

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2313447

# 人工智能背景下测量仪器技术发展探讨

许奕东<sup>1</sup> 李飞<sup>2</sup>

(1. 青岛杰瑞工控技术有限公司 青岛 266400; 2. 中国电子科技集团公司第四十一研究所 青岛 266400)

**摘要:** 电子测量技术作为装备发展、科技创新的基础性和引领性技术,其发展水平对提升国家科技水平、增强国防科技力量有着重大影响。在数字化、智能化、网络化高新技术快速发展背景下,测试需求和测试任务不断演化,对测试指标和测试功能提出更高要求,传统测试技术急需与先进技术融合创新发展,打破原有技术瓶颈,为国家战略科技力量贡献积极作用。该文在概述测量仪器发展现状和驱动因素基础上,讨论了人工智能技术对于测量仪器具有较大价值的特性,对人工智能技术为测量仪器赋能的几种方式进行了分析。展望了人工智能技术与测量仪器相结合的趋势,探讨了人工智能背景下测量仪器研发和规划方向。为人工智能高速发展背景下,如何实现测试仪器智能化,如何实现我国高端仪器仪表自主创新、自立自强发展提供参考。

**关键词:** 人工智能;测量;仪器;发展展望

**中图分类号:** TP274.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 413.10

## Discussion on the development of measuring instrument technology under the background of artificial intelligence

Xu Yidong<sup>1</sup> Li Fei<sup>2</sup>(1. Qingdao Jari Industrial Control Technology Co., Ltd., Qingdao 266400, China;  
2. The 41st Institute of CETC, Qingdao 266400, China)

**Abstract:** Electronic measurement technology is fundamental and pioneering for equipment development and scientific and technological innovation. Its level of development significantly impacts the enhancement of the national scientific and technological level as well as national defense scientific and technological strength. In light of the rapid development of digital, intelligent, and networked high-tech, test demands and tasks continue to evolve and put forward higher requirements for test indexes and functions. Therefore, traditional test technology must urgently integrate and innovate with advanced technology to overcome technical bottlenecks and make positive contributions to the national strategic scientific and technological strength. This paper firstly analyzes the development background and technical engines of measuring instruments. Then, the characteristics of the artificial intelligence that are of great value to the measuring instruments are discussed. Finally, the trend of combining artificial intelligence technology with measuring instruments is forecasted, and the research and development directions of measuring instruments under the background of artificial intelligence are put forward. Provide reference for how to realize the intelligentization of test instruments and how to realize the independent innovation and self-reliance development of China's high-end instrumentation under the background of the rapid development of artificial intelligence.

**Keywords:** artificial intelligence; measuring; instruments; development prospect

## 0 引言

著名科学家门捷列夫曾说:“没有测量,就没有科学”。电子测量仪器的技术水平体现了一个国家的科技水平,关系到国家在众多高科技领域中的能力,同时也是国防实力的重要标志。随着科学研究的不断深入和经济建设向高科

技高质量方向升级,测量仪器的重要性日益凸显<sup>[1-2]</sup>。2023年2月21日,中共中央总书记习近平在主持中央政治局就加强基础研究第三次集体学习时强调:“要打好科技仪器设备、操作系统和基础软件国产化攻坚战”,进一步反映出测量仪器对国家战略力量和科技创新发展的重要性。

为得出有效测量结果,测量仪器在灵敏度、稳定性、可

靠性方面的指标往往要比被测对象高一个量级以上,研制过程中直接面对最前沿的工艺和技术问题,因此测量仪器发展具有技术难度大、挑战性强、指标引领地位高等特点。随着电子技术的发展,被测对象和测试任务都出现了新的变化,不论从技术发展的角度还是从市场需求的角度,均对测量仪器提出了新的要求,驱动测量仪器的创新升级。

