

高等学校教材

自动测试软件

顾亚平

国防工

自动测试软件

顾亚平

国防工业出版社

内 容 简 介

当代的自动测试系统,主要是利用 GPIB 接口总线系统 (GBn 249.1 / 2-85, IEC 625.1/2-80, IEEE 488.1/2-87, 或 HP-IB) 组建而成的系统。其所用的编程语言,主要是扩充的 BASIC。本书阐明了 BASIC 语言系统的扩充和组态方式,以及利用扩充 BASIC 来编制自动测试程序的要领。具体阐述了有关自由场和格式化输入、输出, GPIB 操作,各种中断转移的应用,对服务请求的串行和并行查询处理,控者转移和非作用控者的工作,图形曲线和坐标的绘制及标字等所用的语句和句法,并列举了若干编程实例。最后对 ATLAS 语言作了扼要的阐述。

书末附有三个附录:(A) GPIB 概略;(B) 几种计算机的 GPIB 接口寄存器的组织和内容;(C) HP-85/86/87/9835/9845 和 HP-9000 族 200/300 系列各型 (9826/9836 等) 计算机所用的扩充 BASIC 以及 HPL 语言的常用语句对照表。

本书可作为研究生和大学生课程的教材,并可供有关工程技术人员参考。

自 动 测 试 软 件

顾亚平

国防工业出版社出版

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张13¹/₂ 307千字

1989年6月第一版 1989年6月第一次印刷 印数: 0,001—1,630册

ISBN 7-118-00477-4/TP66 定价: 2.70元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材 1986~1990 年编审出版规划,由无线电技术与信息系统教材编审委员会仪表与测量编审组征稿,推荐出版,责任编辑为张世箕。

本教材由电子科技大学(原成都电讯工程学院)顾亚平副教授编写,张世箕教授主审。

本课程的参考学时为 40 学时,其主要内容为使用当今最流行的扩充 BASIC 语言,来编制自动测试系统所用的测试程序。第一章绪论中说明现代的自动测试系统是采用 GPIB 接口母线系统组建而成的系统。GPIB 接口,即我国国家标准 GBn 249.1/.2-85,相当于国际标准 IEC 625.1/.2-80,或美国标准 IEEE 488.1/.2-87。所用的编程语言是扩充了的 BASIC 语言。介绍了语言系统的扩充和组态方式。第二章阐述了软件系统以及测试软件的设计和编制要领。第三章阐述了扩充 BASIC 的要点和特点。第四章着重阐述了输入、输出语句和场格式的句法及其使用,并讨论了特殊的中断式和快速挂钩式传送技术。第五章着重阐述了与 GPIB 操作有关的语句和句法,软中断和行末转移的应用技巧,服务请求以及串行和并行查询的应用和处理,控者转移和非作用控者的工作。第六章是关于绘图语句和编程的一些技巧。第七章是综合的 BASIC 测试程序举例。第八章概要地介绍了 ATLAS 语言。书末三个附录包括 GPIB 的概略, GPIB 接口寄存器的组织和内容,几种扩充 BASIC 和 HPL 语言的常用语句对照表。

本书适于作为研究生和大学本科课程的教材,并可供有关的工程技术人员参考。

本书假定读者对于 GPIB 接口母线系统及其基本应用已有一定了解,对于这些基础知识有所欠缺的读者,可参阅本书的附录 A,并建议他们阅读本书所列的参考文献,特别是文献[1],还有文献[4~8]中的任何一种。

本书的基本内容,在近十年来,曾在电子科技大学(成都电讯工程学院)对历届研究生和本科生开出的“自动测试软件”课程中讲授过,并在各种有关的短期学习班上讲授过多次。初时所用的教材,出自张世箕教授的手笔。其后,又由张教授和编者合作进行过多次修订,并由成都电讯工程学院油印过形式和内容都有颇大改动的三种不同版本。现在奉献给读者的这本书是第四次修订稿,同以前三稿相比,增补、改动亦较多,希望本书可以成为一本较稳定的教材和参考书。

本书是在张世箕教授的开创性工作的指引下,以及多年来对编者的亲切关怀和热情鼓励之下而形成的。本书的手稿,在体裁的组织结构、内容的斟酌取舍,以至行文等各个方面,都得到张教授的悉心指导和具体帮助。作为本书的主审人,张世箕教授对终稿又逐句作了细致的审阅和修改,谨此表示深切的谢忱。

由于编者的水平和经验,书中的不足之处乃至错误,仍恐难免。关于本书的批评、指正和建议,请寄四川省成都市 83 信箱电子科技大学自动化系转给编者,不胜感谢。

编 者

1988年5月于成都

序

现代自动测试系统，主要是利用 GPIB 通用接口母线系统把各种可编程电子仪器和电子计算机联接起来而组成的自动测试系统。这类系统的一个重大优点，就是易于按实际需要而利用现成的仪器设备来组成新的自动测试系统，或改组原有的自动测试系统以适应新的需要。无论是新建、改组或利用现成的自动测试系统，如果手头已有现成可用的仪器设备和计算机，那么在硬件方面就几乎无需作什么工作，主要的工作是在软件方面：编制出新的测试程序，或对原有的程序作必要的修改。

