

团体标准

T/GDCKCJH 111—2025

kW 级 $2\mu\text{m}$ 窄线宽光纤激光放大器 环境试验技术规范

Technical specification of environmental adaptability assessment
for $2\mu\text{m}$ kilowatt narrow-linewidth fiber laser amplifiers

2025-05-21 发布

2025-05-25 实施

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 目的与使用..... 1

5 一般要求..... 3

6 试验条件及要求..... 4

7 试验方法..... 15

8 试验结果..... 27

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。

本文件由广东省测量控制技术与装备应用促进会提出并归口。

本文件起草单位：中国工程物理研究院应用电子学研究所、华南理工大学、北京工业大学。

本文件主要起草人：林方馨、刘航、张志、冯昱骏、赵齐来、徐善辉。

本文件为首次发布。

kW 级 2 μ m 窄线宽光纤激光放大器环境试验技术规范

1 范围

本文件规定了 kW 级 2 μ m 窄线宽光纤激光放大器环境试验的术语和定义、目的与应用、一般要求、试验条件及要求、试验方法、试验结果。

本文件适用于对 kW 级 2 μ m 窄线宽光纤激光放大器(以下简称“2 μ m 激光放大器”)进行高度、高温、低温、湿热、霉菌、盐雾、冲击、振动等环境试验。

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 2423.5 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Ea 和导则：冲击

GB/T 2423.16-1999 环境试验 第2部分：试验方法 试验 J 和导则：长霉

GJB 150.1A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第1部分：通用要求

GJB 150.3A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第3部分：高温试验

GJB 150.4A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第4部分：低温试验

GJB 150.9A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第9部分：湿热试验

GJB 150.10A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第10部分：霉菌试验

GJB 150.11A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第11部分：盐雾试验

GJB 150.16A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第16部分：振动试验

GJB 150.18A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第18部分：冲击试验

GJB 4239 装备环境工程通用要求

3 术语和定义

GJB 4239 中界定的术语和定义适用于本文件。

4 目的与使用

4.1 试验目的

试验目的为确定 2 μ m 激光放大器的环境适应性。

4.2 使用环境

除另有规定外,应在下列标准大气条件下进行测量和试验:

- a) 温度: 15℃ ~ 35℃;
- b) 相对湿度(RH): 20% ~ 80%;
- c) 大气压力: 试验场所气压。

4.3 适用限制

适用限制有:

- a) 高度试验不适用于飞行高度超过 30000 m 的航天器、飞机或导弹上安装或工作的 2 μm 激光放大器;
- b) 高温试验不适用于:
 - 1) 评价长期稳定地暴露于高温条件(贮存或工作)期间性能随时间劣化的效应;
 - 2) 评价气动加热效应。
- c) 冲击试验不适用于:
 - 1) 由火工装置动作导致2 μm激光放大器经受的冲击效应;
 - 2) 由于受到高压波冲击而导致2 μm激光放大器经受的冲击效应;
 - 3) 在低高温下进行冲击试验的特殊规定: 如果没有特殊要求, 试验一般在室温下进行;
 - 4) 由于试验设备或其他故障而引起试验意外中断的情况(有关工作指南)。
- d) 湿热试验不能重现与自然环境相关的所有的湿度影响, 例如长期效应; 也不能重现与低湿度环境相关的湿度影响。本试验不对气密密封组件的内部元件进行评价, 也不考虑下列情况:
 - 1) 压力和温度变化导致的凝露;
 - 2) 黑体辐射(如夜空效应)引起的凝露;
 - 3) 生物和化学污染物与湿气或凝露的综合效应;
 - 4) 聚集在2 μm激光放大器或包装内并在相当长的时间内留存的液态水。
- e) 霉菌试验不适用于基体材料的检测, 基体材料的检测应采用其他材料检测方法, 如土埋、纯培养、混合培养和平板试验等方法;
- f) 盐雾试验:
 - 1) 不重现海洋大气环境的影响, 因为海洋和其他腐蚀环境的化学组成和浓度与本激光放大器的试验条件不同;
 - 2) 不能说明在盐雾腐蚀与其他介质引起的腐蚀之间存在直接关系;
 - 3) 不能证明经受住本试验的2 μm激光放大器在所有的腐蚀环境中都能经受住腐蚀;
 - 4) 不能代替对湿热和霉菌引起的腐蚀评估。
- g) 振动试验不提供特定安全试验的振动量级和持续时间。

5 一般要求

5.1 环境剖面

环境适应性设计应考虑 2 μm 激光放大器存在以下环境剖面：

- a) 安装和调试；
- b) 工作和维护；
- c) 运输和贮存。

5.2 模块功能

2 μm 激光放大器的结构组成通常可分为功能架构和硬件架构。

2 μm 激光放大器功能模块架构示意如图 1 所示，一般由光学模块、驱动源模块、控制模块和结构件等功能模块组成。

光学模块主要提供种子光和多级放大，输出高功率激光。

驱动源模块主要将外部高压直流电转化为泵浦源自身需要的恒流信号，驱动泵浦源稳定输出激光。

控制模块主要完成与上级设备进行指令交互、控制激光器启停、功率设置、出光以及激光器自身健康状态监测等功能。

结构件为各功能模块提供散热、支撑和环境防护作用。

2 μm 激光放大器硬件架构示意如图 2 所示，一般由 ACDC 电源、预放驱动、主放驱动、种子源、放大器，以及光源控制模块、PD 信号转换模块、控制器和线缆等电子设备和配套设备等组成。

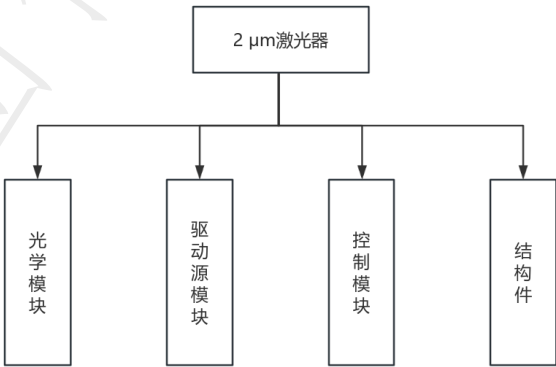


图 1 2 μm 激光器功能模块架构示意图

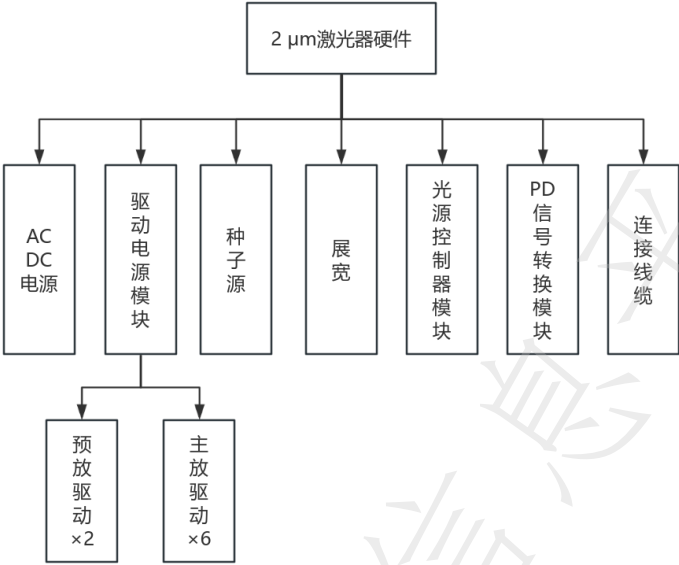


图 2 2 μm 激光放大器硬件架构示意图

5.3 环境数据

环境试验前应对 2 μm 激光放大器所处的环境数据进行收集，并结合研制要求、合同要求和寿命期内环境剖面，确定环境适应性设计的定量指标和定性要求。对于特殊环境，如海洋岛礁环境，应按 GJB 4239 的要求，对环境进行调查研究，明确发生腐蚀的环境条件及主要影响因素、作用强度与持续期限。

主要环境数据类型和来源见表 1。

表 1 主要环境数据类型和来源

序号	环境数据	数据类型	数据来源
1	高度	定量指标	研制要求、环境剖面
2	高温	定量指标	
3	低温	定量指标	
4	冲击	定量指标或定性要求	
5	湿热	定量指标	
6	霉菌	定性要求	
7	盐雾	定量指标或定性要求	
8	振动	定量指标或定性要求	