根据实际测试场景中的测试流程,测试仪器需按顺序具备感知、决策、控制、评估 4 个主要功能。感知功能即让仪器了解“测什么”,需要测试仪器识别被测对象、了解所在环境状态等信息,为后续流程提供基础。该功能目前主要依赖专业测试人员,仪器不具备智能感知测试对象能力,因此可借助人工智能中的视觉感知、智能交互等技术赋予测试仪器精准感知测试对象/任务的能力,增强其对任务的理解能力。决策功能即让仪器知道“怎么测”,需要测试仪器根据被测对象/任务智能规划和推荐测试流程,加快测试进程。当前的测试流程规划主要依赖测试专家的专业技能,流程规划的准确性与专家水平强耦合,仪器自身不具备流程规划和推荐能力,因此可借助知识图谱、自然语言处理等技术将被测对象/任务与专家知识结合,实现测试流程的高效精准推荐。控制功能主要涉及测试仪器的参数设置,测试仪器在参数控制的方式及显示界面等都经过多次演变,早期测量仪器主要采用单一的操作方式和粗糙的显示界面,而现代测量仪器普遍支持大尺寸彩色液晶显示、多窗口界面和触摸屏操作。但仍然面临按钮较多、操作繁琐等问题,因此可借助语音交互、行为交互等技术与测试仪器实现语义级的非接触交互控制,大幅提升测试效率。评估功能即将测试数据转为测试结论,该功能可被看成是测试任务的最终目标。当前的测试数据分析、测试结论生成主要依赖测试专家,结论的准确性和客观性有待提高。因此可借助数据挖掘、因果推理等人工智能技术赋予测试仪器从数据测量到信息提取、结论生成的智能能力,实现实时准确评估。

总体上看,当前测试仪器在感知、决策、控制、评估四个主要功能上都严重依赖专业人员,存在测试效率低、测试数据分析慢、测试结论生成不准确等问题。通过人工智能技术为测量仪器赋能,将有可能显著增强仪器智能分析能力、拓展仪器交互方式、提升仪器适应能力,提高仪器性能和稳定性。目前,人工智能技术与测量仪器的结合尚处在非常初级的阶段,充分分析、准确把握人工智能与测量仪器结合的方向,并以此为指导展开自主创新研究,是抢占新一代智能化测量仪器发展先机、在人工智能背景下保持测量仪器技术领先水平的重要前提<sup>[3-4]</sup>。本文将根据测量仪器发展所遇到的实际问题和人工智能技术的特点,讨论人工智能与仪器最有可能结合创新的几个方面,分析人工智能对于测量仪器发展的赋能因素。

## 1 人工智能赋予测量仪器智能化分析能力

测量仪器人机交互方式演变如图 1 所示,人工智能技

术为测量仪器赋能如图 2 所示。

根据人工智能技术先驱约翰·麦卡锡的观点,人工智能技术能够使机器的行为趋向于人类所表现出的智能行为。在测量仪器领域,人工智能技术能使测量仪器的测试分析行为越来越具有人类分析行为的特征,具有更强的感知学习能力、自主决策能力和精准行动能力。人工智能技术与测量仪器的结合,将赋予测量仪器智能化分析能力,使仪器根据测试数据得出准确的测试结论乃至预测性结论,这虽然不同于直接提升测量仪器的灵敏度、扫描速度、工作频率等传统性能指标,但对于提升用户的测试工作效率、测试结果准确性并最终提升测试工作的效果具有重要的意义。

