

计算机与仪器 测量、接口和控制电路 实用手册

〔英〕艾伦·卡里克 著

田 良、张钰元、张绍泉 译 张钰元 校

国防工业出版社

计算机与仪器

测量、接口和控制电路实用手册

〔英〕艾伦·卡里克 著

田 良 张钰元 张绍泉 译

张钰元 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书简明扼要地描述了实验室中计算机应用的发展历史, 计算机的基本结构和程序设计。介绍了测量和控制领域中使用的模拟电路, 计算机数据处理用的 A/D 转换电路。着重阐明了实验室仪器与计算机之间的各种标准接口, 着眼于实验室仪器实际应用计算机的情况。书中列出了大量有实用价值的模拟和数字装置, 并介绍了用微处理器, 特别是用计算机成套散件自行装配的方法, 对科学实验工作者颇有参考价值。最后还展望了该领域发展的未来。

本书可供从事科学实验研究的实验工作者、智能仪器的设计、使用、维修人员使用, 也可供有关科研单位工厂的工程技术人员和大专院校有关专业师生参考。

COMPUTERS AND INSTRUMENTATION

A Practical Handbook of Measurement,

Interfacing and Control Circuits

ALAN CARRICK

Heyden & son Ltd. 1979

*

计算机与仪器

测量、接口和控制电路实用手册

〔英〕艾伦·卡里克 著

国良 张钰元 张绍泉 译

张钰元 校

*

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 $1/32$ 印张12 318千字

1989年7月第一版 1989年7月第一次印刷 印数: 0,001—3,400册

ISBN 7-118-00042-6/TN7 定价: 7.35元

序 言

计算机成了日常生活中不可缺少的组成部分。由于其种类繁多，垂手可得，故在选用时，应充分了解其作用、目的和性能。实验室计算机尤其如此，因为在各种实验室里，科学工作者正日益依靠计算机来完成其主要工作。本书是想以简洁而实用的形式向读者提供一定的基础，以便能对科学用计算机提出问题。实际上，在整个计算机界，这已成为一种结构性行业，而我感到（或从经验发现）这对物理学家是颇为重要的。当某一领域的进展与工艺方面的进展并驾齐驱时，自然就会忽略这一学科的基础。正因如此，我就写这些技术（硬件和软件）的关联性和历史性。从历史出发，通过基本部件（包括被忽视的模拟电路）一直写到实际应用。我已试图在一堆明显混乱的东西后面重点理出一些头绪和有用的东西，并突出实验工作者特别感兴趣的问题。计算机是一个内容浩瀚、进展迅猛的领域，本书到达读者手中时，书中所介绍的某些数据和材料就将过时，但我确信一般原理是不会过时的。

艾伦·卡里克

1979年10月于曼彻斯特

目 录

第一章 绪论	1
1.1 前言	1
1.2 历史的回顾	3
1.3 小型计算机与实验室	8
1.4 经济因素	15
参考资料	18
其它推荐读物	19
第二章 计算机基本原理	20
2.1 前言	20
2.2 硬件	24
2.2.1 中央处理器	24
2.2.2 存储器	33
2.2.3 输入/输出装置	39
2.2.4 外围设备	43
2.3 软件	52
2.3.1 计算机结构及指令系统	54
2.3.2 中断	69
2.3.3 汇编语言	78
2.3.4 操作系统 (OS)	84
2.3.5 高级语言	92
参考资料	105
其它推荐读物	105
第三章 模拟元件	107
3.1 前言	107
3.2 运算放大器	108
3.3 运算放大器的类型	115
3.3.1 双极型差分放大器	117
3.3.2 FET 差分放大器	117
3.3.3 斩波器漂移补偿放大器	117
3.3.4 交零二极管电桥放大器	118

3.3.5 隔离放大器	118
3.3.6 仪用放大器	120
3.4 运算放大器的应用	121
3.4.1 信号调整器	121
3.4.2 信号处理器	135
其它推荐读物	147

