

任凤清 编著

发展
及应用

工业控制计算机系统的

冶金工业出版社

工业控制计算机系统

第二版

任凤翔 编著

冶金工业出版社

工业控制计算机系统 的发展及应用

任 凤 清 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
1999

内 容 简 介

本书对工业控制计算机系统进行了全面系统的介绍。全书共十三章。主要内容包括：工业控制计算机的发展历程和我国近期发展工业控制计算机的对策；工业控制计算机系统的体系结构及分类；工业控制计算机系统总线的结构及分类；工业控制计算机的软件工程、集散型控制系统、计算机集成制造系统、工业的网络式控制、模糊逻辑控制；用于工业控制和自动化系统的智能机器人与工业 CT 技术；工业控制计算机技术的应用实例。

本书可供工业控制与自动化专业的技术人员使用，也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业控制计算机系统的发展及应用/任凤清编著. —北京：冶金工业出版社，1999. 5.

ISBN 7-5024-2343-5

I. 工… II. 任… III. 工业控制计算机 IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 06874 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 戈 兰 美术编辑 王耀忠 责任校对 王贺兰 责任印制 李玉山

北京梨园彩印厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1999 年 5 月第 1 版, 1999 年 5 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 9.875 印张; 263 千字; 299 页; 1-2500 册

20.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64013877

冶金书店地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

工业革命的目标是工业自动化，工业自动化的核心技术是工业计算机的应用。《工业控制计算机系统的发展及应用》一书向广大读者介绍了目前国内外迅速发展应用的工业自动化控制最新技术，信息理论、系统理论、系统工程、控制论、计算机技术、总线技术、工业网络技术、软件工程、集散控制系统、计算机集成制造、计算机集成制造系统、模糊控制和工业 CT 技术。

在本书编写过程中，曾得到中国科学院、中国工程科学院、清华大学、北京科技大学、北京工业大学、东北大学、国防科技大学、北京钢铁设计研究总院、河北省科学院、河北科技大学、河北工业大学、解放军石家庄军械工程学院、石油管道学院等有关部门专家的热情指导。邯钢钢铁集团有限责任公司刘汉章总经理在百忙之中为本书作序，公司党委书记王国兴、副书记张建平，公司副总经理李华甫、王竞德、刘如军、杨忠武、孔平、王义芳等对本书的出版给予了热情的支持。邯钢科协和邯钢金属学会的杨树义，科技处黄喜进、薛建铎、杨占林、杨林浩、张长岸，原料部于为民、郑义全，财务处苏英民，自动化部陈好友、马燕森、周健、胡全生、王家鹤、贾建国，重庆市特钢党委书记秦海等领导 and 同志在本书编写过程中都给予热情的帮助和支持，在此，一并表示衷心的感谢。

在本书编写过程中，由于条件所限和本人水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者给予批评指正。

编 者

1998 年 8 月

第 1 章

工业控制计算机的发展历程

1.1 概述

近 10 多年来,计算机硬件性能的提高及价格的下降使得计算机在工业生产过程中得到了广泛应用,并且出现了利用计算机网络技术、分布式数据库、通讯技术等将整个工业生产过程连接起来的计算机集成自动化系统。计算机技术在工业自动化中的重要应用成果,促进了工业控制计算机的迅速发展。工业控制计算机的发展大致可分为以下几个阶段:

(1) 50 年代至 60 年代初为工业控制计算机的开创时期。

(2) 60 年代末至 70 年代为系列化小型工业控制计算机的发展时期。

(3) 进入 70 年代中期后,以微型计算机为基础的工业测控系统获得了迅速的发展和应用。这个时期是工业微型计算机测量控制系统(包括微型计算机自动测试系统、微型计算机数程控装置)和以采用 4C 技术(计算机、通信、控制、CRT)为特征的分散型工业控制系统的发展时期。

