

一种实用显微密度计的计算机系统

刘连硕¹⁾

(中国科学院空间科学技术中心地面部)

摘 要

本文介绍了高精度显微密度计(42W)的主要性能,针对该仪器提出了计算机闭环最优控制系统的的设计方法,用“虚拟数据区”解决了实时处理中计算机内存小和系统信息量大之间的矛盾。

一、引 言

高精度显微密度计可用于胶片特性测试、航空、遥感、天文、地质、生物、医学等领域的图象信息处理。

国外近十年来对显微密度计的研制工作发展很快,现将主要商品化产品与本仪器的技术指标列于表1。

从表1可看出本文所述42W显微密度计在测量坐标和密度精度上与七十年代中期国外同类产品相当。但是在采样速率上是有差距的。因此本系统的设计重点在于,保证其测量坐标和密度精度基础上,提高采样速率。

为降低产品出售价格,计算机内存为8K,不使用外存设备。因此本设计必须解决实

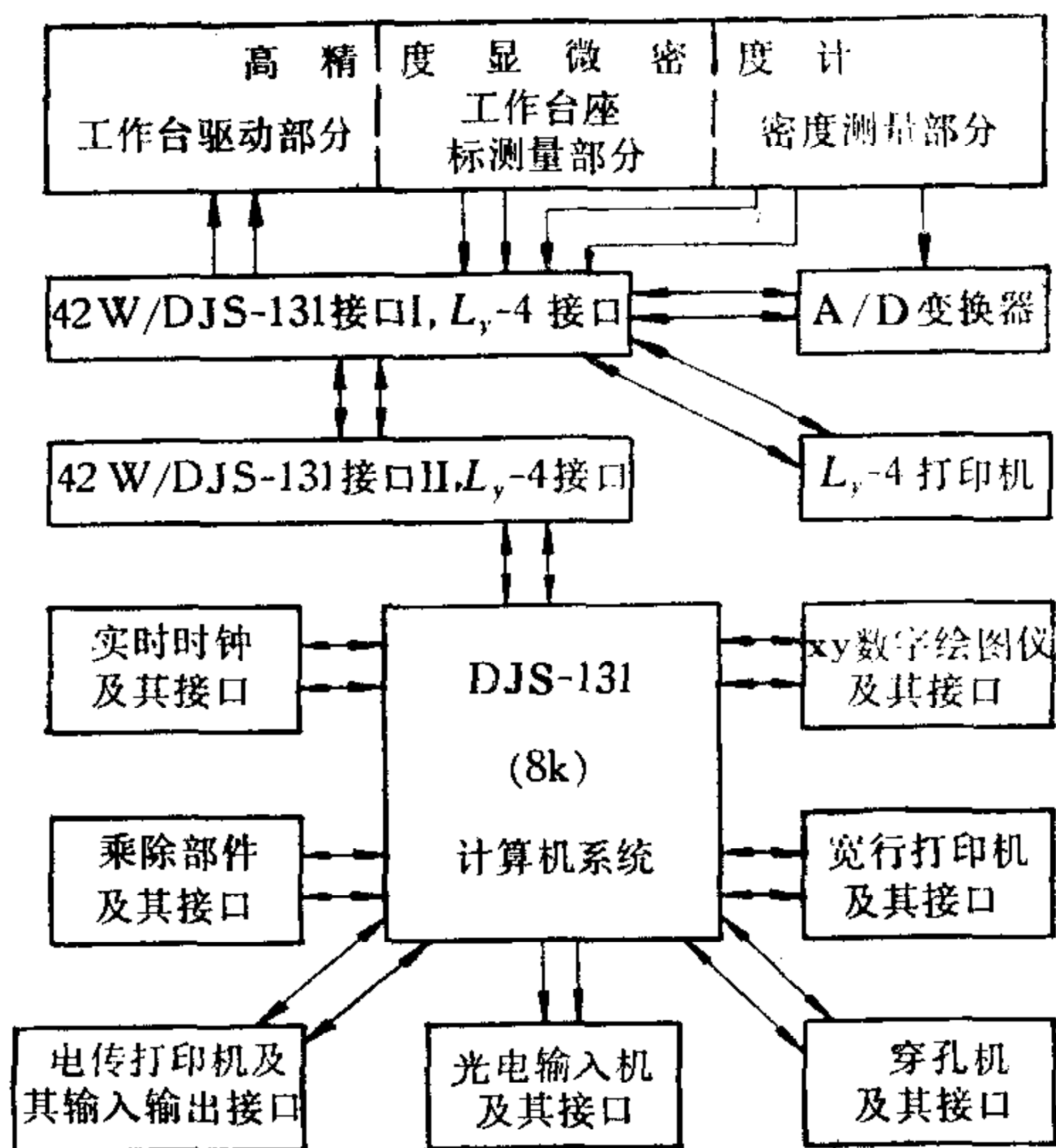


图1 42W/DJS-131 硬件系统框图

本文于1981年1月20日收到。

1) 此项工作是在中国科学院感光化学所完成的。

表1 国内外同类型显微密度计技术指标

仪器类型	国别	图象尺寸	光点尺寸	密度范围	密度精度	坐标误差	采样速率	计算机控制
MANN 2832	美	254×254mm ²	1×50μm ²	0—5D	<0.1D	±0.0002 吋	2K 点/秒	PDP11/05
3CS	英	240×115mm ²	1×50μm ²	0—6D	0.02D	240×0.5%mm	20 点/秒	NOVA-3
PPA 250A	日	200×200mm ²	20×20μm ²	0—3D	0.01D	—	660点/秒	—
AMД	苏	240×180mm ²	5×20μm ²	0—4D	0.01D	200mm内 15μm	100点/秒	电子—100
42W	中	230×125mm ²	1×10μm ²	0—3D	0.01D	5μm	10 点/秒	DJS-131

时处理中计算机内存小和系统信息量大之间的矛盾。

本系统硬件系统框图如图1所示。

二、扫描控制系统^[2]

