

TM 621.6
X421

高等学校教材

===== 专 科 适 用 =====

火电厂计算机控制技术与系统

南京电力高等专科学校 范仲元 主编

(京)新登字 115 号

内 容 提 要

本书是电力高等专科学校“电厂集控运行”和“电厂热工过程自动化”专业的通用教材。本书共分两部分，第一部分由前三章组成，概述计算机控制系统、过程通道和实现计算机控制系统的某些技术。第二部分由后三章组成，介绍集散系统，以 N-90 系统作为典型，介绍了 N-90 在火电厂应用的一些实例。

本书的素材取自引进机组的生产实际，且对现场专业人员的培训也作过尝试。为此，本书不仅可作为高等专科学校“电厂集控运行”和“电厂热工过程自动化”专业的教材，也可供火电厂的热工专业和集控专业人员参考。

高等学校教材

专科通用

火电厂计算机控制技术与系统

南京电力高等专科学校 范仲元 主编

水利电力出版社出版

(北京三里河路 6 号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京四季青印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 9.25 印张 210 千字

1993 年 6 月第一版 1993 年 6 月北京第一次印刷

印数 0001—2740 册

ISBN 7-120-01786-1/TK·272

定价 2.50 元

前 言

《火电厂计算机控制技术及系统》是高等专科学校“火电厂热工自动化专业”和“集控运行专业”的专业必修课程教材。随着计算机控制技术的发展,火电厂生产过程的控制也在逐步由常规模拟仪表控制向计算机控制的方向发展,目前国内已有许多机组使用计算机对机组运行进行监控,取得了良好的经济效益。近年来,从国外引进的现代化大型机组,也都配备了计算机控制系统。因此,无论是热控人员还是运行人员,为了更好地管理这些机组,了解和掌握计算机控制技术和系统都是很有必要的。

本书共分六章。第一章概述了计算机控制系统的结构、特点、发展及在电厂中的应用;第二章介绍模拟量、开关量及数字量的基本概念,模拟量信号的采样与保持,几种D/A、A/D转换器的转换原理,量化,模拟量输入输出通道的任务、要求、结构形式,开关量的输入输出和人机联系设备;第三章介绍计算机控制系统的软件组织与技巧,组成计算机控制系统过程接口的芯片及与CPU的连接方式,数据通信的基本概念与理论基础以及计算机控制系统的可靠性技术等关键技术;第四章介绍数字控制系统中常用控制规律,PID算法的计算机实现,SMITH预估算法,积分分离算法、顺序控制方法等;第五章简单介绍了几种典型的集散控制系统及集散控制系统的发展方向,着重介绍N-90集散控制系统的总体结构、软件构成、主要模件及其应用、系统组态及接口等;第六章介绍N-90系统在火电厂中的应用,主要介绍单回路流量控制、汽温串级控制、协调控制系统和炉膛安全监控系统等。

为使本教材能及时地反映当代的最新技术,在学校领导的支持下,教材编写人员曾随同江苏电力试验研究所一起参加华能南通电厂的N-90系统安装调试工作,继而又随同江苏利港电厂到意大利对N-90系统进行短期学习。在此期间取得的一些素材,均在本教材中有所反映。本教材由南京电力高等专科学校动力系集控教研组范仲元教授主编,编写组的成员有董学育、刘志远等同志。在编写过程中得到南京电力高等专科学校和其它单位领导的支持,许多同志为编者提供了大量资料。全文由上海电力学院翁思义教授主审。在此,谨向帮助我们完成这一工作的所有同志致以衷心感谢。

由于时间仓促,编者水平所限,教材中肯定会有不少错误及不完善之处,恳请读者批评指正。

编者

1991年5月

目 录

前 言

第一章 计算机控制系统概述	1
第一节 计算机控制系统的组成和特点	1
第二节 计算机控制系统的分类	4
第三节 计算机控制系统在火电厂的应用和发展	8
第二章 过程通道	10
第一节 模拟量信号的采样与保持	10
第二节 D/A、A/D 转换原理	15
第三节 模拟量通道	24
第四节 开关量的输入输出和人机联系设备	31
第三章 计算机控制系统的几个技术关键	39
第一节 计算机控制系统的软件组织方法	39
第二节 计算机控制系统的过程接口	42
第三节 数据通信的基本概念和理论基础	55
第四节 计算机控制系统的可靠性技术	60
第四章 直接数字控制系统 (DDC) 的设计	67
第一节 数字 PID 控制器	68
第二节 离散设计法	72
第三节 纯滞延对象的数字控制系统设计	78
第五章 集散系统	84
第一节 集散控制系统 (TDCS) 概述	84
第二节 几种典型的集散控制系统	87
第三节 网络 (Network) -90 集散控制系统	91
第四节 N-90 系统主要模件	100
第五节 操作人员接口	106
第六节 N-90 系统的组态工具	110
第六章 N-90 系统的应用	118
第一节 单回路流量控制	118
第二节 串级控制	119
第三节 先进控制思想的实现	121
第四节 协调控制系统 (CCS)	125
第五节 炉膛安全监控系统 (FSSS)	134
附录一 N-90 系统功能码一览表	142
附录二 N-90 系统专门名词英文缩写一览表	144

