

重频激光参数综合测试仪

南 瑶^{1,2}, 贾选军², 向世明^{1,2}, 于 帅²

(1. 北京理工大学 光电工程系, 北京 100081;

2. 西安应用光学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要:利用不同长度的单模石英光纤制作光纤时-空采样器,将采样激光输入大面积快速光电转换器,用数字示波器测量电脉冲信号,实现对单脉冲激光的实时采样测量。其核心是利用单模石英光纤的芯径小、结构尺寸规范、损伤阈值高等特点,实现对激光光束的无畸变大倍率衰减。给出了相关的设计方案。

关键词:重频; 激光参数; 测量; 时-空采样; 光纤

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)02-0145-05

Equipment of laser parameters for multi-pulse

NAN Yao^{1,2}, JIA Xuan-jun², XIANG Shi-ming^{1,2}, YU Shuai²

(1. Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: A new instrument and a method concerning measurement of pulsed laser multi-parameters are proposed by one sample, based on a bunch of single-mode fibers which are designed serial number with different lengths. Its advantages are high damage threshold and real temporal-spatial domain sample, and a large of attenuation without aberration. By an O-E probe with a big sense area, the laser signal from the bunch of fibers transforms a list of electrical waveforms that could be real-time displayed on digital storage oscilloscope, which would measure real-time for laser parameters of single pulse. Meanwhile, several designs are presented.

Key words: Multi-pulse; Laser parameters; Measurement; Temporal-spatial domain; Fiber

0 引 言

重频激光已广泛用于军事和民用产品,尤其在激光精确制导武器系统、激光致盲和战术武器等系统中

受到普遍重视。正在研制和引进各种应用激光通讯技术的光学雷达项目,其激光的特征为重频和大量值(功率/能量),其激光单脉冲参数对激光系统的作用效能影响很大,激光系统参数及其性能的准确测量和检测将有力地推动和确保武器系统的研制进程和质量。

收稿日期:2003-08-28; 修订日期:2003-11-10

作者简介:南瑶(1964),女,陕西兴平人,高级工程师,工程硕士,主要从事激光参数计量,重点是激光峰值功率和激光微能量测试方面的研究。

1 国内外现状

重频激光参数主要包括能量、功率、频率、峰值功率、光束质量及其稳定性等,其单项参数测试仪器国内外均已报道和产品发布,较为先进的有英国的 Delta Development 的内球面散射、光电探测及等效采样式峰值功率计;峰值保持式重频峰值功率计;激光空域强度分布测试装置和脉冲激光峰值功率标准装置。目前高能激光采用的高质量光楔取样、缩孔/聚焦、高密度孔板等衰减取样方法使激光能量量级处于探测器的工作范围以内,借助电测仪器和计算机软件分析与运算得到相应的激光参数。各种激光成像和编码系统对激光单脉冲参数的测试需求日益迫切^[1~4],而这类激光系统的测量方法和仪器尚处于研制阶段。

2 综合分析

现有激光测量仪器,在测量激光的单项参数方面发挥了重要作用,解决了激光系统静态测量的一系列问题,但要满足目前激光技术和应用发展中的动态测量需求还存在一定的局限性和不足:

(1) 现有的任何一种仪器不能实现对单脉冲激光的多参数瞬态测量,无法获得单脉冲激光的多个参数,要想获得多个参数必须借助高稳定度的激光源,使用多台仪器进行多次测量,再进行数据合成;

(2) 无法消除激光衰减器件引入的空域、时域畸变。光接收面的烧蚀,激光与其接收面作用引起的光化学反应等无法准确量化测定的现象(等离子体效应)、传输介质引入的热畸变;

(3) 无法实现大、中功率的重频脉冲激光的单脉冲参数测量;

(4) 无法实现对混频、多波长激光参数的直接测量;

(5) 二极管阵列探测器的损伤阈值太低,而且成本高,采用光纤探测器组电信号延迟测量方法很难提高信道数,成本高;

