

Z-80微型计算机对软 X 射线 散射测量过程的控制

唐 健

摘要: 本文简述了测量软 X 射线散射的原理及实验方法。介绍了利用微型计算机对测量过程实施控制的工作。由于较好地安排了 D+7AI/0 数模转换板的输出口, 使主探测器——正比计数器的两维移动更加方便、合理。由于对步进电机驱动器的控制方式做了一点改进, 较好地解决了步进电机在真空条件下工作温升太快的问題。

一、测 试 原 理

Ehrenberg 研究了靠近弯曲光学表面聚焦图象的 X 射线散射理论, 指出: X 射线散射是由于光学平面上的缺陷引起的, 而不是衍射效应、照像底片上的光晕或空气产生的 X 射线散射引起的^[1]。这一推断为用 X 射线散射方法检查光学镜头的超光滑表面微观粗糙度提供了依据和手段。根据贝克曼的电磁波散射理论, 积分散射强度 I_s 反映了表面微粗糙度的垂直特征—— σ , 即:

$$\frac{I_s}{I_i} = (2k \sin \theta_s \sigma)^2 \quad (1)$$

而
$$\sigma = \frac{1}{A} \iint_A |Z(X, Y)|^2 dx dy$$

A 是样品表面上被测区域的面积, $Z(X, Y)$ 是表面轮廓函数, 所以 σ 的物理意义是在 A 区域上表面轮廓函数积分的方均根值——表面起伏的方均根值。假如高度起伏有一定的周期性, 则微粗糙度的横向特征——相关长度 T 就与这起伏的周期相对应。一般说来, T 大则小角度散射 (邻近镜反射方向的散射) 强度高, T 小则大角度散射强度高。图 1 显示出 σ 和 T 的物理意义。

如果我们知道了散射积分量, 就可以得到 σ 和 T 两个参数, 进而求出样品表面的超光滑程度。软 X 射线在样品上的散射一般是高斯分布状态, 如图 2 所示。

在峰值左右 ± 1 弧分内被定义为镜反射区域, 而图中的阴影部分即是散射部分。图 3 则显示了 θ_s , θ_i , φ 的定义。

在掠入射、小角度散射 (我们的软 X 射线散射测量正是这种情况) 则可得出以下简单结果:

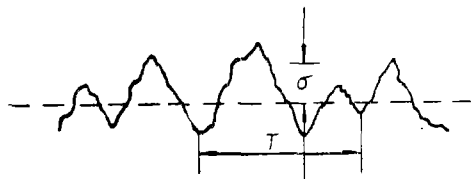


图 1

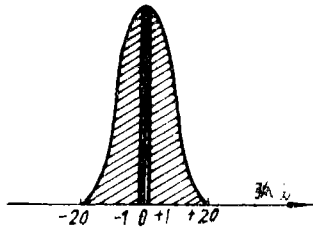


图2

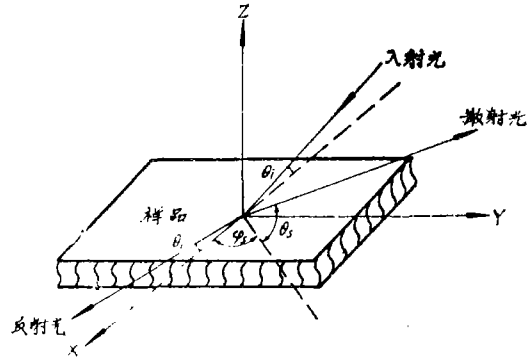


图3

$$(2k\sigma\theta_i)^2 = \frac{1}{I_R} \int \frac{dI}{d\Omega} d\Omega \quad (2)$$

$$(2km\theta_i)^2 = \frac{1}{I_R} \int (p^2 + q^2) \times \frac{dI}{d\Omega} d\Omega \quad (3)$$

