐患。

4.3 大数据与云计算驱动的决策支持

大数据和云计算技术将为高速公路试验检测带来革

命性变化。海量检测数据将存储在云端，通过云计算强大的计算能力进行深度分析和挖掘。利用大数据分析，可建立高速公路结构健康状态的预测模型，提前预警潜在的安全问题。例如，通过对历史检测数据和气象数据的分析，预测桥梁在特定气候条件下的受力变化，为养护决策提供科学依据。云计算可实现检测数据的实时共享和协同分析，不同地区的检测机构和管理部门可通过云端平台共享数据和经验，共同解决复杂的技术问题，提高整个行业的检测水平和管理效率。

4.4 绿色检测技术的兴起

随着环保意识的增强，绿色检测技术将成为高速公路试验检测的重要发展方向。在检测过程中，将优先选用低能耗、无污染的检测设备和方法。例如，研发新型无损检测技术，减少对结构的破坏和材料浪费。同时，推广使用电动或新能源驱动的检测车辆和设备，降低检测过程中的碳排放。在检测试剂和材料的选择上，也将更加注重环保性能，减少对环境的负面影响。绿色检测技术的应用不仅符合可持续发展的要求，还能降低检测成本，提高经济效益和社会效益。

结束语

高速公路试验检测技术是保障工程质量与安全的关键环节。面对材料、路基路面、桥梁、隧道检测及数据管理等多方面技术难点，通过构建多维度技术融合体系、发展智能化检测技术等对策，能有效提升检测水平。未来，随着智能化、多技术融合、大数据与云计算以及绿色检测技术的发展，高速公路试验检测将迈向新高度。

参考文献

- [1]陈继岳.高速公路桥梁工程试验检测技术及成果应用研究[J].中国新技术新产品,2021(1):107-109.
- [2]李波.高速公路桥梁工程验收环节试验检测技术及成果应用研究[J].运输经理世界,2021(10):40-42.
- [3]王洪波,彭月恒,欧定福,等.基于MSA技术的溧宁高速公路桥梁构件钢筋位置检测仪器研究[J].山东交通科技,2020(6):107-110.
- [4]吴勇.高速公路试验检测技术中的问题及对策[J].黑龙江交通科技, 2020, 43(10):196-197.