

ICS 13 040 99

C3599

T/GXDSL

团体标准

T/GXDSL 018—2025

特种机器人环境适应性与可靠性测试标准

Test Standards for Environmental Adaptability and Reliability of Special - purpose
Robots

2025 - 3 - 25 发布

2025 - 3 - 27 实施

广西电子商务企业联合会 发布

目 次

前 言 III

一、范围 1

二、规范性引用文件 1

三、术语和定义 2

四、环境适应性测试 2

 1. 低温环境测试 2

 2. 高温环境测试 3

 3. 湿热环境测试 3

 4. 盐雾环境测试 3

 5. 水雾环境测试 4

 6. 振动环境测试 4

 7. 冲击环境测试 4

五、可靠性测试 5

 1. 机械可靠性测试 5

 2. 电气可靠性测试 5

 3. 软件可靠性测试 5

六、测试流程 6

 1. 测试前准备 6

 2. 测试实施 6

 3. 测试后评估 6

七、测试报告 7

 1. 报告内容 7

 2. 报告要求 7

八、质量控制 7

 1. 机构资质 7

 2. 测试规范 8

九、故障分类与统计 8

 1. 故障分类 8

 2. 故障统计 8

十、可靠性指标评估 8

 1. 平均故障前时间 (MTTF) 8

2. 故障率 (λ) 9

3. 可靠度 (R) 9

4. 故障密度函数 ($f(t)$) 10

5. 可靠性模型 10

6. 可靠性指标评估流程 11

7. 可靠性试验报告 11

十一、 附则 11

前 言

本文件依据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。

本文件由广西产学研科学研究院提出。

本文件由广西电子商务企业联合会归口。

本文件起草单位：广西研科院高新技术有限公司，广西产学研科学研究院，清华大学零一学院，西安交通大学，广西蓝脑科技有限公司，广西立新科技产业有限公司，山东大学(乐陵)人工智能研究院，西安蓝脑科技有限公司，成都锦城学院，西北工业大学，西北农林科技大学，海南大学，重庆大学，西安欧亚学院，西北大学，西那瓦国际大学(泰国)，西安理工大学，上海信昊信息科技有限公司，上海工程技术大学，广西自贸区蓝脑科技合伙企业(有限合伙)，上海蓝脑企业管理合伙企业(有限合伙)，新疆蓝脑科技有限公司，蓝脑人工智能科技(德州)有限公司，智链云(山东)人工智能科技有限公司，桂林电子科技大学。

本文件主要起草人：庄文斌，韦新，陈世卿，王建，李征骥，李三雁，张志敏，王博知，李鹏，张慧卿，韦博鲲，段玉聪，王钊锦，宋永端，杨猛，赵闪光，郑小伟，李学平，龚才春，赵国帅，周建伟，袁红，李高健，罗迪，陈虎虎，吕波，于波。

本文件为首次发布。

特种机器人环境适应性与可靠性测试标准

一、范围

本标准规定了特种机器人在不同环境条件下的环境适应性与可靠性测试方法、要求及评价指标。本标准适用于特种机器人及其零部件的设计、制造、检验和验收，包括但不限于救援机器人、水下机器人、核工业机器人、排爆机器人等特种应用场景的机器人。

本标准旨在确保特种机器人在极端环境下的可靠性和安全性，提升其在复杂任务中的执行能力。具体适用场景包括但不限于以下领域：

- **救援机器人：**用于地震、火灾、洪水等灾害现场的人员搜救、物资运输等任务。
- **水下机器人：**用于海洋探索、水下检测、水下作业等任务。
- **核工业机器人：**用于核设施的维护、检测、放射性物质处理等任务。
- **排爆机器人：**用于爆炸物处理、危险品检测等任务。

本标准还适用于特种机器人在以下环境条件下的测试：

- **极端气候环境：**包括高温、低温、高湿度、盐雾等环境。
- **复杂地形环境：**如不平整地面、坡度、起伏路面等。
- **危险环境：**如存在电磁干扰、化学腐蚀、辐射等环境。

