

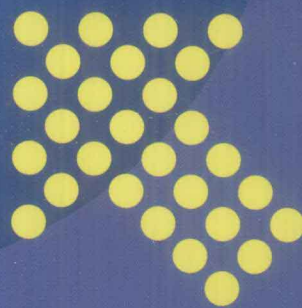
21世纪高等学校规划教材



JISUANJI KONGZHI JISHU

计算机控制技术

张 波 主 编
向贤兵 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

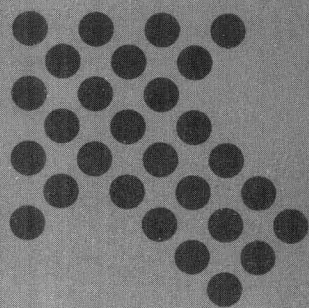
21世纪高等学校规划教材



JISUANJI KONGZHI JISHU

计算机控制技术

主 编 张 波
副主编 向贤兵
编 写 曾 蓉
主 审 程蔚萍



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书主要介绍了计算机控制的基本工作原理, DCS 的三大组成、四级结构和现场总线系统。全书共分七章, 主要内容包括: 计算机控制的基本工作原理, DCS 的体系结构, DCS 的通信网络、过程控制站和人/机接口等三大组成, DCS 的厂级管理级、厂级监控级、车间控制级和现场设备级等四级结构, DCS 在火电厂中的选型、设计、组态、检修、维护、管理和控制方面的主要应用, 现场总线系统等。为了便于学生对所学知识的理解, 每章后面都附有思考题与习题。

本书突出了针对性和应用性, 注重理论联系实际, 内容深入浅出, 文字通俗易懂, 并配有大量的实例、图表和图片, 有利于多媒体教学。

本书可作为高职高专电力技术类电厂热能动力装置、火电厂集控运行、电厂设备运行与维护和高职高专能源类工业热工控制技术等专业教材, 也可作为企业岗位培训和职业资格鉴定的培训教材, 还可作为相关岗位技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机控制技术/张波主编. —北京: 中国电力出版社, 2010. 6

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5123-0228-0

I. ①计… II. ①张… III. ①计算机控制—高等学校—教材
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 047401 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 7 月第一版 2010 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 326 千字

定价 22.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

随着科学技术的高速发展和人们用电需求的不断增加,电力工业也得到了迅猛的发展。发电机组的规模越来越大,发电机组的热力系统和辅助设备也日益复杂。火力发电厂采用计算机控制技术是现代化生产的必然结果,将机、炉、电、控和管理全部纳入计算机控制系统,实现管控一体化,是保证电厂生产“安全、经济、可靠、优化和环保”的重要手段。

为适应高职高专电厂热动力装置、火电厂集控运行和电厂设备与维护等专业的教学需要以及相关技术人员学习的需要,特编写此书。

在本书的编写过程中,编者始终注意突出教材内容的先进性和实用性,同时考虑了读者多是电力生产的后备技术人员或本身就是电力企业职工的特点,在选材方面坚持以火电厂计算机控制系统现状及其发展的要求为核心,有重点和有针对性地组织相关的内容,主要特点如下:

(1) 注重理论与实际相结合,突出职业技能和素质的培养。

(2) 突出电力行业的特点,应用实例全部选用电力行业广泛使用的和比较具有代表性的计算机控制系统。

(3) 力求文字简明扼要,语言通俗易懂,并配有较多的框图和实物图片,另外在附录中给出了组态所需的的功能块,方便读者学习。

(4) 在教材内容的选用方面,体现了当前火电厂 300MW 和 600MW 的新技术、新知识和新应用。

(5) 在教材内容的组织方面,突出了火电厂的可靠性技术要求及其实现。

(6) 针对火电厂对工程技术应用人员的技术要求,比较系统地介绍了计算机控制系统的基本结构、组成、工作原理和抗干扰技术;重点阐述了 DCS 常用的通信网络、过程控制站和人/机接口等三大组成,DCS 的厂级管理级、厂级监控级、车间控制级和现场设备级等四级结构;从使用者的观点出发,简要介绍了基金会现场总线和 PROFIBUS 现场总线的基本内容及其应用。

本书由张波、向贤兵和曾蓉编写,张波担任主编并编写了第一、二、七章和第三章的第一~五节,第六章的第一、五节;向贤兵编写了第四、五章和第三章的第六节;曾蓉编写了第六章的第二~四节。全书由张波统稿。

本书由安徽电气工程职业技术学院程蔚萍主审,主审老师提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表感谢。在本书编写过程中,有许多同志为我们提供了大量资料和建议,在此谨向支持和帮助本书编写的单位和个人致以最衷心的感谢。

