

(如大小、圆度等)。达到了要求即可认为光路已调正好。下面介绍各晶体元件的调正。

1. 冰洲石的调正

将冰洲石放入上述光路中并旋转使冰洲石的一个主截面与通过光的偏振面重合。此时屏Ⅲ上仅出现一个亮点(或另一点处于最暗状态)。逐级放入,逐级调正。

2. $\frac{\lambda}{4}$ 片的调正

将它插入上述光路(先取去冰洲石)令其光轴与入射光偏振面成 45° ,输出为圆偏振光,调正原理为图7所示。然后再放入原已调好的冰洲石,便可得到二个等亮度的光点。

3. KD^*P 的调正

在前述光路中取去已调好的冰洲石和 $\frac{\lambda}{4}$ 片而插入 KD^*P 和一检偏器。调正 KD^*P 使它的法线平行于入射光,便可在屏上看到等旋线和等色线组成的花样(十字花),令此花样正居视场中央而与入射光斑重合为好,然后撤出检偏器,在 KD^*P 后面再放入已调好的冰洲石和 $\frac{\lambda}{4}$ 片。然后在 KD^*P 电极上施加半波电压而看点阵消光情况,绕法线方向旋转 KD^*P 使出现最佳消光比为止(施加电压也要有相应的调正)。

我们采用逐级调正的方法,调好一级后即从油槽取出,编好号码备用。为此,各机械部件要求保证复位精度。

今将测试结果介绍如下:

1. 单元测试

① 冰洲石的消光比 $r = \frac{I_1}{I_2}$

其中 I_1 为最亮点的光强, I_2 为暗点的光强,在十级中, r 的最佳值为4700:1而最坏值为520:1。

② $\frac{\lambda}{4}$ 片的消光比,最佳值为1000:1,

而最坏值为300:1。

③ KD^*P 的消光比,最佳值为370:1,而最坏值为110:1。

2. 透光率测试

经过偏折器后光损耗颇大,透过率仅为18.8%

3. 点阵光点均匀性的测试

在点阵中选定均布的12个点,测定其光强。发现各点强度不一,而最大起伏与平均光强之比为10%左右。

4. 噪音的测试

光线进入偏折器后,每一级单元都会产生无用的噪音光。各级所产生的噪音大小不同。五级偏折器有五级不同的噪音。第一级最亮第二级次之,第三级又次之等等。经测定,第一级的信噪比最坏,为20:1,第一级噪音光的偏振面正好与讯号光偏振面垂直。因此可用适当的方法滤去。

综合以上情况看出,偏折器的容纳量大,方阵规整,点阵间距较均匀,光亮度起伏小,这是它的特点,达到了预期的目的。经与全息部份联试结果是好的,基本上达到了目前存储器所提出的指标。当然,在联试中也暴露了许多问题,如点阵局部地区有较严重的象散,间距也不够均匀,总光能利用率低等等。另外这次联试也没有计及速度。这些都要有待今后改进。

参 考 资 材

1. James, T. Tippell; *Optical Electro-optical Information Processing* 1965书第23章 *Convergent Beam Digital Light Deflection*.
2. A. Φ. 华平特耳主编: *电介质物理*—高等教育出版社1957年。
3. Earl L. Steele; *Optical Lasers in Electronics* 1968 P. 57.

几种比较实用的光学传递函数测定装置

蒋 筑 英

根据光学传递函数(OTF)理论,提出了各种直接或间接测定OTF的装置原理。它们可以分为三大类:(1)扫描法、(2)自相关法、(3)互相关法。但现在获得实际应用的主要是扫描法装置。因此只对这类装置作介绍。

扫描法按所用检验目标不同,又可以分为 a) 光学付里叶分析法(用正弦板) b) 光电付里叶分析法(用矩形板) c) 电学付里叶分析法(用多狭缝或刀口)等。按照用途不同,有的设计得功能比较完全,适合研究实验室使用;有的功能简化,适合工厂产品检验;有的能自动进行测量,构成自动生产线的一部分。以下对其中比较值得参考的几种装置的性能,特点作概要介绍。

