

高等学校教材

数据采集与控制

詹宏英

黑龙江科学技术出版社

131434

TP274
2734

数据采集与控制

詹宏英

黑龙江科学技术出版社
电子工业出版社

内 容 简 介

本书主要论述数据采集与控制的有关内容。鉴于现代科学技术发展的趋势,本书着重论述以微型计算机及大规模集成电路为基础的数据采集与控制系统的基本原理,以及有关的工程设计和实现方法。

全书共分七章。第一章介绍数据采集与控制的概况;第二、三、四章着重论述数据采集系统的内容,包括基本知识、主要部件、系统的组成以及工程设计方法;第五、六、七章论述有关控制的问题,包括控制系统的组成、控制器的数学模型,常用控制算法以及工程设计方法。

本书可作为高等学校工科电子类非自动控制专业的教材,也可供从事电子测量技术及自动控制的工程技术人员参考。

数 据 采 集 与 控 制

詹 宏 英

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

电子工业出版社出版

黑龙江省地方国营山河印刷厂印刷

黑 龙 江 省 新 华 书 店 发 行

787×1092毫米 16开本 15.25印张 315千字

1991年6月第1版·1991年6月第1次印刷

印数:1—400册 定价:3.00元

ISBN 7-5388-1087-3/TP·18

前 言

本教材根据电子工业部工科电子类专业教材 1985~1990 年编审出版规划,由高等学校工科电子类专业无线电技术与信息系统教材编委会仪表与测量编审小组征稿、评选、推荐出版。

数据采集是实现电子测量的一种重要手段,也是自动控制系统中的一个必不可少的环节;控制技术已广泛用于生产过程、科学研究等领域。目前国内外已有不少关于数据采集和控制方面的书籍,但它们的内容往往只侧重于某一方面。本书力图将这两方面的内容溶为一体。在数据采集方面,首先阐明数据采集系统(亦即控制系统的模入通道)涉及的基础知识和主要部件,然后着重论述具有微型计算机的自动数据采集系统及设计;在控制方面,论述控制系统的组成形式、控制器以及模出通道的执行部件,还进一步介绍控制系统数学模型的建立方法、数字控制器的各种算法、数据处理方法以及系统设计等问题。在论述过程中尽量将硬件和软件结合在一起。鉴于具体程序取决于微型计算机的类型以及所采用的语言,本教材在软件方面一般仅介绍到程序流图为止。书中附有思考题或习题供读者练习,为使理论联系实际还可以根据学生专业的具体情况,结合任务进行工程设计或科学实验。在全书的最后给出主要参考资料供读者查阅。本书着重论述以微型计算机为基础的数据采集与控制,其目的在于拓宽非自动控制专业学生在控制领域的知识。

在编写本教材的过程中,编者总结了过去的教学经验,阅读有关参考资料,力求取材先进、概念清楚、叙述简练、图文并茂、利于教学、便于自学。本书由东南大学詹宏英副教授编写、北京邮电学院汪雍教授主审。

仪表与测量小组的专家们,对本书的编写提出了宝贵的指导性意见和改进意见。此外,东南大学田良副教授、陈天授副教授也提出了许多宝贵的意见,并给予大力支持。在此一并表示衷心感谢。

本教材可用于非控制专业本科学生或研究生的专业(选修)课。参考学时为40学时。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 概论	(1)
§1 概 述	(1)
§2 典型的计算机数据采集与控制系统	(2)
一、多通道数据记录仪	(2)
二、测量过程的自动校零	(3)
三、同步质子加速器计算机控制系统	(4)
§3 计算机控制系统的分类	(6)
一、数据采集系统	(6)
二、数字控制系统	(6)
三、监督控制系统	(7)
四、分级控制系统	(8)
五、分布式控制系统	(9)
六、计算机网络	(9)
§4 数据采集与控制的发展趋势	(10)
一、采用微型计算机和大规模集成电路	(10)
二、多机应用	(10)
三、专家智能	(11)
思考题	(11)
第二章 数据采集系统的基本问题	(12)
§1 信号	(12)
一、信号源	(12)
二、时域信号的表现形式	(13)
三、数据采集系统中常见的连续信号	(15)
四、信号品质的表征	(17)
§2 信号传输	(18)
一、问题的提出	(18)
二、模拟信号的传输	(19)
三、数字信号的传输	(19)
§3 信号调理	(22)
一、信号调理电路的组成	(22)
二、信号调理电路的输出幅度及输入信号的允许误差	(24)

