
第1篇 智能制造基础

引言

工业化的发展是一个伴随着科技进步、产业与需求相互促进而不断升级的过程。机械化促使人类用机器设备代替手工生产,电气化解决了工业生产过程中的电力能源和工业系统自动化远程控制问题,工业信息化则利用先进的信息技术,促使工业发展步入数字化、智能化、网络化时代。

随着新一代信息技术的发展,将其与先进制造技术深度融合形成的智能制造技术,成为工业转型升级的核心驱动力。近年来,德、美、日等制造强国都将智能制造作为国家发展战略。无论是德国的工业 4.0、美国的工业互联网,还是日本的智能制造系统,都是推进智能制造领域科技创新和产业升级的新技术发展战略。

智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合,贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各环节,具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的生产方式。智能制造是制造强国建设的主攻方向,其发展程度直接关乎我国制造业质量水平。发展智能制造对于巩固实体经济根基、建成现代产业体系、实现新型工业化具有重要作用。从研发设计、生产制造、物流配送到销售与服务的整个价值链,“制造”是其核心,而“智能”是制造过程可以借助的赋能技术。智能制造是制造业价值链各环节的智能化在制造全生命周期中的应用,其智能主要由数据驱动。

工业互联网时代,以智能技术为代表的新一代信息技术包括物联网、大数据、云计算、人工智能技术等,可实现智能机器间的连接,结合软件、云计算和大数据分析,增强生产设备自动化的维护、管理、运营能力,提升传统制造业的信息化、数字化和智能化水平。同时,加强产业链协作,发展基于互联网的协同制造新模式,实现产业升级。

本篇介绍了智能制造基础,共分 4 章,内容包括:第 1 章为工业智能化的技术发展概况,综述了工业化的主要进程、工业革命的技术剖析、生产方式的演进变革,介绍了数控技术与装备、数字化设计制造、智能制造支撑技术的发展,分析了智能制造的内涵;第 2 章为世界典型国家的智能制造体系架构,介绍了德国工业 4.0、美国智能制造生态系统、美国工业互联网的体系架构;第 3 章为中国航空工业集团智能制造架构解析,介绍了航空工业开展智能制造顶层规划的背景和研究过程,剖析了我国航空工业智能制造总体架构、关键技术与实施要点;第 4 章为智能制造能力成熟度模型及应用,介绍了智能制造能力成熟度模型的构成等级要素和智能制造能力成熟度的评估方法。

工业智能化的技术发展概况

1.1 工业化和信息化的发展概况

1.1.1 工业化的历程

在人类文明的演变进程中,工业化是一个十分重要的发展阶段。它是伴随着科技进步、社会发展、产业与需求相互促进而不断升级和迭代的过程。工业化起源于西方,以英、美、德、日等国家为代表,发达国家的工业化过程历经 200 多年。

1. 英国的工业化历程

英国的工业化过程大致经历了两个发展阶段。

(1) 工业化第一阶段(1740—1840 年)。18 世纪 30 年代,英国爆发了人类历史上第一次产业革命,其工业化过程首先从纺织工业开始。1733 年约翰·凯伊发明了飞梭技术,1765 年詹姆斯·哈格里夫斯发明了手摇纺车,1769 年水力纺纱机的问世,使纺织生产出现了惊人的飞跃,随之出现了大规模的织布工厂。此后,詹姆斯·瓦特发明了双动式蒸汽机,并作为纺织机器的动力应用于纺织工业的生产。蒸汽机的发明为工业生产的机器设备提供了动力,有力促进了工业化进程。进入 19 世纪,英国人陆续发明了各种机床设备,使机器制造业出现了惊人的发展。这样使英国在 19 世纪 30—40 年代进入机器大工业时代,成为当时名副其实的“世界工厂”。

(2) 工业化第二阶段(1840—1914 年)。在这一阶段,英国工业化的主导产业从轻纺工业逐步转向煤炭、钢铁和化工等重化工业。但与当时的美国、德国等相比,这一时期英国的工业化发展过程相对缓慢,工业产值在第一次世界大战前已低于美国和德国,逐渐失去了“世界工厂”的地位。

