

T/CWDPA

团体标准

T/CWDPA XXXX—XXXX

纳米时栅位移传感器可靠性测试规范

Reliability testing specification for nano time-grating displacement sensors

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国西部开发促进会 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

4 总体要求 2

 4.1 试验设备与仪器要求 2

 4.2 试验样品要求 2

 4.3 试验条件 3

5 试验项目与试验程序 3

 5.1 试验项目分类 3

 5.2 试验程序 3

 5.3 试验样品数量与分组 4

6 试验方法 4

 6.1 试验方法通则 4

 6.2 气候环境试验 4

 6.3 机械环境试验 8

 6.4 电磁兼容试验 9

 6.5 特殊环境试验 11

 6.6 长时间运行试验 12

7 失效判定与数据处理 13

 7.1 失效分类与判定 13

 7.2 数据记录与统计 13

 7.3 可靠性评估 13

8 试验报告 13

 8.1 报告格式要求 13

 8.2 结果解释 14

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

纳米时栅位移传感器可靠性测试规范

1 范围

本文件规定了纳米时栅位移传感器的总体要求、试验项目与试验程序、试验方法、失效判定与数据处理以及试验报告等内容。

本文件适用于电磁时空调制型纳米分辨率直线时栅位移传感器和旋转时栅位移传感器（编码器）（以下分别简称直线位移编码器、角位移编码器）的可靠性测试，适用于产品设计定型、生产检验及使用维护等阶段的可靠性试验。

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 4208 外壳防护等级（IP代码）

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 17626.29 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验

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 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

预处理 pre-conditioning

为消除或部分抵消试验样品以前经历的各种效应，在条件试验前对试验样品所做的处理。当试验样品在条件试验时测得的温度、湿度与预处理规定的温度、湿度相同时，可省略该步骤。

3.2

初始测试 initial examination and measurement

在预处理之后、条件试验之前，对试验样品的电性能、机械性能和外观所进行的检查和测量。测试项目包括但不限于精度测试、稳定性测试和应用测试，并应记录测试数据。初始测试结果应满足产品技术文件规定的允许极限值，并作为后续比较基准。

3.3

条件试验 conditioning

将试验样品暴露在规定的试验环境中，以确定这种环境条件对试验样品的影响。

3.4

恢复 recovery

在条件试验后、最后测试之前，为使试验样品的性能稳定所做的处理。

3.5

最后测试 final examination and measurement

在恢复之后对试验样品的电气性能、机械性能和外观所进行的检查和测量。最后测试结果与初始测试结果相比，精度、稳定性等性能指标的变化量不应超过产品技术文件规定的允许变化量。

3.6

试验样品 specimen

要进行环境试验的产品的样品，包括使该产品功能完成的任何辅助部件和系统，如产品温补安装工装、振动工装等。

3.7

温度稳定 temperature stability

试验样品某部分的温度与其最终稳定温度之差在规定容差范围内的状态。

3.8

静态稳定性 static stability

静止状态下的数据波动不超过试验样品的稳定性测试规范要求。

3.9

对极跳变 pole reversal

定转子相对位置不动的情况下，由于信号处理或机械结构等因素导致的误差，位置值从一个值跳变到另一个值，跳变的值为一个或数个对极的位置值。通常计算方式：1个对极=圆整周角秒值/精极对极数或粗极对极数。

3.10

角位移编码器 angular displacement encoder

用于测量角位移的电磁时空调制型纳米时栅位移传感器。

3.11

直线位移编码器 linear displacement encoder

用于测量直线位移的电磁时空调制型纳米时栅位移传感器。

4 总体要求

4.1 试验设备与仪器要求

4.1.1 设备精度要求

4.1.1.1 用于控制和检查试验参数的仪器仪表，其最大允许误差或准确度等级不应低于试验条件容差的1/3。试验前应检验仪器仪表，并符合国家计量检定规程或相关标准的规定。

4.1.2 环境试验设备要求

4.1.2.1 温度范围与均匀性

环境试验箱应具有足够的高低温工作范围，工作空间内的温度均匀性应满足试验条件容差要求。热源位置不应使辐射直接达到试验样品。

4.1.2.2 温度变化速率控制

温度变化速率应可调，并能按试验要求控制升降温速率。用于控制温度的温度传感器应置于试验箱内部循环气流中，并加以遮护以防辐射影响。

4.1.2.3 设备校准与维护

环境试验设备应定期校准，校准周期应符合设备管理规定。试验前应确认设备处于正常工作状态。

4.2 试验样品要求

4.2.1 样品安装与连接

4.2.1.1 安装状态要求

试验样品应模拟实际使用状态安装，并按需要附加测试工装。安装时应保证除必要支点外，试验样品全部暴露在传热介质及空气中。试验样品之间及与箱壁之间应有适当间隔，以便气流自由循环。