由于编者时间仓促,加之水平所限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010 年 5 月

目 录

前言

第一章 计算机控制系统概论	1
第一节 计算机控制系统的基本组成.....	1
第二节 计算机的输入/输出技术	8
第三节 输入数据处理	17
第四节 数字 PID 控制算法	20
第五节 计算机控制系统的抗干扰技术	28
思考题与习题	33
第二章 DCS 的体系结构	35
第一节 DCS 的发展历程	35
第二节 DCS 的体系结构	43
第三节 DCS 的组成	46
第四节 DCS 体系结构的实例	50
思考题与习题	57
第三章 DCS 的通信网络	58
第一节 数据通信基础	58
第二节 网络通信协议	67
第三节 网络传输介质和通信设备	70
第四节 网络拓扑结构	74
第五节 介质访问技术	76
第六节 DCS 通信网络的实例	81
思考题与习题	90
第四章 DCS 的过程控制站	92
第一节 过程控制站的硬件系统	92
第二节 过程控制站的软件系统.....	102
第三节 过程控制站的可靠性.....	104
第四节 DCS 过程控制站的实例	107
思考题与习题.....	116
第五章 DCS 的人/机接口	118
第一节 概述.....	118
第二节 操作员站.....	120
第三节 工程师站.....	130

第四节 其他人/机接口	132
第五节 DCS 人/机接口的实例	135
思考题与习题	145
第六章 DCS 在火电厂中的应用	146
第一节 DCS 产品的选型和系统的设计	146
第二节 DCS 的组态	150
第三节 DCS 的检修和维护	156
第四节 厂级监控和管理信息系统	162
第五节 DCS 管理和控制的实例	170
思考题与习题	175
第七章 现场总线系统	177
第一节 概述	177
第二节 基金会现场总线	184
第三节 PROFIBUS	193
第四节 现场总线系统在火电厂中应用的实例	200
思考题与习题	204
附录 MACSV 系统的控制算法	205
参考文献	208

第一章 计算机控制系统概论

自从1998年我国装机容量超过277GW,跃居世界第二位以来,我国电力仍以较高的速度和更大的规模在迅猛发展,现在已进入了以装设600~1000MW超超临界压力机组为主的时期。随着电力生产规模的不断扩大,电力生产复杂性也迅速提高,需要监视、控制的参数和项目都大大增加了,机组热力系统和辅助设备的控制难度也在逐步加大。

现代化火电厂生产有其特殊性。首先是生产过程的参数变化量大、变化迅速和操作量大,而且要求在较短的时间内完成各种复杂的操作。其次对于火电厂众多的控制系统来说,并非单输入/单输出(SISO)的线性定常系统,而是多输入/多输出(MIMO)、非线性、时变和分布参数的控制系统,如果采用传统的操作方式,即常规控制系统,也称为模拟仪表控制系统,是不可能满足生产过程要求的。另外随着社会的进步和发展,人们对电力生产控制过程的“稳、准、快”等控制质量和诸多的管理目标,也提出了新的和更高的要求,因此人们迫切需要先进的且与生产过程相适应的自动控制系统。

计算机,尤其是微处理器的出现并应用于自动控制领域,使火电厂自动控制水平产生了巨大的飞跃。

计算机控制系统通过软硬件的完美结合,利用了计算机具有快速精确计算、逻辑判断和存储等信息处理能力,替代了原模拟仪表控制系统的控制器;使用CRT取代了许多显示仪表;通过通信接口,实现了人/机对话;在采用多种科学技术保证了安全性和可靠性的同时,不仅使企业的自动控制和管理水平发生显著的变化,而且创造了巨大的经济效益,并获得了人们的高度评价。

我国在《火力发电厂设计技术规程》中规定:火力发电厂生产必须采用计算机进行生产过程监视和控制。火电厂将机、炉、电、控和管理全部纳入计算机控制系统,实现管控一体化,是提高火电厂自动化水平,保证新建大容量机组顺利投产,保证机组“安全、经济、可靠、优化和环保”运行的重要手段和有效措施。

综上所述,计算机控制系统在火电厂应用的主要原因有以下几个。

- (1) 市场的竞争、控制规模的扩大和管理的需要。
- (2) 有模拟仪表控制系统无可比拟的优越性。
- (3) 国家明文规定。
- (4) 实现管控一体化的重要途径。

第一节 计算机控制系统的基本组成

电力生产过程采用自动控制技术是从低级发展到高级,已有较长的历史。从控制元件来看,经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路到超大规模集成电路的发展过程;就热控仪表的角度观察,历经了模拟仪表、单元组合仪表、组装仪表、数字仪表、智能化数

字仪表到计算机监控设备等几个阶段；就控制方式而言，由就地仪表的基地式控制到组合控制、仪表的集中式监控，从仪表的集中式监控到计算机集中控制、分散控制系统（distributed control system, DCS），再到处于发展中的现场总线控制系统（fieldbus control system, FCS）。

DCS 也称为分布式控制系统或集散控制系统。在广义上，DCS 和 FCS 也称为计算机控制系统，而在 20 世纪 70 年代前的计算机控制系统，通常称为早期的计算机控制系统。

一、计算机控制系统的基本结构

1. 反馈自动控制系统的基本组成

反馈自动控制系统是由被控对象、测量变送器、控制器和执行器等构成。典型反馈自动控制系统结构框图如图 1-1 所示。



图 1-1 典型反馈自动控制系统结构框图

2. 计算机控制系统的基本结构

计算机控制系统由工业控制计算机（工控机）和生产过程两大部分组成。工控机是按生产过程控制的特点和要求而设计的计算机，它包括硬件和软件两部分。生产过程包括被控对象、测量变送、执行机构和电气开关等装置。计算机控制系统的基本结构框图如图 1-2 所示。

