

# 单模光纤激光准直仪的研制

冯其波

梁晋文

(北方交通大学,北京,100044) (清华大学,北京,100084)

**摘要:** 本文在简要分析影响激光准直精度主要因素的基础上,介绍了单模光纤激光准直仪的原理及其软硬件设计,给出了准直仪在不同距离下的漂移实验。实验表明,研制的准直仪在20m范围内1个小时内的相对漂移值小于 $2 \times 10^{-6}$ 。

**关键词:** 单模光纤 激光准直 光束漂移

## Development of a single mode fiber laser collimator

Feng Qibo

Liang Jinwen

(Northern Jiaotong University) (Tsinghua University)

**Abstract:** On the basis of brief analysis of major factors, that affect the accuracy of laser collimator, the laser alignment principle by using a single mode fiber is presented in this paper. The design of software and hardware is discussed. The experimental results on the laser drift of the collimator is given and indicate that the relative laser drift of the collimator within the range of 20 meters in one hour is less than  $2 \times 10^{-6}$ .

**Key words:** single mode fiber laser alignment light beam drift

### 一、引言

激光器放电管自身管体存在的温度梯度、放电管内和放电管外存在不稳定的温度梯度以及激光管材料的不均匀性等因素的影响,造成激光器谐振腔两反射镜相对位置的变化,使得激光器输出的光束发生漂移;大气气流的随机抖动造成激光光束的随机抖动;大气中温度梯度和压力梯度等因素的影响造成激光光线弯曲<sup>[1]</sup>;机械结构上的不稳定性以及一些连接部件之间的蠕变,造成激光的漂移。由于以上诸多因素的影响,使得激光准直仪的准直精度难以提高。因此要减少激光准直仪出射光线的漂移以提高其稳定性,必须同时考虑到这些因素的影响。本文采用以下手段来提高激光准直仪的精度:(1)采用单模光纤准直技术减少激光器本身的漂移,并提高光纤的耦合效率以加大激光准直仪输出光束的光强,减少杂散光对激光准直的影响,采用高质量的显微物镜作为准直物镜,提高光斑在远处的质量,减少象差对激光准直的影响;(2)对机械部件中调整环节加入锁紧装置,提高其机械稳定性;(3)采用计算机采样和平均化处理手段,减少大气随机扰动对激光准直的影响,还可对激光的漂移进行补偿,进一步提高其准直

精度。

## 二、单模光纤激光准直原理

如图1所示为单模光纤激光准直仪原理图。激光器输出的光束经光纤耦合器后进入单模光纤的一端,从另一端出射经10倍显微镜后准直成 $\varnothing 6\text{mm}$ 的平行光束。最后输出的激光光束的功率约为1mW。实际上,激光器发出的光经过单模光纤后,其单模光纤的出射端点相当于二次光源。激光光束的稳定性取决于光纤出射端点在空间的稳定性,激光器与光纤入射端点相对位置的变化只影响它们之间的耦合效率,因而可大大提高激光光束的稳定性。

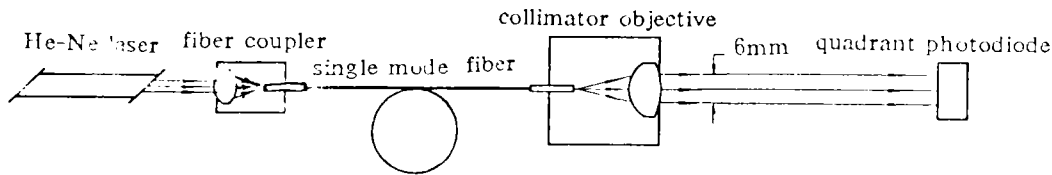


Fig.1 Schematic diagram of a single mode fiber laser collimator

实验表明:一般激光器刚开机时的漂移角大于 $15'$ ,要经过大约45min后激光器能达到初步的热平衡,此时激光器的漂移角大于 $10''$ 。但使用单模光纤激光准直技术以后,激光器一开机就可使用,其漂移角小于 $1''$ 。因此单模光纤的应用有效地减少了激光自身的漂移。不仅如此,光纤还将激光器这一热源与机械调整部件隔离起来,进一步减少热源造成的机械位移,提高机械稳定性。

