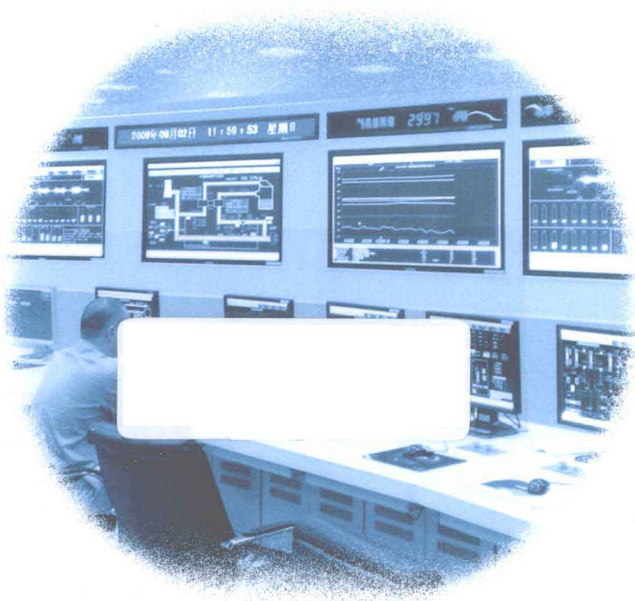


普通高等学校能源与动力

“十二五”规划教材

动力工程计算机控制

►► 高伟 李建兰 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等学校能源与动力类“十二五”规划教材

动力工程计算机控制

主 编 高 伟 李建兰
副主编 冯志力 张 捷

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书是根据普通高等学校教学改革的需要,面对能源与动力工程类专业而编写的本科生教材。全书理论与实际结合紧密、内容与结构组织合理,针对动力工程应用深入浅出地介绍了计算机控制的理论基础、系统构建、控制策略、设计方法和应用技术等若干内容,有利于循序渐进地加强能源与动力工程专业人员融合计算机控制方面的相关知识,为进一步掌握和应用计算机控制技术打下必备的基础。

本书既可作为高等学校能源与动力工程类专业的本科生教材,也可作为机械、石油、化工、冶金、轻工等其他专业教学和参阅的资料,还可供相关工程技术人员应用参考。

图书在版编目(CIP)数据

动力工程计算机控制/高 伟 李建兰 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.2
ISBN 978-7-5609-6993-0

I. 动… II. ①高… ②李… III. 动力工程-计算机控制-高等学校-教材 IV. TK-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 041688 号

动力工程计算机控制

高 伟 李建兰 主编

责任编辑:刘 勤

封面设计:刘 卉

责任校对:朱 霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:15.75

字 数:342千字

版 次:2013年2月第1版第1次印刷

定 价:32.00元



华中科大

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

本书是面对能源与动力工程类专业的科技发展和学科交叉现状,根据现代宽口径专业人才培养及其知识结构优化的需要,针对计算机控制技术的动力工程应用而编写的。该书力求使涉及能源与动力工程的专业技术人员了解和掌握计算机控制系统的应用与发展趋势、相关理论、实现技术、系统结构、控制策略、设计方法及应用案例等,以强化知识的融合和专业的拓展。

本书理论结合实际、结构层次分明、内容循序渐进,既介绍了计算机控制系统的基础理论,也阐述了计算机控制系统的实现方法和工程应用。全书共分为 7 章:第 1 章论述了计算机控制的意义、基本概念,以及发展概况及趋势;第 2 章介绍了常用线性控制系统应用计算机时的离散化数学描述和系统分析方法;第 3 章阐述了过程通道中的模拟量和数字量输入/输出(I/O)通道的形成原理,以及过程信息的采集、处理与抗干扰技术;第 4 章分析了计算机控制系统常用的控制算法(如 PID、Dahlin 等算法)和各种控制策略(如前馈控制、反馈控制、串级控制、复合控制、Smith 预估控制、均值控制、比值控制、解耦控制等);第 5 章探讨了计算机控制系统设计的基本原则、方法、步骤,以及系统软硬件的设计内容和系统的调试与运行技术;第 6 章给出了不同功能、不同结构的各种典型计算机控制系统;第 7 章列举了计算机控制系统在电力、制冷、汽车、化工等各种工业生产过程中的应用案例。

本书由华中科技大学高伟和李建兰任主编。第 1 章由高伟编写,第 2 章由冯志力、高伟编写,第 3 章由张捷、李建兰编写,第 4 章由李建兰、张捷、冯志力编写,第 5 章由高伟编写,第 6 章、第 7 章由高伟、李建兰编写。高伟负责全书的统稿。

本书在编写过程中,得到了高世伦教授和陈良才副教授的很多帮助和前期工作的支持,在此对两位表示特别的感谢。本书在编写过程中参考了许多相关资料和文献,特向这些作者表示衷心的感谢。由于统计疏漏,可能还有部分参考资料和文献没能列出,特向相关作者表示深深的歉意和由衷的致谢。

