

普通高等教育应用型本科规划教材

自动化制造系统

赵东福 主编

陈益严 副主编

段福斌 袁斌 编

机械工业出版社

内容提要

本书系统介绍了自动化制造系统的基本知识，重点介绍了加工设备的自动化、制造系统物流自动化、刀具自动化、制造过程检测自动化、产品装配自动化和自动化制造系统控制及仿真等内容。考虑到教学的需要，各章后有一定数量的复习思考题。

本书注重知识学习和工程实际应用相结合，以具体实例说明各单元自动化技术的实现原理和方法，可作为机械工程、工业工程、管理工程等各类与制造有关的学科和专业的本科生教材，亦可供有关机械设计与制造工程技术人员自学和参考。

前 言

制造自动化是人类在长期的社会生产实践中不断追求的主要目标之一。随着科学技术的不断进步,自动化制造的水平也愈来愈高。采用自动化技术,不仅可以大大降低劳动强度,而且还可以提高产品质量,改善制造系统适应市场变化的能力,从而提高企业的市场竞争能力。

制造业是指以制造技术为主导技术进行产品制造的行业。随着人类工业文明的不断进步,制造业已成为国家经济和综合国力的基础。它一方面直接创造价值,成为社会财富的主要创造者和国民经济收入的重要来源;另一方面,它为国民经济各部门,包括国防和科学技术的进步及发展提供先进的手段和装备。制造业的发达与先进程度是国家工业化的象征。制造自动化的任务就是研究制造过程的规划、管理、组织、控制与操作等的自动化。制造自动化代表着先进制造技术的水平,推动制造业由劳动密集型产业转变为技术密集型乃至知识密集型产业,是制造业发展的尺度。

自动化制造系统所涉及的内容十分广泛,学科跨度很大,除了设计、制造领域中的技术外,还包括管理科学、信息处理技术等内容。为了便于教学的组织,本书在内容组织和编写过程中,着重强调应用型特色,以具体应用实例为背景,重点介绍机械制造领域中的自动化单元技术,目的是培养学生理论联系实际、解决工程实际问题的能力,以适应我国应用型人才培养的要求。

本书由浙江科技学院赵东福主编,参加本书编写的有段福斌(第二章、第三章、第六章)、袁斌(第七章、第八章),福建工程学院陈益严作为本书副主编,参加编写了第四章、第五章内容,赵东福编写了第一章并负责统稿。

本书由浙江科技学院朱龙根主审,朱龙根教授对本书进行了细致的审查并提出了许多宝贵意见,在此特表示感谢。

本书在编写过程中参考引用了大量文献资料,在此向这些文献资料的作者表示感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,疏漏和欠妥之处难免,恳请同行与读者批评指正。

编者

2004年3月

目 录

第一章 概述	1
第一节 机械自动化的基本概念	1
第二节 机械自动化的主要内容和类型	3
第三节 自动化制造的发展过程及趋势	7
第二章 加工设备自动化	11
第一节 单机自动化	11
第二节 数控机床和加工中心	16
第三节 刚性自动线	21
第四节 柔性制造单元	26
第五节 柔性制造系统	28
复习思考题	33
第三章 制造系统物流自动化	34
第一节 概述	34
第二节 工件储运系统	35
第三节 自动化输送设备	36
第四节 柔性物流系统	49
复习思考题	56
第四章 刀具自动化	58
第一节 自动化机床的刀具和辅具	58
第二节 自动化换刀装置	67
第三节 排屑自动化	76
第五章 制造过程检测自动化	81
第一节 概述	81
第二节 工件尺寸精度的检测和控制	82
第三节 刀具工作状态的检测和控制	94
第四节 自动化加工过程的检测和监控	102
复习思考题	113
第六章 产品装配自动化	114

第一节 概述	114
第二节 自动装配工艺分析和设计	117
第三节 自动装配机	126
第四节 自动装配线	129
第五节 自动装配系统	133
复习思考题	136
第七章 自动化制造的控制系统	137
第一节 控制系统概述	137
第二节 顺序控制系统	140
第三节 计算机数字控制系统	141
第四节 自适应控制系统	144
第五节 DNC 控制系统	145
第六节 多级分布式计算机控制系统	147
复习思考题	151
第八章 自动化制造系统的计算机仿真	152
第一节 计算机仿真概述	152
第二节 计算机仿真的基本理论和方法	154
第三节 SL MSM 仿真软件简介	155
第四节 自动化制造系统仿真实例	158
复习思考题	171

