

光学莫尔效应在防伪技术中的应用

李树锋

(中国人民武装警察部队学院 065000)

近年来,随着全球一体化和我国改革开放事业的推进,人们的生产生活方式不断改善,但一些不和谐的因素也逐渐显露出来。比如制假造假行为日益猖獗,这给出入境管理、安全保卫以及人们正常的社会生产生活都带来了极大威胁。随着科学技术的发展,近来造假手段也不断提高,防伪工作所面临的形势日趋严峻,已经成为了当前备受关注的研究课题。在众多防伪技术手段中,光学防伪技术与人眼的视觉特征相结合,在辨别方式上具有明显的优势,属于当前主流的防伪手段。目前,许多高科技防伪技术手段主要借助特种材料和设备,虽然取得了一定的效果,但也对生产技术和加工设备提出了很高的要求,增加了防伪成本,使得这类防伪技术的推广和使用受到了限制。

利用光学莫尔效应产生的莫尔条纹设计的防伪技术由于具有可靠性高、工艺简单、成本低并难以仿制等诸多优点,成为了近年来人们研究的热点。文章重点介绍莫尔条纹防伪技术的原理及发展现状。

1. 莫尔效应与莫尔条纹

莫尔效应 (moiré effect) 最早是在 200 多年前由法国丝绸工人发现的。他们将两块薄绸子叠在一起,在

光线照射下就会产生绚丽的花纹。当时人们便称其为莫尔效应,产生的花纹就是莫尔条纹。moiré 是法文,其本意就是起波纹的。在日常生活中我们也经常能看到这种现象,比如在两层纱窗重叠时或两层帐子重叠时均可以产生莫尔条纹。

莫尔条纹的形成属于一种光学现象。当两个空间频率略有不同的光栅重叠在一起,其差频分量在空间形成的明暗相间的条纹就是莫尔条纹,图 1 给出了几种常见的莫尔条纹。

莫尔条纹的形状结构与形成它的两个光栅的样式有关,其形成过程可以通过建立数学模型来进行分析研究。简单起见,我们采用图 2 所示的平面直线形光栅模型来说明莫尔纹的形成机理。

一般形成莫尔条纹的光栅的栅距远大于光波长,属于粗光栅,其对光的衍射作用基本可以忽略,此时莫尔条纹的形成应由遮光原理来解释。

当两列粗光栅互成角度重叠时,遮光线纹交叉点附近由于线纹重叠,挡光面积小,光的透过率较高,于是该区域形成亮纹,反之则形成暗纹。图 2 中虚线所示即是莫尔条纹的亮纹。设两光栅的栅距分别是 e_1 和 e_2 ,两光栅栅线之间的夹角为 θ ,根据图 2 中的几

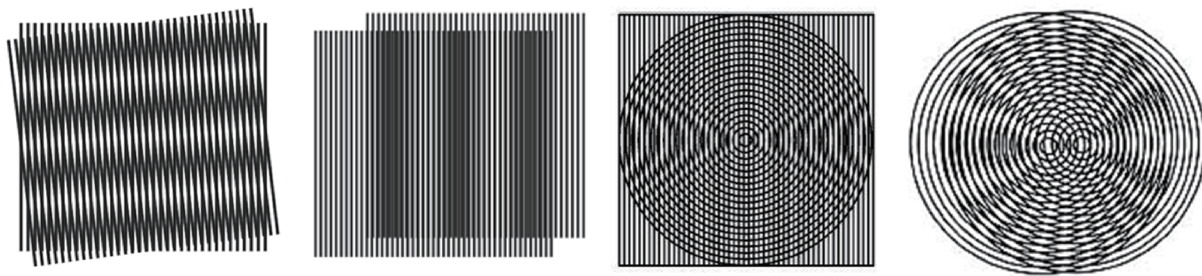


图 1 几种常见的莫尔条纹

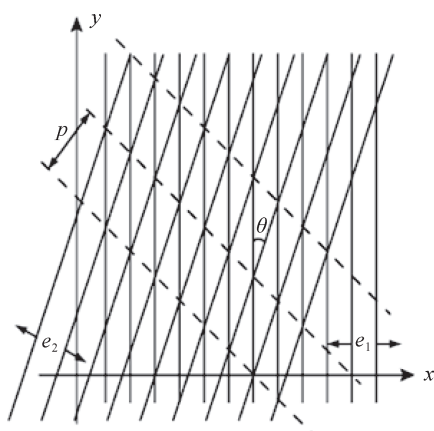


图2 莫尔条纹原理示意图

何关系,可以得到莫尔条纹的条纹间距为

$$p = \frac{e_1 e_2}{\sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1 e_2 \cos \theta}}$$

