



中华人民共和国国家标准

GB/T 39347—2020

空间用光纤光栅传感系统通用规范

General specification for fiber bragg grating sensing system for space application

2020-11-19 发布

2021-06-01 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 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 要求 1

 4.1 总则 1

 4.2 产品组成与功能 1

 4.3 尺寸 2

 4.4 质量 2

 4.5 材料及元器件 3

 4.6 外观质量 3

 4.7 标识和代号 3

 4.8 性能 3

 4.9 接口 4

 4.10 环境适应性 4

 4.11 电磁兼容性 8

5 质量保证规定 11

 5.1 检验分类 11

 5.2 检验条件 12

 5.3 鉴定检验 12

 5.4 准鉴定检验 13

 5.5 交收检验 14

 5.6 检验方法 14

6 交货准备 18

 6.1 文件 18

 6.2 防护包装 18

 6.3 运输和贮存 18

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本标准起草单位:中国航天科技集团有限公司第九研究院第十三研究所。

本标准主要起草人:王学锋、卞贺明、蓝天、唐才杰、崔留住、李保勇、贾益娟。



空间用光纤光栅传感系统通用规范

1 范围

本标准规定了空间用光纤光栅传感系统的要求、质量保证规定与交货准备。

本标准适用于空间用光纤光栅传感系统(以下简称光纤光栅传感系统)的研制、生产、检验和验收。其他光纤光栅传感系统可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用必不可少的。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 191 包装储运图示标志
- GB/T 2423(所有部分) 电工电子产品环境试验
- GB/T 13992 金属粘贴式电阻应变计
- GB/T 30121 工业铂热电阻及铂感温元件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光纤光栅传感系统 fiber bragg grating sensing system

利用光纤光栅中心波长随温度、应变的变化规律,通过解调电路进行采集和解算,实现对被测物体温度、应变等物理量进行测量的设备。

4 要求

4.1 总则

光纤光栅传感系统应符合本标准和相关技术文件的所有要求。本标准的要求与相关技术文件不一致时,应以相关技术文件为准。

4.2 产品组成与功能



4.2.1 组成

光纤光栅传感系统由光纤光栅传感器、光纤光栅解调仪和连接光缆组成。其中,光纤光栅解调仪由光学系统、主体结构、解调电路、二次电源等组成,光学系统、解调电路、二次电源均安装在主体结构内部;连接光缆用于连接光纤光栅传感器和光纤光栅解调仪。光纤光栅传感系统组成如图 1 所示。

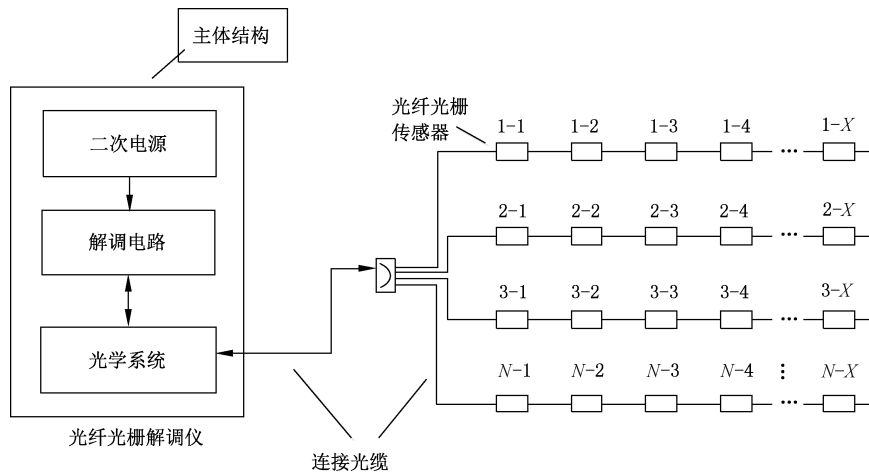


图 1 光纤光栅传感系统组成

4.2.2 功能

光纤光栅传感系统利用光纤光栅的中心波长和温度/应变的对应关系,通过解调电路得到并输出航天器待测结构的温度、应变等信息。

4.3 尺寸

4.3.1 光纤光栅解调仪尺寸

光纤光栅解调仪外形尺寸建议不大于 $(200\pm 1)\text{mm} \times (200\pm 1)\text{mm} \times (160\pm 1)\text{mm}$ 。

4.3.2 光纤光栅传感器尺寸

光纤光栅温度传感器尺寸建议不大于 $(40\pm 1)\text{mm} \times (10\pm 0.5)\text{mm} \times (4\pm 0.3)\text{mm}$ 。

光纤光栅应变传感器尺寸建议不大于 $(40\pm 1)\text{mm} \times (10\pm 0.5)\text{mm} \times (4\pm 0.3)\text{mm}$ 。

4.3.3 连接光缆尺寸

连接光缆直径应满足相关技术文件的要求。

4.4 质量

4.4.1 光纤光栅解调仪质量

光纤光栅解调仪质量建议不大于 2.5 kg。

4.4.2 光纤光栅传感器质量

光纤光栅温度传感器质量建议不大于 10 g。

光纤光栅应变传感器质量建议不大于 10 g。

4.4.3 连接光缆质量

连接光缆单位质量建议不大于 0.2 g/cm,光缆单位质量应满足相关技术文件的要求。

4.5 材料及元器件

4.5.1 材料

材料应在规定的选用目录中选用,并具有合格证,经复检合格后方可使用。结构材料应具有稳定的理化性能和力学性能。建议采用同类金属材料,使用不同类型的材料时应考虑电化学腐蚀的可能性。

4.5.2 元器件

元器件应按相关规定进行复验和筛选。元器件的降额应符合相关技术文件降额准则的要求。如特殊情况需选用目录外或较低质量等级的元器件,则应采取针对性的质量保证措施。

4.6 外观质量

光纤光栅传感系统外观应满足以下要求:

- a) 外表面、安装基准面应清洁,无污迹和绝缘粘着物,无划痕、无损伤或残缺;
- b) 表面涂覆层应无划伤、脱落、锈蚀、起泡;
- c) 金属结构件无锈蚀,安装在光纤光栅传感系统上的螺钉完好;
- d) 电连接器应标识清晰,插针完好无弯曲,无多余物,插孔无堵塞;
- e) 光纤连接器接口表面应洁净、无污斑及划痕。

