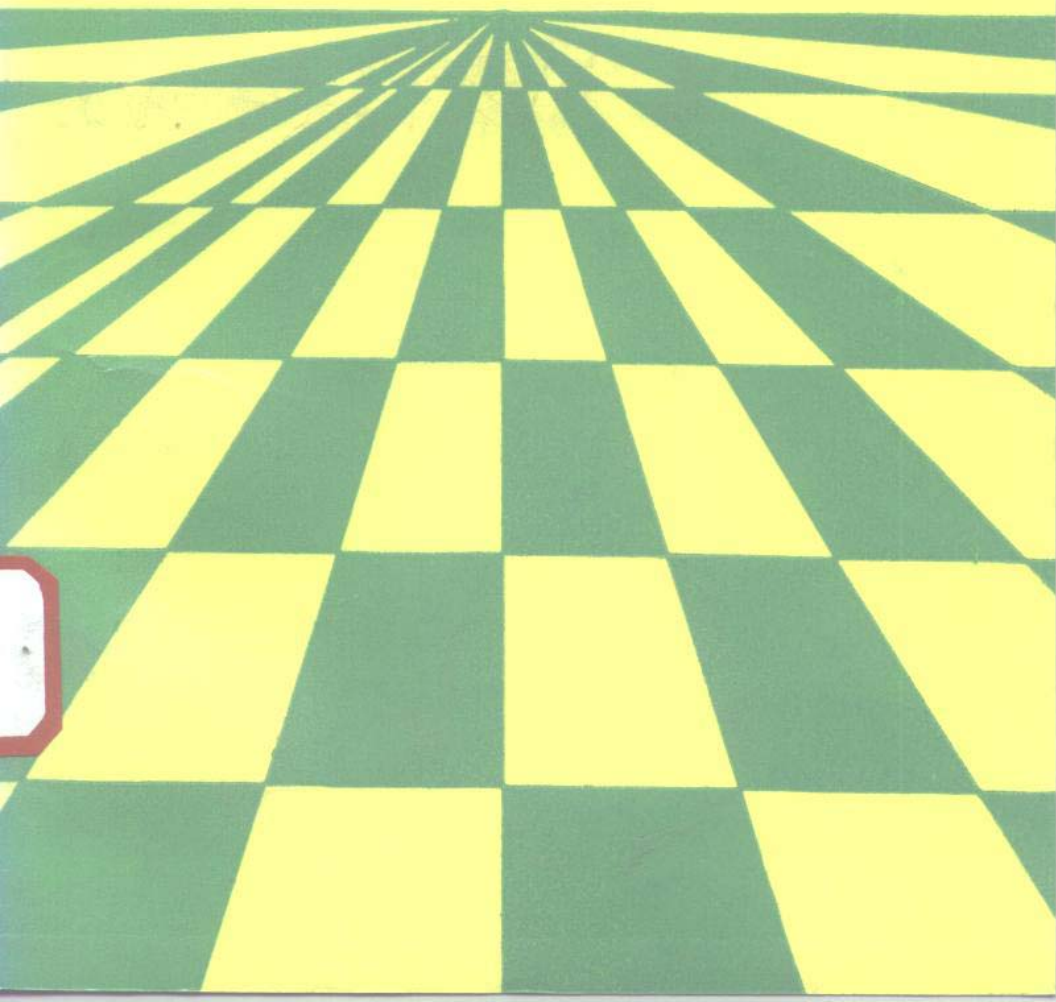


现代测控 管理系统工程

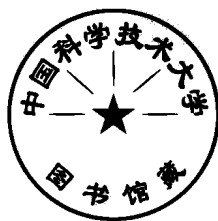
谭维炽 叶万庚 著



N94
T25

现代测控管理 系统工程

谭维炽 叶万庚 著



宇航出版社

(京) 新登字 181 号

2263/13
内 容 简 介

本书从系统工程角度介绍了测控管理系统的最新发展动态和成果,包括分级分布式系统、容错技术、分包测控系统、实时多任务软件和专家系统应用等。同时,还向测控管理系统设计师提供了系统设计的准则和方法,包括电磁兼容性设计、可靠性设计、数据安全和系统工程方法的应用等实用技术。

本书可供从事航天和工业生产的测控管理系统工程技术人员阅读,还可供有关专业的工程技术人员、高等院校的大学生和研究生参考。

现代测控管理系统工程

谭维炽 叶万庚、著

责任编辑:宋 坤

宇航出版社出版发行

(北京和平里滨河路1号 邮政编码 100013)

