

T/AIIA

团 体 标 准

T/AIIA XXXX—2026

激光位移测量传感器技术规范

Technical specifications for laser displacement measuring sensors

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

深圳市人工智能产业协会 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

4 分类与命名 2

 4.1 分类 2

 4.2 命名 3

5 要求 3

 5.1 外观与结构 3

 5.2 基本参数 3

 5.3 计量性能 3

 5.4 智能适应功能 4

 5.5 电气性能 4

 5.6 机械性能 5

 5.7 环境适应性 with 可靠性 6

 5.8 电磁兼容性 6

6 试验方法 7

 6.1 试验环境条件 7

 6.2 外观与结构检查 7

 6.3 计量性能试验 7

 6.4 智能适应功能验证 8

 6.5 电气性能试验 8

 6.6 机械性能试验 9

 6.7 环境与可靠性试验 10

 6.8 电磁兼容性试验 11

7 检验规则 12

 7.1 检验分类 12

 7.2 出厂检验 12

 7.3 型式检验 13

8 标志、包装、运输和贮存 14

 8.1 标志 14

 8.2 包装 14

 8.3 运输 14

 8.4 贮存 14

参考文献 16

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。

本文件由深圳市志奋领科技有限公司提出。

本文件由深圳市人工智能产业协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

激光位移测量传感器技术规范

1 范围

本文件规定了激光位移测量传感器的术语和定义、分类与命名、要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于利用激光三角反射原理或光谱共焦原理，对物体位移、厚度、振动、轮廓、距离等几何量进行非接触测量的工业用激光位移测量传感器（以下简称传感器）。

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 191 包装储运图示标志
- 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 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
- 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 2423.55-2023 环境试验 第2部分：试验方法 试验Eh：锤击试验
- GB/T 2423.60-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验U：引出端及整体安装件强度
- GB/T 24343-2009 工业机械电气设备 绝缘电阻试验规范
- GB/T 24344-2009 工业机械电气设备 耐压试验规范
- GB/T 2828.1-2012 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验计划
- GB/T 4208-2017 外壳防护等级(IP代码)
- GB/T 4857.7-2005 包装 运输包装件基本试验 第7部分：正弦定频振动试验方法
- GB/T 7247.1-2024 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求
- GB/T 7665 传感器通用术语
- GB/T 14048.10-2016 低压开关设备和控制设备 第5-2部分：控制电路电器和开关元件 接近开关
- GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.4-2018 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 17626.6-2017 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 17626.8-2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.29-2006 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
- JJF 1305 线位移传感器校准规范
- ISO 11146-1:2021 激光和激光相关设备 激光束宽度、发散角和光束传输比的测试方法 第1部分：无像散和简单像散光束 (Lasers and laser-related equipment - Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios - Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams)
- ISO 25178-602:2010 产品几何技术规范(GPS) 表面结构：区域法 第602部分：非接触(共焦色差探头)仪器的标称特性 (Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Areal - Part 602: Nominal characteristics of non-contact (confocal chromatic probe) instruments)

3 术语和定义

GB/T 7665界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

激光位移测量传感器 laser displacement measuring sensor

利用激光技术,通过三角反射法或光谱共焦法等原理,将探测目标的位移变化转换为电信号输出的装置。

[来源:GB/T 7665-2005, 3.2.1.7, 有改写]

3.2

激光三角测量 laser triangulation

利用激光源照射被测物体表面,通过成像系统接收漫反射光,根据光斑在成像器件上的位置变化,利用三角几何关系计算位移量的方法。

3.3

测量范围 measuring range

传感器能够保证规定准确度的最大位移测量区间。通常以量程(F.S.)表示。

[来源:GB/T 7665-2005, 3.5.1.7, 有改写]

3.4

工作距离 working distance

传感器探头端面到测量范围中心位置的距离。

3.5

线性度 linearity

校准曲线与规定直线的一致程度。通常用最大偏差与满量程输出的百分比表示

[来源:GB/T 7665-2005, 3.5.1.51, 有改写]

注:计算方法参考 JJF 1305,通常采用最小二乘法拟合直线作为参考直线

3.6

重复性 repeatability

在相同测量条件下,对同一被测目标进行连续多次测量所得结果之间的一致性。

[来源:GB/T 7665-2005, 3.5.1.12, 有改写]

3.7

温度误差 temperature error

在规定的工作温度范围内,由于温度变化而引起的被测量值输出的误差,通常以%F.S./°C表示。

[来源:GB/T 7665-2005, 3.5.1.62, 有改写]

