

Application research of automatic testing system in material testing

Qingping Yang Jinbo Guo

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

Abstract

Material testing serves as a critical component in ensuring industrial production quality and engineering safety. Traditional manual inspection methods suffer from low efficiency, poor accuracy, and subjective biases, failing to meet modern production demands for efficient, precise, and continuous testing. This study examines three core application scenarios: mechanical property testing of metallic materials, defect detection in composite materials, and aging performance evaluation of polymer materials. By analyzing system hardware configurations and software functionalities, we demonstrate how automated systems enhance testing efficiency and accuracy through real-time data acquisition, intelligent analysis, and automated feedback control. The research aims to optimize material testing processes, minimize error margins, achieve fully automated operations, ensure data traceability, and provide robust technical support for industrial material quality control.

Keywords

automated testing systems; material testing; mechanical property evaluation; defect detection

自动化检测系统在材料检测中的应用研究

杨青萍 郭进波

浙江中能工程检测有限公司，中国·浙江 杭州 311106

摘要

材料检测是保障工业生产质量、确保工程安全的关键环节，传统人工检测存在效率低、精度差、主观性强等问题，难以满足现代化生产对检测的高效性、准确性与连续性需求。本文从金属材料力学性能检测、复合材料缺陷检测、高分子材料老化性能检测三大核心场景入手，分析系统的硬件组成与软件功能，探讨自动化系统如何通过“实时数据采集-智能分析判断-自动反馈调控”提升检测效率与精度，旨在有效提升材料检测效率，控制检测误差，实现检测过程的无人化与数据的可追溯，为工业材料质量管控提供可靠技术支撑。

关键词

自动化检测系统；材料检测；力学性能检测；缺陷检测

1 引言

在制造业、建筑业、航空航天等领域，材料的质量直接决定产品性能与工程安全，材料检测作为质量管控的核心环节，需对材料的力学性能、内部缺陷、化学稳定性等指标进行精准判定。传统材料检测以人工操作为主，例如金属材料硬度检测需人工放置试样、调整检测仪器、读取数据，不仅耗时久，还易因操作人员的手法差异、视觉误差导致检测结果波动；复合材料内部缺陷检测依赖人工超声探伤，对操作人员经验要求极高，且难以覆盖材料全域，易遗漏微小缺陷；高分子材料老化检测需人工定期取样、测试，无法实时监测老化过程中的性能变化，难以及时预警质量风险。随着

工业 4.0 与智能制造的推进，自动化检测系统凭借“高效、精准、连续”的优势，逐渐替代传统人工检测成为主流。这类系统整合了传感器技术、自动化控制技术、人工智能算法，可实现材料检测从“人工干预”到“全程自动”的转变，不仅能大幅提升检测效率与精度，还能通过数据实时上传与分析，构建材料质量追溯体系。

2 自动化检测系统在材料检测中的具体应用

2.1 金属材料力学性能的自动化检测

金属材料广泛应用于建筑结构、机械制造，其力学性能是判定材料是否合格的关键指标。自动化检测系统在该场景中的应用，以“全自动力学性能测试系统”为核心，实现从试样装夹、测试执行到数据输出的全程自动化。系统硬件包括伺服电机驱动的拉伸试验机、高精度压力传感器、自动试样夹持装置，软件则集成测试参数设置、实时数据采集、

【作者简介】杨青萍（1983-），女，中国江西瑞金人，本科，助理工程师，从事工程质量检测研究。

曲线绘制功能。

具体检测流程为：操作人员将金属试样放入自动夹持装置，系统通过视觉传感器确认试样位置是否正确，随后根据预设的测试标准，自动调整拉伸速度；测试过程中，压力传感器实时采集拉力数据（图1），位移传感器记录试样伸长量，数据同步传输至软件系统，自动生成“应力-应变曲线”；当试样达到屈服或断裂状态时，系统自动停止测试，根据曲线计算抗拉强度、屈服强度等指标，并与标准阈值对比，判定试样是否合格；最后，系统自动生成检测报告，包含测试数据、曲线图像、判定结果，可直接上传至企业质量管控平台。相较于传统人工测试，该系统将单一样品检测时间从15分钟缩短至3分钟，且检测误差从 $\pm 3\%$ 降至 $\pm 0.5\%$ ，同时避免了人工读取数据的主观误差^[1]。

