

光学非球面制造方法研究报告(Ⅱ)

作者 宾户昂郎

3 非球面制造实例

在光学非球面制造方法的研究中, 本文将对早期的施密特照相物镜 ($F/2, f=400\text{ mm}$) 以及直径 10 M , $f=3.2\text{ M}$ 的大型天文定日镜, 直至最近的电视显象管中印刷制造的非对称非球面透镜彩色元件等, 分别论述其制造方法及使用效果。

3.1 施密特照相物镜的制作

图4 为施密特镜头的设计示意图。为制造这种镜片而用的施密特修正板, 是直径 260 mm 、厚度 3 mm 、 $n_d=1.5222$ 的白玻璃。

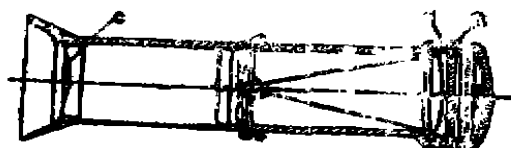


图4 施密特照相物镜

修正板曲率面的最大误差为 0.052 mm (参考图5)。先以厚度为 35 mm 的玻璃, 制成曲率和修正板相反的样板, 然后参照图6 所示, 以平面玻璃贴在样板上进行加工。这种制造方法的先决条件是样板要做得十分正

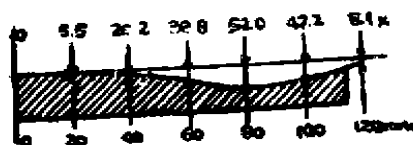


图5 施密特修正板

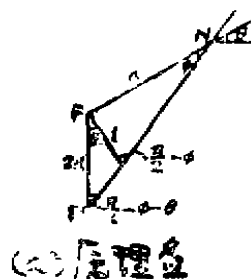


图6 按照样板制造施密特修正板的方法

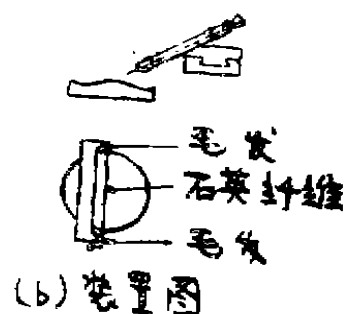
确, 为此, 要在样板玻璃的粗加工面用倾斜透视观察方法制得反射面。图7(a) 为其原理图, 图7(b) 则为其加工装置。图中 N 为显微镜物镜的节点, F 为玻璃粗磨面 d 段上的物点, F' 则为其反射象点。 θ 为显微镜光轴和玻璃面间夹角。如以 ϕ 为 $\angle FNF'$, 则 L 可按显微镜观察中的 $2d$ 成立下式:

$$\frac{L}{2d} = \cos \theta - \frac{L}{a} \sin \theta \quad (1)$$

$$\text{当 } \theta \text{ 为 } 30^\circ \text{ 时, } L = \frac{a \cdot d}{a + d} \sqrt{3} \quad (2)$$



(a) 原理图



(b) 装置图

图7 玻璃坯料粗磨面的测定方法

在实际使用上述装置时, 由于测量误差等问题的存在, 故精度大致在 0.01 mm 左右。因此, 还可采用其他测定方法, 如在玻璃平板上涂有极薄的油膜, 将测微计按装面

可移动的托架上进行测量。

为了精确测量样板,可以采用下列方法:(1)在样板上放置厚度为3mm的平行平面玻璃进行测量;(2)对按样板制成的施密特修正板进行测量。二者均可采用FabryPerotetalon方法的多重干涉法进行测定。图10(a)为上述(1)项测量样板的示意图;图10(b)则为对修正板的测定。图10(a)是面接触测量;图10(b)则是双面真空镀铝后的测量。样板制成后,如何将坯料密贴上去,是个困难问题。起先,Seicrmidt源的方法是在样板和玻璃坯料间的空隙中抽空,但这个方法不能到和样板曲率完全密合。因此,还必须再做一块样板,使成一套,然后,将坯料放在两块样板的狭缝中间,並以丙苯树脂(即丙三醇—邻苯二苯酚树脂)加热胶粘。样板的曲率面须真空镀铝,使具有全反射性能,而玻璃坯料的紧贴面则化学沉积半透明铝膜。密接后当显示同一的干涉色调时,即可如图11所示,四周以螺杆拧紧。

