

## 国内衍射光栅刻划机概况

梁 浩 明

**摘要:** 本文介绍了目前国内已制成的衍射光栅刻划机的概况, 同时也介绍了它们所刻光栅的质量。国内刻机有机械型、光电型及间歇刻划、连续刻划方式。在正常刻划的刻机共有15台。所刻光栅最大面积到 $150 \times 180 \text{mm}^2$ , 刻线密度从50到2400线/mm。

### 国内衍射光栅刻划机概况

我国衍射光栅的刻制工作是从1958年开始的。那时, 中国科学院长春光学精密机械研究所开始设计一台衍射光栅刻划机。相隔一年左右, 北京光学仪器厂和上海光学仪器厂也开始设计制造衍射光栅刻划机。1975年, 北京第二光学仪器厂又制成一台刻机。此后上海分析仪器厂、苏州267厂、天津光学仪器厂、贵阳新天光学仪器厂、沈阳仪器仪表工艺研究所先后制造了刻机, 并在1980年陆续刻出光栅。以下根据我了解到的情况, 依次加以介绍。

### 长 春 光 机 所

现有四台衍射光栅刻划机在工作。它们是小型光栅刻划机、中型光栅刻划机、间歇光电光栅刻划机和连续光电光栅刻划机。有关这四台机器的基本情况, 已登在“光学学报”1981年第1期上, 不再重述。本文仅作一些增补。

1982年, 我们在小型光刻机上增设了刻制凹面光栅的机构, 可刻制凹面光栅。有两套机构, 第一套机构用以刻典型的罗兰型光栅(图1上), 即待刻光栅坯作间歇移动, 刻刀往复刻线, 形成弦上等分的凹面光栅。此种光栅象差较大。又因刻划到前、中、后部时, 刻刀的压痕有变化, 形成表面可见的微弱的环形阴影。第二套机构是一套试验性机构(图1下), 准备刻制一种新型凹面光栅。刻划时待刻光栅毛坯固定不动, 刻刀既作往复刻线运动, 又作分度移动。为此刀桥导轨装在滑座上, 随滑座作分度运动, 可由棘轮付的附加机构实现不等分, 同时刀桥又沿此导轨作往复刻线运动, 于是形成弦上不等分, 刻槽为不同椭圆形的凹面光栅, 有消象差的作用。又由于刻槽定向面的法线会聚于毛坯球表面中心, 有利于集光效率的提高, 并能消除阴影圈。显然上述机构的刻刀是装在一套摆动机构上。

长春光机所的四台光栅刻划机所刻母光栅质量, 与国外同类刻机产品相同, 即集光效率60~93%, 分辨本领70~100%, 罗兰鬼线0.2~0.005%, 例如表1及图2。

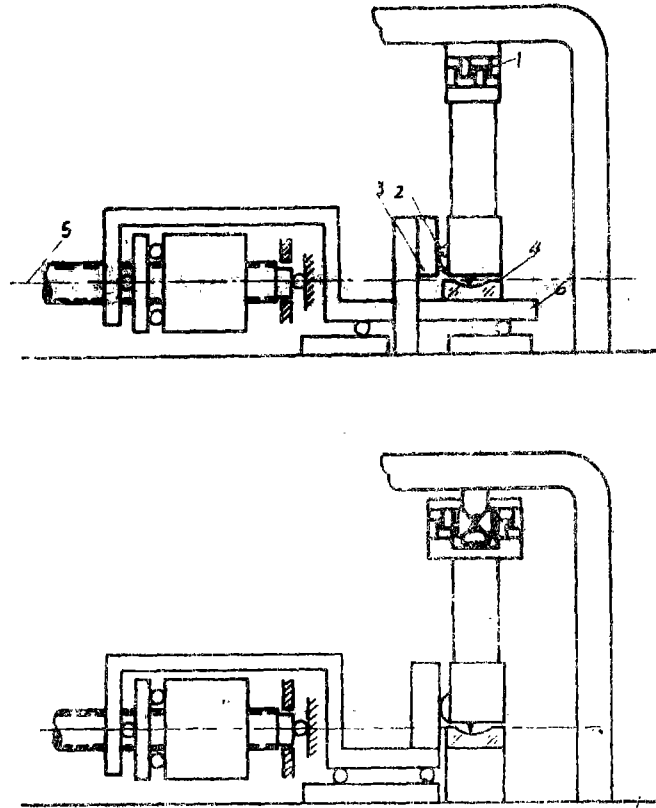


图1 凹面光栅刻划机构(上、下)

