



中华人民共和国国家标准

GB/T 46886—2025

智能检测装备通用技术要求

General technical requirements for intelligent detection equipment

2025-12-31 发布

2026-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 系统架构 2

6 技术要求 3

 6.1 功能要求 3

 6.2 性能要求 6

 6.3 数据和模型要求 9

7 测评方法 10

 7.1 功能测评方法 10

 7.2 性能测评方法 11

 7.3 数据和模型测评方法 12

附录 A（资料性） 环境适应性试验参考指标 14

附录 B（资料性） 机理模型能力参数 15

附录 C（资料性） 经验模型混淆矩阵 16

附录 D（资料性） 算法测评指标和测评方法 17

 D.1 数据获取 17

 D.2 机理模型测评方法 17

 D.3 经验模型测评方法 18

参考文献 20

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC 124)归口。

本文件起草单位：机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、北京机械工业自动化研究所有限公司、核电运行研究(上海)有限公司、广电计量检测集团股份有限公司、上海神添实业有限公司、合肥金星智控科技股份有限公司、中科慧远视觉技术(洛阳)有限公司、航天科工防御技术研究试验中心、浙江迈沐智能科技有限公司、迈得医疗工业设备股份有限公司、南京理工大学、工业和信息化部电子第五研究所、西安数合信息科技有限公司、北京领邦智能装备股份公司、北京京仪集团有限责任公司、机科发展科技股份有限公司、中机试验装备股份有限公司、郑州长城科工贸有限公司、北京哈工汇宇科技有限公司、遨博(北京)智能科技有限公司、深圳思谋信息科技有限公司、博创智能装备股份有限公司、上海航数智能科技有限公司、湖南大学、北京理工大学、中车长春轨道客车股份有限公司、上海拜安传感技术有限公司、西南大学、中国仪器仪表学会、上海超群检测科技股份有限公司、北京新联铁集团股份有限公司、北京航天斯达科技有限公司、中电科思仪科技股份有限公司、高维光(广州)科技技术有限公司、北京京仪仪器仪表研究总院有限公司、华润医药控股有限公司、苏州矽视科技有限公司、深圳新视智科技术有限公司、天信仪表集团有限公司、杭州沃镭智能科技股份有限公司、中国计量大学、浪潮电子信息产业股份有限公司、海克斯康制造智能技术(青岛)有限公司、沈阳工业大学、广东产品质量监督检验研究院、昆山奥德鲁自动化技术有限公司、成都数之联科技股份有限公司、菲特(天津)检测技术有限公司、上海中太包装科技有限公司、苏州天立达精密科技股份有限公司、广州市易鸿智能装备股份有限公司、重庆盟讯电子科技有限公司、广东省计量科学研究院、歌尔股份有限公司、河北宝力工程装备股份有限公司、北京戴纳实验科技股份有限公司、中兴通讯股份有限公司、北京大恒图像视觉有限公司、哈尔滨工业大学、鲸朵(上海)智能科技有限公司、无锡九霄科技有限公司、北京诚益通控制技术集团股份有限公司、北京中家智锐智能装备科技有限公司、东方电气集团科学技术研究院有限公司、科罗诺司医疗器械(上海)有限公司、中国长江三峡集团有限公司、深圳明锐理想科技股份有限公司、慧新全智工业互联网科技(青岛)有限公司、东莞康视达自动化科技有限公司、南京优倍电气技术有限公司、北京角动力技术有限公司、广东技术师范大学。

本文件主要起草人：王春喜、王成城、赵艳领、白华、高杰、刘斌、刘新、王玉贵、伊泉剑、明志茂、戚湧、于美梅、王建、周雪莲、潘从元、张新运、全定可、李丹、潘广泽、王震林、王连富、李波、张正涛、郝冠亚、朱海斌、林军华、唐力华、黄文财、刘敏、陈菁、郭斌、胡晓峰、潘奕、郝健、孙智宏、李文宇、杨红亮、谭鹰、王迎宽、刘东旭、钟少龙、魏洪兴、朱康建、胡环镭、刘枢、张驰、宋申工、张海庆、朱峻锋、陈聪、王成英、任霞、冀运景、何德裕、崔忠伟、罗坚、徐松岩、赵可沧、申远、封善斋、李建磊、王然、崔晓龙、朱瑞慧、郁彬、王晓龙、常志方、王莉、李绍、刘成、全西领、马如豹、刘玉平、陶朝建、张晓玲、张蔚、赵建林、奚晓鹏、傅彦、曹彬、王刚、潘红文、余涛、王正杰、黄睿、成锐、高金锐、赵奇、檀学莹、崔俊宁、吴同海、罗佳鑫、肖上、杨涛、梁凯、汪超、郑寿锋、董健、乔靖玉、王新华、邓俊广。

智能检测装备通用技术要求

1 范围

本文件规定了智能检测装备的系统架构、技术要求,描述了相应的测评方法。
本文件适用于制造商、用户、科研院所等相关机构开展智能检测装备的研发、制造与检测评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验A:低温
GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验B:高温
GB/T 2423.3—2016 环境试验 第2部分:试验方法 试验Cab:恒定湿热试验
GB/T 2423.10—2019 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fc:振动(正弦)
GB/T 5226.1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分:射频电磁场辐射抗扰度试验
GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验
GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
GB/T 30976.1 工业控制系统信息安全 第1部分:评估规范
GB/T 40209 制造装备集成信息模型通用建模规则
GB/T 42125.1—2024 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分:通用要求
GB/T 46568.1—2025 智能仪器仪表可靠性 第1部分:可靠性试验与评估方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能检测装备 intelligent detection equipment

