

Jixiezhizao Zidonghua

机械制造 自动化

● 全燕鸣 编著

华南理工大学出版社

机械制造自动化

全燕鸣 编著



华南理工大学出版社

·广州·

内 容 简 介

本书按照机械制造自动化的基本原理、制造信息流自动化、制造物流自动化的模块顺序安排章节,主要内容包括机械制造自动化的基本概念和实现机械制造工艺过程自动化的途径,制造信息流自动化,物料操作和运储自动化,加工自动化,装配自动化,检测自动化,柔性制造系统以及集成制造系统。

本书的特点:一是内容丰富并与时俱进,在传承历史发展所积累的知识和经验的基础上,填补和更新了近年相关技术的发展,不失先进性和新颖性;二是理论联系实际,除介绍机械自动化基本理论外,还有大量实用装置的原理示意图和实际结构图以及部分实例。

本书可用作机械类高年级本科生和研究生的授课教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造自动化/全燕鸣编著. —广州:华南理工大学出版社,2008.6
ISBN 978-7-5623-2794-3

I. 机… II. 全… III. 机械制造-自动化技术-高等学校-教材 IV. TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 051482 号

总 发 行: 华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)
营销部电话:020-22236378 22236185 87110964 87111048(传真)
E-mail: z2cb@scut.edu.cn http://www.scutpress.com.cn

责任编辑: 赖淑华 林炳清

印 刷 者: 广州市穗彩彩印厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 16.25 字数: 416 千

版 次: 2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 1~2 000 册

定 价: 28.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

机械制造自动化是机械工程类高年级本科生的一门专业课程，笔者长期从事该课程的教学工作。这些年，适合于该课程教学的正式出版的教材很少，笔者很长时间主要用云南人民出版社 1985 年出版的《机械制造工艺过程自动化》，自己再补充一些材料。近十余年来，机械制造技术发展迅速，尤其计算机技术和信息技术引入制造领域所带来的巨大影响，使制造自动化的概念和自动化技术延伸的深度与广度都大有变化。面向将要服务于机械制造业的高年级本科生，笔者强烈地感觉到授课内容和形式都应与时俱进。因此，更新教材的念头不时萦绕于笔者脑海。笔者近年来留意新出版的相关教材，但感觉它们专的太专，简的太简，都不如《机械制造工艺过程自动化》适合于本科教学。此外，在指导研究生的过程中，笔者感觉近年从机械类本科本专业应届毕业生升读的研究生普遍欠缺机械制造自动化方面的知识和工程素养，他们也很需要有适当的授课教材或自学教材。适逢华南理工大学设立教材出版基金，笔者趁此机会申请编写并出版《机械制造自动化》新教材立项。不敢说本书有多少优点，但笔者根据自己多年的教学实践体会和当前机械制造业的状态，参考许多相关教材，认真地组织本书的内容和编排结构，力图体现内容丰富并与时俱进、理论联系实际、层次条理清晰的特点。

本书按照机械制造自动化的基本原理、制造信息流自动化、制造物流自动化的模块顺序安排章节，主要内容包括机械制造自动化的基本概念和实现机械制造工艺过程自动化的途径，制造信息流自动化，物料操作和运储自动化，加工自动化，装配自动化，检测自动化，柔性制造系统以及集成制造系统。书中含有大量实用装置的原理示意图和实际结构图以及部分实例。在阐述传统制造自动化技术的基础上，注重介绍新技术新趋势，例如一些新产品、最近的科研成果（包括笔者科研组的）和发展动向（如国家“十一五”制造业信息化工程）。

本书试图满足对机械工科高年级本科生和研究生进行制造自动化教学所用教材的需要，同时也可作为从事机械制造自动化工作的科技人员的参考书。

本书参考了许多相关教材和学术期刊论文，在此对这些文献的作者表示诚挚的感谢。笔者指导的博士研究生王中任和硕士研究生朱国强参与了本书的资料收集整理及图表绘制工作，在此也感谢他们为之付出的辛劳。

