

自动化工程师职业培训丛书

集散控制系统 技术基础及应用

主 编 吴才章
副主编 党 培 郑 维 郑小真



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

自动化工程师职业培训丛书

集散控制系统 技术基础及应用

主 编 吴才章
副主编 党 培 郑 维 郑小真
参 编 吴 杰 周 杰 王伟生



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

随着计算机和网络技术的发展,集散控制系统具有的连接方便、显示方式灵活、显示内容多样、数据存储量大、操作监督方便、危险分散、功能分散等优点越发明显,在各个领域得到了越来越广泛的应用。本书共分七章,首先简要介绍了计算机控制系统和集散控制系统的概况,之后分别详述了集散控制系统的硬件组成、软件系统、通信网络与现场总线技术、性能指标的评估,以及工程设计与实例。

本书可作为工科院校的电气工程及自动化等相关专业的教材或教学参考书,也可作为从事各类自动化系统、电气、计算机网络、自动控制工程等工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

集散控制系统技术基础及应用 / 吴才章主编. —北京: 中国电力出版社, 2010.12

(自动化工程师职业培训丛书)

ISBN 978-7-5123-1047-6

I. ①集… II. ①吴… III. ①集散系统—技术培训—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 215071 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 351 千字

印数 0001—3000 册 定价 26.00 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

自 20 世纪 70 年代中期第一套集散控制系统问世以来,集散控制系统已经在工业控制领域得到了广泛的应用,越来越多的仪表和控制工程师已经认识到集散控制系统必将成为过程工业自动控制的主流,在计算机集成制造系统(CIMS)或计算机集成作业系统(CIPS)中,集散控制系统将成为主角,发挥它们的优势。集散控制系统应用的工业控制领域也已遍及石油化工、冶金、炼油、建材、纺织、制药等各行各业。为了使集散控制系统应用得更好,对集散控制系统进行认真和细致的分析,研究集散控制系统的共性和各个制造厂商产品的不同点,了解集散控制系统的选择、设计和应用的方法,是十分必要的。

本书结合国内集散控制系统应用中国外品牌和国内品牌并存,国内品牌市场占有率越来越大的实际情况,增加了中控集团的 JX-300X DCS 系统的详细讲解。整体上着重集散控制系统的概念、原理和结构、设计与实际应用的讲解,使学生通过课堂学习或自学本书,也能基本掌握集散控制系统的原理和工程设计的方法。编者结合从事科研、教学和工程实践工作的体会,依据教学规律,查阅了大量的资料,在内容上进行了精心选择与组织,循序渐进,点面结合,力争使本书成为一本比较实用的集散控制系统的教科书。

全书共分七章,第一章为计算机控制系统简介,主要介绍计算机控制系统的一般概念、发展概况、系统分类、系统设计的原则和实现的步骤及典型应用;第二章介绍了集散控制系统的组成、功能和典型系统的结构;第三章着重讲述了集散控制系统的硬件系统;第四章介绍了集散控制系统软件系统的组成和结构;第五章讲述了集散控制系统的通信网络系统和现场总线技术;第六章介绍了集散控制系统性能指标的评估;第七章介绍了集散控制系统的工程设计技术和典型应用实例。

本书适合作为工科院校的电气工程及自动化等相关专业的本科高年级或研究生的专业使用教材或教学参考书;也适合相关专业的高职学生参考使用;还可以作为主管部门对自动化从业人员的培训教材,以及从事各类自动化系统、电气、计算机网络、自动控制工程等人员的参考书。

本书由河南工业大学吴才章主编,党培、郑维、郑小真任副主编。其中第一章由吴才章编写,第二章由党培编写,第三章及第七章第二节、第三节由郑维编写,第四章及第七章第一节、第四节由郑小真编写,第五章由周杰编写,第六章由吴杰编写,王伟生同志也参加了本书的部分编写工作。同时,本书得到了郑州大学、华北水利水电学院的有关同志给予的热情支持和帮助,在此深表感谢。

限于作者水平和实践经验,书中错漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 计算机控制系统简介	1
第一节 计算机控制系统基础知识	1
第二节 计算机控制系统的设计与实现	15
第二章 集散控制系统概述	21
第一节 集散控制系统的基本概念	21
第二节 集散控制系统的基本组成及分层结构中各层的功能	34
第三节 典型集散控制系统的构成实例	38
第三章 集散控制系统的硬件组成	47
第一节 集散控制系统与 PLC 的区别	47
第二节 集散控制系统硬件系统概述	49
第三节 集散控制系统现场控制单元和过程控制级	51
第四节 集散控制系统操作员站和工程师站	54
第五节 浙大中控 SUPCON JX-300X 系统的硬件组成	58
第六节 Symphony 分散控制系统概述	76
第四章 集散控制系统的软件系统	87
第一节 集散控制系统的软件构成	87
第二节 典型的集散控制系统监控软件体系结构	91
第三节 集散控制系统控制层软件	98
第四节 信号采集与数据预处理	102
第五节 集散控制系统控制器的实时数据组织和管理	110
第六节 JX-300XP 监控软件示例	113
第五章 集散控制系统的通信网络与现场总线技术	130
第一节 网络和数据通信的基本概念	130
第二节 工业数据数字通信	133
第三节 集散控制系统中的控制网络标准和协议	149
第四节 现场控制总线	161
第六章 集散控制系统性能指标的评估	168
第一节 招标文件的编制	168
第二节 集散控制系统的可靠性	170
第三节 提高集散控制系统可靠性的措施	173
第四节 集散控制系统的安全性	180

