

Artificial intelligence empowers the innovation of metrology and testing technologies in digital transformation

Nan Zhang¹ Xingjian Zhu²

1. Beijing Institute of Aerospace Metrology and Testing Technology, Beijing, 100076, China

2. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing, 100076, China

Abstract

In the wave of digital transformation, metrology and testing technology is a fundamental requirement for ensuring data accuracy and supporting the high-quality development of industries. By applying artificial intelligence technology to the innovation of metrology and testing, and leveraging means such as machine learning, big data analysis, and intelligent perception, the goals of automated testing processes, intelligent data processing, and precise decision support can be effectively achieved. Based on this, this paper explores and analyzes the innovative paths of artificial intelligence empowering metrology and testing technology, aiming to enhance the adaptive capabilities of metrology systems and the computing ability in complex scenarios. This will help promote the transformation and upgrading of metrology and testing from “static verification” to “dynamic optimization”, provide reliable data support for fields such as intelligent manufacturing, and drive the industry to develop in depth towards digitalization.

Keywords

Artificial Intelligence Digital transformation Metrological testing

人工智能赋能数字化转型中的计量测试技术革新

张楠¹ 朱行健²

1. 北京航天计量测试技术研究所, 中国·北京 100076

2. 中国运载火箭技术研究院, 中国·北京 100076

摘要

在数字化转型浪潮中, 计量测试技术是确保数据精准并支持产业高质量发展的基本要求。而将人工智能技术应用于计量测试的革新中, 借助机器学习、大数据分析和智能感知等手段, 能有效实现测试流程自动化、数据处理智能化以及决策支持精准化的目的。基于此, 本文就人工智能赋能计量测试技术的创新路径展开探究分析, 以此提升计量系统自适应能力和复杂场景的计算, 从而为推动计量测试从“静态校验”向“动态优化”过程转型升级, 有助于为智能制造等领域提供可信赖数据支撑, 并推动产业向数字化方向纵深发展。

关键词

人工智能; 数字化转型; 计量测试

1 引言

当前, 数字化转型升级已成为全球产业升级的核心驱动力, 由于计量测试作为数据采集、分析和决策的基础支撑, 因此, 计量测试的精准度和效率直接影响数字化转型的成效。为此, 将人工智能技术应用在计量测试中, 并通过构建智能算法模型, 以实现测试数据的深度挖掘, 并以此突破传统技术的局限性。不仅是技术革新的内在要求, 也是推动产业向着数字化、智能化转型的关键。

2 人工智能驱动的计量测试技术革新路径

2.1 测试流程智能化重构

在人工智能驱动下的计量测试技术改革路径中, 基于智能化重构方式, 能够为计量测试技术带来颠覆性的革新。人工智能算法凭借对测试任务的深度解析和历史数据自主学习, 可实现最优测试路径, 其动态调度多台设备协同作业下, 能有效替代传统人工操作中耗时且容易出错的环节, 从而实现全流程无人化以及高效化的有效运作。同时, 智能传感网络则可依托于边缘计算和物联网技术的有效融合方式, 从而使传感器具备对本地数据的处理和决策能力, 以此大幅度降低其数据传输的延迟性问题, 并通过对多个节点协同感知和校准, 以有效提高在复杂环境下的数据采集精准度^[1]。而虚拟计量技术的突破, 则能为其构建高效且保真的数字孪

【作者简介】张楠(1990-), 女, 中国北京人, 硕士, 工程师, 从事计量发展研究。

生模型，并借助机器学习的方式，从历史数据中逐渐挖掘出相关的物理隐含关系，并以软件算法替代部分硬件传感器，而实现对温度、压力等参数的测量，以最大限度确保为传统计量场景提供低成本和高灵活性的创新解决方案。

2.2 数据处理与分析能力升级

在人工智能误差补偿领域，机器学习算法能对海量的测试数据特征进行提取和识别，从而精准定位系统偏差的根源，以此建立环境干扰因素和误差值的动态映射模型，有助于实现对误差的实时预测和自适应修正，以显著提高其计量结果的精准性。对于复杂的非线性和时变系统的校准问题