由于笔者水平所限，书中不免存在错误和不足，恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 9 月

目 录

第 1 章 机械制造自动化的基本原理	(1)
1.1 机械制造自动化的意义和发展历史	(1)
1.2 机械制造自动化的主要内容和发展趋势	(3)
1.3 机械制造自动化的基本概念	(4)
1.4 机械制造自动化的技术经济	(6)
1.5 实现机械制造工艺过程自动化的途径	(11)
第 2 章 信息流自动化	(13)
2.1 计算机辅助设计(CAD)	(13)
2.2 计算机辅助制造(CAM)	(15)
2.3 计算机辅助工艺设计(CAPP)	(18)
2.4 产品数据管理系统(PDM)	(22)
2.5 企业资源计划(ERP)	(25)
2.6 供应链管理(SCM)	(31)
第 3 章 物料操作和运储自动化	(33)
3.1 上下料自动化	(33)
3.2 输料自动化	(48)
3.3 自动线辅助工作自动化	(57)
3.4 刀具更换和输送自动化	(68)
3.5 物料输送机器人	(74)
第 4 章 加工自动化	(85)
4.1 单机自动化概述	(85)
4.2 通用机床的自动化改造	(90)
4.3 自动和半自动机床	(98)
4.4 数控机床	(105)
4.5 加工中心	(113)
4.6 机械加工自动线	(124)
第 5 章 装配自动化	(142)
5.1 装配技术基础和装配自动化概述	(142)
5.2 自动装配工艺	(148)
5.3 自动化装配设备	(157)
5.4 装配机器人	(168)
5.5 自动装配线实例	(175)
第 6 章 检测自动化	(179)
6.1 机械制造中的自动检测技术	(179)

6.2 工件的自动检测	(184)
6.3 刀具的自动检测	(197)
6.4 工艺过程的自动监控	(200)
6.5 装配系统的自动检测	(209)
第7章 柔性制造系统和集成制造系统	(213)
7.1 柔性制造系统概述	(213)
7.2 FMS 的加工系统	(216)
7.3 FMS 的运储系统	(222)
7.4 FMS 的监控	(229)
7.5 计算机集成制造系统简介	(236)
7.6 CIMS 的应用与发展及制造业信息化工程	(239)
附录 I	(246)
附录 II	(250)
附录 III	(251)
参考文献	(253)

第 1 章 机械制造自动化的基本原理

制造是通过能量和信息的输入将原材料变换为产品的过程。广义的制造活动包括制造企业的全部物流和信息流，狭义的制造过程包括生产准备、工艺准备、加工、检验、装配、辅助等物流环节以及与物流有关的信息流处理。

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。制造系统是为了达到预定的制造目的而构造的物理或组织系统。

1.1 机械制造自动化的意义和发展历史

1.1.1 机械制造自动化的意义

自动化是人类社会和科学进步的结晶，是生产率发展的必然趋势。制造自动化是保证获得最高生产率、最优产品质量和最低成本的最好手段。制造自动化是把机械、电子和以计算机为基础的系统应用于制造过程的操作和控制中，使其自动进行的技术。它一方面是在运用先进工艺技术的基础上，采用机械化和自动化技术、装置和设备，使投入生产的原材料、辅料和外购件等加工对象的变换和输送这一“物质流动过程”和使生产所需的动力和能源的变换和传输这一“能量流动过程”按最佳状态自动进行；另一方面，使加工操作的程序安排、生产技术工作、计划、调度及经营管理等方面的信息采集、存贮、交换、处理和传递这一“信息流动过程”也能按整个生产最有利的状态自动进行。

制造自动化技术的发展体现国家的科技水平。实现机械制造自动化的意义在于其技术和经济效果显著。机械制造自动化所能带来的优点主要有：提高生产率，缩短生产周期；提高产品质量，促进产品更新；降低生产成本，提高经济效益；减轻工人劳动强度，改善劳动环境；带动相关技术的发展。

