

•测试、试验与仿真•

热释电型激光能量计空间均匀性校准技术研究

易 琰, 罗天峰, 杨建昌

(装甲兵工程学院 控制工程系, 北京 100072)

摘要:热释电探测器由于其灵敏度高、响应速度快、体积小、损伤阈值高等特点,作为激光能量计的传感器在激光能量检测方面使用广泛。由于制作工艺的限制,热释电型激光能量计的热敏面灵敏度系数存在空间非均匀性问题,导致当激光照射到探测器不同位置时,激光能量测量结果不准确。针对这一问题,设计一种热释电型激光能量计空间均匀性校准方法,通过对热释电探头光路的控制,消除空间均匀性对测量结果的影响,并通过实例验证了方法的可行性。

关键词:激光;能量计;校准

中图分类号:TN244

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-05-0071-04

Research on Spatial Uniformity Calibration of Pyroelectric Laser Energy Meter

YI Quan, LUO Tian-feng, YANG Jian-chang

(Department of Control Engineering, Armored Force Engineering College, Beijing 100072, China)

Abstract: For good features such as high sensitivity, fast response speed, small volume and high damage threshold, the pyroelectric detector as the sensor of the laser energy meter is widely used in laser energy detection. Limited by the manufacture process, the thermal surface sensitivity coefficients of the pyroelectric laser energy meter has spatial non-uniformity problem. When the laser irradiates the different positions of the detector, the results of the laser energy measurement is different. To solve this problem, a pyroelectric laser energy meter spatial uniformity calibration method is designed. Through controlling the light path of the pyroelectric detector, the influence on measured results from spatial uniformity is removed. And the feasibility of the method is verified by the experiments.

Key words: laser; energy meter; calibration

在 高 能 激 光 武 器 运 用 中, 由 于 对 激 光 的 作 用 效 能 要 求 严 格, 因 此 对 激 光 能 量 的 测 量 准 确 性 有 较 高 要 求^[1]。热释电探测器由于其灵敏度高、响应速度快、体积小、损伤阈值高等特点^[2-3],作为激光能量计的传感器在激光能量检测方面使用广泛,但热释电探测器在制造过程中会掺杂多种金属物质及粘合剂,由于热释电探测器在制造过程中无法确保各种材料的空间均匀性^[4-6],导致当激光照射到探测器不同位置时,探测器产生的响应差别较大。同时,高能激光武器在日常的检测中很少拆解到实验室中进行能量检测,一般由测试人员手持激光能量计进

行检测,因此热释电激光能量计在实际应用中须消除空间差异性对测量结果的影响。提出一种热释电型激光能量计空间均匀性校准方法,通过对热释电探头光路的控制,消除空间均匀性对测量结果的影响。

1 热释电探测器激光响应的空间非均匀性

为考察热释电探测器的空间非均匀性,进行了以下实验:将激光器和被测热释电探测器放置于光学台面上,被测热释电探测器安装在可调节支架

收稿日期:2016-10-14

基金项目:总装备部通用装备保障部项目

作者简介:易琰(1968-),男,陕西三原人,教授,研究方向为光电检测技术等;罗天峰(1988-),男,河北保定人,硕士研究生,研究方向为光电工程。

上,并在光学台面和可调节支架上标注水平方向和垂直方向刻度,便于调节和记录。实验用激光器采用长春禹衡光学有限公司生产的光电调Q固体激光器,输出波长532 nm,极限功率200 mJ,脉冲宽度

小于10 ns,激光稳定性高。实验中每个位置取5组激光能量检测数值的平均值,可消除由于激光器稳定性带来的影响。实验记录激光器照射到热释电探测器不同位置时的响应,具体结果如表1所示。

表1 热释电探测器激光响应的空间均匀性测量结果(单位 mJ)

