

数 字 控 制 仪 表

下 册

阎 秀 兰

上 海 工 业 大 学

一 九 八 一 年 三 月

第三章 采样控制系统实例

采样系统种类很多，本章以工业生产过程的直接数字控制 (DDC) 系统为例来介绍采样控制系统各部分工作原理。从而对采样控制系统有一个全面的了解。

所谓 DDC (Direct Digital Control) 系统，是指计算机在参加闭环控制过程中，省掉了模拟调节仪表，而用计算机的输出 (断续的形式)，直接去控制调节阀等执行机构，使各个被控参数保持在给定值。它的构成如图 3-1 所示，

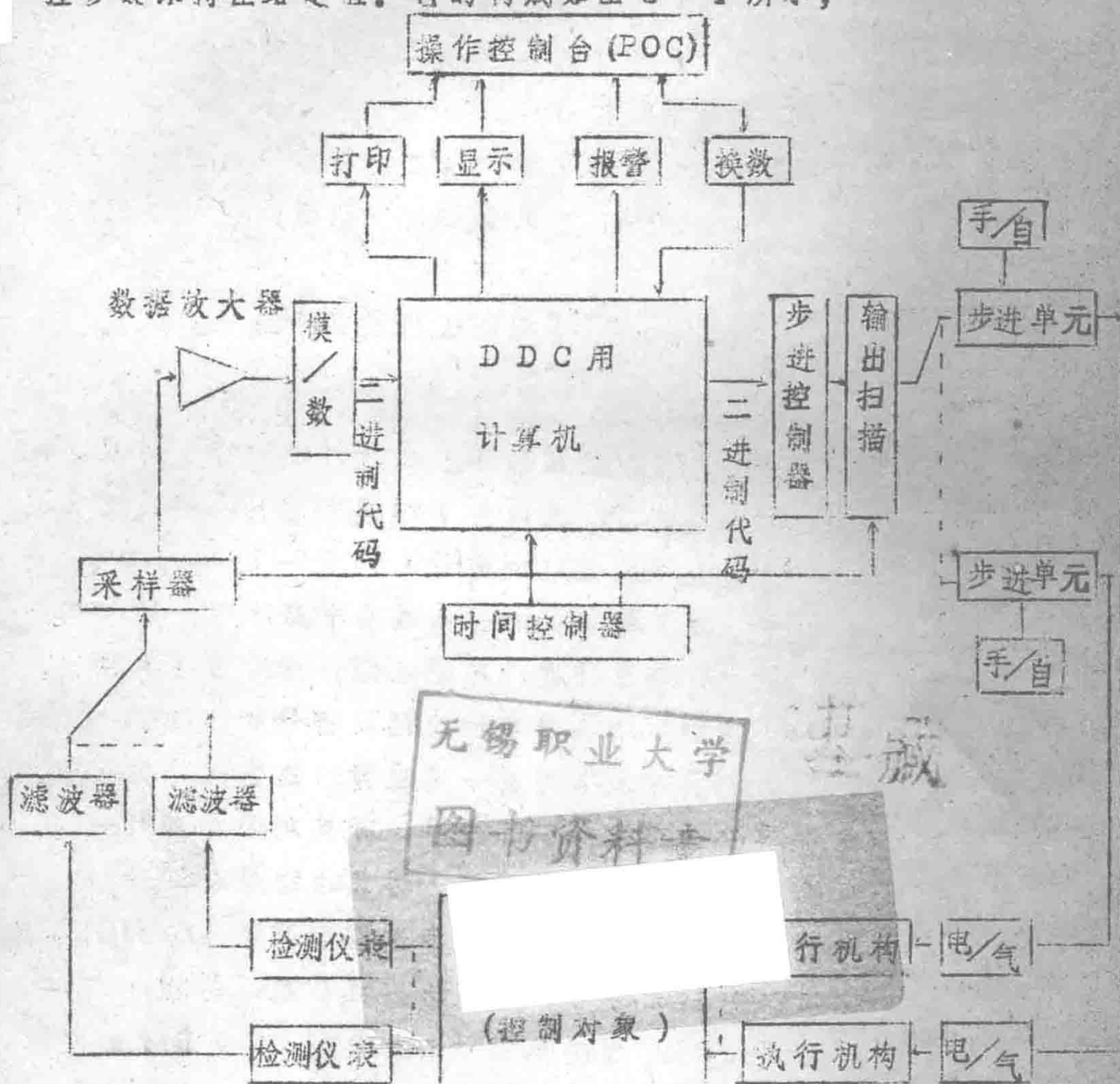


图 3-1 系统框图

D D C系统的特点是不但计算机完全代替了模拟调节器，实现了几十个甚至更多的单回路的P I D控制，而且还能比较容易地实现其它新型规律的控制，如串级控制、前馈控制、自动选择性控制、纯滞后控制等。除了主要作P I D运算外，还能集中进行显示、报警和打印报表等。它的给定值在操作控制台面板上由人工给定。

D D C系统的优点是省掉了大量的模拟仪表，当控制回路较多时（例如大于50个回路），在经济上是合算的。它把显示、记录、报警和给定值设定等都集中在操作控制台上，给操作人员带来了很大方便，只要改变程序即可实现上述各种新型控制规律。其缺点是要求工控机高度可靠，否则会直接影响生产。