6 试验条件及要求

6.1 高度试验

6.1.1 试验条件

根据设备环境适应性要求的规定和为该程序提供的信息，选定所用的试验条件和试验技术，并确定 2 μm 激光放大器在低气压环境中或经低气压贮存后应完成的功能。应确定试验压力、压力变化速率、暴露持续时间等试验参数和试件的技术状态，确定时应考虑下列条件：

- a) 根据 2 μm 激光放大器预期的使用或飞行高度，确定具体的试验压力：在地面上若得不到测量数据，压力值按最大高度为 4570 m 来确定(对应的大气压力为 57 kPa)；运输机货舱压力条件中，贮存、空运、工作、机外挂飞时货舱压力为 4570 m 高度相对应的压力(对应的大气压力为 57 kPa)；快速减压、爆炸减压时货舱内的起始压力采用与 2438 m 高度相对应的压力(对应的大气压力为 75.2 kPa)，减压后的货舱内的最终压力采用与 12192 m 高度相对应的压力(对应的大气压力为 18.8 kPa)；
- b) 若具体的高度变化速率(爬升/下降速率)未知，或有关文件未作规定时，则可参考采用下列指导性数据：军用运输机全推力起飞时，其平均高度变化速率通常为 7.6 m/s。除非证明预计使用的平台环境需要采用其他高度变化速率或另有规定外，试验均采用 10 m/s 的高度变化速率；
- c) 贮存、空运的试验持续时间应代表 2 μm 激光放大器在低气压环境下的预期使用时间，可以适当缩短时间，试验时间至少持续 1 h；
- d) 应根据预期的 2 μm 激光放大器运输、贮存或工作的实际状态，确定 2 μm 激光放大器的技术状态：处于运输/贮存容器或运输箱内的状态；正常使用状态。

6.1.2 试验要求

高度试验要求如下：

- a) 试验设备包括：试验箱(室)，并配有能保持和监控(见 GJB 150.1A-2009 中的 3.18)低气压条件所需要的辅助仪器；连续记录试验箱(室)内空气压力的装置；
- b) 除另有规定外，高度变化速率不应超过 10 m/s；
- c) 数据读出装置的分辨率不低于其满量程的 2%；
- d) 一般要求按 GJB 150.1A-2009 中的 3.12；
- e) 为得到所需要效果，试件应不间断地经受低气压试验的全部试验持续时间；
- f) 试件的安装与调试按 GJB 150.1A-2009 中的 3.9。

6.2 高温试验

6.2.1 试验条件

选定本试验和相应程序后，还应根据设备环境适应性要求的规定和为该程序提供的信息，选定

所用的试验条件和试验技术，获取有关数据以评价高温条件对 2 μm 激光放大器的安全性、完整性和性能的影响。高温试验温度控制曲线如图 3 所示。

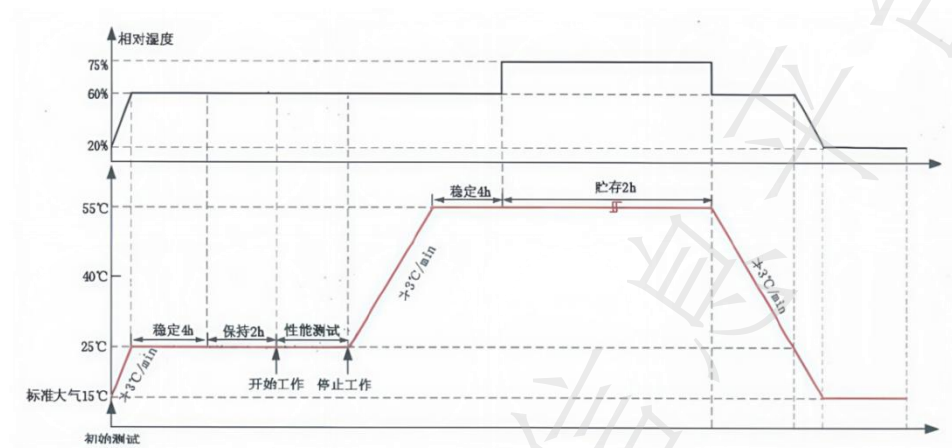


图 3 高温试验温度控制曲线

高温试验确定时应考虑下列条件：

- 应确定贮存和使用 2 μm 激光放大器的地域气候条件；
- 在确定试验温度量值之前，应确定 2 μm 激光放大器在正常贮存环境和工作环境中的热暴露方式为敞开暴露状态或有遮蔽状态。通常贮存温度确定为 55℃，工作温度确定为 40℃；
- 确定 2 μm 激光放大器在已确定的各种暴露条件下所要经受的暴露持续时间。若为循环暴露，需确定暴露次数。试件暴露于高温环境中达到温度稳定后，再保持试验温度至少 2 h；
- 循环暴露的试验持续时间应根据满足设计要求所需要的预计循环数等来确定。贮存试验至少进行 7 个循环，工作暴露试验至少进行 3 个循环。除另有规定外，每循环周期为 24 h；
- 试件的技术状态应根据 2 μm 激光放大器贮存和工作中预期的实际状态确定，至少应考虑以下技术状态：装入运输/贮存容器内或转运箱内；有保护状态或无保护(有顶棚、遮蔽等)状态；正常使用状态；为特殊用途改装后的状态；堆码或托板堆码的技术状态；
- 高温试验期间通常不需要控制相对湿度；
- 试件必需工作时，应按 GJB 150.1A-2009 中的 3.9.2 和 GJB 150.3A-2009 中的 4.4 要求编制试验操作程序。

6.2.2 试验要求

高温试验要求如下：

- 试验箱(室)应配有能保持和监控试件周围的空气高温条件(适用时还有湿度)的辅助仪器。应连续记录试验箱内和试件的温度测量值；
- 若其他动作引起试件温度或试验箱温度产生显著的变化(大于 20℃)，则在继续试验前应使试件重新稳定到规定的温度。若 15 min 内不能完成工作性能检测，则在继续检测之前应使

试件的温度/湿度恢复到规定的条件。除另有规定外，温度变化速率应不超过3℃/min，以免造成温度冲击；

- c) 试验中断时的一般要求按GJB 150. 1A-2009中的3. 12，特殊要求按GJB 150. 3A-2009中的6. 3. 2；
- d) 试件的安装与调试的一般要求按GJB 150. 1A-2009中的3. 9。试件的安装与调试应包括所有附加的热源或合适的模拟热源。

6. 3 低温试验

6. 3. 1 试验条件

选定本试验和相应程序后，还应根据设备环境适应性要求的规定和为该程序提供的信息，选定所用的试验条件和试验技术，评价 2 μm 激光放大器在低温条件下贮存、工作和拆装操作期间的安全性、完整性和性能。低温试验温度控制曲线如图 4 所示。

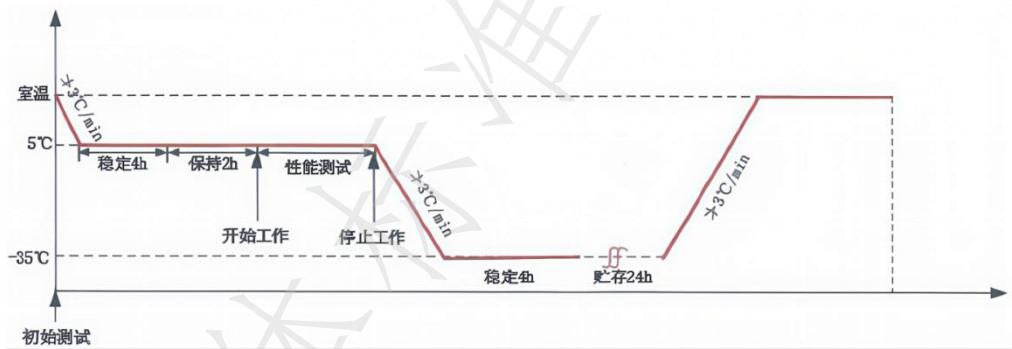


图 4 低温试验温度控制曲线

低温试验确定时应考虑下列条件：

- a) 通常贮存温度确定为-35℃，工作温度确定为 5℃。或根据 2 μm 激光放大器要使用的区域以及其他因素来确定试验温度；
- b) 低温暴露持续时间影响2 μm激光放大器安全性、完整性和性能，可根据2 μm激光放大器自身材料、结构特性和使用情况进行选择。低温暴露持续时间通常设置为24 h；
- c) 试验时应采用2 μm激光放大器在贮存或使用期间预期的技术状态：装在运输/贮存容器内或运输箱内；有保护或无保护状态；正常使用状态；为特殊用途改装后的状态。