4.7 标识和代号

光纤光栅传感系统外表面显著位置应设置产品标识。其内容包括:产品代号、产品编号、产品批次等。产品的标识、印记应清晰,并放于明显处,无短缺字符现象。

4.8 性能

4.8.1 测量范围

光纤光栅传感系统的温度测量范围宜大于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$,应变测量范围宜大于 $-2\ 500\ \mu\epsilon\sim+2\ 500\ \mu\epsilon$,当有特殊要求时,以相关技术文件为准。

4.8.2 测量分辨率

光纤光栅传感系统的温度测量分辨率优于 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;应变测量分辨率优于 $2\ \mu\epsilon$ 。

4.8.3 测量精度

光纤光栅传感系统的温度测量精度应优于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$;应变测量精度宜优于全量程的 1% 。

4.8.4 解调仪光谱范围

光谱范围宜在 $1\ 500\text{ nm}\sim 1\ 600\text{ nm}$ 选取。

4.8.5 解调仪光纤通道数目

光纤光栅传感系统的光纤通道数目应满足相关技术文件的要求。

4.8.6 解调仪采样率

光纤光栅解调仪采样率建议不小于 10 Hz 。

4.8.7 解调仪工作温度范围

光纤光栅解调仪的工作温度范围应满足相关技术文件的要求,建议为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.8.8 搭接和绝缘

搭接、绝缘应满足以下要求:

- a) 壳体与接地桩、安装孔与接地桩直流接触电阻应不大于 $10\text{ m}\Omega$;
- b) 当环境温度在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim35\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度在 $20\%\sim80\%$,大气压力为标准大气压时,壳体与内部一次电源输入、二次电源之间、电连接器非接地的芯点与接点桩的绝缘电阻应不小于 $20\text{ M}\Omega$ 。

4.8.9 电源及功耗

一次电源电压建议为 $28\text{ V}\pm3\text{ V}$ 、 $42\text{ V}\pm5\text{ V}$ 或 $100\text{ V}\pm10\text{ V}$ 。功耗宜小于 15 W 。

4.9 接口

4.9.1 电接口

供电、遥测、遥控、数字和地测接口应满足相关技术文件的要求。接口电路应有电压/电流保护功能。数据输出接口建议为 RS-422/1553B,电连接器各点号间的功能应满足相关技术文件的要求。

4.9.2 机械接口

光纤光栅传感系统安装基面的详细尺寸图上应标明各种孔的大小、深度、位置、尺寸公差。

4.9.3 热接口

光纤光栅解调仪应开展热接口设计,工作温度和表面处理应符合相关技术文件的要求。

光纤光栅解调仪内部热源应有所需的隔热措施或是外流到外壳的路径。解调仪应进行热分析,给出元器件结温或壳温的最高值和最低值,并与允许的降额温度进行比较,判断是否满足温度降额要求。

光纤光栅解调仪表面状态建议为黑色阳极氧化,半球发射率不小于 0.85 。

4.10 环境适应性

4.10.1 力学环境

4.10.1.1 加速度试验

光纤光栅传感系统建议经过表 1 中的加速度试验考核。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

表 1 光纤光栅传感系统加速度要求

正交的三个方向	加载速率 s^{-1}	最大过载处保持时间 min
10 g	$1\text{ g}\sim5\text{ g}$	5

4.10.1.2 冲击试验

光纤光栅传感系统建议经过表 2 中的冲击试验考核。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

表 2 光纤光栅传感系统冲击要求

频率/Hz	鉴定级	准鉴定级	交收级
100~1 500	+6 dB/oct	+6 dB/oct	+6 dB/oct
1 500~4 000	1 600 g	1 200 g	800 g
试验次数	鉴定 3 次	准鉴定 1 次	交收 1 次
试验方向	正交的三个方向	正交的三个方向	正交的三个方向

4.10.1.3 振动试验

光纤光栅传感系统建议经过表 3、表 4、表 5 或表 6 中的振动试验考核。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

表 3 光纤光栅传感系统正弦扫描振动要求

振动 试验	垂直安装面方向		平行安装面方向	
	频率/Hz	量级(σ-p)	频率/Hz	量级(σ-p)
正弦 扫描	5~17	10.3 mm	5~16	9.7 mm
	17~100	12 g	16~100	10 g
	扫描速率	鉴定检验 2 oct/min; 准鉴定检验及交收检验 4 oct/min	扫描速率	鉴定检验 2 oct/min; 准鉴定检验及交收检验 4 oct/min

表 4 光纤光栅传感系统高频随机振动功率谱密度要求(鉴定条件)

振动 试验	垂直安装面方向		平行安装面方向	
	频率/Hz	量级(σ-p)	频率/Hz	量级(σ-p)
随机 振动	10~200	+6 dB/oct	10~200	+6 dB/oct
	200~1 500	0.32 g ² /Hz	200~1 500	0.20 g ² /Hz
	1 500~2 000	-12 dB/oct	1 500~2 000	-12 dB/oct
	总均方根加速度	23.0 g	总均方根加速度	18.3 g
	试验持续时间	1 min/轴	试验持续时间	1 min/轴

表 5 光纤光栅传感系统高频随机振动功率谱密度要求(准鉴定条件)

振动 试验	垂直安装面方向		平行安装面方向	
	频率/Hz	量级(σ-p)	频率/Hz	量级(σ-p)
随机 振动	10~200	+6 dB/oct	10~200	+6 dB/oct
	200~1 500	0.20 g ² /Hz	200~1 500	0.127 g ² /Hz
	1 500~2 000	-12 dB/oct	1 500~2 000	-12 dB/oct
	总均方根加速度	18.4 g	总均方根加速度	14.6 g
	试验持续时间	1 min/轴	试验持续时间	1 min/轴

表 6 光纤光栅传感系统高频随机振动功率谱密度要求(交收条件)

振动 试验	垂直安装面方向		平行安装面方向	
	频率/Hz	量级(o-p)	频率/Hz	量级(o-p)
随机 振动	10~200	+6 dB/oct	10~200	+6 dB/oct
	200~1 500	$0.13 g^2/\text{Hz}$	200~1 500	$0.082 g^2/\text{Hz}$
	1 500~2 000	-12 dB/oct	1 500~2 000	-12 dB/oct
	总均方根加速度	14.5 g	总均方根加速度	11.6 g
	试验持续时间	1 min/轴	试验持续时间	1 min/轴

