

普通高等教育机电类规划教材

# 机械制造自动化技术

主编 周骥平 林 岗  
参编 汪通悦 邱胜海  
主审 易 红



机械工业出版社

本书围绕机械制造全过程，系统地介绍了各方面的自动化基本原理、技术、方法和实际应用。包括自动化的有关基本概念，加工设备自动化，物料供输自动化，刀具自动化，检测过程自动化，装配自动化，工业机器人，集成制造系统等方面的技术、方法和应用。可满足机械制造类学生系统地掌握有关机械制造自动化方面的基本原理，了解机械制造中各主要单元和系统的自动化方法以及各种自动化装置的结构原理和特点，并提高其应用管理能力的需要。本书在内容取舍上注重其实用性和应用性，在内容编排上遵循循序渐进的原则，努力做到深入浅出、详略有序、以利于读者了解和掌握其基本概念和应用技术。全书各章内容尽量相对独立，并附有复习思考题及参考文献，以利于读者根据需要查阅使用。

本书可作为高等工科院校机械工程及其自动化等专业的教学参考书，也可供从事机械制造技术的人员参考使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造自动化技术/周骥平，林岗主编.—北京：机械工业出版社，2001.8

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7 - 111 - 09206 - 6

. 机... . 周... 林... . 机械制造 - 自动化技术 - 高等学校 - 教材 .TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 051739 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：高文龙 版式设计：霍永明 责任校对：孙志筠

封面设计：姚毅 责任印制：

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mmB5·6.875 印张·265 千字

0 001— 册

定价： 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677 - 2527

# 普通高等教育机电类规划教材编审委员会

主任委员：邱坤荣

副主任委员：黄鹤汀

左健民 高文龙

王晓天 蔡慧官

秘 书：周骥平

委 员：(排名不分先后)

沈世德 周骥平

徐文宽 唐国兴

韩雪清 戴国洪

李纪明 吴建华

鲁屏宇 王钧

赵连生

# 序

人类满怀激情地跨入了充满机遇与挑战的 21 世纪。这个世纪是经济全球化、科技创新国际化的世纪，是新经济占主导地位的世纪，是科学技术突飞猛进、不断取得新突破的世纪。这个世纪对高等教育办学理念、体制、模式、机制和人才培养等各个方面都提出了全新的要求，培养的人才必须具备新思想新观念、不断创新、善于经营和开拓市场、有团队精神等素质。

机械高等工程教育是我国高等教育的重要组成部分，21 世纪对它的挑战同样是严峻的。随着现代科学技术的迅猛发展，特别是微电子技术、信息技术的发展，它们与机械技术紧密结合，从而形成传统制造技术、信息技术、自动化技术、现代管理技术等相交融、渗透的先进制造技术，使制造业和制造技术的内涵发生了深刻的变化。面向 21 世纪的机械制造业正从以机器为特征的传统技术时代迈向以信息为特征的系统技术时代。制造技术继续沿着 20 世纪 90 年代展开的道路前进。制造技术和自动化水平的高低已成为一个国家或地区经济发展水平的重要标志。而目前我国的制造技术与国际先进水平还有较大差距，亟需形成我国独立自主的现代制造技术体系。面对这一深刻的变化和严峻的形势，我们必须认真转变教育思想，坚持以邓小平同志提出的“三个面向”和江泽民同志提出的“四个统一”为指导，以持续发展为主题，以结构优化升级为主线，以改革开放为动力，以全面推进素质教育和改革人才培养模式为重点，以构建新的教学内容和课程体系、深化方法和手段改革为核心，努力培养素质高、应用能力与实践能力强、富有创新精神和特色的应用性的复合型人才。

基于上述时代背景和要求，由国家机械工业局教编室、机械工业出版社、江苏省教育厅（原江苏省教委）、江苏省以及部分省外高等工科院校成立了教材编审委员会，并组织编写了机械工程及自动化专业四个系列成套教材首批 31 本，作为向新世纪的献礼。

