



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 27662—2011/ISO 11670:2003

---

## 激光光束指向和位置稳定性测试方法

Test methods for pointing and positional stability of laser beam

(ISO 11670:2003, Lasers and laser-related equipment—Test methods for laser beam parameters—Beam positional stability, IDT)

2011-12-30 发布

2012-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用了 ISO 11670:2003:激光和激光相关设备 激光束参数测试方法 光束位置稳定性, 纳入了 ISO 11670:2003/Cor. 1:2004(E) 的修正内容, 这些修正内容涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直双线(∥)进行了标示。

为了便于使用本标准, 进行了编辑性修改, 将 ISO 11670:2003 的 6.1 分成了 a)、b)、c)、d) 列项。

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。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会(SAC/TC 284)归口。

本标准起草单位:北京理工大学、北京奥依特科技有限责任公司、北京工业大学。

本标准主要起草人:高春清、高明伟、王立波、孙殿中、陈虹。

# 激光光束指向和位置稳定性测试方法

## 1 范围

本标准规定了激光光束指向和位置稳定性的测试方法。

本标准适用于连续和脉冲激光器的光束指向稳定性和位置稳定性的测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。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。

JB/T 6860 测量激光辐射功率能量的探测器、仪器与设备(JB/T 6860—1993,IEC 1040:1990, IDT)

ISO 11145:2006 光学和光子学 激光和激光设备 词汇和符号(Optics and photonics—Lasers and laser-related equipment—Vocabulary and symbols)

ISO 11146:1999<sup>1)</sup> 激光和激光设备 激光束参数的试验方法 束宽、发散角和束扩散因子(Lasers and laser-related equipment—Test methods for laser beam parameters—Beam widths, divergence angle and beam propagation factor)

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**角向移动 angular movement**

$\alpha_x, \alpha_y$

激光光束在 X-Z 和 Y-Z 平面内的角向移动量。

注:这些量在光轴坐标系 X,Y,Z 中定义。如果 X 方向与 Y 方向的角向移动之比不大于 1.15 : 1,则认为光束的角向移动是旋转对称的,这种情况下只用一个值表征角向移动,符号记作  $\alpha$ 。

### 3.2

**光束指向稳定性 beam angular stability**

$\delta\alpha_x, \delta\alpha_y$

光束角向移动的 2 倍标准方差。

注:这些量在光轴坐标系 X,Y,Z 中定义。如果 X 方向与 Y 方向的指向稳定性之比不大于 1.15 : 1,则认为光束的指向稳定性是旋转对称的,这种情况下只用一个值表征光束指向稳定性,符号记作  $\delta\alpha$ 。

### 3.3

**原点 pivot**

所有瞬时光轴与 Z 轴的交汇点。

注:在很多情况下,原点不一定存在,故原点的测量不是本标准的内容。

1) ISO 11146:1999 的最新版本为:ISO 11146-1-2005、ISO 11146-2-2005、ISO 11146-3-2004。

3.4

**横向位移 transverse displacement**

$a_x, a_y$

激光束沿 X-方向和 Y-方向的横向移动的距离。

注 1: 这些量在光轴坐标系 X,Y,Z 中定义。如果 X 方向与 Y 方向的指向稳定性之比不大于 1.15 : 1, 则认为光束的横向位移是旋转对称的, 这种情况下只用一个值表征横向位移, 符号记作  $a$ 。

注 2: 横向位移的测量不是本标准的内容之一。

3.5

**光束位置移动 beam positional movement**

在 Z' 平面上激光束质心位置的移动。

注: 在 Z' 平面上的位置移动由激光束的横向位移和/或角向移动叠加形成。

3.6

**光束位置稳定性 beam positional stability**

$\Delta_x(z'), \Delta_y(z')$

在 Z' 平面上光束位置移动的 2 倍标准方差。

注: 这些量在光轴坐标系 X,Y,Z 中定义。如果 X 方向与 Y 方向的光束位置稳定性之比不大于 1.15 : 1, 则认为光束的位置稳定性是旋转对称的, 只用一个值表征, 这种情况下符号记作  $\Delta(z')$ 。

