

$$\begin{aligned}\Delta d &= \frac{\Delta C \times \phi}{r} \\ &= \frac{0.325 \times 15}{130} \\ &= 0.0375 \text{毫米}\end{aligned}$$

即当抛光以后零件等厚差控制在 0.0375 毫米以内，再进行一次磨边定心，达到设计要求。

五、结束语：

我们介绍的磨边余量经验计算，也指出了透镜的几种加工方法，这是我们的经验总结，如有不当之处请批评指正。

高精度光学平面的磨制

王宝林 景玉华 赵义

前 言

随着科学技术的发展，特别是激光技术、微电子学技术和空间技术的发展，对高精度光学零件需求越来越大、精度要求越来越高。其精度要求，磨制方法及检测手段、已成为光学冷加工行业所关注的一个重要课题。

近几年来，我们先后磨制了 $\phi 50$ 毫米、 $\phi 100$ 毫米、 $\phi 150$ 毫米等不同口径的光学标准平板，其精度可稳定在 $\frac{1}{30}\lambda \sim \frac{1}{40}\lambda$ 。本文介绍 $\phi 150$ 毫米标准板的磨制。

磨制方法

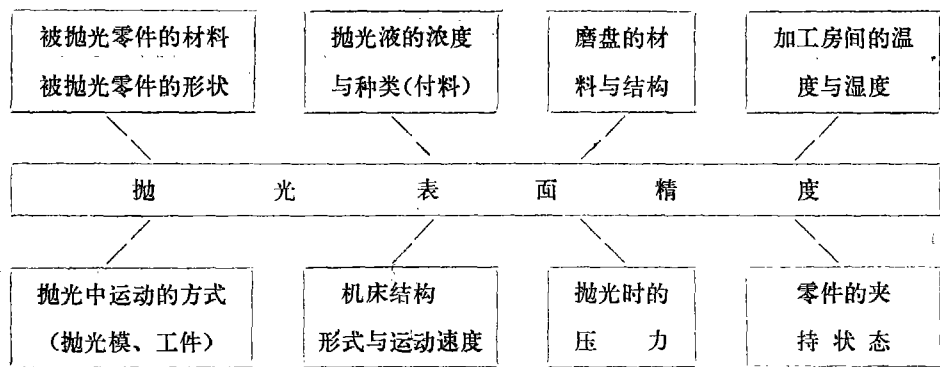
通常的磨制方法大都是依靠老工人的熟练技术和经验在旧式研磨抛光机上，通过精心调整各种加工条件来实现的。但也只能达到 $\frac{1}{20}\lambda$ 的水平。这显然对实现高精度加工是不够的。

如何改变这一状态，达到高精度加工，这就必须从影响光学表面加工精度的主要因素入手进行分析，以寻求一合适的磨制方法。影响光学零件表面加工精度的因素很多，概括起来不外乎如下方框图所示：

针对上述影响之诸因素，我们对现行抛光方法采取了必要的改进。

一、对机床的要求与改进

磨制高精度零件用机床应是低转速、无震动（微量震动），其机床主轴精度要高，主轴与摆轴能单独驱动并可连续调速，马达与驱动机构应同主机相分离。为此需要一台具有双偏心摆、转速低、口径大、精度高并备有特殊抛光附件的新型抛光机床。为有利于保证主轴精度，主轴端面支承以采用大轴承环的结构方式为佳。为此，我们磨制 $\phi 150$ 毫米光学标准平板



是利用φ800抛光机进行必要的改装来实现的。

我们将原机床的定转速主轴改变为直流马达驱动的低转速连续调速。改装后的主轴转速由原来15转/分降至0.5转~4转/分；我们加工中使用的转速范围是0.5转~2转/分。并在摆架部分增加了浮动式抛光机构，即由限位支架、限位卡子、限位滚轮与修正盘组成。经改装后的机床便于实现连续浮动式加工，创造了磨制零件上各点等行程磨耗及均匀加压的条件。以利于获得好的平面性。

二、零件的材料选择

为获得高精度的加工零件，选择合适的材料做为磨制高精度零件是很关键的一环。一般制造高精度的标准板均要求膨胀系数小，导热率和扬氏模量要高，而内应力（双折射）要小，对光性一般要求不高。通常选用熔石英玻璃、派勒克司玻璃、K₄及微晶玻璃。