第四章 数字积木块

4.1 电子逻辑	148
4.2 逻辑系列	152
4.2.1 二极管-晶体管逻辑 (DTL)	153
4.2.2 晶体管-晶体管逻辑 (TTL)	154
4.2.3 发射极耦合逻辑 (ECL)	157
4.2.4 集电极扩散隔离 (CDI)	158
4.2.5 集成注入逻辑 (IIL)	159
4.2.6 金属氧化物半导体 (MOS) 器件	161
4.2.7 三态逻辑	163
4.3 实用逻辑系列	165
4.3.1 正逻辑与负逻辑	165
4.3.2 门及缓冲器	166
4.3.3 触发器及寄存器	168
4.3.4 单稳态电路	176
4.3.5 译码器与数据选择器	179
4.3.6 算术元件	181
4.3.7 存储器	183
4.3.8 外围接口	187
4.4 逻辑设计与逻辑冒险	191
其它推荐读物	196

第五章 标准接口

5.1 串行点到点接口	198
5.2 并行点到点接口	204
5.3 并行总线接口	211
5.4 其它硬件接口	220
5.4.1 CAMAC	220
5.4.2 MEDIA	223
5.5 专用接口	225
5.6 机器到机器连接的软件接口	227
其它推荐读物	231

第六章 计算机与仪器	234
6.1 设计有效的系统	234
6.2 离子选择电极和电位差计记录	235
6.3 光子和电子倍增器及高压隔离	239
6.4 要求较低的应用场合	242
6.5 信号调理	243
6.5.1 传递函数已知的中频高电平信号调理	244
6.5.2 气相色谱仪检测器的低频低电平信号处理	246
6.5.3 定阈值电路	249
6.6 各种成套系统	250
6.6.1 质谱仪信号的模拟式预处理器	251
6.6.2 动态研究及一般信号处理的迅变记录	254
6.6.3 火焰光度计测定石油分馏中硫的总含量	256
6.7 联机	259
6.7.1 程序控制的I/O接口	259
6.7.2 直接存储器存取(DMA)接口	266
6.7.3 串行接口	277
6.8 构成更大的系统	281
6.9 微处理器、仪器及计算机业余爱好者市场	294
其它推荐读物	319
第七章 结语: 最终的个人计算机	321
术语汇编	326
其它推荐读物	378

第一章 绪 论

1.1 前 言

说起实验室计算机的发展,值得一提的是一种爆炸式的变革。业已发生的多次这样的变革,使人出乎意料之外。此外,由于这种变革的速度极快,其势不可阻挡,因此在它结束之前,若是仔细地进行观察,亦难预料它的最终结局。总而言之,爆炸式变革是一种极为迷惑人的变革。

在当今科学工作者日常所用的工具中,几乎没有比计算机更使人爱不释手的了。正如著名计算机科学家丹尼尔·麦克雷肯(Daniel McCracken)所说:“由于使用计算机,可以大大减轻人们的劳动强度,从而使它成了现代工具之王。计算机的“王位”乃是通过一种极为巧妙的方式,把各类问题变为可解的,才取得的。以后,我们之所以主张用计算机去处理各种问题,并非因为这些问题是重要的,而是因为这类问题是可解的……”。这话千真万确,不仅在自然科学领域中如此,而在工业、商业、教育和通信领域中也是如此。我们看到以往的许多计算机系统,正因为它们不能解决现实世界中的若干重要的问题,而被束之高阁或者很快被淘汰了。但人们对现在的若干计算机系统是否也是如此,则表示怀疑。

在临近计算机爆炸式变革的情况下,对于任何一个论述有关计算机和计算机方法与实际问题之间联系——也就是接口问题的著者来说,是有风险的。因为技术上的急速发展,会使他陷入被动。从而迫使他在若干没有普遍价值的问题上大做文章,力图使爆炸式变革的速度放慢。但结果相当容易使他远远落后于变革的潮流。而且,所做的种种综述,并不能反映变革过程的本质,只

