

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



HUODIANCHANG
JISUANJI KONGZHI

火电厂 计算机控制

刘志远 主编



中国电力出版社

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

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TM 621.6
6

TM621.6
6

HUODIANCHANG
JISUANJI KONGZHI

火电厂 计算机控制

主 编 刘志远
编 写 缪国钧 徐建涛
主 审 吕剑虹



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本教材按火电厂生产过程计算机控制的整体框架组织教材内容,将计算机控制技术与控制系统的内容相结合,将分属于“微机原理”、“计算机控制技术”、“计算机控制系统”、“热工自动控制系统”、“智能控制理论”等方面的内容进行整合,既有对火电厂计算机控制系统总体结构的介绍,又涉及到了组成系统的硬件和软件;既介绍了有关的理论知识,又列举了工程的应用实例,为学生将来的实际工程应用打下良好的基础。

本书主要作为高等院校热能与动力工程专业“火电厂计算机控制”课程的本科生教材,也可供专科生和成人高校学生使用,同时可作为有关部门从事自动控制工作的技术人员学习的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂计算机控制/刘志远主编. —北京:中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-5216-9

I. 火... II. 刘... III. 火电厂—计算机控制—高等学校—教材 IV. TM621.6-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 020963 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



*

2007 年 4 月第一版 2007 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 456 千字

印数 0001—3000 册 定价 29.80 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

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

随着火力发电机组规模和容量的不断发展,生产设备的逐步大型化,生产系统的日趋复杂,对机组安全经济运行要求的不断提高,火电厂的自动化水平也不断得到提高,从传统的炉、机、电分别人工就地控制发展到今天的单元机组集中控制和普遍采用计算机对火电厂生产过程进行控制,特别是分散控制系统 DCS 在火力发电厂生产过程控制中的广泛应用,极大地提高了火电厂的自动化水平。本教材按火电厂生产过程计算机控制的整体框架组织教材内容,将计算机控制技术与控制系统的内容相结合,将分属于“微机原理”、“计算机控制技术”、“计算机控制系统”、“热工自动控制系统”、“智能控制理论”等方面的内容进行整合,既有对火电厂计算机控制系统总体结构的介绍,又涉及到了组成系统的硬件和软件;既介绍了有关的理论知识,又列举了工程的应用实例,为学生将来的实际工程应用打下良好的基础。

“火电厂计算机控制”是热能与动力工程、生产过程自动化、火电厂集控运行等专业的专业主干课程,全书共分为八章,第一章介绍计算机控制系统的组成、结构形式及在火电厂中的应用和发展;第二章介绍过程通道及抗干扰技术;第三章介绍操作系统、数据结构、数据库系统等方面的知识;第四章介绍计算机控制系统中常规和先进控制策略,包括数字 PID 控制算法、参数整定及工程实现方法,串级控制系统、前馈—反馈控制系统、纯滞后补偿控制系统、解耦控制系统等复杂控制系统,预测控制,模糊控制等;第五章介绍数据通信和通信网络的有关基础知识;第六章介绍分散控制系统 DCS 的总体结构及各组成部分的功能、几种典型的 DCS 产品、DCS 的现场控制站、操作员站和工程师站;第七章介绍 DCS 在火电厂中的典型应用,包括 DCS 的选型、系统设计、组态、调试等工程应用问题,典型 DCS 产品在大型火电厂的整体硬件配置和实现的功能,数据采集系统、蒸汽温度控制系统和单元机组协调控制系统等典型控制系统的 DCS 实现等。第八章介绍现场总线技术、现场总线控制系统 FCS、现场总线设备及 FCS 在电厂中的应用;附录一列出几种典型 DCS 的组态功能码;附录二介绍 Symphony 系统中的典型功能码。

本书由南京工程学院刘志远主编,南京工程学院缪国钧和北京交通大学徐建涛参编。刘志远编写第一章,第三章第一节,第四章,第六章第三、四、五节,第七章,附录,并负责全书的统稿工作;缪国钧编写第三章第二、三、四节,第六章第一、二节;徐建涛编写第二章,第五章,第八章。全书由东南大学博士生导师吕剑虹教授主审,吕剑虹教授在百忙中认

真仔细地审阅了书稿，并提出了指导性的建议和许多修改意见，在此谨致以深切的谢意。

本书的出版，得到了江苏省“青蓝工程”资助基金的资助。同时感谢董学育、成胜昌、陈斌、李学明、李瑾、刘久斌、朱红霞等同志在编写过程中给予的支持和帮助。本书在正式出版前已作为校内讲义在南京工程学院能源与动力学院五个本科班级和一个高职班级中使用，感谢同学们在使用过程中提出的意见和建议。书中参考和引用了大量的文献资料，在此，谨向有关作者表示衷心地感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006年10月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 计算机控制系统的组成	1
第二节 计算机控制系统的结构形式	4
第三节 计算机控制系统在火电厂中的应用和发展	8
本章小结	16
思考题	16
第二章 过程通道	18
第一节 模拟量信号的采样与保持	18
第二节 模拟量输入通道	22
第三节 模拟量输出通道	30
第四节 开关量输入/输出通道	33
第五节 硬件抗干扰技术	36
本章小结	45
思考题	46
第三章 计算机控制系统的软件基础	47
第一节 操作系统基础	48
第二节 典型操作系统介绍	56
第三节 数据结构	63
第四节 数据库系统	73
本章小结	80
思考题	80
第四章 计算机控制系统常规及新型控制策略	81
第一节 数字 PID 控制算法	82
第二节 数字 PID 控制器的工程实现	89
第三节 数字 PID 控制器的参数整定	97
第四节 复杂控制系统	105
第五节 预测控制	111
第六节 模糊控制	113
本章小结	122
思考题	123