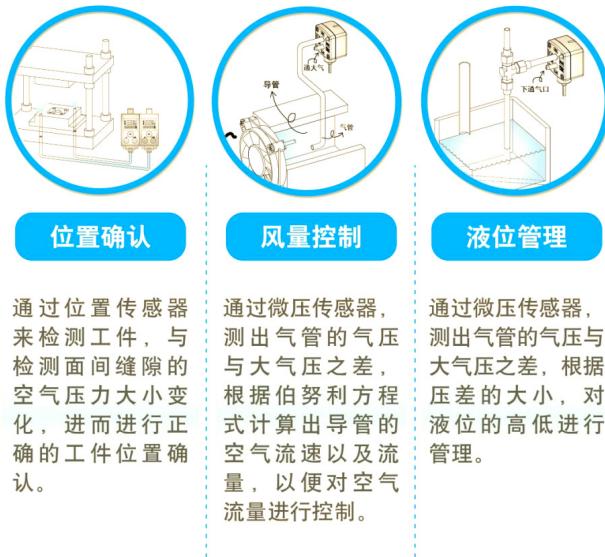


图1 压力传感器工作原理

2.2 复合材料内部缺陷的自动化检测

复合材料因重量轻、强度高，被广泛用于航空航天领域，但其内部易存在裂纹、孔洞等缺陷，且缺陷位置隐蔽，传统人工检测难以精准识别。自动化检测系统在此场景中采用“超声探伤+图像识别”的组合方案，实现复合材料内部缺陷的全自动检测与定位。系统主要由自动扫描平台、多通道超声探头、超声信号处理器、AI图像分析模块组成。

检测时，复合材料试样被固定在自动扫描平台上，系统根据试样尺寸自动规划扫描路径；多通道超声探头在伺服电机驱动下，沿规划路径移动，向材料内部发射超声波，同时接收反射信号；超声信号处理器将反射信号转化为灰度图像，AI图像分析模块通过训练好的缺陷识别模型，自动识别图像中的异常区域，并计算缺陷的大小与位置；检测结束后，系统生成“缺陷分布热力图”，清晰标注每个缺陷的具体信息，同时判定材料缺陷是否超出标准允许范围。该系统不仅能实现复合材料全域无死角检测，还能将缺陷识别准确率提升至98%以上，远高于人工检测的85%^[2]。

2.3 高分子材料老化性能的自动化检测

高分子材料在长期使用中易受温度、湿度影响发生老化，导致性能下降，因此老化性能检测是评估材料使用寿命的重要手段。自动化检测系统在该场景中构建“环境模拟+实时性能监测”的自动化体系（图2），实现高分子材料老化过程的连续检测。系统包含恒温恒湿环境舱、动态力学性能测试仪、自动取样装置，可模拟不同老化环境，并实时监测材料性能变化。

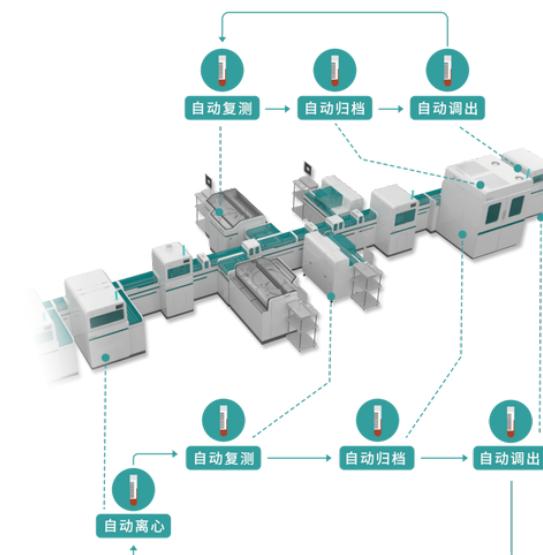


图2 自动化检测系统

检测过程如下：系统先将高分子材料试样放入恒温恒湿环境舱，根据老化测试标准设定环境参数，开始老化处理；在老化周期内，系统每隔一定时间自动将试样从环境舱取出，移送至动态力学性能测试仪，检测材料的弹性模量、断裂伸长率等指标；测试数据实时上传至软件系统，自动生成“老化时间-性能变化曲线”，直观展示材料性能随老化时间的衰减趋势；当材料性能下降至标准阈值时，系统自动预警，判定材料已达到老化失效状态，并计算材料的预期使用寿命。传统人工老化检测需操作人员定期取样、测试，不仅耗时费力，还可能因环境参数波动影响检测结果，而自动化系统可实现环境参数的精准控制与性能的连续监测，确保检测结果的可靠性^[3]。

3 支撑材料检测自动化的关键技术

3.1 高精度传感与数据采集技术

自动化检测系统的核芯是“数据精准获取”，高精度传感技术为材料检测提供可靠的原始数据。在力学性能检测中，采用压电式压力传感器，其精度可达0.01N，能捕捉材料测试过程中的微小力变化；在缺陷检测中，使用高频超声探头，可识别直径小于0.1mm的微小缺陷；在老化检测中，选用铂电阻温度传感器，确保环境舱内温度控制精度。数据采集

模块则通过高速AD转换器，将传感器采集的模拟信号转化为数字信号，避免信号传输过程中的失真，同时通过以太网将数据实时上传至软件系统，实现检测数据的同步记录^[4]。