第一章 计算机控制系统概述

计算机控制，就是由数字计算机全部或部分地代替自动控制系统中的常规控制设备和监控仪表（如模拟调节器、指示器等），对动态系统进行监视、调节或控制。这种由计算机控制生产过程的自动控制系统称之为计算机控制系统。计算机控制系统是在自动控制技术和计算机技术飞速发展的基础上产生的，因此在学习计算机控制系统时首先必须研究和掌握自动控制技术和计算机技术。

本书的目的是向读者介绍数字计算机在自动控制领域中的应用，计算机控制系统的组成原理、方法和基本理论。

第一节 计算机控制系统的组成和特点

典型的连续控制系统的原理结构图如图 1-1 所示。它由被控对象、测量部件、调节器、执行器等构成反馈控制系统。调节器的作用是使被控参数跟随给定值。

各种计算机控制系统在结构上虽然不尽相同，但它们的基本组成是大致相同的。在图 1-1 所示的连续控制系统中，由数字计算机代替模拟调节器，同时为了信号的匹配，在计算机的输入输出配备相应的设备，就构成了计算机控制系统，如图 1-2 所示。

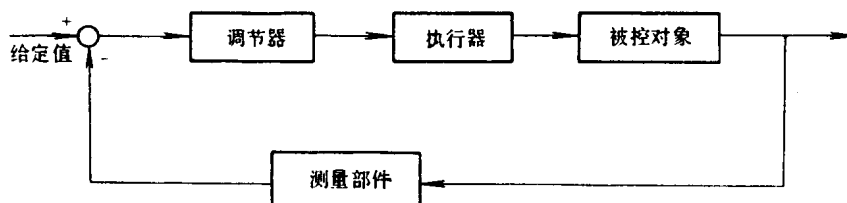


图 1-1 典型的连续控制系统原理结构图

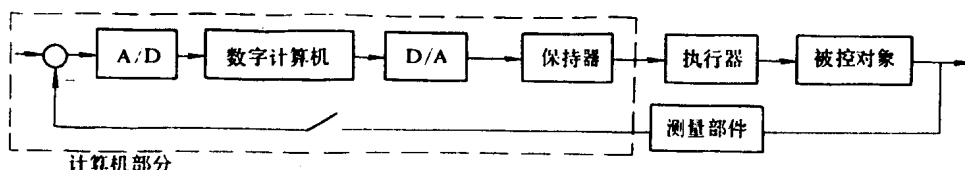


图 1-2 计算机控制系统原理结构图

因此计算机控制系统由被控对象、执行器、测量部件和计算机部分等组成。前三部分在热工自动化课程中已有讲述，这里从略。

一、计算机部分

计算机部分包括硬件和软件两个组成部分。

(一) 硬件部分

硬件部分包括数字计算机（即主机）和外部设备，它们是实现计算机控制系统的主要设备。

1. 数字计算机

数字计算机是计算机控制系统的核心部件，它主要包括运算器、控制器和存贮器等。数字计算机能完成：程序的存贮、执行和数值运算；数据的传输、处理和存贮；以及逻辑判断等工作。

2. 外部设备

外部设备主要包括人-机联系设备，如键盘、屏幕显示器（阴极射线管 CRT）、打印机、外存贮器、控制器等和过程输入输出通道。

人一机联系设备主要进行显示、打印、存贮及数据传送。在控制台上还可以向计算机输入和修改程序、修改内存中的数据及发出各种操作命令等。过程输入输出通道是计算机和被控对象进行信息传递的纽带，现场的模拟量、开关量、脉冲量等信号通过过程输入通道变成数字信号送入计算机。计算机产生的控制信号通过过程输出通道传送到相应的控制对象。

