

Ronchi 光栅光密度的一种测试方法

丁培军 方志良
(天津医学院) (南开大学现代光学研究所)

提 要

本文提出利用衍射光栅的反射特性,在白光图像处理系统中对光栅进行实时无损检验。这种方法灵敏度高、简便易行,有较高的实用价值。理论与实验结果一致。
关键词: 光栅质量,无损检验。

一、引 言

人们对照相材料的研究从十九世纪就发现了不少现象。其中乳胶中的浮雕现象就是1896年由 Haddon 和 Grundy^[1] 首先发现并将此现象归结为一定显影液的硬化作用。此后,人们对此现象的应用进行了大量的研究,并得到不少研究成果。例如,利用乳胶表面起伏进行波前的反射再现^[2,3],能得到一个亮度极高、非常完美的再现现象;以及通过测浮雕的起伏量来实现密度的测量^[4]和高分辨干板的显微密度的测量^[5];特别是近来利用光栅编码片乳胶表面的浮雕现象实现图像假彩色^[6],为黑白图像的假彩色化提供了新的最为简捷的途径。

本文提出的检验光栅质量的方法,是浮雕现象在光学信息处理中的另一重要的应用。由于衍射光栅乳胶表面的高度起伏可引起经其反射的反射光的相位调制作用,在白光处理系统中对被反射的白光进行傅里叶变换,并在频谱面上进行零级或一级滤波,由色度学可知,此时在输出面上将得到假彩色的颜色输出。可以证明,如果是高质量的光栅(光栅的密度以及表面高度起伏皆是均匀的),则输出的颜色是单一均匀的;如果光栅的质量不好,则输出的颜色不是单一的。利用这一技术对光栅的检验是实时的并对光栅没有任何损伤。同时具有灵敏度高、简便易行的特点,在实际工作和生产中有一定的实用价值。

二、原 理

由于银盐干板或胶片的浮雕现象是由明胶在沉积银周围收缩所引起的乳胶厚度起伏^[7]。这里以密度分布如图1所示的 Ronchi 栅为例,则光栅表面的亮度起伏 ΔI 与密度差 ΔD 成正比^[7],即:

$$\Delta I = C [D_{\max} - D_0] = C \cdot \Delta D, \quad (1)$$

式中 C 是比例系数。因此, Ronchi 栅的乳胶面呈图2所示的形状。

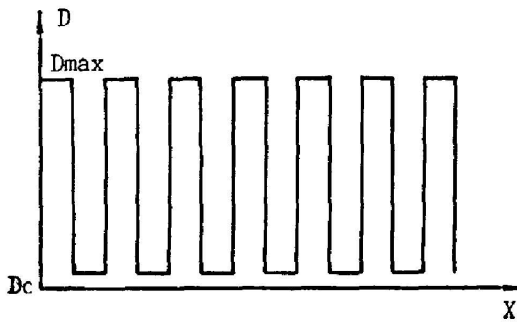


Fig. 1 The density distribution of a Ronchi grating

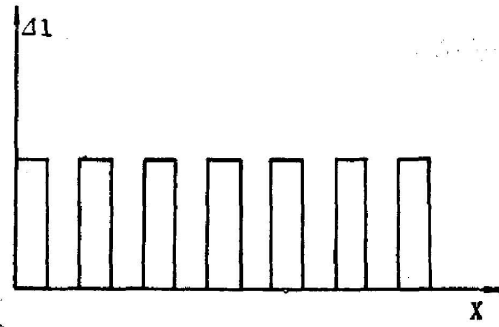


Fig. 2 The surface shape of a Ronchi grating

假定入射光的振幅为 1, 光栅乳胶面的反射系数为 R , 则光栅对平行白光反射后的光振幅分布为:

$$t(x) = R \exp(i\varphi_2) \cdot \left[\text{rect}\left(\frac{x}{a}\right) * \frac{1}{2a} \text{comb}\left(\frac{x}{2a}\right) \right] + R \exp(i\varphi_1) \cdot \left[1 - \text{rect}\left(\frac{x}{a}\right) * \frac{1}{2a} \text{comb}\left(\frac{x}{2a}\right) \right]. \quad (2)$$

由(2)式所示的反射光经傅里叶透镜的变换后, 在其频谱面上的频谱分布为:

$$T(f_x) = R \cdot \delta(f_x) - \frac{R}{2} \left\{ [1 - \exp(i\Delta\varphi)] \text{sinc}(a f_x) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(f_x - \frac{n}{2a}\right) \right\}. \quad (3)$$

