绪　论

当前，在科技领域内，广泛采用着摄影研究方法[30]。摄影图象不仅是实验过程中的信息表现形式，同时也是研究和测量的对象与结果。摄影图象能够用相应的特性（光学密度和透射系数）来描述，根据这些特性可以取得被研究对象或过程的定性和定量信息。

在一般情况下，为了分析此类信息，就要测量相应的象素上的那些特性，以及进一步对测量结果加以数学处理。

由于问题的性质不同，图象特性（参数）的变化范围可能很大，因此，对测量精度的要求也不一样。通常，各种象素在图象上的分布可能是各种各样的，这取决于研究对象的特点和问题的特点。在个别情况下，这种分布预先无法知道，它只能在分析过程中找到。

寻求这些象素在图象场中的分布，有一个基本的准则，即："在最大限度地减少其余度的情况下，获取研究对象的必要信息"。

可用来描述某些实验结果的广泛应用的最小化方法是，用均匀密度线（等密度线）来表征初始的光学密度分布。这样的表征方法一目了然，它能使研究者顺利地分析实验数据。

另一个流行的方法（实现起来比较简单）就是，用直角网点上所取得的数值集合来表征光学密度分布。这时，网线

需要全本请访问 www.ertongbook.com

的纵横间距应当是均等的。

除了图象参数的信息外，在处理过程中还经常测量图象中某些点的坐标，以便找到研究过程中拍摄的许多单个照片中的相互联系，或者决定某些区域之间的相互位置和图片中信息区域的界限和尺寸等等。

在图象处理中，可能要利用所使用的感光材料特性的补充信息。

表1中列举了某些实际问题以及为解决它们所利用的原始信息(即摄影图象)。

表1　进行某些实验所采用的摄影研究方法

实际问题	记录在感光载体上的原始信息形式	分析原始信息的目的及其处理的主要阶段	处理最后结果
采用光干涉法，研究透明的非均匀体（气体、等离子体）	被研究物质的非均匀性变化过程中的光干涉图（图1）	在指定的截面中测定的象素坐标和对应的光学密度板值 计算截面上干涉条纹的相移 阿贝尔积分方程的数值解 绘制截面上介质密度分布图象	根据获得的密度分布确定被测物质的参数
非透明物质（金属等等）的X光结构分析	测量对象的X光图象（图2）	测量图象场中（或选定的截面中）的光学密度和相应的象素坐标 突出光学密度变化的轮廓 确定在指定区间	根据获得的密度起伏图象确定研究对象的缺陷

（续）

实际问题	记录在感光载体上的原始信息形式	分析原始信息的目的及其处理的主要阶段	处理最后结果
		内光学密度发生变化的局部位置	
用电子图象法研究气体分子结构	衍射图（电子图象），它呈现出一圈圈明暗交替的同心圆（图3）	对衍射图进行光度测量，以便获得图象场中的光学密度分布起伏图 寻找衍射图中心。计算衍射图象中指定点的散射电子强度 决定被研究的气体分子结构参数的数值	根据获得的结构参数（核子间的距离，核子振幅的均方值等等）建立被测气体分子的模型
显微对象的统计分析（生物学、医学、地质学等）	被研究对象的显微结构（或它的图象）（图4）	确定微粒子尺寸，确定粒子内部密度分布，等等 确定微结构的统计特性	对微生物及其群体进行分类，用数学方法对群体发展各阶段进行描述，等等
在光谱分析的基础上研究对象的物理现象和状况	对象的光谱摄影图象（谱线图）（图5）	按光谱长度建立光学密度变化函数 根据波长建立辐射强度分布函数 对获得的信息进行统计分析（确定相关函数，等等）	应用判读光谱的结果来确定对象的特性
研究感光材料的光敏性能	照度分布已知的胶体摄影图象	建立感光材料表面光学密度起伏图 建立频率-对比度特性、特性曲线等等	获得感光材料的光敏定量特性