§4 采样的基本概念	(26)
一、采样输出函数	(26)
二、采样定理及有关问题	(28)
三、采样频谱的混迭	(29)
四、有限宽度的采样和孔径时间	(31)
§5 量化和编码	(33)
一、量化	(33)
二、量化误差	(34)
三、编码	(37)
§6 信号恢复	(41)
§7 数据采集系统的主要参数	(45)
习题	(49)

第三章 数据采集通道的主要部件 (50)

§1 概述	(50)
§2 传感器的作用及其发展	(50)
一、传感器的概念	(50)
二、传感器的分类	(51)
三、传感器的发展趋向	(51)
§3 温度传感器	(52)
一、热敏电阻	(52)
二、热电偶	(55)
三、IC温度传感器	(56)
§4 位移传感器	(57)
一、应变片	(57)
二、电磁速度敏感元件	(59)
三、电容式位移传感器	(60)
四、数字式位移传感器	(61)
§5 流量传感器	(62)
一、压力应变片传感器	(62)
二、流量传感器	(63)
三、液面传感器	(64)
§6 光传感器	(65)
一、光敏电阻	(66)
二、光敏二极管和光敏三极管	(66)
三、光电倍增器	(67)
§7 光导纤维传感器	(69)
§8 模数转换器	(71)

§9 数据采集系统中的模数转换器	(74)
一、双极性逐次比较式A/D转换器	(74)
二、提高A/D转换速度	(76)
三、比列式A/D转换器	(78)
四、对数式A/D转换器	(79)
§10 A/D转换器的应用举例	(82)
一、模拟信号的数字处理	(82)
二、精密测量装置	(83)
三、瞬态波形记录仪	(84)
习题	(86)
第四章 数据采集系统的设计	(87)
§1 概述	(87)
§2 系统方案选择	(87)
一、基本的数据采集系统	(87)
二、微机化的数据采集系统	(88)
三、多输入通道数据采集系统	(89)
四、巡回检测	(89)
五、两级数据采集系统	(90)
§3 数据采集系统的硬件设计	(92)
一、系统的分辨率	(92)
二、采集精度	(92)
三、采集速率	(93)
四、系统的定时和控制	(95)
§4 数据采集系统的软件设计	(96)
一、程序设计语言	(96)
二、程序设计过程	(97)
三、程序结构的考虑	(97)
四、应用程序设计举例	(98)
§5 模块式数据采集系统	(101)
一、模块式芯片	(101)
二、模块式数据采集系统AD364	(102)
三、AD364的应用	(103)
§6 高速数据采集系统的实现方法	(106)
一、DMA方法	(106)
二、取样式A/D转换	(115)
§7 数据采集系统设计举例	(117)
一、采集速率的选择	(117)
二、巡回检测输入电路的设计	(119)

三、输出缓冲器的设计	(122)
四、单片机数据采集系统的硬件和软件设计	(127)
习题	(128)

第五章 自动控制系统基础知识 (129)

§1 自动控制的意义	(129)
§2 开环控制系统和闭环控制系统	(129)
§3 闭环控制系统的组成及主要指标	(134)
一、控制系统的组成	(134)
二、描述控制系统的三个基本量	(134)
三、自动控制系统的主要性能指标	(135)
§4 控制系统的数学描述	(137)
一、数学模型的描述方法	(137)
二、闭环系统的传递函数	(138)
三、系统的干扰信号及数学描述	(139)
四、前馈控制系统及其传递函数	(140)
§5 控制器的类型	(141)
一、控制器的典型环节	(141)
二、PID控制器	(146)
§6 执行器	(147)
一、功率放大器	(147)
二、电动机	(150)
三、数模转换器	(151)
习题	(165)

第六章 微型计算机自动控制系统 (167)

§1 微型计算机自动控制系统的特点	(167)
一、回顾	(167)
二、为什么要采用微型计算机控制系统	(167)
三、计算机的控制过程	(168)
四、微型计算机在控制中的典型应用方式	(168)
§2 微型计算机控制系统的数学描述	(170)
一、微型计算机控制系统的组成	(170)
二、模入和模出通道的数学描述	(171)
三、计算机传递函数的离散形式 $G(Z)$	(173)
四、计算机传递函数离散形式的另一种求取方法	(174)
§3 几种常用控制算法	(176)
一、数字PID控制算法	(176)
二、PID控制算法的改进	(178)
三、数字控制器的直接设计方法	(186)