其中 $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ 是由于光栅乳胶面的高度起伏 Δl 所引起的反射光的相位差, 当入射角为 θ 时,

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2 \Delta l \cos \theta = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot C [D_{\max} - D_0] \cos \theta. \quad (4)$$

若在频谱面上对零级或一级谱进行空间滤波, 再经逆傅里叶变换则在输出面上得到的零或一级衍射强度分布分别为:

$$I_0 = R^2 \cos^2 \left[\frac{2\pi}{\lambda} C \cdot (D_{\max} - D_0) \cos \theta \right], \quad (5)$$

$$I_1 = \left(\frac{2R}{\pi} \right)^2 \sin^2 \left[\frac{2\pi}{\lambda} C \cdot (D_{\max} - D_0) \cos \theta \right]. \quad (6)$$

比较(5)式与(6)式可知, 零级和一级衍射强度分布是互补的。

由于 I_0 与 I_1 是 λ 、 Δl 以及 θ 的函数, 因此, 当 θ 和 Δl 一定时, I_0 或 I_1 有一条随 λ 变化的特定光谱分布曲线。根据色度学理论可知, 只要知道了光谱分布曲线, 就可计算出相应的色度坐标并由此确定出对应的颜色来, 由于光栅上的不同高度起伏 Δl 的不同可使光谱分布曲线发生变化, 从而导致输出面上相应假彩色的改变。由于 $\Delta l = C(D_{\max} - D_0)$ 即 Δl 正比于光栅最大与最小的密度差, 对于一般的光栅来说, D_0 为零。这样, 衍射光栅质量的好坏, 就取决于其密度分布 $D_{\max}(x)$ 是否均匀。高质量的光栅其密度分布 $D_{\max}(x)$ 是均匀的, 即 $D_{\max}(x)$ 为常数, 因而, 相应的乳胶表面起伏高度 Δl 也是不随位置变化的常数, 通过对反射白光的傅里叶变换以及零级或一级频谱的空间滤波, 则整个光栅的各个部位在输出面上的

假彩色是单一颜色的。而一质量不好的光栅其密度分布 $D_{\max}(x)$ 是与位置坐标 x 有关的, 由 (1)、(5) 和 (6) 式可知, 此时光栅的不同位置 x 对应有不同的光谱分布曲线, 由此导致不同的部位在输出面上相应的输出颜色有所不同。因此, 可以根据光栅输出颜色的情况来判断待检验光栅质量的好坏, 并且可以根据输出的颜色定性判断出不同的颜色区对应的密度大小。

三、实验及讨论

首先介绍一下用于检验光栅的白光处理系统, 由于利用光栅的反射特性, 所以, 这一系统与一般的不同, 如图 3 所示。其中, S 为白光光源, L_1 为准直透镜, P_1 为待检测的光栅, L_2 为傅里叶变换透镜, L_3 为逆傅里叶变换透镜, P_2 为傅里叶频谱面, P_3 为输出面。

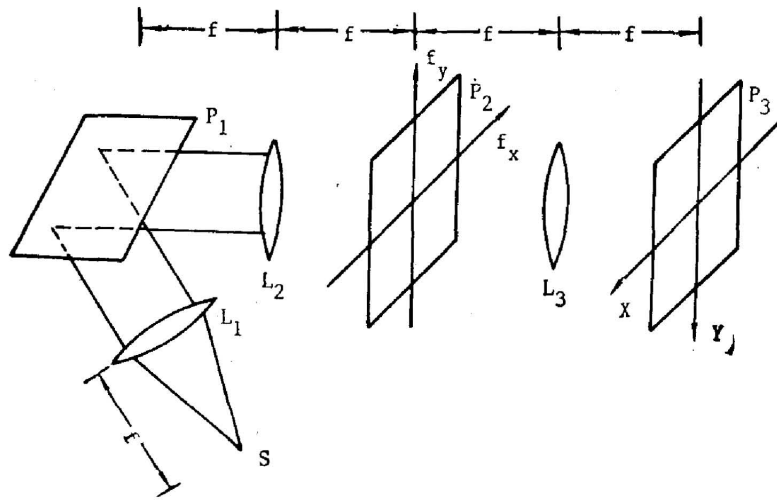


Fig. 3 The white-light processing system

实验的步骤极为简便, 首先将待检测的光栅放在 P_1 面上, 注意乳胶表面要在入射光的一边。然后, 在 P_2 频谱面上进行零级或一级滤波, 则在输出面 P_3 上观察输出颜色的情况, 即可判定待检测光栅质量的好坏。

