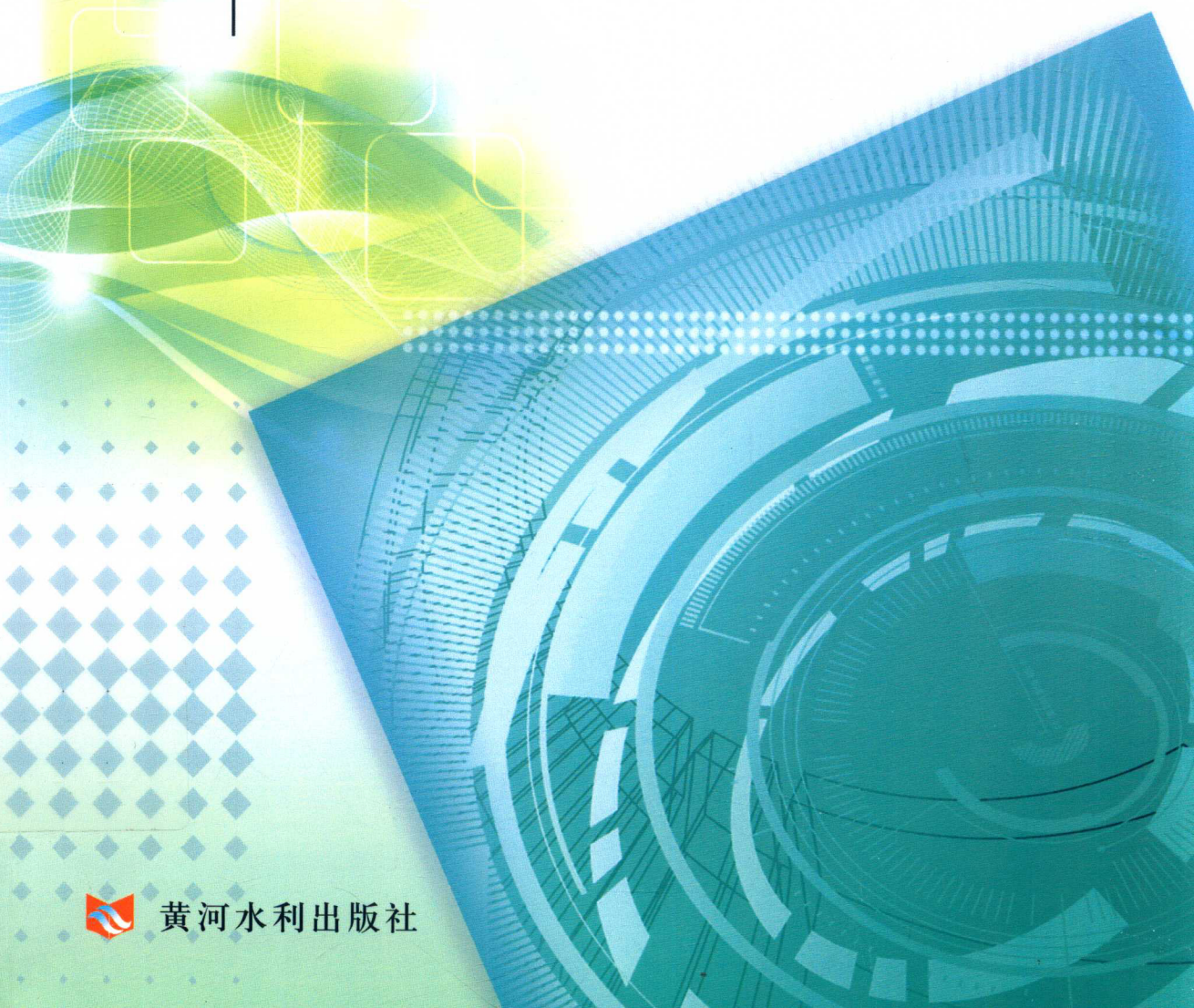
综合自动化系统研究

陈 铭 著



黄河水利出版社

综合自动化系统研究

陈　铭　著

黄河水利出版社
·郑州·

图书在版编目(CIP)数据

综合自动化系统研究/陈铭著. —郑州:黄河水利出版社,2019.10

ISBN 978-7-5509-2488-8

Ⅰ.①综… Ⅱ.①陈… Ⅲ.①综合自动化系统-研究 Ⅳ.①TP27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 180682 号

审稿编辑:席红兵 13592608739

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:9.5

字数:219 千字 印数:1—1 000

版次:2019 年 10 月第 1 版 印次:2019 年 10 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

前 言

随着现代科学技术的快速发展，先进科学的自动控制技术已有效地应用到工业生产中，高智能工业自动化对于现代工业的发展起到了巨大的推动作用，是工业现代化发展的重要基石。根据当今发展的趋势，工业自动化智能控制将对未来的综合自动化发展起到重要的引领作用。

自动化工业控制指的是机器设备或生产过程在不需要人工直接干预的情况下，有效地利用外界的设施，从而使得工业生产的机械按照预期的目标实现测量、操纵等信息处理和过程控制。自动化技术就是探索和研究实现自动化过程的方法和技术。自动化技术所涉及的学科非常广泛，主要包括控制理论、方法，计算机科学技术，物联网技术等信息技术，将这些技术有效地结合，能够促使生产过程实现检测、优化和调度，确保生产效率的快速提升。如今自动化技术已经被广泛地应用于机械制造、电力、建筑、交通运输、信息技术等领域，成为提高劳动生产率的主要手段。

