



技术进展丛书
燕生 总主编

军用嵌入式计算机 全生命周期可靠性设计保证技术

柴波 著



中国宇航出版社



航天技术进展丛书
吴燕生 总主编

军用嵌入式计算机 全生命周期可靠性设计保证技术

柴 波 著



中国宇航出版社

· 北 京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

军用嵌入式计算机全生命周期可靠性设计保证技术 /
柴波著. -- 北京: 中国宇航出版社, 2018. 3

ISBN 978-7-5159-1456-5

I. ①军… II. ①柴… III. ①军用计算机—微型计算
机—产品生命周期—可靠性设计 IV. ①E919②TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 048159 号

责任编辑 彭晨光

责任校对 祝延萍

封面设计 宇星文化

出版 中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)60286808 (010)68768548

经销 新华书店

网址 www.caphbook.com

发行部 (010)60286888 (010)68371900
(010)60286887 (010)60286804(传真)

零售店 读者服务部 (010)68371105

承印 北京画中画印刷有限公司

版次 2018 年 3 月第 1 版
2018 年 3 月第 1 次印刷

规格 787×1092

开本 1/16

印张 11.75

字数 286 千字

书号 ISBN 978-7-5159-1456-5

定价 98.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

《中国航天技术进展丛书》

编委会

总主编 吴燕生

副总主编 包为民

委员 (按姓氏音序排列)

邓宁丰	侯晓	姜杰	李得天	李锋
李明	李艳华	李仲平	刘竹生	鲁宇
沈清	谭永华	王巍	王晓军	谢天怀
徐洪青	叶培建	于登云	张柏楠	张卫东

总 序

中国航天事业创建 60 年来，走出了一条具有中国特色的发展之路，实现了空间技术、空间应用和空间科学三大领域的快速发展，取得了“两弹一星”、载人航天、月球探测、北斗导航、高分辨率对地观测等辉煌成就。航天科技工业作为我国科技创新的代表，是我国综合实力特别是高科技发展实力的集中体现，在我国经济建设和社会发展中发挥着重要作用。

作为我国航天科技工业发展的主导力量，中国航天科技集团公司不仅在航天工程研制方面取得了辉煌成就，也在航天技术研究方面取得了巨大进展，对推进我国由航天大国向航天强国迈进起到了积极作用。在中国航天事业创建 60 周年之际，为了全面展示航天技术研究成果，系统梳理航天技术发展脉络，迎接新形势下在理论、技术和工程方面的严峻挑战，中国航天科技集团公司组织技术专家，编写了《中国航天技术进展丛书》。

这套丛书是完整概括中国航天技术进展、具有自主知识产权的精品书系，全面覆盖中国航天科技工业体系所涉及的主体专业，包括总体技术、推进技术、导航制导与控制技术、计算机技术、电子与通信技术、遥感技术、材料与制造技术、环境工程、测试技术、空气动力学、航天医学以及其他航天技术。丛书具有以下作用：总结航天技术成果，形成具有系统性、创新性、前瞻性的航天技术文献体系；优化航天技术架构，强化航天学科融合，促进航天学术交流；引领航天技术发展，为航天型号工程提供技术支撑。

雄关漫道真如铁，而今迈步从头越。“十三五”期间，中国航天事业迎来了更多的发展机遇。这套切合航天工程需求、覆盖关键技术领域的丛书，是中国航天人对航天技术发展脉络的总结提炼，对学科前沿发展趋势的探索思考，体现了中国航天人不忘初心、不断前行的执着追求。期望广大航天科技人员积极参与丛书编写、切实推进丛书应用，使之在中国航天事业发展中发挥应有的作用。

雷凡培

2016 年 12 月

序

高可靠抗恶劣环境的嵌入式计算机产品，一次性通过全要素、全流程严格控制，达到全任务剖面、全生命周期的应用而不出问题很难，50年如一日不断改进提高，坚持做好上述工作也很难，而50年如一日，将覆盖航天和其他军工的弹、箭、星、船、器等数百种型号任务的各种配套计算机产品做好更难。