这套教材力求具有以下特点：

(1) 科学定位。本套教材主要用于应用性本科人才的培养。

(2) 强调实际、实践、实用，体现“浅、宽、精、新、用”所谓“浅”，就是要深浅适度；所谓“宽”，就是知识面要宽些；所谓“精”，就是要少而精，不繁琐；所谓“新”，就是要跟踪应用学科前沿，跟踪技术前沿，推陈出新，反映时代要求，反映新理论、新思想、新材料、新技术、新工艺；所谓“用”，就是要理论联系实际，学以致用。

(3) 强调特色。就是要体现一般工科院校的特点、特色，符合一般工科院校的实际教学要求，不盲目追求教材的系统性和完整性。

(4) 以学生为本。本套教材尽量体现以学生为本、以学生为中心的教育思想，不为教而教，要有利于培养学生自学能力和扩展、发展知识能力，为学生今后持续创造性学习打好基础。

当然，本套教材尽管主观上想以新思想、新体系、新面孔出现在读者面前，但由于是一种新的探索以及其它可能尚未认识到的因素，难免有这样那样的缺点甚至错误，敬请广大教师和学生以及其他读者不吝赐教，以便再版时修正和完善。

本套教材的编审和出版得到了国家机械工业局教编室、机械工业出版社、江苏省教育厅以及各主审、主编和参编学校的大力支持和配合，在此，一并表示衷心感谢。

普通高等教育机械工程及自动化专业机电类规划教材编审委员会  
主任 邱坤荣  
2001年元月于南京

# 前 言

随着科学技术的不断进步，机械制造技术的水平在不断的提高，特别是随着机电一体化技术、计算机辅助技术和信息技术的发展，当今世界机械制造业已将进入全盘自动化的时代。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。作为制造业自动化主要组成部分的机械制造自动化是企业实现自动化生产、参与市场竞争的基础。对机械制造过程各个环节自动化技术的了解，即在熟悉掌握机械制造的基本理论和技术的基础上，了解掌握现代机械制造的新手段、新方法、新技术，即自动化的基本理念，是适应现代工业企业对机械类专业人才培养需求以及自身适应能力增强的必然需求。我们编写此书就是为了适应工科院校机械类专业人才培养的发展趋势，满足学生系统的掌握有关机械制造自动化方面的基本原理，了解机械制造中各主要单元和系统的自动化方法以及各种自动化装置的工作原理和特点，并提高其应用管理能力。

本书的编写主要是围绕机械制造全过程，系统地介绍各种自动化技术、方法和实际应用，包括设备、装置、手段、方式、过程和系统等。在课程的内容取舍上注重其实用性和应用性，在课程内容的编排上遵照循序渐进的原则，努力做到深入浅出、详略有序、以利于读者了解和掌握其基本概念和应用常识。而且课程的各章内容尽量相对独立，以利于读者根据需要查阅使用。编写时注意与《机械制造技术》、《机械制造装备》和《现代制造技术》等课程内容的衔接和关系。同时，为便于本教材的学习和讲授，与本书配套相应的CAI课件，该课件主要汇集相关过程的自动化技术图像资料。

本书第一章概述、第二章加工设备自动化由扬州大学工学院周骥平同志编写，第三章物料供输自动化、第七章工业机器人由河海大学机电学院林岗同志编写，第四章刀具自动化、第六章装配自动化由淮阴工学院汪通悦同志编写，第五章检测过程自动化、第八章集成制造系统由南京工程学院邱胜海同志编写。全书由周骥平、林岗主编。东南大学易红教授担任了本书的主审。

在本书的编写中，江苏省地方一般性工科院校机制专业教改协作组给予了指导和帮助，并提出了许多宝贵意见，在此特表示衷心的感谢。参加编写的作者所在学校的许多领导和老师在本书的编写过程中也提供了不少帮助，在此也一并致谢。此外，我们在编写本书的过程中，参考并选用了近几年来国内出版的有关自动化方面的教材、论著和手册，我们向有关的著作者表示诚挚的谢意并希望得到

他们的指教。

限于编者水平，由于本课程是新的体系，许多问题有待于探讨与实践总结。因此，书中的缺点与错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2001年4月于扬州