时，深度学习技术可通过构建多层神经网络的方式，对自动学习系统参数随时间变化的隐含规律而生成高精度的动态校准模拟，以更好地突破传统静态校准方法中存在的局限性。此外，对于多源数据融合时，可通过整合时序数据、设备运行图像以及环境文本报告等多种模态信息，随后利用跨模态关联分析的方式，以此挖掘数据之间的互补性，有助于更好地消除其单一数据源的噪声干扰，以此大幅度增强计量系统在复杂场景下的鲁棒性与可靠性，这对高精度工业测量提供了更加坚实的基础保障，其数据处理和分析应用效果如表 1 所示。

表 1：人工智能下计量测试技术数据处理和应用效果

技术 / 方法	应用场景	示例数据 / 效果
机器学习算法	人工智能误差补偿领域	误差预测准确率提升 95%，计量结果精准提高 30%
深度学习技术	复杂非线性和时变系统校准	校准精度提高至 0.01%，校准时间缩短 50%
跨模态关联分析	多源数据融合	数据融合后鲁棒性提升 40%，可靠性提高至 98%

2.3 决策支持与知识服务创新

人工智能在引领计量测试技术向决策智能化与服务化深度演绎推进中，在决策支持层面。预测性维护技术能依托于设备运行的计量数据而实时采集和深度挖掘，并借助机器学习算法以此构建出健康状态评估模型，可实现精准捕捉性能退化的趋势，从而提前预测潜在的故障风险并触发对应的预警机制，有利于更好地将被动检修转变为主动维护，以显著降低非计划停机的损失。而计量知识图谱可通过自然语言处理和图数据库技术的方式，将原本分散的行业进行计量标准、典型应用案例与核心算法进行结构化关联，以此形成能够查询、推理的智能知识库，这对计量人员而言，可提供更加精准的决策支持。同时，对于自适应优化引擎而强化学习框架时，可根据实时计量场景的动态变化方式，以自动调整测试策略和参数配置，从而使计量系统可始终处于最优的运行状态，并以此实现从“经济驱动”到“数据模型的双向驱动”智能化跃迁目的。

据的自动化与规范化，在确保数据安全的基础前提下，更进一步促进计量数据在不同主体之间的合理流通与高效利用。

3.2 开发可解释 AI 模型

在人工智能赋能数字化转型中，对计量测量技术进行革新时，黑箱模型的存在，会影响计量决策的透明度和可信度，为此，开发可解释的 AI 模型，则能有效解决这一问题，如表 2 所示。这是由于 AI 模型能为其提供清晰的决策依据和推理过程，确保计量人员和用户理解模型得出相应的结论。如在医疗计量领域，利用 AI 模型分析医学影像数据时，通过展示模型识别病变特征的具体依据，可帮助医生能更好地判断其病情的发展趋势。而为了有效推动 AI 模型的开发，还需加大跨学科研究力度，而结合计量学、计算机科学和认知科学等多个领域的知识，从而探索出适合计量场景的可解释方法。同时，还应制定相应评估标准和规范，以确保 AI 模型的可解释性与准确性，以此提高计量决策的透明度和社会认可度。

3 人工智能赋能数字化转型中计量测试技术革新应对策略

3.1 构建数据治理框架

在人工智能赋能的背景下，计量数据的质量和安全性是技术革新的基石，通过构建一套完善的数据治理框架时，需明确数据采集、存储以及使用等全生命周期的规范和流程，从而能够有效确保数据的准确性、完整性和一致性，从而引入区块链技术为计量数据存证提供有力保障^[2]。对区块链的分布式账本和不可篡改特性而言，能真实记录计量数据的每一次操作和变更，有助于为数据真实性以及可靠性提供可追溯的证据。例如，在工业生产计量过程中，利用区块链存证产品的质量检测数据时，能有效预防数据被篡改的问题发生，以更好地增强企业、监管部门和消费者对数据的信任度。并且，借助智能合约，还能实现对数据的共享，以确保数

