

关于铁路信号产品测试数智化的思考

石海晴

上海铁路通信有限公司 上海 200071

摘要：随着铁路行业的快速发展，对铁路信号产品的安全性、可靠性和高效性提出了更高要求。传统的铁路信号产品测试方式已难以满足现代铁路发展的需求，数智化测试成为必然趋势。本文深入探讨铁路信号产品测试实现数字化、智能化的方法与路径，从测试数据的全流程数字化管理、测试流程的自动化与无人化、故障诊断与预测的智能化以及测试系统的集成与协同等多个关键方面进行阐述，旨在为铁路信号产品测试的转型升级提供全面且深入的技术指导与实践参考，助力铁路行业提升信号系统的稳定性和安全性，推动铁路运输的高效、可持续发展。

关键词：数智化；数字化；智能化；产品测试；铁路信号

1 引言

铁路信号系统作为铁路运输的核心控制系统，直接关系到列车运行的安全与效率，产品的性能优劣和可靠性高低，对铁路运输起着决定性作用，甚至影响行车安全。在铁路建设和运营不断发展的当下，客货运输量持续攀升，列车运行速度不断提高，铁路信号产品面临着更加严苛的运行环境和性能要求。传统的铁路信号产品测试方法，多依赖人工操作和经验判断，存在测试效率低、准确性差、重复性难以保证等问题，且难以满足现代铁路信号系统复杂功能和高可靠性的测试需求。

数智化（数字化、智能化）技术的飞速发展，为铁路信号产品测试带来了新的机遇和变革。通过引入数智化技术，实现铁路信号产品测试的全面升级，能够有效提升测试的准确性、效率和可靠性，及时发现产品潜在问题，保障铁路信号系统的稳定运行^[1]。如利用自动化测试设备，可以快速准确地对应答器传输信号波形进行测试，大大提高测试效率和精度。因此，研究铁路信号产品测试如何实现数智化具有重要的现实意义和应用价值。

2 测试数据的全流程数字化管理

2.1 测试数据标准化采集

在铁路信号产品测试中，实现测试数据标准化采集是数智化的基础。传统测试中，人工读数和记录容易引入误差，且数据格式不统一，难以进行高效分析。以应答器传输信号波形的测试为例，需要人工调信号发生器给输入波形，再人工读取示波器波形数据并记录，人工调试的数据存在误差，且不同测试人员记录方式存在差异，数据质量参差不齐。

如今，借助可编程测试仪器，如高精度的数字万用表、高带宽的示波器以及多通道的信号发生器等，并通过接口与被测信号产品建立数字化连接，可实现测试

数据的自动采集。配合专业测试软件，如LabVIEW、Python等，能够按照预设的测试流程和参数，精准地采集信号产品的各种关键数据。在测试应答器传输信号波形时，利用软件控制信号发生器精准给输入信号，再通过软件采集示波器波形数据，并自动生成测试记录，确保数据采集的准确性和一致性。

2.2 构建统一数据管理平台

测试数据的有效管理离不开统一的数据管理平台。传统的分散式数据存储方式，使得数据难以整合分析，数据价值无法充分挖掘。构建基于数据库或工业物联网平台的统一数据管理平台，可集中存储各类测试数据，包括信号产品的型号、批次、测试时间、测试环境参数（如温度、湿度）、各项测试指标的具体数值以及测试结果等信息。通过对数据进行科学合理的标签化处理，例如按照“产品编号、测试项、故障类型”的方式进行标记，能够极大地提高数据检索和查询的效率。同时，利用数据可视化工具，将测试数据以直观的折线图、柱状图、散点图等形式展示出来，方便测试人员和管理人员快速了解产品性能趋势、不同批次产品的差异以及各项参数之间的关联关系，为后续的数据分析和决策提供有力支持。

3 测试流程的自动化与无人化

3.1 自动化测试脚本开发

针对铁路信号产品复杂多样的测试规范，如TB/T3544-2018《应答器传输系统测试规范》等标准，开发自动化测试脚本是实现测试流程自动化的关键。采用Python、C#等高级编程语言，结合相关的测试框架和库，能够编写出功能强大、灵活可扩展的自动化测试脚本。^[2]