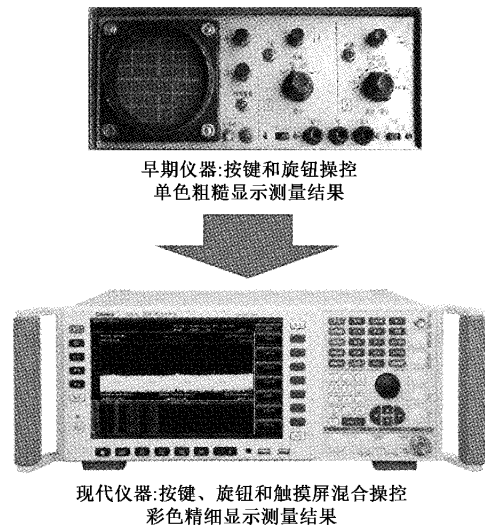


图 1 测量仪器人机交互方式演变

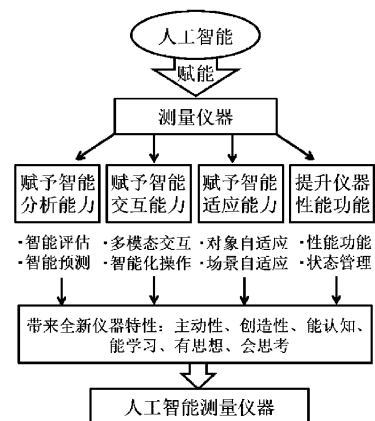


图 2 人工智能技术为测量仪器赋能

### 1.1 智能化评估

现有测量仪器主要停留在给出测量数据结果的阶段,但用户真正关注的往往是测量数据所传达的测量结论。例如,在测量滤波器件过程中,现有仪器仅能给出被测滤波器的数据参数,但被测滤波器是否合格,品质属于优等、中等还是较差水平,这些给出测量结论的工作仍主要依赖于仪器操作人员,而操作人员技能水平、专业等级的差异进一步

加剧了测试结论不准确的风险,易出现“好仪器生成差结论”现象。在传统技术看来,测量结论的评估是一个复杂的模式识别问题,虽然测量仪器领域长久以来对此有迫切的需求,但因数据挖掘、知识融合等技术发展受限,难以将专家测试知识与仪器测量数据关系有效映射对齐,导致这一问题长期未得到良好解决。近年来,人工智能技术在复杂模式识别问题上不断取得突破,连续刷新机器处理复杂识别问题的记录。具体来讲,人工智能技术有效促进了人脸识别<sup>[5-6]</sup>、目标识别<sup>[7-8]</sup>、文本识别<sup>[9]</sup>、语音识别<sup>[10]</sup>等相关产品的实用性,也有机构在其数据分析服务业务中开始采用基于人工智能的处理技术,取得了非常理想的效果。

目前,基于人工智能技术的模式识别算法与测量仪器的结合还不够紧密。但可以预见,人工智能技术与测量仪器相结合,并进一步提高测量仪器的智能化评估水平,是测量仪器发展的一大趋势,最终会实现测量仪器由数据层面的结果测量到信息层面的结论生成的跨越。

## 1.2 智能化预测

在测试任务中,不仅需要得出被测对象当前的参数和状态,被测对象在未来的状态、未来发生故障概率以及剩余的正常使用寿命等信息同样具有重要的价值。被测对象状态预测是提前制定应对方案,预先调度维修资源的基础,能够显著提升被测试保障对象的工作效果,避免因对故障应对不充分而造成重大损失。但是,现有测量仪器仅能给出被测对象当前或者过去时刻的状态,尚未有仪器能预测对象未来的状态。这主要是因为信号预测问题复杂度高,不仅需要考虑信号在单一时刻空域、频域、特征域的规律信息,还要考虑信号在时间域的规律,不确定因素较多。

人工智能技术的发展为信号预测带来了有力的技术手段,并已在能源、物流等领域得到了应用和验证<sup>[11-12]</sup>。在能源领域,有研究者基于支持向量机和遗传算法对城市的天然气长期负荷状态进行预测,也有研究者采用变分模式分解和长短期记忆神经网络,实现了短期电力负荷量的预测<sup>[11]</sup>。在物流领域,基于混沌粒子群算法和最小二乘支持向量机的组合模型被证明可以预测公路的客流量<sup>[12]</sup>。上述领域的信号预测问题与测试领域被测对象状态的预测问题具有很大相似性,所以将人工智能技术引入到测量仪器领域,将很有可能实现被测对象状态预测及故障预警功能,从而克服长久存在的被测对象状态预测及故障预警难题,实现仪器从当前时刻测量到未来时刻预测评估的跨越。

