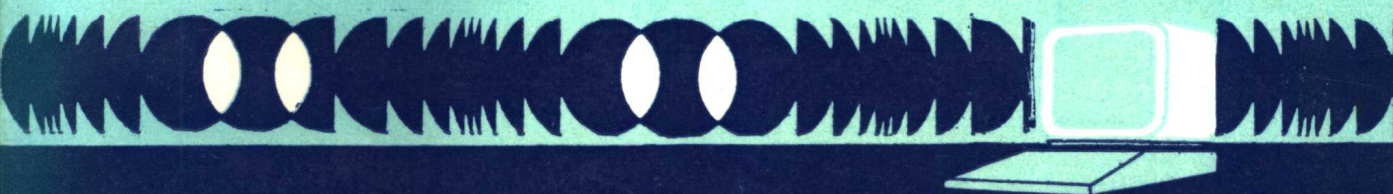


何克忠 郝忠恕 编著

计算机控制系统

分析与设计



CONTROL SYSTEMS OF COMPUTERS

清华大学出版社

计 算 机 控 制 系 统 分 析 与 设 计

何克忠 郝忠恕 编著

清 华 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本书阐述了计算机控制的基本概念，总结了计算机控制系统的分析方法和设计方法，对有发展前途的集散型控制系统以及计算机辅助分析、设计及仿真在控制工程中的应用均作了介绍，最后介绍了计算机控制系统的实现和应用实例。

本书注重理论联系实际，重视解决工程实际问题，为此列举了许多分析、设计和调试方面的实际例子，以便于读者理解和灵活运用。

计算机控制系统分析与设计

何克忠 郝忠恕 编著

★

清华大学出版社出版

北京 清华园

石家庄517厂印刷

新华书店北京发行所发行

★

开本：787×1092 1/16 印张：29.75 字数：727千字

1988年7月第1版 1988年7月第1次印刷

印数：00001—10200 定价：6.15元（压塑）

★

ISBN 7—302—00188—X/TP·74（课）

前 言

《计算机控制系统分析与设计》一书是作者在清华大学计算机科学与技术系多年从事教学、科研的基础上，多次在社会上向科学和工程技术人员开设讲座之后，并吸收了国内、国外的先进理论、方法和技术，经过多次试用，反复修改、总结而编写定稿的。

本书阐述了计算机控制的基本概念；总结了计算机控制系统的分析方法和具有实际应用价值的设计方法；介绍了有发展前途的集散型控制系统；对计算机辅助分析、设计及仿真在控制工程中的应用也作了介绍；最后还介绍了计算机控制系统的实现和应用实例。

本书在编写过程中力求做到：能比较全面、系统地总结计算机控制系统的几种分析方法和各种设计方法，对一些设计方法提出了改进措施；注意到技术的先进性，及时介绍一些新型的控制方法、手段和应用；注重理论联系实际，重视解决工程实际问题；列举了许多分析、设计和调试方面的实际例子，以利于掌握及灵活运用；尽量做到突出重点、层次分明、说理清楚，还列举了大量例子、附图和表格，有助于掌握理解和自学深造。

本书可以作为计算机应用、自动控制及工业自动化专业高年级大学生和研究生的教材或教学参考书，也可以作为广大科学和工程技术人员的参考书。

本书第一至十章由何克忠编写并由他对全书定稿，第十一、十二章由郝忠恕编写。郭木河、张毓凯副教授对本书作了认真审阅，提出了许多宝贵的意见，在此编者向他们表示诚挚的谢意。但是由于编者水平有限，书中难免还存在缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1988年2月

目 录

第一章 计算机控制概论.....	(1)
§ 1-1 典型的计算机控制系统	2
§ 1-2 计算机控制系统的分类	8
§ 1-3 计算机控制系统的结构和组成	12
§ 1-4 计算机控制系统的性能及其指标	25
§ 1-5 对象特性对控制性能的影响	30
§ 1-6 计算机控制研究的课题	31
§ 1-7 计算机控制发展的方向	32
§ 1-8 计算机控制的发展前景	33
第二章 线性离散系统的Z变换分析法	(36)
§ 2-1 概述	36
§ 2-2 Z变换	39
§ 2-3 Z反变换	44
§ 2-4 用Z变换求解差分方程	48
§ 2-5 Z传递函数	49
§ 2-6 线性离散系统的稳定性分析	63
§ 2-7 线性离散系统的动态特性分析	70
§ 2-8 线性离散系统的根轨迹分析法	72
§ 2-9 线性离散系统的频率特性分析法	79
第三章 线性离散系统的离散状态空间分析法.....	(84)
§ 3-1 概述	84
§ 3-2 线性离散系统的离散状态空间表达式	84
§ 3-3 线性离散系统状态方程的求解	99
§ 3-4 线性离散系统的Z传递矩阵	102
§ 3-5 线性离散系统的Z特征方程	103
§ 3-6 计算机控制系统的离散状态空间表达式	105
§ 3-7 用离散状态空间法分析系统的稳定性	108
第四章 计算机控制系统的离散化设计	(111)
§ 4-1 最少拍设计概述.....	111
§ 4-2 最少拍调节器的设计.....	116
§ 4-3 采样频率的选择.....	119
§ 4-4 最少拍无纹波设计.....	121
§ 4-5 最少拍设计的改进.....	126
§ 4-6 扰动系统的最少拍设计.....	132
§ 4-7 最少拍设计的小结.....	134
§ 4-8 W变换法设计.....	136