一般的D D C仅作常规的控制规律运算，没有最优化计算。包含最优化计算的称为最优化的D D C。

由于D D C系统可以直接对几十个以至上百个控制回路进行自动巡回检测和数字控制，因此，它又被称为多通道数字巡回控制器。

第一节 D D C系统的组成及其特点

一、D D C系统的组成

图3-1已经给出了它的组成框图。生产过程中控制对象的各物理量（如温度、压力、流量、液面等）的变化情况，由检测仪表进行测量放大后变成统一的直流电流信号（如0~10毫安），作为D D C的输入信号。为了避免现场输入线路带来的电、磁干扰，用滤波器对各种信号分别进行滤波，并把电流信号变为电压信号（如0~5伏），采样器顺序地按周期地把该信号传给数据放大器，被放大后的信号经模-数转换器变成一定规律的数字代码输入计算机。计算机按预先存放在存储器中的程序，对被测的量进行一系列的检测并按P I D等控制规律进行运算。运算的结果以二进制代码形式由计算机输出，送到步进控制器。步进控制器将接收到的二进制代码转换成一定频率的脉冲数，经输出扫描（与采样器同步而不同回路）送至步进单元，变成模拟信号（如0~10毫安直流电流信

号)。这里的步进单元实际上是一个电机式的数—模(D/A)转换器。该模拟信号传送至生产现场,经电—气转换气换为气压信号(如0.2~1公斤/厘米²)带动执行机构—调节阀,达到稳定生产的目的。图中的时间控制器是用来控制整机同步协调工作。

由此可以看出,DDC的主要功能有:

1. 将模—数转换器的转换结果输入并转换成相应的工程量;
2. 测量值,给定值和控制常数的显示;
3. 在线改变内存原存信息(改变给定值和各整定参数值);
4. 测量值的自动记录;
5. 越限比较,越限时发生上限或下限报警信号;
6. 对偏差信号按控制规律(如PID等)进行运算,并把所得到的阀门位置改变量输出给接收部件—步进控制器。

二. DDC系统的分时控制方式

一台计算机控制几十个甚至上百个回路,是按巡回控制方式一路一路依顺序进行的。如果控制一路的时间(称控制时间)为40毫秒,又设有64个回路需要控制,则巡回控制一周需要

$$40 \text{ 毫秒} \times 64 = 2560 \text{ 毫秒} = 2.56 \text{ 秒}$$

故对每一回路来说,要每隔2.56秒才能控制一次,而每次控制的时间(也称采样控制阶段)仅40毫秒,其余2.16秒,则是保持不变阶段,这阶段称为保持阶段,巡回控制一周的时间就是一个采样周期。

从图3-1可知,对每一个回路的控制,最基本的包括三个部分的动作,即采样测量值(包括A/D转换)、PID运算,计算机输出经D/A转换控制阀门动作。最简单的方法是把这三个动作都放在每一回路的同一控制时间内来完成。这样每一路的控制时间就等于这三个动作所需时间的总和。显然,就要大大拉长每一回路的控制时间,从而使采样周期Q拉长,或同样的Q造成能控制的回路数减少,所以这种方式很少采用。

目前用得较多的是分时控制方式,即将每一个回路完成一次控

制的三个动作，不是放在同一个控制时间（如 40 毫秒）内，而是放在相邻三个控制时间内来完成。这样做自然应将每一路的三个动作在时间上相互错开。例如，在一个采样周期内有 64 个回路需要控制，因而就有 64 个控制时间，而每一回路完成一次控制的三个动作，分布在相邻三个控制时间内，其余控制时间则保持不变，如表 3-1 所示。

表 3-1 完成一次控制过程的时间关系

	Δt_1	Δt_2		Δt_{n-2}	Δt_{n-1}	Δt_n	Δt_{n+1}	Δt_{n+2}		Δt_m
$n-1$	←	保持	→	采样 测量值	PID 运算	输出	←	保持	→	
n	←		保持	→	采样 测量值	PID 运算	输出	←	保持	→
$n+1$	←		保持	→		采样 测量值	PID 运算	输出	←保持→	

从表 3-1 可知，以某一控制时间 Δt_n （40 毫秒）来讲，对第 n 路进行 PID 运算，同时对第 $n-1$ 路进行输出并控制阀门，又同时对第 $n+1$ 路进行采样测量值。所以，在一个 Δt_n 控制时间内同时完成三个回路的不同三个动作，这就是分时的概念，所以称为分时采样控制方式。

例如，有三个控制回路：串级控制回路（第 n 路），单参数控制回路（第 $n-1$ 路），三参数复合控制回路（第 $n+1$ 路）。根据分时控制方式，就有：当对串级控制进行 PID 运算的同一个控制时间内，同时对三参数复合控制进行测量值采样，又同时对单参数控制进行阀门位置的改变量控制。所以，在一个控制时间内，有三个回路同时与 DDC 系统发生信息联系。