3.8

回差 hysteresis

对于具有开关量输出的传感器,在测量范围内的同一点,正行程动作值与反行程复位值之间的差值。

[来源:GB/T 7665-2005, 3.5.1.56, 有改写]

4 分类与命名

4.1 分类

4.1.1 按接收光路原理分类(一级分类):

- a) 漫反射型:接收被测物体表面漫反射光的传感器。适用于金属、陶瓷、橡胶等大多数非镜面物体的测量。
- b) 正反射型:接收被测物体表面镜面反射光的传感器。适用于玻璃、抛光金属、晶圆等高反光或透明物体的测量。

4.1.2 按测量范围和光斑大小分类(二级分类):

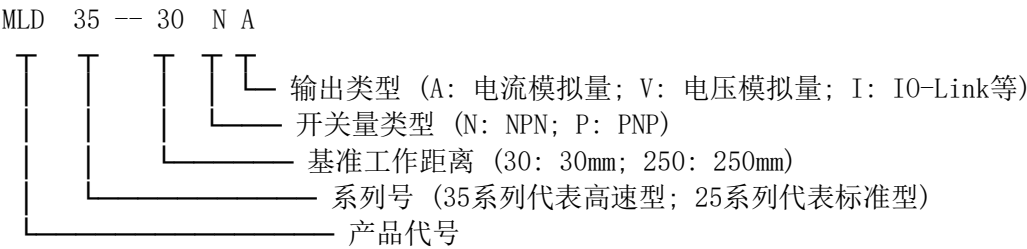
- a) 按测量范围分类:
 - 1) 短量程型:测量范围 $\leq 100\text{mm}$;
 - 2) 中量程型: $100\text{mm} < \text{测量范围} \leq 400\text{mm}$;
 - 3) 长量程型:测量范围 $> 400\text{mm}$ 。
- b) 按光斑大小分类(在基准距离处的光斑尺寸):
 - 1) 微光斑型:光斑直径 $\leq 100\mu\text{m}$,适用于微小目标或细节特征的精密测量;

- 2) 标准光斑型：100μm<光斑直径≤1000μm，适用于一般工业测量场景；
- 3) 线光斑型：光斑呈线状或椭圆形，长轴尺寸>1000μm，适用于表面粗糙、有纹理或需要平均化处理的物体测量。

4.2 命名

产品命名应包含厂商代码、传感器系列号、基准距离、输出类型等信息。

示例：



5 要求

5.1 外观与结构

5.1.1 外观

- 5.1.1.1 传感器表面应光洁、无锈蚀、无机械损伤，涂层均匀，文字符号标志清晰。
- 5.1.1.2 接插件连接应可靠，无松动。
- 5.1.1.3 传感器本体：
 - 若具备显示屏，显示应清晰、无缺笔少划；
 - 若具备状态指示灯，指示应准确、亮度均匀。

5.1.2 结构与外壳强度

- 5.1.2.1 传感器应由光机系统、处理单元、接口电路及外壳组成。
- 5.1.2.2 外壳结构应坚固、密封。
- 5.1.2.3 外壳表面应能承受一定的机械压力，按 6.6.1 试验后，外壳不应产生永久变形或开裂，内部元件不应松动。

5.1.3 接口

- 5.1.3.1 传感器应具备标准的电气接口，包括：
 - 电源接口；
 - 模拟量输出接口；
 - 数字量通信接口。
- 5.1.3.2 接口定义应清晰标识。

5.2 基本参数

基本参数应符合产品技术规格书的规定，包括但不限于：

- a) 供电电压：通常为 12V DC~ 24V DC；
- b) 光束特性：使用红色激光，光功率应符合产品标称值及激光安全等级要求：
 - 1) 光斑直径：应符合 4.1.2 中的分类定义；
 - 2) 激光安全等级：应符合 GB 7247.1-2024 的 2 类 Class 2。
- c) 重量：应符合产品规格书的规定。

5.3 计量性能

5.3.1 线性度

传感器的线性度误差应满足以下产品标称指标：

- a) 短量程型：线性度误差 $\leq \pm 0.05\%$ F.S.；
- b) 中量程型：线性度误差 $\leq \pm 0.08\%$ F.S.；
- c) 长量程型：线性度误差 $\leq \pm 0.1\%$ F.S.。

