



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

计算机控制技术与系统

黄桂梅 主 编
徐学勤 孙奎明 副主编



中国电力出版社

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



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

计算机控制技术与系统

主 编 黄桂梅
副主编 徐学勤 孙奎明
编 写 李宏毅 王锦程
主 审 田 沛 冯江涛



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书主要介绍了计算机控制的概念、过程通道及输入输出接口技术、通信技术、抗干扰技术与可靠性技术、数据采集系统、常用控制算法、分散控制系统及应用、现场总线控制系统等内容。本书在编写中注意引进先进技术,在内容编排上考虑了教学与自学相结合,内容组织循序渐进,由浅入深,利教利学。

本书可作为高职高专电力技术类电厂热动力设备装置、火电厂集控运行、生产过程自动化技术等专业相关课程教材,也可作为火电厂运行人员培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术与系统/黄桂梅主编. —北京:中国电力出版社, 2008

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 978-7-5083-6535-0

I. 计… II. 黄… III. 计算机控制—职业教育—教材
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 205987 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

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17 印张 333 千字

定价 22.00 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

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是根据教育部审定的教学大纲编写而成的,并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审,又列为全国电力职业教育规划教材,作为职业教育教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标;符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性;符合职业教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色;符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书,也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

计算机控制在发电厂及其他工业控制过程中发挥了极大的作用。本书主要介绍了计算机控制的概念、过程通道及输入输出接口技术、通信技术、抗干扰技术与可靠性技术、数据采集系统、常用控制算法、分散控制系统及应用、现场总线控制系统等内容。本书体现了职业教育的性质、特征和培养目标,符合职业教育的基本规律,引进了先进的技术,在内容上很好地安排了经典与现代的关系,考虑了教学与自学相结合,内容循序渐进,由浅入深,利教利学。

山东省电力学校孙奎明编写第一章和第二章;保定电力职业技术学院徐学勤编写第三章;保定电力职业技术学院黄桂梅编写第四章、第六章和第七章;中南民族大学王锦程编写第五章;山东省电力学校李宏毅编写第八章。本书由黄桂梅任主编。

本书由华北电力大学田沛教授和太原电力高等专科学校冯江涛老师担任主审。审稿老师在审阅过程中提出了许多有建设性的意见和建议,使本书的内容更加严谨,在此深表感谢。

由于作者水平所限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2007年11月

目 录

前言

第一章 计算机控制系统概论	1
第一节 计算机控制系统的结构原理	1
第二节 计算机控制系统的组成	5
第三节 计算机控制系统的分类	8
第四节 火电机组计算机控制的主要功能	13
本章小结	13
思考题与习题	14
第二章 计算机控制过程通道及输入输出接口技术	15
第一节 模拟量输入通道及接口	15
第二节 模拟量输出通道及接口	22
第三节 开关量(数字量)输入/输出通道	27
第四节 脉冲量输入通道	29
本章小结	31
思考题与习题	31
第三章 数据采集系统	32
第一节 数据采集的基本结构	32
第二节 数据采集系统的基本功能	33
第三节 数据采集基本原理	40
第四节 数据加工处理	43
第五节 发电机组的性能计算	48
本章小结	54
思考题与习题	54
第四章 计算机控制系统常用的控制算法	55
第一节 概述	55
第二节 数字PID控制算法	60
第三节 最少拍控制算法	76
第四节 带纯迟延对象的控制算法	79
第五节 串级和前馈控制	83
第六节 数字控制器在计算机上的实现	87
本章小结	93
思考题与习题	93

第五章 计算机控制系统的通信技术	95
第一节 数据通信	95
第二节 数据通信网络	110
第三节 网络协议	118
第四节 总线与接口芯片	126
第五节 DCS 系统的通信网络概貌	136
本章小结	140
思考题与习题	140
第六章 计算机控制的抗干扰技术与可靠性技术	141
第一节 干扰源及干扰分类	141
第二节 抗干扰技术措施	145
第三节 Watchdog 技术	150
第四节 计算机系统的可靠性技术	152
第五节 容错设计技术	158
本章小结	159
思考题与习题	160
第七章 分散控制系统及应用	161
第一节 分散控制系统 (DCS) 的发展、结构及特点	161
第二节 分散控制系统的硬件组成	166
第三节 分散控制系统的软件系统	169
第四节 Symphony 控制系统应用举例	172
本章小结	193
思考题与习题	193
第八章 现场总线控制系统 (FCS)	194
第一节 现场总线概述	194
第二节 现场总线的类型	200
第三节 基金会现场总线 (FF)	203
第四节 FCS 在火电厂中的应用实例	206
本章小结	212
思考题与习题	212
参考文献	213

计算机控制系统概论

电力工业在整个国民经济领域中占据着极其重要的地位。近年来,中国电力工业得到全面快速发展,其中火力发电机组是现代电力生产中的主要形式,并且随着现场技术装备水平不断提高,使中国电力工业进入了大机组、大电厂、大电网、超高压、自动化、信息化的时代,从而对现场生产过程自动控制水平提出了更高的要求,也使生产过程自动化在现场的地位日益重要。