# 目 录

序	
前言	
第一章 概述 .....	1
第一节 机械自动化的基本概念和主要内容 .....	1
第二节 机械自动化的类型 .....	3
第三节 发展及趋势 .....	6
复习思考题 .....	11
第二章 加工设备自动化 .....	12
第一节 加工设备自动化的意义、方法与分类 .....	12
第二节 设备自动化的控制方式 .....	15
第三节 单机工作自动化 .....	32
第四节 加工自动线 .....	50
复习思考题 .....	62
第三章 物流供输自动化 .....	63
第一节 概述 .....	63
第二节 单机自动供料装置 .....	64
第三节 自动线输送系统 .....	72
第四节 柔性物流系统 .....	81
第五节 物流系统的建模与仿真 .....	95
复习思考题 .....	102
第四章 刀具自动化 .....	103
第一节 自动化用刀具和辅具 .....	103
第二节 排屑自动化 .....	106
第三节 换刀自动化装置 .....	110
复习思考题 .....	115
第五章 检测过程自动化 .....	116
第一节 制造过程的检测技术 .....	116
第二节 工件的自动识别和检测 .....	119
第三节 刀具的自动识别和检测 .....	128
第四节 自动化加工的监控系统 .....	132
复习思考题 .....	138
第六章 装配自动化 .....	139

第一节	基本概况 .....	139
第二节	自动装配工艺过程分析 .....	143
第三节	自动装配机 .....	148
第四节	自动装配线 .....	152
第五节	自动装配系统 .....	158
	复习思考题 .....	164
<b>第七章</b>	<b>工业机器人</b> .....	<b>165</b>
第一节	概述 .....	165
第二节	工业机器人的机械系统 .....	169
第三节	工业机器人控制技术 .....	172
第四节	机器人的视觉 .....	177
第五节	机器人的智能 .....	181
	复习思考题 .....	184
<b>第八章</b>	<b>集成制造系统</b> .....	<b>185</b>
第一节	基本概念 .....	185
第二节	柔性制造技术 .....	189
第三节	计算机集成制造系统 .....	196
第四节	其它先进制造技术简介 .....	202
	复习思考题 .....	208
	<b>参考文献</b> .....	<b>209</b>

# 第一章 概 论

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。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。机械制造自动化是制造自动化的主要组成部分，它主要控制机械运动（如刀具、工件、毛坯等的运动）及可能变化的制造工艺，使整个生产处于优化状态。以机械加工和装配为主要代表的机械制造业要实现自动化，比之其它制造业来要困难得多，主要就表现在自动化机构上。这是因为机械制造中所使用的材料、加工手段等较为复杂，对制造对象要求高精密、高准确的定向、定位，可靠的识别装置、握持装置等。因此，需要各种各样的装料、卸料、定向整理、夹紧握持、运送、识别、测量等自动化机构。机械制造自动化就是在机械制造过程的所有环节采用自动化技术，实现机械制造全过程的自动化。本书将侧重于机械制造过程的主要环节包括加工、物料传输、检测与控制、刀具、装配等采用的自动化技术。

## 第一节 机械制造自动化的基本概念和主要内容

### 一、自动化的基本概念

任何制造过程都是由若干个工序组成的。而在一个工序中，又包含着若干种基本动作。如传动动作、上下料动作、换刀动作、切削动作以及检验动作等。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是由机器（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起来，而工人所要做的工作只是对这一工序作总的操纵和监督，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、工序间的检验和输送）都自动进行，而工人仅只是对这一整个工艺过程作总的操

纵和监督，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，这时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主要有：

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验自动化技术等。

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它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，可以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

机械制造业按其产品特点可分为如下三类：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，减少废品率，因而就减少了对生产的投入，提高了投入产出比，因此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笨重、艰苦、繁琐甚至对人体有害的工作，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，十分有利于产品的更新。

