

# 环形浮动抛光法加工高精度平面

裴庆魁 于海涛 付连元 宋荣琴

## 一、引 言

环形浮动抛光法（或称连续抛光）是加工高精度光学平面的一种好方法。它是在古典式抛光法改进成摆架式分离器和蟹钳式分离器基础上完善起来比较理想的一种高精度平面抛光方法。采用这种方法可以加工高精度的平面、棱镜和多面体等。

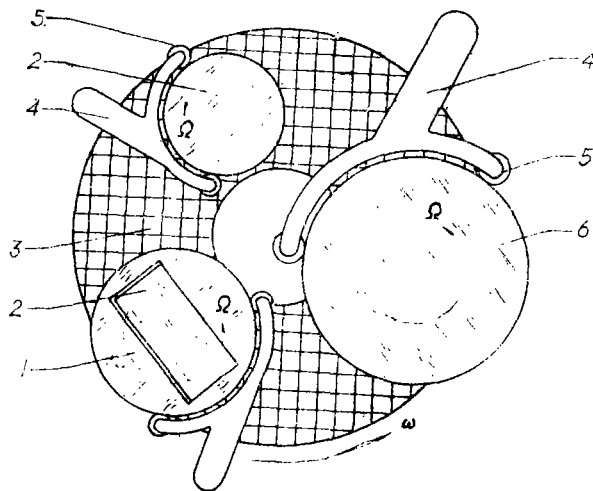


图 1 环形抛光机工作原理示意图

- 1 分离板 2 被抛光工件 3 沥青抛光盘（口径 $\phi 1.1\text{m}$ ）  
4 限位支架 5 限位滚轮 6 校正板

图 1 示出了 1.1m 环形抛光机工作原理。抛光机采用直流电机无级调速，通过皮带轮和蜗轮蜗杆变速带动主轴上的沥青抛光盘旋转，转速为 0~4rpm；沥青抛光盘上的校正板、分离板及工件由相对抛光盘可调偏心的限位支架上的滚轮限位，工作时靠摩擦力使抛光盘带动校正板、分离板和工件做浮动同向旋转运动，达到抛光目的。图 2 示出了 1.1m 环形浮动抛光法加工高精度平面工作情况。

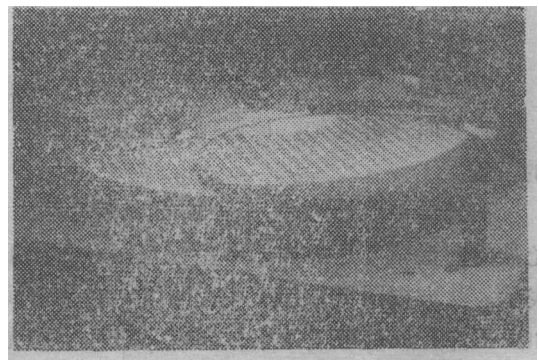


图 2 1.1m 口径环形浮动抛光机工作状态图

## 二、工艺方法分析

从普雷斯頓 (Preston) 的光学表面成型理论的假设可知, 磨去玻璃层的厚度(去除量)由下式表示:

$$h_i = A \int_0^T P_i V_i dt$$

- 式中  $h_i$ ——玻璃  $i$  点的去除量  
 $A$ ——与加工过程有关的参数  
 $P_i$ —— $i$  点的瞬时压力  
 $V_i$ —— $i$  点的相对瞬时速度  
 $T$ ——工件的加工时间

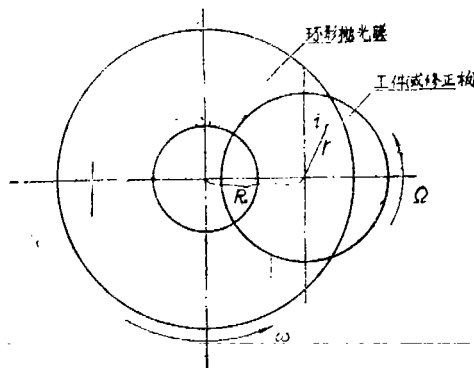


图3 盘面运动分析图

在平面加工中,  $P_i = \text{常数}$

对于环形抛光盘膜面上任意点  $i$  上的速度

$$V_{\text{盘}} = \omega (R_0 + r)$$

工件自转形成点  $i$  的速度为:

$$V_{\text{工件}} = \Omega \times r$$

环形抛光盘与工件的相对速度

$$V_i = \omega R_0 + r (\omega - \Omega)$$

当  $\omega = \Omega$  时  $V_i = \text{常数}$

(符号代表的意义, 见图1所示)