第五章 数据通信与网络技术	124
第一节 数据通信基础	124
第二节 通信网络技术	132
第三节 网络层次结构及网络协议	140
本章小结	150
思考题	150
第六章 分散控制系统	151
第一节 分散控制系统概述	151
第二节 典型分散控制系统简介	159
第三节 分散控制系统的过程控制站	175
第四节 分散控制系统的操作员站	187
第五节 分散控制系统的工程师站	192
本章小结	197
思考题	198
第七章 分散控制系统在火电厂的应用	199
第一节 分散控制系统的工程应用步骤和方法	199
第二节 分散控制系统在火电厂的应用实例	202
第三节 数据采集系统	215
第四节 蒸汽温度控制系统	222
第五节 单元机组协调控制系统	227
本章小结	243
思考题	243
第八章 现场总线控制系统	245
第一节 现场总线概述	245
第二节 现场总线控制系统	251
第三节 现场总线设备	257
第四节 现场总线控制系统在电厂中的应用	264
本章小结	268
思考题	269
附录一 典型分散控制系统功能模块	270
附录二 Symphony 系统组态图中的部分功能码使用说明	282
参考文献	291

第一章 概述

随着火力发电机组规模和容量的不断发展,生产设备逐步大型化,生产系统日趋复杂,对机组安全经济运行的要求不断提高,火电厂的自动化水平也不断得到提高,从传统的炉、机、电分别人工就地控制发展到今天的单元机组集中控制和普遍采用计算机对火电厂生产过程进行控制,特别是分散控制系统 DCS 在火力发电厂生产过程控制中的广泛应用,极大地提高了火电厂的自动化水平。如今,国内已投运和正在兴建的火电厂中,全部或部分采用分散控制系统的机组已有近 300 台套(不包括小型分散控制系统),而且新建的 300MW 以上的机组将普遍采用分散控制系统。

分散控制系统的应用及其自身的不断完善和发展,加速了火电厂自动化的进程。目前,分散控制系统的应用方兴未艾,在此基础上,火电厂正向着更加完善、更高层次的综合自动化方向发展。

本书内容包括在生产过程中采用计算机进行控制所涉及到的主要知识,以及计算机控制特别是分散控制系统 DCS 在火电厂生产过程控制中的应用。

第一节 计算机控制系统的组成

对于如图 1-1 所示的单冲量给水自动控制系统,其工作原理是:汽包水位信号经水位变送器转换成电信号后送入调节器,与水位给定值进行比较,计算出偏差值,该偏差值经 PID 运算后,输出控制量给执行器,通过执行器控制给水阀门的开度,从而改变给水流量,最终使汽包水位保持在规定的范围内。

用如图 1-2 所示的方框图描述上述控制系统,则由被控对象、测量部件、模拟调节器、执行机构构成了典型的反馈控制系统。在该系统中,从测量部件到执行机构之间(包括模拟调节器内部)流通的是连续的电信号(电压或电流信号),又称连续控制系统,模拟调节器的作用就是使汽包水位保持在一定的范围内。

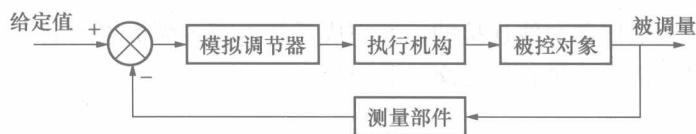


图 1-2 单冲量给水自动控制系统方框图

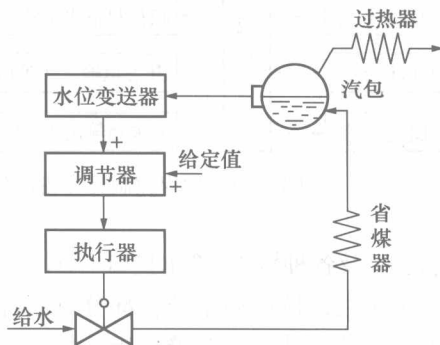


图 1-1 单冲量给水自动控制系统原理图

如果以计算机代替图 1-2 中的模拟调节器,并由计算机全部或部分代替模拟调节器的作用,就构成了计算机控制系统,如图 1-3 所示。

为了进行信号的匹配,还必须配以相应的设备,把从测量部件得来的模拟信号真实地转

换成数字计算机能接收的数字信号 (A/D 转换器), 或把数字计算机输出的数字信号真实地转换成执行机构能接收的模拟信号 (D/A 转换器)。这些设备包括采样器、模/数转换器 (A/D)、数/模转换器 (D/A)、保持器等。

可见, 计算机控制系统的组成原理与连续控制系统是相似的, 但在具体结构和功能实现方法上具有较大的差别, 且围绕其结构特点, 形成了新的设计理论和设计方法即离散设计方法。