表1 长春光机所光栅主要质量举例

光栅机	光栅号	刻划面积 (mm <sup>2</sup> )	刻线密度 (槽/mm)	集光效率(%)									分辨本领					
				级次	波长 Å								级次	(万)				
					6438	5461	5085	4358	3650	3132	2537	2138						
小型	18505	50×50	300	3	50	73	64											
	18301	50×50	600	1		70		83	63						1			2.7
	18503	40×40	1200	1	62	67	81	82							1			4.6
中型	28468	60×60	50		16.5μm	94												
	28431	25×25	100		10μm	95												
	28411	130×70	150		10.6μm	86												
	28413	50×50	300		4μm	86												
间歇光电	38301	50×50	600			59		74	69						1			2.6
	38006	50×50	1200			80		65	28						1			5.4
	38508	64×64	1200		22	33	43	46	57	70	78	63			1			7.3
	38509	40×40	2400			38		43	46	60	74	52			1			7.8
连续光电	48405	63×63	600	6	4765Å	75	E//								6			10.5
	48001	55×45	1800	1	62	69	68	78	55						1			7.4
	48504	55×55	1200	1	59	71	79	85							1			5.0

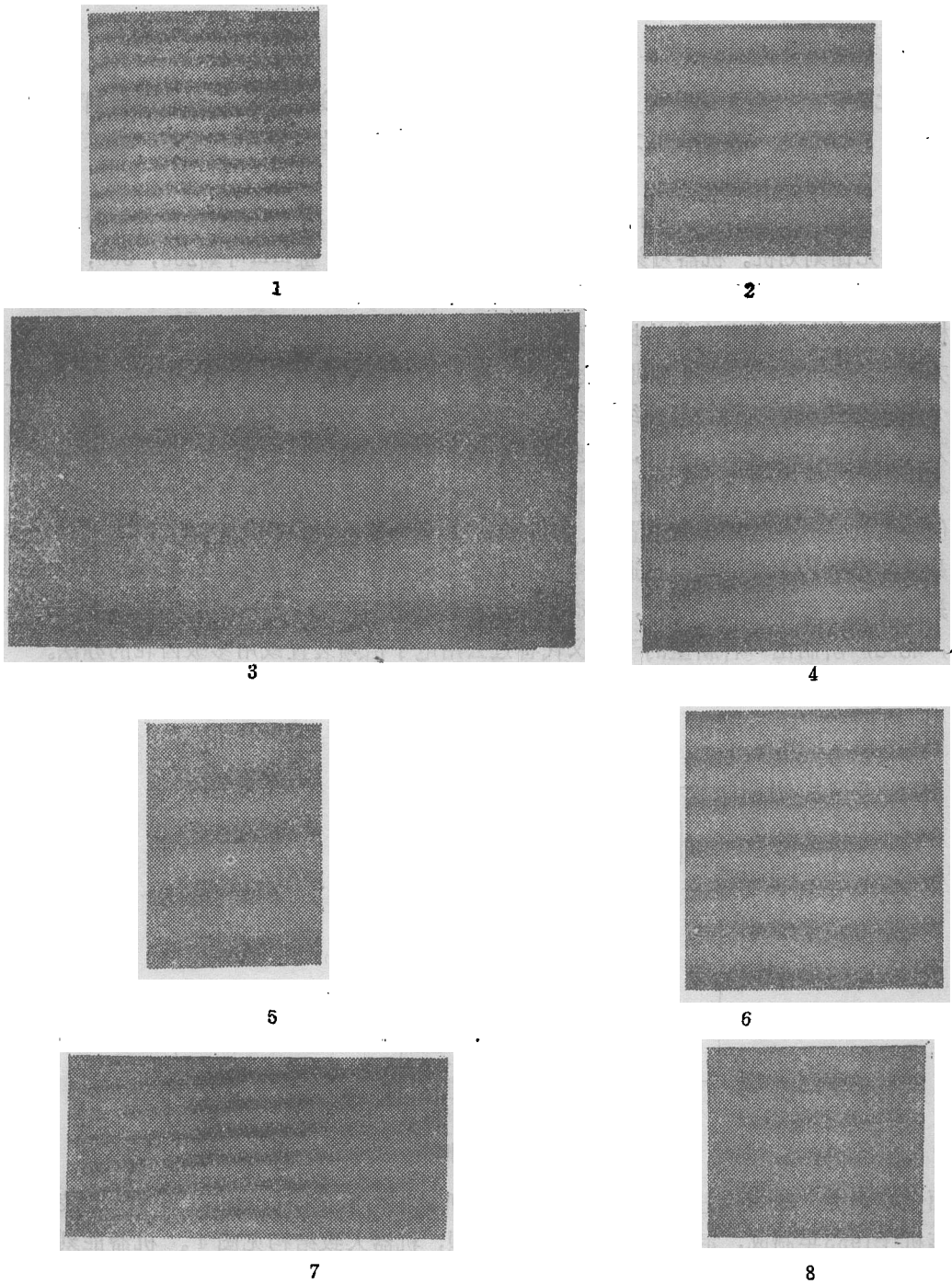


图2 长春光机所光栅衍射波面干涉图举例:

1. 小型刻机18504号,  $40 \times 40 - 1200$ , 一级。