本系统通过计算机控制显微密度计工作台做各种扫描(梳形扫描,弓形扫描,滑动扫描)。其特点是计算机与工作台驱动器以及坐标测量部分构成最佳闭环控制系统。其方框图如图2所示。最佳判据是:扫描速度最快与坐标误差最小。

光学密度测量系统采用的是双光路静态平衡比较测量原理。在测量时,其扫描光束与图象均处于静止状态。为此扫描控制系统采取启动-停止制式。

为使工作台能在最短时间内走完每一步距 x_i , 其平均运动速度须尽可能高, 本设计将驱动电机的脉冲频率定为最大。由于工作台制动力是有限的, 所以会造成工作台过冲, 影响测量精度。为使工作台能停在采样点上, 须适当提前制动。制动力愈大, 允许制动愈晚。这意味着扫描平均速度愈大。其关系如下:

$$F\Delta x = \frac{1}{2} mV^2. \quad (1)$$

式中 F 为工作台制动力; Δx 为工作台过冲量; m 为工作台质量; V 为开始制动时工作台瞬时速度。工作台扫描过程由两段组成, 即以极限加速度启动和以最大允许减加速度制动。只要适当选择转换前置时间, 可使工作台平均速度最大并可停在采样点上, 如图3所示。

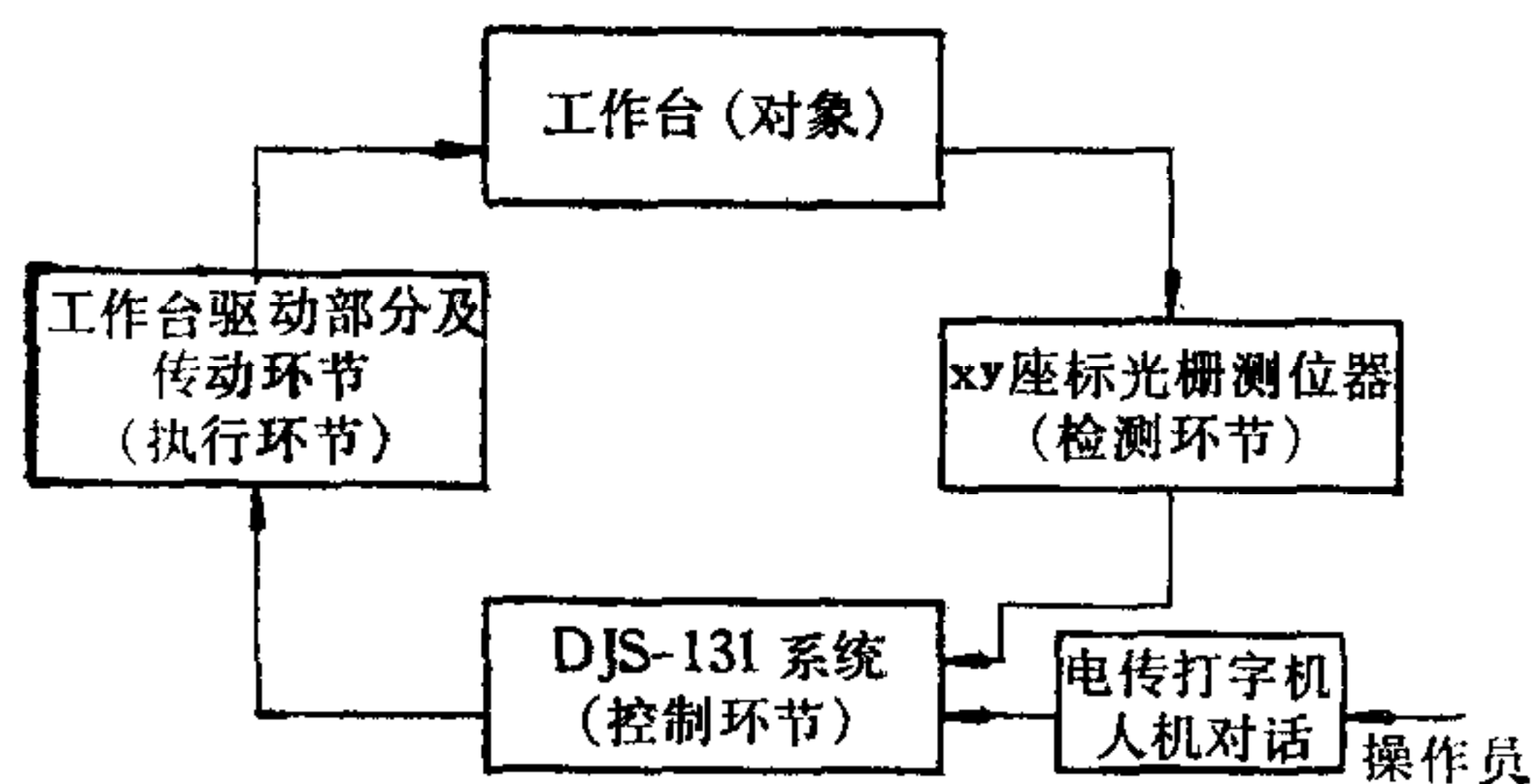


图2 扫描控制系统方框图

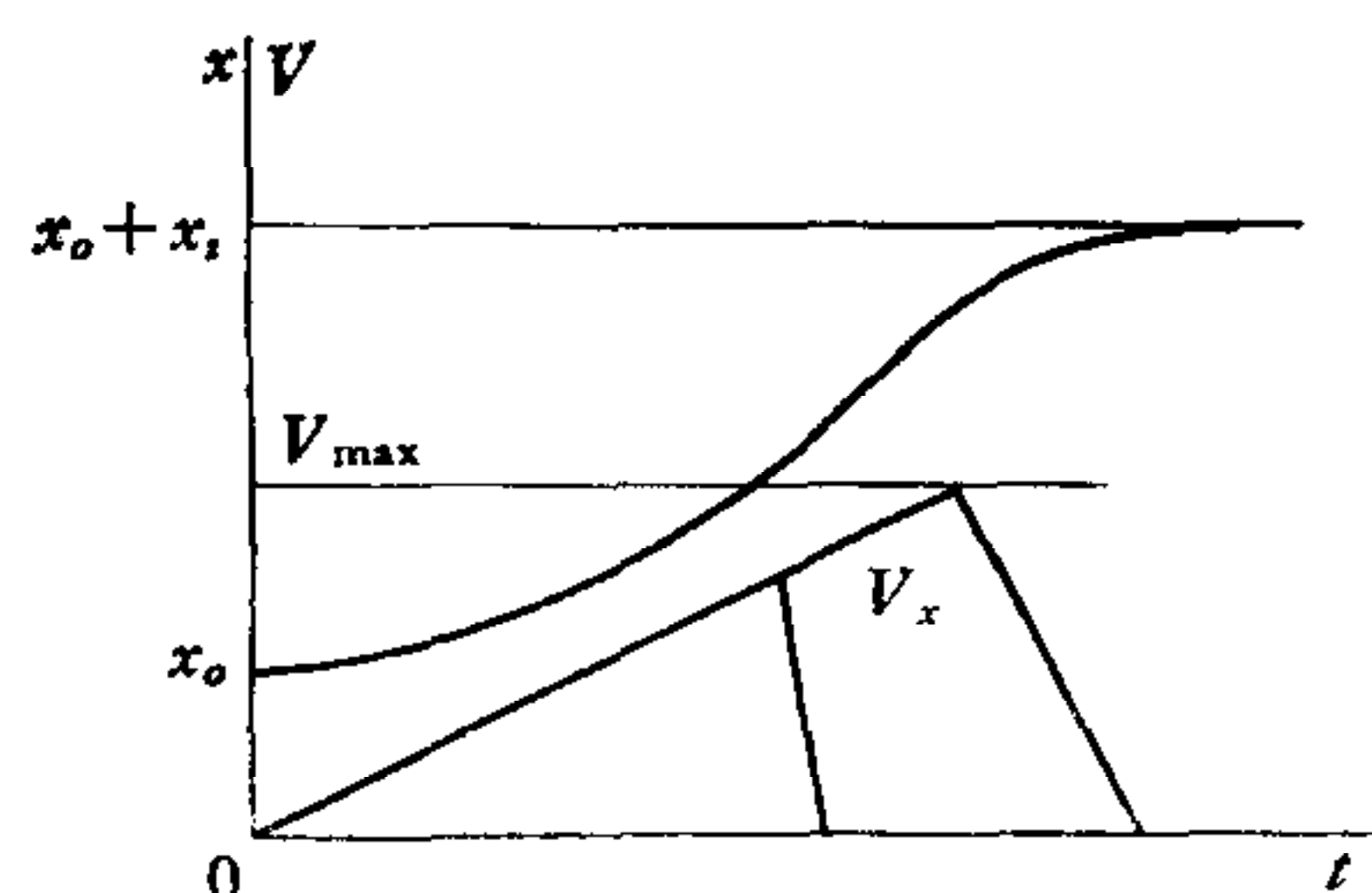


图3 工作台扫描最佳过程

前置制动另一个原因是由于工作台机械传动机构总是有齿隙, 因而造成迴控延迟。这个延迟时间的大小与装配水平有很大关系, 一般在秒级水平。

如测试步距 x_i 相当大时，工作台扫描到前置转换点之前就达到极限速度 V_{\max} ，所以最佳扫描过程还包括工作台以最大速度 V_{\max} 匀速过程。如图 4 所示。反之，测试步距 x_i 相当小，工作台扫描到采样点时，工作台瞬时速度 V_x 还没有达到最大速度 V_{\max} 。如图 3 所示，所以过冲量 Δx 是测试步距 x_i 的函数。