6. 3. 2 试验要求

低温试验要求如下：

- a) 所需要的设备包括试验箱(室)和能够保持和监控(按 GJB 150. 1A-2009 中的 3. 18)试件周围空气所需的低温条件的辅助仪器；

- b) 若其他动作引起试件温度或试验箱温度产生显著的变化(大于20℃)，则在继续试验前应使试件重新稳定到规定的温度。若15 min内不能完成工作性能检测，则在继续检测之前应使试件的温度/湿度恢复到规定的条件。除另有规定外，温度变化速率应不超过3℃/min，以免造成温度冲击；
- c) 试验中断时的一般要求按GJB 150. 1A-2009中的3. 12，特殊要求按GJB 150. 4A-2009中的6. 3；
- d) 试件的安装与调试要求按GJB 150. 1A-2009中的3. 9。

6. 4 冲击试验

6. 4. 1 试验条件

6. 4. 1. 1 概述

选定本试验和相应程序后，还应根据设备环境适应性要求的规定和为该程序提供的信息，选定所用的试验条件和试验技术，考核2 μm激光放大器的结构设计、减振设计等承受冲击振动的能力。冲击试验可分为功能性冲击试验和易损性冲击试验。

6. 4. 1. 2 功能性冲击试验条件

功能性冲击试验确定时应考虑下列条件：

- a) 有测量数据，用波形控制方式，通过振动台再现实测冲击波形；
- b) 有测量数据，通过一个复杂瞬态过程合成冲击波形，该冲击的有效持续时间 T_e 与实测冲击的有效持续时间 T_e 近似，波形相似，峰值和过零点相似；
- c) 没有测量数据，但以前的冲击响应谱估计可用，冲击波形可通过复杂瞬态过程来合成，有效持续时间 T_e 的确定要适当考虑装备的固有频率响应特性；
- d) 没有测量数据，但可用经典脉冲的冲击复现冲击波形。只有在分析中能证实使用这些脉冲是合理时，才能使用经典脉冲。表2为没有测量数据时使用的试验冲击响应谱。

表 2 没有测量数据时使用的试验冲击响应谱

试验程序	峰值加速度	T_e	频率折点
	g	ms	Hz
地面设备功能性试验	40	15 ~ 23	45
地面设备坠撞安全试验	75	8 ~13	80

6. 4. 1. 3 易损性冲击试验条件

易损性冲击试验的目的是确定装备能承受住的最高冲击量级(在此量级下，装备仍能够按要求继续工作而结构没有损伤)；或者损坏装备的最低输入冲击量级(若经受稍高于该量级的冲击输入，则

装备将很可能出现功能故障或结构损伤)。表3为无测量数据时,可选取的设计跌落高度(指装备在运输过程中可能发生跌落并且仍能继续使用的高度)。

确定易损性冲击的量级应通过对试件从低的冲击量级开始,然后逐渐增加冲击量级进行试验,直到以下条件之一出现为止:

- a) 试件出现失效;
- b) 在试件不发生失效情况下,达到预定的试验目的;
- c) 达到冲击临界量级,表明在稍高于此冲击量级作用下肯定发生失效。

表 3 无测量数据时,可选取的设计跌落高度

包装毛重 kg	类型	设计跌落高度 cm	最大试件速度变化量 cm/s
0 ~ 9.1	人工装卸	76	772
9.2 ~ 18.2	人工装卸	66	719
18.3 ~ 27.2	人工装卸	61	691
27.4 ~ 36.3	人工装卸	46	600
36.4 ~ 45.4	人工装卸	38	546
45.5 ~ 68.1	机械装卸	31	488
68.2 ~ 113.5	机械装卸	26	447
≥113.6	机械装卸	20	399

6.4.2 试验要求

冲击试验要求如下:

- a) 所用的冲击试验设备应能实现本试验的设备环境适应性要求所确定的试验条件。选择试验设备时应考虑试验设备能产生试件所要求的冲击持续时间、幅值和频率范围,并需符合 GB/T 2423.5 的规定;
- b) 按所选择的试验程序中规定的试验要求,对试验装置性能进行校准。测量2 μm激光放大器响应的设备应经校准合格;
- c) 试验中断时的一般要求按GJB 150. 1A-2009中的3. 12,特殊要求按GJB 150. 18A-2009中的6. 3;
- d) 通常采用加速度计进行定量测量,也可采用其他类型传感器,例如线性位移/电压传感器、力传感器、激光测速仪、速率陀螺等。

6.5 湿热试验

6.5.1 试验条件

选定本试验和相应程序后，还应根据设备环境适应性要求的规定和为该程序提供的信息，选定所用的试验条件和试验技术，确定 2 μm 激光放大器耐湿热大气影响的能力。湿热试验温湿度控制曲线如图 5 所示。

湿热试验确定时应考虑下列条件：

- a) 本试验以 24 h 为一个循环周期，最少进行 10 个周期；
- b) 若 2 μm 激光放大器应在湿热环境中工作，则应每 5 个循环至少进行一次性能检测。

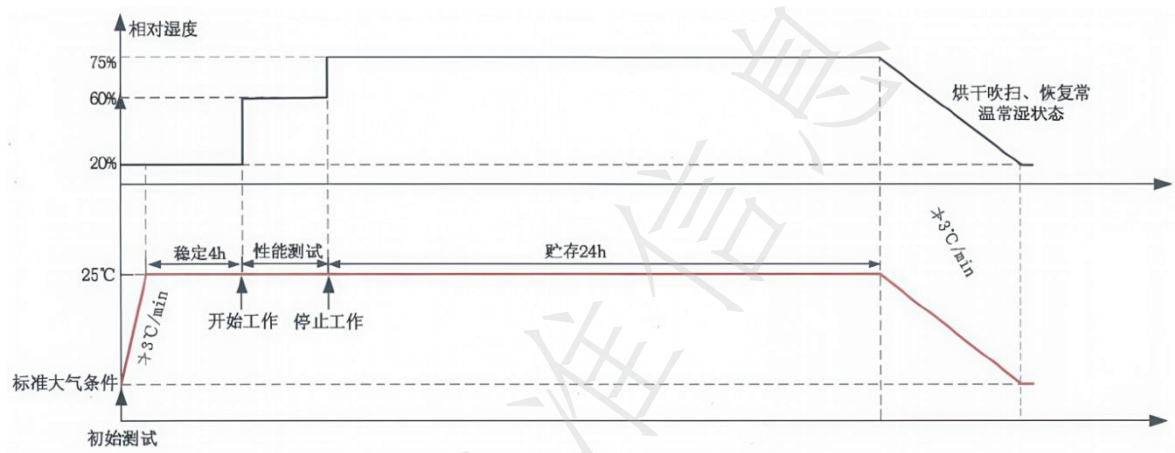


图 5 湿热试验温湿度控制曲线

6.5.2 试验要求

湿热试验要求如下：

- a) 试验箱(室)应能防止箱壁冷凝水滴落到试件上。试验箱应设置排气孔，以防止箱内压力升高，还应注防止外来污染；
- b) 试验期间应至少每 24 h 对水容器、湿球纱布、传感器和其他组成相对湿度测量系统的部件进行目视检查，以保证预期功能；
- c) 试件周围空气任何部位的风速应保持在 0.5 m/s ~ 1.7 m/s；
- d) 采用蒸汽或喷水的方法加湿试件周围的空气。加湿所用的水应按 GJB 150.1A-2009 中 3.2 的要求。应定期(不超过 15 d)检验水质以确保水质合格。如果用喷水加湿，在喷水之前应调节水的温度以避免破坏试验条件，而且不能直接将水喷入试验区。在试验期间试验箱内产生的冷凝水应从试验箱内排除出去；
- e) 除水之外，不应有其他的物质与试件直接接触，以防止引起试件的劣化或影响试验结果，不应将任何锈蚀或腐蚀性污染物及其他物质引入试验箱内。试件周围空气的除湿、加湿、加热、冷却所用的方法不应改变试验箱内的空气、水或水蒸汽的化学成分；
- f) 试验箱应有测量和记录装置，并应与试验箱的控制器分开；
- g) 试验中断时的一般要求按 GJB 150.1A-2009 中的 3.12，特殊要求按 GJB 150.9A-2009 中的 6.3；

- h) 试件的安装与调试按GJB 150.1A-2009中的3.9.1。

6.6 霉菌试验

6.6.1 试验条件

选定本试验和相应程序后,还应根据设备环境适应性要求的规定和为该程序提供的信息,选定所用的试验条件和试验技术,评定2 μm 激光放大器的结构设计、密封设计、防锈设计是否满足防霉菌要求。

