

高精度大口径枕木型光栅刀桥加工与检测

王宝林

摘要： 本文叙述了大口径高精度枕木型光学零件的加工与测试方法，并对关键性工艺做了较深入介绍。

一、前言

近年来随着我国天文学和光谱学的飞速发展，对大口径光栅的需求越来越迫切。为了满足这一需要，从1980年开始进行大光栅刻划机的研制工作。高精度大口径枕木型石英光栅刀桥为大光栅刻划机的核心部件，是光栅刻刀运动的基准。它的精度状况直接关系到所刻光栅的精度。因此对光栅刀桥的精度和尺寸稳定性均要求相当严格。光栅刀桥是用石英材料制成，为细长条形。外廓尺寸为： $920 \times 80 \times 80$ (mm)；面形精度要求很高为： $N = \lambda/20$ ， $\Delta N = \lambda/20$ 。

本文不想对石英光栅刀桥的研制工艺过程做泛泛介绍，仅将其中关键性的工艺做较深入的说明，以期望对磨制高精度，大口径，长条形光学元件提供一点有益的经验。

二、石英光栅刀桥的技术要求

石英光栅刀桥的制造精度直接关系到所刻光栅栅线的直线性即光栅的质量。这就要求光栅刀桥本身一是要有很好的尺寸稳定性即在长期使用过程中其精度始终不变。二是表面面形精度要相当高。第一项要求是由材质的性能所决定的。第二项则是由加工来保证的。就材质而言，选择热膨系数很小的熔石英材料，但对该种材料也要经过严格的挑选，其应力至少要好于三级应力。否则由于应力不佳，即使加工好后的表面也将变坏，并随时间的推移变化会更为显著。图1所示为加工中的一根光栅刀桥的材料应力图

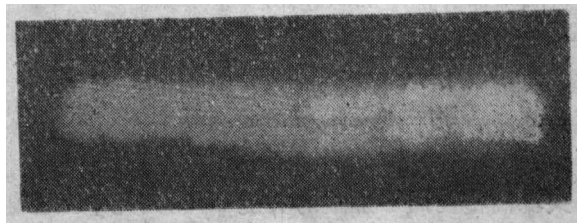


图1 材料应力图形

从应力图形中不难看出应力分布很不均匀导致了刀桥下盘后面形变坏。应力的好坏是相当重要的，因此对高精度、关键零件加工之前必须进行材质复检。

光栅刀桥的表面形状如图 2，其面形精度如下：

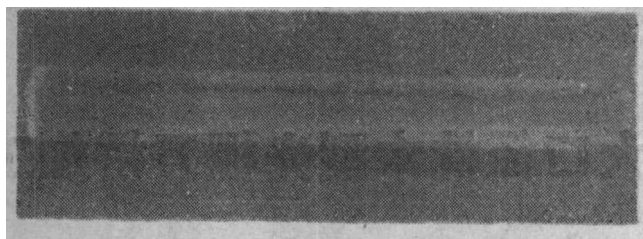


图 2 光栅刀桥外形图

光栅刀桥的外形尺寸: $920 \times 80 \times 80$ (mm), 光栅刀桥的面形精度: $N = \lambda/20$, $\Delta N = \lambda/20$, $P = P_{1-20}$, 光栅刀桥技术指标要求: 1. 工作面以中心对称 500 范围内确保平面度为 $N = \lambda/20$, $\Delta N = \lambda/20$, 在边缘处允许微量塌边; 2. 四面交角 (直角) 误差小于 $2'$; 3. 工作面与对面及两侧面之间的平行度应小于 0.02mm ; 4. 充分消除应力, 在长期使用中不应变形; 5. 全部倒角 $1 \times 45^\circ$, 全部倒棱为 $0.5 \times 45^\circ$ 。

三、磨制工艺

光栅刀桥因其形状特殊, 精度要求很高, 给加工带来很大的困难, 从磨制方案的选择到实施均不同与一般零件的加工, 譬如刀桥虽然只要求工作面进行抛光达到面形精度要求。但为使零件在长期使用过程中不变形, 另外三个面也都要进行抛光, 以利于粗加工中残留应力的释放。