(发行部地址:北京阜成路8号 100830)

各地新华书店经销

北京市仰山印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 印张: 10.375 字数: 274 千字

1993年9月第1版第1次印刷 印数: 1~1500 册

ISBN7-80034-591-2/TN·055 定价: 12.30 元

前 言

我们写这本书的目的是想向从事设计、开发、制造和使用测控管理系统的工程技术人员奉献一本系统工程知识的书籍。

如果只具备许多具体的电子学和计算机应用的知识，却缺乏系统的概念和方法，不懂得如何从总体考虑设计一个好的测控管理系统，那么他就不是一个合格的工程师。

编写本书的原则是突出“新”和“实用”。首先，用一定的篇幅向读者介绍测控管理系统的最新发展动态和成果，例如分级分布式系统、容错技术、开放性分包测控系统、实时多任务软件系统和专家系统应用等，都是当今设计测控管理系统时需要采用的新技术。可以不夸张地说，在电子信息技术日新月异的时代，如果不会在系统设计中采用上述这些新技术，那样设计出来的系统必定是落后的和没有持久生命力的。

我们希望这本书不但能成为新技术展览的一个窗口，而且希望它同时又是有实用价值的工具。所以，我们用一半以上的篇幅详细介绍了电磁兼容性设计、可靠性设计、安全性设计和系统工程方法等在测控管理系统设计中的应用知识。这部分内容尽可能写得具体，为此揉进了许多国内外的技术标准内容，因为技术标准大多是成熟的技术，在设计中采用它们是可信赖的。

测控管理系统在航天领域和工业生产领域有不同的应用特点，但在许多技术上又是相近的。例如无论什么用途的测控管理系统都比较强调可靠性、实时性和实用性，但是在卫星上的测控管理系统是不可维修的，可能要求设计成容错和具有自动动态重组能力，而在一般工业应用的系统则还要考虑可维修性设计，提高有效度。分包测控系统是根据航天器测控交互支持需要而提出的开放性系统，这种开放系统互连对工业领域可能只在信息管理上有价值，现场测控层一般并不要求互连，但是硬、软体的标准化、模块化和可移植性仍然是十分强调的，等等。这本书同时面

对这两个领域的应用。

在写这本书时，还把自己和同事们的一些工程经验和成果加进去了，其中有的观点是作为学术讨论提出来的，希望抛砖引玉，促进技术的发展。

感谢所有为本书提供过帮助的同志们，感谢曾经与我们在航天领域和工业领域合作过的所有同事和朋友们！

作 者

1992 年 10 月

目 录

第一章 测控管理系统的发展动向	(1)
一、分布式	(2)
二、开放性	(3)
三、容错技术	(5)
四、多媒体	(6)
五、人工智能	(7)
六、正在更新换代的环境	(8)
第二章 分级分布式测控管理系统	(15)
一、概述	(15)
二、现场测控级	(18)
三、过程监控级	(29)
四、综合管理级	(34)
五、工业局网	(38)
第三章 容错系统	(46)
一、概述	(46)
二、容错技术	(48)
三、固有容错能力的计算机系统	(50)
四、复原式容错计算机	(53)
五、美航天飞机容错系统	(55)
六、三机容错的分布式测控系统	(58)
七、容差设计	(61)
八、故障测试诊断	(63)
九、容错系统的评价验证	(65)
第四章 分包遥测和分包遥控	(68)
一、开放系统互连模型	(68)
二、分包遥测遥控概念	(79)
三、分包遥测标准	(83)

四、分包遥控标准	(95)
五、高级在轨系统	(115)
第五章 测控管理软件	(128)
一、概述	(128)
二、高可靠软件设计方法	(129)
三、测控软件实时性	(132)
四、测控软件实用性	(134)
五、管理软件	(140)
六、实时操作系统	(144)
第六章 专家系统在测控管理系统中的应用	(149)
一、概述	(149)
二、专家系统概念	(150)
三、智能控制	(154)
四、系统故障诊断	(159)
五、决策支持系统	(169)
六、结束语	(171)
第七章 电磁兼容性设计	(173)
一、概述	(173)
二、电磁兼容性系统工程	(174)
三、电缆布线设计	(179)
四、连接器	(185)
五、搭接	(187)
六、接地	(191)
七、屏蔽	(194)
八、电源	(198)
九、信号接口	(204)
十、印制板设计	(206)
十一、计算机的发射安全	(208)
十二、电磁兼容性测试	(209)
第八章 可靠性设计	(214)
一、可靠性的工程概念	(214)
二、基于失效分析的可靠性设计步骤	(218)
三、电子元器件的正确选用	(229)