1. 伊灵·贝克(Ealing & Beck)公司的EROS系列OTF测定装置^{[1],[2]}。

这是在英国SIRA协会指导下发展起来的一系列装置,包括EROS 100型,200型,Ⅲ型和Ⅳ型。EROS 200型曾来我国展出,它和100型同属简化型,只能测MTF。精度 $\pm 5\%$,主要用于产品检验。EROS Ⅲ型也只能测定MTF,但精度为 $\pm 3\%$ 。加上一些附件以后可以成为EROS Ⅳ型装置。它主要用于研究实验室和要求严格的产品检验。EROS Ⅳ型可以测定PTF和MTF,精度分别为 $\pm 5^\circ$ 和 $\pm 1\%$,是SIRA协会的标准设备。

1) EROS系列装置的最大特点是采用积木式组合原则,因而具有很大的灵活性。它将整个仪器分成许多可以互相组合的组件,包括(1)目标发生器组件,(2)象分析器(狭缝)组件,(3)光源照明器组

件,(4)目视组件,(5)频率扩展器组件,(6)中继镜组件,(7)平行光管组件等光学组件和各种机械组合件:它们可以对装在其上的光学组件提供绕水平轴或垂直轴的转动,笛卡尔三座标方向的位移等等。这些组件既可以放在大防震台上工作,也可以放在导轨上按被测系统所需测量条件组合工作,甚至可以装在大型的被测系统上进行测量。

2) EROS系列装置的第二个特点是既可以给出某一频率范围的连续MTF和PTF曲线,也可以任意选定其间的一个频率测定MTF值,这对于实际使用是十分方便的。

3) EROS Ⅳ型采用双光路指零测量系统,既可以测定MTF也可以测定PTF,并且可以达到较高精度。这台装置的指标和性能如下:

- ① MTF测到 $\pm 1\%$; PTF测到 $\pm 5^\circ$,空间频率准确到 $\pm 1\%$;
- ② 光信号强度变化范围可以达到 $1-10^5$;
- ③ 空间频率范围可以0—100对线/毫米,0—200对线/毫米,0—400对线/毫米,并且可以任意选定频率;
- ④ 测量不受环境光的影响;
- ⑤ 可对白光和单色光进行测量;
- ⑥ 狭缝宽度的影响能自动修正;
- ⑦ 近距离和无限远成象均可以测定;
- ⑧ 被测系统焦距范围可以是1米到几毫米;
- ⑨ 视场角达 $\pm 40^\circ$,空间频率可以取任意方位;
- ⑩ 机械稳定性高,象面稳定性为 1μ ;

⑪ 测量光路方向与被测系统使用情况一致;

⑫ 具有两种结果显示设备: 用示波器作快速显示, 便于仪器调整 and 选择象面, 用 $x-y$ 记录仪作永久性记录;

⑬ 可以用来测定光学纤维面板和象增强器的 MTF;

4) EROS 装置测量原理采用的是光电

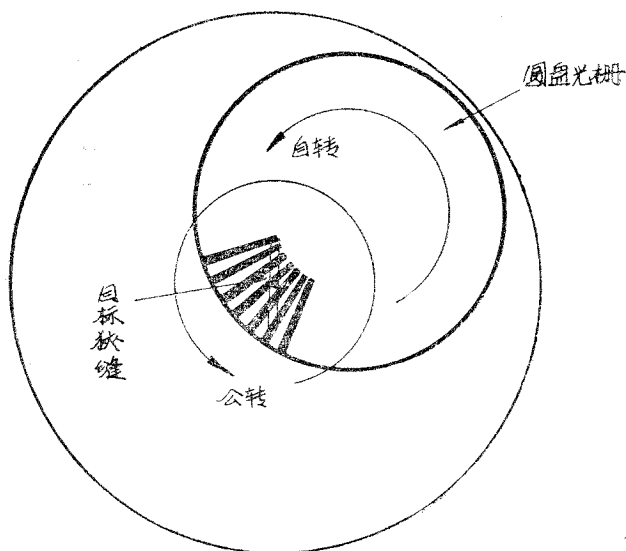


图1. EROS 装置目标发生器复频原理示意

包括一个倍率从 $0.5\times$ 可以改变到 $2\times$ 的变焦距中继物镜, 用以改变空间频率范围。电学部分采用三节 RCL 滤波器, 中心频率 1000Hz , 带宽约 $\pm 100\text{Hz}$, 对一次谐波 (3000Hz) 的衰减是 40dB 。

