

508114

5087
2544: 1

抗恶劣环境计算机

国防工业出版社

抗恶劣环境计算机

朱世雄 杨荫溥 方金仰

嵇启先 王兆全 编

国防工业出版社

内 容 简 介

抗恶劣环境计算机又称加固型或强化型计算机。本书比较系统地介绍了加固型计算机技术发展情况。全书共分七章：第一、二章介绍了加固型计算机的一般特点；第三、四、五章分别介绍了加固小型与微型计算机以及加固型外部设备；第六、七章介绍了加固型计算机的高可靠性技术以及加固机的结构与工艺。附录提供了必要的参考数据。

本书是由有关工业部门与使用部门的专家执笔，集体编写完成的。

本书可供从事抗恶劣环境计算机设计、制造和使用维护的科技人员、院校师生参考。

抗恶劣环境计算机

朱世雄 杨荫溥 方金仰

嵇启先 王兆全 编

责任编辑 戴静茜

国防工业出版社出版

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

787×1092 1/16 印张 23 533 千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷 印数：-0,001—1,400册

统一书号：15034·3230 定价：5.15元

序

抗恶劣环境计算机对国民经济各部门，如航天、航空、航海、野外及海上石油勘探、地质勘探、矿产开发、核开发、铁道、气象及冶炼等方面，具有重大的实际意义。为了实现仪器仪表和各种设备的现代化和智能化，为了在各种恶劣环境条件下能够可靠运行，抗恶劣环境计算机的应用日益广泛深入，性能不断提高。另一方面，发展抗恶劣环境计算机是实现国防现代化的一项迫切任务。众所周知，计算机的使用对提高武器系统的命中精度，缩短反应时间，增强军事实力，都具有极为明显的效果，而武器系统使用的环境条件往往是很恶劣的。发展抗恶劣环境计算机对推动我国计算机高可靠性技术的研究，提高整个计算机系统的可靠性水平，带动或促进有关元、器件和工艺高可靠性也具有重要意义。

目前，国内还没有一本系统、全面地阐述和介绍抗恶劣环境计算机的中文或译文书籍，这本书的出版发行，将在一定程度上填补这一空白，并对我国抗恶劣环境计算机的发展起到促进作用。

希望这本书的出版能够引起国民经济各行业及国防系统从事抗恶劣环境计算机的设计、生产、管理、教学和应用的科技工作者及有关干部职工的兴趣和重视，并激发起他们进一步探讨和完善抗恶劣环境计算机研制和应用的积极性及创造性，从而不断地推动和提高我国抗恶劣环境计算机的水平，为我国社会主义现代化建设发挥积极的作用。

袁云桂

一九八六年四月

前 言

抗恶劣环境计算机,在航天、航空、航海、兵器、野外机动作业以及其它特殊的恶劣工业环境条件下,有着广泛的应用。在先进国家的计算机行业中,已发展成为一个特殊的计算机分支和领域。

抗恶劣环境计算机也称加固型或强化型计算机(本书统称加固型计算机)。本书综合编写了国外抗恶劣环境计算机的主要特点、主要性能、系统结构、外部设备、可靠性技术、结构与加固工艺等。系统地介绍了近几年来国外典型抗恶劣环境计算机的情况。

本书采用集体讨论的方法,广泛吸取了各方面专家们的意见,分工执笔编写。各章执笔人分别是:第一章、第六章是朱世雄;第二章是嵇启先;第三章及附录是方金仰;第四章是王兆全;第五章、第七章是杨荫溥。全书由朱世雄任主编,朱世雄、杨荫溥、方金仰负责全书的技术审校。

本书编写过程中,得到了国防科工委、海军装技部以及海军装备论证中心的指导与支持。特别是,海军刘华清司令员为本书题写了书名。中国科学院学部委员慈云桂教授审阅了全书,并为本书题写序言。林隐凡、柳克俊、庄梓新、谢荣铭等同志均对本书提出了宝贵的意见,在此一并表示衷心的感谢。

限于我们的水平及编印时间短促,搜集的材料有限。书中缺点、错误与不当之处,敬请各方面专家和读者指正。

编 者

一九八六年五月十五日于北京

目 录

第一章 绪论

第一节 加固型计算机技术的发展	1
1.1.1 计算机技术的发展	1
1.1.2 加固型计算机的产生和发展	3
第二节 加固型计算机的主要特点	6
1.2.1 高可靠性与高可维性	6
1.2.2 较强的实时处理能力	8
1.2.3 系列化、标准化与模块化	9
1.2.4 专用软件开发是应用的关键	10
第三节 美国军用计算机标准与加固等级	12
1.3.1 美国军用计算机标准概况	12
1.3.2 几个通用的军用标准	13
1.3.3 加固型计算机的分类	14
参考文献	16

第二章 加固型计算机的系列化和优选方法

第一节 计算机系列化的优越性	17
第二节 系列化的主要内容	18
2.2.1 计算机系列的兼容性	18
2.2.2 计算机系列的兼容方式	19
2.2.3 兼容级别的划分	20
2.2.4 兼容性的实现	21
2.2.5 PCM技术	24
第三节 优选方法介绍	27
2.3.1 加固型计算机的优选方法	27
2.3.2 基准程序评价方法	36
参考文献	42