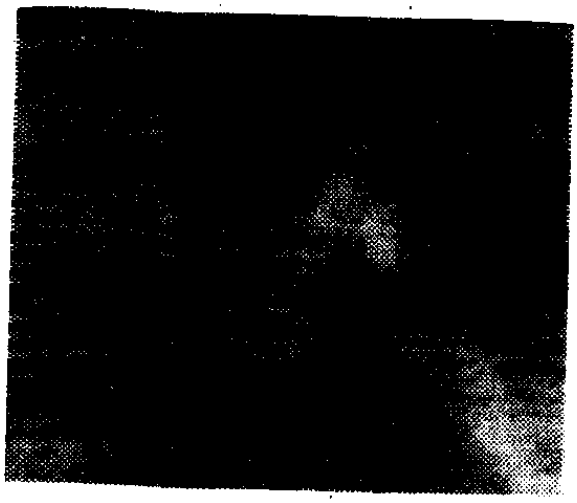


图 1　瞬变过程的光干涉图



图 2　研究对象的X-射线图

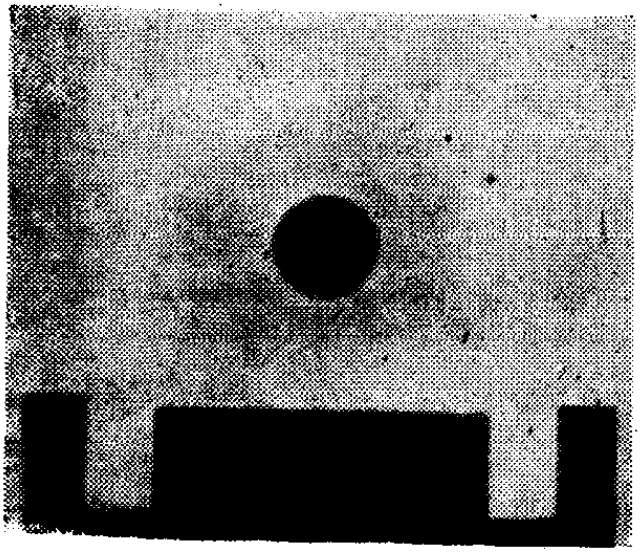


图 3　衍射图

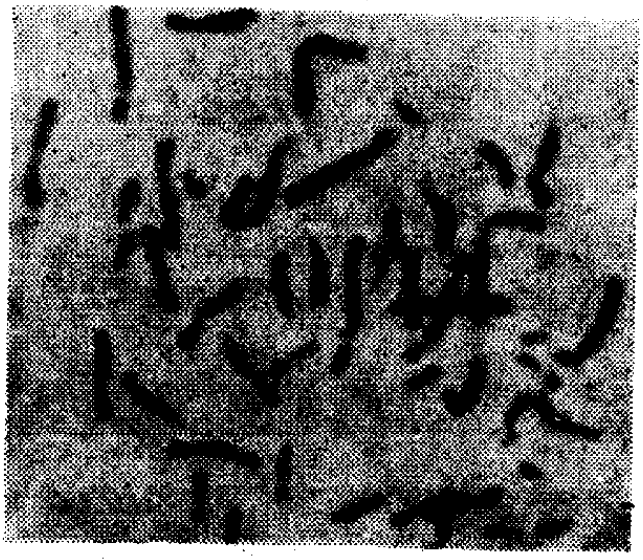


图 4　染色体摄影图象

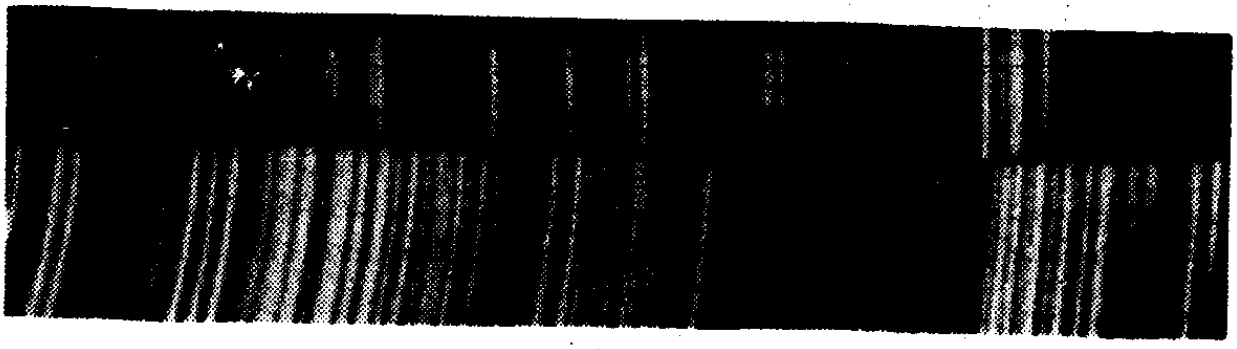


图 5　光谱摄影图象

从表1可以看出，图象分析的初始阶段就是测量图象的参数(光学密度或透射系数)。对于大多数情况，所测量的密度D介于0～3.5之间。对于那些十分流行的问题(如光谱分析、感光材料的敏感特性分析，等等)，光学密度的测量精度应当不低于$D=0.01$。照片的尺寸可能各不相同，但一般不超过120×120毫米^2。

对于图象处理过程，我们可以理解为：将转换成模拟或数字形式的摄影图象输入到电子计算机，或者记录到中间载体上，然后，经过电子计算机加工，使输出的综合图象再现到感光载体上，或显示在阴极射线管的荧光屏上。

因此，所有自动处理装置可以分为三大类：

（1）空间图象自动处理装置；

（2）把摄影图象（地面的）输入到电子计算机的自动处理装置；

（3）电子计算机输出图象的自动处理装置。

第一类装置可用来自动处理各种空间对象的实时信息，还可以自动处理这样一些信息，它们是分析粒子轨迹的物理装置中实时考查物理对象时获得的，或是用望远镜进行观察时得到的。

