自动测试系统

国防工业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

自动测试系统

张伦　李镇远　李世英　编译
董宗光　等校



国防工业出版社

内 容 简 介

本书是从美国 TEKTRONIX 公司1971年出版的《自动测试系统》、贝尔系统技术杂志(B. S. T. J)1969年第5期及休利特-帕卡德公司出版的期刊(H. P. Journal) 1970年 第二期 中的资料编译而成。对目前常见的三类自动测试系统作了较详细的介绍。第一类是集成电路测试系统，其中以S-3130型自动测试装置作为实例，详细介绍了系统的工作原理、存储和控制部分、测量和激励部分。第二类是计算机控制的传输测量系统。第三类是自动网络分析系统。

本书可供从事无线电测试工作人员、技术人员及有关院校师生参考。

自动测试系统

张伦　李镇远　李世英 编译

董宗光　等校

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行　　各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32　印张 9 1/4　237千字

1978年6月第一版　1978年6月第一次印刷　印数：00,001—18,500册

统一书号：15034·1646　定价：1.15元

（限国内发行）

目　录

译者序…… 1

第一部分

第 1 章　系统的测试能力和构成…… 7
第 2 章　数据磁盘……12
第 3 章　穿孔带、读带机和带穿孔机……19
第 4 章　240 型程序器和 250 型辅助程序 器……28
第 5 章　241 型程序 器……48
第 6 章　取样理论评述……58
第 7 章　R 568 型示波器、3 S 6 型垂直
单元和 3 T 6 型扫描 单元 ……74
第 8 章　230 型数字单元 …… 105
第 9 章　测试系统的选用件…… 140
第10章　R 116 型程控脉冲发生 器…… 159
第11章　R 293 型程控脉冲发生器和电源 …… 180
第12章　程控电源…… 191
第13章　固定装置及有关问题的讨论…… 200
第14章　提供的系统类型…… 229

第二部分

第15章　计算机控制的传输测量装置…… 238

第三部分

第16章　自动网络分析系统…… 279

译 者 序

测试技术在工业生产、科学研究中占有重要的地位。实现测试自动化，是人们长期以来向往的目标。六十年代后期，出现了多种高效率、多功能、体积小、具有相当精确度的自动测试系统。遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，我们从美国TEKTRONIX公司1971年出版的《自动测试系统》、贝尔系统技术杂志(B. S. T. J) 1969年第五期及休利特-帕卡德公司出版的期刊（H. P. Journol) 1970年第二期中的资料编译了这书。书中介绍了国外几种电参数自动测试系统。这些系统具有一定的代表性，它反映了当前电参数自动测试系统的基本工作原理和特性。

在介绍具体的自动测试系统之前，有必要对电参数自动测试系统的组成、一般工作原理及建立系统应注意的问题作一概述。

一、电参数自动测试系统的组成及其基本工作原理

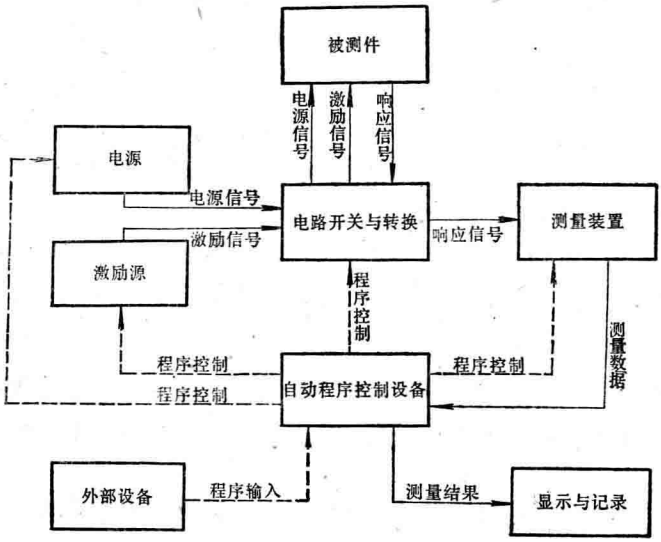
自动测试是指整个测试过程的进行，数据的获取、分析与处理以及结果的显示与通报，均由一定的设备自动地完成的测试。在高度自动化的测试系统中，人员的介入被减少到最低的限度。