3.3 推动计量组织与 AI 机构合作

随着人工智能在计量测试领域的广泛应用，其智能计量系统也在国际化标准中的缺失问题日益凸显。通过加大推动国际计量组织和 AI 标准化机构的合作力度，则是解决该问题的关键，国际计量组织在计量领域通常具有权威性和丰富的经验，而 AI 标准化机构则在人工智能技术规范方面有着较为深入的研究。双方通过合作，能有效整合各自的优势资源，以共同制定出智能计量系统的国际标准，而这些标准则涵盖智能计量设备的技术要求、测试方法、安全规范以及人工智能算法的融合准则等多个方面。例如，在智能电表的国际标准制定时，结合国际计量组织的计量准确性与可靠性要求外，还要和 AI 标准化机构对算法性能和安全性规范进行结合，才能确保智能电表在全球范围内的互认和互联互通

通,以更好地促进智能计量技术的国际化发展与应用。只有能最大限度推动其计量行业的发展,为各行业的计量提供标准
 确保 AI 标准化和计量技术的国际化发展标准相互一致,才准稳定的参考依据。

表 2: 可解释的 AI 模型

具体措施	目标 / 问题解决	示例数据 / 效果指标
设计具有透明决策路径的 AI 算法	解决黑箱模型导致的计量决策不透明问题	模型决策路径可视化率达 100%, 用户理解度评分提升至 4.5/5
引入特征重要性分析技术	揭示模型预测的关键因素, 增强决策可信度	关键特征识别准确率达 90%, 模型预测稳定性提高 25%
建立模型解释性评估体系	量化评估模型的可解释性水平	评估体系覆盖率 100%, 模型解释性评分平均达 80/100
开展跨学科合作研究	融合计量学与 AI 技术优化模型解释方法	跨学科合作项目数量增加 40%, 新方法应用效率提升 30%
实施用户反馈迭代机制	根据用户反馈持续优化模型解释性	用户反馈处理响应时间缩短至 24 小时内, 模型迭代周期缩短 50%

3.4 建立产学研协同创新平台

将人工智能与计量测试融合在一起时,人才是关键,既懂计量测试,同时又懂人工智能的复合型人才,可有效确保人工智能赋能下的数字化转型对计量测试技术的有效革新。因此,在对人才的培养时,建立产学研用的协同创新平台,则是加速人才团队建设的有效途径^[1]。基于产学研协同平台的构建,可整合高校、科研机构、企业以及用户等多方资源,以此形成优势互补、协同创新的良好生态。在该过程中,高校和科研机构负责培养基础研究和前沿技术型人才,通过对计量和人工智能交叉学科的研究与教学工作开展,能保障平台的有效运行。而企业则提供实践应用场景和项目需求,为人才培养提供实践锻炼机会,以促进科研成果的转化和应用。而用户则可以反馈实际需求和用户体验,以引导学校和科研机构对其产品方向的研究。借助这种产学研用的深度合作方式,以此构建人才培养、引进和使用的长效机制,从而打造出一支结构合理、素质优良的复合型技术人才梯队,能够为人工智能赋能计量测试技术的革新提供坚实的人

才支撑。

4 结语

将人工智能和计量测试进行融合,能够推动计量测试领域从传统的“经验驱动”逐渐向“数据智能驱动”的方向发展。而智能化赋能能够使计量测试从单一校准工具逐渐向全生命周期数据管理平台升级,这为数字化转型提供了更加高效、精准且灵活的技术保障。并随着人工智能技术的持续演进和计量标准的不断完善,其智能计量系统在跨行业协同和复杂系统的优化中发挥出更大的作用,并最终推动产业生态向“感知+决策+执行”一体化方向演进。

参考文献

[1] 张智晶,舒捷.数字化转型中的电力营销计量系统优化分析[J].电子技术,2024,53(03):222-223.
 [2] 市场监管总局:加强人工智能、数字化转型等领域的计量方法研究[J].日用电器,2022,(07):8.
 [3] 赵峰,曹源涛,张慧,等.数字化时代天然气计量检定工作优化的思考[J].大众标准化,2025,(10):193-195.