霉菌试验条件如下:

- a) 霉菌试验的最短持续时间为28 d(霉菌发芽、分解含碳分子以及降解材料的最短时间是28 d);
- b) 表4中列出了两组常见的霉菌菌种。试验时应选择其中的一组。表4中所列菌种都相应标明了侵蚀的材料种类。如有需要,可在已选定其中一组菌种的基础上额外增加菌种;
- c) 由于试件在试验前无需灭菌,试件表面上可能存在其他微生物。

6.6.2 试验要求

霉菌试验要求如下:

- a) 试验箱和附件的结构应防止冷凝水滴落在试件上。试验箱通过带过滤功能的通气孔与大气相连,防止试验箱内的压力增大以及向大气排放霉菌孢子;
- b) 使用不受冷凝影响的湿度测量系统或传感器来监测和控制试验箱内的湿度(按GJB 150.1A-2009中的3.18要求)。控制试验箱环境条件的传感器与记录湿度和温度的传感器应分开;
- c) 流经湿度传感器的风速至少为4.5 m/s。流经试件和对照条附近的风速应控制在0.5 m/s ~ 1.7 m/s之间;
- d) 应使用不受水冷凝影响的固态传感器或等效的方法(如快速响应的干湿球传感器)测定相对湿度;
- e) 保持空气在试件周围的自由流动,并使支撑试件的支架与试件的接触面积维持最小;
- f) 不要将水汽直接导入试验箱工作空间内;
- g) 本试验所用试剂需使用合格的试剂。试验用水均指符合GJB 150.1A-2009中3.2要求的蒸馏水或相同纯度的水;
- h) 试验中断时的一般要求按GJB 150.1A-2009中的3.12,特殊要求按GJB 150.10A-2009中的6.3;
- i) 暴露于霉菌后的试验设备和试件应进行去污染处理。

表 4 霉菌试验可选用的菌种组和受影响材料

菌种组	霉菌名称	菌种编号	受影响的材料
1	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	AS3. 3928	织物、乙烯树脂、敷形涂覆、绝缘材料等
	土曲霉 <i>Aspergillus terreus</i>	AS3. 3935	帆布、纸板、纸
	宛式拟青霉 <i>Paecilomyces varioti</i>	AS3. 4253	塑料、皮革
	绳状青霉 <i>Penicillium funiculosum</i>	AS3. 3875	织物、塑料、棉织品
	赭绿青霉 <i>Penicillium ochrochloron</i>	AS3. 4302	塑料、织物
	短柄帚霉 <i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	AS3. 3985	橡胶
	绿色木霉 <i>Trichoderma viride</i>	AS3. 2942	塑料、织物
2	黄曲霉 <i>Aspergillus flavus</i>	AS3. 3950	皮革、织物
	杂色曲霉 <i>Aspergillus versicolor</i>	AS3. 3885	皮革
	绳状青霉 <i>Penicillium funiculosum</i>	AS3. 3875	织物、塑料、棉织品
	球毛壳霉 <i>Chaetomium globosum</i>	AS3. 4254	纤维素
	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	AS3. 3928	织物、乙烯树脂、敷形涂覆、绝缘材料等
注：菌种编号为中国普通微生物菌种保藏管理中心于 1997 年编著的《菌种目录》中的菌种编号。			

6.7 盐雾试验

6.7.1 试验条件

选定本试验和相应程序后，还应根据设备环境适应性要求的规定和为该程序提供的信息，选定所用的试验条件和试验技术。应确定盐溶液浓度和 pH 值、试验持续时间、盐雾的沉降率、试验温度等试验参数和试件的技术状态，测定盐沉积物对 2 μm 激光放大器的物理与电气性能影响。

盐雾试验确定时应考虑下列条件：

- a) 除另有说明外，盐溶液的浓度应为 $5\% \pm 1\%$ 。用水应符合 GJB 150.1A-2009 中 3.2 的要求，避免带来污染或酸碱条件的变化从而影响试验结果；
- b) 本试验推荐使用交替进行的 24 h 喷盐雾和 24 h 干燥两种状态共 96 h (2 个喷雾湿润阶段和 2 个干燥阶段) 的试验程序；
- c) 喷雾阶段的试验温度为 $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。如果合适，也可以使用其他温度；
- d) 试验过程中应保证试验箱内的风速尽可能为零；
- e) 调节盐雾的沉降率，使每个收集器在 80 cm^2 的水平收集区内 (直径 10 cm) 的收集量为 $1\text{ mL/h} \sim 3\text{ mL/h}$ 溶液；
- f) 除另有说明外，试件应按其预期的贮存、运输或使用中的技术状态和取向来放置。

6.7.2 试验要求

盐雾试验要求如下：

- a) 使用对盐雾特性没有影响的支撑架 (样品架)。与试件接触的所有部件都不能引起电化学腐蚀。冷凝液不能滴落在试件上。任何与试验箱或试件接触过的试验溶液都不能返回到盐溶液槽中。试验箱应有排风口以防止试验空间内压力升高。应根据我国的有关法规对废液进行处理；
- b) 使用不与盐溶液发生反应的材料制备盐溶液槽，如玻璃、硬质橡胶或塑料等；
- c) 过滤盐溶液并输送到试验箱中。试验箱带有雾化器，能产生分散精细而湿润的浓雾。雾化喷嘴和管路系统应使用不与盐溶液发生反应的材料制成。防止盐沉积堵塞喷嘴；
- d) 至少用 2 个盐雾收集器来收集盐溶液样品；
- e) 压缩空气除去油和污物后，应进行预热和加湿。表 5 给出了推荐使用的压缩空气压力与相应的预热温度要求值；

表 5 盐雾试验压缩空气压力与相应预热温度要求值

压缩空气压力 (kPa)	预热温度要求值 (雾化前) ($^{\circ}\text{C}$)
83	46
96	47
110	48
124	49

- f) 试验中断时的一般要求按GJB 150. 1A-2009中的3. 12，特殊要求按GJB 150. 11A-2009中的6. 3；
- g) 试件的安装与调试要求按GJB 150. 1A-2009中的3. 9. 1和GJB 150. 11A-2009中的6. 4. 2。

6. 8 振动试验

6. 8. 1 试验条件

6. 8. 1. 1 概述

选定本试验和相应程序后，还应根据设备环境适应性要求的规定和为该程序提供的信息，选定所用的试验条件和试验技术，验证2 μm激光放大器在寿命周期内能否承受振动与其他环境因素叠加条件影响并能正常工作。图6为随机振动试验情况下，功率谱密度与频率之间的关系曲线。振动试验可分为工作振动试验和运输振动试验。

6. 8. 1. 2 工作振动试验条件

工作振动试验确定时应考虑下列条件：

- a) 对激励形式(稳态或瞬态)、激励量级、控制方案、持续时间和试验室条件的选择应尽可能真实模拟2 μm激光放大器寿命周期中的振动环境。上述参数应尽量以实测数据为依据；
- b) 应尽量保证试件在振动试验期间运行工作，监测并记录试件的性能，要尽量多地获取数据以确定2 μm激光放大器对振动的敏感程度。