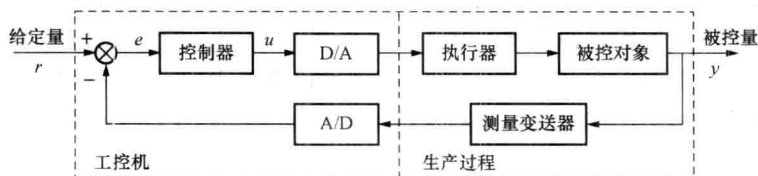


图 1-2 计算机控制系统的基本结构框图

(1) 被控对象。被控对象是指所要控制的装置或设备，如风机、水泵、阀门、锅炉、汽轮机和发电机等。在控制系统的分析和设计中，通常以数学模型形式来描述被控对象，用微分方程或传递函数来表示。由于复杂的被控对象，如具备非线性、时变、多耦合和大延迟的锅炉，其完整和准确的数学模型是无法获得的，因此工程上往往使用经过简化和能满足控制要求的近似模型。

(2) 执行器。执行器是控制系统中的重要部件，它将控制器输出的控制信号进行功率放大，驱动挡板和阀门等设备，控制被控对象的信号或能量，使生产过程符合预定的要求。按照采用的动力方式，执行器可以分为电动执行器、气动执行器和液动执行器三大类。

(3) 测量变送器。生产过程的信号可以归纳为模拟量（analog）信号、开关量信号（switching）。由于生产过程的数字量信号和脉冲量信号可以用开关量信号表示，因此数字量信号和脉冲量信号的分析和处理过程，与开关量信号的分析和处理过程几乎相同。就本质而言，数字量信号和脉冲量信号是开关量信号。

模拟信号是指时间上连续和幅值上也连续的信号，如火电厂的温度、压力、流量、料位和成分等信号；开关量信号则是时间上和数值上都不连续的量，如继电器接点的断开或闭合，电动机的停止或启动等，开关量信号可以用0或1表示。

测量变送器将不标准或非电量的过程参数，转换为标准的电流或电压信号，以便于传输、显示或计算。如温度变送器可以将热电阻的电阻信号，转换为标准的4~20mA DC或1~5V DC信号。

在计算机控制系统中，由于数字控制器只能识别二进制数字量，因此测量变送器信号要经过隔离、调理和模拟量/数字量(A/D)等转换后，才能进入数字控制器进行下一步的处理。

(4) 控制器。计算机控制系统的控制器是数字控制器，通过计算机软硬件的共同协调和配合，可以实现数字控制器对生产过程的控制作用。由于计算机程序编写的灵活性，在一定的程度上，使得数字控制器比传统模拟控制器具有更多优势。

二、计算机控制系统的组成

计算机控制系统的组成原理框图如图1-3所示。

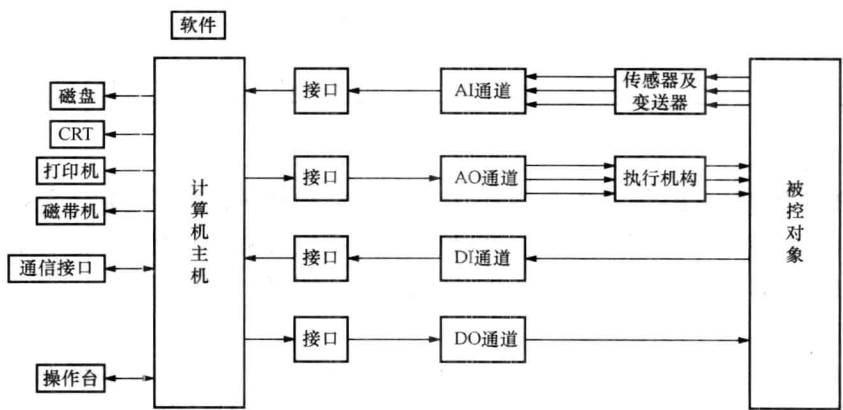


图 1-3 计算机控制系统的组成原理框图

(一) 硬件组成

计算机控制系统的硬件主要由主机、输入/输出(I/O)通道、人/机接口(human machine interface, HMI)设备和通信接口等组成。

1. 主机

主机是计算机控制系统的核心，由微处理器(CPU)、存储器、总线和接口等组成。主机依据控制策略对输入的信号进行运算和处理，并通过输出设备向生产过程发送控制命令，从而达到预定的控制目的，另外主机还可以接收来自操作台的操作控制命令。

在计算机控制系统中，控制策略由计算机程序实现，常用的各种控制策略被编写成子程序或函数并被封装起来。人们可以自由选择自己所需的控制策略。控制策略也称为控制算法、功能模块、标准模块子程序、内部仪表或程序元素等。在实际的应用过程中，可以根据需要，利用箭头连线将所需的控制算法连接起来，并通过设置它们所需的参数，构成完整的控制系统，这就是所谓的控制回路的组态过程。