通过本标准的实施，旨在推动特种机器人技术的发展，提高其在各类特殊场景下的应用效率和安全性。

二、规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。

凡是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 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾
- GB/T 2423.22—2012 环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化
- GB/T 39006—2020 工业机器人特殊气候环境可靠性要求和测试方法
- GB/T 39266—2020 工业机器人机械环境可靠性要求和测试方法

三、术语和定义

- **特种机器人：**用于特殊环境或执行特殊任务的机器人，如救援机器人、水下机器人、核工业机器人等。
- **环境适应性：**机器人在特定环境条件下（如高温、低温、湿度、盐雾等）正常运行的能力。
- **可靠性：**机器人在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。
- **故障率（ λ ）：**单位时间内机器人出现故障的频率或概率。

四、环境适应性测试

1. 低温环境测试

- **测试条件：**温度设定为 -40°C ，相对湿度不超过50%。此条件模拟极寒环境，确保机器人在低温下的正常运行。
- **测试时间：**连续暴露24小时，以评估机器人在持续低温环境下的性能。
- **测试要求：**机器人在低温环境下应无材料脆化、器件失效等现象，确保其在极端低温条件下的稳定性和可靠性。

2. 高温环境测试

- **测试条件：**温度设定为 55℃，相对湿度不超过 50%，此条件模拟高温环境，确保机器人在高温下的正常运行。
- **测试时间：**连续暴露 24 小时，以评估机器人在持续高温环境下的性能。
- **测试要求：**机器人在高温环境下应无材料老化、器件失效等现象，确保其在极端高温条件下的稳定性和可靠性。

3. 湿热环境测试

- **测试条件：**温度设定为 30℃，相对湿度为 95%。此条件模拟湿热环境，确保机器人在高湿度下的正常运行。
- **测试时间：**连续暴露 48 小时，以评估机器人在持续湿热环境下的性能。
- **测试要求：**机器人在湿热环境下应无电化学腐蚀、电气短路等现象，确保其在极端湿热条件下的稳定性和可靠性。

4. 盐雾环境测试

- **测试条件：**盐雾浓度为 5% NaCl 溶液，温度为 35℃。此条件模拟盐雾环境，确保机器人在盐雾环境下的耐腐蚀性。
- **测试时间：**连续暴露 48 小时，以评估机器人在持续盐雾环境下的性能。
- **测试要求：**机器人在盐雾环境下应无明显腐蚀现象，确保其在极端盐雾条件下的稳定性和可靠性。

5. 水雾环境测试

- **测试条件：**水雾浓度符合 GB/T 2423.38 标准。具体而言，水雾的沉降率应根据相关标准和被测机器人实际使用环境来确定，以模拟自然界的雾、雨等湿润环境条件。
- **测试时间：**机器人需在水雾环境中连续暴露 24 小时。
- **测试要求：**机器人在水雾环境下应无短路、绝缘性能下降等现象，确保其电气系统的正常运行和保障操作人员的安全。

6. 振动环境测试

- **测试条件：**振动频率范围为 5Hz~500Hz，加速度为 10g。此条件模拟振动环境，确保机器人在振动环境下的稳定性。
- **测试时间：**振动测试持续时间为 2 小时，以评估机器人在持续振动环境下的性能。
- **测试要求：**机器人在振动测试后应无结构损坏、功能异常，确保其在极端振动条件下的稳定性和可靠性。

7. 冲击环境测试

- **测试条件：**冲击加速度为 50g，脉冲持续时间为 11ms。此条件模拟冲击环境，确保机器人在冲击环境下的稳定性。
- **测试时间：**每个方向冲击 3 次，以评估机器人在多方向冲击环境下的性能。
- **测试要求：**机器人在冲击测试后应无结构损坏、功能异常，确保其在极端冲击条件下的稳定性和可靠性。