3.7

**光束相对指向稳定性 relative beam angular stability**

$\delta\alpha_{rel,x}(z'), \delta\alpha_{rel,y}(z'), \delta\alpha_{rel}(z')$

光束的指向稳定性与远场发散角的比值。

注: 对于椭圆光束而言, 通常情况下光束位置稳定性的主轴与激光束传输的光轴不重合, 需使用有效远场发散角

$\theta_{eff} = \sqrt{(\theta_x^2 + \theta_y^2)}/2$ 。

3.8

**光束相对位置稳定性 relative beam positional stability**

$\Delta_{rel,x}(z'), \Delta_{rel,y}(z'), \Delta_{rel}(z')$

在 Z' 平面上的光束位置稳定性与 Z' 平面上的光束直径的比值。

注: 对于椭圆光束而言, 由于通常情况下光束位置稳定性的主轴与激光束传输的光轴不重合, 故需使用有效光束直径

$d_{eff} = \sqrt{(d_x^2 + d_y^2)}/2$ 。

3.9

**光束稳定性参数积 beam stability parameter product**

$S_x, S_y, S$

沿着光束传输方向光束位置稳定性最小值和光束指向稳定性的乘积。

注: 与光束直径的情况类似, 光束稳定性的传输正如 3.6 中注的定义, 也遵循双曲线传输定律。可用三个参数来表征光束稳定性的传输特性: 最小光束位置稳定性的位置  $Z_0$ , 光束位置稳定性的最小值  $\Delta_0$  和光束指向稳定性  $\alpha_0$ 。

一般来说, 激光光束的位置稳定性最小值所在的位置  $Z_0$  与激光束的束腰位置不一致。

3.10

**光束启动时的位置改变**

在激光器开启或关闭瞬间的光束位置与激光器工作较长时间(大于预热时间)的光束位置的偏差。

3.11

**短期稳定性 short-term stability**

光束在 1 s 时间间隔内的稳定性。

## 3.12

中期稳定性 medium-term stability

光束在 1 min 时间间隔内的稳定性。

## 3.13

长期稳定性 long-term stability

光束在 1 h 时间间隔内的稳定性。

## 4 坐标系和光轴

## 4.1 光轴分布

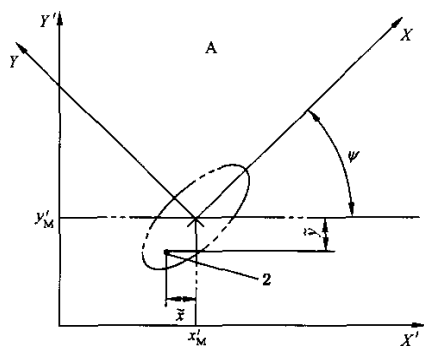
光轴(根据 ISO 11145:2006 的定义)分布由多次( $n > 1\,000$ )测量光轴方向获得。

光轴分布的标准方差可描述光轴的移动。该标准方差沿不同方向上可以是不同的,即光轴分布不一定是圆对称的,其在某一个主方向的幅度可以大于其他任何方向。

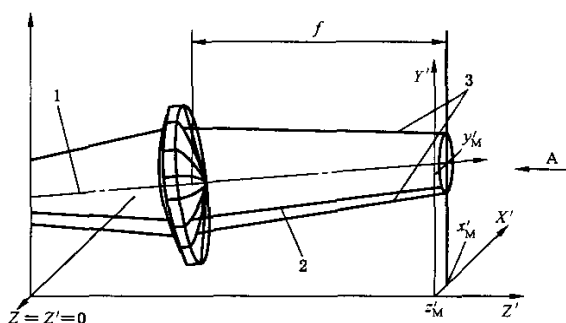
## 4.2 坐标系的选取

## 4.2.1 概述

本标准中采用的坐标系均为右手坐标系。



a) A 视图

b) 光轴坐标系  $X, Y, Z$  与实验室坐标系  $X', Y', Z'$  示意图

说明:

1——激光光轴的平均方向;

2——对应某一次测量的光轴;

3——光轴分布统计值的 2 倍方差。

图 1 光轴坐标系  $X, Y, Z$  与实验室坐标系  $X', Y', Z'$  坐标系示意图及其 A 视图

4.2.2 实验室坐标系( $X', Y', Z'$  坐标系)