1.1.2 机械制造自动化的发展历史

1947 年美国福特汽车公司正式使用“自动化”一词，其含义是指加工采取连续的方式，生产过程流水式地自动进行。

在最近的一百多年中，机械制造自动化在工业发达国家的主要发展历程是：

1870 年 自动制螺丝机（美国）

1895 年 多轴自动车床（美国）

1924 年 机械加工自动线（英国）

1935 年 汽车发动机汽缸体加工自动线（苏联）

1946 年 底特律机械加工自动线（美国）；成组生产工艺思想（苏联）

1950 年 汽车活塞自动化工厂（苏联）

1951 年 数控铣床（美国）

1958 年 加工中心（美国）

1959 年 适应控制铣床（美国）；工业机器人（美国）

1960 年 计算机辅助设计（CAD）（美国）

1965 年 计算机数控（CNC）机床（美国）

1967 年 可变制造系统（英国）

1968 年 群控系统（DNC）在几个国家相继出现，如美国、英国、日本等国家都在此期间分别建立了各自的 DNC 系统。

1969 年 工业机器人操作的焊接自动线（美国）

1974 年 计算机集成制造系统（美国）

1980 年 面向多品种、小批量生产的无人化机械制造厂（日本）

20 世纪 80 年代以后，机械自动化的主要发展是计算机集成制造系统。

我国研究和开发自动化机械的历史悠久。早在距今四千多年前就研制成功自动定向的指南针，在三千多年前研制成功自动计时的铜壶滴漏，在两千多年前使用齿轮及凸轮制成指南车，发明了带自动料斗的畜力磨磨和链式自动送料装置“水转翻车”。三国时期，出现了使用齿轮系和自动离合器的更先进的指南车、高效纺织机械和新式提水机具。东汉时期，出现了记里鼓车，通过用车轮、凸轮和轮系的转动，用木人击鼓的方式自动报告行车距离。东汉的张衡以滴水为动力，通过齿轮系使“浑象”天象仪每天等速旋转一周。他还在公元 132 年制成了世界上第一台地震仪——候风地震仪。西汉末期发明的水力推动的水碓，是一种采用凸轮机构的四工位自动机。唐代出现了水力机械——筒车。北宋制成水力驱动的天文仪器——水运仪象台，能用多种形式表现天体的时空运行。南宋末期出现了用水轮带动 32 个锭子同时旋转的捻麻纱机器，其技术类似于现代的环锭纺纱机。明代制造出大型天文仪，其直径 2m 多的大铜环是用畜力拖动的立车车削和磨削出来的。明代郑和下西洋率领的是当时世界最大的船队，当时的帆船已具有全方向航行的能力。在宋代木风扇基础上明代出现了使用活塞风箱的冶金鼓风设备。

西欧产业革命以后，我国沦为半封建半殖民地，自动化科学技术停滞不前。1949 年中华人民共和国成立后，我国的生产自动化逐渐得到发展。1956 年我国第一个五年计划完成后，建成了汽车汽缸体加工自动线，成功制造了单轴转塔自动车床、单轴纵切自动车床和多刀半自动车床，以后又相继成功制造多轴立式半自动车床、多轴卧式自动车床和组合机床；1959 年，我国自行设计并成功制造丝锥自动线、轴承内外环加工自动线、柴油机汽缸体加工自动线、齿轮自动线和螺钉螺帽自动线，以后又成功研制数控铣床；1964 年起，我国仅为第二汽车制造厂就设计制造了各种高生产率的自动机床八千多台，自动线 57 条，在以后的几年间，又建成了轴承自动化车间和装配自动线；1976 年以后，相继成功研制了各种数控镗床、数控车床、数控自动换刀镗铣床、可换主轴箱的组合机床、计算机控制的群控自动加工系统；20 世纪 70 年代初期开始自行研制工业机器人，包括示教再现式工业机器人和计算机控制的机器人，已逐步开发成功涂装、焊接、搬运、水下作业和能步行、上下台阶、爬墙的多种机器人；1984 年成功研制两个柔性制造单元，1987 年后在陆续引进国外十余套柔性制造系统的基础上研制了自己的柔性制造系统；在清华大学建成国家 CIMS 工程研究中心，在其他院校和研究院所建立了 7 个 CIMS 单元技术实验室和 8 个 CIMS 培训中心，在国家立项实施 CIMS 的企业有 200 多家。

1.2 机械制造自动化的主要内容和发展趋势

1.2.1 机械制造自动化的对象、支撑技术和主要内容

1. 机械制造自动化的对象

机械制造自动化按对象可以分为：

- (1) 单机自动化；
- (2) 制造过程自动化；
- (3) 制造系统管理自动化。

2. 机械制造自动化的支撑技术

机械制造自动化的主要支撑技术包括：

- (1) 以 CAD/CAPP/CAM/CAI/CAAP/CAE 等为主体的计算机辅助作业技术群；
- (2) 以 NC/CNC/PLC 和伺服控制、开关控制、递阶控制、局域网和互联网联系等为主体的自动化技术群；
- (3) 以 MRP/MRPⅡ/ERP/MIS/PDM 为主体的管理信息系统技术群；
- (4) 通用机械自动化技术；
- (5) 通用电气自动化技术。

3. 机械制造过程自动化主要内容

本书所涉及的主要是狭义的机械制造过程自动化，此外简要地介绍制造系统信息管理自动化。狭义的机械制造过程自动化主要包括：

- (1) 机械加工自动化技术，包含上下料自动化技术、装夹自动化技术、换刀自动化技术、加工自动化技术和零件检验自动化技术；
- (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；
- (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；
- (4) 质量控制自动化技术，包含零件检测自动化技术、刀具检测自动化和加工过程在线监控技术等。

1.2.2 机械制造自动化的发展趋势

机械制造自动化正在向着智能化、柔性化、适度集成、信息化和网络化、环保化的方向发展。

1. 智能化制造系统

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，智能设备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具有自律能力和自决策能力，能根据外部环境的变化自动调整自身运行参数，保持最佳运行状态、并能自动监视本身的运动状态、自动发现和排除故障。

2. 具有柔性 and 敏捷性的制造系统

随着社会的进步和物质生活的丰富，机械产品的品种花样更新换代周期越来越短，制

造自动化系统面对的是多品种、小批量生产环境和不可预测的市场需求，因此，增强机械制造系统的柔性必然成为一个重要的发展方向。

传统意义上的柔性制造系统只能在一定范围内具有柔性，其柔性范围是在系统设计时预先确定的。智能化制造系统可以通过改变自身结构以适应外部环境的变化，这种柔性实际上是指智能制造系统具有敏捷性。