不同的控制系统需要的控制算法的种类、数量和参数等可以完全不同。

2. I/O 通道

在计算机控制系统中，由于数字控制器是采用二进制的数字设备，只能接收和输出二进制数字信号。而传感器、变送器和执行机构多种多样，信号的输入和输出是不一样的，但不外乎还是模拟量信号、开关量信号、数字量信号和脉冲量信号等。因此在数字控制器与传感器、变送器和执行机构之间，还存在着信号的传输和转换问题，这主要由 I/O 通道来实现，I/O 通道也称为 I/O 接口或 I/O 设备等。

过程 I/O 通道主要包括模拟量输入（analog input，AI）通道、模拟量输出（analog output，AO）通道、开关量输入（digital input，DI）通道和开关量输出（digital output，DO）通道等。

几台 600MW 机组的信息量和指令量汇总，如表 1-1 所示。

表 1-1 几台 600MW 机组的信息量和指令量汇总

电厂名	机组容量 (MW)	模拟量输入	开关量输入	总信息量	模拟量输出	开关量输出	总指令量	总计
北仑电厂	600	1506	2680	4186	60	106	166	4352
石洞口二厂	600	1455	3047	4502	137	1166	1303	5805
沁北电厂	600	1712	3038	4750	143	1251	1394	6144
扬州二厂一期	600	1728	3529	5257	288	1260	1555	6812
镇江电厂	600	1757	4350	6107	252	2094	2346	8453

3. 人/机接口

人/机接口主要包括磁盘、CRT、打印机、磁带机和操作台等。通常还包括专用的操作显示面板或操作显示台。有关人员不仅可以利用人/机接口集中监视生产过程的状况，记录和存储有用的数据，打印需要的报表，还可以手动控制生产过程等。

4. 通信接口

通信接口是数据终端设备（data terminal equipment，DTE）与数据通信设备（data communications equipment，DCE）之间的界面，为了使不同厂家的产品能够互换或互连，DTE 与 DCE 在插接方式、引线分配、电气特性和应答等关系上，均应符合统一的标准和规范，这一套标准规范就是 DTE/DCE 的接口标准，也称为接口协议。

通信接口是形成计算机控制系统的通信网络的必备条件之一。

(二) 软件组成

计算机控制系统的软件主要由系统软件、应用软件和管理软件等组成。

1. 系统软件

系统软件一般包括操作系统及其配套软件、算法语言、数据库、通信网络软件和诊断软件等。系统软件可以分为通用和专用两类。通用系统软件是指一般计算机使用的软件，如 Windows、Unix 操作系统和关系数据库等；专用软件是指控制计算机特有的软件，如控制语言、组态软件和实时数据库等。

2. 应用软件

应用软件是控制人员针对某个生产过程而编制或生成的专用控制软件，它的优劣直接影响控制品质和生产过程的稳定运行。应用软件一般分为 I/O 软件、控制运算软件、人/机接口软件和打印制表软件等。

3. 管理软件

目前由于计算机控制系统具有控制、管理、操作、经营和决策等功能,因此必须有配套的各类管理软件。

三、计算机控制系统的工作过程

1. 工作过程

计算机控制系统的工作过程,可以归纳为以下三个步骤:

(1) 实时数据采集

对来自测量变送器的被调量进行实时检测和输入。

(2) 实时控制运算

数字控制器按已定的控制规律,对实时采集信号进行分析和处理。

(3) 实时控制输出

将实时控制运算结果传输到执行机构,完成控制任务。

上述过程不断重复,使整个计算机控制系统按照一定的品质指标进行工作,并对被调量和设备本身的异常现象作出及时的处理。

所谓“实时”,是指在规定的时间内完成规定的任务。就计算机控制系统而言,要求计算机能够在规定的时间内,以足够快的速度,不仅对数据进行采集、分析和处理,而且利用被处理后的数据控制和操作相应的被控对象,否则就会失去控制机会。不同的对象实时时间是不相同的。

2. 工作方式

计算机控制系统两种工作方式,即在线工作方式和离线工作方式。

(1) 在线工作方式

在线工作方式又称“联机”工作方式。即计算机在控制系统中直接参与控制或交换信息,而不通过其他中间记录介质,如磁盘、U盘、光盘和磁带等。在线工作方式具有实时性。

(2) 离线工作方式

离线工作方式又被称“脱机”工作方式。即计算机不直接参与对被控对象的控制,或不直接与被控对象交换信息,而只是将有关控制信息记录或打印出来,再由操作员按照计算机提供的信息,完成相应的控制操作。离线工作方式不具备实时性。

四、计算机控制系统的基本形式

尽管由于被控对象、复杂程度、管理方法、控制规律和系统要求等不同,使得不同计算机控制系统的软、硬件组成和功能差异很大,但是计算机控制系统的基本应用形式还是可以归纳为以下几种。

1. 数据采集与处理系统 (data acquisition system, DAS)