§ 4 数字滤波	(194)
一、算术平均法	(194)
二、中值滤波法	(195)
三、防脉冲干扰平均值法	(196)
四、惯性滤波法	(196)
五、程序滤波法	(196)
习题	(197)
第七章 微型计算机控制系统设计	(199)
§ 1 微型计算机控制系统设计的基本要求	(199)
一、系统操作性能要好	(199)
二、通用性要好, 便于扩充	(199)
三、可靠性要高	(199)
四、设计周期要短, 价格要低廉	(200)
§ 2 微型计算机控制系统设计的一般步骤	(201)
一、确定控制任务	(201)
二、选择微处理器和外围设备	(201)
三、建立数学模型确定控制算法	(202)
四、系统总体方案设计	(202)
五、硬件和软件的具体设计	(203)
§ 3 微型计算机系统的设计	(203)
一、系统的选择和配置	(203)
二、总线负载能力的考虑	(205)
三、专用微型计算机系统的设计	(207)
§ 4 微型计算机控制系统的抗干扰技术	(211)
一、提高微型计算机控制系统可靠性的措施	(211)
二、抗干扰措施	(212)
§ 5 微型计算机控制系统设计举例	(217)
一、伺服系统数字控制器的设计	(217)
二、计算机控制的机械手设计	(219)
三、炉温控制系统的设计	(222)
附录A 拉氏变换和Z变换表	(227)
附录B 一、常用微处理器的基本性能	(228)
二、常用单片微型计算机的基本性能	(231)
参考资料	(232)

第一章 概 论

本章概略地叙述数据采集与控制的发展过程，以及今后的发展趋势。

§ 1 概 述

自从有人类文化以来，人们在社会生活和生产劳动的过程中，就制造出各种各样的检测和自动控制装置。

我国西汉时期，曾制造一种指南车，车在行进中不论车体如何转向，车上木人的手臂始终指向南方。这种指南车基本上就是运用齿轮体系通过反馈作用，使指示器（木人手臂）稳定方向的。被认为是世界上最早的自动控制机械之一。

在欧洲工业革命时期，众所周知，蒸汽机改造家瓦特设计的蒸汽调节器，是一种依靠负反馈作用自动地使蒸汽机的送气和负载相协调的装置。

这方面的事例很多，不能一一举例。但是，这些成就的获得主要是依靠直观的创作和发明，缺少理论的分析 and 描述。

随着人类社会的进步，二次大战期间由于战争的需要促进了自动控制技术的发展，进而产生了控制论。它又进一步推动着人类的进步，飞机自动驾驶仪、火炮位置控制系统、雷达天线控制系统以及其他一些以反馈控制方法为基础的军用装置系统都相继出现。在此期间，工业生产过程的自动化也大大地得到发展。但是，人们由于其生理和心理的限制，对于生产过程中的快速控制已经显得力不从心。曾经有研究成果表明，人的两个神经刺激之间的反应周期一般是 $1/50s$ ，因此从事生产劳动的人们是无法把握比这更快的变化过程。

另一方面。二次世界大战以后，在20世纪40年代末期，电子计算机问世。它一出现就立即受到各方面的重视。自动控制这个领域也不例外，在50年代的中期和后期，计算机首先在炼油、化工等生产过程中的应用获得一定程度的成功。但是，当时由于使用磁鼓作为计算机的内存贮器，计算机的运算速度低，尺寸又很庞大。又由于计算机是主机架式结构，集中按装在中心控制室内，为了取得过程仪表的输入信号以及将输出信号送到控制系统的执行器，不得不敷设很长的信号线。因此，这种计算机与生产过程的连接很困难，安装、启停和维护也很不方便。但是人们没有放弃计算机用于自动控制的兴趣和愿望，仍然不懈地进行工作。

由于电子工业的不断发展，计算机从大型的主机架式结构发展成为小型计算机，以后在70年代早期又出现了微型计算机。微型计算机刚一出现，就产生了非常深刻的影响：系统的硬件费用急骤减少，可靠性大大提高，体积减小又大大缩减了安装空间和仪表尺寸。现在可以将生产过程各种操作单元的控制硬件设计成为以微型计算机为基础的控制设备，直接放置

在接近检测点和控制点的地方。或者说，将原来集中在中心控制室的计算机控制“分布”到更接近于检测点和控制点的地方，从而产生了新的“分布控制系统”。

现今，自动控制已经不仅仅限于生产过程的控制，也广泛用于电子测量技术。例如，精密的电子测量必须在标准环境（规定的温度、湿度，气压）中进行，温度的自动调节（或称自动控制）就是一个必要的条件；又如，在频域测量技术中，信号源的频率必须是稳定的，实现信号源频率稳定的最好途径就是具有频率负反馈的自动控制系统。

自动控制系统，尤其是具有负反馈的闭环控制系统，它能使控制系统的性能更加完善。在负反馈控制系统中一个重要的问题是不断地了解被控对象的情况、要对它进行测量，根据测量的结果再对被控对象施加相应的控制作用。在以计算机构成的控制系统中，对被控对象的测量亦称为数据采集。因此，在闭环控制系统中数据采集是一个必不可少的问题。现今，数据采集技术亦广泛用于电子测量以及其他领域。