本书适应新形势下工业自动化控制系统需求，全面系统地介绍了工业自动化制造系统研究的意义、实现的方法、自动化生产构成及途径，并从实用的角度出发，通过大量典型实例，对自动控制技术中的应用方法和技巧进行详细论述。全书共十章。第一章介绍自动化制造系统理论内容；第二章介绍加工设备自动化的数控技术、刚性生产线、柔性制造单元的实现方法；第三章介绍机械制造自动化的意义、途径与构成；第四章介绍制造系统储运自动化系统实现方法；第五章介绍加工刀具自动化实现方法；第六章介绍自动化加工过程的检测和监控；第七章介绍产品柔性装配系统；第八章介绍机械制造计算机控制系统；第九章介绍制造系统设备选择和总体布局；第十章对自动化制造系统进行计算机仿真及优化进行研究分析总结。

本书注重时效性、系统性、逻辑性，具有以下特点：

(1)结构合理，涉及面宽。系统介绍了工业自动化制造系统控制基本原理、分析设计方法，通过工业制造各个应用实例深入浅出地阐述控制系统理论方法。

(2)取材实用，讲解深入浅出。以制造业控制系统为背景，在应用举例的设计上，既注重应用实践方法简洁明了，又注重操作方案的详尽，使读者通过阅读后，根据自己的想法，举一反三，既能提高实现效率，又能创新应用能力。

(3)通过阅读本书，不仅可以全面掌握制造系统控制技术，还可以提高快速分析和解决实际问题的能力，从而能够在最短的时间内解决实际工作中遇到的问题，提升工作效率。

本书撰写中，作者阅读了大量的参考资料，借鉴了前辈优秀的先进理念，结合自己过去多年研究成果，系统全面阐述了制造业自动化系统技术方法及应用实践，可为综合自动化控制系统研究提供参考。本书可为工业制造、自动控制、控制工程、机械制造等专业的工程技术人员和科技工作者提供参考。

本书追求的目标是系统全面介绍制造业综合自动化系统理论与实践方法和技巧，这给撰写本书增添了难度，再加上作者水平有限，虽几经修改，书中错误和缺点在所难免，欢迎广大读者不吝赐教。

本书的研究工作得到了“机电汽车”湖北省优势特色学科群的资助，特此表示衷心的感谢！作者还要感谢湖北文理学院汽车与交通工程学院领导和老师们的帮助与支持；感谢出版社同仁为本书付出的辛勤劳动。

陈　铭

2019 年 2 月

目 录

第一章 自动化制造系统理论 …… (1)
第一节 自动化制造绪论 …… (1)
第二节 自动化制造系统的内容 …… (8)
第二章 加工设备自动化 …… (13)
第一节 加工设备自动化的意义 …… (13)
第二节 自动化加工设备实现方法 …… (16)
第三节 实现单机自动化的方法和方案 …… (19)
第四节 数控技术及数控机床 …… (22)
第五节 加工中心 …… (25)
第六节 机械加工自动化生产线与自动线控制系统 …… (28)
第七节 柔性制造单元与柔性制造系统 …… (30)
第八节 自动线的辅助设备 …… (34)
第三章 机械制造自动化基础理论 …… (37)
第一节 机械制造自动化的概念 …… (37)
第二节 机械制造自动化的内容和意义 …… (39)
第三节 机械制造自动化的构成与途径 …… (40)
第四章 制造系统储运自动化系统 …… (50)
第一节 物料储运自动化概述 …… (50)
第二节 刚性自动化物料储运系统 …… (51)
第三节 自动化输送系统 …… (53)
第四节 柔性物料储运系统 …… (59)
第五章 加工刀具自动化 …… (68)
第一节 自动化机床的刀具和辅助工具 …… (68)
第二节 自动化换刀装置 …… (70)
第三节 排屑自动化 …… (74)
第六章 制造系统检测过程自动化 …… (77)
第一节 概 述 …… (77)
第二节 自动化检测的内容 …… (77)
第三节 工件尺寸精度的检测和控制 …… (80)
第四节 刀具工作状态的检测和控制 …… (86)
第五节 自动化加工过程的检测和监控 …… (88)

第七章　产品装配过程自动化 …… (94)
第一节　概　述 …… (94)
第二节　自动装配工艺过程分析和设计 …… (96)
第三节　自动装配机 …… (100)
第四节　自动装配线 …… (103)
第五节　柔性装配系统 …… (104)
第八章　自动化制造控制系统 …… (106)
第一节　机械制造自动化控制系统的分类 …… (106)
第二节　顺序控制系统 …… (110)
第三节　计算机数字控制系统 …… (112)
第四节　自适应控制系统 …… (114)
第五节　DNC 控制系统 …… (116)
第六节　多级分布式计算机控制系统 …… (119)
第九章　自动化制造系统的总体设计 …… (123)
第一节　总体设计的步骤及内容 …… (123)
第二节　零件族的选择及工艺分析 …… (123)
第三节　设备选择与配置和总体布局设计 …… (126)
第十章　自动化制造系统的计算机仿真及优化 …… (134)
第一节　计算机仿真概述 …… (134)
第二节　计算机仿真的基本理论及方法 …… (138)
第三节　自动化制造系统仿真研究的主要内容 …… (143)
参考文献 …… (145)