三、DDC 用计算机

在 DDC 中应用的工业控制计算机和通常的电子计算机比较具有如下几个特点

1. 高可靠性

因为一般工业过程是一个昼夜不停的连续生产过程，这就要求控制生产的工业控制机有很高的可靠性，故障率低（一般允许几千小时出一次故障，目前有的已达2500小时以上），平均故障时间短（一次故障时间不超过几分钟），即当出现故障时能较快排除。

2. 环境的适应性

多数工业控制计算机在工业生产现场使用时，将会遇到如强电流和强电场的干扰，腐蚀气体，没有完善的空调设备等恶劣环境。因此在设计系统时必须考虑这些因素。

3. 实时性

所谓实时就是“实际的”和适合时宜”之意。生产过程都有实时性的要求。例如根据过程动态特性合理的选择采样周期并及时的给予控制；当过程发生紧急情况时，必须及时的给予处理，以防止事故的发生；有些信息不及时处理就会丢失等等。为了满足这些要求，工业控制机必须配有实时时钟，并要有较完善的中断系统。

4. 要有较完善的过程通道设备

工业控制机除了配有一般计算机的通用外部设备（如纸带输入机、打字机、穿孔机，当容量不足时还应配有磁鼓、磁带、磁盘等外存）外，还必须配有专用的外围设备，一般为模—数输入，开关量输入，数字量输入，脉冲量输入，数—模输出，开关量输出，人一机通讯设备（操作开关，显示报警等组成的控制台以及最近出现的阴极射线管CRT屏幕显示等）。因此要求有较丰富的指令系统，尤其是输入输出指令和逻辑判断指令。

5. 某些技术指标可比大型通用机低些

就其精度来说，一般字长可较短（一般16~24位，大多为16位）；速度可较慢（每秒几万~100万次），内存贮器的容量可较小（4~32千字）。但是这些都不是绝对不变的，随着工业自动化水平的提高，对工业控制机的规模、速度、精度的要求也在不断地提高；而且要求工业控制机能实现多功能，既能做实时控制，也

能进行数据处理，必要时还可以进行一些小型的科学计算。

综上所述 DDC 中用的计算机功能比较单纯，运算方程较简单且固定，程序编制简便，可靠性高和成本较低等。它不仅适用于大型企业，而且也适用于中、小型对生产过程实行直接数字控制。

国外前一时期的部分有代表性的工业控制机，如日本的 FACOM 270-10/20/30 系列和 YODIC 500；美国的 IBM 1800、P-DP 516；西德西门子公司的 302 型；，意大利西利尼亚公司的 GP-16；英国的 Argus 600 等。近期 NOVA 系列、PDP 系列小型多功能机已越来越多地用到工业控制中。我国随着工农业生产的蓬勃发展，在工业控制机方面亦有了飞速的发展。有一定通用性的小型机 JS-10A，50 万次/秒小型多功能系列机 DJS-130，DJS-120 及 TQ-15 等已批量生产，它们均可用作 DDC 系统的工控机，同时还可兼作其它功能。其它研究单位，高等学校，工厂自己研制，已投运的有固定型号或无固定型号的 DDC 专用机还不少，估计总数在几十台以上。

早期的工业控制机由于处于摸索阶段，同时为了尽量简化机器结构来提高主机可靠性，因而主机结构属于专用的 DDC 型式，功能简单。它的优点是简单，直观性强。缺点是灵活性差，主机不能充分发挥作用。如采样速度和主机运算速度的提高均受到输出通道低的限制。因此，在过分专用性强的工业控制机中，主机的很大部分时间停留于踏步等待或停止工作状态，这是目前 DDC 的一个很大的弱点。近年来随着元器件性能的提高，基本线路设计愈来愈成熟和完善以及维护管理能力的加强，目前工控机的可靠性已有了显著的提高。实际生产现场对控制规律也提出了更高的要求。因此工业控制机无论在结构上，性能上有向通用计算机靠拢的趋势。一般用中断系统来适时的沟通主机和输入、输出通道的联系，这样剪活性强，能充分发挥主机的作用，并为进一步推广复杂的控制规律，如最佳控制，自适应控制等，创造了必要的条件。尽管如此，目前工业控制机还属于小型机阶段。

在工控机的发展过程中，现在出现了一个新的动向，那就是世界上已出现了一种微型计算机。现在的微型计算机已可与小型计算机媲美。所以在工业控制中，可以用它来代替小型计算机。由于微型计算机具有廉价、小型、轻便、耗电小、可靠性高等特点，特别是它能在比小型计算机更小的范围内利用。例如，在生产过程中用以分散采用控制计算机的直接数字控制，与色谱仪相联接并进行数据处理，测量点的巡回检测，外部设备和终端设备的控制和信息处理，在数控技术中作为专用的群控机等。这样在不采用小型计算机的装置或设备上都可能用微型处理机，而在系统比较复杂的地方还可以用组合的方式构成系统。典型的例子如最近日本生产的TDCS-2000，它是一种应用微处理机的分散综合控制系统。