某些公司供应成套的自动测试系统，并附有现成可用的软件包。然而，任何软件包都不可能是“万应灵丹”。当测试的环境、对象、要求、条件等超出了该软件包原来设计的预定范围之时，使用者就必须适当修改原有的测试程序（这就是所谓的软件维护工作），或另行编制适用于新情况的程序。即使不要求使用者对现有的自动测试系统作任何硬件或软件上的改动，但如果使用者对测试系统的硬件和软件有足够的了解（例如，起码读得懂有关的测试程序清单），才能真正掌握该系统，利用它作出正确而且出色的测试，而不致有所失误。此外，为了进一步发挥原有自动测试系统的潜力，使之获得新的测试功能，常需自行开发出更多的测试软件，以解决更多的测试问题。当然，还可以打散原有的成套自动测试系统，利用它的部分或全部组成部分，以改组成为新的自动测试系统，在此情况下，当然也就必须自行编制全套新的测试软件。

本书的目的，就是帮助读者学会阅读自动测试系统的测试程序，并自行编写新的测试程序，或改写原有的测试程序。换句话说，也就是使读者学会如何通过软件来指挥自动测试系统，去完成自己的测试任务。

本书主要阐述怎样用扩充了的 BASIC 语言来编写测试程序。扩充 BASIC 是现代流行最广的自动测试编程语言，不过至今未有标准化，目前存在许多不同的版本和变体，而且仍在继续发展中。各种版本或变体，有些彼此是大同小异的，有些则能力强弱彼此相差甚远。本书主要采用 HP 公司的扩充或增强型 BASIC，包括近来常见的 HP-80 系列、HP-9800 系列和 HP-9000 族各系列的各型计算机所用的 BASIC，其原因在于：

(1) 属于这些系列的各型计算机，在近十年来国内已引进了相当的数量，而且多数是作为成套自动测试系统的一部分（作为系统的主控器）而引进的。为了充分发挥这些进口设备的作用，必须自行开发各种各样的大量自动测试软件。

(2) 从自动测试编程的角度而言，这类扩充 BASIC 能力很强，使用方便，流行广泛，富有代表性。在其他能充作 GPIB 控制机用的各型计算机中，所使用的 BASIC 语言，尽管具体语句形式可能有所同异，但就功能而言，基本上可以认为是这类扩充 BASIC 的某种子集。熟悉了本书的内容后，可收一通百通之效。

(3) 在成都电讯工程学院自动化系自动测试研究室为长城 0520 (IBM PC) 和紫金 I (Apple I) 型计算机开发的 GPIB 接口硬件和相应的软件（扩充的 BASIC 语言系统），其输出、输入和 GPIB 操作语句，与 HP 的扩充 BASIC 是相容的，语句的

功能和形式是彼此相同或相近的。如所知,在我国这两类计算机的拥有量很大。成都电讯工程学院开发的成果,业已被不少用户采用并得到成功的应用,将会被愈来愈多的用户所采用。由此可见,本书着重阐明这一类扩充 BASIC 在自动测试中的应用,是切合我国实情的,将会对我国自动测试的发展作出贡献。

为自动测试系统所用的,还有另一类更高级的编程语言,ATLAS 是其中的佼佼者。但由于 ATLAS 系统过于庞大,所需投资过巨,目前实际应用仍很有限。本书在书末用篇幅不大的一章对 ATLAS 作一精简扼要的阐述,这也是恰当的。

众所周知,有关 GPIB 接口母线系统的工作,在国内首先是由成都电讯工程学院开其先河,多年来在探索、研究、开发和推广各方面都作了大量的努力。我国国家标准 GBn249.1/.2-85 也就是在此基础上由成都电讯工程学院为主的专家组起草制订的。成都电讯工程学院为研究生和大学生开设“自动测试软件”课程,并为有关工程技术人员举办为期长短不一的学习班,已有十年经验。正如编者在本书“前言”中所说的,本书是经历过多次内部教材版本修订之后,再次增补改写而成。希望本书能跟上当今自动测试发展的步伐,更加适应我国目前及今后一段时期的实际需要,这是编者和审校者的共同心愿。至于能在何种程度上达到这一点,则有待读者们的评判,我们殷切期望读者的批评指正。