4.2.1.2 电气连接要求

试验样品应按产品规范规定的方式连接电源和信号线。实际工作中加以保护而在试验中不用的机械或电气连接处应适当覆盖。安装完成后应进行工作检查，不应发生因安装不当造成的故障。

4.2.2 初始测试要求

4.2.2.1 外观检查

条件试验前，应对试验样品进行外观检查，记录表面状态、结构完整性等，不应有影响试验结果的缺陷。

4.2.2.2 性能测试

应对试验样品进行性能测试，测试项目包括但不限于精度测试、稳定性测试和应用测试，测试数据应满足该型号产品的出货标准或产品规范要求。

4.3 试验条件

4.3.1 标准大气条件

试验样品性能测试的标准大气条件为：温度18℃～22℃，相对湿度25%～75%，大气压力86 kPa～106 kPa。常温为15℃～35℃。

4.3.2 试验环境要求

试验环境应无明显粉尘、腐蚀性气体。试验区域应保持清洁，试验设备布置不应影响试验样品的正常工作和试验结果的准确性。

5 试验项目与试验程序

5.1 试验项目分类

5.1.1 必做试验项目

必做试验项目按表1执行，试验参数应符合本文件第6章的有关规定。

5.1.2 选做试验项目

选做试验项目按表1执行，应根据产品预定使用环境和用户要求确定是否进行，试验参数可按本文件第6章的有关规定执行。

5.2 试验程序

5.2.1 预处理

预处理应在条件试验前进行，以消除或部分抵消试验样品以前经历的各种效应。预处理应按产品规范规定的条件和方法执行。当试验样品在条件试验时测得的温度、湿度与预处理规定的温度、湿度相同时，可省略该步骤。

5.2.2 初始测试

初始测试应在预处理之后、条件试验之前进行。初始测试应对试验样品的电性能、机械性能和外观进行检查和测量，测试项目包括但不限于精度测试、稳定性测试和应用测试，并记录测试数据。初始测试数据应满足产品技术文件规定的允许极限值，且与基准值相比其精度等指标的偏差不应超过产品技术文件规定的允许变化量。

5.2.3 条件试验

条件试验是将试验样品暴露在规定的试验环境中，以确定该环境条件对试验样品的影响。条件试验应按第6章中相应试验方法的参数要求和试验步骤执行，试验过程中应监控试验样品的工作状态和数据输出。

5.2.4 恢复与最后测试

条件试验结束后，试验样品应在标准大气条件下恢复至常温，达到温度稳定后再保持至少1 h。恢复后应对试验样品的电气性能、机械性能和外观进行最后测试，并与初始测试结果进行比较，最后测试结果与初始测试结果相比，精度、稳定性等性能指标的变化量不应超过产品技术文件规定的允许变化量，以评定试验样品是否满足相应可靠性要求。

5.3 试验样品数量与分组

5.3.1 样品数量要求

试验样品的数量应根据试验目的和统计要求确定。设计定型阶段的可靠性测定试验样品数量应不少于3件；生产检验及使用维护阶段的鉴定试验（或例行试验）样品数量应符合产品规范和试验方案的规定。样品应从检验合格的批次中随机抽取。

5.3.2 样品分组规则

试验样品应按试验项目进行分组，每组样品应能代表同批次产品的质量水平。对于多个试验项目，宜将样品分为若干组，每组用于一项或多项顺序试验。分组应根据试验的严酷程度和样品承受能力合理安排，确保试验结果具有可比性。

6 试验方法

6.1 试验方法通则

6.1.1 试验方法构成要素

6.1.1.1 每项试验方法应包括试验目的、试验参数、试验步骤和合格判定四个部分。各试验项目的参数（温度、加速度、时间等）应给出标称值和容差范围；设备精度应与参数容差相匹配。试验前，应确认试验样品状态、试验设备和试验环境条件符合本文件第4章和第5章的规定。试验设备及仪器仪表应经计量检定或校准合格，并在有效期内使用，其误差不应低于试验条件容差的1/3。