2. 中型刻机285016号,  $40 \times 40 - 100$ , 一级。
3. 中型刻机285013号,  $100 \times 100 - 300$ , 一级。
4. 间歇光电机38501号,  $55 \times 55 - 1200$ , 一级。
5. 间歇光电机38503号,  $40 \times 40 - 2400$ , 一级。
6. 连续光电机48501号,  $50 \times 50 - 600$ , 二级。
7. 连续光电机48403号,  $70 \times 30 - 1800$ , 一级。
8. 连续光电机48408号,  $63 \times 36 - 600$ , 五级。

### 北京光学仪器厂

1959年北光厂在一台长刻度机上作局部改进，尽量提高精度，探索是否能达到刻制衍射光栅的程度。在进行过一系列试验之后，认为新做刻机比较适当。现在，北光厂有二台刻机在工作。

PSP-15 光栅刻划机：北光厂于六十年代选用长春光机所中型光刻机，整理齐全份图纸，制成 PSP-15光栅刻划机。机器可刻光栅面积为 $150 \times 150\text{mm}^2$ ，每mm可刻200, 300, 600, 1200槽。机器的刻划方式与长春光机所中型刻机相同。于1970年开始生产光栅。其后改进为光电刻机，采用氦氛稳频激光作为机器的分度基准，用光电管接收干涉仪的干涉条纹讯号，用数控方式控制带动分度蜗杆的伺服马达进行间歇分度，图3示其方框图。主控电机1通过变速器2带动刻划机构8作往复直线运动，正行程时刻刀落到光栅毛坯表面进行刻划，反行程时刻刀抬高光栅毛坯表面。这时，变速器2给控制电路3发出分度指令，驱动马达4根据分度指令，驱使直线步进马达5按预定的分度动作带动放光栅坯7的工作台6进行分度，激光干涉仪9及其光电接收和记数装置10、11、12、13对工作台的位移进行测量。当工作台移动一个刻线间距时，主控计数器13通过控制电路3发出停止分度的指令，工作台停止分度。这时，刻线机构反行程结束，于是，开始了下一个刻划周期。为了使所刻光栅的常数为m制的整数，北光厂研制出一种新型的干涉仪代替过去用电子倍频装置或用多级齿轮的办法。