§ 4-9 根轨迹法设计	138
第五章 计算机控制系统的模拟化设计	(141)
§ 5-1 概述	141
§ 5-2 对数频率特性法校正	142
§ 5-3 数字PID控制	144
§ 5-4 数字PID控制的改进	150
§ 5-5 数字PID调节器参数的整定	155
§ 5-6 数字PID调节器参数的自寻最优控制	161
§ 5-7 设计举例——漆包线涂塑过程的计算机控制系统设计	165
第六章 校正网络的数字滤波器实现及数学模型的转换	(177)
§ 6-1 概述	177
§ 6-2 数字滤波器及其设计	178
§ 6-3 校正网络的数字滤波器的实现	182
§ 6-4 传递函数与Z传递函数间的相互转换	182
§ 6-5 微分方程转换为差分方程——差分变换法	192
§ 6-6 几种离散化方法的比较	193
§ 6-7 连续与离散状态方程的相互转换	197
第七章 状态空间设计法	(202)
§ 7-1 概述	202
§ 7-2 离散系统的能控性和能观测性	202
§ 7-3 状态空间设计法	208
§ 7-4 最小能量控制系统的设计	219
§ 7-5 离散二次型指标的最优控制	223
§ 7-6 离散系统的最大值原理	227
§ 7-7 离散时间线性调节器	229
§ 7-8 几个矩阵运算的结果	230
第八章 复杂规律的计算机控制系统的设计	(232)
§ 8-1 串级控制	232
§ 8-2 前馈控制	245
§ 8-3 纯滞后对象的控制	259
§ 8-4 多变量解耦控制	273
§ 8-5 其它复杂规律控制的介绍	289
第九章 集散型控制系统	(295)
§ 9-1 概述	295
§ 9-2 集散型控制系统简介	308
§ 9-3 集散型控制系统的可靠性	322
§ 9-4 集散型控制系统的应用	331
第十章 控制系统的计算机辅助分析和设计	(342)
§ 10-1 计算机的辅助计算	342
§ 10-2 控制系统的数字仿真	348
§ 10-3 控制系统的计算机辅助设计	378
第十一章 计算机控制系统的实现	(392)

§ 11-1	典型的计算机控制系统概述·····	392
§ 11-2	计算机控制系统的设计·····	393
§ 11-3	计算机控制系统的抗干扰技术·····	403
§ 11-1	数字调节器的计算机实现·····	411
第十二章	计算机控制的应用·····	(417)
§ 12-1	隧道窑微型机控制系统·····	417
§ 12-2	数字随动系统·····	424
§ 12-3	计算机控制示教型机械手·····	433
§ 12-4	微型计算机纯滞后补偿控制系统·····	436
§ 12-5	智能机械手的微型计算机控制·····	444
§ 12-6	用于能源管理的分布式计算机控制系统 ·····	449
§ 12-7	分布式计算机控制系统N-90及其应用·····	453
附 录	拉氏变换和Z变换表 ·····	(462)
参考文献	·····	(466)

第一章 计算机控制概论

自动控制对于工农业生产和科学技术的发展具有重要的作用。也不只是在宇宙航行、导弹制导、核技术以及火器控制等新兴学科领域中是必不可少的，而且在金属冶炼，仪器制造，及一般工业生产过程中也具有重要的意义，实现工业过程的自动控制又为高产、稳产、安全生产、改善劳动条件和提高经济效益创造了条件。

古典控制理论是四十年代发展起来的，但直到现在仍然是分析、设计自动控制系统的主要理论基础，它在工程上应用较多，其中应用较普遍的是频率法和根轨迹法。这些方法用来处理单输入-单输出的单变量线性自动控制系统是卓有成效的。随着科学的发展，技术的进步，自动控制系统日益复杂，出现了多输入-多输出的多变量系统、非线性系统、系统参数随时间变化的时变系统、分布参数控制系统以及最优控制系统等。因此古典控制理论已经难以分析和设计上述复杂的系统了。到六十年代起才逐渐形成了以状态空间法为基础的现代控制理论，现代控制理论的形成和发展为数字计算机应用于自动控制领域创造了条件。

生产技术的进步和科学技术的发展，要求有更加复杂，更加完善的控制装置，以期达到更高的精度、更快的速度和更大的效益。然而，若用常规的控制方法，潜力却是有限的，难以满足如此高的性能要求。由于电子计算机的出现并应用于自动控制，才使得自动控制发生了巨大的飞跃。因为计算机具有精度高，速度快，存贮容量大，以及逻辑判断的功能，所以可实现高级复杂的控制算法，获得快速精密的控制效果，电子计算机所具有的信息处理能力，能够把生产控制和生产管理有机地结合起来，从而实现对工厂、企业或企业体系的管理自动化。

微电子技术和计算机技术的发展，为计算机控制的发展和应用奠定了坚实的基础。电子计算机在经历了电子管、晶体管、集成电路等阶段，现已进入了第五代计算机研制阶段。电子计算机的发展是异常神速的，据统计：自七十年代以来，大规模集成电路的集成度每年几乎增加2倍；如1971年能提供1千位的动态存贮器，而1972年就开始供应4千位的，不久，将会出现256千位的动态存贮器。微处理器的性能和功能也随着集成度的提高在迅速地提高，例如：

4004的指令平均执行时间是 $20\mu\text{s}$ ；

8080的指令平均执行时间是 $2\mu\text{s}$ ；

8086寄存器间的加法时间是 $0.3\mu\text{s}$ 。

随着大规模集成电路技术的发展，微处理器和微处理机的品种正在大幅度增加，各种微处理器、单片机、单板机和微型机系统的品种增长情况，统计如下：

1978年是400种；

1979年是460种；

1981年是600种；

1982年是800种；

另一方面，微型机的成本也在大幅度下降，1980年每个生产微型机部门的费用下降为1974

年的百分之一。

同时微处理机的位数也不断增加，从一位机、二位机、四位机、八位机发展到十六位机，现在已经出现了三十二位机。

计算机控制是以自动控制理论与计算机技术为基础的。当今已具有和需要推广和应用计算机控制的条件、基础和迫切性。计算机控制既是一门新兴的学科，又与自动控制存在着密切的关系。事实上，远在50年代就已经有了采样控制系统的理论，随着计算机控制的推广和应用，人们不断总结，不断提高，逐步形成了计算机控制理论，而计算机控制系统的分析方法和设计方法也正在不断提高的基础上日臻完善。阐述计算机控制的基础理论，概述计算机控制系统的分析方法，总结计算机控制系统的设计方法和控制规律（包括新的集散型计算机控制）是本书的主要内容，同时，联系实际讨论计算机控制系统的实现方法（包括硬件和软件实现），还介绍了一些计算机控制系统的应用实例；此外，对计算机辅助设计在自动控制工程中的应用也作了简略的介绍。