第三章 加固小型计算机

第一节 概述	43
第二节 PDP-11小型机系列及其加固	44
3.2.1 处理机的基本结构	44
3.2.2 数据表示法	47
3.2.3 寻址系统	49
3.2.4 指令系统	52
3.2.5 存储系统	56
3.2.6 单总线结构	62
3.2.7 浮点处理机	65
3.2.8 典型的PDP-11M加固型计算机	67
第三节 VAX-11 超级小型计算机及其加固	72
3.3.1 概述	72
3.3.2 VAX系列的中央处理机结构	74
3.3.3 VAX-11系列的指令系统	79
3.3.4 异常与中断	85
3.3.5 存储器系统	86
3.3.6 存储管理	89

3.3.7 高速同步总线	90
3.3.8 输入/输出子系统	92
3.3.9 浮点加速器	94
3.3.10 VAX-11M加固型计算机	95
第四节 VAX超级小型计算机的发展	98
3.4.1 概述	98
3.4.2 高性能的 VAX8000系列	99
3.4.3 微型化技术——MicroVAX	101
3.4.4 VAX的群机系统	103
3.4.5 VAX的网络结构	104
参考文献	107
第四章 加固微型计算机	108
第一节 概述	108
第二节 微型计算机的结构	112
4.2.1 微型计算机的一般概念	112
4.2.2 中央处理机CPU	114
4.2.3 半导体存储器	116
4.2.4 输入/输出设备	118
4.2.5 OEM单板计算机	121
第三节 INTEL8086微处理机	122
4.3.1 8086CPU的结构和总线操作	122
4.3.2 8086的寄存器结构与存储器结构	127
4.3.3 输入/输出结构	132
4.3.4 寻址方式	133
4.3.5 指令系统	138
4.3.6 iAPX86系列简介	144
第四节 微型计算机的系统设计	146
4.4.1 微型计算机总线结构	146
4.4.2 微型计算机接口原理	160
4.4.3 开放系统	166
第五节 EMM/SECS加固微型计算机	168
4.5.1 微型计算机的加固特点	168
4.5.2 SECS80系列	169
4.5.3 加固微型计算机的系统开发	172
参考文献	173
第五章 加固型外部设备	174
第一节 概述	174
5.1.1 加固型外部设备的地位与作用	174
5.1.2 加固型外部设备分类	175
5.1.3 加固型外部设备的发展现状	175
5.1.4 加固型外部设备的特点与加固技术	176
第二节 加固型硬磁盘驱动器	176
5.2.1 加固磁盘驱动器中的陀螺效应	177
5.2.2 磁盘驱动器的抗冲击、抗振动设计	179
5.2.3 磁盘驱动器的抗热、抗寒设计	190
5.2.4 磁盘驱动器的密封与防潮湿机构	191
5.2.5 其它加固技术	192
5.2.6 4050A/4150加固型磁盘子系统	193

5.2.7 麦格纳 (MAGNUM) 4200加固型磁盘子系统	195
5.2.8 RD-5/15加固型温彻斯特磁盘驱动器	196
5.2.9 RDS4502/1602加固型磁盘驱动器及其子系统	197
第三节 加固型软磁盘驱动器	198
5.3.1 简介	198
5.3.2 DD-400加固型软磁盘驱动器	199
5.3.3 “全天候”软磁盘盘片	200
5.3.4 注意的几个问题	201
5.3.5 DD-400/DC-400加固型软磁盘驱动器子系统	201
第四节 加固型磁带驱动器	202
5.4.1 加固型磁带机的分级	202
5.4.2 基本性能要求	202
5.4.3 环境对磁带机的影响	202
5.4.4 磁头与磁片的间距	202
5.4.5 冲击与振动	203
5.4.6 污染	203
5.4.7 温度与湿度	203
5.4.8 冷凝	203
5.4.9 CR-300加固型盒式磁带机	203
5.4.10 CR-400加固型盒式磁带机	204
5.4.11 CR-600加固型盒式记录器	205
5.4.12 AT1161加固型磁带驱动器	206
第五节 加固型打字机	206
5.5.1 HSP3609-212A加固型高速行式击打式打字机	207
5.5.2 TP-3000加固型高速热敏式行式打字/绘图机	211
5.5.3 TP-2000系列加固型热敏行式打印机	211
5.5.4 其它类型打字机	212
第六节 加固型显示器	213
5.6.1 概述	213
5.6.2 TER-100加固型终端显示器	214
5.6.3 TERM-280加固型显示终端	214
5.6.4 OTI9400M加固型彩色光栅图形显示系统	215
第七节 磁泡存储器	216
5.7.1 磁泡存储器技术	216
5.7.2 磁泡存储器的优点	218
5.7.3 磁泡存储器的前景与应用	219
5.7.4 BMS-1000型磁泡存储器系统	219
5.7.5 宇宙探测器用BDR型磁泡存储器	220
5.7.6 PLESSEY PBS 系列磁泡存储器	221
参考文献	222
第六章 加固型计算机的可靠性技术	224
第一节 计算机的可靠性技术基础	224
6.1.1 计算机与可靠性	224
6.1.2 提高计算机元、器件的可靠性	225
6.1.3 系统可靠性的基本概念	229
6.1.4 系统可维修性的基本概念	240
第二节 加固型计算机系统的冗余技术	242
6.2.1 冗余设计的概念	242
6.2.2 典型冗余结构的可靠度分析	244