第五节	集散控制系统的环境适应性.....	186
第六节	集散控制系统的评估和选型.....	194
第七章	集散控制系统工程设计与实例.....	196
第一节	集散控制系统工程设计	196
第二节	集散控制系统施工图设计	204
第三节	和利时 MACSII 在氧化铝循环焙烧炉中的应用	217
第四节	集散控制系统在油脂精炼系统中的应用	219
参考文献		224

第一章

计算机控制系统简介

计算机控制系统是自动控制理论、自动化技术与计算机技术紧密结合的产物。控制理论的发展,尤其是现代控制理论的发展,与计算机技术息息相关。利用计算机快速强大的数值计算、逻辑判断等信息加工能力,计算机控制系统可以实现常规控制以外更复杂、更全面的控制方案。计算机为现代控制理论的应用提供了有力的工具,同时,计算机控制系统应用于工业控制实践所提出的一系列理论与工程上的问题,又进一步促进和推动了控制理论和计算机技术的发展。计算机控制系统的应用领域非常广泛,不但是国防、航空航天等高精尖学科必不可少的组成部分,而且在现代化的工、农、医等领域也发挥着越来越重要的作用。随着计算机技术、高级控制策略、现场总线智能仪表和网络技术的发展,计算机控制技术水平必将有更大提高。

本章主要介绍计算机控制系统的一般概念、发展概况、系统分类、系统的设计原则和实现步骤,以及典型应用。

第一节 计算机控制系统基础知识

计算机控制是计算机技术与自动控制理论及自动化技术紧密结合并应用于实际的结果。计算机对工业生产过程的控制,尤其是对化工、炼油、冶金、制药等连续生产过程的控制,其相应的计算机控制系统称为过程计算机控制系统。计算机控制系统包括总线技术、输入/输出接口技术、数据通信技术、控制策略、网络技术、软件技术、系统的整体设计与工程实现,以及计算机集散控制系统等。此外,还包括近年来新发展起来的一些与计算机控制有关的先进技术,如计算机控制系统中的数据库技术、现场总线技术及计算机集成制造系统等。

一、计算机控制系统的一般概念

(一) 计算机控制系统的简介

计算机控制系统(Computer Control System, CCS)是应用计算机参与控制,并借助一些辅助部件与被控对象相联系以获得一定控制目的而构成的系统。这里的计算机通常指数字计算机,可以有各种规模,如从微型到大型的通用或专用计算机。辅助部件主要指输入/输出接口、检测装置和执行装置等。辅助部件与被控对象的联系以及部件间的联系,可以有有线方式,如通过电缆的模拟信号或数字信号进行联系;也可以是无无线方式,如用红外线、微波、无线电波、光波等进行联系。被控对象的范围很广,包括各行各业的生产过程、机械装置、交通工具、机器人、实验装置、仪器仪表、家庭生活设施、家用电器和儿童玩具等。控制目的可以是使被控对象的状态或运动过程达到某种要求,也可以是达到某种最

优化目标。

与一般控制系统相同，计算机控制系统可以是闭环的，这时计算机要不断采集被控对象的各种状态信息，按照一定的控制策略处理后，输出控制信息直接影响被控对象。计算机控制系统也可以是开环的，有两种开环方式：一种是计算机只按时间顺序或某种给定的规则影响被控对象；另一种是计算机将来自被控对象的信息处理后，只向操作人员提供操作指导信息，然后由人工去影响被控对象。

计算机控制系统由控制部分和被控对象组成，其控制部分包括硬件部分和软件部分，这不同于模拟控制器构成的系统只由硬件组成。计算机控制系统软件包括系统软件和应用软件。系统软件一般包括操作系统、语言处理程序和服务性程序等，它们通常由计算机制造厂商为用户配套，有一定的通用性。应用软件是为实现特定控制目的而编制的专用程序，如数据采集程序、控制决策程序、输出处理程序和报警处理程序等，它们涉及被控对象的自身特征和控制策略等，由实施控制系统的专业人员自行编制。

计算机控制系统通常具有精度高、速度快、存储容量大和有逻辑判断功能等特点，因此可以实现高级复杂的控制方法，获得快速精密的控制效果。计算机技术的发展已使整个人类社会发生了巨大的变化，自然也应用到工业生产和企业管理中。而且，计算机所具有的信息处理能力，能够进一步把过程控制和生产管理有机结合起来[如计算机集成制造系统(CIMS)]，从而实现工厂、企业的全面自动化管理。

(二) 计算机控制系统的工作原理

顾名思义，计算机控制系统强调计算机是构成整个控制系统的核心。举一个最简单例子，如果将计算机控制系统与熟知的常规控制系统作比较，则可认为计算机在控制系统中的作用相当于常规控制系统中的模拟调节器。图 1-1 所示为按偏差进行控制的单回路控制系统框图。其工作原理是：当系统由于某种原因出现偏差 e 时，控制器便按预先设置的控制规律对该偏差进行运算，然后输出一个变化了的控制量 u 到执行机构，使其产生一个能减小偏差的控制作用。这个过程不断进行，直到满足控制要求为止。此时，控制器输出 u 便维持在一定的值上不再改变。当控制器是常规的模拟调节器时，其系统便称为常规控制系统，如图 1-1 (a) 所示。如果图 1-1 (a) 中的常规控制器由计算机“取代”，如图 1-1 (b) 所示，则构成一个最简单的计算机控制系统。然而，这里所说的“取代”并不是件很容易的事。因为生产过程是多种多样的，通常的被控变量为模拟的温度、压力、流量、液位等物理量，虽然已有检测仪表将这些物理量转换为电流或电压，但仍然是连续的模拟量。而计算机处理信息以数字作为基础，所以在计算机取代常规调节仪表时，必须要有将模拟量转换为数字量的装置。同理，当作为控制器的计算机计算出应该输出的控制量时，该控制量是一个数字量，必须将其先转换为模拟量，才可输送到执行机构上。上述模拟量与数字量之间的转换装置即为计算机与生产过程之间的接口，分别称为模/数(A/D)转换和数/模(D/A)转换。此外，还必须有将过程信息读入系统的采样器与保持器等。为清楚起见，这些与常规控制系统不同的部分列在图 1-1 (b) 所示的虚线框中，与数字计算机一起统称为计算机系统。即便是被控变量不是模拟量而是开关量(数字量)这种比较简单的情况，在计算机控制系统中也需要用开关量输入/输出接口进行信号的传输，而不能直接将过程与计算机相连。通常将用于计算机与过程之间信号传输的转换装置称为生产过程输入输出通道，简称过程通道。

