

计量光栅均匀性误差的检测

李明媛 杨进堂

摘要：本文小结了我们检测计量光栅均匀性误差的三种方法，即：描录法，分流法，光量法。

讨论了有关原理，检测方法及计算公式，文中列举了实测数据并对这些方法进行了比较。

一、概 述

均匀性误差是指计量光栅各部位透光量不均匀所造成的定位误差，它以转换点来表示。如图1所示，图1中1—2为亮区间，(相当于亮线条)，2—3为暗区间，(相当于暗线条)。使亮区间等于暗区间的电平叫转换电平用($V_{\text{转换}}$)表示。

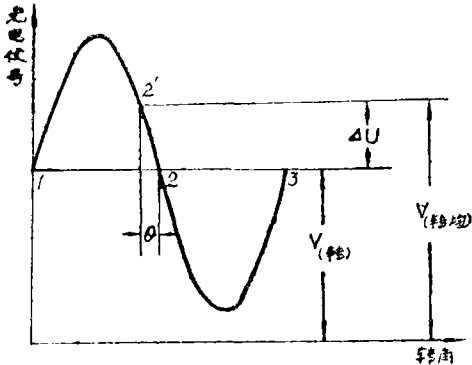


图1

若在整個光栅上共有 N 条刻线，共取出 N 个正弦波，则我们就得到 N 个不同的转换电平，这些转换电平有一个平均值，我们称之为平均转换电平($V_{\text{平均转换}}$)。转换电平与光电信号的交点(1、2、3)叫做转换点。在莫尔条纹信号处理电路中往往根据($V_{\text{转换}}$)来调整司密特触发器等电路。所以在某一角度处转换电平($V_{\text{转换}}$)和平均转换电平($V_{\text{平均转换}}$)之间就有一个差值 ΔU ， ΔU 有一个对应的角度值即：(2—2')对应的角度值，用 ΔW 表示。我们取 ΔW 来表示

均匀性误差，即均匀性误差用光电信号的转换点误差来表示。

均匀性误差直接影响计量光栅光电信号的均匀程度，它直接引起测量误差。在很多情况下，均匀性误差所引起的测量误差，往往比刻划误差所引起的误差还要大。因此它是衡量计量光栅好坏的一项重要指标。

我们用的均匀性误差检测方法先后共有三种。

1. 描录法 66年开始使用，这种方法是把莫尔条纹光电信号直接送到记录仪里，逐个的将波形描录出来。

2. 分流法 71年开始使用，这种方法是将光电信号经分流滤波后，在记录仪上划出均匀性变化的曲线。

3. 光量法 72年开始使用，这种方法是利用光敏元件直接接收计量光栅透光量的变化，用笔录仪或电子电位差计划出均匀性误差曲线。

二、检测方法

(一) 描录法

1. 原理：此种方法是从计量光栅上取出的莫尔条纹光电信号，直接送到记录仪里，然后逐个的将波形的变化情况描录在记录仪上。计量光栅均匀性误差的大小在记录纸上明显的反映出来。参看图 2。

这是一种最原始的测量均匀性误差的方法，它的实测曲线如图 3 所示。它如实的记录了光电信号的真实全部情况，可供分析比较，但工作量较大，效率较低。

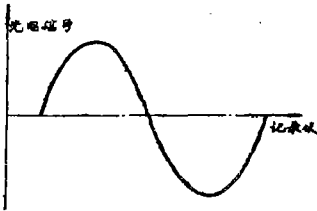


图 2



图 3

(二) 分流法

1. 原理：这种方法是把光电信号的直流分量和交流分量区分开来，通过滤波器将交流分量大部份滤掉，而将直流变化部分由记录仪记录下来如图 4 所示。



图 4

2. 计算公式：

公式的推导如图 5 所示，设在平均转换点 C 点附近，信号峰一峰值为 L ，最高转换点与最低转换点的差值为 ΔU ， ΔU 在 C 点附近所引起的相位变化为 $\pm\theta$ ，那么，

$$\begin{aligned} \sin\theta &= \frac{\Delta U/2}{L/2} \\ &= \frac{\Delta U}{L} \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