张世箕

1988年7月于成都

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 本书的任务	1
§ 1.2 主控器和编程语言	2
§ 1.3 BASIC 的扩充	4
§ 1.4 BASIC 的装入方式和组态	6
§ 1.5 ROM基语言系统的装入	11
§ 1.6 盘基语言系统的装入	12
习题	14
第二章 自动测试软件	15
§ 2.1 软件系统	15
§ 2.2 测试程序的编制	16
§ 2.3 程序的模块化	18
§ 2.4 程序的结构化	19
§ 2.5 基本逻辑结构的扩充	22
§ 2.6 文件的编写	24
习题	26
第三章 BASIC 语言的扩充	27
§ 3.1 BASIC扩充的概略	27
§ 3.2 数和数组	28
§ 3.3 运算符和表达式	29
§ 3.4 预定函数	31
§ 3.5 用户定义函数	31
§ 3.6 字符串的处理	33
§ 3.7 比特的处理	37
§ 3.8 数制变换	37
§ 3.9 等待语句	38
§ 3.10 音响语句	38
习题	39
第四章 输出和输入	41
§ 4.1 输出和输入语句	41
§ 4.2 输出和输入的寻址	44
§ 4.3 接口寄存器的读和写	48
§ 4.4 采用自由场的输出	49
§ 4.5 输出时的 EOL 和 END	51
§ 4.6 自由场输入	53
§ 4.7 输入结束条件	54
§ 4.8 采用格式场的输出	54

§ 4.9 采用格式场的输入	61
§ 4.10 特殊的输出输入技术	65
习题	76
第五章 GPIB 操作	78
§ 5.1 GPIB 操作的内容	78
§ 5.2 接口消息的发送	79
§ 5.3 软中断和行末转移	84
§ 5.4 服务请求和串行查询	98
§ 5.5 并行查询的处理	103
§ 5.6 控者转移和非负责控者	105
习题	111
第六章 绘图语句	112
§ 6.1 基本知识	112
§ 6.2 准备操作	113
§ 6.3 硬剪裁和 GDU 的规定	115
§ 6.4 软剪裁和 UDU 的规定	117
§ 6.5 绘线语句	124
§ 6.6 坐标线的绘制	129
§ 6.7 图上标字	132
§ 6.8 绘图仪的 HPGL 语言	135
§ 6.9 若干绘图技巧	143
习题	150
第七章 GPIB 接口编程实例	152
§ 7.1 频率测量	152
§ 7.2 电压测量	159
§ 7.3 功率测量	167
§ 7.4 低频网络特性的测量	173
习题	179
第八章 更高级的测试语言	182
§ 8.1 高级编程语言	182
§ 8.2 ATLAS 语言的来历	184
§ 8.3 ATLAS 程序的组织	185
§ 8.4 ATLAS 语句格式	185
§ 8.5 ATLAS 词汇	186
§ 8.6 ATLAS 的形式句法和句法图	186
§ 8.7 ATLAS 的编译	189
§ 8.8 ATLAS 的发展前途	191
习题	192
附录 A GPIB 概略	194
附录 B GPIB 接口寄存器	199
附录 C 几类计算机的常用语句对照表	200
参考文献	206

第一章 绪 论

§ 1.1 本书的任务

现代的测试系统,通常简称为ATS(=Automatic Test System),是指利用数字式电子计算机来控制测试过程的系统。除了若干专用的ATS之外,现在一般的ATS具有如下一些特点:

(1) 系统中所用的测试设备及其一些附属或辅助设备(如打印机、绘图仪等),大都是可编程的,一般称为可编程器件(programmable devices),或简称器件。所谓程控,就是能通过一个数字式接口来接受来自计算机的程控命令,据此可改变器件自己的工作状态,如换波段、换量程、改变工作模式、获取测量数据输出测量结果、输出自己的状态信息等等。

(2) 所用的接口系统曾有过多种形式,并且几经变迁。自从七十年代中期以来,主要是采用现在一般称为 GPIB (=General Purpose Interface Bus) 的一种通用接口母线系统。这种接口系统的正式标准,在我国是国家标准 GBn249.1-85 或电子工业部标准 SJ2479.1-84⁽¹⁾;国际标准为 IEC625.1⁽²⁾;美国标准为 IEEE-488-78⁽³⁾,亦称为 HP-IB 或惠普公司 (Hewlett-Packard Co) 的接口母线,现在世界市场上主要的电子测量设备都配有 GPIB 接口,其他电子设备也配备了 GPIB 接口。关于 GPIB 的详情,可参考文献[1~11]。本书附录 A 中给出极其概括的介绍。

(3) 它是一种积木化的系统,测试者可以根据具体测试任务的需要,选取现成的带有 GPIB 接口的相应设备,如信号源、衰减器、电压表、频率计、示波器、开关器或转接器、绘图仪等等,来自行组建所需的 ATS,利用现成的标准 GPIB 母线电缆,把这些器件互相联接起来,再同带有 GPIB 接口的电子计算机联接起来,即构成了所需的 ATS。因此,这类 ATS 极易于随时组建、改组和解散。

