



中华人民共和国国家标准

GB/T 13863—202X

代替 GB/T 13862—2011

激光辐射功率和能量及其不稳定性测试方法

Test methods for laser beam radiant power, radiant energy and their instability

(ISO 11554: 2025, Optics and photonics - Lasers and laser-related equipment - Test methods for laser beam radiant power, radiant energy and temporal characteristics, MOD)

(征求意见稿)

(本稿完成日期: 2025 年 12 月 2 日)

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

20XX - XX - XX 发布

20XX - XX - XX 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

目次 I

前言 II

激光辐射功率和能量及其不稳定性测试方法 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和定义 2

5 测试原理 3

6 一般要求 4

 6.1 测试装置要求 4

 6.2 环境要求 5

 6.3 测量设备要求 5

 6.4 光束整形光学器件 6

 6.5 光衰减器 6

7 测量 6

 7.1 通用要求 6

 7.2 连续功率 7

 7.3 输出功率不稳定性及输出功率最大不稳定性 7

 7.4 脉冲能量 8

 7.5 输出能量不稳定性 8

 7.6 峰值功率 9

 7.7 峰值功率不稳定性 10

 7.8 相对噪声强度 10

8 测量不确定度评定 11

 8.2 连续功率 12

 8.3 脉冲能量 12

9 测试报告 12

附录 A （资料性附录） 本文件与 ISO 11554：2025 结构编号对照 15

附录 B （资料性附录） 本文件与 ISO 11554：2025 技术差异及其原因 16

附录 C （资料性附录） 相对强度噪声 17

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》给出的规则起草。

本文件代替GB/T 13863—2011《激光辐射功率和功率不稳定性测试方法》。与GB/T 13863—2011相比，除结构调整和编辑性修改外，主要技术变化如下：

- a) 标准名称修改为《激光辐射功率和能量及其不稳定性测试方法》；
- b) 修改了术语和定义（见第3章，2011版的第3章）；
- c) 增加了测试原理（见第4章）；
- d) 增加了测试配置、测试设备和辅助设备（见第5章）；
- e) 删除了测试条件（2011版的第4章）；
- f) 增加了相对强度噪声测试方法（见第7.3）；
- g) 增加了相对强度噪声测试评价（见8.3）；
- h) 增加了脉冲能量、峰值功率测试（见第7.4，7.6）；
- i) 增加了脉冲能量、峰值功率测试评价（见第8.4，8.6）。

本文件使用重新起草法修改采用ISO 11554:2025《光学和光子学 激光和激光设备 激光束功率、能量和时间特性测试方法》。

本文件与ISO 11554:2025相比在结构上有一定调整，附录A中列出了本文件与ISO 11554:2025的章节编号对照一览表。

附录B中列出了本文件与ISO 11554:2025的技术性差异及其原因的一览表。

需要说明的是本文件适用范围不涉及ISO 11554有关脉冲激光时域特性测试方法以及小信号截止频率等内容。

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。

本文件不涉及版权风险。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会（SAT/TC 284）归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第十一研究所、北京京仪光电技术研究所有限公司、中国人民解放军国防科技大学、中国科学院空天信息创新研究院、中国计量科学研究院、深圳市计量质量检测研究院、上海市计量测试技术研究院有限公司、深圳市检验检疫科学研究院、中国兵器工业标准化研究所。

本文件主要起草人：唐晓军、张春仙、陆耀东、邓宇、许晓军、麻云凤、邓玉强、李向召、夏铭、朱辰、谢晋雄、祁卓。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- GB/T 13863—1992、GB/T 13864—1992；
- GB/T 13863—2011；
- 本次为第二次修订。

激光辐射功率和能量及其不稳定性测试方法

1 范围

本文件规定了连续和准连续激光功率、脉冲能量、峰值功率及其不稳定度的测试方法。
本文件适用于连续和准连续激光功率、脉冲能量、峰值功率及其不稳定度的测试。

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 7247.1—2024 激光产品的安全 第1部分：设备分类和安全