以传感器与仪器仪表为基础,围绕工艺实施、质量管控、设备运行管理、安全环境监测等智能检测需求,具有融合感知、自主分析、实时反馈等智能特征,用来实现稳定生产运行、保障产品质量、提升制造效率、确保服役安全等目标的在线检测装备。

3.2

重复性 repeatability

为获得独立测试/测量结果,由同一操作员按相同的方法、使用相同的测试或测量设施、在短时间段内对同一测试/测量对象进行测试/测量的精密度。

3.3

不良率 defective rate

不良样本数量与检测样本总数的比例。

3.4

不良率示值 defect rate indicato

检测装备显示的不良率。

3.5

检出率 detection rate

所检测到的缺陷数量与实际缺陷数量的百分比。

[来源:GB/T 36404—2018,3.2,有修改]

3.6

精确率 precision

在规定条件下,所获得的独立测试/测量结果间的一致程度。

[来源:GB/T 3358.2—2009,3.3.4]

3.7

准确率 accuracy

测量/输出结果与被测/计算的量的(约定)真值之间的一致程度。

[来源:GB/T 38852.1—2020,3.1.1]

3.8

迁移性 transferability

模型在不同环境(包括数据集、硬件平台、软件框架以及云端与边缘端)下保持其有效性和适用性的能力。

3.9

泛化性 generalization

模型在与训练数据不同的数据集、多样化的任务场景以及训练样本之外的样本时,保持其性能的稳定性和有效性的能力。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

MES:制造执行系统(Manufacturing Execution System)

MTBF:平均无故障工作时间(Mean Time Between Failure)

MTTF:平均故障前时间(Mean Time to Failure)

TCP:传输控制协议(Transmission Control Protocol)

XML:可扩展标记语言(Extensible Markup Language)

5 系统架构

智能检测装备系统典型架构如图 1 所示。智能检测装备的功能由硬件和软件协同完成,并与制造装备、控制系统、MES 等车间/工厂信息系统互联协同,在整个智能检测装备使用过程中充分考虑了功能安全、信息安全等安全问题。

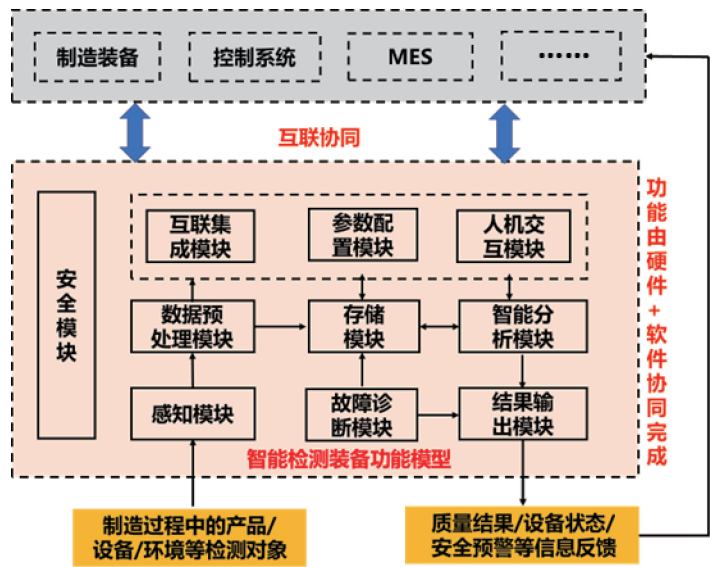


图 1 智能检测装备系统典型架构

智能检测装备典型架构由感知模块、数据预处理模块、存储模块、参数配置模块、互联集成模块、人机交互模块、故障诊断模块、智能分析模块、结果输出模块、安全模块组成。具体包括：

- a) 感知模块：通过传感器或仪器仪表感知制造过程中的产品/设备/环境等被检测对象的信息；
- b) 数据预处理模块：对感知原始数据进行预处理；
- c) 存储模块：对各类必要的信息进行存储如配置参数等；
- d) 参数配置模块：智能检测装备专用软件或其他系统下发各类智能检测装备的配置参数；
- e) 互联集成模块：与智能检测装备专用软件、制造系统以及信息系统互联与集成；
- f) 人机交互模块：支持人机交互接口便于现场配置与操作；
- g) 故障诊断模块：对自身状态、检测精准性等信息进行诊断与校准；
- h) 智能分析模块：综合各类参数的配置对感知的数据通过人工智能算法等方法进行分析并进行决策优化；
- i) 结果输出模块：将智能分析的结果如质量结果/设备状态/安全预警/工艺管控结果等信息反馈给制造生产过程相关的系统；
- j) 安全模块：对智能检测装备进行安全防护。

各模块之间的数据可传输共享，数据传输的关系如图 1 中的箭头所示。其中，安全模块可独立运行，也可与任何模块进行交互。

6 技术要求

6.1 功能要求

6.1.1 功能分级

智能检测装备除具备检测功能外，根据其他智能功能分为三个智能层级，具体包括：

- a) 一级智能：装备本体具备界面交互功能、检测异常报警、统计分析、软件升级和硬件扩展等功能；
- b) 二级智能：具备一级的相关功能外，还具有通信互联集成、设备异常报警、检测异常诊断等功能；

c) 三级智能:具备二级的相关功能外,还具有视觉交互、设备自诊断、多机协同、人机协同等功能。三个层级智能检测装备具备的功能项如表 1 所示。

表 1 智能检测装备功能

功能项		一级智能	二级智能	三级智能
检测功能		●	●	●
交互功能	界面交互	●	●	●
	互联集成	○	●	●
	视觉交互	—	○	●
	虚拟交互	—	—	○
分析功能	检测异常报警	●	●	●
	设备异常报警	—	●	●
	检测异常诊断	—	●	●
	设备自诊断	—	—	●
	统计分析	●	●	●
协同功能	多机协同	—	○	●
	人机协同	—	—	●
拓展功能	软件升级	●	●	●
	硬件扩展	●	●	●
注:“●”表示该层级装备应具备的功能,“○”表示该层级装备宜具备的功能,“—”表示该层级装备不具备的功能。				

