

Lau 效应在导向(航)信标中的应用

刘 焕 礼

(中国民航学院基础部, 天津 300300)

提 要

本文讨论了莫尔技术和 Lau 效应在导向(航)信标中的应用。在无穷远处观察到的莫尔条纹其形状不仅指明了应修正的方向,并可定量的给出偏差距离。

关键词: 莫尔技术, Lau 效应, 导向信标, 光栅。

一、引 言

用扩展光源照明两块光栅常数相同,且相隔一定距离的光栅,当满足一定条件时,在距光栅无穷远处能观察到栅状条纹。这一现象称为 Lau 效应。近年来许多人用不同方法对 Lau 效应作出了较详细的理论解释并对其应用前景进行了讨论^[1~11]。

本文将莫尔技术和 Lau 效应相结合。应用在灯光导向(航)信标上,使得这类装置具有结构简单,导向(航)精度高,非常直观的特点。

二、两光栅所形成的莫尔条纹

典型的 Lau 效应装置如图 1 所示。用扩展光源 S 照明相距为 K 。光栅常数同为 d 的两光栅 G_1, G_2 后,在透镜 L 的后焦面上可观察到栅状条纹。

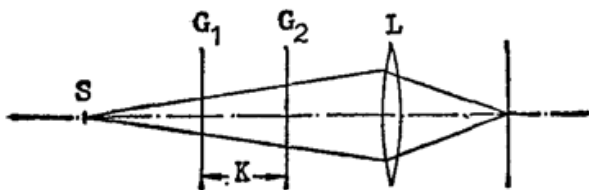


Fig. 1 A typical setup for producing Lau effect

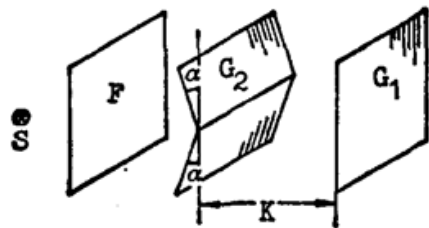


Fig. 2 Optical system for leading mark

为使观察者在导向(航)信标上所看到的条纹具有一定形状,并且这种形状可以标明观察者相对于导向(航)线的位置,以便于修正方向,因此按图 2 所示配置光路。 G_1, G_2 为刻线方向相同,光栅常数为 d 的矩形振幅型光栅,其中 G_2 折过一定角度后和 G_1 对称配置, G_1 与 G_2 间的夹角为 α ,距离为 K 。 F, S 分别为漫射屏和光源。

为对 G_1, G_2 所形成的条纹进行描述,首先建立图 3 所示的坐标系。

XOY 平面建立在 G_1 的平面上, 坐标原点取在 G_1 的中心处, G_2 的折线和 X 轴平行, 同在 $y=0$ 的平面内. Y 轴和光栅的刻线方向平行. 观察位置 E 在 Z 轴上, E 与 G_1 的距离为 L . 由于 L 和光栅尺寸相比往往大数十乃至数百倍, 因此可以认为 E 点位于无穷远处. 因为光栅配置的对称性, 只要得到 XOY 平面中第 I 象限的条纹分布, 就不难对光栅 G_1 平面上的条纹进行描述了.

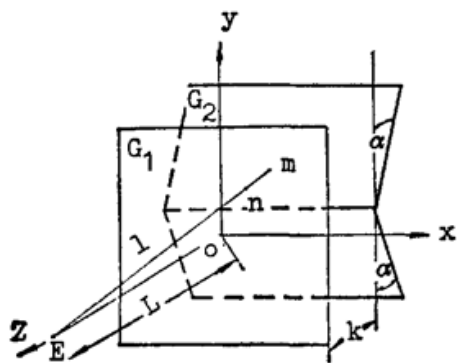


Fig. 3 Coordinate system for calculating the distribution of fringes

透射光线 l 与 G_2 、 G_1 的交点为 m 、 n , 其横坐标为 x_2 、 x_1 . 根据莫尔条纹的序数方程:

$$Nd = (x_2 - x_1), \quad (1)$$

式中 d 为光栅常数. 将 x_2 、 x_1 代入(1)式后即可求得 E 点所看到的条纹级次 N . 按上述方法, 建立 l 的直线方程: l 通过 E 和 m 两点的坐标为 $E(0, 0, L)$, $m(x_2, y_2, -K - y_2 \tan \alpha)$. G_2 的方程为: $y \tan \alpha + K + Z = 0$, l 的直线方程为:

$$\frac{x}{x_2} = \frac{y}{y_2} = \frac{Z - L}{-y_2 \tan \alpha - K - L}, \quad (2)$$