4.10.2 热环境

4.10.2.1 温度循环试验

光纤光栅解调仪温度循环试验条件如下：

- a) 大气压力：标准大气压；
- b) 温度： $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ （解调仪工作温度范围大于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，应按该解调仪实际工作温度范围确定试验温度）；
- c) 升、降温平均变化速率： $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min} \sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；
- d) 循环次数：
 - 1) 22.5 次（鉴定检验）；
 - 2) 12.5 次（准鉴定检验、交收检验）。

4.10.2.2 热真空试验

光纤光栅解调仪的热真空试验条件如下：

- a) 循环次数：鉴定检验为 6.5 次，准鉴定检验、交收检验为 3.5 次；
- b) 真空度：不低于 $1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ；
- c) 温度变化率：不小于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；
- d) 一次热真空试验条件见图 2，其他按相关技术文件中的要求执行。

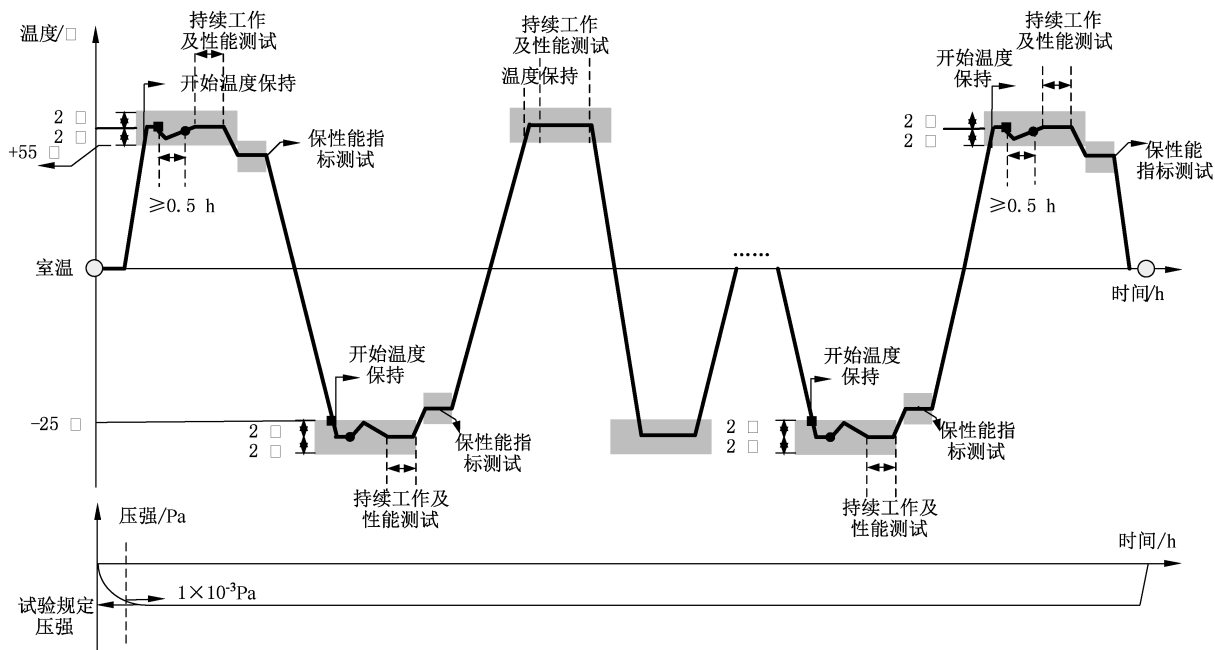


图 2 热真空试验条件

4.10.3 真空放电

光纤光栅解调仪在通电条件下进行试验,试验过程中不应出现放电现象(飞弧和电晕):

- a) 环境压力:由正常环境压力逐渐降到 1.3 Pa;
- b) 试验时间:环境压力从常压下降到 1.3 Pa 的时间不少于 10 min,保持时间为 5 min。

4.10.4 静电放电

光纤光栅解调仪直接放电采取±5 kV 的电压值进行试验,间接放电采取±10 kV 的电压值进行试验。放电频率为 1 次/1 s。每点(面)30 次。

4.10.5 抗辐照

光纤光栅传感系统能承受电离总剂量应根据航天器的轨道高度和使用寿命确定。元器件和材料的承受电离总剂量的优选限值为 100 krad(Si)~150 krad(Si),使用的元器件和材料的耐受电离总剂量的能力建议不低于 20 krad(Si)。在部分元器件或材料不能满足航天器电离总剂量要求时,应针对具体器件或材料进行防护设计。

光纤光栅解调仪内的元器件应具备单粒子翻转(SEU)和单粒子锁定(SEL)的防护能力,防护能力要求如下:

- a) 抗单粒子翻转(SEU)要求:单粒子翻转阈值大于 37 MeV · cm²/mg 的器件,可直接选用,但应考虑重离子引起的单粒子翻转,并根据评估结果做好防护措施;单粒子翻转阈值小于 37 MeV · cm²/mg 应进行充分的系统抗单粒子翻转防护设计,并对防护效果进行评估。
- b) 抗单粒子锁定要求:单粒子锁定阈值大于 75 MeV · cm²/mg 的器件,可直接选用,但应考虑非单粒子引起的锁定;单粒子锁定阈值在 37 MeV · cm²/mg~75 MeV · cm²/mg 的器件,应进行充分的系统防护设计,并对防护效果进行评估。

4.11 电磁兼容性

4.11.1 辐射发射(RE102)

光纤光栅解调仪的辐射发射限值建议满足图 3 中的指标要求。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