很长时间以来，控制系统的研究都是直接面向连续时域系统的。自从数字计算机用于自动控制系统之后，由于计算机是数字式的，致使控制系统的研究亦已转移到离散时域系统这个范畴。

§ 2 典型的计算机数据采集与控制系统

在工程技术中，数据采集与控制的应用极其广泛，下面举几个典型例子。

一、多通道数据记录仪

这里介绍的多通道数据记录仪是能检测六路模拟输入信号的微型计算机数据采集系统，如图 1—1 所示。由于数字化测量技术具有精度高、灵敏度高、测量速度快、读数直观

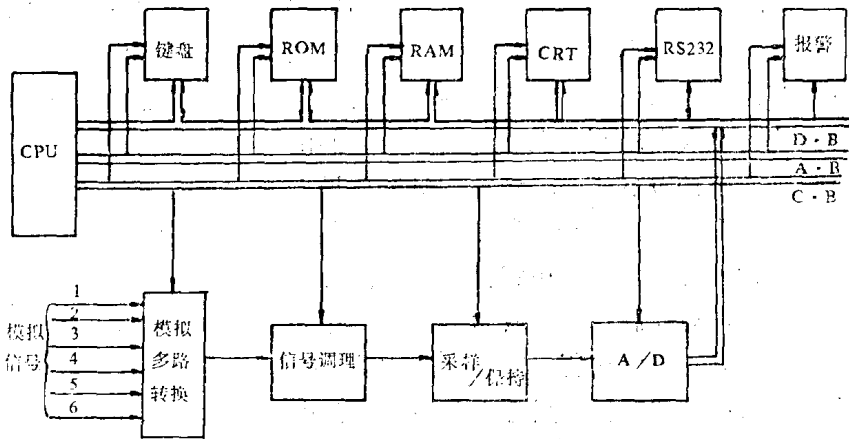


图 1—1 6 通道数据记录仪

等一系列优点，近代的测量大多采用数字化测量技术。特别是在具有计算机的测试系统中，必须将被测量的模拟量转换成能被计算机接收和识别的数码。数采集系统就是能完成这种任务的测量系统，并且能对测量数据进行存贮和处理。在图 1—1 的 6 路数据采集系统中，能对 6 路信号进行巡回检测，主要包含模拟多路转换器、信号调理电路、采样/保持电路、A/D 转换器以及计算机系统。该微型计算机系统可以存贮数据于 RAM 中，并且可以对数据进行处理，将结果显示或打印输出，对测量中遇到的反常现象发出自动报警，还可以通过

RS—232串行接口将数据输送到远处。

二、测量过程的自动校零

一般的测量过程是利用传感器将被测的非电量转化为电量，再将电信号经过变换器转化为相应于标准电平的电压量，然后经过A/D转换器变成数字量，输入到微型计算机进行数据处理。

但是，传感器和变换器的输出都会随温度、时间发生漂移，给测量带来系统误差。为了克服系统误差，有两种方法。其一，在设计电路时就选用零点漂移小的高质量传感器和变换器；其二，是在电路上自动校零。一般而言，后一种方法比前一种好，尤其是在具有微型计算机的测量系统中，自动校零方法已经得到广泛采用，其中又有硬件校零和软件校零之分。

1. 硬件自动校零

硬件校零是指由硬件在固定算法下调节校零的补偿量，从而达到消除零点漂移影响的目的，其原理见图1—2。校零的具体过程如下，先通过继电器J给传感器输入零电位信号

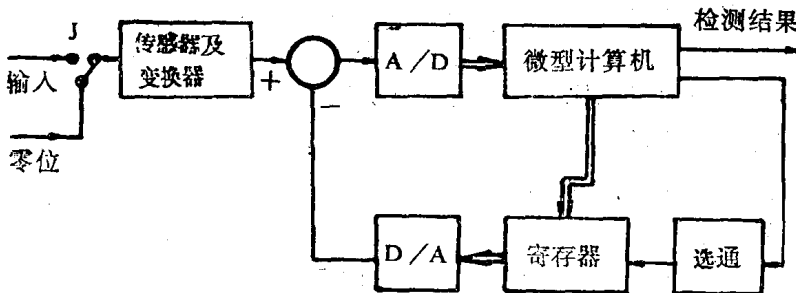


图1—2 微机测量系统的自动校零原理

（通常为地电位）接着计算机按指定的算法使调零补偿量 X_c 等于传感器输入零信号时的输出（零点漂移） X_0 ，并使 X_c 在测量过程中保持不变。而后再通过继电器J输入被测量进行测量。假设传感器及变换器在测量信号时的实际输出为 X' ，则