将 $Z=0$ 代入(2)式, 得到 l 与 G_1 的交点横坐标为:

$$x_1 = \frac{L}{y_2 \tan \alpha + K + L} x_2, \quad (3)$$

把(3)式和 x_2 代入(1)式, 经整理后则有:

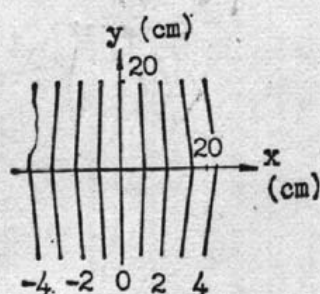
$$x = Nd \frac{L}{y \tan \alpha + K}. \quad (4)$$

由上式可知: x 与 y 、 K 成反比, 与 L 成正比.

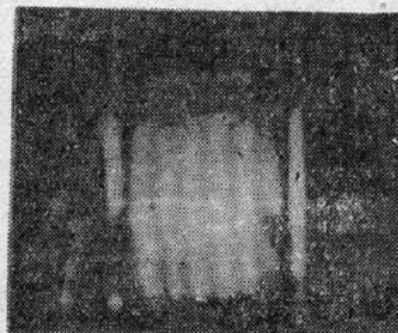
以 $d=0.32$ mm, $K=171$ mm, $L=30$ m, $\alpha=3.47^\circ$ 代入上式, y 每隔 40 mm 计算一次 x 值, 经计算机计算后的数据列在表 1 中。(表中测量值为三次测量结果的平均值. 测量值与理论值的最大相对误差为 5.9%. 测量条件: 天气晴、无风、能见度较高, 周围无振源)。相应的图形以及用测高仪在距 G_1 30 m 处的实测值和用照相机拍下的照片如图 4 所示。

Table 1 Experiment results

y(cm)		x(cm)					
		theoretical data				measured data	
		1	2	3	4	1	2
0	order N	5.65	11.30	16.94	22.58	5.59	11.15
4		5.56	11.14	16.70	22.27	5.51	10.99
8		5.49	10.98	16.47	21.96	5.35	10.90
12		5.42	10.83	16.25	21.67	5.27	10.67
16		5.34	10.68	16.03	21.38	5.15	10.40
19		5.29	10.58	15.88	21.17	4.98	10.12



(a) The curves drawn up according to the theoretical in Table 1



(b) Photograph of fringes pattern produced by two gratings

Fig. 4 Pattern and distribution of fringes produced by two gratings ($L=30\text{m}$)

在无穷远处不借助任何光学仪器, 仅用肉眼观看 G_1 上的条纹, 就必须使条纹的对比度较高。

为满足上述要求, 首先应使光栅 G_1 、 G_2 间的距离尽量满足 Lau 成像条件^[7]:

$$K = \frac{\alpha}{\beta} \frac{d^2}{\lambda}, \quad \left(\frac{\alpha}{\beta} \text{ 为正有理数} \right)$$

除此之外, 还应对光栅的开口比进行控制^[7]。实验证明, 尤其对于光栅常数较小的光栅, 它们所形成的条纹对比度受 K 的影响更为明显, 它们之间的距离更应满足 Lau 成像条件。

三、导向(航)原理

根据莫尔条纹的序数方程 $Nd = (\alpha_2 - \alpha_1)$ 可知, 零级条纹所对应的 $\alpha_2 - \alpha_1$ 应为零, 这就必须使得 $\alpha_2 = \alpha_1$, 即形成零级条纹的所有透射光线与 G_2 、 G_1 的交点坐标, 尽管 y 、 z 不同, 但却具有相同的横坐标 α 。

(4) 式和图 3 还表明, 当 L 、 K 、 α 、 d 一定时, y 无论为何值, $N=0$ 时必有 $\alpha=0$, 即形成零级条纹的所有透射光线以及观察者, 均在 YOZ 平面内。从另一种意义上说, 只有观察点所在的平面垂直于 G_1 平面且平行于 YOZ 时, 才能观察到零级条纹。因此, 当观察者沿 x 方向移动时, 这样一个平面会随观察点的移动而移动, 从而导致出现零级条纹随人而动的现象, 见图 5。