工业生产过程自动化的发展历史可以追溯到 17 世纪上半叶。早在 1620 年, Cornelis Drebbel 就制成了人类历史上所记载的第一个自动装置——加热炉恒温器。随后, James Watt 在 1788 年发明了人们所熟知的离心式调速器,它曾经在工业生产过程中发挥过重要作用。在火力发电厂建设和发展的近百年的历史中,随着机组规模的不断扩大,容量和参数的不断提高,以及自动控制设备和装置由基地式仪表向单元式仪表、组件组装式仪表、数字控制装置(主要是计算机)的发展,自动控制方式大体经历了就地控制、集中控制和计算机控制三个发展阶段。

随着计算机技术的不断发展,计算机也由电子管计算机时代向晶体管计算机时代、集成电路与大规模集成电路计算机时代和超大规模集成电路计算机时代的快速过渡,为其在过程控制中的广泛应用奠定了坚实的物质基础。目前,计算机控制系统在火电厂生产过程自动控制与管理方面应用日益成熟,已经完全取代了常规控制系统。

第一节 计算机控制系统的结构原理

控制系统按照组成的内部结构来分,可分为开环控制系统(又称前馈控制系统)、闭环控制系统(又称反馈控制系统)和复合控制系统(前馈—反馈控制系统)。现场自动控制系统大多基于反馈控制系统进行控制的,即根据被控量的测量值与给定值的偏差情况,通过自动控制装置按照一定的控制规律运算后输出控制指令,指挥执行器的动作,从而改变被控量,最后抵消扰动的影响,使被控量重新恢复到给定值。

控制系统按照所使用的控制装置不同可以分为常规控制系统和计算机控制系统。常规控制系统是指采用常规(模拟)仪表组成的控制系统,系统内部传递的信息都是模拟信息。计算机控制系统是指由计算机实现过程控制的系统,计算机内部之间及其与外部设备之间交换的信息是数字信息。计算机控制系统由常规控制系统发展、演变而来,并逐步取代了常规控制系统。

1. 常规控制系统

简单的常规控制系统主要由测量变送器、给定器、常规控制器、执行器和被控对象组成,如图 1-1 所示。测量变送器自动地将反映生产过程运行情况的各种物理量转换为常规控制器所能接受的信号送入控制器,控制器接受被控量与给定器送来的给定值之间的偏差信号,按照一定的控制规律运算后输出控制指令送入执行器,指挥执行器的动作,使被控对象

得到控制，相应物理量发生变化，当控制过程结束后，被控量重新与给定值达到平衡。



图 1-1 简单常规控制系统方框图

常规控制系统是由模拟仪表组成的系统，其内部传递的信号是模拟量信号，即随时间连续变化的信号，故有时又称为连续控制系统。

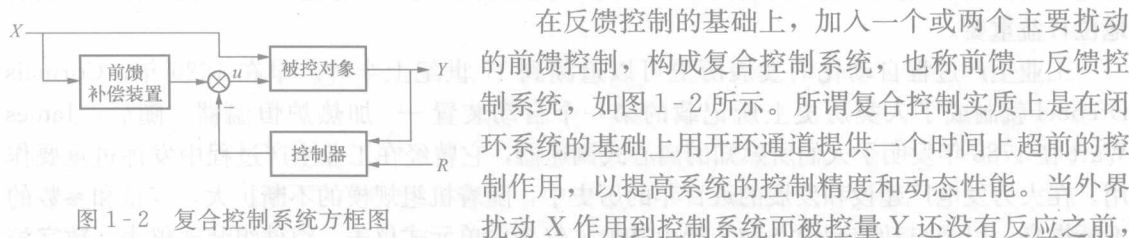


图 1-2 复合控制系统方框图

在反馈控制的基础上，加入一个或两个主要扰动的前馈控制，构成复合控制系统，也称前馈—反馈控制系统，如图 1-2 所示。所谓复合控制实质上是在闭环系统的基础上用开环通道提供一个时间上超前的控制作用，以提高系统的控制精度和动态性能。当外界扰动 X 作用到控制系统而被控量 Y 还没有反应之前，先由前馈补偿装置进行粗调，尽快使控制作用 u 在一开始就能大致抵消 X 对被控量 Y 的影响，使其不变或变化很小。最终，由反馈控制回路来进行细调，直至被控量 Y 恢复为给定值 R 。这种控制系统结合了前馈控制和反馈控制两者的优点，减少了被控量的动态偏差，缩短了控制时间，能获得比一般闭环控制更好的控制效果。

随着单元机组参数的提高、容量的增大，被控对象和热力系统越来越复杂，需要监视与控制的项目越来越多，如仍采用常规控制系统，在设计和运行上都有一定的困难，必将使控制盘台上安装的常规仪表和操作开关数量大增，盘台尺寸增大，造成运行人员监视和操作的困难，容易发生误操作，威胁机组的安全运行。同时，随着机组规模的扩大，对控制水平提出了更高的要求，常规控制系统无法实现更加复杂的控制系统，如时变系统、非线性系统、最优化控制等，控制品质受到硬件系统的限制难以进一步提高，逐步被日益成熟的计算机控制系统所取代，从而最终将退出历史舞台。