第一章　自动化制造系统理论

第一节　自动化制造绪论

一、系统

系统的定义：系统是指由相互联系、相互作用的若干要素构成的具有特定功能的有机整体。

系统的特征：系统的特征是各个具体的系统中抽象出来的系统的共性。明确系统的特征是正确认识系统的关键。作为一个系统，一般具备以下五大特征。

（一）目的性

通常系统都具有某种目的。比如，经过改造的自然农田系统，目的是为了发展农业生产，增加粮食产量；一个技术系统的目的可能是实现某种技术要求，达到给定的性能、经济和进度指标。但明确系统的目的并非易事，必须经过严格的论证，并要求提出科学的书面报告。

要实现系统的目的，一般要制定具体目标。首先制定总目标及总功能，然后层层分解成各个分目标并落实。另外，分目标之间可能是矛盾的，要注意整体平衡与协调，比如设计一个工厂，他的分目标可能是基建费最低，运费最小，可靠性最大等，较低的基建投资往往导致较高的运费，较高的安全可靠性标准，将使机件费和运费都增加，因此，要获得全局最佳结果，就要在矛盾的分目标之间，根据贡献大小寻找一个折中方案。

（二）整体性

系统是由相互联系的若干要素组成的，它作为一个有机整体，存在于特定的环境之中，系统的整体性可以从以下几个方面来解释。

首先，系统是一个集合。它是由两个或两个以上相互区别的要素结合而成的。

其次，系统整体联系的统一性。在系统中，各个要素对成本影响不是独立的，而是依赖于其他若干要素的协同作用。也就是说，系统的要素性质和行为，并非独立的影响整体功能或特征，而是相互影响、相互协调的，来适应系统整体的要求，实现系统的功能。

再次，系统功能的非加和性。系统要素相互区别，相互作用构成的整体，但整体功能不等于各个要素功能之和，即使每一个要素都是良好的，但组成的整体不一定具有良好的整体功能。

由此可知，系统之所以产生利息，是因为系统的各个组成部分不同于系统的目的和要求，从而形成一种协同作用，只有通过协同作用，系统的整体功能才能显现。

（三）相关性

系统的各个组成要素是相互联系和制约的，这是系统内部的相关性。一方面，系统中某一要素的变化就意味着其他要素也要做出相应的调整和改变；另一方面，系统的生成语

音几乎都要从外地发技术，并向外界环境输出。输入—输出，把系统要素与环境要素连接起来，因此系统环境之间也具有相关性。

研究系统的相关性主要为了弄清楚各个要素之间的相互依存的关系，从而提高系统的延续性，避免系统的内耗，提高系统的整体运营效果。弄清楚各要素之间的相关性也是实现系统有机集成的前提。

（四）层次性

由于客观事物的复杂性使系统具有多层次结构，即系统可以分解为若干子系统，每个子系统又可层层分解下去，分解为若干更低层次的系统，最后分解成要素；要素是完成系统功能的最小单元，这种分解的基本标志是目标，一系列的目标产生一系列的分系统。系统、分系统和系统要素构成层次结构。在层次结构的底部通常是一些结构和功能相对简单的子系统，而居于顶层的则是结构和功能相对复杂的系统，越往上越复杂。对于中间层次的系统来说，它既是独立的，又与上下的系统有着密切的联系，相对上层，它处于被支配和被控制的地位；相对下层，它处于支配和控制的地位。

系统的层次性体现了系统目标主机的具体化和系统要素在系统结构中的位置与隶属关系。将系统适当分层是研究和设计复杂大系统的有力手段。

（五）环境适应性

系统适应外部环境的变化，获取生存和发展的能力，就是系统的环境适应性。系统与环境的作用是相互的。一方面，不能脱离环境，系统存在于环境之中，外界环境通过与系统、物质、能量、信息的交换，对系统产生影响，使得系统结构发生震荡，当环境变化超过了系统承受能力，系统将被解体，被适应环境要求的系统所代替。只有系统与环境保持最佳适应状态，才能对环境做出贡献；另一方面，系统又可以通过输出对环境施加影响，如人类不仅能够适应自然，还能够利用和改造自然，设计满足人类的需求。为了使系统不断适应变化的环境，需要不断调整系统的内部结构。

上述系统的五个基本特征是处理系统问题应具备的主要观点。从总体目标出发：着眼整体优化的观点；从系统的内部出发：分析问题的观点，考虑系统结构层次性的观点，考虑外界条件变化，使系统适应环境的观点，在系统分析、评价决策时的观点。离开这些基本观点，将会导致错误的结果。

二、制造

（一）制造

制造国际生产工程学会对制造的定义：制造是一个涉及制造工业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、市场销售和服务的相关活动和工作的总称。在实际应用中，制造的概念有广义和狭义之分，狭义的制造是指生产车间物流有关的加工和装配过程；广义的制造只包括市场分析、经营决策、工程设计、加工装配、质量控制、生产过程管理、销售运输、售后服务，直至产品报废处理的整个产品生命周期内一系列相互联系的生产活动。