实验室坐标系中的三个正交方向由  $X', Y', Z'$  定义。 $Z'$  轴起点位置由激光器生产商给定的参考面  $X'-Y'$  面定义(例如激光器前端面),以使激光束沿着  $Z'$  轴的方向近轴传输(偏差小于  $10^\circ$ )。

4.2.3 光轴坐标系( $X, Y, Z$ )

光轴坐标系是第二个正交坐标系,坐标系  $X, Y, Z$  见图 1a),其规定如下:

—— $Z$  是激光器处于稳态时由光束的一阶强度矩给出的平均光轴方向;

——X 定义为远场时光轴的非对称分布的最大幅度方向。

注 1: 不要将光轴分布的非对称性与激光功率分布的非对称性相混淆。

注 2: 光轴坐标系和实验室坐标系起点位置相同。

#### 4.2.4 方位角

方位角  $\psi$  是指光轴坐标系的 X 相对于实验室坐标系的 X' 的转角。

#### 4.2.5 坐标系的变换

实验室坐标系和光轴坐标系之间的变换包括平移和旋转变换, 将应用以下方程, 其变换关系见图 1, 其中下标 M 表示测量面的坐标。

a) 第一步( $x'_M$  和  $y'_M$  的计算)

$$x'_M = \sum_i x'_i / n \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$y'_M = \sum_i y'_i / n \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$i$ ——测试次数,  $i = 1 \sim n$ ;

b) 第二步(平移)

$$\tilde{x} = x' - x'_M \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\tilde{y} = y' - y'_M \quad \dots\dots\dots(4)$$

c) 第三步(绕 Z 旋转)

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\Psi & \sin\Psi \\ -\sin\Psi & \cos\Psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

$$\Psi = \arctan[2s_{\tilde{x}\tilde{y}}^2 / (s_{\tilde{x}}^2 - s_{\tilde{y}}^2)] / 2 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$s_{\tilde{x}}^2 = \sum_i (x'_i - x'_M)^2 / (n - 1) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$s_{\tilde{y}}^2 = \sum_i (y'_i - y'_M)^2 / (n - 1) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$s_{\tilde{x}\tilde{y}}^2 = \sum_i (x'_i - x'_M)(y'_i - y'_M) / (n - 1) \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

$i$ ——测试次数,  $i = 1 \sim n$ 。

### 5 测试原理

#### 5.1 光束位置稳定性测试原理

光束位置稳定性可由位置敏感探测器直接测量或在成像元件的像平面位置测量。光束的质心位置由在 X, Y, Z 测量的光强分布的一阶矩计算, 表示实验室坐标系(X', Y', Z')中光轴的瞬时位置。光轴位置稳定性由一段时间内(短期、中期、长期)质心位置变化的标准方差计算。

#### 5.2 光束指向稳定性测试原理

光束指向稳定性需在聚焦元件的焦平面上由位置敏感探测器进行测量。激光束在远场的质心位置由在 X, Y, Z 测量的光强分布的一阶矩计算, 表示在实验室坐标系(X', Y', Z')中光轴的瞬时方向。光束指向稳定性由一段时间内光束角向移动的标准方差计算。

## 6 测试过程、测试仪器和其他辅助元件

### 6.1 测试准备

测试工作开始前,应确认以下情况:

- a) 测试前需准备合适的光学调整器件,使激光束与测量系统共轴;
- b) 光学系统的视场应包括整个光束截面。光束截断和衍射引起的损耗占最后测量误差的比重不应大于1%。在放置分束器、衰减器和透镜等光学元件时,应保证光轴通过它们的几何中心。应采取避免由反射、环境噪声、热辐射和空气扰动等引起的系统误差;
- c) 在测量开始前,激光器应按生产商的规定预热以达到热平衡状态,测试器材也应达到热平衡;
- d) 在初始准备工作完成后,应检查是否全部光束入射到了探测器表面。可在每个光学元件的前面插入不同孔径的光阑,当光阑使激光功率减小了5%时,所用光阑的孔径不应大于其后光学元件口径的0.8倍。