6.1.1.2 试验过程中，应记录试验箱（室）内的实际温度和相对湿度等环境参数。试验样品应按实际使用状态安装和连接，需要通电工作的试验，应在试验前确认接线正确并验证其基本功能正常。

6.1.2 性能测试项目

6.1.2.1 性能测试项目包括但不限于精度测试、稳定性测试和应用测试。精度测试应测量试验样品的示值误差、重复精度等性能指标；稳定性测试应考核试验样品在静止状态下的数据波动，即静态稳定性；应用测试应模拟实际使用工况，验证试验样品的功能是否符合产品技术文件的规定。

6.1.2.2 性能测试数据应满足产品技术文件规定的允许极限值。每次复测结果与试验前初始测试结果相比，其示值误差、重复精度等性能指标的变化量不应超过产品技术文件规定的允许变化量。完成每项环境试验后，均应按上述项目进行复测，并记录复测结果。

6.2 气候环境试验

6.2.1 温度冲击试验

6.2.1.1 试验目的

确定试验样品在经受周围大气温度急剧变化（温度冲击）时，是否产生物理损坏或性能下降。

6.2.1.2 试验参数

高温为70℃，温度容差±2℃；低温为-20℃，温度容差±2℃；保温时间为1 h；转换时间不大于3 min；循环次数为5次。一个循环应包括低温暴露、转换至高温、高温暴露、转换至低温四个阶段。

6.2.1.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将处于常温的试验样品，在不包装、不通电、“准备使用”状态，按正确位置放入试验箱内，此时试验箱温度也为常温；
- 按6.2.1.2规定的试验参数设定温度冲击箱程序并启动；
- 在循环结束后，试验样品在标准大气条件下恢复至常温，达到温度稳定后再保持至少1 h；
- 取出试验样品，检查试验样品外观并复测性能。

6.2.1.4 合格判定

外观不应有明显损伤、变形起翘等；复测性能项目包括但不限于精度测试、稳定性测试和应用测试，数据应满足产品技术文件的规定。外观和性能复测均无异常，则判定试验样品通过温度冲击试验。

6.2.2 高温贮存试验

6.2.2.1 试验目的

评价高温贮存条件对试验样品安全性、完整性和性能的影响。

6.2.2.2 试验参数

角位移编码器试验温度为85℃，温度容差±2℃，持续时间为96 h；直线位移编码器试验温度为70℃，温度容差±2℃，持续时间为72 h。试验期间试验样品处于非工作状态。

6.2.2.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将处于常温的试验样品，在不包装、不通电、“准备使用”状态，按正确位置放入试验箱内，此时试验箱温度也为常温；
- 按6.2.2.2规定的试验参数设定温箱程序并启动；
- 达到规定持续时间后，使试验样品在标准大气条件下恢复至常温，达到温度稳定后再保持至少1 h；
- 取出试验样品，检查试验样品外观并复测性能。

6.2.2.4 合格判定

外观不应有明显损伤、变形起翘等；复测性能项目包括但不限于精度测试、稳定性测试和应用测试，数据应满足产品技术文件的规定。外观和性能复测均无异常，则判定试验样品通过高温贮存试验。

6.2.3 低温贮存试验

6.2.3.1 试验目的

评价低温贮存条件对试验样品安全性、完整性和性能的影响。

6.2.3.2 试验参数

角位移编码器试验温度为-40℃，温度容差±2℃，持续时间为96 h；直线位移编码器试验温度为-20℃，温度容差±2℃，持续时间为72 h。试验期间试验样品处于非工作状态。

6.2.3.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将处于常温的试验样品，在不包装、不通电、“准备使用”状态，按正确位置放入试验箱内，此时试验箱温度也为常温；
- 按6.2.3.2规定的试验参数设定温箱程序并启动；
- 达到规定持续时间后，使试验样品在标准大气条件下恢复至常温，达到温度稳定后再保持至少1 h；

——取出试验样品，检查试验样品外观并复测性能。

6.2.3.4 合格判定

外观不应有明显损伤、变形起翘等；复测性能项目包括但不限于精度测试、稳定性测试和应用测试，数据应满足产品技术文件的规定。外观和性能复测均无异常，则判定试验样品通过低温贮存试验。

6.2.4 高温工作试验

6.2.4.1 试验目的

评价高温条件下试验样品通电工作时的安全性和性能稳定性。

6.2.4.2 试验参数

角位移编码器试验温度为70℃，温度容差±2℃，持续时间为72 h；直线位移编码器试验温度为50℃，温度容差±2℃，持续时间为72 h。试验期间试验样品应通电工作，数据采集速率不应低于2400 bit/s。

