

ICS 31.260

CCS L 51

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

全固态激光器长期运行可靠性评价方法

Evaluation method for long-term operation reliability of all-solid-state lasers

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 评价原则与要求 2

 4.1 评价原则 2

 4.2 评价机构要求 2

 4.3 评价人员要求 2

 4.4 测试环境要求 2

 4.5 试验样品要求 2

 4.6 试验设备要求 2

5 评价指标 3

6 试验方法 3

 6.1 试验前准备 3

 6.2 试运行试验 3

 6.3 长期稳态运行试验 3

 6.4 环境适应性试验 3

 6.5 激光损伤试验 4

 6.6 试验后性能检测 4

7 数据处理 4

 7.1 数据采集 4

 7.2 数据筛选与修正 4

 7.3 数据偏差要求 4

8 评价结果 4

 8.1 典型失效模式判定 4

 8.2 等级判定 4

 8.3 评价报告 5

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

全固态激光器长期运行可靠性评价方法

1 范围

本文件规定了全固态激光器长期运行可靠性的评价原则与要求、评价指标、试验方法、数据处理及评价结果。

本文件适用于连续波和脉冲工作模式的全固态激光器的长期运行可靠性评价,包括但不限于半导体泵浦固体激光器、微片激光器、光纤固体混合激光器等,其他类型的固体激光器可参照执行。

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 2423.1 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 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 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 环境试验 第2部分:试验方法 试验N: 温度变化
- GB/T 5080.7 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案
- GB 7247.1 激光产品的安全 第1部分:设备分类和要求
- GB/T 15175 固体激光器主要参数测量方法
- GB/T 16601.2 激光器和激光相关设备 激光损伤阈值测试方法 第2部分:阈值确定
- GB/T 34987 威布尔分析

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全固态激光器 all-solid-state laser

采用半导体激光器泵浦、固体晶体为增益介质,无气体、液体工作介质,整机结构全固化,通过光电转换实现稳定激光输出的激光设备。

3.2

长期运行可靠性 long-term operation reliability

激光器在规定试验环境、额定工况条件下,长期连续或间歇运行,保持输出性能稳定、无失效故障、满足额定工作要求的能力,是表征设备服役耐久性、工况适配性的核心综合特性。

3.3

B10寿命 B10 life

全固态激光器在规定条件下工作时,有10%的产品发生故障时所对应的工作时间。

3.4

平均无故障工作时间 mean time between failure, MTBF

设备在规定条件、规定时间内，累计有效工作时长与故障次数的比值，反映激光器无故障稳定运行能力，单位为小时（h）。

4 评价原则与要求

4.1 评价原则

4.1.1 科学性原则

评价指标体系、试验测试方法、可靠性计算模型均符合激光光学原理、设备可靠性理论与工业工程服役实践，试验方案设计合理，数据采集与分析流程规范。

4.1.2 客观性原则

测试与评价全过程排除人为主观干扰，以仪器实测数据、试验记录、国标判定依据为判定基础，保证评价过程公正、评价结果客观真实。

4.1.3 定量化原则

本文件所有可靠性评价指标均采用数值化阈值表达，全部检测项目可测量、可量化、可对比，杜绝模糊定性描述，实现全维度量化评级。

4.1.4 适用性原则

本评价方法流程规范、操作简便，适配各类常规全固态激光器可靠性评价工作。

4.1.5 安全性原则

试验测试全过程严格遵循GB 7247.1的规定，规范设备操作、光路调试、高功率运行流程，不造成样品不可逆损坏与试验安全隐患。

4.2 评价机构要求

开展本评价工作的机构应满足以下要求：

- a) 应具备符合本标准要求标准化试验场地、测试环境、计量仪器设备与全自动数据采集系统；
- b) 应建立完整的试验操作流程、全过程质量控制体系与数据追溯管理制度；
- c) 具备激光产品检测、可靠性评价相关CMA、CNAS资质或对应技术能力证明。

4.3 评价人员要求

参与本次评价的操作人员、数据核验人员、报告审核人员应满足以下要求：

- a) 应熟悉全固态激光器结构原理、光学参数测试方法及本文件全部规范要求；
- b) 应经专项岗前培训考核合格，熟练掌握设备校准、试验操作、数据采集流程；
- c) 应如实记录原始试验数据，对评价过程规范性与结果真实性负责；
- d) 结果审核人员应具备3年及以上激光设备可靠性评价从业经验，具备独立核验、判定评价结果的能力。

