

LBTEK

BeamSight 系列 光束质量测量仪用户手册



麓邦商城 — 您身边的光电实验好帮手!

www.lbtek.com | 🔍

目录

1 简介	1
1.1 产品简介	1
1.2 标识符号说明	2
1.3 安全说明	2
2 安装说明	4
2.1 配件清单	4
2.2 环境条件	4
2.3 电学安全	4
2.4 设备维护	5
2.5 机械安装	5
3 软件	9
3.1 运行环境	9
3.2 软件安装步骤	9
3.3 界面操作介绍	10
4 光斑测量说明	13
4.1 高斯光束基础	14
4.2 光束质心	14
4.3 $D_{4\sigma}$ 光束宽度	15
4.4 BPP 光束参数积与 M^2 光束传播比	17
4.5 椭圆度与方位角	19
4.6 平顶光束参数（边缘陡度、均匀性、平顶因子）	20
4.7 指向稳定性、位置稳定性	20
5 常见问题处理	22
6 保修说明	23

1 简介

1.1 产品简介

光束质量测量仪是表征激光光束空间特性的核心诊断工具，主要用于精确量化激光的光斑形态、能量分布及发散角等关键参数。作为激光精细诊断与光学系统装调的基础设备，它广泛应用于自研激光器开发、超快激光实验研究、非线性光学实验、光通信与激光雷达原理验证以及光学元器件性能测试等领域，是获取定量光束实验数据、保障光路实验可靠性的必要仪器。

LBTEK 光束质量测量仪由高分辨率面阵 CMOS 探测器与衰减模组构成。探测器搭载高精度光敏芯片，可对入射光强进行二维离散采样，并通过低噪声模数转换电路输出高质量原始图像数据流；根据进光量可搭配不同衰减组件，确保探测器在高功率密度下不发生饱和损伤。配套软件依据 ISO 11146 标准开发，可实时解算出光斑尺寸、质心位置、椭圆度、发散角、 M^2 因子及指向稳定性等关键参数，并通过伪彩图像直观呈现。界面友好直观，支持快捷配置曝光时间、增益、ROI 区域与算法标准，还提供数据日志记录功能，便于测量过程追溯与结果复现。

为保障测量精度，每台 LBTEK 光束质量测量仪出厂均执行完整基准校准流程。设备依次完成本底噪声扣除、像元响应非均匀性（PRNU）校准检测，可降低环境噪声与芯片个体差异引入的测量偏差，保证微米级测量的重复性。从硬件探测到软件算法，LBTEK 通过标准化测试流程，保障激光光束质量分析结果的准确性与可靠性，设备可实现即连即用。

请注意：为了避免引入条纹状干扰噪声，LBTEK 光束质量测量仪的感光芯片进行了开窗处理，芯片前无额外保护，请避免在非无尘环境中暴露感光芯片使用。

1.2 标识符号说明



该标识表明本产品存在低等级的风险，若不加以规避，可能导致轻微至中度的人身伤害，或设备损坏。



该标识表明本产品属于电子电气设备，不得作为未分类的城市生活垃圾丢弃，需单独收集并送至指定回收点进行环保处理。



1.3 安全说明

1.3.1 概述与责任

光束质量测量仪本身用于测量激光参数，不会直接对用户造成伤害，但激光系统产生的辐射会对人的眼睛和皮肤造成严重损害。

将本设备集成到任何系统中的组装人员，必须对该系统的整体安全性负责。

本手册中的所有安全操作声明和技术数据，仅当设备依照设计用途正确使用时才具备效力。

1.3.2 激光辐射危害防护

光强衰减：配套传感器接收的激光辐射，必须衰减至人体安全等级。

个人防护装备：存在激光伤害风险时，务必佩戴对应规格的激光防护眼镜与防护服。调试光路期间也应当佩戴防护用品，避免激光直射、反射造成人体损伤。

环境与人员安全：光路未做全密封处理时，建议关闭激光或调低功率，再开展仪器调试作业；同时要保障实验室内其他在场人员的安全。

1.3.3 触电危害与接地规范

低压电源说明：设备由 USB、相机电源适配器等低压电源供电，正常使用条件下无电击伤害风险。

严格接地：设备通电前，应确认电源线保护导体可靠连接至插座保护接地端子。接地失效将带来触电风险，可能造成人身伤害，极端情况下可危及生命。配套计算机也应采用具备接地保护的交流电源线。

线缆与硬件操作：所有模块应采用带屏蔽功能的连接线缆。开展计算机硬件安装或拆卸作业前，须先行断开计算机供电电源。

1.3.4 设备运行与维护限制

操作环境：严禁在有爆炸风险的环境中运行本系列设备。

散热与外壳：请勿遮挡设备外壳通风散热槽。严禁拆卸设备盖板或开启机箱，设备内部无用户可自行检修的零部件。

授权与维修：未经制造商书面许可，不得对设备实施任何改装，亦不可使用非原厂配件。设备维修工作须由具备相应资质的专业人员执行。

返厂包装：本设备为精密仪器，退回维修时，应使用带有纸板内衬的完整原包装进行妥善封装；必要时可申请获取替代包装。

1.4 产品规格参数

产品型号	BMS0324-UVISNIR	BMS0340-VISNIR	BMS0632-VISNIR	BMS0512-IR
检测波段	190 - 340 nm ^a 340 - 1100 nm	340 - 1100 nm	340 - 1100 nm	900 - 1750 nm
感光尺寸	8.4 × 7.1 mm	13.1 × 9.8 mm	21.1 × 15.8 mm	6.4 × 5.1 mm
像元尺寸 ^b	3.45 μm	3.2 μm	6.4 μm	5 μm
光斑检测范围	34.5 μm - 7.1 mm	32 μm - 9.8 mm	64 μm - 15.8 mm	50 μm - 5.1 mm
分辨率	2448 × 2048	4096 × 3072	3288 × 2470	1280 × 1024
曝光时间	0.05 ms - 500 ms	0.05 ms - 500 ms	0.05 ms - 500 ms	0.05 ms - 500 ms
计算帧率 ^c	5 - 10 fps	5 - 10 fps	2 - 5 fps	2 - 10 fps
最大功率	1 W	1 W	1 W	1 W
最大能量密度	1 J/cm ² (OD3.5 衰减)	1 J/cm ² (OD3.5 衰减)	1 J/cm ² (OD3.5 衰减)	1 J/cm ² (OD3.5 衰减)
接口	USB3.0	USB3.0	USB3.0+独立电源线	GigE
尺寸	50mm×50mm×45.2mm	50mm×50mm×45.2mm	62mm×72mm×70mm	50mm×50mm×56.2mm
重量	~220 g	~220 g	~450 g	~220 g

- a. 190-340 nm 波段，需额外配置滤光片。
- b. 依据相关标准，光束质量测量仪可分辨的最小光斑尺寸为 10 倍像元尺寸。举例：当像元尺寸为 3.2 μm 时，仪器最小可检测光斑尺寸为 32 μm 。
- c. 计算帧率：指设备在每帧均执行光斑计算的满载工作条件下，所能实现的实际采集帧率。

2 安装说明

2.1 配件清单

配件名称	数量
光束质量测量仪主机	1
磁吸衰减片套件	1
接杆	1
信号线+触发线	1
U 盘	1
装箱清单、出货报告	1
防尘贴纸	1

注意：BMS0324-UVISNIR 紫外机型，可选购 190 - 340 nm 紫外磁吸式衰减滤光片套件。

2.2 环境条件

为保障设备可靠运行，建议室内使用环境：温度 0-40 $^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 60\% \text{ RH}$ 。若设备曾存放于低温、高湿环境，使用前需置于室温环境充分静置，确认设备内部无凝露后，方可通电。

