

具有光束漂移误差补偿的高精度激光准直技术*

刘绍鹏 杨继芳

(中国航空精密机械研究所,北京,100076)

摘要:本文介绍一种提高激光准直精度的新技术。这种技术的基础是建立在激光束的漂移在一定的条件下可以近似的用三角函数去描述它。求出它在有效工作区内各相关点的漂移量 $f(l)$ 。通过现已普及使用的计算机技术找出测量点 l 上的漂移量 $f(l)$,实现测量点的误差补偿,达到提高测量及找正精度的目的。这项技术在工程应用中具有较多的灵活性和方便性。

High accuracy laser-alignment technique with compensation of laser beam drift

Liu Shaopeng, Yang Jifang

(China Precision Engineering Institute for Aircraft Industry)

Abstract: The purpose of the paper is to introduce a new technique of improving the laser alignment accuracy which is built on the basis that the laser beam drift can be described by trigonometrical functions under the certain conditions. The drift volume $f(l)$, of each related point in a effective work area can be calculated. Finding the function $f(l)$, of each measured point in the length l , we can compensated the error of the measured point with the computer technique. So the measure and alignment accuracy can be improved. This technique is more flexible and convenient.

一、引言

激光准直技术日趋完善,用途越来越广。它的应用只限于精度不高的除激光技术外别无他法能够解决的民用工程中。近几年来国内外的许多专家学者做了许多研究工作去提高光束稳定性,收到了好的效果,给这项技术的应用提高了精度也增加了使用的方便性,使这项技术发展提高到高科技领域,尤其是在特种精密工程测量中对大尺寸的直线性、平面性、同轴度以及垂直度等几何量的测量与方位找正成为既能达到高精度又能提高使用方便程度。

激光准直技术在工程上应用的初期,人们就认识到光束随时间的漂移限制了此技术的发展,无法实现高精度应用。因此许多科技工作者就开始从多方面去研究,探索解决光束漂移的技术问题。期间的工作内容有如下几个方面:1. 减小激光器的几何尺寸,以降低它的发热量从而减小其变形;2. 加强机械结构的牢固性,选用高强度低膨胀系数的材料;3. 采用热隔离技术,削弱各结构间的热效应;4. 反馈补偿包括本文介绍的光束漂移误差补偿。上述的各项技术措施均在一定程度上有利于光束稳定,达到了提高精度的目的。

二、光束漂移误差补偿的原理

激光束随时间漂移的事实是无疑的,怎么去认识它的漂移过程对研究解决此问题是十分重要的,它受多种因素影响,只用一种简单的解释不能说明漂移的过程,也不利于分析解决问

* 本文是1987年航空科学基金项目。

题。影响光束漂移的主要因素有三个:1.在光的传播途径上因空气介质分布不均匀,引起光的折射而发生偏转;2.激光器的热辐射引起光源本体结构的热变形而产生光的偏转;3.工作环境条件发生变化引起结构应力的重新平衡而产生光学系统的微量变化,以至产生光的偏转。我所早期研制的JZY-1型激光准直仪的光束漂移情况由图1描述,横坐标代表激光束的有效工作区;纵坐标代表光束随时间漂移过程。

图1中线段(ab_0)是仪器预热过程,预热时间为1.5h,此线段反映了仪器的热平衡过程所包含的结构应力平衡,机体变形的综合效应。变化速度快,规律性也差,工程上不作基准线用。线段(b_0c)₀经过预热后仪器与周围环境处于热的动态平衡时建立的基准直线,称之为工作母线,线段(b_1c)₁、(b_2c)₂、(b_3c)₃、(b_4c)₄分别是(b_0c)₀随时间漂移的结果。线段从(b_0c)₀漂到(b_4c)₄共计时间2h。用符号 $f(l)$ 描述母线上各点随时间的漂移,可以写出通用公式:

$$f(l)_{max} \leq [(0.02 \sim 0.03) + l \operatorname{tg}(1'' \sim 1.5'')] \quad (1)$$

(mm/2h)