$$T = \frac{2\pi\sigma}{m} \quad (4)$$

式中 I_R 是总反射强度， $d\Omega = d\theta_s \cdot d\varphi_s$ （散射光角微元）， $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 是波数， θ_i 是掠入射角， $\frac{dI}{d\Omega}$ 是微分散射分布， $p = k \cdot \theta_s \cdot \alpha$ ， $(\alpha = \theta_s - \theta_i)$ $q = k \cdot \varphi_s$ 。^[2]上述理论的适用条件是 $(k\sigma \sin \theta_i)^2 \ll 1$ ，对于掠入射情况， $\sin \theta_i$ 是 10^{-2} 数量级，因此只要 σ 与波长可以相比较就满足这一条件。我们所用的软X射线光源的波长是在 $0.83\text{nm} \sim 4.4\text{nm}$ 之间，这正是与超光滑表面的 σ 值相接近。图4是测试部分的框图。

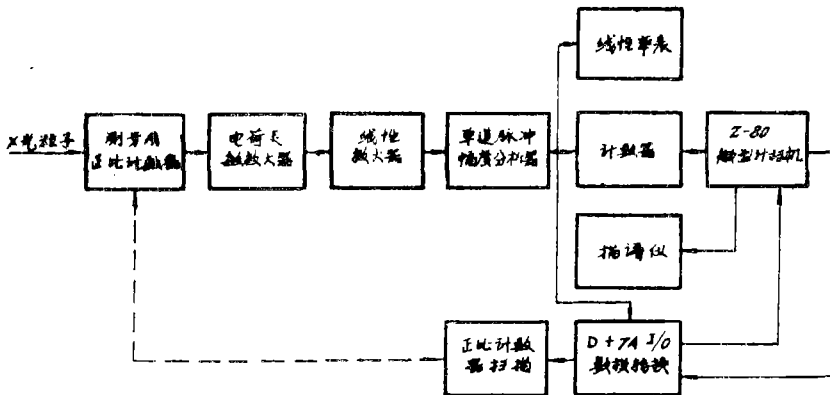


图4 X射线散射测量探测部分框图

X光源发射的X光粒子射到样品表面并被散射后，被安放在扫描架上加狭缝的探测器（正比计算器）所接收，形成易于探测的电流脉冲，不同能量的X光粒子将产生不同幅度的电流脉冲信号。经过线性放大器放大后，送入单道脉冲幅度分析器，分析器对这一串脉冲序列进行甄别筛选，只保留某一范围（即某一能量特征）的脉冲信号。所输出的脉冲数量的多

少，直接表征此点光通量的大小。如果扫描架在散射平面（即所对的散射角平面）移动，并在每点都采集脉冲信号，则可以勾画出一个立体的高斯分布图形，如图 5 所示。对这些数据进行处理，就可以得到此点样品的垂直微粗糙度特征值 σ 和横向微粗糙度特征值 T ，这在前面已经叙述过了。

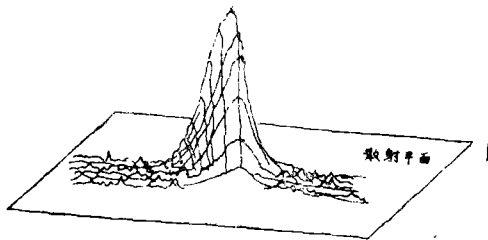


图 5

二、微型计算机对两维测量的控制

从以上讨论可以看出，保证探测器在各测量点之间位移的精度并准确记录在各测量点所采集的脉冲个数，是能否精确地勾画出散射分布轮廓，进而求出该点微粗糙度的关键。我们选用 Z-80 微型计算机来实施扫描架的位移控制，并完成数据的采集。

1. x、y 两方向步进电机的相互切换

我们分别用两台步进电机来驱动扫描架在 X、Y 两个方向的移动。选用的 BK-5 型步进电机驱动器具有清零，正向，反向，脉冲输入 (CP) 等控制端口，如果按一般接法，每个方向的步进电机都配备一台驱动器，Z-80 微型计算机就需要有 8 个输出口去和两台驱动器的控制端口连接。可是我们所选用的 D+74 I/O 数模转换板只有 7 个输出口。为解决这个问题，我们采用一台驱动器来控制两台步进机。用一个双稳态电路作为控制 X 方向和 Y 方向步进机切换的电子开关，用 D+74 I/O 板的一个输出口来触发这个电子开关，这样只用 5 个输出口（多加了一个转换口）就可以实现两维移动的控制。