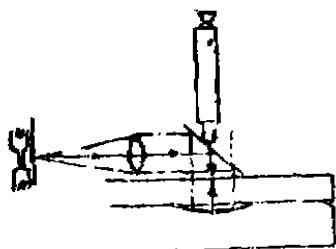


图10(a) 样板的检查

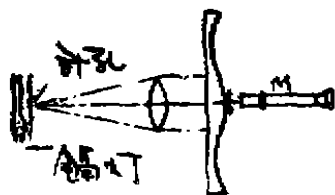


图10(b) 施密特修正板的检查

用这种方法制得的施密特修正板精度,见图12所示。以施密特照相主镜头凹透镜为例,直径260mm,边厚35mm,曲率半径800

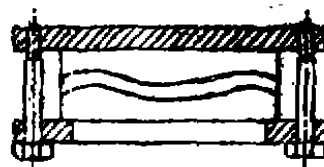


图11 以螺杆紧固

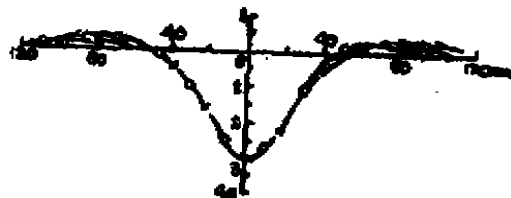


图12施密特修正板的精度

mm,在镜片全区域可以达到 $1/5$ 波长的精度,其分辨率可达200线/mm,无穷远光线照射而出现的弥散圆直径约 6μ 。

1953年时NHK公司开始放映电视,为使其更大众化,即着手试制使电视图象作屏幕放大的施密特大型电视投影机。

施密特系统的投影成象,是由于施密特透镜的球面处于透镜位置光轴的中心,而电视机射线管则和光轴位置有良好的配合,图14即是其结构的简略示意。主镜头直径760mm,厚度35mm,曲率半径737m/m,成弯月形,焦距为390mm。图15为这种施密特透镜的形状,中心厚15mm,边缘厚为4mm,非球面曲率最大误差约5mm,直径为550mm,光学明视度为 $F/0.71$ 。

施密特透镜曲率面的分辨率精度,要求达到焦距为 $\frac{1}{2000}$,亦即在直径7英寸的电视显象管上,应能分辨出间隔约为0.3mm的扫描线条。也就是说,为满足这一要求,透镜面的倾斜精度大约为 $1/1000r$ 。