### 6.2 测试环境要求

放置被测激光器和测量系统的测试台的稳定性应高于被测激光器的稳定性。需采取隔震、减噪和控温等措施,保证外界因素或系统误差对测量结果的误差影响不超过10%。这些措施包括对测试设备的机械和声响隔振、对实验室和激光器冷却系统(由厂家规定)控温,对外界光电噪声的屏蔽和使用低噪声的电气装置等。

### 6.3 探测器系统

在测试光束的指向和位置稳定性时,测量光强分布的一阶矩应符合 ISO 11146:1999 的规定。只有当被测光束在每次测试中的光强分布不发生变化时才可使用如光电二极管、四象限探测器等简单探测器。探测器系统的空间分辨率和信噪比决定测试精度。

JB/T 6860 的第3章和第4章尤其重要,探测器系统应与其要求一致。应考虑只有相对测量是必需的,并且应强调以下几点:

- 应根据生产厂商的数据或标定结果确认探测器系统的输出参量(如电压等)与输出参量(如激光功率)之间为线性关系;应通过标定尽量减小或校正探测器的非线性、非均匀性和波长依赖性;
- 应采取确保激光入射到探测器时,不超过探测器表面的损伤阈值(辐照度、曝光量、功率和能量)。

### 6.4 光束变换系统、光学衰减器、分束器、聚焦元件

如果被测激光光束口径大于探测器口径,应采用适当的光学变换系统对光束进行变换,使其适应探测器的口径。

应根据被测激光的波长选择合适的光学元件。

当入射激光的功率超过探测器的工作阈值时,应使用光学衰减器。光学衰减器应尽量避免由波长、偏振、非线性、非均匀性等引起的误差。在使用光学衰减器前需对其进行标定,以减小可能引起的误差。在用于高功率激光时,应避免由高功率导致的激光束的畸变。

聚焦系统除了满足以上对于光学系统的要求外,还应满足以下要求:

- 应是“无像差的系统”,即由光学系统的像差引起的误差应小于无像差的理想情况下测量总误差的20%;
- 焦距和主面位置的不确定性应小于焦距的1%;

——应选择聚焦元件的口径使其包含整个人射光束，光束截断和衍射损耗占最后测量误差的比重不应大于1%。

所有光学元件都不应对光束相对功率密度分布产生明显影响。当将激光束成像于探测器面进行测试时，计算中应包含成像系统的放大倍数。

### 6.5 标定

应在开始测量前对仪器进行标定。可通过在一已知距离使用两个正交放置的微米精度线性平移导轨移动位置敏感探测器进行标定。

## 7 测试程序

### 7.1 概述

测量应该在激光器生产商评估本款激光器所规定的工作条件下进行。

在测试过程中，对被测光束的取样应至少大于1000次。探测器的带宽，包括与之相连的放大器及其他电子设备的带宽，应当大于2次测量时间间隔的倒数的3倍。

注：在选用相机类的探测器时，测试系统的带宽受相机帧频的限制。

### 7.2 光束位置稳定性

为了测试任意位置Z'处的光束位置稳定性，探测器应放置于Z'处，或者Z'的像可被成像到探测器上。当测量短期稳定性时，应在1s测量时间内测量光轴变化(见3.11)。当测量中期稳定性或长期稳定性时，应在1min内(见3.12)或1h内记录(见3.13)测量光轴的变化。

### 7.3 光束指向稳定性

为了测试光束指向稳定性，探测器应放置在聚焦系统的焦平面位置。当测量短期稳定性时，应在1s测量时间内测量光轴变化(见3.11)。当测量中期稳定性或长期稳定性时，应在1min内(见3.12)或1h内记录(见3.13)测量光轴的变化。

## 8 评价方法

### 8.1 光束位置稳定性

相关参量数值的确定方法如下：

a) 在位置Z'处光束的质心由以下方法确定

- 1) 直接从位置敏感探测器读出(见6.3)；
- 2) 光强分布函数的一阶矩表示为：

$$\bar{x}'_i = \frac{\iint x'E(x',y') dx'dy'}{\iint E(x',y') dx'dy'} \dots\dots\dots(10)$$

$$\bar{y}'_i = \frac{\iint y'E(x',y') dx'dy'}{\iint E(x',y') dx'dy'} \dots\dots\dots(11)$$