可以看出,人工智能技术可在评估以及预测方面赋予测量仪器智能分析能力,这些能力是传统仪器所不具备的。最终在用户体验上,这些智能特性会体现为测量仪器越来越有思想,在给出测量结果的基础上生成测量结论;同时也体现为测量仪器越来越会思考,在现有数据的基础上思考预测未来的状态。通过与人工智能技术的结合,测量仪器在行为上越来越像一个具有智慧的生命体,由传统的固化仪器转变为有思想会思考的全新仪器。

## 2 人工智能赋予测量仪器智能化交互能力

人工智能技术不仅可以使仪器在分析行为上更加趋向人类的智慧行为,还可以使仪器在交互上更加贴近人类,使测试操作的方式更加自然便捷、交互方式更加多样。此外,人工智能技术还能使测量仪器具备积累测量知识和经验的能力,从而在交互过程中向测试人员提供测试操作的辅助提示和决策建议,向测试人员推送最优的专家级测试操作流程。从用户体验的角度来看,就是仪器从冰冷的、被动的工具,逐渐进化为自然的、能够自动完成大量测试任务的“伙伴”,甚至在测试行为上难以分辨正在执行测试任务的是机器还是人类。

### 2.1 多模态交互

早期仪器通过旋钮和按键等器件操作,根据指针、数字或者分辨率较低的单色阴极管显示器读取测量结果。经过数十年的发展,现有仪器已经配备了屏幕触摸操作、彩色高分辨率液晶显示、音频输出等多种交互方式,接受操作和输出测量结果的效率都大幅提高。人工智能技术的发展,为仪器交互方式带来了新的一次发展浪潮。在人工智能技术的推动下,语音识别的准确率不断提高,近年来已经广泛应用于消费电子产品,为用户提供了良好的使用体验。同样,语音识别也可以成为仪器的全新交互方式,通过语音交互可以绕过复杂的功能菜单,直达特定测量功能,同时在一定程度上解放双手的操作负担,提升测试效率。此外,自然语言处理、唇语识别、手势/行为识别等多模态的交互技术随着人工智能的发展而日趋成熟,也将可能用于提升仪器交互在高噪音、无法触摸等多种特定条件下测试工作的灵活性。

智能交互不仅体现为人机交互方式的革新,而且会带来机器与机器之间交互协同的全新集群式测试机制。通过人工智能技术不断提高测量仪器对测试任务和所处环境的理解能力,智能仪器将可能为了更好地完成测试任务而控制其他“僚机”进行协同测量,通过多个测量仪器的配合提高测试效率,增强测试的全面性和准确性。人机操作交互和测量仪器之间交互方式的智能化,最终会促成测量仪器由被动测量向主动感知的跨越。

### 2.2 智能化操作

测试过程中需要根据具体情况设置大量参数,对操作人员的知识技能水平有非常高的要求,也导致测试操作人员的培训时间成本和资源成本难以控制。这一方面不利于测试工作的推动,影响测试的整体效能。另一方面,在部分行业中,人员流动性强,测试工作人员的缺失和培训的不及时可能成为整个组织正常运作的卡脖子问题。此外,即使对于熟练的测试操作人员,由于测试工作涉及步骤较多,如传统仪器的测试过程需要多级菜单选择和多个步骤,导致测试过程耗时严重、对测试人员精力体力消耗较大。这既会降低测试的效率,也会减少测试人员的有效工作时长。人工智能技术可以给上述问题带来新的解决方案。通过人

人工智能技术分析挖掘用户操作日志,形成用户画像,赋予仪器主动推送操作界面和菜单逻辑能力,减少用户的操作次数,甚至形成一键自动化测试的能力。

即使熟练掌握了测量仪器的操作使用方法,但如何针对具体问题规划设计合理的测量流程和测量方案,这对于测试人员仍具有很大难度。测量流程和方案的规划问题不仅要求操作人员有大量的经验积累和长时间的实践摸索,还需要操作人员对测试问题有很好的理解,这增加了测试工作的难度和不确定性。