6.2.3	几种容错计算机系统实例	249
第三节	可靠性筛选与可靠性试验	254
6.3.1	可靠性筛选	255
6.3.2	几种可靠性筛选方法介绍	258
6.3.3	可靠性试验	260
第四节	减少故障影响的其它技术	265
6.4.1	概述	265
6.4.2	检错与纠错的基本概念	266
6.4.3	故障诊断技术	271
6.4.4	计算机诊断系统举例	276
第五节	软件产品的可靠性技术	282
6.5.1	软件产品的可靠性概念	284
6.5.2	软件要求工程化	288
6.5.3	软件设计模块化	291
6.5.4	软件程序的测试技术	293
6.5.5	软件的维护、修改与文件管理	295
6.5.6	结束语	296
	参考文献	297
第七章	加固型计算机的结构与工艺	298
第一节	概述	298
7.1.1	工作环境及其影响	298
7.1.2	结构与工艺设计的重要性	299
第二节	加固型计算机的热设计	299
7.2.1	冷却方式的选择	300
7.2.2	元、器件级的热设计	301
7.2.3	模块级(印刷电路板)的热设计	303
7.2.4	系统级(机箱)的热设计	308
第三节	加固型计算机抗冲击与抗振动设计	313
7.3.1	元、器件的抗振动与抗冲击设计	314
7.3.2	印制电路板的抗冲击与抗振动设计	315
7.3.3	抗冲击与抗振动设计的主要技术	317
7.3.4	加固型计算机的机箱结构	318
7.3.5	PDP-11M, SECS80/ATR1, SECS80/ATR2抗冲击与抗振动的主要措施	323
第四节	加固型计算机的三防技术	326
7.4.1	机箱密封工艺	327
7.4.2	其它三防措施	327
7.4.3	三防设计的一般原则	328
7.4.4	PDP-11/44M采用的三防措施	329
第五节	TEMPEST技术简介	330
7.5.1	TEMPEST技术的内容与发展现状	330
7.5.2	TEMPEST产品的设计	331
	参考文献	332
附录:		334
附录A	加固型计算机一览表	334
附录B	加固型外部设备一览表	338
附录C	美军军用电子设备基本环境试验项目	350
附录D	美国军用标准与规范	351
附录E	美国军用集成电路规范(MIL-M-38510)简介	356
附录F	本书常用计量单位名称与符号	358

第一章 绪 论

第一节 加固型计算机技术的发展

1.1.1 计算机技术的发展

自四十年代中期诞生世界上第一台电子计算机开始,计算机技术以惊人的速度发展了四十年,共经历了四代。本世纪末,电子计算机将产生第四次飞跃而进入第五代。世界上由于计算机科学的发展并向各个方面渗透和应用,因而它对人类社会的发展也产生了极其深远的影响。

五十年代初期,第一代电子计算机以电子管为主要元件,结构上以运算器与控制器为中心,主要用作科学计算。五十年代后期,出现了第二代计算机,以晶体管为主要元件,结构上以存储器为中心,开始创立了一系列的程序设计语言等软件的概念,应用也扩大到数据处理、企业管理等各个方面。六十年代以来的第三代计算机,则以中、小规模集成电路为主要元件,形成了以中央处理机为中心,引入了终端设备的概念,用户开始可以远距离使用计算机。出现了一些大型和巨型的计算机,计算机系统软件有了较大的发展,计算机的应用范围扩大到国民经济的各个领域。七十年代以来出现的第四代计算机,采用大规模集成电路和半导体存储器为主要元件,结构上发展了分布式数据处理系统的概念。软件中引入了数据库概念,软件已发展为软件工程产品。七十年代后期,大规模集成电路(LSI)与超大规模集成电路(VLSI)出现并达到实用水平。1978年,采用N-MOS集成电路工艺和4 μ m加工技术研制出可以与中档小型计算机相比拟的16位微处理器,如INTEL公司的8086、ZILOG公司的Z-8000和MOTOROLA公司的M68000。微处理器集成度已达到60K单元以上,是第一代超大规模集成电路微处理器的代表。八十年代初期微型计算机系统进入了普及与广泛应用阶段,电路价格大大降低,适合系统性能要求的外部设备也陆续出现,加固技术开始应用在微型计算机系统,已经研制成功了32位微处理器和系统。从1971年第一个4位微处理器问世,到32位微处理器的出现,世界上还没有一项技术象微型计算机发展这样快,短短的14年就换了四代。

1981年日本首先宣布制定了一项为期十年的“第五代计算机研制开发计划”。对五代机的基本应用系统、基本软件系统、新体系结构、VLSI、功能分布体系结构和知识库系统等六大类26个课题进行研究。经过几年努力已取得了阶段性的成果。与此同时,从1983年美国也已开始了五代机的研制计划,其中心是采用知识库的人工智能系统、智能化的人机接口以及并行处理等技术,预计十年内完成^[10]。