5) EROS IV 由测量光路和参考光路输出电信号的位相差测定 PTF。为此必须保证参考光路的取样小孔和由目标狭缝, 取样狭缝构成的公共区域对应于光栅上同一区域。假若被测物镜有一点装得不好或光学台本身有一点失调就做不到这一点。为作必要的修正, 在测量光路里加了一块补偿位相的平行平板, 它可以用测微螺丝作微小倾斜。由于加进这块平板而产生的位相差是与空间频率成线性关系的, 把它去掉以后记录下来的就是 PTF。图 2 是这台装置的核心部分

付里叶分析法。目标发生器由辐条形光栅盘, 中继物镜和目标狭缝组成。光栅盘是直径 170 毫米的玻璃圆盘, 用镀铬刻划方法刻了黑白等间隔的 4800 对线, 刻线长度 15 毫米, 空间频率是 10 对线/毫米。光栅盘绕自身轴作恒角速转动, 同时又可以绕通过目标狭缝中心的整个装置的光轴转动, 使空间频率随之改变, 图 1 是它的示意。目标发生器中

——目标发生器的结构示意图, 图 3 是装置的照片。

西德莱兹 (Leitz) 厂的 OTF 装置, 也采用了类似的测量原理^[3]。

2. 西德罗顿斯多克 (Rodestock) 光学工厂的 OTF 测定装置^[4]

这是一台采用数字付里叶分析法的装置。用狭缝作检验目标, 用取样狭缝扫描被测镜头所成目标狭缝的象, 然后用模拟计算机得出 OTF。这个工厂是专门生产各种镜头的。焦距从 2.5 毫米到 1000 毫米; 共轭距从无限远到 $1\times$ 成象, 还包括放大成象的情况。被测量的镜头, 有的相对孔径极大, 有的要求分辨本领极高。需要建立的装置要能测量所有这些镜头, 因此选择了这种方案。它的特点是:

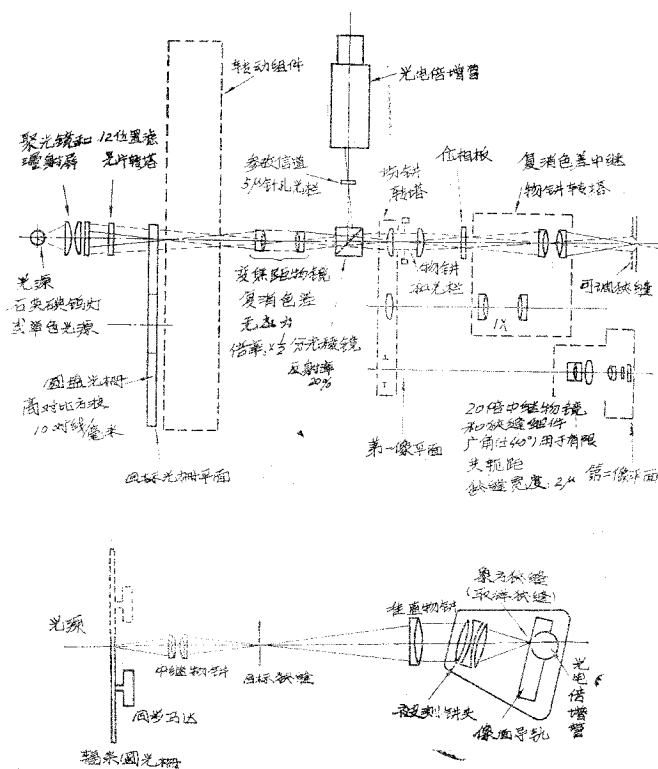


图2 a—EROS IV型装置目标发生器示意图
b—无限共轭距成像情况测量配置图

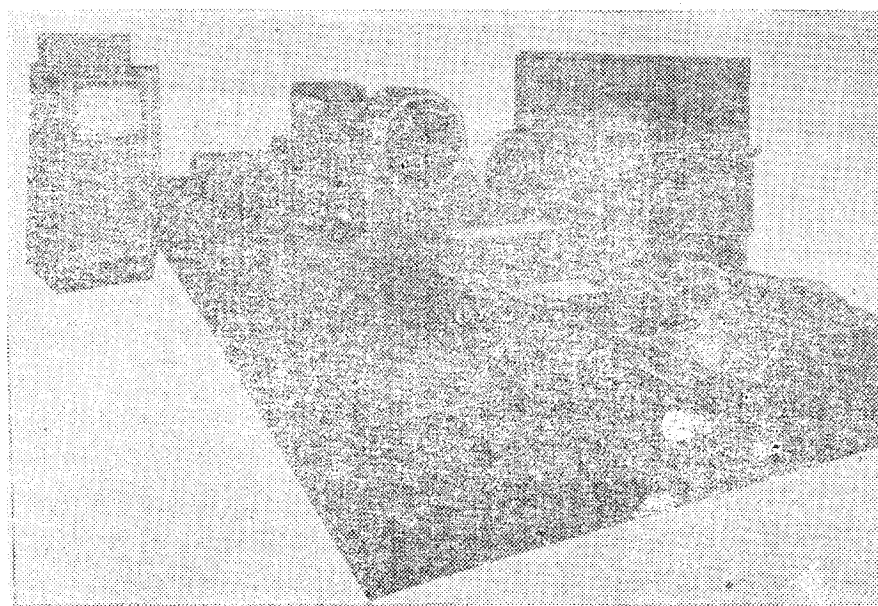


图3 EROS IV型装置照片

1) 可以同时测定 MTF 和 PTF, 并且频率范围宽, 高频可以测到 750 对线/毫米。

2) 直接用取样狭缝扫描被测系统所成目标狭缝的象, 避免了中继光学系统(如显微物镜)对测量的影响, 因此可以用于测定显微物镜, 光刻镜头之类的象差小, 分辨本领高的系统。

3) 测量精度主要决定于线扩散函数的测定精度和模拟计算机的计算精度。为了精确地测定线扩散函数, 除了必须采用宽度 $0.5-1\mu$ 精度足够好的目标狭缝外, 取样狭缝的扫描运动必须是线性的。为此采用了一套特殊的精密传动机构: 用马达带动凸轮, 由凸轮推动经光学加工的石英尖劈, 然后由这石英尖劈将直线运动传给取样狭缝。凸轮导程 8 毫米, 导程误差小于 0.01 毫米, 因此狭缝扫描的非直线误差小于 0.1%。用一套石英尖劈与所需的扫描宽度 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 2.4 和 3.2 毫米相对应。扫描所需时间是 5—20 秒。用了这套机构以后, 线扩散函数可以测得十分精确, 因

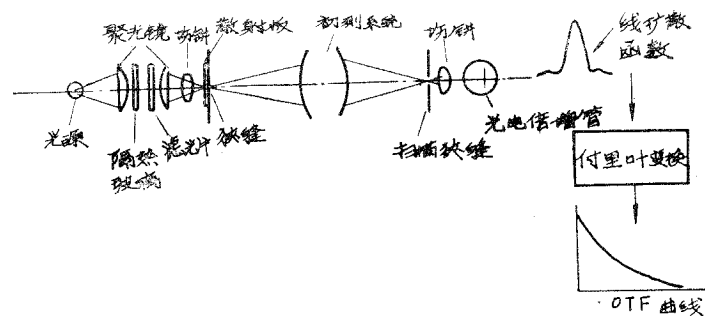


图4 西德 Rodenstock 厂 OTF 装置示意图

5) 图4是这台装置的结构示意, 图5是整个装置的照片。光学台长六米, 其上有两个滑座, 一个镜头座, 另一个装的是两边各长一米的象面导轨, 它和光学台夹角是 $90^\circ \pm 5''$ 。测量系统可沿它移动。六米光学台的另一端有一个三米光学台, 它与六米光学台成 $90^\circ \pm 5''$ 角。这个光学台上放带照明器的目标狭缝。为造成无限远共轭距测量条