§ 1-1 典型的计算机控制系统

计算机控制的领域是非常广泛的，控制对象从小到大，从简单到复杂都可以由计算机参与控制。计算机可以控制单个电机或阀门，也可以控制和管理一个车间，整个工厂以至整个企业。计算机控制可以是单个回路参数的简单控制，也可以是复杂控制规律的多变量解耦控制、最优控制、自适应控制乃至具有人类智慧功能的智能控制。下面介绍几个典型的计算机控制系统，从而能对计算机控制有一个概貌性的认识，了解计算机控制系统的结构，功能以及计算机控制的特点。

〔例1-1〕 制冷过程计算机控制系统

某工厂的冷库是我国第一座采用计算机控制的万吨级冷库。它有三个制冷系统：-33℃结冻系统；-28℃低温冷藏系统和-15℃高温冷藏系统。

采用计算机对制冷工艺作实时控制的要求是：

- (1) 实现能量匹配的自动调节，以提高制冷效率；
- (2) 对各制冷系统作闭环

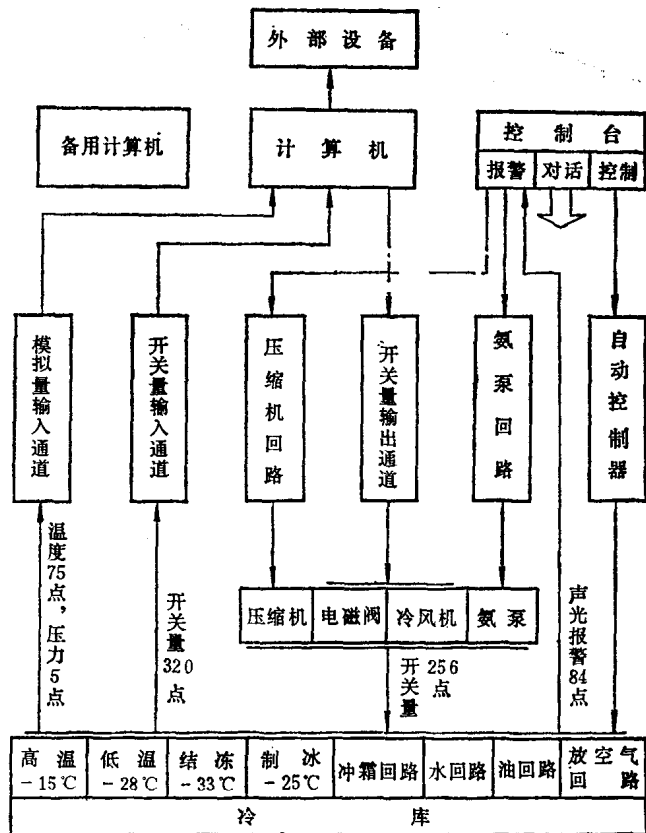


图 1-1 制冷过程计算机控制系统

调节,使高、低温冷库分别实现恒温控制,结冻系统达到速冻、低耗;

(3)对现场参数实现巡回检测,报警监视。

制冷控制是以一台工业控制机为中心,通过模拟量输入通道,开关量输入通道以及中断扩展接口,采集有关工艺参数,并送到计算机进行运算,分析和判断,再通过开关量输出通道以及有关接口进行调节控制。当主机检修时,可进行人工集中检测和遥控。系统如图1-1所示。

计算机控制系统的功能是:

(1)通过模拟量输入通道,对现场75个温度点、5个压力点的参数进行巡回检测,定时打印制表;并可以人工选点巡检,数字显示,人工巡检速度可调。

(2)对现场84个限值监视点进行声光报警监视。

(3)温度的闭环调节

-15℃高温冷藏库房(5间)的恒温调节;

-28℃低温冷藏库(34间)的恒温调节;

-33℃结冻系统(8间)进行速冻、低耗的最优控制;

系统蒸发温度的调节。

(4)自动启停和能量匹

配

对10台氨压缩机进行自动启停,配组及能量匹配控制;

对氨泵回路进行自动启停控制;

对冷风机进行自动启停控制。

(5)事故处理

设备异常事故的处理及备用设备的投入运行

系统及重要设备的事故处理。

制冷过程计算机控制系统操作简便,维修容易,切换灵活,投资少,见效快。系统运转比较稳定可靠,在保鲜质量,降低食品干耗、节约电能、减轻劳动强度,安全生产等方面取得了显著的效果。