2. 计算机控制系统

目前，国内的火力发电机组广泛采用了计算机来提高控制水平和整体自动化程度，以保证发电机组在生产过程中维持最佳运行状态，确保机组的安全可靠和经济运行。计算机控制系统的日益成熟和广泛应用，得益于计算机技术的发展、现代控制理论的产生与应用、计算机控制技术和数据通信技术的发展。这是计算机控制系统能够广泛采用的十分重要的物质和理论基础。

计算机控制系统是用计算机作为控制器实现生产过程控制的系统。因为计算机只能接收数字信号，所以必须通过相应的装置将测量变送器送来的现场模拟信号或开关量信号转换成计算机能够识别的数字信号；同样，计算机经过运算输出的数字控制指令也必须通过专用的装置转换成执行器能够接受的信号，从而控制生产过程或设备。如图 1-3 所示是典型的用于模拟量控制的计算机控制系统方框图。

图 1-3 中，采样保持器和 A/D（模/数）转换器的作用是将被控量与给定值之间的偏差（模拟信号）转换成数字信号并送入计算机；D/A（数/模）转换器和保持器的作用是将计算



图 1-3 典型计算机控制系统方框图

机输出的数字信号转化成随时间连续变化的模拟信号，然后送入执行器去控制被控对象。只有这样，计算机才能实现与生产过程的接口。

相比于常规控制系统，计算机控制系统具有以下几个方面的优点：

(1) 可靠性高。计算机控制系统的可靠性是保证火力发电机组安全运行的基础。提高计算机自身的可靠性、采用分散结构的计算机控制系统、对系统的关键部件采取冗余措施、增强系统的容错能力和诊断能力、强化硬件模块化及可靠性等措施，都是提高和保证计算机控制系统可靠性的有效手段。火力发电厂计算机控制系统具有较高的可靠性，通常可用率指标在 99.6% 以上。

(2) 实时性好。实时性是指计算机控制系统在规定的时间内完成特定的控制任务。火力发电生产严格要求计算机控制系统的采样、运算和操作速度必须与它所控制的生产过程的实际运行速度相适应，能对生产过程的微小变化及时察觉，及时地进行计算和控制，以保证系统良好的实时性。系统的实时性依赖于系统的硬件和软件两个方面，系统的实时时钟和时钟管理程序、中断优先级处理电路和中断处理程序、实时操作系统等，皆是实时性的基本保证。

(3) 适应性强。火电机组计算机控制系统在不同程度上处于高温、潮湿、粉尘、震动、腐蚀、高磁场、高电场等不利条件下，但工业控制用计算机能够适应现场环境，并在环境条件有所恶化的情况下仍能正常进行。

(4) 完善的人机联系手段。火力发电生产要求计算机控制系统必须具备完善的人机接口和友好的人机界面，能及时有效地进行参数监视、运行操作、系统组态，以及异常情况下的故障诊断和处理等，而且要求人机联系方式简单、直观、明确、方便、快捷、规范、安全。在以 CRT 显示器或液晶显示器为中心的监控模式下，人机对话显得十分方便和灵活。生产现场中，主要通过显示器、鼠标、键盘、打印机等外围设备实现良好的人机交互。

(5) 功能丰富的软件。计算机控制系统除具备驱动计算机系统各组成部分正常运转的常规系统软件外，还具备完善的实时操作系统、数据库管理系统、文件管理系统软件，以及满足大型工业生产过程控制需要的各种应用软件，控制策略和控制算法软件、系统的组态软件、系统的通信软件、图形显示软件、历史数据记录软件、图符库软件、用户操作键定义软件等。同时，用户可利用丰富的功能块方便灵活地完善和开发应用软件，以便更加有效地实现机组的控制。

3. 计算机在火电厂控制应用概况

计算机在火电厂中的应用，可以归纳为如下几个阶段。

(1) 开发阶段。计算机控制技术在电厂的应用开发，始于 20 世纪 50 年代末、60 年代初。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，火力发电厂

开始步入了计算机应用的发展进程。

这一阶段的计算机是电子管计算机,运算速度慢、体积大、可靠性差,主要用于火电厂生产过程的数据处理和安全监视。

(2) 小型计算机阶段。20 世纪 60 年代后期,随着集成技术的发展,出现了运算速度快、体积小、性价比较高的小型计算机,使计算机控制系统在工业现场的应用得到推广。这时,

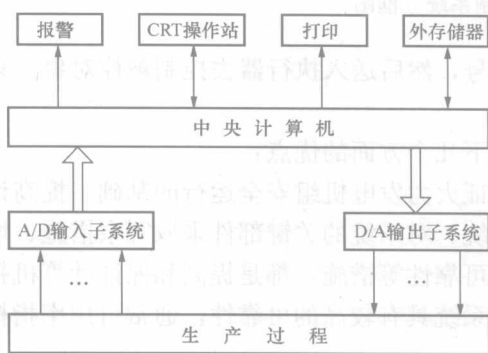


图 1-4 集中型计算机控制系统结构原理框图

普遍采用的是集中型计算机控制方式,即用一台小型计算机实现几十甚至几百个控制回路和若干过程变量的控制、显示及操作、管理等。如图 1-4 所示是集中型计算机控制系统结构原理框图。