6.1.2 检测功能

智能检测装备的检测功能是装备应具备获取、识别或测量目标对象特定信息、特征或参数的能力。智能检测装备利用热学、力学、声学、光学、电学等学科原理,实现相应的检测功能,常见的检测功能包括但不限于尺寸测量、表面缺陷识别、材料成分分析、硬度检测、涂层厚度测量、焊接质量评估、形貌分析、应力检测、密封性检查、温度监控、振动和噪声测量、光学检测等。这些功能能确保产品在制造过程中符合严格的质量标准,并有效提升生产的效率、安全性与可靠性。

6.1.3 交互功能

6.1.3.1 界面交互

装备应具有直观、易用的操作界面,方便用户进行任务配置、监控和管理等操作。界面应具备良好的交互性和可视化效果,提高用户的使用体验。部分智能检测装备能够准确识别用户的语音指令,解析用户语音中的意图和需求,理解复杂的语境和语义关系,方便用户通过语音与装备进行交互。

6.1.3.2 互联集成



智能检测装备应能够方便地连接不同的外部设备或软件,具备支持与制造装备、控制系统、制造执行系统等进行通信的能力。

智能检测装备应适配 1 种以上的工业以太网通信协议,如 Profinet、Modbus TCP 等。智能检测装备输出数据的格式应符合国家标准和行业标准编码和存储要求。

如支持无线传输,所有通信协议数据格式应符合国家或行业内相关标准要求;如采用支持 OPC UA 协议的接口,互联集成的信息应具备适当的标准描述载体,且遵循 GB/T 40209 的信息模型。

6.1.3.3 视觉交互

视觉交互包括视觉识别能力、视觉反馈能力和智能交互能力,具体包括。

- a) 视觉识别能力:应具备利用图像或视频检测目标的能力,包括形状、大小、位置等信息的识别,具备物体特征提取(如边缘、纹理、颜色等)的功能,同时包含识别用户动作行为(如手势、操作动作),辅助用户方便操作的能力。
- b) 视觉反馈能力:当检测到异常情况时,智能检测装备应能够通过屏闪、灯光等方式发出报警提示。
- c) 智能交互能力:设备应具有通过自主学习不断优化自身的视觉识别算法和优化检测参数的能力。检测到异常时,能够自动标记并记录异常状况,以及根据设定发送报警信息及暂停生产线的的能力。

6.1.3.4 虚拟交互

具有虚拟交互功能的智能检测装备应具有:

- a) 多感知能力:包括视觉、听觉、触觉、嗅觉等模拟感知,提高检测的准确性和效率;
- b) 远程控制能力:支持网络远程访问和控制,实现跨地域、跨时间的检测任务;
- c) 协作交流能力:具有多个用户在同一平台中进行在线协作和交流、共同进行检测操作的能力。

6.1.4 分析功能

6.1.4.1 检测异常报警

装备应具备对检测结果异常情况进行分析和报警的功能。

6.1.4.2 设备异常报警

装备应具备实时监控和报警功能,能够实时显示各装备的状态和性能指标,并在出现异常情况时及时发出报警信息。

6.1.4.3 检测异常诊断

装备应具备对检测结果或过程异常进行诊断和判别的功能。

6.1.4.4 设备自诊断

在不增加检测装置的前提下,装备应对自身信息和功能进行诊断的功能。

6.1.4.5 统计分析

装备应具备对生产过程中的各项参数进行实时监测与统计分析的功能,并以可视化的方式呈现或交互。部分装备能够对生产过程中的各项参数进行预测和优化,以实现生产流程的优化和效率的提升。

6.1.5 协同功能

6.1.5.1 多机协同

智能检测装备之间,应具有协作检测同一作业任务的能力,具体包括。

- a) 智能任务分配:具有动态平衡负载能力,根据各装备的性能、负载和当前状态,智能地分配任务

给最合适的装备执行。

- b) 动态调度:在任务执行过程中,能根据实时情况动态调整任务分配和调度策略(如:当某个装备出现故障或性能下降时,系统能够自动将任务重新分配给其他装备执行)。
- c) 协同作业:确保各装备在执行任务时能够保持高度的协同性,这包括任务的顺序、依赖关系和同步点等,当多个装备尝试同时访问同一资源或执行相互冲突的任务时,系统能够及时发现并采取相应的解决措施,避免死锁或数据不一致等问题。
- d) 数据一致性:在协同作业过程中,确保各装备之间的数据保持一致性,包括数据的同步、校验和恢复等机制,以确保数据的准确性和完整性。
- e) 容错处理:能够在部分装备出现故障或网络中断等异常情况下继续运行。通过冗余备份、故障转移和恢复等策略,确保系统的稳定性和可靠性。

6.1.5.2 人机协同

在人机交互基础之上,设备应能够与人协同作业,协同的方式包括但不限于基于手眼交互、语言对话、生物信号、脑机接口的工作协同。

6.1.6 拓展功能

6.1.6.1 软件升级

智能检测装备应支持软件在线升级和迭代,具备不断优化算法和功能,以提升检测装备的智能化水平。

6.1.6.2 硬件扩展

应提供硬件扩展接口和升级方案,方便用户根据实际需求进行硬件增加和升级,提升检测装备的性能和功能。

6.2 性能要求

6.2.1 检测能力

不同行业的智能检测装备的应用场景不同,衡量检测能力的性能指标存在较大差异。目前考虑基础性、通用性的检测能力要求及对应的指标。将衡量检测能力的性能指标分为以下两类。