第一章 概述

制造自动化是人类在长期的社会生产实践中不断追求的主要目标之一。随着科学技术的不断进步，自动化制造的水平也愈来愈高。采用自动化技术，不仅可以大大降低劳动强度，而且还可以提高产品质量，改善制造系统适应市场变化的能力，从而提高企业的市场竞争能力。制造自动化的内容涉及制造过程的规划、管理、组织、控制与操作等的自动化。本章将着重介绍自动化制造系统的一些基本概念、各种机械制造自动化技术的特点与适用范围以及自动化制造技术的发展趋势等内容。

第一节 制造系统的基本概念

一、系统

系统是具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素所构成的一个不可分割的整体。虽然一个系统可以进一步划分成一些更小的分系统，而且这些分系统也可以单独存在并对外呈现一定的特性，但这些分解开来的分系统都不具备原有系统的整体性质。另外，这些分系统的简单叠加也不构成原来的系统，而仅仅是一个分系统间的简单集合。

一般系统都具有下述性质：

1)目的性。任何一个物理或组织系统都具有一定的目的。例如，制造系统的目的是将制造资源有效地转变成有用的产品。为了实现系统的目的，系统必须具有处理、控制、调节和管理的功能。

2)整体性。系统是由两个或两个以上可以相互区别的要素，按照作为系统所应具有的综合整体性而构成。系统的整体性说明，具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系是根据逻辑统一性的要求，协调存在于系统整体之中，对外呈现整体特性。系统的整体性要求应从整体协调的角度去规划整个系统，从整体上确定各组成要素之间的相互联系和作用，然后再去分别研究各个要素。离开整体性去研究系统的各要素，就失去了原来系统的意义，也就无法达到系统的目的。

3)集成性。任何系统都是由两个或两个以上的要素组成，每个要素都对外呈现出自身的特性，并有其自身的内在规律。但这些要素都要通过系统的整体规划有机地集成为一个整体。因此系统的集成性并不等于集合性，前者构成一个有机的整体，可以实现系统整体运行的最佳化；后者仅是各组成要素的简单叠加，不仅达不到最优，有时系统还会由于参数不匹配而无法运行。

4)层次性。从系统作为一个相互作用的诸要素的总体来看，它可以分解成由不同级别的

分系统构成的层次结构，层次结构表达了不同层次分系统之间的从属关系和相互作用关系。将系统适当分层，是研究和设计复杂大系统的有力手段。

5)相关性。组成系统的要素是相互联系、相互作用的，相关性说明这些联系之间的特定关系。研究系统的相关性可以弄清楚各个要素之间的相互依存关系，提高系统的延续性，避免系统的内耗，提高系统的整体运行效果。弄清楚各要素的相关性也是实现系统有机集成的前提。

6)环境适应性。任何系统都必然会受到周围环境的影响，受到外部环境的约束，与外部环境进行物质、能量和信息的交换。一个好的系统应能适应外部环境的改变，能随着外部条件的变化而改变系统的内部作用和影响乃至内部结构，使系统始终运行在最佳状态。

二、制造和制造系统

制造是人类按照市场需求，运用掌握的知识和技能，借助于手工或可以利用的客观物质工具，采用有效的方法，将原材料转化为最终物质产品并投放市场的全过程。

广义的制造系统包括市场调研和预测、产品设计、工艺设计、生产准备、生产加工、质量保证、生产过程管理、市场营销、售前售后服务以及产品报废后的回收处理等产品寿命循环周期内一系列相互联系的活动。狭义的制造系统通常指产品加工和装配相关的机械制造系统。

三、自动化制造系统

广义的自动化制造系统包括设计自动化系统、管理自动化系统、机械制造自动化系统三个部分。

设计自动化系统主要通过应用 CAD/CAM/CAPP/CAE 等技术，在产品设计的早期阶段综合考虑产品全生命周期中的各个方面，包括产品概念、功能需求、可制造性、可装配性、可靠性、可维护性、价格评价、报废处理和回收等内容。通过运用并行设计、协同设计等设计思想，加速产品的开发进程，缩短产品开发周期，降低开发和生产成本，提高产品质量和可靠性。