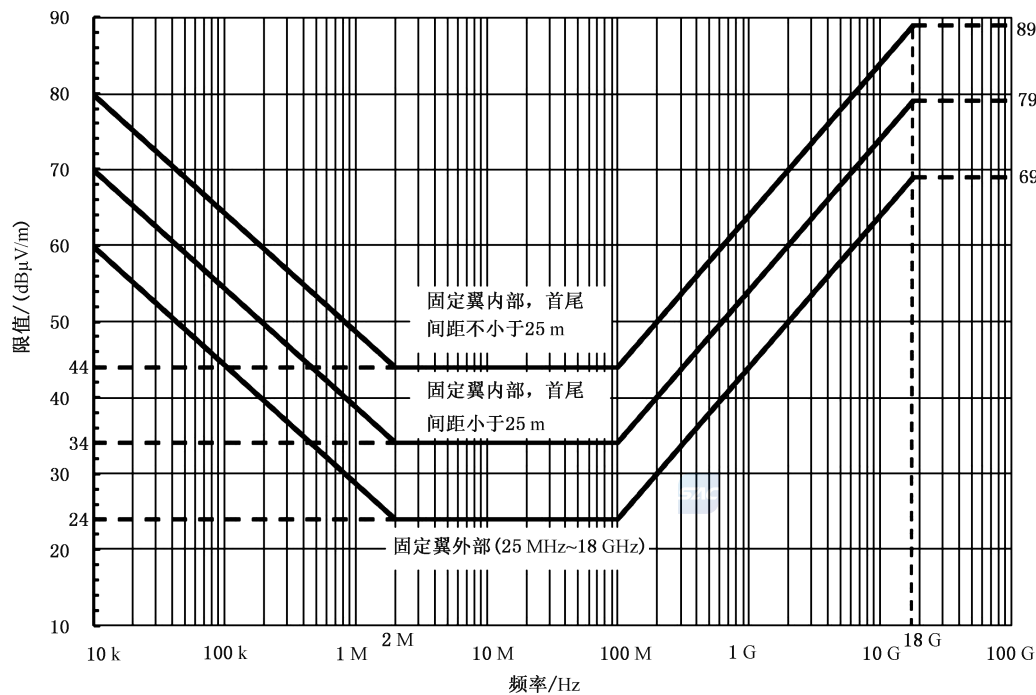


图 3 RE102 限值

4.11.2 辐射敏感度(RS103)

光纤光栅解调仪的辐射场强限值建议满足表 7 中的指标要求。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

表 7 RS103 限值

频率	限值/(V/m)
10 kHz~40 GHz	20

4.11.3 电源线传导发射(CE102)

光纤光栅解调仪的电源线传导发射限值建议满足图 4 中的指标要求。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

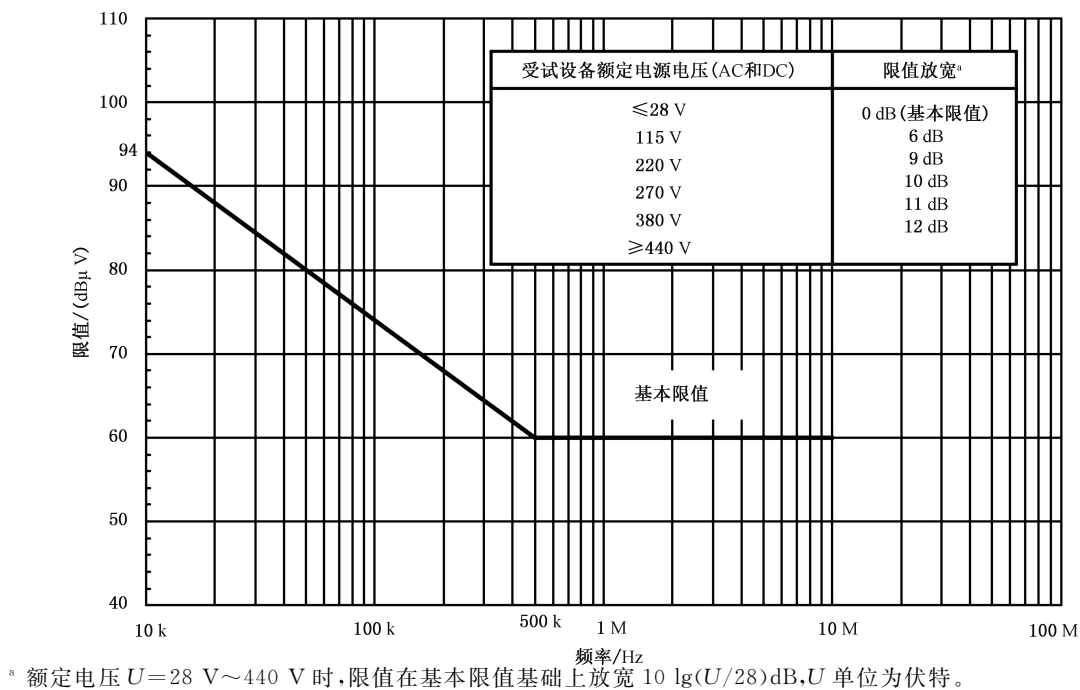


图 4 CE102 限值

4.11.4 电源线瞬态传导发射(CE107)

光纤光栅解调仪随开关操作而产生的开关瞬态传导发射不应超过额定电压的+50%、-150%。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

4.11.5 电源线传导敏感度(CS101)

光纤光栅解调仪的电源线传导敏感度限值建议满足图 5 中的指标要求。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

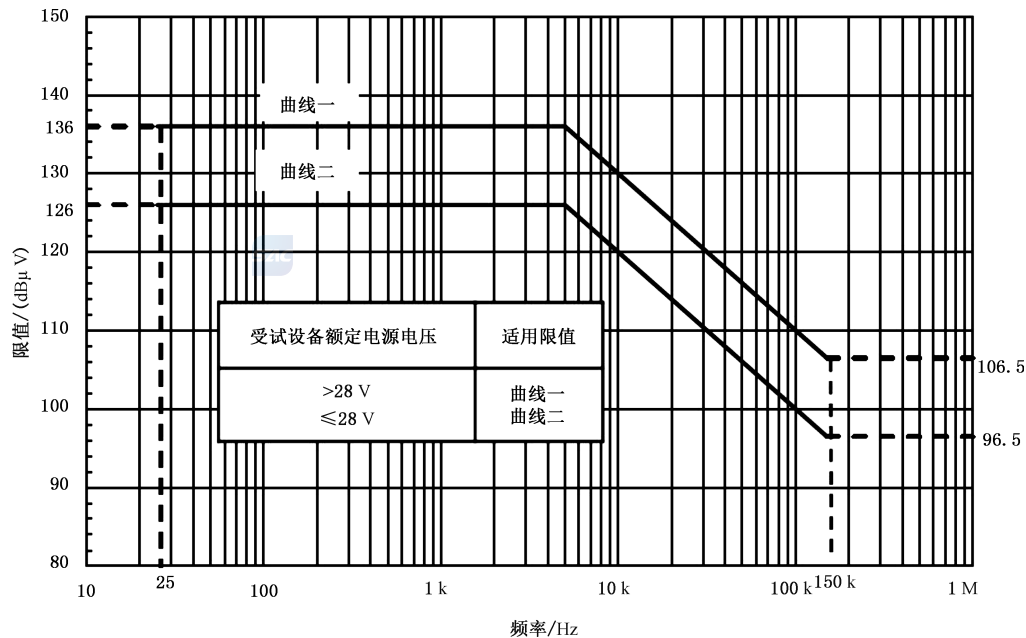


图 5 CS101 电压限值

4.11.6 电缆束注入传导敏感度(CS114)