$$X' = X + X_0 \quad (1-1)$$

式中 X ——被测量；
 X_0 ——零点漂移量。

由图1—2可见，A/D转换器的输入量 X_i 为

$$X_i = X' - X_c \quad (1-2)$$

将式（1—1）代入（1—2），并注意到 $X_0 = X_c$ ，则得

$$X_i = X \quad (1-3)$$

由式（1—3）可见，进入A/D转换器的信号已经消除了零点漂移量。

按照控制算法，又可将硬件自动校零方法分为开环式和闭环式两种形式。

开环式：当零位信号输入传感器进行自动校零时，先置D/A转换器输出为零，将 X_0 加到A/D转换器的输入端，并转换成数字量，经计算机处理后送D/A转换器，转换成校零补偿量 X_c ，而后对于自动校零的结果（即 X_c 是否等于 X_0 ）不再进行检查，开环式自动校零除了具有速度快、控制算法简单等优点外，还有一个优点就是没有闭环系统所存在的稳定性问题，动态设计十分方便。但是，当元件特性发生变化或者受干扰信号影响时，会给自动校零带来误差。

闭环式：闭环式与开环式的主要差别在于闭环控制算法能不断地将 X_0 与 X_c 的相减信号由A/D转换器转换成数字量，并对其检查。若 $X_0 - X_c$ 不等于零，则改变校零补偿量，直至A/D转换量的输入为零。闭环方法的主要优点为：抗干扰能力强，元件特性变化时对其影响小。但速度稍慢，且动态设计比较困难。

2. 软件自动校零

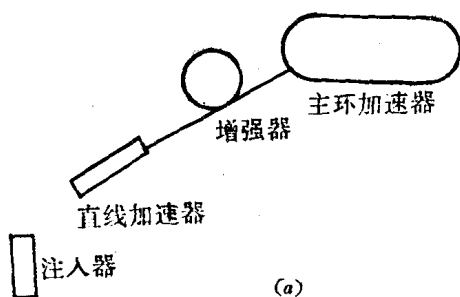
软件校零是在原有检测系统的基础上，仅设置零位输入切换开关J，利用软件功能实现自动校零。其过程为：首先将零位信号输入传感器，再将其A/D转换结果存入计算机中，以后在检测时将获得的数字量扣除该结果，就得到去除漂移的被测量。这种方法最简单，但是如果漂移较大，那么在测量时零点漂移值占据了A/D转换器输入量的一定范围，将导致测量动态范围缩小，精度降低。

由上述两种校零方法可知，硬件开环式自动校零具有算法简单、速度快、没有动态稳定性问题等特点，但精度难以保证。为了提高校零精度，可在开环式硬件校零之后（已基本上完成校零任务），再经过一次软件校零（进行微量校零），实现硬件和软件相结合的校零。这种校零方法效果比单纯软件校零或开环式硬件校零好，而校零速度又比闭环式的快，控制算法的设计又比较简单（可以采用比例控制算法）。对于有一定自动校零精度和快速要求的场合，很适合采用这种校零方法。

三、同步质子加速器计算机控制系统

同步质子加速器是高能物理研究中的一种重要装置。这里介绍12GeV（12亿电子伏特）能量的同步质子加速器，如图1—3（a）所示，它由四段加速器组成：750keV高压倍加注入器、20MeV直线加速器、500MeV增强器和12GeV主环同步质子加速器。（简称主环加速器）。

计算机控制系统按两级网络设计，它们都直接接到高速数据总线上，其中有一台中央计算机，一台用于软件开发的开发计算机和六台卫星机（ $S_0 \sim S_6$ ）。中央计算机和其他七台计算机是通过连接单元（CLU）连接的，卫星机负担加速器各部分的数据采集与控制。中央计算机及卫星机的关系示于图1—3（b）中，各卫星机的作用在图（c）中均有说明。



