

扫描微方孔

吕韵翎

(南京天文仪器厂)

曹恒泰

(上海化纤配件厂)

一、微方孔 0.2×0.2 , 0.4×0.4 (毫米²) 的设计——二维狭缝的结构设计

广义的狭缝, 在我们的结构里就是微方孔。微方孔越小, 对一定大小的太阳活动区域逐点扫描时, 其空间分辨率越高, 加工也就越困难。使用要求有三种尺寸, 其中二种是微方孔。微方孔四角要求清角, 即 $R=0$, 则通光面积损失为零, R 角越大, 通光面积损失越大见图1和表1。其中 Δf 为通光面积损失百分数, 显然, $R=R_{\max}=\frac{1}{2}$ 时, $\Delta f_{\max}=(1-\frac{\pi}{4})=21.5\%$, 这也就是为什么不用以1为直径的圆孔扫描而必须用以1为边长的方孔扫描的原因。

表 1

R / Δf	0.2×0.2 ($l \times l$)	0.4×0.4 ($l \times l$)
0.01	0.2%	0.06%
0.03	2%	0.5%
0.05	5.5%	1.4%
$\frac{l}{2}$	21%	21%

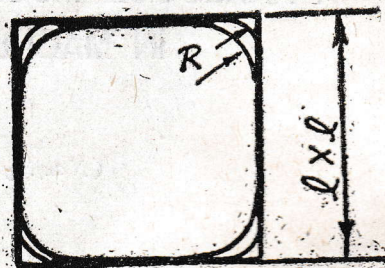


图 1

对微方孔结构, 我们考虑过三种设计方案:

1、**光学玻璃结构**。镜面镀不透光膜层, 而通光微方孔处不镀, 如图2示意图, 可以做得很方整, 精度高, 设想新颖。缺点是: 增加两表面反射损失。不透光膜随运转时间加长将脱落或质量变坏而需拆下重新镀膜, 再装上去调整它与扫描器中其它另件相互位置精度关系, 比一般支承镜面要麻烦得多。实现三种不同方孔条件下, 用此结构层次多, 则机构比用金属结构要稍复杂。我们没有用这种方案, 并不意味着否定它的优点。在这方面有兴趣者又有需要时不妨一试。

2、**金属结构**: 设计思想较为直观或“机械”呆板一些。但没有光学玻璃结构所具有的缺点。比较可靠把握性大。当然又会有另外的一些缺点。它又可分为整体金属结构(图3A)和金属拼合结构(图3B)。下面比较两者优缺点:

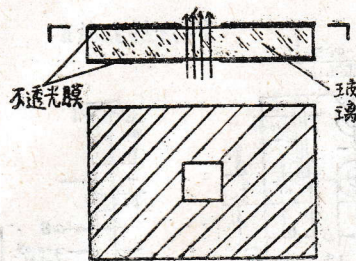


图 2

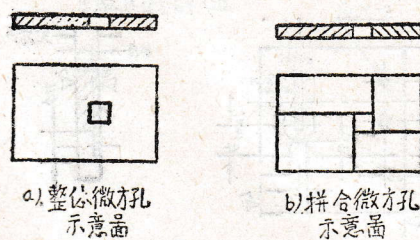


图 3

整体结构	拼合结构
单件加工难度大，单孔不需组合。	单件加工容易，单孔组合装配较麻烦。
微方孔尺寸固定不变，靠加工保证。	微方孔尺寸可连续变化，也可以固定不变，靠调节机和组合装配保证。
实现三种孔的组合尺寸精度高，换孔后定位精度高。	实现三种孔组合后尺寸精度差，换孔后之定位精度较难保证。
组合件尺寸小，扫描器体积也小。	组合件尺寸较大，扫描器体积构成三次方增大。
换孔机构简单，操作方便，一次装调达到目的，天文观测人员使用方便，是其突出优点。	若依靠调节机构实现三种方孔尺寸，则需二维方向调节，将使操作换孔变复杂。(若先并合成固定换孔再实现换孔则与整体结构换孔方法相同，只是体积大)
可靠性好	可靠性较差