当 θ 角较小，且 θ 用弧度表示时，我们可以近似地取：

$$\theta \approx \sin\theta = \frac{\Delta U}{L} \dots\dots\dots (2)$$

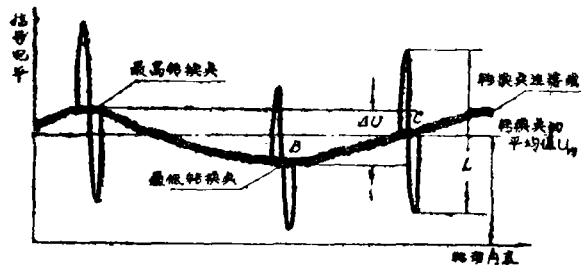


图 5

为了与刻划误差统一成同一度量单位，便于使用者获得清晰的数量概念，在检测圆光栅时我们须将电信号的相位角 θ 换算成盘子的空间角 ΔW 。显然， θ 角的 2π 弧度恰好对应刻线的一个周期 T ，于是可得：

$$\Delta W = \frac{T}{2\pi} \cdot \frac{\Delta U}{L} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- ΔW —— 均匀性误差 (秒)
- ΔU —— 最高转换点与最低转换点的差值 (格)
- L —— 信号的峰—峰值 (格)
- T —— 光栅的周期 (秒)

图6是实际测量时记录下来的曲线。这条曲线记录的是一块17位, 二进制码盘的均匀性误差

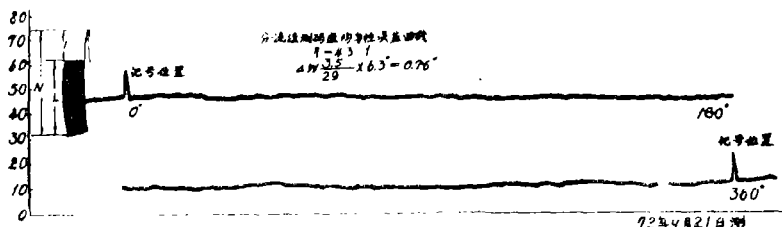


图6

使用公式(3)时, 必须注意以下三点:

(1) 公式(3)是在令 ΔU 引起的相位变化为 $\pm\theta$ 的前提下导出来的, 所以用这个公式算得的误差值若为1秒时, 则实际上含义是为 ± 1 秒。

(2) 根据我们的经验, 滤波后的线宽应该为光电信号峰—峰值的 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{40}$ 之间。

(3) 公式(3)是个近似公式, 它的准确度我们做了实验。一般对于 $\theta \leq \pm 30^\circ$ 的情况下, 带进误差不超过2.4%; 当 $\theta \leq \pm 15^\circ$ 的情况下, 带进的误差小于1%。所以这个公式对于一般计量光栅检测来说是足够准确的。

(三) 光量法

1. 原理 此种方法是直接将通过计量光栅的光通量转换成光电流记录下来, 由电位差计或记录仪划出曲线, 然后再记录出暗电位置线。图7是它的原理图。

2. 计算公式

图8是光量法测均匀性误差的曲线示意图。从图8中我们可以看出信号幅值 L 为虚线, 这是假设由计量光栅上取出了光电信号, 其峰—峰值为 L , 信号的对比度为 $N:1$ 。由图8可以看出, 若设信号的暗电平的幅值为1,

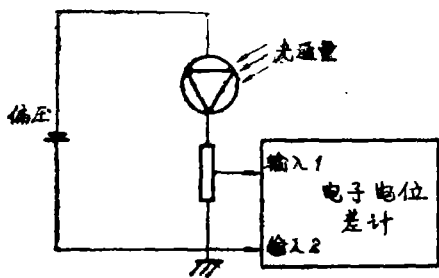


图7

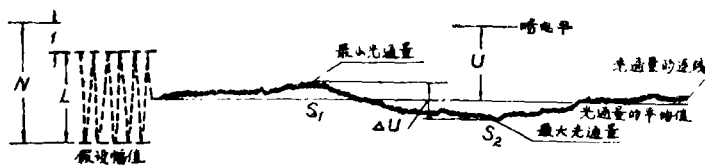


图8

则 L/U 对应的比例值为:

$$\frac{N-1}{2} + 1 = \frac{N+1}{2}$$

L 对应的比例值为:

$$N-1$$

比例式为:

$$U: \frac{N+1}{2} = L:(N-1)$$

从而求出

$$L = \frac{2(N-1)}{N+1} U \dots\dots\dots (4)$$

将(4) 式代入(3) 式得:

$$\Delta W = \alpha N \cdot \frac{T}{2\pi} \cdot \frac{\Delta U}{U} \dots\dots\dots (5)$$

其中

$$\alpha N = \frac{N+1}{2(N-1)}$$

式中:

ΔW —— 计量光栅的均匀性误差 (秒)

U —— 计量光栅全长通光量的平均值

ΔU —— 光量法测通光量的最大变化量

利用公式(5) 我们可以将均匀性误差换算成相应的角度或长度计量单位。即用几何量表示。但光量法也可以用百分比来表示均匀性误差, 其公式为:

$$\Delta W = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\% \dots\dots\dots (6)$$

我们将 αN 称作为对比度系数, 对于同一种盘子, 即计量光栅的刻线黑白间隔是固定的。但对比度系数 αN 却可以完全不同, αN 是一个随 N 变化而变化的变量; N 和 αN 它们之间的关系可以从表1看出。由表1划出曲线如图9。

表1

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|----------|
| N | 1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | 11.0 | ... | ∞ |
| αN | ∞ | 5.50 | 3.80 | 3.00 | 2.50 | 1.50 | 1.17 | 1.00 | 0.9 | 0.83 | 0.75 | 0.70 | 0.67 | 0.65 | 0.63 | 0.61 | 0.60 | ... | 0.50 |

下面讨论三种特殊的例子

(1) 当 $N = 1$ 时, 这种情况实际上就是没有信号, 而且也没有实际意义。因为 $L = 0$ 时, 即使按公式(3) 计算, ΔW 也是无穷大。

(2) 当 $N = 3$ 时, 这种情况正好是 $L = U$ 的情况。此时 $\alpha N = 1$, 光量法的计算结果与分流法的计算结果是一致的。

(3) 当 $N = \infty$ 时, 这种情况就是

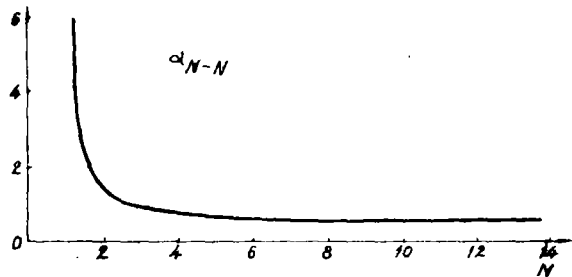


图9

信号的暗电平与零电平相一致。此时 $L = 2U$ ，实际上这种状态是调不出来的，是没有意义的。

从上面讨论的三种情况，可以看出 L 和 U 的内在联系，也就是加指示光栅用分流法检测均匀性误差和不加指示光栅用光量法检测均匀性误差，二者大致是一致的。只是加指示光栅检测，是人们通过精密装调，在某种对比度的条件下，取得的信号幅度值。不加指示光栅检测，工作者完全可以参考加指示光栅的概念，按照一定的对比度求出信号的幅度值。其物理概念的真实含义是：无论何种计量光栅，生产出来后，经认真擦洗，在一定的光强照射下，刻线的亮暗变化趋势就固定不变。而当人们使用计量光栅时形成的莫尔条纹信号，是在固定的光照下，不同的对比度才产生不同的信号幅值。

实际上当信号的对比度调到 5:1 以后，均匀性误差的变化就很小。这个实验结果对计量光栅的装调或确定计量光栅的指标都有参考价值。从图 9 可以看出这个结论。

三、实测情况

72年我们用分流法和光量法测均匀性误差并进行了比较，两种方法反映均匀性误差的精度大致是相同的，检测的结果如表 2 所示。实测曲线如图 10 和图 11 所示。

表 2

| 年、月 | 编 号 | 分 流 法 | | 光 量 法 | |
|---------|-------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | | 对 比 度 | 均 匀 性 | 对 比 度 | 均 匀 性 |
| 72、9、19 | 17—2 | $\eta = 3:1$ | $\Delta W = 0."83$ | $\eta = 3:1$ | $\Delta W = 0."82$ |
| | | $\eta = 4.3:1$ | $\Delta W = 0."76$ | $\eta = 4.3:1$ | $\Delta W = 0."76$ |
| 72、9、20 | 17—3 | $\eta = 4.3:1$ | $\Delta W = 0."75$ | $\eta = 4.3:1$ | $\Delta W = 0."74$ |
| 72、9、20 | 铭 1 | $\eta = 4.3:1$ | $\Delta W = 0."88$ | $\eta = 4.3:1$ | $\Delta W = 0."84$ |
| 72、9、21 | 光 栅 盘 | $\eta = 3:1$ | $\Delta W = 0."38$ | $\eta = 3:1$ | $\Delta W = 0."39$ |