图 1-3 为硬件部分的原理结构图。

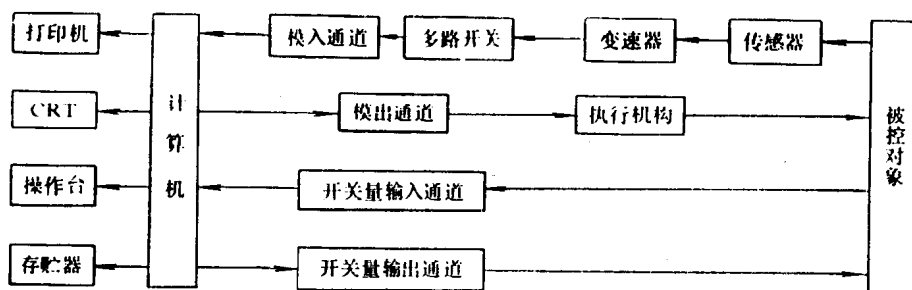


图 1-3 硬件部分的原理结构图

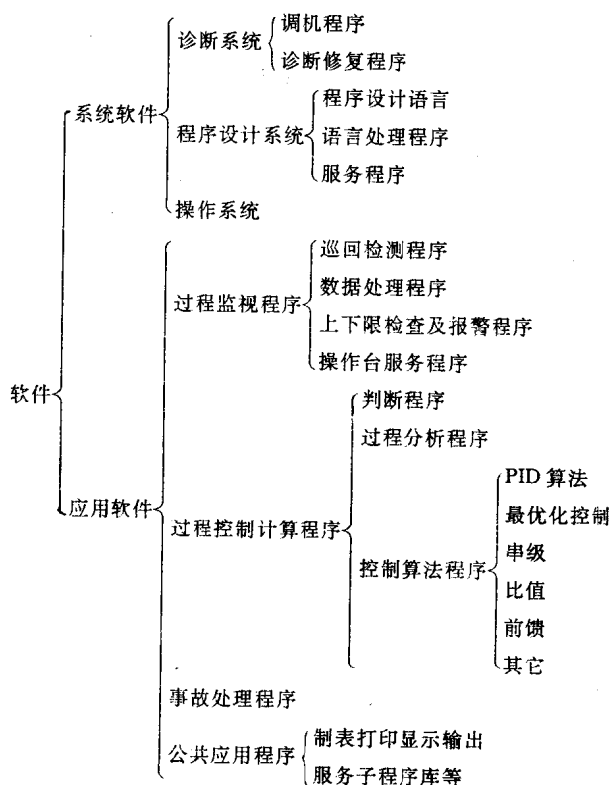
(二) 软件部分

一个计算机控制系统所需要的软件包括系统软件和应用软件。表 1-1 为软件部分分类表。

1. 系统软件

系统软件包括程序设计系统、诊断程序、操作系统等。程序设计系统是为用户进行程序编制而提供的软件，它包含各种语言（例如汇编语言、BASIC、FORTRAN、ALGOL、PASCAL、COBOL、C 语言之类）的汇编、解释和编译程序。诊断程序是为计算机调试、查错和故障修复而提供的工具性程序。操作系统是对计算机控制系统进行管理、调度的程序，它是系统协调工作的组织者和指挥者，其主要任务是安排控制程序的执行、数据处理和硬件管理等。操作系统是计算机控制系统的基本软件，要求其实时响应性好和多任务处理能力较强。系统软件是计算机的配套产品。

表 1-1



2. 应用软件

应用软件主要包括过程监视程序（例如巡回检测、数据处理、上下限检查和越限报警以及操作台服务程序等）、过程控制程序（主要是指描述生产过程和控制规律以及控制动作的一整套程序）和公共服务程序（如服务子程序库、数据库、制表、打印、显示等）。在整个软件系统中，应用软件所占的比例最大，也是最复杂的部分。

二、计算机控制系统的特点

计算机控制系统具有如下一些特点：

1. 对可靠性要求高

由于计算机控制系统是与生产过程密切联系的，计算机发生任何故障都会对生产过程产生严重影响；在电厂中，若由于计算机控制系统可靠性不高，而造成运行事故，对电业生产和用电单位都会带来严重后果。因此，要求计算机控制系统具有较高的可靠性。随着微型机和微处理机的出现，其价格的降低，使得人们有可能在关键部位采取冗余措施（例如双机并用，其中一台为热备用），从而提高了可靠性；采用分散结构的控制系统也是提高系统可靠性的方法之一，因为在分散系统中，每只微处理机只负责一个局部的工作，缩小了事故影响范围，也便于更换；此外，计算机技术的发展，使得计算机本身的可靠性也得到了提高。

2. 实时性好

所谓实时就是及时，因为计算机控制的是一个有着自身运行规律的生产过程或物理过

程, 计算机必须在生产过程自身运行的同时, 实现数据采集、运算和发出控制信号, 所以计算机的运行或操作速度必须和它所控制的生产过程的实际运行速度相适应, 对该过程的运行情况的微小变动能及时地作出反应, 及时地计算和控制。实时性要求一般是由硬件和软件两方面来保证的。

3. 功能全面

计算机的记忆和判断功能, 能够综合生产过程各方面的情况, 在环境或生产过程参数变化时及时作出判断, 选择最合理、最有利的方案决策。这是常规控制工具所不能胜任的。对有些生产过程, 例如具有大滞后或者过程中各参数相互作用比较大时, 采用常规控制工具往往得不到满意的效果。这时, 采用计算机就更能发挥它独特的优点。由于计算机具有分时操作功能, 所以一台计算机可以代替多台常规控制设备, 此外, 计算机控制系统比较容易实现任意的控制算法, 只要按人们的要求改变程序或修改控制算式的某些参数, 就能得到不同的控制效果。从这一点上也可以说, 计算机控制系统具有较强的灵活性。

第二节 计算机控制系统的分类

计算机控制系统有许多分类方法, 可以根据系统的功能分类, 也可以按照控制规律分类, 还可以按控制方式进行分类。

根据系统的功能分类, 计算机控制系统一般可分为:

- 生产过程巡回检测和数据处理系统;
- 直接数字控制系统 (Direct Digital Control, 简称 DDC);
- 监督控制系统 (Supervisory Computer Control, 简称 SCC);
- 分级控制系统;
- 集散控制系统 (Total Distributed Control System, 简称 TDCS) 也称为分散式计算机控制系统 (Distributed Computer Control System, 简称 DCCS)。

一、生产过程巡回检测和数据处理系统

这是计算机应用于生产过程的一种最初级的形式。其主要内容为: 在线计算机通过现场检测仪表和过程输入通道 (数据采集装置), 对生产过程的各种参数进行巡回检测, 并把所测参数采集到计算机中, 然后根据预定的要求进行计算和处理, 在需要时, 可通过屏幕显示或打印方式向运行人员提供各种数据; 当有异常情况时, 可发出声光报警, 运行人员可以据此对现场情况实行集中监视, 为实现安全、经济运行提供有关资料。系统原理框图如图 1-4 (实线部分) 所示。