（二）制造业

制造业是将可用资源与能源通过制造过程转化为可供人们使用的工业或生产消费

品，它涉及机械电子、轻工、化工、食品、军工、航天等很多行业，是国民经济和综合国力的支柱产业。制造业一方面创造价值，产生物质财富和新的知识；另一方面为国民经济各个部门的进步和发展提供先进的手段和装备，对一个国家的经济地位和政治地位具有至关重要的影响。

（三）制造规模

制造企业的品种和生产大小是各不相同的，人们称之为制造规模。通常，制造规模可以分为三种：大规模制造，大批量制造和多品种小批量制造。

年产量超过 5 000 件的制造，称为大规模制造，例如标准件（螺钉、螺母、垫圈等）的制造、自行车的制造、汽车的制造。大规模制造采用组合机床生产线或自动化单机系统，通常寄生率极高，产品的一致性非常高。

年产量在 500~5 000 件的制造，通常称为大批量制造，如大型汽车制造、大型推土机的制造。大批量制造的自动化程度和生产较低，实际中使用加工中心和柔性制造单元。

年产量在 500 件以下的制造，通常称为多品种小批量制造，如飞机制造、大型轮船的制造。随着用户需求的不断变化，机械制造企业的生产规模越来越小，正在向着多品种、单件化的方向发展，目前已成为机械制造业的主导方式。本书所介绍的自动化制造系统，主要针对多品种小批量制造规模。

三、制造系统

（一）制造系统的定义

相对于制造的广义和狭义的定义，制造系统也有广义和狭义之分。

广义的制造系统是包含从原材料供给到销售服务的所有制造过程及所涉及的硬件和有关软件组成的有机整体，其中硬件包括人员、生产设备、材料、能源和各种主要装置；软件包括制造理论制造技术（制造工艺和制造方法）和制造信息。对上面所给的制造系统的定义，可以说三个方面，从制造系统的结构上讲，制造系统过程所涉及的硬件（包括人员、设备、物料流）及其相关软件重组成了一个统一整体；从制造系统的功能上看，制造系统是一个将制造资源转变为产品或半成品的输入输出系统；从制造系统的过程来看，制造系统涵盖制造生产的全部运行过程，包括市场分析、产品设计、工艺规划、制造实施、检验出厂、产品销售等多个环节。狭义的制造系统通常指产品加工装配的相关机械制造系统。

（二）制造系统相关概念

制造系统明确地描述了它最核心的功能及资源转化功能，为社会创造财富。

制造系统的发展主要由资源输入、资源输出、资源转换、机制和控制或约束五大要素决定。

（1）资源输入是实现转换功能的必备和前提条件，传统的输入资源主要是指物质和能量资源，也有信息资源和技术资源，但不占主导地位。今天，我们要树立新的资源观，对于信息时代和知识经济时代，信息、技术、知识等无形资源将占主导地位，成为企业系统可持续发展的主要资源。总的来看，资源输入有两大类：

①有形资源：如土地、厂房、机器、设备、能源、动力、各种自然资源和人力资源等。

②无形资源：主要有管理、市场、技术、信息、知识、智力资源以及企业形象、产品品牌、

客户关系、公众认可等。

(2)输出是企业系统的基本要素,也是企业系统存在的前提条件。现代企业系统对社会环境的输出应至少包含以下四种类型。

①产品:包括硬件产品和软件产品,这是常规的认识,实际上现代产品可以扩大到无形产品,如决策咨询、战略规划等。

②服务:是指一般的售前售后服务到高级的技术输出、人员培训、咨询服务等。

③创造客户:企业的生存在于是否拥有客户。如何留住老客户创造新客户是企业系统的一项基本任务,也是企业系统的重要业绩。

④社会责任:企业系统的发展受所在社区环境的支持,必须对社会和整个环境承担责任,如环境保护、公共建设、人文环境等。

(3)资源转换:这是企业系统最本质的功能。目前,资源转换主要依据物理的或化学的原理。衡量转换优越的五大指标,即时间短、质量优、成本低、服务好、环境清洁。

(4)机制主要是支撑企业实现资源转换的各种平台,即硬件平台、软件平台、战略平台、支持平台、文化平台等。

①硬件平台:主要指生产设施、设备和系统等,如生产线、设计系统、实验系统、信息网络等基础设施,是企业系统的最基本的物质平台。

②软件平台:除计算机软件外,还包括管理事项、管理模式、管理规范、政策法规、规章制度等。

③战略平台:只采用竞争战略与制造战略,如敏捷竞争战略及其相应的敏捷制造模式。

④知识平台:在知识经济时代,企业更加重视人的作用,更加重视知识的存在、分配和使用,建立一套全新的知识供应链和知识管理系统十分重要。

⑤文化平台:知识经济时代,企业间的较量更多地表现为企业的整体科技素质和更深刻的文化内涵上,企业文化建设的重要作用越来越凸显出来。

(5)控制和约束主要是指企业系统的外部约束,如国家方针政策、法律法规、规范标准以及其他的相关要求和约束,如环境保护、社区要求等。

(三)制造系统的特征

首先一个制造系统必然有系统的全部特征——整体性、相关性、层次性和环境适应性。

制造系统除具有上述一般系统特征外,还具备以下三个显著特点:

(1)制造系统是一个动态系统,制造系统的动态特征主要表现在:①制造系统总是处于生产要素的不断输入和产品不断输出这样一个动态过程中;②制造系统内部的全部硬件和软件也处于不断的动态变化之中;③适应生存环境,特别是在激烈的市场竞争中,制造系统总是处于不断发展、不断更新、不断完善的运动中。

(2)制造系统在运行过程中时刻伴随着物料流、资金流、价值流、信息流和工作流的运动。

(3)制造系统具有反馈特征。制造系统在运行过程中其输出状态,如产品质量信息和制造资源利用状况总是不断反馈给制造过程中的各个环节,从而实现制造过程的不断

调节，改善和优化。

（四）制造系统的理论

资源转换是制造系统的本质功能，既然是转换，那一定是一个动态的过程。在这个动态过程中有五种要素（包括信息、物料、资金、价值、工作）流动，它们极大地影响着制造系统运行的质量和发展的活力，这就是信息流、物料流、资金流、价值流和工作流。

（1）信息流。根据类型将信息分为需求信息和供给信息。需求信息，如客户订单、生产计划、采购合同等，从需求方向供应方向流动。供给信息，如入库单、完成报告单、库存记录、提货单等，同物料一起从供应方流动。

（2）物料流。任何制造系统都是根据客户和市场的需求，开发产品，购进原料，加工制造成品，以商品的形式销售给客户，并提供售后服务。物料从供应方开始沿着各个环节向需求方移动，这是最显而易见的物资流动。

（3）资金流。物料是有价值的，物料的流动引发资金的流动。消耗资源会导致资金流动，企业系统的各项业务活动都会消耗一定的资源，消耗资源会导致资金流出，只有当消耗资源生产出的产品出售给客户，资金才会重新流回企业。

（4）价值流。从形式上看，客户是在购买商品，但实际上客户是在购买商品和服务的价值。各种物料沿各环节移动，是一个不断增加其技术含量或附加值的增值过程，

（5）工作流。信息、物料、资金都不会自给，物料的价值也不会自动增值，都要靠人的劳动来实现，要靠企业系统的业务活动，也就是工作流来带动。工作流决定了各种流的流速和流量，企业系统的体制组织必须保证工作流畅通并能对瞬息万变的环境作出响应，加快各种流的流速，在此基础上增加流量，为企业系统要求更大的效益。

（五）制造系统的分类

对制造系统的研究可以从不同的角度进行，根据在系统中的作用，零件品种的量零件及其工艺类型、系统的柔性、系统自动化程度及系统的智能程序等方面，对制造系统进行了分类，并简单介绍了他们各自的特点；另外，把不同类型的制造系统进行组合，可以得到新系统，例如刚性自动化离散型制造系统就是自动化程度、系统柔性和工艺类型三种分类方式的组合，它适用于离散型制造企业的大批量自动化制造。

人机一体化的、面向机械制造业的多品种、中小批量生产的柔性制造系统是制造系统的主要发展方向。

1.自动化的含义

任何制造过程都有若干个工具组，而在一个工序中又包含若干个系，如传动、上下料、换刀、切削，此外还有操作个股的动作，如开通和关闭传动系，这些动作可以用手动来完成，也可以用机械来完成。

当执行制造过程中的基本动作由机器代替人力劳动，这个过程就是机械化；若操纵这些机构的动作也是由机器完成的，就可以认为这个制造的过程是自动化。

2.制造自动化

制造自动化的概念：制造自动化就是在广义制造过程中的环境，采用自动化实现制造全过程。它的广义内涵包括以下几点：

（1）在形式上，制造自动化有三个方面：代替人的体力劳动；代替或辅助人的脑力劳

动;制造系统中人、机及整个系统的协调、管理、控制和优化。

(2)在功能上,制造自动化代替人的体力劳动或脑力劳动,这仅仅是制造自动化功能体系的一部分,制造自动化的功能目标是多方面的,已经形成了一个有机体系。

(3)在范围上,制造自动化不仅涉及具体生产制造活动,而且还涉及产品生命周期的各类活动,也包含制造工厂全部的生产活动,如市场需求分析、研究开发、设计、支持、产品最后报废、环境处理等。

