

数字化技术在检验检测机构中的应用探讨

乔艳*, 崔传炜, 王敏, 吴军煜

(中路口检测技术有限公司, 南京 210000)

摘要: 随着智能化技术的迅速发展和快速迭代, 数字技术已在各个行业得到广泛应用。本文聚焦于数字技术在公路水运试验检测领域的应用, 深入探索其适用场景, 详细阐述数字化技术在该领域的实践应用, 旨在为传统试验检测工作提供更便捷、高效的支撑。同时, 对该技术应用过程中可能产生的问题与挑战进行全面剖析, 并结合实际案例进行深入分析, 以期对试验检测行业的数字化发展提供有益参考。

关键词: 数字化; 试验检测; 探索应用

0 引言

当今, 智能化进程加速, 数字化技术日新月异, 深刻重塑各行业格局。5G、物联网、大数据及人工智能等技术相互交融, 促使各领域追求更高效精准的作业模式。公路水运试验检测作为保障交通基础设施质量的关键, 传统检测方法在工程规模扩大与项目复杂程度提升时, 效率低、误差大、数据处理能力弱等问题凸显。因此, 数字化技术的融入势在必行。本文聚焦数字化技术在公路水运试验检测机构的应用。详细解析检测“机器人”、智能检测设备和智能平板等数字化硬件在检测流程中的作用, 以及自主学习、语音识别、数据处理、图像识别与流程优化等数字技术的应用优势。本文旨在为传统检测工作探索高效途径, 提升检测的效率与精度, 削减人力成本, 并为行业监管给予有力数据支撑, 助力公路水运试验检测行业迈向智能化、精准化, 为交通基础设施建设的高质量发展提供坚实保障, 具有重要的现实与应用价值。

1 数字化的硬件设备

1.1 检测“机器人”

检测“机器人”是数字化应用的核心, 在实际应用中起着至关重要的作用。以5G物联网和智能硬件为技术手段, 通过传感器技术(如高精度压力传感器、位移传感器等用于精确采集试验数据)、应用程序编程接口(Application Programming Interface, API)接口、视频分析、数据库和云端数据平台等, 负责试验检测全过程视频采集分析, 数据收集与处理分析。通过扫描技术, 识别试验检测人员的关键操作步骤, 与机器

人“大脑”中的检测规范逐帧判别, 从而降低检测过程中人为误差。数据处理的步骤主要包括数据收集和分类、数据集的划分、数据的特征提取和转换、数据标准化和归一化等^[1]。

阜溧高速公路建湖至兴化段的试验检测项目中, 检测“机器人”得到了充分应用。检测人员通过App远程控制将检测工作内容输入机器人的“大脑”, 例如在桥梁结构检测任务中, 机器人依据优化算法(如遗传算法优化检测流程)^[2], 为检测人员制定出最佳工作程序和方案。它能够根据计划及时做好工作准备及不同检测参数的衔接等, 如在检测桥梁工程混凝土强度时, 机器人协调压力传感器、位移传感器以及数据采集设备, 精确采集数据并进行分析, 将检测误差控制在极小范围内, 有效保障了工程质量。相比传统检测方式, 检测效率提高了约30%, 且数据准确性显著提升。

1.2 智能检测设备

试验检测中涉及的智能检测设备主要有以下几类。

(1) 智慧型电子天平: 样品感量数据获取, 称量结果与外界实时传输, 避免检测人员记录产生错误。用于公路工程中各种检测对象感量识别试验, 包括集料类、混合料类、工程实体类试验检测参数。例如在343国道大丰至盐都段高速公路建设的集料检测中, 智慧型电子天平精确称量集料样本, 其称量精度可达 ± 0.0001 g, 数据传输速率为10 Mbps, 具备自动校准和故障自检功能, 确保了集料级配数据的准确性, 为后续混合料设计提供了可靠依据^[3]。

(2) 力学试验机: 用于公路工程中材料、混合料、工程实体力学性能检测, 实现实时数据采集传输、智能处理、数据分析。如在京沪高速公路新沂至淮安段改扩建工程的钢材力学性

* 通信作者: 乔艳, 高级工程师, 研究方向为道路工程检测及技术开发与应用、智慧检测技术研发。E-mail: qy@sinoroad.com

能检测中，力学试验机实时采集钢材的拉伸、压缩等力学数据，通过内置的智能处理系统，快速分析出钢材的屈服强度、极限强度等关键指标。与传统试验机相比，数据处理速度提高了约 50%，并且能够自动生成详细的检测报告，大大减轻了检测人员的工作量^[4]。

