

# 漂白银盐干板形成位相编码片的特性分析

康 辉

(南开大学物理系)

## 提 要

本文讨论了银盐干板经过漂白而获得位相编码片的整个过程的传递特性,说明了编码片所具有的不同位相光栅结构,并计算了由此不同结构和光源色温所决定的色度曲线。分析了胶片的非线性效应对位相光栅调制深度及编码效果的影响。

## 一、引 言

近几年来,利用漂白银盐干板获得位相编码片来实现图像假彩色化的技术已得到相当广泛的应用,也有不少文章<sup>[3,4,6]</sup>对该方法的原理作了一般性讨论,并给出实验和计算结果。如[4]是以 Ronchi 光栅结构计算了位相编码片滤波输出光的色坐标曲线,并且注意到光栅结构很不等距,但并没能分析不同结构的成因和对输出光的颜色产生的影响。文章还从色坐标曲线相交这一事实,指出该种编码法将会出现编码混乱的现象。文章[6]利用编码片输出光的强度和色坐标绘出了颜色的三维立体图,这在某种程度上已经说明,色坐标相同的颜色并不一定不能区分,但需要指出的是,这种立体图使曲线严重变形,因而并不实用,并且,它的  $z$  坐标表示输出光的强度,这与表示颜色特性之一的明度(亮度)是明显不同的。因此,本文的工作主要有: 1. 从分析胶片传递特性入手说明了编码片不同结构的成因。 2. 计算了不同类型光栅结构的透射和衍射光的色坐标和亮度分布曲线。 3. 分析了胶片的非线性效应对位相调制深度和编码效果的影响。

## 二、编码位相光栅的形成过程

位相光栅的形成分为以下两步:

1. 由曝光量到密度的传递 这首先由曝光量转换成有效曝光量,是线性传递,然后再由有效曝光量转换成密度,这是由  $H-D$  曲线描写的非线性传递。设所用光栅透过率调制为  $M_g$ , 接触曝光系统的传递函数为  $M_o$ , 底片的传递函数为  $M_f$ , 则底片接收到有效曝光量的调制度  $M_e$  应为:

$$M_e = M_g \cdot M_o \cdot M_f. \quad (1)$$

再经过  $H-D$  曲线的传递转换成密度调制。图 1 示出由曝光量到密度传递的全过程。可以看出,传递与偏置曝光量有关,且输出要发生变形。

2. 由密度到位相的传递 经过我们的测定,用 R-10 漂白液所得位相光栅是属浮雕和

折射率混合型。已经证明<sup>[2]</sup>,在确定条件下,漂白后的编码片因厚度和折射率变化所引起的位相差与黑白片的密度差近于正比关系(图2)。但是,由密度到位相,两种类型的传递空频响应则大不相同,一般情况下,密度转换成厚度变化时,空频带宽较小,且在某空间频率有转换峰值。由密度转换成折射率变化时,其空频响应带宽要大得多。

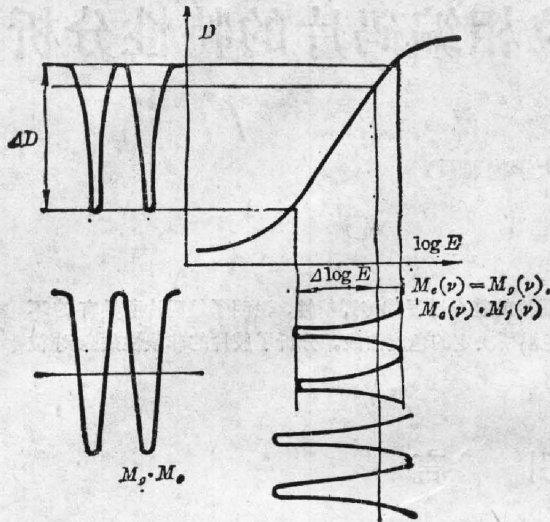


图1 按二步模型曝光量  $E$  与密度  $D$  之间的转换关系

Fig. 1 Relation between exposure  $E$  and density  $D$  according to two-step model