此方程也叫线性光栅莫尔条纹的光栅方程。当 $e_1 = e_2 = e$ 时,上式可简化为

$$p = \frac{e}{\sqrt{2(1 - \cos \theta)}} = \frac{e}{2 \sin(\theta/2)} = ke$$

其中 k 为放大倍率,与夹角 θ 有关,且 θ 越小, k 值越大,产生的莫尔条纹空间周期 p 越大,莫尔条纹图案也就越明显。

莫尔条纹是影响印刷效果的重要因素,在印刷过程中原本是要尽量避免的现象。但近来人们对莫尔条纹进行深入研究后发现,在特定的操作技术下,可以产生特定的莫尔条纹,从而能够起到防伪的作用。如今莫尔条纹在防伪印刷技术中已经崭露头角。

2. 莫尔条纹的防伪原理

在印刷品中,图像是由空间按一定规律排列的网点构成,彩色图像由 C、M、Y、K(青、品、黄、黑)四色通道叠印而成。单色图层则依靠调整网点大小或网点疏密来实现色调层次的变化。为简单起见,我们以单色背景图像为例,并将背景图像视为排列均匀的网点,即将其看作周期性变化的网点式光栅,此时图像只由两色构成,如果是黑白图像,则非黑即白,没有中间的灰度级,这称为半色调图像。色调多层次变化的图像其计算稍微复杂,但其防伪原理与此相同。

利用莫尔条纹开发的防伪技术,主要分两步进行,第一步是将防伪信息隐藏进预制的背景图像中去,称之为潜影。第二步利用显影光栅将隐藏的信息显现出来,称之为显影或解锁,显影光栅也称解锁光栅。

人的眼睛在明视距离 250mm 左右时,其最小分辨距离为 0.073mm。当印刷品中的网点间距小于此距离时,人眼将无法分辨,网点构成的图像就被当作了连续图像。而且,对网点的位置在此距离内进行微调时,人眼无法感知其变化,由此,通过微调部分网点的位置便可达到潜影的目的。

图 3 为利用莫尔条纹效应防伪的潜影及解锁过程示意图。将图 3(a) 中的三角形图像,通过潜影隐藏进入图 3(b) 背景图像的网点中。图 3(c) 表示潜影过程背景图像单个网点位置调整的示意图,将需要调整的网点 A 平移半个周期至 B 点或 C 点,也即使之发生 π 相位跃变。将隐藏图像区域的网点均按此规律调整位置,即完成了潜影过程。采取网点 A 平移至 B 点的方式潜影效果如图 3(d) 所示,采取网点 A 平移至 C 点的方式潜影效果如图 3(e) 所示。从图中可以看出,此时在潜影图像周围可能会出现边缘效应,即由于网点平移造成潜影图像周围出现网点空白和网点聚集,从而使潜影图像轮廓隐约显现。边缘效应会影响信息隐藏效果,这可以通过后期填补空白处过渡网点或删减聚集处多余网点将边缘进行模糊处理。潜影后,由于网点位移量较小,对图像整体而言不会产生突兀的变化,人眼几乎无法察觉到背景图像中的潜影信息。

将防伪信息隐藏进入背景图像之后,根据匹配关系制作出空间频率与原始背景图像空间频率相同的网点式解码光栅或条纹式解码光栅。当把解码光栅覆盖于潜影后的背景图像上时,就会出现特定的莫尔条纹,使隐藏信息显现出来,此即为解码过程。图 3(f) 为将与图 3(b) 一致的网点光栅覆盖于图 3(d) 上得到的显影效果图。根据遮光原理,非信息隐藏处解码光栅与背景光栅网点位置重合,属透光区域。隐藏信息处由于背景光栅网点的移动,解码光栅与背景光栅网点位置错开,属遮光区域,正常网点部位和隐藏信息部位所