为了说明电参数自动测试的过程及其基本工作原理，考察一下人工测试的全过程是很有意义的。在人工测试过程中，测试人员掌握着整个测试过程的进行：将测试仪器与设备连接成测试电路；把被测件接入测试端；扳动测试仪器与电路上的旋钮和开关；按规定步骤操作仪器；观察仪表指示与显示结果；记录有关数据；进行某些计算、作图及列表、作出分析、判断与比较；最后得出测试结果和报告。分析这一过程，不难得到这样一个结论：任何电参数测试必须包含六个基本要素——电路的连接与开关转接；向被测件提供测试用的激励信号；仪器与过程控制；测量被测件对激励信号的响应；数据处理与评定；结果的记录、显示与通报。

对于自动测试也不例外，仍必须包含上述基本要素。但是，大

需要全本请访问 www.ertongbook.com

多数测试功能是在自动程序控制设备的控制下，按照事先拟定好的程序自动完成的。典型的电参数自动测试系统的基本组成如图所示。这种系统适用于电子线路与器件的测试。



电参数自动测试系统原理方框图

方框图中，自动程序控制设备单元，可以是比较简单的程控器，或电子计算机（一般是小型通用数字计算机或微型处理机），其作用是执行程控、运算、存储、逻辑等功能；电源单元用来供给有源被测件所需的功率（例如晶体管的偏压等）；激励源单元，视被测件的不同，可以是低、高频振荡器、函数发生器、直流源、脉冲源等，其作用是用来供给被测件激励信号；测量装置单元是交直流数字电压表、电流表、欧姆表、相位计、电子计数器或模-数变换器等，其作用是用来测量被测件对激励信号的响应；电路开关与转换单元，是开关与其他零件的组合，通过它的动作组成并变换测量电路对信号加以分配与转接，使之符合特定的测试要求；显示与记录单元，可以是曲线记录仪、打印机、照相机、磁带等，用来将中间或最后测试结果，以规定的格式显示与记录下来；外部设备是电传打字机、纸带穿孔与阅读机、外存储器、输入输出

设备等。整个系统的各个单元还可以进一步分为多个分系统，各自完成不同的测试任务。不难看出，由上述单元组成的自动测试系统，具有上述的所有基本要素，其中的自动程序控制设备单元，代替了人工测试中测试人员的地位，是系统的核心。

电参数自动测试系统的基本工作过程可以归纳如下：

1．利用外部设备编制测试程序或输入事先编制好的程序；

2．程控设备“阅读”程序，并逐条加以执行，按一定次序、间隔向各单元发出动作指令；

3．进行系统的自校准；

4．各有关单元按指令进行动作；

5．给出测量结果。对于有电子计算机或数据处理装置的系统，将测量数据加以集中处理后给出结果，或将结果与规定指标进行比较、作出判断、发出通报；

6．转入下一次测试或根据结果通报转入另一程序。

在自动测试系统的工作过程中，测试人员可以通过系统的控制台和外部设备、记录显示设备等了解测试的运行情况，并在必要时介入测试，发出必要的指令，完成自动系统不能进行的辅助工作。

二、建立电参数自动测试系统应注意的几个问题

1．确定系统的类型

从采用程控设备的角度，自动测试系统可分为程控器控制型与电子计算机控制型两类。前者结构简单，成本较低，适于完成大量而重复的简单测试；后者具有数据处理、存储、逻辑判断、自校准等多种功能，适于完成复杂的综合测试与精密测试。

从系统构成的角度，自动测试系统又可分为专门设计型与组合型两类。前者是为完成一定的测试任务、按一定的要求专门设计制造的；后者则是利用常规的通用设备，通过接口设备按一定方式组合而成的。两类系统各有优缺点，视要求与条件而定。

从系统用途的角度，自动测试系统也可分为专用型与通用型两类，前者效率高，后者适用范围广。

2．编制合理的程序

这有两方面的问题。其一是在系统设计时选择适当的程序语言；其二是进行合理而良好的程序设计。程序语言是人-机之间进行联系与对话的媒介，可根据所完成测试的复杂程度及程控器的类型加以适当选择，应注意的基本原则是：易于学习和编写程序；易于修改程序；有较大的通用性；便于人-机对话和实时处理问题；可自动检查程序的错误等。设计合理而良好的程序能够扩大系统的功能，提高系统的效率，简化以至代替测试人员应作的工作。其质量对整个系统功能的发挥有很大的影响。对于一个完整的高级自动测试系统，构成测试程序的基本内容应包括：系统的运行与控制指令；收集系统的状态情报与测试数据；规定系统的定时；运算与逻辑操作；程序的循环与转移；数据和程序的输入与输出等。在设计程序时，要注意程序的通用性、灵活性、标准化等问题。