Y/mm	X/mm													
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
4	-	-	-	-	87.6	88.2	90.7	91.5	89.4	88.5	-	-	-	-
6	-	-	-	90.5	92.1	91.6	93.7	93.3	89.1	88.7	85.6	-	-	-
8	-	-	75.3	66.6	88.3	89.3	90.6	90.2	87.4	89.8	78.3	82.4	-	-
10	-	82.6	90.6	83.9	85.8	94.9	95.9	95.6	91.6	94.3	91.5	83.4	83.1	-
12	-	95.7	87.6	85.7	94.7	99.0	100.9	100.3	99.1	99.1	95.7	94.8	88.7	-
14	-	86.9	91.4	84.5	95.5	102.8	104.2	102.5	100.9	99.5	96.9	93.6	78.9	-
16	94.4	93.7	94.5	89.9	87.0	96.1	98.2	96.6	103.5	100.4	101.0	92.7	87.8	82.1
18	93.1	95.0	92.5	89.0	88.8	98.3	101.8	99.6	104.1	102	99.2	93.4	87.0	82.5
20	-	95.5	98.3	94.8	89.7	91.3	99.1	98.6	100.6	103.9	102.4	99.4	90.2	-
22	-	90.7	95.0	94.3	94.9	97.7	93.9	87.5	90.4	93.9	92.6	94.6	94.8	-
24	-	92.7	95.7	90.5	93.8	97.6	90.9	79.5	91.3	92.7	89.8	89.4	89.7	-
26	-	-	89.4	93.9	95.5	96.0	95.5	94.9	90.1	92.5	93.6	92.6	-	-
28	-	-	-	94.7	100.5	100.4	101.0	99.7	98.8	98.1	99.2	-	-	-
30	-	-	-	-	99.4	100.2	100.9	98.1	95.9	94.7	-	-	-	-

热释电探测器激光响应的空间均匀性分布如图1所示。

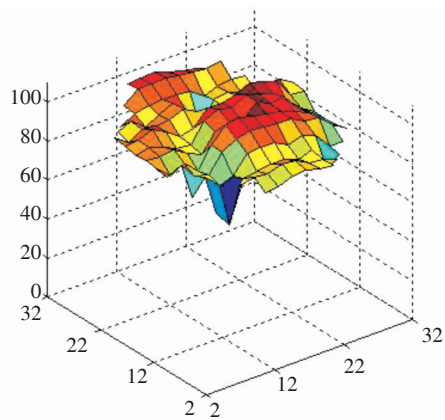


图1 热释电探测器激光响应的空间均匀性分布图

由图1可以看出,当激光照射到热释电探测器的不同位置上时,其产生的响应差别很大,最大差异可达34.08%,其差异性产生的原因是由于热释电探测器在制造过程无法校正各种材料的空间均匀

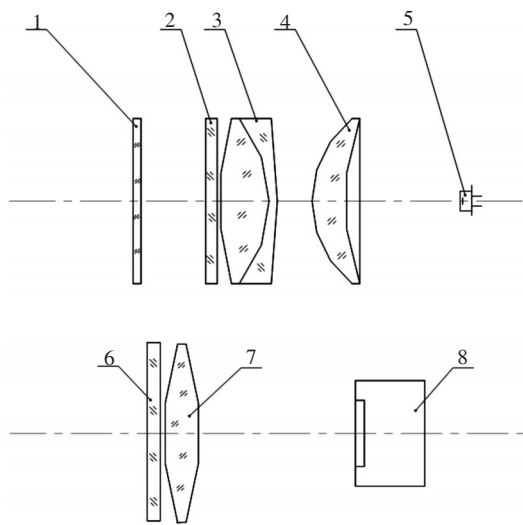
性。因此,对于不同的热释电探测器,不同空间的响应都是不同的。通过软件的方式很难消除热释电探测器的空间差异性,故考虑通过光学设计解决这一问题。

2 热释电空间均匀性校准方法

一般高能激光武器均包含一个校准光路,因此对热释电空间均匀性的校准方法上可以利用这一条件设计合理的对准光路,使激光能量进入热释电探测器的中心位置,并进行灵敏度标定,以消除空间非均匀性对测量结果的影响。

考虑到在实际工程检测过程中,测试人员采取手持激光能量计进行测量,为防止被测激光对测试人员造成损伤,要求激光能量计紧贴被测激光器的发射窗口。由于人眼无法直接观察激光光斑在热释电探测器上的位置,为保证大口径激光的激光能量全部进入热释电探测器,将激光能量计的光路设计分成两部分:瞄准系统和能量接收系统。瞄准系

