

# 大型激光系统光路的自动准直

王梧成 王剑雄 吴恒显 郭若驹 杨镜新 胡士元

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 提出利用伺服控制系统调整大型激光系统的光束的思想, 由此编排的计算机程序能使激光系统光路自动准直, 准直精度达到预期要求。

## Auto-alignment of the optical path of a large laser system

Wang Wucheng, Wang Jianxiong, Wu Hengxian, Guo Ruozhu, Yang Jinxin, Hu Shiyuan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** A principle of optical path adjustment by servo-control mechanism is proposed, and a special computer program has been designed and successful auto-alignment of the system has been achieved.

### 引 言

大型激光系统一般包括振荡器、多个放大器和大量的光电部件, 在运转中光束难免发生漂移。比如固体脉冲激光核聚变系统的光路就有赖于准直控制系统, 使打靶光束沿着指定路径运行, 保证光束的轴漂移和角漂移在可允许的范围内。本文报道我们在这方面的研究成果。

### 准直控制系统

激光系统的光束准直分段进行, 每段以一个空间滤波器为准直标准, 主光路光束射入空间滤波器的角向和轴向情况由一台传感器反映和监测。传感器由对中和定向光学成

像系统及其相应的两个四象限管构成, 它们对系统光束的轴漂移和角漂移分别产生响应。当打靶光束与传感器光学系统的光轴有角偏离时, 传感器上的定向四象限管失去平衡, 产生定向误差信号; 当打靶光束的光轴相对于传感器光学系统的光轴出现平移时, 传感器上的对中四象限管失去平衡, 产生对中误差信号。与四象限管相连接的微机系统根据这些误差信号的正负和大小, 即可算出打靶光束的偏离方向和偏离程度, 由此指令两个伺服调整架的有关步进电机(方位或俯仰), 控制电机的转动方向和转动步数。

准直控制系统的主要部件包括: 两个伺服调整架, 方位和俯仰二维可控; 平面镜, 将部分光束从打靶光束中取出, 提供给传感器监测; 传感器、信号放大器、微机系统。排布

收稿日期: 1984年8月23日。

示意于图 1。

我们以方位偏离原光路的情形为例，作一分析(见图 2)。此时，传感器上的对中和定向四象限管的光斑位置如图 2(b)所示。显然，要使光斑在两个四象限管上重归平衡，只有调整伺服调整架 I 和 II，使光束  $AN_0$  与原光束  $BO_0$  重合。即逆时针驱动调整架 I 的方位电机，使 A 点趋向 B 点，直至与 B 点重合。然后，逆时针驱动调整架 II 的方位电机，使两光束完全重合。可以看到，在此调整过程中，当调整架 I 的方位电机逆时针转动至某角度，使  $CA$  与  $DB$  平行时， $AN_0$  必与

