



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

# 先进制造技术基础



主编 冯宪章



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

## 先进制造技术基础

主 编 冯宪章  
副主编 刘爱敏  
参 编 韩衍昭 崔艳梅 李法新  
尹 欣 王利红  
主 审 刘元鹏



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书以先进制造技术的基本定义为主线,从引例分析入手,主要阐述先进制造技术的理论、工艺、方法以及生产管理等。全书共分6章:第1章绪论,第2章现代设计,第3章先进制造工艺技术,第4章制造自动化技术,第5章产品数据管理技术,第6章先进制造模式。

本书可作为高等院校机械类专业教材,也可供相关专业教师、工程技术人员和科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术基础/冯宪章主编. —北京:北京大学出版社, 2009.8

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-15499-1

I. 先… II. 冯… III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 116609 号

书 名: 先进制造技术基础

著作责任者: 冯宪章 主编

策划编辑: 郭穗娟

责任编辑: 李 楠

标准书号: ISBN 978-7-301-15499-1/TH·0146

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者: 三河市欣欣印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 450 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 30.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

先进制造技术是一门动态的、以传统的机械制造技术为基础的学科，融合计算机、信息、自动控制、材料、能源、环保、管理科学等学科的最新研究成果，并伴随新科技、新理念的不断出现而不断更新、充实和发展。制造业作为国民经济的支柱产业，是一个国家持续发展的根本动力。

本书以先进制造技术相关的概念、理论、工艺、方法以及生产管理为主要研究对象，在编写过程中，参考了国内众多高校相关课程的教学大纲，力求简洁，以满足机械类和近机类专业学生的需求为目标。重点介绍信息技术、材料技术、新能源技术等新技术与制造技术的相互交叉、渗透、融合，特别是计算机技术方面的内容。本书力求将先进制造技术的最新研究成果展现给读者。

全书共分 6 章：

第 1 章概括介绍先进制造技术产生的背景、发展历程、内涵和特点、体系结构和分类及发展趋势等。

第 2 章介绍现代设计技术，主要包括创新设计、模糊优化设计、模糊可靠性、绿色设计、人工神经网络、逆向工程等技术。

第 3 章介绍先进制造工艺技术，包括其定义、内涵和现状。主要对超高速加工、超精密加工、快速原型制造、激光加工、电子束加工、离子束加工、超声波加工、微细加工技术等先进制造工艺技术进行介绍。

第 4 章介绍制造自动化技术相关知识，主要涉及柔性制造系统、CIMS 的组成和信息集成、现代机床数控系统的组成和结构特点等。

第 5 章介绍产品数据管理技术，着重介绍基本概念、体系结构、主要功能、实施目标与内容、信息建模、系统集成及其应用现状等。

第 6 章介绍先进制造模式，着重介绍精益生产、敏捷制造、并行工程以及虚拟制造的基本概念、内涵特点、关键支撑技术及发展应用等。

本书由冯宪章担任主编，刘爱敏担任副主编。第 6 章的第 3、4 节和第 1 章由冯宪章编写；第 3 章的第 1、2、3、4 节由刘爱敏编写；第 3 章的第 5、6 节和第 6 章的第 1、2 节由韩衍昭编写；第 5 章的第 1、2、3、4、5 节由崔艳梅编写；第 4 章的第 1、3、4 节由李法新编写；第 2 章由尹欣编写；第 4 章的第 2 节和第 5 章的第 6 节由王利红编写。

本书可作为机械类和近机类专业教材，建议授课学时为 32~40，使用本书可根据各高校的具体情况对课时进行适当调整。本书也可供从事制造业及相关行业的工程技术人员和研究人员参考。

在本书成稿之际，感谢北京大学出版社的各位编辑的支持，同时也感谢本书参考文献的作者们。

本书的特色之一是给出大量的实物图片、特别提示、知识链接以及实例分析等，力求深入浅出，通俗易懂。但由于先进制造技术是一门新兴的学科，目前尚未形成完善的理论体系，许多问题仍处在探索之中，加之编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请读者朋友们指正。