光纤光栅解调仪的电缆束注入传导敏感度检验限值建议满足图 6 中曲线的指标要求。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

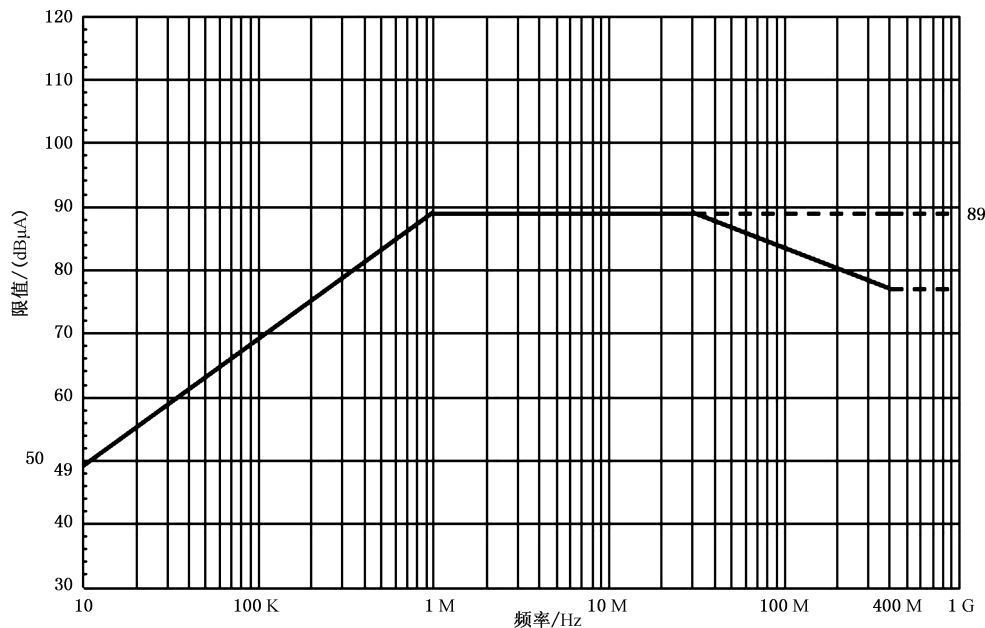


图 6 CS114 校验限值

4.11.7 电缆束注入脉冲激励传导敏感度(CS115)

光纤光栅解调仪的电缆束注入脉冲激励传导敏感度要求为： $I=5\text{ A}$ ，重复频率 30 Hz，驻留时间 1 min 的指标要求，注入脉冲激励波形如图 7。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

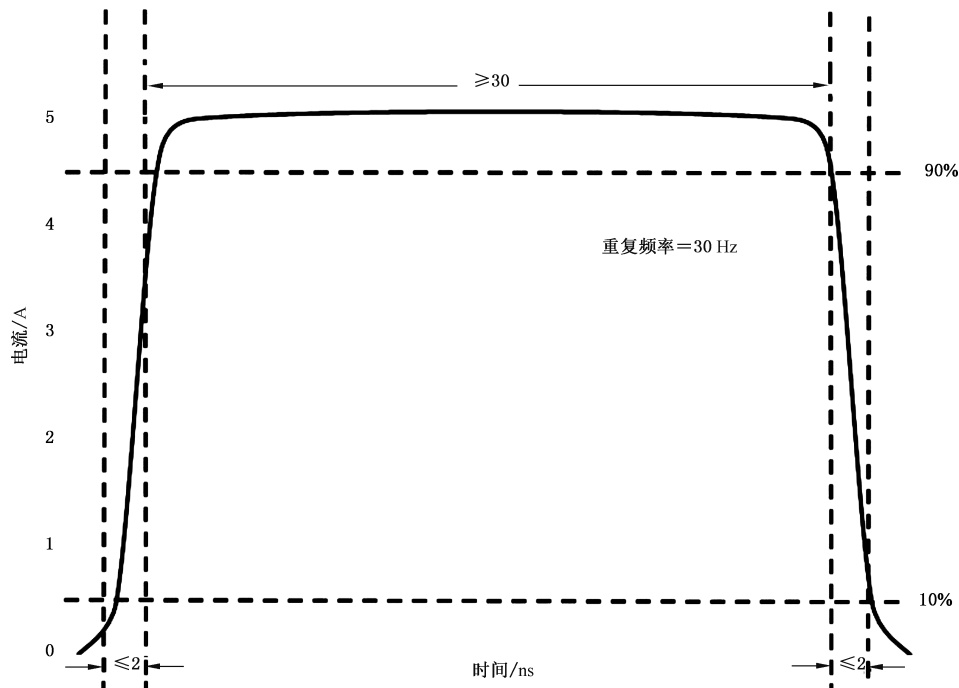


图 7 CS115 波形

4.11.8 辐射发射电缆和电源线阻尼正弦瞬变传导敏感度(CS116)

光纤光栅解调仪按图 8 规定的信号波形和图 9 规定的峰值电流 I_P 进行试验,光纤光栅解调仪不应出现任何故障、性能降低或偏离规定的指标值。至少应在 0.01 MHz、0.1 MHz、1 MHz、10 MHz、30 MHz、100 MHz 频率上进行试验。试验信号的重复率为 0.5 个脉冲/s~1 个脉冲/s。在每个频率点应施加脉冲 5 min。有特殊要求时应满足相关技术文件规定。