此 OTF 的精度主要决定于模拟计算机的计算精度(它是 2% 左右)。

4) 用模拟计算机首先按要测定的空间频率 f 和扫描速度 v 构成正、余弦函数 $\sin(2\pi vt)$ 和 $\cos(2\pi vt)$ 。扫描期间放在取样狭缝后面的光电倍增管的输出 $H(t)$ 构成了乘积 $H(t)\sin(2\pi vt)$ 和 $H(t)\cos(2\pi vt)$, 由随之进行的积分得出光学传递函数 $L(f)$ 的实数和虚数部分: $R_e[L(f)] = \int H(t)\cos(2\pi vt)dt$ 和 $I_m[L(f)] = \int H(t)\sin(2\pi vt)dt$ 。最后得出 $L(f)$ 的模数和位相即 MTF 和 PTF,

$$|L(f)| = (I_m^2 + R_e^2)^{1/2},$$

$$\psi = \tan^{-1}(I_m/R_e)$$

为了测定另一频率的 OTF, 计算机首先构成另一频率的正、余弦函数, 然后再作一次取样扫描, 计算机即随之重复进行上列计算。频率的改变可自动进行。为得出一条 MTF 或 PTF 曲线, 一般测定 15 个频率的值就可以, 每个频率的测定时间是 5—20 秒钟, 总共要一分半至 6 分钟时间。

件, 目标狭缝可以加在一个焦距 1500mm, 口径 120mm 的高质量平行光管的焦面上, 整个装置被放在有空调的地下室中的稳定基础上。为了隔离震动, 两个光学台都装在一个躺在沙床里的 15 吨重的水泥墩上。

3. 几台适合于工厂检验产品质量的 MTF 装置,

上面介绍的两台装置适合于研究实验室

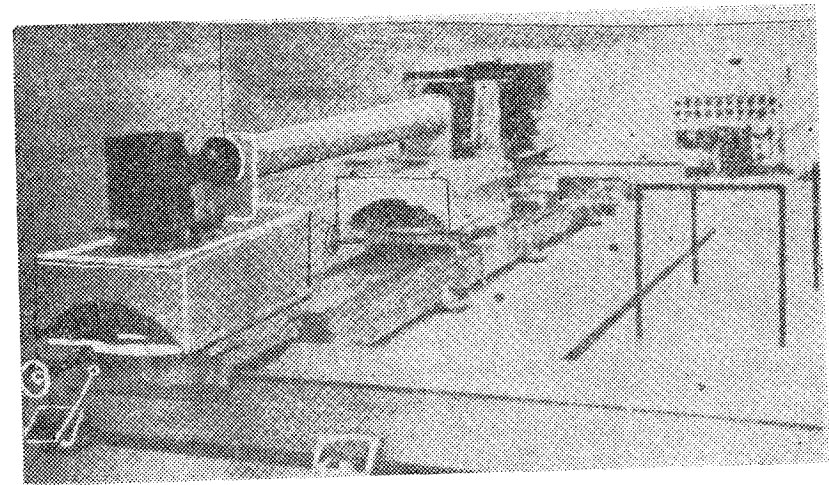


图5 Rodenstock 装置的照片

作标准设备或对要求严格的产品进行检验。它们的功能比较完全, 精度比较高, 装置比较复杂。下面介绍几台适合于批量产品检验和质量控制用的 MTF 测定装置。对这类装置的要求一般是:

- ① 操作简单, 维护方便, 一般检验人员可以使用;
- ② 测定所需时间少, 能给出明确答案(例如合格或不合格);
- ③ 重复性好, 并且测量结果和标准设备一致;
- ④ 专用性强。只须适用于某一类产品的检验, 不必象实验室设备那样要求有较高的灵活性和比较完全的功能;
- ⑤ 对其他象质指标, 如透过率, 象面照度分布, 杂光系数等也能进行测定;
- ⑥ 造价低

1) 西德奥浦通 (Opton) 厂的 KVI 型 MTF 物镜检查仪^[5]。

这台装置专门用于检查筒长加后截距小于 330 毫米, 口径小于 $\phi 80$, 画幅小于 $\phi 150$ 毫米, 数值孔径小于 0.90 的照相摄影物镜, 图 6 是这台装置的照片。