在采用成像系统进行测试时，成像系统的放大倍数需包括在内。

b) Z'=Z'\_M处实验室系统的测量平面与光轴的交点X'\_M与Y'\_M表示为：

$$x'_M = \sum_i x'_i / n \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$y'_M = \sum_i y'_i / n \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$i$ ——测试次数,  $i=1 \sim n (n \geq 1000)$ 。

c) 遵循 4.2.5 的方法将实验室坐标系下的坐标  $X'_i$  与  $Y'_i$  变换到光轴坐标系  $(X, Y, Z)$  中(平移和旋转变换)。方位角  $\Psi$  表示为:

$$\Psi = \arctan [2s_{xy} / (s_x^2 - s_y^2)] / 2 \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$s_x^2 = \sum_i (x'_i - x'_M)^2 / (n - 1) \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$s_y^2 = \sum_i (y'_i - y'_M)^2 / (n - 1) \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$s_{xy}^2 = \sum_i (x'_i - x'_M)(y'_i - y'_M) / (n - 1) \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

$i$ ——测试次数,  $i=1 \sim n$ 。

注: 一般来说光轴坐标系的  $x$  轴不由  $\Psi$  定义, 因为测量结果并不是在远场中得到的。

d) 在  $(X_i, Y_i)$  位置处的标准方差  $s_x, s_y, s$  表示为:

$$s_x = \sqrt{\sum_i x_i^2 / (n - 1)} = \sqrt{\sum_i [-(x'_i - x'_M) \cos \Psi + (y'_i - y'_M) \sin \Psi]^2 / (n - 1)} \quad \dots\dots (18)$$

$$s_y = \sqrt{\sum_i y_i^2 / (n - 1)} = \sqrt{\sum_i [-(x'_i - x'_M) \sin \Psi + (y'_i - y'_M) \cos \Psi]^2 / (n - 1)} \quad \dots\dots (19)$$

$$s = \sqrt{\sum_i r_i^2 / (n - 1)} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中:

$$r_i^2 = x_i^2 + y_i^2$$

$$r_i^2 = (x'_i - x'_M)^2 + (y'_i - y'_M)^2$$

e) 光束的位置稳定性的表示为:

$$\Delta_x(z) = 4s_x \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\Delta_y(z) = 4s_y \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\Delta(z) = 2\sqrt{2} s \quad \dots\dots\dots (23)$$

## 8.2 光束指向稳定性

激光束的角向移动  $\alpha_x, \alpha_y, \alpha$  与光束在焦平面上的位移  $\xi_x, \xi_y, \xi$  的关系为:

$$\alpha_x = \xi_x / f \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\alpha_y = \xi_y / f \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$\alpha = \xi / f \quad \dots\dots\dots (26)$$

光束指向稳定性按以下方法计算:

a) 焦平面上的光束质心由以下方法确定

- 1) 直接从位置敏感探测器读出(见 6.3);
- 2) 计算焦平面上光强分布函数的一阶矩。

根据面阵探测器的测量结果计算光强分布的一阶矩:

$$\xi_{xi} = \frac{\iint x' E(x', y') dx' dy'}{\iint E(x', y') dx' dy'} \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$\xi_{y_i} = \frac{\iint y' E(x', y') dx' dy'}{\iint E(x', y') dx' dy'} \dots\dots\dots (28)$$

b)  $Z' = Z'_M$  处光束远场质心的平均值  $\zeta_{x'_M}$  与  $\zeta_{y'_M}$  由下式计算:

$$\zeta_{x'_M} = \sum_i \zeta_{x'_i} / n \dots\dots\dots (29)$$

$$\zeta_{y'_M} = \sum_i \zeta_{y'_i} / n \dots\dots\dots (30)$$

式中:

$i$ ——测试次数,  $i=1 \sim n$ 。

c) 按照 4.2.5 的方法将实验室坐标系中的坐标  $\zeta_{x_i}$  与  $\zeta_{y_i}$  变换到光轴坐标系  $(X, Y, Z)$  中(平移和旋转变换)。方位角由下面公式计算得出:

$$\Psi' = \arctan [2s_{xy} / (s_x^2 - s_y^2)] / 2 \dots\dots\dots (31)$$

$$s_x^2 = \sum_i (\zeta_{x_i} - \zeta_{x'_M})^2 / (n-1) \dots\dots\dots (32)$$

$$s_y^2 = \sum_i (\zeta_{y_i} - \zeta_{y'_M})^2 / (n-1) \dots\dots\dots (33)$$

$$s_{xy}^2 = \sum_i (\zeta_{x_i} - \zeta_{x'_M})(\zeta_{y_i} - \zeta_{y'_M}) / (n-1) \dots\dots\dots (34)$$

式中:

$i$ ——测试次数,  $i=1 \sim n$ 。

注: 光轴坐标系的  $X$  轴由  $\Psi'$  定义。

d) 根据  $(\zeta_{x_i}, \zeta_{y_i})$  的值计算标准方差  $s_{\zeta_x}, s_{\zeta_y}, s_{\zeta}$ :

$$s_{\zeta_x} = \sqrt{\sum_i \zeta_{x_i}^2 / (n-1)} = \sqrt{\sum_i [-(\zeta_{x_i} - \zeta_{x'_M}) \cos \Psi' + (\zeta_{y_i} - \zeta_{y'_M}) \sin \Psi']^2 / (n-1)} \dots\dots (35)$$

$$s_{\zeta_y} = \sqrt{\sum_i \zeta_{y_i}^2 / (n-1)} = \sqrt{\sum_i [-(\zeta_{x_i} - \zeta_{x'_M}) \sin \Psi' + (\zeta_{y_i} - \zeta_{y'_M}) \cos \Psi']^2 / (n-1)} \dots\dots (36)$$

$$s_{\zeta} = \sqrt{\sum_i \zeta_i^2 / (n-1)} \dots\dots\dots (37)$$

式中:

$\zeta_i$ —— $\zeta_i^2 = \zeta_{x_i}^2 + \zeta_{y_i}^2 = (\zeta_{x_i} - \zeta_{x'_M})^2 + (\zeta_{y_i} - \zeta_{y'_M})^2$ 。

e) 光束指向稳定性由下面公式计算得出:

$$\delta \alpha_x = 2s_{\zeta_x} / f \dots\dots\dots (38)$$

$$\delta \alpha_y = 2s_{\zeta_y} / f \dots\dots\dots (39)$$

$$\delta \alpha = \sqrt{2} s_{\zeta} / f \dots\dots\dots (40)$$

式中:

$f$ ——聚焦系统的焦距。

## 9 测试报告

测试报告应包括下列信息:

a) 基本信息

- 1) 测试依据的标准 GB/T 27662—2011;
- 2) 测试时间;
- 3) 测试单位名称以及地点;
- 4) 测试人姓名。

- b) 激光器信息
- 1) 激光器类型;
  - 2) 生产商;
  - 3) 产品型号;
  - 4) 序列号。
- c) 测试条件
- 1) 被测激光波长;
  - 2) 工作方式:连续/脉冲;
  - 3) 设定的激光参数:
    - 输出功率或能量;
    - 输入电流或能量;
    - 脉冲能量;
    - 脉冲宽度;
    - 脉冲重复频率。
  - 4) 模式;
  - 5) 偏振态;
  - 6) 环境条件。
- d) 测试和计算中的相关信息
- 1) 所采用的测试方法;
  - 2) 探测器和采样系统:
    - 探测器响应时间;
    - 采样系统的触发延迟(仅针对脉冲激光器);
    - 测试时间间隔(仅针对脉冲激光器)。
  - 3) 光束变换系统和衰减方式:
    - 衰减器类型;
    - 光束分束镜类型;
    - 聚焦元件类型。
  - 4) 测试所用的其他光学元件和设备的信息(如起偏器,单色仪等);
  - 5) 测试过程中选择的其他相关参数特性(如设置的光阑、参考面、参考轴、实验室坐标系等)。
- e) 测试结果
- 1) 光束位置稳定性(见 7.2)