在巡回检测和数据处理的基础上, 利用计算机检测的现场参数和一定算法的计算结果, 可以向运行人员提供一些参考性数据, 以指导运行人员的操作, 即进行操作指导。

二、直接数字控制系统 (DDC)

计算机通过过程输入通道采集被控对象的各参数, 经过一定的控制规律运算后的结果, 再经过程输出通道, 作用于被控对象, 使被控参数符合要求的性能指标。系统的原理框图如图 1-5 所示。DDC 实际上是由计算机直接取代了常规的控制设备。由于计算机的特点, 除

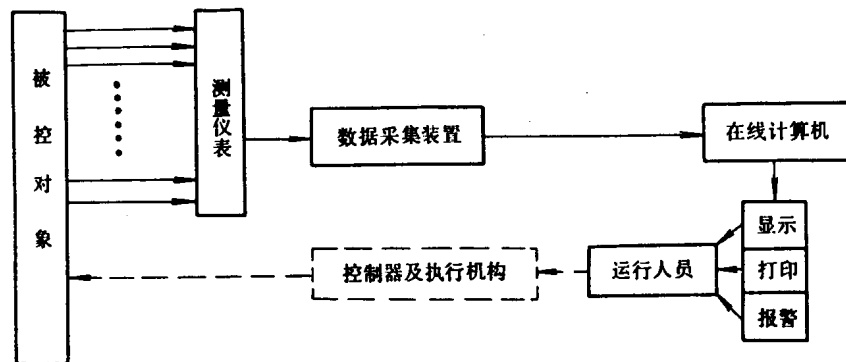


图 1-4 巡回检测及数据处理系统

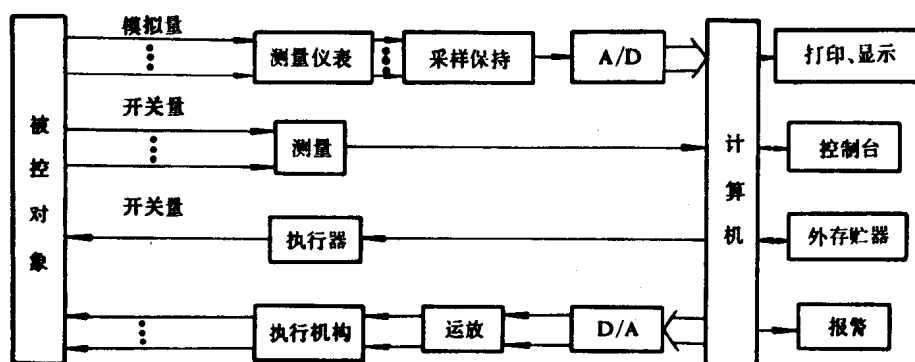


图 1-5 直接数字控制系统

了能够实现常规的 PID 调节规律外，还能进行多回路串级（Cascade）控制、前馈控制、比值（Ratio）控制以及一些复杂控制规律的控制，因而系统的自动化程度较高，控制方式灵活。另外，节省了在常规仪表方面的投资，因而在经济上比较合算，被控系统越大，这种经济效益越明显。

但是，在 DDC 控制系统中，由于计算机是直接对生产过程施加影响，所以对系统的可靠性要求很高，特别是对于较大的系统，一台计算机往往控制着几十到几百个回路。一旦计算机系统发生故障，将会给生产带来严重的后果。以往为了保证安全生产，常采用常规仪表与计算机系统并列运行的方法。这样一旦计算机系统出了毛病，常规控制装置仍能保证控制系统安全运行。但这样做增加了系统的复杂性，也增加了投资。

三、监督控制系统（SCC）

SCC 是在操作指导和 DDC 的基础上发展起来的。监督计算机根据生产过程的参数和数学模型计算出参数的最佳给定值，作为模拟调节器或数字调节器（一般是 DDC）的给定值。监督控制系统如图 1-6 所示。

在 SCC 中，由于给定值是经计算机计算给定的，所以灵活性和适应性较强，可以实现比较复杂的控制规律和对数学模型进行在线修改。监督控制的效果取决于控制算法的选择和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，监督计算机同时完成监督控制和直接数字控制的任务。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，DDC 或模拟调节器能独立完成操作，当 DDC 或模拟调节发生故障时，监督控制级可以代替前者执行任务。

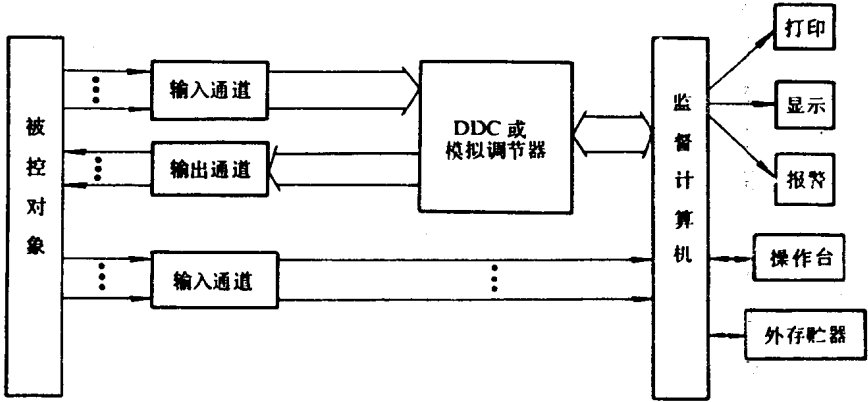


图 1-6 监督控制系统

四、分级控制系统

随着生产的发展，被控对象越来越趋于大型化，复杂化。再加上控制 (Control)、计算机 (Computer)、通信 (Communication)、CRT 显示技术 (所谓四 C 技术) 的飞速发展，使得计算机控制系统不仅要完成单纯的控制功能，而且还要进行大量的管理、协调、指挥等