GB/T 15313—2008 激光术语

GB/T 27418 测量不确定度评定和表示

GB/T 41572—2022 脉冲激光时域主要参数测量方法

GB 44703—2024 光辐射安全通用要求

3 术语和定义

GB/T 15313 界定的以及下列术语和定义均适用于本文件。

3.1

输出功率不稳定性 maximum instability of laser radiation power

测量时间内k倍采样功率均方根与平均值的比值，k一般为2。

3.2

输出能量不稳定性 maximum instability of laser radiation energy

测量时间内k倍脉冲能量均方根与脉冲能量平均值的比值，k一般为2。

3.3

输出功率最大不稳定性 maximum instability of laser radiation power

测量时间内采样功率最大值与最小值之差与2倍平均值的比值。

3.4

输出能量最大不稳定性 maximum instability of laser radiation energy

在一定的时间范围内，激光脉冲能量最大值与最小值之差与2倍脉冲能量平均值的比值。

3.5

相对强度噪声 relative intensity noise RIN

单位带宽的光强度均方噪声与平均光功率平方的比值。

4 符号和定义

GB/T 15313 以及表 1 中所指定的符号和单位适用于本文。

表 1 符号和定义

符号	单位	定义
\bar{P}	W	连续功率平均值
P_i	W	第 i 次功率测量值
P_{\max}	W	连续功率测量最大值
P_{\min}	W	连续功率测量最小值
ΔP	1	输出功率不稳定性
ΔP_{\max}	1	输出功率最大不稳定性
\bar{Q}	J	脉冲能量平均值
Q_i	J	第 i 次脉冲能量测量值
f_{rep}	Hz	脉冲重复率
Q_{\max}	J	脉冲能量测量最大值
Q_{\min}	J	脉冲能量测量最小值
ΔQ	1	输出能量不稳定性
ΔQ_{\max}	1	输出能量最大不稳定性
P_{pk}	W	峰值功率
S_{\max}	V	探测器输出峰值电信号
t_1	s	脉冲激光上升时间点
t_2	s	脉冲激光下降时间点
$S(t)$	V	探测器输出电信号
τ_{H}	s	脉冲宽度
\bar{P}_{pk}	W	峰值功率平均值
V_{pk}	V	峰值功率探测器波形峰值电压
R	V/W	探测器功率响应度

$P_{pk,max}$	W	峰值功率测量最大值
$P_{pk,min}$	W	峰值功率测量最小值
ΔP_{pk}	1	峰值功率相对不稳定性
$\Delta P_{pk,max}$	1	峰值功率最大不稳定性
$\langle \Delta P(f) \rangle^2$	W ²	光强度均方噪声
Δf	Hz	等效噪声带宽
k	1	包含因子
m	1	读数
\overline{m}	1	读数 m 的平均值
$R(f)$	Hz ⁻¹ 或 dB/Hz	相对强度噪声，RIN
s	1	测量相对标准方差
U_{rel}	1	相对扩展不确定度

注 1：对于测量不确定度包含因子，可进一步参考 GB/T 27418。

注 2：根据 GB/T 27418，扩展不确定度通过标准不确定度与包含因子相乘得到，对于正态分布，包含因子 $k=2$ ，表示测试值位于扩展不确定度所定义包含区间的置信概率大约为 95%。

注 3：以 dB/Hz 表示的 $R(f)$ 相当于 $10\log_{10}R(f)$ ，其中 $R(f)$ 以 Hz⁻¹ 表示。

5 测试原理

小发散角激光束照射在探测器靶面，在探测器线性响应动态范围内，探测器输出幅值与激光输出功率或能量成线性关系，由此，通过探测器幅值-时间曲线得到输出功率或能量-时间曲线，如图 1 所示。
大发散角激光源辐射由积分球收集。适宜时可使用光束整形和衰减器。

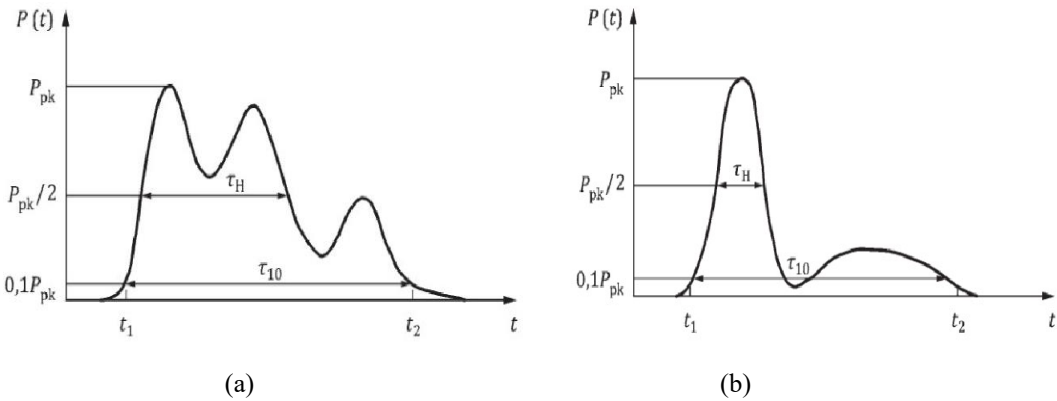


图 1 激光器辐射脉冲激光的功率-时间特性曲线图
(a 为一般脉冲激光示例，b 为 TEA 激光示例)