限于编者水平,书中不妥之处和错误在所难免,恳请读者评判指正。

编 者

2012 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 计算机控制的意义	(1)
1.2 计算机控制系统的基本概念	(5)
1.3 计算机控制系统的组成	(8)
1.4 计算机控制的发展概况及趋势	(11)
第 2 章 线性离散控制系统基本理论	(23)
2.1 信号变换与处理	(23)
2.2 线性离散系统的数学描述方法	(34)
2.3 Z 变换的基本理论	(39)
2.4 z 传递函数	(53)
2.5 线性离散系统的性能分析	(60)
第 3 章 过程通道技术	(71)
3.1 传感器	(71)
3.2 模拟量输入通道	(78)
3.3 模拟量输出通道	(83)
3.4 数字量输入/输出通道	(84)
3.5 可靠性技术	(87)
第 4 章 计算机控制的常用策略	(96)
4.1 PID 控制算法	(96)
4.2 大林算法	(113)
4.3 基本控制系统	(116)
4.4 复合控制系统	(122)
4.5 其他控制系统	(130)
4.6 耦合系统的解耦	(138)
第 5 章 计算机控制系统的设计与实现	(145)
5.1 计算机控制系统的设计原则	(145)
5.2 计算机控制系统的设计方法	(148)
5.3 工程设计步骤	(162)
5.4 总体方案设计	(165)
5.5 系统的硬件设计	(166)
5.6 系统的软件设计	(177)
5.7 控制系统的调试与运行	(186)

第 6 章 典型的计算机控制系统	(191)
6.1 概述	(191)
6.2 不同功能的计算机控制系统	(192)
6.3 不同结构的计算机控制系统	(197)
第 7 章 动力工程计算机控制系统实例	(211)
7.1 温度控制系统	(211)
7.2 锅炉控制系统	(214)
7.3 汽轮机控制系统	(224)
7.4 电厂水处理控制系统	(225)
7.5 空调控制系统	(228)
7.6 内燃机控制系统	(233)
7.7 化工过程控制系统	(241)
参考文献	(244)

第 1 章 绪 论

在工业生产的初级阶段,生产环节或生产过程的控制通常采用人工控制方式予以实现。随着生产规模的扩大、生产要求的提高、生产环境的制约等,人工控制的精度差、响应慢、应用有限等弊端逐渐显露,自动控制由此应运而生。

早期的自动控制皆属于应用连续物理信号的模拟控制,它在推动工业进步和社会发展中发挥了极为重要的作用。但是,随着工业生产日益规模化、复杂化、精细化,传统的模拟控制已经难以适应强耦合对象、大信息量处理、多目标优化、智能化控制等实际需求,难以满足工业生产安全、经济、环保的高标准要求。

自 20 世纪 40 年代世界上第一台计算机研制成功以来,计算机技术飞速发展并在众多领域得到了广泛应用,计算机强大的数据处理、数值计算,以及逻辑判断能力也为日益复杂的控制需求开辟了新的发展途径。基于计算机技术和自动控制理论相结合的计算机控制系统在工业生产中得到了越来越广泛的应用,它不仅获得了显著的成效,而且奠定了自动控制技术的新方向,促进了自动控制技术的新发展。

当今,计算机控制已在各行各业得到普遍应用,已成为工业控制的主流。因此,了解、掌握和应用计算机控制理论与技术,已成为众多工程技术人员不可或缺的必备知识和能力。

1.1 计算机控制的意义

早期的计算机控制系统主要是以计算机技术和经典控制理论为基础建立起来的,是以数字计算机简单地代替常规模拟控制器功能而形成的控制系统。这种系统是用仅有的低性能数字计算机实现与模拟控制系统相近似的运算功能,而且运算时是将实际的连续模拟信号转换为近似的离散数字信号予以应用的。因此,即使其控制效果最好也只能达到(甚至低于)模拟控制系统的效果。

随着计算机技术的发展,计算机所具有的信号传输能力、信息处理能力、逻辑判断能力、分析运算能力、数据存储能力、图像显示能力等皆在迅速提高。现代计算机技术与现代控制理论、控制技术、通信技术、仪表技术、视频技术、管理方法、决策科学,以及实际控制需求相结合,促进了计算机控制技术的日益发展和广泛应用。如今的计算机控制系统已经可以完成常规模拟控制系统无法完成的任务,已经达到了常规模拟控制系统无法达到的性能指标。