2. 美国的工业化进程

美国的工业化大约从 1816 年英美战争结束后开启,其工业化过程经历了 100 年左右。

(1) 工业化快速推进阶段(1816—1860 年)。在这一阶段,美国政府首先通过立法保护本国工业,使其轻工业获得了快速发展。19 世纪中叶,大量的基础设施建设带动了机械工业的迅速发展,如当时的大规模铁路建设带动了其冶金、采煤、机器制造等重工业的发展。到南北战争(1861—1865 年)前夕,美国已基本完成了产业革命,建立了比较完整的近代工业体系。

(2) 步入最强工业化国家的阶段(1860—1920 年)。1880 年,美国工业产值超过英国、

德国,成为世界第一工业强国。1913年,美国工业在世界工业生产总额的份额中已经占据38%,高于英国(14%)、法国(6%)、德国(16%)和日本(1%)4个国家的总和,成为全球最强大的工业化国家。美国在工业化推进过程中主导了电气化和信息化的技术发展。

3. 我国工业化的发展历程

中国的工业化进程起步于19世纪60年代初到90年代中期的洋务运动,引进了西方先进的机器、生产和管理模式,创办了一批生产轻工产品的工厂,迈出了中国工业化艰难的第一步。新中国成立初期,我国以建立独立的工业体系、满足国内市场需求为目标,优先发展重工业,采用外延增长的方式改善工业生产布局的工业化道路,经过近30年的发展,初步奠定了我国的工业化布局和产业基础,建立了相对完整的工业体系。改革开放后,我国工业化步入了快速发展进程,目前已成为全球瞩目的工业生产大国。

按照工业化的发展进程,从技术带动的角度看,第一次工业革命是机械技术带动的(机械化),第二次工业革命是电气技术带动的(电气化),而第三次工业革命是信息技术带动的(信息化)。

工业化具有以下主要特点。

(1) 技术革命和机器大生产促进了生产方式的变革。机器设备作为生产工具,在工业化进程中不断得到革新和技术进步,机器广泛应用于生产,使工业生产先后经历了机械化、电气化、信息化的技术变革。

(2) 推进工业化的主要目标是不断追求高效率和高效益。追求工业生产过程的高效率和高效益是工业化的核心问题,也是促进工业化不断发展和技术革新进步的主要动力。

(3) 高度的专业化分工体系,技术进步不断促进产业结构的升级。在工业化发展进程中,为了不断提高生产效率并降低成本,以规模经济获取生产效益,促使同类产品的产业生产不断聚集,形成高度专业化的生产分工体系,同类产品、产业链不断集中,促进产业结构升级。产业链得到不断延伸和拓展,带来新的产业形态的发展。

(4) 工业化发展面临人口、资源、环境等重要因素的约束。工业生产需要消耗资源,也需要高素质的人力资源作为保障。新型工业化的跨越式发展,要求人们探索一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少的工业化道路。

1.1.2 两化融合进程

20世纪后期,以信息技术为代表的新一轮产业技术变革,使信息技术成为带动和改造传统工业发展的重要因素。

1. 发达国家工业信息化的发展状况

美国是工业信息化的早期先行者和倡导者,也是目前该技术领域实力最强的国家,其信息技术全球领先。

1946年,世界上第一台通用电子管数字计算机埃尼阿克(ENIAC)在美国研制成功。1951年,美国在ENIAC的基础上研制出世界第一台商用计算机UNIVAC-1,开启了计算机的商业化应用时代。1952年,美国柏森斯公司以电子管元件为基础设计了数控装置,试制成功第一台三坐标数控铣床,开辟了数字控制时代。

从20世纪50年代中期开始,美国工业界的一些大企业采用信息技术改造传统制造业,

实现了企业生产和管理的计算机化。60 年代中期,IBM 公司设计并组织实施了第一个物料需求计划(material requirements planning,MRP)系统。1971 年,Intel 公司第一个微处理芯片问世。1974 年,采用微处理芯片的计算机数控装置研制成功。此后,各种高性能数控机床的发展,对工业智能化的技术发展和产业应用产生了深刻的影响。

1973 年,美国约瑟夫·哈灵顿(Joseph Harrington)博士提出了计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system,CIMS)。20 世纪 80 年代,美国企业率先将计算机辅助设计(computer aided design,CAD)应用于产品设计,随后对工业领域实施了全面的数字化改造,促使产品研发、设计、生产、供应、测试、销售等各环节逐步实现了数字化和信息化。例如,作为 90 年代数字化设计制造的标志性成果,波音公司在 B777 研制中全面采用数字化技术,实现了三维数字化定义、三维数字化预装配和并行工程,建立了全机数字样机,大幅度降低了干涉、配合、安装等问题带来的设计更改,使工程设计水平和飞机研制效率得到了极大的提高。

