

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/CAMETA

团 体 标 准

T/CAMETA XXXX—XXXX

轴承故障检测装备技术要求

Technical Requirements for Bearing Fault Detection Equipment

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国机电一体化技术应用协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.1 轴承故障检测装备 1

 3.2 轴承故障检测算法 1

 3.3 性能指标 1

 3.4 功能指标 1

4 缩略语 1

5 基本要求 2

 5.1 概述 2

 5.2 环境适应性 2

 5.3 数据安全性 2

 5.4 通讯数据质量 2

 5.5 通讯能力 2

6 检测功能指标 2

 6.1 概述 2

 6.2 检测类型 2

 6.3 感知功能 3

 6.4 监测与运维功能 3

 6.5 诊断优化功能 3

7 检测性能指标 4

 7.1 概述 4

 7.2 判别准确率 4

 7.3 异常状态漏报率 4

 7.4 检测偏差 4

 7.5 预测准确度 4

 7.6 召回率 4

 7.7 检测鲁邦性 4

8 测评流程 5

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。

本文件由机械工业仪器仪表综合技术经济研究所提出。

本文件由中国机电一体化技术应用协会归口。

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、北京哈工汇宇科技有限公司、中国航发北京航空材料研究院、中关村机器人产业创新发展有限公司、比亚迪汽车工业有限公司

本文件主要起草人：吴达远、杜孟新、田佳营、方毅芳、刘涛、白华、徐松岩、郑真、蒙洋、孙振江、白红印

轴承故障检测装备技术要求

1 范围

本标准规定了轴承故障检测装备的基本要求、检测能力要求、测评指标与测评流程。
本标准适用于具有采集、分析、决策功能的轴承故障检测装备的性能功能测试与评价活动。

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 43780-2024 制造装备智能化通用技术要求
T/CAMS180-2023 智能检测装备通用技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 轴承故障检测装备

集成多源传感器、数据采集模块与智能分析模块，通过停机检测、原位监测等形式，对轴承产品或复杂装备中轴承部件的状态数据进行采集、分析，实现故障识别、缺陷检测、寿命预测、故障分类及故障预警等智能化功能的设备。相关功能应符合T/CAMS180-2023中的要求。

注：多源传感器，包括但不限于振动、应力、温度、声发射、机器视觉等类型传感器。

3.2 轴承故障检测算法

基于工程信号处理、统计分析、专家库规则、机器学习、深度学习等技术，从振动、温度、噪声、图像、视频等多源数据中提取特征并识别轴承故障模式的算法模块或软件系统。

注：

- a) 工程信号处理算法：包括但不限于快速傅里叶变换、小波变换、小波包分解等。
- b) 统计分析算法：包括但不限于方差分析、参数估计、相关系数对比等。
- c) 专家库规则方法：包括但不限于产生式规则、模糊逻辑、本体论等。
- d) 机器学习算法：包括但不限于高斯混合模型、决策树模型、随机森林模型等。
- e) 深度学习算法：包括但不限于深度卷积网络、长短时间记忆网络、Transformer 网络等。

3.3 性能指标

通过量化数据表征轴承故障检测装备在特定条件下完成预定功能的客观能力水平，涵盖检测精度、效率、稳定性等可测量的技术特征。

3.4 功能指标

描述轴承故障检测装备在技术实现、应用场景适配及用户体验方面的定性能力特征，反映其功能完备性与适用性。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。
ACC：判别准确率（Accuracy）
FNR：漏报率（False Negative Rate）

RMSE:均方根误差 (RootMeanSquared Error)
R²: 确定系数 (Coefficient of Determination)
RCL:召回率 (Recall)
ROB: 鲁棒性 (Robustness)

5 基本要求

5.1 概述

本文件对轴承故障检测装备的基本功能进行要求, 包括环境适应性、数据安全性、通讯数据质量、通讯能力等方面要求。

5.2 环境适应性

指的是轴承故障检测装备应具备一定的对防尘、防水、温度、电磁等环境的适应能力, 以保障在不同工作环境中正常运行。

5.3 数据安全性

轴承故障检测装备应满足基本的信息安全性要求, 包括数据加密、权限管理、系统安全等要求。

- a) 数据加密: 指的是确保数据在传输和存储过程中的安全性, 防止数据泄露和篡改。
- b) 权限管理: 指的是严格的用户权限管理, 确保只有授权用户才能访问和操作设备。
- c) 系统安全: 指的是具备保护系统免受网络攻击的工具。