(4) ATS 中自动测试的过程,至今在很大程度上仍然是模仿着人工测试的过程。例如,测量一个放大器的幅频响应特性,在绝大多数情况下,仍然是由计算机根据程序来逐点改变信号源的频率,测量出被测件的输入和输出信号的幅度,再计算其比值并算出相应的分贝数,最后令绘图仪逐点绘出整条幅频响应曲线。因此,作为 ATS 主控器的计算机,它所用的测试程序一般是由测试工程师自己编制的,因为他们了解并熟悉有关的测试方法和过程,很清楚在什么时候应怎样让仪器作什么样的动作。在这方面,计算机软件专家是无能为力的,他们不掌握所需的测试方面的知识。

某些公司供应成套的自动测试系统,并附有现成可用的软件包。不言而喻,任何软件包都不可能是“万应灵丹”,当测试的环境、对象和要求超出了该软件包原来设计的预定范围时,使用者就必须适当修改原有的测试程序,或者另行编制适用于新情况的程序。即使无需作任何改动,但使用者如对测试系统的硬件和软件都有足够的了解(例如,能读懂有关的测试程序清单),就能真正掌握该系统,这才有可能充分发挥系统的能力,

利用它来作出正确完美的测试。

因此, 本书的任务, 就是让作为测试工作人员的读者学会自行编制测试程序, 能看懂别人编出来的程序, 移植或修改已有的测试程序。

编制自动测试软件所用的编程语言, 目前流行最为广泛的是扩充了的 BASIC 语言。不过, 扩充 BASIC 没有标准化, 目前存在许多不同的版本和变体, 而且还在不断发展之中。本书主要采用 HP 公司 (Hewlett-Packard Co, 即惠普公司) 的 HP BASIC。这是因为, 从自动测试编程的观点而言, 这是能力很强、又是最有代表性, 并且广泛流行的一类测试语言。HP BASIC 也有多种不同版本, 彼此大同小异, 本书在适当之处亦将指出其异同。

此外, 还有一类更高级的测试语言, ATLAS 是其中最具有前途的一种。但由于目前实际应用还很不广泛, 故本书仅在书末作一扼要介绍。

本书的读者, 应对 GPIB 接口系统、利用 GPIB 组建的自动测试系统, 以及其所用的 BASIC 程序的基本编制方法, 都已有一定的了解。在此基础上, 本书将进一步阐述较高级的扩充 BASIC 编程方法和技巧。缺乏上述基础的读者, 请阅读书末所列的参考文献, 尤其是文献[6~8]。

最后, 应强调指出, 尽管本书对利用 HP BASIC 编制自动测试程序有相当详细的叙述, 但该书并不能代替相应的编程手册。读者应牢牢记住: 各种不同型号的计算机及其所配备的语言系统都可能有所差别, 在不同日期出厂的同一型号的计算机也可能会有变动。同型、同期的计算机也十分可能配备不同的语言版本。因此, 在实际编程工作中, 必须首先仔细阅读有关的计算机的用户手册和编程手册。编程过程中还会需要经常查阅该计算机的便阅手册 (Quick Reference 或 Condensed Reference), 才能避免因某些细微差别所致的错误。

§ 1.2 主控器和编程语言

原则上, 任何一种电子计算机, 不论是大型、中型、小型、微型的, 也不论是落地式、桌面式机或手提的, 不论是单用户或多用户或连网的, 不论是专用的或常用的, 只要它配备有符合标准的 GPIB 接口, 并附有操作 GPIB 接口的软件, 都可以用作为 ATS 的主控器。如前所述, 现代 ATS 一般是利用 GPIB 接口来联接各器件而组成的, 所以作为 ATS 主控器的计算机必须配备有 GPIB 接口, 这个先决条件是不言而喻的。

计算机的 GPIB 接口, 可以主要由软件来构成, 也可以主要由硬件来实现。软接口^[12, 18]速度相当慢, 通常在 IB 上的最大数据传输速率在 20Kbytes/s 以下, 只用于速度很慢的、相当简单的 ATS。现在市场上有不少小型和微型计算机, 包括桌面式机和 PC 机, 已配备有现成的或可供添加选购的 GPIB 接口, 一般是以硬件为主构成的, 其最高数据传输率有高有低, 表 1.1 所示为其中若干典型。这类接口有些作成外插件形式, 可插在计算机背后的 I/O 插件槽中, 如图 1.1 所示; 有些则作成印制板安装在计算机内部, 如 HP-1000 型小型计算机以及新近的 HP-86/87 和 HP-9000 族各型微计算机就是这样。一般, 在内含 GPIB 接口计算机中, 仍可再外插一个或多个 GPIB 接口, 这可使计算机能控制多于 14 个器件组成的系统。