编 者

2009 年 6 月

# 目 录

|                           |    |                             |    |
|---------------------------|----|-----------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....     | 1  | 2.4.2 绿色设计主要内容              | 47 |
| 1.1 先进制造技术的提出和发展          | 2  | 2.4.3 绿色设计分析方法              | 49 |
| 1.1.1 先进制造技术产生的背景         | 3  | 2.4.4 绿色设计的原则               | 52 |
| 1.1.2 先进制造技术的发展概况         | 3  | 2.4.5 绿色设计关键技术              | 54 |
| 1.2 先进制造技术的内涵及体系结构        | 7  | 2.4.6 绿色设计发展及未来趋势           | 56 |
| 1.2.1 先进制造技术的内涵和特点        | 8  | 2.5 神经网络                    | 59 |
| 1.2.2 先进制造技术的<br>体系结构及其分类 | 9  | 2.5.1 神经网络发展                | 59 |
| 1.3 先进制造技术的发展趋势           | 10 | 2.5.2 神经网络的应用               | 60 |
| 1.4 我国机械制造业的概况            | 14 | 2.5.3 神经网络基本原理              | 61 |
| 本章小结                      | 16 | 2.5.4 补偿模糊神经网络              | 62 |
| 习题                        | 16 | 2.6 逆向工程技术                  | 66 |
| <b>第 2 章 现代设计</b> .....   | 17 | 2.6.1 逆向工程基本概念              | 66 |
| 2.1 现代设计技术概论              | 18 | 2.6.2 逆向工程技术的研究对象及<br>研究内容  | 68 |
| 2.1.1 现代设计概念及特征           | 18 | 2.6.3 逆向工程技术的<br>研究特点及设计程序  | 73 |
| 2.1.2 传统设计与现代设计           | 20 | 2.6.4 逆向工程的关键技术             | 74 |
| 2.1.3 现代设计技术原则与技术<br>体系   | 22 | 2.6.5 实施逆向工程应注意的一些<br>问题和建议 | 75 |
| 2.1.4 现代设计发展趋势展望          | 25 | 本章小结                        | 76 |
| 2.2 创新设计                  | 26 | 习题                          | 77 |
| 2.2.1 创新设计基本概念            | 27 | <b>第 3 章 先进制造工艺技术</b> ..... | 79 |
| 2.2.2 创新思维                | 27 | 3.1 先进制造工艺技术概述              | 80 |
| 2.2.3 创新技法                | 29 | 3.1.1 机械制造工<br>艺的定义和内涵      | 80 |
| 2.2.4 创新设计技术前沿研究          | 34 | 3.1.2 先进制造工<br>艺的发展趋势       | 81 |
| 2.3 模糊设计                  | 35 | 3.1.3 先进制造工<br>艺的特点         | 83 |
| 2.3.1 模糊集合与隶属函数           | 35 | 3.2 超高速加工技术                 | 83 |
| 2.3.2 模糊优化设计              | 35 | 3.2.1 超高速加工<br>技术的内涵和<br>特点 | 84 |
| 2.3.3 模糊可靠性设计             | 39 | 3.2.2 超高速切<br>削的关键技术        | 86 |
| 2.3.4 模糊神经网络与模糊专家<br>系统   | 41 | 3.2.3 超高速磨<br>削的相关技术        | 91 |
| 2.3.5 模糊设计展望              | 43 | 3.2.4 超高速加<br>工技术的应用        | 94 |
| 2.4 绿色设计                  | 44 | 3.3 超精密加工技术                 | 99 |
| 2.4.1 绿色设计基本概念            | 44 | 3.3.1 概述                    | 99 |