6.2.4.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将处于常温的试验样品，在不包装、“准备使用”状态，按正确位置放入试验箱内，引出电源线和信号线并连接至试验设备；
- 按6.2.4.2规定的试验参数设定温箱程序并启动；
- 达到目标温度后保持2 h，启动试验样品，待温度稳定后开始接收数据，持续72 h；
- 试验结束后，使试验样品在标准大气条件下恢复至常温，达到温度稳定后再保持至少1 h；
- 取出试验样品，检查试验样品外观并复测性能。

6.2.4.4 合格判定

试验过程中，试验样品应能正常工作，不应出现对极跳变、数据丢失或通信中断等异常；数据带宽增大及稳定性漂移视为正常现象。恢复常温后，外观不应有明显损伤、变形起翘等，复测性能应满足产品技术文件的规定。外观无异常、过程数据采集正常且复测性能合格，则判定试验样品通过高温工作试验。

6.2.5 低温工作试验

6.2.5.1 试验目的

评价低温条件下试验样品通电工作时的安全性和性能稳定性。

6.2.5.2 试验参数

角位移编码器试验温度为-20℃，温度容差±2℃，持续时间为72 h；直线位移编码器试验温度为0℃，温度容差±2℃，持续时间为72 h。试验期间试验样品应通电工作，数据采集速率不应低于2400 bit/s。

6.2.5.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将处于常温的试验样品，在不包装、“准备使用”状态，按正确位置放入试验箱内，引出电源线和信号线并连接至试验设备；
- 按6.2.5.2规定的试验参数设定温箱程序并启动；
- 达到目标温度后保持2 h，启动试验样品，待温度稳定后开始接收数据，持续72 h；
- 试验结束后，使试验样品在标准大气条件下恢复至常温，达到温度稳定后再保持至少1 h；
- 取出试验样品，检查试验样品外观并复测性能。

6.2.5.4 合格判定

试验过程中，试验样品应能正常工作，不应出现对极跳变、数据丢失或通信中断等异常；数据带宽增大及稳定性漂移视为正常现象。恢复常温后，外观不应有明显损伤、变形起翘等，复测性能应满足产品技术文件的规定。外观无异常、过程数据采集正常且复测性能合格，则判定试验样品通过低温工作试验。

6.2.6 高低温循环工作试验

6.2.6.1 试验目的

评价试验样品在高低温交替变化并通电工作条件下的适应性和可靠性。

6.2.6.2 试验参数

角位移编码器：高温70℃，低温-20℃，温度容差均为 ± 2 ℃，暴露时间为1 h，温变速率为1 K/min，循环次数为3次；直线位移编码器：高温50℃，低温0℃，温度容差均为 ± 2 ℃，暴露时间为1 h，温变速率为5 K/min，循环次数为3次。试验期间试验样品应通电工作，数据采集速率不应低于2400 bit/s。

6.2.6.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将试验样品按正确位置放入试验箱内，引出电源线和信号线并连接至试验设备，启动试验样品并确认工作正常；
- 按6.2.6.2规定的试验参数设定温度循环程序并启动，完成规定的循环次数；
- 循环结束后，使试验样品在标准大气条件下恢复至常温，达到温度稳定后再保持至少1 h；
- 取出试验样品，检查试验样品外观并复测性能。

6.2.6.4 合格判定

试验过程中，试验样品不应出现对极跳变、数据丢失或通信中断等异常；数据带宽增大及稳定性漂移视为正常现象。恢复常温后，外观不应有明显损伤、变形起翘等，复测性能应满足产品技术文件的规定。外观无异常、过程数据采集正常且复测性能合格，则判定试验样品通过高低温循环工作试验。

6.2.7 恒定湿热试验

6.2.7.1 试验目的

评价试验样品在高温高湿环境下的耐湿热性能和绝缘可靠性。

6.2.7.2 试验参数

试验温度为85℃，相对湿度为85%，温度容差为 ± 2 K，相对湿度容差为 ± 5 %，试验时间等级为I级（168 h）。试验结束后，试验箱内的温度应按1 K/min的速率升/降至常温，并在常温环境下保持12 h以内。