2.3 电学安全

(1) 为确保设备正常工作，请使用出厂原装信号线与电源线。非原装线缆可能引起电路过热，甚至引发安全事故。

(2) 当设备使用完毕后，建议及时断开信号线与电源线，避免设备长期带电，延长整机寿命。

2.4 设备维护

光束质量测量仪运行稳定，一般无需复杂的例行维护，但规范的日常防护对保障测量精度十分关键。设备处于非工作状态时，严禁将感光芯片裸露于空气中，须及时安装保护盖，避免粉尘堆积与机械损伤。同时，在接入光路前务必核验光强并配置适宜的光学衰减，严禁超出传感器损伤阈值，防止靶面烧毁，或因热效应诱发信号漂移与测量失真。

麓邦秉承持续开发产品的原则，必要时会不定期对软件进行迭代升级。请您关注麓邦商城官网 www.lbtek.com。

2.5 机械安装

2.5.1 机械尺寸

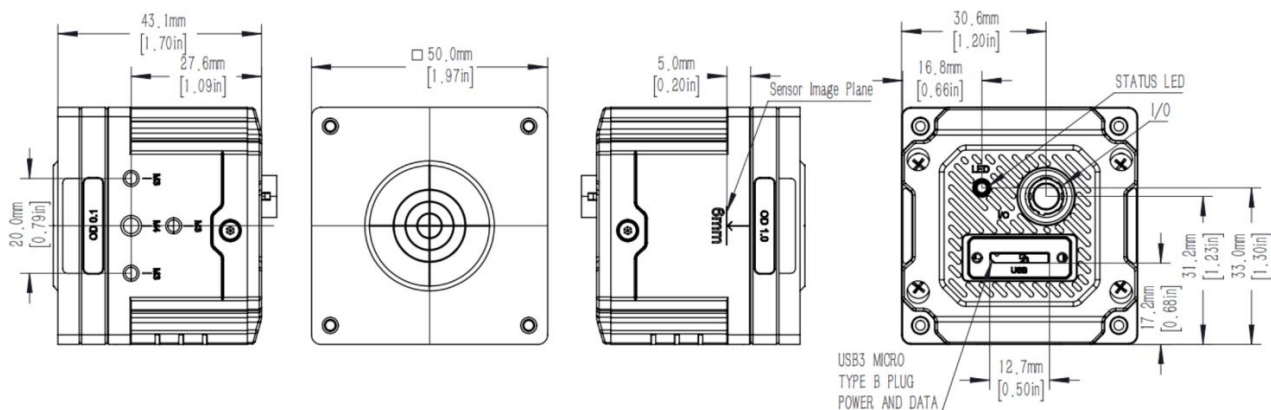


图 2-5-1 BMS0324-UVISNIR 机械尺寸

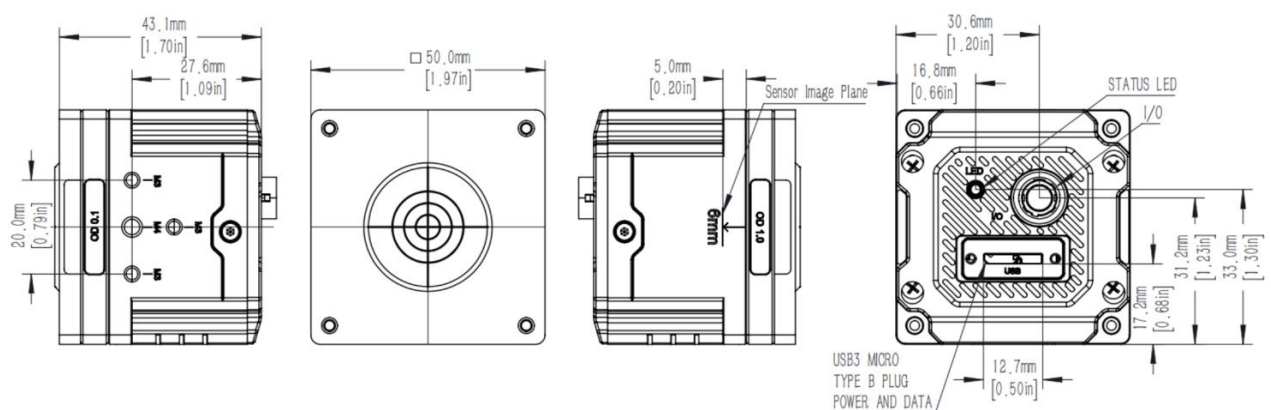


图 2-5-2 BMS0340-VISNIR 机械尺寸

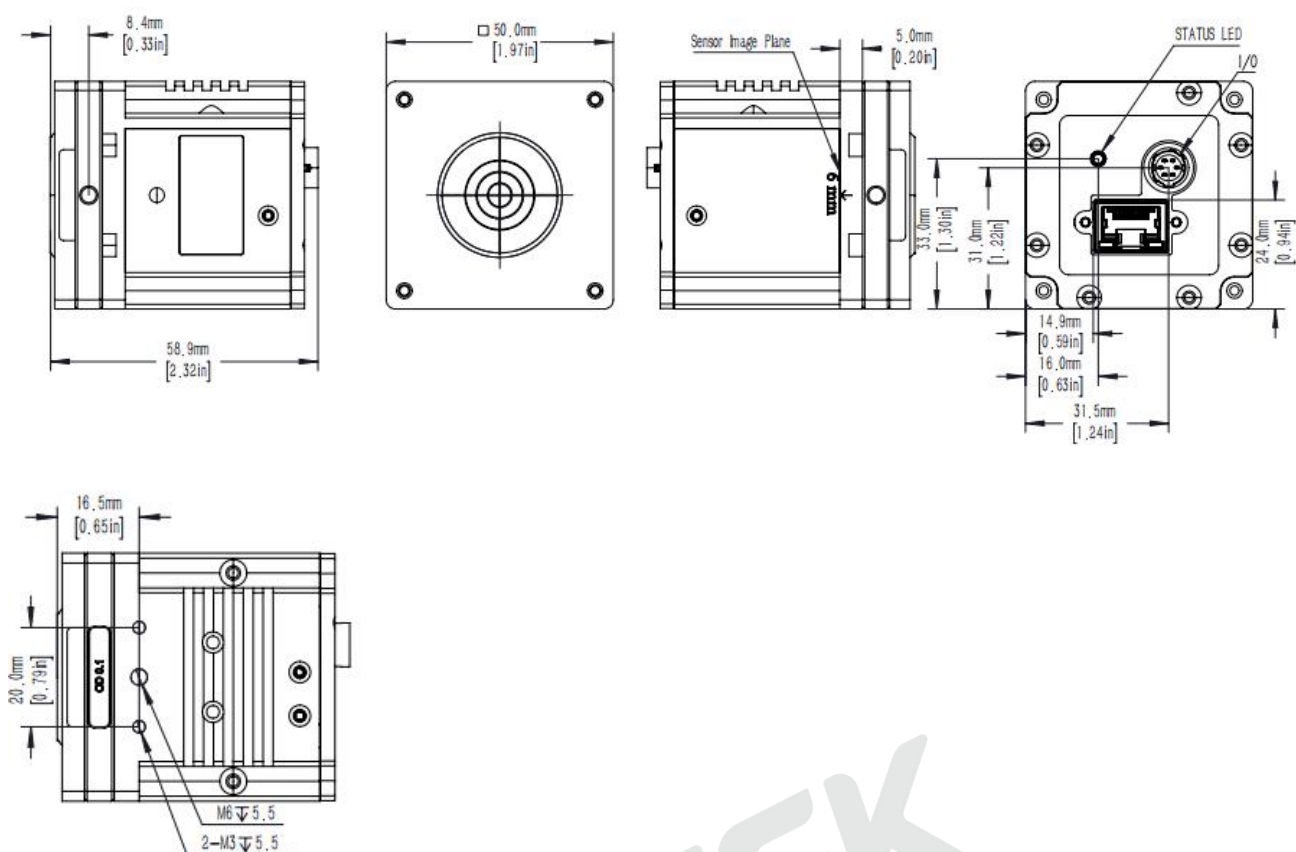


图 2-5-3 BMS0512-IR 机械尺寸图

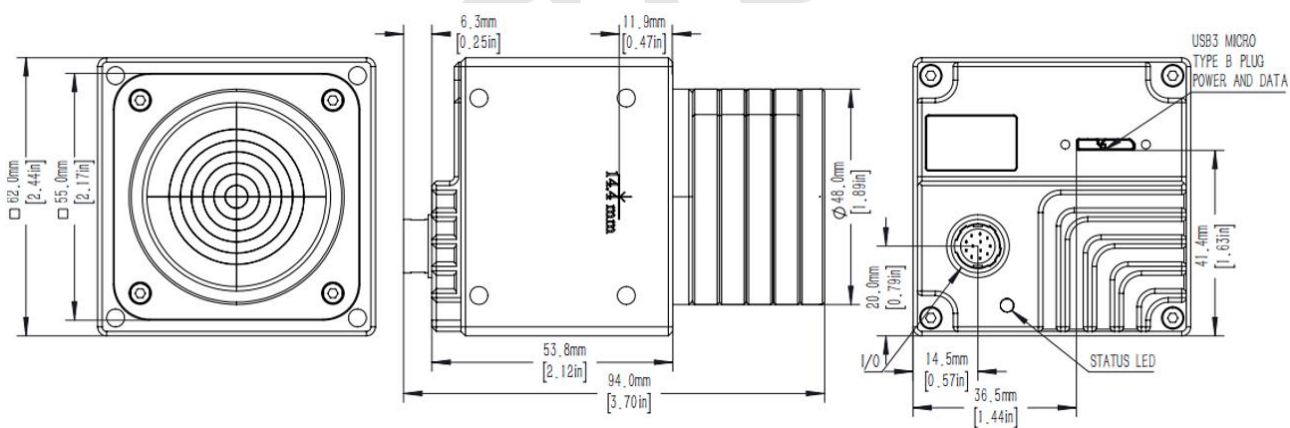


图 2-5-4 BMS0632-VISNIR 机械尺寸图

2.5.2 安装与固定

BMS0324-UVISNIR、BMS0340-VISNIR、BMS0512-IR 三款光束质量测量仪，侧面配置 M3、M4 标准安装螺纹，主机标配 LBTEK 标准接杆，可适配各类光学系统搭建。

BMS0632-VISNIR 测量仪的侧面及正面均设有 M4 螺纹；配套转接件可拓展实现 M6 螺孔安装。

2.5.3 面板接口介绍



图 2-5-5 BMS0324-UVISNIR，BMS0340-VISNIR 接口示意图

BMS0324-UVISNIR，BMS0340-VISNIR 两款测量仪背面接口如上图所示，I/O 口用于接硬件触发线，USB3.0 接口用于通讯和供电。LED 指示灯用于指示相机工作状态，正常工作时绿灯闪烁。



图 2-5-6 BMS0512-IR 接口示意图

BMS0512-IR 测量仪背面接口如上图所示，I/O 口用于供电和接硬件触发线，Gige 接口用于通讯。LED 指示灯用于指示相机工作状态，正常工作时绿灯闪烁。