3．解决各单元间的接口

所谓“接口”就是相互连系的意思。在一个自动测试系统中，须在程控设备和其它单元之间建立正确的接口，才能进行有效可靠的信息传输，互相协调动作，完成测试任务，这就要求：

1）各单元须具有程控输入和编码输出的性能——当体现某种指令的数字编码信息进入该单元后，即可自动地改变其工作状态，并将测量数据也变换成数字编码输出。显然，在这里编码的统一与标准化是一个重要问题；

2）各单元应具有寻址和存储能力——为保证系统能高效工作，各单元不但能够接受寻址，而且应附有寄存器，用来存储由程控设备发来的一系列指令，以使程控设备能及时转入其它工作，而该单元按寄存器所存储的指令陆续动作；

3）设计必要的接口设备——对于组合型自动测试系统，这

一点尤为突出。当组成系统的各单元不附带接口电路或是其编码不是标准化时，必须通过专门设计的接口设备将其连接起来。

4．处理好系统的定时问题

系统的定时问题，这里主要是指在程序进行的一定步骤上，必须考虑适当的时延。由于执行测试功能的部件，需有一定的响应时间和稳定时间，信息传送电缆分布电容的影响以及程序转换要求一定的时间等因素的影响，必须在设计程序时加以考虑和解决。

5．实现方便的人-机对话

为使测试人员对系统的控制做到方便易行，指挥随意，可从两方面来解决这一问题：

1）软件方面——选取适当的程序语言，编制合理的程序；

2）硬件方面——设计合理的测试控制台，配备监控系统运行的设备（如记录显示设备、电传打字机等）。

6．实现系统的自校准

计算机控制型自动测试系统的一个突出特点是它能够进行自校准（这里所说的自校准，是指系统自动检查，并修正其固有的系统误差，而不是测试之前所有仪表的机械调零）。充分利用电子计算机的运算与存储能力，再加上设计好适当的校准程序，系统是可以在很大程度上检验其自身的。一般说来，系统自校准采用的是比较法，即用一些标准件接入系统，对系统作自测，将测试结果与标准件给出的值相比较，其差别即作为系统本身的固有误差存储起来。以后进行测试时，通过计算机的数据处理，用自测的误差信息修正测试数据，便可给出精确的测试结果。

三、自动测试技术的发展情况

在国外，自动测试系统的研制工作开始于 1958 年。由于测试自动化的种种条件所限，发展较慢。只是到了六十年代后期，自动测试技术才有了显著的发展。近年来，欧美和日本的一些仪器公司、科研机构和学校，都设计和生产了多种自动测试系统。目

前，电参数自动测试系统的测试对象已遍及电阻、电容、电感、电缆、变压器、半导体器件、天线、印刷电路、集成电路、通信设备、航空电子设备等数十种。测试的频率范围从直流到高频以至微波频段；测试的类型也从生产、装配测试、检验测试到精密电学计量和无线电计量测试等，并不断地发展与扩大。

自动测试技术之所以在不到十年的时间内得到飞跃的发展，其原因有两个方面：一是需要；二是可能。首先，工业生产、科学研究与军事技术对自动测试的需要日益迫切。例如，对于现代化生产的大量产品的检验；中、大规模集成电路这样复杂电路的测试；军用航空、通信等电子设备、整机的综合性测试；实验室研究中的精密测试和大量的数据处理工作；宽频带、多参量的电路和元件的生产、调试等，都促使测试技术向自动化方向发展。其次，近代技术和工艺的发展为自动测试系统的诞生和发展奠定了基础。这里，自动控制技术与电子计算机技术的发展以及测量仪器与设备的数字化、固体化、小型化起着关键性的作用。由于自动测试系统应用了六十年代新技术、新工艺、新器件、新仪器。所以它的历史虽不长，却发展为具有高速度、高精确度、宽频带、宽量程、多功能、多种方式给出结果、操作简便等特点。