为了达到这一精度,在制作施密特透镜曲率面时,应仔细地用细沥青将透镜胶于镜杆盘上。沥青应在何种温度下加热,按照坯

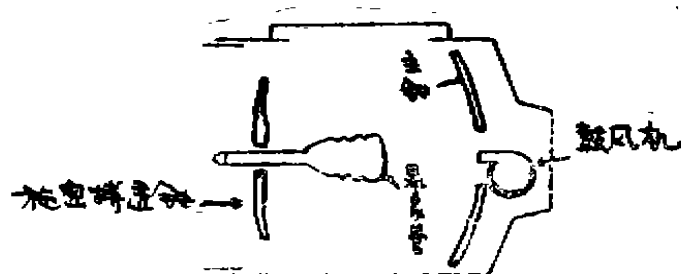


图14 电视投影机

料的不同，沥青胶团应是如何形状，最后，添加溶剂，使成网状而密贴等等，均要仔细注意进行。

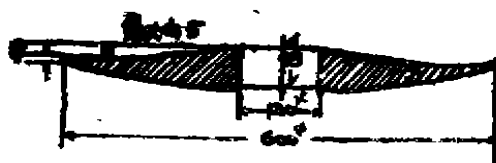


图15 施密特修正板的形状

图18为采用游标卡尺的测量方法，即测定透镜两面的倾角 θ 及其厚度 t ，如给定卡尺至透镜面的距离 h ，则 θ 角和游标量爪间距 d 之间可列为以下关系式：

$$-\tan \theta \div \frac{d}{2(nh+t)} \quad (3)$$

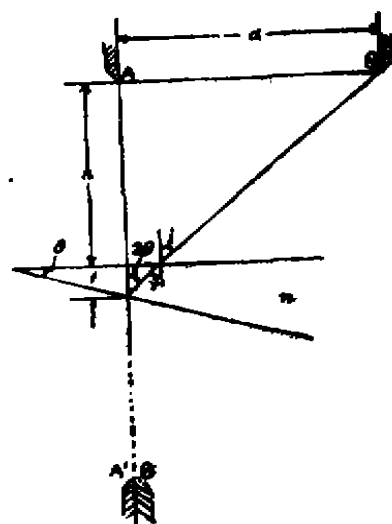


图18 用游标卡尺的测定方法

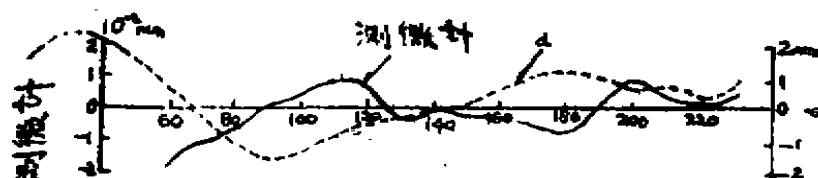


图19 施密特透镜面的形状误差和方向误差

按照上式，倘代入 H 为 500mm ， n 为 1.5 ，则 $\frac{1}{1000}$ 的 $\tan \theta$ 即相当于 d 的 1.5mm ，因此，这是一个能测量精度的简便方法。图19是两种方法测定的透镜面精度的比较，这种方法在本文后述的非对称非球面透镜制造中，还要述及。

这种光学系统的主镜片直径，当小于 760mm 时，制作时必须先有一对直径 1m 、厚度 35mm 的铸铁球面模具。这种生铁模具是在日本仙台铸造厂加工的，还同时制造了金属样板。以后，即由研究所将铸铁模具进行对磨，很费工作量。由于模具对磨时的自重极大，故不断引起变形，后来不得不退回原

来加工厂，经退火后，再度进行模具表面加工。然后，将凸模放在台架上；用沥青胶将玻璃坯料胶在凹模上，用铁链滑车吊起，以四个人进行繁重的镜片粗磨等工作，直至抛光精加工至一个牛顿光圈左右。

3.3 椭圆面镜的制造

上述的施密特天文照相物镜和电视投影机，仅是日本东北大学科学计测研究所早期的作品。但二次世界大战中对红外线的研究着重起来，故又试制了置于抛物面反射镜焦点的热电对。大战后，开始试制红外线分光光度仪，其中为了使分光器出射狭缝的象在热电对上聚光，故必须试制椭圆面镜片。这是和后面将述及的自准直光管中偏光轴抛物面镜的试制是相同的。但作者等对近来透镜的研磨抛光，知道得不多，尤其是对非球面镜的制造，必须采用特别的方法。所谓非球面，既近似平面，但又和球面略有不同，而和球面不同的容许误差百分比，至为重要。因此，首先要求出近似的球面，然后从球面求得法线方向差值的面，并将这种测值求得十分精确。从计算的结果，即可以样板的方法进行镜片制造。