4.4 测试环境要求

试验测试环境与供电条件应满足以下要求：

- a) 标准试验环境温度： $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $45\text{RH} \sim 75\text{RH}$ ，试验区域无凝露、无粉尘、无腐蚀性气体；
- c) 试验场地无强机械振动、无冲击载荷、无强电磁干扰；
- d) 供电条件： $\text{AC } 220\text{V} \pm 10\%$ 、 $50\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ ，电压瞬时波动 $\leq \pm 5\%$ ，无谐波畸变、无突发断电扰动；
- e) 试验样品水平固定安装，光路无遮挡、无偏移，满足标准测试工况要求。

4.5 试验样品要求

参与可靠性评价的试验样品应满足以下要求：

- a) 样品为全新未服役、未经过老化测试、出厂检验合格的同批次全固态激光器；
- b) 单批次有效试验样品数量不少于3台，型号、额定参数、生产工艺、零部件配置完全一致；
- c) 样品试验前外观、光路、电路、温控系统完好，无隐性故障、无部件损伤、无参数漂移问题。

4.6 试验设备要求

所有试验、检测设备需经计量校准合格且在有效期内，量值可溯源，核心设备精度满足以下要求：

- a) 激光功率计：精度 $\pm 0.5\%FS$ ，采样频率 $\geq 10Hz$ ；
- b) 光束质量分析仪： M^2 因子测量精度 ± 0.02 ；
- c) 高低温环境试验箱：温度精度 $\pm 0.5^\circ C$ ，湿度精度 $\pm 3\%RH$ ，温变速率可控、恒温稳定；
- d) 数据采集记录仪：最小采样间隔 $\leq 1s$ ，数据存储精度 10^{-4} ，数据可长期留存、不可篡改；
- e) 配套辅助设备：供电稳压设备、冷却设备、固定工装运行稳定，无额外干扰误差。

5 评价指标

全固态激光器长期运行可靠性评价指标体系见表1。

表1 全固态激光器长期运行可靠性分级评价指标

评价指标	A级（卓越级）	B级（优良级）	C级（合格级）	不合格
平均无故障工作时间（MTBF）/h	≥ 20000	≥ 10000 且 < 20000	≥ 5000 且 < 10000	< 5000
B10寿命/h	≥ 15000	≥ 8000 且 < 15000	≥ 4000 且 < 8000	< 4000
环境适应性	顺利通过高低温、温度循环、湿热综合环境试验，无性能降级、无硬件异常	顺利通过高低温、温度循环单项环境试验，未开展综合耦合试验，无性能降级、无硬件异常	环境试验基本合格，允许存在 ≤ 1 项轻微可恢复性能降级，无硬件失效、无设备故障	存在 ≥ 2 项环境试验不合格，或出现硬件失效、设备故障
激光损伤阈值（LIDT）安全系数	≥ 3.0	≥ 2.0 且 < 3.0	≥ 1.5 且 < 2.0	< 1.5

6 试验方法

6.1 试验前准备

试验正式开展前应完成以下检查：

- a) 样品外观与状态核查：检查激光器整机外观、光路结构、电路接线、温控模块，确认无破损、无偏移、无隐性故障，样品状态完好；
- b) 设备校准核验：所有测试设备、采集系统、环境设备完成开机自检与计量校准；
- c) 初始参数检测：在标准试验环境下，依据GB/T 15175检测并记录样品额定输出功率、光束质量 M^2 因子、光学元件原始损伤阈值、额定功率密度等基础参数，作为试验前后性能对比、指标计算的基准依据。

6.2 试运行试验

具体步骤如下：

- a) 将调试完成的试验样品置于标准测试工况，空载连续试运行24h；
- b) 全程监测设备启停状态、温控精度、供电稳定性及故障报警信息，实时记录运行参数；
- c) 试运行期间无自动停机、无故障报警、参数无异常波动，判定试运行合格，可进入正式可靠性试验；若出现异常故障，应排查整改或更换样品后重新试运行。