目前,计算机控制已渗透到各个领域,使其自动化程度和水平大幅提高。工业生产过程自动化应用计算机控制系统的重要意义主要体现在以下四个方面。

1. 增强系统功能,提高控制水平

计算机具有强大的数据处理、信息存储和快速运算能力,与相应的应用软件配合可以实现以下众多超越模拟控制系统的自动化功能。

(1) 自动、实时、精确地处理多路输入(或输出)信号 包括现场各类信号(如模拟量、开关量、脉冲量等)的自动采集、输入信号的正确性判断、误差检查、排除干扰和噪声的信号数字滤波、非线性模拟量信号的线性化处理、热电偶冷端的温度补偿、信号的标度变换、越限检查与报警等,从而保证了信息采集的广泛性、准确性、安全性。

(2) 存储大量的共享的历史数据 可实现事件记录、事故追忆、趋势分析、故障诊断、状态预测、性能计算、寿命管理、经济评估、报表输出、生产计划于调度等自动化功能,从而增强了控制系统的相关功能。

(3) 方便地完成各类控制系统的组态(搭建) 可在同一计算机系统中同时实现模拟量控制、逻辑控制、顺序控制等不同类型的控制,也可根据生产环境和条件的变化,及时作出判断和自动选择系统组态中最为合理的控制对策,从而扩展了系统的应用范围。

(4) 灵活应用模拟控制系统难以实现的先进控制策略 模拟控制系统所能实现的控制策略一般是基于经典控制理论的 PID 算法、Smith 预估算法和反馈、前馈、串级等元素组成系统结构,而计算机控制系统不仅可以实现模拟控制系统的控制策略,还可以根据实际控制需求,通过软件实现基于近代控制理论的状态反馈控制、状态观测与估计、自适应控制、最优化控制等算法和基于智能控制的专家系统控制、模糊控制、人工神经网络控制、仿生智能控制等算法,从而进一步提高了控制系统的工作品质。智能控制是自动控制与人工智能的有机结合的产物,是在不断吸收运筹学、信息论、系统论、模糊数学、实验心理学、仿生学、生理学和控制在论等学科的新思想、新技术和研究成果基础上发展而成的控制策略,它模拟和研究人类智能活动及其控制与信息传递的规律,实现具有仿生智能的工程控制与信息处理系统的功能。计算机控制系统为智能控制奠定了必要的物质基础。随着计算机技术和智能控制这一交叉学科的不断深入,智能控制系统在各个领域的应用将不断深入。

(5) 缩小监视面,扩大监控范围 模拟控制系统通常是用各种单一功能的模拟仪表搭建起来的,对于较大型的控制系统,将会使用大量的模拟仪表,其中需监视的仪表不仅量多且相对分散,需监视的面较宽,尽管如此,其监视范围也是十分有限的。而计算机控制系统采用的是屏幕集中显示,将所需监视的信息都集中于屏幕之上,运行人员的监视面大为缩小,监视准确性大为提高;而且由于计算机的强大的信息处理能力和图形功能,其监控范围既可向实时监控参数进一步扩展,也可向非实时的二次参数(由直接检测的参数进行某种数学运算而得)、历史参数、预测参数等扩展,并可以以不同画面(如数字、图形、曲线、表格等)形式显示出来,从而加强了人机联系的友好性。

2. 节省系统投资,提高经济效益

在满足生产过程对安全性、经济性、可靠性、环保性的高标准要求下,计算机控制

系统所起的作用不仅优于常规的模拟、逻辑、顺序等控制系统,而且在性价比上也占有很大的优势,这主要是基于以下三种因素。

(1) 计算机性能不断提高,功能更加强大,计算机在控制系统中的作为不断提升,而其价格随着技术的发展、产能的提高、市场的竞争在不断下降。

(2) 计算机控制系统的推广应用,促使控制系统的许多功能实现了软件化,不仅省去了常规的模拟、逻辑、顺序等控制系统所需的大量硬件设备(如模拟控制系统的各种信号转换器、限幅器、运算器、控制器、选择器、显示器,以及构成逻辑控制系统和顺序控制系统所采用庞大而繁杂的逻辑电路及其众多的继电器等),大大减少了投资成本,降低了安装、调试、维护费用;而且利用软件实现了常规模拟、逻辑、顺序等控制系统一些不具备或难以实现的功能,相对而言,计算机控制系统在提升系统性能的同时,花费是低廉的。

(3) 计算机控制系统可实现生产过程管理和优越的控制品质,能维持被控对象在最优的工况下运行。这不仅能提高生产系统的运行效率,节省资源消耗,保障产品质量,降低运行成本,取得可观的直接经济效益,而且能使系统故障率降低到最低限度,系统连续工作时间得以延长,设备寿命消耗大为减缓,环保指标得到有效控制等,所产生的间接经济效益也是巨大的。例如,一台 300 MW 及以上大型火力发电机组,其运行效率若提高 0.5%,每年所节约的标准煤则达数千吨。而任何一个小事故引起的设备损坏,都会导致几十万元甚至数百万元的经济损失;由于故障或事故导致停机,少发电一天所造成的直接或间接的经济损失将以千万元计;由于污染排放超标所带来的罚款也是令人心痛的。因此,计算机控制系统在提高企业经济效益中的作用是巨大的。