(6) 由于各种仪器具有的偏差不同,激光的复现性较差和长测量周期情况下的测试环境的变化等因素的影响,这种多台仪器、多次测量合成的方法所得到的结果是多个激光脉冲的统计结果,降低了测量结

果的可比性,不利于所测量激光参数之间相互关系的分析,反复装调使检测过程烦琐,不能满足使用现场的实时测量要求,同时也造成了相应光路、探测器多次配置,经济性较差。

3 设计原理

本测量仪是一种能够提供具有实时、重频激光参数的综合测量仪器,即通过在一台测试仪器上对脉冲激光进行单次采样,就可给出包括激光空域、时域、频域的多个参数,高采样率有利于对激光系统的动态参数测量。

重频激光参数测量仪由激光采样器、光电探测器组、电测仪器、数据采集与处理系统组成。激光采样器由标准光阑、标准聚光透镜、镜管、滑块、光纤时-空采样器组成,其标准光阑为若干个不同口径的光阑,与镜管为可拆卸连接;标准聚光透镜固定安装在镜管上,镜管与滑块为可滑动连接,滑块与光纤时-空采样器的输入接口相连,其滑块外壁有标尺;光纤时-空采样器由单模石英光纤束、光纤光调制盒、输入和输出接口组成。单模石英光纤束由若干根单模光纤组成,每根光纤的输入、输出端面对齐,并与输入、输出接口固定连接,光纤束应进行避光处理;根据待测激光量程、波长、光斑的大小和测试要求对光纤束中光纤的数量、每根光纤的长短、端面处理及其分布、输出接口的数量进行调整和编码;针对特殊测量要求在光纤盒内对部分光纤进行调制(功率、光谱透过率等)、冷却处理等;光纤束输出接口与光电探测器组相连,光电探测器组由大面积快速光电探测器和触发光电探测器组成,大面积快速光电探测器和触发光电探测器与电测仪器以同轴电缆和 BNC 接口相连,电测仪器可根据测试要求选用瞬态测量的数字示波器、激光接收系统的输出界面等;计算机完成数据采集与处理,给出相应参数及其分布图;根据单模光纤的结构尺寸及其光学参数进行理论计算和标定,给出相应参数的绝对量值。

该测量仪的工作过程:激光垂直入射激光采样器的标准聚光透镜,经标准光阑空间滤波,标准聚光透镜会聚后,激光束径变窄,并全部入射到光纤时-空采样器的输入光纤端面,调整滑块以调整标准聚光透镜

和光纤时-空采样器的输入接口的轴向位置,使光纤时-空采样器输出的激光功率在快速光电探测器的工作范围以内;经光纤束进行时域延迟、空域传输、频域调制后输入光电探测器组,大面积快速光电探测器用于接收由光纤束输出的激光,将其转换为待测量电脉冲信号,触发电探测器用于接收由光纤束输出的激光,为电测仪器提供触发电脉冲信号,并确保每束激光的采样;分别将此触发和待测电脉冲信号输入数字示波器的外触发接口和测量通道,数字示波器测量此电脉冲信号,给出脉冲波形的数字量;计算机数据采集与处理系统根据光纤束的编码规则对数字量进行分析,一一对应解码,根据标准聚光透镜的透过率、探测器的灵敏度计算给出各采样点激光参数的直观图和数据结果,采用 $\sin x/x$ 等内插方法和小波分析方法对该数字量进行细分,提高系统的分辨率。将光纤束输出接口与激光接收系统相连,利用激光接收系统的输出界面获得检测结果。

本测量仪是利用单模石英光纤的温度稳定性、小芯径、优良的传光特性和已成熟的光纤制作工艺实现对重频激光的无畸变空域采样,这种分离采样方式有效地保存了激光发射系统的局部微观特性,减少了整体采样带来的局部畸变,易于实现测量仪器与激光系统的隔离,更适用于高辐射环境和其他有害环境的激光参数测量与检测;对时域延迟引入的固定的时域畸变进行修正。大口径快速光电探测器和数字示波器的重频瞬时测量实现了对重频激光的单脉冲多参数高精度实时测量;这种单次采样的多参数输出方法有效地捕获了重频激光的单脉冲输出特性,减少了由单项测量参数合成过程中不可避免的激光器稳定度不确定因素,提高了测量结果的测量精度和可比性,有利于所测量激光参数之间相互关系的分析,简化了装调和检测过程,避免了光路、探测器及测量仪器的多次配置;满足使用现场的实时测量要求,尤其该方法的实时性对激光雷达等通讯系统的性能检测有很高的实用价值,并且能有效地减少高能激光对探测系统的损伤,降低测量成本。