所以在一定的工艺条件下  $h_i$  为常量, 从而可以获得均匀磨损条件。

从上面分析可知, 控制抛光盘膜面的均匀磨损, 保证抛光盘面形的稳定, 是环形抛光法的关键。

在光学平面加工中, 工件的面形精度是由抛光盘的面形精度决定的。在环形抛光中环形抛光盘的面形精度是靠加工中用校正板不断修正来达到的。它的简单工作原理由图4的方框图表示。从方框图可知加工中影响因素是多方面的, 但基本上是靠校正板修正抛光盘, 用抛光盘加工工件, 反过来工件或分离板又破坏了抛光盘的面形精度, 抛光盘也影响了校正板的修正, 再用校正板修整抛光盘保证加工, 从而形成了修整——加工——破坏——再修正的闭环控制, 达到保证抛光盘平整及加工高精度平面的目的。

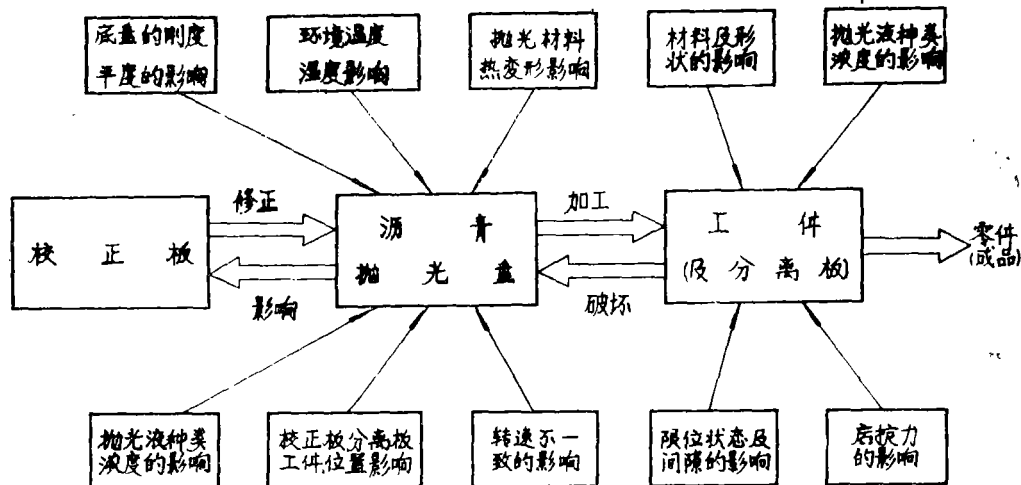


图4 环形浮动抛光原理方框图

从运动学角度看，校正板修正抛光盘的好坏和它相对运动的路径有关。环形抛光中校正板在抛光盘上的相对运动路径，是以校正板的中心为圆心，校正板中心到抛光盘中心的距离（偏心距）为轨迹圆半径，以校正板直径为圆的连续滚动圆轨迹。图5为口径1.1m抛光盘、 $\phi$ 为600mm、偏心距为375mm的连续滚动圆轨迹图形。

从连续滚动圆轨迹在抛光盘上轨迹线的分布情况反映了抛光盘上各点的磨削情况。从轨迹线图看出校正板在抛光盘中心和盘外区的过密轨迹区直接影响着抛光盘的均匀磨削和面形，而这两部份恰好被抛光盘所去掉。为此环形抛光盘促进了抛光盘、校正板、分离板及工件的均匀磨削。经实践表明沥青抛光膜中心控掉区直径为抛光盘直径的1/3左右为宜。这就是环形抛光与其它几种分离器相比较容易得到高精度面形的重要手段之一。