为防止工作台在未达到测试点之前就停止，并使误差不超过允许值，工作台到测试点的扫描速度应保持第二速度 V_2 。

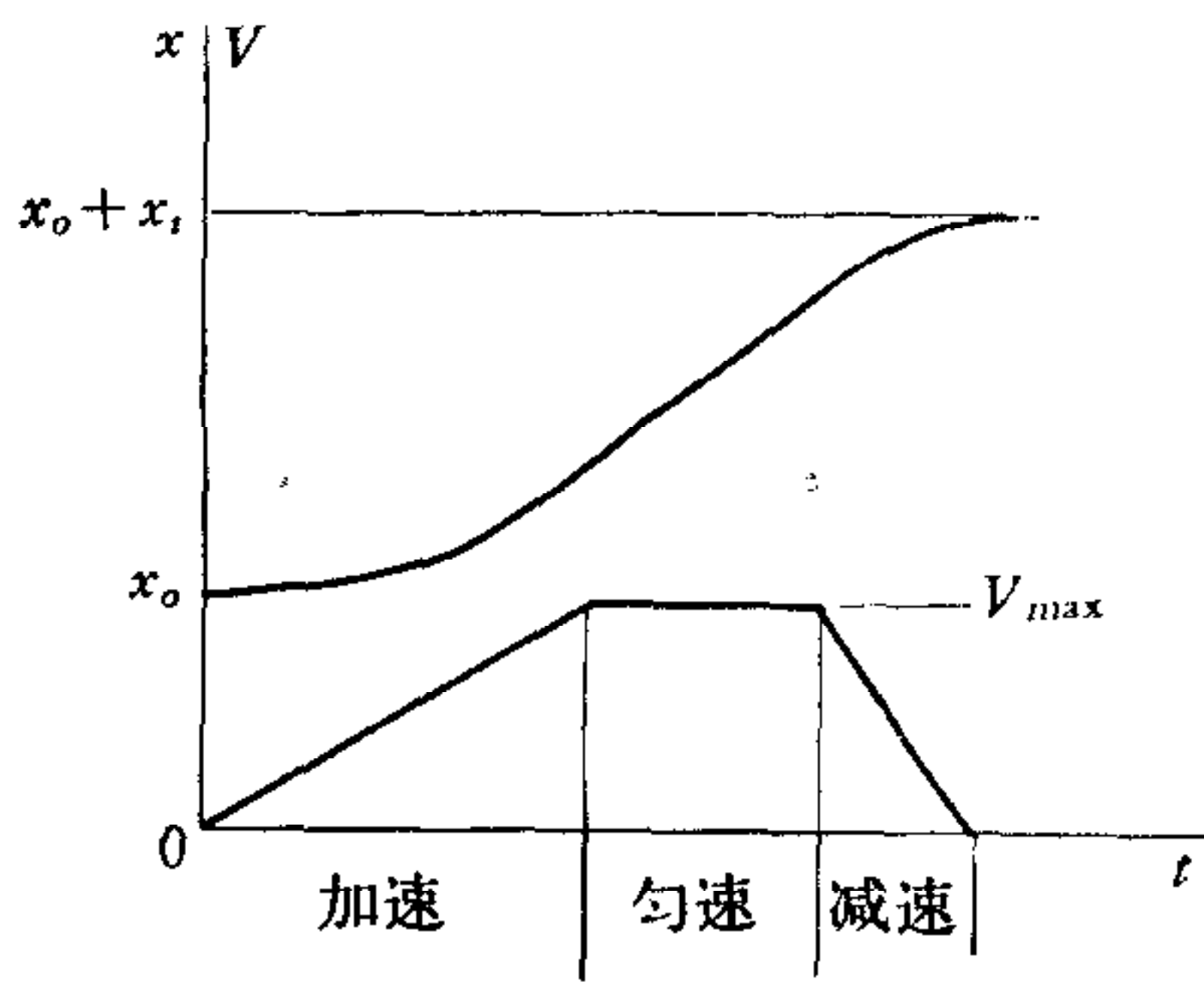


图 4 含有匀速过程的工作台扫描最佳过程

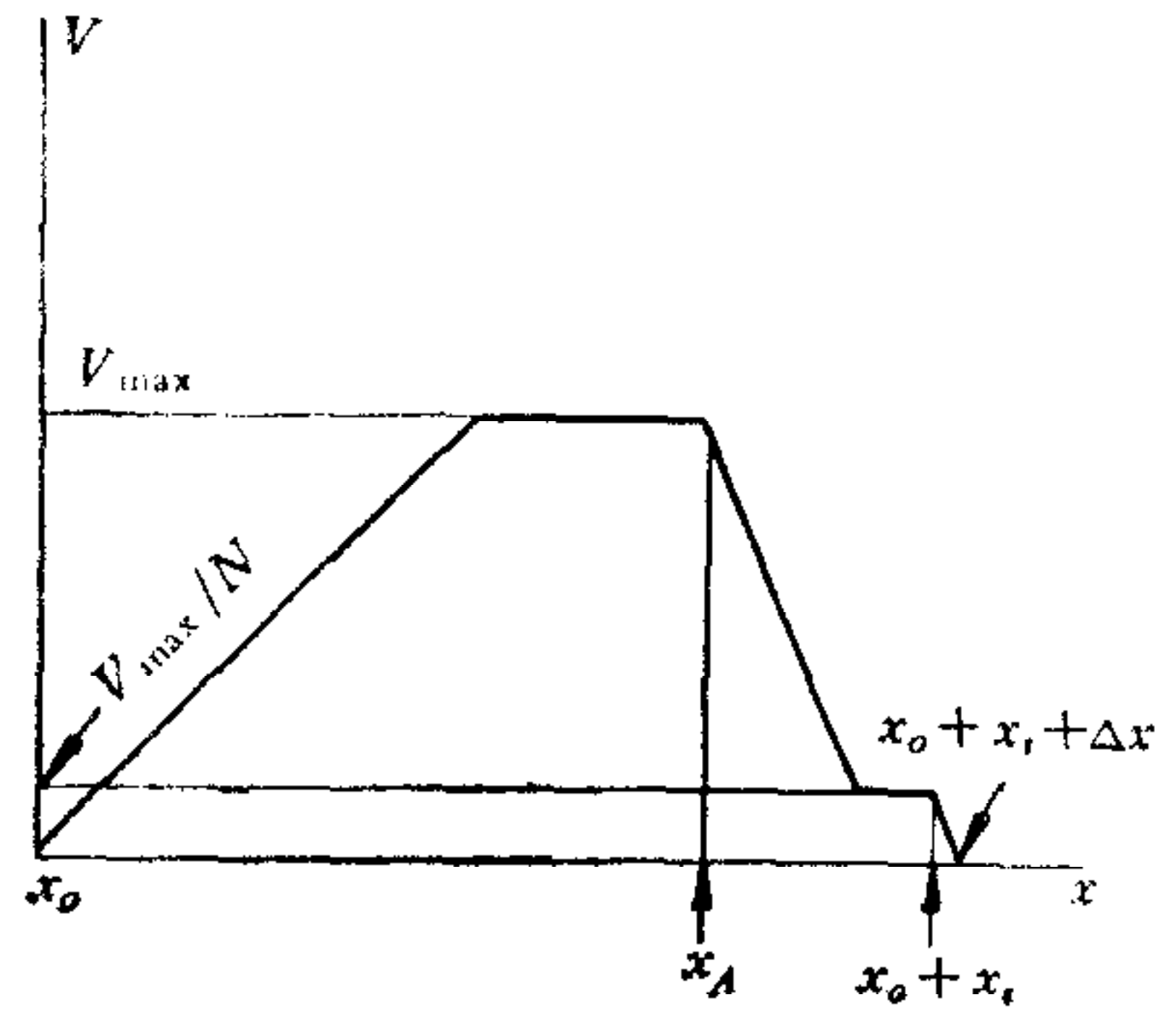


图 5 工作台在一步距内二次变度，速度变化曲线。

当测试样品行程和步距确定后，如何求前置转换点 x_A 和第二速度 V_2 最佳值呢？可以通过实验近似求得。其方法如下：在给定上述测试条件下，每一步距过程中都用最大速度 V_{\max} 扫描，通过硬件保证采样时工作台是静止的，将全行程扫描时每一步距过程过冲量 Δx 记录下来，选取最大过冲量 Δx_{\max} 为前置转换距离 x_A ，如图 5 所示。