航天七七一所的计算机产品之所以能够在艰苦的创业环境中诞生，能够在竞争激烈的市场环境下生存，并不断发展壮大形成品牌效应，在业内获得一致的良好口碑，与其50年来形成的企业文化和积淀的技术底蕴分不开，更与研制者严谨细实的工作作风分不开。

柴波同志多年来一直从事军用嵌入式计算机的软硬件设计开发和技术管理工作，积累了丰富的实践经验，尤其是对嵌入式计算机的可靠性设计和保证技术有独到的研究。在航天七七一所建所50周年之际，柴波同志把他在嵌入式计算机领域多年的研究心得进行总结，编写了这本书。从可靠性设计和保证角度全面介绍了军用嵌入式计算机的风险要素识别、设计关注要点、调试试验注意事项、故障诱发分析方法、技术质量问题归零分析方法、国产化保障问题处理以及延寿评估技术等，针对军用嵌入式计算机全生命周期形成了一套比较系统的可靠性设计保证技术体系。这本书是对其实践经验的总结，也是对其技术的凝炼和升华，可以为从事嵌入式计算机的研制人员提供实践指导，并且对军用嵌入式计算机的学术研究工作起到积极的推动作用。



2015年7月23日

前 言

人生百态，只要一生平安、健康长寿就是人生最大的幸福。军用嵌入式计算机作为航天型号与武器装备系统的智能化核心设备，也像人生一样，有其特定的生命周期和健康要求。由于产品用途属性不同，其生命周期也有长有短，但不管生命周期长短，都必须健康，即质量稳定可靠。

嵌入式计算机的生命周期一般指的是设计寿命期限，即从产品出厂交付用户到完成任务使命之间的年限，而军用嵌入式计算机全生命周期指的是从产品的方案设计开始，包括交付前的设计、制造过程和达到设计寿命年限后所进行的延寿过程，最终到产品无法再使用时为止。人们期望所有计算机产品在设计寿命周期内功能、性能都正常，不发生任何质量问题，军用嵌入式计算机因其特殊使命更是如此。如何保证军用嵌入式计算机在设计、生产、调试试验、交付使用、维护和延寿等全生命周期内的质量，是军事装备的最高要求，也是从事该专业的技术人员终生奋斗的目标，本书期望能够系统地回答这些问题。

在 30 年的技术工作实践过程中，本人一直从事军用嵌入式计算机的设计应用、可靠性技术研究和科研生产组织与技术管理工作，与同行一起亲历了我国军用嵌入式计算机技术的发展过程，参与了军工领域同行院所技术难题的攻关分析等工作，实践了各种先进理论与方法，创新了与产品属性相适应的质量保证技术。经历了无数的辛酸艰难，收获了一个个成功的喜悦，见证了一次次辉煌的成就，积累了行之有效的宝贵经验，保证了产品质量始终处于领先水平，并且获得了用户的赞誉。把这些实践经验加以总结提炼，是对历史的纪念和成功经验的总结沉淀，以此献给同业者和后来者，哪怕能对各位有一点点启迪和帮助就是我最大的心愿。谨以此书献给我国军用嵌入式计算机发展历史上的领航者——航天七七一所，献给在军工领域从事相关专业技术研究的同事们。

感谢参与军用嵌入式计算机可靠性与贮存延寿等相关课题研究的同事们，也感谢为此书的编辑出版和保密审查而付出辛勤劳动的各位专家、同事和朋友。

柴 波

2015 年 7 月 1 日

目 录

第 1 章 军用嵌入式计算机概述	1
1.1 引言	1
1.2 军用嵌入式计算机的分类与用途	2
1.3 军用嵌入式计算机的发展历程	2
1.3.1 标准化历程	2
1.3.2 国产化历程	6
1.4 在役型号军用嵌入式计算机面临的问题	9
1.4.1 元器件停产断档问题	9
1.4.2 核心器件禁运问题	10
1.4.3 整机性能退化问题	10
1.4.4 国产化替代问题	10
1.4.5 寿命延长需求问题	11
1.5 军用嵌入式计算机基本特征	11
1.5.1 嵌入式特性	11
1.5.2 器件依赖性	11
1.5.3 软件支撑性	12
1.5.4 环境适应性	12
1.5.5 长期贮存性	12
第 2 章 军用嵌入式计算机设计风险识别与控制	14
2.1 军用嵌入式计算机的风险特征	14
2.2 军用嵌入式计算机的风险类别构成	16
2.3 军用嵌入式计算机设计风险的识别与控制	17
2.3.1 设计风险的识别与控制基本要求	17
2.3.2 设计风险的识别与控制基本方法	17