图 2-5-7 BMS0632-VISNIR 接口示意图

BMS0632-VISNIR 测量仪需要同时接上 USB3.0 线缆和电源线进行工作。LED 指示灯用于指示相机工作状态，正常工作时绿灯闪烁。

3 软件

3.1 运行环境

推荐配置

- 操作系统：64 位 Windows 10/11，需安装 MS Office 或者 WPS 办公软件；
- 硬件要求：内存 $\geq 8\text{G}$ ，CPU 主频 $\geq 2.5\text{GHz}$ ，内核 ≥ 4 ，推荐 i5 及同级别以上处理器；
- 最佳显示分辨率： 1920×1080
- USB：USB3.0 接口
- 网卡：千兆网卡

3.2 软件安装步骤

首先确认您已经收到了随产品附带的 U 盘，并检查 U 盘是否完好无损。将 U 盘接入计算机，并打开"BeamSight"文件夹，找到安装包文件："BeamSight_setup.exe"。

名称	修改日期	类型
 BeamSight_V1.0.0_release_setup.exe	2026/9/1 16:00	应用程序

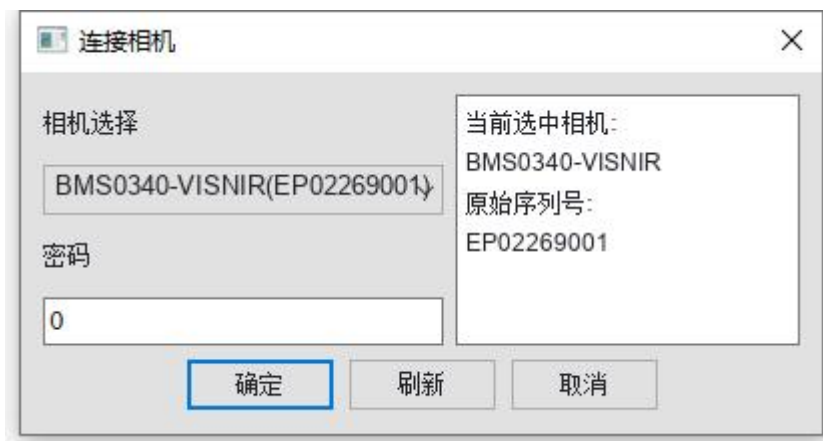
双击“BeamSight_V1.0.0_release_setup.exe”文件以启动安装向导。安装完成后，您可以选择立即重启计算机或稍后重启。首次安装时会安装运行引擎，安装运行引擎会占用较长时间。引擎安装完毕后会提示重启，只有重启计算机后才能正常使用本软件，否则将产生缺少函数的错误。已安装过运行环境的情况下，仅安装应用程序则不必重启。点击“Finish”按钮结束安装。

注意事项

- 兼容性检查：确认您的计算机满足安装程序所需的最低系统要求。
- 防病毒扫描：在运行安装程序之前，建议使用防病毒软件扫描 U 盘以确保安全。
- 保持电源稳定：在安装过程中，请确保您的计算机连接稳定的电源，避免因断电导致安装失败。
- 软件安装过程中不要求硬件必须连接。

软件安装完成后，将相机通过随产品附带的数据线与电脑连接。

首次连接测量仪会提示输入序列号与密码：



序列号与密码可在附赠的 U 盘中查阅。

点击提示对话框的“载入配置”按钮，出现配置文件的文件夹，选择 U 盘中的配置文件，例如选择“BMS0324-UVISNIR.ini”，点击“打开”按钮进行配置文件载入。