6 一般要求

6.1 测试装置要求

6.1.1 小发散角激光源

被测激光束和测试系统应共轴，选择光学系统横截面时应确保光学系统可包含激光束整个横截面，且拦光或衍射损耗小于预期测量不确定度的10%。

可采用适当光学准直设备（例如，准直激光器或转向镜）用于调整测试系统与被测激光束共轴。调整衰减器或光束整形装置，以使光轴穿过测试系统几何中心。

注1：反射光、外部杂散光、热辐射及气流都可能是误差源。

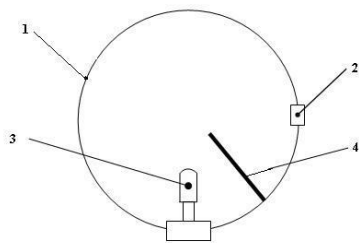
完成准备工作后，为确认全部激光束都能照射到探测器靶面，可在各光学组件前加入不同孔径的光阑，减小光阑孔径直到输出信号降低 5 %。此时光阑孔径应对应光学组件的孔径至少小20%。对于发散光束，光阑应直接放置在探测器前面以确保接收全部光束。

注2：测试之前应移除光阑。

6.1.2 大发散角激光源

大发散角激光源应采用积分球测试，激光辐射经积分球表面多次反射，形成与激光输出功率或能量成正比的表面均匀辐照度，该辐照度通过积分球壁上的探测器测量得到。应使用不透光的漫反射屏遮挡探测器以防止被测光束直接照射到探测器靶面。待测光源放置在积分球入口处或附近，以避免辐射直接照射到探测器靶面上。

图2所示积分球测试装置示意图，适用于放置于积分球内部的小尺寸激光源测试，大尺寸光源应置于球外，但应尽量靠近积分球入射窗口，以使光源发出的所有辐射都能进入积分球。



说明：

- 1——积分球；
- 2——探测器；
- 3——待测设备；
- 4——散射屏。

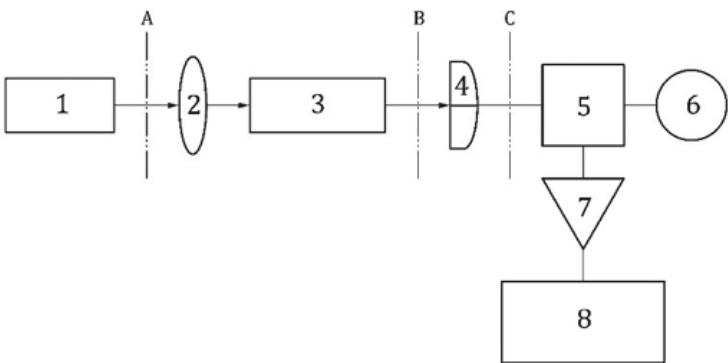
图2 积分球测试装置示意图

6.1.3 相对强度噪声测试装置

相对强度噪声（RIN）测试装置框图如图2所示。激光束通过透镜，衰减器或其他损耗介质，最后到达探测器靶面。调节测试装置，使输出功率反射回到激光器的功率最小以避免测试误差。

RIN由各损耗介质之前的参考面A处确定。在平面B处的损耗以及在平面C处探测过程低效都将导致RIN中泊松分布部分增加。

注1 对于RIN组成部分的说明，详见附录C。



- 说明：
- | | |
|--------------------|-----------------|
| 1: 激光源 | 7: 前置放大器 |
| 2: 透镜 | 8: 电频谱分析仪 |
| 3: 衰减器或其它损耗介质 | A: 定义RIN 的参考平面 |
| 4: 光电探测器 | B: 泊松RIN因损耗增加 |
| 5: 电分路器用于分离直流和交流组分 | C: 探测器增加RIN散粒噪声 |
| 6: 直流电流表 | |

图3 RIN测试装置框图

测试RIN时，电分路器将测试激光器的直流信号发送给直流电流表，同时交流电子噪声被放大后显示在频谱分析仪上。RIN受多个参数影响，主要包括：

- a) 频率；
- b) 输出功率；
- c) 温度；
- d) 调制频率；
- e) 光学反馈的时间延迟和量级；
- f) 模抑制比；
- g) 弛豫振荡频率。

因此，测量时应尽量保持以上参数稳定。

6.2 环境要求

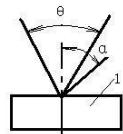
采取对测试设备隔振隔音、遮挡外部辐射干扰、控制室内温度稳定以及选择低噪声放大器等适宜的措施，降低环境对测试误差的影响。遮挡激光光束，依据第7章所述的背景测试进行检查；当激光束被遮挡时（例如，通过激光谐振腔处或靠近激光输出端处的光束阻挡器），根据第8章所述的测量不确定度评定所获得的标准偏差值（激光束被遮挡时）应小于激光束到达探测器靶面时所测得结果的10%。

