

一种光路自准方法

陈岩松 王玉堂 李秀英

(中国科学院物理研究所)

在光学实验中,经常遇到的一个课题是如何把各光学元件调节到它们的正确位置上.借助于机械轨道,经纬仪和可调焦平行光管等光学仪器进行位置调节是常用的方法.本文基于光栅在光路中的衍射作用和杨氏双缝干涉现象,提出了一种光路自准方法.它已成功地应用于光学 Walsh 变换^[1]实验中.在这个实验中曾经设想和试用过多种调节手段,企图把各全息透镜调节到它们的正确位置上,由于调节仪器的光轴与实验光路的光轴很难保持一致,以致效果不甚理想.对于光路自准方法,调节光路就是实验光路,即在光路系统中传播的光波既是调节用光波又是实验用光波,二者是一致的.

图 1 是一个二平面光学系统示意图,多个平面的情况是可以类推的.在 x_0 平面上放置一个振幅光栅,其振幅透过率为

$$U(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n e^{-i2\pi n \frac{x}{d}}, \quad (1)$$

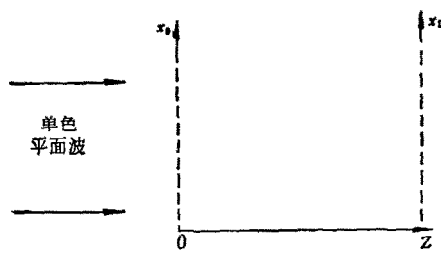


图 1

这里 d 为光栅的周期.用单色平面波照明光栅,透过光栅的光波由解波动方程得到,

$$U(x, Z) = \sum_n a_n e^{i2\pi n \frac{x}{d}} e^{i2\pi n \frac{Z}{d} [1 - (\frac{n\lambda}{d})^2]^{\frac{1}{2}}}, \quad (2)$$

λ 为光波长.当 $\lambda \ll d$ 时,

$$\left[1 - \left(\frac{n\lambda}{d}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{n\lambda}{d}\right)^2. \quad (3)$$

把(3)式代入(2)式得

$$U(x, Z) = e^{i2\pi \frac{x}{d}} \sum_n a_n e^{i2\pi n \frac{Z}{d}} e^{-i2\pi n \frac{Z}{d^2}}. \quad (4)$$

当 $Z = NZ_T = N \left(\frac{2d^2}{\lambda}\right)$ 时,

$$N = 1, 2, 3, \dots, \quad (5)$$

$$U(x, Z = NZ_T) = e^{i2\pi \frac{x}{d}} \sum_n a_n e^{i2\pi n \frac{Z}{d}}. \quad (6)$$

与(1)式相比,上式仅多了一个常数位相因子.这意味着,透过光栅的光波,在距离光栅平面为 Z_T 的整数倍距离的那些平面上,光强度分布与原光栅振幅透过率的平方相同,即周期性地出现原光栅的像.

在 x_1 平面上放置一块与(1)式相同的振幅光栅,并使它与 x_0 平面相距 Z_T 的整数倍距离.则在 x_1 平面上存在二组完全相同的光栅像.如果它们的取向互不平行,则将出现莫尔条纹.据此可将二块光栅的取向调节平行,并在垂直光轴的平面内,平移其中一块光栅,使二个光栅完全重合.由于光栅的周期性,它们的重合不一定保证横向位置的正确调节.杨氏的双缝衍射现象可以作为一种监视手段,以判别光栅重合时横向位置的正确调节.

设在 x_0 平面内的双缝间距为 l ,则在 x_1 平面上产生杨氏干涉条纹^[2],周期为

$$D = Z\lambda/l. \quad (7)$$

为了使 x_1 平面上的双缝(间距也为 l)处于零级干涉条纹的半腰处,令 $D = 2l$,因为 $Z = NZ_T$,于是

$$l = \left(\frac{N}{2} Z_T \lambda \right)^{\frac{1}{2}} = N^{\frac{1}{2}} d. \quad (8)$$

通过调节机构,使 x_1 平面上的双缝恰好对称地处于 x_0 平面上双缝产生的零级亮纹的半腰附近,此时二个光栅像的重合才真正反映横向位置的正确调节。

根据上述讨论,一个具体光路的调节设计最终归结为确定光栅周期 d 。 d 值的大小决定于具体的实验设计。

我们引用文献 [1] 中的五平面系统作为调节设计的一个例子。调节用的标记光栅和杨氏双缝表示在图 2 中,左边的通光孔是为实现 Walsh 变换的通光孔径。光栅周期 $d=0.13\text{mm}$, 双缝间距 $l=2d=0.26\text{mm}$, 氦氖光波长 $\lambda=0.63\mu\text{m}$, 因此 $Z_T=2d^2/\lambda=54.16\text{mm}$, 图 3 是五平面系统示意图,各平面间的距离 $L=4Z_T=216.64\text{mm}$ 。首先将毛玻璃放在 $4Z_T$ 附近,沿

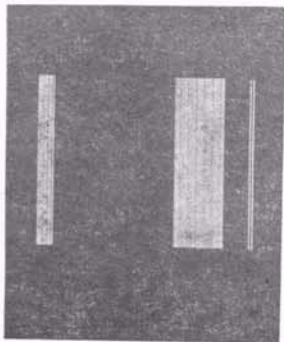


图 2 标记光栅照片
左为变换孔径; 中为光栅; 右为双缝

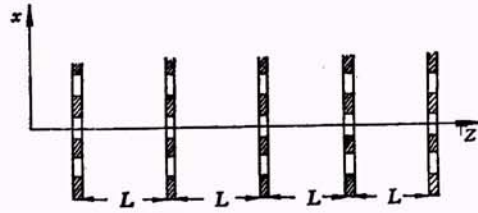


图 3

着 Z 轴方向前后移动,直到毛玻璃上映出最清晰的光栅象为止。然后取下毛玻璃换上标记光栅,按照上面叙述的过程依次调节取向和横向位置。这样从前到后,顺序调节五个平面。各平面间距 L 的调节精度主要取决于光栅成像清晰程度的判断,取向与横向位置的精度取决于光栅周期和光栅像重合精度的判断。在这例子中,前者精度约为 $\pm 0.5\text{mm}$,后者精度高于 $1/5$ 光栅周期。

这种调节光路的方法适用于多平面同轴的光路系统。利用光栅周期性成像的性质,调节各平面的间距;利用莫尔条纹效应,调节它们的取向,最后调节它们的横向位置。此过程顺着光波的传播方向从前到后依次进行。对于二维系统,每个平面需要有二组互相垂直的光栅才能调节横向的二个位置。

参 考 文 献

- [1] 陈岩松、王玉堂、李秀英,物理学报,29-10(1980),1307.
- [2] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics, Second edition, (1964), 260.

启 事

本刊从 1981 年开始改为月刊。为了提高编辑出版工作效率,本刊决定从 1981 年第 1 期开始不再寄作者校样。出版单位以原稿为准进行校对。要求作者务必做到清稿定稿,即文字书写端正,数据准确,图表清楚,语句通顺,标点使用正确,符号容易辨认,稿件一经排版,不得作任何改动。衷心希望作者同我们密切合作,为提高刊物质量共同努力。

《物理》杂志编辑部