与常规控制系统相比,集中型计算机控制的优越性体现在功能齐全、控制方案组态灵活和监视、操作、管理集中方面;但是,集中型计算机控制也存在着严重的不足,主要反映在以下几个方面:

1) 由于当时的计算机硬件可靠性还不够高,而由一台小型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与正确性。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,控制策略尚不完整等,使得现代控制理论一时难以适应计算机过程控制。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。

(3) 微型计算机阶段。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,计算功能增强、体积缩小,而价格大幅度下降,使计算机在工业现场控制的广泛应用成为可能,计算机控制进入微型计算机阶段。

这一阶段,计算机技术的发展与“危险分散”的设计思想相结合,促使火力发电厂自动化技术进入了计算机分散控制的新时代。

美国霍尼威尔(Honeywell)公司于 1972 年开始研究开发计算机分散控制系统,并于 1975 年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。自那时起,世界各国的一些主要仪表厂家也相继研制出各具特色的分散控制系统。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 UNITROLE 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。到 20 世纪 80 年代初期,国外计算机分散控制系统进入成熟阶段,并已在火电机组控制中广泛应用。

20 世纪 80 年代中期,我国开始在火力发电机组上应用分散控制系统。据不完全统计,

仅“七·五”期间,我国引进约 30 套分散控制系统应用于电厂自动化。如今,国内已投运和正在兴建的火电厂中,特别是新建大容量单元机组,都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与发展,加速了火力发电厂自动化的进程。随着嵌入式微处理器在变送器、执行器中的广泛应用,使过程仪表成为智能化仪表,使现场总线控制系统在火电机组控制中得到有步骤应用,也为火力发电机组向着更加完善、更高层次的综合自动化方向发展奠定了基础。

(4) 现场总线控制阶段。现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)是一种基于现场设备之间进行数据通信的新型总线系统,它综合了计算机技术、数字通信技术、自动控制技术、网络技术和智能仪表等各种技术手段,从根本上突破了传统的“点对点”式的模拟信号或数字—模拟信号控制的局限性,构成了一种全分散、全数字化、智能化双向、互连、多变量、多结点的通信控制系统。FCS 不是独立于 DCS 发展起来的, FCS 继承和发扬了 DCS 中“控制功能分散、操作显示集中”的优点,将控制功能彻底到智能化的过程仪表中,通过通信网络互联,实现操作管理的集中。

现场总线技术并不是一个全新的概念,早在 20 世纪 80 年代就已经开始研究,20 世纪 90 年代逐步走向实用化。到目前为止,已经出现了包括 CAN、FF、Profibus、Lonworks、HART 和 WorldFIP 等多种现场总线通信协议,尚没有统一的总线技术标准。现场总线控制系统的应用也只是局限于局部系统。

早在 1984 年,国际电工委员会就开始起草现场总线标准,经过 20 年的发展,现场总线技术已日趋成熟,国内不少电厂已做了不少尝试。如陕西杨凌燃机热电厂两台燃机联合循环机组项目,采用 Siemens 公司的 Simatic PCS7 (Process Control System),山东莱城电厂 3、4 号机组控制系统采用德国西门子公司公司的 TELEPERM-XP,其所有的 400V 低压电机设备全部采用现场总线进行控制,采用 6 条光纤作为现场总线到就地 MCC (马达控制中心),提高了线路的抗干扰能力和设备运行的可靠性。另外,采用 WorldFIP 现场总线的 Alsapa8000-P320 控制系统也在我国多个电厂得到应用,如广西来宾电厂锅炉、汽机、电气全部采用;岭奥核电厂主要用在电气、保护和水处理单元;重庆珞璜电厂、大亚湾核电厂等在局部系统应用。

第二节 计算机控制系统的组成

计算机控制系统是由计算机取代常规的控制设备和监视仪表,对动态过程进行控制和监视的自动化系统。计算机控制系统主要由硬件系统和软件系统两大部分组成。

1. 硬件系统组成

硬件系统是组成计算机控制系统的物质基础。如图 1-5 所示的是计算机控制系统的硬件组成原理框图,主要包括:被控对象、主机、过程通道、外部设备、通信设备、总线、接口、操作站以及过程仪表等部分。