(4) 80 年代中后期是工业控制总线发展时期。如 S-100 总线、Multi- I、II 总线, WME 总线、STD 总线以及 IBM PC/XT、AT 总线等。

(5) 90 年代初是一体化的智能控制发展时期。即采用微电子技术,实现机-电一体化,计-控一体化,人-机一体化和智能机器人等先进技术,实现工业控制的高速化发展。

表 1-1 是世界工业自动化市场的发展情况,其中 1985 年销售额为 113 亿美元,1990 年为 389 亿美元。图 1-1 是用于工业自动

化控制工具的市场覆盖与分工。

1.1.1 开创时期

表 1-1 世界工业自动化市场发展情况

技术名称	1985 年的占有率/%	1990 年的占有率/%
机器人	2	2
计算机数字控制	1	1
可编程序控制	5	6
物资储运	8	5
数控机床	9	5
过程控制	12	4
自动化测试设备	12	10
生产制造、信息系统	30	39
CAD、CAE、CAM	21	28

将数字计算机作为测控系统的组成部分，这一思想产生于 1950 年左右。当时，主要着重研究数字计算机在导弹和飞机测控方面的应用。研究表明，把当时已有的通用数字计算机用于测控系统并没有什么潜力。因为那时的计算机体积大、耗能高，可靠性差。50 年代中期，数字计算机开始用于过程控制，最重要的工作开始于 1956 年，当时美国 Thomson Ramo Woolrige (TRW) 航空公司和 Texaco 公司联合提出了一个可行性研究报告，决定针对得克萨斯州 (Texas) 的 Port Arthur 炼油厂的一台聚合装置进行研究，

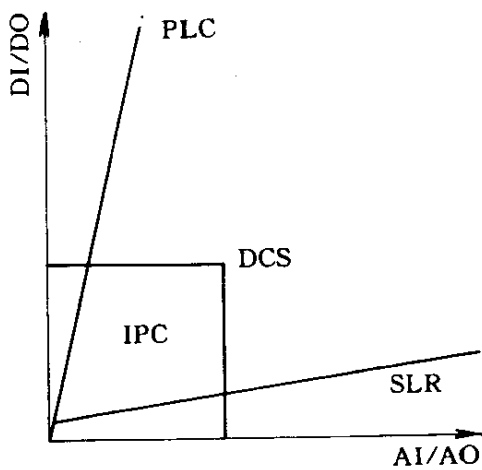


图 1-1 用于工业自动化控制工具的市场覆盖与分工

设计出了一台采用 TRW-300 计算机的聚合装置计算机测控系统。这一系统于 1959 年投入运行，它控制 26 个流量，72 个温度，3 个压力和 3 个成分。系统的基本功能是使反应器的压力最小，确定 5 个反应器供料最佳分配，根据催化剂性能的测量结果控制热水的流入量，以确定最佳循环。这是世界上最早成功使用的数字计算机工业测控系统。

TRW 公司和 Texas 公司的开创性工作，在计算机应用方面开辟了一个新的研究领域，工业界看到了计算机在提高生产自动化程度上的潜在力量；研究机构也看到了一个新的研究领域，纷纷着手研究，而研究的重点是适于过程控制的计算机。

1962 年，英国的帝国化学工业公司 (ICI) 制造出一套以 Ferranti Argus 计算机为中心的过程控制系统。它可以直接测量 224 个过程参数并控制 129 个阀门，是一种新的测控系统。它用数字技术代替了原有的模拟技术，而系统的功能却保持不变，直接数字控制 (DDC) 技术制造简单，通信方便，而且容易实现不同回路间的相互作用。

这个时期的计算机系统速度慢、价格贵、可靠性差，远远不能满足工业测控系统的需要，加之体系结构方面存在的问题，使用起来很不方便。所以，工业测控计算机系统一直未能迅速推广应用。然而，在计算机技术方面的研究工作进展却十分迅速，在有关采样周期的选择、控制算法及可靠性技术等方面的研究有了较大进展。