与 ATS 主控器有关的另一问题是所用的编程语言。新型的计算机, 包括桌面式机

表1.1 计算机GPIB接口的若干典型

接 口 型 号	适用的计算机型号	最高数据传输率 (bytes/s)
HP-82937A	HP-85	1.4/3K (FHS26.2/25.5K)
HP-98034A	HP-9825	45K
HP-98034B	HP-9835/45	45K
HP-59310B	HP-1000M/E/F	768K
HP-12009A	HP-1090L	1M
HP-98624A	HP-9000的 200/300 系列 (HP-9816/26/36, HP-9920, HP-98561A/B/C)	60K (DMA 330K)
HP-27110B	HP-9000的 500/800 系列 (HP-9020/50/60, HP-9741A)	不详

和 PC 机, 大都可使用多种编程语言, 如汇编语言, BASIC、Fortran、Pascal 等。过去的计算机, 特别是老的桌面式机和 PC 机, 则大部分只能使用一种编程语言, 原则上, ATS 的自动测试程序可以使用任何一种语言来编写, 只要所用的计算机能支持该种语言即可。为方便起见, 一般都是用高级编程语言来编程。我们知道, 低级语言 (机器代码和汇编语言) 是面向计算机本身内部操作的, 它令数据从计算机内部的某处传递到另一处, 在 ALU 内作某种计算和逻辑操作, 检查某个标志 (flag) 比特的值等等。利用这一级别的语言, 能编制出效率很高的程序。但要求编程者对具体的计算机本身非常熟悉,

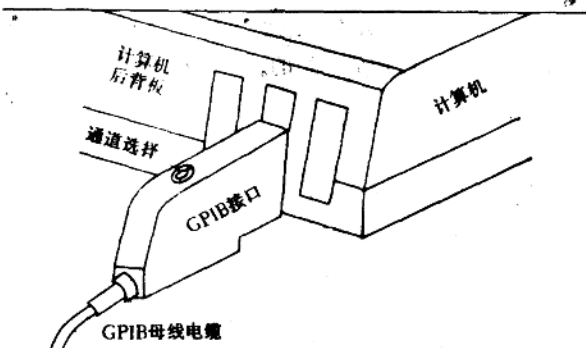


图1.1 计算机的GPIB接口插件

编程和调试过程也十分烦冗费时。此外, 低级语言编程难以移植到不同类型的计算机。高级编程语言, 如 BASIC, Fortran, Algol, Pascal 等等, 是更接近于人类自然语言 (英语) 的面向解题的语言。用高级语言编程时, 不必考虑计算机内部如何操作, 可以集中精力去解决手头的问题。例如, 令计算机输入或输出某个变量的值或某个程控命令, 进行指定的数学或逻辑运算, 等等。高级语言不是面向计算机内部操作的, 同一程序可直接 (或略加修改) 用于别的计算机中。因此, 一般都用高级编程语言来编写 ATS 的自动测试程序 ATP (Automatic Test Programs)。

在一切高级编程语言中, 自动测试主要使用的是解释性的 BASIC 语言。在计算机内, 解释性 BASIC 程序是由机器逐行解释的, 每解释一行语句, 随即执行一行语句; 再解释下一行语句, 并执行下一行语句。这样, 就便于人机对话, 便于根据测试中间的情况随时暂停执行程序, 并修改程序随后的部分。编译式程序则没有这样灵活方便, 程序是整个编译完成之后, 再整个执行的; 每次在修改程序之后, 那怕是只更改了一点点, 都需要整个程序从头到尾重新编译, 然后执行。

这里应指出, 原始的 BASIC, 即所谓最小 BASIC, 也就是我国标准 GB-4144-84

“程序设计语言最小 BASIC”（相当于美国 ANSI BASIC），像绝大多数高级编程语言一样，是为科学计算而设计的，缺乏作控制用的语句。因此，必须对原始 BASIC 进行适当扩充，即在原始 BASIC 的基础上添加若干供控制 ATS 用的新语句。扩充 BASIC 至今没有标准化，目前所使用的有许多不同的类型和版本，分别适用于不同型号的计算机，扩充语句或多或少，能力有强有弱，扩充的主要目的及其适用的任务范围亦有所不同。

如 § 1.1 所述，本书主要采用 HP-BASIC。HP-BASIC 有多种版本。目前广泛使用的有下列几种：

（1）HP-80 系列计算机所用的 BASIC。其中 HP-85 所用的与 HP-86 和 HP-87 所用的略有不同。显著的不同点是 HP-85 的绘图语句，除少部分包含在驻机的核心 BASIC 之内，多数是包含在绘图、打印 ROM 中（见表 1.2，并参阅本书末附录）。而 HP-86/87 的绘图语句则几乎全部都包含在核心 BASIC 中。不过 HP-85/86/87 的语句和句法基本上是一样的。

（2）HP-9800 系列计算机（HP-9835 和 HP-9845，或称 35 系统和 45 系统）所用的增强型 BASIC。

（3）HP-9000 族各系列各型计算机所用的增强型 BASIC，有 BASIC 2.0, BASIC 3.0, BASIC 4.0 等版本。最近还有 BASIC 5.0。这些不同版本只有少数个别语句彼此有异，绝大部分是完全一样的。