四．工业控制机软件的结构和特点

过去我国所使用的大多数工业控制机都是直接用机器代码的手编程序，也有利用符号编写的汇编程序。这在一定的应用范围和一定的技术条件下还是能适应的，如一般的群控，专用的DDC等。但对控制过程比较复杂和外部、外围设备比较多的多任务系统中，软件的问题就比较突出，一般希望具有图3-2的结构形式。图中虚线以上为过程控制软件的组成部分，它可分为两大类：系统软件（如图中的左半部所示）和应用软件（如图中右半部所示）。系统软件一般由计算机系统制造单位提供，应用软件由用户编写。这样一个计算机控制系统的实现，对用户来说，最终把注意力集中在应用软件方面。但用户必须掌握系统软件的使用方法，而系统软件研制时，既要考虑一般通用机的大部分功能（这也是过程控制软件所必须的），又要考虑过程控制软件的特点。

1．语言加工程序

语言加工程序是指语言翻译程序，汇编程序。大多数工控机已配有基本汇编和单用户BASIC。基本汇编为用符号指令编写程序提供了方便，单用户BASIC为简单的离线计算便有可能用语言来编写。有的还配有扩充汇编和Fortran，正在研制的有面向过程

的过程控制语言 P C L。

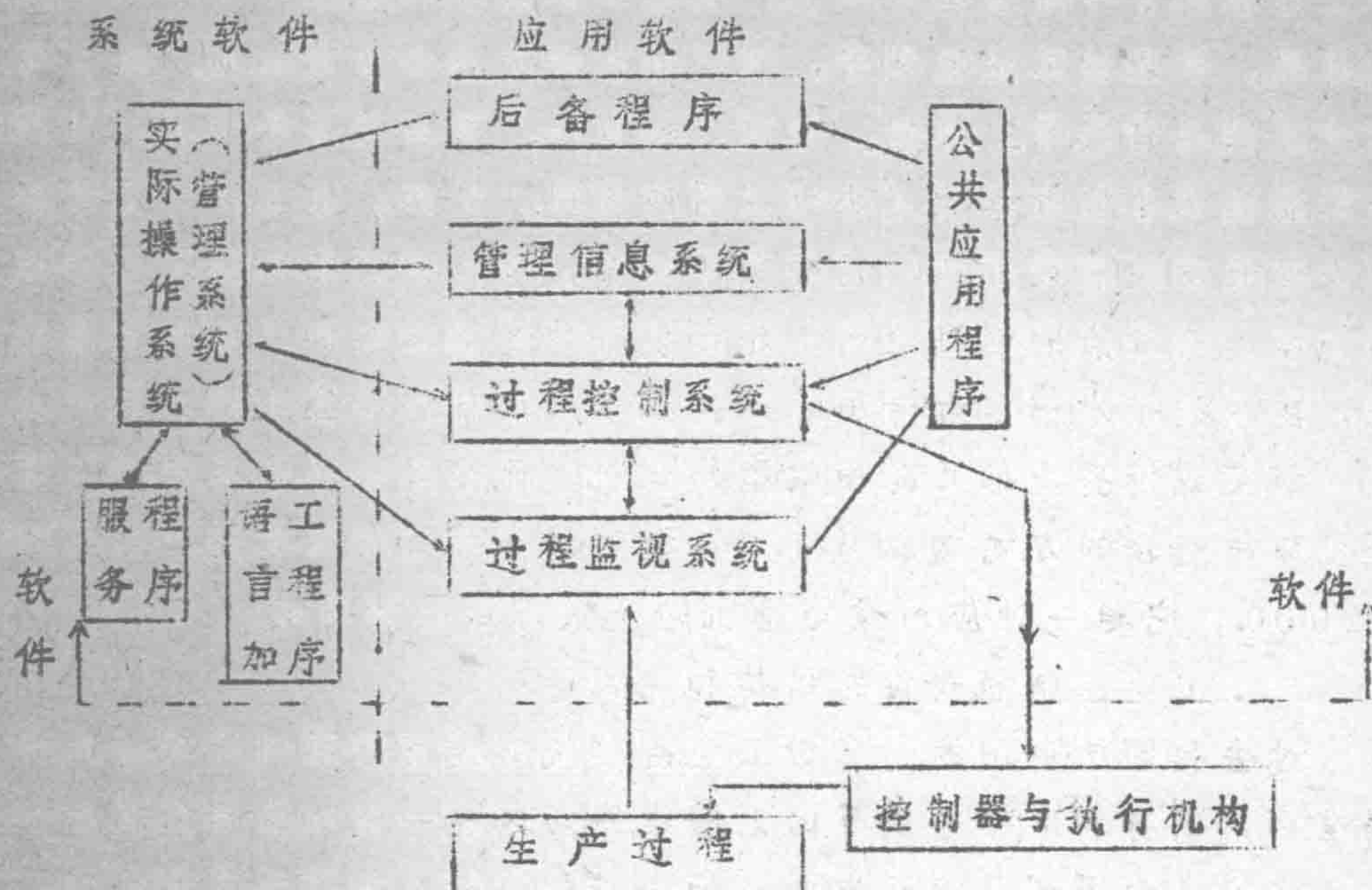


图 3 - 2 工业控制机的软件结构

2. 实时操作系统

过程控制所用的操作系统是实时操作系统，这是由于过程控制需要很强的实时性所决定的。实时操作系统起着硬件和软件的接口作用，它对整个计算机系统进行全面的管理与控制，包括各种硬件和软件。因此大大减少了人工干预，从而提高了效率。同时操作系统又是计算机之间的交接面，它为用户提供了利用计算机系统的各种手段，用户无需对计算机系统有详细的了解，就可利用系统的各种设备来解算它的问题。从用户的角度说，计算机系统复杂了，功能更强了，然而用户必须了解的却减少了。