这台装置可以同时测定三个频率的 MTF 值, 采用矩形光栅转鼓扫描狭缝象,

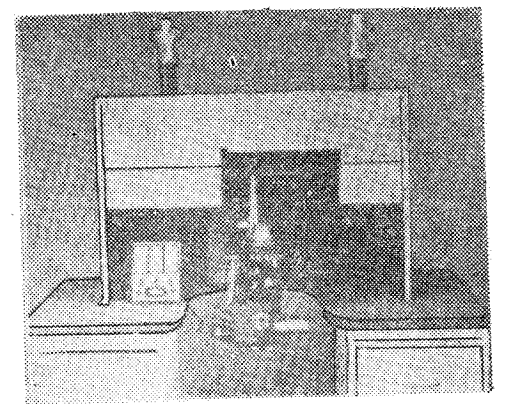


图6 西德 Opton 厂的 KVI 装置照片

用电学滤波器取出基波。零频的 MTF 能自动规范化为 100%。可对子午和弧矢两个方向进行测定。用表头指示测得的 MTF 值(百分数), 也可以事先规定合格产品 MTF 应达到的最低值, 用红, 绿灯显示不合格或合格, 测定的频率可以选用不同倍率的中继显微物镜加以改变, 用 $25\times, NA = 0.65$ 物镜时空间频率是 10, 20 和 40 对线/毫米, 用 $40\times, NA = 0.65$ 物镜是 16, 32 和 64 对线/毫米用 $63\times, NA = 0.90$ 物镜则是 25, 50 和 100 对线/毫米。三个显微物镜都是平象场复消色差的。有两个平行光管: $f = 325$ 毫米, 用于焦距数毫米至 25 毫米物镜的检查, 另一个 $f = 1200$ 毫米, 用于

焦距25毫米至250毫米物镜的检查。MTF的测量误差是±5%，重复性±1%。目标狭缝宽度的影响用查表算法修正。测定一个镜头（比如三个视场子午和弧矢）只需要两、三分钟时间，同时还可以作星点检查，物镜光圈标定（精度2%），象面弯曲测定（精度5μ）和机械后截距测定（即安装定位尺寸），精度是5μ。由于整个扫描部分（连同显微物镜）可以摆动15度角，因此对广角物镜也可以测定。

这台装置经日本某些工厂采用，认为结构较合理，使用方便，性能稳定可靠，

2) 美国屈鲁拜耳 (Tropel) 公司检查量产镜头的MTF装置。

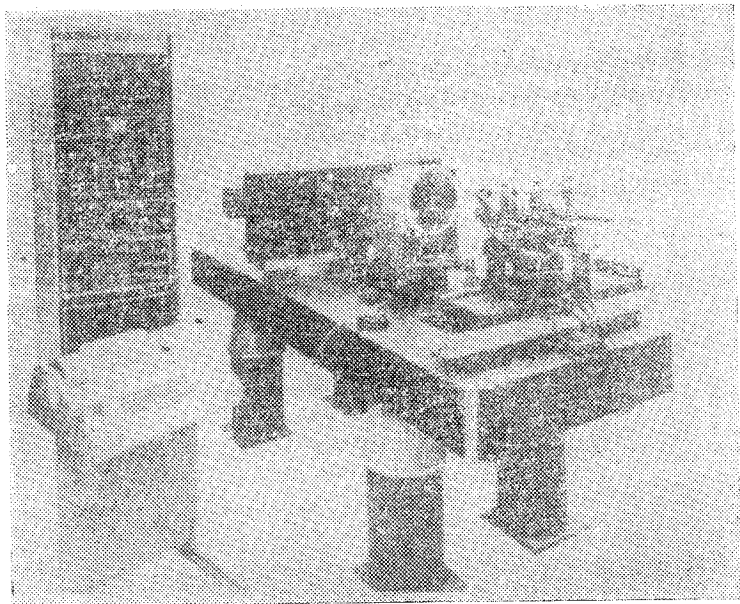


图7a 美国 Tropel 公司装置的照片

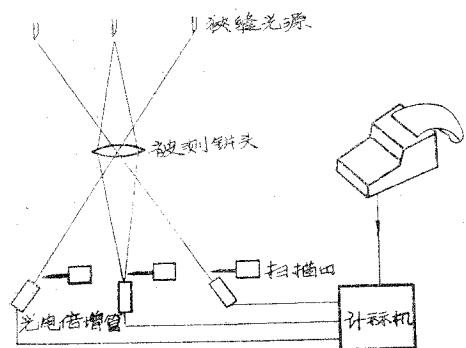


图7b 美国 Tropel 公司装置的原理示意图

图7是这台装置的照片和原理示意图。它能同时测定三个视场的 MTF 值。在轴上和两个轴外点共放置三个用非相干照明的狭缝作目标，用三个刀口同时扫描被测系统所成的狭缝象。计算机每 1/10 秒读取一个刀口扫描象分析器输出的光电流值。扫描完毕以后几分之一秒内，计算机就能根据读入的光电流取样值作微分和付里叶变换，在示波器上显示出 MTF 和 PTF 曲线，同时用打印机作永久记录。它测定 4—10 个象面的 OTF，然后按照给定的象质评价函数确定最佳象面，给出象面弯曲值和焦深，并判断被测镜头是否合格。假若被测镜头合格的话，还给出最佳成象面的机械后截距数值。