能反映那些专门的、过时的、甚至根本无用的技术。在小型机和微型机尚无公认定义的场合中，尚存在一种较为隐蔽的风险：根据该场合中某一项具体事物制订文本的时候，发现唯有那种“别开生面”的事物，不但有吸引力，而且有望得到公认，这纯系市场力影响的缘故。而这种市场力往往不以人的意志为转移。这方面最好的例证是，具有实际计算能力的袖珍计算器投入市场后，冲击了科学团体和广大的个人用户。而计算器的这种冲击作用，如果按“较大”的小计算机中的应用方式与性能预测观点来看，不过刚刚显示出来而已。

除了上述那些不利因素之外，也还存在一个有利条件：目前的科学工作者在日常工作中几乎没有不同计算机打交道的了。因此，本书的大多数读者，即使他们对计算机术语和计算机技术不一定精通，但在计算机实践方面多少已具备一些常识。因为本书是面向直接(与有效地)使用小型计算机的实验工作者的，所以在讨论如何使用这些计算机之前，最好首先将计算机的有关定义(这些定义可能还有点不肯定之处)及其作用和工作原理介绍一下。

计算机既是一种物理器件，又是一种概念器件，也就是一种处理符号的机器。如此广义的定义，不仅适用于我们现在讨论的常规的数字计算机，而且适用于模拟计算机与混合计算机。符号处理在实验室中是最有用的，它包括各种类型计算中的基本处理方式，诸如数值处理与字母处理；电气的、视觉的、听觉的模拟量的处理；导出量与概念量如集合、表格及图形，或者与这些量相对应的模拟量的处理。这些处理操作可分成各种可能的计算模式：脱机或联机、实时或非实时、精确时间或非精确时间。所谓联机工作模式，是计算机与过程之间借助某些直接联系，将过程数据取到计算机中来，或者将计算机的数据送到过程中去——也就是计算机与周围环境以一定方式互相配合，而不是置于由过热引起失效的那种随机方式中，因为这是一种典型的有害环境。在脱机模式下，通常把要接收的数据以及要发送的运算结果记录在磁带、穿孔卡片或纸带上，利用它们来间接地进行接收与发送。

本书只讨论联机模式计算机。“实时”是另一个较难理解的术语。有时候也许会把它与“过程时间”相混淆。但是，“实时”这个词至少正确地强调了计算机以及与其相联机的过程之间的直接响应关系。它所强调的是，计算机要产生的一种响应，使计算机的动作能够跟上所进行的实验或测量所要求的速度。例如某一生产过程中，计算机必须对来自检测器的信号中分辨不开的峰面积进行分配计算，以保证在所要求的整个实验期间的任何时刻均不丢失信号。也就是说，应当迅速地根据对生产过程中产品成分的测试结果做出判断并执行控制命令，以保证在给定速率下，稳定地生产成分合格的产品。布里格奈尔 (Brignell) 与罗达 (Rhodes)⁽¹⁾ 把实时类型中的最后一个小类命名为“精确时间”模式，该模式与实时模式显著不同，而且对实验工作者来说同样是重要的。该模式要求实时地执行动作，同时把该模式的实时定义为恒星时间。例如，数字滤波器的实时执行就必须遵守精确时间。因为如果时间参照系发生变化，就要引起频率的变化，结果造成频率失真，这是我们所不希望的。由此可见，有两种显著不同的实时范畴：前者强调产生一种响应，可在不中断过程作业的情况下，根据采集到的信息作出执行动作；而后者除要满足上述条件外，还要在不失真的恒星时间内维持准确的信息。这两种工作模式的实现方式，很大程度上取决于系统的特性、系统的硬件与软件之间的相互配合，还取决于设计者的爱好与习惯。后面将要讨论到这些因素。

1.2 历史的回顾

在描述计算机诞生前的历史的所有方式中，最满意、最容易理解的一种是由伊米斯 (Eames) 兄弟提出来的⁽²⁾。它们把计算机作为三条发展途径汇合的顶峰 (图 1.1)。这三个显著不同的技术领域都有自己的十分专用的产品作为它们的目标：