6.2.7.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将试验样品在不包装、不通电状态，按正确位置放入试验箱内；
- 按6.2.7.2规定的试验参数设定温湿度程序并启动，持续168 h；
- 试验结束后，以1 K/min的速率调节温度至常温，相对湿度降至环境湿度；
- 取出试验样品，在标准大气条件下恢复至常温，达到温度稳定后再保持至少1 h；
- 检查试验样品外观并复测性能。

6.2.7.4 合格判定

外观不应有明显腐蚀、起泡、变形等异常；复测性能项目包括但不限于精度测试、稳定性测试和应用测试，数据应满足产品技术文件的规定。外观和性能复测均无异常，则判定试验样品通过恒定湿热试验。

6.3 机械环境试验

6.3.1 振动试验

6.3.1.1 试验目的

评价试验样品在规定的正弦振动条件下的结构完好性和性能稳定性。

6.3.1.2 试验参数

扫频范围为55 Hz~2000 Hz，频率容差为 $\pm 2\%$ ；加速度为10 g，加速度容差为 $\pm 10\%$ ；振动方向为X、Y、Z三个轴向，每个轴向扫频循环数为1次，对应持续时间为10 min，持续时间容差为 ± 10 s。

6.3.1.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将试验样品刚性安装在振动台上，安装方式应模拟实际使用状态；
- 试验过程中应连续监控试验样品的位置输出和数据通信，不应出现数据丢失或位置跳变；
- 依次在X、Y、Z三个轴向进行扫频振动，每个轴向持续10 min；
- 振动结束后，检查试验样品外观，并测试静态稳定性20 min。

6.3.1.4 合格判定

试验过程中不应出现数据丢失、位置跳变等异常；外观不应有机械损坏、紧固件松动等异常；静态稳定性应满足产品技术文件的规定。若试验后无结构损伤且静态稳定性合格，则判定试验样品通过振动试验。

6.3.2 冲击试验

6.3.2.1 试验目的

评价试验样品承受规定冲击脉冲的能力，验证其在冲击环境下的结构完整性和工作可靠性。

6.3.2.2 试验参数

角位移编码器峰值加速度为100 g，直线位移编码器峰值加速度为40 g；峰值加速度容差和脉冲持续时间容差均为 $\pm 10\%$ ；脉冲持续时间为11 ms；波形为半正弦波；冲击方向为Y、Z（可选）；每个方向冲击次数为3次。

6.3.2.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将试验样品按正常安装方式固定在冲击台上；
- 依次在Y、Z方向施加半正弦波冲击脉冲，每个方向冲击3次；
- 冲击结束后，检查试验样品外观，并测试静态稳定性20 min。

6.3.2.4 合格判定

外观不应有裂纹、变形、零部件脱落等机械损伤；静态稳定性应满足产品技术文件的规定。若试验后无结构损伤且静态稳定性合格，则判定试验样品通过冲击试验。

6.3.3 自由跌落试验

6.3.3.1 试验目的

评价裸机试验样品在使用或维修过程中可能发生的自由跌落冲击的适应性；运输包装状态下的跌落试验按产品包装规范另行进行。

6.3.3.2 试验参数

跌落高度为1000 mm；跌落次数分配见表1。

表 1 跌落次数分配

跌落部位	数量	每部位次数	小计
面	3	2	6
底角	4	2	8
棱边	3	2	6

6.3.3.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将试验样品处于“准备使用”状态，不包装，按规定的面、底角、棱边依次从1000 mm高度自由跌落至混凝土或钢制平滑刚性表面；
- 每次跌落后检查试验样品外观，并记录损伤情况；
- 全部跌落后，测试静态稳定性20 min。

6.3.3.4 合格判定

外观不应有影响功能的损伤、变形；静态稳定性应满足产品技术文件的规定。若试验后无影响功能的损伤且静态稳定性合格，则判定试验样品通过自由跌落试验。

6.4 电磁兼容试验

6.4.1 电快速瞬变群脉冲抗扰度试验

6.4.1.1 试验目的

评价试验样品对电快速瞬变群脉冲的抗扰度。

6.4.1.2 试验参数

电源端口和接地端口（PE）试验等级为3级，电压峰值为2 kV，重复频率为100 kHz；信号端口和控制端口试验等级为3级，电压峰值为1 kV，重复频率为100 kHz。试验等级可根据产品预定使用电磁环境确定；需调整试验等级时，应在产品规范或试验方案中说明依据。试验应依据GB/T 17626.4的规定进行。