另外,计算机控制系统便于仿真,可营造一个与实际现场相同的工作环境,演绎出实际系统的各种过程。利用仿真系统可在不干扰实际系统正常运行的情况下,进行系统的试验、研究、培训、教学等,使操作人员身临其境,获得更多的操作训练机会或处理故障的机会,从而减少了在实际系统上的误操作率,这不仅有利于提高科学研究的水平和被培训人员的技术素质,而且也会大大节省试验、培训的开支,由此获得的社会效益和经济效益也是显而易见的。

3. 强化管控结合,提高管理水平

在现代化企业中,科学管理是相当重要和必要的。一个企业的科学管理涉及面广、任务多,数据量大。

(1) 生产管理 包括生产计划、生产组织、生产调度、运行状况、过程优化、质量控制、实效评估等。

(2) 资源管理 包括资源储备、资源配备、资源供应、资源消耗、资产评估等。

(3) 设备管理 包括设备状态、故障诊断、维护检修、寿命管理、备品备件等。

(4) 技术管理 包括技术数据、技术指标、技术改造、技术报告、技术档案等。

(5) 监督管理 包括仪表监督、化学监督、金相监督、绝缘监督、环保监督等。

(6) 营销管理 包括经营项目、原料采购、产品销售、市场动态、需求响应等。

(7) 财务管理 包括投资预算、成本核算、资金调控、效益分析、财经报表等。

(8) 保障管理 包括后勤服务、教育培训、科技需求、基本建设等。

这众多管理任务的执行依据,皆来自生产过程的各类数据,其中大部分数据与监测系统和控制系统相关;此外,控制系统的许多判断、指导、决策也需要管理层及时提供有关的信息。

计算机控制系统,可加强与企业各类计算机信息管理系统的联系,实现数据共享,可通过通信网络实现生产信息和管理信息及时、准确、高速地传输,可通过二者的协调配合,实时处理管理工作与生产控制之间的关联问题,从而紧密了管理与控制的结合,既能使生产过程及时响应市场、条件、安全、经济、环保、质量、低耗、高效等要求,又提高了管理决策的实时性和科学水平。

4. 安全措施得当,系统运行可靠

可靠性是计算机控制系统应用成败的关键,是其生存和发展的生命,生产过程对计算机控制系统的可靠性有着极高的要求。当今,计算机系统在采用先进的大规模或超大规模集成电路和高质量元器件的基础上,大幅减少元器件数量和应用表面安装技术,以提高硬件设计和制造的可靠性,最大限度地降低了硬件故障率,使得计算机工作的稳定性和可靠性得以大幅提高;而工业控制用的计算机其元件质量和制造水准则更胜一筹。例如电厂计算机控制系统的可用率指标已达 99.6% 以上。除此之外,计算机控制系统还根据实际应用的需要,采取了各种安全措施来提高系统的运行可靠性。这些措施如下。

(1) 硬件冗余技术 对于系统的关键部件(如通信网络、操作监视站、电源、主要模件等),根据重要程度可采取 1:1 或 1:N 冗余配置,在部分部件失效时仍能维持系统正常运行。

(2) 软件容错技术 自行检验和纠正系统中的信息差错。

(3) 自诊断和处理技术 利用软件设置故障自检测、自诊断、自处理等功能,在系统出现差异时,可实现自动报警、故障部件自动隔离、热备用的冗余部件自动投入等。

(4) 内部模件带电(热机)插拔技术 可方便及时地更换与检修故障模件,提高了系统的可维护性。

(5) “电磁兼容性”技术 接地、屏蔽、隔离等技术手段,可使系统的抗干扰能力足以对付来自系统内外的干扰。

(6) 分散型系统结构 实现控制分散、功能分散、负荷分散、从而使得系统的危险性分散,保证某个局部出现故障时,系统其他部分仍正常工作而不影响全局,以减少事故的发生等。

因此,计算机控制系统具有更多的手段和条件来满足生产过程控制的安全可靠性。

鉴于计算机控制系统强大的功能、灵活的应用、合理的性/价比、可靠的安全性、优良的控制品质和特有的管理性能,其广泛应用对提高工业自动化的整体水平和企业科学管理的综合能力,有着十分重要的现实意义。

1.2 计算机控制系统的基本概念

计算机控制系统是自动控制系统的一种实现形式,是自动控制系统的融合计算机技术、通信技术、显示技术和现代控制理论等发展而来的现代成果。

1. 自动控制系统

自动控制是指脱离人的直接干预,利用控制装置(简称控制器)使被控对象的工作状态或被控量(如温度、压力、流量、速度、pH 值等)按照预定的程序或规律运行的技术。为实现此目的而由一系列部件按照某种结构形式组成的、实现具有特定功能和规律的整体称为自动控制系统(automatic control system)。