以膨胀系数而言，因为加工中被加工工件与磨盘之间总要有磨擦热产生。而此种热量必定要引起被加工件本身上下两表面温度的差异（温度梯度），从而导致表面面形精度的微量变化。当我们以Δx表示被抛光件表面面形的微量变化时有：

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

式中：

α——零件材料的线膨胀系数；

φ——零件的口径；

Δt——温度变化量；

d——零件本身的厚度。

以φ50毫米零件为例，以BaK₇与熔石英材料作比较，当上下表面温度差从0.1℃~1℃时，Δx的变化量列于下表：

由此可见，选择α小的熔石英材料对获得高精度零件是非常有利的。但也必须注意口径与厚度之比，尽可能选择厚一点的为宜，但也不能过厚。我们采用的比例是1：5。

对于材料应力同样也必须严格挑选，因为它的存在会引起加工中或加工后零件表面面形随时间推移而慢慢变坏，严重的影响零件的面形精度。因此在磨制前对零件材料的内应力要进行认真检验，尽量选择应力小的材料。我们所用材料的内应力，按我所的标准为三级。应力图形如图1。

三、胶盘的平整

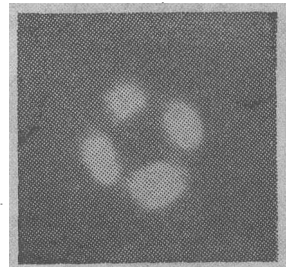


图 1

材 料	α	d	$\Delta t^{\circ}\text{C}$		
			0.1	0.5	1
BaK ₇	6.5×10^{-7}	5	$0.041 (\frac{1}{12}\lambda)$	$0.205 (\frac{2}{5}\lambda)$	$0.41 (\frac{4}{5}\lambda)$
		10	$0.0205 (\frac{1}{25}\lambda)$	$0.102 (\frac{1}{5}\lambda)$	$0.205 (\frac{2}{5}\lambda)$
熔石英	2.1×10^{-7}	5	$0.0013 (\frac{1}{384}\lambda)$	$0.0065 (\frac{1}{77}\lambda)$	$0.013 (\frac{1}{38}\lambda)$
		10	$0.0006 (\frac{1}{833}\lambda)$	$0.0032 (\frac{1}{156}\lambda)$	$0.0065 (\frac{1}{77}\lambda)$

磨制高精度平面，要求制出一面形平整的胶盘，并能长期保持其面形不变，对玻璃有好的磨削能力。为此对胶盘的制做与修正非常关键。在国外，目前普遍采用低膨胀系数玻璃，如派勒克斯玻璃、硅硼玻璃 (Duram 50) 等做基底的聚四氟乙烯抛光盘。该种抛光盘不是在使用中修正，而是在使用前整平，一经平整后，磨盘 (胶盘) 能保持相当长的时间面形不变。据有关资料报导，可连续使用一年以上，很适于高精度平面加工，我们因条件尚不具备，还未深入地开展此项工作。我们仍采用沥青胶盘，由于沥青胶盘随加工条件：室温、压力、磨擦热变化等因素的影响引起复杂变化，导致胶盘面形不易控制和长时间放置面形难以保持的毛病。因此，随时平整好胶盘就更为重要。

制做一个好的胶盘，首先对胶盘基底要有一定的要求。我们用的是铝合金基底盘 (若用零膨胀系数玻璃做基底更好)。直径800毫米，厚度为85毫米，背面有均布的加强筋。基底盘的表面要很好地研磨，我们研磨的表面不平度为1微米，相当于4个光圈。然后用沥青采用通常的办法上胶。此时基底盘一定要调平，以保证一个好的胶平面。所用沥青胶的硬度视加工季节与室内温度而定。我们当时 (7~9月份) 用的胶是柏油与松香之比为1:2.5。基底盘上胶后，待胶盘还有一定温度时就可以放到抛光机上进行初修平，此时不要加抛光粉，只加肥皂水即可。当胶盘基本上全磨到后，即可将胶盘开成深而宽的沟槽，并将其胶盘中心部分挖去 $\phi 120 \sim \phi 150$ 毫米的圆盘。以消除圆盘中心部位边缘线速度等于零或接近于零的状况，使工件在磨制时相对线速度趋于相等。然后用大块平玻璃加适量抛光粉对胶盘进行修正，直到把胶盘修到比较理想的平度状态。在胶盘修正过程中不宜停机过长，以防胶盘搁盘