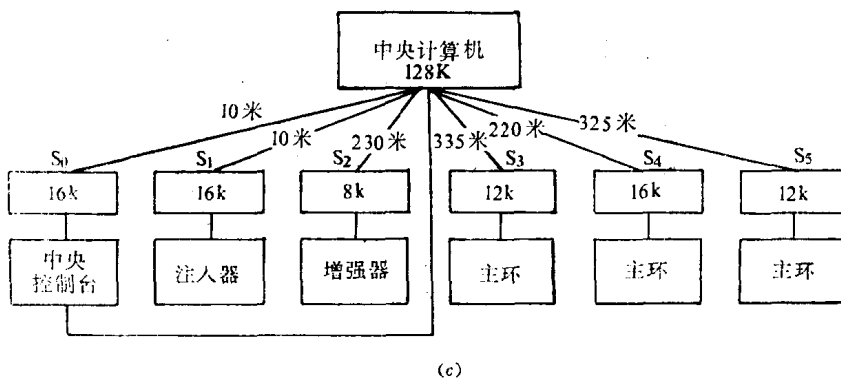
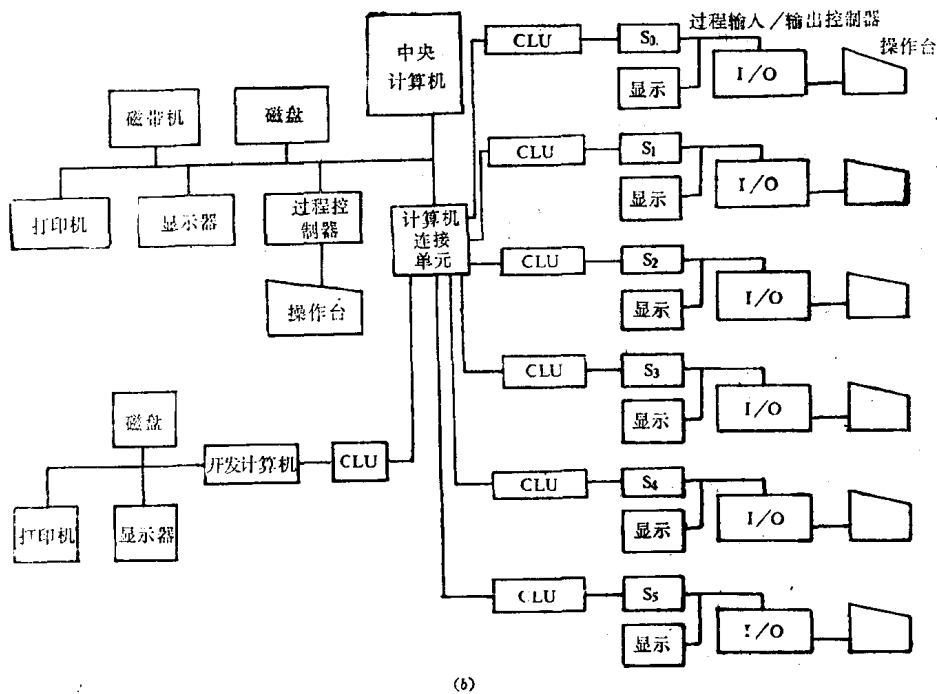


图 1—3 加速器计算机控制系统的分布及功能

(a) 加速器组成示意图

(b) 计算机系统分布图

(c) 计算机网络结构图

中央计算机的内存为128千字，除去为了软件研制的数据记录以及信息显示的外围设备以外，还具有操作台和过程控制器。卫星计算机内存最大为16千字，各有一个过程输入/输出(I/O)控制器、显示器及操作台。在本加速器系统中，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的，数据按8位字节变换，传送速率为100千字/秒，计算机之间的传输距离最大为335米。

计算机的接口原理图示于图1—4中，过程输入/输出接口有中断输入、数字输入、数字输出、脉冲输出、模拟输入和模拟输出等等。过程输入/输出接口插件做成标准形式，插到控制器的接口总线上。控制器再接到中央计算机的输入/输出通道的过程控制器上。卫星计算机的快速数据是通过DMA方式直接和内存交换数据的。