管理自动化系统主要通过应用生产管理信息系统（如 MRPII 和 ERP 系统），实时获取企业物流的各种信息，并进行分析处理，完成原材料采购、生产计划和调度、产品销售等管理工作。

机械制造自动化系统主要应用各种自动化设备，完成产品的加工、检测、装配等工作。它主要由以下一些子系统组成：毛坯制备自动化系统、机械加工自动化子系统、物流自动化子系统、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

控制自动化子系统和系统控制自动化子系统。本书涉及的狭义的自动化制造系统主要是指机械制造自动化系统。

第二节 机械制造自动化的主要内容和类型

一、自动化的内涵

任何制造过程都是由若干个工序组成,而在一个工序中,又包含若干种基本动作 如传动动作、上下料动作、换刀动作、切削动作以及检测动作等,此外,还有操纵和管理这些基本动作的操纵动作,如开动和关闭传动机构的动作等。这些动作可以用手动来完成,也可以用机器来完成。

当执行制造过程的基本动作由机器(机械)代替人力劳动来完成时这就是机械化,若操纵这些机构的动作也是由机器来完成,则就可以认为这个制造过程是“自动化”了。

在一个工序中,如果所有的基本动作都机械化了,并且使若干个辅助动作也自动化,而操作者所要做的工作只是对这一工序作总的操纵和监控,就称为工序自动化。

一个工艺过程(如加工工艺过程)通常包括着若干个工序,如果不仅每一个工序都自动化了,并且把它们有机地联系起来,使得整个工艺过程(包括加工、工序间的检测和输送)都自动进行,而操作者仅对这一整个工艺过程作总的操纵和监控,这时就形成了某一种加工工艺的自动生产线,通常称为工艺过程自动化。

一个零部件(或产品)的制造包括着若干个工艺过程,如果不仅每个工艺过程都自动化了,而且它们之间是自动地有机联系在一起,也就是说从原材料到最终成品的全过程都不需要人工干预,这就形成了制造过程的自动化。机械制造自动化的高级阶段就是自动化车间甚至自动化工厂。

二、机械制造自动化的主要内容

一般的机械制造主要由毛坯制备、物料储运、机械加工、装配、辅助过程、质量控制、热处理和系统控制等过程组成。本书所涉及的是狭义的机械制造过程,主要是机械加工过程以及与此关系紧密的物料储运、质量控制、装配等过程。因此机械制造过程中的自动化技术的主要内容有:

1) 机械加工自动化技术,包含上下料自动化技术、装卡自动化技术、换刀自动化技术、加工自动化技术和零件检测自动化技术等。

2) 物料储运过程自动化技术,包含工件储运自动化技术、刀具储运自动化技术和其他物料储运自动化技术等。

- 3) 装配自动化技术, 包含零部件供应自动化技术和装配过程自动化技术等。
- 4) 质量控制自动化技术, 包含零件检测自动化技术、产品检测自动化和刀具检测自动化技术等。

三、机械制造自动化的作用

机械制造中采用自动化技术可以有效改善劳动条件, 显著提高劳动生产率, 大幅度提高产品的质量, 有效缩短生产周期, 并能显著降低制造成本。因此, 机械制造自动化技术得到了快速发展, 并在生产实践中得到越来越广泛的应用。概括而言, 实现机械制造自动化具有如下的作用:

- 1) 提高生产率。生产率是指在一定的时间范围内生产总量的大小。采用自动化技术后大幅度缩短制造过程中的辅助时间, 从而使生产率得以提高。
- 2) 缩短生产周期。机械制造业按生产产品的品种和批量可分为以下三类: 少品种、大批生产, 多品种、中小批生产, 单件生产。在现代机械制造企业中, 单件、小批量的生产约占 85% 左右, 大批量生产仅占 15%。而在多品种、小批量生产中, 被加工零件处于储运、等待加工等时间约占 95%。实际有效的加工时间仅有 1.5%, 采用自动化技术的主要效益在于可以有效缩短零件 98.5% 的无效时间, 从而有效缩短生产周期。
- 3) 提高产品质量。由于自动化系统中广泛采用多种高精度的加工设备和自动检测设备, 减少了人工因素的干扰, 因而可以有效提高产品的质量。
- 4) 提高经济效益。采用自动化技术可以减少生产面积, 减少直接生产工人的数量, 减少废品, 因而减少了对生产的投入, 提高了投入产出比, 从而可以有效提高经济效益。
- 5) 降低劳动强度。采用自动化技术后, 机器可以完成绝大部分繁琐重复、笨重有害的工作, 从而降低了工人的劳动强度。
- 6) 有利于产品更新。现代柔性制造自动化技术使得变更制造对象更容易, 适应的范围也较宽, 有利于产品的更新。
- 7) 提高劳动者素质。采用自动化技术要求操作者具有较高的业务素质和严谨的工作态度, 因此可提高劳动者的素质。
- 8) 带动相关技术的发展。实现机械制造自动化可以带动自动检测技术、自动化控制技术、产品设计技术、系统工程技术等相关技术的发展。

四、机械制造自动化的分类

对机械制造自动化目前还没有统一的分类, 综合国内外各种文献资料, 大致可按下面几种方式进行分类:

1) 按制造过程可分为毛坯制备过程自动化、热处理过程自动化、储运过程自动化, 机械加工过程自动化、装配过程自动化、辅助过程自动化、质量过程自动化和系统控制过程自动化。

2) 按设备可分为局部动作自动化、单机自动化、刚性自动化、刚性综合自动化系统、柔性制造单元、柔性制造系统。

3) 按控制方式可分为机械控制自动化、机电液控制自动化、数字控制自动化、计算机控制自动化、智能控制自动化。

五、机械自动化的特点和适用范围

各种自动化类型有不同的性能特点和不同的应用范围, 因此应根据需要选择不同的自动化系统, 下面按设备的分类作简单的介绍。

1. 刚性半自动化单机

除上下料外, 机床可以自动地完成单个工艺过程的加工循环, 这样的机床称为刚性半自动化单机, 这种机床采用的是机械或电液复合控制, 例如: 单台组合机床、通用多刀半自动车床、转塔车床等。从复杂程度讲, 刚性半自动化单机实现的是加工自动化的最低层次, 投资少、见效快, 适用于产品品种变化范围较小但批量较大的制造系统。缺点是调整工作量大, 加工质量较差, 工人的劳动强度大。

2. 刚性自动化单机

在刚性半自动化单机的基础上增加自动上下料装置后称为刚性自动化单机, 因此这种机床实现的也是单个工艺过程的全部加工循环, 这种机床往往需要定制或改装, 常用于品种变化很小、但生产批量特别大的场合。如组合机床, 专用机床等。主要特点是投资少、见效快, 但通用性差, 是大批量生产中常用的加工装备。

3. 刚性自动化生产线

刚性自动化生产线是用工件输送系统将各种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系统。在刚性自动生产线上, 被加工零件以一定的生产节拍, 顺序通过各个工作位置, 自动完成零件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生产节奏, 与自动化单机相比, 它的结构复杂、完成的加工工序多, 所以生产率也很高, 是少品种、大批量生产必不可少的加工装备。此外, 刚性自动化生产线还可以有效缩短生产周期, 消除半成品的中间库存, 缩短物料流程, 减少生产面积, 改善劳动条件, 便于管理等优点。其主要缺点是投资大, 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，可以大幅度缩短建线周期，更换产品后只需更换机床的某些部件即可(例如更换主轴箱)，大大缩短了系统的调整时间，降低了生产成本，并能收到较好的使用效果和经济效益。组合机床自动线主要用于箱体类零件和其他非旋转零件的钻、扩、铰、镗、攻螺纹和铣削等工序的加工。

4. 刚性综合自动化系统

一般情况下，刚性自动线只能完成单个零件的所有相同工序(如切削加工工序)，对于其他自动化制造内容如热处理、锻压、焊接、装配、检测、喷涂甚至包装都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，常用于产品比较单一，但工序内容多，加工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，建线周期长，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. 数控机床