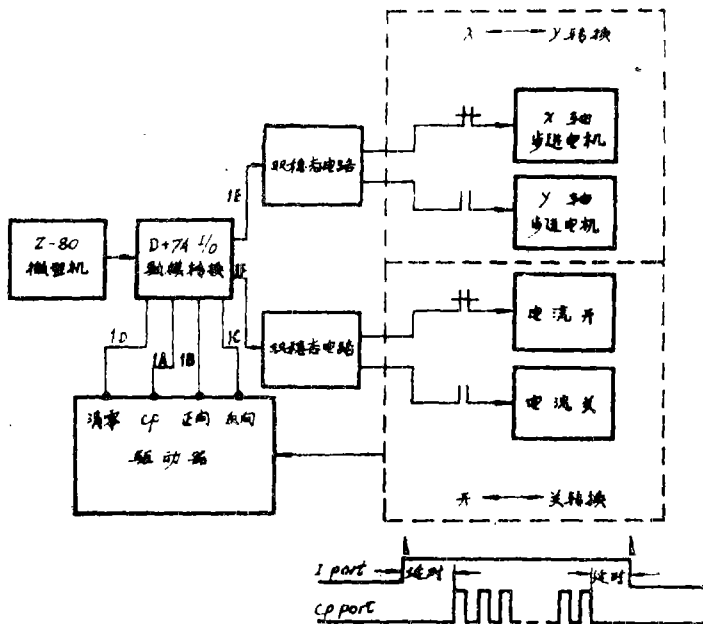


图 6 实验框图

2. 步进电机的温升控制

步进电机驱动器开启后，即使在停止转动的情况下，仍有一相或两相电流（步进电机是四相八拍的）流过。因此在采集数据期间（此时不允许扫描架移动），电机线包内也有电流。由于软X射线（ $0.1\text{nm} - 10\text{nm}$ ）很容易被大气吸收，所以软X射线散射测量的实验必须在真空中进行。可是在真空条件下，步进电机所产生的热散不出去，温升快，从而使步进电机本身的放气量也急剧增加（因为我们所使用的不是真空步进电机，而是经过一定改进的普通步进电机），直接影响真空度并且污染器件。为此我们采用双稳态门的电