第五代计算机的研究是当今计算机科学发展的最前站。它的研制建立在许多技术学科的基础之上,同时也必将带动这些技术学科的发展。同第五代机密切相关的技术和学科主要有:VLSI技术、并行处理技术、数据流计算机、逻辑程序技术、知识工程、人工智能、图像和图形处理、自然语言理解、数据库和数据库机技术等。概括地讲,第五代计算机可以看成是由知识库系统、问题求解和推理系统以及智能人机接口三部分组成,并通过程序设计语言连接起来的复杂机器。如果将第五代计算机与第四代计算机相比,可以近似将解题和推理机看作中央处理机,知识库系统看作主存储器、虚拟存储器

与文件存储器的结合；智能人机接口看作是输入、输出通道及外部设备等。但是第五代计算机的结构更加复杂，它的每一个子系统又可分成硬件、软件和接口三部分。日本第五代计算机系统的基本配置如图1-1所示。硬件系统包括解题和推理机、知识库机和智能接口机。

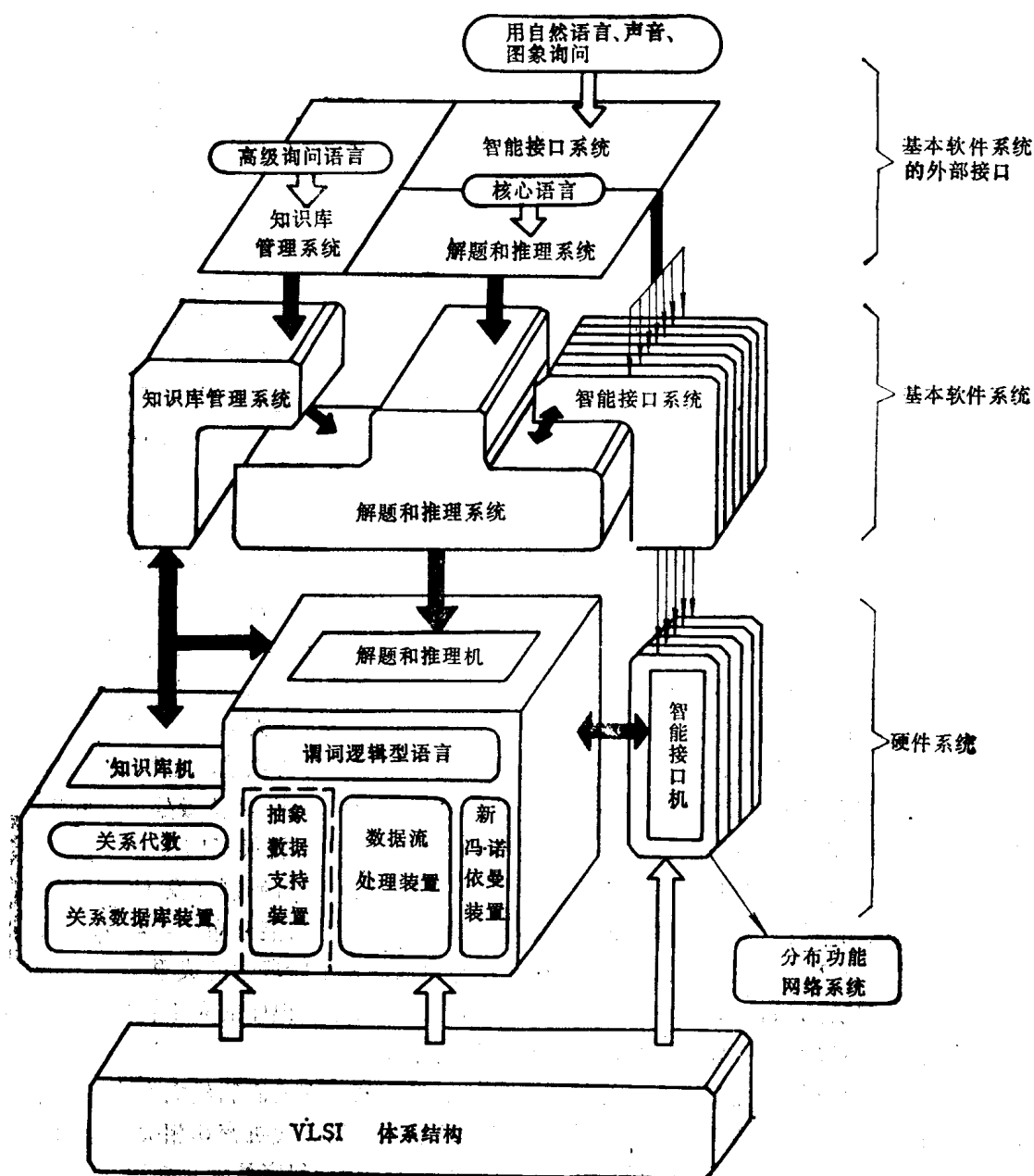


图1-1 日本第五代计算机系统基本配置

第五代计算机的研究与开发，将是计算机科学发展的重大飞跃。五代机的出现，可以肯定地说必将对国民经济与军事装备的发展产生深远的影响。

1.1.2 加固型计算机的产生和发展

五十年代以来,国外各种军事武器系统的出现,要求系统中应用的各类计算机体积小、重量轻、可靠性高,又能抗各种恶劣自然环境与使用环境的影响。晶体管电子计算机就是应这种要求而研制的,但不久就从军用转入了商用市场。五十年代末期,航天与导弹技术的需要,促进了微电子技术的发展。由于为导弹与航天飞行器制造微小型的弹载导航及制导计算机,从而出现了集成电路。六十年代中期以后,军用的小规模集成电路计算机开始进入商用计算机市场。由此可见,计算机技术发展的早期,很大程度上受到军事武器装备发展的影响。