以下即略述按此方法试制椭圆面镜的情况。所要求的椭圆面镜，见图25所示。从图

26可知，以C为中心作一近似圆；二点划线为椭圆面，处在和近似圆同一中心的圆周上。于是以此作出和近似圆具有差值的样板。

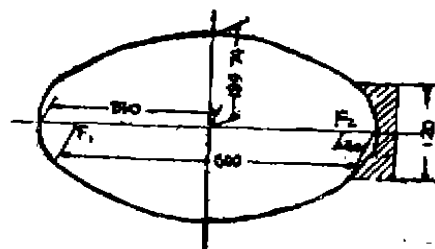


图25需要制作的椭圆面镜

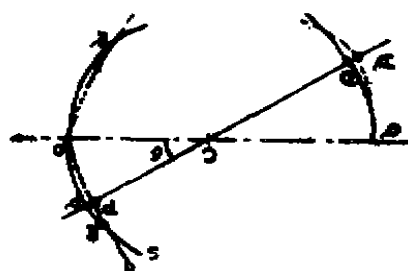


图26样板制造方式的原理

在图27(a)中，给定需要的椭圆e，倘在图中A处应用反射镜，则近似圆法线方向的微小差值 Δr 即可获得下式：

$$\Delta r = \frac{r_0(a^2 - b^2) \cos^2 \theta - b^2(a - r_0) \cos \theta - a^2 r_0}{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta} + \frac{ab \sqrt{b^2 \cos^2 \theta + (2a - r_0) r_0 \sin^2 \theta}}{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta}$$

$$\text{但应是: } a = \frac{f' + f}{2}, \quad b = \sqrt{f \cdot f'}$$

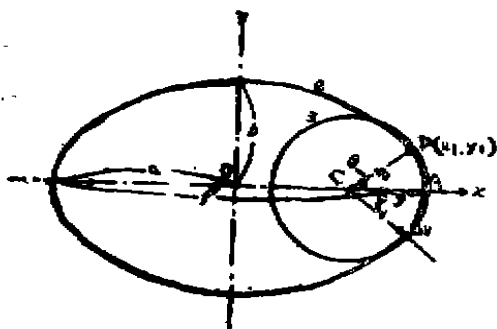


图27(a)椭圆和近似圆的关系

图27(b)为 $f = 60 \text{ mm}$, $f' = 600 \text{ mm}$ 时，镜面半径方向 y 的 Δr 曲线。

图28是装置原理图。玻璃坯料约一分钟50转，切削量0.01mm，进给量0.04mm，总共加工时间在15小时，历青板抛光约8小时。

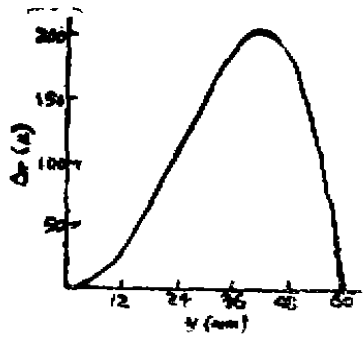


图27 (b) y 和 Δr 的关系

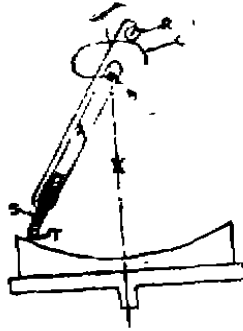


图28装置原理图

图30为加工成形面精度和样板精度的比较。从这种加工面形状求得的光轴焦点的偏移,如图31中实线所示,分段测试后求出的值,则在图中以点线表示。按此方法,可以达到最小弥散圆的直径约在 0.05mm 。关于样板的检验,本文从略。