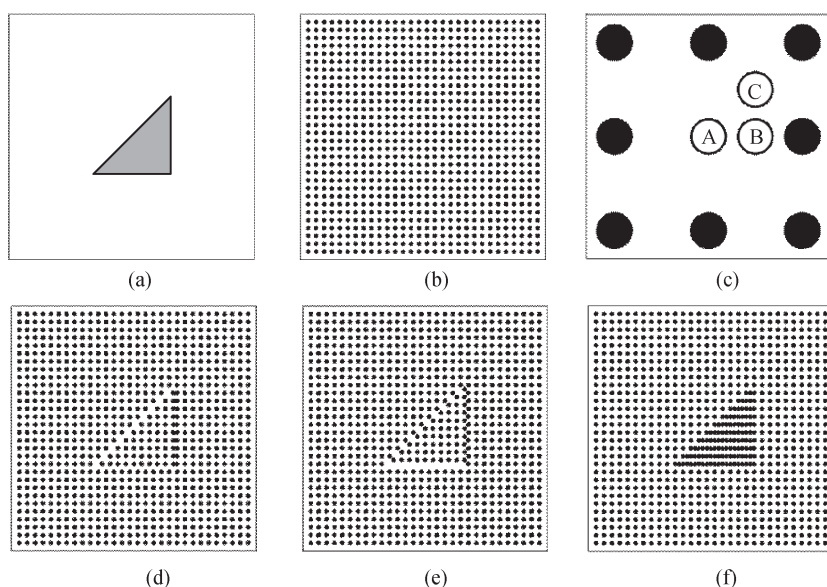


图3 利用莫尔条纹效应潜影及解锁过程示意图

产生的莫尔条纹明暗相反,背景光栅中隐藏的三角形图像信息就能清晰地再现出来。

由于图像网点空间频率很高,一般的复制设备复制时得到的只是一幅均匀的灰度图像,无法把网点及其潜像信息完整的复制下来,若用解锁光栅叠加于复制品上,将不能清晰的看到防伪标识,由此便起到了良好的防伪作用。

3. 影响莫尔条纹防伪效果的因素

莫尔条纹技术的防伪效果关键在于未解锁时的潜影隐藏效果和解锁时的潜影显现效果。这主要取决于潜影光栅的性质,与背景底图的设计及印刷工艺息息相关,包括网点的形状,网点的面积比以及网点的空间频率等。

对于网点形状,人们通过圆形网点、方形网点和菱形网点的对比,发现采用圆形网点时潜影信息的隐藏效果和再现效果均较好^①。

网点面积比是指网点覆盖面积与光栅总面积的比值。对于潜影光栅,当图像中网点面积比较高时,图像表现为深色,反之图像表现为浅色。图像的深浅对信息隐藏及再现效果都会产生一定的影响。研究发现,当潜影光栅网点百分比介于20%~60%时,信息隐藏及再现效果都较好^②。对于解锁光栅,其网点面积比

同样会影响解锁效果,研究发现^③,要达到好的解锁效果,当潜影光栅网点面积比小于50%时,潜影光栅与解锁光栅网点面积比应互补,即其和等于1。当潜影光栅网点面积比大于等于50%时,潜影光栅与解锁光栅网点面积比应相等。

网点空间频率是指单位面积内所容纳的网点个数。当网点面积比一定时,网点空间频率越高,图像越精细,反之图像越粗糙。对于莫尔条纹防伪技术,网点空间频率越高,潜影与显影效果越好^{①②}。但空间频率的增加,同时也意味着印刷难度增大和成本的上升。目前认为印刷空间频率达到170lpi(lpi表示每英寸长度上排列的网点数)时已经可以得到令人十分满意的防伪效果。

4. 莫尔条纹防伪技术应用进展

随着莫尔条纹防伪技术的研究深入,人们对该技术进行不断改进,出现了许多优化变异的莫尔条纹防伪技术,不但提升了防伪效果,其应用也越来越广泛。

在莫尔条纹防伪技术应用过程中,可以根据防伪的需要来设计双向解锁功能。由于两个相互垂直方向上的线性无关特性,可以在同一区域两个相互垂直的方向上对网点进行调制,嵌入两幅防伪标识。这样用