根据允许过冲量 Δx 决定第二速度 V_2

$$V_2 = V_{\max}/N, (N = 1, 2, \dots).$$

$$N = \sqrt{\Delta x_{\max}/\Delta x} . \quad (2)$$

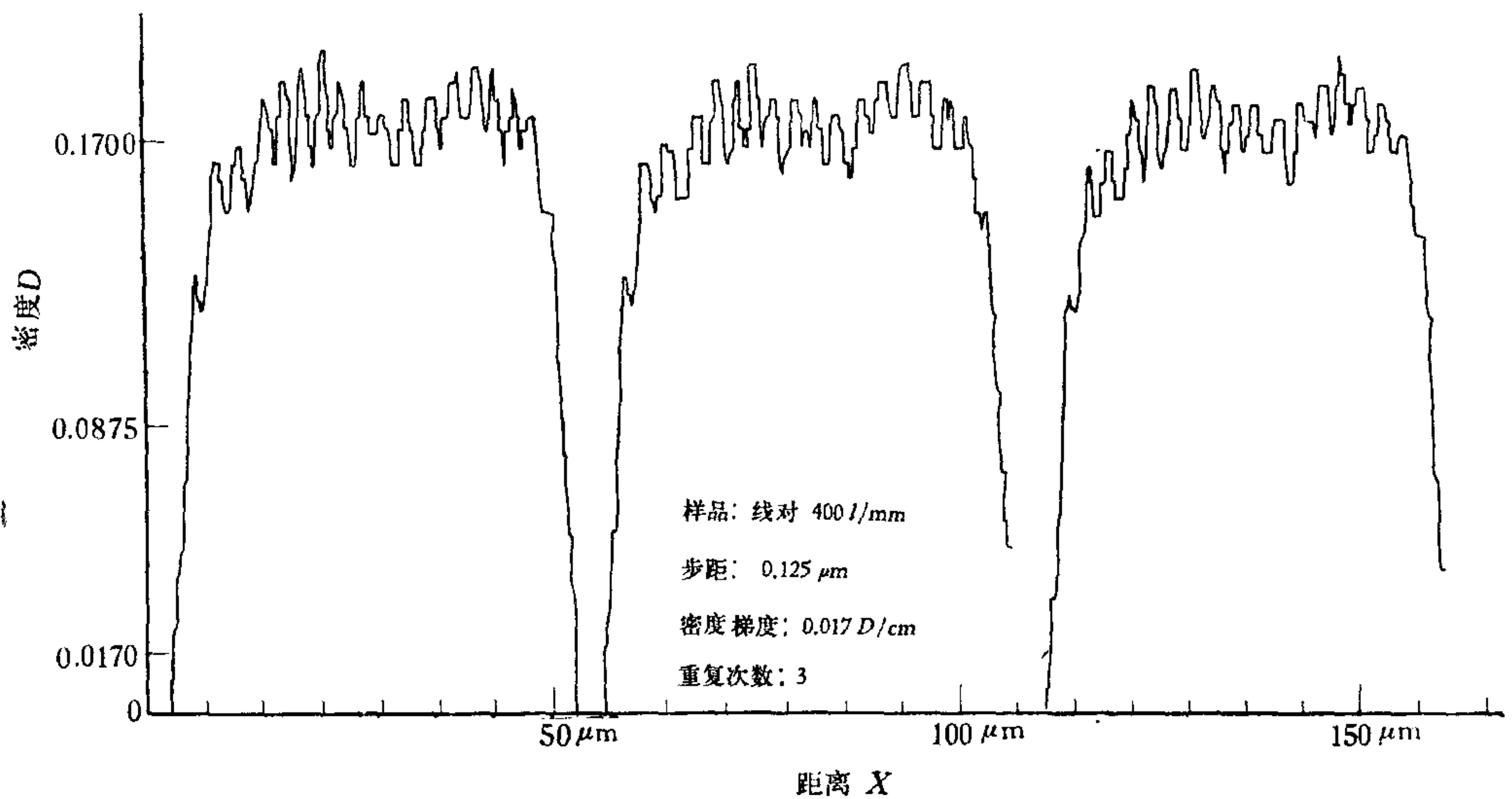


图 6 42W/DJS-131 显微密度计对 400 线对/mm 模板扫描记录。

式中 N 为最大速度 V_{max} 与第二速度 V_2 的比值,取正整数 $1, 2, \dots$; Δx_{max} 为无变速时最大过冲量,通过实验取得. Δx 为允许过冲量.

采用上述在任一步距内两次变速原理,通过人机对话给出第二速度 V_2 和变速绝对前置距离 $|x_A|$. 用实时时钟作扫描电机驱动脉冲. 即在任一步距扫描达到变速点 x_A 时,通过工作台扫描控制程序将扫描速度变为第二速度 V_2 ,以达到工作台扫描速度平均值最大,坐标误差又在允许误差范围内. 实时时钟另一个作用是用来定时检测工作台坐标和样品在其坐标上的密度. 在扫描步距小于 $1\mu m$ 时,由于扫描步距太小,扫描速度已降为次要地位. 而坐标精度是系统优劣的标准. 这时本系统采用滑动扫描,不再是二次变速扫描.

本系统在滑动扫描时显微密度计采样间隔最小为 $0.125\mu m$,可对 400 线对/mm模板进行扫描. 测试结果表明密度重复性以及坐标稳定性都比较好. 如图6所示.