根据自动控制系统的结构分析,自动控制系统可分为开环控制系统、闭环控制系统两类,任何复杂结构的控制系统皆是这两类控制系统某种形式(如同时应用、多次应用、交叉应用等)组合而成的。

1) 开环控制系统

开环控制(open loop control system)是指控制装置控制被控对象时,控制过程的信号仅为单向流动,被控对象的行为受控制装置的输出控制,而被控对象的输出则不会作用于控制装置,即输出只受输入的控制,输出端与输入端之间不存在信号反馈的控制技术。按此开环控制原理组成的控制系统称为开环控制系统,开环控制系统有以下两种基本形式。

(1) 按给定值控制 控制装置的输出(控制作用)直接由给定的输入量产生,如图 1-1 所示。

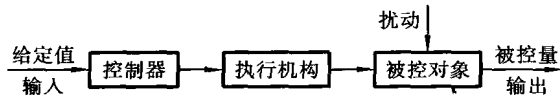


图 1-1 按给定值控制的开环控制

(2) 按扰动量控制 控制装置的输出(补偿作用)由可测量的扰动量产生,以减小或抵消扰动对输出的影响。此开环控制又称顺馈控制或前馈控制。如图 1-2 所示。

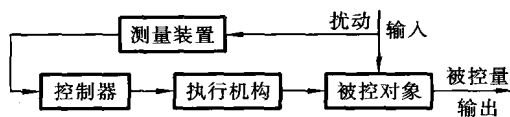


图 1-2 按干扰补偿的开环控制

开环控制系统主要由控制装置(含测量装置、控制器、执行机构等)和被控对象构成。其控制器根据给定指令或扰动信号,按设定的控制规律产生和输出相应的控制信号,进而驱动执行机构动作去控制被控对象。

开环控制系统的特点是:结构比较简单,调整相对方便,构成成本低,反应速度快,控制作用及时;由于开环控制系统未对控制效果(输出的被控量)进行反馈和检验,因而没有自动修正(或补偿)误差的能力,所以,抑制干扰的性能较差,系统稳定性不高,控制精度取决于所用元件及校准的精度。此类控制系统主要用于被控对象惯性小、控制反应及时、对系统稳定性和精确度要求不高的一些简单场合。例如,普通洗衣机的程序控制、交通信号灯的定时切换控制等。

2) 闭环控制系统

反馈控制是指控制装置依据给定值(期望值)与输出端反馈的被控量实测值之偏差,按照设定的控制规律产生和输出相应的控制信号,进而驱动执行机构动作对被控对象实施控制作用,以消除给定值与被控量之间的偏差,使被控量精确达到所期望得值的控制技术。基于此反馈控制原理建立的控制系统称为反馈控制系统或闭环控制系统(closed loop control system)。其基本结构如图 1-3 所示。

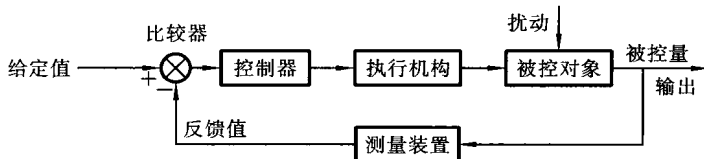


图 1-3 闭环控制系统框图

闭环控制系统主要由控制装置(含测量装置、比较器、控制器、执行机构等)和被控对象构成。其信号前向通道(输入至输出的信号路径)和信号反馈通道(输出至输入的信号路径)构成了一个闭合的反馈回路,控制装置与被控对象之间不仅有顺向作用,也存在反向联系。如果反馈信号加强了系统原有的给定值,该作用称为正反馈;如果反馈信号削弱了系统原有给定值,则该作用称为负反馈。

在图 1-3 所示的负反馈控制系统中,反馈信号被送到系统的输入端与给定值进行比较,将比较后产生的偏差信号送至控制器,控制器根据输入的偏差信号按预先设定的控制规律产生和输出相应的控制信号,进而驱动执行机构动作去控制被控对象,以实现控制目的。

闭环控制系统的特点是:实现了控制效果(被控量)的反馈检验和按偏差实施控制的控制方式,使得任何原因引起被控量出现偏差时,系统总会产生相应的控制作用去减小或消除这个偏差,因此,闭环控制系统具有较强的干扰抑制能力(可自动修正系统参数变化及外界扰动引起的偏差),控制精度较高,且对组成系统的部件特性要求并非很高;但组成系统的部件相对较多,系统结构相对复杂,系统分析和设计相对麻烦,且由于反馈的存在,因此,若系统调整不当,则可能会引起控制过程的振荡。