1. 粗磨成型工艺

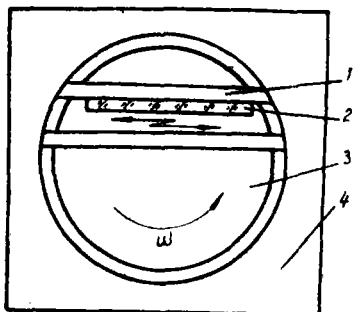


图 3 粗加工状态图

- 1—档块 2—石英光栅刀桥
- 3—磨盘 4—床面

在切割之后, 进行粗磨成型加工。粗成型加工采用在粗磨机上用散粒磨料加工, 加工中的状态图如图 3。

在 1.1m 粗磨机上以机器磨制加手工修磨的方式进行。图中档块系长木方以确保加工中的安全。光栅刀桥只能沿直线方向运动, 而不能摆动。在磨制中由于磨盘各部分速度不同, 往往造成边缘多磨, 中心少磨。为克服此种弊病, 就要进行手工修磨, 同时在磨制中可将所用的粗磨平盘的中心部位稍修的凸一些。在磨出一基准面后, 按图纸要求依次加工其余各面, 要保证 $2'$ 角度误差。

粗磨成型阶段用 $240^\#$ 砂为宜。为避免加工过中崩边, 每加工一面均要先倒棱角。

2. 精磨抛光工艺

精磨和抛光工序是实现高精度面形加工的关键一环。其几个工艺要点为: (1) 机床设备的选择, 按照光栅刀桥的外形尺寸及加工精度要求, 现有的抛光机加工范围不能满足。我们自制了一台口径 1.1m 的无级调速的双摆单轴抛光机。(2) 基板的选择, 选取熔石英材料为基板是较为理想的, 但造价昂贵。若采用 K_1 或 K_2 材料造价仍是很高, 在考虑到即满足使用要求又

取材方便、价廉、性能稳定,我们选择了大理石平台做为基板,对一块 $\phi 1000 \times 130\text{mm}$ 的大理石平台进行了修抛,使其面形精度达到了 $0.25\mu\text{m}$ 的光学等级的高精度石基平台。第一次在国内将大理石应用于光学冷加工之中,实践证明取得良好的效果。大理石的材料稳定性和造价低廉是非常可取的,制造这样一块光学级大理石基板仅需3000元—4000元。

3. 配盘玻璃的选取与加工

配盘玻璃的选取应与被加工件的材料一致,以利于加工过程中面形修正的一致性。也是采用石英材料。配盘的形式,采用了两块弓形的配盘玻璃与两根刀桥相匹配,凑成一个完整的圆形面。拼凑时中间留 $1.5\sim 3\text{mm}$ 的空隙量。

4. 石英刀桥的上盘与下盘

石英光栅刀桥在研磨时上盘与下盘,必须十分谨慎小心。首先将工件与配盘细磨好一面,做为基准上盘。上盘后将另一面细磨并抛光,待达到一定光圈要求时下盘。然后再以此面为基准上盘。注意每次上盘时,都要将基板、工件、配盘玻璃表面擦拭干净,之后将配盘玻璃、工件分别浮放于基板上,并调整好位置,如图4。

工件与配盘玻璃之间的缝隙与周边之间缝隙与周边用腊封之,并加相应的保护措施。每次下盘时都要格外小心,要仔细地将被周边封腊去除,之后把机床翻转一定角度,并加一定外力捶击产生振动,待配盘与零件松动后方可下盘。

5. 研磨抛光与像散的修正

在精磨时首先要研磨出一对面形精度高的平面磨盘,以用于精磨工件表面。因其口径大,在加砂研磨时砂子很难加进去。为此在精磨盘上开适量的孔或开一定形状的沟槽以利于研磨。在精磨过程中,由于磨盘与工件之间粘着力大,特别是研磨到最后阶段或在用细号砂时更为严重。因此不能在磨盘与工件大部分接触时起盘,应拉出一定距离,后再由二人平稳抬起或用小吊车吊起。在表面精度达到细磨要求后进入抛光。

抛光中要视表面面形情况随时改变抛光盘的摆幅、摆速。并对抛光盘进行相应的修正。特别是到抛光的最后阶段,常常有像散情况发生,用整盘修正往往很难奏效。为此采用整盘抛光与小盘局部修磨相结合的方式。在局部修磨时,首先要准确地判断像散的方向,并依据像散的程度,决定修磨部位、修磨的时间长短。在进行局部修磨后,为保持面形的规整性还要进行整盘抛光平整,以达到面形精度的要求。

