

# 机械刻划变间距凹球面光栅的方法研究

花清印 张庆英 李永贵

(西安电讯工程学院)

**摘要:** 本文较详细地介绍了一种简单易行的机械刻划变间距凹球面光栅的方法。

## 一、引 言

凹球面光栅有两个作用: 凹球面镜成像作用及光栅分光作用。仅仅从简化光谱仪器结构来说凹球面光栅也比平面光栅系统好得多, 应当得到广泛应用。然而, 由于凹球面光栅一级像散太大, 其谱线质量远不如平面光栅系统的好。因此, 一直影响着它的有效应用。

但是, 随着科学技术的发展, 尤其是真空紫外等超短波长分光技术的发展, 凹球面光栅成了其中必不可少的分光元件。因此, 利用凹球面光栅本身的变化来消除、减小其一级像散及其他像差的问题就显得越来越突出了。自六十年代以来, 许多科学工作者先后从理论和实际刻划等方面进行了研究, 并取得了较大进展。理论工作已日臻完善。但实际刻划工作却举步艰难。在国外, 经长期努力, 有了一些进展和成果, 但技术难度太大, 造价高, 致使迄今消像差凹球面光栅难以普及应用。在此研究之前, 我国在这方面的研究基本上还是空白。因此, 立足于我国现有的光栅刻划技术基础, 尽快实现机械刻划变间距凹球面光栅就成为我们追求的目的了。

## 二、刻 划 方 法

我国光栅刻划机的控制方法多采用图 1 所示的系统。其原理如下:

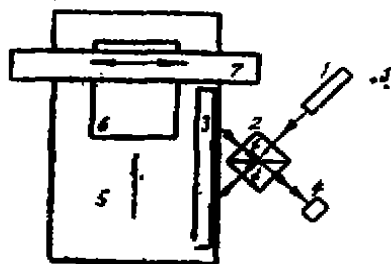


图 1

1. 普通光源; 2. 分光镜; 3. 样板光栅;  
4. 光电接收器; 5. 工作台; 6. 待刻毛坯;  
7. 刀架

普通光源的光经分光镜分成两束光均照在样板光栅上, 经衍射返回分光镜, 并在光电接收器上产生干涉条纹。当工作台带动样板光栅及待刻毛坯一起运动时, 干涉条纹会产生明暗变化, 从而光电接收器将产生变化的电信号, 此信号可控制工作台的移动, 从而将待刻毛坯刻成所需光栅。

这里的样板光栅为常间距平面光栅。

干涉条纹明暗变化一次, 工作台的位移与样板光栅间距的关系为:

$$x = d/2m \quad (1)$$

其中： $x$  一个条纹工作台的位移量

$d$  样板光栅间距

$m$  衍射级次

从(1)式可看出：信号变化一次，工作台的位移仅与样板光栅间距及光的衍射级次有关。

以这样的控制系统为基础，经过反复研究实验，在不做大改动前提下，我们设计了只改换常间距平面样板光栅为变间距平面样板光栅的方案。变间距平面样板光栅可用全息干涉法获得。这样的方案是否存在什么问题呢？

首先，方案是否可行取决于干涉条纹变化一次，其工作台的位移与样板光栅间距是否有关系，是否会随光栅间距的变化而变化。经过简单推导可得到：

$$x = 1/ \left( \frac{m_1}{d_1} + \frac{m_2}{d_2} \right) \quad (2)$$

其中： $d_1$ 、 $m_1$ 为第一束光所照射到的光栅间距及衍射级次， $d_2$ 、 $m_2$ 为第二束光所照射到的光栅间距及衍射级次。在变间距样板光栅的情况下， $d_1$ 与 $d_2$ 不相同且时刻在变化。

如果，所选择的衍射级次相同，且等于1则(2)式变为：

$$x = d_2 / (1 + d_2/d_1) \quad (3)$$

(3)式告诉我们：干涉条纹每变化一次，工作台的位移仍仅为样板光栅间距的函数，而且随着光栅间距的变化而变化。由此可以看出此方案是可行的。

但实验却表明这样只改换样板光栅的方案有许多不足，主要有三种情况：

(1).因样板光栅间距是变化的，所以 $d_2/d_1$ 也是不断变化的。由(3)式可以看出：单改换样板光栅所刻出光栅的间距与样板光栅间距的大小及变化规律不同。(2).我们知道光栅的衍射规律为：