3. 服务程序

服务程序就是公共服务程序。为了节省计算机使用者编制程序的时间，提高效率。将一些典型的算法和标准化的计算问题事先编好程序汇集成库，如标准函数子程序和常用的算术子程序。用户只

要给出少量的信息就可以直接引用有关程序。为了能使各种程序装配到计算机，以便引进调正、修改，还配有各种辅助程序，如装配程序、编辑程序、调试程序等。

4. 过程监视系统

过程监视系统是指巡回检测生产过程各种参数如温度、压力、液面等有关的程序，在线色谱服务程序和工艺操作台服务程序等。

5. 公共应用程序

把公共使用的程序以子程序形式专门准备。这些子程序有的可以从系统软件提供的算术程序库中调用，但在过程控制计算中还有很多可公共使用的程序，如物料物理性质估算程序（如计算热焓、比热等）数学方法程序，（如计算线性联立方程式，最小二乘法等）。

6. 过程控制系统

过程控制系统是指过程控制系统程序，它的目标是实现对生产过程的稳定操作，最优操作等，采用的控制方法不同，其程序也有差异。如在DDC中有不同的控制算法的计算程序（如单参数或串级PID控制算法，单参数或多参数前馈控制算法等）。和输出控制程序（去控制执行机构）等，在最优控制或自适应控制中有过程分析程序（决定当前是否需要最优化计算），最优化计算程序（决定最优操作条件），输出控制程序（启动输出设备去控制常规仪表的给定值，或用机—机通讯程序去改变另一台作DDC用的计算机的设定值）等，对于自适应控制系统还要有用系统识别的方法去自动改变模型的参数或结构的程序。在程序控制中有程序控制的程序，另外遇紧急或事故情况还要有应急处理程序等。

7. 管理信息系统

它主要用来产生生产计划及调度，成本核算，仓库管理等的企业管理的程序，并且来编制有关的生产报表和会计报表等，对下级计算机系统还能通过远程终端产生管理控制和信息收集的功能。

8. 后备程序

有些与控制有关的应用程序，往往需要隔相当长的时间才计算

一次，如有些过程最优操作条件的计算要隔几天，几十天才计算一次，一般它们都可离线计算，计算结果再送入在线计算程序。由于计算机的速度很快，对于很多慢变化的过程控制来说，计算机还有很多空闲的时间，因此，为了提高计算机的使用效率，可以在首先满足实时控制要求的同时，分时地去处理某些与控制无关的非实时计算的程序。这些程序都可作后备程序，但它们的优先度要安排到最低级，当实时应用程序再次有请求时，后备程序就暂停执行。

和一般通用计算机相比，工业控制机的软件有以下特点：

1. 单用户多任务系统

工业控制机的软件是一个单用户的多任务系统，一般是用于某个工厂或某个装置。其中很多任务相互之间都有内在的联系，所以任务与任务之间要有较强的通讯功能。而一般计算机多为多用户多任务系统，这个用户与那个用户之间没有什么联系，任务与任务间联系也较少。

2. 实时性要求强

实时性是适合时宜之意。它是指计算机对于外来信息要以足够快的速度进行处理，并在一定的时间内作出反应。对生产过程而言，要使整个流程在计算机控制下正常运行，必须根据工艺过程特性等诸因素确定采样周期，定时对过程参数进行巡回采样，并对被控参数按一定的控制规律算法进行计算和及时的控制，或者是按某一定的时间顺序分别对某些参数进行程序控制。此外，还要尽可能早地发现生产过程中可能出现的事故发出报警并及时地采取适当措施来处理事故，以免造成重大的损失。所有这些都表明实时性的概念在工业控制系统中有着特别重要的意义。而对通用计算机系统来说，实时性的要求一般都没有那么高，甚至有时不必考虑。

3. 可靠性要求高

一般连续生产过程是连续运行的，对各个任务都是周而复始的周期地执行。这个任务的周期性质是工业过程控制的特点之一，所以要求不仅计算机硬件系统十分可靠，而且软件也要十分可靠。如

果系统出错停机或陷入死循环，就会使生产失控，从而给生产造成损失，特别是因系统失控造成错误的控制的话，还将造成某种事故的发生。所以不但要有高的可靠性。而且要有自动排错的能力。而对一般通用机来说，通常是间断工作的，一批作业处理完后，可以停下来再处理另外一批，系统出错造成的损失也没有那么大。它通常关心的是提高系统的吞吐能力，即一个计算机系统在单位时间内接纳处理计算任务并输出结果的能力。相反，在工业控制软件中这个要求倒不是最关心的。