表 1 光束位置稳定性测试报告

位置 $z$						
稳定性条件(可选)	短期		中期		长期	
	测量值	不确定度	测量值	不确定度	测量值	不确定度
光束位置稳定性 $\Delta$						
光束位置稳定性 $\Delta_x$						
光束位置稳定性 $\Delta_y$						
方位角 $\psi$						

- 2) 光束指向稳定性(见 7.3)

表 2 光束指向稳定性测试报告

稳定性条件(可选)	短期		中期		长期	
	测量值	不确定度	测量值	不确定度	测量值	不确定度
光束指向稳定性 $\delta$						
光束指向稳定性 $\delta_x$						
光束指向稳定性 $\delta_y$						
方位角 $\Psi'$						

**附录 A**  
(资料性附录)  
**光束绝对稳定性的传输**

### A.1 介绍

以下将给出旋转对称情况下光束位置稳定性的传输公式。如果光轴系统用作坐标轴系统,并且所用定义合适(用 $\alpha_x, \Delta_x(z')$ 和 $\alpha_y, \Delta_y(z')$ 代替 $\alpha, \Delta x(z')$ ),所有关系也适用于简单像散情况。

可以看出,光束位置稳定性在光学系统中的传输规律与光束直径的传输规律一致。在自由空间中,其传输规律表示为:

$$\Delta^2(z) = \Delta_0^2 + (z - z_0)^2 \cdot \alpha^2 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

因此,光束绝对稳定性的传输可由三个参数完全表征:光束稳定性最小值的位置 $z_0$ ,光束位置稳定性的最小值 $\Delta_0$ ,以及光束指向稳定性 $\alpha$ 。一般而言,光束位置稳定性最小值的位置与激光束的束腰位置不一致。

当“光束直径”一词由“光束位置绝对稳定性”替代时,ISO 11146:1999的大部分结论仍是正确的。

光束稳定性参数积 $S$ 定义为沿着传输方向的最小光束位置稳定性与光束指向稳定性的乘积:

$$S = \alpha \cdot \Delta_0 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

其在一阶光学系统中传输时是不变量。

注:不同于光束传输比,光束稳定性参数积的下限为零。零值不一定意味着光束在近场和远场是稳定的。

### A.2 最大和最小光束位置相对稳定性

另一个有用的不变量是混合参数积 $P$ ,可表示为:

$$P = \sqrt{d_{s0}^2 \cdot \alpha^2 + \Delta(z_0)^2 \cdot \theta_c^2} = \sqrt{d_s(z_0)^2 \cdot \alpha^2 + \Delta_0^2 \cdot \theta_c^2} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$d_{s0}$  —— 光束束腰直径;

$\Delta_0$  —— 光束位置稳定性的最小值;

$d_s(z_0)$  —— 光束位置绝对稳定性取最小值的位置处的光束直径;

$\Delta(z_0)$  —— 光束束腰处的光束位置绝对稳定性的值。

光束稳定性参数积 $S$ ,和混合参数积 $P$ ,能用于计算光束位置相对稳定性的最小值和最大值。由于所有用到的物理量都是不变量,最小和最大的光束位置相对稳定性也是不变量。

最小光束位置相对稳定性可由下式给出:

$$\Delta_{rel, min} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{P}{D \cdot \theta} \right)^2 - \sqrt{\left( \frac{P}{D \cdot \theta} \right)^4 - 4 \left( \frac{S}{D \cdot \theta} \right)^2} \right]} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

最大光束位置相对稳定性可由式(A.5)给出:

$$\Delta_{rel, max} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{P}{D \cdot \theta} \right)^2 + \sqrt{\left( \frac{P}{D \cdot \theta} \right)^4 - 4 \left( \frac{S}{D \cdot \theta} \right)^2} \right]} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