综上所述，自动测试系统是发展生产与科研的有力工具。它已在各个领域的应用中，展示了广阔的前景。随着近代科学技术的发展，全面实现自动测试的时代必将到来。

本书在编译过程中，对原文中一些为其厂家吹捧的章节和语句，作了删改。但有些地方仍不免带有上述痕迹，希望读者在阅读时能批判地吸取。

本书译文经北京市大规模集成电路测试设备会战组的董宗光、周旋、谢福增、韩汝水、于凤来、任兴铨等同志校对，编译者仅向他们表示衷心的感谢。

由于译者水平所限，译文中的缺点和错误在所难免，希望读者批评指正。

第一部分

第1章　系统的测试能力和构成

TEKTRONIX 自动测试系统是能够对许多电子器件的电特性进行复杂定量测试或测量的一种精密仪器综合装置。系统可以进行手动或自动程序，可以是简单的或复杂的，可以占有一小块工作台或占有好几个高大的落地机架。这类系统的主要优点是在速度和精确度方面。自动测试系统的主要应用是快速测试集成电路。其它一些可测器件包括：1）晶体管；2）电路板；3）厚膜或薄膜逻辑组件；4）脉冲变压器；5）集总常数延迟线等。

由于集成电路自动测量系统的作用是保证生产出来的器件或通过验收检查的器件要满足技术指标，故设计了好几种测试形式。考虑到器件所预期的性能和测试费用，具体测试方法应视集成电路的制造和使用而定。

TEKTRONIX 自动测试系统所提供的测试通常有三种形式：直流测试、功能测试和动态测试。而每种形式都有其特点。

直流测试是先加上用于激励被测集成电路的稳态电压或电流。经一短暂建立时间后，即测量出对直流激励的响应。当被测器件加上标准测试负载时，便可测量出输入和输出参量。直流测试常常要求有高的测量精确度。采用 TEKTRONIX 1801 或 1802 测试台，可以实现这种直流测试，精确度可达 1～3％（一个大型 S-3150 系统，可以使好几个测试台同时工作）。

功能测试(TEKTRONIX S-3150 型集成电路自动测量系统)主要用于按照真值表测试数字集成电路，被测器件在全面的计算机控制下运用以检验其逻辑功能。但是，这种测试往往不是完全适当的，因为可能并未揭露(举例来说)，过度泄漏电流或高的饱和电压。集成电路对其它器件的加载影响不能靠功能测试检测出来。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

如果测试只局限于功能测试，则早已潜存下来的缺陷的一些迹象还可能会完全消失。

动态测试就是测量器件响应激励所需的时间，有时称为开关时间测试，参见图 1-1。脉冲上升时间、下降时间和器件输入-输出传输延迟，都能在很短时间间隔数字化的系统中测出。

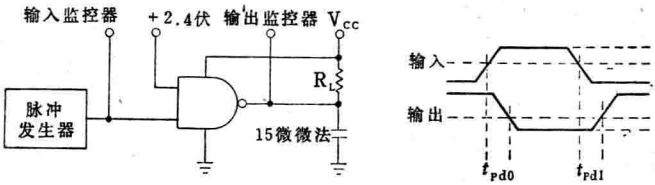


图1-1　两个输入的正与非门的动态测试。每个门的两个传输延迟测试，保证逻辑位有适当的到达时间

当动态测试分别由直流测试或功能测试来完成时，费用可能很大。但若结合在一个系统中进行，则三种测试方法的费用低。当在最终产品中使用含有缺陷的集成电路时，与修理和排除故障所花的成本相比，动态测试对集成电路的成本来说是特别合算的。

集成电路的技术指标是根据所有三类测试的结果定出。因此，集成电路的使用者常常要求对所有三类测试的某些要点进行测试，以确信所购买的产品是否符合要求。

较简单的 TEKTRONIX 自动测量系统，主要是一些动态测量系统。这些系统附加上辅助设备，即能进行直流测试。动态测量系统在模拟最坏条件（在此条件下器件最终还能工作）或超过最坏条件的情况下，提供了测量有源器件性能的一种手段。由自动测量系统完成的测试和测量，本质上与工程技术人员在实验室中进行的测试和测量相同。

自动测量系统的作用，是保证生产出来的或经检验的器件满足技术指标。许多所要求的测试和测量都必须在用费不大的前提下，能迅速和精确地进行。由于自动测量系统以高速进行测量，

故耗时少、成本低。

TEKTRONIX 自动测量系统能完成的典型测量包括：脉冲上升时间、下降时间、持续时间（宽度）、幅度和周期、导通和切断、传输延迟、存储时间、正向恢复时间和反向恢复时间、逻辑电压电平和饱和电压电平。此外，较大的系统还能测量大电流和很小的电流。只要适当的信号加到被测器件上，则每种系统都能进行多种数字或模拟测量。