计算机在军事上的用途非常广泛,具体要求也是多种多样的。但各类战场使用的计算机有着一个共同的特点,就是使用环境极其恶劣,仅以温度为例,计算机的应用从热带海洋性气候、大陆干燥性气候到寒带大陆性气候,温差变化达几十度以上。因此,无论是在战场使用、还是在恶劣工业环境与运载工具上使用的计算机,都应当考虑恶劣的使用环境所造成的影响。关于计算机的使用环境条件,有很多划分方法。例如,按自然环境划分,可分为陆地、海洋、高空、宇宙(太空);按使用环境划分,可分为地面良好条件、地面移动条件、轨道运行条件、舰船运载条件、飞机机舱条件、导弹发射条件等;按对产品影响的机理来划分,可分为气候条件、机械条件、生物条件、电磁干扰和人为条件等。划分这些条件类型,是为了模拟研究各种恶劣使用环境条件的影响。而计算机在恶劣使用环境中所受到的影响,通常是一个多种因素综合的结果。

加固技术在计算机中的应用主要是根据各类武器系统的发展要求而开始的。国外,首先从各类机载计算机开始,随着各类武器系统的研制而出现了能够满足系统要求的抗恶劣环境加固型计算机。六十年代以来,军用加固型计算机有了很大的发展,据统计1967年列入美国海、空军装备型号的军用加固型计算机共有67种^[8]。从各种火控系统(例如MK86, M92, MK113, MK116)到大量装备的海军战术数据系统NTDS,以及大型导弹武器宙斯盾(AEGIS)系统都装备着大量加固型计算机。美国海军所用的军用加固型计算机型号是世界各国海军中最繁杂的。这是由于在加固型计算机研制的早期,往往为完成研制一种武器系统而设计一种加固型计算机。六十年代末至七十年代初,国外已经觉察到这个问题的严重性,感到型号繁杂,对硬件、软件的维护、人员培训、设备更新、后勤支援等等方面带来一系列的困难,这是加固型计算机发展初期所出现的一个问题。结果为研制这些加固型计算机付出了大量的人力和财力,造成很大的浪费。

从美国和西欧几个军用加固型计算机发展领先的国家来看,一方面他们遇到了计算机型号复杂,软件不配套,研制周期过长,投资大,收效小等难题;另一方面也积累了大量的实际经验,逐步掌握了加固型计算机研制的特点,发展了各种加固技术的水平。同时,在发展军用加固型计算机方面受到商用机的影响,作出硬件系列化与软件标准化的决策。各国商用计算机公司于六十年代后期和七十年代初期,已先后走上了系列化发展的道路。走与国际优选系列兼容的道路,可以较快地吸收世界上最先进的技术成果,起点高,周期短,投资小,收效快。走与国际优选系列兼容道路的国家 and 公司获得了巨大的成功。以日本、西德、法国、意大利以及苏联和东欧国家为例,走与美国优选系列兼容的道路,计算机工业都得到迅速的发展。近年来随着软件技术的发展,国际上一些生产

军用计算机的公司在加固技术应用的基础上, 竞相推出与优选系列软件兼容的新型专用计算机, 重新走上直接开发专用计算机的道路。这是基于发展了成熟的通用计算机的基础上更高层次的专用计算机。国际上这种新动向, 应当引起我们的重视。

目前国外的军用加固型计算机是在技术上成熟、系统先进、满足军用要求、经过大批生产和使用考验的商用计算机系列中优选出来, 并进行加固而构成的计算机。瞄准优选的商用计算机系列, 走与商用计算机兼容的道路, 是各国发展军用加固型计算机的共同作法。采用兼容复制技术, 在硬件上瞄准优选的商用计算机硬件(包括输入输出接口)技术, 一一对应地搬到所研制的加固型计算机上来, 这种设计思想的出发点是为了继承和吸收优选商用机系列的体系结构和丰富的资源支持, 以缩短加固型计算机的研制周期。在软件方面采用移植的方法, 即把在优选商用系列机上研制成功的软件技术(包括操作系统、高级语言、诊断程序以及多种应用软件包)全部地移植到所要研制的加固型计算机上来, 在此基础上逐步地发展军用Ada语言。采用移植软件的思想是由于他们清醒地看到软件研制、开发和维护的价值远远超过了硬件。在商用计算机系列中的软件能够满足军用使用环境要求的前提下, 将已成熟的软件移植到加固型计算机上。这样, 在研制加固型计算机中节省了大量人力、物力和时间, 取得了成功。