3.2 自动化控制与运动定位技术

自动化检测系统的“自动执行”依赖于精准的自动化控制与运动定位技术。在金属材料拉伸测试中，伺服电机驱动的拉伸机构通过PID控制算法，实现拉伸速度的稳定调节，避免速度波动导致的测试误差；在复合材料超声检测中，自动扫描平台采用直线电机与光栅尺定位，定位精度可达±0.01mm，确保超声探头按规划路径精准移动，不遗漏任何检测区域；在高分子材料老化检测中，自动取样装置通过机械臂与视觉定位结合，精准抓取试样并移送到测试仪器，整个过程无需人工干预，且定位误差小于±0.1mm。

3.3 AI智能分析与决策技术

AI技术的融入使自动化检测系统从“数据采集”升级为“智能分析”。在缺陷检测中，AI图像识别模型通过大量缺陷样本训练，能自动区分“缺陷信号”与“噪声信号”，避免误判；在力学性能检测中，AI算法可对“应力-应变曲线”进行智能分析，自动排除异常数据，确保计算结果的准确性；在老化检测中，AI预测模型通过分析历史老化数据，可提前预测材料性能衰减趋势，为企业提供“预防性更换”建议，避免因材料老化导致的设备故障^[5]。

4 自动化检测系统在材料检测中的实践成效与挑战

4.1 实践成效

在实际应用中，自动化检测系统为材料检测带来多方面提升：一是效率提升，某汽车零部件企业引入金属材料自动化力学检测系统后，每日检测试样数量从200个增至1000个，检测效率提升4倍；二是质量管控强化，某航空制造企业采用复合材料自动化缺陷检测系统后，缺陷漏检率从10%降至1%，确保了飞机零部件的质量安全；三是成本降低，自动化系统减少了人工操作需求，某化工企业的高分子材料老化检测团队从8人缩减至2人，同时因检测精度提升，材料报废率从5%降至1%，年节约成本超百万元；四是数据追溯完善，系统自动记录的检测数据可长期存储，便于企业回溯材料质量问题，某建筑企业通过分析3年的钢材检测数据，优化了原材料采购标准，进一步提升了工程质量。

4.2 面临的挑战和优化

尽管自动化检测系统优势显著，但其应用仍面临部分挑战：一是设备投入成本较高，一套高精度的复合材料自动化检测系统价格可达数百万元，中小微企业难以承担；二是

系统适配性有待提升，不同类型、规格的材料需调整检测参数与夹具，部分系统的参数调整流程复杂，需要专业技术人员操作；三是维护难度较大，系统中的高精度传感器、伺服电机等部件易受环境影响导致故障，维护需要专业人员与专用配件，增加了企业的运维成本。

针对当前自动化检测系统在材料检测应用中面临的成本高、适配性不足、维护难度大等现实挑战，未来可通过三方面针对性优化突破瓶颈。其一，推动核心部件国产化，当前系统中高精度传感器、伺服电机等关键部件多依赖进口，导致设备采购成本居高不下，加快国产替代进程，既能降低核心部件采购成本，还能缩短供货周期，为中小微企业引入系统创造条件；其二，开发“模块化”检测系统，考虑到不同类型、规格材料需差异化检测参数与夹具，模块化设计可通过更换专用夹具、调整软件参数快速适配金属、复合材料、高分子材料等不同检测需求，无需为单一材料单独配置整套系统，大幅提升系统灵活性与利用率；其三，构建远程运维平台，借助物联网技术实时采集系统运行数据，监测高精度传感器、伺服电机等部件状态，一旦出现异常可及时预警，同时支持技术人员远程调试故障，避免因现场维护需要专业人员与专用配件导致的成本高、周期长问题。随着这三方面优化的落地，自动化检测系统将进一步降低应用门槛，在更多材料检测场景中实现普及，为材料检测领域的智能化、高效化发展注入更强动力。

5 结论

自动化检测系统通过整合传感技术、自动化控制、AI分析，为材料检测提供了“高效、精准、连续”的解决方案，在金属材料力学性能、复合材料缺陷、高分子材料老化等检测场景中发挥重要作用，不仅大幅提升了检测效率与精度，还推动了材料质量管控从“事后检测”向“实时监测”“提前预警”转型。实践表明，该系统能有效降低企业检测成本、强化质量管控，为工业生产的安全与稳定提供保障。

参考文献

- [1] 李军芳.检验检测信息化管理系统在建筑材料检测中存在的问题[J].居业,2025(8):126-128.
- [2] 李磊磊.复合材料夹杂缺陷自动检测技术及系统设计[D].山西:中北大学,2024.
- [3] 张华,王涛.火电厂锅炉给水系统金属材料腐蚀缺陷自动检测[J].自动化应用,2024,65(19):150-153.
- [4] 赵德强,陈鹏.光学检测系统的自动化与智能化发展研究[J].互联网周刊,2024(24):36-38.
- [5] 丁雷,戴磊,耿开胜,等.面向复杂曲面的激光超声机器人检测系统[J].振动、测试与诊断,2025,45(4):819-824.