3. 集成化制造系统

计算机集成制造系统是在柔性制造系统基础上发展起来的，它使生产的全部活动，包括产品开发、产品销售、生产准备与组织管理、产品制造装配及检验，都由计算机控制完成，在系统整体中实现信息资源共享和人机功能合理分配。因此，智能化的集成制造系统是机械制造自动化系统发展的高级形式。

4. 信息化和网络化系统

各种信息与知识的分布式协同处理，增强了自动化系统的应变能力及自组织能力；强调人与知识的作用；适应全球制造的需求，建立基于因特网的自动化系统，通过资源和信息的全球共享，使制造自动化向更高的层次发展。

5. 环保化的制造系统

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。制造系统作为消耗能源和资源、产生环境污染的源头，必须实现环保化。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一个重要控制目标。

1.3 机械制造自动化的基本概念

1.3.1 机械化和自动化

人在生产过程中的劳动，包括基本体力劳动、辅助体力劳动和脑力劳动三个部分。基本体力劳动是指直接改变生产对象的形态、性能和位置等方面的体力劳动；辅助体力劳动是指完成基本体力劳动所必须做的其他辅助性工作，如检验、装夹工件；脑力劳动是指诸如决定生产方法、选择生产工具、判断加工质量以及管理工作等。

当原来由人的体力所承担的基本劳动由机械及其驱动的能源（如各种机械能、水力、电力、热能等）来代替的过程，称为机械化。例如，皮带输送机代替人工搬运工件，称为工件输送机械化；用气动卡具代替手工操作卡具夹紧工件，称为工件夹紧机械化。机械化生产时，人和机器构成了人机生产系统，还需工人操作看管机器，整个生产在很大程度上还受操作者的影响。此外，工人精神紧张，劳动强度还是比较大。因此，机械化生产还不是理想的生产方式。

在机器代替人完成基本劳动的同时，人对机器的操纵看管、对工件的装卸、检验等辅助劳动也由机器代替，并由自动控制系统或计算机代替人的部分脑力劳动的过程，称为自动化。基本劳动机械化加上辅助劳动机械化，再加上自动控制系统所构成的有机集合体，就是一个自动化生产系统。自动化生产方式是人类追求的理想方式，自动化生产中人不受机器的束缚，而机器的生产速度和产品质量的提高也不受人精力、体力的限制。

1.3.2 机械制造自动化的发展规律

机械制造自动化经历了由低级到高级、由简单到复杂、由不完善到完善的发展过程。如图1-1所示,机械加工从人手使用简单工具起,经过了手工操作、机械化操作、自动化操作等阶段,最终才能发展到自动化工厂的理想阶段。生产过程中的运输工作也是从最初的手工搬运,发展到使用手动设备,再到机械化装卸车,再逐步发展到用机器人及自动化输送机的自动运输系统的阶段。

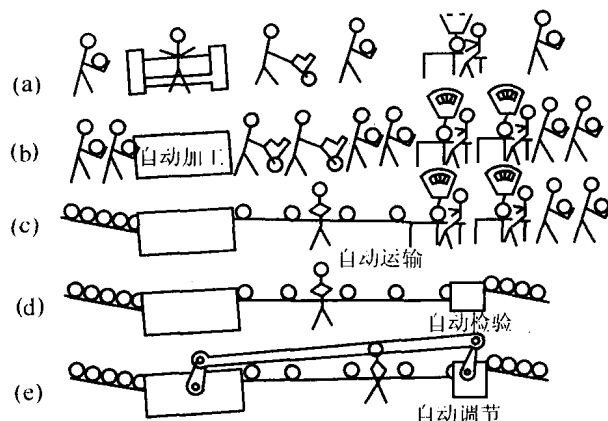


图1-1 生产过程自动化的发展进程

(a) 万能设备组成的流水线,构成了机械化人机系统。因仅实现基本操作机械化,采用人工运输和检验,占用的工人多,产量少,劳动强度仍然比较大。

(b) 自动机用于流水线后,构成了半自动化加工的人机系统,工序实现了自动化。生产工人减少,产量增大,但辅助工作靠手工操作,致使辅助工人增多。

(c) 自动输送机用于流水线后,实现了加工和运输自动化,构成了自动加工的人机系统。辅助工人减少了,劳动强度降低了。但检验工作是手工操作,还需要一定的辅助工人。

(d) 采用自动检验装置后,实现了加工、操纵、运输、检验自动化,构成了综合的自动加工系统。工人人数大大减少,产量和质量提高。

(e) 应用自动调节器后,自动线变成了自动调节系统,机床的加工误差可由调节器自动纠正,加工质量和产量都显著提高。这时人的职能主要是监视、检修和排除故障。

随着自动化程度的提高,以体力劳动为主的蓝领工人逐渐减少,而以脑力劳动为主的白领工人不断增多。当生产过程中的设计、运输、加工、装配、检验、控制和管理,都由自动机器、机器人、仪器及计算机来自动完成,而人主要是操纵和监控计算机,以及做机器不能实现的复杂性工作,这就到了生产过程全盘自动化的高级阶段。目前,国内外机械制造自动化水平参差不齐,像我国这样的发展中国家,多数还处于第二、第三阶段。