图 1-1 (a) 所示的模拟调节器主要由模拟电路构成，控制功能与模拟电路往往一一对

应, 改变控制方案很困难。工业过程控制中最常见的模拟调节器有 PID 模拟调节器, 它们一般为单回路调节器, 即一台调节器为一个回路服务。如果要控制多变量系统, 有多少个回路就需要多少台调节器。而对于图 1-1 (b) 所示的计算机控制系统, 其组成方式就要灵活得多, 通常一台计算机可控制若干个回路。并且由于计算机具有很强的计算、比较与存储信息的能力, 因而计算机控制系统可以实现过去用模拟调节器很难实现的更为先进和复杂的控制策略, 如自适应控制、预测控制、非线性控制和智能控制等, 从而更好地满足日益复杂化的工业过程的控制要求。更进一步, 将过程计算机控制系统、数字通信技术、计算机网络技术、数据库技术、现代管理技术等结合起来, 可以在整个工厂或企业实现计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacture System, CIMS) 又称为综合自动化系统。随着社会与历史的发展, 计算机控制系统将在现代化的工业中起到越来越重要的作用。

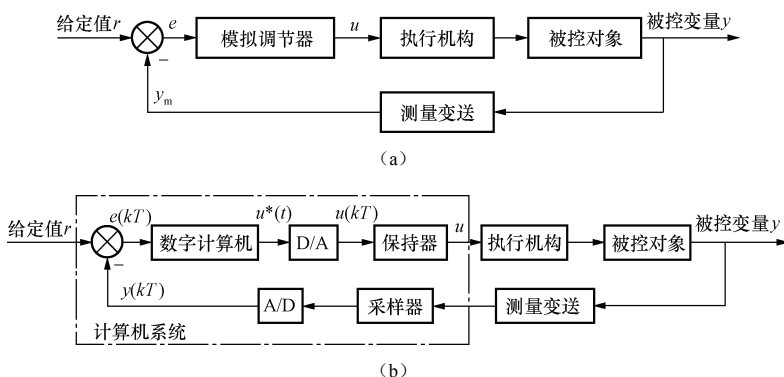


图 1-1 按偏差进行控制的单回路控制系统

(a) 单回路常规控制系统框图; (b) 单回路计算机控制系统框图

在计算机控制系统中, 计算机不但要完成原来由模拟调节器完成的控制任务, 而且还应充分发挥其优势, 完成更多模拟调节器不可能完成的任务, 从而使控制系统的功能更趋于完善。一般地, 计算机在控制系统中至少起到以下三个作用:

- (1) 实时数据处理。对来自测量变送装置的被控变量数据的瞬时值进行巡回采集、分析处理、性能计算, 以及显示、记录、制表等。
- (2) 实时监督决策。对系统中的各种数据进行越限报警、事故预报与处理, 根据需要进行设备自动启停, 对整个系统进行诊断与管理等。
- (3) 实时控制及输出。根据被控生产过程的特点和控制要求, 选择合适的控制规律, 包括复杂的先进控制策略, 然后按照给定的控制策略和实时的生产情况, 实现在线、实时控制。

(三) 计算机控制系统工作方式

(1) 在线方式与离线方式。在计算机控制系统中, 生产过程和计算机系统直接连接, 并接受计算机直接控制的方式称为在线或联机方式; 若生产过程不和计算机系统相连, 或虽相连接但不受计算机控制, 而是靠人进行联系并作相应操作的方式称为离线或脱机方式。

(2) 实时性。实时性是过程计算机控制系统的特点之一, 其含义是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成。亦即计算机对输入信息要以足够快的速度进行控制, 若超过规定的时限就失去了控制的时机, 控制可能失去意义。实时性是与具体的过程密切相关的, 一个在线的系统不一定是一个实时系统, 但一个实时系统必定是在线系统。

(四) 计算机控制系统的组成

计算机控制系统与常规控制系统一样，有闭环控制系统，也有开环控制系统；控制对象有连续的生产过程，也有间隙的生产过程；采用的工业控制计算机型号更是千差万别，但无论如何，各类计算机控制系统的组成是大同小异的。如果不包括不同的被控工业对象，计算机控制系统的组成大致如图 1-2 所示。