- a) 基础指标。通用性强,所有智能检测装备都进行测评的指标:
 - 1) 准确性:智能检测装备应能够在可接受或被允许的范围内准确反映被检测对象的真实状态,评价指标包括但不限于示值误差、检测精度、误检率、漏检率;
 - 2) 稳定性:在规定时间规定环境内,智能检测装备检测性能应在允许范围内保持稳定,评价指标包括但不限于稳定性、设备稼动率;
 - 3) 重复性:在接收到相同的输入情况下,智能检测装备应能够稳定地产生相同或非常接近的输出,评价指标包括但不限于重复性;
 - 4) 时效性:智能检测装备应在可接受或被允许的时间范围内完成检测活动,评价指标包括但不限于节拍时间。
- b) 任务/动态指标。根据各智能检测装备不同的种类、特点和应用场景,由厂商自行选择提供的性能指标,该指标应真实反映设备的检测能力水平。

6.2.2 环境适应性

环境适应性要求包括对智能检测装备在高温、低温、恒定湿热、振动等环境下的要求。应优先采用

说明书或与用户协商一致的环境试验参数指标和标准,若说明书无明确参数且无法达成一致的,可采用附录 A 中表 A.1~表 A.4 所示的指标。

6.2.3 可靠性

智能检测装备可靠性指标应涉及使用条件的所有范围(包括工作、环境及维修条件)及保持智能检测装备良好性能的整个时间范围。实际使用时的可靠性要求通过可靠性验证试验来完成,对于统计智能检测装备寿命单位和所有故障使用 MTBF 作为核心评价指标测定,并根据具体的适用环境划分可靠性的 MTBF 推荐值。对于要求控制故障次数为主的选用失效率、可靠度、开关闭合次数等指标。

在正常的设备管理条件下,智能检测装备的可靠性指标应符合产品标准的要求,如没有产品标准,参考表 2 选择可靠性指标。

表 2 智能检测装备可靠性指标

类别	评价指标	最低指标	推荐指标
可靠性	MTBF/MTTF	200 h	5 000 h
注:将智能检测装备视为可维修对象,因此采用 MTBF 作为核心指标,是指相邻两次故障之间的平均工作时间。如果装备为不可维修对象,则该指标为 MTTF。			

6.2.4 信息安全

6.2.4.1 安全网络架构

安全网络架构要求包括:

- a) 应划分不同的网络区域,并按照方便管理和控制的原则为各网络区域分配地址;
- b) 具有高等级信息安全防护要求的场合,不应将智能检测装备所在的重要网络区域部署在边界处,重要网络区域与其他网络区域之间应采取可靠的技术隔离手段。

6.2.4.2 身份鉴别

身份鉴别要求包括:

- a) 应对登录的用户进行身份标识和鉴别,身份标识具有唯一性,身份鉴别信息具有复杂度要求并定期更换;
- b) 应具有登录失败处理功能,应配置并启用结束会话、限制非法登录次数和当登录连接超时自动退出等相关措施;
- c) 当进行远程管理时,应采取必要措施防止鉴别信息在网络传输过程中被窃听;
- d) 具有高等级信息安全防护要求的场合,应采用口令、密码、生物特征验证等两种或两种以上组合的鉴别技术对用户进行身份鉴别,且其中一种鉴别技术至少应使用密码技术来实现。

6.2.4.3 通信传输与可信验证

通信传输与可信验证要求包括:

- a) 应采用校验技术或密码技术保证通信过程中的数据完整性;
- b) 具有高等级信息安全防护要求的场合,智能检测装备网络区域内通信,应采用密码技术保证通信过程中的数据保密性,应采用区块链等技术确保数据传输的可信验证。

6.2.4.4 边界防护

应保证跨越边界的访问和数据流通过边界设备提供的受控接口进行通信。

6.2.4.5 访问控制

访问控制要求包括：

- a) 应在网络边界或区域之间根据访问控制策略设置访问控制规则，默认情况下除允许通信外受控接口拒绝所有通信；
- b) 应删除多余或无效的访问控制规则，优化访问控制列表，并保证访问控制规则数量最小化；
- c) 应对源地址、目的地址、源端口、目的端口和协议等进行检查，以允许/拒绝数据包进出；
- d) 应对登录的用户分配账户和权限；
- e) 应重命名或删除默认账户，修改默认账户的默认口令；
- f) 应及时删除或停用多余的、过期的账户，避免共享账户的存在；
- g) 应授予管理用户所需的最小权限，实现管理用户的权限分离；
- h) 必要时，应对进出网络的数据流实现基于应用协议和应用内容的访问控制。

6.2.5 电气安全

6.2.5.1 电源

装备的电源应具备在下列条件下能正常运行的能力：

- 按 GB/T 5226.1—2019 中 4.3.2、4.3.3 或 4.3.4 规定的电源条件；
- 由用户规定的电源条件。

6.2.5.2 导线和电缆选择

导线和电缆的选择应符合 GB/T 5226.1—2019 中第 12 章的要求。

6.2.5.3 配线技术

导线和电缆的连接、敷设及标识应符合 GB/T 5226.1—2019 中第 13 章的要求。

6.2.5.4 防电击

装备的防电击性能应符合 GB/T 42125.1—2024 中第 6 章的要求。

6.2.5.5 防火焰蔓延

在正常条件下或单一故障条件下，火焰不应蔓延至装备的外部，防火性能应符合 GB/T 42125.1—2024 第 9 章的要求。

6.2.5.6 温度限值和耐热

应符合 GB/T 42125.1—2024 的 10.1~10.5 的要求。

6.2.5.7 防护等级

装备的防护等级应符合 GB/T 5226.1—2019 中 11.3 的要求。

6.2.6 电磁兼容

智能检测装备符合下列要求：

- a) 静电放电抗扰度应符合 GB/T 17626.2 的要求；
- b) 射频电磁场辐射抗扰度应符合 GB/T 17626.3 的要求；

- c) 电快速瞬变脉冲群抗扰度应符合 GB/T 17626.4 的要求；
- d) 浪涌(冲击)抗扰度应符合 GB/T 17626.5 的要求；
- e) 射频场感应的传导骚扰抗扰度应符合 GB/T 17626.6 的要求。