(i) 统计机器：通过对大批数据进行分类、存储与列表，获得信息中的某些统计关系。霍勒里斯 (Hollerith) 穿孔卡片机

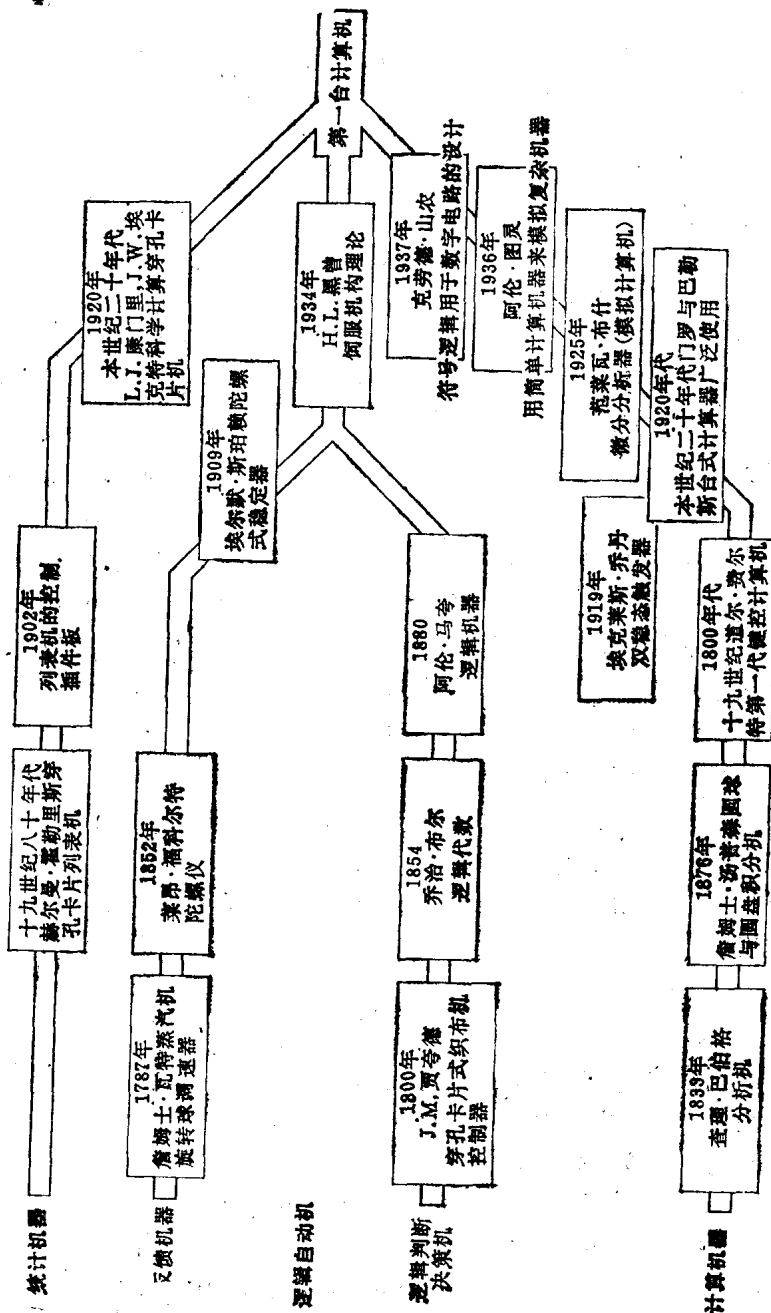


图1.1 计算机诞生前的历史

是一个典型例子，该机器是于十九世纪八十年代后期为美国人口普查制造的。

(ii) 逻辑自动机：利用机器过去所获得的信息（即经验），来决定它当前或下一步的动作。通常引用贾夸德（Jaquard）织布机作为最早运用逻辑判断原理的一个例子。在此前后有许多闭环伺服机构也属于这方面的例子。