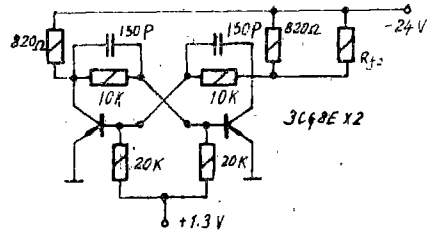


图7 双稳态电路图

路。

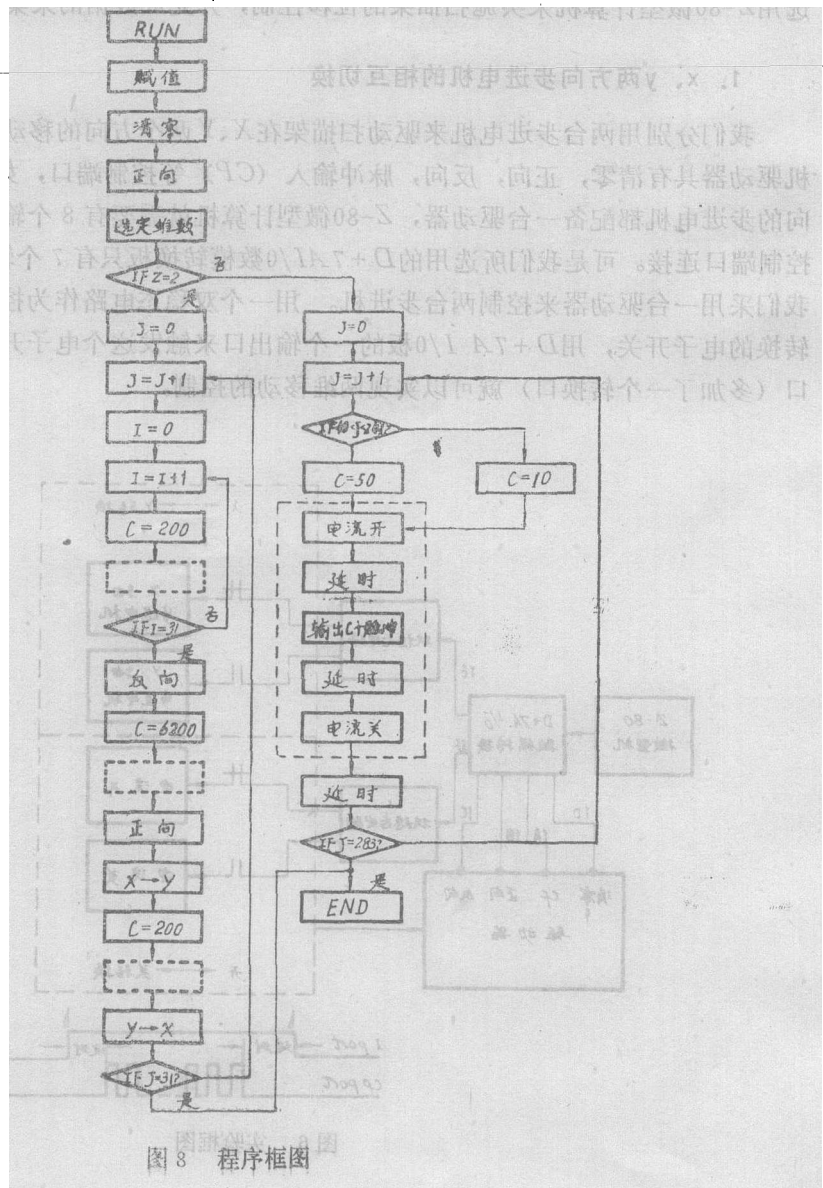


图8 程序框图

子开关来控制步进机驱动器电流的开启。让驱动器在采集数据时没有电流流过，只在步进电机转动时才有电流流过，较好地解决了步进电机温升快的问题。

3、两维控制实验

在解决了 $X \leftrightarrow Y$ 转换问题和温升控制问题后，我们进行了两维控制实验。具体框图和双稳态电路图如下。

用1D、1A、1B、1C四个输出口分别和驱动器的清零、脉冲输入、正向、反向控制端口连接；用1E和1F两个输出口和两个电子开关相连接，分别控制扫描架X、Y方向的转换和驱动器电流的开启。考虑到驱动器本身有 $-24V$ 和 $+1.3V$ 电源，所以对双稳态电路各元件进行一些调整，使之可直接采用驱动器的电源。实验程序的框图和清单见图8、图9。

```

LIST
      5 N=1
      10 A=0
      20 B=127
      30 D=129
      40 Q=%001D%
      50 GOSUB 700
      60 Q=%001B%
      70 GOSUB 700
      80 INPUT Z
      90 IF Z=2 THEN 200
      100 T=283
      106 Q=%001B%
      107 GOSUB 700
      110 FOR J=1 TO T
      120 IF 40<J AND J<243 THEN 140
      130 C=48 : GOTO 150
      140 C=12
      145 L=400
      150 GOSUB 600
      190 NEXT J
      195 GOTO 370
      200 T=31
      206 Q=%001B%
      207 GOSUB 700
      210 FOR J=1 TO 31
      220 FOR I=1 TO T
      230 C=198
      235 L=400
      240 GOSUB 600
      250 NEXT I
      260 Q=%001C%
      270 GOSUB 700
      280 C=6138
      285 L=1000
      290 GOSUB 600
      300 Q=%001E%
      305 Y=B
      310 GOSUB 800
      315 Q=%001B%
      316 GOSUB 700
      320 C=198
      325 L=400
      330 GOSUB 600
      335 Q=%001D%
      336 GOSUB 700
      340 Q=%001E%
      345 Y=A
      350 GOSUB 800
      360 NEXT J
      370 END
      400 Q=%001F%
      605 Y=A
      610 GOSUB 800
      611 FOR U=1 TO 100
      612 @
      613 NEXT U
      620 FOR K=1 TO C
      630 FOR H=1 TO N
      640 OUT%001A%,A
      650 NEXT H
      660 FOR H=1 TO N
      665 Y=B
      670 OUT%001A%,D
      680 NEXT H
      681 NEXT K
      682 FOR U=1 TO 100
      683 @
      684 NEXT U
      691 Q=%001F%
      692 Y=B
      693 GOSUB 800
      694 FOR S=1 TO L
      695 @
      696 NEXT S
      697 @"J=";J,"I=";I
      698 RETURN
      700 OUT Q,A
      710 OUT Q,D
      715 OUT Q,A
      716 OUT Q,D
      720 RETURN
      800 OUT Q,Y
      810 RETURN