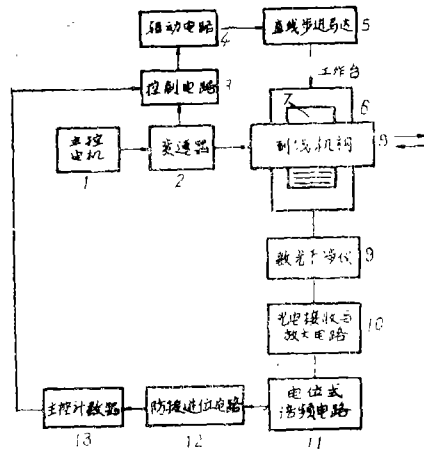


图3 间歇刻划方框图

凹面光栅刻机：1966年上光厂向瑞典买来一台机械型衍射光栅刻划机，买来后安装在北光厂。该机于1953年制成，定名为M·西格班GⅢ型，机器大致结构见图4。机器能刻平面及凹面光栅，最大刻划面积到 $150 \times 50\text{mm}^2$ ，每mm刻线288, 576, 1152条，机器的分度系统用蜗轮付、螺丝付结构，刻线系统用双摆架结构，另有修正机构保持凹面光栅刻线等长。机器刻划每mm576槽光栅时一级罗兰鬼线相对强度为0.2%到0.05%，约有40%到60%的光栅一级实测分辨本领为理论值的60%以上。由于这是一台机械刻机，也比较旧，所刻光栅精度不高，但因能刻凹面光栅，常用它来刻凹面光栅以供国内所需。1972年北光厂与清华大学合作对机器改进，增加光电控制系统，用氦氛激光器作为分度基准，提高了机器的精度，并把刻线密度提高到每mm1800条。

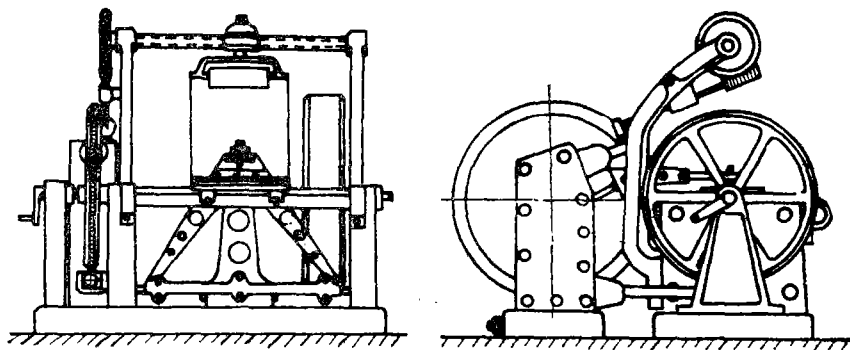


图4 凹面光栅刻划机结构示意图

北光厂于1980年刻成每 mm2528 槽的平面光栅。1981年研制成红外光栅系列产品。1983年研制成功应用于实验力学的衍射光栅。1984年研制成应用于分子激光器的凹面红外光栅。目前北光厂刻划光栅产品刻线密度有每mm1800, 1264, 1200, 632, 600, 400, 300, 200, 180, 150, 120, 100, 75, 60, 50 槽, 闪耀波长范围从300nm到15 $\mu$ m。刻划凹面光栅产品刻线密度有每mm1800, 1200槽。

北光厂尚在试制一台不用丝杆传动的刻机。

## 上海光学仪器厂及上海光学研究所

现有四台刻机。第一台是1959年开始设计, 仿照苏联 ГОИ 的式样, 用双丝杆、双层台的结构。双丝杆上下布置, 相距约100mm, 用开口螺母, 调节至无间隙。丝杆螺距1.25mm 蜗轮750齿, 可刻光栅最宽到200mm。丝杆两端套上滚珠轴承用平衡重减重。蜗杆两端均用顶尖定位。用拨盘拨动使之转动。蜗杆座安置在一块滚动滑块上。校正凸轮则固定在分度蜗轮上, 通过杠杆与与滑块相联系。用指示灯显示蜗杆的运动状态, 并可用来计数。双层台的基台用滚动摩擦付, 并用油浮重, 4g力即可推动。刻桥承重导轨用钢, 配合的滑动块是半径为1 km的红宝石球面。导向用愈苍木对玻璃导轨。该厂早期产品均由这台刻机刻出。

第二、三台刻机是间歇光电刻机。参照长春光机所的间歇光电刻机设计约于1975年制成, 近年产品多从这两台刻机刻出。

第四台为长度计量光栅刻划机, 可刻光栅宽到500mm, 线长到60mm, 每mm可刻500、200、125、100、50 线, 并能刻制振幅型光栅。

上光产品有近紫外、可见和红外光栅。

## 北京第二光学仪器厂

北二光的衍射光栅刻划机(图5)是参照长春光机所的间歇光电刻机设计, 由长春光机所和北京光学公司协助于1975年制成, 可刻光栅面积为80 $\times$ 80mm<sup>2</sup>, 刻线每mm50到1200槽。这是一台间歇光电刻机, 装在工作台上的衍射光栅尺为工作台的计量基准, 由光栅干涉仪产