|                            |                               |     |                             |                                   |     |
|----------------------------|-------------------------------|-----|-----------------------------|-----------------------------------|-----|
| 3.3.2                      | 超精密加工的主要方法 .....              | 102 | 4.3.2                       | CIMS 的组成 .....                    | 180 |
| 3.3.3                      | 超精密加工机床 .....                 | 107 | 4.3.3                       | CIMS 的信息集成技术 .....                | 185 |
| 3.3.4                      | 超精密加工技术的应用 .....              | 109 | 4.3.4                       | CIMS 的现状和发展 .....                 | 191 |
| 3.4                        | 快速原型制造技术 .....                | 111 | 4.4                         | 现代机床数控技术 .....                    | 193 |
| 3.4.1                      | RPM 技术的原理和特点 .....            | 111 | 4.4.1                       | CNC 系统的组成和结构<br>特点 .....          | 193 |
| 3.4.2                      | 典型的 RPM 工艺方法 .....            | 113 | 4.4.2                       | 数控加工编程技术 .....                    | 197 |
| 3.4.3                      | RPM 技术的发展现状 .....             | 118 | 4.4.3                       | 数控加工技术的发展趋势 .....                 | 204 |
| 3.4.4                      | 快速成形技术的应用 .....               | 119 | 本章小结 .....                  |                                   | 206 |
| 3.5                        | 现代特种加工技术 .....                | 123 | 习题 .....                    |                                   | 206 |
| 3.5.1                      | 概述 .....                      | 123 | <b>第 5 章 产品数据管理技术</b> ..... |                                   | 207 |
| 3.5.2                      | 激光加工 .....                    | 125 | 5.1                         | 产品数据管理概论 .....                    | 208 |
| 3.5.3                      | 电子束加工 .....                   | 130 | 5.1.1                       | 产品数据管理的发展 .....                   | 209 |
| 3.5.4                      | 离子束加工 .....                   | 134 | 5.1.2                       | 产品数据管理的应用 .....                   | 211 |
| 3.5.5                      | 超声波加工 .....                   | 137 | 5.1.3                       | PDM 的基本概念 .....                   | 212 |
| 3.6                        | 微细加工技术 .....                  | 142 | 5.1.4                       | PDM 系统的体系结构 .....                 | 213 |
| 3.6.1                      | 微型机械与微细加工技术<br>概述 .....       | 142 | 5.1.5                       | PDM 系统的相关支持技术 .....               | 215 |
| 3.6.2                      | 微型机械的应用和微细加工<br>技术的发展趋势 ..... | 143 | 5.1.6                       | PDM 的最新技术 .....                   | 218 |
| 3.6.3                      | 微细加工技术的加工工艺 .....             | 146 | 5.2                         | PDM 系统的主要功能 .....                 | 222 |
| 本章小结 .....                 |                               | 150 | 5.2.1                       | 电子仓库与文档管理 .....                   | 223 |
| 习题 .....                   |                               | 151 | 5.2.2                       | 工作流与过程管理 .....                    | 225 |
| <b>第 4 章 制造自动化技术</b> ..... |                               | 152 | 5.2.3                       | 产品结构与配置管理 .....                   | 226 |
| 4.1                        | 制造自动化技术概述 .....               | 153 | 5.2.4                       | 零件分类管理与检索 .....                   | 227 |
| 4.1.1                      | 制造自动化技术的定义、<br>内涵及技术地位 .....  | 153 | 5.2.5                       | 工程变更管理 .....                      | 228 |
| 4.1.2                      | 制造自动化技术的研究<br>现状 .....        | 154 | 5.3                         | PDM 系统的实施技术 .....                 | 228 |
| 4.1.3                      | 制造自动化技术的发展<br>趋势 .....        | 156 | 5.3.1                       | PDM 实施的目标与内容 .....                | 229 |
| 4.2                        | 柔性制造系统 .....                  | 158 | 5.3.2                       | PDM 系统实施步骤 .....                  | 230 |
| 4.2.1                      | 概述 .....                      | 158 | 5.4                         | PDM 实施中的信息建模 .....                | 232 |
| 4.2.2                      | 柔性制造系统的组成 .....               | 161 | 5.4.1                       | 人员管理模型 .....                      | 233 |
| 4.2.3                      | 柔性制造系统中的数据流 .....             | 170 | 5.4.2                       | 产品对象模型 .....                      | 236 |
| 4.2.4                      | 柔性制造系统的应用和发展<br>前景 .....      | 173 | 5.4.3                       | 产品结构管理模型 .....                    | 237 |
| 4.3                        | 计算机集成制造系统 .....               | 177 | 5.4.4                       | 产品配置管理模型 .....                    | 238 |
| 4.3.1                      | 概述 .....                      | 177 | 5.4.5                       | 流程管理模型 .....                      | 239 |
|                            |                               |     | 5.5                         | PDM 的应用集成 .....                   | 240 |
|                            |                               |     | 5.5.1                       | PDM 的应用集成的体系<br>结构 .....          | 240 |
|                            |                               |     | 5.5.2                       | PDM 与 CAD/CAPP /CAM 的<br>集成 ..... | 242 |