〔例1-2〕冷连轧机自动化系统

五机架冷连轧机是把热轧钢卷轧制成要求厚度的带钢卷。轧制速度为1800m/min,板

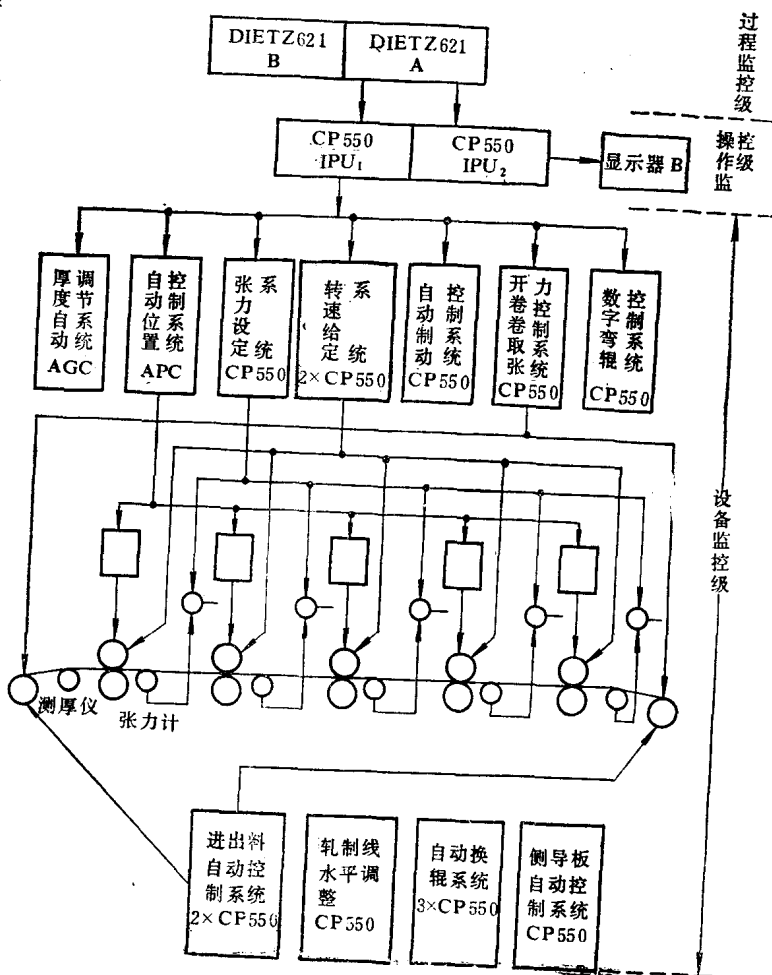


图 1-2 五机架冷连轧机控制系统

厚精度 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。由十七台电子计算机组成分级控制系统。

五机架冷连轧机自动控制系统分为过程监督控制, 操作监督控制和设备监督控制三级。五机架冷连轧机控制系统如图 1-2 所示。

过程监控级由二台 DIETZ621 计算机实现双机控制。

设备监控级由 13 台 CP550 计算机, 数字控制装置, 厚度控制装置 AGC 和液动压下控制系统 APC 组成。

操作监控级由二台 CP550 IPU 组成, 实现过程监控级和设备监控级之间的信息传送。

计算机控制系统是分级控制, 它使设备监控级的计算机软件编制简化, 配置容易, 也使整个系统的故障处理方便。

一、过程监控级

过程监控计算机采用二台 DIETZ621/8 型, 计算机字长 8 位, 指令 89 条, 指令执行时间 $1.9\sim 8.3\mu\text{s}$ 。

二台计算机通过母线, 构成双机系统, 一台在线控制, 有故障时, 另一台通过母线开关切换, 投入运行。

过程控制级的功能有

(1) 生产过程数据和信息的收集

在轧制过程中不断收集生产过程的数据和信息, 供自适应和自学习控制使用, 并且用作生产记录和报表。

(2) 预设计算:

根据钢卷的原始数据, 预先设置最佳的轧制参数, 以便最大限度地利用轧机的轧制能力, 使其达到尽可能高的轧制速度。通过最佳计算, 求出最佳张力、压力比, 以保证轧制带钢的高质量。

(3) 自学习与自适应控制:

对轧制力、马达功率分配等进行自适应计算。

借助于自学习功能使轧制过程自动地不断与波动的材料的性能相适应, 从而得到符合生产实际情况的最佳设定值。

(4) 跟踪轧制过程。

(5) 对马达电枢电流和轧制力监控并事故报警。

(6) 提供生产计划报表。

二、操作监控级

由两台 CP550 计算机 IPU₁ 和 IPU₂ 以及显示器 B 组成, 可实现三种操作: 测试操作, 手动操作和自动操作。

CP550 计算机字长 12 位, 指令 38 条, 指令执行时间 $0.5\mu\text{s}$ 。

手动操作时, 操作工通过显示器 B 的键盘, 把轧制过程所需要的原始数据送 IPU₂ 完成手设定计算, 经显示器 B 显示, 操作工认可, 经 IPU₁ 输送到设备监控级的有关装置。

自动操作时, 操作监控级设定的 182 个设定值经 IPU₂, 并通过显示器显示, 操作工认可后送 IPU₁, 然后, 分送到设备监控级的各有关装置。如发现问题可修正以后再送。

三、设备监控级

由 13 台 CP550 计算机组成设备监控级, 设备监控级由张力设定系统, 转速给定系统等九

个系统组成。

(1) 张力设定系统

修正各机架之间的张力值, 以保证各机架出口厚度不变。

(2) 转速给定系统

用来保证各机架的速度同步, 避免堆料或断带。

(3) 自动制动系统

为了提高生产效率, 焊缝和钢带尾部经过轧机时, 要及时, 正确发出制动信号。

(4) 开卷和卷取张力控制系统

该系统设定的开卷, 卷取张力值是根据轧制过程中开卷机和卷取机的钢卷直径的变化, 由CP550计算机交替计算出开卷机和卷取机的转矩, 并换算成电流值输出, 控制开卷机和卷取机的调节系统, 从而达到开卷机和卷取机的恒张力控制。