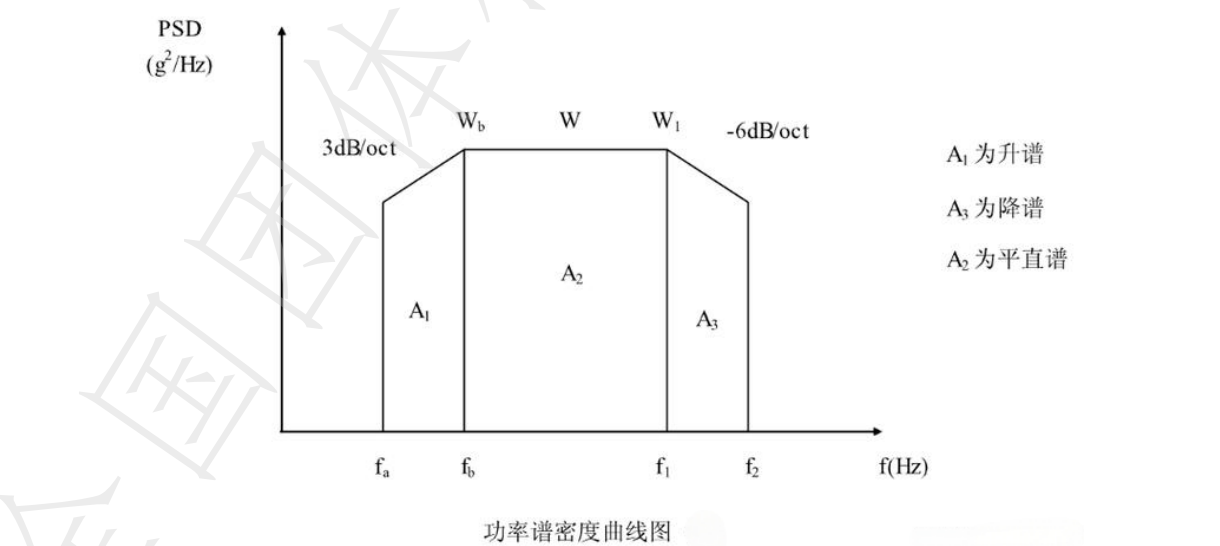


图 6 功率谱密度与频率之间的关系曲线

6. 8. 1. 3 运输振动试验条件

运输振动试验确定时应考虑下列条件：

- a) 按装运时最可能的朝向将试件放置在振动台上。若不能确定装运时可能的朝向，按试件最长的轴与试验台面的长轴(抛掷轴)平行的方向放置试件。根据允许试件只撞击一个端面墙(不反弹)和防止试件 90° 旋转的原则，放置木制碰撞墙和侧板。不要用侧板把多个试件分开。试验的前半段按此方向进行，后半段将试件转 90° 进行；
- b) 振动台应具有充分大的尺寸、足够的强度、刚度和承载能力。该结构应能保证振动台台面在振动时保持水平状态,其最低共振频率应高于最高试验频率。振动台应平放,与水平之间的最大角度变化为0.3° 。

表 6 运输振动试验参考测试参数

频率范围	3 Hz ~ 100Hz
加速度	20 m/s ² (2 g)
位移	7.5 mm
扫频循环次数	2 次
时间	15 min
包装方式	带包装

6.8.2 试验要求

振动试验要求如下：

- a) 试验设备(包括所有辅助设施)应能达到试验控制规定的振动环境、控制方案和试验允差要求。测量传感器、数据记录和数据处理设备应符合数据测量、记录、分析和显示的要求；
- b) 确保所有仪器都保持最佳状态；
- c) 除另有规定外，应按GJB 150. 16A-2009的6. 2. 3要求的允差。应保护测量传感器，使其避免与安装面之外的表面接触；
- d) 试验中断时的一般要求按GJB 150. 1A-2009中的3. 12，特殊要求按GJB 150. 16A-2009中的6. 3；
- e) 试件的安装与调试要求按GJB 150. 1A-2009中的3. 9和GJB 150. 16A-2009中的6. 4. 2。

7 试验方法

7.1 高度试验

7.1.1 概述

应根据所采用的试验程序来确定所要收集的有关试件暴露于低气压环境的信息，并将试验箱内温度保持在标准大气条件规定的温度下。

7.1.2 试验准备

试验开始前, 根据设备环境适应性要求确定试验程序、试件的技术状态、试验高度、高度变化速率、持续时间、贮存/工作的参数量值等。试验前所有试件均要在标准大气条件下进行检测, 以取得基础数据。对试件进行全面的目视检查和性能检测, 并记录检查或检测结果。在标准大气条件下将试件放置在试验箱中。按制造商技术文件规定进行工作性能检测, 并记录检测结果。若试件正常工作, 则继续进行相应的试验程序。高度试验贮存/空运测试流程图见图 7。



图 7 高度试验贮存/空运测试流程图

7.1.3 试验步骤

7.1.3.1 高度试验贮存/空运测试程序按以下步骤进行:

- 使试件处在贮存或运输技术状态下, 按制造商技术文件规定的高度变化速率调节试验箱内的空气压力, 使之达到与所要求的试验高度相对应的压力;
- 保持压力至少 1 h, 但技术文件另有规定除外;
- 按技术文件规定的高度变化速率, 调节试验箱内的空气压力, 使之恢复到标准大气条件压力;
- 目视检查试件, 检测工作性能, 并记录检测结果。

7.1.3.2 高度试验工作/机外挂飞测试程序按以下步骤进行:

- 使试件处在工作技术状态下, 按制造商技术文件规定的高度变化速率调节试验箱内的空气压力, 使之达到与所要求的工作高度相对应的压力;
- 按制造商技术文件规定的要求检测试件的工作性能, 并记录检测结果;
- 按制造商技术文件规定的高度变化速率, 调节试验箱内的空气压力, 使之恢复到标准大气条件压力;
- 目视检查试件, 检测工作性能, 并记录检测结果。

7.1.3.3 高度试验快速减压测试程序按以下步骤进行:

- 使试件处在贮存或运输技术状态下, 按制造商技术文件规定的高度变化速率调节试验箱内的空气压力, 使之达到与 2438 m 高度相对应的压力 (75.2 kPa);
- 在不超过 15 s 的时间内, 使试验箱内的空气压力降到与所要求的试验高度 12192 m 相对应的压力 (18.8 kPa), 或者降到与制造商技术文件规定的其他最大飞行高度相对应的压力, 然后在该低气压下至少稳定地保持 10 min;
- 按制造商技术文件规定的高度变化速率, 调节试验箱内的空气压力, 使之恢复到标准大气条件压力;
- 目视检查试件, 检测工作性能, 并记录检测结果。

7.1.3.4 高度试验爆炸减压测试程序按以下步骤进行：

- a) 使试件处在贮存或运输技术状态下，按制造商技术文件规定的高度变化速率调节试验箱内的空气压力，使之达到与2438 m高度相对应的压力(75.2 kPa)；
- b) 在不超过0.1 s的时间内，使试验箱内的空气压力降到与所要求的试验高度12192 m相对应的压力(18.8 kPa)，或者降到与制造商技术文件规定的其他最大飞行高度相对应的压力。然后在该低气压下至少稳定地保持10 min；
- c) 按制造商技术文件规定的高度变化速率，调节试验箱内的空气压力，使之恢复到标准大气条件压力；
- d) 目视检查试件，检测工作性能，并记录检测结果。

7.2 高温试验

7.2.1 概述

试验开始前，根据设备环境适应性要求确定试验程序、试件的技术状态、循环数、试验持续时间、试件贮存/工作环境参数的量值等。

7.2.2 试验准备

试验前所有试件均需在标准大气条件下进行检测，以取得基础数据。对试件进行目视检查，应特别注意应力区(如铸件拐角部位)，记录检查结果。按制造商技术文件的规定，在试件内、试件上或其周围安装温度传感器。对于工作程序，为了确保测量到试件的最大温度响应，温度传感器应装在功能元件上。在标准大气条件下，将试件装入试验箱。按制造商技术文件的规定进行工作性能检测，记录检测结果。若试件工作正常，则根据具体情况进行贮存或工作。

7.2.3 试验步骤

7.2.3.1 高温试验循环贮存测试程序按以下步骤进行：

- a) 使试件处于贮存技术状态；
- b) 将试验箱内的环境调节到试验开始阶段的试验条件，并在该条件下使试件温度达到稳定；
- c) 将试件暴露于贮存循环的温度(适用时还有湿度)条件下，暴露持续时间至少应为7个循环(若采用24 h循环，则总共168 h)，或制造商技术文件规定的循环数；
- d) 在循环温度暴露结束后，将试验箱内空气温度调节到标准大气条件下温度，并且保持在标准大气条件下，直至试件温度稳定；
- e) 对试件进行目视检查和工作性能检测，记录结果，并与试验前数据进行比较。

7.2.3.2 高温试验恒温贮存测试程序按以下步骤进行：

- a) 使试件处于贮存技术状态；
- b) 将试验箱内的环境调节到规定的试验条件，并在该条件下使试件温度达到稳定；

- c) 在试件温度达到稳定后再继续保持试验温度至少2 h，以确保内部元(部)件的温度真正达到稳定；
 - d) 在恒定温度暴露结束后，将试验箱内的空气温度调节到标准大气条件下温度，并保持在标准大气条件下，直至试件温度稳定；
 - e) 对试件进行目视检查和工作性能检测，记录结果，并与试验前数据进行比较。
- 高温试验恒温贮存测试流程图见图 8。