这类装置的主要优点在于：能够快速达到图象中任何一点，以进行实时分析和处理信息。

这类装置的缺点在于：空间分辨能力有限，光学密度量程小，信/噪比小。

目前，第二类和第三类装置最为流行，它们常常结合成一个整体，组成电子计算机图象自动输入-输出装置。

国际上已研制了一批用于专用和通用电子计算机的摄影

需要全本请访问 www.ertongbook.com

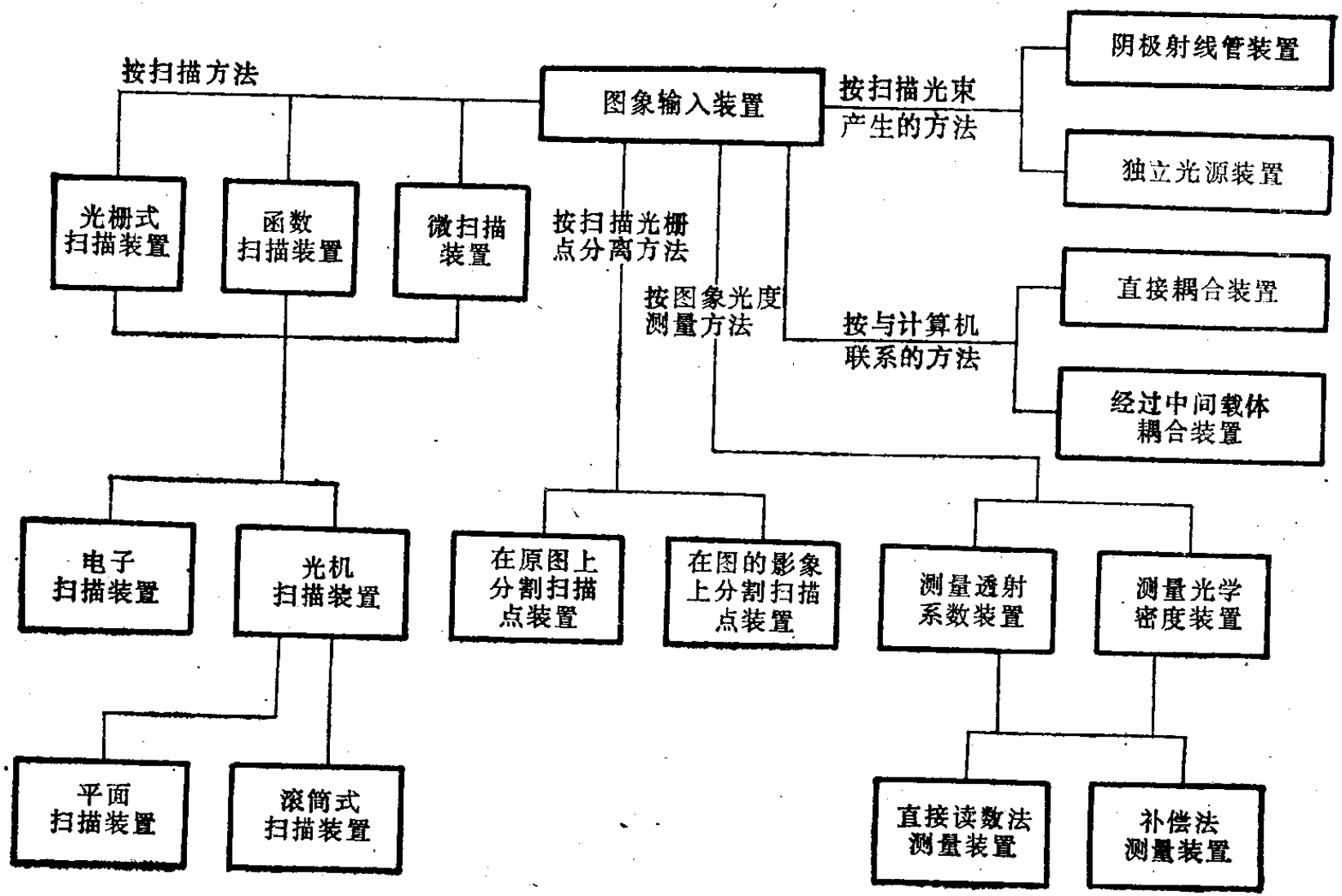

图象输入装置
按扫描方法
光栅式扫描装置
函数扫描装置
微扫描装置
按扫描光束产生的方法
阴极射线管装置
独立光源装置
按扫描光栅点分离方法
在原图上分割扫描点装置
在图的影象上分割扫描点装置
按图象光度测量方法
测量透射系数装置
测量光学密度装置
直接读数法测量装置
补偿法测量装置
按与计算机联系的方法
直接耦合装置
经过中间载体耦合装置
电子扫描装置
光机扫描装置
平面扫描装置
滚筒式扫描装置