(5) 弯辊控制系统

控制正负弯辊, 改善带钢板型以保证钢板质量。

(6) 进出料控制系统

钢卷直径自动测量和对中, 自动拆带, 自动寻带头和预开卷, 带头矫直和自动喂料, 进出料端钢卷小车位置控制, 上下料辅助装置的控制。

(7) 轧制线水平位置控制

换辊以后, 由于工作辊和支撑辊辊径变化, 使得下工作辊水平位置高度有变化, CP550计算机将各机架的轧制线调整到要求的标高。

(8) 自动换辊系统

系统的三台CP550计算机, 控制换辊动作, 使换辊速度提高, 从而提高生产效率。

(9) 侧导板和压板控制系统

轧制过程中, 由CP550计算机调整相应的侧导板和压板, 以防止带钢在穿带和出料过程中跑偏。

五机架冷连轧机自动化系统由于计算机的参与, 提高了产品的质量, 增加了产量, 减轻了劳动强度, 降低了能耗, 收到了较高的效益。

〔例1-3〕 热带钢连轧机分布式控制系统

热带钢连轧的工艺流程是: 板坯从板坯库进入加热炉加热, 根据轧制规程以一定节奏将板坯从加热炉送往粗轧区轧制, 然后, 经过中间辊道进入精轧区轧制成要求尺寸的带钢, 再经过热输出辊道冷却, 最后由卷取机卷取, 经传送链送到钢卷库。

热带钢连轧机分布式控制系统如图1-3所示。

分布式控制系统由监督计算机(SCC), 前端处理机(FEP), 设备控制器(PC), 环形数据通道(MDWS)和显示操作站(CRT)等组成。

监督计算机(SCC)采用两台MELCOM350-50/A2500计算机, 一台在线运行, 另一台离线备用兼作后台作业, 有故障时, 手动切换。

前端处理机(FEP)由五台MELCOM350-50/A2100计算机组成, 帮助监督计算机处理大量中断请求, 提高监督计算机吞吐率和整个系统的实时处理能力。

设备控制器(PC)采用MELPLAC-50分布在生产现场作分散控制用。根据信息流量最少的原则按区域划分, 并根据要求快速响应的功能及独立功能者单独配置的原则选用。

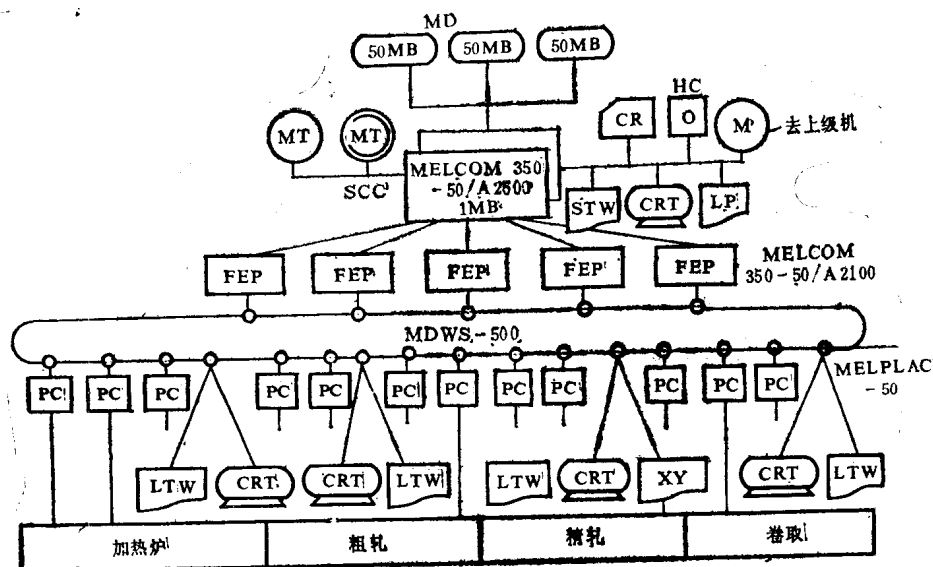


图 1-8 热带钢连轧机分布式控制系统

M—调制解调器	MDWS—数据通道系统
HC—硬拷贝机	FEP—前端处理机
MD—硬盘	CRT—显示器
FD—软磁盘	PC—设备控制器
MT—磁带机	LP—行式打印机
CR—读卡机	LTW—行式打字机
XY—XY记录仪	STW—系统打字机

前端处理机（FEP）和设备控制器（PC）采用共享通道结构的分布式系统。数据通道 MDWS-500 为环行串接的位串行传送信息的专用通信装置，传送线路为一条同轴电缆，传送速度是 6.144Mb/s （每秒兆位），站间距离可达 2km 。设备控制器（PC）采集的数据经过数据通道后，转换成逻辑数据送往监督计算机（SCC），使过程输出信息得以共享，大大节省了导线和敷缆的费用。

设备控制器（PC）的程序可以由监督计算机编制，经数据通道装入设备控制器。采用这种方式便于对分布式系统进行集中维护和监视。

采用分布式计算机控制方式可以使硬件价格下降，电缆和敷线费用降低，减少功能复杂性，提高实时的响应性能，系统的可靠性提高，故障的危害性减小，使用、维护和扩展简便，使系统的性能价格比大大提高。

〔例 1-4〕 同步质子加速器计算机控制系统

12GeV （120 亿电子伏特）能量的同步质子加速器是一个十分复杂、庞大的系统，它由四段加速器组成： 750keV （75 万电子伏特）高压倍加预注入器、 20MeV （20 兆电子伏特）直线加速器、 500MeV 增强器和 12GeV 主环同步加速器。

计算机控制系统按二级递阶网络设计，计算机直接连到高速数据线上。计算机网络有一台中央计算机（CC），一台软件开发机（SD）和六台卫星计算机（ $S_0 \sim S_5$ ）。中央计算机和其它七台计算机是通过连接单元（CLU）连接的。卫星计算机分别担负加速器各部分的数据采集与控制。中央计算机及卫星计算机的位置分布及其功能示于图 1-4。