综观美国、日本、欧洲的信息化发展战略,在全球化市场竞争的背景下,利用领先的信息化水平,确保其在国际竞争中的传统主导地位。发达国家在实施信息化过程中,十分注重制造技术与信息技术并重推进和融合发展,通过工业化与信息技术的深度渗透提升传统产业的竞争力。

2. 我国工业信息化的发展进程

近 30 年来,我国对信息化工作日益重视,走出了一条符合国情的工业信息化发展道路。具体历程如下。

(1) 1986 年,国家 863 计划将 CIMS 列为自动化领域的技术专题。CIMS 对我国工业信息化具有牵引导向作用。

(2) “九五”期间,我国实施了 CAD 推广应用的“甩图板”工程,在 600 多家企业中开展了 CAD 技术应用示范,并在 3000 多家企业中进行了重点应用,带动数万家企业开展 CAD 工程化应用,推动了企业信息化的普及高潮。

(3) “十五”期间,我国提出了国家制造业信息化工程,在 20 多个省市的 6000 多家企业推广实施了制造业信息化应用,并培育了一批制造业信息化专业服务机构。

(4) “十一五”期间,我国的科技部提出了“两甩”工程,组织制造企业实施设计制造一体化的“甩图纸”和经营管理信息化的“甩账表”示范推广工程。以集成与协同为重点,进一步推进制造业信息化的技术发展,全面提升了我国制造企业的核心竞争力。

(5) “十二五”期间,我国的科技部以制造业转型升级为目标,继续大力推动国家制造业信息化工程。

(6) “十三五”期间,我国提出智能制造“两步走”的实施战略:第一步,传统制造业重点领域基本实现数字化制造;第二步,智能制造支撑体系基本建立,重点产业初步实现智能转型。

我国的工业信息化发展得到了国家层面的高度重视和大力支持,而面对日益激烈的市场竞争,越来越多的企业认识到信息化技术是提高企业竞争力最直接、最有效的方法。企业信息化应用从单元技术应用向系统集成方向发展,企业不应只关注一些单元系统的应用,更应注重提高企业的整体信息化水平,企业资源计划(enterprise resource planning,

ERP)、产品数据管理(product data management, PDM)、供应链管理(supply chain management, SCM)、客户关系管理(customer relationship management, CRM)、产品生命周期管理(product lifecycle management, PLM)等信息化集成系统在我国企业的应用发展迅速,提高了企业产品设计、生产、采购、销售、服务等的一体化管理水平,促进了企业的发展。

3. 两化融合的实质

工业化与信息化是人类社会发展过程中的两个重要阶段。信息化是在高度工业化的基础上,由信息技术发展、带动的结果。信息化与工业化相互促进、相互融合,不断发展。图 1-1 所示为工业领域从工业机械化、工业电气化、工业自动化到工业信息化的发展过程。工业机械化使人类能够用机器设备代替手工生产,工业电气化解决了工业生产过程的能量转换和传输问题,工业自动化为工业生产提供了系统层面的自动控制手段,工业信息化则利用先进的信息技术促使工业化步入数字化、智能化、网络化时代。

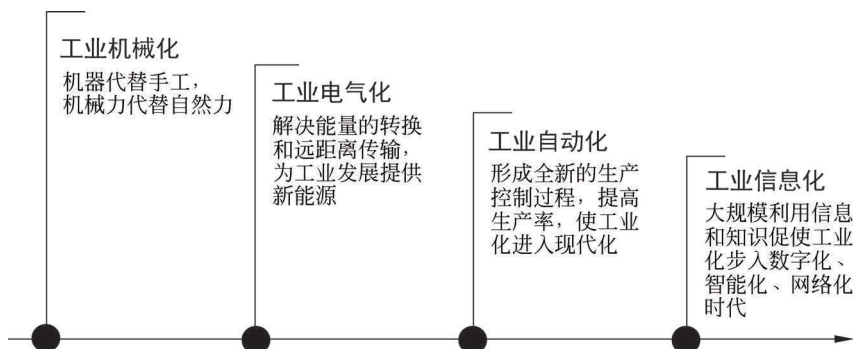


图 1-1 从工业化到信息化的发展过程

工业信息化是在现代信息技术的支持下,对企业的生产过程进行全面改造,从而促进工业生产的组织方式和产业结构发生根本性变革。20 世纪 90 年代以来,信息化成为推动经济全球化的关键因素之一,并成为工业化国家调整与优化传统工业结构的有效途径,也是推动企业发展转型的重要手段和核心技术。工业发达国家劳动生产率提高的 60%~80%是依靠信息技术在工业过程中的应用取得的。

