

doi:10.3788/gzxb20134208.0983

新型激光引信光学发射机的参量测试研究

谢静^{1,2}, 陈海清¹, 谭佐军², 后德家², 王贤锋²

(1 华中科技大学 光学与电子信息学院, 武汉 430070)

(2 华中农业大学 理学院, 武汉 430070)

摘 要: 针对发射 $90^\circ \times 2^\circ$ 线状红外激光光束的新型激光引信光学发射机的特点, 对发射机光学组件测试技术进行了研究, 研制了新型激光引信光学发射机测试系统. 提出了一种基于双线阵 CCD 扫描成像的测量方法, 采取双线阵 CCD 放在 Z_1 和 Z_2 两个相隔角度 Φ 的位置同时扫描近场和远场光束分布, 通过光束分析软件实现了各视野方向相对强度分布、发散角、俯仰角以及光功率等参量的全自动测试. 测试结果表明: 各参量测量值在合格范围内, 测量准确度为 1', 重复准确度 $\leq 5\%$. 实际运行表明该系统重复性好、可靠性高、自动化程度高.

关键词: 激光引信; 光学发射机; 双线阵 CCD; 激光参量

中图分类号: TJ430.6; TN249

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2013)08-0983-5

Parameter Measurement Research of Optical Transmitter in New Laser Fuze

XIE Jing^{1,2}, CHEN Hai-Qing¹, TAN Zuo-Jun², HOU De-Jia², WANG Xian-Feng²

(1 *Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430070, China*)

(2 *College of Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*)

Abstract: According to the characteristics of new laser fuze optical transmitter which emits $90^\circ \times 2^\circ$ linear infrared laser beam, measurement technique on transmitter optic component is researched. New laser fuze optical transmitter test system is developed, and a method based on two linear array CCD scanning imaging is proposed. The two-linear array CCDs are placed at Z_1 , Z_2 positions and are separated by an angle Φ . Near field and far field light beam distribution are acquired to realize the automatic measurement of parameters such as the view direction relative intensity distribution, beam divergence angle, pitch angle and optical power by beam analysis software. Experimental measurement results indicate that the parameter measurement values are in the acceptable range with measurement accuracy of 1', repeatability precision of $\leq 5\%$. The system performance is well in repetition, dependability and automatization.

Key words: Laser fuze; Optical transmitter; Two-linear array CCD; Laser parameter

0 引言

激光引信是随着现代作战环境的需求和激光技术的迅猛发展而出现的一种近炸引信, 在抗电子干扰和实现方位识别方面显示出比红外引信或无线电引信的优越性^[1]. 据统计, 目前有 80%~90% 的空空导弹配备了激光近爆引信, 而国外反坦克导弹引信也基本全是激光引信, 激光引信受到了极大重视

并被广泛应用^[2]. 其中, 由于作战环境复杂、战术使用要求高、以及导弹自身条件等因素的限制, 光学发射机单元是影响激光引信总体性能的关键, 具有很高的技术指标^[3]. 因此激光引信光学发射机的各项性能指标直接关系到引信乃至整个武器系统的质量, 对其各项参量的测试及整个光学组件系统的装调显得极为重要.

目前, 国内外均致力于研制各种激光光学发射

第一作者: 谢静(1981-), 女, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为光电检测、自适应光学与引信光学. Email: xiejing0000@sina.com
导 师: 陈海清(1947-), 男, 教授, 博导, 主要研究方向为光电探测和微机电系统技术. Email: hqchen@mail.hust.edu.cn
通讯作者: 谭佐军(1977-), 男, 副教授, 硕导, 主要研究方向为光电检测、自适应光学与引信光学. Email: tzj@mail.hzau.edu.cn
收稿日期: 2013-03-21; 录用日期: 2013-05-10

机性能指标自动化测量系统^[4-6],这些激光光学发射机的光学系统是通过单透镜系统将截面较小且发散角很小的光束,完成准直和像差的校正,因此这些自动化测量系统只适用于垂直和水平方向发散角较小的椭圆光斑的激光光束.本文针对发射 $90^{\circ} \times 2^{\circ}$ 线状红外激光光束的新型激光光学发射机的特点,对发射机光学组件测试技术进行了研究,研制了新型激光引信光学发射机测试系统,提出了一种基于双线阵 CCD 扫描成像的测量方法,采取双线阵 CCD 放在 z_1 和 z_2 两个相隔角度 ϕ 的位置同时扫描近场和远场光束分布^[7],实现了激光光学发射机各项参数的全自动测试.