以应答器的测试为例，测试脚本可以通过控制信号发生器，按照预设的信号给应答器输入，同时利用软件实时采集示波器等设备的数据，再通过计算判断程序实

时分析采集到的数据。这样不仅大大提高了测试效率，还消除了人工操作带来的不确定性和误差，确保测试结果的准确性和一致性。

3.2 测试工装智能化改造

对传统测试工装进行智能化改造，是实现测试无人化的重要举措。传统测试工装往往依赖人工操作，效率低下且容易出现人为失误。通过为测试工装加装各类传感器或控制设备，如温度传感器用于监测测试过程中的温度变化，电动夹具实现自动装夹被测产品；同时配备控制器，实现对测试工装的自动化控制。

结合机器视觉技术，能够实现对产品的自动识别、定位和检测^[9]。在板卡类产品批量测试中，机器视觉系统可以快速准确地定位，引导测试工装进行精准连接，避免人工对位偏差，大大提高测试效率和良品率。对于调试物料，可实现“自动上料-定位-测试-下料”的流程，降低人力成本，提升测试的效率和质量。

4 故障诊断与预测的智能化

4.1 基于机器学习的故障诊断

随着铁路信号产品运行数据的不断积累，利用机器学习算法进行故障诊断成为可能。通过收集大量的历史测试数据，包括正常运行数据和各种故障数据，对数据进行预处理和特征提取，将其转化为适合机器学习算法处理的格式。

运用分类算法，如支持向量机（SVM）在小样本、非线性分类问题上表现出色，随机森林算法具有较好的泛化能力和抗干扰能力，以及卷积神经网络（CNN）在处理图像和时间序列数据方面具有独特优势，训练故障诊断模型。

4.2 基于大数据的性能预测

铁路信号产品的全生命周期测试数据蕴含着丰富的信息，基于大数据技术对这些数据进行深入分析，可以实现对产品性能的精准预测^[4]。例如，通过对电源单元的输出电压、输出电流等数据进行分析，学习这些参数随时间的变化规律和趋势，预测电源单元的性能变化。当发现参数有偏离正常范围的趋势时，提前发出预警，提示维护人员进行预防性维护，避免设备在运行过程中突发故障，保障铁路信号系统的稳定运行。同时，结合其他因素，如设备的使用年限、运行环境条件等，进一步提高性能预测的准确性和可靠性，为铁路信号设备的维护管理提供科学依据，降低维护成本，提高铁路运输的安全性和效率。

5 测试系统的集成与协同

5.1 软硬件系统的互联互通

实现铁路信号产品测试的数智化，需要将测试仪器、工装、数据平台、AI模型等软硬件系统进行深度集成，确保它们之间能够无缝互联互通，通过工业总线建立起各个系统之间的数据传输通道。

测试仪器在采集到数据后，能够通过相应的接口实时上传至数据管理平台，数据平台对数据进行存储和初步处理后，自动调用AI模型进行分析诊断，分析结果再通过Web界面或移动端APP及时推送给测试人员和管理人员。整个过程无需人工干预，实现了数据的自动流转和处理，大大提高了测试效率和响应速度。

5.2 测试流程的数字化管控

采用MES系统（制造执行系统）或专业的测试管理软件，对测试流程进行全面的数字化管控。在测试计划制定阶段，根据产品的类型、测试标准和要求，制定详细的测试计划，明确测试任务、测试方法、测试人员和时间安排等。通过系统将测试任务分配给相应的测试人员和设备，测试人员可以在系统中查看自己的任务详情和进度要求。

在测试执行过程中，系统实时跟踪测试进度，记录测试过程中的各种数据和信息，包括测试开始时间、结束时间、测试结果、遇到的问题等。一旦发现测试进度延迟或出现异常情况，系统及时发出警报并通知相关人员进行处理。测试完成后，系统自动生成测试报告，对测试结果进行汇总、分析和评价，为产品质量评估和改进提供依据。同时，结合电子签名和日志记录功能，确保测试过程的可追溯性，满足铁路行业严格的合规性要求。