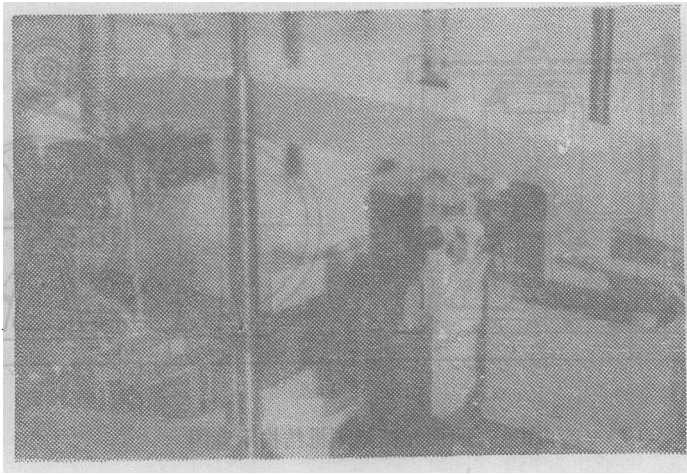


图5 北二光的衍射光栅刻划机

生的干涉条纹作为数控讯号来控制驱动分度蜗杆的离合器和制动器，使工作作均匀的分度。刻完一条槽后，通过凸轮触动回零开关，松开制动器，吸上离合器，作下一条槽的分度。刻刀此时在抬刀空回行程。当刻刀将结束空回行程时，工作台的分度运动已完成，工作台静止不动，等待刻刀落下来在光栅上刻一条槽。该机使用了特殊的摩擦付，如接触分度丝杆轴颈的V形轴承的四个支承面用红宝石，推动刻桥的滑块用两根聚四氟乙稀圆棒为摩擦材料，刻桥封闭机构用滚珠轴承等。分度部份所用丝杆中径75mm，螺距1.5mm，工作台用滑动摩擦付、导轨一平一V形，刻桥用五点定位。

机器的减振基础比较特殊，是采用吊簧结构（图6）的一个小基础，包括机器在内总重

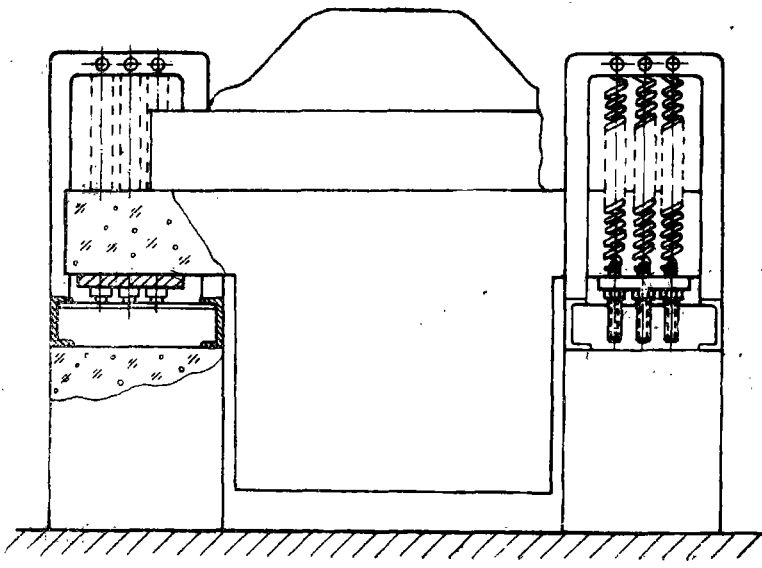


图6 北二光光栅机的吊簧减振基础结构示意图

仅约3200kg，用12根拉簧分四组将此基础吊起来，所用弹簧是北京弹簧厂的库存产品，其参数为  $d8$ ， $D_{op}37$ ， $i35$ ，经实测弹簧刚度为  $2.52 \text{ kg/mm}$ 。使用时弹簧伸长约111mm，经测定基础的自振频率在垂直方向为1.5Hz，水平方向为0.77Hz，阻尼衰减系数分别为0.18和0.09，基础虽距厂内主干道仅约15m，完全可以正常刻划从每mm30槽到1200槽的光栅。

## 上海分析仪器厂

上分厂于七十年代末期制成一台可刻宽至200mm的机械型刻机（图7），机构与长春光机所中型刻机相同，机件加工精细，性能很好，已刻出包括宽波段红外光栅在内的一系列优质红外光栅，刻槽有每mm50、60、100、150、300、600槽等。