6.4.1.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验样品通电工作，并按实际使用状态布置和连线；
- 按照GB/T 17626.4的要求，对电源端口和接地端口施加试验电压，持续时间为120 s，施加次数为1次；
- 对信号端口和控制端口施加试验电压，持续时间为120 s，施加次数为1次；
- 试验过程中监测试验样品的位置输出和通信状态，并记录异常现象。

6.4.1.4 合格判定

试验过程中及试验后，试验样品不应出现对极跳变、数据丢失或通信中断等异常，其功能应保持正常。若满足上述要求，则判定试验样品通过电快速瞬变群脉冲抗扰度试验。

6.4.2 静电放电抗扰度试验

6.4.2.1 试验目的

评价试验样品对直接或间接静电放电的抗扰度。

6.4.2.2 试验参数

接触放电试验等级为3级，试验电压为6 kV；空气放电试验等级为3级，试验电压为8 kV。放电次数各为20次，保持时间为5 s，连续放电时间间隔为1 s。试验等级可根据产品预定使用电磁环境确定；需调整试验等级时，应在产品规范或试验方案中说明依据。试验应依据GB/T 17626.2的规定进行。

6.4.2.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验样品通电工作，并放置在参考接地板上方，按实际使用状态布置和连线；
- 按照GB/T 17626.2的要求，选择试验样品外壳、金属连接器等可触及部位进行接触放电；
- 在不易接触放电的部位进行空气放电；
- 对每个放电点施加规定的放电次数，试验过程中监测试验样品的工作状态。

6.4.2.4 合格判定

试验过程中及试验后，试验样品不应出现复位、数据错误或功能丧失等异常，其输出应保持正确。若满足上述要求，则判定试验样品通过静电放电抗扰度试验。

6.4.3 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验

6.4.3.1 试验目的

评价试验样品直流电源输入端口在电压暂降、短时中断和电压变化条件下的抗扰度。

6.4.3.2 试验参数

电压暂降的试验等级和持续时间为：40 %UT持续0.03 s，70 %UT持续0.1 s；短时中断的试验等级和持续时间为：0 %UT持续0.01 s；电压变化的试验等级和持续时间为：90 %UT和110 %UT，各持续10 s。试验应依据GB/T 17626.29的规定进行。

6.4.3.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验样品在额定电压下通电工作；
- 依次施加电压暂降、短时中断和电压变化试验等级，每项试验至少进行3次，相邻两次试验的间隔时间可为10 s；
- 试验过程中监测试验样品的位置输出和电源状态，并记录异常现象。

6.4.3.4 合格判定

试验期间和试验后，试验样品不应丢失位置信息、出现输出错误或产生不可恢复的故障。若满足上述要求，则判定试验样品通过直流电源输入端口抗扰度试验。

6.4.4 工频磁场抗扰度试验

6.4.4.1 试验目的

评价试验样品在工频磁场环境下的抗扰度。

6.4.4.2 试验参数

稳定持续磁场试验等级为5级，磁场强度为100 A/m；1 s~3 s短时试验等级为5级，磁场强度为1000 A/m。试验应依据GB/T 17626.8的规定进行。

6.4.4.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验样品通电工作，并放置在磁场试验装置的中心区域；

——按GB/T 17626.8的要求，依次施加稳定持续磁场和短时磁场，施加方向应覆盖试验样品的三个轴平面；

——试验过程中监测试验样品的工作状态和输出数据。

6.4.4.4 合格判定

试验过程中及试验后，试验样品不应出现输出跳变、数据错误或功能异常。若满足上述要求，则判定试验样品通过工频磁场抗扰度试验。

6.5 特殊环境试验

6.5.1 盐雾试验

6.5.1.1 试验目的

评价试验样品在盐雾环境中的耐腐蚀能力。

6.5.1.2 试验参数

氯化钠溶液浓度为50 g/L $\pm$ 5 g/L，试验箱内温度为35 $^{\circ}$ C $\pm$ 2 K，试验持续时间为24 h。试验样品与垂直方向成20 $^{\circ}$ $\pm$ 5 $^{\circ}$ 的角度放置。

6.5.1.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将试验样品按规定的角度放置在盐雾箱内，试验样品之间不应相互接触；
- 喷雾持续24 h；
- 试验结束后，取出试验样品，用流动自来水冲洗5 min，清洗用水温度不应超过35 $^{\circ}$ C；
- 在温度为15 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C、相对湿度不高于50 %的环境中恢复1 h $\sim$ 2 h；
- 检查试验样品外观并复测性能。