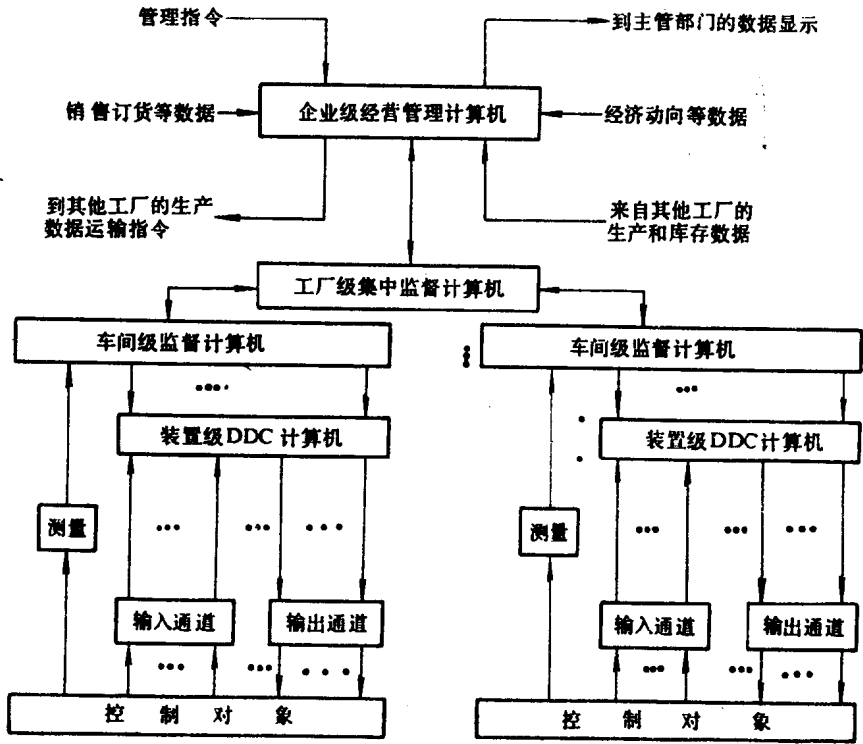


图 1-7 分级控制系统

事务性工作。分级控制系统就是适应这样的发展要求，在 SCC 的基础上发展起来的。如图 1-7 所示，该图为某工厂的计算机分级控制系统，它由工厂级管理计算机、车间级监督计算机和现场控制级组成。各级采用不同功能的计算机，各级构成具有一定相对独立性的子系统，各系统协调工作。

现场控制级一般可由 DDC 等来完成，DDC 可对连续生产过程实现数字调节或控制，如 PID、比值、串级、前馈控制等。同时还可以实现巡回检测、报警等功能。

车间级监督计算机除了完成各生产过程的最佳给定值的计算外，还负责车间各装置级 DDC 计算机间的协调管理，以及与工厂级管理计算机的联系。工厂级管理计算机指挥和控制全局，包括制定生产计划、检修计划、销售计划，并负责企业经营方向的决策，同时接收车间管理级的汇报，负责全厂各车间的生产协调，实现监督管理。

五、集散控制系统 (TDCS)

随着计算机技术的发展，微型机的出现，微处理机性能/价格比的提高，以及 CRT 显示技术和数据通信技术的发展，产生了一种新型的计算机控制系统——微机集散控制系统。这种系统以微处理机为核心，实现位置和功能上分散控制，又通过高速数据通道把各个分散在不同位置的的控制点的信息集中起来，进行集中的监视和操作，并实现高级复杂规律的控制。在这里，一个微处理机控制着一个至几个回路，显然这种系统大大降低了集中程度，提高了系统的安全可靠性。

TDCS 一般由现场控制单元、CRT 操作站、接口、通信母线等主要部分组成，如图 1-8 所示。

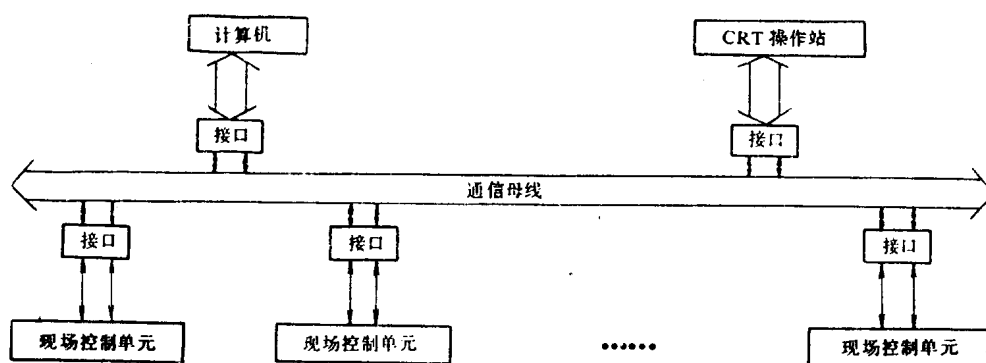


图 1-8 集散控制系统

集散控制有许多突出的优点，如容易实现复杂的控制规律，容易实现程序控制和逻辑控制，系统是积木式结构，系统结构灵活可大可小，易于扩展，系统的可靠性高，采用 CRT 显示技术和智能操作台，操作、监视十分方便。