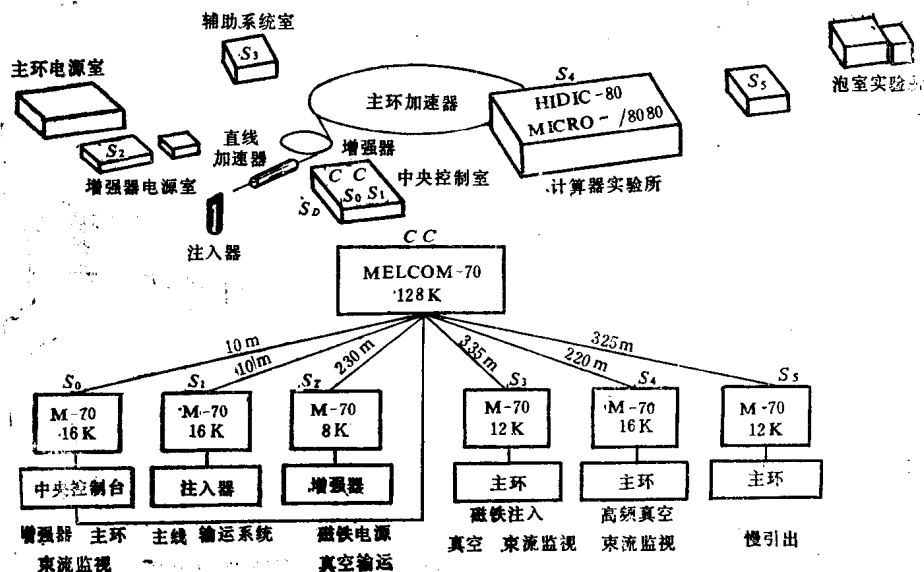


图 1-4 加速器计算机控制系统的分布及功能

计算机网络由8台MELCOM-70计算机组成,如图1-5所示。中央计算机内存为182千字,还有一个盒式磁盘以及为了软件研制,数据记录及信息显示的外围设备。卫星计算机内存最大为16千字,各有一个过程输入输出控制器、显示器和操作台。

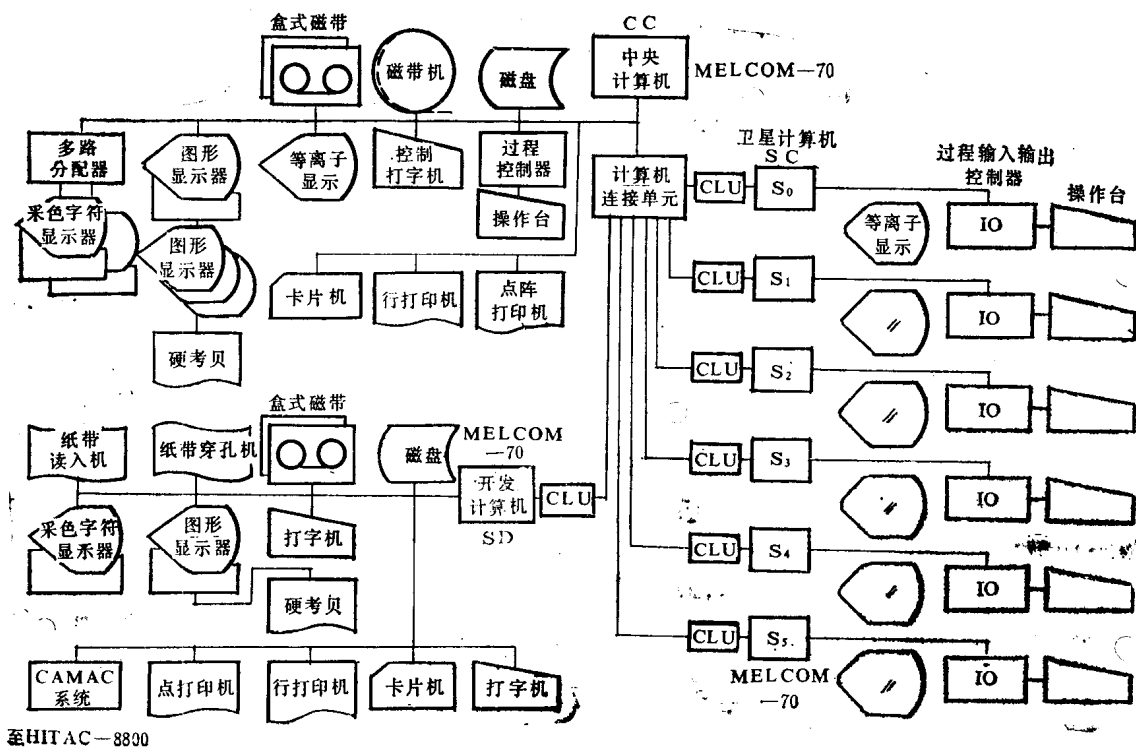


图 1-5 加速器的计算机控制网络

中央计算机和卫星计算机之间数据交换是用半双工高速并行数据总线进行通信的。数据按8位字节交换, 传送速率为100千字/s, 计算机之间的传输距离最长为335m。

过程输入输出接口有中断输入, 数据输入, 数字输出, 脉冲输出, 模拟输入和模拟输出。过程接口插件做成标准形式, 插到控制器的接口总线上, 控制器再 接到MELCOM-70 的输入/输出通道的过程控制器上。束流发散度、剖面、强度和位置等探测器的快速数据测量是通过DMA直接和内存交换数据。卫星计算机的过程接口原理图如图 1-6 所示。