图 6　图象输入装置分类

图象自动输入-输出装置。图 6 列举了图象输入装置的各种类型。广泛应用于科学实验的有下列两种输入装置：

1）其作用原理基于测量透射系数的输入装置　解决学习与模式识别问题的电子计算机，可以用这类装置来处理图象(反差化，轮廓突出及图象滤波等)。这类装置还可以用来解决光干涉摄影图象的输入问题。

2）利用测量光学密度的方法将图象输入到电子计算机的输入装置　这种装置和电子计算机配合可以判读光谱，分析生物对象的微结构，研究物理领域中的瞬变过程，以及解决其它的一些题目。

采用电子计算机解决图形模拟和模式识别等问题时，需要从电子计算机输出综合了的（或者称为转换了的）灰度(单色)图象，这就要求采用专用的输出装置，这种装置能实现自动转换：将亮度代码转换成模拟信号，并进一步转换成综合图象的象素光学密度。

目前，已研制出一大批电子计算机图象输出装置。

根据用途和使用范围，输出装置可以分为两类：

1）用于行动监督的输出装置　它包括用阴极射线管荧光屏显示和用电化学载体显示的输出装置。使用这些装置可从电子计算机输出实时图象；同时可在处理过程中进行肉眼观察，以便作行动监督。这类装置的缺点在于，传输亮度的梯度指数不高（约 5～8）。

2）用于在照片上记录和储存图象的输出装置　电子计算机解决了减少多余性图象压缩、标定比例等问题后，就可输出处理过的图象。为了记录和保存这些图象，需将这些图象拍摄到显微胶片上。这类装置的复现速度及空间分解能力

相当高。它还包括电子计算机至摄影胶片和相纸的图象输出装置。

根据装置的结构原理可分为两类：

1）电子扫描型输出装置　这种装置可将阴极射线管或正点扫描管的光点在摄影胶片（或相纸）上进行扫描曝光。众所周知，电子扫描速度极快。它们的一个显著缺点是，工作时亮度及光栅尺寸不稳定。这类装置多应用于缩微照相及类似的工作中。