信息化实施过程中,将先进制造技术与信息技术融合,提升传统产业的竞争力,主要从两个方面着手:一是传统制造业借助信息化技术提升现代化的管理、设计和制造能力,从而提高生产和管理的效率;二是将大量的信息化技术融入传统制造业的产品本身和生产流程,提高产品的智能化,改进原有的产品制造过程。

目前,信息技术在制造企业全球化运行和发展中起到了重要的支撑作用。在企业层面,工业信息化将信息技术与制造技术、自动化技术、现代管理技术等传统的工业技术相结合,实现产品及其生产制造和服务过程信息化,通过信息化手段改善企业的产品开发、生产制造、经营管理和售后服务等各环节,使企业的核心业务实现数字化、网络化、自动化和智能化,提高企业的生产效率、产品质量和创新能力。

信息化与工业化的融合是一个长期的过程。在工业领域,信息技术逐渐渗透到工业企业的基础设施、工业产品与技术领域、工业装备、生产制造管理等全生命周期的各层面。同

时,信息化与工业化的深度融合催生出一些新的产业形态,如制造服务业、互联网创新等,促使产业结构的调整和升级。

1.2 数字化装备与数控技术

1.2.1 计算机数控技术及数控设备

20 世纪中期,随着计算机的产生和电子信息技术的发展,工业自动化领域进入了数字控制的新时代。采用数字信号对机床运动及其加工过程进行控制,推动了机床自动化的发展。

1. 数控系统的发展

20 世纪 40 年代,由于航空和航天技术的快速发展,对各种飞行器的复杂形状加工提出了要求。1952 年,美国柏森斯公司和麻省理工学院共同研制成功了世界上第一台数控机床,这是一台三坐标数控立式铣床,其控制计算机由电子管元件组成,称为第一代数控系统。虽然它体积庞大,价格昂贵,却开辟了数字控制的新时代。50 年代末,基于晶体管元件的研制,出现了采用晶体管和印制电路板的第二代数控系统。60 年代中期,小规模集成电路出现并在数控系统中应用,使数控系统发展到第三代。这三代数控系统均采用专用控制计算机的硬接线技术,属于硬件式数控系统,处于数控装置发展初期,其体积和功耗大,可靠性低,通用性、灵活性差。

1970 年,随着小型通用计算机的逐渐普及,数控系统采用小型电子数字计算机取代专用控制计算机,出现了计算机数字控制(computer numerical control,CNC)系统,由此发展到第四代数控系统,使数控系统的许多功能可以通过软件实现,增加了数控系统的灵活性和可靠性。

1971 年,Intel 公司第一个 4 位微处理芯片 Intel 4004 问世,使用微处理芯片和半导体存储器的微型计算机得到迅速发展。1974 年,美国、日本等国家率先研制出以微处理器为核心的数控系统及以微处理器为基础的 CNC 系统,其集成度高、可靠性好,标志着数控系统进入了第五代。80 年代初,随着计算机软、硬件技术的发展,出现了人机交互式自动编制程序的数控装置,数控装置更趋小型化,可以直接安装在机床上。

1994 年,基于个人计算机(PC)的数字控制(NC)器在美国首先问世,此后出现了 PC + CNC 智能数控系统,将 PC 作为控制系统的硬件部分,在 PC 上安装 NC 软件系统,此种方式系统维护方便,易于实现网络化制造。基于 PC 的开放式数控系统,可充分利用 PC 丰富的软硬件资源和通用的网络化接口。数控装置的研究开发转向通过软件算法实现各种功能,业已成为数控技术发展的趋势,数控系统进入开放式、网络化和软件化数控阶段。

2. 数控机床

数控机床是现代机械加工和智能制造的基础装备。1952 年,美国研制成功世界上第一台数控机床。1958 年,清华大学和北京第一机床厂合作研制了我国第一台数控铣床。

数控机床是一种装有程序控制系统的自动化机床。其控制系统能够处理控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码,用代码化的数字表示,通过信息载体输入数控装置。经运算处理后,由数控装置发出各种控制信号,控制机床伺服系统做出相应的动作,这