计算机控制和管理不能没有数据,DAS是一个计算机控制系统最基本的应用,也是计算机控制系统的基础。由于DAS不仅可以对生产过程的数据进行巡回采集,而且可以对这些数据进行统计、分析、记录和参数越限报警等处理,并在必要时给出操作指导,使人们能够更好地掌握生产过程的运行状况和变化趋势,因此DAS也被称操作指导控制系统。

操作指导是指计算机的输出并不直接用来控制生产对象,而只是对系统过程的数据进行必要的采集和处理,然后输出数据。操作员可以根据这些数据的结果,进行必要的操作。

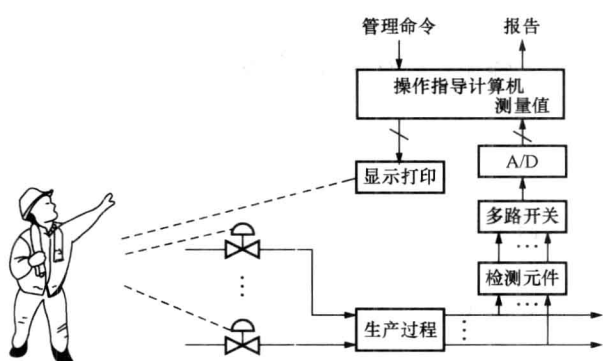


图 1-4 DAS 原理框图

DAS 原理框图如图 1-4 所示。

DAS 最突出的特点是简单和可靠。通常被用于计算机控制系统的初级阶段，或用于试验新的数学模型和调试新的控制程序等，还特别适用于控制规律还无法确定的系统。

DAS 的缺点是需要人工进行操作，而人不能同时操作几个回路，另外人操作的速度，也无法与计算机的运算速度相比。

2. 直接数字控制 (direct digital control, DDC) 系统

DDC 系统是使用一个计算机对多个被控参数进行巡回检测，检测结果与给定值进行比较，再按 PID 规律或 DDC 方法进行控制运算，然后输出到执行机构，实施生产过程的控制。DDC 系统原理框图如图 1-5 所示。

由于数字控制器的性/价比高，因此一个计算机不仅可以代替多个模拟调节器，也可以实现各种复杂的控制规律，如串级控制、前馈控制、自动选择控制和大滞后控制等。DDC 系统在过程控制中得到了广泛的应用。

3. 计算机监控 (supervisory computer control, SCC) 系统

SCC 系统的数字控制器接受过程输入信号，根据生产过程的要求，不断计算出相应的数据（最佳给定值）传输到 DDC 的数字控制器，使生产过程始终处于最优工作状态。SCC 系统较 DDC 系统更接近生产变化实际情况，它不仅可以进行给定值控制，同时还可以进行顺序控制、最优控制和自适应控制等，它是 DAS 和 DDC 系统的综合。SCC 系统原理框图如图 1-6 所示。

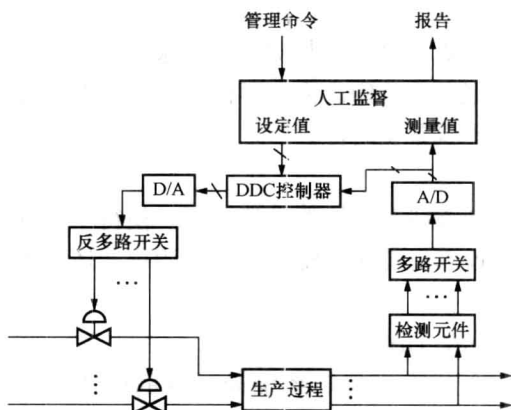


图 1-5 DDC 系统原理框图

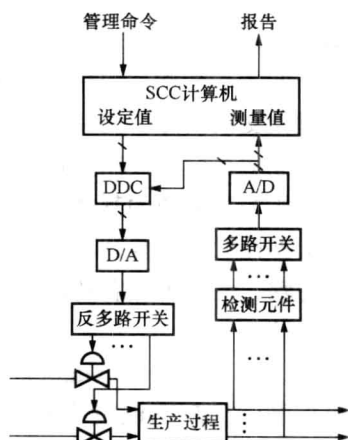


图 1-6 SCC 系统原理框图

SCC 系统为两级计算机控制系统。一级为监督级 SCC，用来计算最佳给定值；另一级是控制级 DDC 系统。DDC 系统的数字控制器将给定值与测量值（数字量）进行比较，其偏差由 DDC 进行数字控制计算，然后经 D/A 转换器和多路开关分别控制各个执行机构，因此 SCC 系统也称为最优控制系统。

当系统中 DDC 控制器出了故障时,可用 SCC 系统进行调节,这就意味着 SCC 系统的可靠性也比 DDC 系统更高。

4. DCS

1971 年 1 月, Intel 公司的霍夫研制成功世界上第一块 4 位微处理器芯片 Intel 4004,标志着第一代微处理器问世,微处理器和微机时代从此开始,同时为 DCS 的产生创造了必要的物质基础。