上面按照功能对计算机控制系统进行了分类。如按控制规律分类可分为程序和顺序控制，PID 控制，最少拍控制和串级控制、前馈控制、纯滞后补偿控制、多变量解耦控制以及最优自适应控制等。另外，按照控制方式分类，计算机控制系统可分为开环控制和闭环控制。

第三节 计算机控制系统在火电厂的应用和发展

近年来,随着电力工业的发展,科学技术的进步,世界各国发电设备都在向高参数、高效率、大容量的单元机组发展,如美国的 1300 MW 发电机组,独联体的 1200 MW 发电机组,日本的 1000 MW 发电机组,都采用超临界参数,机组的热力系统和辅助设备也都非常复杂,相应地,运行中需要监视和调节的参数、操作的项目也大为增加。随机组容量的增加监视和操作项目增加的情况示于表 1-2。机组需要监视和操作的项目在启停和事故处理过程中得到尤为突出的展示,此时机组处于不稳定状态下工作,各种参数不断地、迅速地变化,常常是在同一瞬间有许多参数需要进行监视,有时甚至要求运行人员在几分钟内完成几十项操作内容、稍有贻误就可能造成重大事故。鉴于以上特点。采用常规控制方式。将会使控制盘上安装的常规仪表和操作开关数量增加,从而也增加了操作和监视的困难,增加了运行人员的劳动强度,而且容易造成误操作,威胁机组安全。

表 1-2 不同容量机组的监视和操作项目数量

机 组 容 量 监 控 数 量	50 MW	125 MW	200 MW	300 MW
监视项目 (测点数)	115~135	540~600	560	950~1950
操作项目 (执行器数)	70~75	142	280	410~450

为了保证机组安全、经济地运行,工业发展水平较高的国家,对大型单元机组都不同程度地采用了计算机控制系统。

我国于 50 年代后期开始在火力发电厂中进行计算机控制系统的试验。1964 年,首先在南市电厂(12 MW 燃油机组)、高井电站(100 MW 燃煤机组)上作了大量的试验工作;1975 年,又在清河电厂(苏联产 200 MW 单元机组、汽包炉)、望亭电厂(国产 300 MW 单元机组,直流锅炉)等处进行试点,并都初试成功,为我国电厂采用计算机控制系统提供了宝贵的经验。

近几年,从国外进口的火力发电机组,如陡河电厂的 250MW 发电机组、大港电厂的 320 MW 发电机组、元宝山电厂的 300 MW 和 600 MW 发电机组、宝钢 2×350 MW 发电机组、华能南通电厂 2×350 MW 发电机组等,都配有计算机控制系统。

电厂应用计算机控制系统,除具有上述计算机控制系统的特点外,还具有如下优点:

- (1) 保证机组的稳定运行,提高运行效率。
- (2) 减少事故,保证安全性,延长设备的使用寿命。
- (3) 控制方式灵活,控制质量提高。
- (4) 减轻劳动强度,提高管理水平。

总之,电厂采用计算机控制系统,对于提高机组安全、经济运行水平,提高运行管理水平,减轻运行人员劳动强度等都具有明显效果。

随着我国电力工业的发展, 300 MW 及 600 MW 的大容量火力发电机组将成为电力生产中的主力机组, 提高国产大容量单元机组的控制水平, 保证安全稳定运行是摆在广大科技人员面前的重要课题。国内外的经验都已表明, 采用计算机控制系统是对大容量单元机组实行控制的有效措施。可以预见, 以计算机为核心的火电厂控制系统, 在不久的将来定会得到迅速发展。

电厂中采用计算机控制系统, 虽然在控制方式和控制范围上不尽相同, 但总的说来, 目前都可以实现下列功能:

1. 监视运行工况

能对生产过程各种参数(如温度、压力、水位、流量、氧量、转速、位移等)进行快速巡回检测、单点选看、越限报警、制表打印、通过 CRT 显示器可以显示画面和过程变化曲线等。

2. 调节参数

在运行过程中, 可对机、炉、电及其辅助设备的有关参数进行直接或间接的自动调节。

3. 管理运算

对有关的运行指标进行计算、打印制表; 了解局部或全部生产过程, 按预定数学模型进行计算, 寻找最优工况, 指导操作。

4. 机组启停

由计算机控制系统实现单元机组自启停。

5. 事故预报、故障诊断及处理

平时对生产过程能进行趋势预报, 事故发生时, 能对有关信息进行快速存贮、分析和打印, 并在 CRT 上显示相应画面, 以辅助值班人员分析和处理事故。

思 考 题

1. 计算机控制系统有什么特点? 它与连续控制系统有何异同?
2. 生产过程巡回检测和数据处理系统、DDC 和 SCC 系统工作原理如何? 它们之间有何区别与联系?
3. 什么是集散控制系统? 它有什么优点?
4. 电厂中为什么要采用计算机控制系统? 能实现哪些功能?