解锁片在一定角度上看到的是防伪信息 A, 将解锁光栅转过 90° 后看到的则是防伪信息 B, 从而摆脱了单一方向的防伪模式, 加强了防伪性能。

Hungary 等人将背景图像的网点密度调整为长周期甚至非均匀周期网点来隐藏潜像, 以获得更好的防伪效果^④。更进一步的优化是以伪随机网点代替传统的周期性网点, 并结合相位变换进行信息隐藏, 其防伪效果得到了进一步提升^⑤。

常规莫尔条纹防伪采用的是改变网点位置(相位偏移法)进行潜像置入, 为了更好的隐藏和读取防伪信息, 网点大多采用圆形或方形。新近发展的网点微结构莫尔条纹技术不再采用相位偏移方法进行加密, 而是抛开传统的简单圆形或方形网点结构, 利用微观结构更为复杂的网点直接置入隐含的信息。读取信息时则采用二维有规律分布的周期性网点进行潜影信息的提取, 达到了很好的防伪效果^⑥。此外还可以利用特定函数对网点微结构进行变形, 虽然其理论基础较复杂, 但可以大大增加防伪强度。

此外, 由于移动设备显示屏是由类似于光栅结构的像素点组成, 所以它也有类似于光栅的光学特性, 同样可以起到解锁光栅的作用。由此可以采用移动设备显示装置进行扫描成像, 无需另备显影光栅, 即能显示出防伪信息^⑦, 这在高速发展的信息化时代具有重要意义。

莫尔条纹技术在防伪领域已经得到广泛的应用, 除了采用潜影解锁过程对商标、证件、钞票等进行加印防伪标识之外, 还可以采用莫尔条纹陷阱对印刷品进行防复制防盗版处理。该方法是将周期变换的光栅置于原始文件之中, 使得文件通过复印或扫描系统进行仿造时, 即会出现强烈的莫尔条纹, 从而达到防伪的效果。

5. 结语

莫尔条纹防伪技术是一种实用有效的简便防伪方法, 在不影响原有背景设计的情况下, 巧妙地将防伪

标识融入背景之中, 形成了一种独特的隐形防伪方式。同时, 莫尔条纹技术将防伪和印刷巧妙地结合在一起, 无需增加额外的成本, 并且可以保证通过复制、扫描等操作后无法再次提取隐藏的图文信息。由此莫尔条纹技术成为了广泛实用的防伪技术之一。

但我们也要看到, 掌握莫尔条纹防伪技术的门槛并不高。如果检查人员面对的印刷品同时带有加密图像和解码光栅, 那这样的防伪就毫无意义了。随着信息时代的飞速发展, 如果解码光栅可以从唯一渠道方便获得, 类似的问题也就迎刃而解了。

在造假和防伪的不断斗争过程中, 单一的防伪技术已经不能满足日益增长的需求, 在未来的防伪打假工作中, 将莫尔效应与其他防伪技术相结合形成复合式防伪工艺, 必将成为将来的发展趋势。

- ① 钟云飞, 朱志勇, 刘春燕. 彩色印刷品莫尔纹防伪技术研究 [J]. 光学技术, 2014, 40(2):128-132.
- ② 左晓燕, 黄敏, 李敏等. 基于莫尔现象的印刷品防伪技术 [J]. 包装工程, 2016, 37(15):35-39.
- ③ 郭凌华, 陈燕, 刘国栋等. 基于网点式光栅的半色调图像防伪技术研究 [J]. 陕西科技大学学报, 2015, 33(3): 33-41.
- ④ R. L. Van. Optical Document Security [M]. Norwood, United States: Artech House, third edition, 2005.
- ⑤ S. P. McGrew. Anti-counterfeiting method and device utilizing holograms and pseudo random dot patterns [P]. Patent number: 5396559, 1995.
- ⑥ 郭凌华, 任龙飞, 刘国栋等. 基于微结构网点的信息隐藏防伪技术研究 [J]. 西安理工大学学报, 2016, 32(4):416-431.
- ⑦ 刘德发, 钟云飞, 王琼等. 基于移动设备的无须显现层的光栅防伪技术研究 [J]. 湖南包装, 2016, 31(171):49-52.