3.3 界面操作介绍

BeamSight 光束质量测量仪上位机软件界面如下图所示（可能随软件版本更新稍有不同）。

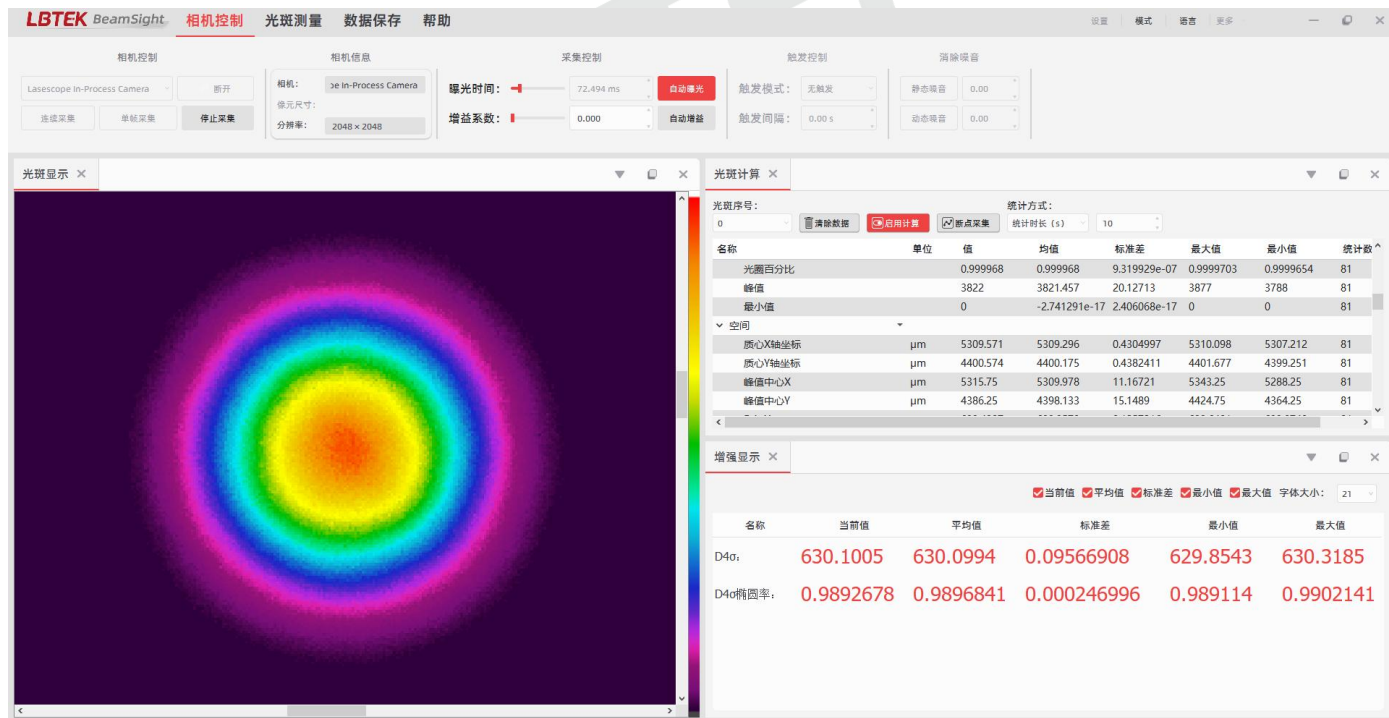


图 3-3-1 软件主界面

测量仪软件主界面包括四个功能标签页：

(1) **相机控制**：用于仪器相机的连接、断开与设备调试。支持设置曝光时间、增益系数，配置相机触发模式以及执行背景扣除操作。



图 3-3-2 相机控制功能

(2) **光斑测量**：集成各类光斑分析测量功能。可实现 2D/3D 光斑可视化展示、光斑参数运算、关键数据高亮、数据曲线绘制，同时支持手动 M^2 拟合（发散角测量）、光束指向性分析等功能。



图 3-3-3 光斑测量功能

(3) **数据保存**：用于测量数据与光斑图像的存储管理。支持自定义采集模式，可选择持续采集，或按设定时长、采集点数自动终止测量，同时可配置保存路径、文件名与存储间隔。



图 3-3-4 数据保存功能

(4) **帮助**: 提供软件辅助参考资源, 可查阅版本信息、用户手册等相关资料。



图 3-3-5 帮助功能

在光斑显示子窗口中, **光斑显示**用于展示完整画幅的全部图像信息; **光斑跟踪**仅显示软件自动识别得到的光斑 ROI 区域。当光斑功率、光斑尺寸超出测量仪的有效探测范围时, 可能会造成光斑自动识别异常。

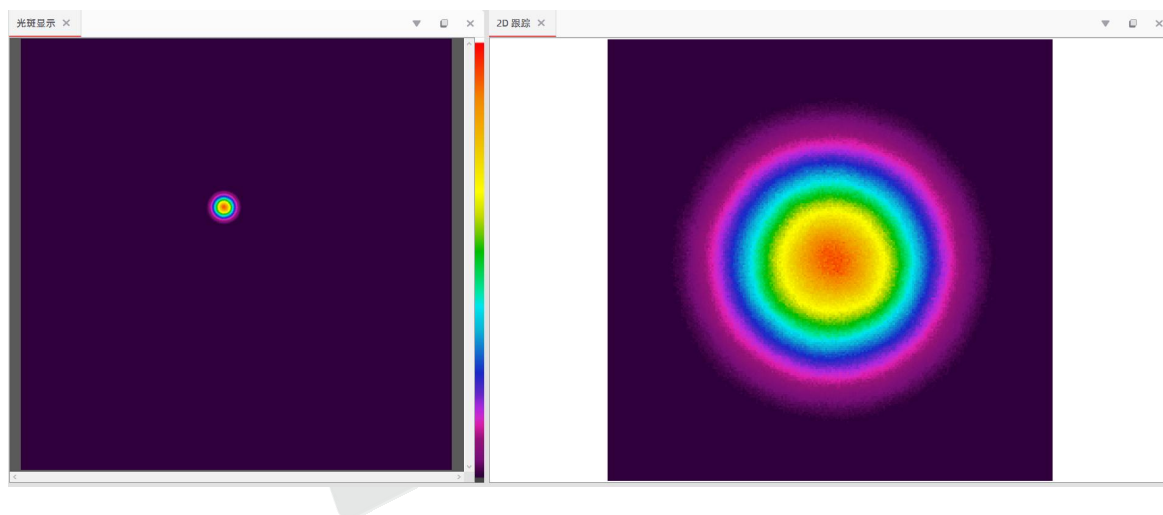


图 3-3-6 光斑显示窗口

在光斑计算页面, 点击**区域①**即可调出待显示的“**光斑参数列表**”**②**。列表内每项参数配置三类复选状态: 隐藏、常规显示、高亮显示, 高亮状态由紫色方框标识。配置为高亮显示的参数, 可在“**高亮显示**”子窗口**③**放大展示, 并在“**数据曲线**”子窗口一并呈现。