6.3 长期稳态运行试验

6.3.1 MTBF试验

按GB/T 5080.7的规定进行。

6.3.2 B10寿命试验

按GB/T 34987的规定进行。

6.4 环境适应性试验

6.4.1 高温试验

按GB/T 2423.2的规定进行。

6.4.2 低温试验

按GB/T 2423.1的规定进行。

6.4.3 温度循环试验

按GB/T 2423.22的规定进行。

6.4.4 恒定湿热试验

按GB/T 2423.3的规定进行。

6.5 激光损伤试验

按GB/T 16601.2的规定测试核心光学元件激光损伤阈值，结合额定工作功率密度计算LIDT安全系数。

6.6 试验后性能检测

具体步骤如下：

- a) 全部试验结束后，待样品自然冷却至 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 室温环境，静置稳定后开展全套性能复测；
- b) 对比试验前后整机核心参数，统计性能退化程度与不可逆衰减指标；
- c) 核查泵浦源、增益晶体、光学镜片、温控模块、电路模块的老化、偏移、损伤情况，统计有效失效类型与数量，作为最终可靠性等级判定依据。

7 数据处理

7.1 数据采集

数据采集要求如下：

- a) 试验数据采用全自动数据采集为主、人工复核为辅的方式，所有运行参数、环境参数、试验时间参数实时同步存储，禁止事后补录、篡改数据；
- b) 异常瞬时波动数据需标注工况原因，未标注的异常数据视为无效数据，不予纳入指标计算。

7.2 数据筛选与修正

数据筛选与修正要求如下：

- a) 剔除设备调试、人工操作失误、环境参数超标导致的异常数据；
- b) 对于试验后的小幅参数波动，经核查为可恢复性波动的，不纳入性能降级统计；
- c) 不可逆参数衰减、硬件故障导致的参数异常，全部纳入有效失效与退化数据。

7.3 数据偏差要求

数据偏差要求如下：

- a) 同批次样品平行试验指标相对偏差应不大于2.0%，同型号不同批次样品评价结果偏差不大于3.0%，超出偏差范围应重新开展试验；
- b) 所有指标计算结果统一取值精度，寿命类指标取整、安全系数保留1位小数、退化率保留2位小数。

8 评价结果

8.1 典型失效模式判定

结合全固态激光器失效机理，明确四类典型失效模式，出现以下任意情况判定为有效失效：

- a) 泵浦源衰减失效，表现为输出功率持续不可逆下降、电光转换效率降低；
- b) 光路失效，表现为光束质量恶化、光斑畸变、发散角增大；
- c) 温控失效，表现为工作温度超差、频繁报警启停；
- d) 电路失效，表现为无法启机、运行中断、电压电流异常。

8.2 等级判定

等级判定规则如下：

- a) A级（卓越级）：受试激光器全部指标均达到A级要求，长期运行稳定性、环境适配性、光学安全冗余表现优异，判定为卓越级；
- b) B级（优良级）：受试激光器全部指标均达到B级及以上要求，且至少有一项未达到A级要求，试验全过程运行状态良好，判定为优良；
- c) C级（合格级）：受试激光器全部指标均达到C级及以上要求，且至少有一项未达到B级要求，试验过程无不可逆硬件失效、无重大试验异常，判定为合格；
- d) 不合格：受试激光器任意一项核心指标未满足C级合格阈值，或试验过程中出现不可逆硬件失效、设备故障停机、多项环境试验失效等问题，直接判定为不合格。

8.3 评价报告

评价工作全部完成后，评价机构应出具完整、规范、可溯源的评价报告，报告应包括下列内容：

- a) 基本信息：包含参评产品型号规格、核心额定参数、样品批次信息、评价机构信息、评价开展时间；
- b) 试验基础信息：列明参与试验的检测设备型号、精度参数、计量校准有效期、试验环境温湿度、供电条件、样品安装状态等基础试验条件；
- c) 试验数据：包含各阶段试验原始测试数据、参数复测记录、MTBF、B10寿命、LIDT安全系数的核算过程与最终结果、数据筛选及修正说明；
- d) 单项指标对比结果：对照本文件表1分级阈值，逐一系列明寿命可靠性、环境适应性、LIDT安全系数各项指标的实测等级与达标情况，明确指标差异与性能表现；
- e) 试验工况核查结论：汇总长期稳态运行、温度循环、激光损伤测试全流程试验工况，核查试验过程有无设备异常、性能降级、硬件失效等问题，明确试验有效性；
- f) 评价结论：依据指标等级判定规则，明确受试全固态激光器最终可靠性评价等级，并给出对应可靠性能说明；
- g) 佐证附件：附试验原始数据记录表、设备校准证书、试验环境记录、失效现象实拍记录、指标核算台账等全部支撑证明材料。