2.3.3 不同设计风险层次的主要风险因素分析	18
2.4 制造风险的识别与控制基本要求	22
2.5 军用嵌入式计算机最典型的风险因素	23
2.5.1 新技术新产品	23
2.5.2 集成化散热能力	24
2.5.3 国产元器件验证	24
2.5.4 环境适应性验证	24
2.6 关于 SOC 器件应用风险的应对措施	25
2.6.1 SOC 特性分析	25
2.6.2 SOC 应用的综合保证措施	25
2.6.3 小结	27
2.7 嵌入式计算机长期贮存的潜在风险分析	27
2.7.1 目的和意义	28
2.7.2 试验件状态信息	28
2.7.3 试验件性能与环境适应性综合验证分析	28
2.7.4 试验产品开盖工艺检查	29
2.7.5 试验件产品印制板材及工艺分析	30
2.7.6 试验件产品元器件性能参数变化分析	30
2.7.7 综合分析结论	31
第3章 可靠性设计保证技术	32
3.1 军用嵌入式计算机的构成与设计内容	33
3.1.1 军用嵌入式计算机的构成	33
3.1.2 军用嵌入式计算机的设计内容	33
3.2 不同研制阶段应重点考虑的问题	33
3.2.1 方案(模样)阶段	34
3.2.2 初样阶段	35
3.2.3 正(试)样阶段	35
3.2.4 定型批生产阶段	35
3.3 军用嵌入式计算机的可靠性工程设计注意事项	35
3.3.1 结构设计	35
3.3.2 整机热设计	38
3.3.3 电源设计	38

3.3.4	逻辑设计	40
3.3.5	可编程逻辑设计	42
3.3.6	软件设计	44
3.3.7	可测试性设计	46
3.3.8	元器件选用设计	48
3.3.9	工艺保障性设计	51
3.3.10	电磁兼容性设计	51
3.4	军用嵌入式计算机降额设计中应注意的问题	53
3.4.1	型号产品降额设计的基本内容	54
3.4.2	型号产品降额设计中存在的问题	54
3.4.3	降额设计应注意的事项	56
3.4.4	具体参数降额设计中应注意的问题	58
3.5	弹载串行通信接口可靠性设计	60
3.5.1	设计准则	61
3.5.2	设计方法	61
3.5.3	接口设计注意事项	66
3.5.4	系统常见问题分析及处理	67
3.6	塑封低等级器件在军用嵌入式计算机中的应用技术	68
3.6.1	塑封器件的特性分析	68
3.6.2	全生命周期中影响塑封器件寿命与可靠性的因素分析	69
3.6.3	提高军用电子产品塑封器件贮存可靠性的保证措施	70
3.6.4	小结	72
3.7	电容选用可靠性问题	72
3.7.1	电容器失效因素分析	72
3.7.2	电容器选用设计及操作要求	76
3.8	军用嵌入式计算机调试及试验注意事项	76
3.8.1	控制测试设备状态	77
3.8.2	固化测试项目	78
3.8.3	规范测试记录	79
3.8.4	改进调试工艺	80
3.8.5	调试与试验过程控制	80
3.8.6	完善试验方法	83