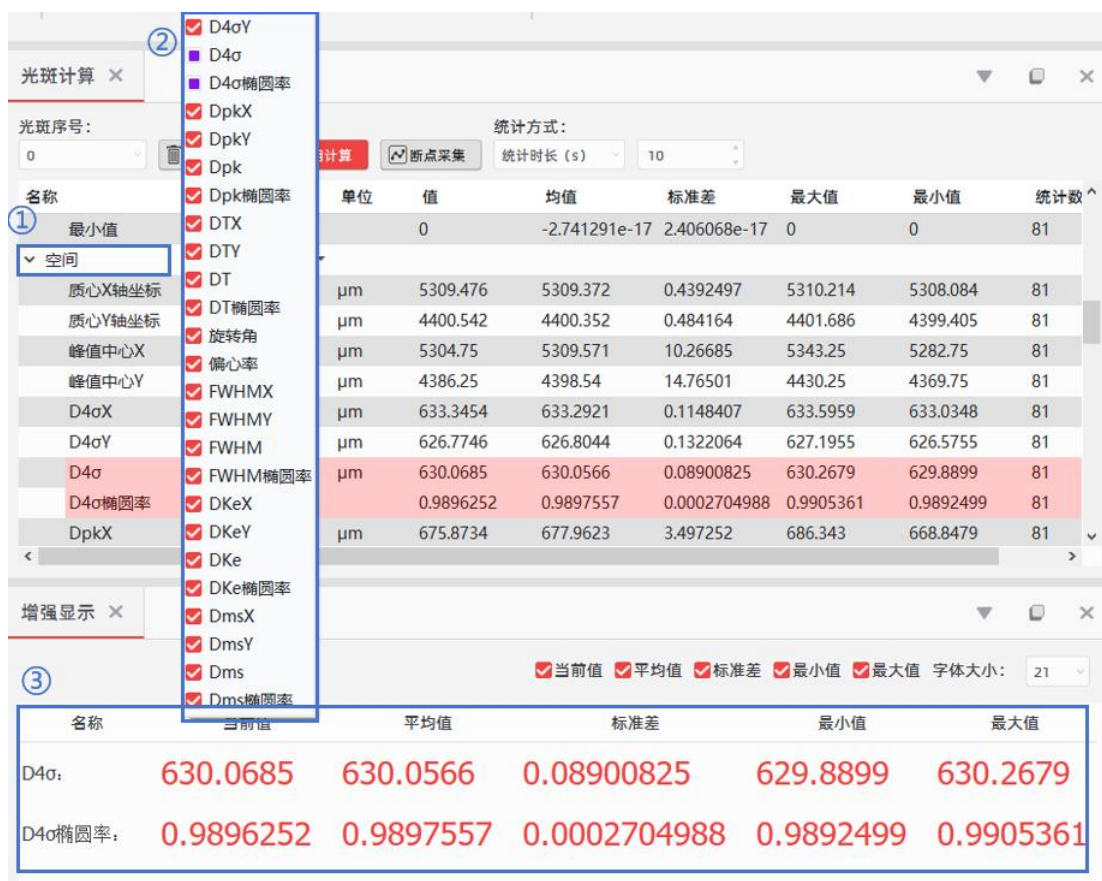


图 3-3-7 光斑计算界面

4 光斑测量说明

参数名称（中文）	符号	定义	单位
全图总值幅值	/	位置 z 处光束截面的总功率（能量），即功率密度在全图上的积分	/
峰值	/	功率（能量）密度分布 $E(x,y,z)$ 的最大值	/
质心 X 轴坐标	$\bar{x}$	功率密度分布的一阶矩坐标（X 方向）	Pixels
质心 Y 轴坐标	$\bar{y}$	功率密度分布的一阶矩坐标（Y 方向）	Pixels
峰值中心 X	$x_{\max}$	峰值所在位置的 X 坐标	Pixels
峰值中心 Y	$y_{\max}$	峰值所在位置的 Y 坐标	Pixels
D4σX	$D_{4\sigma}X$	X 方向关于质心的二阶矩平方根的四倍	μm
D4σY	$D_{4\sigma}Y$	Y 方向关于质心的二阶矩平方根的四倍	μm
D4σ	$D_{4\sigma}$	$D_{4\sigma}$ 整体宽度（常用几何平均，亦可算术平均）	μm
D4σ椭圆率	$\varepsilon_{4\sigma}$	$D_{4\sigma}$ 短轴与长轴之比（ x 沿长轴方向， $D_{4\sigma}X \geq D_{4\sigma}Y$ ）	—
DpkX	$D_{pk}X$	以峰值一定百分比为阈值的 X 方向宽度	μm

DpkY	D _{pk} Y	以峰值一定百分比为阈值的 Y 方向宽度	μm
Dpk	D _{pk}	Dpk 整体宽度（几何平均）	μm
Dpk 椭圆率	ε _{pk}	Dpk 短轴与长轴之比	—
旋转角	φ	二阶矩椭圆长轴相对参考 x 轴的取向角	°
偏心率	e	量化分布相对圆（方）形偏离程度的参数	—
FWHMX	D _{FWHM} X	X 方向半高全宽	μm
FWHMY	D _{FWHM} Y	Y 方向半高全宽	μm
FWHM	D _{FWHM}	FWHM 整体宽度（几何平均）	μm
FWHM 椭圆率	ε _{FWHM}	FWHM 短轴与长轴之比	—

本手册以**高斯光束**为例，说明如何依据国际标准配置实验来测量激光光束的典型空间参数。高斯光束是绝大多数单模激光器的输出模式，也是所有光束质量评价的基准（理想基模高斯光束的 $M^2 = 1$ ）。

本方案引用的国际标准如下：

标准	名称与作用
ISO 11146-1/-2/-3	激光束宽度、发散角与光束传播比（ M^2 ）的测试方法 —— 定义 $D_{4\sigma}$ 二阶矩宽度与 M^2 焦散线拟合
ISO 13694	激光束功率（能量）密度分布的测试方法 —— 定义椭圆度、方位角、平顶因子、均匀性、边缘陡度等截面分布参数
ISO 11145	光学与光子学 —— 激光与激光设备 —— 词汇与符号
ISO 11670	激光束位置（指向）稳定性测试方法
ISO 11554	激光束功率、能量及其时间稳定性测试方法

注： $D_{4\sigma}$ 、 M^2 、椭圆度等定义在 ISO 13694 与 ISO 11146 中表述一致（ISO 13694 直接引用 ISO 11146 的二阶矩定义）。光束指向 / 位置稳定性、功率稳定性的标准化测试方法分别依据 ISO 11670、ISO 11554。

4.1 高斯光束基础

理想高斯光束的横向强度分布为：

$$I(r) = I_0 \exp\left(-\frac{2r^2}{w^2}\right)$$

其中 w 为 $1/e^2$ 半径（强度降到峰值 $1/e^2 \approx 13.5\%$ 处的半径）， I_0 为峰值强度。高斯光束沿传播方向 z 的光斑尺寸演化满足：

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \frac{(z - z_0)^2}{z_R^2}}$$

式中 w_0 为束腰半径（最小光斑半径）， z_0 为束腰位置， z_R 为瑞利长度：

$$z_R = \frac{\pi w_0^2}{M^2 \lambda}$$

远场发散半角（ $1/e^2$ 定义）为 $\theta = \frac{M^2 \lambda}{\pi w_0}$ ，光束参数积 $BPP = w_0 \theta = \frac{M^2 \lambda}{\pi}$ 。对理想基模高斯光束 $M^2 = 1$ 。关键关系：对高斯光束， $D_{4\sigma}$ 直径 $d_0 = 4\sigma_0 = 2w_0$ （恰等于 $1/e^2$ 直径）， $FWHM \approx 0.589 \times D_{4\sigma}$ 。这是后续用 $D_{4\sigma}$ 替代高斯 $1/e^2$ 宽度做 M^2 测量的数学基础。