#### 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。

## 第二节 机械制造自动化的类型

### 一、机械制造自动化系统的构成

从系统的观点来看，一般地机械制造自动化系统主要有以下四个部分所构成：

#### 1. 加工系统

即能完成工件的切削加工、排屑、清洗和测量的自动化设备与机构；

#### 2. 工件支撑系统

即能完成工件输送、搬运以及存储功能的工件供给装置；

#### 3. 刀具支撑系统

即包括刀具的装配、输送、交换和存储装置以及刀具的预调和管理系统；

#### 4. 控制与管理系统

即对制造过程的监控、检测、协调与管理。

### 二、自动化的分类

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

#### 1. 按制造过程分

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. 按设备分

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. 按控制方式分

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。

## 三、机械制自动化的特点和适用范围

不同的自动化类型有着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一简单的介绍。

### 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，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，工人的劳动强度也大。

### 2. 刚性自动化单机

它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循环。这种机床往往需要定做或改装，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，是大量生产最常见的加工装备。

### 3. 刚性自动线

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大系统。在刚性自动线上，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、大量生产必不可少的加工装备。除此之外，刚性自动线还具有可以有效缩短生产周期，取消半成品的中间库存，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，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，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（例如可换主轴箱），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果。组合机床自动线主要用于箱体类零件和其它类型非回转件的钻、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），对于其它自动化制造内容如热处理、锻压、焊接、装配、检验、喷涂甚至包装却不可能全部包括在内。包括上述内容的复杂大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，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（Numerical Control Machine Tools - NCMT）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量来控制机床，按照事先编好的程度，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、冷却等工作。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整，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不高、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（Machining Centre - MC）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，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（Flexible Manufacturing Cell - FMC）是一种小型化柔性制造系统，FMC和FMS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、生产批量中等的生产规模。

### 8. 柔性制造系统

一个柔性制造系统（Flexible Manufacturing System - FMS）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：可以减少机床操作人员。由于配有质量检测和反馈控制装置，零件的加工质量很高。工序集中，可以有效减少生产面积。与立体仓库相配合，可以实现 24h 连续工作。由于集中作业，可以减少加工时间。易于和管理信息系统（MIS）、工艺信息系统（TIS）及质量信息系统（QIS）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：系统投资大，投资回收期长。系统结构复杂，对操作人员的要求很高。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（Computer Integrated Manufacturing System - CIMS）的概念详见第八章。CIMS 是目前最高级别的制造自动化系统，但这并不意味着 CIMS 是完全自动化的制造系统。事实上，目前意义上 CIMS 的自动化程度甚至比柔性制造系统还要低。CIMS 强调的主要是信息集成，而不是制造过程物流的自动化。CIMS 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 发展及趋势

### 一、自动化发展历程

自动化的历史可以追溯到 2500 年前工具机（一种原始的转动器具）的出现，应用它，工匠们能以木材或其它硬性材料生产出较复杂的圆形产品。直到 14 世纪，才发明了第一个原型的精密机器。德多迪·乔万尼（Giovanni DeDondi, 1318 ~ 1389）提出了机械重量驱动的时钟，推动了第一台真正的工具机（如螺丝加工机床）的发展。自 18 世纪中叶瓦特发明蒸汽机而引发工业革命以来，自动化技

术就伴随着机械化得到了迅速发展。从其发展历程看，自动化技术大约经历了四个发展阶段：

第一个阶段：从 1870 年到 1950 年左右，纯机械控制随着电液控制的刚性自动化加工单机和系统得到长足发展。如 1870 年美国发明了自动制造螺丝的机器，继而在 1895 年发明多轴自动车床，它们都属于典型的单机自动化系统，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 年原苏联研制成功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形式的自动化系统。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，汽车的成本大幅度降低，汽车的质量也得到明显改善。随后，西方其它工业化国家、前苏联以及日本都开始广泛采用制造自动化技术和系统，使这种形式的制造自动化系统得到迅速的普及，其技术也日趋完善，它在生产实践中的应用也达到高峰。尽管这种形式的制造自动化系统仅适合于像汽车这样的大批量生产，但它对人类社会的发展却起到了巨大的推动作用。值得注意的是，在此期间，前苏联于 1946 年提出成组生产工艺的思想，它对制造自动化系统的发展具有极其重要的意义。一直到目前，成组技术仍然是制造自动化系统赖以生存和发展的主要技术基础之一。