|                             |            |                          |            |
|-----------------------------|------------|--------------------------|------------|
| 5.5.3 基于 PDM 系统的企业信息集成..... | 244        | 6.2.2 敏捷制造的内涵及特点.....    | 261        |
| 5.6 PDM 软件应用.....           | 246        | 6.2.3 敏捷制造的关键技术.....     | 263        |
| 5.6.1 PDM 软件选型.....         | 246        | 6.2.4 敏捷制造的一般实施方法.....   | 264        |
| 5.6.2 PDM 软件简介.....         | 248        | 6.3 并行工程.....            | 267        |
| 本章小结.....                   | 253        | 6.3.1 并行工程产生的背景.....     | 267        |
| 习题.....                     | 253        | 6.3.2 并行工程的定义及特点.....    | 268        |
| <b>第 6 章 先进制造模式.....</b>    | <b>254</b> | 6.3.3 并行工程关键技术.....      | 269        |
| 6.1 精益生产.....               | 255        | 6.3.4 并行工程的发展与应用.....    | 272        |
| 6.1.1 精益生产的历史背景.....        | 255        | 6.4 虚拟制造.....            | 275        |
| 6.1.2 精益生产的内涵及特征.....       | 255        | 6.4.1 虚拟制造产生的背景.....     | 275        |
| 6.1.3 精益生产的体系结构.....        | 257        | 6.4.2 虚拟制造的内涵及特点.....    | 276        |
| 6.1.4 精益生产在国内外的应用.....      | 259        | 6.4.3 虚拟制造关键技术及实现途径..... | 278        |
| 6.2 敏捷制造.....               | 260        | 6.4.4 虚拟制造的应用与发展.....    | 283        |
| 6.2.1 敏捷制造产生的背景.....        | 260        | 本章小结.....                | 287        |
|                             |            | 习题.....                  | 287        |
|                             |            | <b>参考文献.....</b>         | <b>288</b> |

# 第1章 绪 论

## 教学目标

1. 了解先进制造技术的发展背景, 相关工业发达国家制造业的发展状况, 我国先进制造技术在国际上的地位以及我国与发达国家之间的差距;
2. 掌握先进制造技术中的现代设计方法, 先进制造工艺和制造自动化等知识;
3. 掌握先进制造技术的定义、特点、内涵、体系结构及其分类;
4. 获得先进制造技术的基本知识, 为进一步学习专业课程打下坚实的基础。

## 教学要求

| 能力目标                     | 知识要点   | 权重  | 自测分数 |
|--------------------------|--|-----|------|
| 了解先进制造技术产生的背景            | 人类生产的重要发展阶段, 如旧、新石器时代、青铜铁器时代、蒸汽、内燃、计算机、微电子、信息和自动化等发展历程与制造业发展的关联  | 10% |      |
| 掌握主要工业发达国家先进制造技术的发展历程和特点 | 美国、英国、德国、法国、意大利、日本和韩国等工业发达国家先进制造技术的发展历程, 各国之间在先进制造技术上的异同   | 25% |      |
| 掌握先进制造技术的内涵和特点           | 生产规模经历了从小批量到大批量、多品种变批量的发展阶段。先进制造技术的实用性、广泛性、动态特征、集成性、系统性和绿色高效性等的主要特征                                    | 10% |      |
| 了解先进制造技术的体系结构及其分类        | 美国机械科学研究院(AMST)提出的先进制造技术体系, 美国联邦科学、工程和技术协调委员会(FCCSET)下属的工业和技术委员会先进制造技术工作组提出的先进制造技术三位一体的体系结构, 以及两种分类的异同 | 15% |      |
| 了解先进制造技术的发展趋势            | 先进制造的含义和特征   | 20% |      |
| 了解我国机械制造业的发展以及与发达国家的差距   | 我国先进制造技术的发展历程和特点, 与其他先进国家之间的差距   | 20% |      |