6.3 测量设备要求

测量设备应经计量机构检定或校准，符合测试要求。此外，还应注意以下方面：

- a) 激光功率计/能量计
 - 1) 探测器或电学设备的波长相关性、非线性或非均匀性应尽可能小或者使用校准程序进行校正；
 - 2) 仅当激光发散角 θ 范围内探测器灵敏度均匀，与入射光束的入射角度 α 无关，且全部光束可辐射到探测器靶面的情况下，才可使用直接测量，即采用不带积分球的平面探测器进行测量（参见图 4）；测试大发散角光束时，宜使用积分球探测器以确保接收到所有辐射光

束（参见 6.3b）；



说明：

- 1——平面探测器；
- θ ——激光束发散角；
- α ——最大接收角。

图 4 平面探测器角度说明示意图

- b) 积分球
 - 1) 积分球开口面积与整个球面积相比应尽可能小；
 - 2) 积分球内表面和漫射屏应具有高反射比（ $\rho > 90\%$ ）均匀漫反射的涂层；
 - 3) 积分球开口引起的损耗应小于 5%；
 - 4) 如被测设备安装在球内部时，相对于设备表面、屏及孔径，球表面应足够大；
- c) 波形探测器
 - 1) 应通过制造厂家数据或测试确认探测器件输出量（例如电压）与输入量（激光功率）成线性关系，作为峰值功率探测器使用时，应对探测器件的功率响应度进行标定；
 - 2) 探测器件及其他相关电子设备的波长相关性、非线性、非均匀性和输入角度敏感性应尽可能小或使用校准程序校正；
 - 3) 探测器的电学响应频率带宽以及其他相关电学设备的带宽应能正确复现时域激光脉冲波形；
 - 4) 在测量脉冲波形特征（如峰值功率、脉冲宽度等）时，所使用的探测器（包括放大器和其它相关电学设备）的上升时间和下降时间应分别小于待测脉冲上升时间和下降时间的 10%；
 - 5) 应注意确定探测器靶面以及位于激光器和探测器之间的所有光学元件（如偏振器、衰减片）的损伤阈值（辐照度、辐照量、辐射功率和辐射能量），以确保入射激光束不超过该阈值。

6.4 光束整形光学器件

当光束截面大于探测器靶面时，应使用适当的光学系统将光束横截面区域成像到探测器靶面。
应选择与被测辐射波长相匹配的光学系统，在测试中应测量并考虑吸收/反射/拦光/衍射/偏振损失。如果使用偏振反射器还应考虑激光辐射偏振态。

6.5 光衰减器

必要时，可使用衰减器降低到达探测器靶面的激光功率密度或能量密度。
当激光功率或能量超过探测器线性范围或损伤阈值时，应使用光学衰减器。应使光学衰减器的波长、偏振、角度等相关性和非线性、空间非均匀性尽可能小或者通过校正程序修正。

7 测量

7.1 通用要求

如无另外声明，所有测量均重复10次以上取平均，在测量过程中交替进行背景测量。
除非另有规定，被测激光器应在产品规范或其他技术文件所规定的工作条件下工作，工作稳定后开始测量。

对工作人员和测量设备采取的激光辐射安全防护措施，应符合GB 44703—2024第6章、第7章和GB/T 7247.1—2024第6章相关要求。

7.2 连续功率

采用激光功率计测量激光功率，必要时可增加衰减器，具体测量步骤如下：

- 将激光器的输出光束对准激光功率计探头靶面中心，并保持适当距离；
- 选择激光功率计合适的波长和量程进行测量；
- 每隔一定时间测量并记录一次功率计读数，重复测量 n （ $n \geq 10$ ）次以上，取平均值得到输出功率，如式（1）所示：

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (1)$$

式中：

P_i —— 第 i 次功率测量值，W；

n —— 测量次数。

7.3 输出功率不稳定性及输出功率最大不稳定性

根据测量时间分为短期、中期和长期不稳定性，测量时间及采样间隔时间具体依据产品规范或用户要求确定，可参考表2。

表2 输出功率不稳定性测量时间及采样间隔时间

序号	分类	测量时间	采样间隔时间
1	短期	$\leq 10\text{min}$	$\leq 10\text{s}$
2	中期	$10\text{min} \sim 4\text{h}$	$\leq 10\text{s}$
3	长期	$\geq 4\text{h}$	$\leq 5\text{min}$

- 在测量时间内，按采样间隔时间测量 n （ $n \geq 10$ ）次功率 P_i ，取平均得到输出平均功率 \bar{P} ，记录测量时间内的功率最大值和最小值；