上述（1）、（2）、（3）三类 HP BASIC，就测试程序编程中，所常用的一些语句而言，都是大同小异的。在本书末尾的附录 C 对比中，不难看出这一点（该附录末包括各版本的全部语句，在测试软件中很少用或根本不用的语句未列入附录 C 中）。本书在适当地方将指出不同版本 BASIC 语句的异同。

§ 1.3 BASIC 的扩充

如前所述，目前 BASIC 有许许多多不同的扩充、名目、版本繁多，至今尚未有标准化，BASIC 的扩充涉及下列几个方面。

- （1）增加便于程序编制和编辑用的命令和语句；
- （2）变量和函数以及计算能力的扩充；
- （3）字符串处理能力的扩充；
- （4）条件转移能力的扩充；
- （5）输入、输出语句及格式的扩充；
- （6）接口和外部母线操作能力；
- （7）绘图和图形显示能力；
- （8）海量存储器（外存）的操作；
- （9）其他能力，如表格编制、数据通信等。

对于 ATS 来说，上列许多方面的扩充都有助于编程的方便，而特别重要的则是 GPIB 接口母线的操作能力。现在一般的大型和微型计算机，包括桌面式机和 PC 机（如紫金 I 型或 Apple-I，长城 0520 型或 IBM PC 等），都可以添配一个 GPIB 接口板来供 ATS 控制之用。不过，这些计算机原配的语言系统虽然一般都是扩充了的 BASIC，却很便于编制测试程序，因为它们几乎没有任何 GPIB 操作语句，一般只能利用其原有

的扩充 PRINT 型语句, 把各种 GPIB 消息 (见附录 A 的表 A·1) 的等效二进制代码逐个发到 GPIB 母线上, 这是非常麻烦的, 而且很易出错。至于 GPIB 系统中的串行查询、并行查询等操作, 其程序编制就更复杂了, 当然可以把各种 GPIB 操作事先编成子程序的形式备用, 然后在主程序中适当时刻用 CALL 语句予以调用, 不过这仍然是颇为麻烦的。这些子程序也不易编得十分周全。在一般的 PC 机上简单的添加 GPIB 接口板, 并将就其原有扩充 BASIC 语言系统而不加以更完善的扩充, 在某些情况下, 特别是在 ATS 中有多个器件时, 由于计算系统软件的缺陷和/或 GPIB 接口硬件与 PC 机之间的联接 (次级接口) 的不完善性, 因此, 在测试过程中发生通信障碍所致系统挂起 (hung-up) 的现象, 并非罕见。

比较完善的办法是在 BASIC 语言系统中专门扩充一些直接供 GPIB 操作作用的语句, 这样也会使 ATS 测试程序的编制工作变得简单、容易得多, 像美国惠普公司 (Hewlett-Packard Co) 十多年来设计并生产的许多种计算机, 就是这样办的。HP 公司原是规模庞大的电子仪器制造公司, 在新一代电子仪器的发展方面颇多贡献, 后来又兼营计算机制造, 在计算机行业中也逐渐享有盛誉, 所以, HP 的许多计算机, 特别是桌面式计算机, 在体系结构和语言系统方面, 就比较周全地考虑到它们除一般应用之外, 还能作为优良的 ATS 主控器。从七十年代初期的 HP-9820/21 型及 HP-9830 型可编程计算器开始, 到了七十年代中期就发展出像 HP-9825 型这样的控制能力很强的桌面式机。HP-9825 成为在 ATS 中使用非常普遍的主控器, 十年来, 开发出了许多 ATS 测试程序, 对 ATS 的发展起到过颇大的作用。不过 HP-9825 并不使用 BASIC 语言, 而是采用一种专门设计出来的 HPL 语言 (High-Level Programming Language), 它与 BASIC 有很多类似之处, 还吸收了 Algol Fortran 和 PL/I 的若干优点。由于当时计算机内存容量有限 (HP-9825 内存为 64K), 所以 HPL 语言的语句大都用三个或四个字母的编写符号, 而且用小写字母 (如 wrt=WRITE, red=READ, fmt=FORMAT, eir=ENABLE INTERRUPT 等), 这些都同一般熟知的编程语言相径庭, 影响了 HPL 语言的进一步推广。