由图 1-3 可见, 计算机控制系统就是由过程控制计算机、执行机构、被控对象、测量部件等组成, 后几部分在其他课程中已做过介绍, 下面简单介绍一下过程控制计算机部分。过程控制计算机由硬件和软件部分组成。

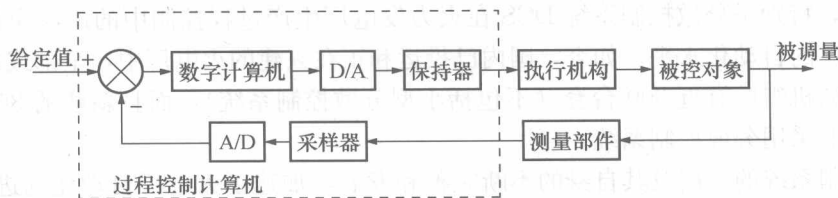


图 1-3 计算机控制系统的原理方框图

一、过程控制计算机硬件

过程控制计算机亦称工业控制计算机 (工控机), 与通常的微型计算机略有不同, 它要在工业环境下适应工业生产要求, 在线、实时地工作, 除了运算外, 还具有控制功能。

如图 1-4 所示, 过程控制计算机硬件主要由主机、通用外部设备、过程输入/输出设备、人机联系设备和通信设备组成, 现分述如下。

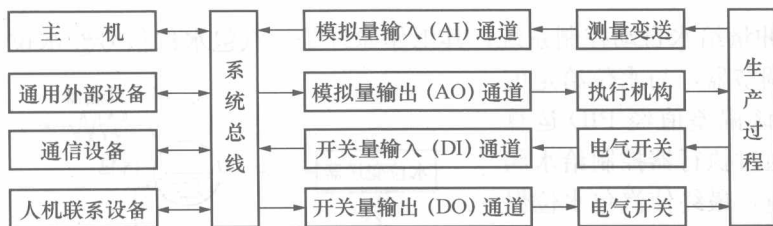


图 1-4 过程控制计算机硬件的组成示意图

1. 主机

主机是过程控制计算机的核心, 它可以由单台计算机或多台计算机组成, 主要包括中央处理器单元 (CPU)、内存储器 (RAM、ROM)、总线 (数据总线、地址总线、控制总线、电源总线) 及各种输入/输出接口 (I/O 接口)。

主机通过接口向系统各部分发出各种命令, 同时对系统的各过程参数进行巡回检测、数据处理、性能计算、报警分析、故障定位、操作指导、闭环控制等。

在内存储器中预先存入了实现信号输入、运算控制和命令输出的程序, 这些程序反映了对生产过程进行控制的规律。系统启动后, CPU 就从内存储器中逐条取出指令并执行, 从而达到预定的控制目的。

计算机与各种功能模板之间是通过内部总线连接的, 以完成系统内部各模板之间的信息传送。计算机系统与系统之间通过外部总线进行信息交换和通信。

2. 通用外部设备

通用外部设备可按功能分为输入设备、输出设备和外存储器。

常用的输入设备是键盘, 用来输入程序、数据和操作命令, 可以通过并行或串行接口与

计算机连接,根据键码的安排,可分为标准键盘和专用键盘两种。

常用的输出设备是 CRT 显示器 (Cathode Ray Tube)、打印机、绘图仪等,它们以字符、曲线、表格和图形等形式来反映生产过程的工况和控制信息。

常用的外存储器是磁盘、磁带和光盘,它们兼有输入和输出两种功能,用来存放程序和数据,作为内存存储器的后备存储设备。磁盘存储器包括硬盘和软盘存储器。

3. 过程输入/输出设备

过程控制计算机与生产过程之间的信息传递是通过过程输入/输出 PIO (Process Input / Output) 设备进行的,它在两者之间起到桥梁和纽带的作用,有时人们又把它们称作过程输入/输出通道。

过程输入/输出设备分为输入设备和输出设备,输入设备分为模拟量输入 AI (Analog Input) 通道和数字量输入 DI (Digital Input) 通道,模拟量输入通道用于输入如温度 (T)、压力 (p)、流量 (Q)、液位 (H)、成分等模拟量信号,数字量输入通道用于输入开关量/数字量;输出设备分为模拟量输出 AO (Analog Output) 通道和数字量输出 DO (Digital Output) 通道,模拟量输出通道将过程控制计算机输出的数字信号转换成模拟量信号后再输出,而数字量输出通道则直接输出开关量信号或数字量信号。

4. 人机联系设备 (人机接口)

操作人员与计算机之间的信息交换是通过人机联系设备进行的。例如, CRT 显示器和键盘、专用的操作显示面板或操作显示台等,其作用一是显示生产过程的状况,二是供生产操作人员操作,三是显示操作结果。

过程控制计算机的操作人员可分为两种:一种是系统操作员,另一种是生产操作员。系统操作员负责建立控制系统,如编制程序和系统组态等;生产操作员则进行与保证生产过程正常运行有关的操作。

系统操作员和生产操作员一般分别使用操作设备。前者使用的设备称为工程师站,而后者使用的设备称为操作员站。

5. 通信设备

现代化工业生产过程的规模一般比较大,对生产过程的控制和管理也很复杂,往往需要几台或几十台计算机才能分级完成控制和管理任务,这样,在不同地理位置、不同功能的计算机或设备之间就需要通过通信设备进行信息交换。为此,需要把多台计算机或设备连接起来,构成计算机通信网络。计算机通信网络是计算机控制系统层次结构和信息集成的基础。