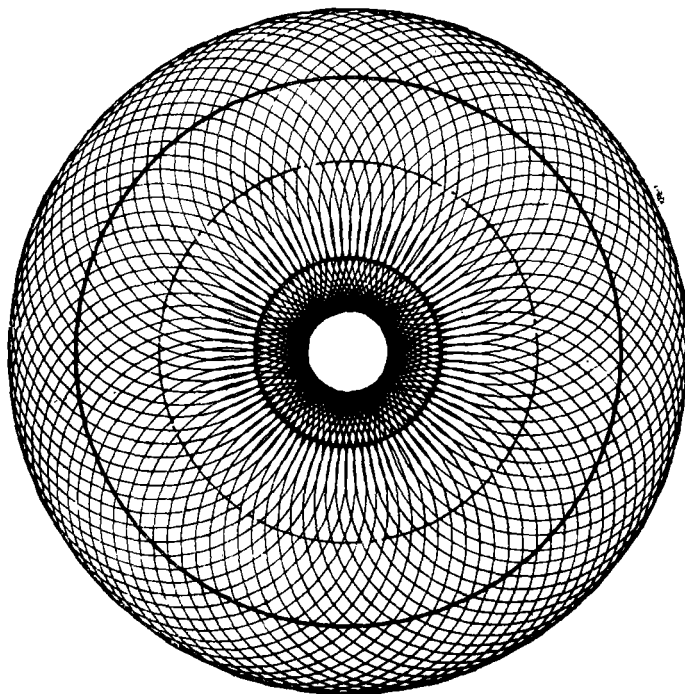


图5 校正板在抛光盘上连续滚动轨迹图形

从运动学角度出发, 趋于均匀磨削的条件是抛光盘、校正板、分离板及工件同向旋转, 各自的角速度均匀, 转动、角速度趋于相等。

另一方面, 环形抛光法实际上是用大抛光盘加工小工件, 可设想是从抛光盘一样大小的加工工件中取其一部分。由于表面面形质量的光圈数与加工工件直径的平方成正比,

$$\text{即: } \frac{N_1}{N_2} = \frac{\phi_1^2}{\phi_2^2} \quad \therefore N_1 = \frac{\phi_1^2}{\phi_2^2} N_2$$

式中:  $N_1$ ——直径为  $\phi_1$  的平面表面光圈数

$N_2$ ——直径为  $\phi_2$  的抛光盘光圈数

如  $\phi_1 = 250\text{mm}$ ,  $\phi_2 = 1000\text{mm}$ ,  $N_2 = 1$

$$\text{则: } N_1 = \frac{250^2}{1000^2} \times 1 = 0.0625$$

所以用大抛光盘制造小光学零件可以大大的提高面形精度。这就是目前环形抛光机越做越大的原因之一。

大口径平面的高精度是指  $\lambda/10$  以上精度的面形要求, 如果环形抛光前的预抛光面形精度为  $\lambda/2$ , 那么用环形抛光从  $\lambda/2$  达到  $\lambda/10$  (或者更高) 表面精度, 抛光的去除量最多也只不过是  $1/3\mu\text{m}$  左右。为此难点不在  $1/3\mu\text{m}$  去除量的效率, 关键在去除量的精度控制, 这是环形抛光关键工艺所在。

下边略谈加工中材料及热变形的影响。

由于光学玻璃本身内部温度的微量变化对表面面形的影响有如下关系:

$$\Delta x = \frac{\phi^2 \cdot \alpha \cdot \Delta t}{8d}$$

式中,  $\Delta x$ ——被抛光表面面形的微量变化

$\alpha$ ——工件材料的线膨胀系数

$\Delta t$ ——工件上下表面的温度梯度差

$\phi$ ——工件的直径

从上式可知表面变形量与口径平方、材料的线膨胀系数、上下表面的温度梯度差成正比, 而与工件的厚度成反比。为要减少加工中热变形的影响, 必须选用线膨胀系数小的材料, 如熔石英、微晶玻璃、 $K_4$  等。为减少加工工件上下表面的温度梯度差, 最积极的办法是加工中工件不产生热量, 减少抛光中磨削产生的热量。例如对  $K_4$  玻璃, 直径  $200\text{mm}$ 、厚度  $d = 30\text{mm}$ 、 $\Delta t = 0.1^\circ\text{C}$  时,  $\Delta x = 0.12\mu\text{m}$ 。这个变形是可观的。为此要保证工件精度就必须降低的原因就在于此。环形抛光中精加工转速一般  $1\text{rpm}$  左右。同时要注意材料厚度比, 通常  $d/\phi = 1/5 \sim 1/10$  为宜; 材料本身也要注意应力双折射尽可能的好, 一般选  $C-1$  以上。