样可以按图纸要求的形状和尺寸自动地加工零件。数控机床可以解决复杂、精密零件的柔性化加工问题。

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用 CNC 形式,这种 CNC 装置一般使用多个微处理器,以软件程序化的形式实现数控功能。它根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件,加工出所需要的零件。此外,数控技术也在绘图仪、坐标测量仪、激光加工与线切割机、工业机器人等机械设备中得到了广泛的应用。

装备制造业是目前制造强国竞争的主要焦点,而数控机床作为制造业的工业母机,其技术发展一直得到工业发达国家的高度重视。美国十分重视机床工业,其高性能数控机床技术一直保持领先地位。德国依靠其在机械领域和电子系统方面的强大实力,数控机床质量可靠、性能良好、先进实用,尤其是大型、重型、精密数控机床。日本在精密机床的质量、性能方面也处于世界前列。

3. 加工中心

1959 年,美国卡尼-特雷克公司研制出了数控加工中心。这是一种带有自动换刀装置的数控机床,在刀库中安装了丝锥、钻头、铰刀、铣刀等多种刀具,根据穿孔带的指令自动选择刀具,并通过机械手将刀具安装在主轴上,对工件进行加工。它在数控卧式镗铣床的基础上,增加了自动换刀装置,从而实现了工件一次装夹后即可进行铣、钻、镗、铰和攻丝等多种工序的集中加工,缩短了机床上零件的装卸时间和更换刀具的时间,极大地提高了生产效率。

4. 柔性制造系统

随着以微处理器为基础的 CNC 系统的问世,又出现了多处理器的分布式 CNC 系统,使数控机床从单机、加工中心发展为群控。柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)是由一组数控加工设备、物料储运系统和信息管控系统组成的自动化制造系统。

1967 年,英国莫林斯公司首先把几台数控机床连接成具有一定柔性的加工系统,在无人看管的情况下实现昼夜 24h 连续加工,这就是所谓的柔性制造系统。1976 年,日本 FANUC 公司展示了由加工中心和工业机器人组成的柔性制造单元(flexible manufacturing cell, FMC),由 12 台数控机床与物料传送装置组成,具有独立的工件储存站和单元控制系统,能够在机床上自动装卸工件,实现有限工序的连续生产,适用于多品种小批量生产。

柔性制造系统是一种技术复杂、高度自动化的制造系统。它一般由以下三个部分组成。

(1) 数控加工设备:主要采用加工中心和数控机床。

(2) 储存和搬运系统:储存物料的方法有平面布置的托盘库,也有储存量较大的桁道式立体仓库。自动搬运系统根据物料管理计算机的指令将物料送到指定的工位,包括固定轨道式台车、自动引导车、感应导轨输送小车、工业机器人等。

(3) 信息控制系统: FMS 信息控制系统的结构组成形式很多,多数采用群控方式的递阶系统。第一级为各工艺设备的 CNC,实现各加工过程的控制;第二级为群控计算机,负责将来自第三级计算机的生产计划和数控指令等信息分配给第一级中有关设备的数控装置,同时将其运转状态信息反馈给上一级计算机;第三级是 FMS 的主控计算机,其功能是制订生产作业计划,实施 FMS 运行状态的管理,以及各种数据的管理。

1.2.2 自动编程系统

快速、准确地编制数控加工程序是数控机床发展和应用中的一个重要环节。数控编程是基于输入计算机的零件设计和加工信息,计算数控机床的刀位点,获得合格的数控加工程序,自动转换为数控装置能够读取和执行的指令的过程。自动编程技术从最早的语言式自动编程系统发展到交互式图形自动编程系统,极大地满足了人们对复杂零件的加工需求。

1. 自动编程工具

自动编程工具(automatically programmed tools,APT)是一种计算机编程系统。1952年第一台数控机床问世不久,为了利用数控机床进行复杂零件的加工,美国麻省理工学院(MIT)着手研究数控自动编程问题,奠定了 APT 语言自动编程的基础。1955 年 MIT 推出了第一代 APT,1958 年又推出 APT-Ⅱ,可用于解决平面曲线的编程问题,1962 年成功开发 APT-Ⅲ,它适用于 3~5 坐标立体曲面的自动编程。APT 是流传广泛、影响最大、最具有代表性的数控编程系统。国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)1985 年公布的数控机床自动编程语言(ISO 4342: 1985),就是以 APT 语言为基础的。