5.3.2 重复性

在静态条件下，对标准被测物进行至少200个数据点的连续测量，其测量值的标准偏差（ σ ）的3倍应根据测量范围和光斑大小满足表1的要求。

表1 重复性要求

	微光斑型 / 标准光斑型	线光斑型
短量程型	$\leq 5\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
中量程型	$\leq 20\mu\text{m}$	$\leq 40\mu\text{m}$
长量程型	$\leq 50\mu\text{m}$	$\leq 100\mu\text{m}$

注：线光斑型传感器主要用于粗糙表面的平均化测量，在标准光滑表面上的静态重复性指标允许相对于点光斑型适当放宽。

5.3.3 分辨率

传感器能检测到的最小位移变化量，应优于重复性指标。

5.3.4 采样周期

传感器的采样周期应 $\leq 500\mu\text{s}$ 。

5.3.5 测量范围与工作距离

传感器在标称的工作距离和测量范围内，应能正常输出测量值，且满足线性度要求。

5.3.6 预热时间

传感器通电后，达到规定计量性能指标所需的时间应 $\leq 15\text{min}$ 。

5.3.7 温度误差

在规定的工作温度范围内，温度误差系数应 $\leq \pm 0.08\%$ F.S./ $^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.8 回差

对于具备开关量输出功能的传感器，其回差应满足以下要求：

- a) 功能要求：传感器应具备回差设置功能，以防止输出信号抖动；
- b) 性能要求：实测回差值与设定值的偏差应符合产品规格书的规定。

5.4 智能适应功能

5.4.1 材料适应性

传感器应具备对不同材质的适应能力。当被测物表面反射率发生显著变化时，传感器应能保持测量数据的连续性和稳定性，无异常跳变或报错。

5.4.2 信号处理功能

传感器应具备内置数据处理功能，包括但不限于平均滤波、中值滤波，且能有效剔除异常测量点，平滑测量数据。

5.4.3 参数配置功能

传感器应具备参数设定功能，用于调整测量模式、滤波参数、输出范围等，其中：

- a) 具备显示面板的传感器，应能通过本体按键进行参数设定；
- b) 不具备显示面板的传感器，应能通过外部接口进行参数设定。

5.5 电气性能

5.5.1 电源适应性与功耗

当供电电压在额定值的85%~110%范围内变化时，传感器应能正常工作。
空载电流应 $\leq 100\text{mA}$ ，带载额定电流应 $\leq 500\text{mA}$ 。

5.5.2 绝缘电阻

电源输入端与外壳之间的绝缘电阻应 $\geq 50\text{M}\Omega$ 。

5.5.3 介电强度

电源输入端与外壳之间应能承受 1000V AC，历时1min，期间漏电流应 $< 0.1\text{mA}$ ，且无击穿或飞弧。

5.5.4 电路保护

传感器应具备以下保护功能：

- a) 电源逆极性保护：电源正负极反接不损坏；
- b) 输出短路保护：输出端短路或过载不损坏，故障移除后恢复；
- c) 输出过载保护：当负载电流超过额定值的 1.2 倍时，传感器应启动保护，故障移除后恢复。

5.5.5 输出特性

5.5.5.1 开关量输出

包括：

- 输出逻辑可切换或选型；
- 输出负载能力应符合标称值；
- 输出电压降应 $\leq 1.5\text{V}$ ；
- 漏电流应 $\leq 0.1\text{mA}$ 。

5.5.5.2 模拟量输出

5.5.5.2.1 输出范围

包括：

- a) 电流：4mA ~ 20mA；
- b) 电压：0V ~ 5V 或 0V ~ 10V（或按产品规格）。

5.5.5.2.2 输出精度

模拟量输出值与标称值的误差应 $\leq \pm 0.5\% \text{ F.S.}$ 。

5.5.5.2.3 负载阻抗

电流输出时负载 $\leq 500\Omega$ ；电压输出时负载 $\geq 10\text{k}\Omega$ （或按产品规格）。

5.5.5.3 通信协议

Modbus/IO-Link 等通信协议应符合相应标准，数据传输准确无误。

5.6 机械性能

5.6.1 外壳机械强度

传感器外壳表面应能承受一定的机械压力。按6.6.1试验后，外壳不应产生永久变形、开裂或涂层剥落，内部元件不应松动，计量性能应符合5.3的要求。

5.6.2 线缆组件拉拔强度

对于自带尾缆（Pigtail）的传感器，其线缆连接处应具备足够的抗拉强度。按6.6.2试验后，线缆表皮不应破裂，导线不应断路，密封件及连接件应完好，通信及供电应正常。