1 系统的构成

激光光学发射机测试系统组成如图 1. 主要由激光器驱动单元、机械运动子系统、图像采集子系统、功率测量子系统及工控机组成. 激光器驱动单元为光学发射机中的脉冲半导体激光器提供一个重复频率高、前沿快、脉宽窄、脉冲峰值电流大且波形平滑的脉冲信号. 机械运动子系统由角位台、电控旋转台、平移台和运动控制器构成,用于调节被测光学发射机和光功率探头的位置. 图像采集子系统由线阵 CCD、面阵 CCD 和图像采集卡构成. 功率测量子系统由光功率探头和光功率计构成. 工控机作为整个测试系统的控制中枢,通过各种不同的接口形式,如串口、GPIB 卡、USB 口、PCI 卡,与各测试仪器进行通信和数据交换. 进行测量时,由机械运动子系统进

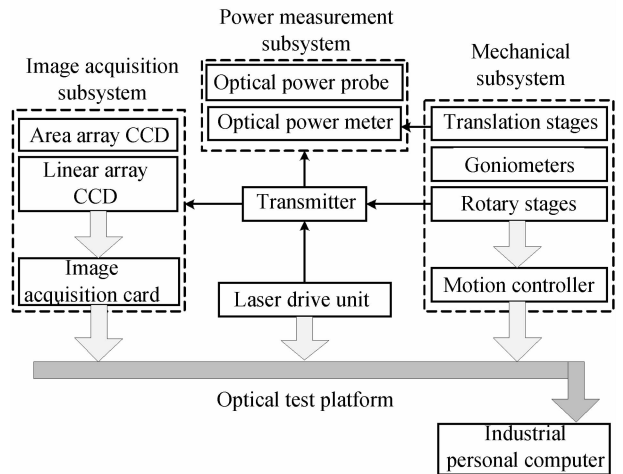


图 1 系统组成框图

Fig. 1 Composition block diagram of system

行精确定位扫描,图像采集子系统获取激光光束数据,功率测量子系统测量激光脉冲峰值功率,光束分析软件进行数据分析和处理得到激光光束参量.

系统测试的激光光学发射机是通过非球面透镜和柱组镜(一组柱面镜组成的透镜)的组合将脉冲半导体激光器的红外光束整形为线状光束($90^{\circ} \times 2^{\circ}$),在水平方向上的视野角度大于 90° ,面阵 CCD 多平面成像法^[8-10]无法对整个光束进行成像,无法测量各视野方向的参量,因此采用线阵 CCD 扫描成像的方法进行测试. 为了提高测量速度,采取双线阵 CCD 放在 z_1 和 z_2 两个位置同时扫描近场和远场分布. 为了保证同时测量,两个线阵 CCD 需要相隔一定角度 ϕ .