- 依据公式（2）、（3）计算输出功率不稳定性 ΔP 和输出功率最大不稳定性 ΔP_{\max} ；

$$\Delta P = 2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} / \bar{P} \quad (2)$$

$$\Delta P_{\max} = (P_{\max} - P_{\min}) / 2\bar{P} \quad (3)$$

式中：

P_i —— 第 i 次功率测量值，W；

\bar{P} —— 功率测量平均值，W；

P_{\max} —— 功率测量最大值，W；

P_{\min} —— 功率测量最小值，W；

n —— 测量次数。

7.4 脉冲能量

7.4.1 单脉冲或低重复率脉冲能量

使用激光能量计测量脉冲激光器单脉冲能量或低重复率脉冲能量（脉冲重复率 $\leq 100\text{kHz}$ ），必要时使用衰减器，具体测量步骤如下：

- 将激光器的输出光束对准激光能量计探头靶面中心，并保持适当距离；
- 选择激光能量计合适的波长和量程进行测量，测量低重复率脉冲能量时，注意选用响应时间小于待测脉冲重复率倒数的激光能量计；
- 每隔一定时间测量并记录一次脉冲能量 Q_i ，重复测量 n （ $n \geq 10$ ）次以上，取平均值得到脉冲能量 \bar{Q} ，如公式（4）所示。

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (4)$$

式中：

Q_i —— 第 i 次脉冲能量测量值，J；

n —— 测量次数。型式检验采用抽样检验方式，检查项目应为全性能检验。

7.4.2 高重复率脉冲能量

对于高重复率（脉冲重复率 $> 100\text{kHz}$ ）脉冲输出的激光器，可将高重复率脉冲输出视为准连续激光输出，使用激光功率计测量高重复率脉冲激光器的平均功率，必要时使用衰减器，具体步骤如下：

- 按7.2测量输出功率 \bar{P} ；
- 按GB/T 41572—2022 6.3测量脉冲重复率 f_{rep} ；
- 按公式（5）计算脉冲平均能量 \bar{Q} ：

$$\bar{Q} = \frac{\bar{P}}{f_{\text{rep}}} \quad (5)$$

式中：

\bar{P} —— 激光平均功率，W；

f_{rep} —— 脉冲重复率，Hz。

7.5 输出能量不稳定性

根据测量时间分为短期、中期和长期不稳定性，测量时间及采样间隔时间可参考表2，也可依据产品规范或用户要求确定，具体测试步骤如下：

- 按7.4所述方法，在测量时间内，按采样间隔时间测量 n （ $n \geq 10$ ）次，取平均值得到脉冲能量平均值 \bar{Q} ，脉冲能量最大值 Q_{max} 以及脉冲能量最小值 Q_{min} ；

- 依据公式（6）、（7）计算输出能量不稳定性 ΔQ 和输出能量最大不稳定性 ΔQ_{max} ；

$$\Delta Q = 2\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} / \bar{Q} \quad (6)$$

$$\Delta Q_{\max} = (Q_{\max} - Q_{\min}) / 2\bar{Q} \quad (7)$$

式中：

- \bar{Q} —— 平均脉冲能量，J；
 Q_{\max} —— 脉冲能量测量最大值，J；
 Q_{\min} —— 脉冲能量测量最小值，J；
 n —— 测量次数。

7.6 峰值功率

7.6.1 采用激光峰值功率探测器直接测量（仲裁法）

采用激光峰值功率探测器直接测量，必要时使用衰减器。具体步骤如下：

- 将激光峰值功率探测器输出信号接入示波器输入，示波器输入阻抗设置为与激光峰值功率探测器的输出阻抗相匹配，必要时增加匹配电阻；
- 将被测激光光束对准激光峰值功率探测器靶面，必要时，可增加衰减器；
- 发射激光，在示波器上采集激光峰值功率探测器输出信号波形，并读取波形的峰值电压 V_{pk} ；
- 按公式（8）计算脉冲峰值功率 P_{pk} ：

$$P_{pk} = \frac{V_{pk}}{R} \quad (8)$$

式中，

- V_{pk} —— 峰值功率探测器波形峰值电压，V；
 R —— 峰值功率探测器的响应度，（V/W）。
e) 测量 n （ $n \geq 10$ ）次，取平均值作为测量结果。