3.制造自动化的发展历程

自从英国人瓦特发明蒸汽机而引发工业革命以来,自动化制造技术就伴随着知识与技术的革新得到迅速发展。自动化制造技术大约经历了四个发展阶段。

第一阶段,从1870年到1950年左右,随着机械控制和电液控制的大量应用,刚性自动化单机和刚性自动化系统得到了发展,如1870年,美国发明的自动螺钉、1895年发明的多轴自动车床,它们都属于典型的单机自动化,都是采用纯机械方式控制的。1924年,第一条采用流水作业的机械加工自动线在英国的Morris汽车公司出现;1935年,苏联研制了第一条汽车发动机气缸体加工自动线;这两条自动线的出现,使得自动化制造技术由单机自动化转向更高级的自动化。在第二次世界大战前后,位于美国底特律的福特汽车公司大量采用自动化生产线,使汽车生产的生产率成倍提高,汽车的成本大幅下降,汽车的质量也得到了明显的改善。随后,西方其他工业化国家、苏联以及日本,都开始广泛采用自动化制造技术和系统,使得这种形式的自动化制造系统得到迅速发展,其技术也日趋完善,在生产实践中的应用也达到了高峰。尽管这种形式的自动化制造系统仅仅适用于像汽车这样的大批大量的生产,但它对人类社会的发展也起到了巨大的推动作用。值得注意的是,在此期间,苏联于1946年提出三种生产工艺的视角,这对自动化制造系统发展具有极其重要的意义,目前成组技术仍然是自动化制造系统赖以发展的主要基础之一。

第二阶段,从1952年到1965年左右,数控特别是单机数控得到了飞速发展。数控技术的出现是自动化制造技术发展史上的一个里程碑,它对多品种小批量生产的自动化意义重大,几乎是目前经济形势下小批量自动化生产的唯一基础。第一台数控机床于1952年在美国的麻省理工研制成功,它一出现就立即得到了人们的普遍重视。1953年,麻省理工学院又成功研制了著名的数控加工自动编程语言APT,为数控加工技术的发展奠定了坚实的基础。1958年,第一台具有自动换刀装置的数控机床及加工中心在美国研制成功,进一步提高了数控机床的自动化程度。1959年,第一台工业机器人又诞生在美国,它的出现对自动化制造技术具有很大的意义。工业机器人不但是自动化制造系统中必不可少的自动化设备,而且它本身可单独工作,自动进行装配焊接、涂装、热处理、浇筑铸件的工作。1960年,美国研制成功自适应控制机床,具有一定的智能,可以有效提高加工质量。1961年在美国出现计算机控制的碳电阻自动化制造系统,可以称为计算机辅助制造的雏形。1962年和1963年,又相继在美国出现了圆柱坐标式工业机器人和计算机辅助设计绘图系统CAD,后者为设计自动化以及设计与制造之间的集成奠定了基础。1965年出现的计算机数控机床CNC具有很重要的意义,因为它的出现实现了更高级别的自动,扫清了技术障碍。

第三阶段,从1967年到20世纪80年代中期,以数控机床和工业机器人组成的柔性

自动化小切口得到了飞速的发展。英国 Molins 公司成功研制计算机控制六台数控机床的可变制造系统，这就是目前称为 DNC 分布式系统。它的出现成功解决了多品种小批量复杂零件生产的自动化及降低成本和提高效率的问题。同一年，美国 Sundstand 公司和日本的大宫工厂也相继成功研制了计算机控制的数控系统。1969 年，日本研制出加工原理运行的可变加工系统；1969 年，美国又研制出工业机器人操作的焊接自动线。随着工业机器人技术和数控技术的发展和成熟，20 世纪 70 年代初，出现了小型自动化制造系统，即柔性自动化，继而又出现了柔性制造系统。到目前，柔性制造单元和柔性制造系统也仍然是自动化程度最高的。20 世纪 80 年代，日本研制了一个由机器人进行装配的自动化——无人电机制造厂和一个规模庞大的应用——激光加工的综合柔性制造系统，然而这种无人自动化工厂的努力最终却是不成功的，原因并不在技术，而主要在于它经济性太差，并且忽视了人在制造系统中的作用。

第四阶段，从 20 世纪 80 年代至今，制造自动化系统的主要发展是计算机集成制造系统，并被认为是 21 世纪制造业新模式，它是由美国人约瑟夫哈林顿在 1974 年提出的概念。现代系统管理技术、现代制造技术、信息技术、自动化技术和系统工程技术，将制造过程中有关人员技术和经营管理三要素有机集成，通过信息共享以及信息流与物流的有机实验系统的优化运营，加强自动化系统技术及管理技术质量保证，和制造自动化为一体的广义自动化制造系统。

（六）制造自动化发展的趋势

随着科学技术的飞速发展和社会的不断进步，先进的生产模式对自动化系统技术提出了不同的要求，这些要求也同时代表了机械制造自动化今后的发展趋势，这种趋势可以用“六化”简单描述，即制造全球化、制造敏捷化、制造网络化、制造虚拟化、制造智能化、制造绿色化。

（1）制造全球化。运用全球化的概念处理美日欧等发达国家的制冷系统计划，近年来随着网络技术的发展，制造全球化的研究和应用包括的内容非常广泛，主要有以下内容：①市场的国际化，产品销售的全球网络正在形成；②产品设计和开发的国际合作；③产品制造的跨国化；④制造企业在世界范围内的重组，如动态联盟公司；⑤制造资源的跨地区，跨国家的一道共享优化利用；⑥全球制造的体系结构将要形成。

（2）制造敏捷化。敏捷制造是一种面向 21 世纪的制造战略和现代制造模式，当前全球范围内的研究活跃的敏捷制造，对广义制造系统而言，制造环境和制造过程的敏捷性问题是敏捷制造的重要组成部分，敏捷化制造环境是 21 世纪的必然趋势，制造环境过程的敏捷化包括的内容很广，主要有以下内容：①柔性，包括机器柔性、公益柔性、运行柔性、扩展柔性等。②重构能力，实现快速重组构建，增强对产品开发的快速响应能力。③快速化的集成制造工艺。