### A.3 测量步骤与评价

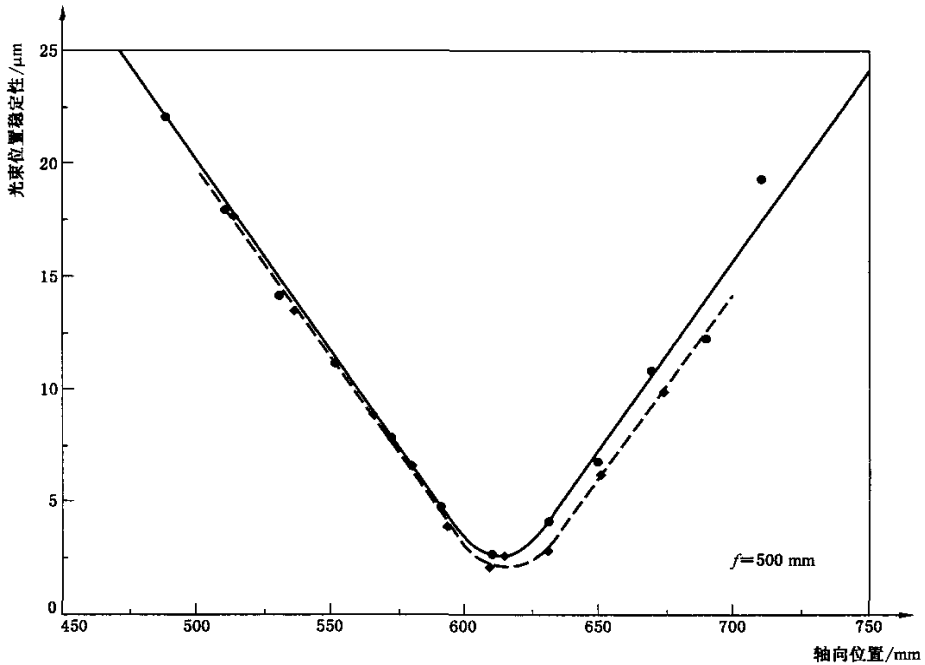
确定光束位置稳定性最小值的位置 $z_0$ ,光束位置稳定性的最小值 $\Delta_0$ ,光束指向稳定性 $\alpha$ ,以及光束

稳定性参数积的方法，与 ISO 11146:1999 的第 9 章和第 10 章中描述的激光光束传输参数的确定方法类似。

ISO 11146:1999 的第 9 章和第 10 章在进行下列替换时可以直接应用：

- 束腰直径替换为光束位置稳定性的最小值；
- 束腰位置替换为光束位置稳定性最小值的位置；
- 发散角替换为光束指向稳定性；
- 衍射极限倍率因子(ISO 11146:1999 中的光束传输比)替换为光束稳定性参数积。

例如，测量到的沿传输方向的光束位置稳定性和拟合双曲线见图 A.1。光源为工业用调 Q 的 Nd:YAG 激光器；测量中使用了两台不同的 CCD 相机系统。



说明：

- ——9号 CCD 相机；
- 9号 CCD 相机(拟合)；
- ◆ ——11号 CCD 相机；
- 11号 CCD 相机(拟合)。

图 A.1 用两台不同的 CCD 相机系统沿传输方向测得的调 Q 的 Nd:YAG 激光器的光束位置稳定性

**附录 B**  
(资料性附录)

**短期和长期波动的分离**

大部分激光器在不同的时间尺度上显示随时间的波动。除了非常快速的波动外(例如脉冲和脉冲之间的波动),在长时间范围内也可能产生附加的波动。这些光束波动经常与光束指向稳定性的测量相混淆。

为了在测量中消除长期漂移的影响,可以选择以下两种等价的高通滤波方法中的任意一种。

a) 傅里叶变换法:

将所测数据做傅里叶变换。若  $f_m$  表示短期波动的频率,将频率在  $2f_m$  以上的波动滤除,然后再做反傅里叶变换。

b) “运转均值”相减法:

所测数据的“运转均值”可由式(B.1)计算:

$$\tilde{x}_j = \frac{1}{2c \frac{f_m}{f_s} + 1} \cdot \sum_{i=j-\frac{f_m}{f_s}}^{j+\frac{f_m}{f_s}} x_i \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

从所测数据中减去“运转均值”。 $f_s$  表示采样频率, $f_m$  表示短期波动变化频率。所选的常数  $c$  应大于 2。另外, $c/f_m$  的取值应该小于长期波动时间常数的 0.2 倍,长期波动的时间常数可被消掉。

这些方法当中任意一种的使用都在测试报告中被提到。