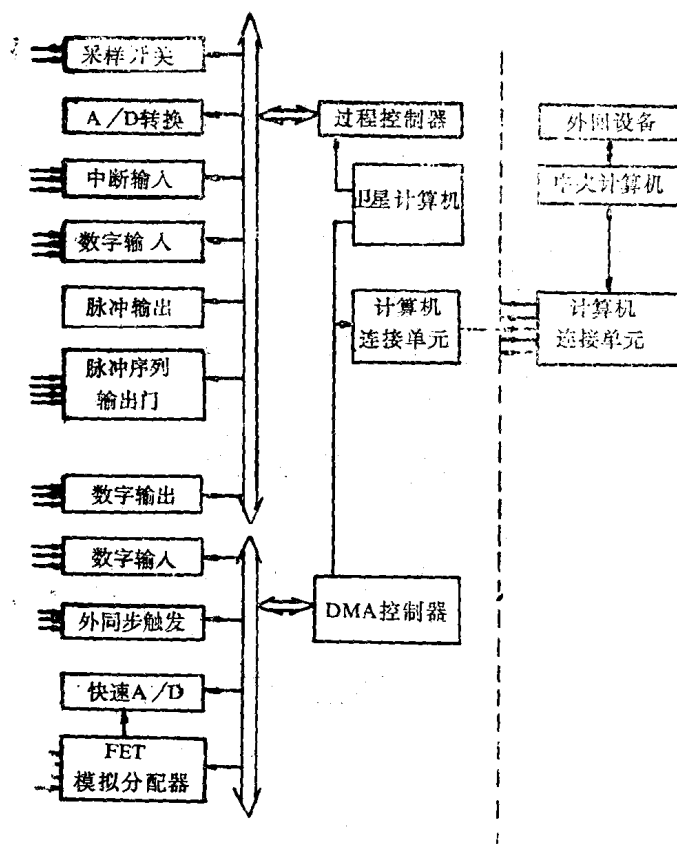


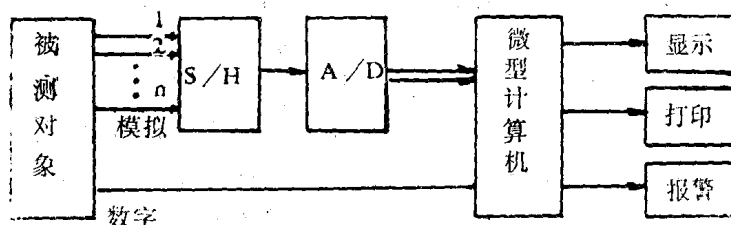
图 1—4 卫星计算机过程接口原理图

§ 3 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，还可以按照控制方式分类，按照系统的功能可分为五大类。

一、数据采集系统

计算机数据采集系统如图 1—5 所示。尽管数据采集系统不属于控制的范围，然而在前



1—5 计算机数据采集系统

一节的典型应用中可以看出，一个计算机控制系统总离不开数据采集问题，它是了解被控对象的一种必要手段。再推广一步而言，计算机数据采集系统也是电子测量的一个极其有用的手段，是计算机用于电子测量的一个重要标志。

二、数字控制系统

图 1—6 表示一个闭环控制系统。在定值控制情况下，被控量 X_0 应该趋近于设定值

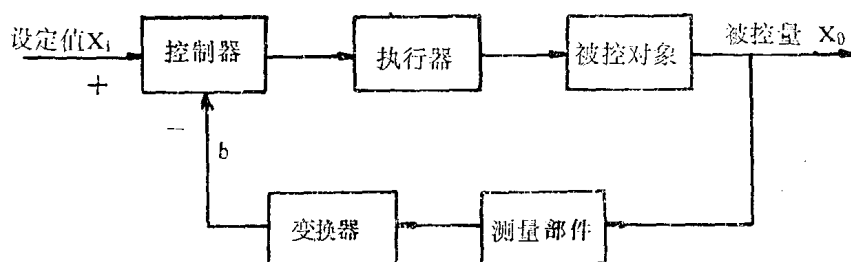


图 1—6 闭环控制系统

X_i 。但是由于各种干扰因素的存在， X_0 有时会偏离 X_i 。因此在自动控制系统中测量部件和变换器就必须不断检测 X_0 并和 X_i 进行比较，控制器对其偏差量按照某种算法进行运算，运算结果通过执行器再作用于被控对象，力图使 X_0 趋近于 X_i ，达到自动控制的目的。

就控制器而言，过去是由模拟电路组成的，通常人们称具有模拟控制器的系统为常规控制系统，这种系统只能完成一些简单的算法，比如PID算法。在现代的计算机控制系统中，计算机取代模拟控制器的作用（图 1—7），可以按照两种不同方法产生控制器作用。一种称为数字模拟，即对常规控制器进行数字模拟，它的控制算法仅限于常规控制器的范围。另一种称为直接数字控制（DDC），所谓直接数字控制是根据被控对象的数学模型设计控制器的算法，它要比常规控制算法的内容丰富得多，更能适应被控对象的要求。直接数字控制的应用范围正在不断扩大。

值得强调的是：由于被控对象是模拟量，因此在被控对象和数字计算机之间以及数字计算机和被控对象之间必须加数据转换器，A/D或D/A转换器。数字控制系统的典型结构如图 1—7 所示。