4 设计方案

下面结合附图和具体方案对本测量仪做进一步

的详细说明。

重频激光参数测试仪由激光采样器、光电探测器组、数字示波器、计算机处理与控制系统、输出及显示部分组成,如图 1 所示。光电探测器组由两个 PIN 探测器组成。PIN 探测器与数字示波器以同轴电缆和 BNC 接口相连,测量电脉冲信号,并将测量结果传输给计算机数据采集与处理系统,依据编码规则解码和小波分析,给出激光脉宽、激光频率、激光峰值功率密度和能量密度分布图等。

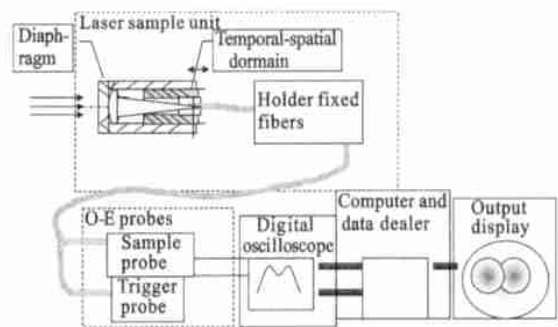


图 1 重频强激光参数测试仪组成示意图

Fig. 1 Instrument for measuring parameters of strong pulsed laser

当激光束束径小于光纤束的接收端面口径时,用光纤束直接对激光进行测量;激光系统的测量环境噪声低时,不用触发电探测器,直接采用内触发测量;光纤束的接收端面可根据测试要求进行全采样或均匀部分采样,或星形、环形采样等,以便在有限的编码像元条件下扩大光纤束的接收端面的有效口径。

图 2 描述的光纤时-空采样器编码原理图是采用不同长度的单模光纤实现时域延迟,采用特种光纤光栅实现对激光波长和线宽的测量,然后进行空间编码。对高斯分布的激光束,可采用十字图和样品波形

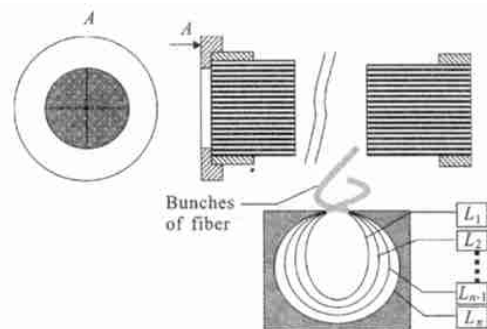


图 2 光纤时-空采样器编码原理图

Fig. 2 Scheme for temporal-spatial domain sample

分析法, 设第 m 根光纤为 $L_m(x, y, \chi, \nu)$, 其中 x, y 为光纤在输入端面的坐标, χ, ν 为光纤在输出端面的坐标, n 是光纤纤芯在待测激光波长的折射率, τ 是脉冲激光的脉冲宽度, 有:

$$L(0, 0) = L_0$$

$$L(0, y) = L(x, 0) = L_1 \quad (x, y \neq 0)$$

$$L_m(x, y) = L_1 + ml \quad x, y \neq 0,$$

$$m = 3, 4, \dots$$

$$l \geq n\tau$$

下面以光纤束的接收端面直接对准激光测量的情况进行说明。激光束峰值功率密度空域分布为 $\Phi(x, y, z)$, 在光轴上 z 处 $\Phi_z(x, y)$, 经光纤时空采样器空间采样得出平面点阵 $\Phi_z(x', y')$ 、 n 根光纤时间延迟和光电探测器组光电转换、数字示波器波形测量, 给出脉冲激光的瞬时响应波形 $\Psi(t)$, 根据小波分析法有:

$$\Psi(t) = \psi_0(t) + \sum \psi_m(t) \quad (1)$$

$$\psi_m(t) = C_m \psi_0 \left[t - \frac{mnl}{c} \right] \gamma_m \quad (2)$$

式中 $\psi_0(t)$ 、 $\psi_m(t)$ 分别为光纤 L_0 、 $L_m(x, y)$ 对应的激光瞬时电压波形; γ_m 为激光经单模石英光纤 L_m 后的损耗和色散修正系数; C_m 为拟合系数。 $\Psi(t)$ 中 $\psi_0(t)$ 的峰值电压 V_0 点在 t_0 处, $\Psi(t)$ 中 $t = t_0 + \frac{mnl}{c}$ 处的电压为第 m 根光纤处的激光响应电压 V_m , 单模石英光纤的芯径截面积 S 和探测器的灵敏度 R 有:

$$\Phi_z(x', y') = V_m SR \quad (3)$$

由公式 (3) 给出激光的峰值功率点阵密度分布图 $\Phi_z(x', y')$ 。

对公式 (2) 中 $\psi_m(t)$ 积分得激光采样器的第 m 根光纤处的能量。根据单模石英光纤的芯径截面积 S 和探测器的灵敏度 R , 给出激光束能量点阵密度 $E_z(x', y')$ 分布图。采用 $\sin x/x$ 等内插方法进行拟合, 给出激光峰值功率密度分布图 $\Phi_z(x, y)$ 和能量密度 $E_z(x, y)$ 分布图。通过对这些分布图的计算可求出矩心 $P(x_0, y_0)$, 束径 d_σ 等。通过对连续的 i 个

激光脉冲的矩心 $P_i(x_0, y_0)$ 进行统计计算, 可获得 i 个激光脉冲的光束抖动性和漂移量。

图 3 描述的激光束散角测试原理图是采用标准光阑对激光束进行限束, 使 86% 左右的激光透过, 光纤束的接收端面在激光的焦点前进行采样, 避免了被空气击穿, 通过光路计算的方法, 获得激光束在透镜焦平面上的光斑尺寸, 根据焦距法获得激光的束散角, 该方法避免了整体衰减对激光束引入的局部畸变和不加衰减时在焦平面上采样通常所遇到的空气击穿问题, 并且测试系统容易调整。

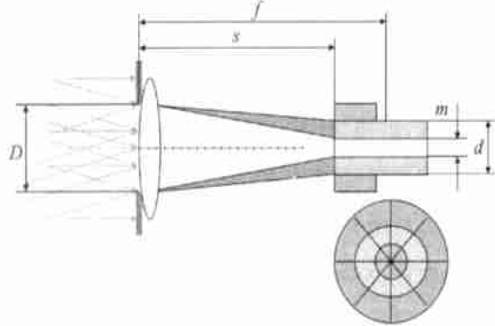


图 3 激光束散角测试原理图

Fig. 3 Scheme for measurement of laser divergence angle

图 4 为激光对抗系统检测示意图, 其特点是采用带状分布光纤, 可实现多目标显示测量、距离选通; 根据带状光纤纤芯之间的距离 d 、准直透镜的焦距 f , 计算激光对抗系统的空间角分辨率、距离分辨率。对激光发射与接收同光轴系统, 采用 L_m 输入、输出共用接口的方法进行测量; 该检测仪易于携带和配置, 且成本低廉。