## 引例

给传统制造业带来了革命性的变化,使制造业成为工业化的象征。数控技术也称为计算机数控技术,目前它是采用计算机实现数字程序控制的技术。这种技术用计算机按事先存储的控制程序来实现对设备的控制功能。由于采用计算机替代用硬件逻辑电路组成的数控装置,使得输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制功能的实现均可通过计算机软件来完成。利用数控技术加工的精密零件如图 1.1 所示。

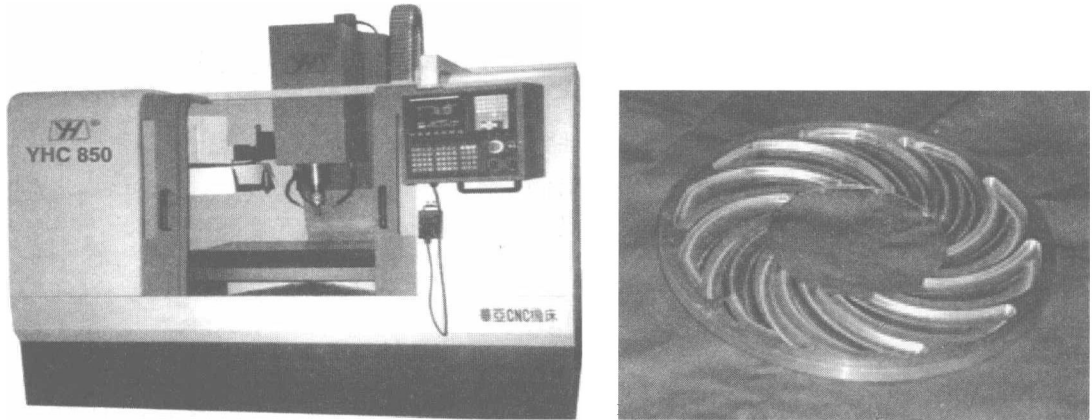


图 1.1 数控技术加工生成的零件

目前,高速加工中心进给速度可达 80m/min,甚至更高,空运行速度可达 100m/min 左右。目前世界上许多汽车厂,包括我国的上海通用汽车公司,已经采用以高速加工中心组成的生产线部分替代组合机床。美国 CINCINNATI 公司的 HyperMach 机床进给速度最大达 60m/min,快速为 100m/min,加速度达 2g,主轴转速已达 60 000r/min。用它加工一薄壁飞机零件只需 30min,而同样的零件用一般高速铣床加工需 3h,用普通铣床加工需 8h;德国 DMG 公司的双主轴车床的主轴速度及加速度分别达 12 000r/min 和 1g。普通级数控机床的加工精度已由 10 $\mu$ m 提高到 5 $\mu$ m,精密级加工中心则从 3~5 $\mu$ m 提高到 1~1.5 $\mu$ m,并且超精密加工精度已开始进入纳米级(0.01 $\mu$ m)。

## 1.1 先进制造技术的提出和发展

生产工具作为人类进步与文明的重要标志,与制造技术有着密切的关联。从旧石器时代到新石器时代,人类已经懂得了利用自然界中天然的石块,进行简单的加工,作为谋生的重要工具。在青铜器和铁器时代,采矿、冶炼和铸锻等技术得到了进一步的发展,人类已开始制作一些简单的机械如纺织机械和水利机械等,代替一部分的人工劳动,但机械的动力还是靠人力提供。在蒸汽机时代,手工劳动逐渐被机器生产所代替,这是人类进步的一个重要标志,并由此引发了第一次工业革命。内燃机的发明引发了制造业的又一次新革命,并得到了更迅猛的发展,逐渐在国民生产中占据了主导地位。第二次世界大战后,由于计算机、微电子、信息和自动化技术在制造业中得到广泛的应用,先后出现了数控机床