数控机床用来完成零件一个工序的自动化循环加工，它是用代码化的数字信号来控制机床，按照事先编好的程序，自动控制机床各部分的运动，而且还能控制选刀、换刀、测量、润滑、冷却等动作。数控机床是机床结构、液压、气动、电动、电子技术和计算机技术等各种技术综合发展的成果，也是单机自动化方面的一个重大进展。配备有适应控制装置的数控机床，可以通过各种检测元件将加工条件的各种变化测量出来，然后反馈到控制装置，与预先给定的有关数据进行比较，使机床及时进行相应的调控，这样，机床就能始终处于最佳工作状态，数控机床常用在零件复杂程度较高、精度较高、品种多变、批量中等的生产场合。

6. 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车、铣、镗、钻、铰、攻螺纹、轮廓加工等多个工序的加工。因此，加工中心具有工序集中、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，且生产批量中等的生产场合。根据所处理的对象不同，加工中心又可分为铣削加工中心和车削加工中心。

7. 柔性制造单元

柔性制造单元是一种小型化柔性制造系统。柔性制造单元和柔性制造系统两者之间的概念比较模糊，通常认为，柔性制造单元是由1—3台计算机数控机床或加工中心所组成，单元中配备有某种形式的托盘交换装置或工业机器人，由单元计算机进行程序编制及分配、负荷平衡和作业计划控制。与柔性制造系统相比，柔性制造单元的主要优点是：占地面积较小，

系统结构不很复杂，成本较低，投资较小，可靠性较高，使用及维护均较简单。因此，柔性制造单元是柔性制造系统的主要发展方向之一，深受各类企业的欢迎。就其应用范围而言，柔性制造单元常用于品种变化不是很大、生产批量中等的产品生产。

8. 柔性制造系统

一个柔性制造系统一般由四部分组成：两台以上的数控加工设备、一个自动化的物料及刀具储运系统、若干台辅助设备(如清洗机、测量机、排屑装置、冷却润滑装置等)和一个由多级计算机组成的控制和管理系统。到目前为止，柔性制造系统是最复杂、自动化程序最高的单一性质的制造系统。柔性制造系统内部一般包括两类不同性质的运动，一类是系统的信息流，另一类是系统的物料流，物料流受信息流的控制。

柔性制造系统的主要优点是：①可以减少机床操作人员。②由于配有质量检测和反馈控制装置，零件的加工质量很高。③工序集中，可以有效减少生产面积。④与立体仓库相配合，可以实现 24 小时连续工作。⑤由于集中作业，可以减少加工时间。⑥易于和管理信息系统、工艺信息系统及质量信息系统结合形成更高级的制造自动化系统。

柔性制造系统的主要缺点是：①系统投资大，投资回收期长。②系统结构复杂，对操作人员的要求很高。③结构复杂使得系统的可靠性较差。一般情况下，柔性制造系统适用于品种变化不大，批量在 200~2500 件的中等批量生产。

9. 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统是目前最高级别的制造自动化系统，但这并不意味着它是完全自动化的制造系统。事实上，目前意义上计算机集成制造系统的自动化程度甚至比柔性制造系统还要低。计算机集成制造系统强调的主要是信息集成，而不是制造过程物流的自动化。计算机集成制造系统的主要特点是系统十分庞大，包括的内容很多，要在一个企业完全实现难度很大，但可以采取部分集成的方式，逐步实现整个企业的信息及功能集成。

第三节 自动化制造的发展过程及趋势

一、自动化制造的发展过程

自动化制造的发展过程可分为五个阶段，如图 1-1 所示。

第一阶段：刚性自动化，包括刚性自动线和自动单机。

刚性自动化技术在 20 世纪 40~50 年代已相当成熟。通过应用传统的机械设计与制造工艺方法，采用专用机床和组合机床、自动单机或自动化生产线进行大批量生产。其特征是高生产率和刚性结构，很难实现生产产品的改变。引入的新技术包括继电器程序控制，组合机

床等。

第二阶段：数控加工，包括数控(NC)和计算机数控(CNC)。

数控加工技术在 20 世纪 50~70 年代发展迅速并已成熟，但到了 70~80 年代，由于计算机技术的发展，它迅速被计算机数控(CNC)取代。数控加工设备包括数控机床、加工中心等。数控加工的特点是柔性好、加工质量高，适应于多品种、中小批量(包括单件产品)的生产。引入的新技术包括数控技术，计算机编程技术等。