当观察者正对 G_1 时, 从 G_1 上看到的零级条纹为一条自上而下的竖直黑色条纹。观察者左右稍稍移动, 使看到的竖直条纹位于 G_1 宽度中心处时, 定义该观察点到 G_1 宽度中心的连线为定向(航)基准线, 沿此线驶向定向(航)信标时, 零级条纹始终位于 G_1 宽度的中心而不会移动, 见图 6(a)。

当观察者向左偏离定向基准线时, 零级条纹移出 G_1 之外。观察者看不到零级条纹, 而只能看到 $+1$ 、 $+2$ 、 $+3$ 、 \dots 乃至更高级次的条纹。由于 G_2 折过一定角度后对称放置, 所以在 G_1 上看到的是上下对称的箭头状条纹, 方向指向右, 提示观察者应向右修正, 从而回到定向基准线上, 见图 6(b)。

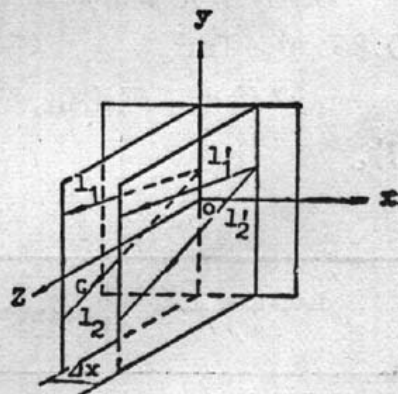


Fig. 5 The zeroth fringe moves with observer

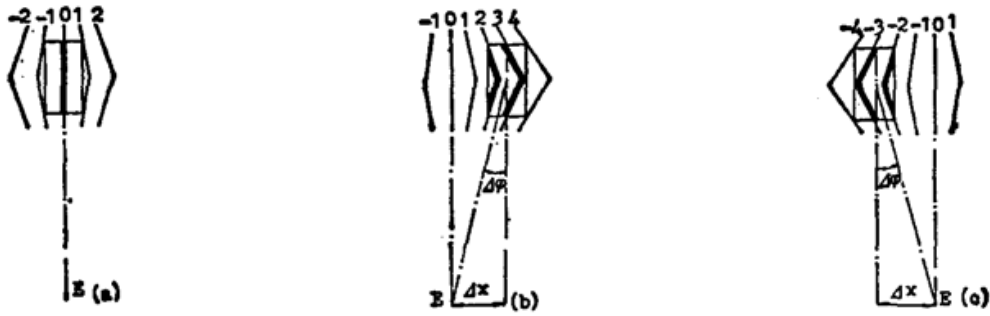


Fig. 6 Formation of leading pattern E-observation point

- (a) The observation Point is at the leading line; (b) The observation point is at the left of leading line
(c) The observation point is at the right of leading line

当观察者向右偏离导向基准线时,从 G_1 上看到的条纹图样与上述情况恰恰相反,箭头状条纹指向左方,见图 6(c)。

可以看出,当观察者偏离导向基准线越大时,箭头状条纹的夹角越小,这样观察者仅凭肉眼所看到的条纹图样便可以判明偏向(航)的大小及方向,及时进行修正,确保安全。

至于偏向(航)距离,则可根据(4)式计算出 $y=0$ 处 $N=1$ 时的 x 值,即 x_0 ,然后根据 G_1 上出现的条纹级次确定出大小: $\Delta x = N x_0$,亦可将偏差以偏向角的形式给出,偏向角为:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{L},$$

式中 L 为观察点与 G_1 间的距离。

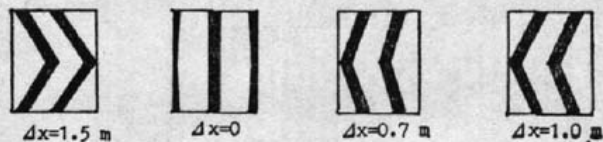
四、实验结果与讨论

实验中,光栅常数 $d=0.32\text{ mm}$, $K=171\text{ mm}$, $\alpha=3.47^\circ$,观察距离 $L=80\text{ m}$, G_1 尺寸为 $0.35 \times 0.42\text{ m}^2$ 。