4. 多种形式的输入输出功能

工业过程控制机系统不仅配有像通用机那样的各种外部设备，而且配有与工业装置发生直接关系的各种输入输出设备，如模拟量、数字量、开关量、脉冲量输入设备、模拟量、开关量输出设备，还有各种质量仪表与计算机联用的部件等等，因此系统软件特别需要加强对某些常用的与过程控制有关的输入输出设备的管理能力。

5. 允许用户对系统软件可以扩充

即使系统加强了输入输出设备管理的功能，但也很难将各种不同用户的特殊要求都考虑进去。用户可自行编写一些特殊设备的管理程序，但与系统功能取得联系并在其控制下运行，所以要求系统软件是可扩充的。

6. 提高空间效率

一般工业控制机为中小型机，更多是小型机，内存容量不像通用机那么大，因此要求系统软件不要太庞大，并能允许不同的用户有所剪裁，使之能选择性的装入，以便给用户的应用软件提供足够的存贮空间。用户的应用程序也必须紧凑和结构的组织化。

7. 强化人一机会话的功能

在工业生产过程中一般由工艺操作人员监视生产，经常要了解生产的状况和修改某些参数，他可以通过工艺操作台的功能键来取得与计算机的通讯。另外，因为控制本身是一种手段，而不是目的，在过程需要或当物理结构改变时，需要随时修改控制，特别是人们

对某个生产过程规律认识还不足，随着认识的深化，需要引进一些新的控制规律的场合显得特别重要。以上这些为不破坏生产过程的连续性，所以要在联机的情况下进行通讯来修改程序或参数。

8. 控制信息处理上的特殊要求

在过程控制中，开关量信息和各种控制状态字是比较多的，为了有效地使用存贮区都将其编为机器内的二进制排列表，每一个单元往往有好几个信息状态，因此软件系统必须高效率地执行对各二进制码置位、复位、检测等命令。另外，控制机一般字长为16位，所以要求能够把计算机字长以外丢失的精度数适当地在内部表示，这在一些通用语言中都得不到这种功能。

9. 由非程序人员编制程序

在工业生产单位往往缺少专门的程序设计人员，即使有，他们往往也不了解控制过程，所以现场应用程序最好由从事过程控制的工程技术人员来编写。这就要求提供的语言是集中了控制应用要点的语言，可以用自动控制上常用的术语编写他们的程序。显然这样对使用者会带来极大的方便。

因此，在工业过程控制软件中对操作系统而言，为满足实时性的要求，通常配以实时操作系统，而对程序设计语言而言，最好配以适合控制的语言。当然汇编语言是最基本的，一般都要配备。对应用软件而言，必须要根据所提供的系统软件和控制应用的特点来考虑总的结构，如程序间的联系，语句的格式和操作系统联结的方式等。因为所有应用程序最终都必须编译和汇编成目标程序，并在操作系统的统一管理下执行，以正确的控制方法去控制生产过程。

五. DDC的特点

DDC和第一篇讲过的模拟控制相比，具有如下特点：

1. 各测量值和常数均用数字量表示，就不会产生模拟控制器那种刻度不准，控制常数会变动等缺点。

2. DDC最大的特点是，改变控制规律和控制方案较灵活，只要通过适当的程序修改，就能达到反馈控制、串级控制、比值控

制及各种高级控制，而用模拟仪表作这种改变就比较麻烦，甚至不可能实现。DDC不仅能进行闭环控制，而且还能进行开环的程序控制。故使用DDC能提高控制性能、操作性能和集中化，这可用图3-3来表示。