7.6.2 脉冲波形测量

采用波形探测器和能量计同时测量脉冲能量的波形和脉冲能量，通过计算得到峰值功率，具体测试步骤如下：

- 按7.4测量一定时间范围内的平均脉冲能量 \bar{Q} ；
- 测量脉冲能量的同时，将波形探测器放置在合适位置接收激光散射光，采集激光脉冲波形 $S(t)$ ；
- 按公式（9）计算脉冲峰值功率 P_{pk} ：

$$P_{pk} = \frac{S_{\max} \bar{Q}}{\int_{t_1}^{t_2} S(t) dt} \quad (9)$$

式中，

- S_{\max} —— 波形探测器测量的峰值电压，V。

t_1 ——脉冲波形上升过程中达到峰值强度10%的时间点第*i*次测量值，如图1所示，s；

t_2 ——脉冲波形下降过程中达到峰值强度10%的时间点第*i*次测量值，如图1所示，s；

$S(t)$ ——波形探测器测量的脉冲时域波形，V。

\bar{Q} ——平均脉冲能量，J。

d) 测量 n ($n \geq 10$) 次，取平均值作为测量结果。

7.6.3 能量比脉冲测量

采用波形探测器和能量计同时测量脉冲宽度和脉冲能量，通过计算得到峰值功率，具体测试步骤如下测试方法如下：

a) 按7.4测量一定时间范围内的平均脉冲能量 \bar{Q} ；

b) 采用GB/T 41572—2022中6.2测量脉冲宽度 τ ；

c) 按公式(10)计算脉冲峰值功率 P_{pk} ；

$$P_{pk} = \frac{\bar{Q}}{\tau_H} \quad (10)$$

式中，

\bar{Q} ——平均脉冲能量第*i*次测量值，J；

τ_H ——脉冲宽度第*i*次测量值，s。

d) 测量 n ($n \geq 10$) 次，取平均值作为测量结果。

7.7 峰值功率不稳定性

根据测量时间分为短期、中期和长期不稳定性，测量时间及采样间隔时间可参考表2，也可依据产品规范或用户要求确定，具体测试步骤如下：

a) 按7.6.1方法，在测量时间内，测量得到 n ($n \geq 10$) 次脉冲峰值功率 P_{pki} ，取平均得到平均峰值功率 \bar{P}_{pk} ，并记录脉冲峰值功率测量最大值 $P_{pk,max}$ 和最小值 $P_{pk,min}$ ；

b) 按公式(11)、(12)计算得到峰值功率不稳定性度度和峰值功率最大不稳定性度。

$$\Delta P_{pk} = 2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{pk,i} - \bar{P}_{pk})^2}{n-1}} / \bar{P}_{pk} \quad (11)$$

$$\Delta P_{pk,max} = (P_{pk,max} - P_{pk,min}) / 2\bar{P}_{pk} \quad (12)$$

式中：

$P_{pk,max}$ ——脉冲峰值功率最大值，W；

$P_{pk,min}$ ——脉冲峰值功率最小值，W；

n ——测量次数。

7.8 相对噪声强度

采用频谱分析仪测量光强度均方噪声，采用功率计测量功率，最后计算得到相对噪声强度，测试步骤如下：

- a) 激光器在指定输出功率下工作，采用频谱分析仪，在指定等效噪声带宽 Δf 的指定中心频率 f 处测量噪声功率（如图3所示），同时，记录探测器光电流；
- b) 采用相同波段范围内宽光谱辐射源，例如LED，替代被测激光器，获得上述所记录的光电流，采用频谱分析仪测量得到噪声功率，该噪声功率测试值对应包含预放大器噪声的散点和热噪声功率；
- c) a) 项与b) 项测量得到的噪声功率相减后，得到式（2）中的光强度均方噪声 $\langle \Delta P(f) \rangle^2$ ；
- d) 按7.2所述方法测量功率；
- e) 按公式（13）计算RIN。

$$R(f) = \frac{\langle \Delta P(f) \rangle^2}{\bar{P}^2} \frac{1}{\Delta f} \quad (13)$$

式中，

$\langle \Delta P(f) \rangle^2$ ——光强度均方噪声， W^2 ；

Δf —— 等效噪声带宽，Hz。

注1: 详情见附录C。

8 测量不确定度评定

8.1 总则

根据公式（14）计算 n 个测量值 m_i ($i=1, 2, \dots, n$) 的标准方差 s 。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} \quad (14)$$

其中， \bar{m} 根据公式（15）计算。

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \quad (15)$$

平均值的标准方差 $s_{\bar{m}}$ 根据公式（16）计算。

$$s_{\bar{m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n(n-1)}} \quad (16)$$

根据公式（17）计算平均值 \bar{m} 的相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(\bar{m})$ ，由平均值的标准方差 $s_{\bar{m}}$ 以及校准因子的相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(C)$ 确定。

$$U_{\text{rel}}(\bar{m}) = \sqrt{\frac{4(s_{\bar{m}})^2}{\bar{m}^2} + [U_{\text{rel}}(C)]^2} \quad (17)$$

其中，校准因子的相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(\text{C})$ 依据公式（18）确定

$$U_{\text{rel}}(\text{C}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [U_{\text{rel}}(\text{C}_i)]^2} \quad (18)$$