DCS 是现在普遍使用的控制系统,具有先进性、可靠性、扩展性、兼容性和开放性等特点。DCS 融合了多种技术,如计算机、自动控制、通信、网络、电子、材料、测量、抗干扰和人/机接口等技术。关于 DCS 的有关内容,将在后面的章节进行介绍。

5. FCS

FCS 是 20 世纪 80 年代中期,在国际上发展起来的一种崭新的工业控制技术。FCS 突破了传统的信息交换方式、信号制式和系统结构的限制,更新了传统的自动化仪表功能概念和结构形式,改变了系统的设计和调试方法,开辟了控制领域的新纪元。关于 FCS 的有关内容,也将在后面的章节进行介绍。

五、计算机控制系统的特点

与模拟仪表控制系统相比,计算机控制系统具有以下特点。

1. 运算精确度高

数字控制器使用数字运算,运算精确度高。

2. 控制性能好

在计算机控制系统中,除使用常规控制方法外,还可方便地使用先进的控制算法,如使用 Smith 预估算法来克服控制对象的大迟延;使用自整定调节器来弥补对象时变对控制性能的影响;使用鲁棒控制器来提高控制系统的抗干扰能力等,另外在计算机控制系统中,由于使用了各种控制算法替代了大量的常规模拟控制仪表,使得整个系统接线简单和修改容易,更便于构成复杂控制系统,并且节省了控制盘、仪表和接线等成本。

3. 操作界面友好

在生产过程中,大屏幕、指示仪、记录仪,打印机、声/光报警器、按钮、键盘、鼠标、触摸屏和滚动球等设备为操作员的监视和操作提供了方便。

4. 管控一体化

计算机网络技术的发展,使得多个计算机能够协同工作,可将设备(回路)控制、车间(机组)控制与全厂管理,有机地结合在一起,实现管控一体化。

5. 可靠性高

计算机控制系统的可靠性,主要体现在采用了高质量的电子元器件、合理的电路制作工艺、有效的抗干扰措施和先进的软件编程技术等方面;计算机控制系统的冗余和容错设计,使得当出现局部软、硬件故障时,不会影响系统的正常控制;计算机控制系统的分布式设计,使得当个别回路故障时,不会影响其他回路;计算机控制系统的自诊断技术,使得系统能及时发现故障,并提前采取措施;在需要的时候,还可以将自动切换为手动,实施人工控制。上述这些内容为计算机控制系统的长期稳定运行提供了保证。

六、火电厂计算机控制系统的主要功能

在火电厂中,计算机控制系统可实现的控制功能随火电厂要求的控制方式和控制范围有

所不同,主要功能如下所述。

1. 安全监视和数据处理

安全监视和数据处理包括巡回检测、参数处理、越限报警、参数显示、制表打印和性能计算等。

2. 正常调节

在正常运行时,对锅炉、汽轮机和发电机等主辅设备进行直接或间接控制。

3. 管理计算

利用数学模型,对生产过程的数据进行计算,寻找最优工况,实现最优控制;对各运行指标进行计算,改善企业的管理状况。

4. 事故处理

对生产过程进行监视和趋势预报,对事故进行分析和处理,并记录事故时设备的状态和参数,供运行人员事后分析。

5. 机组启停

实现发电机组的自动启停。

采用计算机控制可以提高火电机组或全厂的运行效率,使机组运行稳定;减少和避免重大事故,延长设备寿命;强化操作员素质,减轻劳动强度,提高经济效益。

第二节 计算机的输入/输出技术

一、计算机控制系统的信号流程

计算机控制系统的信号流程如图 1-7 所示。

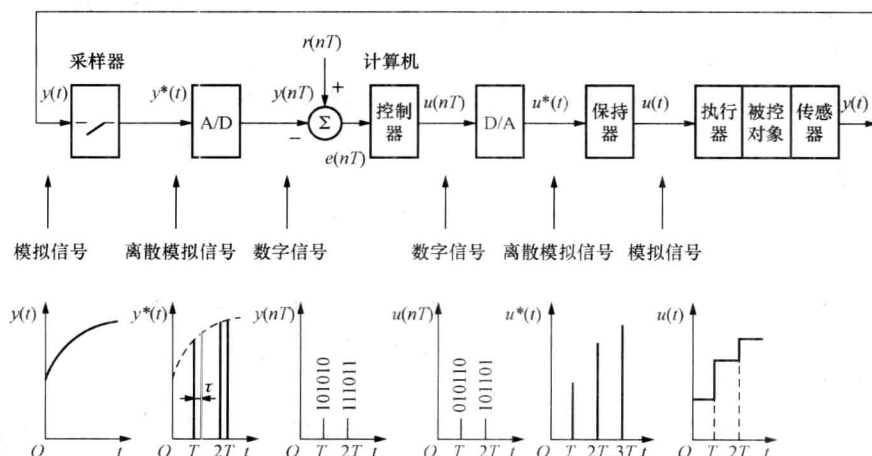


图 1-7 计算机控制系统信号流程图

从被控对象开始依次有以下五种信号。

1. 模拟信号 $y(t)$

2. 离散模拟信号 $y^*(t)$

按一定的采样周期 T , 将模拟信号 $y(t)$, 转变为在瞬时 $0, T, 2T, \dots, nT$ 的一连串脉冲信号 $y^*(t)$ 的过程, 称为采样过程。在每个采样周期 T 内, 采样开关闭合时间为 τ , τ