1.1.2 小型工业控制计算机系统发展时期

60 年代，随着电子工业的飞速发展，数字计算机技术取得了重大进展，以计算机为中心的测控系统迅速发展并推广应用。当时，计算机测控系统中使用 16 位字长的小型计算机，如 CDC-1700、PDP-11 以及 NOVA 等机型。这个时期，计算机测控系统迅速推广应用的重要因素是计算机体积小、速度快、可靠性高、价格便宜。因此，小型工程项目和课题都有可能采用计算机测控系统。由于小型机的出现，系列化小型工业控制计算机系统、CNC

数控装置、小型可编程控制器获得了发展。

1968 年发表的 CAMAC 标准(采用标准接口的计算机自动测量和控制系统), 1972 年发表的 GP-IB (通用接口标准) 正是在这种背景下产生的。

1.1.3 工业微型计算机测控系统发展时期

小型计算机仍然是一个相当大的系统, 尽管计算机的性能不断提高, 价格持续下降, 但是计算机测控系统的广泛推广应用仍然是很困难的事情。1971 年后, 由于微电子技术的发展, 大规模、超大规模集成电路和微处理器的发明, 为工业测控计算机系统的飞速发展和广泛应用打下了坚实的基础。此后, 特别是进入 70 年代中后期, 采用微处理器的各种工业控制装置, 如微型计算机程控装置、数字信号处理技术和信号处理机等相继问世并迅速发展, 推动了传统工业的技术改造和新兴工业的迅速发展。

这个时期工业测控计算机系统有一个鲜明的特点, 即采用开放式结构和总线 (BUS) 系统, 如 S-100 总线、Multi I、I 总线、VME 总线、STD 总线以及 IBM PC/XT、AT 总线等。这个时期, 以采用 4C 技术为技术特征的分散型系统获得发展。

1976 年 IEC 着手研究制定 Prowocy (过程数据公路) 标准规程, 提出了规程草案。后来又出现了 MAP 标准, 为分散系统的发展奠定了良好的基础。80 年代初期, 单回路调节器研制开发成功, 小型分散型控制系统得到进一步发展, 光纤通信技术引入分散型控制系统的公路, 微型可编程控制器及快速通信系统研制成功。

当前, 工业控制计算机一方面仍以大系统和分散对象应用为主, 采用分布式系统结构, 继续发展分散型控制系统; 另一方面为适于工业过程、科学实验和测量自动化, 发展了适合中低层应用层次需要的工业测量与控制系统。后一类系统大都采用开放式系统设计思想, 充分考虑了数据采集、处理、控制等方面的要求, 在继承集中式体系结构的基础上进行联网。1987 年美国 FOXBORO 公司率先推出新一代控制系统——I/A 系列智能自动

化系统，不仅使现今的自动化更具有灵活性、完整性、经济性和安全性，而且为将来的工厂信息集成和自动化系统提出了新的结构。

从近年来国外工业控制的发展不难看出，控制技术的发展和微处理器的广泛应用，给工业控制计算机的发展带来的深刻影响，分布式体系结构和集中式体系结构互为补充，工业控制局域网络成为工业控制计算机系统发展的主要方向，分散控制系统和工业微型计算机测量与控制系统成为代表产品被广泛应用。过程控制与管理有机结合，发展控制与管理集成系统和智能自动化系统已成为当前国际上工业控制计算机系统的发展方向。

计算机技术一方面靠大规模、超大规模集成电路技术的新产品实现计算机的更新换代。另一方面从体系结构入手，运用新颖的结构原理构筑下一代计算机产品。表 1-2 列出了计算机技术发展的四个时代。