5.6.3 线缆组件抗弯曲性能

对于自带尾缆的传感器，其线缆应具备抗弯曲的能力。按6.6.3试验后，线缆不应断路，护套不应开裂，通信及供电应正常。

5.6.4 线缆组件抗摇摆性能

对于自带尾缆的传感器，其线缆应具备抗反复摇摆的能力。按6.6.4试验后，线缆不应断路，护套不应开裂，绝缘性能和功能应正常。

5.6.5 线缆组件抗扭转性能

对于自带尾缆的传感器，其线缆应具备抗扭转的能力。按6.5.5试验后，线缆不应断路，护套不应开裂，密封件及连接件应完好，绝缘性能和功能应正常。

5.6.6 线缆组件推力性能

对于自带尾缆的传感器，其线缆连接处应具备足够的抗推力强度。按6.5.6试验后，线缆端口密封件及线缆不应有位移，功能应正常。

5.7 环境适应性与可靠性

5.7.1 温度适应性

传感器在按6.7.1进行低温和高温试验（含存储与运行）时，应能正常工作。恢复常温后，其外观和计量性能应符合要求。

5.7.2 湿热适应性

传感器在按6.7.2进行恒定湿热试验（含存储与运行）时，应能正常工作。恢复常温后，其外观和计量性能应符合要求，其中：

- a) 恒定湿热（存储）：试验后外观无腐蚀，绝缘电阻合格；
- b) 恒定湿热（运行）：试验期间产品功能正常。

5.7.3 温度变化

传感器在按6.7.3进行温度变化试验后，应无机械损伤，功能及性能应符合5.3的要求。

5.7.4 振动

传感器在按6.7.4进行振动试验后，结构应无松动或损坏，计量性能应符合5.3的要求。

5.7.5 冲击

传感器在按6.7.5进行冲击试验后，结构应无松动或损坏，计量性能应符合5.3的要求。

5.7.6 外壳防护等级

传感器的防护等级应不低于IP67。

5.7.7 抗环境光干扰

传感器在3000Lx的白炽灯或10000Lx的太阳光光照下，其测量值偏移量应不超过 0.1% F.S.。

5.7.8 可靠性

产品的平均无故障工作时间（MTBF）应不低于17500小时。

5.7.9 运输包装件性能

传感器在包装状态下，应能承受运输过程中的跌落和振动。按6.7.9试验后，包装不应有严重破损，传感器外观及功能应正常。检测距离变化应小于10% F.S.，功能应正常，绝缘耐压应符合5.5.2和5.5.3的要求。

5.8 电磁兼容性

5.8.1 静电放电抗扰度

传感器应能承受接触放电 $\pm 4\text{kV}$ ，空气放电 $\pm 8\text{kV}$ 的干扰。

5.8.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度

传感器电源端口应能承受 $\pm 2\text{ kV}$ 的脉冲群干扰；信号端口应能承受 $\pm 2\text{ kV}$ 的脉冲群干扰。

5.8.3 传导抗扰度

传感器应能承受按GB/T 17626.6规定的传导骚扰。

5.8.4 工频磁场抗扰度

传感器应能承受按GB/T 17626.8规定的工频磁场干扰。

5.8.5 电压暂降和短时中断抗扰度

传感器应能承受按GB/T 17626.29规定的电压暂降和中断干扰，试验期间或试验后，传感器功能应能自动恢复，参数不丢失。

5.8.6 变频器干扰

传感器在变频器驱动的电机电附近工作时，输出信号应稳定，无异常跳变。

6 试验方法

6.1 试验环境条件

除另有规定外，试验应在以下条件下进行：

- a) 温度： $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：30%~75%；
- c) 大气压力：86 kPa~106 kPa；
- d) 预热时间： ≥ 30 分钟。

6.2 外观与结构检查

6.2.1 外观检查

采用目测法和手感检查。用蘸有中性清洁剂的棉纱擦拭表面，检查是否有锈蚀、划痕、变形，标识是否清晰。检查接插件连接是否牢固。

6.2.2 版本检查

应通过显示屏、标签或上位机软件读取并核对产品的硬件及软件版本号。

6.2.3 外壳强度试验

使用标准试验指或推力计，对外壳主要表面施加规定的压力，保持 10s，检查外壳是否变形或开裂。

6.3 计量性能试验

6.3.1 线性度试验

按照JJF 1094-2011规定的方法进行。在测量范围内按等间距选取至少11个测试点，每个测试点的示值应取连续采集的不少于200组数据的算术平均值。进行正行程和反行程测量，计算线性度误差。