整个测试系统的原理如图 2,为了提高测量速

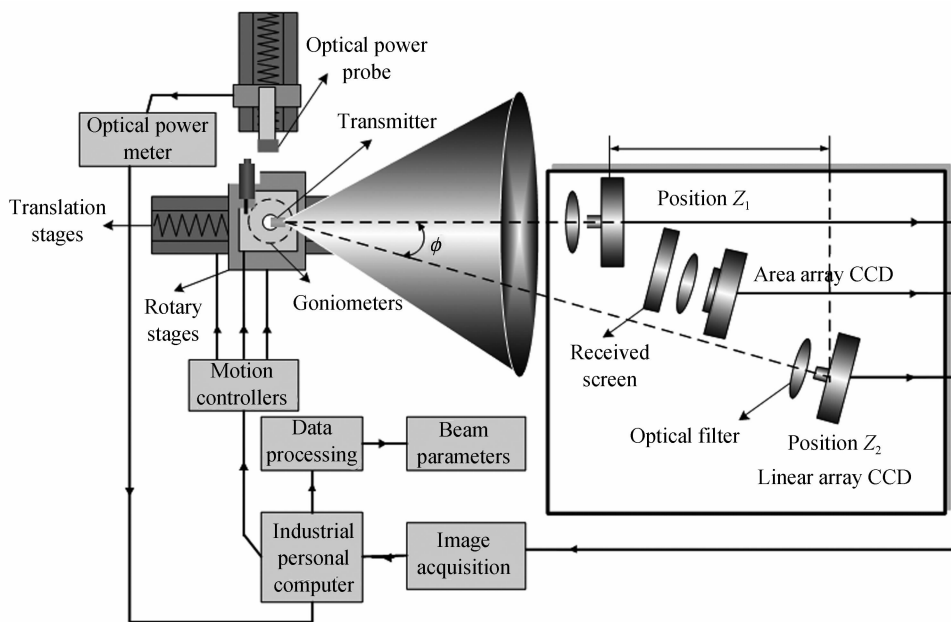


图 2 系统原理

Fig. 2 Schematic diagram of system

度,扫描时间尽可能短,则

$$\frac{2\beta + \phi}{\nu} < t \quad (1)$$

式中 β 为光束视野角, ν 为电控旋转台的转动速度, t 为扫描时间. 同时为了准确获取光强数据, CCD 之间不能遮挡, 则

$$\phi > \arctan \frac{l_{\text{linear}} + l_{\text{area}}}{2z_1} \quad (2)$$

式中 l_{linear} 为线阵 CCD 的长度, l_{area} 为面阵 CCD 的长度. 结合式(1)和式(2)确定夹角 $\phi = 30^\circ$. 进行测量时, 通过面阵 CCD 观察发射机激光光束在接收屏上的光斑图像. 开始扫描时, 工控机通过运动控制器控制电控旋转台带动光学发射机旋转一周, 发出的红外光束依次扫过两个线阵 CCD, 通过图像采集卡采集光强数据, 由软件进行数据处理和分析得到激光光束参量, 包括各视野方向相对强度分布、发散角、俯仰角以及光功率等. 扫描结束后, 工控机再控制电控旋转台和平移台将光功率探头紧贴光学发射机测量光功率.

2 系统测试方法

激光参量是用来表征激光辐射在时域、空域、频域的积分、微分、分布等特性^[11]. 激光引信各视野方向相对强度分布、发散角、俯仰角以及光功率等基本参量直接影响激光引信的性能, 该测试系统用来测量光学发射机的上述激光特性参量.

2.1 各视野方向相对强度分布的测量

各视野方向相对强度分布为被测光学发射机激光信号的能量分布曲线, 用于全视野辐射能量均匀性测试, 要求相对量值大于 50%.

由于线阵 CCD 中感光光敏元光电转换的非线性误差^[12-13], 进行光能量测试时需要数字图像数据进行非线性校正. 因此采用标定和补偿两个过程来完成 CCD 的非线性校正. 标定即正确测试 CCD 的实际响应曲线, 在同样的光照度下用曲线拟合后的标准值代替实测值, 即完成补偿.

曲线拟合结果见图 3, 曲线拟合方程为

$$V_{\text{CCD}} = 42.518I_E + 87.009 \quad (3)$$

式中 I_E 为光照度, V_{CCD} 为 CCD 所测灰度值. 测量时先通过面阵 CCD 观察激光红外光束在接收屏上的像点进行被测光学发射机的粗调, 直到像点清晰. 然后采用自动寻找光斑边界和最优采样间隔的算法控制电控旋转台进行扫描, 在同样的光照度下用曲线拟合后的标准值代替实测值完成补偿校正, 即可得到能量(光束强度)随角度变化的分布曲线.