中变形。修正胶盘的工作状态如图2。在修正过程中要随时根据胶盘的变化情况调正转速与摆幅大小。胶盘修正的好坏可通过看修正玻璃的面形来判断，只有在胶盘修正好后，才能放入工件。千万不要急于放件。否则不仅不会加快磨制进度反而会破坏工件的初始面形精度和胶盘的修正精度。由于沥青胶盘保持面形精度的稳定性能较差，因此在放入工件后也要时时监视胶盘的变化情况。在加工过程中，注意调正修正盘的位置来随时修正胶盘的面形。要抓住胶盘的有利工作点进行磨制，一旦错过时机

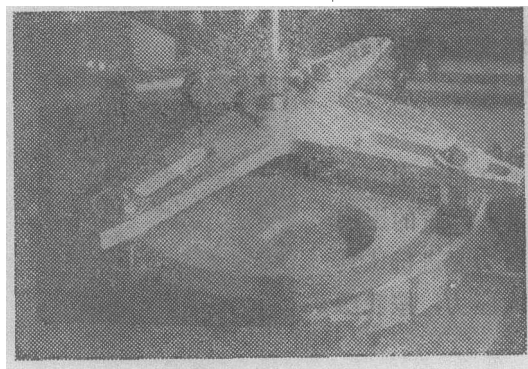


图 2

就应取下工件，再进行短时间的修正胶盘。

四、抛光方法

我们的磨制方式是浮动式护环抛光法（即连续抛光法）。该种抛光法的主要优点是：

1. 工件在不受任何外力状态下进行磨制，下盘后没有因外力作用引起的变形问题；
 2. 修正盘、护环、工件与胶盘之间有相互修磨的作用，调正方便，便于实现高精度加工；
 3. 可以在不停机的状态下取下工件和放入工件，易于实现连续加工；
 4. 用修正盘和护环取代了分离器，但保持了分离器的良好作用。同时创造了磨损均匀的条件。并当工件尺寸与形状改变时，不需要更换高精度平面分离器，只需改变护环就可以了；
 5. 胶盘裸露在外边、易散热、易于实现自动加抛光剂和水。
- 磨制时的工作状态如图3(1)和图3(2)，所示：

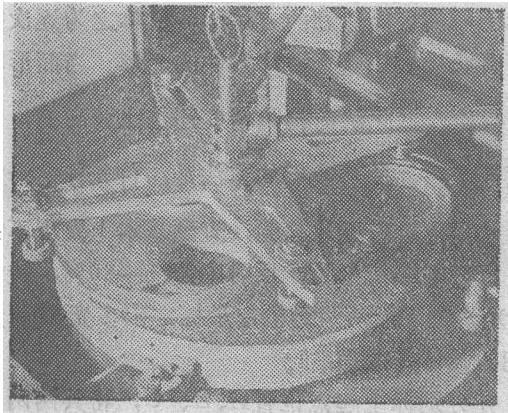


图 3 (1)

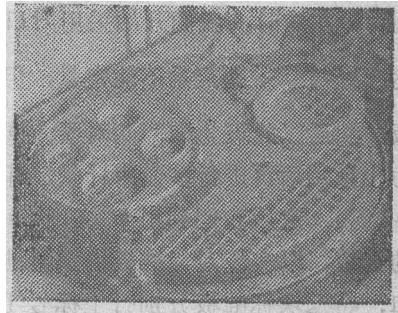


图 3 (2)

主轴带动胶盘慢速旋转、修正盘在限位支架（相对胶盘是不动的）的滚轮作用下自身在自由旋转。平稳地、不断地修正着胶盘。而工件随同护环在限位卡子的滚轮处自由转动。无论修正盘还是工件均在自重作用下做均匀的旋转，从而有利于胶盘的修正和工件的磨制。图3(2)是磨制单一工件的情况，当然也可以同时磨制二个工件。不仅可磨平面也可修棱镜及改角度，这也是不同于古典法加工的显著特点之一。