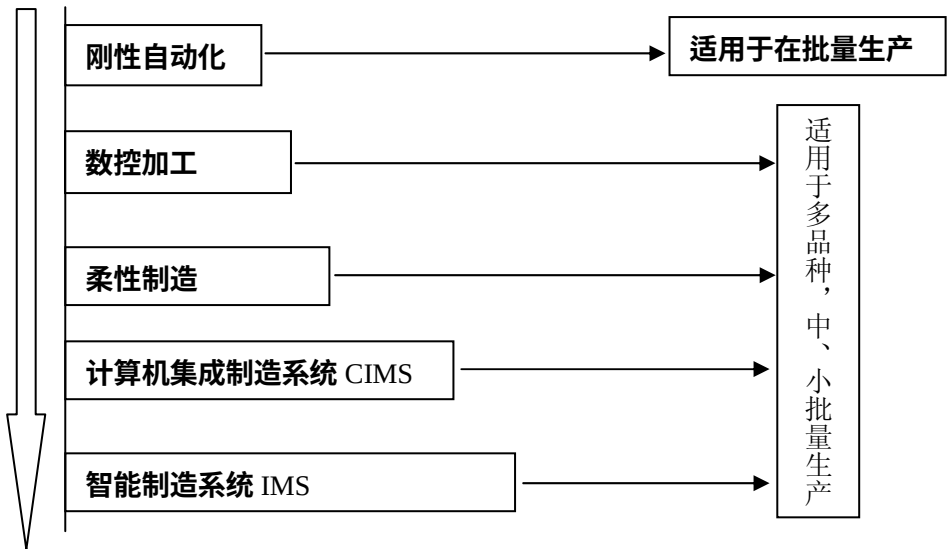


图 1-1 制造自动化的发展过程

第三阶段：柔性制造，包括计算机直接数控(DNC)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、柔性加工线(FML)等。

柔性制造的特征是强调制造过程的柔性和高效率，适应于多品种、中小批量的生产。涉及的主要技术包括成组技术(GT)、DNC、FMC、FMS、FML、离散系统理论与方法、仿真技术、车间计划与控制、制造过程监控技术、计算机控制与通信网络等等。

第四阶段：计算机集成制造系统(CIMS)。

CIMS 既可看作是制造自动化发展的一个新阶段，又可看作是包含制造自动化系统的一个更高层次的系统。CIMS 在 20 世纪 80 年代以来得到了迅速发展，其特征是强调制造全过程的系统性和集成性，以解决现代企业生存与竞争的 TQCS 问题，即产品上市快(Time)、质量好(Quality)、成本低((Cost)和服务好(Service)。CIMS 涉及的学科和技术非常广泛，包括现代制造技术、管理技术、计算机技术、信息技术、自动化技术和系统工程技术等。

第五阶段：智能制造系统(IMS)

智能制造系统(Intelligent Manufacturing System，简称 IMS)是制造自动化的发展方向。

二、自动化制造的发展趋势

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及技术提出了多种不同的要求,这些要求也同时代表了机械制造自动化今后的发展趋势。

1. 高度智能集成化

随着计算机集成制造技术和人工智能技术在制造系统中的广泛应用,带有智能已成为制造自动化系统的主要特征之一。智能集成化制造系统可以根据外部环境的变化自动地调整自身的运行参数,使系统始终处于最佳运行状态,称为系统具有自律能力。智能集成制造系统还具有自决策能力,能够最大限度地自行解决系统运行过程中所遇到的各种问题。由于有了智能,系统就可以自动监视本身的运行状态,发现故障则自动给予排除。如发现故障正在形成,则采取措施防止故障的发展。智能集成化制造系统还应与 CIMS 的其他分系统共同集成成为一个有机的整体,以实现信息资源的共享,它的集成性不仅仅体现在信息的集成上,它还包括另一个层次的集成,即人和技术之间的集成,实现人机功能的合理分配,并能够充分发挥人的主观能动性。带有智能的制造系统还可以在最佳加工方法和加工参数选择、加工路线的最佳化和加工质量智能控制等方面发挥重要作用。总之,智能集成化制造系统具有自适应能力、自学习能力、自修复能力、自组织能力和自我优化能力。因而,这种具有智能的集成化制造系统将是制造自动化系统的主要发展趋势之一。但由于受到人工智能技术发展的限制,智能集成型制造自动化系统的实现将是个缓慢的过程。