(3)现场试验检测设备系列：包括但不限于钢筋保护层厚度测定仪、回弹强度仪(见图 1)、基桩动测仪等，用于公路工程路基、路面、桥梁等工程实体现场试验参数性能检测。在某公路路基检测项目中，钢筋保护层厚度测定仪快速准确地测量出钢筋保护层厚度，为判断路基结构的耐久性提供了关键数据。回弹强度仪对路面混凝土强度进行无损检测，通过与云端数据库对比，及时发现强度不足区域。基桩动测仪对桥梁基桩完整性进行检测，有效保障了工程的基础安全^[5]。



图 1 智慧型回弹仪的应用

(4)其他智能检测设备：如沥青及沥青混合料类试验检测设备，用于检测道路石油沥青、聚合物改性沥青等针入度、延度、软化点及沥青混合料的马歇尔稳定度、流值，测定混合料高温抗车辙性能等。工控一体机设计，设备智能控制，通过全自动光电检测，检测结果实时记录及传输。在某城市道路沥青路面铺设工程中，该设备对沥青混合料进行检测，准确测定其各项性能指标，确保了沥青路面的施工质量，减少了因沥青质量问题导致的路面病害^[6]。

1.3 智能平板

智能平板作为移动终端，在试验检测中发挥着重要作用。例如在试验室沥青原材料检测作业中，检测人员可利用智能平板便捷地查看检测规范、记录检测数据、拍摄定性检测照片与视频并实时上传至云端。在 343 国道大丰至盐都段高速公路检测任务中，检测人员使用智能平板对路面沥青原材入库进行检测、记录，将检测过程中的照片和视频实时传输至后方专家团队。专家通过远程查看资料，及时给予检测人员技术指导，避免了因信息传递不及时导致的检测延误，提高了检测工作的协同性和效率。同时，现场检测数据能够实时、无缝地协同至 PC 端平台(见图 2)^[7]。这一特性极大地便利了后续的数据深入剖析

与全面总结工作，有效提升了数据处理的效率与精准度，为试验检测工作的整体优化提供了有力支撑。

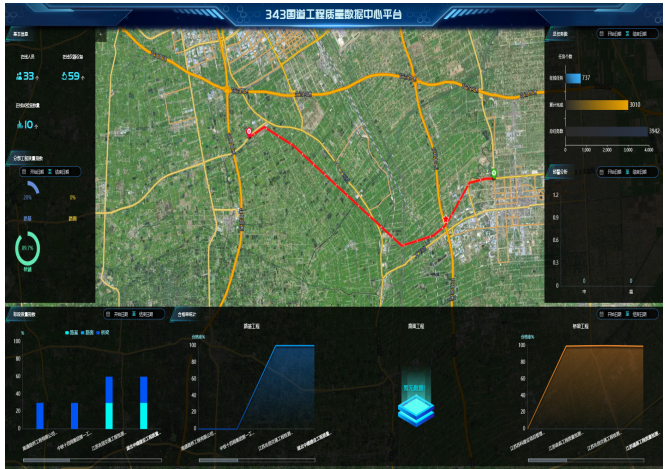


图 2 协同至 PC 端界面

2 数字技术在公路水运试验检测中的应用

2.1 自主学习功能

通过将基于深度学习的卷积神经网络(Convolutional Neural Network)和 Q-learning 算法应用到“机器人”控制领域，提升机器人的自主学习能力^[8]。在学习沥青混合料试验检测规范时，先从基本的原材料识别阶段开始，逐步深入到混合料配合比设计与性能测试阶段。例如在某新型沥青混合料研发项目中，机器人通过大量数据学习，当遇到新的沥青品种或特殊施工工艺时，能够根据已有的学习经验，快速调整检测策略，准确判断检测参数的合理性，有效缩短了研发周期，相比传统人工检测辅助研发，时间缩短了约 25%^[9]。

2.2 语音识别和语音助手

语音识别是人机交互的重要入口。在试验检测场景中，以每日检测工作中必须确认的温湿度为例，传统的试验检测过程，需要试验检测人员在试验室核查，温湿度符合要求后方可开展试验，而“机器人”(见图 3)实时感受并播报当前温湿度，通过 App 等提示试验人员开始相关试验。例如，在进行防水卷材试验前，需先将试验室的环境条件设定好，把温度控制在(23±2)℃，湿度控制在 50%，接着将样品放置在此环境中调节 24 h 甚至更久。在后续的试验检测进程中，得益于语音识别功能，试验人员能够依据试验的具体要求，指示“机器人”在特定时间开启恒温恒湿试验机或者对温湿度设置进行调整，同时“机器人”还会精确记录这些设备的开启与关闭时间，以及全程的环境温湿度数据。而且，“机器人”能够根据检测人员的实时需求，及时报送当前的温湿度情况。这一系列操作大幅削减了试验检测人员的书面记录工作量，不仅使检测速度得以提高，检测效率提升了约 40%，检测的准确率也显著增强^[10]。