(iii) 计算机器：能给出数学运算的数值解。最早、最有名的是查理·巴伯格（Charles Babbage）的分析机。

计算机发展过程的特征是，不同领域的不同部门的研究工作总会有某些重复；此外，从事各种课题研究工作的学者之间也经常接触和相互影响。到本世纪三十年代后期，研究第一台通用计算机所需要的大部分关键元件均已具备。1934年，柏林一个年仅23岁的工科大学生康拉德·齐泽（Konrad Zuse），不仅认识到算术和控制函数能简化为 AND、OR 和 NOT 三种逻辑项的组合，而且还根据这个原理迈出了制造一台实际计算机的首创性的一步，从而奠定了数字计算的基础。他最初尝试的 Z1 于1938年制成。该机器全部采用机械元件，具有16个24位的存储器，可靠性不高。后来的 Z2 机有些改进，它采用老式的电话继电器作为存储器。以后在外界帮助极少而且得不到鼓励的条件下，于1941年又完成了一部 Z3 机。该机是程序控制的，存储器容量为64个22位浮点数，并采用控制台指示灯显示二进制的输出。Z3 的下一代机器 Z4，在巴黎一直用到五十年代末。

在同一个时期内（1939~1944年），美国贝尔实验室、哈佛大学以及宾夕法尼亚大学的摩尔工学院所进行的研究工作，把计算机推到突飞猛进的起点上。就现在的观点而言，当时哈佛大学的数学副教授 H·艾肯（Aiken）与 IBM 公司（当时它已经是一个大公司，并为哥伦比亚大学研制了卡片穿孔机）的四名工程师的合作，至少可称得上是这个时期最有意义的一件事。他们共同研制了一台自动时序控制计算机（ASCC），即著名的哈佛1号。该

机是一台 $50 \times 8 \times 3$ 英尺、重达两吨的庞然大物。其中所用导线长达 530 英里，此外还用了 1210 个滚珠轴承，3304 个继电器，225 个断路器和 175000 个锥形插销连接器，虽然艾肯方案的计算机（它实际上不是电子的，而是机电的）实现了，但是当它诞生之际——1944 年 8 月，也就过时了。与此同时，IBM 公司的总经理汤姆丁·沃森(Thomas J. Watson)与艾肯之间的矛盾亦激化到公开化的程度。即使这样，艾肯方案依然是一个有历史意义的事件。它既标志着计算机时代的诞生，更重要的是又标志着 IBM 作为电子计算机的一个主要商业中心的诞生。像哈佛 1 号那样庞大的计算机，能买得起、用得上的，自然主要是政府部门，特别是军事部门了。第一台真正的电子计算机 ENIAC(电子数字积分器和计算器)，是摩尔工学院的 J·普雷斯泊·爱克特(J·Presper Eckert)与约翰 W·莫奇莱(John W·Mauchly)于 1942 年到 1946 年间研制成功的，其主要用户当然也是政府军事部门。它用了 18000 个电子管，使运算速度比哈佛 1 号大约提高了 3000 倍，但它仍然不是存储程序的装置。第一台存储程序的机器——EDSAC(电子延时存储自动计算器)是在剑桥大学制造的，于 1949 年交付使用。EDSAC 实现了 J·冯·诺意曼(J·Von Neumann)早期为 EDVAC(电子离散变量自动计算机)提出的许多设计思想。EDVAC 是为宾夕法尼亚大学提供的一种存储程序的装置(根据与军方的合同，EDVAC 一直到 1951 年才真正完工。而 J·冯·诺意曼、爱克特与莫奇莱都已离开了这项研究了。

真正作商品来生产的第一台计算机是英国的弗兰蒂 1 号(Ferranti Mark1)，于 1951 年开始出售。它比 IBM 公司的 701 和 702 略早一点。其后不久，兰德(Rand)公司(爱克特、莫奇莱现已加入该公司)生产了 UNIVAC 1 号(这是 ENIAC、EDSAC、EDVAC 系列的最后一台)。从此以后，IBM 公司的发

展相当神速。1952 年唯有英国宣称能够出售商用计算机设备。但到 1956 年，美国一些公司每年都要花一亿美元购买商用计算机，其中大多数是向 IBM 公司购买的。