随后,APT 几经补充和完善,于 1970 年推出 APT-Ⅳ,可处理自由曲面的自动编程,能够适应多坐标数控机床加工曲线、曲面的需要。与此同时,世界上一些先进工业国家以 APT 为基础,开发了各具特色、系统精小、专业性更强的数控编程语言,比如美国的 ADAPT、英国的 2C、德国的 EXAPT、法国的 IFAPT、日本的 FAPT 和我国的 SKC、ZCX 等。

2. CAD/CAM 自动编程

CAD/CAM 自动编程是指利用 CAD/CAM 进行编程,用 CAD 制作零件或产品模型,再利用 CAM(computer aided manufacturing,计算机辅助制造)功能模块生成数控加工程序。它适用于 CAD/CAM 集成系统,目前应用广泛。

20 世纪 70 年代,图形辅助数控编程 GNC(制导、导航与控制)技术推动了 CAD/CAM 向一体化方向发展。1972 年,美国洛克希德加利福尼亚飞机公司首先成功采用图像仪辅助设计、绘图和编制数控加工程序一体化的 CADAM(计算机辅助设计和制造)系统,从此揭开了 CAD/CAM 一体化的序幕。1975 年,法国达索飞机公司对引进的 CADAM 系统进行了二次开发,成功研制了 CATIA 系统,它具有三维设计、分析和 NC 加工的集成功能。80 年代初,该公司成功地将 CATIA 应用于飞机吹风模型的设计和加工。20 世纪 80 年代,相继出现了众多商业化的 CAD/CAM 系统,如 I-DEAS、CADDs、UG 等,这些系统已成为数控加工自动编程的主流。这些自动编程系统是 CAD 与 CAM 高度结合的自动编程系统,采用图形交互形式,通过人机交互完成从零件几何形状图形化、轨迹计算到数控程序生成的全过程。交互式图形自动编程软件已成为国内外流行的 CAD/CAM 集成一体化软件。

1.2.3 工业控制系统

20 世纪 50 年代,工业控制系统与计算机及通信技术结合,开启了工业控制系统的数字化进程。控制系统结构从最初的集中式计算机控制系统(computer control system,CCS)

发展到第二代分布式控制系统(distributed control system, DCS),又发展到目前流行的现场总线控制系统(field-bus control system, FCS)。

1. PLC

可编程序逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)于20世纪60年代末在美国首先出现,它可取代继电器,执行逻辑、计时、计数等顺序控制功能,建立柔性程序控制系统。

1976年,PLC被正式命名和定义:PLC是一种数字控制专用电子计算机,它使用可编程存储器储存指令,执行逻辑、顺序、计时、计数与演算等功能,并通过模拟和数字输入、输出等组件,控制各种机械或工作程序。

经过多年的发展,PLC已十分成熟与完善,并具有强大的运算、处理和数据传输功能。PLC对于顺序控制有独特的优势。例如,电厂辅助车间、生物制药车间、化工生产车间等的工艺过程多以顺序控制为主。辅助车间的控制系统应以遵循现场总线通信协议的PLC或能与FCS进行通信交换信息的PLC为优选对象。

CCS是利用计算机实现工业过程自动控制的系统。计算机控制系统的硬件包括计算机、输入接口、输出接口、外部存储器等,软件则包括各种应用功能的计算机控制程序和系统支撑软件。在计算机控制系统中,由于工控机的输入和输出是数字信号,而现场采集的信号或送到执行机构的信号大多是模拟信号,因而计算机控制系统需要具有数/模转换和模/数转换两个功能模块。

2. DCS

DCS在国内自动控制行业又称集散控制系统。它是相对于集中式控制系统而言的,也是在集中式控制系统基础上发展、演变而来的。

DCS是一个以网络通信为基础,由过程控制级和过程监控级组成的多级计算机系统,综合运用了计算机、通信、控制和显示等技术,其基本思想是分散控制、集中操作、分级管理、灵活配置以及方便组态。首先,DCS以系统网络为系统骨架,它是DCS的基础和核心。系统网络对DCS整个系统的实时性、可靠性和扩充性起着决定性作用,必须满足工业控制过程的实时性要求。系统网络还必须非常可靠,无论在任何情况下,网络通信都不能中断,因而多数厂家的DCS均采用双总线、环形或双重星形的网络拓扑结构。其次,这是一种进行现场I/O(输入/输出)处理并实现直接数字控制的网络节点,由于DCS将系统控制功能分散在各台计算机上实现,系统结构采用容错设计,使某一台计算机出现故障时,不会导致系统其他功能丧失。一般情况下,一套DCS中要设置现场I/O控制站,以分担整个系统的I/O控制功能。这样既可以避免因一个站点失效而造成整个系统失效,提高系统可靠性,也可以使各站点分担数据采集和控制功能,有利于提高整个DCS的性能。