三、软件系统^[3]

本系统是单一用户多任务实时操作系统. 各任务间关系由整个系统工作原理决定,主要目的是使本系统尽快圆满地完成测试任务. 为了提高仪器的测试速度,对每一任务的优先度安排、任务管理和调度都从全局出发.

任务优先度是根据系统运行安全可靠、便于维修、尽量从简来确定的. 主要分两大

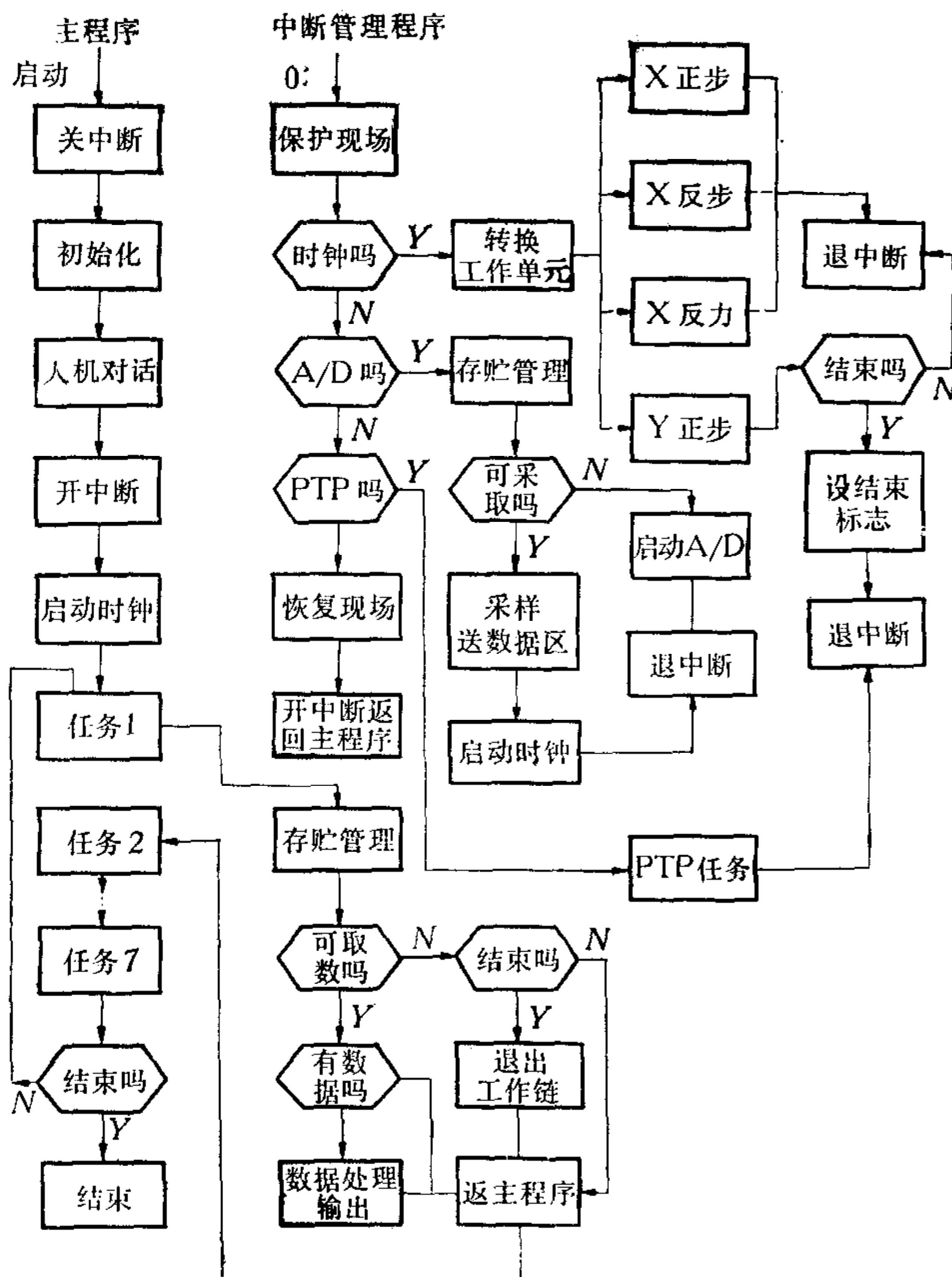


图7 软件系统框图.

类。一类是一些根据整体系统的优化要求可随时中断低级优先度的任务。这类任务之间工作关系由仪器工作原理所决定。穿孔输出程序因每次输出信息最少，为提高整个系统工作速度也归于这一类。另一类是应用输出程序，属于低级优先度的任务放在主程序任务循环链上，特点是不能中断其他任务进程。这些任务按循环方法调度。

系统的设计尽量做到软硬件一致，设计与使用统一。系统程序是按汇编语言、程序模块化，层次化编制的。软件系统由主程序和中断管理程序组成。其框图如图 7 所示。

主程序由系统初始化，人机对话，任务循环工作链组成。程序启动后，总清外部设备、关中断、工作单元初始化。通过电传打印机进行人机对话，向计算机系统输入测量样品范围(步距、行程)，选择测量速度参数(V_z, x_A)、扫描方式、选择应用输出程序装入循环工作链上。在选择 xy 数字式绘图仪工作时，要向计算机系统输入 x 坐标比例放大系数。在选择 $xy-ED$ 等密度曲线输出程序时，要向计算机系统输入等密度值及其允许波动范围。

任务循环工作链是由选中的各应用输出程序组成。每个应用输出程序都是子程序结构，包括“存贮管理”、“可取数吗？”、“结束吗？”、“退出工作链”、“有数据吗？”、“数据处理输出”、“返主程序”等模块。通过存贮管理决定数据区是否有数据可取。若不可取数，是否为任务结束？若该任务结束工作，则从循环链上退出。若数据区可取数，还要了解数据区有数据吗？若有则进行本任务特有的数据处理，然后按指定格式输出，返回主程序。为了使各任务并行工作，中央处理器一般不等待外围设备工作结束，就转向下一个任务。