闭环控制系统的实际应用相当普遍。例如,在电炉温度控制系统中,电炉是被控对象,若要把电炉温度(被控量)精确地控制在 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (给定值),可利用闭环控制系统就会将测量装置(如热电偶、变送器)测量出的电炉温度当前值反馈到系统输入端与给定值 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行比较,从而得到偏差信号,若偏差信号为正值,说明电炉没有达到预定的温度,控制器应根据这个偏差信号按其内部已预设的控制规律(如 PID 规律)进行运算,产生和发出相应的控制信号去驱动执行机构加大电炉的输入电功率,使温度上升;反之亦然。

2. 计算机控制系统

计算机控制系统是采用计算机替代常规模拟控制系统中的部分控制装置(如比较器、控制器等)而形成的一种自动控制系统。若将图 1-3 所示的控制系统用计算机来实现,则构成图 1-4 所示结构的计算机控制系统。

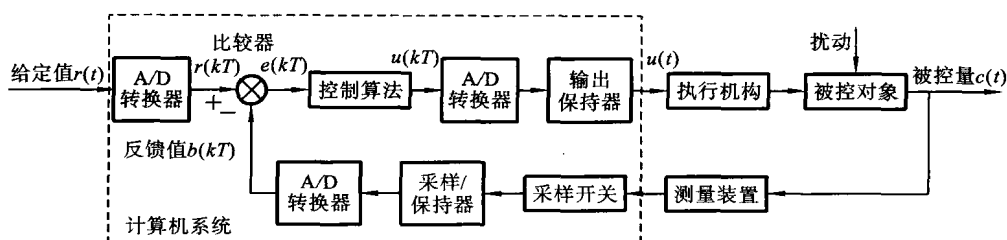


图 1-4 计算机控制系统框图

由于计算机只能接收、处理和输出数字信号,而被控对象输出的被控量、执行机构接受的控制指令一般是连续时间的模拟信号,因此,构成计算机控制系统需要设置模/数(A/D)转换器和数/模(D/A)转换器等相关环节。如图 1-4 所示,其中的采样开关用来实现对模拟量信号定时采样;采样/保持器用来保存当前采得的模拟量信号;A/D 转换器用来完成模拟信号至数字信号转换;D/A 转换器用来完成数字信号至模拟信号的转换;输出保持器用来保存当前的控制输出。

在图 1-4 中,连续时间的被控量信号 $c(t)$ 经测量装置检测处理后,由计算机系统的采样开关和采样/保持器采入系统,再由 A/D 转换器转换成数字信号 $b(kT)$,并反馈到控制系统的输入端,输入控制系统的给定值 $r(t)$ 经 A/D 转换器也转换成数字信号 $r(kT)$,反馈信号与给定值信号通过比较器进行比较,获得偏差信号 $e(kT) = r(kT) - b(kT)$ 。偏差信号 $e(kT)$ 经某种预设的控制算法计算处理后,再经 D/A 转换器转换成连续的模拟量信号 $u(t)$,并通过保持器保存和输出当前运算所得的控制输出 $u(t)$,以驱动执行机构动作,调整被控对象的行为,使其被控量 $c(t)$ 逐渐向给定值 $r(t)$ 靠近,使输出 $c(t)$ 很好地跟踪输入 $r(t)$,使系统的偏差最终被消除,从而达到控制的目的。

由此可见,计算机控制系统的工作大致可分为以下几个步骤。

(1) 实时数据采样 对被控量按一定的采样间隔进行采样、数字化。

- (2) 实时偏差判断 通过比较判断被控量的偏差大小与方向。
- (3) 实时控制决策 按预设的控制算法对被控量偏差进行运算,产生控制决策指令。
- (4) 实时控制输出 根据控制决策,输出控制指令,驱动执行机构和控制被控对象行为。

上述过程不断重复,使整个计算机控制系统在预定的规律下工作,及时自动地调整被控对象状态和处理可能出现的异常情况。

1.3 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由计算机系统和工业生产对象两大部分组成,其中包括硬件和软件。

1. 计算机控制系统硬件

硬件是组成系统的物质基础。组成计算机控制系统的硬件一般包括:被控对象、输入/输出通道、接口、计算机主机、外部设备、测量变送环节、执行机构等,一个典型的计算机控制系统结构如图 1-5 所示。