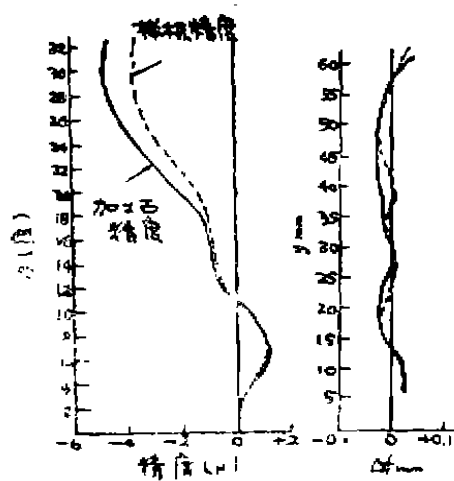


图30样板和加工面的关系曲线

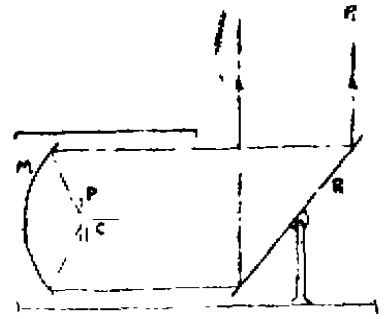


图32装置略图

C: 碳弧灯; P: 镂空文字铜板; M: 抛物面镜; R: 平面镜。

3. 4 空中投影机的试制

1955年试制了空中文字和绘画的大型投影装置。图32为这种装置的略图, 图中的光源是直流 100V 、 150A 的碳弧灯。光源左面的抛物面镜焦点处放置铜质的镂空文字板。光线透过镂空文字铜板, 由抛物面镜反射至右面的平面镜。由平面镜再反射即能对空中的云层上投影图象。这种抛物镜直径 760mm , 焦距 340mm , 在焦平面的最小弥散圆应在直径 1mm 以内。平面反射镜的直径为 1M 。经3个月时间, 试制完成。在制造这种抛物镜时, 仍按照原来的经验, 求得和近似圆的差值, 並以此作成金属型套, 将铸铁模具紧贴型套, 进行镜片的粗磨。用这种加工方法的结果, 近似圆和抛物线的法线方向的差值

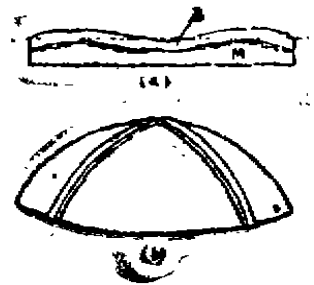


图33贴在型套上的球面模具

Δr 最大为 1.3mm 。如图34(a)所示, 如焦距 f 和口径 D 的值给定, 则可立如下式, 而求得图34(b)中与 θ 的关系:

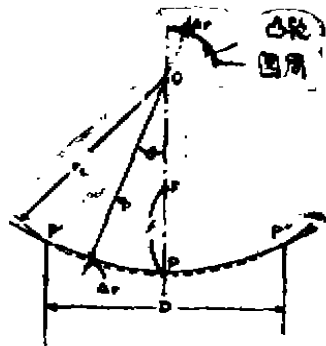
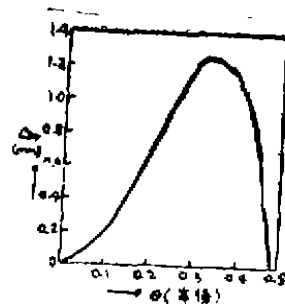


图34(a) 抛物就和近似圆的关系

图34(b) θ 和 Δr 的关系

$$\Delta r = f \left[c - \frac{2\sqrt{1+\tan^2\theta} (\sqrt{1+c\tan^2\theta}-1)}{\tan^2\theta} \right] \quad (5)$$

式中的 C ，是指按照这一系统 F 的明视度而给定： $C = \frac{1}{32F^2} + 2$ 但型套的制作存在困难，故材料采用黄铜，並考虑到磨损极大，故要制造几付，替换使用。

由于采用直径为 20mm 的黄铜棒，加工面会产生若干误差。图36即为此种误差所引起的焦点偏移，断续线为计算值，实线为测定值。放大的成象经样板修正补偿后 最小弥散圆在 0.8mm。

此外，抛物面镜和平面反射镜均须真空蒸镀铝和一氧化硅，这将在下一章内予以论述。

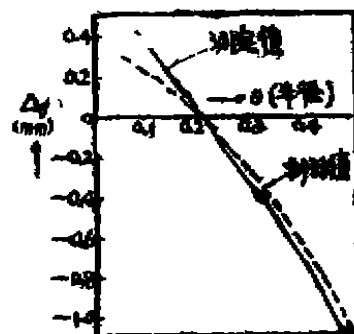


图36采用直径20mm的工具时，加工面光轴上焦点的偏移

胡凯译自“光学技术交流”

1985年第9期