第二章 过程通道

计算机参与控制有多种形式,被控对象的物理量也千差万别,但计算机只能接受和输出数字信息。因此,被控对象的各种物理量,必须经过一定的物理变换和数学变换后成为统一的电信号,然后变成相应的数字信号送入计算机。计算机对采集到的数据进行相应的计算和处理,输出具有控制作用的数字量。这些数字量也必须经过转换,才能够被各被控对象接受从而产生控制作用。上述数据的转换和传送任务一般由过程通道来完成。所谓通道,就是进行数据转换和传送的设备之总称,它是计算机与被控对象之间的桥梁。通过过程通道,把计算机系统与被控对象联接成一个完整的计算机控制系统。

虽然反映被控对象物理过程的物理量有多种多样,但根据它们的性质和特点可分为下列几种类型。

(1) 模拟量信号:指在时间上是连续的,在幅值上也是连续变化的信号。模拟量信号可以用连续的数学函数表示,例如温度、压力、负压、水位、轴向位移、电流、电压等。

(2) 开关量信号:指随时间离散变化的信号,如逆止阀的开与关、水泵的运行与停止、燃烧器的投入与切除、闸刀开关的闭合与打开、风门挡板的打开与关闭等。

(3) 脉冲量信号:指随时间离散变化,但可以用数字来表征的信号,如蜗轮流量计、电量表等所测的信号。

(4) 数字量信号:指可用二进制数来表示的信号。数字信号可以是数字电压表、键盘等输出的信息,也可以是频率输出型传感器的输出信息,它可以直接被计算机接受。

为了能把上述的模拟量信号、开关量信号、脉冲量信号、数字量信号及时地、真实地送入计算机,并把控制信号送给相应的被控对象,实现控制作用,设置了模拟量通道和开关量通道。模拟量通道的任务就是把生产过程的各种模拟量参数转换成数字量并传送给计算机(模拟量输入通道)。同时把控制量转换成连续信号去控制相应的对象(模拟量输出通道)。开关量通道是把现场设备的状态信息送入计算机(开关量输入通道),并实现计算机对现场被控开关的控制(开关量输出通道)。

第一节 模拟量信号的采样与保持

由于计算机的工作速度很快,而被测参数的变化相对较慢,所以一台计算机往往需要同时采集多个现场参数,然后将模拟量转换成数字量。一般情况下采用多参数共用一个模拟/数字(A/D)转换器。计算机对各参数分时进行采集,因此必须有一个多路开关,轮流把各现场参数送到A/D转换器,此外,在模拟量输出通道中,为了控制多个控制回路,也必须通过多路开关,轮流把控制信号送入各个回路。

当某一参数被进行A/D转换时,由于A/D转换器的转换过程需要一定的时间,因此,

必须保证在 A/D 转换器的转换过程中被测参数的值保持不变, 否则就会影响转换精度。同样, 在模拟量输出通道中, 也必须保持恒定的输出。能够完成上述工作的器件叫采样/保持器 (S/H)。多路开关和采样保持器是构成模拟量通道的重要组成部分。下面我们着重介绍多路开关及 S/H 的原理和应用。

一、采样定理

在模拟信号转化成数字信号过程中, 首先要对模拟信号进行采样, 采样是将一个连续时间函数 $X(t)$ 用时间离散的连续函数 $X^*(t)$ 来表示。采样的形式有:

- (1) 周期采样: 在这种形式下 $(t_{k+1} - t_k) = \text{常量 } T$ ($k=0, 1, 2, \dots$), T 为采样周期。
- (2) 多阶采样: 在这种形式下 $(t_{k+r} - t_k) = \text{常量}$ ($k=0, 1, 2, \dots, r>1$), r 为采样信号个数。
- (3) 随机采样: 没有固定的采样周期, 可以随机地进行采样。

在上述三种形式中, 以周期采样用得最多。

采样器可以看成是一个调制器, 模拟量作为被调制信号, 而采样开关的动作, 可作为单位脉冲函数 (调节频率)。如图 2-1 所示。

由图 2-1 可见, 连续时间函数 $X(t)$ 经过周期采样后变成了离散的模拟信号 $X^*(t)$ 。

$$X^*(t) = X(t)\delta_T(t) \quad (2-1)$$

式中 $\delta_T(t)$ 是周期的单位脉冲序列, 即

$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta_T(t - nT) \quad (2-2)$$

其中 T 为单位脉冲序列的周期, $\frac{1}{T} = f_s$, 称为采样频率, 则:

$$X^*(t) = X(t) \bigg/ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta_T(t - nT) \quad (2-3)$$

由于 $\delta_T(t)$ 是理想的脉冲序列, 它使 $X(t)$ 只在脉冲出现时的瞬时值 $X(nT)$ 有效, 并进行采样, 而在该时间以外是无意义的。所以上式又可以写成:

$$X^*(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X(nT)\delta_T(t - nT) \quad (2-4)$$