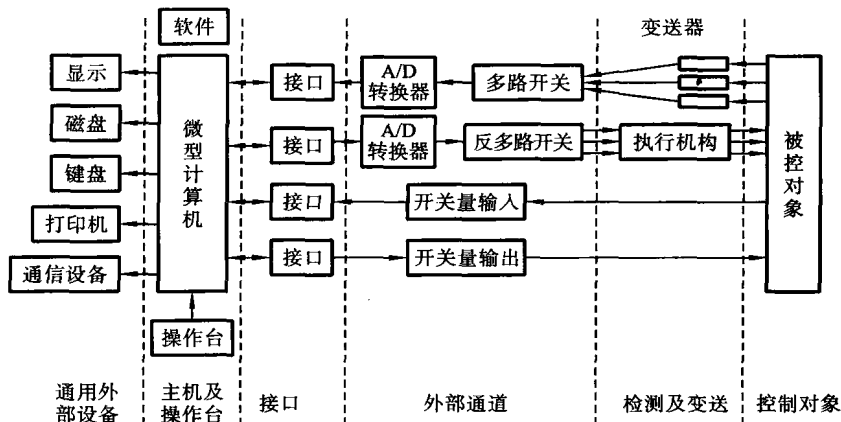


图 1-5 计算机控制系统的硬件组成

(1) 被控对象 被控对象是指所要控制的生产设备或生产过程。例如,一个电厂、一台汽轮机或者是汽轮发电机组的发电过程。被控对象的输入既有来自于控制系统的控制量,又有不可避免的外界扰动量,二者对被控量所产生作用一般是不同的。为了系统分析的方便,通常依据不同的输入将被控对象分解为两类输入通道,即控制通道和扰动通道,如图 1-6 所示。

通常,被控对象的控制通道和扰动通道皆可认为是由若干比例环节、惯性环节、积分环节、纯滞后环节等基本环节组合而成的,其动态特性可由 n 阶传递函数来表示,即

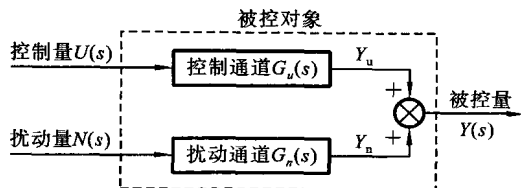


图 1-6 被控对象的控制通道和扰动通道

$$G(s) = \frac{K}{T_i s^r (1 + Ts)^{n-r}} e^{-\tau s} \quad (1-1)$$

式中: \$K\$ 为放大系数; \$T_i\$ 为积分时间常数; \$r\$ 为串联积分环节个数; \$T\$ 为惯性时间常数; \$n-r\$ 为串联惯性环节个数; \$\tau\$ 为纯滞后时间。

不同通道的动态特性可以采用不同的特性参数予以描述。

实际存在的被控对象是多种多样的,若按输入/输出的个数分类,有单输入单输出对象、多输入单输出对象、多输入多输出对象之别,通常这些输入和输出皆为模拟量。

(2) 输入/输出通道 输入/输出通道(也称过程通道)是计算机与被控对象之间进行信息联系的通道。输入通道将测量变送元件测得的被控对象的有关参数以及给定值传递给计算机,输出通道是将计算机处理后的控制信号传递给被控对象。

输入/输出通道可分为模拟量输入/输出通道和开关量(或数字量)输入/输出通道。模拟量输入/输出通道仅供随时间连续变化的模拟信号(如压力、流量、温度、液位、pH 值等)传输,并通过 A/D 转换器或 D/A 转换器等转换成适应计算机或被控对象应用的信号。开关量输入/输出通道仅供只需两个状态的开关信号(如开与关、启与停等)或二进制数字信号传输,由于计算机可识别(接受)开关信号,输出的也是二进制数字信号,所以开关量输入通道无须设置 A/D 转换器或 D/A 转换器。

由此可见,输入/输出通道把计算机主体与被控对象有机联系在一起,使之构成了实用的计算机控制系统。

(3) 接口 接口是计算机主机与外部设备之间的一套连接部件或电子电路,是计算机与外部设备信息交换的桥梁。现场信息通过它进入系统主机为控制分析、计算、决策等提供依据,系统主机发出的控制信息通过它对外界施加作用。

接口一般应具备数据缓冲功能、可编程功能、接收和执行 CPU 命令的功能、设备选择与使能功能、中断管理功能、数据宽度变换功能和信号转换功能等。

通常,接口有串行接口、并行接口、管理接口、脉冲接口之分,也有专用和标准之别。

(4) 计算机主机 计算机主机是控制系统的核心,它由中央处理器(CPU)、内存存储器(如 RAM、ROM 等)、输入/输出电路和其他支持电路等组成。主机在其配置的软件支持下,可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和操作人员通过键盘输入的操作命令,按预定的程序和控制算法自动地对输入信息进行巡

回检测、数据处理、信息管理、逻辑判断、越限报警、参数显示、控制运算等,及时产生所需要的控制作用,并通过接口和过程通道向被控对象发送控制指令。

(5) 外部设备 常用的外部设备有四类:输入设备、输出设备、外存储器和通信设备。

输入设备:最常用的是键盘和鼠标,可用来输入(或修改)程序、数据和操作命令。

输出设备:最常用的有打印机、显示器等,它们以某种形式来反映被控对象的运行工况和有关控制信息。

外存储器:最常用的有硬盘机、光盘机等,它们用来存放程序和数据。

通信设备:用来与其他相关计算机系统进行联网通信,形成规模更大、功能更强的网络计算机控制系统。

(6) 测量变送环节 测量变送环节通常由传感器和变送器组成。其主要作用是利用传感器、变送器检测被控对象和生产过程的相关物理参数,并将检测到的信号转换成标准的电压或者电流信号(如 DC 1~5 V 或 DC 4~20 mA)。以利于传输和计算机输入通道采集。