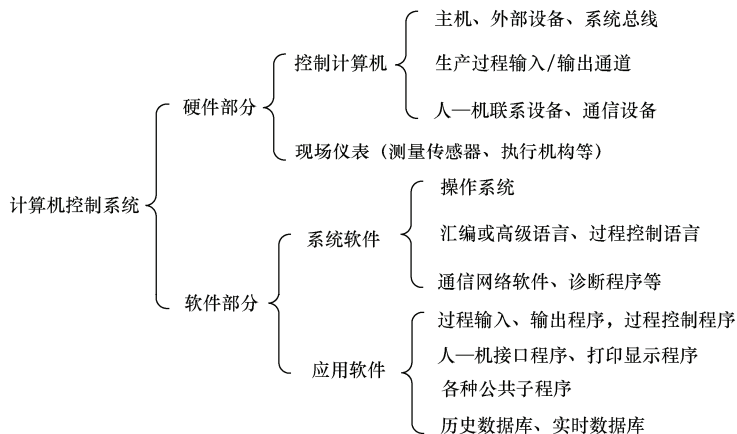


图 1-2 计算机控制系统的组成示意图

图 1-2 所示各主要部分在系统中的作用简述如下：

(1) 主机。由 CPU、ROM、RAM 组成，是计算机控制系统的核心。主机根据采集到的实时信息按照预先存在内存储器中的程序，自动进行信息处理和运算，及时选择相应的控制策略，并将控制作用立即输出到生产过程。

(2) 外部设备。常用的外部设备按功能分成输入设备、输出设备和外存储器。最常用的输入设备是键盘终端，用来输入程序、数据和操作命令；最常用的输出设备是打印机、绘图机、显示器等，用于显示、打印生产的操作状况、性能指标、生产报表等。常见的外存储器是磁盘、磁带、光盘等，它们兼有输入和输出两种功能。

(3) 生产过程输入/输出通道。包括模拟量和开关量两大类。它们是计算机与生产过程之间信息交换的桥梁，是过程计算机控制系统中必不可少的部分。

(4) 人一机联系设备。包括显示器、键盘、专用的操作显示面板或操作显示台等。它们一方面显示生产过程状况，另一方面供生产操作人员操作和显示操作结果。通过人一机联系设备，操作员与计算机之间进行信息交换。

(5) 通信设备。通过通信设备，不同地理位置、不同功能的计算机之间或计算机与设备之间可以进行信息交换。当多台计算机或设备构成计算机网络时，通信网络设备尤为重要。

(6) 现场仪表。包括检测变送仪表、执行机构等。检测变送仪表的任务是信号的变换、放大和传送，将生产过程中的各种物理量转换成计算机能接受的电信号；执行机构完成计算机输出控制的执行任务。由于直接与生产过程连接，它们在过程计算机控制系统中占有重要的地位。

(7) 系统总线。系统总线分为内部总线与外部总线两大类，其中内部总线在计算机各内部模块之间传送各种控制、地址与数据信号，并为各模块提供统一的电源；外部总线为

计算机系统之间或计算机系统与设备之间提供数字通信。

(8) 系统软件。系统软件管理计算机的内存、外设等硬件设备, 为计算机用户使用各种语言创造条件, 同时为用户编制应用软件提供环境和方便。

(9) 应用软件。应用软件是系统设计人员针对具体生产过程编制的控制和管理程序, 其优劣直接影响到系统的控制品质和管理水平。它是控制计算机在特定环境中完成某种控制功能所必需的软件, 一般包括过程输入/输出程序、过程控制程序、人一机接口程序、打印、显示程序及各种公共子程序等。应用软件的编制涉及生产工艺、控制理论、控制设备等各方面知识, 通常由用户自行编制或根据具体情况在商品化软件的基础上自行组态, 以及做少量特殊应用及开发。

二、计算机控制系统的发展概况与趋势

(一) 计算机控制系统的发展概况

20 世纪 50 年代初, 计算机就开始用于工业生产过程控制。控制理论与计算机技术的结合, 产生了新型的计算机控制系统, 为自动控制系统的 application 与发展开辟了新的途径。

从美国的计算机控制技术的发展来看, 大体分为以下三个阶段:

(1) 1965 年以前是试验阶段。早在 1952 年, 化工生产中就实现了计算机自动测量和数据处理; 1954 年开始用计算机构成开环控制系统; 1957 年在石油蒸馏过程控制中采用了计算机构成的闭环系统; 1959 年在一个炼油厂建成了第一台闭环计算机控制装置; 1960 年在合成氨和丙烯烃生产过程中实现了计算机监督控制; 1962 年在一个乙烯工厂实现了直接数字控制 (Direct Digital Control, DDC) 系统。

(2) 1965~1969 年是计算机控制进入实用普及的阶段。由于小型计算机的出现, 使其可靠性不断提高, 成本逐年下降, 计算机在生产过程控制中的应用得到了迅速的发展。但这个阶段仍然主要是集中型的计算机控制系统。在高度集中的控制系统中, 若计算机出现故障, 将对整个生产装置和生产系统带来严重影响。虽然采用多机并用可以提高集中控制的可靠性, 但会增加成本。

(3) 1970 年以后控制进入了大量推广和分级控制阶段。将计算机分散到生产装置中去, 实现小范围的局部控制和某些特殊控制, 这种控制方式称为“分散型计算机控制系统”。由于微型机具有可靠性高、价格便宜、体积小、使用方便、灵活等特点, 为分散型计算机控制系统的发展创造了良好的条件。

进入 1990 年以后, 由于计算机网络技术的迅猛发展, 同时也因为生产过程和控制系统的进一步复杂化, 人们将计算机网络技术应用到了控制系统的前置机之间以及前置和上位机的数据传输中。前置机仍然完成自己的控制功能, 但它与上位机之间的数据传输采用计算机网络实现。上位机在网络中的物理地位和逻辑地位与普通站点一样, 只是完成的逻辑功能不同。另外, 上位机增加了系统组态功能, 这就是集散控制系统 (Distributed Control System, DCS)。集散控制系统是计算机网络技术在控制系统中的应用成果, 提高了系统的可靠性和可维护性, 在当前的工业控制领域仍然占据着主导地位。但是集散控制系统不具备开放性, 布线复杂, 费用较高, 不同厂家产品的集成存在很大困难。