5.4 通讯数据质量

指的是轴承故障检测装备在数据传输过程中, 数据的完整性、准确性、及时性和可靠性。

- a) 完整性: 指的是数据在传输过程中没有被损坏或丢失。
- b) 准确性: 指的是数据在传输过程中保持其原始值的能力。
- c) 及时性: 指的是数据在规定时间内被传输和处理的能力。
- d) 可靠性: 指的是数据在传输过程中不受干扰并成功到达接收方的能力。

5.5 通讯能力

指的是轴承故障检测装备与外部装备及系统互联互通的能力, 应满足通信协议以及通讯接口相关要求。

- a) 通信协议: 轴承故障检测装备系统应支持 TCP/IP、UDP 等通用的网络通信协议, 以便于远程访问和控制; 用于工业场景的轴承故障检测装备应满足工业自动化通信标准, 如 Modbus、Profinet 等通讯协议, 以便于与其他工业自动化设备和系统集成。
- b) 通信接口: 指的是轴承故障检测装备系统具有数据接口, 如 USB、Ethernet、HDMI 等, 以便于连接各类传感器、摄像头和数据源进行链接。

6 检测功能指标

6.1 概述

轴承故障检测装检测功能指标主要包括检测类型、感知功能、检测与运维功能、诊断优化功能等定性指标。

6.2 检测类型

6.2.1 概述

轴承故障检测装备按检测原理划分, 包括但不限于振动分析、温度监测、噪声检测、油液分析、视觉检测等检测类型。

6.2.2 振动分析

指的是轴承故障检测装备能通过对轴承的振动信号进行监测和分析，并通过工程信号处理、统计分析、专家库规则、机器学习、深度学习等技术检测轴承状态的方法。

6.2.3 温度监测

指的是轴承故障检测装备能够监测和记录轴承工作时的温度变化，并对轴承工作时的性能和状态进行分析预测的方法。

6.2.4 噪声检测

指的是轴承故障检测装备能够利用声学传感器监测轴承运行时的声音，识别异常噪音，并对轴承工作时的性能和状态进行分析预测的方法。

6.2.5 油液分析

指的是轴承故障检测装备能够通过光谱分析、理化检验、颗粒污染分析、电化学分析等方法，检测轴承润滑油的成分和状态，分析判断轴承磨损和污染情况。

6.2.6 视觉检测

指的是轴承故障检测装备能够基于光学成像与计算机视觉技术，通过非接触式图像采集与智能分析实现轴承表面缺陷、尺寸偏差及动态性能评估的自动化检测方法。

6.3 感知功能

6.3.1 实时数据采集

轴承故障检测装备应能通过各类传感器获取轴承的状态信息。

6.3.2 数据分析处理

轴承故障检测装备应具备对获取的轴承状态数据进行处理和分析的能力。

6.3.3 数据存储

指的是轴承故障检测装备应能记录和存储轴承状态数据与分析结果数据，便于后续分析和故障追溯任务需要。

6.3.4 数据管理

指的是轴承故障检测装备应能够提供高效的数据管理工具，支持数据查询、导出和备份功能。

6.4 监测与运维功能

6.4.1 故障监测报警

指的是装备能够设置不同类型的报警阈值（如振动、温度等），并通过历史数据分析和趋势预测，提前预警潜在故障，进行预防性维护并通知相关人员。

6.4.2 远程运维

指的是轴承故障检测装备能够支持远程监控和诊断，支持远程软件升级和配置更新。

6.5 诊断优化功能

6.5.1 自诊断

指的是轴承故障检测装备能够基于智能算法自动分析和诊断轴承故障类型和严重程度。

6.5.2 参数优化

指的是轴承故障检测装备应能通过调整和优化装备的监测参数、算法设置和系统配置，提高对轴承故障检测的准确性、灵敏度和实时性的能力。

7 检测性能指标

7.1 概述

主要对轴承故障检测装备的检测性能进行测评，包括检测准确率、检测效率、算法鲁棒性等方面的定量指标。

7.2 判别准确率

指的是轴承故障检测装备监测结果的准确率。装备状态分为正常、异常两种。处于正常状态的装备可无限制长时间运行，处于异常状态时表明装备状态相对正常状态发生了改变，需进行维护。具体计算方法如下。