式中, h 是小时, l 是母线上的点到光源的距离,第一项(0.02~0.03)对应于Y轴上的平移量($b_0 \dots b_4$)₀;第2项 $l \operatorname{tg}(1'' \sim 1.5'')$ 是角漂移在Y轴上的投影。平移量和角漂移量的大小取决于时间和环境条件。对我所的JZY-1型产品在能够关闭好门窗对外部气流场进行屏蔽的厂房里, $f(l)$ 均能满足(1)式数值范围。线段描述的非线性部分是厂房内空气场的影响,一般能在 $0.5'' \sim 1''$ 之间摆动。由此看来要提高激光准直精度必须克服或者尽可能减小光束的平移量、角漂移量及非直线的摆动幅度。如果能够采取适当的技术措施使线段(b_0c)₀...₄成为平滑的直线也能使($b_0 \dots b_4$)₀的平移量减小到可以忽略的程度,那么母线上各点的漂移 $f(l)$ ₀...₄可以用图2的三角形近似求出。即平均值

$$\overline{f(l)}_i = \overline{f(L)}_i \frac{l}{L} \quad (2)$$

式中, l 是测量点E到光源的距离, L 是母线长度(有效工作区内); $\overline{f(L)}_i$ 是母线经时间 t 以后离光源 L 距离上点的漂移量,对应图2中的($C_0 \cdot L \dots LC_1 \cdot L$)段。在时间 t 时刻里($t > t_0$),要对E点位置的准确测量时事先求出 $f(l)$ ₀存入机内,求找方法由(2)式编制的计算机软件实现。确切的说法母线存在的时间是($t_0 + \Delta t$)内,以后 t 时间的线段(b_0c)₀...₄充当着 t_0 的母线作用。在 t 时刻里E点上的测量是以(b_0c)₀...₄为基准的结果。应该减去 $\overline{f(l)}$ ₀才能回到(b_0c)₀...₄的基准线上来。所以要提高准直精度必须先求出 $\overline{f(l)}$ ₀并通过软件参与测量过程中的补偿运算。

三、漂移误差补偿方法

漂移误差补偿方法实质是数学处理方法。光束本身不加限制。在数学处理过程中引入的漂移量 $\overline{f(l)}$ ₀是近似的结果。逼真性取决于光束的漂移量和平移量被抑制的程度。

目前计算机技术已经普及,价格也便宜,为实现用数学方法的误差补偿成为既可能又具有

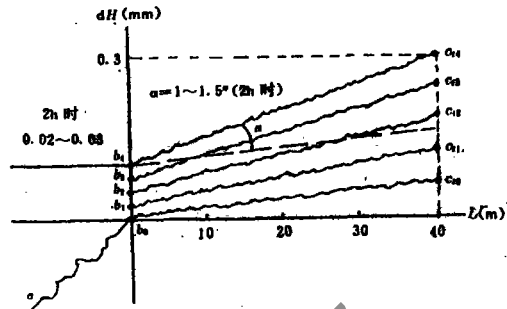


Fig. 1 Hot drift of laser beam

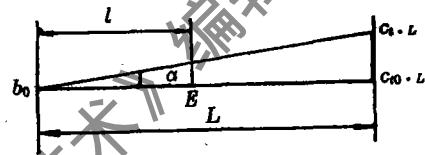


Fig. 2 Compensation principle for laser beam float

工程上实用的三个优点:1. 计算机的响应速度快,通过编制的软件很快得到偏差值 $f(l)$,参加测量过程中的运算;2. 可以根据不同的工作环境编制软件采样取值,得到准确的 $f(l)$;3. 快速而准确的运算结果实时数字输出并可打印记录.计算机运算的准确性很高,而影响它的结果则取决于采集数的准确性.由于激光在空气场的影响下出现光束的摆动带来取值的准确性不高.所以解决空气场的扰动成了一项重要的技术问题.

空气场对激光的影响应从两个方面考虑,一方面在光的传播途径上受介质不均匀分布的影响,另一方面空气流对光源本体的扰动.两者的影响结果,均使光束摆动,妨碍采集数据的准确性.解决的办法有:1. 取平均值;2. 光源本体构造上加设抗扰组件.如图 3.

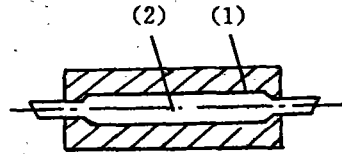


Fig. 3 Air isolation and hot equilibrium set

图 3 的组件起着均热屏蔽作用,它有三个方面的优点:1. 用良导热体制造的器件(1)可以使器件(2)均热以减小它的弯曲变形;2. 器件(1)实现对器件(2)的空气屏蔽,避开空气流对它的直接的冲击,以减小无规则的畸变;3. 组合体置于主体镜管内,改变激光器件(2)对镜管的热辐射影响,以减小镜管变形.其结果能使光束的摆动幅度和平移量均显著的减小,有利于提高计算机采样取值的准确性,是实现计算机补偿的关键.