为了验证光量法光强对检测结果的影响，我们改变光强做了大量的实验，其结果如图 12 所示。同时我们还做了光敏元件与被测计量光栅盘面的距离实验，结果如图 13 所示。



图 10

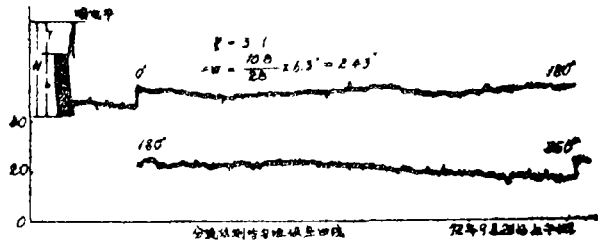


图11

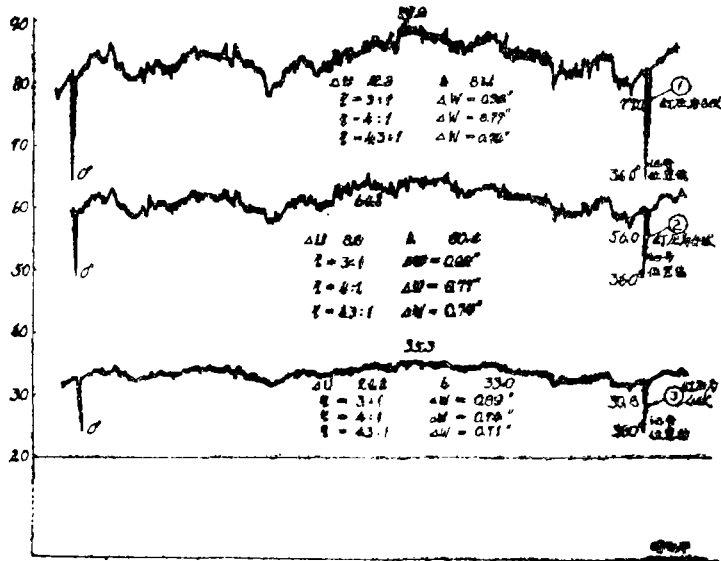


图12 光量法不同光强测码盘均匀性误差曲线

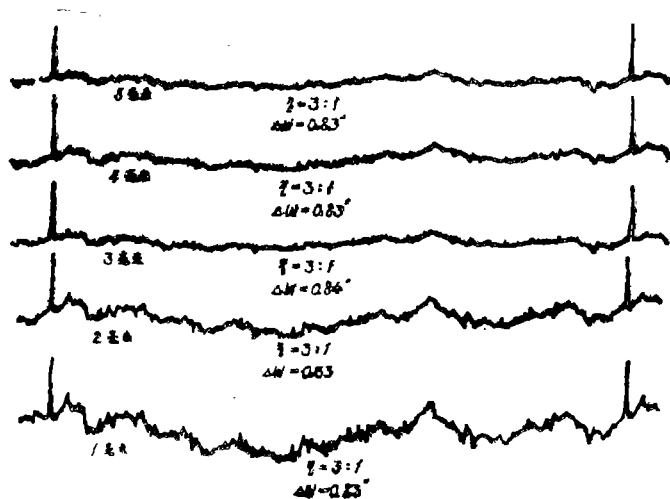


图13 光量法改变光敏元件与被测盘面
距离而测量均匀性误差曲线

从实测结果和实验表明，分流法检测均匀性误差和光量法检测均匀性误差，在相同条件下测试，两种方法测量结果大致一样。

为了更进一步的证实图9的 αN 和 N 的关系，我们用分流法做了实验。对一块计量光栅

的同一位置，调整狭缝（即指示光栅）和被测光栅盘面的不同距离，从而改变了对比度进行测量，测量结果如表3所示。

表3

| | | | | | | | | | |
|-----|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 对比度 | 2:1 | 2.4:1 | 2.8:1 | 3.15:1 | 3.4:1 | 3.7:1 | 4.5:1 | 6:1 | 6.6:1 |
| 均匀性 | 2."2 | 1."9 | 1."49 | 1."33 | 1."20 | 1."15 | 1."13 | 1."09 | 1."07 |

由表3可以看出不同的对比度，均匀性误差的变化趋势基本上与图9曲线的变化趋势是一致的。

我们先后使用的三种检测均匀性误差方法各有优缺点，由于描录法工作量较大，现在很少使用；至于分流法和光量法，二种方法均可使用。