我们采用此法磨制高精度平面取得了进展。但在磨制中有几个问题是值得注意的：

1. 限位滚轮要尽量靠近胶盘磨制表面，以减小对护环的倾斜力矩（此种力矩影响会导致工件表面出现局部差和塌边）。

2. 在磨制过程中，根据工件表面面形状况要随时调正，改变修正盘与工件的相对位置，以保持胶盘表面的良好平面性。一旦发现工件表面面形变坏或长时间没有好转的趋向时应及时将工件取下。用修正盘单独摆动或调正修正盘位置的情况下修正胶盘，以使胶盘本身具有好的平面性，之后将摆停掉，按前法继续磨制。

3. 磨制过程中抛光粉的浓度要适当，酸硷度以中性为佳。当加入新的抛光粉时不要马上放件，待研磨一段时间后再将件放上。特别是在工件趋于好转时更应注意，少加或不加抛光粉。而适当地加进经过在室温内放置好的清水，以保持胶盘的湿润性和均匀冷却。一般我们是一天加1~2次磨料。

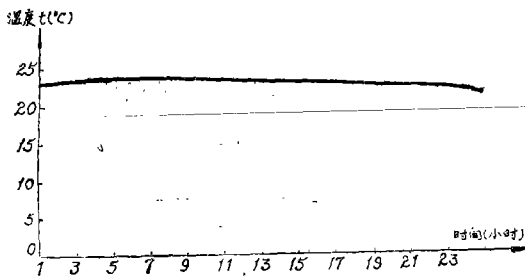


图4 磨制中温度变化曲线

毫米为佳。磨制中防止护环偷停与反转。

4. 磨制时应严格控制房间的温度与清洁程度，我们磨制中的温度是在 $23^{\circ}\text{C} \sim 24^{\circ}\text{C}$ 之间变化。温度变化曲线如图4所示：

从温度变化曲线可以看出，从9点30分开始到20点温度基本上是恒定的。我们一般也是在此时间对工件进行加工，其余时不放工件，仅对胶盘进行修正。

5. 要注意消除磨制零件的塌边现象。合理地选取工件与护环之间的间隙量，以 $3 \sim 4$

检 验 方 法

我们所用的检测方法立足于现阶段一般光学工厂都可能达到的方法。我们称之为逐次提高逼近的方法。即在磨制的初始阶段，我们是用普通样板法检查被修零件的面形。当面形精度达到 $\frac{1}{15}\lambda$ 左右时，我们开始采用刀口阴影法进行检查（此法的检验精度还是比较高的，一般可达 $\frac{1}{20}\lambda \sim \frac{1}{50}\lambda$ 。缺点是不能定量，但检验精度还是可靠的）。我们的方法是：首先标定一块基准板，然后以此板为准两两对看。同时用刀口及星点进行逐块检验，直到基本上发现不出毛病为止，然后再进行多光束计量。即将三块平板分别镀析光膜，反射率为 $75 \sim 80\%$ ，透过率 $25 \sim 20\%$ 。之后我们利用 $\phi 300$ 干涉仪的准直光路将平板两两对检定定量标定出多光束干涉条纹的数值，以实现标准板的定量测定。我们的具体作法是：

1. 将三块标准板分别打上标号 I、II、III，并分别标上起点位置 A、B、C，将其两两组合成三次。即 I—II；I—III；II—III。严格保证起点位置重合。即 A—B、A—C、B—C 在互检时相重合。

2. 每次组合时，分别测四个方向的干涉条纹，即从起点位置开始每隔 45° 测一次。测量时条纹应与沿 45° 的直径方向相垂直，并每次的条纹数相等（我们取4条），条纹间隔尽量相等，并将各次之干涉图拍成底片，共12张，如图五所示。



图 5(1)

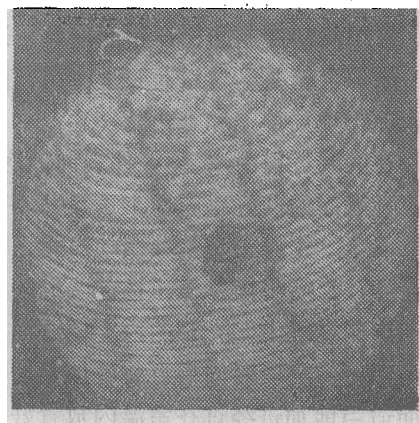


图 5(2)