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\%$$

其中，

True Positive (TP)：正确地将正类样本判别为正类。

True Negative (TN)：正确地将负类样本判别为负类。

False Positive (FP)：错误地将负类样本判别为正类。

False Negative (FN)：错误地将正类样本判别为负类。

7.3 异常状态漏报率

指的是在实际存在异常状态时，轴承故障检测装备未能检测出异常状态的比例。具体计算方法如下。

$$FNR = \frac{FN}{TP + FN} \times 100\%$$

7.4 检测偏差

指的是轴承故障检测装备在轴承状态检测过程中，采集到的测量值或实际值之间的符合程度，本文件采用均方根误差描述算法预测的精度偏差。具体计算公式如下：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{预测值}_i - \text{实际值}_i)^2}$$

7.5 预测准确度

指轴承故障检测装备对一批预测任务的准确度，本文件采用确定系数描述算法预测准确度。算法的预测准确度指标具体计算方法如下。

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{预测值}_i - \text{真实平均值})^2}{\sum_{i=1}^n (\text{真实值}_i - \text{真实平均值})^2}$$

7.6 召回率

指的是轴承故障检测装备对输入异常数据反应的敏感程度，即正确诊断的正样本数占真实正样本总数的比值，也称真阳率。具体计算公式如下：

$$RCL = \frac{TP}{TP + FP}$$

其中：

TP (True Positives)：真正阳性，表示正确检测出的目标数。

FN (False Negatives)：假阴性，表示未检测出的真实目标数。

7.7 检测鲁棒性

指的是在相同条件下，轴承故障检测装备重复进行轴承状态检测时所得到的数据结果的一致性和稳定性。具体检测鲁棒性计算公式如下：

$$ROB = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

8 测评流程

轴承故障检测装备测评应在装备完成具体检测功能的过程中进行。测评过程使用的被检测轴承对象应为对应检测任务的标准件。具体测评流程应满足GB/T 43780-2024要求的测评流程。

轴承故障检测装备测评过程宜包括以下8个步骤：

- a) 明确范围与目标；
- b) 明确测评的智能特征和功能指标；
- c) 生成测试用例；
- d) 检查条件；
- e) 共性检查；
- f) 设计审查；
- g) 执行测试；
- h) 测评结论。

团体标准《轴承故障检测装备技术要求》

编制说明

1. 工作简况

根据中国机电一体化技术应用协会《关于准予<工业机器人传感器性能可靠性技术要求>等9项团体标准立项的通知》（中机电标协[2025]5号），团体标准《轴承故障检测装备技术要求》已正式立项，立项编号为TB-L-2025003。归口单位中国机电一体化技术应用协会（以下简称“机电一体化协会”），标准牵头起草单位为机械工业仪器仪表综合技术经济研究所。

1.1 任务来源

本标准是工业和信息化部高质量专项“面向智能检测装备领域的试验检测及创新成果产业化公共服务”（以下简称“智能检测装备平台”）项目研究成果。制定《轴承故障检测装备技术要求》团体标准，旨在统一和规范轴承故障检测装备的技术性能与检验方法，确保检测结果的准确性和可靠性，从而提升工业生产的安全性和质量水平。这一标准的制定，不仅能够促进轴承故障检测技术的标准化进程，增强行业内外技术交流与合作，还能有效推动智能检测装备技术创新与产业升级，为构建公平竞争的市场环境和提升我国轴承行业的国际竞争力奠定坚实基础。