2）光学-机械扫描输出装置　这类装置在电子计算机调整处理图象的程序及操作控制等过程中得到了广泛的应用。

在输出状态下，既可利用滚筒式，也可利用平面光学-机械式扫描。采用这种光学-机械扫描输出装置，能够获得足够高的空间分解能力及良好的图象象素重复性（再现性）。

下面列举了几种电子计算机图象自动输入-输出装置，它们已应用于各种科技领域中。

1. 应用阴极射线管将图象输入电子计算机的装置

图 7 所示为一种应用阴极射线管将黑白摄影图象输到电子计算机的输入装置方框图。此装置由以下几个基本部件构成[67]：

（1）扫描部件　它包括：阴极射线管光点发生器、X 轴及 Y 轴放大器、数/模转换器、光学聚焦系统；

（2）光电转换器　由两个光电倍增器组成；

（3）模/数转换器及放大器；

（4）可控振荡器。

通过扫描对图象进行分解，并测定各个象素的透射系数。

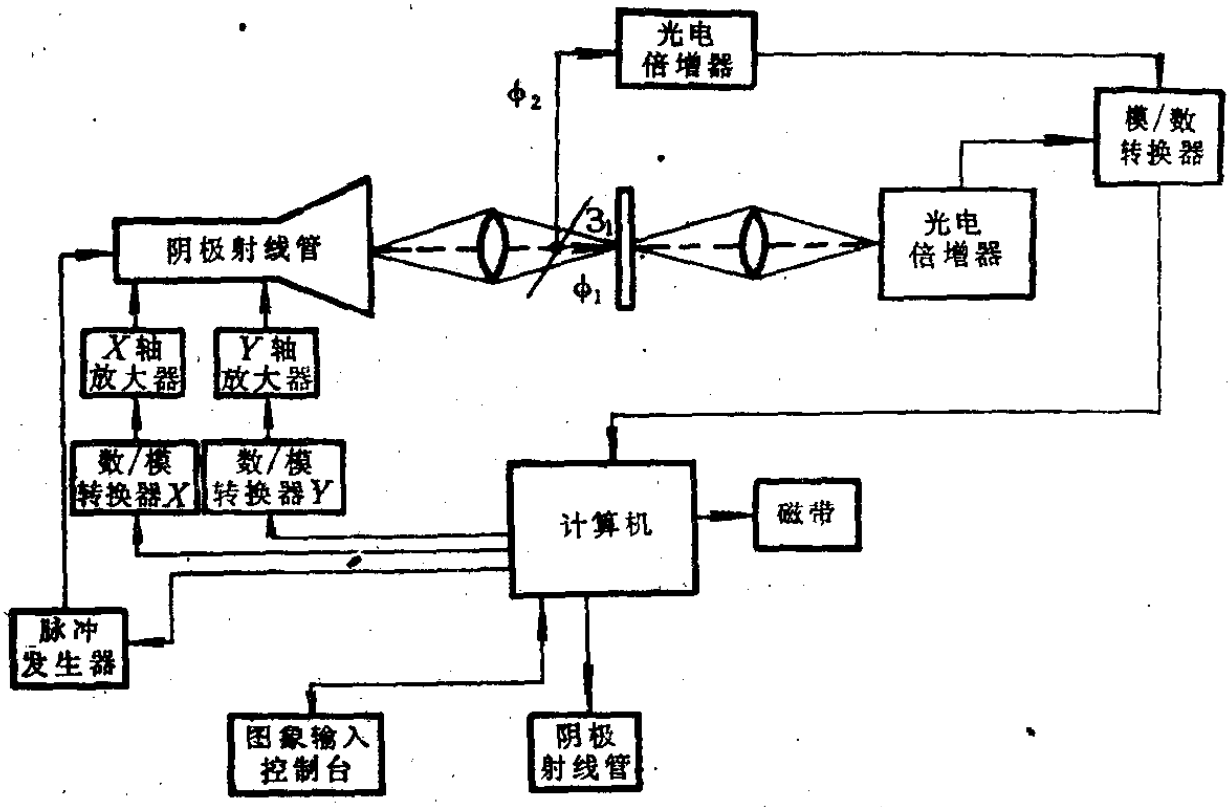


图 7　使用阴极射线管的图象输入装置方框图

为了减少扫描光点亮度不稳定所产生的误差，系统内采用了双通道测量系统（测量通道及参考通道）。

电子计算机按特定的程序来控制阴极射线管的射束。计算机给出射线的X、Y坐标代码，经数/模转换器转变成模拟控制信号。

阴极射线管的偏转线圈电感为200微享。借助于X、Y轴放大器，经过30微秒后，偏转线圈的电流便可达到1安培。此时，光点在示波管荧光屏上的最大偏移量为30毫米。坐标最小间距为0.09毫米。

光点通过镜头投射到被测图象平面上。利用一片半透明的反光镜3_1将部分光通量引到参考通道中去。

测量通道及参考通道里的光通量，经光电倍增管转换成电信号。然后，再经过两个通道的模/数转换器转换成八位

1107783
需要全本请访问 www.ertongbooks.com

二进制代码。图象的光度分析由电子计算机的命令开始而进行。

电子计算机将振荡器启动以后，振荡器便不断发出振幅为20伏、宽度为2微秒的脉冲电压，用以增强阴极射线管的亮度，以便进行光度测量。此法提高了信/噪比，并改善了装置的抗干扰性。

把已测定的象素透射系数代码存放到模/数转换器的输出寄存器中。然后再根据指令把这些代码转移到电子计算机的存储器。为了获得较高的坐标定位精度，在附加的光通道中安装一个特殊的、有校准刻度的栅网。

有关透射系数及坐标的信息，采用电子计算机HP2116B进行处理，或者通过步进录音机转移到更大型的电子计算机明斯克-22作进一步加工。

为了便于直观控制，使用阴极射线示波管。操作人员通过电传机来控制整个装置的工作。

2. 程序控制的通用输入装置

这里介绍的装置，可以把相纸、摄影胶片和电影胶片上的黑白图象输入到电子计算机(图8)。

在反射光条件下工作时（相纸），其图象最大尺寸为210×300毫米^2，在透射光条件工作时(摄影胶片)为18×24毫米^2。为了便于向两个相互垂直的方向移动图片架，在装置中采用了特殊的活动台。活动台及样品的移动速度为25毫米/秒。活动台的停留精度不低于0.1毫米。装置中还采用电子扫描。扫描光源使用磁偏转示波管13ЛК5Л。荧光屏工作面积为80×80毫米^2。光栅直角度(对角线比)等于1:0.02。中心区光栅点间距误差不超过额定值的20%。光栅长期不稳