6.5.1.4 合格判定

外观不应出现影响功能的金属腐蚀或涂层脱落；复测性能应满足产品技术文件的规定。若外观和性能均无异常，则判定试验样品通过盐雾试验。

6.5.2 低气压/真空试验

6.5.2.1 试验目的

评价试验样品在低气压（真空）环境下的工作适应性和密封性能。

6.5.2.2 试验参数

气压压强为2.5 Pa，持续时间为16 h。恢复时气压变化速度不应超过10 kPa/min，恢复时间不少于1 h且不超过2 h。试验期间试验样品应通过密封航空插座通电工作，数据采集速率不应低于2400 bit/s。

6.5.2.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将试验样品放入真空箱内，通过密封航空插座连接电源线和信号线；
- 先采集5 min数据，确认试验样品工作正常；
- 抽真空至2.5 Pa，持续监控数据16 h；
- 试验结束后，以不超过10 kPa/min的速率恢复至大气压，并在标准大气条件下恢复不少于1 h且不超过2 h；
- 取出试验样品，检查试验样品外观并复测性能。

6.5.2.4 合格判定

试验过程中，试验样品不应出现数据中断、对极跳变等异常；外观不应有变形、密封失效等损伤。复测性能应满足产品技术文件的规定，则判定试验样品通过低气压/真空试验。

6.5.3 外壳防护等级试验

6.5.3.1 试验目的

评价试验样品外壳对固体异物和水的防护能力。

6.5.3.2 试验参数

6.5.3.2.1 角位移编码器外壳防护等级不应低于IP67；直线位移编码器在通气状态下不应低于IP64，在未通气状态下不应低于IP53。

6.5.3.2.2 防尘试验参数：金属丝直径为50 μm ，筛孔尺寸为75 μm ，滑石粉用量为2 kg/m^3 ，吹尘循环为5 s吹尘、10 min停止，总持续时间为8 h。

6.5.3.2.3 防水试验参数：外壳高度小于850 mm时，外壳最低点低于水面1000 mm，试验持续时间为30 min；水温与试验样品温差不应大于5 K。

6.5.3.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 按GB/T 4208规定的试验方法进行防尘试验，试验结束后检查壳内是否进入灰尘；
- 按GB/T 4208规定的试验方法进行防水试验，试验结束后检查壳内是否进水；
- 清洁试验样品表面，测试静态稳定性20 min。

6.5.3.4 合格判定

试验样品应满足相应IP等级的防护要求，壳内不应有影响正常工作的灰尘或水进入；静态稳定性应满足产品技术文件的规定。若满足上述要求，则判定试验样品通过外壳防护等级试验。

6.6 长时间运行试验

6.6.1 试验目的

评价试验样品在长时间连续工作条件下的可靠性和性能稳定性。

6.6.2 试验参数

每24 h为一个循环，共进行2个循环，总运行时间为48 h。额定电压为5 V/24 V，工作电压分别为额定电压、0.9倍额定电压和1.1倍额定电压。试验过程中试验样品应连续通电运行，数据采集速率不应低于2400 bit/s。

6.6.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- 试验前，在常温下进行外观检查和性能测试（初始测试）；
- 将试验样品按实际使用状态连接电源线和信号线，在常温环境下通电运行；
- 在2个循环（48 h）内，依次在额定电压、0.9倍额定电压和1.1倍额定电压下运行，每个电压等级运行时间应覆盖至少一个循环内的部分时段；
- 运行过程中每间隔一定时间记录试验样品的位置输出和通信状态；
- 运行结束后，停止供电，使试验样品在标准大气条件下恢复至常温，达到温度稳定后再保持至少1 h；
- 复测性能，确认无异常后，之后每间隔一个月复测一次性能，并记录结果。

6.6.4 合格判定

试验期间，试验样品不应出现对极跳变、数据中断或通信异常；复测性能应满足产品技术文件的规定。若运行过程正常且复测性能合格，则判定试验样品通过长时间运行试验。

7 失效判定与数据处理

7.1 失效分类与判定

7.1.1 失效分类

试验样品的失效按性质分为致命失效、严重失效和轻度失效三类：

- 致命失效：导致试验样品完全丧失测量功能，或对人身安全、设备安全构成威胁的失效；
- 严重失效：导致试验样品主要性能指标超出产品规范允许范围，无法正常工作的失效；
- 轻度失效：不影响试验样品基本功能，但使部分性能参数超出允许范围的失效。