下面我们通过美国几种加固型计算机发展的过程, 进一步说明这种“加固”的模式与策略。在小型计算机方面, 自1976年以来, 美国诺登(NORDEN)公司已经成功地将DEC(Digital Equipment Company)公司的PDP-11和VAX-11两个优选商用计算机系列的商用机加固成军用加固型计算机。诺登公司为什么选中DEC公司的商用机作为加固机的原型呢? 主要是因为DEC公司的PDP-11系列的计算机结构已被国内外用户广泛地接受, PDP-11系列的兼容机——32位超级小型机VAX-11系列则是在16位的PDP-11系列机的基础上发展起来的高性能的小型机; PDP-11和VAX-11系列的计算机在全世界已装运了30多万台(截止到1985年)。自1976年至1981年先后加固了PDP-11系列中PDP-11/34M、LSI-11M、PDP-11/44M以及PDP-11/70M, 其中以PDP-11/44M性能价格较为最佳。自1982年以来开始加固VAX-11系列计算机, 至1985年已完成的加固机型有: VAX-11/750R、VAX-11/730R等等。PDP-11M、VAX-11M和商用的PDP-11、VAX-11系列机的软件完全兼容。由于PDP-11M系列到VAX-11M系列如此宽广的型谱范围, 因而在各方面得到了广泛的应用。此外, 美国ROLM公司也成功地将DG(Data General)公司的商用计算机NOVA系列和MV系列的ECLIPSE计算机进行了加固。在加固方法上, 采用独立设计的方法。体系结构不变、软件与DG公司的商用机系列兼容。这与诺登公司的方法有所差别, 但都积累了可供借鉴的经验。

在微型计算机方面, 美国EMM/SESCO公司加固了INTEL公司的ISBC系列微型计算机。它在加固商用微型计算机的模式上与小型计算机的模式相似, 但又有区别。首先是与INTEL系列软件完全兼容, 不同处是EMM/SESCO公司以模块的方式进行加固, 可以向用户提供加固微型计算机系统或加固模块(插件)。这对于武器系统或其它领域广泛使用微型机, 提供了很大的灵活性。可以根据系统的要求和需要购买加固型模块, 以便组成各种复杂的多重处理机系统(或分布式系统)。这些加固型微机与模块, 和其它加固小型计算机一样, 在通信规程、通道接口、结构尺寸、插件板等等也都遵循军用技术标准的规定。此外, 由于微型计算机总线在商用市场已经广泛应用, 加固微型机总线与其

完全兼容，也易于使用。

与加固小型机及加固微型机相配套的加固型外部设备，近年来也有很大的发展。六十年代初期的军用计算机只配有简单的字符显示、纸带输入机和机械式电传打字机等。而八十年代的军用加固型计算机则配有加固型软磁盘、硬磁盘、等离子显示器、击打式与非击打式打字机、彩色图形终端等。据不完全统计，军用加固型外部设备品种就有30多种。特别值得提出的是新型加固外部设备不断出现。如加固型光学磁盘存储器(OPTUNEM1000)与PDP-11/70计算机配套已成功的用于C³I系统，其容量达到1000 MB。此外，磁泡存储器(BDR)用于宇宙探测器PLANET-A和MS-T5上，其容量为15MB。这种磁泡存储器可以经受高的射频干扰，可靠性很高。此外，为了防止各类计算机系统及其它电子设备不断地大量向外散射噪音，防止机密数据信息在存储、传递时被泄露，近年来美国采取了一系列重要措施。其中最主要的是加固型电子设备的信息保护(命名为TEMPEST)措施，并颁布了国家标准(NACSEM5100及NACSIM5100A)。目前大量军用电子设备大多采用此标准。而且出现了许多TEMPEST型军用电子设备。加固型外部设备与加固型计算机采用了一系列新技术、新工艺、新材料，可靠性已有了很大的提高。根据公布的资料，由美国DATAMETRICS公司生产的热敏式加固型打印机DMC-1600的MTBF值可达20000 h，MTTR值减小到15 min。DATAFLUX公司生产的加固型WINCHESTER硬磁盘驱动器，其MTBF值为10000 h，MTTR值为30 min。能经受-55~+125℃的温度变化，能适应95%相对湿度、30000 ft海拔高度，45 g的冲击与振动以及其它恶劣的环境条件要求。

随着加固型计算机的发展，近年来加固型外部设备的生产厂也有了很大发展。据不完全统计，美国军用加固型研制生产厂约有40个。其中主要外设产品是满足商用，同时又研制加固型外部设备。也有一些厂专门研制军用加固型外部设备。例如美国MILTOPE公司是当前美国最大的军用外设生产基地，它所生产的加固型外部设备在美国三军武器系统中广泛应用，而且与加固型计算机系统配套使用。在外部设备加固方法上，主要有两种。其一是：为军事目的或特殊需要专门设计的加固型外部设备，这是多年来一直采用的方法。许多商用外设也可以在此引伸或派生出来。其二是：在现有的、业已成熟的、优选的商用外设系列产品中选择加固机型。后者的加固方法与主机有相同的模式。对于全电子化外设产品、或机械部分很少的产品迅速实现加固是有效的，而且缩短研制周期，迅速满足了使用要求。