TEKTRONIX 数字系统，主要是由一些标准产品组成。通过广泛选择仪器，有可能构成仅是部分自动化的简单系统到极其复杂的全自动化系统。

TEKTRONIX 系统的构成，如图 1-2 简化系统方框图所示。系统中包含的每种仪器都执行所示的功能之一，几个方框是：存储和控制部分；激励部分；固定装置和测量部分。

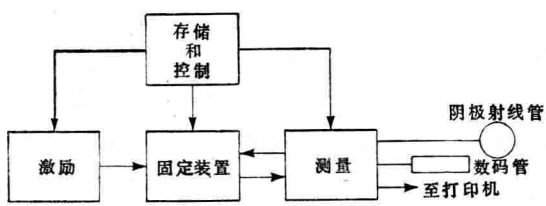


图1-2　简化的系统方框图

本书中 S-3130 型作为标准的系统，并用图 1-2 的方框图加以说明。对每个方框内的仪器都做了讨论。为了能理解仪器的作用，理解仪器怎样被组织起来以完成这种作用，以及该仪器和系统内其它仪器之间的交接，对每种仪器都用方框图的形式加以说明。系统的编程是从整个系统的角度，同时也是从各个别仪器的角度进行探讨的。应当指出，为了对系统进行正确的程序设计，编程人员必须了解每台仪器各自怎样编程，以及仪器在系统中的地位。

存储和控制部分完成几项作用。控制部分对激励部分、固定装置和测量部分提供编程，并通过采用数字方法的并行线完成。编程的作用是将（存储在存储器中的）数据变换成可用的逻辑形式，并将其分配到被程控的仪器上，可以对多达 576 条线编程。这个方框通常也包含存储器部分，存储器用来存储编程数据，以便在进行必须经常重复的测量时，能迅速而准确地再次调用。存储器的选用件包括能存储达 1600 个测量所需数据的磁盘和测量存储容量只受所用带长限制的穿孔带。对于很简单的系统，可以利用程控板只读存储器，有多达 15 个测量程控板可供使用。存储功能可以直接由外部计算机的存储器完成，或由置于计算机控制之下的磁盘存储器完成。

测量部分，包括一台程控的取样示波器，用以提供测量结果的模拟显示。还有一个程控数字读出装置，用以提供模拟显示的数字表示。在要求十分精确的直流测量的场合下，还可能有一台程控数字电压表。

激励部分，提供被测器件所需的电压源、电流源和输入信号。系统可以包括多达 4 个程控直流电压源或直流电流源，以提供所需的工作电源。这几种电源直接由控制部分进行程控。激励部分还包括一台供选用的脉冲发生器，用以为动态测量提供激励。可提供的选用件，包括多至 3 台的程控发生器。最简单的系统可以使用人工控制的发生器和电源。

固定装置部分，包括将被测器件连接到系统上所需的接口电路。因系统不同，故固定方式变化很大，这是因为各系统所测试的器件变化很大的缘故。例如，若使用者希望测试双列直插式16条引线集成电路，则固定方式是一个插入集成电路的插座。此插座安装在印刷电路板上，并与一个开关矩阵相接，该开关矩阵将直流电源接到 16 条引线中的任一条上。此外，这个开关矩阵，还能将系统的测量部分的测量探头，连接到集成电路插座上。

TEKTRONIX 系统提供有多种标准固定装置板。固定装置

板可以包括一个程序开关矩阵。此开关矩阵也可以有固定接线，但在这种情况下，当使用者要求改变引线结构或电源连接时，必须插入新的固定装置板。在很多情况下，使用者采用他们自己的固定装置。

本书的第 13 章详细介绍了用现代技术设计的固定装置。对任何 TEKTRONIX 系统都有较简单的固定装置可供利用。无论直流或快速脉冲，皆可由现代化的开关矩阵加以转换，固定装置含有自动处理和环境试验能力。

如图 1-2 所示，附加的功能可能包含数据记录。当测试一批集成电路时，使用者可能要求记录全部测试，以便记录或预示这批集成电路质量的大致趋向或不合格率。在这种情况下，数据记录就显得必要了。有许多数据记录设备都可以连接到 TEKTRONIX 系统上。可以采用的数据记录型式有：穿孔卡片（如 IBM 卡片）；穿孔带（如用来对系统进行程控的穿孔带）；通过磁带记录器的磁带记录；打印装置包括纸带打印机或卡片打印机；费里顿（FRIDEN）曲率描绘器等（这种曲率描绘器使用特殊型式的穿孔带）。