20 世纪 80 年代后期, 随着大规模集成电路的发展, 许多传感器、执行机构、驱动装置等现场设备智能化, 人们便开始寻求用一根通信电缆将具有统一的通信协议通信接口的现场设备连接起来, 在设备层传递的不再是 I/O 信号, 而是数字信号, 这就是现场总线。由于它解决了网络控制系统的自身可靠性和开放性问题的, 现场总线技术逐渐成为了计算机

控制系统的发展趋势。

现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）代表了一种新的控制观念——现场控制。它的出现使集散控制系统产生了很大的变革。主要表现在以下方面：

（1）信号传输实现了全数字化，从最底层、最远层向最高层均采用通信网络互联。

（2）系统结构采用全分散化，废弃了集散控制系统的输入/输出单元和控制站，由现场设备或现场仪表取而代之。

（3）现场设备具有互操作性，改变了集散控制系统控制层的封闭性和专用性，不同厂家的现场设备既可互联也可互换，并可以统一组态。

（4）通信网络为开放式互联网络，可极其方便地实现数据共享。

（5）技术和标准实现了全开放，面向任何一个制造商和用户。

与传统的集散控制系统相比较，全数字控制系统的出现，将能充分发挥上层系统调度、优化、决策的功能，更容易构成计算机集成制造系统并更好地发挥其作用；另外，还将降低系统投资成本和减少远行费用，仅系统布线、安装、维修费用可比现有系统减少约三分之二，节约电缆导线约三分之一。如果系统各部分分别选择合适的总线类型，会更有效地降低成本。

（二）新型控制策略与计算机控制系统

从模拟控制系统到计算机控制系统的长期发展过程中，形成了诸如 PID 控制、Smith 控制和解耦控制等许多行之有效的传统控制策略，并得到了广泛的应用。但这些控制策略不但要求被控对象是精确的、不时变的，且是线性的，而且要求操作条件和运行环境是确定和不变的。但 20 世纪 80 年代以来，世界各国工业向着大型、连续、综合化发展，所构成的控制系统也变得越来越复杂。首先，对象的结构参数是时变的，有许多不确定性因素，且是非线性、多变量、强耦合和高维数的，既有数字信息，又有多媒体信息，难以建立常规的数学模型并加以研究；其次，运行的环境改变和环境干扰的时变，再加上信息的模糊性、不完全性、偶然性和未知性等，使系统的环境复杂化；最后，控制任务不再限于系统的调节或伺服问题，还包括了优化、监控、诊断、调度、规划、决策等复杂任务。因此，人们建立和实践了一些新的控制策略，并在实际应用中得到改进和发展。

1. 现代控制策略

目前，研究和工业应用较多的现代控制策略主要有自适应控制、变结构控制、鲁棒控制和预测控制等。

（1）自适应控制。自适应控制是针对对象特性的变化、漂移和环境干扰对系统的影响而提出来的，其基本思想是通过在线辨识使这种影响逐渐降低乃至消除。自适应控制有模型参考自适应控制和自校正控制两类。

自适应控制是一种逐渐修正、渐进趋向期望性能的过程，适用于模型和干扰变化缓慢的情况，而不适用于环境干扰强的工业场合和比较复杂的生产过程。

（2）变结构控制。首先，变结构控制中的“结构”不是指系统本身的物理结构，而是系统在状态空间中的状态轨迹的总体几何性质。其次，变结构控制本质上是一类特殊的非线性控制，与其他控制策略的区别在于系统的“结构”并不固定，而是可以在动态过程中根据系统当时的状态，以跃变的方式有目的地不断变化，迫使系统按预定的“滑动模态”的状态轨迹运动。

变结构控制的优点是具有快速响应，对参数及外扰变化不灵敏，无需系统在线辨识，

物理实现简单。但其设计比较复杂，且在状态轨迹到达滑模平面后，难以严格沿着滑模面向平衡点滑动，而且在滑模面两侧来回穿越，产生颤动，这些限制了它的应用。

(3) 鲁棒控制。控制系统的鲁棒性是指系统的某种性能或某个指标在某种扰动保持不变的程度（或对扰动不敏感的程度）。其基本思想是在设计中设法使系统对模型的变化不敏感，使控制系统在模型误差扰动下仍能保持稳定，品质也保持在工程所能接受的范围内。鲁棒控制主要有代数方法和频域方法，代数方法的研究对象是系统的状态矩阵或特征多项式，讨论多项式族或矩阵族的鲁棒控制；频域方法是从系统的传递函数矩阵出发，通过使系统由扰动至偏差的传递函数矩阵 H_o 的范数取极小，来设计出相应的控制规律。

鲁棒控制的理论研究十分热烈，取得了一系列成果，但其应用主要集中在飞行器、柔性结构和机器人上，而较少应用在工业过程控制领域中。其原因在于缺乏良好的设计方法，设计出的控制器可能高达数十阶，难以实现。

(4) 预测控制。预测控制是一种基于模型又不过分依赖模型的控制策略，其基本思想类似于人的思维和决策，即根据头脑中对外部世界的了解，通过快速思维不断比较各种方案可能造成的后果，从中择优予以实施。它的各种算法是建立在模型预测—滚动优化—反馈校正等三条基本原理上的，其核心是在线滚动优化。这种“边走边看”的滚动优化控制策略可以随时顾及模型失配、时变、非线性或其他干扰因素等不确定性，及时进行弥补，减少偏差，以获得较高的综合控制质量。