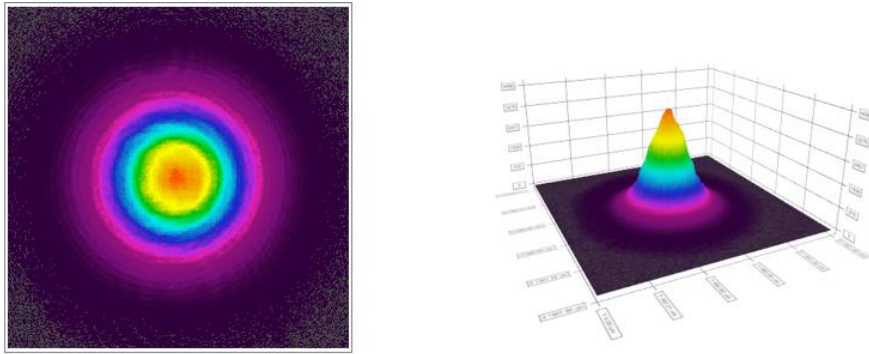


图 4-1-1 实测接近于高斯分布的激光输出光斑

4.2 光束质心

光束质心是功率（能量）密度分布的一阶矩坐标，确定光束的空间中心位置：

$$\bar{x}(z) = \frac{\iint x E(x,y,z) dx dy}{\iint E(x,y,z) dx dy}, \quad \bar{y}(z) = \frac{\iint y E(x,y,z) dx dy}{\iint E(x,y,z) dx dy}$$

其中 $E(x,y,z)$ 为功率密度分布（脉冲激光用能量密度 H 替代）。积分区域须覆盖 $\geq 99\%$ 的总功率/能量。光束质心是所有二阶矩（宽度、椭圆度、方位角）计算的先决条件，也是指向稳定性测量的基本量。

4.3 $D_{4\sigma}$ 光束宽度

(1) 定义

光束宽度是分布关于质心的二阶矩（方差）平方根的四倍，即 4σ ：

$$D_{\sigma x}(z) = 4\sigma_x = 4 \sqrt{\frac{\iint (x-x)^2 E(x,y,z) dx dy}{\iint E(x,y,z) dx dy}}$$

$$D_{\sigma y}(z) = 4\sigma_y = 4 \sqrt{\frac{\iint (y-y)^2 E(x,y,z) dx dy}{\iint E(x,y,z) dx dy}}$$

$D_{4\sigma}$ 是唯一严格满足光束传播定律的宽度定义，因此是 M^2 测量的法定宽度。

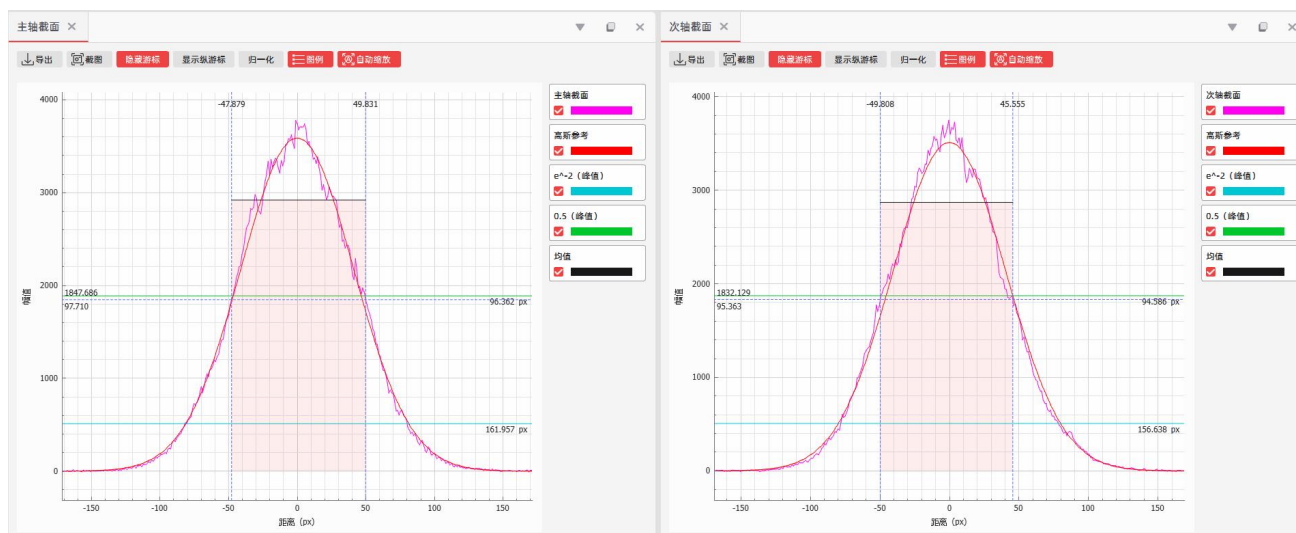


图 4-4-2 实测高斯光束展示 $D_{4\sigma}$ 宽度、FWHM 直径的关系

注：其中紫色曲线为实际曲线，红色为高斯拟合曲线，蓝色虚线为 FWHM 宽度和高度，青色横线为 $D_{4\sigma}$ 宽度。在理想基模高斯光斑 ($M^2=1$) 的前提下， $D_{4\sigma}$ 宽度与 $1/e^2$ 峰值宽度的理论数值严格相等。只有在光束退化为包含高阶模式或衍射噪声的实际光束时，由于能量分布不再是完美的高斯钟型曲线， $1/e^2$ 峰值法提取的宽度与 $D_{4\sigma}$ 积分算出的宽度才会产生显著分歧。

(2) 高斯光斑形态测量操作步骤

- 对准光路：入射激光前加装衰减镜确保光强不超过测量仪损伤阈值，建议首先将光斑打在档盖准心中央确保光斑大致落在探测范围中央。
- 扣除背景：彻底挡住激光，在软件中执行“静态底噪扣除”。
- 调节曝光：移开挡光，调节曝光时间，使图像最亮处接近但不超过饱和。
- 读取数据：在“光斑计算”窗口中点击启用计算，可以直接观察光斑各类指标。

4.4 BPP 光束参数积与 M^2 光束传播比

(1) 定义

- **光束参数积 (BPP, Beam Parameter Product)**: 描述激光束在空间传播中“发散程度”与“聚焦能力”的综合物理量。BPP 越小, 意味着光束能在保持较小腰斑的同时拥有较低的发散角, 其远距离传输或高精度聚焦的能力越强。
- **光束质量因子 (M^2 , Beam Propagation Ratio)**: 用于衡量实际光束与理想基模高斯光束 (TEM_{00}) 接近程度的无量纲参数。它剥离了波长对发散规律的绝对影响, 是 ISO 11146 体系下评价激光空间质量的核心法定标尺。

根据 ISO 11146 规范, 所有几何参数均需基于空间二阶矩 $D_{4\sigma}$ 定义提取。

BPP 的计算: 由束腰半径 (w_0) 与远场发散半角 (θ) 的乘积定义。若使用全直径 d_0 和全发散角 Θ , 则公式为:

$$BPP = w_0 \theta = \frac{d_0 \Theta}{4}$$

M^2 的计算: 物理本质是实际光束的 BPP 与同波长理想基模高斯光束 BPP (理论极小值 $\frac{\lambda}{\pi}$) 的比值:

$$M^2 = \frac{BPP_{actual}}{BPP_{ideal}} = \frac{\pi w_0 \theta}{\lambda}$$

结合上述公式, 两者之间的直接换算关系为:

$$BPP = \frac{M^2 \lambda}{\pi}$$

理想基模高斯光束 $M^2 = 1$, 任何实际光束的 $M^2 > 1$, M^2 越大光束质量越差。

在光束质量测量仪的软件底层架构设计中, 通常不会直接单次求解 M^2 。标准算法流程是: 沿传输方向 z 轴采集多张光斑图像, 计算并拟合出基于二阶矩的焦散线 (Caustic Curve), 从中提取出 w_0 和 θ 得到 BPP, 最后再引入用户输入的波长 λ 输出最终的 M^2 。