3.8.7	电磁兼容试验中常见问题分析	84
3.9	军用小型化国产计算机调试试验技术	85
3.9.1	小型化产品的基本特点	86
3.9.2	调试重点	86
3.9.3	试验重点	87
第4章	军用嵌入式计算机复核复算技术	88
4.1	目的和适用范围	88
4.2	规范性引用文件	88
4.2.1	术语和定义	88
4.2.2	复核复算的内容及时机	89
4.2.3	复核复算内容方法及报告编写的基本要求	89
4.2.4	复核复算会议资料的准备要求	97
4.2.5	复核复算会议专家组成要求	97
4.2.6	复核复算评审会的要求	97
第5章	军用嵌入式计算机缺陷激发试验方法	98
5.1	试验目的	98
5.2	被试产品状态和数量要求	98
5.3	试验项目和方法	99
5.3.1	温度步进应力试验	99
5.3.2	振动量级步进应力试验	100
5.3.3	综合应力试验	100
5.4	试验停止的基本要求	101
5.5	试验数据的记录与处理要求	101
5.6	故障判别准则和故障处理	102
第6章	军用嵌入式计算机系统环境适应性模拟验证	103
6.1	建设军用嵌入式计算机系统环境适应性模拟验证系统的必要性	103
6.2	产品存在的系统环境适应性问题	108
6.3	模拟环境系统方案构造	109
6.4	系统模拟验证功能	109
6.4.1	系统电源特性模拟	110
6.4.2	系统总线特性模拟	112

6.4.3 系统环境等效模拟	112
6.5 系统模拟验证测试项目	113
第7章 国产元器件替代验证技术	114
7.1 国产元器件验证的必要性	114
7.2 国产化替代元器件选用原则	117
7.3 国产化替代验证项目	117
7.4 国产化替代验证方法	118
7.4.1 元器件级替代验证程序及方法	118
7.4.2 整机级替代验证方法	119
7.4.3 系统级替代验证	119
7.5 验证结论确定	119
第8章 军用嵌入式计算机技术质量问题归零技术	120
8.1 质量问题发生的类型	120
8.2 质量技术问题归零的效果	120
8.3 归零的基础含义	122
8.4 归零的科学性	123
8.5 型号归零的方法要求	124
8.5.1 技术归零	124
8.5.2 管理归零	126
8.6 技术归零报告的编写	127
第9章 军用嵌入式计算机贮存维护技术	129
9.1 军用嵌入式计算机产品贮存可靠性影响因素构造模型	129
9.2 军用嵌入式计算机产品贮存维护技术	131
9.3 导弹武器型号贮存过程中加电测试对计算机产品的影响分析	133
9.3.1 常用元器件失效机理分析	134
9.3.2 各类元器件的贮存退化趋势影响分析	138
9.3.3 电应力对典型元器件失效模式产生的影响分析	139
9.3.4 现有型号计算机产品贮存条件下加电间隔能力调查	141
9.3.5 综合分析	142
第10章 军用嵌入式计算机整修延寿技术	144
10.1 整修技术	144

10.1.1	整修方案	144
10.1.2	整修工作实施	146
10.1.3	整修试验考核	147
10.2	延寿技术	148
10.2.1	延寿方案	148
10.2.2	延寿工作实施	149
10.2.3	整修延寿数据记录	152
10.2.4	整修延寿结果评定	153
10.2.5	整修延寿工作总结评审	153
10.3	加速寿命试验对产品功能性能的影响性分析	153
10.3.1	对产品减振器性能的影响	153
10.3.2	对产品外连接器的性能影响	154
10.3.3	对光电耦合器性能的影响	157
第 11 章	试验与测试强度对军用嵌入式计算机的寿命影响	161
11.1	试验强度对整机产品的寿命影响	161
11.1.1	元器件的测试筛选试验	161
11.1.2	整机产品的温度循环试验	162
11.1.3	整机产品的振动试验	163
11.2	测试强度对整机特殊器件寿命的影响	165
11.2.1	擦写次数有限的存储器寿命影响	166
11.2.2	电磁继电器寿命的影响	167
11.2.3	特殊接口器件寿命的影响	167
11.2.4	特制灌封模块寿命的影响	168
11.3	接插件对整机产品寿命的影响	169
11.4	X 光照射及强磁环境对计算机产品功能、性能的影响	169
11.5	综合影响分析	170
参考文献		171
后 记		172