四、降额及边缘设计	(233)
五、电路的可靠性设计	(244)
六、余度设计	(252)
七、环境设计	(257)
八、人机设计	(261)
九、软件可靠性	(264)
十、可维修性设计	(269)
十一、可靠性增长	(271)
第九章 数据系统安全	(276)
一、数据安全问题的提出	(276)
二、数据保护的基本技术	(280)
三、DES 数据加密标准	(288)
四、数字签名	(297)
第十章 系统工程方法	(301)
一、系统与系统工程	(301)
二、系统需求分析和设计决策	(304)
三、系统计划过程	(310)
四、标准化和文档	(315)

第一章 测控管理系统的发展动向

测控管理系统是测量、控制和数据管理系统的简称。它是现代电子和计算机技术的最重要应用领域之一，是实现现代化的工业、农业、国防和科学技术必须重点发展的支柱技术。

在工业生产中，用测控管理系统实现实时数据的采集和集中监测，实现生产过程的自动控制和管理，实现产品质量的自动检验，实现整体目标的优化管理等，对于提高产量和质量、降低成本和能耗、改善生产安全和工作条件，有着极大的作用，已经成为各行业上水平、上效益必不可少的手段。

在空间事业中，无论是对卫星或载人航天器，测控管理系统都是神经中枢，是大脑。靠它沟通空-地信息通道，靠它采集航天器的各种数据，靠它协调航天器各分系统工作，靠它保障航天器可靠运行，靠它执行各种控制命令等等，在一定意义上可以说空间测控管理系统的水平高低就反映了航天器的水平，反映了空间事业水平的高低。

作为一个系统工程的设计师，必须充分了解本领域的最新技术发展动向，搞清楚现在可以采用什么新技术，以及如何适应未来的发展，才能制定出优化的方案。测控管理系统是电子和计算机技术应用最活跃、最有潜力的一个领域，所以它的发展动向是与电子和计算机技术的发展紧密相关的。但是，测控管理系统又不同于单纯事务管理和科学计算用的计算机，它有自身的一些特点，例如实时性、高可靠性、实用性和对象的复杂性等。所以，既要了解计算机技术领域中与测控管理系统结合紧密的一些新技术有所了解，例如分布式、开放性、容错技术、多媒体和人工智能等。更要根据测控管理系统的特点，研究如何应用这些新技术解决一

些特殊问题，以及探寻具有测控管理系统工程特色的实用技术。

一、分布式

分布式计算机系统自 70 年代开始受到重视以来，经过 80 年代的艰苦努力，一些关键技术被陆续攻破，在 90 年代将成为国际潮流，广泛应用。分布式也是测控管理系统的发展方向。

分布式系统定义有多种，但集中起来有以下公认的基本特点：

- 1) 资源分散性：包括物理资源和逻辑资源。
- 2) 结构模块性：每个结点都是完整的模块；
- 3) 工作并行性：任务分布和功能分布对资源或时间是重叠的；
- 4) 协作自治性：各结点平等协作，无主从关系；
- 5) 系统透明性：用户不必关心任务的真实执行者；
- 6) 高可用性：支持容错，实现故障时系统重构和降级使用。

分布式系统包含硬件和软件两个方面。硬件由结点计算机及其网络组成。软件包含分布式操作系统、分布式网络通信软件、分布式数据库、分布式程序语言和分布式系统的自测试诊断软件等。

由于微处理器技术的飞速发展，使计算机正向着无处不用、无处不在的趋势发展，有人称之为 Ubiquitous computing。在测控管理系统中，不但各种工作站、操作站是计算机，而且各种仪表、传感器和执行器单元中都有嵌入式处理器，它们被广泛地联结成分布式系统。

测控管理的分布式系统通常是采用分级分布式的结构，即包含综合管理层、监控层和现场测控层，每一层都有其不同的分工和不同的软硬件特点；但又都应符合分布式原则。综合管理层是以综合优化管理为目标，可能是一个与远程网结合的局域网，以及建立在网上的分布式数据库；监控层是以对控制对象的实时监控为目标，需要上下相连的中速数据网和良好的人机界面；现场测控层直接与测控对象和过程接口，要求可靠性和实时性特别高，