(1) 被控对象。被控对象是指被控制的生产设备或生产过程。它是控制系统构成的必备客体,可以是某一具体的设备,或者是某一局部系统、某一台机组,或是全厂生产过程。

(2) 主机。主机是计算机控制系统的核心,它由中央处理器(CPU)、内存储器

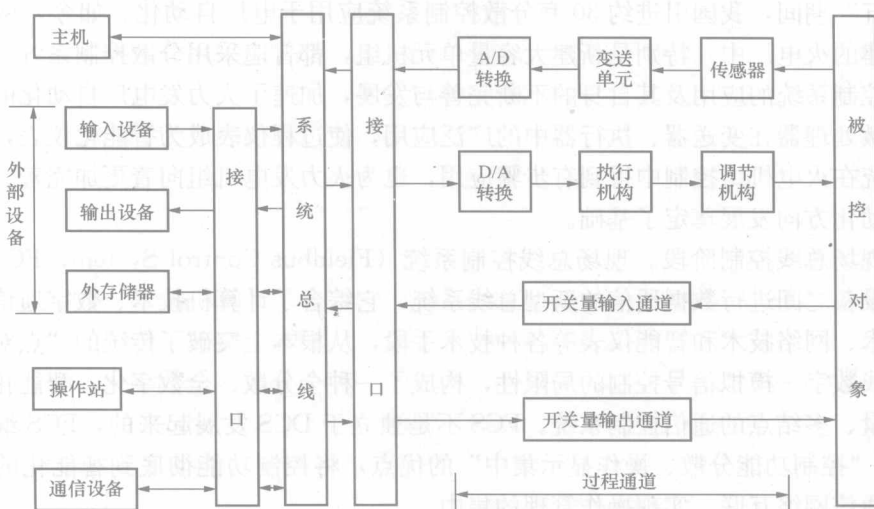


图 1-5 计算机控制系统的硬件组成原理框图

(RAM、ROM)、输入/输出 (I/O) 电路和其他支持电路等组成。主机根据过程通道送来的反映生产过程工作状态的各种实时信息，按预定的控制算法自动地对过程信息进行相应的处理、分析、判断、运算，产生所需要的控制作用，并及时通过过程通道向被控对象发送控制指令。

(3) 外部设备。外部设备是指计算机系统除主机之外的其他必备的支撑设备，它按功能可分成三类：输入设备、输出设备和外存储器。

常用的输入设备有键盘、卡片输入机、纸带输入机、光电输入机等，用来输入程序、数据和操作命令。常用的输出设备有打印机、绘图机、复印机、记录仪以及显示器等，用来提供系统中的各种信息。常用的外存储器有磁带机、磁盘机、光盘机等，用来存储程序软件、历史数据，它是计算机内存储器的扩充和后备存储设备。

(4) 过程通道。过程通道又称过程输入输出 (Process Input Output, PIO) 通道，它是计算机和生产过程之间信息传递和变换的桥梁和纽带。

过程输入通道有模拟量输入通道和开关量输入通道两类，分别用来输入模拟量信号（如温度、流量、压力和物位等）和开关量信号，并将这些输入的过程信息转换成计算机所能接受和识别的代码。

过程输出通道也有模拟量输出通道和开关量输出通道两类，分别用来将计算机输出的控制命令和数据转换成能控制被控对象运行的模拟量和开关量信号。

(5) 系统总线与接口。系统总线是主机与系统其他设备进行信息交换的某种统一数据格式的信息通路。一般有单总线、双总线和多总线之分。

接口是外部设备、过程通道等与系统总线之间的挂接部件，用来进行数据格式或电平的转换、信息的传输或缓冲。通常接口有串行和并行之分，也有专用和标准之别。

(6) 操作站。操作站是各类操作人员与计算机控制系统之间实现信息交换的设备，常被称为“人机联系设备”、“人机接口设备”。操作站一般由 CRT 或液晶显示器、触摸屏、计算机通用键盘或（和）专用键盘、鼠标和轨迹球以及专用的操作显示面板等组成，用于实现保

证机组安全经济运行的有关操作控制、操作结果的显示、生产过程的状态监视和系统维护等功能。

根据使用人员不同、职责范围不同,操作站可分为系统员操作站、工程师操作站和运行员操作站。系统员操作站用来实现系统软件编制、系统组态、控制系统的生成;工程师操作站负责控制系统的组态修改和运行调试、有关参数的设置和整定、系统运行的检查与监督等;运行员操作站负责控制系统的运行操作,保证生产过程的正常进行。操作站的设立是随系统而异的,并非所有系统都具备上述三种操作站,对于某种操作站也有可能设立多个。例如,有的计算机控制系统,工程师和运行员的工作设计在同一操作站上进行,为保证两者分别行使各自的操作职责,可通过操作站上的带锁开关决定不同的操作;有的计算机控制系统将系统员操作站和工程师操作站合二为一;也有的计算机控制系统具有多台运行员操作站。

在分散控制系统中,由于采用了面向问题的语言和功能块的系统组态方法,使得控制系统的建立与修改简单方便,这部分工作完全可由工程师完成,因此分散控制系统一般没有单独设立系统员操作站。现阶段,火力发电厂分散控制系统的运行员操作站一般是多个配置。

(7) 通信设备。通信设备是实现在不同的功能、不同地理位置的计算机(或有关设备)之间进行信息交换的设备,如计算机通信网络、网络适配器、通信媒体等。

(8) 过程仪表。计算机控制系统仍然离不开必要的过程仪表。这些过程仪表主要包括测量仪表、变送器和执行器,通过它们实现计算机控制系统与生产过程的联系。

2. 软件系统组成

软件系统是计算机控制系统中所有程序的统称,是系统的灵魂,是人的知识、智慧和思维逻辑在系统中的具体体现。硬件和软件是相互依赖和并存的,计算机软件通常分为系统软件和应用软件两大类。