6 面临的挑战与解决方案

6.1 技术挑战

6.1.1 数据质量与安全问题

在铁路信号产品测试的数智化过程中，数据质量和安全至关重要。数据质量方面，测试数据可能存在噪声干扰、数据缺失、数据不一致等问题，影响后续的数据分析和模型训练效果。例如，传感器故障可能导致采集到的数据出现异常值，影响故障诊断的准确性。解决方案是采用数据清洗和预处理技术，如利用滤波算法去除噪声，通过数据插值方法填补缺失值，建立数据校验机制确保数据的一致性。

数据安全方面，铁路信号系统涉及到铁路运输的安全，数据一旦泄露或被篡改，将带来严重后果。因此，需要采取严格的数据加密、访问控制和数据备份措施。

6.1.2 人工智能算法的适应性与可解释性

不同的铁路信号产品和测试场景具有各自的特点，现有的人工智能算法可能无法完全适应复杂多变的实际

情况。例如,某些故障模式可能较为罕见,导致训练数据不足,影响模型的泛化能力。为解决这一问题,需要不断优化算法模型,采用迁移学习、小样本学习等技术,提高模型对不同场景和数据的适应性。

同时,人工智能算法的可解释性也是一个重要问题。在铁路信号产品测试中,测试人员和管理人员需要了解模型的决策依据,以便对测试结果进行判断和分析。采用可解释性AI技术,如LIME(局部可解释模型)和SHAP(ShapleyAdditiveExplanations)分析,能够为模型的预测结果提供解释,增强用户对模型的信任。

6.2 管理挑战

6.2.1 组织架构与人员技能要求的转变

实现铁路信号产品测试的数智化,需要对企业或部门的组织架构进行相应调整^[5]。传统的测试组织架构可能无法适应数智化测试的流程和要求,需要建立跨部门的协作团队,包括测试工程师、数据分析师、算法工程师、软件开发工程师等,以实现技术的融合和业务的协同。

此外,对人员的技能要求也发生了变化。测试人员不仅需要掌握传统的测试技术和方法,还需要具备一定的数智化技术知识,如数据分析、编程、机器学习等。因此,企业需要加强对员工的培训和技能提升,通过内部培训、外部进修、人才引进等方式,打造一支适应数智化测试的专业人才队伍。

6.2.2 标准规范与法律法规的完善

目前,铁路信号产品测试的数智化尚缺乏统一的标准规范和完善的法律法规。不同企业或机构在实施过程中可能存在差异,导致数据格式不统一、接口不兼容等问题,影响了技术的推广和应用。因此,需要行业协

会、标准化组织和政府部门共同努力,制定相关的标准规范,明确测试流程、数据格式、接口要求等,促进技术的规范化和标准化发展。

同时,随着数智化技术在铁路信号领域的应用,涉及到数据隐私、信息安全等方面的法律法规也需要进一步完善,以保障各方的合法权益,为铁路信号产品测试的数智化提供良好的法律环境。

7 总结

铁路信号产品数智化测试的应用,不仅是测试技术本身的革新,更是铁路行业从“安全保障”向“智慧服务”转型的重要基石。未来,随着技术的成熟与成本的降低,数智化测试将广泛应用于高铁、城际铁路、城市轨道交通等场景,为实现“交通强国”战略提供核心技术支撑,最终推动铁路运输向更安全、更高效、更绿色的方向发展。

参考文献

- [1]屠年松,肖涛.数智赋能制造业全球价值链地位升级[J].商业研究,2024,6:1-7.
- [2]刘巧.自动化软件测试技术及实际应用探讨[J].电子元器件与信息技术,2024,6:34-36+40.
- [3]邓华.使用深度视觉模型提升终端自动化测试能力的研究[J].长江信息通信,2025,1:96-98+105.
- [4]李刚,卢佩玲.基于数据驱动的高速铁路信号智能运维技术研究[J].铁道运输与经济,2021,43(10):61-67. DOI:10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.2021.10.10.
- [5]吴福象,王泽芸.企业数智化投资驱动关键核心技术突破研究[J].湘潭大学学报(哲学社会科学版),2025,49(1):41-50.