6.3.2 重复性试验

按照JJF 1094-2011规定的方法进行。在静态条件下，对同一被测目标进行连续至少200次测量。计算测量值的实验标准偏差 s ，取正负 $3s$ 作为重复性。

6.3.3 分辨率试验

在静态条件下,利用精密微动台使传感器与被测物之间产生微小位移,记录传感器输出值发生变化的最小输入位移量。

6.3.4 采样周期试验

按照GB/T 14048.10-2016中8.5的规定进行。测定传感器的动作频率 f ,采样周期 $T = 1/f$ 。

6.3.5 测量范围与工作距离试验

使用位移台将传感器移动至标称工作距离的远端和近端,验证传感器是否能正常输出信号且无报警,同时连接上位机软件,确认上位机显示数值与位移台移动距离是否步进一致。

6.3.6 温度误差试验

将传感器置于高低温试验箱中,按GB/T 2423.1(试验Ad)和GB/T 2423.2(试验Be)的规定进行,其中:

- a) 程序:将电源电压调至额定值的上限和下限,分别在-10℃和+45℃下保持 2h;
- b) 检测:计算低温/高温下相对常温的测量值变化率。

6.3.7 光斑大小试验

按ISO 11146-1:2021的规定,其中:

- a) 测试条件:将传感器固定,调整位置使其处于基准工作距离处,光束垂直入射至光束分析仪或相机靶面;
- b) 数据处理:依据 ISO 11146-1 规定的二阶矩方法计算光斑直径 d_σ 。

6.4 智能适应功能验证

6.4.1 材料适应性验证

在测量光路中,快速交替放置不同材质的被测物,观察传感器输出信号是否连续稳定,无长时间的跳变或报错,且数据输出均在规格允许范围内。

6.4.2 信号处理功能验证

通过软件开启内置滤波功能,在外部对传感器施加多种干扰,对比开启前后的波形平滑度。

6.4.3 参数配置设定验证

通过面板按键或外部接口修改参数,断电重启后读取参数,验证是否保存成功。

6.5 电气性能试验

6.5.1 电源适应性试验

调节直流稳压电源,使输入电压分别处于额定电压的85%和110%,判断传感器是否能正常工作。

6.5.2 绝缘电阻试验

按照GB/T 24343-2009的规定进行,其中:

- a) 测试电压:500V DC;
- b) 施加时间: $\geq 30s$;
- c) 测试点:电源输入端与外壳之间。

6.5.3 介电强度试验

按照GB/T 24344-2009的规定进行,其中:

- a) 测试电压:1000V AC;
- b) 施加时间: $\geq 10s$;
- c) 测试点:电源输入端与外壳之间。

6.5.4 电路保护试验

按照GB/T 14048.10-2016中8.3.4的规定进行, 其中:

- a) 电源逆极性保护: 将电源正负极反接, 保持 1min。恢复正确连接后, 检查传感器功能是否正常;
- b) 输出短路保护: 将输出端与 0V 或 VCC 短接, 保持 1min。断开短路后, 检查传感器输出功能是否恢复正常;
- c) 输出过载保护: 使用电子负载, 将输出电流设定为额定电流的 1.2 倍, 保持 1min。过载移除后, 检查传感器是否恢复正常工作。

6.5.5 输出特性试验

6.5.5.1 开关量输出测试

连接额定负载, 使传感器处于动作状态, 测量输出端电压降。使传感器处于复位状态, 测量漏电流。

6.5.5.2 模拟量输出测试

将传感器连接到高精度数字万用表以及额定负载, 调节传感器使其分别输出量程的下限值、中点值和上限值, 记录万用表的实测示值, 并计算其与标称值的偏差。

6.6 机械性能试验

6.6.1 外壳强度试验

按GB/T 2423.55-2023中试验Ehc的规定进行, 其中:

- a) 冲击能量: 0.5J;
- b) 等效质量: 0.25kg;
- c) 跌落高度: 200mm;
- d) 程序: 将样品放置在刚性支撑平台上, 使用钢球从指定高度自由跌落至外壳最大表面的中心部位, 共冲击 3 次;
- e) 辅助导向装置: 应采取有效的导向措施, 以保障钢球跌落轨迹的垂直性。
- f) 检测: 试验后观察外壳有无破裂或永久变形。

6.6.2 线缆组件拉拔试验

按GB/T 2423.60-2008中试验Ua1的规定进行, 其中:

- a) 程序: 沿着电缆引线轴线方向, 施加拉力到绝缘外壳或引出端上;
- b) 拉力值:
 - 1) 当电缆直径 $d \geq 8\text{mm}$ 时, 拉力 $F=160\text{N}$;
 - 2) 当电缆直径 $d < 8\text{mm}$ 时, 拉力 $F=20 \times d (\text{N})$ 。
- c) 持续时间: 1min;
- d) 检测: 试验后检查线缆表皮、密封件、端口及连接件有无损坏, 功能是否正常。

6.6.3 线缆组件弯曲试验

按GB/T 2423.60-2008中试验Ub的方法1的规定进行, 其中:

- a) 负重: 3kg;
- b) 程序: 电缆进口轴线处于铅垂位置, 在离电缆端口 1m 处悬挂重物。将样品向一侧倾斜 90° , 保持 1min; 然后向相反方向倾斜 90° , 保持 1min;
- c) 检测: 试验后检查线缆表皮、密封件及连接件有无损坏。

6.6.4 线缆组件摇摆试验

6.6.4.1 应将线缆固定在摇摆试验机上, 施加 800g 负载。

6.6.4.2 应设定摆动角度 $\pm 60^\circ$, 速率 25~30 次/min, 循环次数 800 次。

6.6.4.3 试验后应检查线缆外皮有无破损, 导线是否断路, 通信是否正常。

6.6.5 线缆组件扭转试验

按照GB/T 2423.60-2008规定的试验Uc进行，其中：

- d) 严酷等级：扭转角度 360°；
- e) 限制条件：试验过程中的力矩不应超过 0.1 N·m；
- f) 程序：距离电缆端口 100mm 处施加扭转。施加力矩使电缆旋转，直至角度达到 360°。如果在达到该角度之前，施加的力矩已达到 0.1 N·m，则应停止施加扭转，视为达到要求。顺时针和逆时针各保持 1min；
- g) 检测：试验后检查线缆表皮、密封件、端口及连接件有无损坏，功能是否正常。

6.6.6 线缆组件推力试验

按照 GB/T 2423.60-2008 规定的试验Ua2进行，其中：

- a) 推力值：20 N；
- b) 程序：沿着电缆引线的轴线方向距离电缆端口 2mm 处施加推力。缓慢增加力至规定值，保持 1min；
- c) 检测：试验后检查电缆端口密封件及线缆有无位移，功能是否正常。

6.7 环境与可靠性试验

6.7.1 温度适应性试验

6.7.1.1 低温存储

按GB/T 2423.1-2008中试验Ab的规定进行，其中：

- a) 温度：-20℃；
- b) 持续时间：2h；
- c) 是否通电：否；
- d) 检测时间：恢复常温 1h 后。

6.7.1.2 高温存储

按GB/T 2423.2-2008中试验Bb的规定进行，其中：

- a) 温度：+60℃；
- b) 持续时间：2h；
- c) 是否通电：否；
- d) 检测时间：恢复常温 1h 后。

6.7.2 湿热适应性试验

按GB/T 2423.3-2016的规定进行，其中：

- a) 恒定湿热（存储）：
 - 温度：40℃ ± 2℃；
 - 相对湿度 93% ± 3%；
 - 持续时间：2d；
 - 是否通电：否；
 - 检测时间：恢复常温1h后。
- b) 恒定湿热（运行）：
 - 温度：40℃ ± 2℃；
 - 相对湿度：85% ± 3%；
 - 是否通电：是。
 - 持续时间：24h；

6.7.3 冷热冲击试验

按GB/T 2423.22-2012中试验Na的规定进行，其中：

- a) 双箱法：一个温箱设定为-20℃，另一个设定为+60℃；
- b) 转换时间：<30s；

- c) 保持时间：每种温度下至少保持 1h；
- d) 循环次数：20 次；
- e) 检测：试验结束后，检测距离、外观、绝缘阻值及耐电压。

6.7.4 振动试验

按GB/T 14048.10-2016中7.4.2的规定进行。

6.7.5 冲击试验

按GB/T 14048.10-2016中7.4.1的规定进行。

6.7.6 外壳防护等级试验

按GB/T 4208-2017中IP67等级的规定进行，其中：

- a) 标准防护试验：按 GB/T 4208-2017 的规定进行 IP6X 防尘试验和 IPX7 防水试验；
- b) 气密性检测：作为防水性能的补充验证，应进行气密性测试，其中：
 - 1) 测试压力：12kPa；
 - 2) 充气时间：30s；
 - 3) 保压时间：15s。