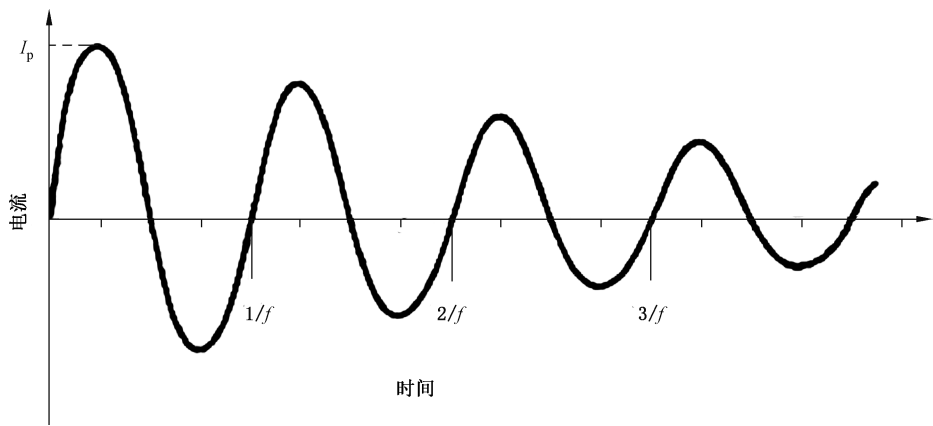


图 8 CS116 阻尼正弦波形

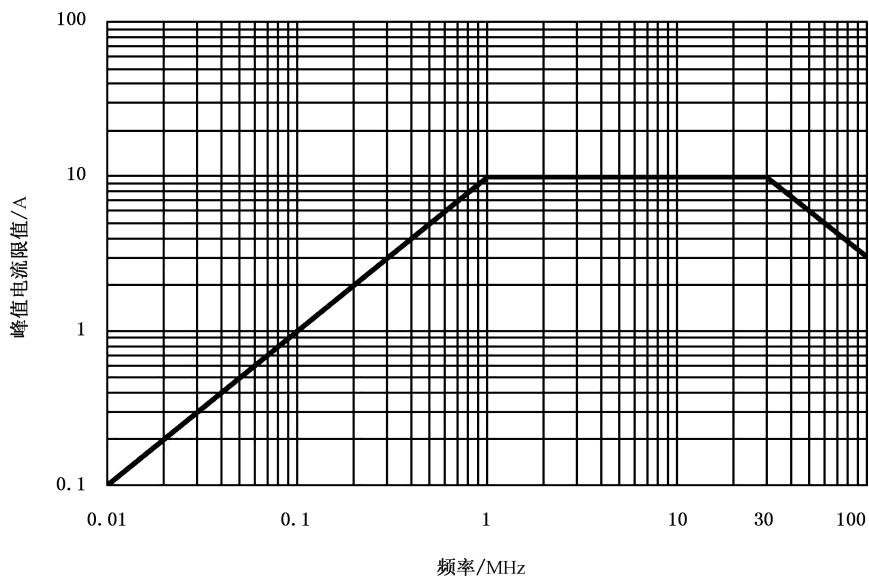


图 9 CS116 限值

5 质量保证规定

5.1 检验分类

本标准规定的检验分类如下：

- a) 鉴定检验；
- b) 准鉴定检验；

c) 交收检验。

5.2 检验条件

5.2.1 检验环境

检验环境应满足以下要求：

- a) 温度：15℃～35℃；
- b) 相对湿度：20%～80%；
- c) 大气压力：标准大气压；
- d) 应有良好的接地及防静电措施。

5.2.2 仪器、设备

检验用仪器、仪表和测试装置应满足如下要求：

- a) 凡检验产品所使用的仪器、仪表、设备及工装均应有计量部门认可的合格证，并在计量检验的有效期内使用；
- b) 仪器、仪表和测试装置的不确定度和量程应优于产品的不确定度和量程要求。

5.3 鉴定检验

5.3.1 鉴定检验时机

出现下列情况之一时，应进行鉴定检验：

- a) 产品定型后，应抽取一套产品进行鉴定检验；
- b) 主要工艺、材料或设计变更时；
- c) 产品转厂生产时；
- d) 产品停产3年后，恢复生产时；
- e) 有关质量监督机构或订货方提出鉴定要求时。

5.3.2 检验项目

鉴定检验的检验项目、要求和方法见表8。

表 8 检验项目、要求及检验方法

序号	检验项目	鉴定检验	准鉴定检验	交收检验	要求章条号	检验方法章条号
1	尺寸	●	●	●	4.3	5.6.1
2	质量	●	●	●	4.4	5.6.2
3	材料及元器件	●	●	●	4.5	5.6.3
4	外观质量	●	●	●	4.6	5.6.4
5	标识和代号	●	●	●	4.7	5.6.5
6	测量范围	●	●	●	4.8.1	5.6.6
7	测量分辨率	●	●	●	4.8.2	5.6.7
8	测量精度	●	●	●	4.8.3	5.6.8
9	解调仪光谱范围	●	●	●	4.8.4	5.6.9
10	解调仪光纤通道数目	●	●	●	4.8.5	5.6.10

表 8（续）

序号	检验项目	鉴定检验	准鉴定检验	交收检验	要求章条号	检验方法章条号
11	解调仪采样率	●	●	●	4.8.6	5.6.11
12	解调仪工作温度范围	●	●	●	4.8.7	5.6.12
13	搭接和绝缘	●	●	●	4.8.8	5.6.13
14	电源及功耗	●	●	●	4.8.9	5.6.14
15	电接口	●	●	●	4.9.1	5.6.15
16	机械接口	●	●	●	4.9.2	5.6.16
17	热接口	●	●	●	4.9.3	5.6.17
18	加速度	●	—	—	4.10.1.1	5.6.18
19	冲击	●	—	—	4.10.1.2	5.6.19
20	振动	●	●	●	4.10.1.3	5.6.20
21	温度循环	●	○	○	4.10.2.1	5.6.21
22	热真空	●	●	●	4.10.2.2	5.6.22
23	真空放电	●	●	●	4.10.3	5.6.23
24	静电放电	●	●	●	4.10.4	5.6.24
25	抗辐照	●	—	—	4.10.5	5.6.25
26	电磁兼容性	●	—	—	4.11	5.6.26
27	防护包装	●	●	●	6.2	5.6.27
注：●必检项目；○订购方和承制方协商检验项目；—不检项目。						

5.3.3 合格判据

表 8 规定的所有检验项目均符合要求，则判定为鉴定检验合格，并由承制方提供合格认证，否则判为鉴定检验不合格。

5.4 准鉴定检验

5.4.1 准鉴定检验时机

已通过鉴定检验、而后又进行了较小的适应性修改的产品，需要进行准鉴定检验。

5.4.2 检验项目

准鉴定检验的检验项目、要求和方法见表 8。

5.4.3 合格判据

表 8 规定的所有检验项目均符合要求，则判定为准鉴定检验合格。第一次检验中如某项不符合要求，允许返修后再次进行检验。修复部分进行局部检验合格后从该检验的开始点继续进行检验，但出现故障的检验不计入有效检验。总的返修次数应不超过两次，否则判检验不合格。当第二次检验全部符合要求时，可判定为检验合格。通过准鉴定检验的产品不再做交收检验，可出厂交付。