四、激光准直线精度

激光准直精度与环境气流场的稳定性有直接关系.尽管采用了前面的均热屏蔽组件也还不能完全避开气流场的影响,所以要获得高精度的应用必须有好的环境基础.图 4 照片是我所研制的具有光束漂移误差补偿的高精度激光准直仪.图中 a 为激光源本体位置;b 为安装、调整位置;c 为母线 L 远端点位置.在有条件关好门窗对外界空气进行屏蔽的环境里,建立母线长 $L=30m$ (母线可以长达 50m),在其间 $l=0.2m, 10m, 20m,$ 和 29m 的精度测量.每点采样时间选定 1.5min,每隔 15min 测量一次,每点测量的总时间为 2h.测量前仪器预热 1.5h,每次记录下补偿与不补偿的数字,结果在下表中列出:

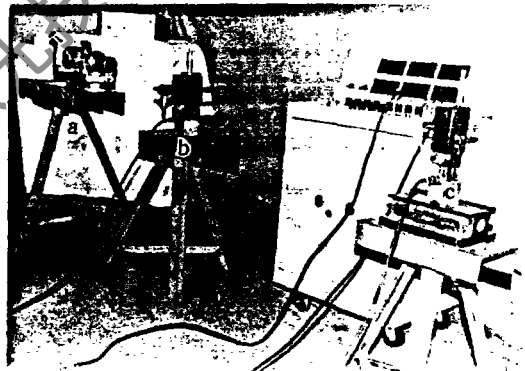


Fig. 4 Measure device

Compare table

l	0.2m	10m	20m	29m
no-compensation	≤ 0.01	-0.024	0.094	0.123
	mm	mm	mm	mm
2h compensation	≤ 0.01	-0.028	-0.032	0.040
	mm	mm	mm	mm

1. 表中的数值均取 2h 以内的极大值 $f(l)_{max}$.

2. 从表中的数值得出结论:(1)利用三角形的近似解对光束漂移误差补偿能够提高准直精度,出口处由(0.02~0.03)mm/2h 提高到(0.01~0.02)mm/2h。有效工作区由 $\leq \pm[(0.02 \sim 0.03) + \text{tg}(1'' \sim 1.5'')] \text{mm}/2\text{h}$ 提高到 $\leq \pm[(0.01 \sim 0.02) + \text{tg}(0.5'' \sim 1'')] \text{mm}/2\text{h}$; (2)光束的非直线性由 $\leq 1''$ 提高到 $\leq 0.5''$; (3)补的效果随着距离的增加而增加。

参加此研究工作的还有刘燕及赵小英两位工程师。

参 考 文 献

- [1] Betz H D. Appl Opt, 1969;8(5),1007
- [2] King R J, Raine K W. Optical Engng, 1981;20(1),39
- [3] 于克明,樊玉珍. 中国激光,1986;13(4),230
- [4] 计量仪器教研室激光准直仪科组. 精密仪器通讯,1973;(1):25
- [5] 王绍民,王效敬,应成仁 *et al.* 激光,1980;7(3):54

*

*

*

作者简介:刘绍鹏,男,1933年出生。工程师。从事工程超声测量研究和工程激光准直应用研究。
杨继芳,女,1949年出生。工程师。从事激光、光学仪器工程研究。

收稿日期 1992年10月23日。 收到修改稿日期:1993年3月18日。

· 产品简讯 ·

可见激光组件

应用激光系统公司在 VLM™ 的同一机壳内设计了保护和故障查找线路。该线路安装 VLM™ 2 和更紧凑的 VLM™ 3 的可见激光组件产品线上,按美国军用标准 883C,方法 3015.2,等级 B(>2000V)试验成功。该线路不仅可使工程技术人员能探测加工过程中的故障,而且能探测实际现场应用的故障类型(短脉冲和持续较长过电压)。VLM 的工作电压为 3~6V DC,只耗电 55mA。

译自 L & O, 1993;12(4):21 张贤义 译 刘建卿 校