目前,测量仪器的工作频率已经可以覆盖从数 Hz 至数百 GHz 乃至 THz 量级的超宽范围,如何在如此宽的频率跨度内挑选出需要测试的频段,是一个非常耗时的问题。在检查被测对象的故障时,如何选择合适的待测参数、制定合理的测试方案,以完成对被测对象状态和故障的评估,也是一个非常具有难度的问题。借助人工智能技术,将专家知识集成在测量仪器中,是有望改善上述问题的一种重要方式。比如,集成了专家知识的测量仪器可以在工作过程中不断给予操作人员测试建议,帮助测试人员找到合理的测试频段、合适的检波方式、适当的测试参数设置等,引导操作人员的工作,使每个操作人员都可以胜任原先专家才能完成的复杂测试任务。甚至,在操作人员的授权下,结合人工智能的测量仪器可以自动根据测试问题制定测试方案,并自动得出测量结果,取得无人化测量效果。

可见,通过结合人工智能技术,测量仪器将有可能为操作人员提供大量全新的交互手段,极大提升用户体验和测试效率。

### 3 人工智能赋予测量仪器智能化适应能力

传统仪器对于测试对象和测试场景的适应能力较低,在多场景、多任务、多对象测试情况下,需要耗费大量低层次重复性人力劳动成本进行仪器的调整和适配,这主要是由传统仪器的功能逻辑简单、功能固化造成的。要解决这一现状,一条可行的途径是通过人工智能技术为仪器提供智能化的自适应能力。

#### 3.1 对象自适应能力

同样一台电子测量仪器,可以用于通信、雷达、广播等多种设备对象的测试测量。针对不同的测试对象,仪器的功能选择、参数设置都存在巨大差异。在传统仪器的测试过程中,这需要使用者花费时间和精力完成对特定测试对象的仪器配置工作。为了提高测试效率,急需提高仪器的对于测试对象的适应能力。但是,仪器对测试对象的自适应涉及两个难题,难以通过传统方法克服。首先,针对特定对象的测试功能选择,需要基于经验积累和流程学习过程。不同用户、不同对象的功能选择和操作流程是动态变化的,难以通过预设的操作流程满足,而进化学习、在线学习等人工智能技术的发展为这一问题的解决提供了重要手段。其次,对于不同对象,其发出的信号差异巨大,如何设置最优的测试参数,这

涉及到测试质量评价和优化问题,超出了传统仪器的处理能力范围。而测试质量评价和优化问题是人工智能技术所擅长的领域。所以,将人工智能技术与测量仪器相结合,很有可能为仪器的对象适应能力带来跨越式的提升。

此外,传统测量仪器的测试对象以单个零部件为主,通过人工智能技术赋予测试仪器强大的数据理解和信息分析能力后,仪器将有可能把测试对象推广到批量零部件乃至由大量不同部件所构成复杂系统的测试,通过强大的对象适应能力拓展仪器的应用空间。

#### 3.2 场景适应能力

传统仪器不会因测试场景的变化而做出适应性调整,会给工作人员造成不便,降低测试效率。测试场景一方面包括测试任务相关的因素,比如同一个测试对象,在其研发阶段、出厂测试阶段、一线使用阶段、维护阶段、出现故障后检查维修阶段等,所需要的仪器功能和仪器设置都是有很大区别的;另一方面,测试场景包括了仪器所处物理环境的因素,比如在不同温度下,仪器的自校准、自检流程和设置都应该做出针对性调整。可以看出,对测试场景的自适应问题是一个极具复杂度的问题,传统的方法难以很好解决。

随着迁移学习、强化学习等技术的发展,与人工智能相结合的测量仪器将具备更多的有效途径来获取不同测试任务场景下的功能和参数配置知识,在经过人工在环交互指导或多场景迁移学习的方式切换到特定测试任务场景时,可以根据已积累的专业知识完成功能链路和参数设置的自适应匹配。同时,还可以通过启发式的搜索方法,在使用过程中不断对参数进行微调和优化,这将极大降低工作人员的操作负担和使用门槛,实现测量仪器由面向参数测量到面向任务、面向对象测量的转变。