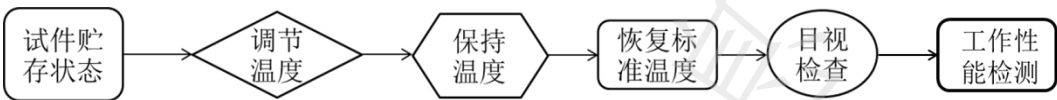


图 8 高温试验恒温贮存测试流程图

7.2.3.3 高温试验恒温工作测试程序按以下步骤进行：

- a) 按工作技术状态要求安装好试件；
- b) 调节试验箱内的空气温度使之达到所要求的恒定温度(适用时还有湿度)；
- c) 在试件温度达到稳定后继续保持试验箱内条件至少2 h；
- d) 目视检查试件，记录检查结果，并与试验前的数据进行比较；
- e) 试件工作，并使其温度重新稳定。根据制造商技术文件的要求对试件进行工作性能检测，记录检测结果并与试验前的数据进行比较；
- f) 试件停止工作，将试验箱内的空气温度调节到标准大气条件下温度，并保持该条件直到试件温度达到稳定；
- g) 按制造商技术文件的要求对试件进行全面的目视检查和工作性能检测，记录检查和检测结果，并与试验前数据进行比较。

7.2.3.4 高温试验循环工作测试程序按以下步骤进行：

- a) 按工作技术状态要求安装好试件；
- b) 调节试验箱内的空气温度(适用时还有湿度)使之达到制造商技术文件规定的工作循环初始条件，并保持此条件直至试件温度达到稳定；
- c) 将试件暴露至少3个循环，或为确保达到试件的最高响应温度所需要的循环数。循环暴露期间尽可能对试件进行全面的目视检查，并记录检查结果；
- d) 在暴露循环的最高温度响应时段使试件工作(由于试件的热滞后效应，最高温度响应时段与温度循环的最高温度时段可能不一致)。重复进行本步骤，直到按制造商技术文件要求完成试件的全部工作性能检测。记录检测结果；
- e) 试件停止工作，将试验箱内的空气温度调节到标准大气条件下温度，保持该条件直到试件温度达到稳定；

- f) 按制造商技术文件的要求对试件进行全面的目视检查和工作性能检测，记录检查和检测结果，并与试验前数据进行比较。
- 高温试验循环工作测试流程图见图 9。

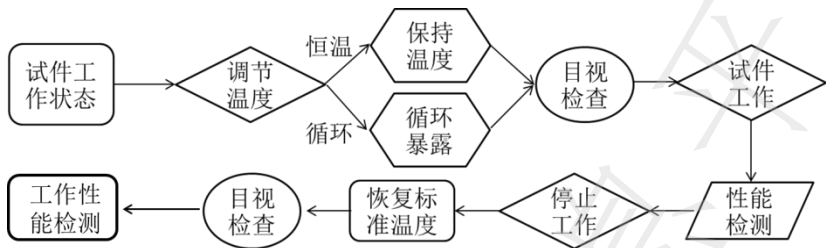


图 9 高温试验循环工作测试流程图

7.3 低温试验

7.3.1 概述

试验开始前，根据设备环境适应性要求确定试验程序、试件的技术状态、循环数、试验持续时间、试件贮存/工作环境参数的量值等。

7.3.2 试验准备

试验前，所有试件均需在标准大气条件下进行检测，以取得基础数据。对试件进行全面的目视检查，特别注意如铸件棱角一类的应力区。记录检查结果。若要测定试件温度，根据要求在试件内或试件上安装温度传感器。按 GJB 150.1A-2009 中 3.9.1 要求的技术状态准备试件，将试件装入试验箱，使之在标准大气条件下达到温度稳定。按制造商技术文件对试件进行工作性能检测，并记录检测结果。若试件工作正常，则按制造商技术文件的规定进行试验。

7.3.3 试验步骤

7.3.3.1 低温试验贮存测试程序按以下步骤进行：

- a) 使试件处于贮存技术状态；
- b) 将试验箱内空气温度调节到制造商技术文件中规定的低温贮存温度；
- c) 试件温度稳定后，按制造商技术文件中规定的持续时间保持此贮存温度；
- d) 对试件进行目视检查，并将检查结果与试验前的数据进行比较，记录检查结果；
- e) 若要求进行低温工作试验，则接着进行工作程序 c)，否则进行 f)；
- f) 将试验箱内空气温度调节到标准大气条件下的温度，并保持此温度直到试件达到温度稳定；
- g) 对试件进行全面的目视检查，并记录检查结果；
- h) 需要时，对试件进行工作性能检测，并记录检查结果；
- i) 将这些数据与试验前的数据进行比较。

低温试验贮存测试流程图见图 10。

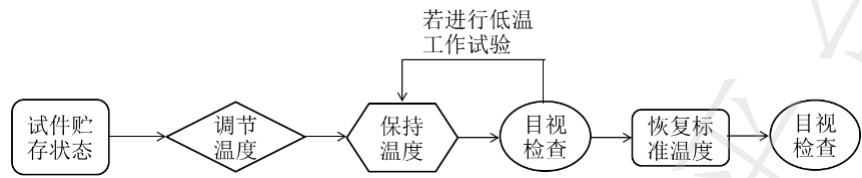


图 10 低温试验贮存测试流程图

7.3.3.2 低温试验工作测试程序按以下步骤进行：

- a) 试件装入试验箱后，调节试验箱内空气温度到制造商技术文件中规定的低温工作温度，在试件达到温度稳定后保持此温度至少2 h；
- b) 在试验箱条件允许的情况下，对试件进行全面的目视检查，记录检查结果；
- c) 按制造商技术文件要求对试件进行工作性能检测，记录检测结果；
- d) 若要求在低温下进行拆装操作试验，则接着进行拆箱操作d)，否则接着进行e)；
- e) 将试验箱内的空气温度调节到标准大气条件下的温度，保持此温度直到试件达到温度稳定；
- f) 对试件进行全面的目视检查，记录检查结果；
- g) 需要时，进行工作性能检测，记录检测结果，并与低温试验贮存测试程序d)中得到的数据进行比较。

7.4 冲击试验

7.4.1 概述

试验开始前，根据设备环境适应性要求确定试验程序、模拟负载、试件的技术状态、测量仪器的技术状态、冲击量级、持续时间、冲击次数等。

7.4.2 试验准备

试验前，所有试件均需在标准大气条件下进行检测，以取得基础数据。对试件进行全面的外观检查，特别注意关键部位或易损伤的区域，并记录结果。若试件合格，将试件安装到夹具上。按制造商技术文件的规定，进行试件的运行检测，记录检测结果。若试件工作正常，则继续后续的试验程序；若试件工作不正常，则设法解决问题，从头开始。

7.4.3 试验步骤

7.4.3.1 冲击试验功能性冲击测试程序按以下步骤进行：

- a) 选择试验条件，并校准冲击试验设备。卸去模拟负载，把试件安装到冲击设备上；
- b) 对试件进行冲击前的功能检查；
- c) 在工作状态下，对试件施加冲击激励；

- d) 记录必要的的数据以检查试验是否达到或超过要求的试验条件，并符合规定的允差要求；
- e) 对试件进行冲击后的功能检查，记录性能数据；
- f) 若采用规范的冲击响应谱，在每一正交轴上重复b)-e)三次。如果采用经典冲击脉冲，试件应承受正反两个方向的输入脉冲。若冲击响应谱的波形既满足脉冲时间历程允差，又满足冲击响应谱允差，考虑极性的影响，每一正交轴上应进行2次，总共6次冲击试验。如果试验脉冲的时间历程和冲击响应谱中有一种超差或都超差，则需继续调整波形，直到两者的试验都满足允差为止。若两种允差不能同时满足，则应优先满足冲击响应谱试验允差；
- g) 记录试验次序和结果。