(2) 焦散线拟合方法

沿传播方向测量不同位置 z 处的 $D_{4\sigma}$ 直径 $d(z)$ ，其平方服从双曲线（焦散线）：

$$d^2(z) = d_0^2 + \theta^2(z - z_0)^2$$

将 d^2 对 z 做抛物线拟合 $d^2 = A + Bz + Cz^2$ ，由拟合系数提取：

$$d_0 = \sqrt{A - \frac{B^2}{4C}}$$

$$z_0 = -\frac{B}{2C}$$

$$\theta = \sqrt{C}$$

$$M^2 = \frac{\pi d_0 \theta}{4\lambda}$$

(3) 实验测量

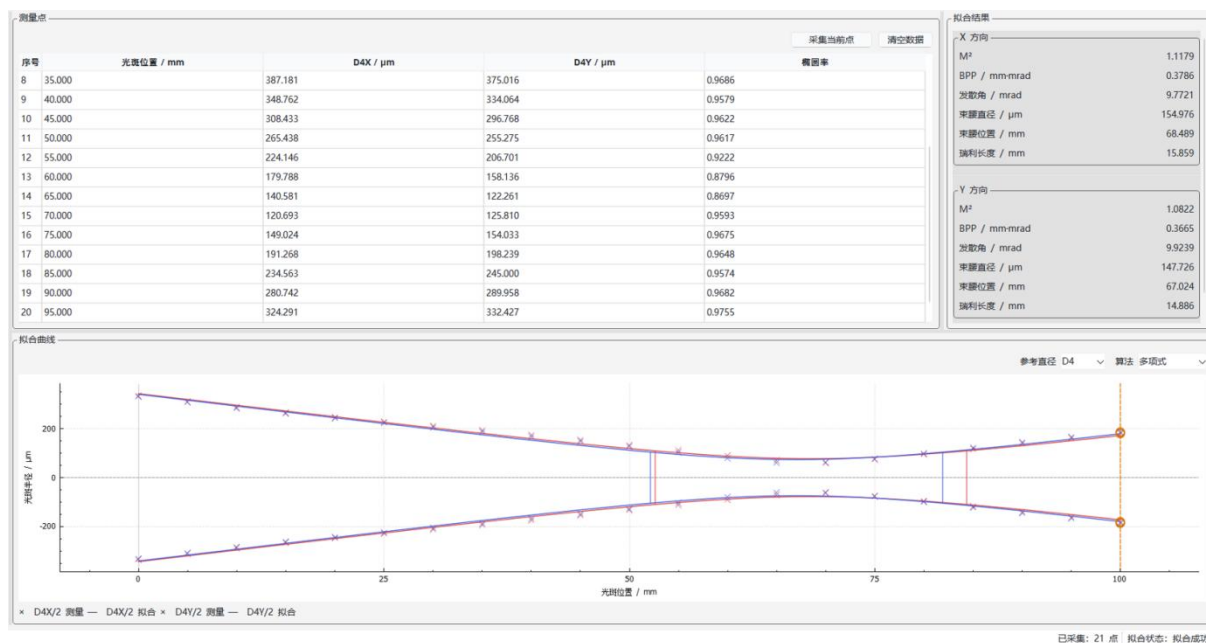


图 4-4-3 M^2 焦散线拟合： $D_{4\sigma}$ 直径随传播位置的演化与双曲线拟合

- 用已知焦距的消像差透镜聚焦光束，形成束腰。
- 聚焦透镜口径应 ≥ 3 倍光束直径，避免衍射截断；测量平面处须保持探测器不饱和。
- 沿传播轴在至少 10 个位置测量 $D_{4\sigma}$ 直径：束腰附近 ($|z - z_0| \leq z_R$) 至少 5 个点，远场 ($|z - z_0| \geq 2z_R$) 至少 5 个点，每次测量都需要在软件中同步记录 z 轴坐标位置。

- 本步骤在软件中自动完成算法拟合：对 $d^2(z)$ 做最小二乘抛物线拟合，按上式计算 M^2 。

4.5 椭圆度与方位角

对非旋转对称光束，二阶矩构成一个 2×2 矩阵 $(\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{xy})$ 。其特征值给出长、短轴方向的二阶矩，特征向量给出主轴方向。椭圆度（纵横比）定义为：

$$\varepsilon(z) = \frac{d_{\sigma y}(z)}{d_{\sigma x}(z)} \quad (x \text{ 轴取沿长轴方向, 故 } d_{\sigma x} \geq d_{\sigma y}, \quad 0 < \varepsilon \leq 1)$$

偏心率定义为 $e(z) = \frac{\sqrt{d_{\sigma x}^2 - d_{\sigma y}^2}}{d_{\sigma x}}$ 。方位角（长轴相对参考 x 轴的取向角）由二阶矩矩阵给出：

$$\tan(2\varphi) = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_{xx} - \sigma_{yy}}$$

$$\sigma_{xy} = \frac{\iint (x - \bar{x})(y - \bar{y})E \, dx \, dy}{\iint E \, dx \, dy}$$

判定阈值： $\varepsilon \geq 0.87$ （或 $e \leq 0.5$ ）时，旋转对称分布可视为圆形。部分文献中椭圆度亦存在 $1 - d_{\sigma y}/d_{\sigma x}$ 的写法（0 表示圆）。

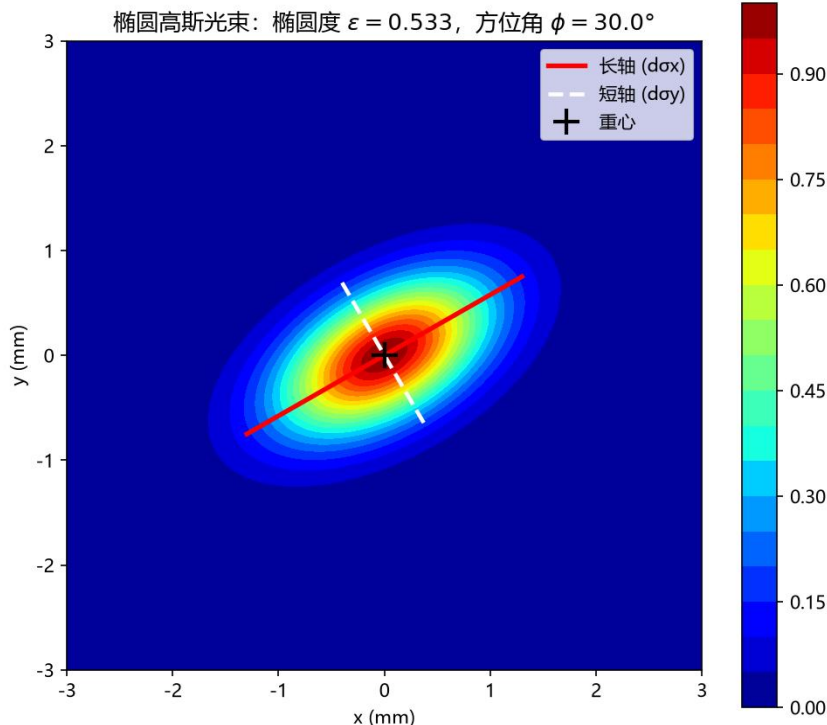


图 4-5-1 椭圆高斯光束的椭圆度 ε 与方位角 φ ：二阶矩矩阵特征分解给出长短轴与主轴取向

4.6 平顶光束参数（边缘陡度、均匀性、平顶因子）

以下参数主要面向平顶（top-hat）光束。

- **边缘陡度(Edge Steepness):** 描述光斑边缘从背景强度爬升到平顶区强度的空间跨度。工程上通常定义为强度从峰值的 10% 上升到 90%（或 20% 到 80%）所经历的物理距离。宽度越小，光斑边缘越锐利。

$$w_{trans} = \|x_{90\%} - x_{10\%}\| \quad (\text{或 } 20\% \sim 80\% \text{ 坐标差值})$$