远小于 T ，仅仅在 τ 时间内 $y^*(t)$ 才是连续的。

模拟信号 $y(t)$ 经过采样器，就成为了离散模拟信号 $y^*(t)$ 。离散模拟信号是时间上离散，而幅值上连续的信号。

3. 数字信号 $y(nT)$ 、 $r(nT)$ 和 $e(nT)$

离散模拟信号 $y^*(t)$ 经过 A/D 转换器，就成为了数字信号 $y(nT)$ ；设定值 $r(t)$ 由数字控制器转换成数字信号 $r(nT)$ 。在数字控制器内部， $y(nT)$ 和 $r(nT)$ 的差值 $e(nT)$ 为数字信号。

4. 数字信号 $u(nT)$

数字控制器依据控制周期，执行控制算法，其运算结果或控制量 $u(nT)$ 为数字信号。

5. 模拟信号 $u^*(t)$

控制量 $u(nT)$ 经过 D/A 转换器的转换，就成了模拟信号 $u^*(t)$ 。

二、信号的采样与保持

在计算机控制系统中，信号的转换过程几乎无处不在。在信号的转换中，必须保证数据不丢失原来包含的主要特征信息，这就要涉及信号的采样、量化和保持等技术。

1. 信号的采样

(1) 采样过程。采样过程就是将模拟信号变换为离散信号的过程。实现采样的装置，称为采样器或采样开关。采样器输入信号 $y(t)$ ，称为原信号；采样器输出信号 $y^*(t)$ ，称为采样信号。采样过程如图 1-8 所示。

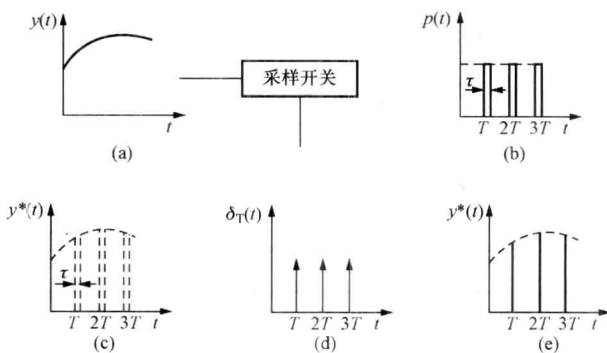


图 1-8 采样过程示意

(a) 模拟信号；(b) 脉冲序列；(c) 采样信号；(d) 单位脉冲序列；(e) 理想采样信号

采样信号为一脉冲序列，在采样期间（采样开关闭合），采样信号与原信号相同；在其余时间内（采样开关断开），采样信号为零。采样开关通常按一定时间间隔 T ，重复接通和断开动作，这里的 T 为采样周期。采样信号可以描述为

$$y^*(t) = p(t)y(t) \quad (1-1)$$

其中 $y(t)$ 是幅值为 1，周期为 T ，宽度为 τ 的脉冲序列，如图 1-8 (b) 所示。

在通常情况下，由于 $\tau \ll T$ ，因此可以认为

$$p(t) \approx \delta_T(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - kT) \quad (1-2)$$

这里 $\delta_T(t)$ 为单位脉冲序列，如图 1-8 (d) 所示。

将式 (1-2) 代入式 (1-1), 得

$$y^*(t) = y(t)\delta_T(t) = y(t) \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - kT) = \sum_{k=0}^{\infty} y(kT)\delta(t - kT) \quad (1-3)$$

式 (1-3) 表明: 当采样开关的闭合时间 τ 远小于采样周期时, 可以近似认为, $y^*(t)$ 是 $y(t)$ 在采样开关闭合时的瞬时值。

(2) 采样定理。在计算机控制系统中, 采样周期 T 的选择是极其重要的。采样周期越小, 采样结果越接近连续变化的信号, 但同时使计算机用在数据采集与处理上的时间就越长, 硬件投资也要相应增加; 采样周期太大, 将会出现采样信号不能代表原信号的现象, 也不可能达到很好的控制效果。

选择采样周期的理论依据是香农 (Shannon) 采样定理。

香农采样定理描述为: 设原始信号频谱的最高频率为 $f_{\max}$, 采样频率为 f_s , 则当 $f_s \geq 2f_{\max}$, 即采样频率大于等于原始信号频谱中最高频率的两倍时, 才能根据采样信号 $y^*(t)$ 唯一地复现原信号 $y(t)$ 。

采样定理为采样周期的选取奠定了理论基础, 它给出了采样周期的上限。实际连续信号的最高频率是很难确定的, 因为它往往包含了各种噪声。另外采样理论要求所有的采样值取得后, 才能确定被采样的时间函数 $y(t)$, 这对于连续运行的计算机控制系统来说, 也很难实现, 因为在实际系统中, 在后面的采样动作发生之前, 数字控制器就要对生产过程进行控制了。