1.3.3 制造自动化的三个层次

在机械制造过程中,可以把生产自动化分为三个层次:

1. 工序自动化

制造工艺过程包含若干个工序,每个工序又可能包含若干个基本动作以及操纵和管理

这些基本动作的操纵动作。自动机及自动装置仅代替人完成一个工序的加工及辅助工作，称为工序自动化，所构成的集合体通称为自动机。这种初级层次的单机自动化是机械制造工艺过程自动化的基础。

2. 自动生产线

如果一个工艺过程中的每个加工、检验工序都自动化了，而且各个工序的输送联系环节也自动化了，工人只需对整个工艺过程进行总操纵和监督，这就形成了自动加工生产线，实现了一个工艺过程自动化。所构成的集合体称为自动生产线，它是实现机械制造自动化的中级层次。

3. 自动化制造系统

一个产品或部件的制造包括若干个工艺过程，如果每个工艺过程都自动化了，而且各个工艺过程之间的联系也自动化，即从原材料到最终成品的生产全过程都不需要人工干预，这就形成了制造过程自动化，所构成的集合体称为自动化制造系统。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。

自动化机械制造系统是由经营管理、生产过程、机床设备、控制装置以及工作人员所组成的自动化有机集合体。它把工作人员与原材料、能源及其装置、运输装置、机床、工夹具等物质硬件有机地连成一体，同时向这个生产集合体输入生产计划、生产图纸、技术要求和生产工艺等信息软件，系统自动制造出符合要求的各种机械产品。

自动化机械制造系统要综合解决系统的物质流自动化与信息流自动化及其优化的问题。

(1) 物质流自动化。采用各种自动化设备和控制装置，使与生产有关的采购供应→仓库存贮→运送→毛坯加工→机械加工→表面处理及热处理→装配→检验试车→成品存贮及产品出厂的全过程和运输实现自动化。

(2) 信息流自动化。采用计算机及各种信息软件和自动控制装置，使与生产技术管理和经营管理有关的工作，如需求预测→订货→设计→生产计划→工艺计划→调度→加工计划→生产管理→销售管理等信息流通及信息处理实现自动化。

1.4 机械制造自动化的技术经济

1.4.1 实现自动化生产的条件

1.4.1.1 要有适宜的产品对象和生产纲领

产品对象（包括产品的结构、材质、重量、性能、质量等）决定了自动装置和自动化方案的内容，而生产纲领的大小影响自动化方案的完善程度、性能和效果。因此在不同生产纲领和不同产品对象条件下，就有着不同形式和不同程度的自动化方案和装置。只有二者相互适应，才能充分发挥自动化的作用，使自动化生产获得最佳的效果。

在生产纲领大、产品单一且结构稳定的情况下，宜采用自动化程度高、自动化范围广、自动化装置结构完善的专门性综合自动化方案；在生产纲领小、品种多且结构不稳定的情况下，则宜采用自动化程度低、自动化范围小、自动化装置结构简易和通用性广的自动化方案。

1.4.1.2 要有先进可靠的制造工艺

确定合理的工艺路径和采用先进可靠的加工方法，是保证实现自动化生产高生产率、高质量、高经济收益的重要基础。如果工艺不可靠，自动化生产将无法实现；如果工艺不先进，自动化生产也不能取得良好的技术经济效果。自动化生产中先进工艺主要包括以下几个方面：

毛坯精度高、加工余量小。尽可能地采用精密铸造、精密锻压、冷挤压和精密轧制等方法制造毛坯，既减少材料消耗，又减少机加工时间。

采用高效加工方法，如多刀、多件、多工位切削加工，无屑加工，电加工及其他特种加工方法，缩短加工时间，提高加工精度，使生产过程连续化、自动化。

采用先进加工设备和工具，如各种高效自动机、先进刀具、快速装夹装置、自动测量装置等，实现生产过程的高效化和自动化。

1.4.1.3 大批量生产时需要采用流水作业生产形式

流水作业生产与非流水作业生产是两种不同的生产形式，如图 1-2 所示，其特征见表 1-1。流水作业生产能保证生产的连续性，为采用高生产率的自动化设备和装置，实现生产过程的高度机械化和自动化创造了最好的条件。当实现了高度的机械化、自动化生产之后，又将进一步促进生产过程的连续性。