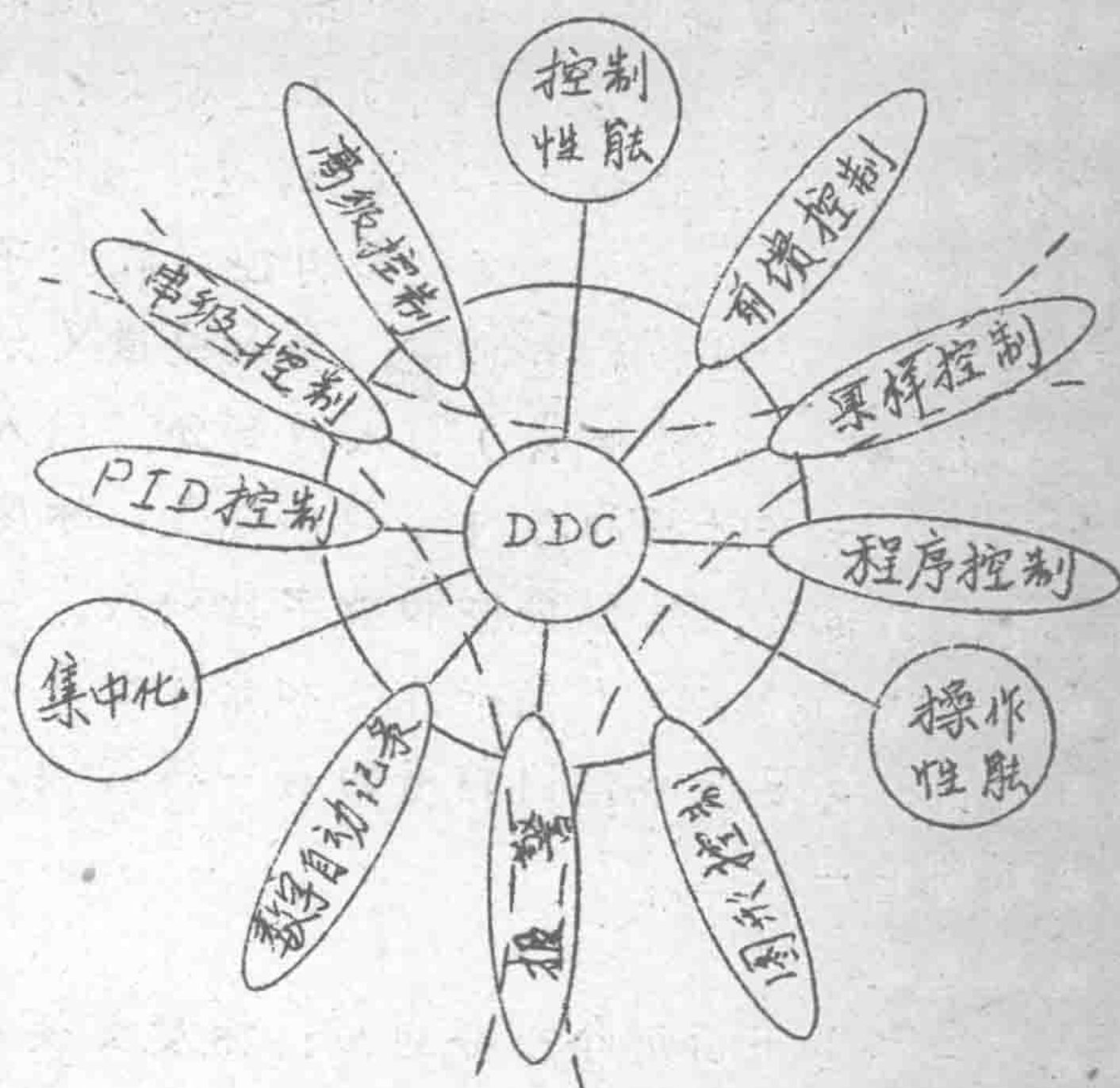


图3-3 DDC的控制动作及其任务划分

3. 各整定参数的调节范围比模拟控制器宽得多，各整定参数值和给定值的改变也较容易。

4. 具有数据处理和报警功能，能及时发现故障，减少事故。

5. 各操作开关均集中在操作控制台上，操作方便，直观。能作到手动/自动之间的平滑切换。

6. 增加少量设备就能与最优化控制机进行通讯，实行分级控制，而模拟调节器则需要增加较多的设备。

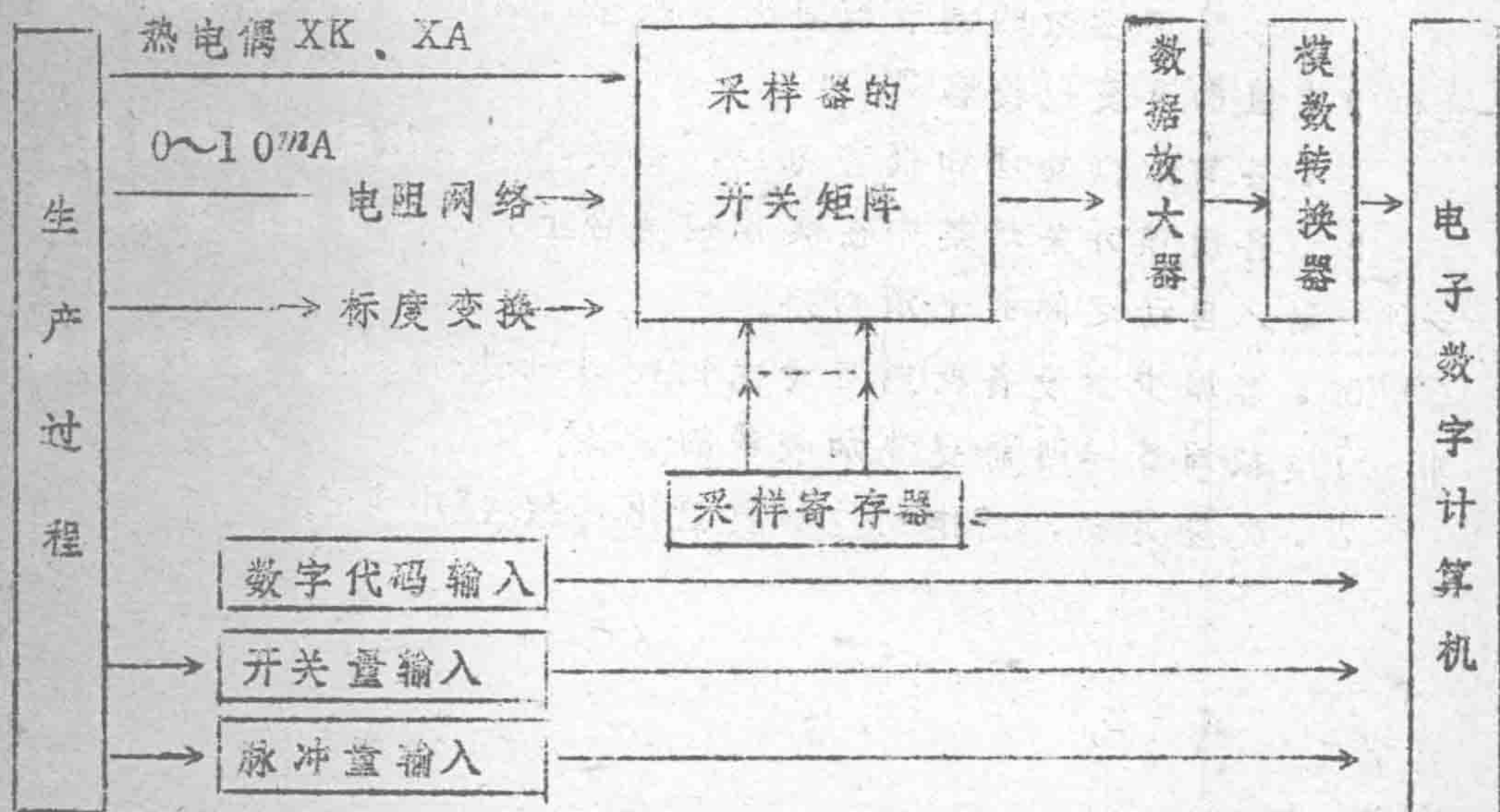
7. 反应灵敏，能作到控制质量比模拟控制器好。

第二节 DDC系统的输入/输出(I/O)通道

工业控制机与生产现场直接相连,这就要求能将生产过程的各种参数如温度、压力、流量、液位以及成分、比重等以二进制代码的形式传送给主机;而主机的运算处理结果也要以模拟量或数字量的形式反映至现场。因此,在计算机与工业对象(生产过程)之间就需有一个交换信息的重要部件——过程通道。过程通道在DDC系统中占了相当的比重,而且它是直接影响控制质量好坏的关键部分。过程通道可分为输入通道和输出通道。输入通道又分为模拟量输入和数字量(包括开关量和脉冲量)输入两部分。输入通道与计算机联系密切,完成对生产过程的各种参数的测量,标度变换、采样、数据放大、模—数转换、越限报警和数字量输入。输出通道也可分为模拟量输出通道和数字量(包括开关和脉冲量),输出通道与生产现场联系密切,它要完成控制信号的数—模转换并从模拟量或数字量的形式控制生产过程。

一、输入通道

输入通道一般由下面几个部分组成:标度变换器、采样器、数据放大器、模—数转换器和数字量输入部分。其框图如图3-4所示。



生产过程的工况参数，如温度、压力、流量、液位、成分等，通过测量元件，变送器和转换器，转换成大小不同的电平信号，主要参数及其输出信号如表3-2所示。

表3-2 主要参数及其输出信号

参数	变送器(测量元件、变送器)					输出信号