表 1-2 计算机技术发展的四个时代

项 目 \ 时 代	批处理	分时共享	台式计算机	网络化
年代	60	70	80	90
器件技术	中 规模集成	大 规模集成	超大 规模集成	极大 规模集成
装设地点	计算机房	终端机房	台子上	移动式
用户	专家	专业人员	个人	群体
用户情况	辅助式	非独立式	独立式	自由式
数据	数字	文本、矢量	点、图形	手写体和声音
使用目的	计算	存取	显示	通讯
用户的工作	穿孔和检验（提交）	打印（交互）	读写（驱动）	问答（感应）
操作	处理	编辑	分布处理	协同工作
互联	外设	终端	台式机	掌上式 PC
应用	常规	标准	通用	组分
语言	COBOL FORTRAN	PL/I BASIC	PASCAL C	面向目标的语言

1971 年研制成功的世界第一个微处理器 4004，单片集成度

为 2300 个晶体管。1974 年推出的 8080 为 5000 个晶体管。1978 年推出的 8086 为 29000 个晶体管。1982 年推出的 80286 为 134000 个晶体管。1985 年推出的 80386 为 275000 个晶体管。1989 年推出的 80486 为 1200000 个晶体管。1993 年推出的 80586 为 4000000 个晶体管。1996 年推出的 80686 为 22000000 个晶体管。预计在 2000 年推出的 80786 可达 100000000 个晶体管。这对缩小体积降低功耗非常重要，特别是具有独立控制功能的单片微型控制器的发展，将对工业控制系统的发展和应用起到巨大的推动作用。表 1-3 列出 MC680×0 系列产品的发展。表 1-4 列出了全球十大计算机芯片制造商及其市场销售情况。

表 1-3 MC 680 × 0 系列产品的发展

系列品种	工艺精度 / μm	工作频率 /MHz	集成管数 /万	处理速度 /MIPS	开发年代
68020	2	16	19	2~5.5	1984
68030	1.5~1.2	20~33	75	5~12	1987
68040	0.8~0.6	25~50	120	20~35	1989
68050	0.6~0.5	150	600	>40	1992
68060	0.5~0.35	300	1500	>80	1995

表 1-4 全球十大计算机芯片制造商

排 名	制造厂商	营业额	市场销售比重/%
1	NEC	49.52	8.5
2	Toshiba	49.05	8.4
3	Hitachi	39.27	6.7
4	Motorola	36.92	6.3
5	Intel	31.35	5.4
6	Fujitsu	30.19	5.2
7	Texas Instruments	25.74	4.4
8	Mitsubishi	24.76	4.2
9	Matsushita	19.45	3.3
10	Philips	19.32	3.3

注：营业额单位为亿美元。

1.2 计算机与工业自动化

电子计算机是在 20 世纪 40 年代中期开始发展起来的。1971 年以来,由于微电子技术的迅速发展,引起科学技术的深刻革命,对发展现代化的工业、农业、国防和科学技术具有极其巨大的推动作用。可以说,当前在所有新技术里,再也没有比微电子技术更令人感到充满希望的了。微电子技术,特别是电子计算机将进入人类生活、工作的各个领域,它给整个社会带来了巨大的变化。从生产到生活以至战争,影响之大是出乎人们的预料的。

微电子技术影响较大的领域之一,是自动化技术工具的进步和完善,自动化技术工具的进步和完善促进了自动化技术的进一步发展,工厂自动化 (FA)、农业自动化 (BA)、办公室自动化 (OA)、住宅自动化 (HA),即所谓“4A”已成为国际上的热门话题。

新的技术带来了新的希望,对于不同国家,机会和希望是要结合具体国情慎重对待的。例如,按照我国的国情,在农业方面,在几亿农民还没有找到新的出路之前,农业自动化对我们可能是很遥远的。

工厂自动化在自动化事业的各个领域无疑是极为重要的。微电子技术,特别是计算机技术在传统产业中广泛应用,能够大幅度提高产品性能和可靠性,增加产品的更新换代能力和速度,节能降耗,促进生产的柔性化和集成化,这将改变各部门的技术装备面貌,进而促进产品和产业结构、生产方式和管理体制的重大变化。由于这种技术和经济的双重需要,使得现代化大工业生产自动化技术工具成为工业设备中非常重要的组成部分。这一点在大型连续性生产的工艺流程中表现得尤为明显。