八十年代随着微型计算机的发展与应用，在恶劣工业环境、交通运输、海洋开发、宇航与空间开发等领域内，将广泛地应用各类加固型计算机系统。各国的军用计算机公司为了保持它的产品的竞争能力，不断地开展新技术的研究与新产品的开发。已普遍采用CAD/CAM计算机辅助设计与计算机辅助制造手段。从电气设计、机械设计到生产加工均已使用计算机辅助。例如，MILTOPE公司的CAD/CAM中心所配置的IBM/CADAM系统，具有性能完善的主机、高性能齐全的I/O设备、人机对话装置以及各类应用软件包、CAD终端等等，依靠上述先进手段开发新产品。此外普遍采用了质量控制与管理体系，保证产品质量检验、分析与反馈制度的全面贯彻执行，确保产品的高可靠性等。

第二节 加固型计算机的主要特点

1.2.1 高可靠性与高可维性

战场使用的各类计算机,其使用环境与商用计算机相比有着很多特殊性,因而对可靠性与可维性的要求放在第一位。长时间、持续地可靠工作是头等重要的性能指标。其主要的特殊性是:

战场使用的加固型计算机自然环境恶劣,例如,要经受严寒、湿热、高低温冲击、暴晒、淋雨、沙尘、雷电的影响,以及盐雾、油雾、霉菌、生物蛀蚀的严重侵蚀;

机载、舰载、车载平台条件苛刻,例如,要经受机械冲击、振动、摇摆、离心加速度、颠簸、低气压、噪声、电磁干扰等的影响,以及核电磁辐射的影响;

工作条件限制严格,例如,机载、舰载与车载空间狭小,对计算机的体积、重量、功耗都有严格限制。由于高空与海洋生理反应,操作人员精力与体力消耗很大,要求操作简单,便于维护;

工作时间很长,例如,野战使用的计算机,由于战场需要,可能连续工作很长时间。再如,舰载机离开岸基时间可达几个月,对维修、操作、后勤支援都有特殊的要求等等。

国外军用加固型计算机都有严格的军用规范和标准。对设计、生产、试验、验收进行监督管理,以确保产品质量在一定的置信度下达到规定的指标,保证计算机在上述的特殊环境与特殊工作条件下可靠地运行。还要求具有高可维性以确保武器系统达到规定的可用性。现在各国的规范标准中,美国的军用计算机规范标准比较齐全和严格。

目前,国外各类战场使用的加固型计算机其单机平均故障间隔时间(预测值或统计值)MTBF一般都在2000~5000 h以上,有的可以达到10000 h以上。平均修复间隔时间MTTR一般为15~30 min左右。表1-1介绍了国外几种有代表性的军用加固型计算机的MTBF、MTTR概略值。

关于可靠性指标都是统计值与预测值,很难按统计方法严格测试出结果。通常用户与厂商可以采用一些实测方法来考核机器,例如美国海军对新研制的舰载计算机采取小批量作近似的MTBF测试(例如抽10台)。得出近似的测试值作为验收指标。他们认为这与批量生产的机器质量基本一致。

为保证军用加固型计算机的可靠性,在产品设计和生产的各个阶段都有严格的要求和高可靠的工艺措施,实行全面的质量控制。

国外很重视元器件与接插件的选择与设计,特别重视组装设计与工艺设计。从机柜到模块、从整块印制底板到电路板插件都要求符合军用规范,鉴定合格后,才予以投产或供整机设计采用。以美国军用印刷电路板为例,其技术要求、尤其是高低温循环和热冲击试验的要求比一般电子设备用印刷电路板的要求高得多,每块印制板要经过100次从-65℃至长期允许的最高工作温度的高低温循环,不允许开路、短路、分层和起泡。要全部符合MIL-P-55110C(军用印刷电路规范1978)。

在加固型计算机的体系结构设计、逻辑设计中十分重视可靠性设计。把先进性建立在可靠性的基础上。当先进性与可靠性发生矛盾时,首先保证可靠性,而放弃一些先进的特点,这是军用加固型计算机的主要设计观点之一。与商用计算机有着很大的区别,

表1-1 国外几种军用加固型计算机的MTBF、MTTR值

使用年代	型号及用途 (国别)	MTBF (h)	MTTR (min)
七十年代初期	AWG-9 雷达系统计算机 (美国) 用于 F-114B 飞机	1800	30
七十年代中期	AN/UYK-20 (美国) 美海军现役小型计算机	2000	15
七十年代初期	航天电子计算机 (美国) 用于阿波罗宇宙飞船	$2 \sim 2.5 \times 10^4$	—
七十年代后期	FM1600E (英国) 英海军现役小型计算机	3850	15
七十年代中期	IRIS35-55M (法国) 法现役机载、舰载小型机	5000	—
七十年代后期	PDP-11/44M (美国) 美军机载、舰载小型机	16000 (预测)	30
八十年代初期	ROLM HAWK/32 (美国) 美军机载、舰载小型机	4000	15
八十年代初期	SECS 80 (美国) 美军机载、舰载、陆用微型机	>10000 (预测)	15

较普遍地采用冗余 (容错) 技术; 还大量采用把故障影响减少到最低限度的各种技术, 包括诊断检测技术、自动检测、信息保护 (包括较多的采用只读存储器和用户可写的只读存储器、信息传送采用奇偶校验等)、电源故障自动检测等。此外, 为提高软件的可靠性, 软件设计中采用了程序分段与模块化设计、提高软件可测试性等可靠性技术。