与集中式控制系统不同,所有的DCS都要求有系统组态功能,没有组态功能的系统不能称为DCS。对DCS进行离线的配置、组态工作和在线的系统监管、控制、维护,其主要作用是配置所需的工作组态软件,使DCS在线运行时可实时监视DCS网络上各节点的运行情况,需要时可以及时调整系统配置及系统相关参数的设定,以便使DCS随时处于最佳工作状态。

DCS自1975年问世以来,已经历了几十年的发展历程,正向着更开放、更标准化的方向发展。虽然DCS在系统的体系结构上没有发生大的改变,但经过不断的发展和完善,其功能和性能都得到了极大的提高。作为生产过程自动化领域的计算机控制系统,DCS不只

是生产过程的自动化系统,现在计算机控制系统的概念已经被大大拓展了,它不仅包括传统 DCS 的各种功能,还向下延伸到生产现场的每台测量设备、执行机构,向上扩展到生产管理、企业经营的方方面面。

3. FCS

现场总线的应用是工业过程控制发展的主流技术之一。可以说,FCS 的发展应用是自动化领域的一场革命。计算机控制系统的发展在经历了基地式气动仪表控制系统、电动单元组合式模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统及 DCS 之后,朝着 FCS 的方向发展。采用现场总线技术,构造低成本现场总线控制系统,实现现场仪表的智能化、控制功能分散化、控制系统开放性,符合工业控制系统的技术发展趋势。

虽然以现场总线为基础的 FCS 发展很快,但 FCS 发展过程中还需要解决很多问题,如统一标准、仪表智能化等。对于传统控制系统的维护和改造还需要依靠 DCS,而 FCS 完全取代传统 DCS 还需要一个相当漫长的过程。工业以太网以及现场总线技术作为一种灵活、方便、可靠的数据传输方式,在工业现场得到了越来越多的应用,并将在控制领域中占有更重要的地位。因此,结合 DCS、工业以太网、先进控制等新技术的 FCS 将具有强大的生命力。

在未来的工业过程控制系统中,随着数字技术向智能化、开放性、网络化的进一步发展,工业控制软件也向标准化、网络化、智能化、开放性发展。FCS 的出现,数字式分散控制 DCS 和 PLC 并不会消亡,反而会促进 DCS 和 PLC 本身的技术发展。在这种情形下,FCS 将处于控制系统的中心地位,而 DCS 将成为现场总线的一个控制站点。

1.3 数字化设计和制造技术

1.3.1 数字化设计技术

随着计算机技术的迅速发展,CAD、计算机辅助工程(computer aided engineering, CAE)、计算机辅助工艺规划(computer aided process planning, CAPP)、CAM、DFx、PDM 系统在过去的几十年中得到了广泛应用。

1. CAD

CAD 始于 20 世纪 60 年代初,一直到 70 年代,由于受到计算机技术的限制,CAD 技术的发展非常缓慢。进入 80 年代,计算机技术快速发展,加上功能强大的外围设备,如大型图形显示器、绘图仪等的问世,快速推动了 CAD 技术的发展和應用。CAD 概念中的“D”最初是指“Drawing”,即计算机辅助绘图和一些设计计算,仅仅是用 CAD 系统替代传统的手工绘图功能;后来随着三维 CAD 系统的发展,“D”的含义更多地指“Design”,即具有创造性的设计,如方案构思、工作原理拟定、三维(3D)建模等。

目前,很多 CAD 系统广泛应用于机械、电气、电子、建筑、纺织等领域的产品设计和开发。例如,机械设计的 2D 绘图和 3D 建模,适用于总体设计、产品造型、结构设计等各环节;电气 CAD 系统用于电气装置的系统设计、电气布局设计、电气布线图绘制及电气元器件清单的编制;电子 CAD 系统用于集成电路(IC)设计、电子电路设计、印制电路板(printed circuit board, PCB)设计;建筑 CAD 系统用于建筑场景、建筑布局、建筑结构、室内装饰、市