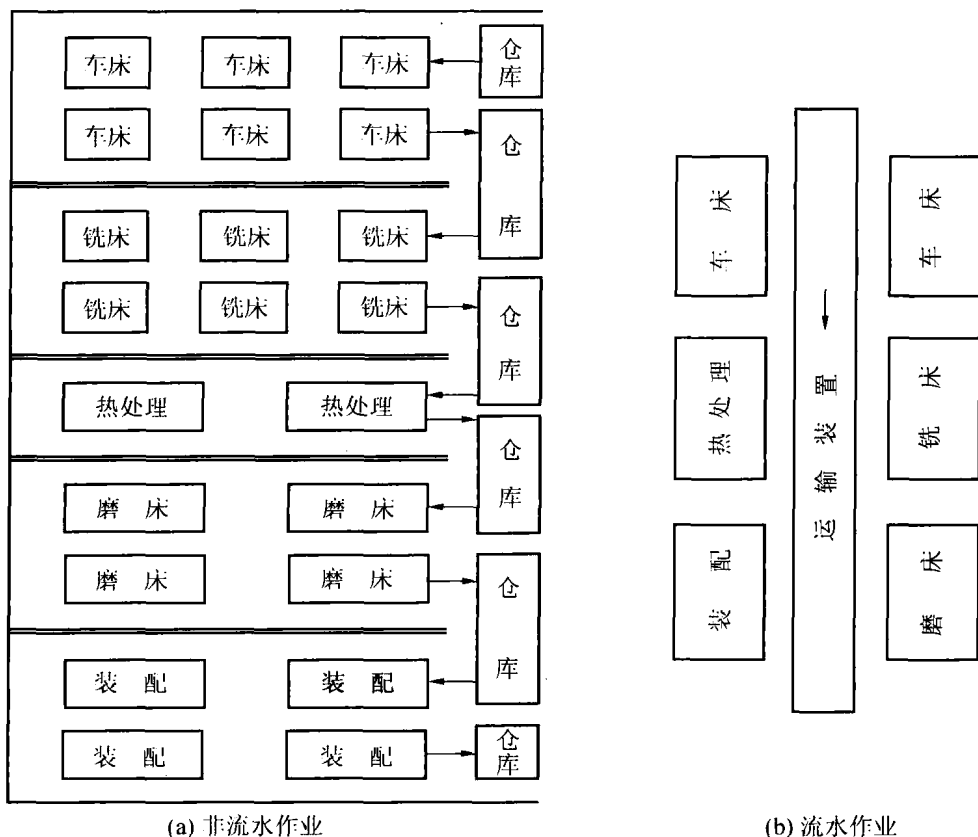


图 1-2 流水作业与非流水作业的示意图

表 1-1 流水作业与非流水作业生产特征比较

非流水作业生产		流水作业生产
1	机器设备按设备的类型成机群式排列	设备按照工艺过程的顺序排列
2	一定的设备上没有一定的加工工序	每台设备上有固定的加工工序
3	整个工艺过程的各个工序只能在专门的工段（机组）上成批地断续轮换进行，各生产环节没有节拍	整个工艺过程的各个工序联成一个统一的连续过程，各个生产环节有严格节拍
4	只利于采用万能性的设备和通用的工艺装备	有利于采用高生产率的专门设备和工艺装备
5	采用自动运输或其他自动装置极为复杂昂贵	采用自动运输和其他自动装置简单经济
6	需要进行工序间的统计和工序间的半成品仓库	不需要工序间的统计和工序间半成品仓库
7	生产计划管理复杂，生产周期很长，成本高，生产率低	生产计划及管理简单，生产周期很短，成本低，生产率高

1.4.1.4 多品种生产时应采用成组技术

运用相似性原理，把产品零件按结构形状的相似性和加工工艺的相似性分为若干族和类，在此基础上，对零件进行分类编码，用计算机进行数据处理和计算机辅助设计，这就是成组技术的基本思想。另一方面，在零件按工艺特点分类的基础上，利用计算机进行工序标准化和工艺过程的典型化；利用计算机进行加工工艺的数据处理，实现计算机辅助制造。成组技术的应用，扩大了同类零件的数量，从而为建立多品种生产的柔性加工系统创造了条件，又为实现加工、装配、调度和管理等全盘自动化奠定了基础。

1.4.1.5 要有生产过程的综合机械化及自动化

自动化是机械化的更高阶段。只有实现综合机械化，全面使用机器高速工作，使生产过程各个部分的节拍平衡，才能充分发挥自动化制造系统的效率，并保证生产过程的连续性。由于在机器制造厂里，从原材料进厂到产品出厂的整个周期中，机床作业仅占 5% 左右，非机床作业约占 95%，所以使非机床作业机械化及自动化是建立流水线，实现自动化生产的重要前提。