(1) 系统软件。系统软件一般包括汇编语言、高级算法语言、过程控制语言等语言加工程序、数据结构、数据库系统、管理计算机资源的操作系统、网络通信软件、系统诊断程序等,系统软件一般由计算机设计人员研制,由计算机厂商提供。对于计算机控制系统的设计和维护人员,要对系统软件有一定程度的了解,并会使用系统软件,以更好地编制应用软件。

(2) 应用软件。应用软件是根据用户所要解决的实际问题而编制的具有一定针对性的计算机程序,这些程序决定了信息在计算机内的处理方式和算法。计算机控制系统的应用软件一般有:过程输入程序,数据处理程序,过程控制程序,过程输出程序,人机接口程序,显示、报警、打印程序以及各种公用子程序等。应用软件的开发与被控对象的动态特性以及运行方式密切相关,因此,应用软件的开发人员除掌握计算机应用技术外,还应了解被控对象的特性和运行要求,才有可能开发出合理的应用软件。

计算机控制系统的软件优劣与否,既关系到系统硬件功能的发挥,也关系到对生产过程的控制品质和管理水平,同时还影响计算机系统工作的稳定性和可靠性。例如,同样的硬件配置,采用高性能的软件,可以获得更好的控制效果。反之,硬件功能难以充分发挥,达不到预定的控制目的,甚至会造成系统“死机”等不良现象。计算机控制和管理的实时性,不仅取决于硬件指标,而且在很大程度上依赖于系统软件和应用软件。

第三节 计算机控制系统的分类

目前,在火电机组生产过程自动控制领域中,计算机技术已十分成熟,应用已非常广泛。计算机控制系统应用目的和方式是多种多样的,按照其功能与结构分类,可以划分为数据采集与处理系统、直接数字控制系统、监督控制系统、分散控制系统和现场总线控制系统。

1. 数据采集与处理系统 (DAS)

数据采集与处理系统 (Data Acquisition System, DAS) 的输出并不直接控制生产过程,只是对生产过程起到安全监视的作用,故又称为计算机安全监视系统。DAS 系统原理框图如图 1-6 所示。

DAS 系统对生产过程中的各种参数进行巡回检测,并将所测参数经输入通道送入计算机。计算机根据预定的要求对输入信息进行判断、处理和运算,以易于接受的形式向运行人员屏幕显示或打印出各种数据和图表。当发现异常工况时,系统可发出声光报警信号,运行人员可据此对设备运行情况集中监视,并根据计算机提供的信息去调整和控制生产过程。系统还具备大量参数的存储和实时分析功能,可保存有关运行的历史资料,可对生产过程趋势进行综合分析。另外,利用该系统采集到的生产过程输入和输出数据,建立和完善生产过程的数学模型。

数据采集与处理系统对保证生产过程的安全、经济运行,简化仪表系统的设计与布置,减轻运行人员的劳动强度等有着重要的意义,其应用极为广泛。

2. 直接数字控制系统 (DDC)

直接数字控制系统 (Direct Digital Control, DDC) 是利用以计算机或微处理器为基础的数字控制器取代常规模拟控制器,直接对生产过程进行闭环控制的系统。DDC 系统原理框图如图 1-7 所示。

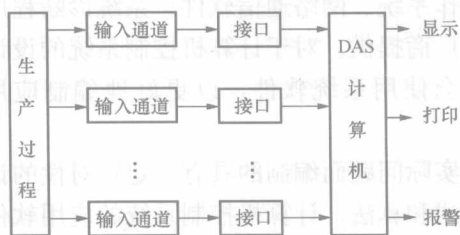


图 1-6 数据采集与处理系统

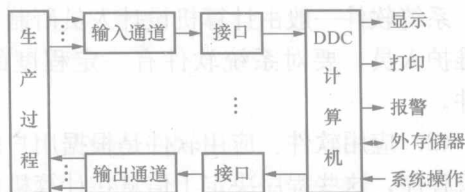


图 1-7 直接数字控制系统

在 DDC 系统中,计算机通过过程输入通道对生产过程有关参数进行巡回检测,并将所接收的被控参数按一定的控制规律进行运算处理,其结果经系统的过程输出通道作用于生产过程,使被控参数达到生产工艺要求的性能指标。

为了充分发挥计算机的利用率,DDC 系统中的计算机通常用来代替多台模拟控制器,控制几个或几十个控制回路。这是因为生产过程的变化速度相对于计算机的运算速度是很慢的,计算机在一个运算周期内已将各回路的运算工作做完后,生产过程的控制参数还不会发生显著变化,所以各控制回路都可定时地分享计算机的各种资源。但是,计算机系统一旦发

生故障, 将影响所有控制回路的正常工作, 给机组的安全经济运行带来严重后果。因此, 这种系统要求计算机不仅具有良好的实时性、适应性, 而且还应有很高的可靠性。为确保安全生产, 可采用备用计算机或常规仪表控制系统作为冗余配置, 这势必又会增加系统的复杂性和系统的投资。

随着微处理器技术的高速发展及其性能/价格比的大幅度提高, 用一个微处理器控制一个控制回路已成为现实, 这使得 DDC 系统的危险性得到了分散, 系统的可靠性大大提高, 促进了 DDC 系统的广泛应用。

3. 监督控制系统 (SCC)