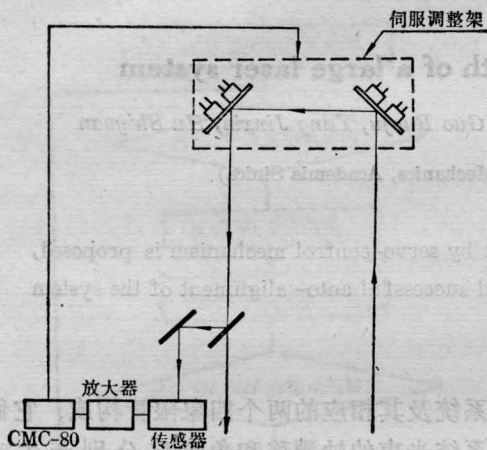


图 1 CMC-80 自动准直控制系统的排布

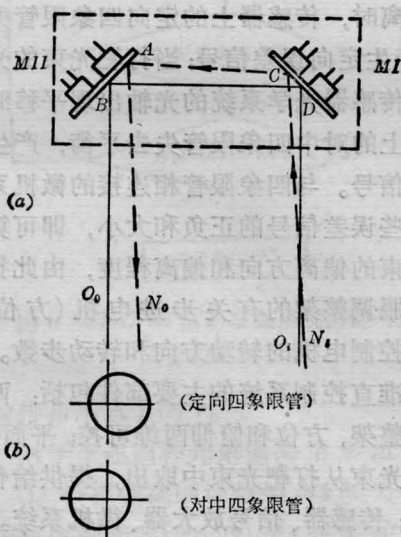


图 2 激光系统光束偏离时的情形

$BO_0$  平行，在传感器上，定向四象限管指示即处平衡(图 3)。与此相反，倘若调整架 I 的方位电机顺时针转动，A 点必将越来越离开 B 点，定向四象限管的指示不是趋向平衡，而是越来越偏离平衡。因此可由定向四象限管的指示，判断调整架 I 的方位电机转动的方向是否正确。调整架 I 单独转动的角度取决于射入调整镜 I 的光束角偏差，即系统光束的角漂移。由熟知的反射定律即知，当角偏差为  $\theta$  时，只要将伺服调整架 I 的方位逆时针转动  $\frac{\theta}{2}$ ，必使  $CA \parallel DB$ ， $AN_0 \parallel BO_0$  (见图 3)。若调整架 I 的方位电机继续以逆时针转动  $\frac{\varphi}{2}$ ，使 A 点与 B 点重合。由图 4 可以看到： $\varphi = \frac{\Delta}{l}$ ，其中  $\Delta$  为光束的轴偏离， $l$  为调整架 I 和 II 镜面的中心间距。易知此时经 II 出射的光束与原光束的角偏差亦为  $\varphi$ 。因此，只要将调整架 II 的方位与调整架 I 同向(逆时针)转动  $\frac{\varphi}{2}$  角，光束即与原光束完全重合。也就是说，当判定了调整架 I 的方位电机转向，并转至定向四象限管的指示达平衡后，则可同向同时驱动调整架 I 和 II 的方

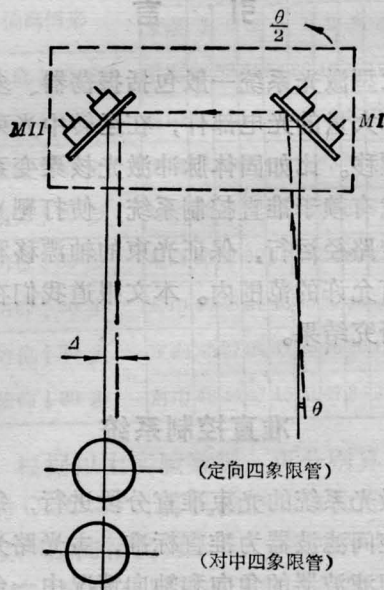


图 3 伺服调整架 I 调整  $\frac{\theta}{2}$  角后的情形

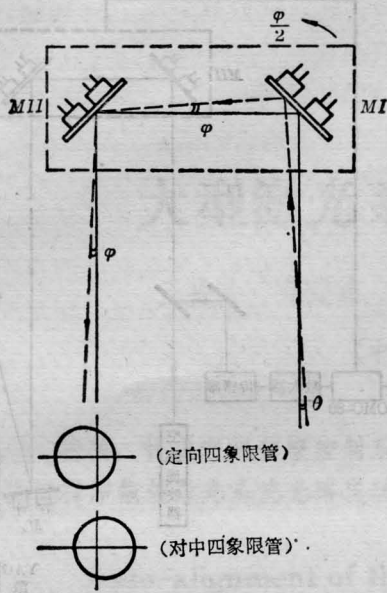


图4 调整架 I 继续调整  $\frac{\varphi}{2}$  角后的情形

位电机,直至两个四象限管指示均达平衡(图5)。可以看到,调整架 I 和 II 同时转动的角度取决于光束的轴漂移。

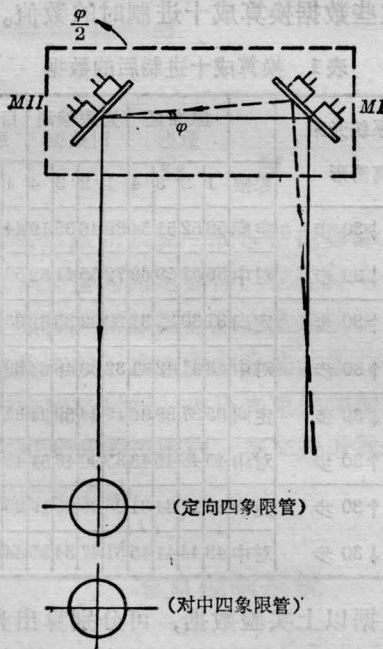


图5 伺服调整架 II 调整  $\frac{\varphi}{2}$  后的情形

综上所述,伺服调整架的调整思想概括如下:

### ① 判定步进电机的正确转向。

驱动伺服调整架 I 的方位电机,转动若干步后,根据传感器上定向四象限管的指示趋向来确定电机转向正确与否:趋向平衡,则转向正确;若否,则应逆转。

② 确定伺服调整架 I 的方位电机单独转动的步数。

调整架 I 的方位电机按照上面判定的正确转向转动,当传感器上的定向四象限管的指示平衡时,电机转动停止。调整架 I 的方位电机单独转动的步数由系统光束的角漂移唯一确定。