1.4.2 劳动生产率

生产率有机器（或工人）生产率与劳动生产率之分。机器（或工人）的生产率是指单位时间内（分、小时、天、月、年等）机器（或工人）制造出来的产品数量；而劳动生产率是除了单位产品中工人所消耗的活劳动外，还包括投入在产品中的设备、厂房、工具、材料、燃料等的物化劳动，可用单位产品的生产成本或单位时间工人的产值来衡量（元/件、万元/人·年等）。

自动化生产的主要目的就是要不断提高劳动生产率，即不断降低消耗在产品中的活劳动及物化劳动量。图1-3为在不同自动化程度条件下，加工轴承时劳动生产率的变化趋势。从图中可见，劳动生产率随自动化程度的提高而提高，采用了自动线、自动化车间后，生产率增长尤为显著。

提高劳动生产率的基本途径可从减少生产单位产品投入的活劳动或物化劳动两方面考虑。一方面，提高自动化程度，减少产品中的活劳动量（例如，通过提高自动化程度来增加工人看管的机床数量）；另一方面，采用先进工艺技术和新材料，尽量降低产品制造的物耗。采用自动化技术时需要注意的是：活劳动的减少与劳动生产率的提高两者并非一直成线性关系；活劳动的节约量应大于物化劳动的增加量才能提高劳动生产率。例如，当一个工人看管的机床由一台增加为两台时，能使活劳动量显著地降低50%；当增加到10台时，活劳动量仅比看管两台机床降低40%；当增加到50台、100台时，活劳动量只比10台时降低2%~1%。可见，当一人看管的机床增加到一定数量后，再增多机床数量就不能继续显著降低活劳动量了。此外，一人看管多机时，劳动生产率的增长也随机床的增加而逐渐变慢，最后趋于不变。这是由于随看管机床数量增多，自动化设备投入所造成物化劳动的增长量将会抵消一人看管多台机床所节约的活劳动量，结果不能使总劳动量有效地降低，甚至还可能引起劳动生产率下降。

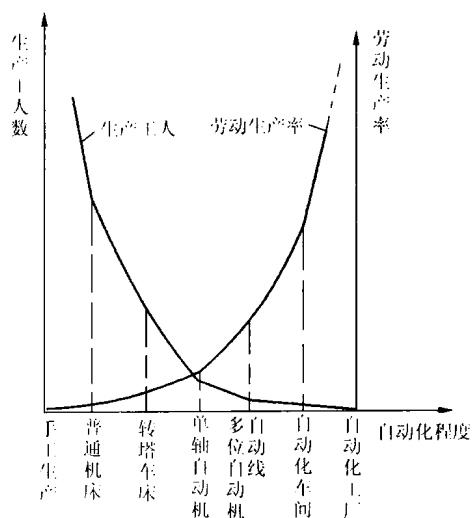


图1-3 自动化程度与劳动生产率的关系

1.4.3 自动化制造系统的评价标准

可按以下六个标准来评价自动化制造系统的优劣。

1. 提高劳动生产率

采用自动化制造系统后劳动生产率相对原常规生产的提高程度是评价自动化生产系统优劣的基本标准。自动化生产系统应力求减少加工和装配的时间和劳动量，同时还应减少各种辅助工作和管理工作的劳动量，最终实现产品的总制造时间和劳动量降低，才能达到提高劳动生产率的最佳效果。

2. 稳定和提高产品质量

产品质量的好坏，是评价产品本身和自动化制造系统是否具有使用价值的重要标准。由于采用自动化制造系统后可实现产品的自动加工、自动检验、自动调节、自动适应控制和自动装配，因此应该能够有效地减少生产中的误差和人为因素的影响，稳定可靠地提高产品质量。

3. 降低产品成本和提高经济收益

降低产品成本能提高产品在市场上的竞争能力，使制造企业增加经济收益。因此，自动化制造系统应尽量减少产品的生产时间和劳力，节约原材料、辅料和能源，提高设备利

用率,减少设备的摊成费。

4. 改善劳动条件和实现文明生产

采用自动化制造系统应能减轻工人的劳动强度,改善劳动条件,实现文明和安全生产,不污染环境。由各种自动化装备来承担人所担负的繁重、单调、持续体力劳动和有害作业,设置自动防护措施,保护生产人员的安全和健康,限制排放污染物。

5. 适应多品种生产的柔性程度

面对日益激烈的竞争环境和人们物质生活水平的提高,产品的更新换代周期越来越短。因此,自动化制造系统的研究、设计和采用,都应使其具有足够的柔性和产品更新后的工艺适应性。忽视这一点,可能会使所建立的自动化制造系统很快失去使用价值而被淘汰。