冲击试验功能性冲击测试流程图见图 11。

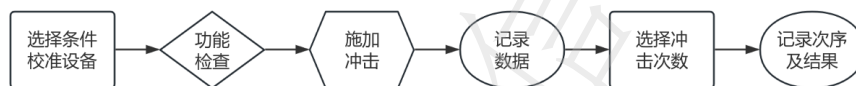


图 11 冲击试验功能性冲击测试流程图

7.4.3.2 冲击试验易损性冲击测试程序按以下步骤进行：

- a) 将模拟负载按类似于真实试件的安装方式安装到试验设备上，夹具的结构类似于支撑2 μm 激光放大器的冲击减震系统(如果有)，夹具应尽可能刚硬以防止传递给试件的冲击脉冲畸变；
- b) 进行调校冲击，直到加到模拟负载上的连续二次的冲击波形都在试验规定的允差限内。若冲击校准的响应相对冲击输入量级而言是非线性的，则依据达到“应力阈值”之前的非线性程度，确定是否采用其他试验程序确定易损性；
- c) 选取一个足够低的跌落高度，以确保试件不发生损伤。最大速度变化量可按式(1)计算；
- d) 将试件安装到夹具上。对试件进行外观和功能检查，记录试验前的状态；
- e) 在选定的量级上进行冲击试验，检查记录的数据以确保试验在允差范围内；
- f) 对试件进行外观和功能检查，以确定试件是否损伤。若发现损伤或达到预定的试验目的，转到j)进行；
- g) 如果需要在多个轴向上确定试件的易损性，在改变跌落高度前，在其他轴向上继续进行试验；
- h) 若试件完好，则选取下一跌落高度；
- i) 重复e)~h)，直达到试验目的；
- j) 记录结果，用与跌落高度相关联的测量变量来表示易损性量级。若试验期间试件在某一轴向上发生损坏，则用另一个相同技术状态的试件来替代损坏的试件，从d)开始进行试验，以确定其余轴向上的易损量级。

$$\Delta V = 2\sqrt{2gh}$$

.....(1)

式中：

- ΔV ——最大速度变化量(碰撞速度和回弹速度的和)，cm/s；
- g ——重力加速度，980.6 cm/s²；
- h ——设计跌落高度，cm。

7.5 湿热试验

7.5.1 概述

单独或组合使用下列步骤进行湿热试验，收集湿热环境中有关试件的必要信息。试验开始前，根据设备环境适应性要求确定试件的技术状态、温度、湿度、持续时间和试验周期数等。

7.5.2 试验准备

试验前所有试件均要在标准大气条件下进行检测，以取得基础数据。检测应按以下步骤进行：

- a) 将试件安装在试验箱内；
- b) 按规定的技术状态准备试件；
- c) 全面目视检查试件；
- d) 记录检查结果；
- e) 根据技术文件进行工作检测(适用时)，并记录结果。

7.5.3 试验步骤

湿热试验工作测试程序按以下步骤进行：

- a) 完成初始检测后，试验箱内的温度调节为23℃±2℃，相对湿度为50%±5%，并保持24 h；
- b) 调节试验箱内的温度为30℃、相对湿度为95%；
- c) 暴露试件。试验周期数由4.5.1确定。对试件进行性能检测，推荐在第5或第10个循环周期的尾段时间内进行，完成检测所需时间为验证试件性能所需的最短时间。对试件进行性能检测也可按设备环境适应性要求进行。记录检测结果。如果试件出现故障，则终止温湿度循环，进行步骤d)。若试件能正常工作，继续试验；
- d) 调节温湿度条件使其达到标准大气条件下温湿度。进行性能检测以便与试验前检测结果对比；
- e) 全面目视检查试件，并记录试件在湿度条件下暴露引起的变化情况。

湿热试验工作测试流程图见图 12。

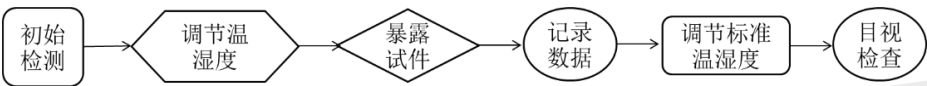


图 12 湿热试验工作测试流程图

7.6 霉菌试验

7.6.1 概述

试验开始前，按 7.6.3 c) 确定试件的技术状态、持续时间、菌种、贮存/工作的参数量值等。

7.6.2 试验准备

最好用新的试件，也可用做过其他试验的试件。若要求清洁试件，则应在清洁完成后至少 72 h 才开始试验，以使挥发性物质蒸发。清洁试件应采用典型的方法，使用清洁器皿制备无机盐溶液，并使溶液的 pH 值保持在 6.0 ~ 6.5 之间。使用无菌技术制备至少包含试验菌种的孢子悬浮液。进行验证试验，以检查孢子悬浮液的活力以及试验箱环境是否适合霉菌生长。

7.6.3 试验步骤

霉菌试验工作测试程序按以下步骤进行：

- a) 将试件按照要求的技术状态安装在试验箱内合适的支架上或进行悬挂；
- b) 在接种前将试件放置在工作中的试验箱内 (温度 $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $95\% \pm 5\%$) 至少 4 h；
- c) 通过喷雾器将混合孢子悬浮液以很细的薄雾，喷在棉布对照条上以及试件表面和里面 (若非永久密封或气密密封) 进行接种。应在对试件有适当了解的人员帮助下暴露试件的内表面并对其进行接种；
- d) 为了使空气能进入试件的内部，在复位试件的外壳时不要上紧紧固件；
- e) 接种后立即开始霉菌培养；
- f) 除 g) 和 h) 两个步骤外，在恒定温度 $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $95\% \pm 5\%$ 的条件下进行试验 (至少 28 d)；
- g) 在试验 7 d 后，检查对照条上的霉菌生长情况，以确认试验箱内的环境适合霉菌生长。此时与试件处于同一水平位置的对照条应至少有 90% 的表面被霉菌覆盖。否则，调节试验箱到所要求的适合霉菌生长的条件后开始整个试验。在试验期间对照条应留在试验箱内；
- h) 若在试验 7 d 后对照条 90% 以上的表面出现霉菌生长，则继续试验直到试验所要求的时间为止。若在试验结束时与试验 7 d 时相比对照条上霉菌的生长没有增加，则说明本次试验无效；
- i) 在试验结束时应立即检查试件；
- j) 如果试验后要求检测试件的工作性能，则在 i) 规定的检查期间使试件工作。

霉菌试验工作测试流程图见图 13。

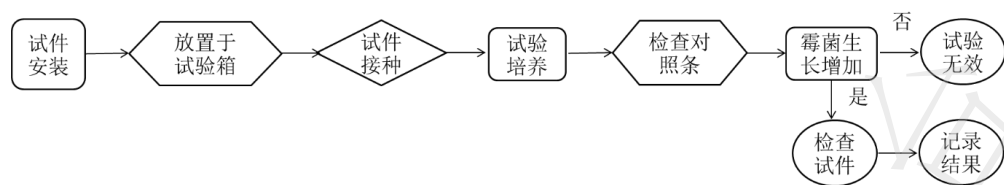


图 13 霉菌试验工作测试流程图

7.7 盐雾试验

7.7.1 概述

试验开始前，根据设备环境适应性要求确定程序变量、试件的技术状态、循环次数、持续时间、贮存/工作的参数量级等。

7.7.2 试验准备

应对受污染的试件表面进行预处理，以确保试件表面没有污染物(如油、脂或污物灰尘)等。

本试验所用的盐为氯化钠，这种氯化钠干燥状态下含有的碘化钠不能多于 0.1%，所含有的杂质总量不能超过 0.5%。不应使用含有防结块剂的氯化钠，以免防结块剂产生缓蚀剂的作用。

除另有规定外，5%±1%的氯化钠溶液应按以下方法制备：把 5 份重量的氯化钠溶解于 95 份重量的水中。通过调节温度和浓度，来调整并保持盐溶液的比重。若必要，盐溶液中可加入硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)作为 pH 缓冲剂，在 75 L 盐溶液中加入的硼砂量不超过 0.7 g。应保持盐溶液的 pH 值，使在试验箱中收集到的沉降盐溶液的 pH 值，在温度为 $35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 时保持在 6.5 ~ 7.2 之间。只能使用稀释的化学纯的盐酸或氢氧化钠来调整 pH 值。pH 值的测量可采用电化学法或比色法。

试验前，所有试件均应在标准大气条件下进行检测，以取得基础数据。检测应按以下步骤进行：

- a) 记录试验室内的大气条件；
- b) 对试件进行全面的目视检查。若要求更彻底的目视检查，应当考虑部分或全部拆开试件，但不能损坏任何保护性覆盖层等；
- c) 记录检查结果(若需要，可拍照)；
- d) 将试件安装在试验箱内，并符合所要求的技术状态；
- e) 根据有关文件要求进行运行检测，按 GJB 150.1A-2009 中 3.10 的要求记录试验结果；
- f) 若试件工作不正常，则应解决有关问题，并从上面最适当的步骤开始，重新进行试验前标准大气条件下的检测。