6.3 数据和模型要求

6.3.1 数据库与模型库要求

6.3.1.1 数据库

智能检测装备的数据应统一构建详尽的数据字典,覆盖从结构化数据(如设备型号、序列号等)、半结构化数据(如检测结果报告、XML 等)到非结构化数据(如检测视频、图像等)的全面信息。针对不同类型的数据,实施严格的标准化要求,应确保数据的一致性、完整性和可访问性,并通过索引优化提升查询效率,从而支持数据在设备全生命周期中的高效交互与共享,为数据分析与决策制定提供强有力的支持。

智能检测装备的数据库在设计与维护上,保证数据的安全与完整性、访问控制及网络安全防护,具体要求如下:

- a) 应建立完善的数据管理制度,明确数据的收集、处理、存储、使用和销毁等方面的要求,确保数据的合法使用和合规保存;
- b) 应对数据进行分类管理(如用户数据、业务数据和日志数据等),根据不同类型的数据设定不同的存储周期;
- c) 应定期执行数据备份计划,并构建灾难恢复体系,确保数据在任何情况下都能安全恢复,防止丢失或损坏,同时,备份数据的保存时间应不少于 6 个月;
- d) 应对敏感数据实施高强度加密处理,并建立健全的加密密钥管理机制,防范非法获取与滥用;
- e) 应建立数据审计追踪体系,防止原始数据在传输与存储过程中被篡改;
- f) 应实施细粒度权限管理,以限制不同角色的用户在数据库中的操作和访问范围;
- g) 应采用安全协议加密传输,部署防火墙和入侵检测系统,全面保护数据库免受外部攻击。

6.3.1.2 模型库

智能检测装备的模型数据全面覆盖以下关键维度,旨在构建多维度特性的模型体系,以支持丰富交互功能、检测分析功能、多源协同功能以及灵活拓展功能。

信息架构包括各模块的参数配置、接口协议、数据格式等,构建详尽的实体关系图谱与数据字典,遵循统一的通信协议规范,奠定模型数据一致性与互操作性基础,以确保检测装备内部各单元间及跨设备的数据无缝流通。

几何模型、仿真模型、控制逻辑模型和算法模型构成智能检测装备的核心架构,应支持主流软件格式,确保模型数据互操作性和可移植性;应具有良好的容错性和鲁棒性,同时应对控制逻辑模型的模块化设计作为考虑的内容。

智能检测装备的模型库要求如下:

- a) 应对模型格式进行统一规定,制定统一的命名规则(包括模型名称、版本号、创建日期等信息的标准化表示);
- b) 应支持跨平台与跨软件的模型文件格式转换,提高模型的复用性与可维护性(如支持不同算法框架之间的模型文件转换,以及不同 CAD 软件之间的几何模型文件转换);
- c) 应实施版本控制策略,保留历史版本记录,便于追溯和管理模型的演变过程;
- d) 应采用先进的存储架构和管理机制,通过分级目录结构和权限管理,确保模型数据的安全性与可访问性;

- e) 应建立定期审查、用户反馈和技术更新机制,确保模型库保持最新状态,适应不断变化的需求和技术进步。

6.3.2 模型应用要求

6.3.2.1 机理模型应用

机理模型常应用于几何量、电性能、化学量测量等相关检测设备中。这些设备通常先进行测量,然后根据阈值进行分类。采用机理模型时,应明确阐述其原理,并确保符合科学原则。

机理模型开发和使用过程中的应对以下要点作为考虑的内容:

- a) 模型输入数据:包括测试对象的本体几何、材料、工艺等数据,建议给出分类误差(离散量)和连续量测量误差;
- b) 模型输出结果:通过机理模型计算分析后的数据,对于输出结果,建议给出针对特定对象的检测误差和针对特定过程的检测误差,这些误差提供模型预测的准确性和可靠性的度量;
- c) 机理模型能力参数:建议包括 GRR(重复性和再现性)、相关性,以及误收/误废率等参数指标,参考附录 B 设置机理模型能力参数。

6.3.2.2 经验模型应用

经验模型通常采用分析与决策合并的端到端方式,并且常包含后处理规则。决策结果通常以分类形式呈现,分类误差建议采用混淆矩阵工具进行评估。混淆矩阵用于展示各类别之间的混淆程度,见附录 C。

经验模型开发和使用过程中应对以下要点作为考虑的内容。

- a) 经验模型能力参数:建议采用检出率、精确率和准确率 3 个指标评价,3 个指标的计算通常采用混淆矩阵工具,计算方法见附录 D。
- b) 过程能力评价参数:通常以不良率表示,其计算方法如下:真实不良率等于示值不良率加上误收率,减去误废率。误收率与误废率通常采用混淆矩阵工具计算。计算方法见附录 D。
- c) 经验模型通用化程度评价参数包括:
 - 1) 迁移性:模型应在不同的数据集上保持相近的性能,模型应支持在不同硬件平台或软件框架上部署和运行,模型应支持在云端和边缘端切换;
 - 2) 泛化性:模型应在不同的数据集上、不同的任务场景、训练数据之外的样本中保持性能的稳定性;
 - 3) 小样本学习能力:模型应在有限样本下能够快速收敛,达到预设的识别准确率。