监督控制系统 (Supervisory Computer Control, SCC) 是在 DDC 和操作指导控制系统基础上发展起来的。SCC 系统原理框图如图 1-8 所示。

SCC 计算机是根据反映生产过程工况的实时数据和数学模型, 计算出各控制回路的最佳设定值, 并对系统中的模拟控制器或数字控制器 (一般采用 DDC 计算机) 的设定值直接进行修改。显然, 监督控制系统是一个闭环控制系统, 它监督控制计算机。它不是直接控制生产过程, 而是完成最优工况及其设定值的计算。它对生产过程的控制作用是通过改变模拟量或 DDC 计算机的设定值来体现的。监督控制系统实际上是一个两级控制系统, 上级是以微型计算机或中、小型计算机为主体的监督控制级, 下级是以模拟控制器或微处理器为主体的直接控制级。采用这种系统的主要控制目的在于实现生产过程的最优化。

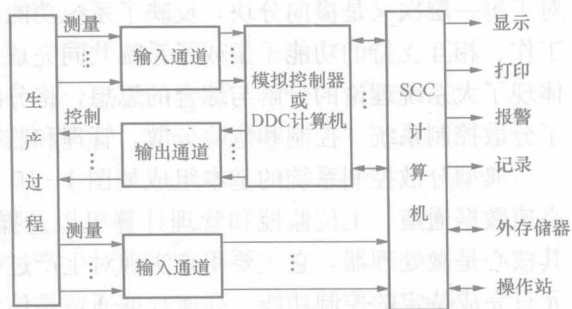


图 1-8 监督控制系统

4. 分散控制系统 (DCS)

分散控制系统 (Distributed Control System, DCS) 是以微处理器为核心, 综合了计算机技术 (Computer)、控制技术 (Control)、数据通信技术 (Communication) 和 CRT 显示技术 (Cathode-Ray Tube, 阴极射线管) 这“4C”技术, 将控制功能分散、操作管理集中的新型计算机控制系统。分散控制系统是多门类学科互相渗透、互相促进、综合发展的产物, 从系统的功能角度看, 它属于多功能分级控制系统 (Hierarchical Control System, HCS) 的范畴。

HCS 系统按功能可以划分为经营管理级、生产管理级、过程管理级和直接控制级 4 个层次, 其结构体系如图 1-9 所示。直接控制级 (也称过程控制级) 直接与生产过程相接触, 由 DDC 系统实现完成数据采集、过程控制、设备监测、系统测试和诊断、报警及冗余切换等功能。过程管理级 (也称监督控制级) 由 SCC 系统实现, 它综合监视过程各站的所有信息, 完成各生产过程的优化控制计算和最佳设定值的设定, 负责各直接控制级工作的协调管理, 以及与上一级即生产管理级计算机的联系。在火力发电厂的 control 中, 过程管理级往往对应着某一单元机组或某一主要热力设备。生产管理级 (也称监控信息级, Supervisory Information System, SIS) 完成现场实时数据信息的收集汇总和分析处理, 根据生产工艺流程和过程特点, 协调各单元级的参数设定, 指挥和控制生产的全局, 它还可以与上一级即经营管

理级相互传递数据,接受上级的生产指令,报告全厂生产状况。经营管理级是最高级,按照经济规律、组织原则、整体优化和全面协调的要求以及实际具备的能力,进行全方位大范围的综合决策,通过管理信息系统(Management Information System, MIS)对全厂进行总体协调和管理,实现整个生产系统的最优化。各级采用不同类型、不同功能的计算机,构成具有一定程度上相对独立的子系统,承担指定的任务,各系统之间使用高速数据通信线路连接,相互传递信息,协调工作。

分散控制系统应根据生产实际需要和实际条件设置它的层数以及各层的功能。图 1-9 可反映出系统功能的纵向分级,意味着不同层次的功能不同、任务不同、控制范围不同;而对于每一层次又是横向分块,反映了系统功能的横向分散,意味着某一功能是由若干个自主工作、相互支持的功能子集或子系统共同完成的。分散控制系统这种金字塔式的递阶结构,体现了大系统理论的分解与综合的思想,将分散控制、集中管理有机地统一起来,充分体现了分散控制系统“控制和危险分散,管理和监视集中”的设计理念。

典型分散控制系统的基本组成如图 1-10 所示。它主要由基本控制单元、数据采集站、高速数据通道、上位监控和管理计算机以及操作站等组成。基本控制单元是 DCS 的基础,其核心是微处理器,它主要用来实现对生产过程的连续控制和顺序控制,但每个基本控制单元只完成特定的控制功能。高速数据通道是信息交换的物理媒介,它把分散在不同物理位置上的各个站通过数据通信联系成统一整体,形成一个信息共享的控制和管理系统。操作站是用户与系统进行信息交换的设备,它以屏幕窗口形式或文件表格形式提供人与过程、人与系统联系的界面,操作员利用人机交互设备可以实现操作指令输入、各种画面显示、控制系统组态、系统仿真等功能。上位计算机(并不是所有 DCS 都设置上位计算机)用于生产过程的管理和监督控制,协调各基本控制单元的工作,实现生产过程的最优化控制。数据采集站主要用来采集各种数据,以满足系统监测、控制以及生产管理与决策计算的需要。为提高数据信息的可靠性,分散控制系统建立分布式数据库,为整个系统所共用,各个工作站可以透明地访问它。