工业过程控制是计算机的一个重要的应用领域,也是一种不同于一般计算机应用的特殊领域。工业控制计算机正是为满足这一特定的工业应用领域而发展起来的。它是现代工业实现自动化

不可缺少的重要工具。

工业控制计算机是以电子计算机为核心的测量和控制系统，整个工业测控系统通常由传感器、过程输入/输出设备、计算机执行机构等组成。由系统对客观世界的各种工作状态进行实时的数据采集、处理，并对其实施控制，从而完成自动测控任务。例如，用它来实现对生产过程的自动监控，产品质量自动检验，能源自动检测等。这类系统的采用对于提高产品产量与质量，降低成本，确保生产安全，改善工作条件，减轻体力劳动，节能降耗，实现科学管理等具有重要的作用。事实上，现代任何一种工业，如航空、航天、核能、电力、煤炭、石油、化工、冶金、机械、电子、交通、轻工、纺织等都在努力实现这种测控自动化。

这种以电子计算机为核心的测量与控制系统是计算机普及应用中最有潜力、最为活跃的一个领域。随着微电子技术的迅速发展，系统硬件的不断更新，测控理论和软件的不断丰富和增强，计算机控制系统的应用已深入到国民经济建设的各个部门。因而，它对整个国家技术进步影响极大，对传统工业的技术改造，对发展新型加工工业都具有重大的实际意义。

工业控制计算机的出现和发展是工业生产发展的需要，是工业自动化技术发展的趋势。现代化的工厂设备，主设备性能提高，生产工艺更趋复杂，加之现代控制理论的发展，都要求有更完善的自动控制手段和工具以实现复杂的控制过程。例如，完成前馈、超驰以及非线性控制等。微电子技术的飞速发展与普及应用，使模拟仪表系统与数字系统装置联用的条件逐渐成熟。工业控制计算机正是在这种背景下迅速发展起来的。

工业控制计算机进入工业控制领域后，为工业生产的过程控制与管理决策相结合创造了条件，从而使工业自动化从就地控制、集中控制的基础上向综合自动化、集成化生产自动化发展。图 1-2 示出了工业控制计算机的九个关键技术。