由密度到厚度变化时,空频带宽较小,且在某空间频率有转换峰值。由密度转换成折射率变化时,其空频响应带宽要大得多。

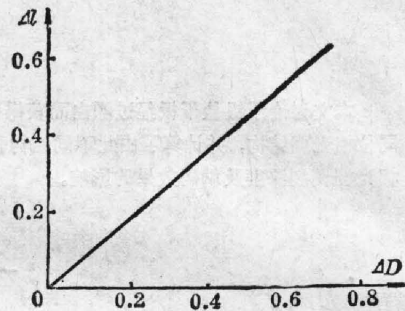


图2 密度差与光程差之间的关系

Fig. 2 Relation between density difference and optical path difference

综上所述,由曝光量到位相可分为线性传递和非线性传递过程。前者可用传递函数描写,后者用  $H-D$  曲线描写,其传递模型方块图为:



所以经过以上这种传递,输出信号形状要发生变化,若输入 Ronchi 光栅,输出则不再是 Ronchi 栅,而会呈现不同形状(如图3),这就从原理上解释了为什么位相编码片具有不同形状的光栅结构。

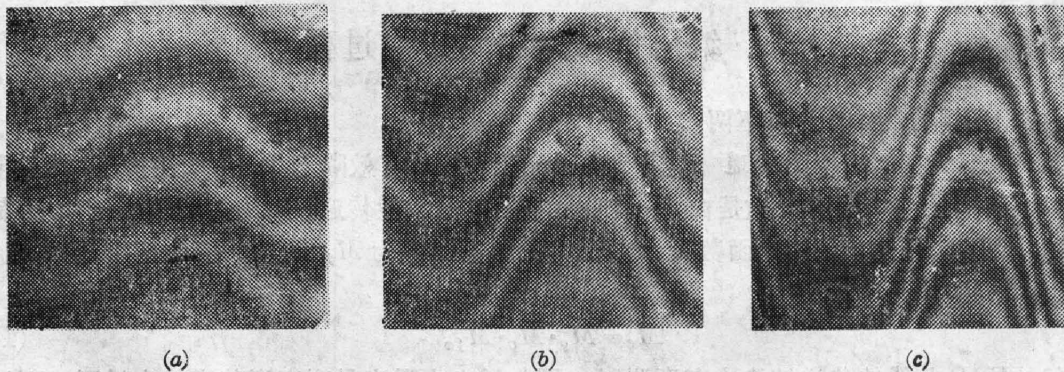


图3 位相光栅结构干涉图

Fig. 3 Interferograms of phase grating structure  
(a) Ronchi grating; (b) Sinusoidal grating;  
(c) Non-equal space grating

### 三、不同光栅结构编码片的滤波输出光的颜色和亮度

为了较为准确地描述位相编码片的输出特性,我们以不同类型光栅结构在不同光源照明下,计算了编码片透射和衍射输出光的色坐标和亮度,并绘制成图进行分析和比较。计算中,使用 CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值,照明光源为  $A$  和  $D_{65}$ 。光栅结构取 Ronchi 型 ( $b/a=0.5$ ),非等距型 ( $b/a=0.6, 0.7$ ) 和正弦型。光程差范围为  $0\sim 1600$  nm。输出级次: 0 级和 1 级。输出光的亮度随位相光栅调制深度(以光程差  $\Delta l$  表示)分布曲线,如图 4 所示。通过对计算结果的分析 and 比较可知:

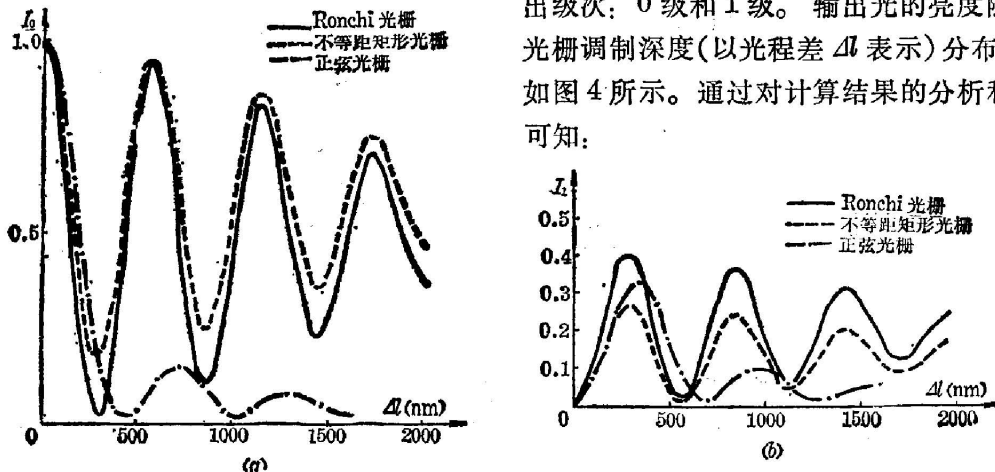


图 4 三种不同结构光栅衍射光的亮度值与光程差的关系  
(a) 零级输出; (b) 一级输出

Fig. 4 Relation between lightness value of diffraction light and OPD  $\Delta l$  for three phase grating with different structure.

(a) Zeroth order output; (b) First order output

1. 不同色温的光源对色度图的影响是很明显的,所以可以通过改变光源色温来调整输出图像的颜色。

2. 对不等距型光栅,当  $b/a$  参量不同时,其输出光的色坐标曲线很不相同。随着  $b/a$  的增大,色坐标曲线向光源色坐标点收缩,色浓度减小,色亮度起伏变化减小。通过实验发现,只有平均密度  $\bar{D}$  (对应偏置曝光量)较小时,位相光栅才近似等距。在很大的  $\bar{D}$  值范围内,光栅不等距,不同  $\bar{D}$  值对应不同幅度和  $b/a$  的光栅。

3. 当位相调制深度较小时 ( $\Delta l < 200$  nm),编码片各级输出光的颜色大体接近光源色,即黑白图像。

4. 将图 4 与文献[4]的图 4 相比较可知,亮度曲线与强度曲线随  $\Delta l$  的变化规律有明显不同。而眼睛对颜色的区分,除了颜色的色调和浓度之外,还有亮度而不是强度。所以我们说用强度、色坐标立体图表示颜色随  $\Delta l$  的变化特性是不适当的。

### 四、胶片非线性效应对光栅调制深度的影响

由第二节分析可知,在不同偏置曝光量时,由曝光量调制转换成密度调制的比例取决

于  $H-D$  曲线的斜率, 这一关系可近似由  $r(E) \sim \log E$  曲线表示。如图 5 所示, 随曝光量的增加,  $\Delta D$  和相应的  $\Delta l$  不是单调增加, 而是呈一钟型函数。所以在峰值的两侧, 必然会出现不同曝光量对应相同的  $\Delta D$  值, 因而对应相同的  $\Delta l$  值。由色度图知, 若不考虑光栅形状和结构, 这必然会造成不同的密度呈现相同的颜色。

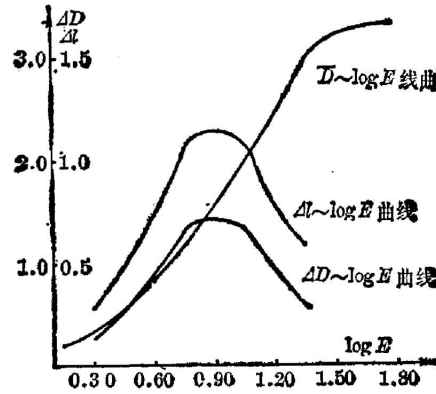


图 5 平均密度  $\bar{D}$ 、密度差  $\Delta D$  和光程差  $\Delta l$  与曝光量  $E$  的关系  
Fig. 5  $\bar{D}-\log E$  curve,  $\Delta D-\log E$  curve and  $\Delta l-\log E$  curve