而且高度分散，需要一条实用的现场总线。

今后，分布式系统将进一步把分布式算法、分布式操作系统、分布式数据库、分布式语言、硬件、固件、软件、数据、信息、图象、声音、传真等融合在一起，实现一体化。分布式系统还将引入人工智能，为测控管理任务提供优良的支撑环境。因此分布式是各个发展方面的中心，可以说是在分布式系统的基础上全方位地展开新技术。

二、开放性

目前在计算机领域，开放系统已成为最热门的话题。各大公司都纷纷宣布自己的产品是开放系统，事实上谁要不加入开放系统，谁就不会在市场上站住脚。

在计算机技术发展的早期都是由各厂商独立开发封闭系统。自 70 年代后期开始，尤其是进入 80 年代之后，价格越来越低廉、功能越来越强的计算机渗入到测控管理和办公自动化的广泛领域，必然提出了硬件的互换性和可连接性、软件上的兼容性问题，于是导致了开放系统的形成。

那么，什么是开放系统的准确定义呢？与分布式系统一样，定义是众说纷纭的，但含义是共同的：

第一，开放系统是指在采用国际和工业标准化机构定义的标准（包括标准硬件体系结构和标准操作系统结构）的基础上建立的系统。

第二，通过对接口、服务和各种支持的开放性规范，实现以下目标：

- 1) 应用软件作少量修改后，可在系统内广泛移植；
- 2) 可与远程应用系统合作；
- 3) 能适应各种用户的不同要求。

第三，开放性系统具有高度的结构柔性、可扩充性、软件可移植性、标准化和面向不同层次的用户，由于这些特性使它不仅

适应于今天，还适应未来的超大规模集成电路（VLSI）的发展。

国际标准化组织（ISO）制定出开放系统互连（OSI）的 200 多项标准，几乎覆盖了各个应用领域，90 年代将形成全球性的开放系统。

在空间领域，测控管理系统的开放首先产生了国际空间数据系统标准，全球性地球站网络、空-地网络和空间网络已经逐步形成，各国对航天器的测控完全可以交互支持，由此带来了巨大的经济效益。在没有开放之前，为了扩大对航天器的测控时段，各国都必须在远离国土的地方设置地球站，耗资巨大，往往还不能及时发现航天器的故障和及时抢救。一旦全世界形成统一开放的空间数据系统，就冲破了各国专用测控网的束缚，任何国家都可以运用自如地在任何时刻监视和控制自己的航天器。

在工业上，虽然还没有像空间领域一样直接需要把全世界的测控管理网连在一起，但是应用的可移植性和互操作性的开放环境仍然是十分重要的。可移植性保证硬软体可以直接从一个应用环境迁移到另一环境，互操作性则保证了不同厂商在不同平台上开发的多种应用可以互相共享数据和协同工作，显然这是任何一个用户经常遇到的问题。

开放系统的技术发展方向主要表现在两个方面：一是继续完善和制定各种开放性标准，包括基础标准和功能标准；二是发展一致性测试技术。

开放系统的基础标准包括信息交换标准、文本标准、系统互连标准和公共安全技术标准等。这些基础标准是非常灵活的，提供了多种功能和选项，也就是说自由度很大，往往影响到互操作性。因而需要根据特定应用选定类别、子集、选项和参数，这就是功能标准，或称为功能轮廓，以此避免由于基础标准灵活性而造成实现的不兼容性。空间数据系统就是开放系统的一个子标准，其中 AOS 又是一个孙标准。

所谓一致性测试就是要对实际系统进行测试，看其是否符合功能轮廓。目前这种测试还只是概念研究阶段，但是只有解决这

个问题，才有可能实现真正国际性协调与合作。

目前推出的 OSI 七层模型称做基本参考模型，今后将进一步扩大领域，从一对一通信发展到多系统间通信，以及从以数据为中心的通信转向包括音像的多媒体通信，与分布式系统结合形成开放式分布处理（ODP）等。

三、容错技术

在测控管理领域，可靠性是特别重要的，一个错误的数据可能导致错误的判断，一个错误的命令可能带来毁灭性的后果。

提高可靠性有两个基本途径：一是避错；二是容错。前者是通过各种措施防止发生错误，例如减额设计、热设计、电磁兼容性设计和优选元器件等都是有效的可靠性设计，人们通过实践在这些方面积累了丰富的经验。但是仅此不够，错误总是难免的，高明的设计不但要使错误发生的概率降低，还要在万一发生错误时系统仍然具有得出正确结果的能力，这就是容错。