5.5 交收检验

5.5.1 受检数量

交付使用的光纤光栅解调仪应 100% 进行交收检验。

交付使用的光纤光栅温度传感器应 100% 进行交收检验。

交付使用的光纤光栅应变传感器应抽取 5% 进行交收检验。

5.5.2 检验项目

交收检验的检验项目、要求和方法见表 8。

5.5.3 合格判据

表 8 规定的所有检验项目均符合要求,则判定为交收检验合格。第一次检验中如某项不符合要求,允许返修后再次进行检验。修复部分进行局部检验合格后从该检验的开始点继续进行检验,但出现故障的检验不计入有效检验。总的返修次数应不超过两次,否则判检验不合格。当第二次检验全部符合要求时,可判定为检验合格。

5.6 检验方法

5.6.1 尺寸

光纤光栅传感器及光纤光栅解调仪用刻度精度不低于 0.05 mm 的量具检查,光纤光栅传感器的连接光缆用刻度精度不低于 1 mm 的量具检查。

5.6.2 质量

用精度不低于 10 g 的衡器检查。

5.6.3 材料及元器件

检查整机原材料清单、单板元器件清单、整机质量跟踪卡以及单板的电子装联过程记录表。

5.6.4 外观质量

在正常照明条件下,用目视方法检查外观及光学表面(用 2.5 倍放大镜检查电连接器插针及插孔)。

5.6.5 标识和代号

用目视方法检查光纤光栅传感系统标识和代号。

5.6.6 测量范围

使用高精度电子温度计在温箱中测试光纤光栅传感系统的温度测量范围,使用应变校准装置测试光纤光栅传感系统的应变测量范围。

5.6.7 测量分辨率

根据光纤光栅传感系统输出数据的噪声水平确定光纤光栅传感系统的测量分辨率。

5.6.8 测量精度

将光纤光栅温度传感器与标准铂电阻温度计一起置入恒温槽或温箱内,恒温 30 min 后进行测量。

光纤光栅温度传感器精度评价按 GB/T 30121 执行。使用应变校准装置测试光纤光栅传感系统的应变测量精度,光纤光栅应变传感器精度评价按 GB/T 13992 执行。

5.6.9 解调仪光谱范围

根据解调仪的光学系统设计报告和测试报告,确认工作光谱范围及工作光谱范围内的光谱强度。

5.6.10 解调仪光纤通道数目

将光纤光栅传感系统的各光纤通道与测试用光纤光栅传感器相连接,观察光纤光栅传感系统输出信号能否正常指示各光纤通道上的测试用光纤光栅传感器。

5.6.11 解调仪采样率

光纤光栅解调仪的采样率通过上位机采集数据的时间戳进行判别。

5.6.12 解调仪工作温度范围

将光纤光栅传感系统放在热真空或热循环试验设备中进行测试。

5.6.13 搭接和绝缘

搭接和绝缘按以下方法进行检验:

- a) 使用毫欧表测量,按相关技术文件中的要求检查搭接电阻;
- b) 使用兆欧表测量,按相关技术文件中的要求检查绝缘电阻。

5.6.14 电源及功耗

电源及功耗按以下方法进行检验:

- a) 按相关技术文件的电压条件测试功耗;
- b) 接通光纤光栅传感系统一次电源,用数字万用表或其他在线测量仪表测量一次电源电压和电流,功耗计算见公式(1):

$$P = U \times I \dots\dots\dots (1)$$

式中:
P ——功耗,单位为瓦特(W);
U ——电压,单位为伏特(V);
I ——电流,单位为安培(A)。

5.6.15 电接口

电接口按以下方法进行检验:

- a) 用数字万用表按相关技术文件规定测量光纤光栅传感系统对外电连接器的特征电阻;
- b) 连接光纤光栅传感系统与专用测试设备,启动光纤光栅传感系统及专用测试设备,用专用设备检测相关技术文件规定的电连接器功能;
- c) 检查光纤光栅传感系统输出接口方式的相关文件。

5.6.16 机械接口

机械接口按以下方法进行检验:

- a) 用通用计量仪器和量具,检测安装定位面形状、位置公差、安装孔的位置及偏差;
- b) 用游标卡尺测量光纤光栅传感器和光纤光栅解调仪的外形极限尺寸。

5.6.17 热接口

热接口按以下方法进行检验：

- a) 检查产品表面处理结果证明；
- b) 用游标卡尺测量安装面实际尺寸。

5.6.18 加速度

加速度试验按 GB/T 2423 中的规定进行。

5.6.19 冲击

冲击试验按 GB/T 2423 中的规定进行。

5.6.20 振动

振动试验按 GB/T 2423 中的规定进行。

5.6.21 温度循环



温度循环试验按以下测试步骤进行：

- a) 将光纤光栅传感系统安装在热循环试验设备中，用测试校验合格的电缆与专用测试仪连接。
- b) 启动光纤光栅传感系统，测试平均电流及功耗，检测各检测点输出信号。
- c) 启动热循环设备，按相关技术文件规定进行循环试验。试验中检测平均电流、功耗、各检测点信号和功能。
- d) 试验结束后，测试光纤光栅传感系统平均电流、功耗、各检测点输出信号，并测试功能。

5.6.22 热真空

热真空试验按以下测试步骤进行：

- a) 将光纤光栅传感系统安装在热真空试验设备中，用测试校验合格的电缆与专用测试仪连接。
- b) 热真空试验设备自带温度传感器安装在外壳规定的位置。
- c) 将光纤光栅温度传感器与热真空试验设备自带温度传感器放置在同一位置，进行对比测试。
- d) 启动光纤光栅传感系统，测试平均电流及功耗，检测各光纤光栅传感器输出信号。
- e) 启动真空设备，按相关技术文件规定进行循环试验。试验中检测平均电流、功耗、各光纤光栅传感器信号和功能。
- f) 试验结束后，测试光纤光栅传感系统平均电流、功耗、各光纤光栅传感器输出信号，并测试功能。