多模态、分布式的感知判断和理解决策能力是人工智能技术的显著特性之一。将人工智能技术与测量仪器相结合,可使测量仪器通过视觉、温度、定位等多维度信息在感知获取所处的环境状态后,通过模式识别等相关技术对测量仪器的状态和处境进行判别,更具针对性地完成仪器的自校准、自检工作。这种方式可有效提高测量仪器的对测试场景中环境因素的适应能力,是人工智能技术与测量仪器结合的一个重要方向,将逐步推动测量仪器由被动固化接受适应向主动灵活适应过渡。

此外,仪器网络化发展趋势为测试信息的分布式感知和认知提供了前提条件<sup>[14]</sup>,仪器在平台化、云测试方面的进步也为人工智能算法在分布式测试系统中的应用提供了保障。分布式传感的测量仪器与人工智能技术相结合,分别会在硬件高速运算能力、软件算法智能分析能力和对测试对象、测试场景的感知推理能力上为测量仪器带来更大的潜力,从而有可能进一步扩展仪器的对象适应能力和场景适应能力。

### 4 人工智能提升测量仪器性能和功能

测量仪器的性能功能指标主要包括测量仪器的工作频

率范围、分析带宽、扫描速度、灵敏度、分辨率带宽、测量精度等。在传统测量仪器研发过程中,性能功能指标的提升主要依赖于硬件部件和结构设计上的改进。比如,通过设计更优良、数量更多的信号接收混频通道以实现更高的工作频率和更宽的工作频段;通过提高模数转换芯片的性能实现对大带宽、高频信号的采样和处理;通过改良本振合成电路来实现更高更稳定的本振信号,进而实现更快的扫描速度和测量灵敏度;采用处理速度更快的芯片实现大带宽、高采样率数据的快速分析处理等。上述硬件改良的思路在过去几十年中有效、持续地提升了测量仪器的性能功能指标。但是近年来,通过硬件改进措施提高测量仪器性能功能指标的难度越来越大,带来的仪器指标提升幅度却越来越小,仪器性能指标提升遇到了瓶颈。在这一背景下,通过充分结合人工智能技术,从现有技术和新兴智能技术两方面共同发力以提高仪器性能功能指标,成为新一代测量仪器发展过程中不可忽视的研发思路。

#### 4.1 提升仪器性能指标

人工智能技术为提升测量仪器性能指标带来了新的技术途径。比如,测量仪器受到现有本振合成硬件技术的制约,当扫描速度较高时,某些元件会发生较严重的非线性偏移现象,这一问题在短期内通过硬件设计和制造工艺解决的难度较大,通过软件算法进行补偿是目前较为可行的一种解决方案。但是,偏移曲线的非线性关系需要一个复杂度极高的模型来表征,很难通过传统的模型进行拟合。以深度学习为代表的人工智能技术对于解决复杂系统拟合问题具有非常大的优势。理论上,通用近似定理<sup>[15]</sup>已经证明仅需三层的全连接神经网络就可以拟合任意复杂的有界函数。实践中,深度神经网络已经成功运用到导弹发射区域、电晕电流波形、航空飞行参数等复杂非线性系统的拟合问题中,取得了非常好的效果<sup>[16-18]</sup>。同样,借助人工智能技术,根据合理数量的样本点构建出偏移曲线的非线性模型,进而对其施加非线性补偿措施,将有望改善硬件限制所带来的非线性问题,实现本振性能指标的提升,进而提升测量仪器的灵敏度和扫描速度等性能。

#### 4.2 增强仪器测量功能

人工智能技术可以增强测量仪器的功能。异常信号的检测和识别是测量测试任务中所需要的重要功能。但是,由于信号和背景噪声基底的形态多种多样,很难通过简单规则涵盖信号的所有情况。而人工智能技术在信号检测和识别问题上相较于传统方法具有独特的优势<sup>[19-20]</sup>。新一代人工智能技术可通过数据驱动的方式,从复杂多变的信号和背景噪声基底中学习信号规律,多维度提取信号的关键特征,在合理选择信号训练样本和训练策略的前提下可得到比传统规则设计更加优良、更具普适能力的信号检测和识别模型,实现测量仪器由信号到信息的处理转换,进而大幅提高测量仪器中异常信号检测、识别甚至信号变化预判等功能的有效性。