6.7.7 抗环境光干扰试验

按GB/T 14048.10-2016中8.4.2规定的方法进行，其中：

- a) 条件：常温环境；
- b) 光源设置：白炽灯或模拟太阳光：
 - 1) 动作距离 ≤ 400 mm：光源轴线与参考轴线成 $15^\circ \sim 45^\circ$ 照射靶标；
 - 2) 动作距离 > 400 mm：光源轴线与参考轴线成 $15^\circ \sim 45^\circ$ 照射受光面。
- c) 照度：白炽灯 3000 lx，太阳光 10000 lx；
- d) 程序：在规定照度下，以 ≤ 1 mm/s 速度移动靶标进入感应区，测量检测距离。

6.7.8 可靠性试验

选取不少于20台样品，在额定工作条件下连续运行规定时间，试验过程中应定期对样品进行性能检测，记录故障数。

6.7.9 运输包装件试验

按GB/T 4857.7-2005的方法B的规定进行，其中：

- a) 频率：5Hz；
- b) 试验时间：X、Y、Z 各 60min。

6.8 电磁兼容性试验

6.8.1 静电放电抗扰度试验

按GB/T 17626.2-2018的规定进行，其中：

- a) 严酷等级：接触放电 ± 4 kV，空气放电 ± 8 kV；
- b) 程序：在每个选定的试验点上，至少施加 10 次单次放电，连续单次放电之间的时间间隔至少为 1 s。放电电极应离开受试设备，清除电荷后再触发；
- c) 间接放电：对水平耦合板（HCP）和垂直耦合板（VCP）进行放电。

6.8.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按GB/T 17626.4-2018的规定进行，其中：

- a) 电源端口：通过耦合/去耦网络（CDN）注入，试验等级 ± 2 kV，重复频率 5 kHz 或 100 kHz；
- b) 信号/控制端口：通过电容耦合夹注入，试验等级 ± 2 kV，重复频率 5 kHz 或 100 kHz。

6.8.3 射频传导抗扰度试验

按GB/T 17626.6-2017的规定进行，其中：

- a) 试验等级：3；
- b) 频率范围：150 kHz~230 MHz；
- c) 调制：1 kHz 80% AM；
- d) 注入方式：电源端口采用 CDN，信号端口采用电磁钳。

6.8.4 工频磁场抗扰度试验

按GB/T 17626.8-2006的稳定试验磁场试验等级5的规定进行。

6.8.5 电压暂降和短时中断抗扰度试验

按GB/T 17626.29-2006的规定进行。

6.8.6 变频器干扰试验

将传感器置于运行中的磁场最强处，将变频器运行频率在0~40Hz范围内扫频或驻留，观察传感器输出信号。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品检验应分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 组批

出厂检验以同一次投料、同一工艺条件下生产的产品为一个检验批。

7.2.2 检验项目

7.2.2.1 全检项目

包括：
——外观与结构；
——基本参数；
——计量性能。

7.2.2.2 抽检项目

包括：
——智能适应功能；
——电气性能；
——机械性能；
——环境与可靠性；
——电磁兼容性。

7.2.3 抽样方案

7.2.3.1 全检项目

应对每台产品进行100%检验。

7.2.3.2 抽检项目

采用GB/T 2828.1-2012规定的正常检验一次抽样方案，一般检查水平II，接收质量限(AQL)应为0.65。

7.2.4 缺陷分类与判定规则

7.2.4.1 缺陷分类

根据缺陷的严重程度，将不合格项分为以下三类：

- a) 致命缺陷 (Critical Defect)：可能导致人身伤害、财产损失，或导致产品在安全、EMC 等方面不符合强制性标准要求，或导致产品主要功能完全丧失的缺陷；
- b) 严重缺陷 (Major Defect)：产品主要计量性能指标超出规定，或关键功能不满足要求，实质性降低产品使用性能的缺陷；
- c) 轻微缺陷 (Minor Defect)：对产品的使用性能影响较小，仅外观、包装或次要参数轻微偏离规定的缺陷。