当前的网络技术，特别是 Internet 技术的发展迅速，正在给企业制造自动化带来新的变革的深度和广度，远超人们的预测。

（3）制造网络化。继英特尔的制造已成为重要的发展趋势，基于网络制造包括以下几个方面：①制造环境内部的网络化，实现制造过程的集成。②制造环境与整个制造企业网络化，实现制造环境与企业中工程设计、管理信息系统等各子系统的集成。③企业与企

业间的网络化,实现企业间的资源共享,优化利用,通过网络实现异地制造。

(4)制造虚拟化。虚拟化制造包括虚拟现实、虚拟产品开发、虚拟制造和企业。

制造虚拟化主要指虚拟制造,它是以制造技术和计算机技术支持的系统建模技术和仿真技术为基础,集现代制造工艺、计算机图形学、并行工程、人工智能、人工现实技术和多媒体技术等多种高新技术为一体,由多学科知识形成的一种综合系统技术。

虚拟制造是实现敏捷制造的关键技术,对未来制造业的发展至关重要,同时将在今后发展成很大的软件产业。

(5)制造智能化。智能制造将是未来制造自动化发展的重要方向。所谓智能制造是一种由智能机器和人类专家共同组成的人、机一体化智能系统,它在制造过程中能进行智能活动。智能制造系统的宗旨在于通过人与智能机器的共同合作,去扩大延伸和部分的取代人类专家在制造过程中的脑力劳动,以实现制造过程的优化。有人预测 22 世纪的制造工业将由两个"I"来标识,即集成和智能。

(6)制造绿色化。绿色制造是一个综合考虑环境影响和资源效率的现代制造模式,其目标产品是从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品的生命周期中,对环境的影响最小,资源效率最高。可持续发展战略中在制造业的体现,或者说绿色制造是现代制造业可持续发展的模式,绿色制造涉及的面广,涉及产品的整个生命周期,对制造环境和制造过程而言,绿色制造主要涉及的资源优化利用清洁生产和废弃物的最少化及综合利用。绿色制造,是目前和将来自动化系统应该予以充分考虑的一个重大问题。

第二节 自动化制造系统的内容

一、自动化制造系统的定义

广义地讲,自动化制造系统是由一定范围的被加工对象,一定的制造柔性和一定自动化水平的各种设备和高素质的人组成的一个有机整体。它接受外部信息、能源、资金、配套件和原料等作为输入,在人和计算机控制系统的共同作用下,实现一定程度的柔性自动化制造,最后输出产品、文档资料、废料和对环境的污染。

二、自动化制造系统的组成

一个典型的自动化制造,主要由以下子系统组成:毛坯制备自动化子系统、加工自动化子系统、储运自动化子系统、装配过程自动化子系统、辅助过程自动化子系统、热处理过程自动化子系统、质量控制子系统、系统控制子系统。人作为自动化制造系统的基本要素,可以与任何自动化子系统相结合,另外,良好的组织管理机构和机制对自动化制造系统运行也是必不可少的。

三、自动化制造系统的生命周期

和任何系统一样,自动化制造系统有它自己的寿命周期,若达到一定程度的服役年限后,系统就得报废。通常将系统的设计,安装,调制,验收,应用,维护,报废,这些过程的集

合称为自动化制造系统的寿命周期，在寿命周期的各个阶段，人们对自动化制造系统的关注重点是不同的。

在系统设计的阶段，需要根据加工对象选择加工方法，采用成组技术将未来的加工对象进行分类，然后确定系统的结构进行一个组成部分的设计，在这一阶段，人们更注重从设计方面保证系统的柔性、生产力和质量。在设计阶段，一般由自动化制造系统的用户和供应商共同完成。

制造阶段是自动化制造系统本身的产生阶段，与一般的产品或系统不同。自动化制造系统的制造阶段主要是选择供应商，由供应商完成各组成部分的指导。在这一阶段，用户关心的是供应商提供成套设备的能力和价格；在安装、调试、验收阶段，供应商根据合同将各组的部分运到用户体验、安装和调试并进行试加工，在确认达到设计要求后再进行验收，用户验收要考察系统是否达到质量和柔性。

在验收完成后，就进入系统的应用和维护阶段。这一阶段需要按照操作要求并按照维护要求使系统达到服役年限。在系统达到服役年限后，就进入系统的报废、回收与福利阶段，在报废过程中，如果有些设备还可以利用，就可以保留并派作其他用场，对已报废的设备，按国家的有关规定进行处理。

四、自动化制造系统的分类及其特点

为了更好地利用自动化制造系统，就要了解自动化制造的特点，不同的自动化制造系统有着不同的特点，因此应根据需要来选择不同的自动化制造系统。根据系统的柔性和规模，人们将自动化制造系统分成了以下不同的类型。