五、可靠性测试

1. 机械可靠性测试

- **测试项目：**包括振动测试、冲击测试、疲劳测试等，以全面评估机器人的机械性能。
- **测试条件：**振动测试频率范围为 5Hz~500Hz，加速度为 10g，确保测试条件的严格性。
- **测试时间：**振动测试持续时间为 2 小时，以评估机器人在持续振动环境下的性能。
- **测试要求：**机器人在振动和冲击测试后应无结构损坏、功能异常，确保其在极端机械条件下的稳定性和可靠性。

2. 电气可靠性测试

- **测试项目：**包括电气短路测试、过载测试、绝缘性能测试等，以全面评估机器人的电气性能。
- **测试条件：**电气短路测试电流为额定电流的 150%，确保测试条件的严格性。
- **测试时间：**短路测试持续时间为 1 分钟，以评估机器人在持续电气短路环境下的性能。
- **测试要求：**机器人在电气测试后应无电气故障、性能下降，确保其在极端电气条件下的稳定性和可靠性。

3. 软件可靠性测试

- **测试项目：**包括软件功能测试、软件稳定性测试、软件兼容性测试等，以全面评估机器人的软件性能。
- **测试条件：**软件在不同操作系统和硬件平台上运行，确保测试条件的全面性。
- **测试时间：**软件连续运行 48 小时，以评估机器人在持续运行环境下的性能。
- **测试要求：**软件在测试过程中应无崩溃、无功能异常，确保其在极端运行条件下的稳定性和

可靠性。

六、测试流程

1. 测试前准备

- **外观检查：**对机器人进行外观检查，确保无损坏，为测试提供良好的初始状态。
- **功能测试：**对机器人进行功能测试，确保各项功能正常，为测试提供可靠的性能基础。
- **设备准备：**准备测试所需的设备和工具，确保其正常运行，为测试提供可靠的测试环境。

2. 测试实施

- **测试条件：**按照上述测试条件和时间进行各项测试，确保测试的严格性和全面性。
- **数据记录：**在测试过程中，记录机器人的运行状态和性能数据，为后续评估提供详细依据。
- **环境控制：**对于环境适应性测试，应确保测试环境符合标准要求，为测试提供可靠的环境条件。
- **设备校准：**对于可靠性测试，应确保测试设备的精度和可靠性，为测试提供可靠的测试工具。

3. 测试后评估

- **外观检查：**对机器人进行外观检查，评估是否有损坏，为后续使用提供参考。
- **功能测试：**对机器人进行功能测试，评估各项功能是否正常，为后续使用提供可靠的性能评估。
- **结果评估：**根据测试数据和评估结果，判断机器人是否符合环境适应性和可靠性要求，为后续改进提供依据。

七、测试报告

1. 报告内容

- **测试目的：**明确测试的目的和要求，为报告提供清晰的方向。
- **测试环境：**详细描述测试环境的设置和条件，为报告提供详细的背景信息。
- **测试方法：**说明测试的具体方法和步骤，为报告提供详细的操作流程。
- **测试结果：**列出测试的各项指标结果，包括通信链路性能、抗干扰能力、网络拓扑适应性和能量管理，为报告提供详细的数据支持。
- **结论：**根据测试结果，对特种机器人的环境适应性和可靠性进行综合评价，判断是否满足技术要求，为报告提供明确的结论。

2. 报告要求

- **签名盖章：**测试报告应由测试人员签名，并加盖测试机构公章，确保报告的权威性和可信度。
- **问题记录：**测试报告应详细记录测试过程中发现的问题及解决方案，为后续改进提供详细的信息。

八、质量控制

1. 机构资质

- **资质要求：**测试机构应具备相应的资质和设备，确保测试的专业性和可靠性。
- **人员要求：**测试人员应具备专业的知识和经验，确保测试的准确性和有效性。

2. 测试规范

- **标准遵守：**测试过程应严格遵守相关标准和规范，确保测试的科学性和公正性。
- **数据真实性：**测试数据应真实、准确，不得篡改，确保测试结果的可信度。

九、故障分类与统计

1. 故障分类

- **责任故障：**因机器人自身设计、制造缺陷引起的故障，需重点关注并改进。
- **非责任故障：**因外部环境或操作不当引起的故障，需通过优化操作流程和环境条件来减少。