所以, 七十年代末期以后生产的 HP-85 型个人计算机, 就又改用众所熟悉的 BASIC 语言, 不过为 GPIB 操作扩充了很多语句, 称为 HP BASIC 或 HP-80 系列的 BASIC, 适用于 HP-85/86/87 型计算机。大体上在同一时期生产的 HP-9800 系列中的 HP-9835/9845 型计算机, 则采用所谓增强型 BASIC (Enhanced BASIC), 在其它方面的能力 (如作并行操作及多维数组等) 比 80 系列 BASIC 强得多, 但在 ATS 控制方面却逊于 80 系列 BASIC。最新出的 HP-9000 族的计算机, 包括 200 系列 (216/226/236/220 型, 亦即 HP-9816/26/36 和 HP-9920 型), 300 系列 (310/320/320U 型, 亦即 HP-98561A/B/C 型)、500 系列 (520/550/560 型, 即 HP-9820/50/60), 都是可用多种语言的, 其中都包括能力更强的扩充 BASIC, 其版本有 BASIC 2.0/2.1/3.0/3.1/4.0/5.0 等, 这种版本的正式编号 (小数点前后各一个数字), 是 HP 为了明确它的计算机系统软件的兼容性而在 1982 年 12 月开始使用的, 小数点左边的数, 表示软件系统的级别, 同一级别的软件是相容的, 例如某一个名为 ABC4.3 的二进制文件 (BINFILE) 与 BASIC 4.0 相兼容。小数点右边的数字表示该软件的修订号。例如, 某一名为 XYZ 4.1 的软件是 XYZ 4.0 的更新本。BASIC 2.0/3.0/4.0 几种版本的差别, 在于 BASIC 组态有所不同, 即

是扩充的语言有多有少,个别语言有所改变;此外,由于配用的 CRT 和键盘有所不同,所以在与显示、绘图、键盘操作(如特殊能力键)有关的某些语句的用法上有些差别。

本书附录 C 给出了 HP BASIC 同其它几种语言的对照一览表,可供参考。

附带指出,成都电讯工程学院在 1987 年已为紫金 I/APPLE I 和长城 0520/IBM PC 计算机分别配备了 GPIB 接口板和相应的扩充 BASIC 语言系统软件。前者的扩充 BASIC 中与 GPIB 操作者有关的语句完全相容;后者的扩充 BASIC 中,与 GPIB 操作有关的语句,在语句格式上有所不同,但功能则是一致的。详见参考文献[8]。这两种接口板和语言系统软件均有少量生产,并在实际中使用。

§ 1.4 BASIC 的装入方式和组态

最初在小型计算机中, BASIC 语言系统是录在穿孔纸带上,使用之前,先由一个二进制引导程序把纸带上的 BASIC 语言系统装入计算机内存。然后,才能键入或由纸带装入用 BASIC 语言编写的程序,再由计算机执行。后来,出现了桌面式计算机和微型机,采用 ROM 基语言系统,即是把 BASIC 语言系统固化在 ROM 中,驻留在计算机内,即可以使用该种语言键入程序,或者由磁带或磁盘装入该种语言编写的程序。

至于 ROM 基的扩充 BASIC,则通常是把扩充 BASIC 语言系统的核心部分的 ROM 驻留在计算机内(例如附录 C 中带 * 号的 HP-85 BASIC 语句),另外再由用户选择所需进一步扩充的语句 ROM 添加进去,这些添加的 ROM 可以插入到专门设计的 ROM 抽屉中的 ROM 插座上,再把 ROM 抽屉推入计算机内。每添加一个 ROM 就可以再增加某一类型的若干个新的 BASIC 语句。例如,HP-80 系列的 ROM 抽屉 HP-82936 A 内有 6 个 ROM 插座,可供选用的 ROM 如表 1.2 所列。HP-9825 型计算机的 HPL 语言系统与此相类似。

进入 80 年代,除了 ROM 基的语言系统之外,又有录在磁盘中的盘基语言系统。使用之前,必须将语言系统由磁盘装入计算机的内存中去,这个装入过程称为 booting,因此,盘基语言系统也称为 RAM 基语言系统。新型计算机,如 HP-9000 族各系列,既能选用 ROM 基语言系统,又能选用 RAM 基语言系统,而且能使用不只一种语言。

在多种计算机中,用盘基语言系统是方便的,可随时按需要装入不同语言系统,如 BASIC, FORTRAN, PASCAL 等等。就其中某一具体语言而言,例如扩充 BASIC,也便于按用户的需要而加以剪裁(tailoring),也就是像 ROM 基语言系统那样有选择地添加某些类型的扩充语句,这也就是所谓 BASIC 的组态(configuration)。ROM 基语言系统是通过添加或去掉某一个或几个 ROM 来组态的。RAM 基语言系统则是通过从磁盘装入所需要的某些二进制文件(BIN files)来添加若干语句;或者从内存 RAM 中抹掉某个或几个二进制文件来删除若干语句。

在盘基语言系统中,一般把核心的扩充 BASIC 录在“系统磁盘”(System Disc)中,此外,还有二套二进制文件分别录在“驱动程序磁盘”(Drivers Disc)和语言扩充磁盘(language Extensions Disc)中,或者合并录在一个“语言扩充和驱动程序磁盘”中,例如 HP-9000 族 200/300 系列计算机,若选用盘基 BASIC 4.0 语言系统,则把所选购的 system Disc 插入磁盘驱动器)开机后即自动把 BASIC 4.0 的核心语句装入计算机内存,同时还自动装入二个 CRT 驱动程序 CRT A(用于非比特映射显示)和