统用以模拟无穷远目标,保证激光发射轴与能量接收轴同轴;能量接收系统用以接收被测激光器的激光能量,进行能量测量。光学系统原理图如图2所示。



1. 衰减片 2. 保护玻璃 3. 发射胶合透镜 4. 发射弯月镜
5. 发光二极管 6. 衰减片 7. 接收物镜 8. 热释电

图2 激光能量计校准光路原理图

瞄准系统由衰减片、保护玻璃、发射物镜(发射胶合透镜、发射弯月镜)和发光二极管组成。发射物镜为三片型,一个双胶合物镜,一个正透镜,完成校正像差,以便发射准平行光束,实现与校准检测光轴的一致,保证瞄准方向;发光二极管发射表面置于光学系统的焦平面上。在使用激光能量计时,将激光能量计的瞄准系统放置于被测激光器校靶镜正前方,紧贴被测激光器,可近似保证被测激光与瞄准系统的光轴平行性。点亮瞄准系统的发光二极管,使被检测激光器的校靶镜瞄准分划中心刻线后,即可保证激光发射轴与能量检测轴同步,被测激光照射到热释电探测器中心位置。

能量接收系统由衰减片、接收物镜和热释电探头组成。由于被测对象发射的激光束散角很小,近似于轴上光束。因此,可在热释电探测器前增加一个透镜聚焦光路,将热释电探测器放置于透镜的焦平面附近,探测器热敏面中心置于透镜光轴上。这样可以满足从不同位置进入激光能量检测设备的激光能量全部汇聚到热释电探测器热敏面的中心

附近,从而克服热释电探测器空间差异性对测量结果的影响。为防止由于激光功率过高而对热释电探测器造成损伤,在透镜前增加一个衰减片。

在该方法的运用中主要应考虑以下三方面问题:①能量接收系统透镜的选择。为保证在热释电探测器热敏面上形成的光斑位置主要位于其中心位置且激光能量全部进入热敏面上,透镜的口径应略大于激光光斑直径。这样即使被测激光未完全对准能量接收光路的光轴,其在热敏面上形成的光斑与热敏面中心的偏差也极小,对测量结果的影响也较小。②衰减片的选择。由于被测激光能量较大,且激光能量经过透镜系统进一步汇聚,应计算在热敏面上的激光能量,根据测量结果选择恰当的衰减片,防止被测激光能量超过热释电探测器的工作阈值。③为进一步消除热释电探测器空间非均匀性对测量结果的影响,应对激光能量进行多次测量取平均值。

3 实例验证与仿真

被测 $0.53 \mu\text{m}$ 激光光斑直径约为 40 mm , 10 个脉冲平均能量为 180 mJ 。为保证全部激光进入激光能量计,接收物镜选用口径略大于激光光斑直径的 $\Phi 50.8 \text{ mm}$ 的 N-BK7 (K9) 双凸透镜,双面镀 530 nm 增透膜,焦距 59.8 mm ,通光孔径 90% ,平均反射率(BBAR R_{avg}) 0.5% ,损伤阈值 7.5 J/cm^2 (532 nm , 10 ns , 10 Hz)。

将热释电探测器放置于像方焦平面前 3 mm 处,探测器中心置于透镜光轴上。则被测激光通过透镜后,在探测器热敏面中心形成一个直径 4 mm 的光斑。该光斑能量密度 w 为

$$w = \frac{E \times (1 - R_{\text{avg}})}{S} = \frac{0.18 \times (1 - 0.5\%)}{0.2^2 \times \pi} = 1.43 (\text{J/cm}^2) \quad (1)$$

选用的热释电探测器 10 ns 脉冲功率密度阈值 100 MW/cm^2 ,其能量密度阈值 w_1 为

$$w_1 = Mt = 100 \text{ MW/cm}^2 \times 10 \text{ ns} = 1 (\text{J/cm}^2) \quad (2)$$

由于 $w > w_1$,因此在光路中加入一个 Thorlabs 公司的 NE2R03B 型 $\Phi 50.8 \text{ mm}$ 吸收型中性密度滤光片,光密度 0.3 ,透过率曲线如图 3 所示。