图 5(3)

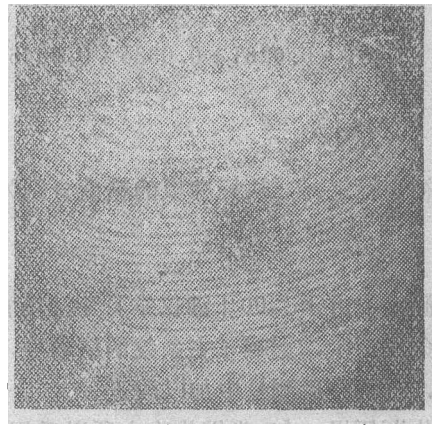


图 5(4)

图 5(1)——图 5(4)为 I—II 组合后四个位置干涉图，另两组干涉图从略。

3. 将 12 张干涉图底片分别在万能工具显微镜上进行计量，测出对应点的数值，然后解三元一次联立方程组，取其沿某一直径方向上最大高低点误差值来表征该平面的表面不平度误差。这将比只取一方向位置进行标定要准确得多。标定点的方向越密，越能反应面形精度情况。但一般来讲，取四个方向基本上还是可以的（我们采用的是最大误差点来表征其面形精度，而目前多采用均方根误差来表征。此精度将更高）。

标定计算后的综合数据如下：

第一块标准板

1—A (原点位置)	0.0087	-0.0203	0.0120
1—45°	0.0086	-0.0096	0.0028
1—90°	-0.0387	-0.0113	0.0499
1—135°	0.0328	-0.0020	-0.0283

$$\Delta_{\text{最大}} = 0.0499 + 0.0387 = 0.0886 \approx \frac{1}{11.3}$$

$$\text{即 } \frac{1}{22.5} \lambda, \text{ 近似为 } \frac{1}{20} \lambda$$

第二块标准板

II—B (原点位置)	0.0311	-0.0047	-0.0260
II—45°	0.0375	-0.0057	-0.0317
II—90°	0.0084	-0.0097	0.0012
II—135°	-0.0029	0.0061	-0.0011

$$\Delta_{\text{最大}} = 0.0375 + 0.0317 = 0.0692 \approx \frac{1}{14.4}$$

$$\text{即 } \frac{1}{28.8} \lambda, \text{ 取为 } \frac{1}{28}$$

第三块标准板

III—C (原点位置)	-0.0261	-0.0123	0.0385
III—45°	-0.0240	0.0146	0.0095
III—90°	0.0001	0.0033	0.0030

III - 135° 0.0018 - 0.0166 0.0169

$$\Delta_{\text{最大}} = 0.0261 + 0.0385 = 0.0646 \approx \frac{1}{15.4}$$

即 $\frac{1}{30}\lambda$

经初步检定、三块标准板的精度分别为：

$$\frac{1}{20}\lambda, \quad \frac{1}{28}\lambda, \quad \frac{1}{30}\lambda。$$

在测定中由于 $\phi 300$ 干涉仪本身干涉场背景不清，有多余的干涉条纹产生，影响了主条纹的清晰度，给测量带来了一定误差，有待今后测量中加以改进。

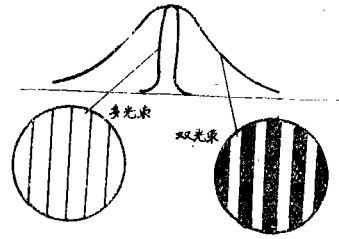


图 6 条纹的锐度比较

在此顺便提一句，我们此次之所以采用多光束计量，主要是考虑到多光束条纹本身有较高的精细度。即将双光束干涉带条纹提高到毫米级的宽度。如图 6 所示：

从上图中不难看出多光束条纹强度分布集中。虽然双光束与多光束干涉时条纹中心位置是相同的，但多光束条纹远比双光束条纹细而边界清晰。因此，有利于对条纹的精确测量。