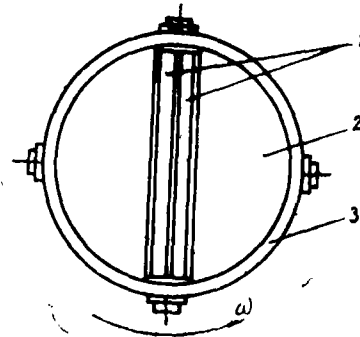


图4 刀桥上盘后示意图

- 1—光栅刀桥 2—配盘玻璃
3—大理石基板

四、检 验

石英光栅刀桥的检验采用盘上检与盘下使用状态下检相结合、样板与刀口星点法检验相结合的方式进行的。在加工过程中,用 $\phi 150$ 口径,精度为 $\lambda/30$ 的样板进行逐段检验控制,然后再用刀口星点法进行测试,测试时的状态如图5。

检测时考虑到材料贵重,又是分离件、整体重量重,镜面只能翻转一定角度,约为 15° 。

把标准球面镜支撑在工件上面，将光束引出，在一定高度上进行测量，测试的原理如图 6。

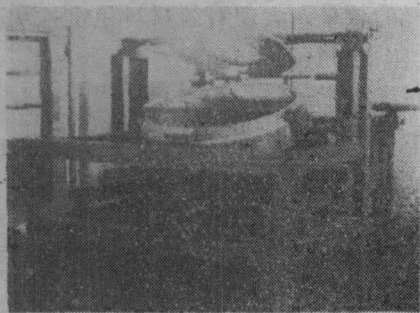


图 5 测试时状态图

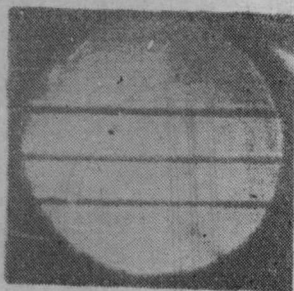


图 7 阴影图

L —为刀口仪到石英光栅刀桥的中心距离，此处为 45m

D —石英光栅刀桥的口径，以工作区计为 $\phi 500\text{mm}$ 。

计算结果：

$$\Delta S_{m\text{最大}} = 0.444 \frac{L^2 \cdot \sin w \cdot \text{tg} w}{D^2} = 0.025\text{mm}$$

从阴影测量及像散值测量均满足了设计要求。光栅刀桥下盘后在使用状态下测定基本上与盘上测定结果相符。比盘上检时略有微量变化，但完全达到了使用要求。值得重视的是，在最后进行阴影及星点测定时，室内温度要相对恒定，并基本处于无外界震动干扰的情况下进行。

在采取合理工艺方法上盘，经过精心磨制，并在材料应力好的情况下，检测方法合理，盘上检和盘下检的结果基本上能够吻合。

五、结束语

由于是第一次接触到如此形状特殊，口径又大的零件，虽然经过一年的努力突破了这一工艺难关，但鉴于磨制与检测水平有限，本文中只就有关工艺作了粗浅介绍。

参与此项工作的还有刘录、赵义、阎志功同志。

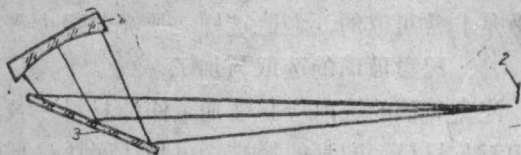


图 6 测量原理示意图

- 1—标准镜 2—刀口
3—光栅刀桥

所测得的像散值为：0.024mm

实际允许的散像值：

$$\Delta S_{m\text{最大}} = 16 \times \frac{h \cdot L^2 \sin w \cdot \text{tg} w}{D^2}$$

式中：

h —石英光栅刀桥的平面度矢高差为 $\frac{\lambda}{20}$

($\lambda = 555\text{nm}$)

$w = 45^\circ$

参 考 文 献

- [1] Д. Д. 马克苏托夫著;《天文光学工艺》, 科学出版社。
- [2] Михнев Р. А., Савельев В. А.; Повышение Качества поверхности отражателей, О. М. П., 1984, 4.

精 文 学 报

Processing and Testing of a Pillow-Like
Precision Large Aperture Grating Knife-Edge

Wang Baolin

Abstract

A method for processing and testing precision large aperture pillow-like optical component is described with detailed introduction about the key processing technique.