## 三、单模光纤激光准直仪电路及软件设计

### 1. 信号处理电路设计

测量信号处理原理框图如图2所示<sup>[2]</sup>。四象限光电管得到的光电信号经前置放大、差分处理、低通滤波和A/D转换后,进入计算机进行数据处理。为减少电路的零漂和温漂,可采用高精度低漂移运算放大器,如:OP07, 7605等。

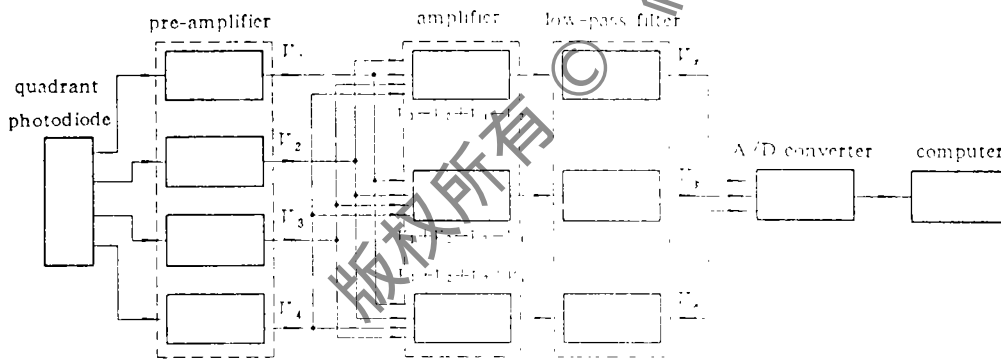


Fig.2 Block diagram of signal processing circuit

### 2. 信号处理软件设计

指针式读数的激光准直仪测量不直观,且不能消除大气随机扰动造成的激光抖动。采用计算机采样取平均等手段可克服这些缺点,提高其准直精度5~10倍。图3为测量软件流程图。

图4为10m处用记录仪和计算机处理后得到的一组实验对比曲线。

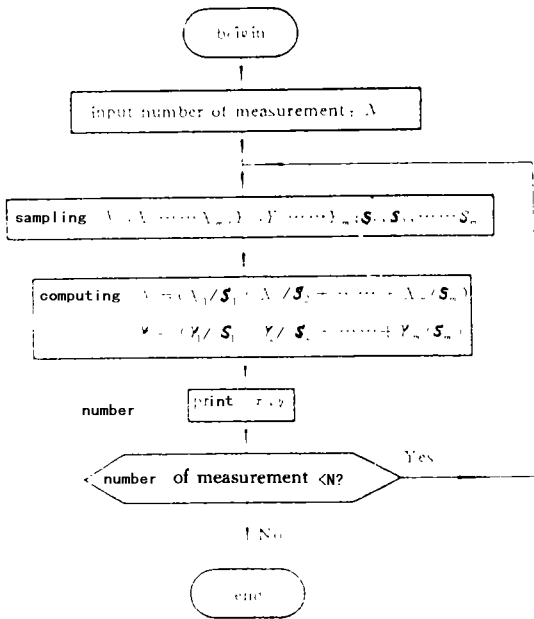


Fig. 3 Flow chart of measurement software

对比图4中a,b两组实验曲线知,用记录仪得到峰峰值为用计算机处理后得到的峰峰值的6.4倍。因此采用计算机采样取平均等数据处理手段,可进一步提高激光准直仪的准直精度。

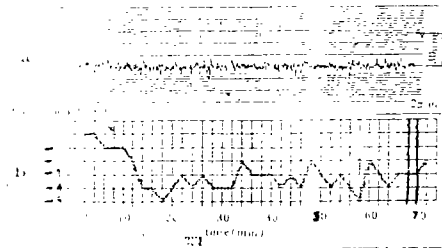


Fig. 4 a— The experiment curve obtained by X-Y recorder (peak-to-peak value 32μm)  
b— The experiment curve obtained by computer (peak-to-peak value 5μm)