#### 4.3 提升仪器准确性和稳定性

人工智能技术可用于改良测量仪器的准确性和稳定性等自身特性。比如,测量仪器在工作过程中会不可避免地受到热噪声干扰,传统方法通过优化电路设计、加装制冷装置等方式可以在一定程度上降低热噪声强度,但要进一步降低热噪声、提高测量仪器灵敏度水平则难度较大。信号噪声抑制同样是人工智能技术所擅长的一类问题,其在图像信号降噪、语音信号降噪、通信信号降噪等方面已经被广泛应用并取得了非常好的效果<sup>[21-23]</sup>。类似地,人工智能技术也非常有可能改善测量仪器中的热噪声干扰问题,这会带来测量仪器准确性、稳定性等自身特性的进一步改良。

测量仪器获取其内部各个组件的状态信息后,可基于人工智能技术实现测试仪器自身健康状态实时监测和远程网络诊断,最终提升仪器的自我健康管理和自我保护能力。在此基础上,仪器能够规避对其有损害的操作、感知有害的外部环境因素,同时向操作人员告警可能出现的故障以免对测试工作造成巨大损失。甚至,仪器可通过对自身的操作进行初步的自矫正和自动维护,进一步提升用户对仪器状态的透明度和仪器制造商的售后维护效率及成本。上述方式均可以有效提高测量仪器的可靠性和稳定性,延长测量仪器的生命周期,提高仪器在一线的生存能力、适应能力乃至自愈能力。

综上,通过结合人工智能技术,将一部分原先属于硬件范畴的难题通过数字化的、软件化的途径解决,既符合仪器数字化的发展趋势,也是提升仪器性能、增强仪器功能、提升仪器的准确性和稳定性的有效手段。

### 5 发展趋势和方向

未来,在人工智能、集成电路、机器人等高新技术的发展带动下,测量仪器将朝着数字化、网络化、无人化方向发展。

在数字化方面,将利用数字孪生、虚拟现实等技术将测量仪器设计、研发、制造、维护等全周期的全要素进行数字化建模和仿真,同时形成与被测装备一致的数字化标准,融入数字装备的全周期研发过程中。根据数字装备的测试需求,柔性定义测试仪器的功能指标,形成软件可定义、硬件可重构的柔性数字测量仪器,重塑测量仪器新形态。

在网络化方面,将实现测量仪器远程故障诊断、远程运维数据回传和累计、远程多机协同测试能等能力,大幅提升对测量仪器的无接触监视与维护效能。面对复杂测试任务时,实现测试资源的最优调度和管理。

在无人化方面,利用人工智能技术中的学习、记忆、进化等特征,赋予测量仪器智能感知测试对象、准确理解测试任务、自主推荐测试流程、主动设置测试参数、智能生成测试结论等一键式无人测试能力。同时,为测量仪器赋予机器人的自主移动和人机自然交互能力,使其成为最佳“测试伙伴”。

## 6 结 论

人工智能技术在复杂信号感知认知、复杂系统拟合等问题上已经取得大量突破性成就,展现出强大的信息处理能力和性能功能等方面均面临巨大的发展急需。而将人工智能技术运用于测量仪器,推动测量仪器发展的重要途径,很有可能催发测量仪器的新一次发展浪潮,甚至带来测量仪器的颠覆性、革命性变化。因此,测量仪器的发展有必要与人工智能技术充分结合,利用人工智能技术为测量仪器赋能,继续推动仪器的数字化、软件化(APP化)、网络、平台化(云测试)、无人化发展进程,使仪器测量和处理的对象由单纯的数据转换到信息乃至思维,提升仪器性能和能功能,赋予仪器智能化的分析能力,提升仪器环境适应能力和应用适应能力,最终打造出“有思想、会思考”的新一代测量仪器。