第二阶段：从 1952 年到 1965 年，数控技术 (Numerical Control—NC)，特别是单机数控得到飞速发展。数控技术的出现是制造自动化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，几乎是目前经济性实现小批量生产自动化的唯一实用技术。第一台数控机床于 1952 年在美国的麻省理工学院研制成功，它一出现，立即得到人们的普遍重视，从 1956 年开始就逐渐在中、小批量生产中得到使用。1953 年，麻省理工学院又研制成功著名的数控加工自动编程语言 (Automatically Programmed Tools - APT)，为数控加工技术的发展奠定了基础。1958 年，第一台具有自动换刀装置和刀库的数控机床即加工中心 (MC) 在美国研制成功，进一步提高了数控机床的自动化程度。第一台工业机器人 (Industrial Robot) 于 1959 年出现于美国。最早的工业机器人是极坐标式的，它的出现对制造自动化技术具有很大意义。工业机器人不但是制造自动化系统中必不可少的自动化设备，它本身也可单独工作，自动进行装配、焊接、喷涂、热处理、清砂、浇注铸件等工作。1960 年，美国研制成功自适应控制机床 (Adaptive Control Machine Tools)，使机床具有了一定的智能色彩，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制造自动化系统，可以称为计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing - CAM) 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及绘图系统 (Computer Aided Design - CAD)，后者为自动化设计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（Computerized Numerical Control - CNC）具有很重要的意义，因为它的出现为实现更高级别的制造自动化系统扫清了技术障碍。

第三个阶段：从1967年到80年代中期，是以数控机床和工业机器人组成的柔性制造自动化系统得到飞速发展的时期。1967年英国的Molins公司研制成功计算机控制6台数控机床的可变制造系统，这个系统被称为最早的柔性制造系统，它的出现成功地解决了多品种、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，美国的Sundstand公司和日本国铁大宫工厂也相继研制成功计算机控制的数控系统。1969年日本研制出按成组加工原则的IKEGAI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。70年代初出现了小型制造自动化系统即柔性制造单元。柔性制造单元和柔性制造系统到目前仍是制造自动化的最高级型式，即自动化程序最高并且实用的系统。1980年日本建成面向多品种、小批量生产的无人化机械制造厂—富士工厂。从毛坯及外购件入库、搬运、加工、成品入库等除装配以外的其它工序均实现完全自动化。20世纪80年代初期还搞了一个由机器人进行装配的全自动化电机制造厂和一个规模庞大的利用激光加工的综合柔性制造系统。需要指出的是，这种无人自动化工厂的努力却是不成功的，原因并不在技术，而主要在于它的经济性太差并忽视了人在制造系统中的核心作用。

第四个阶段：从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（CIMS），并被认为是21世纪制造业新模式。CIMS是由美国人约瑟夫·哈林顿于1974年提出的概念，其基本思想是借助于计算机技术、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，将制造过程中有关的人、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质流的有机集成实现系统的优化运行。所以说，CIMS技术是集管理、技术、质量保证和制造自动化为一体的广义制造自动化系统。

我国第一条机械加工自动线于1956年投入使用，是用来加工汽车发动机汽缸体端面孔的组合机床自动线。第一条加工环套类零件的自动线是1959年建成的加工轴承内外环的自动线。第一条加工轴类零件的自动线是1969年建成的加工电机转子轴的自动线。1964年以后不到10年时间，我国机床行业就为第二汽车制造厂（即现在的东风汽车集团公司）提供了57条自动线和8000多台自动化设备，表明我国提供制造自动化系统的能力有了很大的发展。我国数控机床以1958年研制成功的数控立铣为开端，1973年起集中力量研制数控机床、加工中心及计算机数控机床。到1985年底，我国生产的数控机床的品种已达50余种，并远销国外。应该看到，我国数控机床虽然有了长足的发展，但存在着技术水平