容错是测控管理系统的重要发展方向。一方面人们利用电子和计算机技术的成果，研制各种容错系统，例如美 Stratus 计算机系统可以实现接近零故障，有人称之为真正的容错机。另一方面则是利用软件使系统在发生部分故障时能自动复原，这种技术充分利用了时间、空间、信息和硬件资源上的冗余，用普通可靠度的设备组成高可靠性的系统。这是当前容错技术的主流。

70 年代容错技术开始大力发展。当时最有名的是 STAR 航天计算机，它的原理是自测试自修复，其核心是三模冗余热系统加上二模冗余冷备份的测试修复处理机，以此管理整机。整机各单元都有两个冷备份，所用元器件数量为同等功能的计算机的四倍，其可靠性可在工作十年期间达到 0.96。此后，大多数星上计算机都是双机容错。80 年代的航天飞机用 5 台计算机完成导航与控制，其中 4 台组成容错机组，发生故障时能自动切换重构。在工业领域，尤其是在重要生产行业，都要求不停机运行，非采用容

错系统不可，目前已经实现商品化的容错系统就不少。

在系统结构上，容错系统大多采用双机、三模冗余、N 模冗余加备份、成对备份、单总线多机或分布式多机等结构。专用容错芯片，例如采用检错码的存储器已投放市场。VLSI 技术大大推动容错技术的发展，已经见到有单片容错机的报导。软件上，除了程序卷回、指令重执、数字滤波、复算、多复制文本存储等，更进一步发展多版本编程和恢复块等容错方案。对于分布式系统的容错还有许多问题需要研究，例如系统重组结构、分布式容错操作系统、分布式容错数据库等。对于测控管理系统的容错，必须满足实时性的要求，考虑特殊的一些问题，如在线自测试诊断的策略，故障如何隔离，系统如何连续动态重组以及系统容错仿真试验等。

四、多媒体

多媒体是 90 年代计算机技术的一场革命，它是人类处理信息能力的第三次飞跃，它使计算机具有综合处理和管理声音、文字、图形、图像以至电视图像的能力，从而根本改善人机界面，以人类最自然的方式交换信息。目前这种技术已经进入迅猛发展阶段。测控管理系统同样存在着人机界面，人们对航天器或者对生产过程的监视和各种控制命令的发布，都将不只是通过键盘和普通 CRT 上的文字，而是可以充分利用视觉和听、说能力。例如，测控数据可以和来自摄像机的电视图像结合在一起，以动画方式显示在屏幕上，再加上语言伴音。人的操作可以直接面对屏幕，无论是写字、作图或者开关动作都在屏幕上，或者干脆用语言来指挥，既自然又方便，完全不必记住与任务无关的那些计算机符号。到那时候，测控管理系统将是多么动人的景象。

多媒体技术中有许多关键技术需要突破。首先是数据压缩技术，因为大量图像和声音信息，大约需要每分钟 2 千兆字节，如果不加以压缩，无论是传输或储存都是不可能的。其次是数字信

号处理技术,必须采用专用的 VLSI 芯片来支持,尤其是涉及到人工智能和模式识别的复杂处理。第三,由于声音和图像都要保持连续和同步,所以需要支持声、文、图的实时处理操作系统和窗口管理环境。还需要提供新的语言工具,对声音、文本、图形、图像等种种形式的信息进行综合管理。

标准化也是多媒体技术推广应用中要解决的重要问题。

在当前,还没有全面实现多媒体技术之时,应该充分在 CRT 图形化上下功夫,使测控管理人员尽可能摆脱计算机键盘和枯燥的文字屏幕,做到“无操作说明书”,完全由 CRT 引导操作。还必须具有充分的操作容错能力。所谓“一看就懂、一学就会”,是系统实用化设计的重要目标。

五、人工智能

普通计算机进行的各种运算操作都是数据处理,但是在实际工程中遇到的问题却往往不是靠计算能解决的,其对象也不是数据而是知识,要靠大脑思考来解决。

人工智能(AI)就是利用计算机通过模拟人类宏观/外显的思维行为,以便高效率高质量地解决客观世界的问题。被模拟的思维行为包括:感知、学习、推理、对象、决策、预测、培植(发明和发现)、联想、直觉等。其中推理是所有智能行为的基础,而联想和直觉是促进推理行为更有效的行为。由于机器的高速度、大记忆容量与准确而不消失的记忆能力,所以在模拟这些行为时,无疑比人类大脑要优越得多。