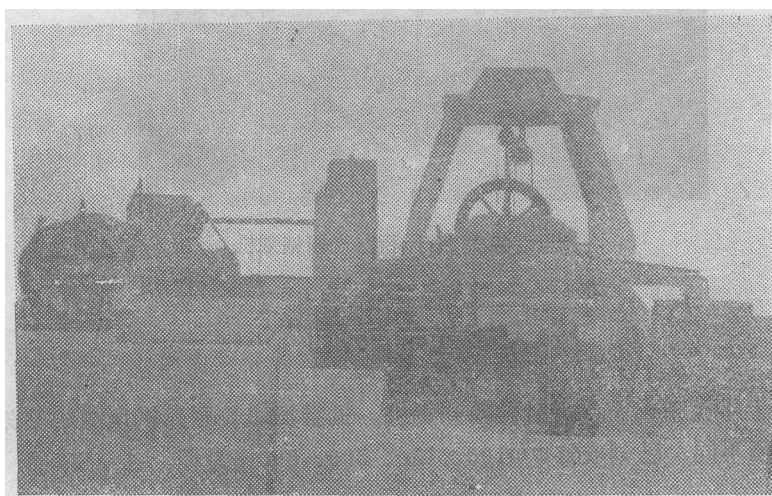
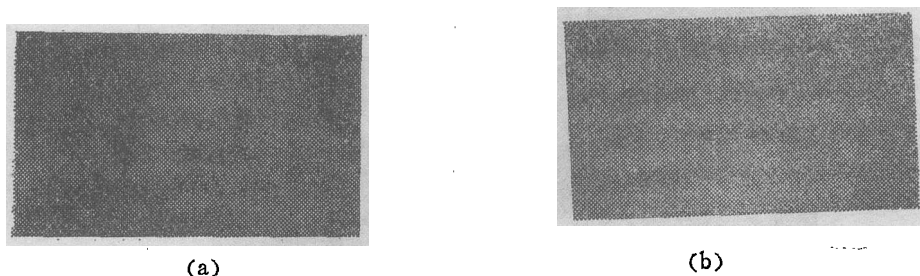


图7 上海分析仪器厂衍射光栅刻划机

## 新天光学仪器厂

1980年制成光电控制衍射光栅刻划机一台，可刻宽度到130mm，刻机的分度基准为衍射光栅尺，与长春光机所连续光电刻机相仿。其刻划讯号则由4等分遮光码盘产生，两路相差反馈到驱动工作台的力矩马达而使之减消。所刻每mm1200槽光栅平均集光效率为60~70%，实际分辨本领达理论值的70~80%。所刻光栅干涉条纹例如图8。



(a)

(b)

图8 新天光栅干涉条纹图

a. 1200槽/mm

b. 600槽/mm

## 苏州 267 厂

苏州267厂衍射光栅刻划机是参照长春光机所中型刻机制成的一台机械型刻机，可刻光栅宽到170mm，刻槽从每mm100到1200槽，机器外形示如图9。

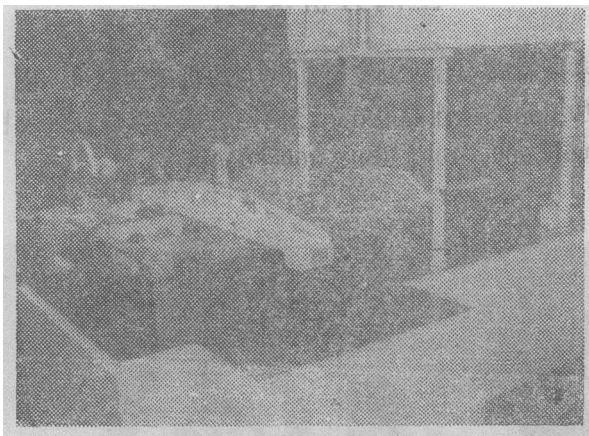


图9 苏州267厂衍射光栅刻划机

## 天津光学仪器厂

天光厂于七十年代制成一台衍射光栅刻划机，机器类似长春光机所的中型刻机，但在导轨、减重等处有所不同，已刻成每mm100、150、300、600槽光栅。

## 沈阳仪器仪表工艺研究所

沈工所于1976到1982年曾研制过一台刻划面积可到  $200 \times 200 \text{mm}^2$  的衍射光栅刻划机(图10) 机器考虑用电子计算机控制，示意如图11，以控制机为核心，接受刻桥的刻线讯号、往