6.3.3 数字化交付

数字化交付,指设备生产商向随设备实物向用户交付数字化电子文档的行为。智能检测装备实物交付的同时,推荐进行数字化交付。

数字化交付物包括但不限于软件安装程序及安装环境、设备操作说明书、装备原理图、设备布置安装图(设备三维数字模型),还可包括程序架构说明书、易损件清单、随机备件移交清单等。

7 测评方法

7.1 功能测评方法

智能检测装备制造厂商应提供被检测产品同时提供其具备相关能力的证明文件(如第三方测试报告),通过专家或专业机构核查,核查通过则测试通过,否则测试不通过。

7.2 性能测评方法

7.2.1 检测能力测试

智能检测装备的检测能力应依据产品标准进行测试,制造商提供相关证明文件(如第三方测试报告),通过专家或专业机构核查,核查通过则测试通过,否则测试不通过。

7.2.2 环境适应性测试

7.2.2.1 低温工作试验

按 GB/T 2423.1—2008“试验 Ad”进行。试验后,受试样品在正常室温下恢复至常温,对其进行性能检测,若检测通过则为通过该项试验。

7.2.2.2 低温贮存试验

按 GB/T 2423.1—2008“试验 Ad”进行。试验后,受试样品在正常室温下恢复至常温,对其进行性能检测,若检测通过则为通过该项试验。

7.2.2.3 高温工作试验

按 GB/T 2423.2—2008“试验 Bd”进行。试验后,受试样品在正常室温下恢复至常温,对其进行性能检测,若检测通过则为通过该项试验。

7.2.2.4 高温贮存试验

按 GB/T 2423.2—2008“试验 Bd”进行。试验后,受试样品在正常室温下恢复至常温,对其进行性能检测,若检测通过则为通过该项试验。

7.2.2.5 恒定湿热试验

按 GB/T 2423.3—2016“试验 Cab”进行。试验后,受试样品在正常室温下恢复至常温,对其进行性能检测,若检测通过则为通过该项试验。

7.2.2.6 振动试验

按 GB/T 2423.10—2019“试验 Fc”进行。受试样品按工作位置固定在振动台上,在工作状态下,分别对三个相互垂直的轴线方向进行振动。

试验在规定的频率范围内,在一个扫频循环上完成。试验过程中记录危险频率,包括机械共振频率和影响受试样品性能的频率。

一般情况下优先选用扫频耐久试验。按规定的频率范围由低到高,再由高到低,作为一次循环,按规定的循环次数进行扫频振动试验。已做过定频耐久试验的样品不再做扫频耐久试验。本试验应将记录的共振频率与初始振动响应检查记录的共振频率相比较,若有明显变化,应对受试样品进行修整,重新进行该项试验。

用初始振动响应检查中记录的频率进行定频试验,采用下列方法之一。

- 固定频率:中心共振频率。即施加的频率应始终保持在实际危险频率上。
- 近似固定频率:在有限的频率范围内扫描。即在危险频率不是很清晰的情况下,可在危险频率 0.8 倍~1.2 倍的频率范围内扫频。

在试验规定的频率范围内如无明显的共振频率或无影响受试样品性能的频率,或者危险频率超过 4 个,则不做定频耐久试验,仅做扫频耐久试验。

最后应对样品的外观和性能进行检测,若所有检测通过则为通过该项试验。

7.2.3 可靠性测试

MTBF/MTTF 的测试按 GB/T 46568.1—2025 的规定进行测试。

7.2.4 信息安全测试

智能检测装备信息安全按 GB/T 30976.1 开展评估。

7.2.5 电气安全测试

7.2.5.1 保护连接阻抗试验

按 GB/T 42125.1—2024 的 6.5.2.4~6.5.2.6 的规定进行试验。

7.2.5.2 电气间隙和爬电比距

按 GB/T 42125.1—2024 的 6.7.2 和 6.7.3 的规定进行测试。

7.2.5.3 耐压试验

按 GB/T 42125.1—2024 的 6.7 要求选定试验电压,按 6.8 规定的程序进行试验,试验过程中,不应出现电气间隙飞弧或固体绝缘击穿。

注:工频耐压的例行试验,见 GB/T 42125.1—2024 附录 F。

7.2.5.4 防火焰蔓延试验

通过目视检查及按 GB/T 42125.1—2024 的 9.3~9.6 的规定进行测试。

7.2.5.5 温度限值和耐热试验

按 GB/T 42125.1—2024 的 10.4 和 10.5 的规定进行测试。

7.2.6 电磁兼容测试

智能检测装备按以下要求进行测试:

- a) 静电放电抗扰度按 GB/T 17626.2 试验,试验等级不低于 2 级,试验结果达 a 类;
- b) 射频电磁场辐射抗扰度按 GB/T 17626.3 试验,采用 80% 正弦波调制、试验等级不低于 2 级,试验结果达 a 类;
- c) 电快速瞬变脉冲群抗扰度按 GB/T 17626.4 试验,试验等级不低于第 3 级(未采取特定安装措施的工业过程设备和户外区域等可采用第 4 级或更高等级),试验结果达 a 类;
- d) 浪涌(冲击)抗扰度按 GB/T 17626.5 试验,安装类别不低于第 2 类,试验等级不低于第 2 级,试验结果达 a 类;
- e) 射频场感应的传导骚扰抗扰度按 GB/T 17626.6 试验,试验等级不低于第 3 级,试验结果达第一类。

7.3 数据和模型测评方法

7.3.1 测评要求

智能检测装备的数据和模型测评,仅作为设备制造商研发的参考。

7.3.2 数据库测评

对被检测产品的存储架构合理性、数据备份与恢复能力、灾难恢复体系、数据审计与权限管理能力、数据安全性、网络安全防护能力等数据库能力的证明文件(如第三方测试报告)进行审核。