二、过程控制计算机软件

上述硬件只能构成裸机,它只为过程计算机控制系统提供了物质基础,裸机只是系统的躯干,既无“大脑思想”,也无“知识和智能”,因此必须为裸机配备软件,才能把人的思维 and 知识用于对生产过程的控制中。软件是各种程序的统称,软件的优劣不仅关系到硬件功能的发挥,而且也关系到计算机对生产过程的控制品质和管理水平。

软件通常分为系统软件和应用软件。

1. 系统软件

系统软件是计算机厂商提供的,专门用来使用和管理计算机本身以及为应用软件提供开发环境的程序,用户通常只需了解其工作原理并掌握其使用方法即可。系统软件分为操作系统和支援性软件。

操作系统既是计算机控制系统协调工作的组织者，又是系统对过程进行有效控制的指挥者。它的主要部分驻留在内存中，称为操作系统的内核，主要由处理机管理、存储管理、设备管理、文件管理等组成。操作系统是计算机控制系统的基本软件之一，建立一个专门化、小型化、实时响应性好的操作系统，是软件设计的重要任务。

实时操作系统是具有实时特性，能支持实时控制系统工作的操作系统。其最重要的特点是要满足过程控制对时间的限制和要求，应是多任务调度、多道程序的操作系统。实时操作系统除控制、管理计算机系统的外部设备外，还要控制、管理过程控制系统的设备，并具有处理随机事件的能力，它应保证在异常情况下及时处理、保证完成任务中最重要的任务，要求能及时发现并纠正随机性错误，至少保证不使错误的影响扩大，应具有抵制错误操作和错误输入的能力。

所谓实时，是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成，亦即计算机对输入的信息，应以足够快的速度进行控制，超出了这个时间，就失去了控制的时机，控制也就失去了意义。实时的概念不能脱离具体的生产过程，即计算机控制系统从接受输入信号到产生控制作用的时间必须与生产过程的实际运行速度相适应，对该生产过程运行情况的微小变化能及时地做出反应，及时地进行计算和控制。

支援性软件包括编译（语言处理，如汇编语言、各种高级算法语言、过程控制语言等）、数据结构、数据库系统、服务和诊断程序、通信网络软件等。

2. 应用软件

应用软件是系统设计人员针对某个生产过程而编制的控制和管理程序，它的优劣直接影响控制品质和管理水平。

应用软件一般分为过程输入程序、过程控制程序、过程输出程序、人机接口程序、打印显示程序和各种公共子程序等。其中过程控制程序是应用软件的核心，是基于经典或现代控制理论的控制算法的具体实现。过程输入、输出程序分别用于过程输入、输出通道，一方面为过程控制程序提供运算数据，另一方面执行控制命令。

第二节 计算机控制系统的结构形式

计算机控制系统所采用的结构形式与其所控制的生产过程的要求和复杂程度密切相关，对于不同的被控对象和不同的控制要求，应采取不同的控制方案。按照计算机控制系统的功能来分，大致有以下几种结构形式。

一、数据采集系统 DAS (Data Acquisition System)

这是计算机应用于生产过程的一种最初级形式，有的书中将其称为操作指导控制系统、数据采集和数据处理系统等。数据采集系统的原理框图如图 1-5 所示。

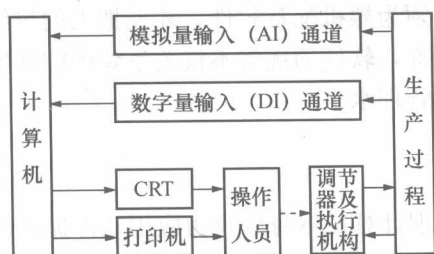


图 1-5 数据采集系统的原理框图

该系统不仅具有数据采集和处理的功能，而且能够为操作人员提供反映生产过程工况的各种数据，并相应地给出操作指导信息供操作人员参考。

该控制系统属于开环控制结构。计算机根据一定的控制算法（数学模型），依据测量元件测得的信号数据，计算出供操作人员选择的最优操作条件及

操作方案。操作人员根据计算机输出的信息,如 CRT 显示图形或数据、打印机输出等去改变调节器的设定值或直接操作执行机构。

该系统的优点是结构简单、控制灵活和安全;缺点是要由人工操作,速度受到限制,不能控制多个对象。

二、直接数字控制系统 DDC (Direct Digital Control System)

直接数字控制系统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,由于计算机发出的控制信号直接作用于被控对象,故称为直接数字控制系统,系统的原理框图如图 1-6 所示。

一台用于直接数字控制的计算机,首先通过输入通道(AI、DI)实时采集数据,并按一定的控制规律进行计算,最后发出控制信息,并通过输出通道(AO、DO)直接控制生产过程。

DDC 系统属于计算机闭环控制系统,是计算机在工业生产中最普遍的一种应用方式。由于计算机的特点,DDC 系统除了能够实现 PID 调节规律外,还能实现多回路串级控制、前馈控制、纯滞后补偿控制、多变量解耦控制等复杂的控制规律。

这种方式的主要特点是自动化程度高,调节速度快;因为程序可变性强,故控制灵活性大;由于节省了大量的模拟调节仪表,因而经济上比较合算,被控系统越大,这种经济效果越显著。