2. 故障统计

- **统计原则：**只统计责任故障，确保统计结果的针对性和有效性。
- **统计方法：**记录故障发生的时间、原因及解决措施，为后续分析和改进提供详细的数据支持。

十、可靠性指标评估

1. 平均故障前时间(MTTF)

定义：平均故障前时间（MTTF）是指机器人在规定条件下正常运行的平均时间，是衡量机器人可靠性的重要指标之一。

计算方法： $MTTF = \text{总运行时间} / \text{故障次数}$

- **总运行时间：**机器人在测试期间的累计运行时间，单位为小时。

- **故障次数：**在测试期间机器人出现的故障次数。

评估要求：

- 对于特种机器人，MTTF 应不低于 1000 小时，以确保其在复杂环境下的长期稳定性。

2. 故障率（ λ ）

定义：故障率（ λ ）是指单位时间内机器人出现故障的概率，是衡量机器人可靠性的重要参数。

计算方法： $\lambda = \text{故障次数} / \text{总运行时间}$

- **总运行时间：**机器人在测试期间的累计运行时间，单位为小时。
- **故障次数：**在测试期间机器人出现的故障次数。

评估要求：

- 特种机器人的故障率应低于 0.001 次/小时，以确保其在长时间运行中的高可靠性。

3. 可靠度（R）

定义：可靠度（R）是指机器人在给定条件下和给定时间内完成规定功能的概率。

计算方法： $R(t) = 1 - F(t)$

- **F(t)：**故障累积分布函数，表示在时间 t 之前发生故障的概率。

评估要求：

- 特种机器人在规定运行时间内的可靠度应不低于 99%，以确保其在复杂环境下的高可靠性。

4. 故障密度函数 ($f(t)$)

定义：故障密度函数 ($f(t)$) 表示机器人在时间 t 发生故障的概率密度。

计算方法： $f(t) = dF(t)/dt$

- $F(t)$ ：故障累积分布函数。

评估要求：

- 故障密度函数应通过可靠性模型进行拟合，以评估其在不同时间点的故障概率。

5. 可靠性模型

定义：可靠性模型是用于预计或估算机器人可靠性的数学模型，通常包括双参数指数分布、威布尔分布、正态分布等。

参数估计方法：

1. 双参数指数分布：

平均故障前时间 (MTTF)： $MTTF = 1/\lambda$

故障率 (λ) 为常数。

2. 威布尔分布：

平均故障前时间 (MTTF)： $MTTF = \eta \cdot \Gamma[1 + (1/m)]$

其中， η 为尺度参数， m 为形状参数。

3. 正态分布：

平均故障前时间 (MTTF)： $MTTF = \mu$

其中， μ 为均值。

评估要求：

- 应选择最适合机器人故障数据的可靠性模型，通过残差平方和最小的方法进行模型优选。

6. 可靠性指标评估流程

1. **故障数据收集与统计：**收集机器人在测试期间的故障数据，包括故障时间、故障原因等。
2. **可靠性模型拟合：**采用双参数指数分布、威布尔分布、正态分布等模型对故障数据进行拟合。
3. **拟合优度检验：**采用 Kolmogorov-Smirnov 检验法对可靠性模型进行拟合优度检验。
4. **模型优选：**选择残差平方和最小的模型作为最优可靠性模型。
5. **可靠性指标评估：**根据最优可靠性模型，评估机器人的可靠性指标，包括 MTTF、故障率、可靠度等。

7. 可靠性试验报告

- **报告内容：**可靠性试验报告应包括测试目的、测试条件、测试结果、评估结论等内容。
- **报告格式：**报告应详细记录测试过程中发现的问题及解决方案，并由测试人员签名，加盖测试机构公章。

十一、附则

本标准自 2025 年 3 月 27 日起实施，发布日期至实施日期间为过渡期。如有必要，将根据技术发展和实际应用情况进行修订。本标准由归口广西电子商务企业联合会。