

# 分离式光盘光学头光学问题讨论

陈海清 曹向英

(华中理工大学光电子系, 武汉, 430074)

**摘要:** 本文根据几何光学与物理光学基本原理, 分析了分离式光学头导向误差、光束孔径匹配问题, 给出了单光束分离式光学头结构。

**关键词:** 分离式 光学头 导向误差 孔径匹配

## Discussion on optical problems of separated optical head

Chen Haiqing, Cao Xiangying

(Dept. of Optoelectronics, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** Based on optical basic principles of geometric optics and physical optics, the direct error of the separate optical head (SOH) and the problems about aperture matching are analyzed, a optical system of the SOH for single beam is given.

**Key words:** separate optical head direct error aperture matching

### 一、引言

为了实现快速存取的目的, 必须设法降低光学头的重量, 采用分离式光学头可以成功地解决这一矛盾。它把光学头中比较重的部分——光源及准直、整形、分束、检测等部分固定不动, 而可动部分只要一个会聚物镜和跟踪反射镜加上相应的驱动机构。这样可动部分光学头的重量可以大幅度地降低。据报道, 只有 10g 的可动光学头已研制成功<sup>[1]</sup>。采用分离式光学头的 3.5" 磁光盘系统已有报道, 但尚未形成定型产品。而 5.25" 光盘系统尚无这方面的报道。采用分离式光学头的唯一缺点就是防振动和冲击的能力会有所下降, 针对这一问题人们采取了不同的措施, 如采用更加可靠的伺服控制手段, 拓宽伺服的范围, 采用质量好的导轨等。下面将对导轨的导向误差问题、光束孔径匹配问题进行讨论与分析。

### 二、光学头导向误差分析

采用分离式光学头最大的问题就是导轨的导向精度问题。为了分析问题方便, 可以形象地把导向误差归结为跟踪反射镜的旋转和平移。图 1 所示, 将导向误差产生的影响分为两个方面来考虑, 一是能量耦合效率降低, 二是径向、切向和轴向光点的偏离。

首先分析光点偏离的问题, 假设从固定部分出射的是一理想的平行光束, 而且跟踪反射镜与聚焦物镜之间相对不动。为了便于几何分析, 可把这个问题简化为图 2 所示的几何模型。物镜与跟踪反射镜一起旋

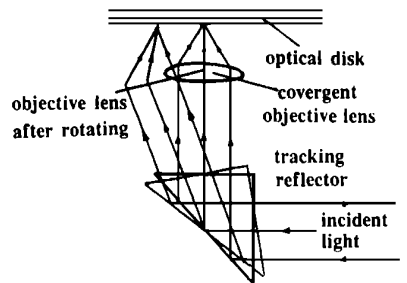


Fig. 1 The effect of leading error

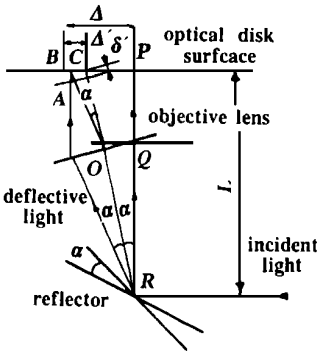


Fig. 2 Geometrical model of leading error

转角度  $\alpha$ ，由于光学杠杆作用，反射光线偏离原方向  $\theta=2\alpha$ ，由图示可知反射光线方向相对于物镜光轴方向的偏角也为  $\alpha$ 。

$$\Delta = \overline{BP} + \overline{CB} \tag{1}$$

式中， $\overline{BP} = L \tan \alpha$

考虑三角形  $CBO$  有

$$\overline{CB} \cos 2\alpha = \overline{BO} \sin \alpha \tag{2}$$

$$\overline{BO} = \overline{BR} - \overline{OR} = L / \cos \alpha - \overline{OR}$$

$$\overline{OR} = \overline{QR} = L - f'$$

$$\overline{BO} = L / \cos \alpha - L + f'$$

代入(2)式得

$$\overline{CB} = \frac{(L / \cos \alpha - L + f') \sin \alpha}{\cos 2\alpha}$$

所以

$$\Delta = L \tan \alpha + \frac{(L / \cos \alpha - L + f') \sin \alpha}{\cos 2\alpha} \tag{3}$$

分析(3)式，其中第一项是由于物镜光轴偏转引起的，我们称之为  $\Delta_1$ ，而第二项则是由于光学杠杆作用导致焦点离轴而造成的，我们称之为  $\Delta_2$ 。这两项的影响情况见表 1 所示。

Table 1 Calculation result of shift value

deflection angle	total shift value $\Delta$ ( $\mu\text{m}$ )	shift value off axis $\Delta$ ( $\mu\text{m}$ )	shift value on axis $\delta$ (nm)
5''	4.73	3.64	0.4
10''	9.45	7.27	1.8
15''	14.18	10.91	4.0
20''	18.91	14.54	7.1
30''	28.36	21.82	15.9
60''	56.72	43.63	63.5