包含数据记录的常用系统也具有程控能力。它能进行数据记录或停止数据记录。对于这些直接由计算机控制的系统，数据记录读出装置，常常直接回到计算机上。将所需的反馈送至计算机，使计算机作出关于趋向、不合格率等方面的判断。

第2章 数据磁盘

在TEKTRONIX系统中，存储程序信息的最大来源是磁盘存储器。TEKTRONIX提供的是数据磁盘公司制造的F75型磁盘。数据磁盘以磁的形式将数据存储在转盘上。磁盘存储器接受一连串数字输入，采用磁饱和记录方式记录的二进制位，每英寸达3000位。磁盘根据指令给出存储器存数的时序数字输出，磁盘本身是敷有磁性记录介质的12英寸铝盘，为了进行高密度记录并加以复现，专门研制了供数据磁盘使用的磁头。TEKTRONIX所提供的磁盘有8个读/写头。由于采用的是固定磁头，故每个磁头总是通过磁盘的固定部分。因此，磁盘上有8个数据磁道，磁头录下的磁道宽度为24.5密耳，每条磁道之间有5.5密耳宽的保险带，工作时，磁盘以1800转/分的速度旋转。

磁盘上任何位置一段，已存储信息的平均取数时间为16.7毫秒。所要求的位置一旦确定下来，便可能有3,000,000位/秒的数据传送速率，每条磁道可容纳100,000位，1800转/分相当于30转/秒，由于每条磁道容纳100,000位，所以每个磁头的写入能力为每秒3,000,~~000~~(30×100,000)位。

F系列磁盘存储器简化方框图示于图2-1。当由X选择和Y选择输入信号发出指令时，便由二极管选择矩阵，根据该指令一次选择一个数据磁头。为了在磁盘上确定一个特定位置，必须首先给出磁头的X和Y座标。由于使用了8个磁头，故规定磁头的号数为0至7。要选择一个特定的磁头，逻辑1必须处在一条X线和一条Y线上。将TEKTRONIX240型程控单元接至X线和Y线。240型中的磁头选择电路为选择所要求的读/写磁头提供适当的X和Y译码。图2-1中X线和Y线所用的号数是数据磁盘使

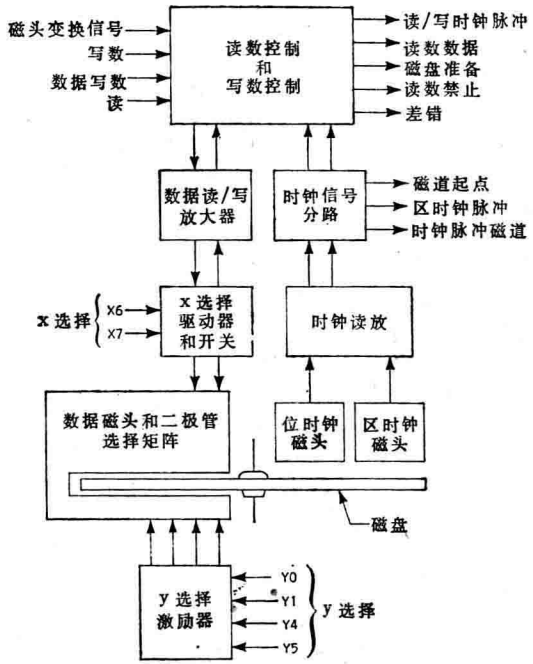


图2-1　F 系列磁盘存储器方框图

用的号数，与实际选择的磁头没有数字上的关系。

给存储器中的一个位置指定的号码称为地址。数据磁盘上的每个位置给出四个十进制数地址。每个地址位置叫做区。磁盘存储器上的每条磁道容纳 135 个或 200 个区。

200 个区的磁盘可供程序设计容量为 192 位或 384 位的系统使用。一条磁道有 100,000 位，所以在 200 个区的磁盘上每个区有 500 位。存储是按每 4 位一组，而第五位是奇偶校验位。因此，384 位的系统，实际上要求每区有 384＋96 即 480 位。最复杂的系统有 576 位的程序设计容量，576 个程序位加 144 个奇偶位，这就是说，一个区必须容纳 720 位。这样，一条磁道上就只容许有 135 个区。目前，可用的磁盘存储器，只有 200 区和 135 区这两种型式。

需要全本请访问 www.ertongbook.com