7.7.3 试验步骤

盐雾试验工作测试程序按以下步骤进行：

- a) 调节试验箱温度为 35°C ，并在喷雾前将试件保持在这种条件下至少 2 h；

- b) 喷盐雾24 h或设备环境适应性要求规定的时间。在整个喷雾期间，盐雾沉降率和沉降溶液的pH值至少每隔24 h测量一次，保证盐溶液的沉降率为 $(1 \sim 3) \text{ mL}/(80 \text{ cm}^2 \cdot \text{h})$ ；
- c) 在标准大气条件温度 $(15^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C})$ 和相对湿度不高于50%的条件下干燥试件24 h或设备环境适应性要求规定的时间；
- d) 干燥阶段结束时，除另有规定外，应将试件重置于盐雾试验箱内并重复b)和c)至少一次；
- e) 进行工作测试，记录试验结果(若需要，可拍照)；
- f) 按初始检测流程对试件进行目视检查，并记录检查结果。

盐雾试验工作测试流程图见图 14。

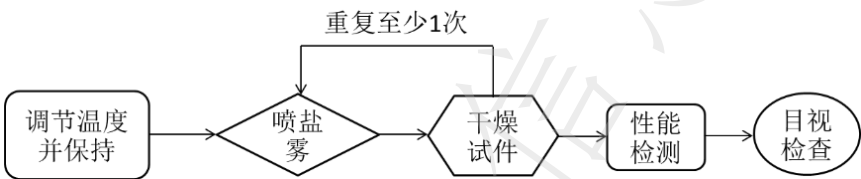


图 14 盐雾试验工作测试流程图

7.8 振动试验

7.8.1 概述

试验开始前，根据设备环境适应性要求确定试验程序、试件技术状态、试验量级、试验持续时间、振动台控制方法、失效判据、试件功能要求、测量仪器要求、试验设备能力及夹具等。此外还需满足以下条件：

- a) 选择合适的振动台和夹具；
- b) 选择合适的数据采集系统(仪器、电缆、信号调节器、记录仪和分析设备等)；
- c) 在没有安装试件前，对振动设备进行预调试，以确认工作正常；
- d) 保证数据采集系统的功能符合技术要求。

7.8.2 试验准备

所有试件都应在标准大气条件下进行试验前检测，以得到原始基础数据。检测按以下步骤进行：

- a) 检查试件是否有物理损伤并记录结果；
- b) 按制造商技术文件的规定，如果有要求就按工作技术状态准备试件；
- c) 检查试件、夹具与振动台的组合是否符合试件和制造商技术文件的要求；
- d) 如适用，则按制造商技术文件对试件进行工作状态下的测试并记录测试结果，以便与试验中和试验后得到的数据进行比较。

7.8.3 试验步骤

7.8.3.1 振动试验一般振动工作测试程序按以下步骤进行：

- a) 对试件进行外观检查和功能检查；
- b) 如有要求，进行夹具的模态测试以验证夹具是否满足要求；
- c) 将试件按寿命周期实际使用状态安装在夹具上；
- d) 在试件/夹具/振动台连接处或附近安装足够数量的传感器，测量试件/夹具界面的振动数据，根据控制方案的要求控制振动台并测量其他需要的数据；
- e) 如有要求，进行试件模态测试；
- f) 对试件进行外观检查，如果适用，还要进行功能检查；
- g) 在试件和夹具连接处施加低量级振动。如有要求，还要施加其他环境应力；
- h) 检查振动台、夹具和测量系统是否符合规定要求；
- i) 在试件/夹具连接处施加所要求的振动量级以及其他要求的环境应力；
- j) 检查试件/夹具连接处的振动量值是否符合规定。如果试验持续时间不大于0.5 h，在首次施加满量值振动后和全部试验结束前立即进行这个步骤。否则，在首次施加满量值振动后，此后每隔0.5 h和全部试验结束前立即进行这个步骤；
- k) 在整个试验过程中监测振动量值，如可行，应连续检测试件性能。如果振动量级出现变化或发生失效，执行关机程序终止试验。确定振动量级变化原因，然后按试验中断恢复程序进行处理；
- l) 在达到要求的试验持续时间时，停止振动。根据试验目的，制造商技术文件可能会要求在结束试验前进行附加的不同量级的振动。如果这样，根据制造商技术文件的要求重复；
- m) 检查试件、夹具、振动台和测量仪器。如果发生失效、磨损、松动或其他异常，按试验中断恢复程序进行处理；
- n) 核查测量设备功能，进行试件的功能检查；
- o) 在每个要求的激振轴向上重复a)~n)；
- p) 在每种要求的振动环境上重复a)~o)；
- q) 将试件从夹具上卸下，检查试件、安装硬件和包装等。

振动试验一般振动工作测试流程图见图 15。

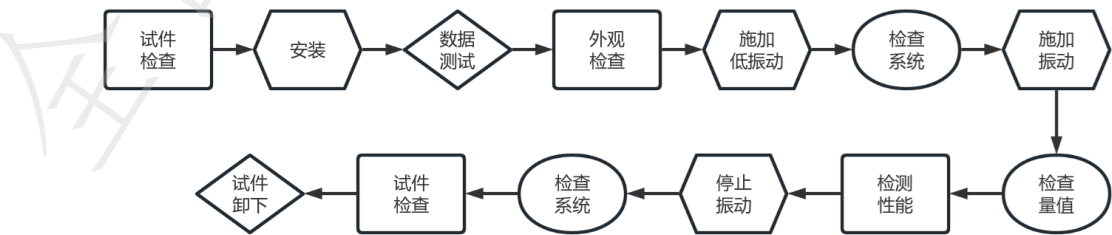


图 15 振动试验一般振动工作测试流程图

7.8.3.2 振动试验散装货物运输振动工作测试程序按以下步骤进行：

- a) 对试件进行外观检查和功能检查；
- b) 如有要求，进行试件的模态测试；
- c) 把试件放在运输振动台上的限制挡板内；
- d) 安装足够的传感器，测量所有需要的数据。保证测量系统的精度满足规定的精度要求；
- e) 运行运输振动台，运行时间为预定试验持续时间的一半；
- f) 对试件进行外观检查和功能检查；
- g) 调整试件与挡板/碰撞墙的朝向；
- h) 运行运输振动台，运行时间为所规定试验持续时间的一半；
- i) 对试件进行外观检查和功能检查。

7.8.3.3 振动试验大型组件运输振动工作测试程序按以下步骤进行：

- a) 对试件进行外观检查和功能检查；
- b) 根据制造商技术文件要求把试件安装在试验车辆上；
- c) 在试件上或附近安装传感器，以便测量试件和车辆界面处的振动参数和其他要求的参数。
应保护传感器以防止它们与安装面之外的其他表面接触；
- d) 对装有试件的车辆施加规定的试验；
- e) 对试件进行外观检查和功能检查；
- f) 按制造商技术文件要求的其他试验里程、试验负载或试验车辆，重复a)-e)。

8 试验结果

8.1 高度试验

按 GJB 150. 1A-2009 中 3. 17 提供的指南和利用试验中获得的与试件故障相关的数据对试验结果进行分析和评价。2 μm 激光放大器通过高度试验则判为该项目合格。

8.2 高温试验

按 GJB 150. 1A-2009 中 3. 17 提供的指南和利用试验中获得的与试件故障相关的数据对试验结果进行分析和评价。2 μm 激光放大器通过高温贮存及工作试验则判为该项目合格。

8.3 低温试验

按 GJB 150. 1A-2009 中 3. 17 提供的指南和利用试验中获得的与试件故障相关的数据对试验结果进行分析和评价。2 μm 激光放大器通过低温贮存及工作试验则判为该项目合格。

8.4 冲击试验

按 GJB 150. 1A-2009 中 3. 17 提供的指南和利用试验中获得的与试件故障相关的数据对试验结果

进行分析和评价。2 μm 激光放大器通过冲击试验则判为该项目合格。

8.5 湿热试验

按 GJB 150. 1A-2009 中 3. 17 提供的指南和利用试验中获得的与试件故障相关的数据对试验结果进行分析和评价。2 μm 激光放大器通过湿热贮存及工作试验则判为合格。

8.6 霉菌试验

按 GJB 150. 1A-2009 中 3. 17 提供的指南和利用试验中获得的与试件故障相关的数据对试验结果进行分析和评价。2 μm 激光放大器通过霉菌试验则判为该项目合格。

8.7 盐雾试验

按 GJB 150. 1A-2009 中 3. 17 提供的指南和利用试验中获得的与试件故障相关的数据对试验结果进行分析和评价。2 μm 激光放大器通过盐雾试验则判为该项目合格。

8.8 振动试验

按 GJB 150. 1A-2009 中 3. 17 提供的指南和利用试验中获得的与试件故障相关的数据对试验结果进行分析和评价。2 μm 激光放大器通过振动试验则判为该项目合格。