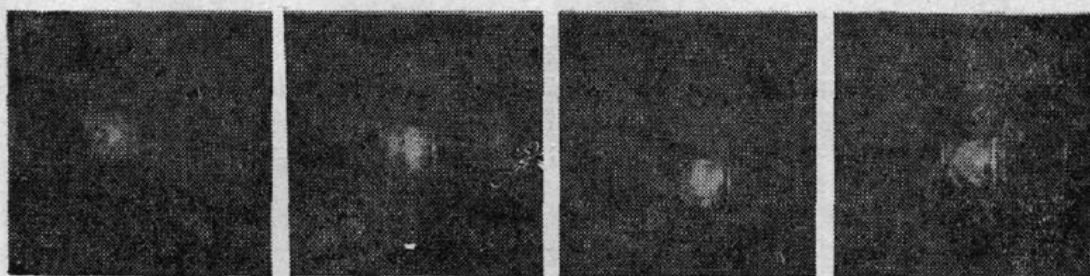
表 2 给出了理论值,图 7(1)为按理论值绘制的图形,图 7(2)为距 G_1 80 m 处所拍摄的照片。

Fig. 2 Theoretical data of fringes pattern

deviation Δx (m)	quantity of fringes	distance between fringes (m)	order of fringes	angle included between fringes
0.7	2	0.15	-4	149.16°
			-5	142.01°
1.0	2	0.15	-6	135.10°
			-7	128.52°
1.5	2	0.15	+9	116.40°
			+10	110.87°
0	3	0.15	0	180°
			± 1	172.11°



(1) Fringes pattern drawn up according to the theoretical in Table 2



(a) $\Delta x=1.5\text{ m}$ (b) $\Delta x=0$ (c) $\Delta x=0.7\text{ m}$ (d) $\Delta x=1.0\text{ m}$

(b) Photograph of fringes pattern produced by Leading Mark

Fig. 7 The fringes pattern observed by observer at different positions.

由照片可以看出,当偏移距离为 $\Delta x=0.7\text{ m}$ 时,箭头的形状已明显变锐。

讨论:

1. 由实验可知,此类装置与现有的灯光导向信标相比具有较高的精度,有可能取代现有的灯光导向信标。

2. 本文所述的装置结构简单,便于制造。

3. 本文所述的导向(航)装置所显示的图样直观便于使用,是现有灯光导向(航)装置所不及的。

由于本文实验中所使用的光栅是有机玻璃经牛头刨床加工而成,因此质量较差。若采用其它工艺提高光栅质量,则条纹的对比度将会得到进一步的提高。

本文在写作过程中承蒙梁家昌教授、金重副教授的帮助,谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] E. Lau; *Annln. Phys.*, 1948, **6**, 417.
- [2] J. Jahns, A. W. Lohmann; *Opt. Comm*; 1979, **28**, No. 3(Mar), 263~267.
- [3] F. Gori; *Opt. Comm.*, 1979, **31**, No. 1 (Oct), 4~8,
- [4] S. Sudal, B. J. Thompson; *Appl. Opt.* 1981, **20**, No. 6 (Mar), 1107~1116.
- [5] G. J. Swanson, E. N. Leith; *J. O. S. A*, 1982, **72**, No. 5 (May), 552~555.
- [6] 刘立人;《光学学报》,1985, **52**, No. 6 (Jan), 377~379。
- [7] 刘立人;《光学学报》,1985, **5**, No. 6 (Jun), 481~487。
- [8] 刘立人;《光学学报》,1987, **7**, No. 6 (Jun), 501~509。
- [9] 屠锦洪等;《光学学报》,1988, **8**, No. 3 (Mar), 249~252。
- [10] 俞 信;《光学学报》,1987, **7**, No. 8 (Aug), 714~720。
- [11] 吕迺光等;《光学学报》,1988, **8**, No. 7 (Jul), 604~610。

Application of moire technique and Lau effect in the leading mark

LIU HUANLI

(Department of Basic Sciences, Civil Aviation Institute of China, Tianjin 300300)

(Received 19 September 1988; revised 19 November 1990)

Abstract

This paper deals with the application of the moire technique and lau effect in the navigation leading mark. The moire fringes can be seen at an infinite distance, and its shape not only shows the direction to be corrected but also gives the deviation distance in definite quantity.

Key words: Moire technology; lau effect; leading mark; grating.