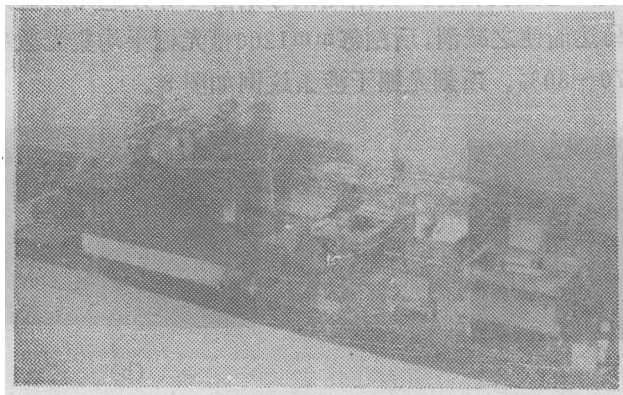


图10 沈工所衍射光栅刻划机

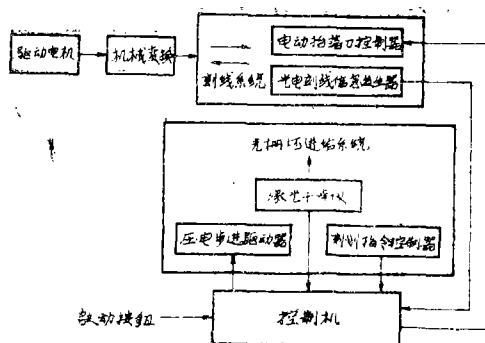


图11 沈工所衍射光栅刻划机系统讯号图

复讯号、刻槽始终讯号。根据进给系统的几个信息、综合、计算、输出刻划所需的全部指令，也可刻制变间距光栅，实现刻制过程的全自动。曾做了刻划等距光栅的试验，所刻每mm632槽光栅的干涉条纹例如图12。1982年后该项工作已停。

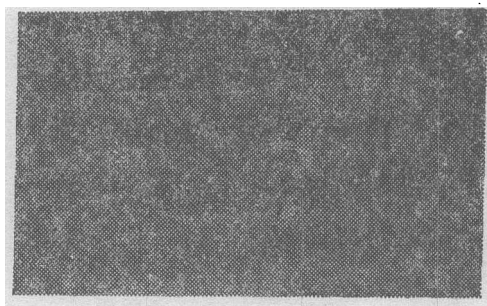


图12 沈工所100×60mm²每mm632槽光栅的干涉条纹

综上所述，可见我国已在正常刻划的衍射光栅刻划机共有15台，其中光电型为8台，机械型为7台，类型齐全，性能良好。除缺少大光刻机外，我国刻机数量较国外任何一个国家都多。而且，据了解目前正在研制的刻机尚有5台。

#### 参 考 文 献

- [1] 梁浩明等;《光学学报》,1981, 1, No.1 (Jan), 51.
- [2] 庄夔等;《光学机械》,1983, 4, 29.
- [3] 吴振华等;《北光通讯》,1980, 1, 2.
- [4] 郭厚林;《北光通讯》,1973, 3, 9.
- [5] 北京光学仪器厂光栅研究室等;《实验力学中应用的衍射光栅》,1983, 3.
- [6] 北京光学仪器厂;《应用于分子激光器的凹面红外光栅》,1984, 12.
- [7] 上海光学仪器研究所光栅室;《长度计量光栅刻划机与刻划技术》,1983, 5.
- [8] 王国华等;《红外光栅试制报告》,1980, 9.
- [9] 梁浩明;《分析仪器》,1980, 4, 47.

## Diffraction Grating Ruling Engines in China

Liang Haoming

### Abstract

All diffraction grating ruling engines have been manufactured in China so far and the spectrum qualities of diffraction gratings ruled by them are introduced in this paper. Either mechanical or photoelectric type, stop-start or continuous operate form also have been adopted in the construction of them. Total engines in normal operated reaches to a number of 15. The maximum ruled area is  $150 \times 180 \text{mm}^2$  and the range of ruled densities is from 50 to 2400 *grooves/mm*.