对于实际的, 物理上可以实现的时间函数 $X(t)$, 在时间 $t < 0$ 时的函数值为零, 所以上式可以表示成:

$$X^*(t) = \sum_{n=0}^{+\infty} X(nT)\delta_T(t - nT) \quad (2-5)$$

根据上式, 有如图 2-2 所示的波形。由图 2-2 可以看出, 一个连续变化的信号, 经采样后变成了离散的模拟信号。

经验告诉我们, 采样频率越高, 离散模拟信号 $X^*(t)$ 就越接近连续时间函数 $X(t)$ 。但是, 如果采样频率过高, 在实时控制系统中就会花费太多的时间用在采样上, 从而降低了系统的实时性, 因此, 采样频率的确定, 必须使采样后信号 $X^*(t)$ 既不因采样频率太高而浪费时间, 也不因采样频率太低而失真于采样前信号 $X(t)$ 。

香农定理告诉我们: 如果 $X(t)$ 是有限带宽信号, 即当 $|f| > f_{\max}$ 时 $X(t) = 0$, 而 $X^*(t)$ 是 $X(t)$ 的理想采样信号。若采样频率 $f_s \geq 2f_{\max}$, 那么, 一定可以由采样信号 $X^*(t)$

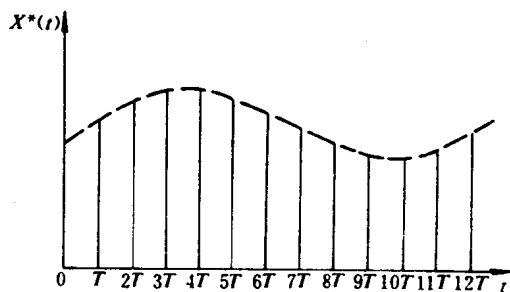
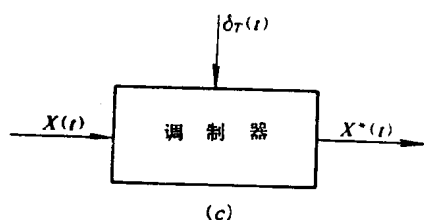
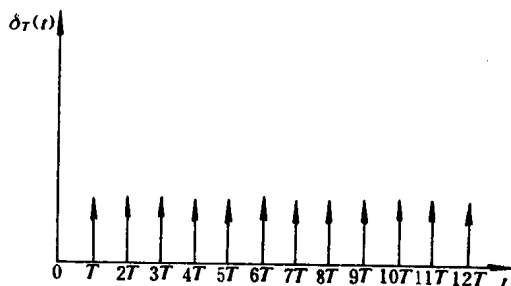
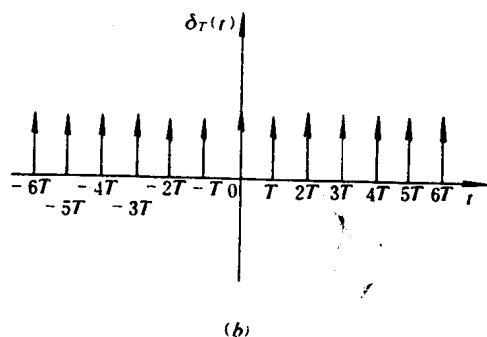
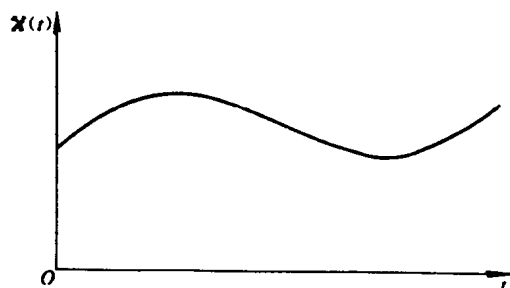
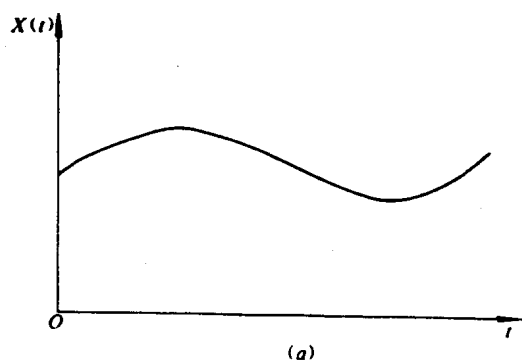


图 2-1 采样原理图

图 2-2 采样前后输入波形的变化

表 2-1 采样周期经验数据表

被测参数类别	采样周期(s)	备 注
流量	1~5	优先用 1~2
压力	3~10	优先用 6~8
液位	6~8	
温度	15~20	
成份	15~20	
手动输入	1	

2-1 所示经验数据。对于含有多个不同类别回路的系统，采样周期一般应按采样周期要求最小的回路来选取。

唯一地决定出原始信号 $X(t)$ 。也就是说，若 $f_s \geq 2f_{\max}$ ，则由 $X^*(t)$ 可以完全地恢复出原始信号 $X(t)$ 。

应该指出，香农定理只是给出了实现采样信号完全恢复模拟信号的最小频率是 $f_s \geq 2f_{\max}$ 。由于所有的信号并非都是“有限带宽”，所以在实际应用中，通常选 $(4 \sim 10)f_{\max}$ 。另外，由于采样定理本身条件的限制，用理论计算的办法求出 f_s （或 T ）是难以做到的，所以工程上经常采用如表