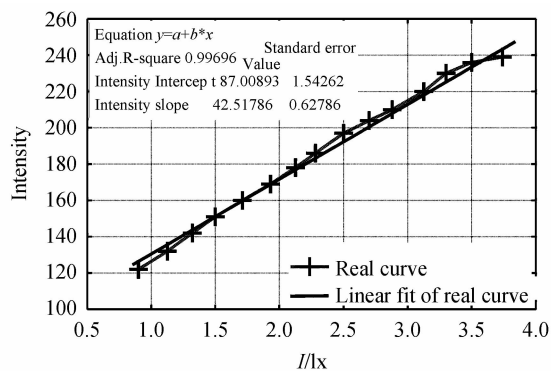


图 3 光照度 I_E 和灰度值 V_{CCD} 的曲线拟合

Fig. 3 Curve fitting of illumination I_E and gray value V_{CCD}

图 4 为各视野方向扫描光斑图(a)和相对强度分布曲线(b). 整个扫描范围为 110° , 每隔 1° 测量一次, 得到各视野方向相对强度分布曲线. 从图 4 可见能量最大值与最小值的相对量比值为 60%, 说明激光信号的辐射能量均匀性较好.

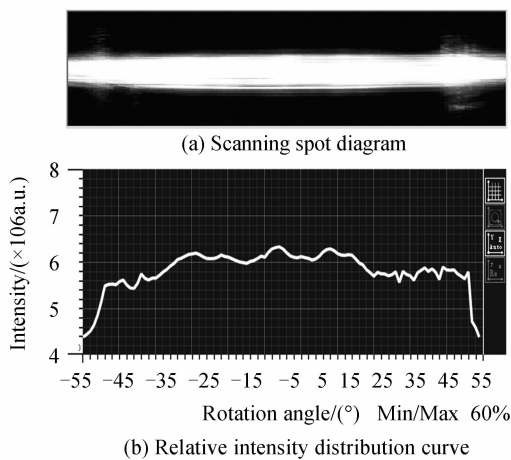


图 4 各视野方向相对强度分布测量结果

Fig. 4 Measurement results of the view direction relative intensity distribution

2.2 各视野方向发散角的测量

各视野方向发散角是检测光学发射机激光光束质量的重要参量之一, 用于评价光学发射机的远距离传输特性, 要求测量准确度为 $1'$, 测量范围为 $\pm 30'$, 重复准确度在 $\pm 5\%$ 以内. 由于无法对整个线状红外光束成像, 同时为了提高测量速度和准确获取光强数据, 采用双线阵 CCD 放在 z_1 和 z_2 两个相隔角度 Φ 的位置同时扫描近场和远场光束分布的方法. 在远场情况下, 束宽符合直线方程^[14], 采用两点拟合的方法, 如图 5.

在远场位置 z_1 和 z_2 同时用线阵 CCD 获取两个位置的纵向光强分布曲线, 并进一步通过噪声滤除、边缘检测、灰度修正等处理还原真实光强分布, 取光强的 $1/e^2$ 作为有无光束的临界值, 得到束宽分别为 d_1 和 d_2 , 利用几何关系可得

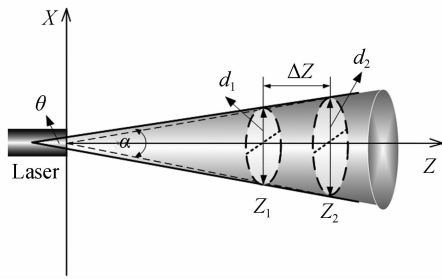


图5 发散角测量原理

Fig. 5 Schematic diagram of measuring beam divergence angle

$$\theta \approx \alpha = 2 \arctan \frac{d_2 - d_1}{2(z_2 - z_1)} \approx \frac{d_2 - d_1}{z_2 - z_1} \quad (4)$$

控制电控旋转台带动光学发射机组件旋转扫描,发出的红外光束依次扫过两个线阵 CCD,通过光束分析软件可获得各视野方向发散角. 整个扫描范围为 110° , 每隔 1° 测量一次, 得到各视野方向发散角单次测量曲线, 如图 6(a) 所示. 平均值为 $0.180'$, 最大最小值均在合格范围内. 每测量一次曲线用时近 1 min, 每隔 5 min 重复测量, 连续测量 50 次, 得到多次测量的平均值曲线, 如图 6(b) 所示. 合格率 100%, 重复准确度为 2.36%, 说明光学发射机激光光束准直度较好.