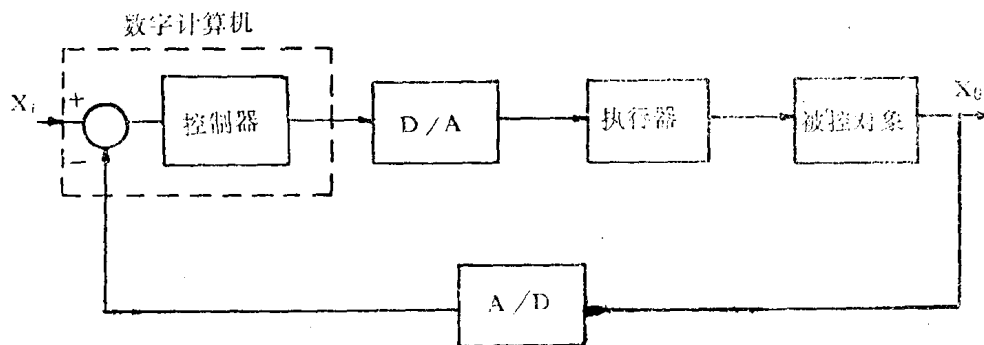


图 1—7 数字控制系统的组成

三、监督控制系统

监督控制系统的应用起源于工矿部门，系统的组成如图 1—8 所示。监督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，作为模拟控制器或数字控制器的给定值，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，不直接参与过程控制，而是完成最优工况的计算。但是，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。

监督控制的主要优点是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

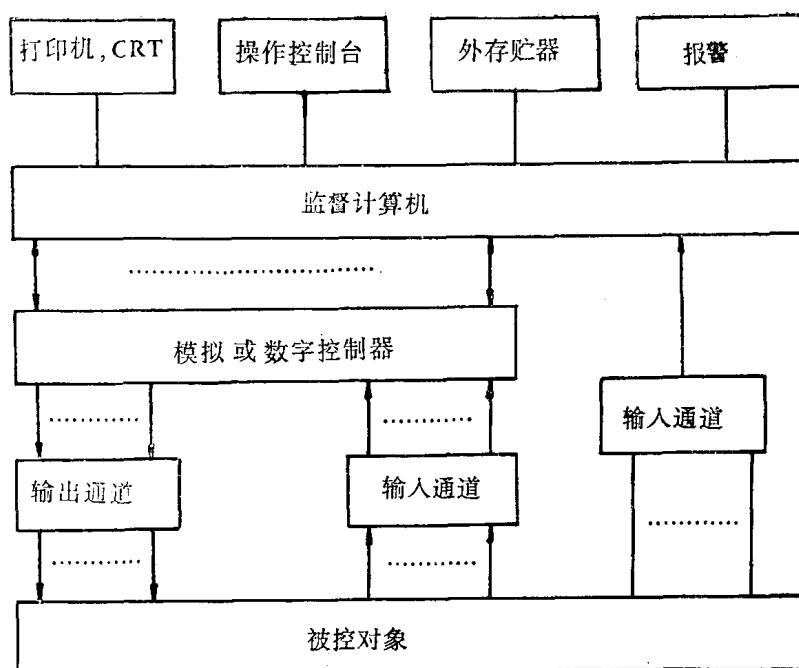


图 1—8 监督控制系统的组成

制或模拟控制器仍能独立完成操作。而当数字控制器或模拟控制器发生故障时，监督控制机可以代替它们执行任务。

四、分级控制系统

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—9 可以看到，在分级控制系统中，除了直

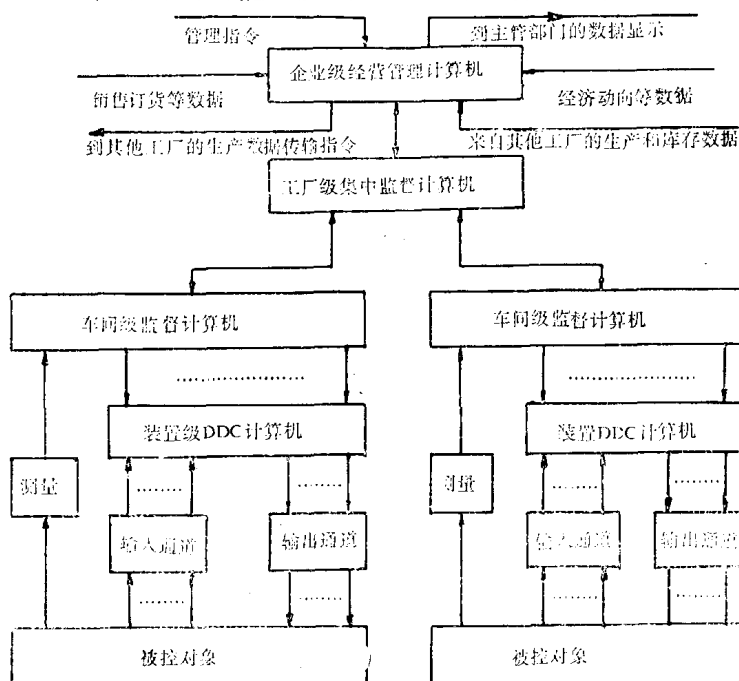


图 1—9 分级控制系统