由于 DDC 系统的计算机直接承担控制任务,所以要求实时性好、可靠性高和适应性强。为了充分发挥计算机的利用率,一台计算机通常要控制几个或几十个回路,这就要求合理地设计应用软件,使之不失时机地完成所有功能。为了提高系统的可靠性,通常采用双机冗余(热备用)或常规调节仪表与 DDC 系统并列运行的做法。工业生产现场的环境恶劣、干扰频繁,直接威胁着计算机的可靠运行,因此,必须采取抗干扰措施来提高系统的可靠性,使之能适应各种工业环境。

过去实现过程计算机控制以集中控制为主要形式,经济上只有对多回路实现 DDC 系统合算。随着微型计算机和通信技术的发展,使过程控制由集中式向分散控制系统发展,实现在功能和地理位置上的分散,DDC 系统作为过程控制级,控制的回路数量向少回路或单回路方向发展,以微处理器为核心的单回路调节器得到了日益广泛的应用。

三、监督控制系统 SCC (Supervisory Computer Control)

监督控制系统 SCC 是在 DAS 和 DDC 的基础上发展起来的,其原理框图如图 1-7 所示。

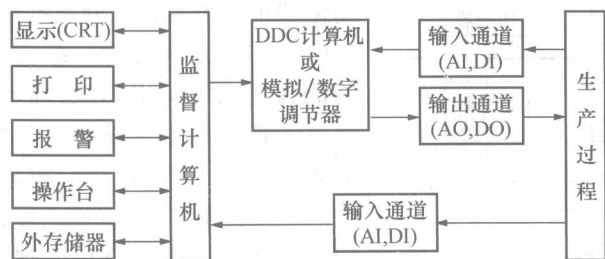


图 1-7 监督控制系统原理框图

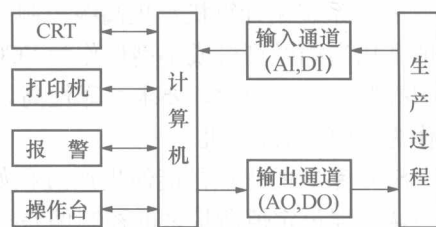


图 1-6 直接数字控制系统的原理框图

SCC 系统通常分为两级,其中第一级为 DDC 计算机或模拟/数字调节器,它们直接面对生产过程的某个或某些回路,完成上述直接数字控制的功能;第二级为监督计算机,它根据描述生产过程的数学模型和反映生产过程工况的数据,进行必要的计算,给第一级提供各种控制信息,比如最

佳设定值和最优控制量等。从这个角度上说, 监督计算机的作用是改变设定值, 所以也称为设定值控制 SPC (SetPoint Control)。

在 SCC 系统中, 由于 SCC 向第一级提供了最佳设定值和最优控制量, 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, 监督计算机处于开环工作方式, 不直接参与过程调节, 而是最优工况的计算。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 计算机或模拟调节器能独立完成操作; 当 DDC 计算机或模拟调节器发生故障时, 监督控制级可以代替前者执行部分控制任务。

SCC 系统用计算机承担高级控制与管理的任务, 它的信息存储量大, 计算机任务繁重, 一般选用高档微型机或小型机作为 SCC 用计算机。DDC 用计算机与生产过程连接, 并直接承担控制任务, 因此, 要求可靠性高, 抗干扰性强, 并能独立工作, 一般选用单片机或微型机作为 DDC 用计算机。

SCC 系统的优点是能使生产过程始终在最合理的状态下运行, 避免了不同的运行人员调整调节器设定值所带来的控制偏差; 缺点是由于生产过程的复杂性, 其数学模型的建立是比较困难的, 所以实现起来有一定难度。

四、分散控制系统 DCS (Distributed Control System)

随着计算机技术的发展, 工业生产规模的扩大, 综合控制与管理的要求的提高, 20 世纪 70 年代中期出现了一种新型的计算机控制系统——分散控制系统。

有的教材上也将其称为集散控制系统, 这主要是翻译上的差别, 其含义是相同的。集散控制系统的名称来源于美国霍尼威尔 (Honeywell) 公司生产的 TDCS—2000 (Total Distributed Control System—2000), 它开始时叫做“综合分散控制系统”, 国内在翻译时, 译成“分散型综合控制系统”, 将分散放在前面就是要强调其分散的含义, 而“综合”一词, 按其系统的功能理解为管理的集中, 所以就按其含义译成为“集散控制系统”。

分散控制系统中所谓的“分散”, 是强调由于生产过程各种设备地理位置的分散, 相应地要求控制设备的地理位置的分散, 这是分散的一个含义; 而整个控制系统本身具有数据采集、过程控制、监控操作和运行显示等功能的分散, 这是分散的第二个含义; 这种功能上的分散也可以说是使得系统的危险性分散, 这是分散的又一个含义。