$U_{\text{rel}}(\text{C}_i)$ 表示测量系统中各组成部件的校准因子的相对扩展不确定度，例如探测器、衰减器、电学测量设备等。对于正态分布，相对扩展不确定度 U_{rel} 置信概率为95%（包含因子 $k=2$ ）。

注：关于置信概率95%详见GB/T 27418。

8.2 连续功率

使用平均值的标准方差 $s_{\bar{P}}$ 以及校准因子相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(\text{C})$ 计算相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(\bar{P})$ 。

$$U_{\text{rel}}(\bar{P}) = \sqrt{\frac{4(s_{\bar{P}})^2}{\bar{P}^2} + [U_{\text{rel}}(\text{C})]^2} \quad (19)$$

8.3 脉冲能量

使用平均值的标准方差 $s_{\bar{Q}}$ 以及校准因子相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(\text{C})$ 计算相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(\bar{Q})$ 。

$$U_{\text{rel}}(\bar{Q}) = \sqrt{\frac{4(s_{\bar{Q}})^2}{\bar{Q}^2} + [U_{\text{rel}}(\text{C})]^2} \quad (20)$$

9 测试报告

测试报告应包括以下信息：

- a) 通用信息；
 - 1) 依据本文件进行测试；
 - 2) 测试时间；
 - 3) 测试单位的名称和地址；
 - 4) 参加测试人员。
- b) 待测激光器的情况；
 - 1) 激光器类型；
 - 2) 生产厂商；
 - 3) 产品型号；
 - 4) 出厂编号。
- c) 测试条件；
 - 1) 测试的激光波长；
 - 2) 以单位 K 表示的温度（二极管激光器制冷）（仅适用于二极管激光器）；
 - 3) 工作模式（连续/脉冲）；
 - 4) 激光器参数设置：
 - 输出功率或能量

- 输入电流或输入功率
- 输入脉冲电流或输入脉冲能量
- 输入脉冲持续时间
- 输入脉冲重复频率
- 5) 模式结构;
- 6) 偏振;
- 7) 环境条件。
- d) 测试和评价相关信息;
 - 1) 所采用的测试方法;
 - 2) 探测器和采样系统:
 - 探测器系统的响应时间
 - 采样触发延迟 (仅适用于脉冲激光器)
 - 测试时间间隔 (仅适用于脉冲激光器)
 - 3) 光束整形光学和衰减方式:
 - 衰减类型
 - 分束器类型
 - 聚焦元件类型
 - 4) 测试所使用的其他光学元件和设备 (偏振器、单色仪等);
 - 5) 测试所选用的其他相关参数或特点 (孔径设置、参考面、参考轴、实验室系统);
- e) 测试结果:
 - 1) 按照 7.2 的测试
 - 连续功率;
 - 连续功率的相对扩展不确定度;
 - 2) 按照 7.3 的测试
 - 采样周期内输出功率不稳定性;
 - 采样周期内输出功率最大不稳定性;
 - 测试期间最大和最小读数;
 - 3) 按照 7.4 的测试
 - 脉冲能量;
 - 脉冲能量的相对扩展不确定度;
 - 4) 按照 7.5 的测试
 - 采样周期内输出能量不稳定性;
 - 采样周期内输出能量最大不稳定性;
 - 测试期间最大和最小读数;
 - 5) 按照 7.6 的测试
 - 峰值功率;
 - 脉冲能量;
 - 脉冲宽度;
 - 脉冲时间波形;
 - 6) 按照 7.7 的测试
 - 采样周期内峰值功率不稳定性;
 - 采样周期内峰值功率最大不稳定性;
 - 测试期间最大和最小读数;

7) 按照 7.8 的测试

- 中心频率和等效噪声带宽;
- 光强度均方噪声;
- 平均光功率;
- 相对噪声强度。

附 录 A
(资料性附录)
本文件与 ISO 11554：2025 结构编号对照

表A.1给出了本文件与ISO 11554：2025结构编号对照一览表。

表A.1 本部分与 ISO 11554：2025 的章条编号对照情况

本标准的章条编号	ISO 11554：2025 的章条编号
1	1
2	2
3	3
3.1	—
3.2	—
3.3	—
3.4	3.1
4	4
5	5
6	6
6.1	6.1
6.2	6.2
6.3	6.3
6.4	6.4
6.5	6.5
7	7
7.1	7.1
7.2	7.2
7.3	7.3
7.4	7.4
7.5	7.5
7.6	—
7.7	7.9
8	8
8.1	8.1
8.2	8.2
8.3	8.4
9	9
附录 A	—
附录 B	—
附录 C	附录 A

附 录 B
(资料性附录)