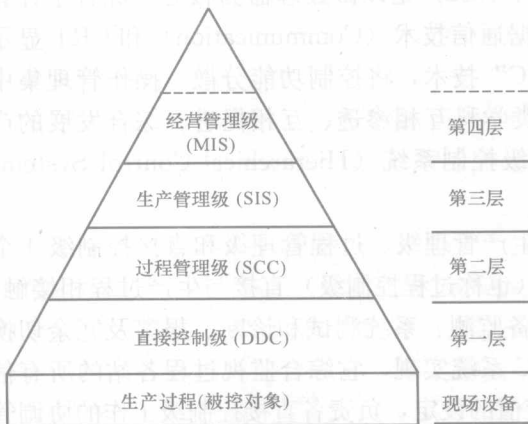


图 1-9 分级控制系统结构体系

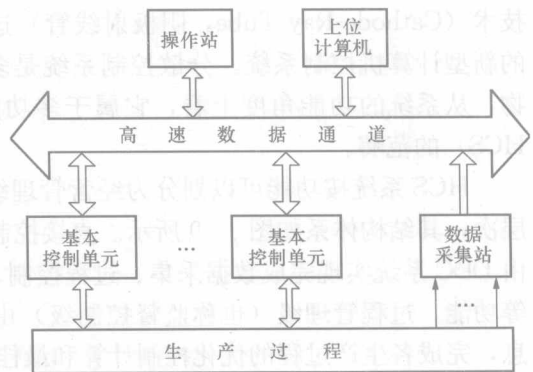


图 1-10 典型分散控制系统的基本结构

分散控制系统采用的是多微处理器分散化的控制结构,每台微处理器只控制某一局部过程,一台微处理器发生故障将不会影响整个生产过程,从而使危险分散,整个系统的可靠性

提高。同时,由于系统硬件采用了标准的模件结构,很容易根据需要扩大和缩小系统的规模,系统结构灵活,应用范围广泛。另外,该系统还具有通用性强、系统组态便利、控制功能完善、数据处理方便、显示操作集中、人机界面友好、安装简单、调试方便、运行安全可靠的特点,这也正是计算机控制系统的主要发展方向。

20 世纪 80 年代,DCS 开始进入国内火电机组自动化控制领域,由于其在安全生产与经济效益等方面的优异表现,在机组控制中已被广泛采用。目前,无论是国产还是引进的 300MW 以上机组,无一例外采用 DCS,200MW、100MW 机组也已经或正在引用 DCS 进行控制系统改造,甚至于一些热电厂和企业自备电厂的 25MW、12MW 的火电机组也采用 DCS 系统。现在国内外成熟的分散控制系统产品非常多,为加强行业管理,避免系统选型过于杂乱,现阶段我国电力工业推荐了 8 种选用产品,如表 1-1 所示,这对火力发电厂的分散控制系统应用起到十分有益的指导作用。

表 1-1 推荐的 DCS 产品

系统名称	生产厂商	国内合作商	系统名称	生产厂商	国内合作商
Symphony (INFI-90)	Bailey Controls	北京贝利控制 公司	TELEPERM-XP	Siemens	大连中德控制 系统有限公司
WDPF II	Westing House	上海联合控制有 限公司	HIACS-3000	日立	北京日立华胜 (原电子部 6 所)
MAX-1000	Leeds&Northrup	上海自动化仪表 公司	PROCONTROL-P	ABB	北京中能奥特 曼公司
I/A Series	Foxboro	上海福克斯波罗 公司	CONTRONIC-E	Hartman and Braun	川仪股份有限 公司

5. 现场总线控制系统 (FCS)

按照国际电工委员会 IEC 61158 的定义:安装在制造或生产过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、串行、双向、多点通信的数据总线称为现场总线(Fieldbus)。由现场总线与现场智能设备组成的控制系统称为现场总线控制系统 FCS。把集数据通信、计算机技术、控制技术和现场智能设备为一个整体的技术称为现场总线技术。

现场总线控制系统是一种全数字、串行、双向的通信系统,通过该系统将智能传感器、变送器、执行器等现场设备与计算机相互连接起来,形成具有特定控制功能的现场控制系统。FCS 将 DCS 中控制站的功能彻底分散给智能型现场设备,从而形成独立的控制回路,提高了系统的可靠性。

现场总线的关键技术是通信协议。在发展初期,现场总线种类达 40 种之多。为便于用户使用,达到各总线间开放、兼容、互联、互操作的目的,国际 IEC/TC65 (负责工业测量和控制的第 65 标准化技术委员会) 标准化组织在十多年工作中,通过争论与妥协,于 1999 年 12 月底由各委员国家投票表决,通过了 8 种总线标准的折衷方案。这 8 种总线标准的类型是:

- (1) IEC 技术报告 (即 FF 的 H1)。
- (2) Control Net (美国 ROCKWELL 公司支持)。
- (3) Profibus (德国西门子公司支持)。