图3 语音交互助手

2.3 检测数据处理和分析

数字化技术在检测数据处理和分析领域优势明显。在水泥混凝土抗压强度检测中，智能机器人通过深度学习试验检测规范(利用循环神经网络 RNN 对规范文本数据训练)，将智慧设备实时采集的数据结果进行自主计算并分析。例如在阜溧高速公路建湖至兴化段项目的沥青原材检测中，机器人将采集到的软化点数据按照不同的规格、生产等因素进行分类，通过与历史数据的对比和基于统计学原理的异常值检测方法，快速识别出可能存在问题的数据点，并结合规范要求对检测结果进行审核^[11](见图4)。该工程中，因数据处理和分析的高效性，避免了因错误数据导致的工程质量误判，保障了工程质量，同时减少了约35%的人工数据审核时间。

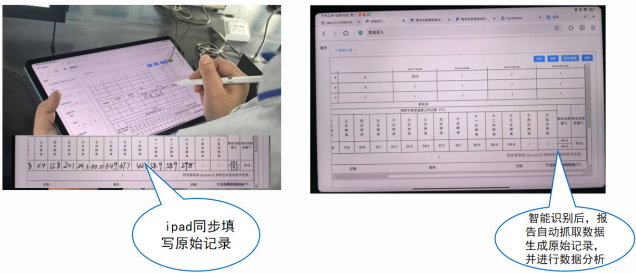


图4 沥青软化点检测数据处理

2.4 图像识别功能

2.4.1 智能检测

通过数字化技术对在检测中需要试验检测人员主观观察得出结论的检测项目给出准确的结论和描述。在沥青与粗集料试验的黏附性检测中，数字化技术通过影像全景扫描试验过程景象(采用基于深度学习的目标检测算法 YOLO 进行扫描)^[12]，

结合数据库内资料对沥青剥离集料部分进行标注，并通过深度学习模型比对《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)^[13]，自主判断该批产品的黏附性等级。在阜溧高速公路建湖至兴化段项目沥青路面材料检测项目中，该图像识别技术的准确率达到95%以上，有效提高了检测的客观性和准确性。

2.4.2 技术监测与纠偏

通过数字化技术识别试验检测科室内存在的不合规现象或试验检测人员的不合规行为、安全问题等。在钢筋拉伸性能试验中，数字化技术通过影像全景扫描发现试验检测人员在试验过程中，未关闭设备上的安全网即开始试验，自主暂停试验并语音通知试验人员做好安全防护。在某金属材料检测试验室，该监测系统运行一个月后，试验人员的违规操作次数降低了约60%，有效提升了试验操作的安全性和规范性^[14]。

2.5 优化检测流程

通过应用数字化技术进行性能优化，可以提高整个团队工作的响应速度和效率，从而确保人力资源利用最大化。在一个大型公路试验检测项目中，数字化自动分析现行的工作程序，并提供优化建议(运用流程挖掘技术和 Petri 网模型分析)^[15]。例如，通过扫描二维码、跟踪检测任务开展情况来发现问题并提供解决方案。数字化还利用机器学习技术(如遗传算法或模拟退火算法)来优化复杂的算法，通过训练模型来寻找更高效的算法参数和结构，从而提高计算速度和减少人力资源的消耗。数字化能通过智能资源管理优化系统的性能，实时监测系统负载和人力资源利用率，自动调整资源的分配和调度。该项目中，数字化根据试验检测机构的委托数量，每个试验人员在检任务数量，以及任务的轻重缓急程度，将试验检测任务单分配最优化，并为每位试验检测人员制定当日工作流程，制定程序化的工作节拍。通过之前的规范深度学习，定时开启设备，并试运行等，使整个检测团队的工作效率提高了约45%，检测周期缩短了约20天，为试验检测机构的整体运转发挥了良好作用^[16]。

3 数字化技术在试验检测人员能力提升中的作用

在沥青试验中，人工智能(Artificial Intelligence, AI)与增强现实(Augmented Reality, AR)和虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术结合，帮助试验人员准确掌握沥青样品的制备和试验方法。例如，通过AR技术将试验检测的标准操作流程和虚拟模型叠加在实际检测场景中，试验人员可以直观地看到正确的操作步骤和设备的内部结构。AI实时监测试验人员的操作动作，与标准动作进行比对，当发现偏差时，通过VR技术给予试验人员沉浸式的反馈，模拟错误操作导致的不良后果场景^[17]。在长期的训练过程中，试验人员的操作技能得到显著提升，操作