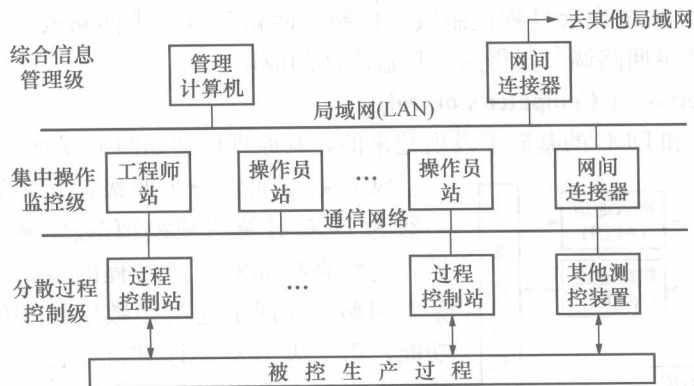


图 1-8 分散控制系统的原理框图

可以这样来描述分散控制系统 (见图 1-8): 它是一种为满足大型工业生产和日益复杂的过程控制的要求, 从综合自动化的角度出发, 按分散控制、集中操作、分级管理、综合协调的设计原则, 以微处理器、微型计算机技术为核心, 与数据通信技术、CRT 显示技术、人机接口技术和输入/输出接口技术相结合, 将系统从上到下

分为分散过程控制级、集中操作监控级、综合信息管理级, 具有较高的可靠性, 用于生产管

理、数据采集和各种过程控制的新型控制系统。

关于分散控制系统，本书将在第六章进行介绍。

五、现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System)

20 世纪 50 年代，检测控制仪表采用的是基于 20.68~103.41kPa 气动标准信号的基地式气动仪表；20 世纪 60 年代至 70 年代发展到采用 4~20mA (DC) 信号标准的电动单元组合仪表；20 世纪 80 年代起，出现了以微处理器为核心的智能化现场仪表。智能化现场仪表的应用和发展，要求系统中使用数字信号取代 4~20mA (DC) 的模拟信号。另外，在目前广泛应用的 DCS 中，因为检测、变送、执行等现场仪表仍采用 4~20mA (DC) 的模拟信号，无法满足上位机系统对现场仪表的信息要求，限制了控制系统的视野，阻碍了上位机系统功能的发挥，因而产生了上位机与现场仪表之间进行数字通信的要求。因此，就要求建立一个标准的连接现场智能仪表与上位机系统的数字通信链路，这就是现场总线 (Fieldbus)。它是当今自动化领域技术发展的热点之一，被誉为自动化领域的计算机局域网。现场总线与控制系统和现场智能仪表联用，就组成了现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System)。它不仅仅是一个通信系统，还是一个控制系统，也可进一步与监控、管理、商务等上层网络连成一体，构成以现场总线为基础的企业网络系统。

20 世纪 80 年代发展起来的 DCS，其结构模式为“操作站—控制站—现场仪表”三层结构，如图 1-9 所示。其中操作站和控制站通常位于控制室，而现场的测量变送装置、执行器等现场仪表一般是模拟仪表，因此，它是一种信号需要在现场与控制室之间往返传递的模拟数字混合系统。这种系统与由模拟仪表构成的系统和集中式数字控制系统相比有了很大进步，可以实现装置级、车间级的优化控制。但由于 DCS 要将现场模拟仪表的信号传送到控制室，因而成本较高，且各厂商的 DCS 有各自的标准，难以实现互连。

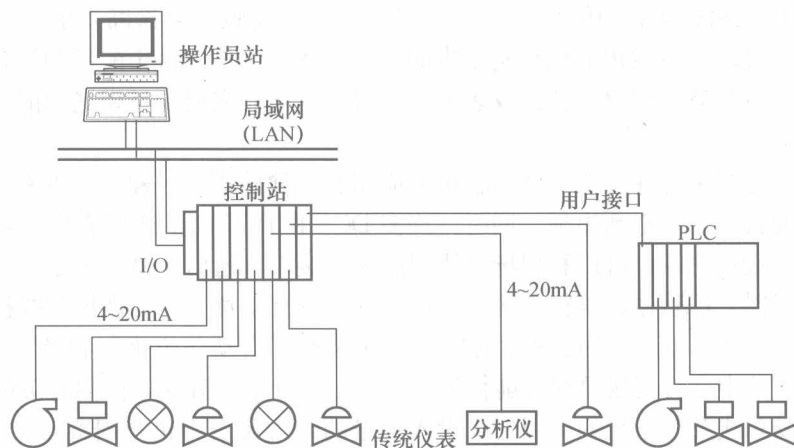


图 1-9 分散控制系统 DCS 的结构模式

现场总线控制系统是新一代分布式控制系统，它的结构模式为“工作站—现场总线智能仪表”两层结构，如图 1-10 所示。分散在各个工业现场的智能仪表通过数字现场总线连为一体，并与控制室中的控制器和 CRT 监视器共同构成现场总线控制系统。FCS 用两层结构完成了 DCS 中三层结构的功能，降低了成本，提高了可靠性。国际标准统一后，不同厂家的现场总线产品可集成在同一套 FCS 中，且具有互换性和互操作性，可实现真正的开放式