另外，日本的山口意飒男和仲本正纪^[7]，法国的 J. Aznarez 等人^[8]，也介绍了这类的装置，并讨论分析了误差的各种来源。这类装置的测量精度主要决定于刀口扫描机械的精度，光度测量系统的散射颗粒噪音和线性误差。

3) 一台适合工厂使用的以 MTF 作象质指标的检查双筒望远镜和其他瞄准镜的装置^[9]。

这是英国主管武器生产的部门与 SIRA

协会订立合同发展的一台 MTF 测试设备。考虑到投产的设计是经过全面检验和实际使用证明合乎使用要求的，因此对产品质量进行检查监督就只要根据产品使用要求和特点，选择一个有代表性的空间频率，测定轴上和一个轴外视场的 MTF 值，将它们和由实际使用证明合格的产品测量值（作为质量控制指标）进行比较确定合格不合格。对望远镜和瞄准镜取 5 对线/度作为有代表性的频率，测定所有取向的平均 MTF 值作为象质指标，认为这样做比用子午和弧矢两个方向或者两个互相垂直的 45° 取向 MTF 平均值更合理。

整个装置如图 8，用点光源作目标（放在准光物镜焦平面上），经被测系统成象在光栅盘上。光栅盘用恒定的角速度旋转，产生的光电信号是一定频率的矩形波电流或电压，用窄带滤波器取出基频信号。它的交流分量幅度与直流分量的比值就是 MTF 值。用自动规化方法得出这一比值，图 9 是这一电学系统的方框图。光栅盘自转的同时，绕通过点光源象的整个装置的光轴旋转，因而仪器的输出是 MTF 随空间频率取向的变化，用电路处理的办法求出 MTF 对所有取向的平均值。

这台装置还可以用来测定沿轴透过率，漫射杂光系数。装置的设计思想和采用的具体方案值得生产这类光学系统的工厂建立 MTF 检验设备参考。

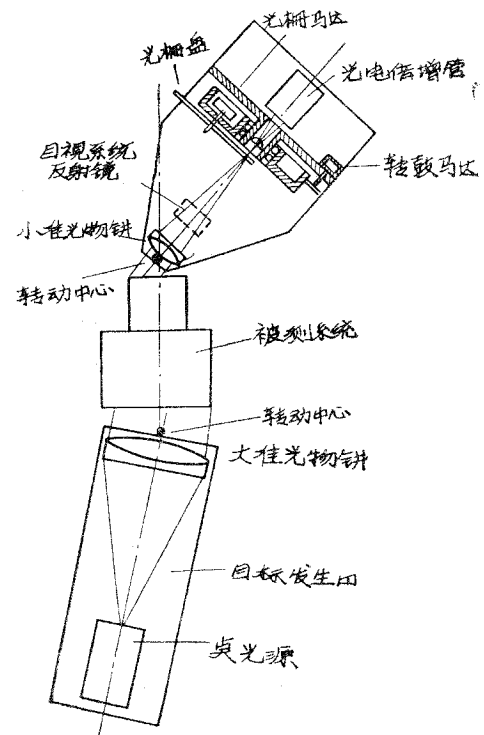


图8 SIRA 小组设计的装置示意图

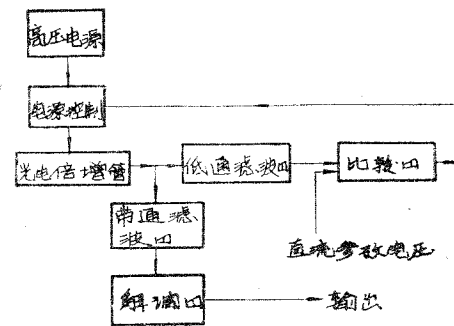


图9 采用自动规化的系统方框图