- **平台均匀性(Plateau Uniformity):** 评估平顶区域（如强度 $\geq 90\%$ 最大值的区间）内光强分布的起伏和噪点。UI 标有“ 2σ ”，表明该软件采用的是该区域内强度的 两倍标准差除以平均值 来量化起伏。数值越小，顶部越平坦。

$$Uniformity = \frac{2\sigma_E}{E}$$

σ_E 为平顶区强度的标准差， E 为平顶区平均强度。

- **平顶因子(Flatness Factor):** 描述一维截面上最高峰值强度与整个有效测量区域内平均强度的比值。理想平顶光的该比值应无限趋近于 1。（注：ISO 中平顶因子 F 的定义是均值除以峰值，即峰均比的倒数）。

$$R_{PA} = \frac{E_{max}}{E}$$

4.7 指向稳定性、位置稳定性

（1）定义

- **位置稳定性:** 光束质心位置随时间的变化量，用质心坐标的标准差表征：

$$\bullet \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (x_i - \langle x \rangle)^2}, \quad \sigma_y \text{ 同理}$$

- **指向稳定性:** 光束指向方向（角度）随时间的变化量，由位置稳定性换算： $\sigma_\theta = \frac{\sigma_x}{f}$ （ f 为等效焦距）。
- **功率/能量稳定性:** 激光输出功率（能量）随时间的变化，用归一化标准差表征：

$$\Delta P = \frac{\sigma_P}{\bar{P}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (P_i - \bar{P})^2}}{\bar{P}}$$

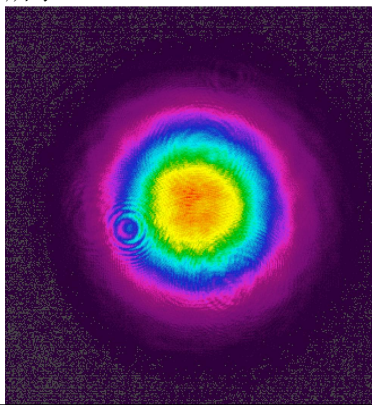
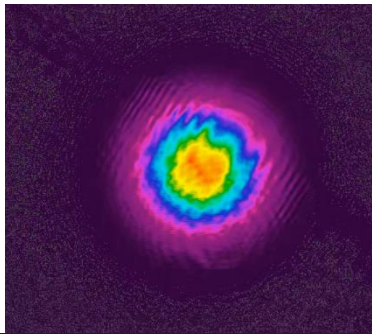


图 4-6-1 光束指向/位置稳定性：连续多次质心测量点的散布、均值与 $1\sigma/2\sigma$ 边界

(2) 实验测量

- **架设远场光路：**在光束质量测量仪前方放置一枚已知准确焦距（f）的透镜，并将相机的传感器严格固定在透镜的焦平面上。这是将角度漂移转化为位置移动的物理前提。
- **环境屏蔽与预热：**彻底遮盖测试光路以隔绝空气扰动，并确保激光器和探测器已达到热平衡。稳定性测试对环境极度敏感，未隔离的气流或台面微震动都会在最终数据中表现为虚假的质心漂移。
- **设定采样任务：**在测量软件中开启质心坐标（X/Y）与总能量的连续记录。
- **提取与计算：**
 - 功率/能量稳定性：**提取能量序列，计算其标准差并除以均值（RMS 百分比）。
 - 位置稳定性：**提取质心坐标序列，直接计算 X 轴和 Y 轴坐标的标准差。
 - 指向稳定性：**将上一步算出的位置标准差，直接除以透镜焦距 f，即得到最终的角度偏移量（弧度）。

5 常见问题处理

问题现象	可能原因	解决方法
软件启动时，提示缺少某文件而无法启动	1. 未通过启动程序启动 2. 安装目录下 drivers 文件夹丢失文件	1. 通过启动程序启动 2. 重新安装上位机程序 3. 联系技术支持获取最新版本程序
软件启动时，提示无法定位程序输入点	与已有软件冲突	1. 重新安装上位机程序 2. 联系技术支持获取最新版本程序
光斑显示区域不完全	相机配置文件不正确	在上位机设置内读入对应相机的配置文件
enum camera_ids_ids initialLib an unexpected error returned in the library implementation.	相机库初始化失败	卸载程序，并检查是否残留 drivers 目录，存在则删除，然后重新安装，最后通过启动程序启动 必要时更新到高版本软件，并确认安装目录下 drivers/6/gev/gevgentlk.cti 和 drivers/6/u3v/u3vgentlk.cti 是否存在，两个目录下均不可有其它文件
光斑出现圆形状噪声，如下图所示 	光路中某光学元件上存在灰尘	保持光路中光学器件清洁。 请注意：不要以任何形式触碰测量仪的感光面。
光斑出现条纹状噪声，如下图所示 	光路中某光学元件上引入了干涉条纹，比较常见的是两张平行的滤光片。	LBTEK 光束测量仪所配的滤光片做了倾角设计，多片使用时将倾角方向错开，可以避免在滤光片位置发生干涉。

6 保修说明

感谢您购买我们的 BeamSight 系列光束质量测量仪。为了确保您能够充分享受我们提供的保修服务，请仔细阅读以下保修条款。

(1) 保修期限

本产品自购买之日起享有一年的有限保修服务。

(2) 保修范围

保修期内，若产品因材料或制造缺陷导致性能故障，我们将提供免费维修或更换服务。

保修服务包括产品正常使用过程中出现的故障。

(3) 保修条件

为了获得保修服务，您必须提供购买凭证，证明产品在保修期内。

产品必须未被擅自改装、拆机、篡改或损坏。

所有随产品提供的配件和文档必须完整。

(4) 不适用保修的情况

由于不当使用、保管、安装、维护或未经授权的维修造成的损坏。

正常外观磨损。

因事故、火灾、水灾、地震、雷击、战争、骚乱、封锁、劳动纠纷、暴动、盗窃、遗失或不可抗力因素造成的损坏。

超出保修期限的维修请求。

(5) 保修流程

若需保修服务，请先联系我们的客户服务部门获取地址，请完整填写本说明书的售后服务保障表，并附上购买凭证，按照指示将产品送至指定地址。

(6) 保修限制

保修期内的维修或更换并不意味着延长保修期限。

所有更换的部件在保修期内继续享有保修服务，除非另有说明。

(7) 保修政策的变更

我们保留在不另行通知的情况下修改保修政策的权利。

(8) 联系方式

客户服务热线：400-060-6986

电子邮箱：comservice@lbtek.com

官方网站：<https://www.lbtek.com>

我们承诺将尽最大努力提供高质量的产品和优质的客户服务。感谢您的信任和支持！

LBTEK

深圳麓邦光学技术股份有限公司

LUBON Optical Technology Co., Ltd.

地址:深圳市南山区打石一路深圳国际创新谷6栋A座2103

电话:400-060-6986

官网:www.lubon.com

邮箱:service@lbtek.com; sales@lbtek.com

长沙麓邦光电科技有限公司

Changsha LUBON Photoelectric Technology Co., Ltd.

地址:长沙市岳麓区环创企业广场A6栋

电话:400-060-6986

官网:www.lbtek.com

邮箱:service@lbtek.com; sales@lbtek.com



更多活动和光学小技巧
请关注LBTEK公众号