预测控制集建模、优化和反馈于一体，三者滚动进行，其深刻的控制思想和优良的控制效果，一直为学术界和工业界所瞩目。目前，国外已开发出商品化的预测控制软件包。但其缺点是在建模中未充分利用过程的知识，且计算耗时、工作量大。

2. 智能控制策略

智能控制是自动控制与人工智能相结合的产物，其典型的控制方法有模糊控制、专家控制、神经控制和遗传算法等。

(1) 模糊控制。模糊控制是用语言归纳操作人员的控制策略，运用语言变量和模糊集合理论形成控制算法的一种控制，模糊控制不需要建立控制对象精确的数学模型，只要求把现场操作人员的经验和非数据总结成较完善的语言控制规则，因此它能绕过对象的不确定性、不精确性、噪声，以及非线性、时变性、时滞等影响。系统的鲁棒性强，尤其适用于非线性、时变、滞后系统的控制。

模糊控制由于理论研究较成熟、实现简单、适应面广而获得了广泛的应用。目前，许多公司和生产厂家都能生产定型的模糊控制器，提供各种型号和功能的模糊控制芯片，从而大大地促进了模糊控制技术的广泛应用。模糊控制存在的主要问题是要有较好的控制效果，必须要有完善的控制规则。而对于某些复杂的工业过程，有时难以总结出较完整的经验，并且当对象动态特性发生变化或者受到随机干扰时，都会影响模糊控制的效果。

(2) 专家控制。专家控制是理论的成熟较之应用的成功明显薄弱的典型，其基本思想可形象地比喻成：专家控制是试图在控制闭环中加入一个有经验的控制工程师，系统能为它提供一个“控制工具箱”，即可对控制、辨识、测量、监视等各种方法和算法选择自便，调用自如。因此，专家控制可以看成是对一个“控制专家”在解决控制问题或进行控制操作时的思路、方法、经验、策略的模拟。专家控制器有三个基本模块：用于观察、检测系统中的有关变量和状态的信息处理特征提取模块；运用专家知识和经验判断当前系统运行情况并分析比较各种可以采用的控制策略的推理集模块；存放专家控制经验和知识的控制

规则集模块。

自专家控制诞生以来,已获得了许多成功的应用,其成果令人鼓舞。对于许多工业过程来说,专家控制表现出的是一个颇为行之有效的控制策略,但它在理论上还很不完善,并未形成有普遍意义的理论体系和设计方法。

(3) 神经控制。神经网络是用来模拟脑神经的结构、思维、判断等脑功能的一种信息处理系统。20 世纪 80 年代以来,神经网络理论取得了突破性进展,并以它一系列优异的性能而迅速成为智能控制一支新的生力军。

神经网络在自动控制系统中的应用方式是多种多样的,基本上可分为单神经元的应用和神经网络的应用。神经网络组成的系统可以很复杂,也可以获得很好的性能。但目前由于缺乏相应的神经网络芯片或神经网络计算机硬件支持,只能利用目前的计算机的串行计算方法来模拟神经网络机制。解决实时控制问题,其计算速度还很难满足实际需要,因此尚未得到实际应用。而由单个神经元构成的控制器,结构简单,易于实现实时控制。

虽然神经网络控制在应用上还有困难,但它是一种很有前途的方法,它的大量应用有待于现在已经取得成功的神经网络集成电路芯片生产的成熟。

(4) 遗传控制。遗传算法和神经网络一样都是一种基于生物机制的方法,但它们又是完全不同的方法。神经网络是模拟人的大脑机制,而遗传算法则是模拟生物的进化机制。遗传算法的基本思想是达尔文的进化论,就是将待求解决的问题转换成由个体组成的演化群体和对该群体进行操作的一组遗传算子,整个系统按照“物竞天择,适者生存”的原则,经历生成—评价—选择—操作的演化过程反复进行,直至搜索到最优解。

遗传算法在自动控制中的应用主要是进行优化和学习,特别是与其他一些控制策略结合,能获得很好的结果。当前,由于它的实时性问题,实际工业应用较少。但它深刻的思想和优异的性能一定会随着研究工作的深入而获得广泛的实际应用。

上述的各种现代控制策略和智能控制策略都有其特长,但在某方面也都有其不足。因此,一种必然的发展趋势就是各种控制策略互相渗透和结合,取长补短,互济优势,结合成复合的控制策略。复合控制策略克服了单一策略的不足,具有更优良的性能,能更好地满足不同应用的不同要求,因而获得了更加广泛的应用。复合控制策略的类型很多,而且随着研究工作的进展还将不断地增加和变化。目前主要有模糊 PID 复合控制、模糊变结构控制、自适应模糊控制、模糊预测控制、模糊神经网络控制、专家 PID 控制、专家模糊控制等。

(三) 计算机控制系统软件技术新发展

计算机控制系统的软件技术也吸取了计算机领域网络计算技术的新成果,将其用于工业过程和设备控制中,从而支持着控制系统的网络化发展。

1. 分布对象计算

分布对象计算是一种全新的分布式计算平台模型,是传统的纯分布处理技术和面向对象技术以及客户/服务器技术的结合,可以看做 OO (Object Oriented) 技术向异构分布计算平台和客户/服务器环境的扩展和应用。当前,分布对象计算环境主要有两大阵营: OMG 公司的公共对象请求代理结果 CORBA (Common Object Broker Agent) 和 Microsoft 公司的分布式组件对象模型 DCOM (Distributed Component Object Model)。它们在控制系统结构和软件的设计与实现上已经有了广泛应用, CORBA 主要用于理论研究和原理设计, DCOM 主要用于应用实现,如 OLE、ActiveX 控件在流行的组态和监控软件中应用很广。