5.6.23 真空放电

真空放电试验按以下测试步骤进行（该项试验可结合热真空试验一起进行）：

- a) 将光纤光栅传感系统放入真空试验箱中，按要求贴好测温传感器，监测系统外壳在试验过程中的温度状态，在常温常压下按规定供给额定电流和电压，进入工作状态 30 min，进行性能测试并记录。
- b) 保持光纤光栅传感系统处于通电状态，将热真空箱抽至真空状态，从常压到 1.3 Pa 的降压过程不少于 10 min。降压过程中，当压力在 758 Pa 附近时，最容易出现真空放电，因此应放慢降压速度，直至每次过程结束，监视光纤光栅传感系统是否发生放电现象。
- c) 恢复常压，在升压过程中监视光纤光栅传感系统是否发生放电现象。

- d) 重复步骤 b)、c) 三次。在三次试验中,至少有一次需对光纤光栅传感系统主要性能参数进行监测。

5.6.24 静电放电

静电放电试验方法如下:

- a) 采用专用的电弧放电装置进行试验,试验时专用电弧放电装置的电极距离光纤光栅传感系统 30 cm;
- b) 按规定供给额定电流和电压,使光纤光栅传感系统处于工作状态;
- c) 电弧放电电压 10 kV,每秒 1 个脉冲,试验时间为 30 s,监视光纤光栅传感系统性能参数变化,确定其对放电脉冲的敏感阈值;
- d) 试验中产品不应出现任何故障、性能降低或偏离规定的指标值,或超出单个设备和分系统技术要求中给出的指标容差。

5.6.25 抗辐照

在进行抗辐照分析和计算时,对光纤光栅传感系统内部需要计算的每个元器件进行逐个分析,将元器件等效为球面的球心,将组件结构等效为球面模型,将不同材料的厚度等效为铝厚度。再按照光纤光栅传感系统的辐照环境计算每个元器件在经过球面模型后全寿命周期内的辐照剂量,由元器件实际的抗辐照能力计算辐照裕度,要求每个元器件的抗辐照能力与实际到达元器件表面的辐照剂量比值大于 2。

5.6.26 电磁兼容性

5.6.26.1 辐射发射(RE102)

辐射发射试验按以下测试步骤进行:

- a) 确定在光纤光栅解调仪断电及所有辅助设备通电时,环境电平应至少低于规定的限值 6 dB;
- b) 测试设备通电预热并达到稳定工作状态;
- c) 校验测试系统;
- d) 确认天线处于正常工作状态;
- e) 光纤光栅解调仪通电预热并达到稳定工作状态;
- f) 测量光纤光栅解调仪及有关电缆的辐射发射。

5.6.26.2 辐射敏感度(RS103)

辐射敏感度按以下测试步骤进行:

- a) 测试设备、光纤光栅解调仪通电预热并达到稳定工作状态;
- b) 确定潜在射频危害区域并采取必要的预防措施以确保测试人员的安全;
- c) 校验测试系统;
- d) 测试光纤光栅解调仪。

5.6.26.3 电源线传导发射(CE102)

电源线传导发射试验按以下测试步骤进行:

- a) 测试设备通电预热并达到稳定工作状态;
- b) 校验测试系统;
- c) 测试光纤光栅解调仪电源线传导发射。

5.6.26.4 电源线瞬态传导发射(CE107)

电源线瞬态传导发射试验按以下测试步骤进行：

- a) 测试设备通电预热并达到稳定工作状态；
- b) 测试光纤光栅解调仪瞬态传导发射。

5.6.26.5 电源线传导敏感度(CS101)

电源线传导敏感度试验按以下测试步骤进行：

- a) 测试设备通电预热并达到稳定工作状态；
- b) 校验测试系统；
- c) 测试光纤光栅解调仪。

5.6.26.6 电缆束注入传导敏感度(CS114)

电缆束注入传导敏感度试验按以下测试步骤进行：

- a) 测试设备通电预热并达到稳定工作状态；
- b) 校验测试系统；
- c) 测试光纤光栅解调仪。

5.6.26.7 电缆束注入脉冲激励传导敏感度(CS115)

电缆束注入脉冲激励传导敏感度试验按以下测试步骤进行：

- a) 测试设备通电预热并达到稳定工作状态；
- b) 校验测试系统；
- c) 分别测试光纤光栅解调仪的每个电缆束。

5.6.26.8 辐射发射电缆和电源线阻尼正弦瞬变传导敏感度(CS116)

辐射发射电缆和电源线阻尼正弦瞬变传导敏感度试验按以下测试步骤进行：

- a) 测试设备通电预热并达到稳定工作状态；
- b) 校验测试系统；
- c) 分别测试光纤光栅解调仪的每根电缆和电源线。

5.6.27 防护包装

目视检查光纤光栅传感系统装箱清单、包装箱等。

6 交货准备

6.1 文件

光纤光栅传感系统交收时，交收文件资料应完整、齐全。应交付以下文件：

- a) 产品说明书；
- b) 产品证明书。

6.2 防护包装

光纤光栅传感系统防护包装应满足如下要求：

- a) 产品包装箱宜采用统一的标准机箱，要求使用方便、牢固、携带方便，能多次使用；

- b) 产品外包装应符合 GB/T 191 的相关规定,包装箱上应标明产品代号、放置方向和运输要求标记等,标志应清晰醒目、牢固。考虑包装箱在运输和贮存时要重叠放置,为寻找产品方便,设备的包装箱可考虑在侧面醒目位置重复标记;
- c) 光连接器和电连接器应用保护罩保护;
- d) 包装箱内放置光缆、电缆的弯曲半径应符合有关文件要求;
- e) 单个光纤光栅传感系统之间应有防止碰撞的隔离装置;
- f) 包装箱应能在运输过程中防尘、防振和防腐,填充减振材料以满足运输要求。

6.3 运输和贮存

6.3.1 运输

光纤光栅传感系统的运输过程应满足以下要求:

- a) 光纤光栅传感系统应在包装箱内运输和贮存。在运输过程中,应轻装轻卸,避免踩踏、意外碰撞、重击和雨淋。
- b) 运输过程中应有防雨、防尘、防日晒及减振措施,避免光纤光栅传感系统受到静电、水气、冲击、污染的损伤或降低性能。
- c) 运输温度环境应在光纤光栅传感系统的工作温度范围之内。

6.3.2 贮存

光纤光栅传感系统短期存放时,应存放在专用包装箱内。光纤光栅传感系统长期贮存时,环境应满足以下要求:

- a) 温度:15℃~25℃。
- b) 相对湿度:20%~80%。
- c) 通风良好,无酸、碱及其他腐蚀性气体。
- d) 光纤光栅传感系统的贮存期应不小于2年。贮存期内,每年建议进行至少一次性能复测。