第 1 章 军用嵌入式计算机概述

1.1 引言

航天及军用嵌入式计算机技术历来是各个航天大国重点研究的一个战略领域。在美国国防科技战略中,信息技术及其应用是三大核心战略之一,而作为信息技术的核心之一就是计算机技术。美国国防部迄今为止发布的几次关键技术计划清单中,计算机技术都处于极其重要的地位。

随着我国国防工业新体系建设的不断深入,在航天型号与武器装备的产品配套中,作为信息化、智能控制和精确制导的核心产品,计算机和微电子产品的应用越来越普遍,是各分系统的关键单机产品。计算机与微电子技术及其产品的发展直接决定着航天型号与武器装备系统性能的先进性,作为关键单机产品,其对系统可靠性与寿命的影响起着非常关键的决定作用。

现阶段,由于半导体工艺技术的发展与元器件质量可靠性的提高,以及采用了先进的设计工具进行嵌入式计算机的各项设计,使得计算机产品的质量与可靠性相比早期型号配套的计算机产品有了大幅提升,但是,无论如何,随着使用年限的久远,这些产品都面临着性能退化与寿命预期评估问题。由于早期设计的计算机产品寿命一般为 10 年左右,随着在役型号服役期的不断持续,其配套的计算机产品设计寿命陆续到期,目前更迫切地面临着如何维修保障、如何延长使用寿命和如何预计可使用寿命的需求问题。

本书将重点从军用嵌入式计算机全生命周期中与产品质量和可靠性寿命相关的所有要素的角度出发,对涉及产品质量与可靠性寿命的设计、生产调试、试验、贮存和使用中的全过程保证技术进行综合论述和探讨。主要内容包括设计制造的风险识别与控制技术、可靠性设计保证技术、质量问题归零分析技术、缺陷激发技术、环境适应性模拟验证技术、贮存维护技术、整修延寿技术和寿命评价技术,以及国产化保障技术等方面,期望以此初步建立较完整的军用嵌入式计算机全生命周期可靠性设计与保证技术体系,为在役和在研的军用嵌入式计算机产品可靠性寿命设计与评估提供参考,为提升军用嵌入式计算机的固有可靠性、延长使用寿命提供基础保证。

随着新中国的成立,早期的武器装备绝大多数为缴获或从苏联进口,先进武器主要是飞机和军舰,我国开展“两弹一星”工程研制后,才真正开始了军用嵌入式计算机的研制。国家为了“两弹一星”工程的配套研制,于 1965 年 10 月成立了专门的研究所,即现在的中国航天科技集团公司第九研究院第七七一研究所的前身,开始了我国军用嵌入式计

算机与微电子技术与产品的研发。50 多年来,以航天系统为代表的军用嵌入式计算机技术迅猛发展,尤其是近 10 年,航天科技与航天科工两大集团的各总体院基本都成立了自己的计算机研究所或研究室,使我国军用嵌入式计算机技术的发展出现了既互相竞争又相互促进的发展模式。以七七一所为代表的军用嵌入式计算机产品研制专业研究所的发展,由于专业配套齐全、历史久远、任务众多、经验丰富,不但保证了我国军用嵌入式计算机技术不断发展提高,而且也代表了我国军用嵌入式计算机技术的技术水平与发展方向,它的发展历程完全可以代表我国军用嵌入式计算机水平的发展历程,本书的论述将以此为基础。

1.2 军用嵌入式计算机的分类与用途

在航天型号与武器装备领域,计算机产品按照产品用途属性可以分为用于卫星、飞船、导弹、火箭等的空间计算机和地面特种计算机,以及小型化高度集成的嵌入式系统级封装(SiP)计算机模块。这些计算机所采用的集成电路包括混合集成电路和半导体集成电路。

星、船载计算机主要用于卫星、飞船等空间飞行器的星务综合管理、信息测量、载荷控制和信息存储等。其产品具有冗余冷备份和抗辐照、长寿命的特点。

弹、箭载计算机主要用于导弹和火箭的制导控制、导航控制、导引头目标识别、多信息融合、信息采集与遥测控制,以及舵机和发动机综合控制等。其产品要求具有冗余并行、高速实时、高可靠以及长期贮存的能力。