2. 人机结合的适度自动化

传统的自动化制造系统往往过分强调完全自动化,对如何发挥人的主导作用考虑甚少。但在先进生产模式下的自动化制造系统却并不过分强调它的自动化水平,而是强调人机功能的合理分配,强调充分发挥人的主观能动性。因此,先进生产模式下的自动化制造系统是人机结合的适度自动化系统。这种系统的成本不高,但运行可靠性却很高,系统的结构也比较简单,它的主要缺陷是人的情绪波动会影响系统的运行质量。在先进生产模式下特别是智能制造系统中,计算机可以取代人的一部分思维、推理及决策活动,但绝不是全部。在这种系统中,起主导作用的仍然是人,因为无论计算机如何“聪明”,它的智能将永远无法与人的智能相提并论。

3. 强调系统的柔性和敏捷性

传统的自动化制造系统的应用场合往往是大批量生产环境,这种环境不特别强调系统具有柔性。但先进生产模式下的自动化制造系统面对的却是多品种、小批量生产环境和不可预测的市场需求,这就要求系统具有比较大的柔性,能够满足产品快速更换的要求。实现自动

化制造系统柔性的主要手段是采用成组技术和计算机控制的、模块化的数控设备。但这里所说的柔性与传统意义上的柔性却不同，我们称之为敏捷性。传统意义上的柔性制造系统仅能在一定范围内具有柔性，而且系统的柔性范围是在系统设计时就预先确定了的，超出这个范围时系统就无能为力。但先进生产模式下的自动化制造系统面对的是无法预测的外部环境，无法在规划系统时预先设定系统的有效范围，但由于系统具有智能且采用了多种新技术(如模块化技术和标准化技术)，因此不管外部环境如何变化，系统都可以通过改变自身的结构与之适应。智能制造系统的这种“敏捷性”比“柔性”具有更广泛的适应性。

4. 功能扩展化

理论上，完整的自动化制造系统包括毛坯的制备、物料的存储、运输、加工、辅助处理、零件检验、装配、部件及成品测试、油漆和包装等内容，并将它们集成为一个有机的整体。但目前的制造自动化主要是面向零件加工的，其他内容则涉及较少。未来的自动化制造系统应逐步向前扩展到毛坯的自动制备，向后扩展到自动装配、自动测试及自动包装等。

5. 小型化

小型化的自动化制造系统结构相对简单，可靠性较高，容易使用和管理，寿命周期成本也较低，投资小、见效快，并且一般情况下均能满足使用要求。所以，将来的用户将会更加钟情于小型化的自动化制造系统，如 DNC 和 FMC。

6. 简单化

在满足使用要求的条件下，自动化制造系统的结构将会愈来愈简单，冗余功能、极少用到的功能以及由人来实现极其简单，但由系统自动实现却十分复杂的功能将会愈来愈少。结构简单可以带来寿命周期成本低、可靠性高、容易使用 and 管理的优点，还可以减少对熟练工人的需求。可以认为，简单化将是自动化制造系统的一个主要发展方向。

7. 环保化

可持续发展问题是目前人类社会最迫切需要解决的问题之一，资源和环境是可持续发展的两个主要问题。制造系统作为能源和资源消耗以及环境污染的“大户”，应该首先实施可持续发展战略。因此，在系统的规划及运行过程中，应将资源和能源的优化利用以及环境保护作为主要目标之一进行控制。

第二章 加工设备自动化

加工设备自动化是指在加工过程中所用的加工设备能够高效、精密、可靠地自动进行加工，此外还应能进一步集中工序和具有一定的柔性。所谓高效就是生产率要达到一定高的水平；精密即成品公差带的分散度小，成品的实际公差带要压缩到图样中规定的一半或更小，期望成品不必分组选配，从而达到完全互装配，便于实现“准时方式”的生产；可靠就是其设备已能达到极少故障，利用班间休息时间按计划换刀，能常年三班制不停地生产。此外，设备能进一步集中工序，在一台设备或一个自动化加工系统中完成一个工件从坯料到总装前的全部工序，提高加工经济性。设备还可能有一定的柔性，以适应少量品种的生产，甚至有较大的柔性，以适应多品种的生产。