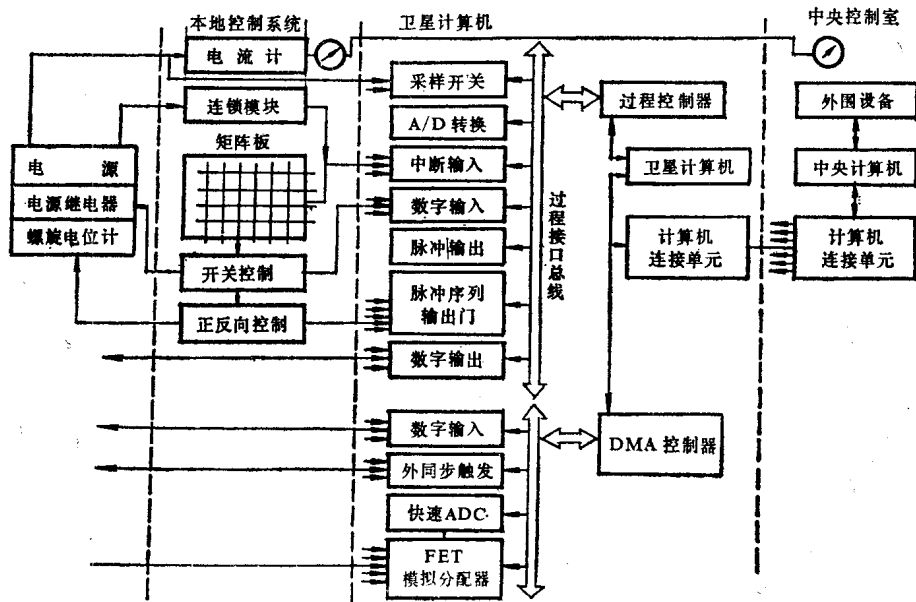


图 1-6 卫星计算机的过程接口原理图

中央计算机 (CC) 内存128千字, 使用实时磁盘操作系统 (RDOS)。RDOS有 前台管理功能, 前台做实时控制, 后台做软件研制工作。软件开发机 (SD) 内存为32千字, 也配有RDOS。其它卫星计算机 ($S_0 \sim S_5$) 上, 装的是实时管理程序 (RTM), 全部驻留在内存, 长度为4千字, 只管理16级任务。

连成网络的八台计算机使用的是实时FORTRAN语言, 占内存24千字, 编译系统是用汇编语言写的, 有覆盖功能, 16千字内存就可以使用。各卫星机里的应用程序如数据采集, 设备控制, 有的用FORTRANW, 也有用汇编语言写的, 束流特性等显示程序大部分是用 实时FORTRAN写的。这些程序在CC机和SD机上调好后, 用二进制的结果程序装配到各 卫星机里。

上面简略地介绍了四个计算机控制系统, 一方面可以大致看出计算机控制系统的使用情况, 计算机控制系统的概貌, 如系统的结构, 组成、规模、功能以及特点等。另一方面, 从这些例子大致可以看出计算机控制系统的类型及其分类。

§ 1-2 计算机控制系统的分类

计算机控制系统的分类方法很多, 可以按照系统的功能分类, 也可以按照控制规律分类, 还有按照控制方式分类的。

一、按照功能, 计算机控制系统可分为:

(1) 数据处理系统

尽管数据处理不属于控制的范畴，然而，一个计算机控制系统离不开数据的采集和处理。

数据处理系统对生产过程大量参数作巡回检测、处理、分析、记录以及参数的越限报警。对大量参数的积累和实时分析，可以达到对生产过程进行各种趋势分析。计算机数据处理系统如图 1-7 所示。

在〔例 1-1〕制冷过程控制中，对 75 个温度点，5 个压力点的参数作巡回检测，定时打印制表。对现场 84 个限值监视点进行声、光报警监视，可以看作计算机数据处理系统。

(2) 直接数字控制 (简记为 DDC)

计算机通过过程输入通道对控制对象的参数作巡回检测，根据测得的参数，按照一定的控制规律计算机进行运算，运算的结果，经过过程输出通道，作用到控制对象，使被控参数符合要求的性能指标。

直接数字控制与模拟调节系统有很大的相似性，直接数字控制是以一台计算机代替多台模拟调节器的功能。由于计算机的特点，除了能够实现 PID 调节规律外，还能进行多回路串级控制、前馈控制、纯滞后补偿控制、多变量解耦控制以及自适应、自学习、最优等复杂规律的控制。直接数字控制系统如图 1-8 所示。〔例 1-1〕制冷过程计算机控制系统中的温度控制可以看作是直接数字控制。

(3) 监督控制 (简记为 SCC)

监督控制中计算机根据生产过程工艺参数和数学模型给出工艺参数的最佳值，作为模拟调节器或数字调节器的给定值。监督控制系统如图 1-9 所示。

监督控制的效果取决于数学模型的精确程度。监督计算机是离线工作方式，不直接参与过程调节，而是完成最优工况的计算。在有的系统中：计算机在执行监督控制的同时，也兼做直接数字控制。