大约同一个时期内（1957），在麻省的梅纳德市（Maynard）成立了数字设备公司（DEC），当时仅有三名雇员，制造供电子计算机测试设备用的电子电路模件。但到 1960 年，DEC 公司已经制造出了自己的计算机 PDP1（PDP 为程序控制数字处理机的缩写），它的售价仅为与之相竞争的机器的十分之一。此外，应政府资助的一些部门的要求——那时在宇航领域里，由于所有设备的体积和重量都不能大，于是就提出了制造小型机的要求。首先响应这个要求的还是在宇航工业内部。专门用于宇航技术方面的第一台小型计算机是休斯（Hughes）HCH201 和阿马（Arma）“微型计算机”（与现代的微型机完全不同）。接着 DEC 公司于 1963 年生产了 PDP5 计算机，其字长为 12 位，内存容量为 4K，它是 PDP8 的前身。PDP8 是第一台大量生产的通用小型计算机，1965 年开始在市场上销售。PDP8 也是第一代完整指标的 12 位计算机，其运算速度、规模和电气特性均具有各种不同的规格。十年后，PDP8 机已安装了 28000 台以上。这个期间，PDP 系列计算机又增加了大量品种（同时也取消了若干老品种）。可见 DEC 公司的发展相当快，已达到与 IBM 公司并驾齐驱的程度了。1969 年第一台 PDP11 问世，它展现了一种新的小型机设计方法，这就是以较大的主机和对硬件的给定要求为基础来构成计算机，而对硬件的要求则由处理有序数据的软件方法来决定。至此，小型计算机厂商的数目，或者说得确切一些，出售不同型号小型计算机的公司的数目在全世界已超过 100 家。1971 年底，在经历了一个“合并调整”阶段之后，有一些较小的公司关闭了，有些较大的公司也停止在市场上出售计算机了。据估计，当时在美国有 63 家小型计算机厂商，而欧洲有 30 家，其中许多公司迄今还存在。

最后，最新的而且在某种意义上说亦是最令人鼓舞的发展阶

段始于 1971 年。当时生产半导体存储器的英特尔 (INTEL) 公司首先研制成一个四位的微处理器, 叫做 4004。接着其它公司也研制出了类似的微处理器。1973 年英特尔公司又研制了一种 8 位微处理器 8008。到 1975 年底, 不同厂家出售的微处理器至少有 15 种。此外, 还有四种“位片”(多片式) 微处理器, 以及用大规模集成电路对已建成的计算机进行改进 (特别是 PDP11) 的各种处理器。再过几年, 就可制造出把处理器和数千字容量的存储器做在同一块集成电路芯片上的真正的“微型计算机”。这将对格罗斯 (Grosch) 定律[●]的一个相当严厉的抨击, 而微处理器的问世不过是这个抨击序曲而已。

如果将历代计算机的尺寸作一个对比, 便能相当形象地刻划出计算机突飞猛进的幅度: 1944 年 ASCC 的主机尺寸为 $50 \times 8 \times 3$ 英尺, 而单片集成电路的芯片面积还不到一个平方厘米。可以大胆预言, 在本世纪八十年代前至少将有 4K 字的存储器与处理器一起做在这样的一块芯片上。亦可以这样来衡量计算机的成就: 在半个人生中, 计算机的体积缩小了 10^7 倍, 运算速度增加了 10^8 倍, 而读写存储器的存储容量增加了 10^9 倍。

1.3 小型计算机与实验室

从小型计算机 (以下简称小型机) 问世起, 由于空间军事应用的要求, 它被作为一种“命令与控制”设备来用。即对采集到的数据进行计算, 并作出判断。要把这样一种专用设备转变为一种较为通用的、能够与其它实验室仪器设备一起检测周围物理世界的设备, 并不困难。一旦实现了这种转变, 并用到实验室中作为一种数据采集设备后, 小型机就成为一部强有力的通用计算机, 而且它的某些功能是常规计算机所没有的。然而这个事实直到四、

● 格罗斯定律认为, 一部计算机的处理能力正比于它的价格的平方 ($P = KC^2$)。该定律常常作为似乎一成不变的结论被引用。根据该定律, 如果某系统的价格加倍, 则其效能将增加为原来的四倍。但是, 目前微处理器和微型计算机的价格却比具有相同能力的普通计算机低 2~10 倍。