表1.2 HP-80系列的BASIC扩充ROM

ROM的名称及订货号	增加的语句、函数和命令		
海量存储器用 ROM Mass Storage ROM (00085~15001) 150 bytes	CHECK READ COPY ERROM ERRSC	GLOAD GSTORE INITIALIZE MASS STORAGE IS	PACK TRANSLATE TYPE VOLUME
	注：在HP-86和HP-87中，除了 TRANSLATE 命令外，其余语句均驻留在机内。		
绘图ROM Plotter ROM (00087~15002) 1392 bytes	DUMP GRAPHICS DUMP ALPHA	此ROM供HP-86和HP-87用	
绘图/打印ROM Plotter/Printer ROM (00085~15002) 373 bytes	AXES BLINK BPLOT BREAD CLIP CRT IS CSIZE CURSOR DIGITIZE DRAW ERROM ERRSC FXD FRAME GCLEAR GRAPHICS GRID	IDRAW IMOVE IPLOT LABEL LABEL USING LAXES LDIR LGRID LIMIT LINETYPE LOCATE LORG MOVE MSCALE NOBLINK PDIR PEN	PENUP PLOT PLOTTER IS PRINTER IS RATIO RPLOT SCALE SETGO SETI/O SETUU SHOW TRANSLATE UNCLIP WHERE XAXIS YAXIS
输入/输出ROM I/O ROM (00085~15003) (00087~15003) 416 bytes	包括各种接口所需的命令，语句和函数：一般语句		
	BINAND BINCMP BINEOR BINIOR	BIT BTD DTB\$ DTH\$ DTO\$	ENABLE KBD ERROM ERRSC HTD OTD
	通用I/O语句		
	CONTROL CONVERT ENABLE INTR ENTER IOBUFFER	OFF EOT OFF INTR OFF TIMEOUT ON EOT ON INTR ON TIMEOUT	OUTPUT RESET SET TIMEOUT STATUS TRANSFER
	HP-82937A HP-IB接口, HP-82940A GPIO接口, HP-82941A BCD接口, HP-82938A HP-IL 接口, HP-82939A 串行接口 (RS-232) 和 HP-82949A 打印机接口用		
	ABORTIO ASSERT CLEAR HALT LOCAL	LOCAL LOCKOUT PASS CONTROL PPOLL REMOTE REQUEST	RESUME SEND SPOLL TRIGGER

(续)

ROM的名称及订货号	增加的语句、函数和命令		
矩阵ROM Matrix ROM (00085~15004) 69bytes	一维数组(矢量)和二维数组(矩阵)处理用语句和函数		
	ABSUM	MAT =	MAT DISP
	AMAX	MAT(+, -, ., /, 或*)	MAT DISP USING
	AMAXCOL	MAT = * + *	MAT INPUT
	AMAXROW	MAT CON	MAT PRINT
	AMIN	MAT CROSS	MAT PRINT USING
	AMINCOL	MAT CSUM	MAT READ
	AMINROW	MAT IDN	MAXAB
	CNORM	MAT INV	MAXABCOL
	CNORMCOL	MAT INV *	MAXABROW
	DET	MAT RSOM	REDIM
	DETL	MAT SYS	RNORM
	DOT	MAT ZER	RNORMROW
	ENORM	MAT TRN *	SUM
	LBND	MAT = * TRN	UBND
	ERROM	MAT TRN	
高级编程ROM Advanced Programming ROM (00085~15005) 132 bytes	ALPHA	HGL \$	REV \$
	AREAD	HMS	ROTATE \$
	AWRIT	HMS \$	RPT \$
	CALL	KEYLAG	SARRAY
	CFLAG	LINPUT	SCAN
	CRT OFF	LWC \$	SCRATCHBIN
	CRT ON	MDY	SCRATCHSUB
	CURSCOL	MDY \$	SFLAG
	CURSROW	MERGE	SLET
	DATE \$	NPAR	SMAX
	DIRECTORY	OFF CURSOR	SUB
	ERRM	OFF KYBD	SUBEND
	ERROM	ON KYBD	SUBEXIT
	FINDPROG	PAGE	TIME \$
	FLAG	READTIM	TRIM \$
	FLAG \$	REPLACEVAR	XREFL
	GET \$	RNUM	XREFV
汇编ROM Assembler ROM (00085~15007) (00087~15007) 124 bytes	为用汇编语言编程用的语句		
	ALOAD	BKP	MEM
	ASSEMBLE	CLR	MEMD
	ASSEMBLER	DEC	OCT
	ASTORE	FLABEL	REL
	BASIC	FREFS	SCRATCHBIN
			TREM①

① TREM语句只供HP-85用。