人工智能在 80 年代取得了很大的成就。其中知识工程、模式识别和机器人三大分支进展很快,开发出来的专家系统已经发展到第三代。第一代是用符号模式处理语言,针对专用应用领域进行开发。第二代是抽象的知识处理型,用户仅需填入该应用领域的知识。目前大家关心的是第三代专家系统,它是带有知识外延(发明)能力的推理机,可以得到创造性解。

在硬件上近 10 年也努力向智能机器进军,结构上趋于采用神经网络化,器件上实现量子化。为了加速知识处理,采用多处理机的并行流水线工作,或者采用超导器件等。

分布式人工智能 (DAI) 也正受到学术界的重视,它的含义是多知识源及其相互通信和控制机理,每个知识源的处理和认识能力都是局限的,但系统则是整体的。分布式专家系统包括分布式知识库和分布式问题求解。

在测控管理领域应用人工智能有特别重要的意义。因为测控管理系统要处理的信息是复杂的,往往不是用明确的数学模型可以描述清楚的。例如,大多数的受控对象是非线性的、时变的、随机性的,很难用一个数学模型来描述它,因而对它的控制也就不能通过严格的数学计算求得答案。尽管采用计算机之后,各种数字控制系统出现了,但大多数尚未摆脱传统的模拟控制的思想,只是用数字化实现而已。真正能发挥计算机功能特点的是智能化控制,例如专家控制系统。它是完全不同于传统方法的控制,先把专家的控制经验(知识)输入计算机,然后在实际控制过程中观察现场,充分运用推理、学习、预测,决策等思维方法,不断外延知识,逐步获得优化的控制效果。除了在控制上可以利用人工智能外,实时多任务的调度也可以用人工智能,只要把调度知识输入调度系统就可以自动适应现场任务的变化。对于一个分布式系统,还需要采用分布式专家系统,即分布在各区域的计算机必须合作求解才能决定控制方案,而且还有可能是多个专家系统的合作求解,这种合作不仅是互相依靠,还可能是竞争性协作。这就需要研究专家系统之间的接口、协调和信息共享的问题。

六、正在更新换代的环境

近年来,由于微电子技术的迅速发展,计算机技术、尤其是微机技术正在为人们创造出一个崭新的应用环境。人们除了应该掌握前面所述的、重要的技术发展动向之外,还要对能够占有的

技术背景做到心中有数,就像一个导演应该首先了解舞台一样。下面展示一些有关的素材,也许会对了解面临的日新月异的环境有所帮助,从而对于设计和选择技术途径有参考价值。

1. 微处理器目前以 386/486 为主

Intel 公司相继推出的 80×86 系列微处理器已经是世界上的主流芯片,它的发展品谱如表 1.1 所示。现在新开发的系统主要为 386/486,今后计划开发的品种也列于表中。

表 1.1 Intel 处理器品谱

型 号	年 代	特 点
8086/8088	1978/1979	16 位芯片,用于第一代 IBM PC 机
80286	1982	速度提高,首先用于 IBM PC/AT 机
80386	1985/1988	32 位芯片, SX 为低价版,取代 80286
80486	1989/1991	单片上大型电脑,内含 120 万个门,取代 80386
80586	1992/1993	每片有 200 万个门,性能是 80486 的二倍,用于对抗 RISC 芯片
80686	1994/1996	多媒体应用,集成 1000 万个门
80786	2000 前	集成 1 亿个晶体管

2. PC 总线在世界上名列第一

美国权威 EDN 杂志在“1987/1988 BUS STRUCTURE STUDY”的调查结果上预言,在未来 10 年中微机总线将主要是 PC、VME 和 STD。几年来,它的预言被完全证实,PC 总线在工业控制领域的应用是其它单线的 1.5~2 倍。

PC 机当初是作为个人计算机设计的,它被使用在办公室管理的环境中。但是由于它的硬软件支持发展迅速,各种开发工具丰富多采,人机界面日益完善,因此对测控管理领域应用也产生了巨大吸引力。工业 PC 机克服了 PC 机的弱点。它是在 PC 机基础上改善了电源和结构,采用 CMOS 器件和固体电子盘存储器。尤其是随着集成度的提高,研制出了 all-in-one,即单板主机,使