中断管理程序中首先启动时钟(扫描控制)程序工作，控制工作台按规定扫描，与主程序并行工作。

中断管理程序由判中断源、时钟程序、 A/D 采样程序、穿孔输出 PTP 程序组成。时钟程序由 x 正方向扫描步进电机驱动程序、 x 反方向扫描步进电机驱动程序、 x 反方向扫描力矩电机驱动程序、 y 正方向扫描步进电机驱动程序组成。这些程序根据第二速度和前置转换距离进行变速。通过采样，判断工作台是否走完指定距离，若未走完，发指定方向驱动电机脉冲，启动时钟返回主程序。若走完，判断是否超过测量样品范围，若否，启动 A/D ，返回主程序；若是，改变扫描方向，启动 A/D ，返回主程序。其中 x 反力程序只改变扫描方向不启动 A/D 。 y 正步程序若超过测量范围，则产生测量结束标志，通知各应用输出程序测量到此结束。关闭中断管理程序。当中断管理程序判断出中断源是 A/D 时，则转入 A/D 采样程序，首先进入数据区“存贮管理”模块，经分析可将数据写入数据区。并启动时钟，退出中断；若不可采样时，则启动 A/D ，退出中断返回主程序。穿孔输出程序 (PTP) 只可以中断主程序中其他应用输出程序，其余功能与其他应用输出程序类似。上述“存贮管理”程序采用了“虚拟数据区”原理。本系统存贮管理程序是将内存一个固定区域指定为 A/D 采样信息存放区，简称数据区。所有输出应用程序都从该数据区取出原始信息，经本程序处理后通过输出设备输出。由于一个样品存贮的信息相当大，例如在 1cm^2 样品上每 $1\mu\text{m}$ 取一个样品数据则有 10^6 采样点，而每一个采样点需要五个内存单元 (x, y 坐标为双精度共用四个内存单元。样品密度需要一个内存单元) 则需要 5×10^6 内存单元，相当于需要计算机内存为 4000K，而实际系统只有 8K，又不使用外存设备，故远不能满足要求。解决这一矛盾的方法是：当所有输出应用程序将数据区某一点样品数据都使用完时，就认为该点样品数据再没有必要存在于数据区了，因而可以冲消，另行使用。

当采样程序将该数据区写满时,只要所有输出处理程序都用过,采样程序就可在已用过的内存单元上写上新的数据.当重新写入数据区时称其为翻页.只要采样程序不冲掉输出处理程序还未输出的数据,输出处理程序不重复使用已用过的数据,就可以无限制的翻页,因而数据区的容量就可无限制的扩充.

这里有两个问题需要考虑:

(1) 决定实际数据区长度的因素:

采样速度取决于工作台扫描速度,光度测量系统工作速度, A/D 变换器转换速度和控制程序设计的优劣等因素,而不同外围设备工作速度相差很大.例如本系统所使用的CK-160B 穿孔机工作速度为160行/秒,而JY-80型宽行打印机其工作速度为10行/秒.另外每一个输出处理程序占用主机执行时间亦不相同,如 xy 数字绘图仪等密度曲线输出处理程序有可能取若干组采样点信息才输出一个信息.总之输入输出数据区信息数据的工作速度是不同的.如果将整个系统各有关程序工作速度匹配的相当好,则数据区长度就可以相当小,反之在系统工作速度要求相当严格的条件下,该数据区长度就要相当长,其关系如下:

$$|V_{oil} - V_s| \cdot t = p.$$

其中 V_{oil} 为本系统输出处理程序工作速度最低的某一输出处理程序的工作速度. V_s 为采样工作速度; t 为系统工作时间; p 为数据区长度.

当 V_{oil} 与 V_s 有差别时,随着系统工作时间 t 的加长,总有某一时刻输入输出数据相冲突.如果数据区长度足够长,长到输入输出数据相冲突时所需要的时间大于整个系统工作时间,则系统在工作时不发生输入输出数据冲突,系统工作良好.可通过两条途径达到这一目的.一是将 V_{oil} 与 V_s 之差尽量小,即系统各有关程序工作速度匹配得相当好.另一是加大数据区长度 p .采用虚拟数据区管理程序,让快者慢点,可使整个系统各有关程序工作速度尽量匹配.

(2) 防止数据区信息冲掉和重复误用,及产生巨大的虚拟数据区的方法:

虚拟数据区是由具有一定长度的数据区和翻页功能以及管理程序组成的.假定 N 为写入数据区的页面数. N_i 为第 i 个应用输出程序取出数据区的页面数. CA 为写入数据区的瞬时首地址. CA_i 为第 i 个应用输出程序取出数据区的瞬时首地址.为了不丢失数据区的内容和不重复输出数据区某些内容,其内存虚拟数据区管理原则应做如下规定:

1) 开始运行时:

$$CA = CA_i; \quad N = N_i$$

这是管理程序一开始就设定的初始值.为了正常工作,这时写入数据区的写入程序(即采样程序)工作,而取出程序(应用输出程序)不应工作,写入程序的 CA 和 N 要和所有的取出程序的 CA_i 和 N_i 相比较,不能丢失一个.开始运行状态在程序进程中也可能出现,但都应符合上述规定.

2) 正常运行时:

$$CA \approx CA_i; \quad N = N_i$$

由于写入程序实际工作速度总比取出程序实际工作速度快,所以 $CA \approx CA_i$ 是必然的.这时写入程序和取出程序的工作由管理程序安排,安排谁工作,谁就工作.