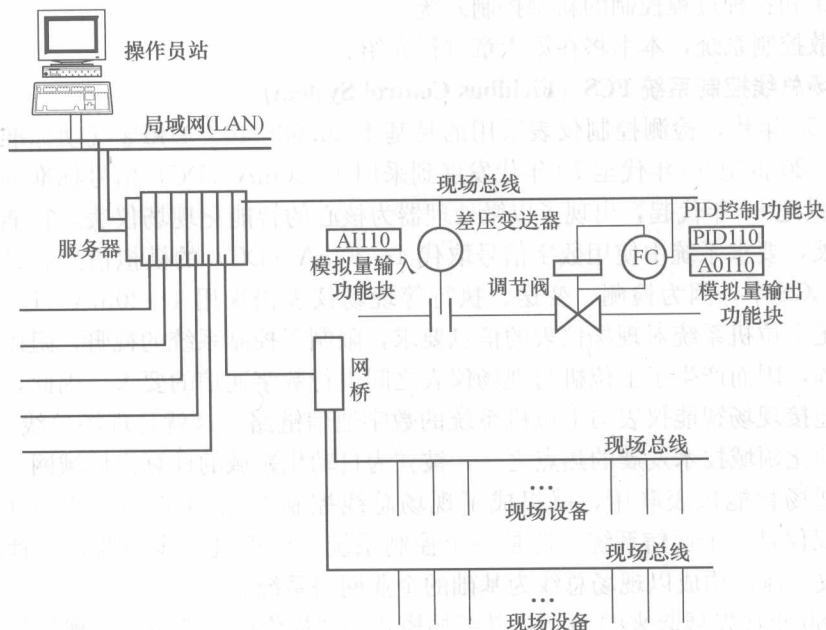


图 1-10 现场总线控制系统 FCS 的结构模式

互连系统结构。FCS 取消了传统 DCS 的 I/O 单元和控制站，将 DCS 的控制功能进一步下放到现场智能仪表，构成虚拟控制站，由现场智能仪表完成数据采集、数据处理、控制运算和数据输出等功能。例如，流量变送器不仅具有流量信号变换、补偿和累加输入功能块，而且有 PID 控制和运算功能块；调节阀不仅进行信号驱动和执行，还内含输出特性补偿功能块，也可有 PID 控制和运算功能块，甚至有阀门特性自校验和自诊断功能。现场智能仪表采集到的数据通过现场总线传输到控制室中的控制设备中，控制室中的控制设备用来监视各个现场仪表的运行状态，保存各智能仪表上传的数据，同时完成少量现场智能仪表无法完成的高级控制功能。

目前，现场总线系统在工业过程中的应用有多种模式。一种是与现有的 DCS 兼容，基于现场总线的智能仪表不断出现，同时，许多 DCS 和 PLC 的生产厂商也已对其产品进行改进，使其支持现场总线，可以和现场总线智能仪表接口、通信。另一种是用现场总线的系列模块，如控制器、传感器、执行机构、监控站等形成真正意义上的现场总线控制系统，这种 FCS 已在我国石化行业中获得成功的应用。在火电厂自动化方面，目前仍然以 DCS 为主，但在局部系统中已有现场总线智能仪表的应用，并处于上升期，国内有关的科研院所和院校也正在现场总线及其系统的应用方面投入大量的人力和资金进行研究，待条件成熟时，火电厂的自动控制系统将由以 DCS 为主的控制模式转换成以 FCS 为主的控制模式，则火电厂的自动化水平将迈上一个新的台阶。

第三节 计算机控制系统在火电厂中的应用和发展

一、计算机控制系统在火电厂中的应用

计算机控制在火电厂的应用，始于 20 世纪 50 年代末期、60 年代初期。1958 年 9 月，

美国斯特林 (Sterling) 电厂安装了第一个电厂计算机安全监测系统。1962 年, 美国小吉普赛电厂进行了第一次电厂计算机控制的尝试, 从那时起, 火电厂开始步入了计算机应用的发展进程。

火电厂计算机控制应用的初始阶段, 普遍采用的是集中型计算机控制方式, 即用一台计算机实现几十甚至几百个控制回路和若干个过程变量的控制、显示及操作、管理等。与常规的模拟仪表控制系统相比, 集中型计算机控制的优越性体现在以下几个方面。

- (1) 功能齐全, 而且可以实现先进的、复杂的控制和联锁功能。
- (2) 可通过修改软件增删控制回路、改变控制方案、调整系统参数, 应用灵活。
- (3) 信息集中管理便于分析和综合, 为实现整个生产系统的优化控制创造了条件。
- (4) CRT 显示替代了大量的模拟仪表, 改善了人机接口, 缩小了监视面。

但是, 集中型计算机控制也存在着严重的不足, 主要表现在以下几个方面。

(1) 由于当时的计算机硬件可靠性还不够高, 而由一台计算机承担所有的控制和监视任务, 使得危险高度集中, 一旦计算机发生故障, 将导致生产过程全面瞬间瘫痪, 危及设备安全。

(2) 软件庞大、复杂, 开发的难度大、周期长。

(3) 一台计算机所承受的工作负荷过大, 在计算机速度和容量有限的情况下, 影响系统工作的实时性和正确性。若采用多台计算机, 不仅要解决数据和控制信息的交换问题, 而且将大大增加投资和维护费用, 这是当时存在的较大的实际困难。

除此之外, 由于生产过程内部机理复杂, 最优控制所必需的有关数学模型难以建立, 性能指标不易确定, 控制策略尚不完善等, 使得现代控制理论一时难以适应于计算机过程控制。历史条件的限制和集中型计算机控制存在的缺陷, 促使计算机控制系统向着分散化发展。

20 世纪 70 年代初, 大规模集成电路的制造成功和微处理器的问世, 使得计算机的可靠性和运算速度大大提高, 计算机功能增强、体积缩小, 而价格大幅度下降。计算机技术的发展与日益成熟的分散型计算机控制思想相结合, 促使火电厂自动化技术进入了计算机分散控制系统的新时代。