自动化加工设备按自动化程度可分为自动化单机、刚性自动化生产线、刚性综合自动化系统、柔性制造单元、柔性制造系统等。

第一节 单机自动化

单机自动化是大批量生产提高生产率、降低成本的重要途径。单机自动化往往具有投资省、见效快等特点，因而在大批量生产中被广泛采用。

一、实现单机自动化的方法

实现单机自动化的方法概括起来有以下四种，分别叙述如下。

1. 采用通用自动机床或半自动机床实现单机自动化

这类机床主要用于轴类和盘套类零件的加工自动化，例如单轴自动车床、多轴自动车床或半自动车床等。使用单位一般可根据加工工艺和加工要求向制造厂购买，不需特殊订货。这类自动机床的最大特点是可以根据生产需要，在更换或调整部分零部件(例如凸轮或靠模等)后，即可加工不同零件，适合于大批量多品种生产。因此，这类机床使用比较广泛。

2. 采用组合机床实现单机自动化

组合机床一般适用于箱体类和杂件类(例如发动机连杆等)零件的平面、各种孔和孔系的加工自动化。组合机床是一种由通用化零、部件为基础设计和制造的专用机床，一般只能对一种(或一组)工件进行加工，往往能在同一台机床上对工件进行多面、多孔和多工位加工，加工工序可高度集中，具有很高的生产率。由于这种机床的主要零、部件已通用化和已批量生产，因此，组合机床具有设计、制造周期短、投资省的优点，是箱体类和杂件类零件大批量生产实现单机自动化的最主要手段。

3. 采用专用机床实现单机自动化

专用机床是为一种零件(或一组相似的零件)的一个加工工序而专门设计制造的自动化机床。专用机床的结构和部件一般都是专门设计和单独制造的，这类机床的设计、制造往往时间较长，投资也

较大，因此采用这类机床时，必须考虑以下基本原则：

- (1)被加工的工件除具有大批量的特点外，还必须结构定型。
- (2)工件的加工工艺必须是合理和可靠的。在大多数情况下，需要进行必要的工艺试验，保证专用机床所采用的加工工艺先进可靠，所完成的工序加工精度稳定。
- (3)采用一些新的结构方案时，必须进行结构性能试验，待取得较好的结果后，方能在机床上采用。
- (4)必须进行技术经济分析。只有在技术经济分析认为效益明显后，才能采用专用机床实现单机自动化。

4. 采用通用机床进行自动化改装实现单机自动化

在一般机械制造工厂中，为了充分发挥设备潜力，可以通过对通用机床进行局部改装，增加或配置自动上下料装置和机床的自动工作循环系统等，实现单机自动化。由于对通用机床进行自动化改装要受被改装机床原始条件的限制，要按被加工工件的加工精度和加工工艺要求来确定改装的内容，而且各种不同类型和用途的机床具有各不相同的技术性能和结构，被加工工件的工艺要求也是各不相同，所以改装涉及的问题比较复杂，必须有选择地进行改装。总的说来，机床改装的投资少、见效快、能充分发挥现有设备的潜力，因此，是实现单机自动化的重要途径。

二、自动化机床的生产率分析

无论是通用机床进行自动化改装，或是设计专用的自动化机床，其主要目的都在于提高劳动生产率。此处先对自动化机床生产率作概括地分析。

当自动化机床连续生产时，加工一个工件的时间 t_g 是由切削时间和辅助时间组成的，即：

$$t_g = t_q + t_f \quad (2-1)$$

式中， t_g 是加工一个工件的时间（分钟），由切削时间和辅助时间组成； t_q 是刀具对工件进行切削的时间（分钟），包括切入和切出时间在内； t_f 是空程辅助时间（分钟），包括机床执行机构的快速空行程时间，以及装卸、定位夹紧、测量等辅助时间。

因此，由工作循环时间所决定的生产率：

$$Q = \frac{1}{t_g} = \frac{1}{t_q + t_f} \quad (\text{件/分}) \quad (2-2)$$

显然，为了提高生产率必须同时减少 t_q 和 t_{f0} 一方面采用先进的加工方法、先进刀具和提高切削用量等措施减少切削时间，一方面在拟订自动化方案时，尽可能减少空程辅助时间，例如：选取较高的空行程速度，尽量减少工作循环中的辅助动作；减少定位夹紧、装卸料和测量工件的时间，