可以看出当偏角不超过  $60''$  时光点偏移在  $56\mu\text{m}$  以下。导轨的加工精度可以到  $10''$  以下，这时对应的偏移量不到  $10\mu\text{m}$ ，加上振动冲击的影响，希望总的角度偏移不超过  $30''$ ，这样通过伺服系统是容易得到校正的。

下面讨论光点的轴向偏离，图 2 中的  $\delta$  就是由于光轴倾斜而造成的焦面与光盘面不重合的现象。有如下简单的关系式：

$$\delta = L / \cos \alpha - L \tag{4}$$

另外轴向偏离的来源还有导轨的配合造成的可动部分横向的偏离，称之为  $H$ ，则有总偏移量：

$$\delta = \delta' + H = L / \cos \alpha - L + H \tag{5}$$

计算结果见表 1，显然这种影响是微乎其微的。而  $H$  则取决于配合精度及导轨的变形系数，其影响远远超过  $\delta$ 。所以轴向偏离主要是由跟踪反射镜与物镜的横向位移造成的。一般而言，该偏移控制在  $\pm 0.5\text{mm}$  以下能够满足聚焦伺服的要求。

### 三、光学头光束孔径匹配

在光学系统设计过程中，必须解决好光束与透镜孔径匹配的问题。不同的匹配会导致不同的能量利用效率，而且还会影响光斑尺寸与聚焦焦深。对于分离式光学头，由于配合间隙问题和导轨变形的影响，可动部分的入射光瞳相对于平行光束有一个平移，给光束孔径匹配带来了一定的困难。

对于衍射受限系统，光斑尺寸和焦深可分别表示为

$$D = k\lambda / \text{NA} \tag{6}$$

$$\Delta z = \pm k \lambda / NA^2 = \pm D / NA \tag{7}$$

式中,  $k$  为比例因子,  $\lambda$  为激光波长,  $NA$  为会聚物镜的数值孔径。

对于均匀平行光束聚焦, 确定 Airy 直径时取  $k = 1.22$ 。但是高斯光束聚焦时不存在 Airy 斑<sup>[2]</sup>, 而且其光斑尺寸依高斯光束不同的弯曲比而不同。一般地根据不同的应用场合取

两种情况下的直径:

(1) 半值光强点  $D_{fw} = 50\%$ , 中心强度

(2)  $1/e^2$  光强点  $D_{1/e^2} = 13\%$  中心强度

弯曲比的定义为:

$$T = D_b / D_t \tag{8}$$

式中,  $D_b$  为  $1/e^2$  强度点处的高斯光束直径,  $D_t$  为有限的透镜孔径。高斯光束的截面光强分布如图 3 所示, 具体地表达式为:

$$I = I_0 \exp[-2(x^2 + y^2) / w_0^2] \tag{9}$$

式中,  $w_0$  为腰斑半径, 且有  $w_0 = D_b / 2$ 。经过直径为

$D_t$  的会聚透镜之后, 光能损失为:

$$P_{loss} = P_{total} - P_{pass}$$

为了计算的方便, 采用极坐标积分。令  $\rho^2 = x^2 + y^2$

$$P_{loss} = \int_0^{2\pi} d\theta \int_{D_t/2}^{\infty} I_0 \exp\left[-\frac{2\rho^2}{w_0^2}\right] \rho d\rho$$

$$\begin{aligned} &= \pi I_0 w_0^2 \exp\left[-\frac{2D_t^2}{4w_0^2}\right] \\ &= \pi I_0 w_0^2 \exp[-2(D_t/D_b)^2] \end{aligned} \tag{10}$$

$$P_{total} = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\infty} I_0 \exp\left[-\frac{2\rho^2}{w_0^2}\right] \rho d\rho = \pi I_0 w_0^2 \tag{11}$$

用百分比表示能量损失为:

$$K_{loss} = \frac{P_{loss}}{P_{total}} = \exp[-2(D_t/D_b)^2] = \exp(-2/T^2) \tag{12}$$

光能损失随着弯曲比的减小而减小的情况如图 4 所示, 可见当弯曲比为 2.0 时光能损失已经有 60% 了。

用标量场衍射理论计算(6)和(7)两式为<sup>[3,4]</sup>:

$$K_{fw} = 0.5145 + \frac{0.35625}{(T - 0.2161)^{2.179}} - \frac{0.32225}{(T - 0.2161)^{2.221}} \tag{13}$$

$$K_{1/e^2} = 0.82245 + \frac{0.3230}{(T - 0.2816)^{1.821}} - \frac{0.2660}{(T - 0.2816)^{1.891}} \tag{14}$$