自 1975 年以来, 美国霍尼威尔公司首先向市场推出了以微处理器为基础的 TDC-2000 分散控制系统, 世界各国的一些主要仪表厂家也相继研制出各具特色的各种分散控制系统。例如, 美国 Foxboro 公司的 Spectrum 系统, 日本横河公司的 CENTUM 系统, 日立公司的 UNITROL 系统, 德国西门子 (Siemens) 公司的 Teleperm-C 系统等。分散控制系统以其功能强、可靠性高、灵活性好、维护和使用方便、良好的性能价格比等优点, 深受工业界的青睐。

分散控制系统的应用及其自身的不断完善和发展, 加速了火电厂自动化的进程。目前, 分散控制系统的应用方兴未艾, 在此基础上, 火电厂正向着更加完善、更高层次的综合自动化方向发展。

我国火电厂热工过程自动化方面的计算机应用工作于 1964 年起步, 大体上可以分为以下三个阶段。

(1) 研究试点阶段。1964 年, 在国家科委下达上海南市电厂 (12MW 燃煤机组) 进行计算机试验的同时, 水电部也确定对北京石景山高井电厂扩建 3 号机组 (100MW 燃煤机

组) 进行应用计算机的研究试点, 当时采用的计算机是国产电子管式的小型计算机, 平均无故障时间 MTBF (Mean Time Between Failure) 为 50h, 计算机系统的主要功能是实现数据采集, 对闭环控制也做了一些试验工作, 取得了一定的经验。由于计算机可靠性太低, 因此配备了全套常规仪表和 DDZ—II 型调节器。20 世纪 70 年代, 水电部继续安排计算机在电厂的应用研究, 选择的对象是已经投产的老机组, 如陕西秦岭电厂 (国产 125MW 机组) 和辽宁清河电厂 (100MW 机组), 由于多方面的原因, 都未能取得理想的效果。

(2) 工程试点阶段。1984 年, 在唐山陡河电厂 8 号机组 (200MW) 进行应用计算机的工程试点, 其功能是数据采集, 同时减少部分次要的常规仪表, 将计算机随机组一起投用, 当时选择配套相对齐全、由华南计算机公司引进技术的索拉机 (Solar—16) 作为试点机型, 系统的 MTBF 可提高到 2160h, 主机为 4320h。1985 年, 在江苏望亭电厂进行了分散控制系统的工程试点, 所用 DCS 为西屋公司的 WDPF, 实现 DAS 和 MCS (模拟量控制系统) 功能。通过工程试点, 采用计算机的优越性逐步被人们认识和接收。

(3) 应用和推广阶段。20 世纪 80 年代中后期, 计算机在电厂的应用逐步扩大和推广, 并由小型机、微型机扩大到以微机为基础的分散控制系统 DCS。自 1985 年我国在全套引进机组上使用分散控制系统之后, DCS 在国内电厂的使用得到了迅速的发展。目前, 国内火电厂已采用了近 300 套 DCS (不包括小型分散控制系统), 300MW 以上的火电机组, 无论国产机组还是引进机组都普遍采用 DCS, 近几年来新建的机组无一例外地均采用 DCS, 汽机 DEH 及机组保护采用 DCS 的也在增多, 一大批老的中小电厂控制系统 (包括 DEH) 也在采用 DCS 进行改造。

经过近 20 年的应用, DCS 在电厂的应用已取得了成熟的经验, 其功能和应用范围正在深入和扩大, 如过去仅限于锅炉、汽轮机的热工过程, 目前已应用到电气的发电机组的发电、配电、供电过程。多数 DCS 成套商已掌握了过去由专业公司设计供货的炉膛安全保护系统 (FSSS)、汽轮机数字电液控制系统 (DEH) 等技术, 使 DCS 能覆盖整个发供电过程的全部功能。试点时, 由于担心 DCS 是否可靠, 因而在配置上同时配备了大量的硬手操与模拟仪表, 从 DCS 的应用情况证明其硬件基本上是可靠的, 只要软件设计完善, 完全可以保证机组安全运行。所以近年来设计和投运的机组几乎全部取消了硬手操与模拟仪表, 使自动化系统大大简化, 控制盘、台所占的空间大大减少。

二、大型火电机组过程计算机控制的主要功能系统

大型火电单元机组热工自动化主要着重于控制 (Control)、报警 (Alarm)、监测 (Monitor) 和保护 (Protect), 简称为 CAMP, 这四个方面既相互独立, 又相互支持, 一个系统的故障不影响其他系统的运行。为满足这四个方面的功能, 大型火电机组的过程计算机控制主要包括下列功能系统。

- (1) 数据采集系统 DAS (Data Acquisition System)。
- (2) 机组协调控制系统 CCS (Coordinated Control System), 又称为模拟量控制系统 MCS (Modulating Control System) 或闭环控制系统。
- (3) 顺序控制系统 SCS (Sequence Control System)。
- (4) 锅炉炉膛安全监控系统 FSSS (Furnace Safeguard Supervisory System) 或称为燃烧器管理系统 BMS (Burner Management System)。
- (5) 汽轮机数字电液控制系统 DEH (Digital Electric Hydraulic Pressure Control)。