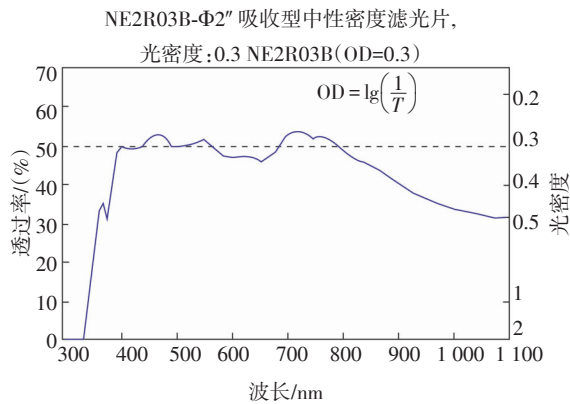


图3 中性密度滤光片透过率曲线图

由图3中可以看出,在530 nm处,激光透过率为50.8%。经过衰减后,在热释电探测器热敏面上的光斑能量密度 w_2 为

$$w_2 = \frac{E \times \eta \times (1 - R_{avg})}{S} = \frac{0.18 \times 50.8\% \times (1 - 0.5\%)}{0.2^2 \times \pi} = 0.72 (\text{J/cm}^2) \quad (3)$$

此时满足热释电探测器工作阈值要求。

使用TracePro软件对能量接收光路进行仿真,以检验被测激光在热释电探测器上的激光能量密度分布。光源设定为0.532 μm格点光源,水平线性偏振,服从高斯分布,总辐射度 $1.432 \times 10^8 \text{ W/m}^2$,仿真结果如图4所示。

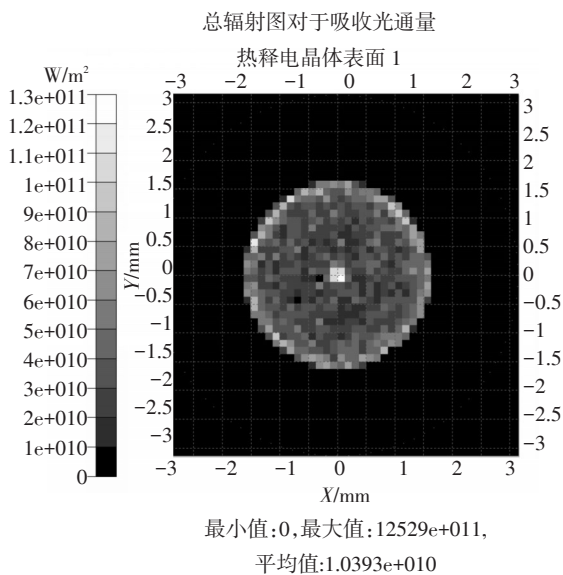


图4 热释电探测器表面功率密度分布图

热释电探测器表面最大功率密度为 $1.253 \times 10^{11} \text{ W/m}^2$,即 12.53 MW/cm^2 ,小于热释电探测器功率密度阈值。

重新设计光路后,需对激光能量计进行灵敏度标定,以消除增加的透镜及衰减片所带来的影响。新标定的激光能量检测设备灵敏度为 2.49 mV/mJ 。

4 结论

提出的热释电型激光能量计空间均匀性校准方法,可有效克服热释电探测器的空间非均匀性对测量结果的影响,设备采用光学设计,结构紧凑小巧,易于工程实现,适用于普通外场工作环境。但当激光能量过高时不可采用热释电探测器进行测量,应采用其他方法。

参考文献

- [1] 怀国模,郭群芳.国防计量[M].北京:国防工业出版社,2003.
- [2] 光学/《计量测试技术手册》编辑委员会.计量测试技术手册[M].北京:中国计量出版社,1997.
- [3] 国防科工委科技与质量司.光学计量[M].北京:原子能出版社,1997.
- [4] 雷程,梁庭,王凯,等.热释电探测器敏感层材料关键性能参数测试[J].传感器与微系统,2013,32(3):147-149.
- [5] 黄江平,冯江敏,王羽,等.热释电红外探测器PZT晶体粘接质量控制[J].红外技术,2013,35(12):164-167.
- [6] 刘岗,梁庭,林斯佳,等.铌酸锂晶片热释电红外探测器设计及性能测试[J].传感技术学报,2013,26(4):333-337.
- [7] 杨鸿儒.新概念高能激光武器与强激光光学计量检测技术[J].应用光学,2005,26(2):1-6.
- [8] 程世红,吕娜.不同参量下单模激光系统的特性研究[J].光电技术应用,2014,29(1):1-3.
- [9] 邱东超,万彪,姜博思,等.单向耦合半导体激光器之间的混沌同步研究[J].光电技术应用,2014,29(4):54-56.
- [10] 全光恒,高唯,曾一,等.基于RTX嵌入式系统的激光目标模拟系统设计[J].光电技术应用,2016,31(1):6-10.