由此可见, 编码中造成“重色”的可能来源有两: 一是色坐标曲线相交处, 二是钟形曲线两侧。对于前者, 通过图 4 验算色坐标相交点处的亮度差和调制度, 其值均超过眼睛的分辨阈值。对于后者, 通过第三节分析可知, 钟形曲线对称点处的光栅结构 ( $b/a$ ) 不会相同, 所以色坐标也不会完全一样。这是其一。其二是, 在实验中发现, 当曝光量太大时, 由于胶片严重非线性效应所决定的点密度扩散函数的影响, 会使图像分辨率严重丢失。所以为了不丢失细节, 必须把胶片工作区选在合适范围内 (见第五节)。我们经过大量实验工作发现, 只要最大曝光量控制在一定范围内, 图像的分辨率和彩色效果均较好, 并未发现“重色”现象。

## 五、实验中可供参改的几点意见

1. 光栅的选择 选择光栅应主要考虑: (1) 空间频率, 光栅空间频率至少要大于图像最高空间频率。对一般频带较小的图像, 可按浮雕型图像传递函数特性, 选用  $20 \sim 50$  pair lines/mm 的光栅较好。(2) 光栅调制度一般是越大越好。(3) 光栅类型的选择, 由图 4 可知, 选用 Ronchi 栅比正弦栅更有利些。

2. 曝光量的控制和平均密度  $\bar{D}$  该种编码法成功的关键在于控制合适的曝光量。在实验条件 (如光栅、干板和漂白液等) 给定后, 其正常出现彩色的条件完全由平均密度  $\bar{D}$  的范围所决定。而不同的显影液和显影时间则只影响彩色编码的灵敏度和底片可用动态范围的大小。表 1 示出全息 I 型干板, R-10 漂白液, 不同显影液的实验结果。数据中下面画直线的部分是正常呈现假彩色的区域, 其平均密度范围约在  $2.1 \sim 0.3$  之间。当  $\bar{D} < 0.3$  时, 无彩色, 当  $\bar{D} > 2.1$  时, 则会出现下面几种异常现象: 1. 灰阶界限消失; 2. 同一灰阶呈现不同颜色; 3. 颜色趋于消失, 即与  $\bar{D}$  值很小时的情况相似。由  $H-D$  曲线和  $\bar{D}-\log E$  曲线的对应关系可知, 此时已处在  $H-D$  曲线的肩部, 所以出现上述现象是自然的。图 4 示出平均密

Table 1

$\bar{D}$ 显影液	灰阶号												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$D_{76}$	2.30	2.15	2.01	1.86	1.71	1.40	1.23	1.06	0.91	0.68	0.47	0.30	0.15
$D_{19}$	3.00	2.50	2.06	1.54	1.18	0.78	0.56	0.32	0.16				
$D_8$	2.86	2.03	1.16	0.91	0.50	0.32	0.25						

度  $\bar{D}$  与对数曝光量的关系曲线, 可知, 实际工作区只是处在它的中下部分。在实际编码中, 为扩大动态范围,  $\bar{D}$  较小的无色区(一般输出为黑色)也常被使用。

本系学生赵兴俊、李铁强参加了部分工作, 在此表示致谢。

### 参 考 文 献

- [1] H. M. Smith; *Holographic Recording Material*, (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1977).
- [2] R. L. van Renesse *et al.*; *Optik*, 1973, **38**, No. 2 (Jul), 156.
- [3] 郭履容等;《光学学报》, 1984, **4**, No. 2 (Feb), 145.
- [4] 龚谦等;《光学学报》, 1984, **4**, No. 8 (Aug), 687.
- [5] 荆其诚等;《色度学》, (科学出版社, 1979).
- [6] L. R. Guo *et al.*; *ICO-13 Conference Digest*, 1984.

## Characteristics of phase encoding plates formed by bleaching silver-halide films

KANG HUI

(Department of Physics, Nankai University)

(Received 12 November 1984; revised 17 January 1985)

### Abstract

Transfer characteristics of the whole forming procedure of phase encoding gratings by bleaching silver halide films are briefly described. Different structures of encoding phase gratings are presented. We have also calculated chromaticity curves which depend on the specific structure of the phase grating and the color temperature of the source used. The nonlinear effects of the film on the phase modulation depth and encoding results are also analysed.