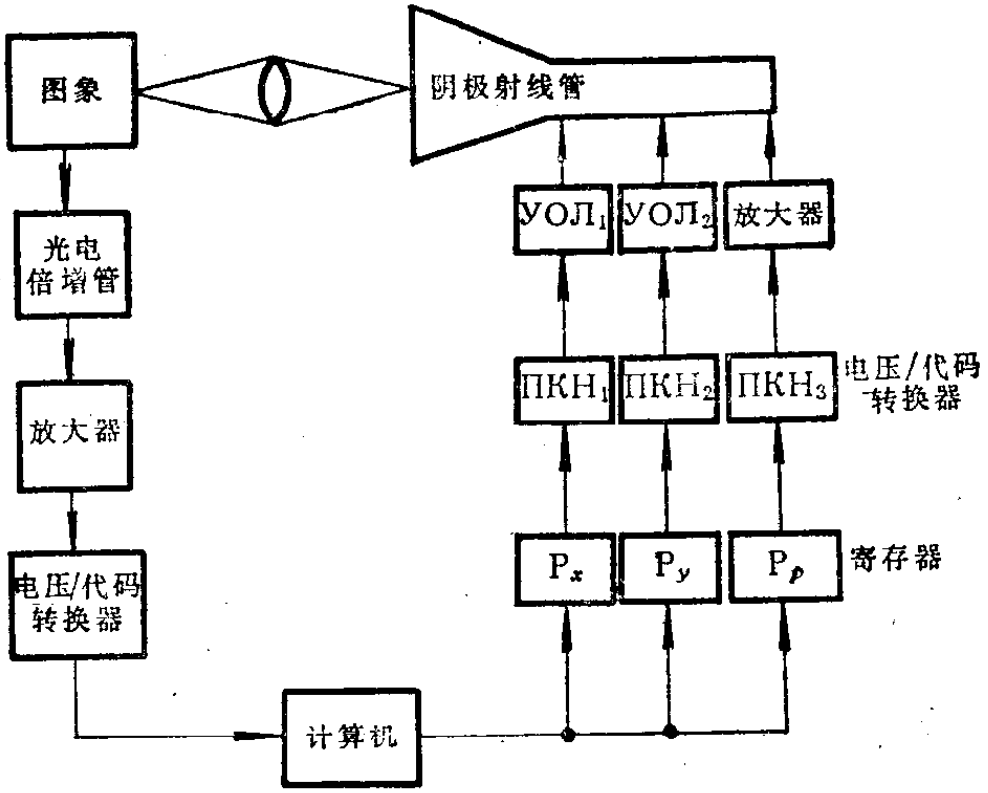


图 8　程序控制的通用输入装置方框图

定度不大于 2%。光点的大小以及在荧光屏上的位置，均由电子计算机来控制[67]。

光点置定到屏幕上指定点的过渡时间不超过 50 微秒。改变光斑直径的时间不大于 0.001 秒。光斑最小尺寸为 0.008 毫米，最大尺寸为 2.56 毫米。为了将光通量转换成模拟信号，使用了三个光电转换器：其中两个工作于反射条件下，相应的视野为 10×10 和 40×40 毫米^2；第三个工作于透射扫描状态下。这种装置工作时，参照基准水平来测量透射系数或者相应的反射系数。

有用信息经过放大器及电压/编码转换器，变成 5 位二进制代码输入到电子计算机。为了接受来自电子计算机的指令，使用了十位寄存器。这种装置的工作原理如下：

根据电子计算机的特殊指令，将光斑的坐标代码输入到

寄存器。寄存器输出端将信号引到编码/电压转换器，将其转变成电压，然后输给射束偏转放大器。此装置可以得到1024个分解象素。利用光电转换器及电压/编码转换器，将象素的透射系数代码输入到电子计算机。为了测量光斑的尺寸，使用了五位寄存器和转换器。

3．电子计算机控制的图象自动输入装置

剑桥分子生物实验室研制出自动输入系统，它将记录在透明的摄影载体（胶片、胶版）上的图象送入计算机[33]。该系统用计算机处理从各种晶体的X射线结构分析中所得到的信息。