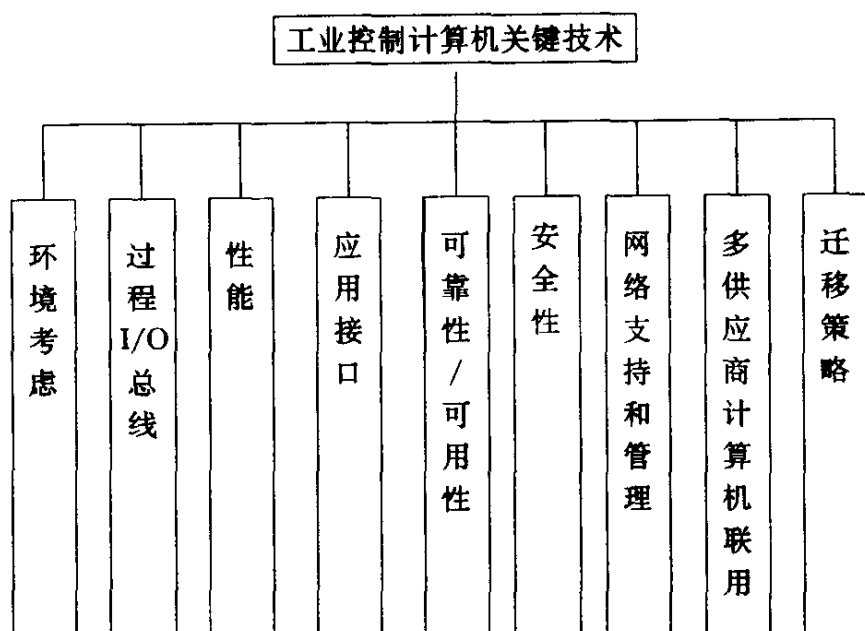


图 1-2 工业控制计算机关键技术

1.3 我国工业控制计算机的研制与发展对策

1.3.1 我国工业控制计算机的发展概况

我国工业控制计算机已有 30 多年的发展历史,经历了从工业巡回检测装置、小型工业控制机发展到以微处理器为核心的单回路/多回路控制器、可编程序控制器、数据库系统、工业控制标准总线模板系列和小型分散式控制系统等几个历程。图 1-3 示出工业控制发展的四个阶段。

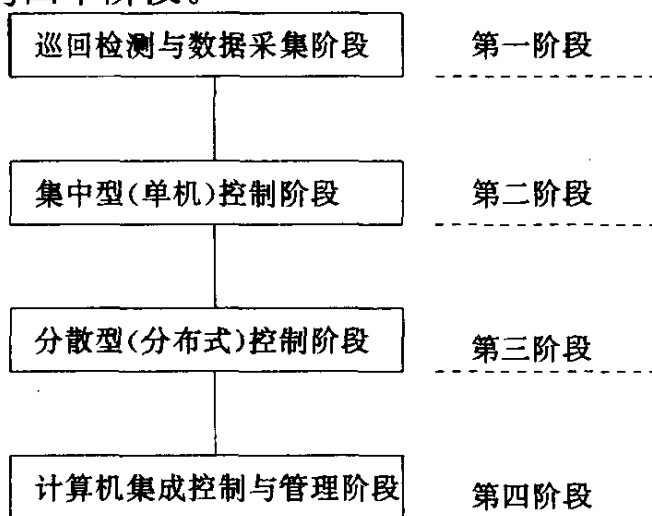


图 1-3 工业控制发展的阶段划分

50年代末期,是我国工业控制计算机技术起步阶段。这个期间,我国开展了数控机床和仪表数字化技术的研究,试制了巡回检测装置,从而推动了工业控制计算机过程输入/输出技术的研究。典型的装置是为风洞试验试制了一套电子管式的巡检、记录、打印装置,通过这套装置的研制,在国内首先研制成功干簧继电器及干簧继电器采样装置并投入使用。首先提出了小信号数据放大器抗共模干扰的概念,为工业控制计算机模拟量输入通道打下了良好的基础。

60年代采用国产第一批晶体管研制了通用巡检、报警、制表装置并投入了小批量生产,工业控制计算机研制成功,通用计算机配置了过程输入/输出通道用于工业控制。在此期间,我国还组织了直接数字控制装置(DDC)的研制,并在石油炼制等领域推广应用。

70年代初、中期是小型工业控制计算机成套设备发展阶段。1973年开始研制系列化小型工业控制计算机系统,发展了低、中、高速过程输入通道系列以及远程过程输入/输出装置,研制了小型工业控制计算机网络系统。与此同时还在全国开展了数控机床攻关,致使数控机床的品种有了发展,此后开展了数控铣床自动编程语言和顺序控制装置以及可编程序控制器的研制,还完成了组件化的CAMAC系统和GP-IB系统的研制。

80年代初是微型工业控制计算机系统与分散控制系统的发展阶段。在这期间,引进了微处理器和一部分大规模集成电路器件,研制了微型工业计算机系统和分散型控制系统的过程控制站、监视操作站。引进了微型数控装置、可编程序控制器、TDC-2000分散型控制系统,单回路调节器等技术,并进行了国产化研究。外部设备、汉字处理系统、微型计算机自动检测系统进一步得到发展。

80年代中、后期工业控制计算机列入国家计算机系列型普及发展规划,大大促进了工业控制计算机的发展。根据国家计算机发展规划,开展了工业控制计算机系统、分散型控制系统、工业控制功能模板系列以及过程通道子系统、自动测试系统和微型计