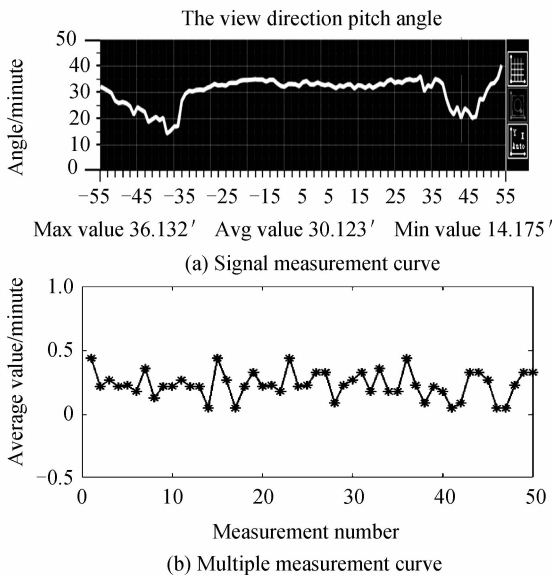


图6 各视野方向发散角测量结果

Fig. 6 Measurement results of the view direction beam divergence angle

2.3 各视野方向俯仰角的测量

各视野方向俯仰角表示光束与组件基准面倾角, 用于检验光学发射机激光光束的水平度, 可以用光束中心轴线与水平轴线的夹角来表示俯仰角 ϕ , 如图 7. 要求测量准确度为 $1'$, 差值范围在 $\pm 30'$.

根据几何关系可得

$$\phi = \arctan \left(\frac{h_2 - h_1}{\Delta Z} \right) \approx \frac{h_2 - h_1}{\Delta Z} \quad (5)$$

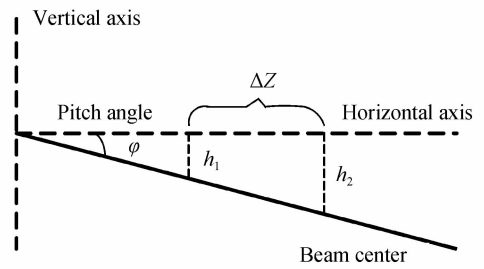


图7 俯仰角测量原理图

Fig. 7 Schematic diagram of pitch angle

式(5)中 h_1 和 h_2 为光束中心位置, 可用光束强度的重心表示^[15]. 假设以每个像素点为基本单位, 光强为 I_i , 像素大小为 Δp , 则光束中心位置可表示为

$$h = \frac{\sum_i I_i \Delta p x_i}{\sum_i I_i} \quad (6)$$

控制电控旋转台带动光学发射机组件旋转扫描, 发出的红外光束依次扫过两个线阵 CCD, 通过测量位置 z_1 和 z_2 的纵向光强分布曲线可获得各视野方向俯仰角. 整个扫描范围为 110° , 每隔 1° 测量一次, 得到各视野方向俯仰角测量曲线, 如图 8. 平均值为 $30.123'$, 差值为 $21.957'$, 说明光学发射机激光光束水平度较好.

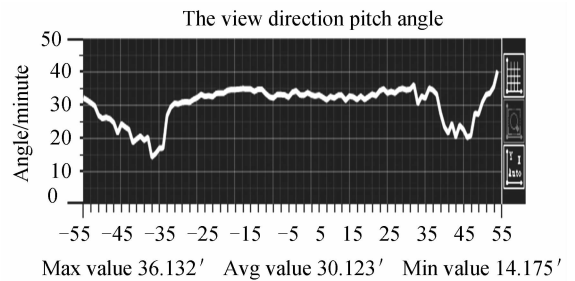


图8 各视野方向俯仰角测量曲线

Fig. 8 The view direction Pitch angle measurement curve

2.4 光功率的测量

光学发射机的光功率表示脉冲半导体激光器发出的红外激光光束透过光学系统的峰值功率, 即发射的功率时域函数的最大值, 用于提高发射机的装定距离, 要求测量值 ≥ 50 W, 重复准确度在 $\pm 5\%$ 以内. 由于被测光学发射机的激光信号不再是规则的矩形脉冲信号, 因此采用波形积分法^[16]. 在线性时不变系统中, 测得脉冲时域波形如图 9.