2. Java 技术

SUN 公司推出的 Java 技术由于具有良好的跨平台特性和网络交互能力,在 Internet 和 Intranet 中获得了广泛应用。随着控制系统自身的网络化发展以及信息网络的结合,Java 技术在控制领域中的应用也开始引起人们的重视并已显示出了它的优越性。最近以 SUN 公司为首的几家公司推出了基于 Java 实现的控制系统原型。

3. Web 技术

作为 Internet 和 Intranet 中的主流技术,Web 和 Browser/Server 技术已经成为一个标志,一个用户与网络交互的窗口。目前,这种技术也已渗透到控制领域并已有相关产品问世,在远程(多媒体)监控和诊断、远程维护等方面发挥了积极作用,而且与企业的管理信息系统相联系,对企业的管理与决策提供了支持与依据。

(四) 计算机控制系统的发展趋势

根据目前计算机控制技术的发展情况,展望未来,前景光明。随着计算机网络技术、计算机软件技术和数据通信技术的飞速发展,计算机控制系统的外延和内涵都远远超过了从前。以前的计算机控制是自动化孤岛模式,一个工段、一个车间或一个过程采用计算机控制系统,而现在的目标是建设整个工厂、整个企业的综合自动化系统。该系统能综合应用自动化技术、信息技术、计算机技术、生产加工技术和现代管理科学,从生产过程的全局出发,通过对生产活动所需的各种信息的集成,实现常规的过程控制、先进控制、在线优化、生产调度、企业管理、经营决策等功能,达到提高企业经济效益、适应能力和竞争能力的目的。要建立这种能适应各种生产环境和市场需求、总体最优、高质量、高效益、高柔性的工业过程计算机集成制造系统,就成为工业自动化领域的共识和一种必然发展。

20 世纪 80 年代中期以来,计算机集成制造系统(CIMS)日渐成为制造工业的热点。其原因不仅在于 CIMS 具有提高生产率、缩短生产周期,以及提高产品质量等一系列极有吸引力的优点,也不完全在于看到一些大公司采用了 CIMS 取得了显著的经济效益,最为根本的原因还在于 CIMS 是在新的生产组织原理和概念指导下形成的一种新型生产模式。CIMS 将成为 21 世纪占主导地位的新型生产方式,因而世界上很多国家和企业都把发展 CIMS 定为本国制造工业或企业的发展战略,制定了很多由政府或工业界支持的计划,用以推动计算机集成制造系统 CIMS 的开发与应用。1986 年我国就将 CIMS 列入了国家高技术发展规划,其战略目标是跟踪国际上 CIMS 高技术的发展,掌握 CIMS 关键技术,建立既能获得综合效益又能带动全局的示范点。

计算机控制技术的发展趋势可以概括为集成化、智能化、全球化、虚拟化、标准化和绿色化。

(1) 集成化。CIMS 的“集成”已经从原先的企业内部的信息集成和功能集成,发展到当前的以并行工程为代表的过程集成,并正在向以敏捷制造为代表的企业间集成发展。

(2) 智能化。智能化是制造系统在柔性化和集成化基础上进一步的发展和延伸,目前已广泛开展对具有自律、分布、智能、仿生和分形等特点的下一代制造系统的研究。

(3) 全球化。随着“网络全球化”、“市场全球化”、“竞争全球化”和“经营全球化”的出现,许多企业都积极采用敏捷制造、全球制造和网络制造的策略。

(4) 虚拟化。在数字化基础上,虚拟化技术的研究正在迅速发展。它主要包括虚拟现实(VR)、虚拟产品开发(VPD)、虚拟制造(VM)和虚拟企业(VE)等。

(5) 标准化。在制造业向全球化、网络化、集成化和智能化发展的过程中,标准化技

术 (STEP、EDI 和 P-LIB 等) 已显得越来越重要。它是信息集成、功能集成、过程集成和企业集成的基础。

(6) 绿色化。绿色制造、面向环境的设计与制造、生态工厂、清洁化工厂等概念是全球可持续发展战略在制造技术中的体现, 是摆在现代制造业面前的一个新课题。

三、计算机控制系统的分类

计算机控制系统的应用领域非常广泛, 控制对象和控制任务可从小到大, 从简单到复杂。因此计算机控制系统的分类方法也比较多, 下面根据计算机控制系统的特点给出计算机控制系统的几种分类方法。

(一) 按控制系统的功能及结构特点分类

根据计算机控制系统的功能及结构特点, 可以将计算机控制系统大致分为操作指导控制系统、直接数字控制 (DDC) 系统、监督控制 (Supervisory Computer Control, SCC) 系统、集散控制系统 (DCS)、现场总线控制系统 (FCS) 和计算机集成制造系统 (CIMS) 等。

1. 操作指导控制系统

操作指导控制系统的组成原理如图 1-3 所示, 属于开环控制型结构。这时计算机的输出与生产过程的各个控制单元不直接发生联系, 控制动作实际上由操作人员接受计算机指示去完成。

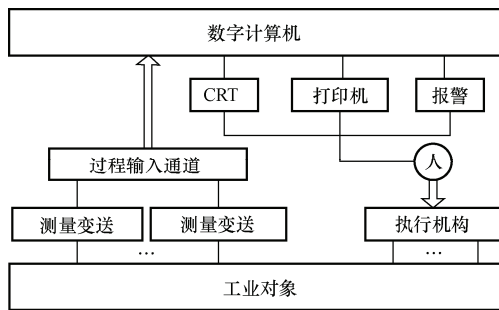


图 1-3 操作指导控制系统组成原理图

去改变调节器的给定值或直接操作执行机构。

操作指导控制系统是最早和最简单的计算机控制系统, 其优点是结构简单, 控制灵活而且安全, 缺点是要由人工操作, 速度受到限制, 不能同时控制多个对象。它常用于进行数据检测处理、试验新的数学模型和调试新的控制程序等。