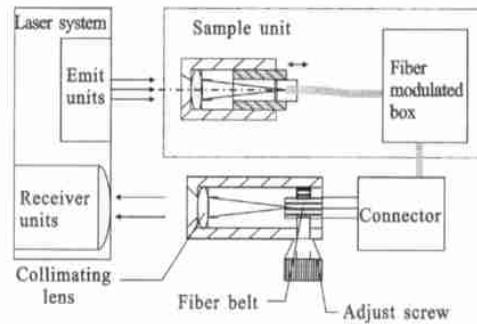


图 4 激光对抗系统检测示意图

Fig. 4 Scheme for measurement of transmitter and receiver in laser system

图 5 描述的激光标准衰减器由等长单模光纤组成,其衰减倍数可在同等激光功率密度下进行标定或根据光纤芯径尺寸进行理论计算获得。对于超强激光的衰减将其作为标准物质,一次报废,或端面切割;根据测试要求在其输出端进行均匀分布规律下的分组或一定规则形式下的分组,提高其衰减倍数,采用多探测器测量,给出其相应参数。

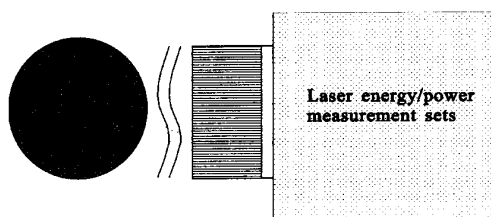


图 5 强激光标准衰减器

Fig. 5 Laser attenuator

图 6 所述高功率半导体激光光场分布测量仪是将光纤束的接收端面改成球面分布,在光纤束中加入不同波长的光栅光纤。

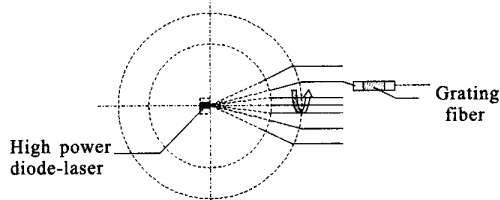


图 6 高功率半导体激光光场分布测量原理图

Fig. 6 High power diode-laser spatial profile measurement

(上接第 124 页)

直径约 8 m。当这种研究技术成熟后,用于攻击地球目标的空间激光武器将成为可能。

(3) 有庞大的经费支持:空间激光武器从实验室研制、发射、空间运行到实施攻击,每一环节都需要大量的经费支持,这就对军费开支、国防经费投入等提出了更高的要求。

参考文献:

[1] Abrams Jim. House Backs Missile Defense System[J]. Boston

5 结 论

在过去的 5 年里,完成了对该测量仪的设计工作,并进行了大量的实验研究,该系统能够满足目前激光系统科研与生产常用的纳秒级激光参数的测量需求,该系统的应用推广将有利于激光系统科研与生产过程的质量控制。

参考文献:

- [1] Schulz K R, Schrebarth S, Fabry U. Hellas :obstacle warning system for helicopters[A]. Proceedings of SPIE[C]. 2002 ,4723. 1-8.
- [2] Asher Gelbart , Brian C Redman , Robert S Light , et al. Flash lidar based on multiple-stil streak tube imaging lidar[A]. Proceedings of SPIE[C]. 2002 ,4723. 9-18.
- [3] Barry L Stann ,Ahmed About-Auf , Keith Aliberti , et al. Research progress on a focal plane array lidar system using a laser diode transmitter and FM/cw radar principles[A]. Proceedings of SPIE [C]. 2002 ,4723. 19-30.
- [4] Wirtz M , Ditzler R. Simplified image correlation method using off-the-shelf signal processors to extract edge information using only spatial data[P]. United States Patent : 6259803 ,2001-07-10.
- [5] Globe , 1999 ,24(5) :64-65.
- [2] American Physical Society. Science and technology of directed energy weapons - acquisition , tracking , and discrimination[J]. Review of Modern Physics , 1987 , 59(3) :145-168.
- [3] Bender Bryan. US blueprint for future weapons systems is outlined [J]. Jane's Defense Weekly , 1999 ,24(4) :136-140.
- [4] Bob Preston , Dana Johnson. Space weapons for earth wars[J]. Technology Wednesday ,2002 ,120(3) :165-170.
- [5] 侯国江 ,沈怀荣. 未来空间武器新概念研究[A]. 第二届全国军事航天学术研讨会论文集[C]. 2002. 513-516.