### 参考文献

- [1] 许建华,张超. 微波毫米波信号分析仪新技术与发展趋势[C]. 全国微波毫米波会议论文集, 2011: 1414-1418.
- [2] 单月晖,连璐文,任水生,等. 电子测量仪器行业发展综述[J]. 宇航计测技术, 2021, 41(4): 9-12.
- [3] 余南平. 新一代人工智能技术与大国博弈新边疆[J]. 探索与争鸣, 2023, 403(5): 36-38.
- [4] 韦正现. 智能装备试验与测试的挑战与对策思考[J]. 测控技术, 2021, 40(2): 1-5.
- [5] LOW C Y, BENJINTEOH A, PARK J. MIND-Net: A deep mutual information distillation network for realistic low-resolution face recognition [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2021, PP(99): 1-1.
- [6] ZHANG W, WENFENGWANG. Broad learning system for tackling emerging challenges in face recognition[J]. 工程与科学中的计算机建模(英文), 2023(3): 23-23.
- [7] DONG Z, LIN B. BMF-CNN: An object detection method based on multi-scale feature fusion in VHR remote sensing images [J]. Remote Sensing Letters, 2020, 11(3): 215-224.
- [8] 刘勇,瞿建,余渝生,等. 基于时频分析的雷达目标识别算法[J]. 制导与引信, 2022, 43(2): 32-37.
- [9] XIAO Y, XUE M, LU T, et al. A text-context-aware CNN network for multi-oriented and multi-language scene text detection[C]. 2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), Sydney, NSW, Australia, 2019: 695-700.
- [10] CHANDOLIKAR N, JOSHI C, ROY P, et al. Voice recognition: A comprehensive survey [C]. 2022 International Mobile and Embedded Technology Conference(MECON), Noida, India, 2022: 45-51.
- [11] 张帅,刘文霞,唐浩洋,等. 一种基于 Transformer 多特征融合的短期负荷预测方法[J/OL]. 华北电力大学学报(自然科学版); 1-9[2023-07-22].
- [12] TANG M, ZHANG K, LIU X. Combination forecast for urban rail transit passenger flow based on fuzzy information granulation and CPSO-LS-SVM [J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2018, 1: 71-79.
- [13] 许昕,李晓婧,刘东来,等. 深度学习在低能见度预测中的应用[J]. 电子技术, 2022, 51(12): 19-21.
- [14] 黄礼安. 测控技术与仪器的智能化技术应用研究[J]. 科技资讯, 2022, 20(7): 64-66.
- [15] GEORGE CYBENKO. Approximations by superpositions of a sigmoidal function [J]. Mathematics of Control, Signals and Systems. 1989, 2: 183-192.
- [16] 韩高飞,张迎新,郭栋,等. 地空导弹作战过程建模与仿真[J]. 舰船电子工程, 2022, 42(12): 89-93.
- [17] 贺春,刘大维,杨志华,等. 基于神经网络的电晕电流变化曲线拟合数学模型研究[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(1): 65-69.
- [18] 崔旭超,闫振纲,王宪涛,等. 一种地基模拟空间碎片飞行参数测试方法研究[J]. 兵器装备工程学报, 2023, 44(5): 118-124.
- [19] 涂维娟. 基于机器学习的雷达辐射源识别关键技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2022.
- [20] LIU D, LI Z, CHE P, et al. Robust small target detection under intense noise based on extreme learning machine[C]. IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference, Xi'an, China, 2018: 709-713.
- [21] SUN C, PAN M, ZHOU B, et al. Infrared image denoising based on convolutional neural network[C]. 13th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), Changsha, China, 2018: 499-502.
- [22] CRUZ C, FOI A, KATKOVNIK V, et al. Nonlocality-reinforced convolutional neural networks for image denoising [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2018, 25(8): 1216-1220.
- [23] PRAVIN C AND V. OJHA, A novel ECG signal denoising filter Selection algorithm based on conventional neural networks [C]. 2020 19th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), Miami, FL, USA, 2020: 1094-1100.

### 作者简介

许奕东, 工程师, 主要研究方向为电子信息技术、工业智能化系统与装备的研发。

李飞(通信作者), 研究员, 主要研究方向为智能测试技术和智能测试仪器。

E-mail: 40924452@qq.com