3) $CA \neq CA_i; N > N_i, N_i + 1 = N$

当数据区一页已用完，管理程序将写入程序翻页，即 $N + 1 \rightarrow N$ 。这时由于 $CA \neq CA_i$ 所以写入程序和取出程序均可在给予他们工作机会时继续工作。

4) $CA = CA_i; N > N_i, N_i + 1 = N$

由于写入程序实际工作速度（即由管理程序将写入程序和取出程序工作速度调整后的工作速度）比任一个取出程序实际工作速度要快，所以总有一个时刻写入程序已翻页，而取出程序还没有翻页，即比写入程序少翻了一页，但瞬时首地址却相等，这时写入程序则不能再写了，否则写入程序将冲掉某一取出程序还没有取出的内容。为此这时管理程序只允许取出程序工作，而不让写入程序工作。

5) 结束状态：

$$CA = CA_i; N = N_i$$

虽然条件与开始状态相同，但这时要检查一下写入程序中某一单元是否有终止标志，若有取出程序也就停止工作。当然这个问句在开始状态也会提问的。

写入程序写入终止标志的同时即不再工作。本系统即根据上述原则制定管理程序。

四、小 结

42W 显微密度计是我国自己研制成功的一种高精度、自动化程度较高的大型仪器。是由中国科学院长春光机所、感光化学所和上海光学仪器厂共同研制成功的。由中国科学院和国家仪器仪表工业总局主持于 1980 年 12 月通过了鉴定。图 8 是该仪器实物照片。仪器成功地实现了与计算机系统的连用，从而提高了仪器性能。如扫描能以 $0.125\mu\text{m}$ 的步距工作，能在保证精度的条件下提高采样速度，可以进行数据实时处理。本文对解决实时处理中计算机内存小（8K）与系统信息量大的矛盾及计算机闭环最佳控制系统设计等方面提出了一些方法，通过实验证明可以应用。

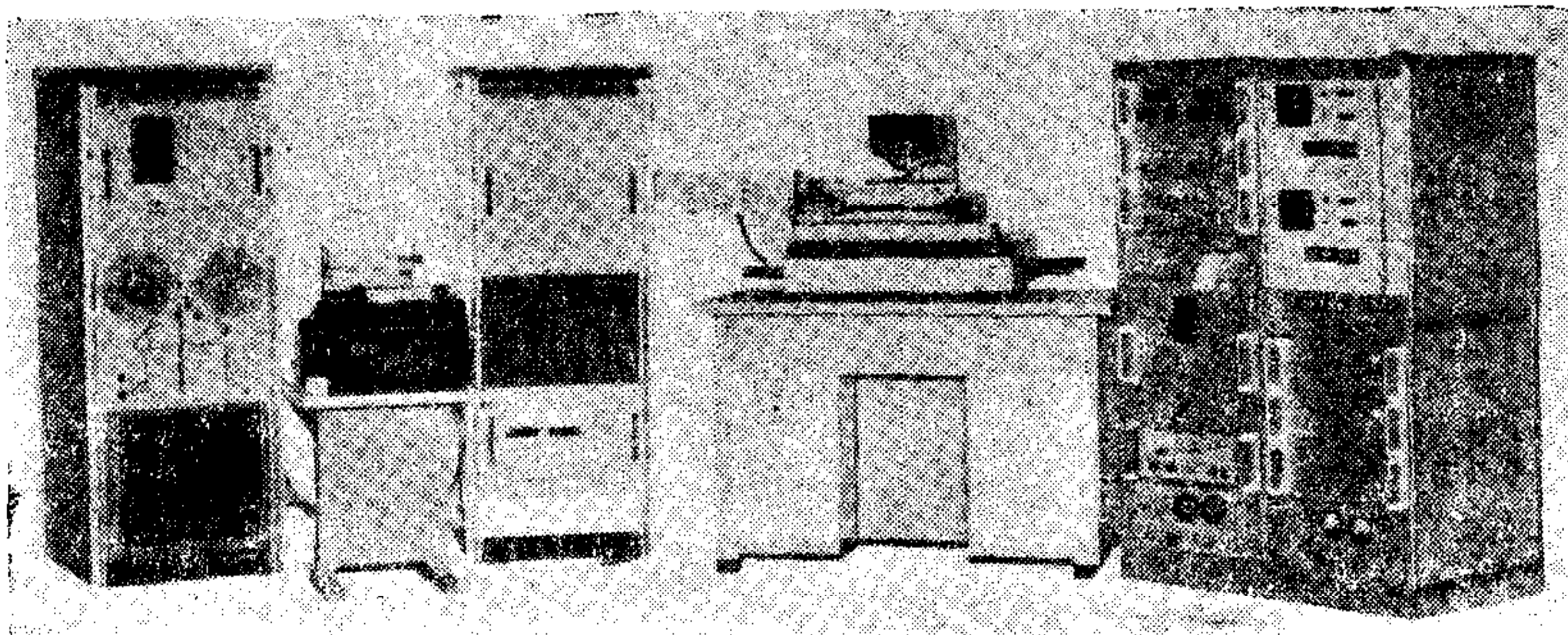


图 8 42W 高精度显微密度计实物照片。

本仪器的计算机控制系统目前已建立了人机对话程序；宽行打印输出程序；Ly-4 打印输出程序；穿孔输出程序；xy-DX 密度分布曲线输出程序；扫描控制程序；采样程序等。但输出处理程序还不多，需进一步扩充。

参 考 文 献

- [1] Irvin, M. M., Survey of Digital Image Scanning Systems, AD/A 036.337, June, 1976.
[2] [苏] M. П. 格里申, 用计算机自动处理摄影图象, 国防工业出版社, 1979年。
[3] 张尤腊等, 计算机操作系统, 科学出版社, 1979年。

A PRACTICAL COMPUTER SYSTEM FOR MICRODENSITOMETER

LIU LIANSHUO

(Ground System Division, Space Science and Technology Center, CAS)

ABSTRACT

This paper describes the main performance of a high precision microdensitometer. It also presents the design method of closed loop optimal control system with a mini-computer and the methods to resolve the contradiction between for real time processing. limited computer memory capacity and large quantites of system information taken in and sent out by "fictitious data area".