地面特种计算机主要用于导弹或火箭的测试和发射控制、军舰与导弹火箭发射车综合控制、弹道诸元计算与弹道航迹规划、指挥通信、系统网络控制等,要求能够抗恶劣环境、长期贮存、高速处理并且具有良好的人机交互能力,操作系统能跟随技术发展潮流。

SiP 计算机模块作为计算机、混合集成电路和半导体集成电路三个专业结合的系统集成新产品,具有体积小、耐高低温、抗辐照、高功能密度等特点,是军用嵌入式计算机最小系统的一种形式,可应用于星船载、弹箭载和地面综合电子产品中对体积和重量要求十分严格的系统,其系统集成能力必须依靠混合集成工艺才能实现。

1.3 军用嵌入式计算机的发展历程

我国军用嵌入式计算机的发展历程具有非常明显的历史阶段特征,它与同阶段的工业技术基础和原材料、元器件的工艺水平紧密相关,也与当时的相关政策有关。可以通过两个技术特征得到体现,那就是标准化与国产化。

1.3.1 标准化历程

(1) 首部部标的诞生

在嵌入式计算机研制初期,第一台计算机产品是带有边缘接触插板式的样机,是专为

实验室提供的试验产品,根本谈不上环境适应性要求。在后来战略导弹计算机的研制中,板间所采用的是导线互连的专用连接方式,就像翻书一样,因此简称书页式。无论印制件,还是结构尺寸都属于一种专用设计,无标准化可言。

1983年,军用嵌入式计算机的先驱者——七七一所便开始了LS-83、LS-84等研制任务。当时个人计算机产品已经开始流行,为了在技术上逐步与国际接轨,不管硬件设计还是软件操作系统的应用,都开始借鉴规范化的设计思想。其中,LS-83通用微机系统在硬件设计规范上基本做到了与国际接轨,并将一些新的设计思想带到型号产品设计中。尤其是LS-84微型计算机系统研制成功后,及时将以96线接插件为基础的多总线技术运用到弹载计算机设计中,并大胆地将带接插件的机箱和印制件的设计思想引入到空间应用,形成了航天系统的796总线标准。1985年,航天部将七七一所制定的《微处理机系统总线I》(796总线)上升为部级规范,1997年又将该所的《弹(箭)载计算机设计规范》(QJ 2957—97)上升为部级规范,成功地应用于后来的各型号计算机产品。

(2) 系列机加件标准的制定

“九五”期间,我国开始了32位文档微机的研制,在参考了公开的MultiBUS-II标准的同时,积极分类规划我国的系列标准,当时一大批年轻人在这项研制任务中得到了锻炼成长。

为了更好地贯彻军用嵌入式计算机的结构设计规范,以七七一所为代表的各研制单位,及时地总结了有关设计经验。1985年开展了相关结构部件、零件的标准化工作,先后形成了印制板标准件、紧固件标准件、机箱标准件、螺钉标准件等标准文件,并按此指导设计生产。为了更好地配合批生产,还专门为一些标准件制造了工装模具,极大地促进了当时科研生产的发展和进步。在此期间,又形成了有关阻尼散热三合一印制件的生产工艺规范,解决了单板产品的散热与抗振问题,并申请了专利,如图1-1所示。