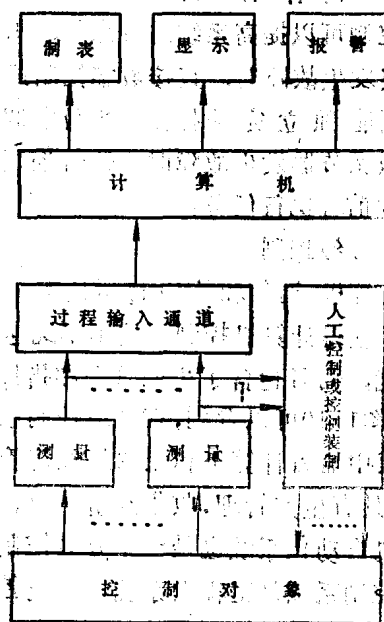


图 1-7 计算机数据处理系统

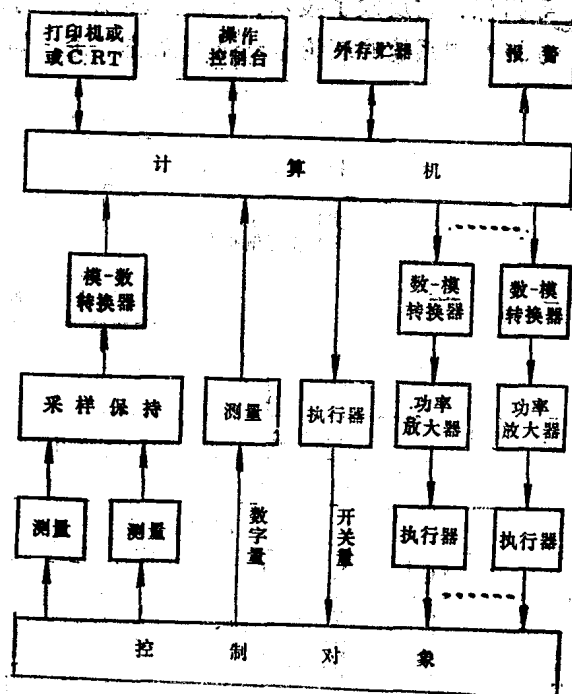


图 1-8 直接数字控制系统

在〔例 1-2〕冷连轧机自动化系统中,可以把设备监控级中的自动位置控制系统 (APC), 张力设定系统等和 操作监控级的IPU₁看作是监督控制。

监督控制可以提高系统的可靠性, 当监督控制级发生故障时, 直接数字控制或模拟调节器能独立完成操作。当数字调节器或模拟调节器发生故障时, 监督控制级可以代替前者执行任务。

(4) 分级控制

现代计算机、通信和CRT显示技术的巨大进展, 使得计算机控制系统不单纯包含控制功能, 而且包含了生产管理和指挥的功能。从图1-10可以看到, 在分级控制系统中, 除了直接数字控制和监督控制以外, 还包含了工厂级集中监督计算机和企业级经济管理计算机。在企业级经济管理中, 除了管理生产过程的控制, 还具有生产管理, 收集经济信息, 计划调度和产品订货, 运输等功能, 所以〔例 1-2〕中冷连轧机自动化系统也是一个分级控制系统。

分级控制系统是工程大系统, 分级控制所要解决的不是局部最优化问题, 而是一个工厂, 一个公司乃至一个区域的总目标或总任务的最优化问题, 也即综合自动化问题。最优化的目标函数包括产量最高、质量最好, 原料和能耗最少, 成本最低, 可靠性最高, 环境污染最小等指标、它反映了技术、经济、环境等多方面的要求。

分级控制系统的理论基础是大系统理论。如果把“古典”控制理论称为第一代控制理

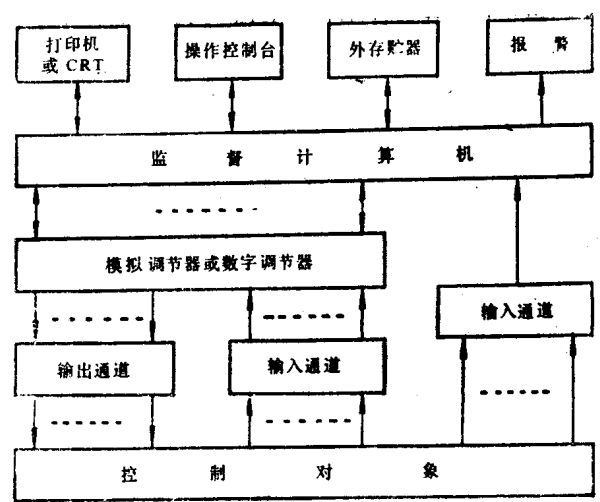


图 1-9 监督控制系统

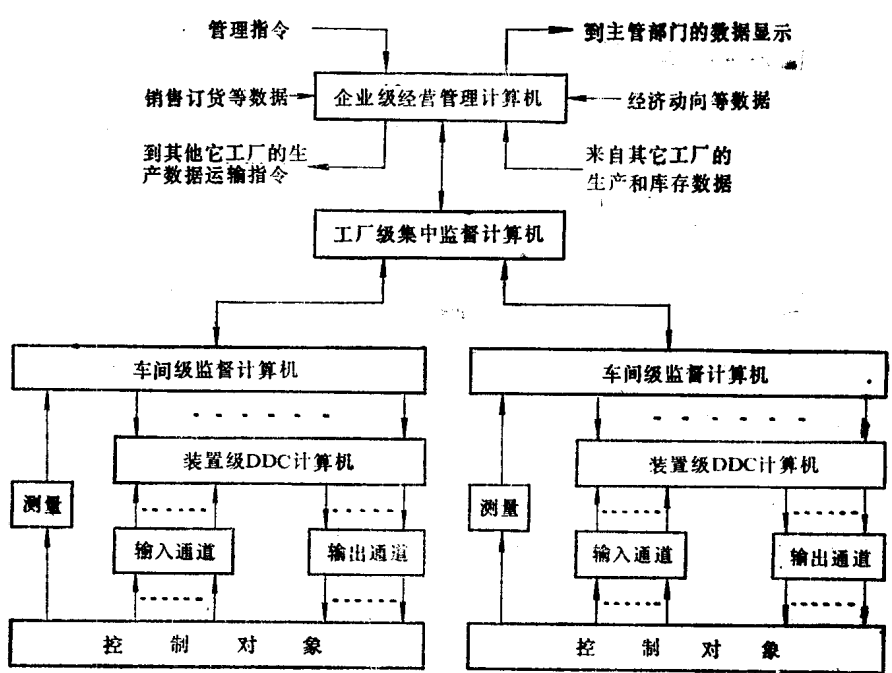


图 1-10 分级控制系统