2. 直接数字控制系统

直接数字控制 (DDC) 系统的构成如图 1-4 所示。计算机通过测量元件对一个或多个物理量进行巡回检测, 经过输入通道输入计算机, 并根据规定的控制规律和给定值进行运算, 然后发出控制信号直接去控制执行机构, 使各个被控制量达到预定的要求。

在 DDC 系统中, 计算机不仅能完全取代模拟调节器参加闭环控制过程, 而且不需改变硬件, 只通过改变程序就能有效地实现较复杂的控制规律, 如前馈控制、非线性控制、自适应控制、最优控制等。由于计算机直接与生产过程相连并承担控制任务, 且工业现场环境比较恶劣, 干扰多, 故要求 DDC 计算机可靠性高, 实时性好, 抗干扰能力强, 能独

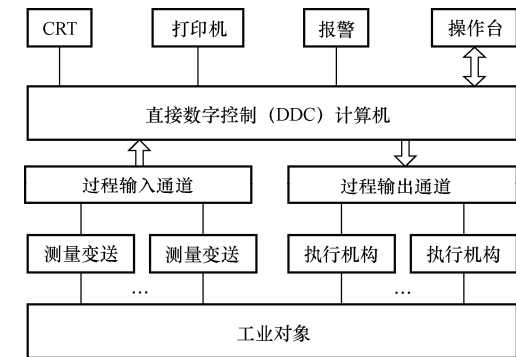


图 1-4 直接数字控制系统原理图

立工作。所以一般选用微型机和工控机作为 DDC 的计算机。

DDC 系统是计算机用于工业生产过程控制的最典型的一种系统。在 DDC 系统中使用计算机作为数字控制器,在热工、化工、机械、冶金等部门已获得广泛应用。

3. 监督控制系统

监督控制 (SCC) 系统的结构原理图如图 1-5 所示。在直接数字控制系统中,是用计算机代替模拟调节器进行控制的;而在计算机监督控制系统中,则是由计算机按照描述生产过程的数学模型或其他方法,计算出最佳给定值送给模拟调节器或者 DDC 计算机,最后由模拟调节器或 DDC 计算机控制生产过程,从而使生产过程始终处于最优工况。从这个角度上说,它的作用就是改变给定值。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位控制,同时还可以进行顺序控制、最优控制等。它是操作指导控制系统和 DDC 系统的综合与发展。

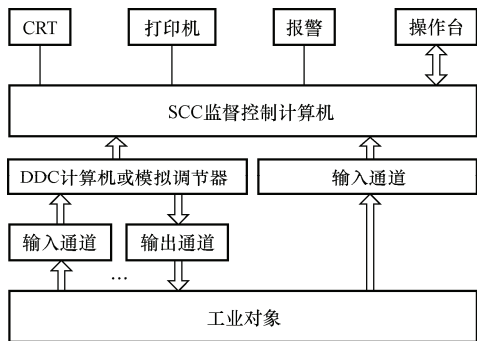


图 1-5 监督控制系统 SCC 原理图

监督控制系统有两种不同的结构形式:一种是 SCC+模拟调节器;另一种是 SCC+DDC 控制系统。

(1) SCC+模拟调节器的控制系统。在此系统中,由计算机系统对各物理量进行巡回检测,并按一定的数学模型,计算出最佳给定值并送给模拟调节器。此给定值在模拟调节器中与检测值进行比较后,其偏差值经模拟调节器计算,然后输出到执行机构,以达到调节生产过程的目的。当 SCC 计算机出现故障时,可由模拟调节器独立完成操作。

(2) SCC+DDC 控制系统。这实际上是一个两级计算机控制系统,一级为监控级 SCC 计算机,另一级为 DDC 计算机。监控级 SCC 计算机的作用与 SCC+模拟调节器系统中的 SCC 计算机一样,完成车间或工段等高一级的最优化分析和计算,并给出最佳给定值,送给 DDC 级计算机直接控制生产过程。两级计算机之间通过接口进行信息交流,当 DDC 级计算机出现故障时,可由 SCC 级计算机完成 DDC 级计算机的控制功能。因此,大大提高了系统的可靠性。

在 SCC 系统中,由于 SCC 级计算机承担了先进控制、过程优化与部分管理任务,信息存储量大,计算任务重,故要求有较大的内存与外存和较为丰富的软件,所以一般选用高档微型机或小型机作为 SCC 级计算机。

4. 集散控制系统

生产过程中既存在控制问题,也存在大量的管理问题。过去,由于计算机价格高,复杂的生产过程控制系统往往采取集中控制方式,以便充分利用计算机。但这种控制方式由于任务过于集中,一旦计算机出现故障,将会影响全局。随着价廉而功能完善的微机出现,则可以由若干台微处理器或微机分别承担部分任务,并通过高速数据通道把各个分散点的信息集中起来,进行集中的监视和操作,并实现复杂的控制和优化。这就是集散控制系统(简称 DCS),又称分散或分布式控制系统,其原理框图如图 1-6 所示。

该系统的特点是将控制功能和危险性分散,用多台计算机分别执行不同的控制功能,既能进行控制又能实现管理;由于计算机控制和管理范围的缩小,使其应用灵活方便,可