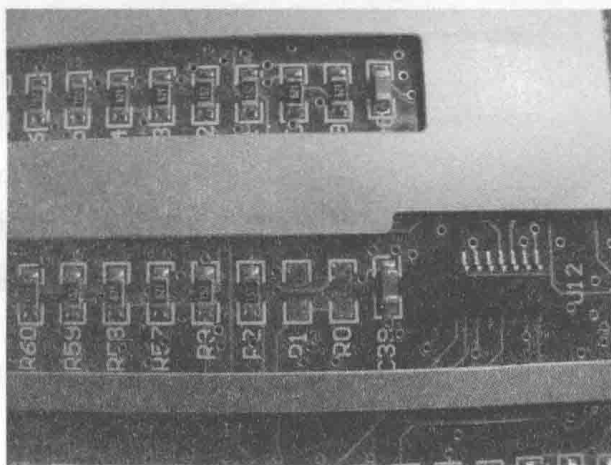


图1-1 阻尼散热三合一印制件专利应用

(3) 标准化系列机箱产品的形成

在20世纪80年代的型号研制过程中,根据任务所给定空间的大小以及战略、战术武器型号的特殊要求,各单位在产品的结构形式和总线连接方式上投入了大量的研制力量,

基本上形成了两大系列产品。

①符合 ATR 标准的双 96 线印制板标准产品

在七七一所,以大型运载火箭计算机为基本型所形成的标准化计算机系列产品,其机箱为拼装式插板结构,内总线基本上都采用我国军用嵌入式计算机的微型计算机内总线标准。双 96 线印制件尺寸为 $240\text{ mm} \times 160\text{ mm}$,机箱尺寸基本符合 ATR 标准。按此规范研制了导弹武器、运载火箭、神舟飞船以及卫星系列等计算机产品。

②专用框架插板式结构标准产品

从 1970 年开始,随着固体发动机的应用,面对嵌入式计算机环境条件相对恶劣而可靠性要求高的特点,所开发的计算机结构及印制件是属于较小尺寸的框架插板式结构。该产品在印制件之间将采用导线软连接形成的书页式结构改为采用 BUS 总线的底板式框架结构,即将软线连接改为单 96 线接插件连接,采用水平插装方式,便于拆卸维修,后续小型战术导弹武器型号产品中大多采用了这种模式。随着战术导弹武器型号大量采用高速数字信号处理器 (DSP),板间互联信号增多,处理速度加快,框架插板式结构标准的产品得到改进和发展,即将单 96 线接插件改为双 96 线接插件。而后随着产品的进一步小型化,又形成了板间连接器接插模式,如图 1-2 所示,这些都分别形成了军用嵌入式计算机专用的系列规范标准。

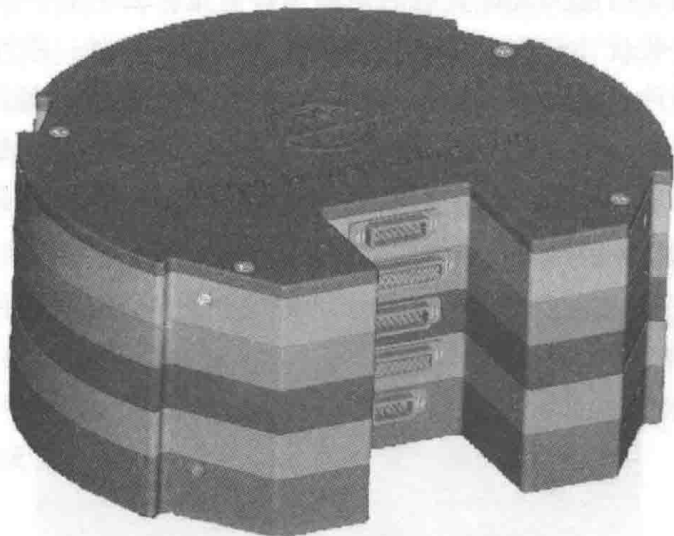


图 1-2 专用框架板间连接结构产品

由于继承性和标准化设计大大缩短了研制周期,为系统及时提供了可用产品,对加快我国导弹武器系统研制工作做出了较为突出的贡献。

(4) 标准星务管理计算机的诞生

从 1996 年至今,航天系统相继研制出了多种型号的小卫星,其中的星载计算机已经历多颗卫星的飞行验证,还有多颗在轨运行。由于设计团队追求标准化研制思路,力争在不同的小卫星中使用资源配置、功能组成基本一致的计算机产品,经过与系统的协调确认,在力争使接口及功能达到一致的情况下,从机箱到印制件等环节形成规范,研制了可