$$\sin \alpha + \sin \beta = m\lambda/d \quad (4)$$

其中： $\alpha$ 、 $\beta$ 分别为光的入射角和衍射角， $\lambda$ 为入射光波长， $m$ 为衍射级次， $d$ 为光栅间距。

由此可知：当 $\alpha$ 、 $m$ 、 $\lambda$ 不变时，衍射光的衍射角 $\beta$ 随着光栅间距的变化而变化。也就是说衍射光的方向在不断地变化，所以光电接收器是不能在固定位置上接收光信号，必随之移动。(3).将(4)式稍做变化有：

$$\beta = \arcsin \left( \frac{m\lambda}{d} - \sin \alpha \right) \quad (4)$$

即 $\beta$ 与 $d$ 为非线性关系。因此，当两束衍射光在初始时可将干涉条纹调成良好状态。但当工作台有一段位移后，两束光所照射到的光栅间距都发生了变化，即使两处间距的变化量相同，两束光衍射角的变化量也是不相等的。这就意味着两束衍射光的相对位置要发生变化。其干涉状态必然发生变化，也就无法再控制刻划了。例如，开始时，可使干涉场中只有一个干涉条纹，但走过一段位移后，干涉场中就会出现多个干涉条纹，从而失去控制。

总之，实验表明单改换样板光栅的方案实际上是难以实施的。

为了解决这些问题，我们研究提出了图2所示的方案。它根本上解决了上述三个问题。它与前述方案相比主要有四点不同：光源为激光光源；变间距样板光栅为双样板光栅；光电

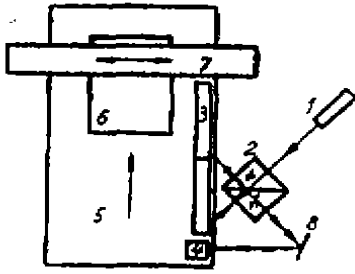


图 2

1. 激光器 2. 分光镜 3. 样板光栅 4. 光电接收器  
5. 工作台 6. 待刻毛坯 7. 刀架 8. 反光镜

就可使 (3) 式中  $d_2/d_1$  之值恒定为 1。这样刻出的光栅其间距变化规律就与样板光栅的完全一样。同时也完全消除了干涉状态变化的因素，因为  $d_1$  与  $d_2$  总相同，两束衍射光的衍射角总相等，干涉条纹一经调定自始至终保持不变，和常间距样板光栅一样。

(3) 将光电接收器放置在刻划工作台上随之一同运动，以跟踪接收移动的光信号，省去了专门设计制造一套精密跟踪台的工作。

(4) 增加一平面反射镜以调整光束方向及移动速度，使之与工作台的移动速度及方向保持一致。

经过这样的改进，方案就切实可行了。

### 三、刻划结果

在上述设计思想的指导下，我们用激光全息干涉及复制的方法制得了平面变间距光栅，并将两块并列粘结在一起作样板光栅，在长春光机所 4 号光栅刻划机上刻制了机械刻划平面变间距光栅。测量所刻光栅和样板光栅的间距变化情况，其结果如图 3 所示。

从结果可以看出方法是成功的，所刻划光栅间距与样板光栅间距的大小、变化规律几乎完全一样。

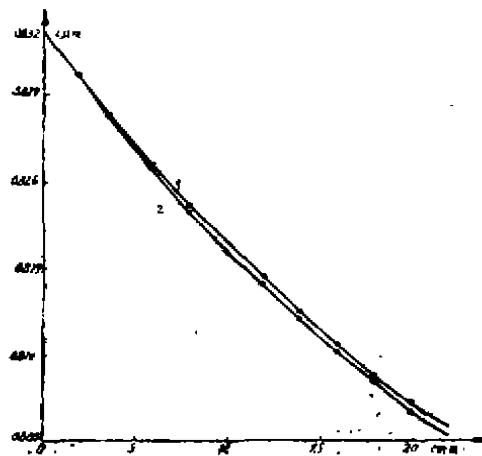


图 3 光栅间距测量实验曲线

1—曲线为全息光栅间距；2—曲线为机刻光栅间距

## 四、结 论

实验表明这是一个行之有效的变间距刻划方法。它简单易行，可刻划多种间距大小及多种变化规律的变间距光栅。它是我国尽快实现机械刻划变间距消像散凹球面光栅的有效途径。

本文工作得到了长春光机所十八室的大力支持，实验中得到了沈虹、张秀兰同志的大力协助，在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] B.Gale, Opt. Acta, 13 p41(1966).
- [2] 梁浩明, 庄巍, 张庆英, 杨厚民; 光学学报, 1981, 1, No. 1, p51.

## A Study of Mechanically Rulling Concave Gratings with Variable Spaces

Hua Qingyin Zhang Qingying Li Yonggui

### Abstract

In this paper a feasible method is introduced for rulling concave gratings with variable spaces.