6. 带动相关技术的发展

制造自动化系统的发展应该带动自动检测技术、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。

1.4.4 自动化制造系统的优化

机械制造系统的优化,即设计各种方案以达到充分发挥系统各部分的生产能力,自动协调生产,高效率地生产出质量好、成本低的目的。进行优化决策就是从可供选择的各种方案中选出最好的一个。对于比较简单的系统,可以通过建立数学模型来确定最优方案,但是对于复杂的大系统,往往难以建立合适的数学模型,这时常采用比较评价标准的方法来进行决策优化。

优化决策的方法步骤如下:

1. 确定优化的评价标准

有三种评价标准:

- (1) 最大生产率或最少生产时间标准 (件/分、台/小时或分/件、分/台);
- (2) 最低生产费用标准 (元/件、元/台);
- (3) 最大利润率标准 (元/分、元/小时)

$$\text{最大利润率} = \frac{\text{总收入} - \text{总生产费用}}{\text{总生产时间}}$$

最大利润率标准可以直接反映出工厂生产所获得的利润多少和获利的速率,同时也能综合表达最小生产时间、最低生产费用和最大利润间的综合关系,即表示出工厂生产经营管理的最终经济效果。

2. 建立优化的评价函数 (目标函数)

即建立评价标准的数学模型。对于不太复杂的加工系统,一般可以分别建立起最大生产率 (最少生产时间)、最低生产费用和最大利润率的数学表达式,用以计算其最佳值。

3. 找出约束条件

对所建立的评价函数,应考虑自动化系统的限制和产品生产的要求,即确定优化的约束条件,例如加工机床的极限转速和进给量、最大功率、最大切削抗力或扭矩、零件的加工表面粗糙度、工艺系统的刚度、刀具寿命、切屑处理等因素的限制。对多工序加工系统,还应考虑最薄弱工序的加工时间限制、机床的利用率等因素。对整个生产自动化系

统,还应考虑交货期、均衡生产、市场变化情况与产品的品种、价格和库存量等方面的平衡。

4. 在约束条件下求出最优解

对于能建立起目标函数的系统,应求出在约束条件下的最优解。通常是求出最有利的目标值(最高生产率、最低生产费用、最大利润率等)及其对应的最佳加工条件(如最大生产率或最低成本、最大利润率对应的切削速度等),然后即可按极值来确定出最优的方案。

对难于建立评价函数的复杂系统,则按评价标准或相应的指标进行比较,然后选择最优方案。

1.5 实现机械制造工艺过程自动化的途径

1.5.1 单件、小批量生产的机械化和自动化

在生产批量小而品种多的制造条件下,过去长期都是采用通用机床加工,生产效率低,产品质量也难以保证,自动化程度很低。近二十余年来由于数控技术的广泛应用,中小批量生产自动化得到快速发展。

在机械加工中,单件、小批量生产约占80%,大批量生产不到20%。因此,单件、小批量生产自动化意义重大。而在单件、小批量生产中,辅助工时所占的比例很大,所以仅采用自动加工以缩短加工时间,并不能大幅度地提高生产率。只有使机械加工循环中各个单元动作及循环外的辅助工作都加快,同时减少加工时间和辅助时间,才能有效提高生产率。为达到成本低、见效快、柔性大的目的,可以考虑采用简易自动化,使部分耗时、费力的工步、工序实现自动化。如,采用机械化、自动化装置,实现零件的装卸、定位、夹紧机械化和自动化;采用自动滚道、运输机械、电动及气动装置等降低工人劳动强度,减少辅助时间;改装通用机床,实现部分加工操作自动化,以提高劳动生产率和改善劳动条件。现已有许多“万能组合”的机床自动化模块装置,例如各种标准的仿型刀架模块、自动化万能工作台、自动化万能夹具等,它们能配装在通用机床上,用户可根据需要选用,方便而迅速地实现加工自动化。当使用完毕或加工任务改变时,这些自动化模块装置能被迅速调整或拆去。

采用数控机床和自动化的柔性加工系统是单件、小批量生产自动化的发展方向。这类新型的万能性自动化加工机床和系统已经得到广泛应用,使单件、小批量生产的基本操作和辅助操作实现了自动化。当加工对象改变时,只需重编加工程序,机床调整很方便快捷。

1.5.2 成批和大量生产的自动化

成批生产的批量虽然比较大,但产品品种并不单一,因而成批生产的自动化系统仍应具备一定的可变性,以利于产品和工艺的变换。其自动化途径有:在成组技术基础上实现成批流水作业生产,应用数控机床和可换主轴箱、可换刀库的组合机床,建立具有一定柔性的自动线;采用具有一定通用性的自动机。对单个加工工序,采用能使机床及刀具迅速