7.3.3 模型库测评

对被检测产品具备模型格式统一、版本控制策略、存储与管理能力、维护与更新能力、来源合规性等模型库能力的证明文件(如第三方测试报告)进行审核。

7.3.4 模型应用测评

模型应用测评方法见附录 D。

7.3.5 数字化交付测评

对以下交付材料的证明文件(如产品交付清单、第三方测试报告)进行审核：

- a) 数字化交付内容,如信息模型、3D 模型等；
- b) 标准交付格式说明；
- c) 生产仿真系统交互。

附 录 A

(资料性)

环境适应性试验参考指标

智能检测装备环境适应性试验参考指标如表 A.1～表 A.4 所示。

表 A.1 低温试验指标

	场景	试验指标
温度/℃	工作	0
	贮存运输	—40

表 A.2 高温试验指标

	场景	试验指标
温度/℃	工作	40
	贮存运输	60

表 A.3 恒定湿热试验指标

温度/℃	相对湿度(100%)
40±2	93±3

表 A.4 振动试验指标

试验项目	试验参数	参数数值
振动响应检查	频率范围/Hz	5～35
	振幅峰值/mm	0.15
	扫频速度/(oct/min)	≤1
	每一轴线上循环次数/次	1
定频振动试验	振幅峰值/mm	0.15
	试验时间/min	10±0.5
扫频振动试验	频率范围/Hz	5～35
	振幅峰值/mm	0.15
	扫频速度/(oct/min)	≤1
	每一轴线上循环次数/次	10

附 录 B
(资料性)
机理模型能力参数

机理模型的能力参数通常包括以下几个方面。

- a) 重复性误差:是指在相同条件下,由同一个评价员使用同一测量设备在短时间内对同一被测量的同一特性进行多次测量所得结果的变异性。重复性误差通常用测量过程的统计学标准差(σ)表示。
- b) 偏倚:偏倚是指测量值与真实值之间的差异。在理想情况下,偏倚尽可能小,以确保测量结果的准确性。偏倚可以通过测量标准物质或使用校准设备来确定。
- c) GRR(重复性和再现性):GRR 是评估测量系统是否适合于特定过程控制的指标。GRR 值低于 10%通常被认为是好的,表示测量系统适合于过程控制;在 10%~30%可能被接受,但需要进一步评估;超过 30%则表明测量系统不适合过程控制。
- d) 相关性:相关性是指测量结果与真实值之间的关联程度。高相关性表明测量系统能够准确反映被测量对象的真实状态。通常要求相关性指标大于 90%,以确保测量结果的可靠性。
- e) 误收率(False Accepts Rate)和误废率(False Rejects Rate):这两个指标描述了模型在测量特定过程中的误差。误收率是指将不合格产品错误地判定为合格产品的比例,而误废率是指将合格产品错误地判定为不合格产品的比例。

注:证据由制造商提供,证明检测设备已按照国家标准规定的方法或指标进行了过程检测,并经过专家核定认可,以符合国家标准的要求。



附 录 C
(资料性)
经验模型混淆矩阵

经验模型混淆矩阵如表 C.1 所示。

表 C.1 经验模型混淆矩阵

实际\预测	Predicted Class1 (57)	Predicted Class2 (58)	Predicted Class3 (90)	Predicted Class4(good1) (95)	Predicted Class5(good2) (100)	合计(Total)
Actual Class 1 (65)	TP11(40)	FP12(5)	FP13(5)	FP14(5)	FP15(10)	检出率 Recall_1=0.615
Actual Class 2 (55)	FP21(4)	TP22(35)	FP23(5)	FP24(5)	FP25(6)	检出率 Recall_2=0.636
Actual Class 3 (80)	FP31(3)	FP32(7)	TP33(60)	FP34(5)	FP35(5)	检出率 Recall_3=0.750
Actual Class 4 (good1)(100)	FP41(5)	FP42(6)	FP43(10)	TP44(70)	FP45(9)	检出率 Recall_4=0.700
Actual Class 5 (good2)(100)	FP51(5)	FP52(5)	FP53(10)	FP54(10)	TP55(70)	检出率 Recall_5=0.700
合计(Total)	精确率 Precision_1 =0.702	精确率 Precision_2 =0.603	精确率 Precision_3 =0.667	精确率 Precision_4 =0.737	精确率 Precision_5 =0.700	准确率 Accuracy =0.688
<p>注 1: TP, True Positive; FP, False Positive; 示例: FP14 表示 1 类被预测为 4 类的数量。</p> <p>注 2: 对角线上的数字表示正确分类的样本数量; 对角线以外的数字表示错误分类的样本数量。</p> <p>注 3: 绿色代表误收 FalseAccepts 数量, 红色代表误废 FalseRejects/Overkill 数量, 误收率、误废率计算分母为总数量。</p>						

附录 D
(资料性)
算法测评指标和测评方法

D.1 数据获取

检测设备或模型分析模块在工业生产过程中的应用,其数据集需源于生产过程的实际抽样,不使用人为策划的数据集。进行实验室检验时,数据通过远程采集方式直接从生产现场获取,或远程进行现场监督,以确保评估结果准确。监督环节涵盖生产过程中的数据抽样以及质量控制(QC)判断两方面。

D.2 机理模型测评方法

智能检测装备各项指标机理模型测评方法如下。

- a) 重复性误差/偏倚
同一样本,短时间多次测量,在被检装备上和标准装备上分别进行,统计重复性误差 sigma、2 sigma、3 sigma,和偏倚。
- b) GRR(重复性和再现性)
选取同一样本,由多个操作人员对检测装备的重复性和再现性进行统计,再求重复性与再现性的几何和,见公式(D.1):

$$RR_{6\sigma} = \sqrt{Repeat_{6\sigma}^2 + Reproduc_{6\sigma}^2} \dots\dots\dots (D.1)$$