传感器是一种由敏感元件构成的检测部件,它可直接感受被测量的信息,并将感受到的信息按一定规律(某种线性或非线性的一一对应关系)转换成一定形式(如电信号、压力信号、差压信号等)的输出信息。传感器作为获取被测信息的手段,是实现测试和自动控制的首要环节。常用的传感器有温度传感器、压力传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器等。

变送器是一种信号转换部件,它可接受传感器的输出信号,并将其转换和放大成利于传输、计量、处理、显示、记录和控制的标准电压或电流信号。

测量变送环节是实施自动控制的前提,是自动控制系统的关键环节,若该环节出现问题,则不能真实准确地反映被控对象当前的运行状态和有关参数,由此产生的控制作用将是盲目和错误的,必定导致不良或危险的控制后果。因此,保证该环节的质量和精度至关重要。

(7) 执行机构 执行机构通常称为执行器,其作用是将控制系统发出的控制指令进行形式转换(如电-电、电-液、电-气等)、动力放大(通过电动机、液压装置等)、驱动执行(驱动调节阀等调节机构),以改变进入(或流出)被控对象的物质或能量流量,达到控制被控对象行为和满足生产过程预定要求的目的。

执行机构按运动形式,可分为角行程执行机构和直行程执行机构两类;按驱动动力源,可分为电动式、液动式和气动式等三类执行机构。其中,电动执行机构中又有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机和直接驱动电动机之别,由于电动执行机构的动力源容易获得,使用方便,因此应用相对广泛。

2. 计算机控制系统软件

计算机控制系统的硬件是完成控制任务的物质基础,但仅有硬件是完成不了控制任务的,必须有相应的软件与之配合才有可能实现计算机控制。计算机控制系统

的软件部分包括系统软件、支持软件和应用软件等。

(1) 系统软件 系统软件是由计算机系统设计者提供的、与应用对象无直接关联的、面向计算机的、专门用来使用和管理计算机的、具有通用性的计算机程序。系统软件包括:数据结构、操作系统、数据库系统、系统运行程序、系统监管程序、系统调试程序、故障诊断程序、系统维护程序等。

(2) 支持软件 支持软件是由软件商提供的、基于系统软件之上的、面向应用软件开发的、工具性服务程序。支持软件包括,各种程序编制语言(如汇编语言、高级语言、面向过程语言等)以及这些语言的汇编、解释及编译程序、各种组态软件(如图形显示、实时数据库、过程控制、记录、成组显示、历史数据记录等)、算法库软件、图符库软件、用户操作键定义软件等。运用这些软件可以方便地生成控制系统的各种应用软件。

(3) 应用软件 应用软件是由计算机控制系统设计人员利用支持软件自行开发的、面向用户针对性应用的、可在操作系统下在线运行的、实现各种指定功能的专用程序。如:数据采集和处理软件、模拟控制软件、顺序控制软件、图形显示软件、报警显示软件、定时制表打印软件、实时数据库修改软件、历史数据收集和存储软件、历史数据的曲线显示软件等。

应当指出,计算机控制系统中的控制计算机(简称控制机或工控机)与用做信息处理的通用计算机(如PC机)相比,不仅在结构上而且在技术性能方面都有较大差别。由于控制机需要不间断长期地对被控对象进行实时监视和控制,而且其工作环境一般都较为恶劣,所以控制机不仅需要有很强的实时响应能力——能根据被控对象的参数变化及时地做出相应处理的能力,保证其信号的一次输入、运算和输出皆能在很短的规定时间内完成;而且必须具备很强的抗干扰能力和很高的可靠性,一般要求控制机及其功能模板的平均无故障时间 MTBF(mean time between failures)分别为1年和10年以上。因此,控制机通常是由专业厂家按照较高的技术性能要求,采用模块化、标准化、系列化方法设计和生产制造的,或是选用专业厂家生产的系列功能模板和部件组装而成的。计算机控制机的实时响应能力不仅与计算机硬件性能指标有关,而且更多地取决于系统软件和应用软件,因此,在选用系统软件和编写应用软件时,应该考虑到对软件实时性的要求,设法减少程序计算和执行的时间。

1.4 计算机控制的发展概况及趋势

1. 计算机控制系统的发展概况

计算机控制系统的发展大体可分为四个阶段。

(1) 开创时期(20世纪50年代至60年代初期) 采用体积庞大、速度慢、容量小的电子管计算机,仅能进行一些参数检测、给定值设置或操作指导控制,模拟控制器尚未被数字计算机取代,形成一个完整的闭环控制系统仍需要模拟控制装置予以支