(1)刚性半自动化单机。除上下料外可以自动地完成整个工艺过程的加工，被称为刚性半自动化机床，这种机床采用机械控制或电冶复合控制，一般采用多刀多面加工，如单台组合机床、通用多刀半自动机床、反弹车床等。从自动化程度讲，刚性半自动化是加工自动化的最低层次，它的调整工作量大，加工质量较差，人工的劳动强度也大，但是投资少，见效快，适用于产品品种变化范围和生产批量都较大的场合。

(2)刚性自动化单机。刚性自动化单机是在刚性半自动化单机的基础上增加自动上下料装置而形成的自动化机床，因此这种机床实现的也是单个工艺过程的全部加工。这种机床往往需要定做或在刚性半自动化单机的基础上改装而成，适用于生产批量特别大的场合。主要特点是投资少，见效快，但通用性差，是大量生产最常见的加工设备。

(3)刚性自动化自动线。刚性自动化生产线适用于工件输送系统，它将各个自动化加工设备和辅助设备按一定的顺序连接起来，在控制系统的作用下，完成单个零件加工的复杂大系统。在刚性自动线上，被加工零件的生产节拍，顺序通过各个工作位置完成零件预定的全部加工过程和部分检测过程，因此刚性自动线具有很高的自动化程度，具有统一的控制系统和严格的程序，与自动化单机相比，它的结构复杂，完整的加工工序多，所以生产率也很高，是大批量生产必不可少的加工装备；此外，刚性自动线具有可以有效缩短生产周期，取消半成品生产中的中间过程，缩短了物料流程，减少了生产面积，改善了劳动条件，便于管理等优点。它的主要缺点是投资大，系统调整周期长，更换产品不方便。为了消除这些缺点，人们发展了组合机床自动线，使系统的各个功能得到完善，可以大幅度缩

短建设周期;更换产品后,只需更换某些部件,大大缩短了系统的调整时间,降低了生产成本,并能起到较好的使用效果和经济效果。组合机床自动线主要用于箱体类零件和其他类型非回转体的钻、扩、铰、镗、攻螺纹和铣削等工序的加工。刚性自动化生产线目前正在向刚柔结合的方向发展,并开始大量使用加工中心的柔性加工设备。

(4)刚性综合自动化系统。一般情况下,刚性自动线能完成单个零件的所有相关工序,对于其他自动化制造,如热处理、锻压、焊接、装配、检验、涂装以及包装也不可能全部包括在内。包括上述内容的复杂系统称为刚性综合自动化系统,它常用于产品比较单一,但工序内容多,生产批量特别大的零部件的自动化制造。刚性综合自动化系统结构复杂,投资强度大,建设周期长,更换产品困难,但生产效率极高,加工质量稳定,工人劳动强度低。

(5)一般数控机床。一般数控机床用来完成零件一个工序的自动化加工。早期的数控机床的控制系统都采用硬连接电路,即控制逻辑通过电路实现的数控称为硬件数控,这种数控机床虽然可以通过改变控制程序实现不同形状零件的加工,但存在很多缺点,如零件编程工作量大,容易出错,不能够实现自适应控制,加工过程中频繁启动纸带阅读机,容易出现输入故障,控制功能由硬件电路决定,系统缺乏灵活性等。为了克服硬件控的缺点,后来人们采用通用数字代替连接电路硬件的软件,使集成的计算机复活。计算机数控的出现为更高级的自动化制造系统开辟了广阔的前景。

(6)计算机数控系统。与硬件数控相比,计算机数控系统具有如下优点:①有利于控制程序常驻内存,避免了频繁启动纸带阅读机,减少了反复使用,因而系统的可靠性高;②具有较大的灵活性,允许直接在机床上编制和修改数控加工系统,使系统的操作性得到改善;③计算机数控使得系统具有广泛的适应性,可以适应不同的品种、规格零件,只需要修改零件的程序即可;④计算机数控使得机床的自适应控制成为可能。

(7)加工中心。加工中心是在一般数控机床的基础上增加刀库和自动换刀装置而形成的一类更复杂、但用途更广、效率更高的数控机床。由于具有刀库和自动换刀装置,就可以在一台机床上完成多种加工工序,因此,加工中心机床具有工序集中、可以有效缩短调整时间和搬运时间、减少在制品库存、加工质量高等优点。加工中心常用于零件比较复杂,需要多工序加工的、且生产批量中等的生产场合。根据所说对象的不同,加工中心又可分为车削加工中心。

(8)混合成组制造单元。它是采用成组技术原理布置加工设备,包括成组单机、成组单元和成组流水线。在成组制造单元中,数控设备和普通加工设备并联,各自发挥其最大作用,如果混合成组制造单元与标准化工作方式以及计算机应用软件和网络系统紧密结合起来,这将会在未来制造业中发挥越来越大的作用。

(9)分布式数控系统。它是采用一台计算机控制若干台 CNC 机床。因此,这种系统强调的是系统的计划调度和控制功能,对物流和刀具流的自动化程度要求并不高。CNC 系统的主要优点是系统结构简单,灵活性大,可靠性高,投资小,以软取胜,注重对设备的优化利用,是一种简单的人机结合的自动化制造系统。

(10)柔性制造单元。柔性制造单元(FMC)是一种小型化柔性制造系统,它和柔性制造系统两者之间的概念比较模糊,但通常认为柔性制造单元是由 1~3 台数控机床或加工