本文件与 ISO 11554：2025 技术差异及其原因

表B.1给出了本文件与ISO 11554：2025技术差异及其原因的一览表。

表B.1 本部分与 ISO 11554：2025 的技术性差异及其原因

本文件结构编号	技术差异	原因
1	更改适用范围为连续和准连续激光功率、脉冲能量、峰值功率及其不穩定度的测试方法，删除了有关脉冲激光时间特性参数的相关内容。	脉冲激光时域特性参数测试相关内容在 GB/T 41572 中已有规定。
3	增加以下 4 个术语定义： 输出功率不穩定度、输出功率最大不穩定度、输出能量不穩定度、输出能量最大不穩定度 删除以下术语定义： 小信号截止频率术语定义	根据国内工程实践需求增加
6	删除 6.1.4 小信号截止频率相关内容	不属于本国标范围。
7	增加输出功率最大不穩定度、输出能量不穩定度、输出能量最大不穩定度、峰值功率及其不穩定度的测试方法； 删除小信号截止频率、脉冲激光器时间特性主要参数相关测试内容	增加原因为适应国内工程实践需求； 删除原因为小信号截止频率、脉冲激光器时间特性主要参数相关内容不属于本国标范围。

附 录 C
(资料性附录)
相对强度噪声

时域中，激光功率 $P(t)$ 可用公式(C.1)表示：

$$P(t) = P_0 + \Delta P(t) \quad (\text{C. 1})$$

式中：

$P(t)$ ——平均激光功率，单位为瓦（W）；

$\Delta P(t)$ ——激光功率波动，单位为瓦（W）。

频域中，相对噪声强度 $R(f)$ 是被平均功率平方 P_0^2 归一化的单边谱辐射波动，如公式（C.2）所示：

$$R(f) = \frac{S_{\Delta P}(f)}{P_0^2} \quad (\text{C. 2})$$

式中，

$$S_{\Delta P}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{4\pi |V_T(f)|^2}{T} \quad (\text{C. 3})$$

$$V_T(f) = \int_{-T/2}^{T/2} \Delta P(t) e^{-2\pi i f t} dt \quad (\text{C. 4})$$

同时， $R(f)$ 可根据公式（C.5）计算得到。

$$C_{\Delta P}(t) = \langle \Delta P(t) \Delta P(t + \tau) \rangle \quad (\text{C. 5})$$

根据维纳-辛钦定理， $C_{\Delta P}(t)$ 的傅里叶变换是功率谱密度 $S_{\Delta P}(f)$ ，如公式（C.6）所示。

$$S_{\Delta P}(f) = 4 \int_0^{\infty} C_{\Delta P}(\tau) e^{2\pi i f \tau} d\tau \quad (\text{C. 6})$$

带宽为 $[f_L, f_H]$ 系统的信噪比SNR是RIN在系统带宽内辐射功率起伏全部谱成分上进行积分后的倒数，如公式(C.5)所示。

$$SNR = \frac{P_0^2}{\langle \Delta P(t)^2 \rangle} = \left[\int_{f_L}^{f_H} R(f) df \right]^{-1} \quad (\text{C. 7})$$

由于电功率 P_E 与电流 i 的平方成正比，因此，与辐射功率 P_{opt} 的平方成正比，如公式(C.8)所示。

$$P_E \propto i^2 \propto P_{opt}^2 \quad (\text{C. 8})$$

该定义与电SNR定义一致，电SNR定义为 $P_{\text{signal}} / P_{\text{noise}} = P_{AC} / P_{DC}$ 。

激光噪声来自于两个部分：泊松和过剩噪声。

泊松RIN与连续辐射的量子性质直接相关，如公式 (C. 9) 所示：

$$R(f)df = \frac{2}{n_t} df \quad (\text{C. 9})$$

这里， $n_t = dn/dt$ ，表示辐射频率 ν 每单位时间的光子数目。

将以下公式 (C. 10)：

$$n_t = \frac{P_0}{h\nu} \quad (\text{C. 10})$$

代入 (C. 9) 得到：

$$R(f)df = \frac{2h\nu}{P_0} df \quad (\text{C. 11})$$

以上为经典（激光）辐射可达到的最小相对强度噪声，被称为标准量子限。

过剩RIN描述与泊松RIN的偏差，通常为正（例如，由自发辐射引起），在压缩辐射时，过剩RIN<0，此时，相位噪声增加。

由于泊松RIN与光子数目相关，因此与传输和探测系统的效率 η 成反比，同时过剩RIN保持不变。另外，可能存在来自探测器的散粒噪声或者功率无关约翰逊噪声（热噪声），以不同方式影响泊松噪声和过剩噪声，在计算激光器RIN时应加以考虑。