失误差降低了约40%。该项技术在沥青试验检测人员的培训中得到广泛应用并取得良好效果。

4 数字化技术在试验检测行业中的问题与挑战

4.1 检测数据的安全保护、隐私性问题

采用高级加密标准算法(Advanced Encryption Standard, AES)对试验检测数据进行加密存储和传输,确保数据在整个生命周期内的保密性。在数据共享和分析过程中,运用k-匿名算法对数据进行去标识化处理,在保护个人隐私的前提下,实现数据的有效利用。在某大型检测机构的数据管理中,建立严格的数据访问控制机制,根据用户的角色和权限,限制对敏感数据的访问和操作,防止数据泄露和滥用。例如,普通检测人员只能访问与自己检测任务相关的数据,而高级管理人员和数据分析人员则根据工作需要被授予不同级别的数据访问权限,有效保障了数据安全^[18]。

4.2 技术可行性与实用性

针对试验检测数据的多样性和复杂性,采用集成学习算法,将多个不同的机器学习算法进行组合,提高算法的泛化能力和适应性。建立分布式数据采集系统,利用传感器网络和物联网技术,实现多源数据的实时采集和整合,同时采用数据清洗和预处理技术,提高数据的质量和可用性^[19]。在某复杂桥梁结构健康监测项目中,通过与高校、科研机构和企业产学研合作,共同攻克技术难题,如开发适合桥梁结构检测的高精度传感器和智能数据处理算法,推动数字化技术在试验检测行业的实用化发展,使该项目的监测数据准确性和实时性达到了行业先进水平^[20]。

5 结束语

本文全面阐述了数字化技术在公路水运试验检测行业的应用情况,详细介绍了数字化硬件设备,如检测“机器人”、智能检测设备和智能平板等在检测中的作用;深入探讨了数字化技术在检测各环节的应用优势,涵盖自主学习、语音识别、数据处理分析、图像识别及流程优化等;还提及对检测人员能力提升的作用,以及面临的数据安全和技术可行性等问题与应对措施。数字化技术已在该行业取得显著成效,虽有挑战,但随着其不断发展,必将为检测工作带来更多突破与创新,推动行业迈向新高度^[21]。

参考文献

[1] 徐超.人工智能技术在特种设备检验检测中的应用分析[J].中国设备工程,2020,(07):172-173.

- [2] 刘建伟.深度学习研究综述[J].计算机学报,2017,40(01):21-38.
- [3] 李立明.智能检测技术在交通工程中的应用与发展趋势[M].北京:科学出版社,2019.
- [4] 赵晓辉.大数据在交通基础设施检测中的应用探索[J].交通运输系统工程与信息,2021,21(02):1-7.
- [5] 王新刚.基于机器视觉的公路工程质量检测技术研究[J].公路交通科技,2018,35(05):33-39.
- [6] 何平,张敏.智能传感器在检测领域的技术创新与应用实践[J].传感器技术学报,2019,32(05):701-705.
- [7] 陈刚,刘强.物联网技术在检验检测机构信息化建设中的应用[J].信息技术与标准化,2020,(05):80-83.
- [8] 孙晓琳,王勇.人工智能在材料检测领域的发展现状与趋势[J].材料导,2020,34(11):1135-1140.
- [9] 周强,李华.大数据时代下检测数据的管理与分析[J].数据分析与知识发现,2018,2(06):88-93.
- [10] 刘辉,赵亮.智能检测设备在工业生产中的应用与维护[J].现代制造技术与装备,2019,(04):160-162.
- [11] 马杰,张峰.图像识别技术在道路病害检测中的应用研究[J].交通科技与经济,2020,22(03):85-89.
- [12] 韩雪,李阳.基于云计算的检测数据存储与共享方案[J].计算机应用研究,2019,36(07):2019-2022.
- [13] 中华人民共和国交通运输部.公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTGE20—2011[S].北京:交通运输部交通科学研究院,2011.
- [14] 胡伟,王涛.5G技术在远程检测中的应用前景分析[J].通信技术,2020,53(04):925-929.
- [15] 陈静,林强.机器学习算法在检测数据分析中的应用实例[J].计算机工程与应用,2018,54(15):240-244.
- [16] 黄悦,张斌.增强现实技术在技能培训中的应用效果评估[J].电化教育研究,2020,41(06):105-110.
- [17] 吴迪,赵鹏.虚拟现实技术在工程检测模拟训练中的应用[J].实验技术与管理,2019,36(05):130-133.
- [18] 张超,李明.检测数据安全保护的技术措施与实践[J].信息安全与通信保密,2018,(08):98-102.
- [19] 李辉,赵刚.数据清洗技术在检测数据预处理中的关键作用[J].计算机科学,2019,46(05):287-291.
- [20] 王浩,刘敏.分布式数据采集系统在大型检测项目中的应用[J].仪表技术与传感器,2020,(10):105-108.
- [21] 钱进,李悦.数字孪生技术在检验检测中的应用前景探讨[J].工业技术创新,2020,7(04):78-82.