计算机数控、程控装置等各系列产品的研究开发。其中，自 1984 年以来，工业过程控制 10 大类算式、工业实时控制软件系统及软件包、过程检测控制语言的研究取得成果。我国控制系统计算机辅助设计软件包开发完成，并通过国家鉴定。

90 年代初期，我国将分散型控制系统与工业控制局部网络列入国家攻关计划，并在此方面取得了可喜的研究成果，有的已被应用到工业的各个领域。

1.3.2 工业控制计算机的需求结构

微电子技术，特别是工业控制计算机应用于过程控制和设备配套潜力很大，效益明显，在国内要求迫切。如在建材、化工、轻工、食品、炼油、冶金、机械制造、供电、供水、制药、科学实验等方面都有大量的应用需求。设备配套、机电一体化配套是另一个重要的需求方面，是工业控制计算机 OEM (Original Equipment Manufacturer) 产品应用的主要领域。

工业控制计算机的市场需求存在着大、中、小三个层次，每个层次对自动化水平的要求不同，对自动化系统的结构要求以及自动化投资比重也不同，市场需求层次决定了产品技术层次，它客观上提出了产品发展要在高、中、低各个层次上展开。在我国，不仅要发展适合大工业需要的高层次产品，也需要发展满足大多数中、小层次应用的单机以及为装置配套的 OEM 系统，从系统结构上来看，分布式系统结构是发展的方向，但它不排斥集中式系统结构，两者是互为补充的。表 1-5 列出了我国对微型计算机的需求预测。

表 1-5 我国对微型计算机的需求预测

年 份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
预测销售量 /万台	9.8	10.6	11.8	14	16.8	20	23.5	28	33.6	44
比上年增长 /%	7.69	8.16	11.32	18.64	20	19.5	17.5	19.15	20	30.95

1.3.3 工业控制计算机的发展对策

我国工业控制计算机的发展对策为：

(1) 建立产业。工业控制计算机是我国计算机总体系的一个重要分支，是工业自动化的重要技术工具。工业控制计算机的发展和通用计算机的发展一样，要把建立产业作为今后的一个重要的战略任务，要按照建立效益型的产业要求规划工业控制计算机的产品结构和产业结构。

(2) 发展阶段性原则。工业控制计算机从研究开发到工业化生产的周期比较长，过去一般需4~5a。当前，一方面产品更新速度加快，过长的周期将导致产品落后，也就意味着被淘汰。另一方面工业化生产不允许过于频繁地更替产品，否则工业化生产将难以形成。因而，工业控制计算机要遵循发展的阶段性原则，研究合适的产品更替周期，通过宏观管理加以适当控制。

(3) 以应用促发展。进行层次化部署，我国工业控制计算机市场层次结构决定了产品发展需在高、中、低各层次上展开，要面向应用，全面部署，综合发展。

大、中、小三类产品系统，要本着先中、小系统，后大系统的原则全面部署研究，开发、生产、应用、服务各环节。

(4) 技术上要突出开放系统设计技术、可靠技术、工程化技术（硬件工程、软件工程、测试工艺等）。向技术扩展开放、向用户开放，采用标准化、系列化、模块化设计，不仅能提供标准系列产品，而且能提供OEM产品。有重点地开展工业控制计算机基础技术研究（如智能自动化技术、系统仿真技术等），为新一代系统的开发进行技术准备。

就新产品而言，工业控制计算机不同于通用计算机，它对各具体用户配置不是完全相同的。为适应这一点，要发展组合化的产品和典型配置模式，人-机系统设备、模板、结构件、软件模块、典型装置要定型，实现规模生产，系统上要开发几种覆盖面广的典型系统配置模式，以方便地根据用户要求进行配套。我国工业控制计算机规模生产的基础比较薄弱，近几年通过技术引进虽有