以上是三种主要方案。另外还有用刀片粘结方案。显然，它对于只需一种尺寸又只需一维方向的狭缝实现起来比较简便。但对于二维方向的微方孔又同时有几种不同尺寸微方孔，则在实际操作中可能会有较大困难。为此，曾与天仪厂及上海照像机厂技术精湛的钳工师傅们讨论，他们一致认为，像我们所要求的换孔，定位精度及二种不同尺寸微方孔，在实际制作中是相当困难的。而这一点，有的工程技术人员认为没有困难容易制作，我们也不必要求所有的人都持我们一样的技术观点。我们来采用的方案也不等于就是否定它。只是综合比较，按我们的具体情况，尤其是扫描器传动及导轨所构成 $x-y$ 方向通光空位置，采用整体小孔结构利多于弊。优越性较大。其缺点只是单件加工难度较大。但是可以移植其它非天文仪器行业的某些传统技术来进行综合加工可以达到。一次性难度即大大方便了天文学家。精度高，工作可靠，操作简便占压倒优势。实际上，我们在制作过程中一步一步顺利进行下去并没有走技术上弯路，并已经取得了较满意结果也证明了我们所选择的设计方案是合理的。另件图如图4。实现三种方孔扫描的设计如下：

- 1) 共设计两件外形尺寸 ($14 \times 19 \times 3$) 完全一样的扫描孔板，如图4.a)和4.b)。两件叠合使 0.2×0.2 微方孔落在 0.4×0.4 上如图5a)，则 0.2×0.2 孔通光进行程序扫描；
- 2) 0.2×0.2 扫描孔板向左移动6毫米，则 0.4×0.4 孔通光，如图5c)，进行程序扫描；
- 3) 0.2×0.2 扫描孔板向左移动3毫米，则 2×2 孔通光，如图5b)，望远镜做固定观测或

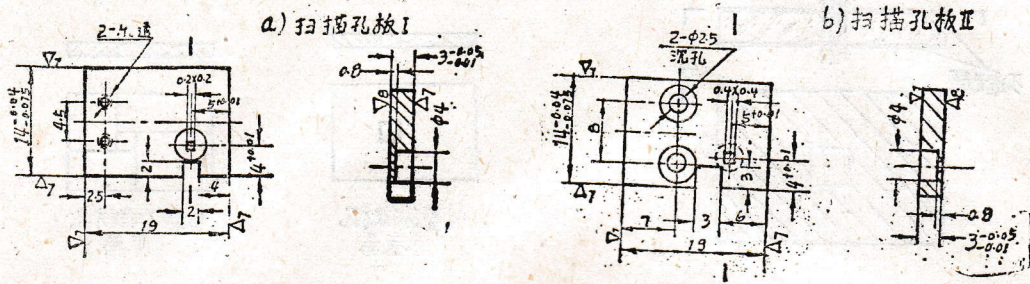


图 4

其余▽6两件 0.2×0.2 孔与 0.4×0.4 孔中心重合精度 0.01 。各孔四边相垂直允差 0.01 。各孔边与孔板对应周边平行允差 0.01 。孔壁光洁度▽7, 小孔 $R \leq 0.03$ 。

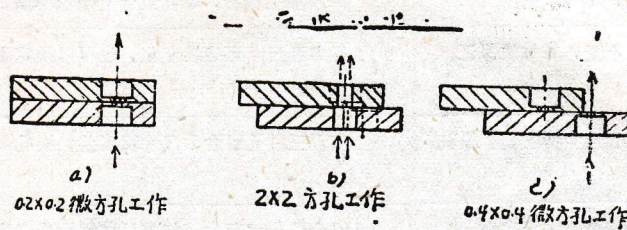


图5 三种方孔透光方式示意图

点动随机扫描。

显然, 实现上述三种动作, 在结构上是很简单的〔1〕, 也很可靠, 此处不再叙述。

微方孔穿透厚度的设计, 应注意在保证既不变形又可以加工的条件下尽可能薄, 以减少光通过狭缝时的衍射效应。

顺便说明一下, 三种不同方孔不是在扫描系统机械总体设计时一次统筹考虑设计的, 而是在 0.2×0.2 和 0.4×0.4 两块扫描孔板已加工的条件下, 而其它相关零件不作改动情况下增加 2×2 方孔。为的是支持和满足天文学家扩大和发展磁场望远镜的功能和用途, 而将原来对太阳活动区磁场进行的二种程序扫描扩大发展到用 2×2 方孔对太阳普遍磁场(微移磁场)作固定观测和测量。这种不增加望远镜任何费用, 纯粹依靠在设计上想办法, 增加和扩大望远镜的功能, 是很经济而有科学实用价值的事。我们支持和实现了天文学家这种要求和设想。