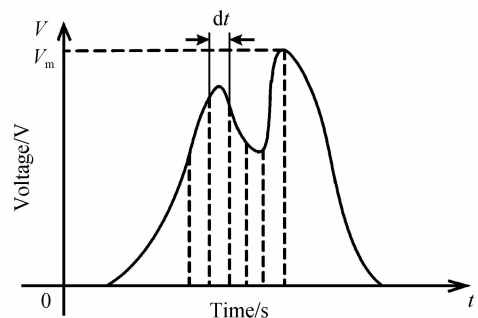


图9 波形积分法原理

Fig. 9 Schematic diagram of waveform integral method

探测器的光电响应电压 $V(t)$ 正比于激光输出瞬时功率 $P(t)$, 即

$$V(t) = \alpha \cdot P(t) \quad (7)$$

同理峰值电压 V_m 为

$$V_m = \alpha P_p \quad (8)$$

式中 α 为比例系数, P_p 为峰值功率, 对式(7)两边积分, 并联立式(8)得

$$P_p = V_m \frac{Q}{\int V(t) dt} \quad (9)$$

式(9)中 $Q = \int P(t) dt$ 为脉冲激光能量。

根据上述原理, 将光功率探头的中心位置紧贴光学发射机的发光窗口, 测量激光脉冲平均功率值, 同时利用泰克示波器测得脉冲激光的时域波形, 获取其峰值电压和波形积分面积, 利用式(9)计算脉冲峰值功率。

所有数据均在室温下测得, 每隔 5 min 重复测量, 连续测量 50 次, 得到光功率多次测量的平均值曲线, 如图 10 所示。合格率 100%, 重复准确度为 1.37%, 说明光学发射机光功率满足引信指标要求。

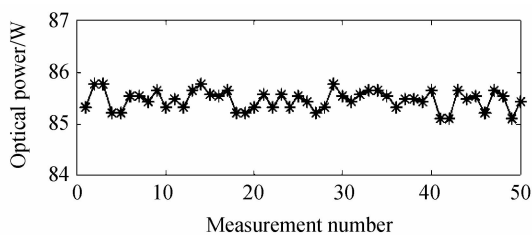


图 10 光功率多次测量曲线

Fig. 10 Optical power multiple measurement curve

3 结论

针对发射 $90^\circ \times 2^\circ$ 线状红外激光光束的新型激光光学发射机的特点, 通过对发射机光学组件测试技术的研究, 提出了一种基于双线阵 CCD 扫描成像的测量方法, 研制了一套集光、机、电、算为一体的发射机光学组件性能指标的测试系统, 实现了各视野方向相对强度分布、发散角、俯仰角以及光功率等参量的全自动测试。该系统还可根据测试结果指导光学发射机组件的装调。测试结果表明, 各参量测量值在合格范围内, 测量准确度 1', 重复准确度 $\leq 5\%$, 均符合指标要求。经实际运行表明, 该系统运行可靠, 测量准确, 操作方便, 满足工程设计要求。