7.2.4.2 出厂检验判定

7.2.4.2.1 全检项目判定

若发现致命缺陷或严重缺陷，该产品判定为不合格；

若仅发现轻微缺陷，允许进行返工处理。返工后需重新进行全检，合格者判为合格品；无法返工或返工后仍不合格的，判为不合格品。

7.2.4.2.2 抽检项目判定

采用GB/T 2828.1规定的正常检验一次抽样方案，一般检查水平II；

接收质量限 (AQL)：严重缺陷 AQL = 0.65，轻微缺陷 AQL = 1.0（致命缺陷通常不允许在抽检中出现，AQL 可视为 0 或极低）；

根据样本检验结果，若累计不合格数 \leq 接收数 (Ac)，且无致命缺陷，判定该批次抽检项目合格；否则判定不合格。

7.2.5 结果处置

不合格品处置

致命缺陷或严重缺陷的不合格品：应进行隔离，并按不合格品流程报废或由专人处理，严禁直接返工混入合格品；

轻微缺陷的不合格品：允许进行返工处理，返工后需重新进行全检，合格者判为合格品。

7.2.5.1 不合格批处置

若因致命缺陷导致整批不合格，该批次产品应隔离，通常应作报废处理或进行严格的全数筛选，并查明原因采取纠正措施；

若因严重缺陷或轻微缺陷超标导致整批不合格，由质检部门判定是否进行全数重检筛选或全数返工。返工后的批次必须进行加严检验。

7.2.5.2 合格品处置

经检验判定为合格的产品，方可进行包装入库。

7.3 型式检验

7.3.1 检验条件

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 新产品试制定型鉴定；
- 正式生产后，结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- 正常生产时，每两年进行一次；
- 产品停产一年以上恢复生产时；
- 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。

7.3.2 抽样方案

从出厂检验合格的批次中随机抽取30台样品进行检验。

7.3.3 检验项目

型式检验项目应包含本文件第5章规定的所有技术要求。

7.3.4 判定规则

7.3.4.1 合格判定

若所有样品的检验项目均符合要求，则判定本次型式检验合格。

若出现的轻微缺陷经返工或整改后，复检合格，亦判定为合格。

7.3.4.2 缺陷分类处理

7.3.4.2.1 轻微缺陷

当样品出现轻微缺陷时，允许对该样品按规定进行返工或整改处理。整改后仅需对不合格项目进行复检，复检合格则判定该项通过，不涉及对整批次产品的复检。

7.3.4.2.2 严重缺陷

当样品出现严重缺陷时，判定本次型式检验不合格。制造单位应分析原因，对产品进行设计或工艺改进，修改后应重新抽取样品进行型式检验，直至检验合格。

7.3.4.2.3 致命缺陷

当样品出现致命缺陷时，直接判定本次型式检验不合格，立即停止生产或验收，不予复检。

7.3.5 处置

7.3.5.1 型式检验合格

方可进行产品定型或继续批量生产。

7.3.5.2 型式检验不合格

对于判定为严重缺陷的不合格，必须在完成质量改进并重新通过型式检验后，方可恢复生产或交付。

对于判定为致命缺陷的不合格，应立即停止生产，查明原因并采取根本性纠正措施，在未消除安全或重大质量隐患前，不得再次提交型式检验。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

产品机身应有清晰铭牌，包括但不限于：

- 型号；
- 规格；
- 电源参数；
- 接线定义；
- 符合 GB 7247.1-2024 的激光安全警示标志；
- 制造商名称。

8.2 包装

8.2.1 包装应符合防震、防潮、防尘要求。

8.2.2 包装箱外应标示“小心轻放”、“怕湿”、“向上”等储运图示标志，并符合 GB/T 191 的规定。

8.2.3 箱内应附有产品合格证、使用说明书及装箱单。

8.3 运输

运输过程中应避免雨雪淋袭、剧烈震动和机械撞击。

8.4 贮存

产品应贮存在通风良好、无腐蚀性气体、温度-20℃~70℃、相对湿度≤85%的仓库内。

参 考 文 献

- [1] GB/T 20485.11-2006 振动与冲击传感器校准方法 第11部分：激光干涉法振动绝对校准
 - [2] ISO 10360-8:2013 Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS) – Part 8: CMMs with optical distance sensors
 - [3] ISO 17123-4:2012 Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 4: Electro-optical distance meters
 - [4] ISO 1101:2017 Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out
 - [5] ISO 21920-2:2021 Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters
 - [6] JB/T 10080.2-2011 光栅线位移测量系统 第2部分：光栅线位移传感器
 - [7] JB/T 11503-2013 球栅线位移传感器
 - [8] ASTM E2558-13 Standard Test Method for Determining Particulate Matter Emissions from Fires in Wood-Burning Fireplaces (参考其标准编写格式)
-