虽然, 拼合式微方孔结构没有被采用, 但它仍不失是一种颇有启发性的设计方案。有趣的是在我们制定整体金属结构的微方孔加工方法时, 利用拼合方孔设计原理作为加工 0.2×0.2 和 0.4×0.4 微方孔的关键性中间工序和制作反拷贝夹具。

二、微方孔 0.2×0.2 和 0.4×0.4 (毫米²)的加工

采用的基本加工程序为:

工具制作 $\left\langle \begin{array}{l} \text{反拷贝夹具} \\ \text{冲针磨制} \end{array} \right\rangle$ 电火花反极性加工电极——电火花正极性加工微方孔——冷挤压。

这是经过相当周密的技术调研和较广泛的跨行业边缘科学技术讨论，最后制定了以电火花加工原理的“反拷贝”加工应用〔2〕和化纤工业喷丝头冲孔传统工艺冷挤压相结合的综合工艺。

具体方法如下

1、工具制作

A. 反拷贝夹具

(1) 夹具框：由于扫描器扫描精度〔3〕和图4图5微方孔设计及通光方式，要求 0.2×0.2 与 0.4×0.4 两微方孔中心重合精度为0.01毫米。因此反拷贝法的要点之一是保证使图4a)与图4b)两件之微孔中心重合以及四边互相垂直与平行。此处，我们应用了未采用的金属拼合方孔设计原理(图3b)来设计反拷贝夹具图6。此夹具放置在电火花机床工作台上，使电极同方孔位置调到一致。夹具主要由夹具框和四块“反拷贝块规”及调整片拼合组成所要求的 0.2×0.2 及 0.4×0.4 (毫米²)方孔，并使其结构与扫描孔板外形相同的尺寸

$19 \times 14 \pm 0.04$ 。夹具框采用线切割成 22×16 (毫米²)内方框，四边垂直度 ≤ 0.005 mm。

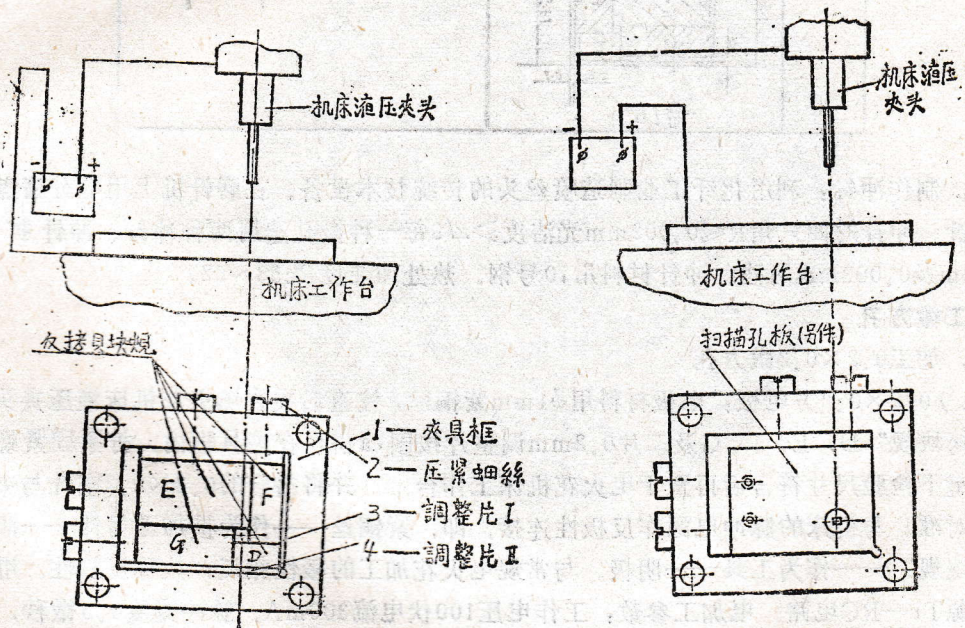


图6a)电火花反极性加工方电极简图

图6b)电火花正极性加工零件简图

(2) “反拷贝块规”：其功能是并合成中心重合的两种中空尺寸 0.2×0.2 和 0.4×0.4 ，作为电火花加工的一极去制作方针电极。其拼合图见表2及图7a, 7b。用两组相同尺寸的“反拷贝块规”D, G, E, F和不同尺寸塞规片组成上述要求的尺寸。

反拷贝块规的材质为铜钨合金棒料(Cu W20)，含铜80%，含钨20%，由粉末冶金烧结而成。其机械加工性能极差，要求苛刻。我们采用由线切割后直接磨研。线切割时单边留0.15mm余量，其中0.1mm为平面磨余量，0.05mm为研磨余量。由上海机床厂工具车间协作承制。