不同弯曲比  $T$  对应的焦深和光斑直径如表 2。

可见随着弯曲比的减小, 光能利用率得到提高, 但光斑尺寸和焦深都变大了, 从聚焦伺服的角度考虑希望焦深大一些, 而光盘高密度存储的特点要求有较小的光斑尺寸。所以必须优化弯曲比, 同时兼顾光能利用率和光斑尺寸两方面的要求。由表 2 可知, 当弯曲比大于 1.5 时光斑尺寸已基本上接近衍射极限, 进一步增大对光斑尺寸的影响已不太明显。一般地取  $T =$

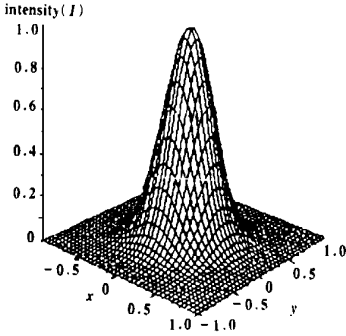


Fig. 3 Intensity distribution of across section of alignment beam

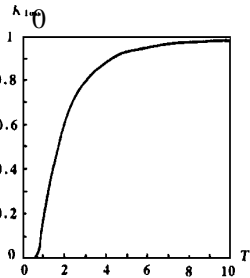


Fig. 4 The relation of energy decrease versus winding ratio

Table 2 The relations of winding ratio versus spot diameter and focal depth

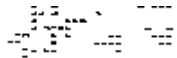
$T$	$\Delta z_{fwhm}$	$D_{fwhm}$	$\Delta z_{1/e^2}$	$D_{1/e^2}$
0.5	1.78	1.07	2.89	1.74
0.75	1.41	0.85	2.29	1.37
1.0	1.31	0.78	2.11	1.27
1.5	1.24	0.74	1.99	1.20
2.0	1.21	0.73	1.95	1.17
3.0	1.196	0.718	1.921	1.152
3.5	1.195	0.717	1.917	1.151
$\infty$	1.186	0.712	1.896	1.138

LD 来弥补。

实际设计参数为:  $NA = 0.53$ ,  $\lambda = 830\text{nm}$ ,  $T = D_b/D_t = 1.11$ ,  $P_{\text{loss}} = 19.8\%$  (未考虑配合造成的影响)

$$D_{fw} = 0.769\mu\text{m} \quad \Delta z_{fw} = 1.282\mu\text{m}$$

所设计的相变光盘直接重写分离式光学头光学系统如图 5 所示。可动部分与不动部分之间采用平行光束直径耦合的方法,准直物镜输出光束的口径略大于会聚光束的入瞳(相差 0.5mm),以便能保证合理的能量耦合效率。通过 LD 的三种调制功率分别实现读出、擦除与写入。



1.0~ 1.5,实际上是损失一部分光能量而获得较小的光斑尺寸。

### 四、单光束直接重写分离式光学头

如上所述,对于分离式光学头,由于可动部分和导轨的配合会造成可动部分相对于平行光束的平移,因为物镜的入瞳相对于入射平行光束有一个平移造成拦光。若亦采用这种弯曲比,光能的损失会更大一些。所以要适当地减小弯曲比,或者增大光源的功率。减小弯曲比势必导致存储密度的降低,最好采用短波长

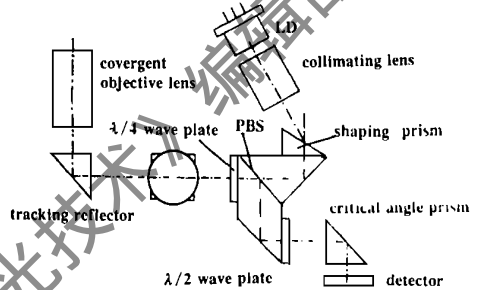


Fig. 5 Singlebeam rewritten split optical head

### 参 考 文 献

- 1 Keiichi Yoshizumi. SPIE Vol Optical Data Storage, 1987
- 2 吕乃光编著. 信息光学. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987
- 3 Born M, Wolf E. Principles of Optics, 6th Edition. Oxford: Pergaman Press, 1980: 690~ 698

作者简介: 陈海清, 男, 1947 年出生。副教授。研究方向为光存贮技术及激光测试。

收稿日期: 1995-06-09 收到修改稿日期: 1995-08-14

• 简 讯 •

### 用于探测生物战试剂昂贵的激光雷达系统

美军生化防御司令部与光纤技术(Fibertek)公司签订了一项为期 36 个月的合同, 合同总价为九百四十八万美金。据此合同, 光纤技术公司将设计、提供两套用于生物战试剂探测的激光雷达系统。该雷达系统采用二极管泵浦 Nd: YAG(266nm) 频移激光器, 其输出波长频移至 289nm, 位于大气臭氧的低吸收区。作用距离为 5km, 监测色氨酸(一种存在于所有生物体中的氨基酸) 300~ 400nm 的荧光。其它功能为检测并跟踪生物悬浮微粒烟雾并与非生物气悬物硬目标进行识别。

育明, 巩马理 供稿