在生产阶段采用高可靠的工艺措施, 特别是对元器件、大规模集成电路和印刷电路板要经过严格的计算机自动测试; 对敏感器件的保存、装焊采用先进的静电保护技术; 按 MIL-I-46058C 标准进行三防保护涂覆; 机座、机架采用导电氧化工艺和高频部件的屏蔽腔, 以构成整体散热及设备低阻抗接地的可靠系统; 电装中采用低压控温烙铁和军用焊锡丝, 用电扫描镜对焊点进行质量控制和检查等等。

生产军用加固型计算机还必须建立全面的质量控制和管理体系。建立并健全一整套严格的质量管理制度, 如原材料、元器件的验收制度、产品检验制度、质量分析制度和质量反馈制度。建立一系列质量分析和检测中心、环境试验中心等。只有这样才能保证不断提高产品的高可靠性。

为了提高加固型计算机的可维性, 通常是:

① 机内设置诊断检测设备 (BITE), 可联机发现故障并能快速诊断故障。当出现故障时, 通过人工干预或启动诊断程序, 可在短时间内定位到可置换的模块或插件。例如, ROLM 公司为了迅速找出 HAWK/32 机故障的插件, 缩短 MTTR 值, 每块插件板均装有故障指示灯, 这样就有效地缩短了 MTTR 值, 且小于 15min。

② 机内电源的监视尤应严格。因故障切断电源前, 应有几百微秒至几毫秒的维持

时间。装有半导体存储器的机器应有保护电源（蓄电池）。要有电源故障检测/自动启动的软件和硬件。

③ 机箱易于拆卸，模块的置换力求简便，故障显示要直观明了，以缩短 MTTR 值。例如，ROLM 公司与 SESCO 公司的 ATR 机箱改进后，机箱盖板仅用 9 只螺钉固定（PDP-11/44M 用 16 只），机器发生故障时拆卸容易，而且螺钉不会脱落丢失。

④ 计算机系统要考虑冗余（容错）能力。作战或应急情况下，既使出现故障，也允许功能降级使用。

⑤ 要求操作维护简便。具有中等文化水平人员短期训练后应能工作，并保证足够的后勤支援。

1.2.2 较强的实时处理能力

战场使用的军用加固型计算机在系统中最主要的功能就是实时处理。因此，军用加固型计算机（机载、舰载、陆用）大都是实时计算机系统。实时计算机应能对实时环境通过外围设备（系统接口）送来的各种请求，及时而迅速地作出响应，完成必须的处理，并且按时给出相应的输出。

近二十年来，由于航天飞行器、导弹、飞机、舰艇的飞速发展以及各类武器系统相关连的各种传感器如雷达、通讯、导航、声纳、光电跟踪器等的发展，使武器系统越来越复杂。威胁程度大幅度增加，要求实时计算机系统对来自各方面的信息作出快速而灵活的反应。以现代舰艇的对空末端防御快速反应系统为例，要求系统中的计算机在几秒内完成对目标的跟踪、威胁判断以及对火炮作出目标指示的全部计算，而且要在保证系统静态和动态精度条件下，输出信号、调转火炮直至炮弹离开炮管完成快速反应。

另一方面，由于系统的复杂性增大，实时处理计算机在系统中能完成更多、更广泛的功能。以机载计算机为例，六十年代初期只担负简单导航、驾驶、武器投放和单目标跟踪 4 种功能，发展到八十年代已经包括具有最佳导航、多目标跟踪、飞行控制、通讯、信号相关与处理等 15 种功能；早期机载计算机系统只有最简单的显示器，发展到今天已包括有高性能加固型温盘、软盘、等离子显示器、彩色显示器、击打式打印机等多种外部设备。美国反潜机 S-3A 的机载计算机 AN/AYK-10 就配备有近 9 种加固型外部设备，反映了八十年代初期的水平。

较强的实时处理能力主要包括：中断响应时间短、运算处理速度快以及具有高的数据传输率等等。当代计算技术的发展水平，可以有许多新的方法和手段达到以上三方面的要求。要求中断响应时间短，主要是使一个程序切换到另一程序要快，现场保存的（相应的还有恢复的）信息应尽量少。简而言之，程序转换要简单，花的时间要少。这对一个以计算机为核心的复杂的战术数据系统特别重要。美国 DEC 公司发展的 PDP-11 以及 VAX 系列计算机，至今在实时应用领域占有重要地位，是美国三军的优选系列之一。仅从中断响应一项而言，由于 VAX 系列具有一个完善的硬件优先级和一个简单的设备驱动程序，因此，对中断的响应极快。对中断设有 32 个优先级，高 16 级用于硬件中断，低 16 级用于软件中断，每个设备都有自己的中断向量值，由专门的中断服务程序来处理。VAX 系列的这种中断响应系统加上设备驱动器，可使处理中断的能力达到每秒一万个中断以上。这种能力可以确保系统中更迫切的外来请求并及时得到响应。

运算处理能力是对实时处理计算机的一项重要要求。提高运算处理速度的方法很多，