通过以上对采样定理本身规定的条件的分析, 可以得到用理论计算的方法, 很难求取采样周期 T 的结论, 因此在工程实践中, 常采用经验数据如表 1-2 所示。

表 1-2 采样周期参考值

物理量	采样周期 (s)	备 注	物理量	采样周期 (s)	备 注
流量	1~5	优先选用 1~2s	温度	15~20	
压力	3~10	优先选用 6~8s	成分	15~20	
液位	6~8				

2. 量化

就本质而言, 采样后得到的离散模拟信号还是模拟信号, 不是数字信号, 不能被数字控制器接受和处理。

量化过程就是用一组数码, 如二进制码, 来逼近离散模拟信号的幅值, 将其转换成数字信号的过程。量化过程如图 1-9 所示。

由于计算机的数值信号是有限的, 因此用数码来逼近模拟信号是近似的处理方法。

量化单位 q 是指量化后二进制数的最低位所对应的模拟量的值。设 $f_{\max}$ 和 $f_{\min}$ 分别为转换信号的最大值和最小值。 i 为转换后二进制数的位数, 则量化单位为

$$q = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2^i}$$

对于同一转换信号范围, i 越大, 即转换后的位数越多, q 就越小, 量化误差也越小。量化误差的最大值为 $\pm \frac{q}{2}$, 而不是 q 。如模拟信号 $f_{\max} = 16V$ 、 $f_{\min} = 0V$, 取 $i = 4$, 则 $q =$

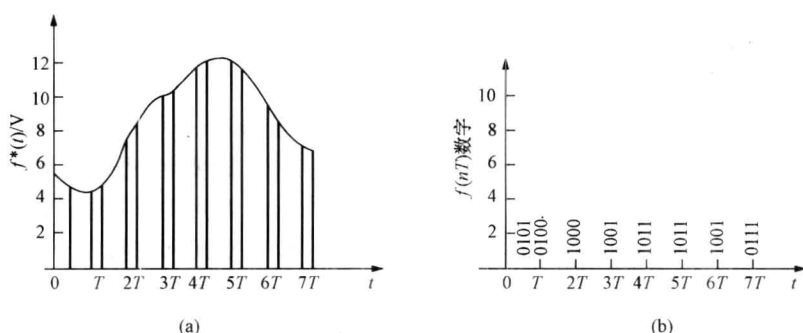


图 1-9 量化过程

(a) 离散模拟信号; (b) 数字信号

1V, 量化误差最大值 $e_{\max} = \pm 0.5V$ 。

由以上分析可知: 在采样过程中, 如果采样频率足够高, 并选择足够字长的量化数值, 使得量化误差足够小, 就会保证采样处理的精确度。可以用经采样和量化后得到的一系列离散的数字量, 来表示某一时间上连续的模拟信号。

3. 信号的保持

数字控制器输出的二进制数字信号, 经 D/A 转换器, 被转换为离散信号。由于离散信号只在采样时刻有输出值, 其余时刻为零, 因此不能直接控制连续对象。信号的保持是按照一定的方法, 确定两次采样之间信号的幅值。保持器是指将离散采样信号恢复为连续信号的一种装置, 有零阶、一阶和二阶等。由于零阶保持器结构简单, 且 D/A 转换器具有零阶保持器的功能, 因此计算机控制系统中绝大多数采用零阶保持器。

零阶保持器的工作原理是根据现在或过去时刻的采样值 $u(kT)$, $u[(k-1)T]$, $\dots$, 使用外推法, 逼近两个采样时刻之间的原信号 $u(kT + \Delta t)$, 其中 $0 \leq \Delta t < T$ 。外推公式的一般形式为

$$u(kT + \Delta t) = a_0 + a_1 \Delta t + a_2 \Delta t^2 + \dots + a_m \Delta t^m \quad (1-4)$$

式 (1-4) 称为 m 阶外推公式, 代表的是 m 阶保持器, 其中 a_i 为待定值, $i=0, \dots, m$ 。

当 $m=0$ 时, 得零阶保持器的外推公式

$$u(kT + \Delta t) = u(kT) \quad (0 \leq \Delta t < T)$$

零阶保持器可以将 kT 时刻的信号, 一直保持 (外推) 到 $(k+1)$ 时刻前的瞬间。零阶保持器如图 1-10 所示。

三、I/O 通道简介

根据过程信息的性质和传输方向, I/O 通道主要包括 AI、AO、DI 和 DO 等通道。

(一) AI 通道

在计算机控制系统中, AI 通道的任务是将被控对象的模拟量信号, 转换为计算机可以接受的数字量信号。

1. AI 通道的组成

AI 通道一般由 I/V 变换、多路开关、采样/保持器、A/D 转换器、接口和控制逻辑等

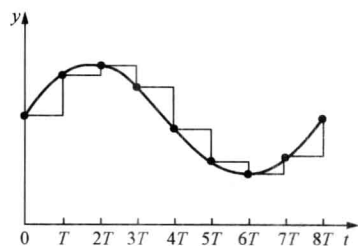


图 1-10 零阶保持器