### ③ 光束对中的调整

调整架 I 和 II 以上述转向同步转动,直至传感器上的对中和定向四象限管的指示均达平衡。调整架 I 和 II 同向同步转动的步数取决于系统光束的轴漂移。

至此,激光系统光束的方位偏离的准直调整即告完成。

光束的俯仰偏离的准直调整,与方位偏离的准直调整雷同。当光束的方位与俯仰同时偏离时,可各自独立先后调整。

## 计算机程序

实验采用 CMC-80 计算机,按照上述调整思想编制了程序,来控制伺服调整架 I 和 II 的方位和俯仰步进电机。其方位-俯仰复合控制的逻辑流程框图见图 6。

## 实验和结果

激光系统的光路自动准直实验以连续 YAG 激光为光源。激光经平面镜  $M_0$  反射后进入一对伺服调整架 I 和 II;之后,光束由一块部分反射镜取出,交传感器监测;传感器上的对中和定向四象限管的光电信号经两组放大器后,输入给 CMC-80 计算机。整个



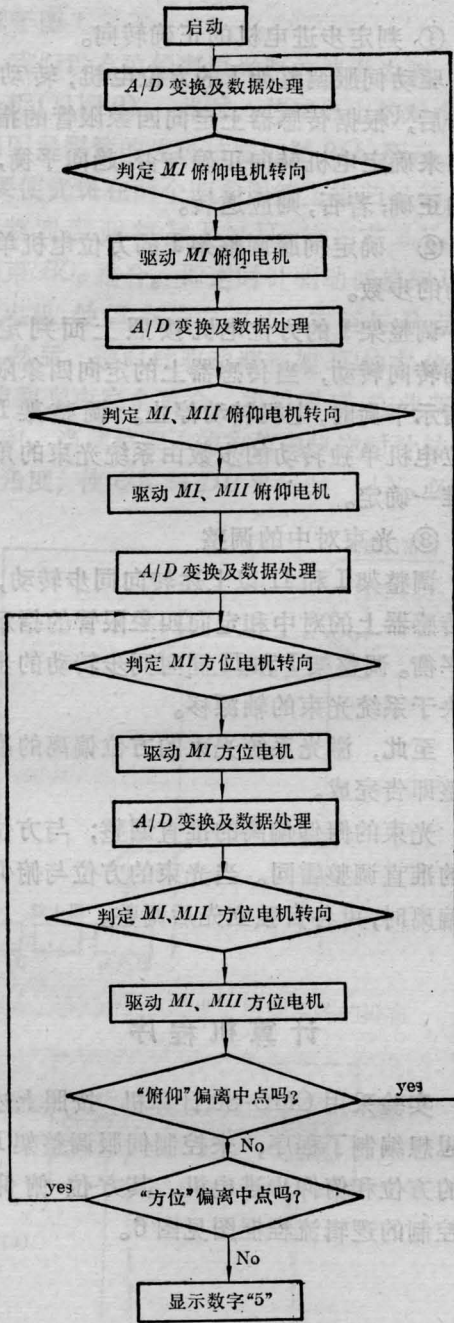


图6 CMC-80自动准直系统俯仰-方位复合控制流程图

实验排布示意图7。

对于下述四种光束偏离情形进行了实验：① 模拟偏离的调整架  $M_0$  的方位和俯仰电机各顺转 30 步；②  $M_0$  的方位和俯仰电机各逆转 30 步；③  $M_0$  的方位电机顺转