	测量元件	直接输出	变送器 电流 输出	变送器 电压 输出	其它输出	
温度	热电偶	○	.			直流毫伏
			○			0~10 直流 或 4~20 毫安
				○		$1.96 \times 10^4 \sim 9.81 \times 10^4$ 牛/米 ² (0.2-1公斤/厘米 ²)
	热电阻(电阻 测量电桥)	○				电阻值
			○			0-10 直流 或 4-20 毫安
				○		$1.96 \times 10^4 - 9.81 \times 10^4$ 牛/米 ² (0.2-1公斤/厘米 ²)
	辐射高温计	○				直流毫伏
			○			直流毫安
流量	差压(孔板、文丘里及其它)		○			0-10 直流 或 4-20 毫安
				○		$1.96 \times 10^4 \sim 9.81 \times 10^4$ 牛/米 ² (0.2-1公斤/厘米 ²)
	容积式流量计				脉冲信号	脉冲序列

续上表

	涡轮流量计			脉冲信号	脉冲序列
	电磁流量计		○		直流毫安
压力	波登管，膜片，膜盒等		○		或 $0-10$ 或 $0-\frac{1}{2}$ mADC 4-20
				○	$1.96 \times 10^4 \sim 9.81 \times 10^4$ 牛/米 ² (0.2-1 公斤/厘米 ²)
	应变仪 (需要驱动电源)	○			直流毫伏
			○		直流毫安
液面	差压，浮筒式		○		或 $0-10$ 4-20 直流毫安
				○	$1.96 \times 10^4 \sim 9.81 \times 10^4$ 牛/米 ² (0.2-1 公斤/厘米 ²)
	浮子式		○		
				数字代码	代 码
成分	气体色谱法，红外线法，电导率法			○	直流毫伏
			○		直流毫安
气压信号	波登管，应变仪				直流毫伏或直流
			○		毫安

为了能用同一个输入通道来测量不同的输入电信号，就必须用标度变换器将信号变换成统一的直流电压信号，对气动信号要进行气—电转换。然后各种测量参数信号经模拟开关矩阵按一定的速度