基于人工智能技术的轴承故障检测装备技术在国内均取得了显著进展，国内企业在技术创新、智能化与信息化、无损检测技术等方面不断突破，如中车青岛四方和南通朗赛恩的专利成果就体现了这一趋势。同时，国外也在传感器技术、智能诊断系统以及标准化与认证方面取得了重要成果，推动了轴承故障检测的精准度和效率提升。

相比之下，国外在轴承故障检测领域不仅技术领先，而且已经研制一系列轴承故障诊断相关标准，包括国际标准和地区性标准，这些标准为确保检测技术的准确性和可靠性提供了重要支撑。因此，加快国内轴承故障检测装备相关标准的制定和完善，对于提升我国轴承行业的整体竞争力、保障工业生产安全具有重要意义。

1.2 起草过程

1) 起草人员及分工

本标准机械工业仪器仪表综合技术经济研究所为负责起草单位，本文件起草工作组由以下单位和人员组成：

- 机械工业仪器仪表综合技术经济研究所：刘涛、方毅芳、杜孟新、吴达远、田佳营
- 北京机械工业自动化研究所有限公司：白华
- 北京哈工汇宇科技有限公司：徐松岩
- 中国航发北京航空材料研究院：郑真
- 中关村机器人产业创新发展有限公司：蒙洋
- 比亚迪汽车工业有限公司：白红印

2) 主要起草过程

2024 年 12 月，机械工业仪器仪表综合技术经济研究所依托“智能检测装备平台”项目，联合项目参与单位组成标准编写工作组，开展轴承故障检测装备关键功能和性能相关技术及测试方法研究，形成《轴承故障检测装备技术要求》标准草案。

2025 年 1 月至 3 月，标准编写组内部召开多次标准研讨会，对标准文本进行修改完善，并申请标准立项。

2025 年 5 月 14 日，结合标准工作组讨论意见，编制完成《轴承故障检测装备技术要求》标准征求意见稿，递交中国机电一体化技术应用协会秘书处，并于 5 月 16 日召开标准征求意见专家会。

2. 标准编制原则和主要内容

2.1 标准编制原则

本文件严格按照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》给出的规则编制。紧密结合工程任务实践，注重标准的科学性、适用性和可操作性。

2.2 文件主要内容

本标准内容描述轴承故障检测基础功能及测试方法，包括振动分析、温度监测、噪声检测、油液分析等内容；围绕信息感知功能，包括实时数据采集、实时数据处理、数据存储、数据管理等内容；围绕监测与运维功能，包括故障监测报警、远程运维等

内容，围绕诊断优化功能吗，具体包括自诊断、参数优化等内容。

3. 主要试验（或验证）情况分析

本标准规定了轴承故障检测装备的测评指标与计算方法，参编单位覆盖轴承检测装备关键技术及测试技术等方面，在轴承故障检测装备的开发和应用上具有丰富的经验和较为成熟的技术基础，能够支撑本标准的制修订工作，不需要进行额外的试验验证。

4. 标准涉及专利情况

本标准不涉及专利。

5. 预期达到的社会效益

随着工业技术的快速发展，轴承应用的复杂性和多样性日益增加，对故障检测装备的精度和智能化水平提出了更高要求。统一的技术标准不仅能有效应对这一挑战，提升检测效率和准确性，还能为保障生产安全、预防事故发生提供有力支撑。同时，它也是响应国家质量强国战略、推动制造业转型升级的重要举措，对于提升我国轴承故障检测技术的国际影响力和竞争力具有重要意义。

6. 采用国际标准情况

本标准自主制定，没有采用国际标准。

7. 标准协调性说明

本标准与现行法律、法规、强制性标准等无冲突。

8. 重大分歧意见的处理

本标准制定过程中，无重大分歧意见。

9. 标准性质的说明

9.1 适用范围

本标准规定了轴承故障检测装备的测评指标与计算方法。

本标准适用于具有分析、决策功能的轴承故障检测装备的测试与评价活动。

9.2 标准属性

建议作为推荐性团体标准执行。

10. 贯彻标准的要求和措施建议

无

11. 废止现行相关标准的建议

无。

12. 其他应予说明的事项

无。

《轴承故障检测装备技术要求》起草工作组

2025 年 5 月 17 日