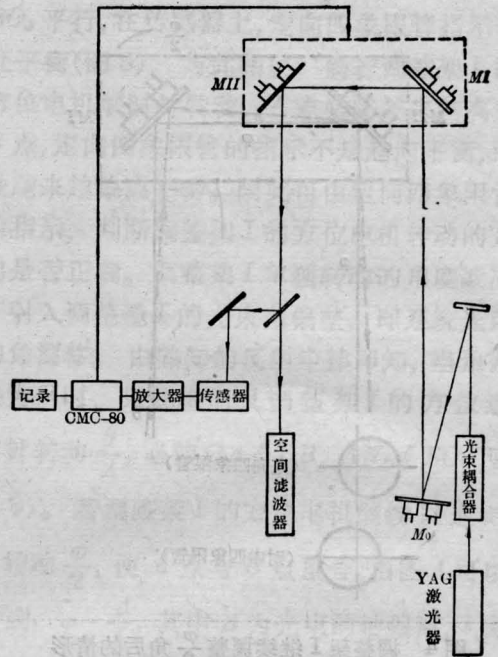


图7 激光系统 CMC-80 自动准直实验排布

30 步，俯仰电机逆转 30 步；④  $M_0$  的方位电机逆转 30 步，俯仰电机顺转 30 步。表 1 则为这些数据换算成十进制时的数值。

表1 换算成十进制后的数据

激光系统光束 偏离情形	象限	原准直数据				光束偏离时数据				自动准直后数据			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
方位 ↓ 30 步	定向	53	52	51	54	30	46	35	19	44	44	46	42
俯仰 ↓ 30 步	对中	56	57	59	62	72	55	41	52	59	58	60	59
方位 ↑ 30 步	定向	31	30	32	31	22	22	35	32	35	36	32	35
俯仰 ↑ 30 步	对中	43	41	42	41	32	33	48	64	39	39	40	40
方位 ↓ 30 步	定向	35	37	39	36	17	24	39	24	31	31	30	31
俯仰 ↑ 30 步	对中	45	48	46	43	35	30	43	51	45	45	46	46
方位 ↑ 30 步	定向	25	27	24	31	25	26	20	19	26	37	26	26
俯仰 ↓ 30 步	对中	43	44	41	45	51	47	34	35	44	42	41	43

根据以上实验数据，可分别算出光束偏离时 CMC-80 计算机控制的自动准直的平均精度：定向精度为 1.8%，对中平均精度为 1.4%，它们分别对应于射入空间滤波器的  
(下转第 542 页)

时图象的平均偏差已在 0.2 以上。

综上所述,我们所得到的主要结果为:

(1) 细丝检验法显示物函数位相的图象象质,与物函数结构参量、纹影仪的各种参量密切相关。一般说,只有对某些种类的周期性位相物( $T/D \leq 1/4$ ),适当地选择仪器参量(如取  $d/d_0 = 0.5$ 、0.7 和 1.5),能在象面较好地重现原物函数位相,且在象面中心区域重现精度很高。对于  $T/D > 1/4$  的周期性位相物直至  $T/D = 1$  的非周期物,象面振幅函数将有较复杂的形式,用细丝方法得到的将是畸变和模糊的位相图象。

(2) 用细丝检验法得到的位相图象的反衬度主要与物函数位相起伏的大小、 $L/D$  及  $d/d_0$  有关。由于零级傅里叶分量的起伏,将使图象出现负反衬。图象正负反衬度转变点的分布主要与物函数位相起伏的大小有关。反衬度转变点近旁就是反衬度小的区域,相应于观测不到位相显示的情况。

(3) 在通常情况下,  $d/d_0$  太小(如在 0.3

以下),图象的反衬度较小。 $d/d_0$  增大,反衬度也增大,曲线较平稳,而且各曲线在反衬度转变点的陡度也增大,这个区域一直延展到  $d/d_0 \sim 2.0$  左右。但  $d/d_0$  过大(如  $> 2.5$ ),象面振幅函数不接近于零的项数明显增加,将使位相图象的畸变更严重。此外在位相物重现中,必须适当选取  $d/d_0$  值使象面函数零级分量接近于一个常数。在兼顾到足够反衬度和畸变、误差最小的条件下,求得  $d/d_0 = 0.5$ 、0.7 和 1.5 都是较好的仪器参量,且在较宽的范围条件下,  $d/d_0 = 1.5$  情况最好。

### 参 考 文 献

- [1] D. 马拉卡拉主编;《光学车间检验》,机械工业出版社,1983.
- [2] L. A. Vasilev; Schlieren Methods. Israel Program for Scientific Translations, New York, 1971.
- [3] B. И. Геродецкая и др.; *Опт. уснектр.*, 1983, 54, 167.
- [4] 郑治真;《波谱分析基础》,地震出版社,1979.

(上接第 546 页)

主光路光束的角漂移为  $0.5''$ , 轴漂移为  $102 \mu\text{m}$ 。

实验中,激光功率的时间起伏由计算机编程得以消除。

### 参 考 文 献

- [1] Lawrence Livermore Laboratory; *Laser Program*

Annual Report, 1975, p. 86.; 1978, Vol. 2, p. 5.

- [2] J. C. Fouere et al.; *Appl. Opt.*, 1974, 13, No. 6, 1322.
- [3] K. A. Bruekner et al.; *Rev. Mod. Phys.*, 1974, 46, No. 2, 325.
- [4] 周明德;《微型计算机硬件、软件及其应用》,清华大学出版社(1983).