GRR 为重复性与再现性的几何和与公差宽度之比,见公式(D.2):

$$GRR = \frac{RR_{6\sigma}}{T} \dots\dots\dots (D.2)$$

- c) 相关性
从受控过程中随机抽取样本(例如:10 个样本)采用已知的标准设备测量真值形成第一组数据,再采用被测检测装备给出第二组数据,采用公式(D.3)计算相关系数。

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \dots\dots\dots (D.3)$$

参数 S_x、S_y 和 S_{xy} 的计算见公式(D.4)、公式(D.5)和公式(D.6):

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (D.4)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (D.5)$$

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}} \dots\dots\dots (D.6)$$

相关系数与取样范围关系很大,相关系数与取样范围关系密切,正确抽取的样本覆盖公差带范围。产品图纸 14.95±0.06 时,如果取样范围±0.06 时,相关系数 0.9;当取样范围变小到 0.02 时,相关系数可能会是 0.6;这取决于测量系统的本底噪声(或者重复性),根本原因是仪器本底噪声导致相关性下降。

- d) 误收率 False Accepts Rate/误废率 False Rejects Rate
样本数量的多少将决定评估结果的准确性。
误收率,见公式(D.7):



$$FAR = \frac{\text{合格品中的不合格品数量}}{\text{样本总数}} \dots\dots\dots (D.7)$$

误废率,见公式(D.8):

$$FRR = \frac{\text{不合格品中的合格品数量}}{\text{样本总数}} \dots\dots\dots (D.8)$$

D.3 经验模型测评方法

将模型预测的结果与实际情况进行比较。根据比较结果,计算检出率、精确率和准确率等评价指标的值。

- a) 检出率:在所有真实目标样本中,被正确检出的样本所占的比例,见公式(D.9)。

$$\text{Recall}_1 = TP11 / (TP11 + FP12 + FP13 + FP14 + FP15) \dots\dots\dots (D.9)$$

- b) 精确率:在所有预测为某一类别的样本中,预测正确的样本所占的比例,用于衡量模型的精确性,见公式(D.10)。

$$\text{Precision}_1 = TP11 / (TP11 + FP21 + FP31 + FP41 + FP51) \dots\dots\dots (D.10)$$

- c) 准确率:正确检出的样本数量占样本总数的比例,用于衡量模型整体性能,见计算公式(D.11):

$$\text{Accuracy} = (TP11 + TP22 + TP33 + TP44 + TP55) / \text{Total} \dots\dots\dots (D.11)$$

Total——总样本数量。

根据计算出的指标值,分析模型的性能。高检出率值表明模型能够识别出大部分实际为正例的样本,高精确率值则表明模型的预测结果中大部分都是正确的,高准确率值表示模型在整体上表现良好。

- d) 误收率/误废率

误收率/误废率,描述该模型或该装备,在测量特定过程中的不良率误差。

不良率=不良率示值+误收率-误废率。

误收率(FAR),即错误接受率,将不合格品错误地判定为合格品的数量,与检测样本总数之比,见计算公式(D.12):

$$FAR = (FP14 + FP24 + FP34 + FP15 + FP25 + FP35) / \text{Total} \dots\dots\dots (D.12)$$

式中:

Total——总样本数量。

误废率(FRR),即错误拒绝率,将合格品错误地判定为不合格品的数量,与检测样本总数之比。样本数量的多少将决定 FAR、FRR 评估结果的准确性,见计算公式(D.13):

$$FRR = (FP41 + FP42 + FP43 + FP51 + FP52 + FP53) / \text{Total} \dots\dots\dots (D.13)$$

式中:

Total——总样本数量。

- e) 迁移性测试

1) 数据集性能测试:选择与训练数据相似但不同的数据集,确保这些数据集覆盖多种场景。使用适当的性能指标(如准确率、召回率、F1-score)在每个数据集上评估模型。

2) 硬件平台测试:在不同的硬件平台上部署模型;测量推理时间、内存使用和吞吐量等指标,确保模型在各平台上性能一致。

3) 软件框架测试:在不同的软件框架上实现和部署模型;确保模型在不同框架下的输出一致。

4) 云端与边缘端切换:在云平台上部署模型,测试推理速度和成本。

在边缘设备(如嵌入式系统、移动设备)上部署模型,测试其性能。设计场景测试模型在云端和边缘端之间切换的能力,确保数据传输和处理的一致性。

- f) 泛化性测试
 - 1) 数据集测试:选择多个数据集,确保包含不同来源、特征分布和标签的多个数据集。在每个数据集上评估模型的性能,记录准确率、召回率、F1-score 等指标。
 - 2) 场景测试:在不同的任务上测试模型,确保模型能够适应不同的应用场景。
- g) 训练数据之外的样本测试

使用与训练数据不同来源的数据进行测试,确保模型在未见过的数据上表现良好。
在少量样本上评估模型的性能,检查模型在小样本情况下的稳定性。
- h) 小样本学习能力测试

在测试集上评估训练后的模型,计算最终的准确率是否达到预设值;召回率、F1-score 宜作为可选择的测试指标。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3358.2—2009 统计学词汇及符号 第2部分:应用统计
 - [2] GB/T 33863(所有部分) OPC 统一架构
 - [3] GB/T 36404—2018 平板玻璃点状缺陷在线检测
 - [4] GB/T 38852.1—2020 工业过程测量控制和自动化 系统评估中系统特性的评定 第1部分:术语和基本概念
 - [5] GB/T 40659—2021 智能制造 机器视觉在线检测系统 通用要求
 - [6] 智能检测装备产业发展行动计划(2023—2025年)(工信部联通装〔2023〕19号)
-