五年前才得到重视。那时,有了廉价的大规模存储器件,使得小型机的软件系统得到扩展,可以满足广大用户的需要。这些软件系统包括所有国际标准的高级语言、分时和实时操作系统、通信管理系统和各种专用子程序。由于小型机的重要支持软件,特别是操作系统的出现(这种操作系统的优缺点与大型操作系统一样),使得实验室计算机的面貌焕然一新。现代实验室计算机到底能承担些什么任务?计算机与其它仪器设备之间如何配合呢?这就是下面要讨论的问题。

实验室使用的大计算机与小型机其最基本的任务是相同的:它们都应提供方便用户的计算功能。一旦用户提出某种计算要求时,均应给予满足。实验室小型机(或微型机)就是符合上述要求的主要机种。这种机器体积小,可紧靠现场设置,并由实验人员自己来操作。这种机器不存在分时操作或者成批任务排队的问题。需要排除的只有机器的故障(为数很少)和操作者自身的错误。前面曾经特别强调了实验室计算机与数据采集现场之间联系的重要性,但这里却把各种计算任务摆在^对实验室计算机提出的各项任务之首先来考虑,乍一看来,也许奇怪。但实质上如果一台计算机只处理某项复杂的函数(例如富里叶谱变换),而又不能方便地提供其它简单的实验室计算操作,那倒不如不用计算机,也许可以用较便宜的单一功能的布线逻辑设备去执行这类特殊的任务。

实验室计算机根据它们作为计算器、数据采集器和记录器的作用,具有记录保持(不同于作记录)这种功能。正如前面提到过的,各种“海量存储”设备可存储大量信息,目前已可以供小型机应用,而且价格公道。其中有小容量盒式磁带与软磁盘,通常每个设备的容量大约为 10^5 字节。另一种是常规的固定的或者可互换的磁带驱动器,其容量最高可达 5 兆字节。最后一种是“工业标准”的(即与 IBM 标准兼容)卷盘磁带驱动器,它的容量高达 40M 字节。为了具体地了解上述各种存储器的能力,这里做个对比:一本 1000 页左右厚的教科书,其信息容量才相当于

4~5M 字节。因此，只有当实验室计算机还要进一步执行信息处理任务时，才能显现高存储容量的好处。当信息存储完毕后，实验人员必须得有办法去取它。对于某一已知的数据段，可以用直接方法取出，或者用检索法取出所需的信息。这两种取法既可自动进行，也可在实验人员的直接控制下进行。一批结果找到后，根据已存数据的内在关系产生的二次信息，可以找到诸如“有多少数据项落在某个指定范围内？”之类问题的答案。处理这类问题在这种类型的操作中占的比例最大。其余的操作则是对项目进行检索与分段，这些操作是供检查与使用机器服务的。把这两种类型的操作扩充一下，可以将一些较为复杂的操作包括进来，例如统计试验与相关，模式识别信息的提取，以及由数据或导出信息进行形式化预测等等。要实现这些扩充，就得大量地使用计算机的算术运算能力。但目前只能由实验现场之外的计算机主机去完成这些扩充工作。将来这些工作的一部分——也许全部，肯定能够在一台个人实验室计算机上来完成。而仅把那些带有庞大数据库的系统留给主机承担，诸如化学文摘服务系统及专用检索系统（例如 ICI(英国化学工业公司) 的 Crossbow)。

最后，实验室计算机还有一个任务，就是生成文件，包括文字报告与图解。目前高质量的印刷输出装置的价格仍相当高，所以用得很少。相反地，绘图仪，例如 $X-Y$ 记录仪的价格却十分便宜，它所绘的图不仅质量高，而且能够用其它方法复制。系统中配置绘图仪的必要性很易得到论证这一点也许说明了图形与文字相比具有同等的重要性。

上面扼要地叙述了实验室计算机的五种任务——计算、实验操作、记录保持、信息管理和文件编制。在实验室中使用计算机时，还存在这五种任务之间的互作用这一重要因素。的确，从数据采集与检验开始，到先决条件的设定，各种解法的设计、解的分析与最佳化，然后经过文件报告再返回到实验操作这样一个科学活动的循环流程，如果要在计算机的辅助下运行，那么上述的互作用就必定存在。由于通用与多能是通用计算机的特长，因此可