参考文献

- [1] WANG De. Laser fuzes and their development situation[J]. *Journal of Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics*, 2001, **24**(1): 62-66.
王德. 激光引信及其发展现状[J]. *长春光学精密机械学院学报*, 2001, **24**(1): 62-66.
- [2] TAN Zuo-jun, CHENG Hai-qing, KANG Jing-ran, et al. Synthetical measurement technology on optic component in laser fuze[J]. *Laser & Infrared*, 2008, **38**(8): 805-808.
谭佐军, 陈海清, 康竟然, 等. 激光引信光学组件参量综合测试技术[J]. *激光与红外*, 2008, **38**(8): 805-808.
- [3] WANG Lin, JIA Zhi-jun. Research on new technology of laser fuze[J]. *Modern Electronics Technique*, 2010, (7): 23-26.
王玲, 贾志军. 激光引信新技术研究[J]. *现代电子技术*, 2010, (7): 23-26.
- [4] HANG Dai-zheng, CHEN Hai-qing, YANG Guo-yuan, et al. Test research for optics module of transmitter used in laser fuze[J]. *Laser & Infrared*, 2006, **36**(1): 32-34.
黄代政, 陈海清, 杨国元, 等. 激光引信中发射机光学组件的测试研究[J]. *激光与红外*, 2006, **36**(1): 32-34.
- [5] ZHENG Da-yong. Research on emission system of LD laser fuze[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2011.
郑大勇. 半导体激光引信发射系统研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2011.
- [6] WANG Qian-qian, LIU Jia, PENG Zhong, et al. Measurement system for laser divergence angle based on labview[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2012, **39**(11): 1108005.
王茜茜, 刘佳, 彭中, 等. 基于 Labview 的激光束发散角测量系统[J]. *中国激光*, 2012, **39**(11): 1108005.
- [7] CAO Chang-qing, ZENG Xiao-dong, HUO Lei, et al. Far-field intensity distributions of high power semiconductor lasers[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(12): 68-72.
曹长庆, 曾晓东, 霍雷, 等. 大功率半导体激光器远场分布特性[J]. *光子学报*, 2011, **40**(12): 68-72.
- [8] LI Xiao-jing, AN Zhi-yong, XIAO Zuo-jiang, et al. Study on measuring method of the laser divergence angle based on CCD second imagery[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology(Natural Science Edition)*, 2010, **33**(4): 50-61.
李晓晶, 安志勇, 肖作江, 等. 基于 CCD 二次成像法的激光束发散角测量方法研究[J]. *长春理工大学学报(自然科学版)*, 2010, **33**(4): 50-61.
- [9] MA H T, XI F J, WANG X L. Simultaneous displacement and angular drift measurement based on defocus grating[J]. *Applied Optics*, 2010, **49**(23): 4420-4426.
- [10] YU Yong-ai, ZHANG Ling-ling, TANG Qian-jin, et al. Real-time laser beam quality measurement technique[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2007, **34**(2): 255-258.
于永爱, 张玲玲, 唐前进, 等. 激光束质量实时测量技术[J]. *中国激光*, 2007, **34**(2): 255-258.
- [11] LEI H, LI Qiang, ZUO Tie-cuan. Measurement method of high-power laser beam parameters [J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2000, **11**(4): 372-374.
雷旬, 李强, 左铁钊. 大功率激光光束参量的测量方法[J]. *光子·激光*, 2000, **11**(4): 372-374.
- [12] HE Yuan-xing, LI Xin-yang. Analysis of influence of CCD's nonlinear response characterization on measurement results of focal spot and beam quality[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2012, **39**(4): 0408001.
贺元兴, 李新阳. CCD 光电响应非线性特性对激光远场焦斑测量及光束质量计算的影响[J]. *中国激光*, 2012, **39**(4): 0408001.
- [13] WANG Bo, BAI Yong-lin, OUYAN Xian, et al. Spectrum data acquisition system based on linear CCD [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(3): 441-445.
王博, 白永林, 欧阳娴, 等. 基于线阵 CCD 的高速光谱信息采集系统的研究[J]. *光子学报*, 2010, **39**(3): 441-445.
- [14] ISO_11146-1. Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios. 2005.
- [15] YE Zheng-yu, SONG Hai-ping, WANG Long, et al. Measurement of far-field beam quality parameters of high power laser[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2011, **23**(1): 87-91.
叶征宇, 宋海平, 王龙, 等. 强激光远场光束质量参量的测试[J]. *强激光与粒子束*, 2011, **23**(1): 87-91.
- [16] WANG Zheng. The real-time detection of pulsed laser peak power[J]. *Applied Laser*, 2011, **31**(5): 409-413.
王振. 激光脉冲峰值功率实时检测的研究[J]. *应用激光*, 2011, **31**(5): 409-413.