### 四、单模光纤激光准直仪精度

对研制的单模光纤激光准直仪进行实验。在准直距离为5m, 10m以及20m时,其准直仪在1h内的漂移值(3σ)如表1所示。

Table 1 Laser drift of the collimator within one hour

distance $L_i$	5m	10m	20m
group number	$3\sigma; \mu\text{m}$	$3\sigma; \mu\text{m}$	$3\sigma; \mu\text{m}$
1	5.4	8.0	40.1
2	7.5	8.4	24.4
3	11.8	22.8	9.3
4	10.5	11.3	18.6
5	8.4	23.1	24.2
6	2.9	16.1	22.0

从表1可以看出:单模光纤的应用有效地抑制了激光器本身的漂移,使其准直精度在20m范围内1h的相对漂移值(3σ)小于  $2.5 \times 10^{-6}$ 。

为进一步提高激光准直仪的准确度,可对激光光束漂移进行补偿<sup>[3]</sup>。如图5所示,将补偿用光电接受器测得的信号对测量结果进行修正,得到的实验结果如表2所示。

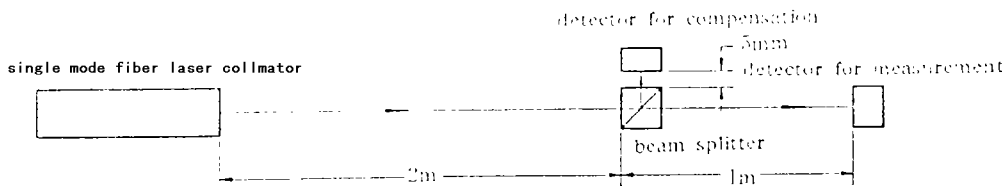


Fig. 5 Schematic diagram of compensation experiment on laser drift

Table 2 The results of compensation experiment

time (min)	compensation value ( $\mu\text{m}$ )	measurement value ( $\mu\text{m}$ )	results ( $\mu\text{m}$ )	time (min)	compensation value ( $\mu\text{m}$ )	measurement value ( $\mu\text{m}$ )	results ( $\mu\text{m}$ )
1	-1.6	1.7	0.1	12	-3.2	5.3	2.1
2	-2.6	2.1	-0.5	13	-4.3	5.8	1.5
3	-2.8	2.4	-0.4	14	-3.9	5.2	1.3
4	-3.7	2.9	-0.8	15	-4.6	6.2	1.6
5	-4.1	3.1	-1.0	16	-4.2	6.4	2.2
6	-3.6	3.2	-0.4	17	-5.0	6.8	1.8
7	-4.0	3.7	-0.3	18	-4.5	6.7	2.2
8	-3.8	3.8	0.0	19	-4.6	7.0	2.3
9	-3.8	4.1	0.3	20	-5.1	7.3	2.2
10	-4.1	4.7	0.6				
11	-4.3	5.5	1.2				
				$3\sigma$	2.4	5.2	3.4

实验结果表明,由于采用补偿措施,使得激光准直仪在20min内的漂移值由 $5.2\mu\text{m}$ 减少到 $3.4\mu\text{m}$ ,进一步提高了准直仪的准直精度。

## 五、结 论

采用单模光纤可有效地抑制激光本身的漂移,使得激光器点亮后可立即进行测量;采用计算机采样取平均化处理可有效地减少大气随机扰动对激光准直的影响,对激光的漂移进行补偿还可以进一步提高其准直精度。

### 参 考 文 献

- 1 Liang J, Zheng L, Yin Ch. The correction of beam bending in large scale straightness measurement. In: Proceedings of 2nd IMEKO TC. 14 ISMQC, Wuhan, 1989;59
- 2 马树元,梁晋文,章恩耀. 计量学报,1993;14(3):173
- 3 刘绍鹏,杨继芳. 激光技术,1993;17(4):201

作者简介:冯其波,男,1962年出生。工学博士。主要从事精密测量技术,大尺寸测量技术等方面的工作。  
梁晋文,男,1921年出生。教授,博士生导师。长期从事精密测量技术工作。

收稿日期:1994-01-26