表2

方电极尺寸(毫米)	反拷贝块规併合器	反拷贝块规尺寸,公差均为 ± 0.003 ,垂直度 < 0.05
0.2x0.2	<p>图7a</p>	
0.4x0.4	<p>图7b</p>	

B. 制作冲针：利用化纤工业制造喷丝头的传统技术设备。在磨针机上用等分磨盘制作方孔冲针。冲针的四只角 $R \leq 0.002\text{mm}$ 光洁度 $\geq \nabla 9$ 每一种微孔选用两种冲针。冲针扩孔量 0.005mm 及 0.003mm 两档。冲针材料用70号钢。热处理硬度 $Rc58 \sim 62$ 。

2. 加工微方孔

A. 加工 0.2×0.2 微方孔

(1) 0.2×0.2 方电极：电极材料用 $\phi 1\text{mm}$ 紫铜丝，校直后夹在电火花机床液压夹头上。将“反拷贝块规”D, E, F, G及二片 0.2mm 调整片按图7a拼合在夹具框内。拧紧固紧螺丝，在显微镜下检验尺寸符合后再置于电火花机床工作台上。并将拼合的 0.2×0.2 空孔与夹好的紫铜丝对准。与机床的脉冲电源作反极性连接，即，紫铜丝——作为被加工另件——阳极，“反拷贝块规”——作为工具——阴极。与常规电火花加工的极性相反，故称反极性。用高频脉冲电源Tr—RC电路。电加工参数：工作电压100伏电流300mA，脉冲宽度0.5微秒，脉冲间歇 $0.5 \sim 0.8$ 微秒。经1—2小时的反拷（即加工时间）加工出 0.2×0.2 紫铜方电极。接着检查反拷贝夹具本身以及相对于机床位置有没有变化。若一切正常，方可进行下一步。（电极移动速度及“反拷贝块规”损耗等事先已做好工艺试验达到要求后再进行本工序）

(2) 电火花加工微方孔：在此之前，按图4a)图4b)，除了 0.2×0.2 与 0.4×0.4 微孔外全部加工至尺寸。两扫描孔板外形尺寸 $14 \pm 0.003 \times 19$ 要求完全一样，即两件合在一起一次加工到同样公差。

加工微方孔：将反拷贝夹具中的“反拷贝块规”D, E, F, G及两片 0.2mm 调整片取出，按图6b将图4a扫描孔板放入夹具内，拧紧螺丝 α 。注意，夹具框在机床上的位置绝对不能松动，要保证与加工方电极时完全一样。正极性接通脉冲电源，即：

方紫铜电极——作为工具——阴极；

夹具框内扫描孔板——被加工另件——阳极。其余电加工参数不变，约经5~10分钟，即能达到挤压前的方孔尺寸： $0.2_{-0.0015}^{+0.0005} \times 0.2_{-0.0015}^{+0.0005}$ ， $\Delta_4 \sim \Delta_5$ 。

3) 冲针冷挤压，提高微孔四壁光洁度和直角度（见0.4×0.4冷挤压）达最终尺寸要求。B，加工0.4×0.4微方孔

(1) 加工0.4×0.4方电极：将前面用过的0.2×0.2方紫铜电极卸下，夹上校直过的 $\phi 1.5\text{mm}$ 紫铜丝，反拷贝夹具框仍保持原来位置。仅仅拧松螺丝(2)，将已加工好的0.2×0.2扫描孔板取出，按图7b将“反拷贝块规”D, E, F, G在夹具框内拼合，通过调整片，达图7b要求。固紧。电加工参数及工序同前，达到所要求之0.4×0.4紫铜电极。

(2) 电加工0.4×0.4孔。取出G, E, F, G；放入图4b扫描孔板，电加工参数及其它要求同前。直至加工完，方孔尺寸达 $0.4_{-0.0015}^{+0.0005} \times 0.4_{-0.0015}^{+0.0005}$ 。

显然，0.2×0.2方电极，扫描孔板0.2×0.2孔，0.4×0.4方电极，扫描孔板0.4×0.4孔，以及两扫描孔的各个中心都是相同不变的，没有因为四次上上下下的装夹带来误差，除了机床本身精度影响外（即机床液压夹头与工作台之间的误差），准确得就像“复制”（copy）的一样。在我们这里，先用“反拷贝块规”反极性“拷出”紫铜方电极，再用方电极正极性打出微方孔。此打出的微方孔与“反拷贝块规”所构成的空孔的几何位置尺寸相同，就像“复制”出来一样。故在上海地区技术术语中称“反拷贝”法。