我们分别取一块质量不高的光栅和一块高质量的光栅观察其在输出面上的颜色分布情况。图 4 是用显微密度计对这两块光栅 $D_{\max}(x)$ 的测量曲线。其中曲线 a 、 b 分别反映了低质量和高质量光栅输出面的 $D_{\max}(x)$ 的分布情况。通过对比可以看出, 光栅的质量与其输出的颜色有着密切的关系。质量较好的光栅其 $D_{\max}(x)$ 的分布平直(见图 4 中的曲线 b), 输出的颜色均匀单一。而质量不好的光栅其 $D_{\max}(x)$ 的

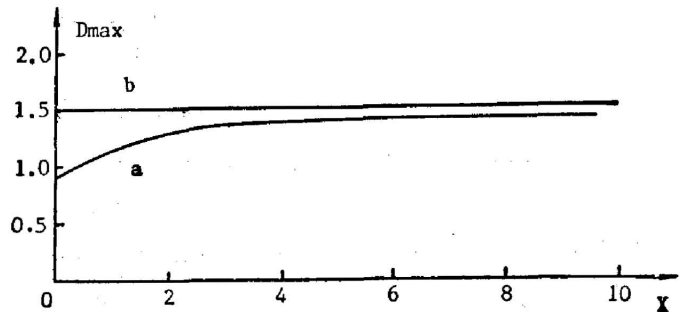


Fig. 4 The density distribution curves of the two kind of grating

分布有随位置变化的起伏(见图4中的曲线a),这种密度的起伏导致了输出颜色的不均匀,并且,可以从图4中的曲线b找到颜色与密度分布的对应关系,这样,在实际检测中,可定性地确定光栅密度的分布情况。由于人眼对颜色变化非常敏感,因而光栅密度较微小的起伏,可以很容易地通过相应颜色的变化观察到,所以,用这种方法检验光栅其精度是较高的。

以上对光栅密度分布的不均匀给输出颜色带来的影响进行了分析。但实际中影响光栅质量的因素很多,如光栅黑白条纹间隔是否一致、乳胶厚度的均匀性、卤化银分布的均匀性等都会对光栅的质量以及相应的输出颜色带来影响。由于本文是从光栅表面起伏和输出颜色来判断光栅的质量问题,所以,此方法不但可以体现光栅密度的不均匀性,而且还将使干板上其他一些不均匀性对光栅质量的影响体现出来,因此,它对光栅质量的检验是全面的。

四、结 论

通过上面的理论分析与实验结果可以看出,利用光栅的乳胶起伏可对光栅进行实时无损检验,此方法简便易行,而且灵敏度较高,是一种在实际应用中有一定价值的检测手段。本文是以 Ronchi 栅为例进行讨论的,可以证明,这种方法可用于检验其他形式的光栅。

参 考 文 献

- [1] A. Halton, F. B. Grundy; *Brit. J. Phot.*, 1896, 356.
- [2] A. K. Rigler; *J. O. S. A.*, 1965, **55**, No. 12 (Dec), 1693.
- [3] G. B. Brandt, A. K. Rigler; *Phys. Lett.*, 1967, **25A**, No. 2 (Jul), 68~69.
- [4] E. Lau *et al.*; *Optik*, 1958, **15**, 162~180.
- [5] J. H. Altman; *Phot. Sci. Eng.*, 1966, **10**, No. 3 (Mar-Apr), 156~159.
- [6] Mu Guo-guang, Ding Pei-jun, Fang Zhi-liang, «*Proc. of SPIE*», 1987, **813**, 479~480.
- [7] H. M. Smith; *J. O. S. A.*, 1968, **58**, No. 4 (Apr), 533~539.

Real-time non-destructive testing of Ronchi grating

DING PEIJUN

(Laboratory of Physics, Tianjin Medical College)

FANG ZHILIANG

(Institute of Modern Optics, Nankai University)

(Received 18 November 1987; revised 25 January 1988)

Abstract

In this paper, a real-time non-destructive method is proposed for testing grating quality in the white light processing system by using the reflective property of grating. This technique gives a high accuracy and it is easy to operate, so it has practical value in production. The theory analysis and experimental results are consistent very well.

Key words: grating quality; non-destructive testing.