如图9所示，系统的光学部分包含一个能产生扫描光束

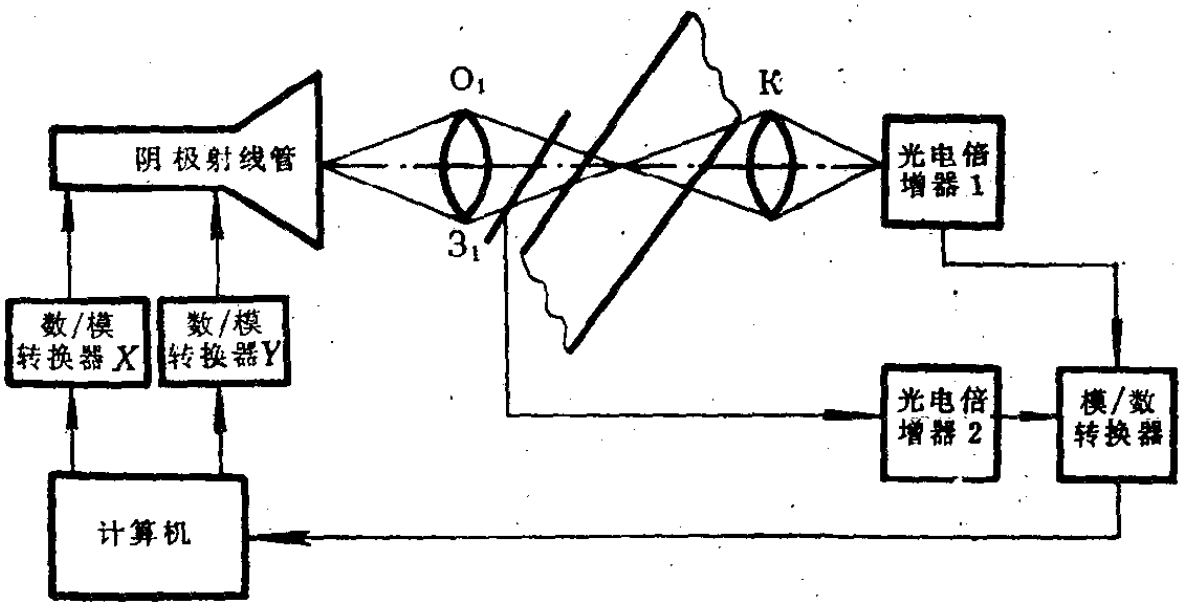


图9　由电子计算机控制的图象自动输入装置系统

的阴极射线管、物镜、聚焦透镜，以及两个光电倍增器。系统中采用双光束法来测量图象的光学密度。利用一块半透明的反射镜将光束分解成两部分：一部分为基准光束由接收；另一部分为测量光束由接收。

光度测量图象的光学密度是对两个光电倍增器输出信号

之比取对数求得的。使用调宽脉冲转换法，将透射系数转变为光学密度。

比较器输出信号经模/数转换器转变成八位二进制代码。扫描光束由电子计算机的程序控制。数/模转换器将X、Y坐标代码转变成相应的模拟信号去控制阴极射线管的偏转系统。荧光屏面积为5×5厘米^2。由于采用了2.5倍的光学放大镜，所以，实际扫描面积为12.5×12.5厘米^2。

图象扫描光栅点的尺寸为30微米。光学密度的测量精度约为3%（当测量范围为$D=0\sim2$时）。每次测量时间约0.2秒。

系统按照预先设计好的并输入电子计算机的程序来控制其动作。系统中还设有手控装置。程序设计使用十二位的二进制代码来控制光斑在荧光屏上的X、Y坐标。

按照指令，系统进行测量并将光学密度转换成八位并行代码。数码进入电子计算机后再转移到磁带上，以便拿到更大型的电子计算机上去处理。

在设计处理程序时，考虑到操作人员可以在不同阶段进行干预的问题。该系统还可以逆向运行，以便将光度测量图象的某点重现在荧光屏上。为了便于观察图象输入情况，系统中设有显象装置(阴极射线管显示器)。显示器的扫描应当与主机扫描同步。

此系统的主要优点是处理图象的速度较高。然而，它还有一系列明显的缺点：如光学元件散光引起的光晕、阴极射线管的畸变、光斑在荧光屏上的位置不稳定，等等。

为了减少上述缺点对精度的影响而采取的一些措施，却使结构复杂化了，成本也提高了。

为了校正枕形失真，采用特殊的基准标点网线，利用它可以对网点坐标作十分精确的刻度。网点坐标数据保存在电子计算机存储器中。中间点的坐标值可用插值法求出。可以采用基准光路来消除阴极射线管光斑亮度不稳定的影响。

4．断续拖动自动输入装置

在测量诸如光谱、显微目标等图象的光学密度时，系统需要有足够高的空间分辨能力。通常是使用一种平面光学-机械扫描系统，其中图象移动是断续的。图 10 示出了这种类型的装置。