### 三、沥青抛光盘的制作与修正

磨制高精度平面, 要求抛光盘本身能长期保持面形的稳定规整, 这是选用抛光盘的依据。

对沥青抛光盘底盘基面的要求,

材料的机械支撑刚度和稳定性好、底盘基面平整。为此要选用线膨胀系数小、内部应力小的材料, 可选用花岗石、精密退火的铸铁或铸铝等。在  $1.1\text{m}$  环形抛光机中, 我们选用了经

过精密退火的HT20—40，盘面平度在 $5\mu\text{m}$ 以内。

对抛光膜的要求：

膜面形状稳定，抛光效率高。可选用沥青胶或聚四氟乙烯塑料。在1.1m环形抛光机中，我们选用玉门三号光学沥青加福建特级松香，比例为1:2，然后加入6%的聚四氟乙烯塑料粉混合制成。这样制得的抛光胶耐老化，热稳定性、韧性好，变形小，易吸附抛光液，提高了抛光效率。

抛光膜具体制作工艺：

1. 把按比例配好的沥青松香胶加热到 $80^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{C}$ ，将塑料粉逐渐加入并搅拌均匀(注意不要用火过急以防塑料粉烧焦)。

2. 把胶倒入加温到 $65^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 的铸铁盘上，靠胶的余热自行摊平，胶层厚 $8\sim 10\text{mm}$ 为宜，冷却硬化后开沟槽。

3. 用与抛光盘直径差不多的铝盘做整平研磨，研磨时加稀肥皂水润滑。整平后把中心按抛光盘直径 $1/3$ 的圆挖掉，并重新修正沟槽。

4. 用校正板精确修正胶盘。在1.1m环抛机上，我们先后用 $\phi 700\text{mm}$ 、 $\phi 600\text{mm}$ 、 $\phi 500\text{mm}$ 三种直径的校正板修正抛光膜面形。经实践，修正表面用 $\phi 600\text{mm}$ 校正板容易控制抛光膜面形，修正效果也好。修正过程中靠调整限位支架及滚轮位置来调正抛光盘和校正板之间的偏心距，以达到控制抛光膜面形的凸凹变化。但偏心距变化量调整不宜过大，以防抛光膜面形无规则的变化。

## 四、加工实例

我们采用1.1m环形抛光机先后加工了大量常规加工难以解决的关键工艺件。如：

1. 泰曼干涉仪标准参考面，尺寸 $180\times 180\text{mm}$   $N = \lambda/30$   $\Delta N = \lambda/30$
2.  $\phi 525\text{mm}$ 保护玻璃反修，平行度 $20''$ ，弥散圆 $0.02\text{mm}$
3.  $410\times 290\text{mm}$ 长方反射镜  $N = \lambda/10$   $\Delta N = \lambda/10$
4.  $108\times 108\text{mm}$ 标准反射镜  $N = \lambda/40$   $\Delta N = \lambda/40$
5.  $\phi 235$ 平面标准镜， $N = \lambda/20$   $\Delta N = \lambda/20$
6.  $350\times 155\text{mm}$ 平行平板，两个面  $N = \lambda/6$   $\Delta N = \lambda/6$  等光程  $N = \lambda/6$   $\Delta N = \lambda/6$  等等。

## 五、加工中应注意的几个问题

### 1. 零件的塌边

零件塌边的原因是多方面的。如抛光膜面形不规则造成工件和胶膜吻合不好，胶膜沟槽深浅、宽窄不合适，分离板内孔与端面不垂直，分离板与工件间隙过大，胶膜表面老化，限位支架滚轮转动不舒服，工件偏心距不合适进而得不到均匀磨削，都将造成零件塌边。

### 2. 工作室温度、湿度控制要严

最佳温度应控制在 $21^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，湿度在 $65\sim 70\%$ 为宜，并保证在24小时内恒温恒湿。

3. 抛光膜表面要始终保持湿润，采用喷雾法或用毛刷蘸水刷洗。

4. 定期更新抛光膜的新生面，以保证抛光效率。