```

图9

首先X方向电机在微型计算机控制下做正向移动，每次走200步，转角 300° 。然后停下来采集数据。走完一行，即经过31次移动和采集了31次数据后，电机换反向，走6200步，又回到原来的位置。随后微型计算机又令 $X \rightarrow Y$ ，反向 \rightarrow 正向，在Y的方向走200步。再进行 $Y \rightarrow X$ 的切换，重复第一行扫描过程，直至31行全部扫描完毕。经过实验，程序和转角精度完全达到

预期设想。

在实验中，还做了两次步进机的温升实验，温升曲线的对比如下。

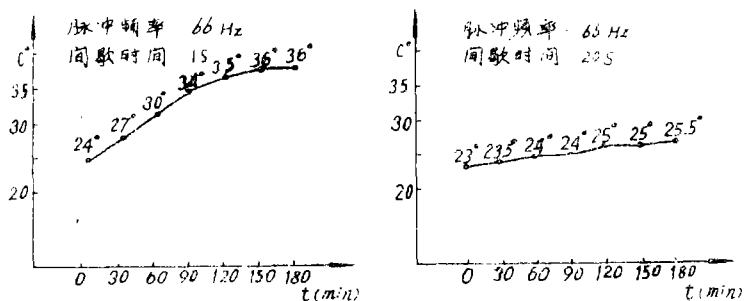


图10 步进电机温升比较

从两条曲线的对比可以看出，间歇时间（即切断电流的时间）长短对温升的影响很大。如果考虑到粒子涨落对测试精度的影响，探测器必须采集一定数量的X光粒子，才能保证测试的精度，而在高斯分布图形的两翼，可接收到粒子的几率很低（尤其是在超光滑的情况下），探测器只有等待较长的时间才能采集到足够的粒子。因此间歇20秒更接近实际工作情况。

三、小 结

Z-80微型计算机对软X射线散射测量过程的控制实验，取得了较为满意的结果。但要最终完成散射测量实验，求出样品表面的微粗糙度 σ 和 T ，还有一些工作要做。如对实验中采集数据程序的某些修正，对所采集数据的连续处理等等。这些正是在软X射线散射测量实验中全面实现微机控制和处理所应做的下一步的工作。

在实验中，得到了王世昌老师的热情帮助，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] R.S.Wriston; Soft X-ray Scattering by Optical Surfaces, Appl.Opt.,1973,12,1,25.
- [2] 蒋筑英; 用软X线散射测量检查超光滑表面,《光学机械》,1980,6,20.

The Control for Soft X-ray Scattering Measurement on the Z-80 Microcomputer

Tang Jian

Abstract

The article describes the brief principles and experiment methods for soft X-ray scattering measurement and introduces the works for controlling the measurement on the Z-80 microcomputer. Arranging the output ports of the D+7A I/O module properly the 2 dimension movements of the main detector is more expedient and rational. Improving the controlling mode for the driving force of the stepping motor the problem that the temperature of the motor raise too fast in the vacuum condition is solved satisfyingly.