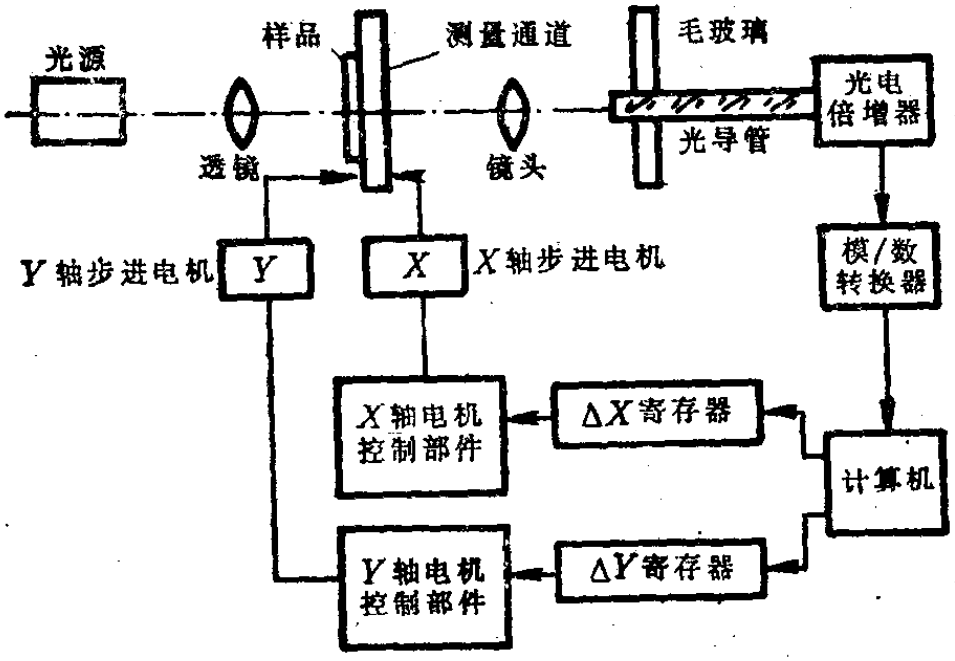


图10　断续拖动装置方框图

此装置由光学系统、光电信号转换系统和载架移动机构所组成[32]。光学系统由光源、镜头和光电倍增器组成。利用放大镜头将图象放大 10 倍、20 倍或 50 倍后，投射到毛玻璃板上。毛玻璃板是为观察处理过程用的。在毛玻璃板中央有一个小窗孔（1.5×1.5毫米^2），放大图象中被测的象素信息通过这个小窗孔之后，经一光导管传送到光电倍增器上。

由于采用了光学放大，该系统就有了较高的空间分辨率（到 30线/毫米）。投射到原始样品上的光栅点直径相当于150、75和 30 微米。

该系统采用直接读数法测量光学密度。信号转换系统（包括光电倍增器和模/数转换器），将被测透射系数按脉冲调宽原理转变成光学密度。从模/数转换器的输出端将十二位二进制代码送入电子计算机。

使用馈送机构来移动光度测量样品。馈送机构由活动台和双坐标断续拖动系统组成，由步进电机来驱动（图 10）。样品的移动方向及位移量均由电子计算机特定程序控制。

坐标增量 Δx 及 Δy 由电子计算机转移到特定的位移寄存器。借助相应的控制部件对步进电机进行 x、y 两个方向的控制。位移完成后停止 2.5 毫秒，同时对样品进行光度测量。为了稳定拖动系统，这种停顿也是必要的。在处理的过程中，通过计算送到电动机整流子的脉冲数目（它们是计算机给出的控制脉冲）来对活动台的拖动进行监测。激励步进电机的控制脉冲频率为 100 赫。步进电机直接同活动台的主螺杆轴联接起来。活动台停位精度为 0.005 毫米（当螺距为 1 毫米全长为 150 毫米时）。当步进电机得到一个脉冲后，螺杆只转 1/48 圈，相应的活动台位移为 0.028 毫米。最高移动速度为 2毫米/秒。由于系统中没有反馈系统来控制活动台的移位精度，因而采用了精加工的无间隙螺杆。此系统在使用中相当简便可靠。

5. 电子计算机控制自动显微密度计

近来，在科研实验中使用电子计算机控制的自动显微密度计，被广泛地用来处理黑白摄影图象信息。

表 2　摄影图象自动

输入装置类型	图象载体的类型和最大尺寸（毫米²）	扫描类型	光点扫描最小尺寸（毫米²）
与电子计算机《明斯克22》配套用的图象输入-输出装置	胶片24×36，相纸200×300	螺旋光隙（用于胶片）和滚筒式（用于相纸）	0.02×0.02（用于胶片） 0.2×0.2（用于相纸）
由电子计算机（АМД）控制的自动微密度计	软片，硬片 180×240	平面光学-机械式	0.005×0.020
《Марк Ⅱ》自动微密度计	软片，硬片 250×175	同　上	0.005
АД-1 输入装置	软片，硬片 100×180	同　上	0.1
《Фотоскен》输入装置	软片，125×175	滚筒式	0.0125×0.0125
《Спекскен》输入装置	软片，硬片 250×250	平面光学-机械式	0.001
《Скандикг》装置	软片113×165	滚筒光学-机械式	0.05×0.05
СА-1自动扫描机	软片24×18	平面电子式（阴极射线管）	0.040

输入装置的特性

被测参数 D 及其变化极限	坐标误差	光学密度 D（透射系数 τ）测量方法	测量 D 的精度	测量 D 的速度（次/秒）	信息记录方法
0～2	在200毫米内不大于±0.05毫米	直读式	±0.5	10^3	磁带储存器
0～4	在200毫米内 ±0.025毫米	补偿法	±0.01	100	穿孔带
0～3	在250毫米内 ±0.025毫米	同上	±0.015	2	穿孔带磁带储存器
0～3	—	直读式	−0.03	10	同上，磁带储存器
0～3	在10毫米内 0.001毫米	同上	0.03	20.10^3	穿孔带
0～4	在50毫米内 0.002毫米	同上	0.01	5.10^3	磁带储存器
0～3	—	同上	0.06	2.10^4	磁带储存器
0～1	0.1%（换算误差）	同上	—	3.10^3	磁带储存器

需要全本请访问 www.ertongbook.com