3) 冷挤压：在化纤配件厂已有的64倍双筒立体显微镜的冲孔机上进行。用前面已述磨好的相应尺寸冲针进行。每孔用二种不同尺寸的冲针冲二次。达到图4a, 4b的尺寸，包括光洁度及几何精度。而微孔的位置精度是靠前面的“反拷贝”法保证实现的。

4) 超声波清洗，酒精去污，干燥。

三、结果：由上海市计量局测量报告提供

1) 0.2×0.2与0.4×0.4微孔中心重合精度为 $0.0075 < 0.01$ 。

2) 二套扫描孔板4个微孔，在放大倍数60条件下（见图8），16个角当中有15个新园角，只有一处 $R=0.016 < 0.03$

3) 微孔尺寸精度达到

第一套 $0.2_{-0.0005} \times 0.2_{-0.0003}$ ； $0.4_{-0.0002} \times 0.4_{-0.0001}$ 。

第二套 $0.2_{-0.0000} \times 0.2_{+0.0001}$ ； $0.4_{-0.0003} \times 0.4_{-0.0001}$ 。孔壁光洁度无法测量，而冲针冷挤压最低也能达到 $\Delta_7 \sim \Delta_8$ 。

扫描微孔孔板装在太阳磁场望远镜的光电机械扫描器中已五、六年，经过北京天文台同志试观测9个月，扫描微方孔工作正常稳定可靠。没有因微孔本身出问题而发生过故障。作为望远镜三种接收系统〔3〕中用得最多，磁场测量精度最高的光电接收系统的扫描“狭缝”〔1〕是探测器的机械执行元件，它是光电扫描系统的第一道“把门”关口。它能正常稳定地工作，应当讲整体金属结构微方孔起了重要作用和作出了它应有的贡献。

微方孔加工，除了八块“反拷贝块规”由上海机床厂工具车间承制外，“反拷贝”加工及冷挤压等都是上海化纤配件厂负责承制的。

在此, 对上海化纤配件厂及上海机床工具车间的有关技术人员及师付们致以深深地感谢。

参 考 文 献

- (1) 吕韵翎, “太阳磁场望远微x-y机械扫描器”本专集.
- (2) 苏联“机器制造者手册”第5卷P-904
- (3) 吕韵翎等, “太阳磁场望远镜的光电机械扫描系统”本专集.

THE DESIGN AND TECHNOLOGY OF THE SCANNING SPUREPINHOLE IN THE PHOTOELECTRIC SYSTEM FOR 35cm SOLAR MAGNETIC FIELD TELESCOPE

Lu Yunling

Cao Hengtai

(*Nanjing Astronomical Instrument
Factory*)

(*Shanghai Chemical Fidge Fittings
Factory*)

Abstract

This paper compared with several designs of square pinhole in different way which are a square pinhole made on one entirety metal, a combination square pinhole made up of several metal parts, a combination square pinhole piled up of sieveral knives in adhesion, and a square pinhole made by optical plating on glass. It was selected the first one after compromising their advantages and disadvantages. On two brass plates of the dimension 19X14X3mm to make 0.2X0.2(mm²) and 0.4X0.4(mm²) pinholes respectively. The coinciding accuracy of the centre for two square pinholes was requested 0.01mm. Of course it was to have a square pinhole for there was no loss to compare with round pinhole theoretically during the beam passing through the square pinhole for signal scanned on certain region.

The technology for pinhole of the dimensions 0.2X0.2 and 0.4X0.4 (mm²) was called an "anti-copy method" which was based on the principle of electric spark machining and cold extrusion. In order to obtain positional coinciding accuracy of the centre for two pinholes it was designed an anti-copy fixture for operation of positive and negative pole in electric spark machining.

The technological process was as follow:

- 1, To provide for the anti-copy fixture, it was consisted of a steel frame and four anti-copy gauges made of Copper-wolfram alloy which were made up a 0.2X0.2 (or 0.4X0.4) tool pinhole.

2, Manufacture :

Firt, this fixture was regarded as a electric cathode to anti-electric spark machining a 0.2×0.2 (or 0.4×0.4) squire pin made of Copper wire, then to take four anti-copy gauges out of the frame and put the workpiece of Brass scanning plate in it. At that time, to make electric spark machine was fabricated ;n operation of positive pole with regarding the Copper squire pin as a cathode and workpiece as a positive pole.