7.1.2 失效判定准则

7.1.2.1 试验样品出现下列任一情况时，判定为失效：

- 在条件试验或恢复过程中出现对极跳变、无输出、输出中断等异常，且不能自行恢复；
- 最后测试时精度、稳定性、应用特性等性能指标不满足该型号产品出货规范的要求；
- 静止状态下的数据波动超出产品技术文件规定的静态稳定性限值；
- 外观出现明显损伤、变形、起翘、涂层脱落等异常；
- 出现危及人身或设备安全的隐患。

7.1.2.2 各项具体试验的合格判定还应符合本文件第6章相应条款的规定。

7.2 数据记录与统计

7.2.1 数据记录要求

试验应建立完整的数据记录。记录内容包括：试验样品的名称、型号、编号及生产批次；各试验项目的条件参数（温度、湿度、气压、振动频率、加速度、峰值电压、持续时间等）；试验设备的名称、型号及校准有效期；试验起止时间和关键节点；原始测量数据、异常现象及处理措施。记录应在试验过程中及时填写，内容应真实、完整、清晰，并由试验人员签字确认。电子记录宜即时保存并定期备份。

7.2.2 数据统计方法

失效数据应以试验样品为单位进行统计。失效率按下式计算：

式中：

- 累积失效数；
- 累积试验时间，单位为小时（h），由各试验样品实际试验时间的总和求得，未失效样品的试验时间按实际试验时长计入。

7.3 可靠性评估

7.3.1 评估指标

可靠性评估指标包括失效率、可靠度和平均无故障工作时间（MTBF）。失效率为试验样品在单位时间内发生失效的概率；可靠度为试验样品在规定条件下、规定时间内完成规定功能的概率；平均无故障工作时间（MTBF）的估计值按累积试验时间与累积失效次数之比计算。

7.3.2 评估结果表达

评估结果应汇总各试验项目的失效情况，包括失效样品数量、失效模式及失效阶段。可靠性指标应给出点估计值，样本量充足时可给出95 %置信水平下的置信区间。评估报告应注明试验条件、样本量、试验持续时间及统计方法，使评估结果具有可追溯性。

8 试验报告

8.1 报告格式要求

8.1.1 报告基本信息

试验报告应包含足够的信息，以保证试验过程的可追溯性和试验结果的可重复性。报告基本信息宜包括：文件编号、试验项目名称、试验依据标准（本文件及适用的引用文件）、试验样品名称与型号规格、样品编号与数量、样品来源及出厂编号、试验日期与完成日期、试验单位名称、试验人员与审核人员签字。报告首页应对试验结果的适用范围作必要说明，明确试验数据仅对所测样品在所述试验条件下的状态有效。

8.1.2 报告内容构成

试验报告的内容应完整、准确，并按照第8.1.1条规定的报告基本信息依次编排。各要素的详略程度可根据试验目的适当调整，但不应缺失必要的信息。

8.1.3 报告签署与存档

试验报告应由试验人员编制、审核人员复核、批准人员审定后加盖试验单位公章或试验专用章。报告中的涂改处应由修改人签字确认。试验原始记录、过程数据文件、曲线图、照片及样品处置记录应随报告一并归档保存，保存期限不应少于5年，或按照产品规范及委托方的要求执行。电子文档应备份并保证可读取。

8.2 结果解释

8.2.1 试验结论判定

试验结论应根据各试验项目的合格判定结果综合得出，分为“合格”和“不合格”两种。所有必做试验项目的结果均满足第6章规定的合格判定要求时，方可判定该试验样品在相应试验项目中合格。试验报告应逐项列出各试验项目的判定依据和判定结果，对于不合格项目，应明确不合格的具体表现及其可能的原因分析。当试验样品出现不合格项时，宜在报告中说明是否允许返修后重新试验，以及重新试验的抽样规则和试验条件。

8.2.2 异常情况处理

试验过程中出现的偏离、故障、环境超差等异常情况，应在报告的“异常情况记录”部分如实记载，包括异常发生的时间、环境参数、样品状态、操作过程及采取的措施。因试验设备故障或环境条件超出允许范围导致试验中断的，该次试验数据应视为无效，并在恢复条件后重新进行试验。当试验样品在条件试验中出现外观损伤或性能异常时，试验人员应保留现场影像和实物证据，在报告中作出明确标识，并由质量部门决定是否继续后续试验或终止试验。