(NC)、计算机数控(CNC)、直接数控(DNC)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机辅助设计/制造(CAD / CAM)、计算机集成制造(CIM)、准时生产(JIT)、制造资源规则(MRP)、精益生产(LP)和敏捷制造(AM)等多项先进制造技术与制造模式,这使得制造业经历了一场新的技术革命。

### 1.1.1 先进制造技术产生的背景

20 世纪 80 年代,首先由美国人提出了先进制造技术的概念,美国政府为了扭转在国际竞争中逐渐处于劣势的局面,批准了由联邦科学和工程与技术协调委员会主持实施的先进制造技术计划(Advanced Manufacturing Technology, AMT)。世界各国尤其是工业发达国家都十分注重其基础理论的研究及应用推广,曾出现过研究与应用先进制造技术的浪潮。先进制造技术作为一门新兴的高新技术,在传统制造技术的基础上,不断吸收现代科学技术在机械、电子、信息、材料、计算机、控制、能源、加工工艺、自动化以及现代管理等领域的最新科研成果,并将其优化集成综合应用于产品的研发设计、制造、检测、销售、使用、管理和服务的环节,从而实现优质、高效、低耗、清洁、精益、敏捷、灵活的生产目标。先进制造技术作为一个多学科的综合体系,其内涵已超越了传统制造技术和企业及车间,甚至国家界限。目前,先进制造技术已成为当代国际间科技竞争的重点,其技术水平在很大程度上反映了一个国家工业的发展水平。

### 1.1.2 先进制造技术的发展概况

先进制造技术作为一门高新技术,其产生不仅是科学技术的发展结果,同时也是人类历史发展和文明进步的必然结果。目前,不论工业发达国家和新兴工业国家还是发展中国家都已认识到先进制造技术的重要性。为了提高本国的竞争力和振兴国家经济,先进制造技术被放在了战略的高度,先进制造技术已经与一个国家的经济密不可分。据统计,从 1999 到 2001 年,部分工业发达国家的制造业增加值在国内生产总值的比重分布情况如图 1.2 所示。

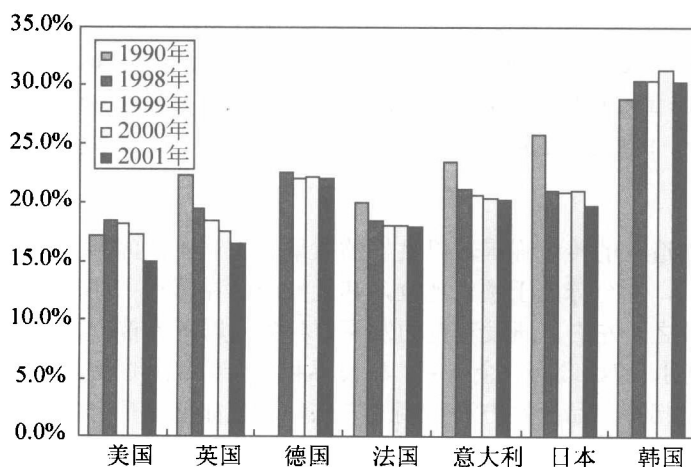


图 1.2 部分国家制造业增加值在国内生产总值的比重分布

注:资料来源,国际统计年鉴(2004)。

由图 1.2 可知,工业发达国家制造业在 GDP 中所占的份额下降趋势减缓,但在制造业中先进制造业的发展迅速,所占的份额呈现上升的趋势。

制造业是一个国家经济发展的基石,也是增强国家竞争力的重要手段。世界上制造业发达的国家如美国、英国、德国、法国、意大利、日本和韩国等,其先进制造都经历了各自不同的发展之路。

### 1. 美国

在 20 世纪 70 到 80 年代,美国在“第三次浪潮”的影响下,将制造业视为“夕阳工业”。美国人热衷于把科研的重点放在高新技术和军用技术上,注重发明的数量、诺贝尔奖获得者的多少,轻视科研成果在民用方面的转化与应用。这使得美国陷入经济衰退的困境,制造业出现了亏损。到 20 世纪 80 年代末,美国政府逐渐意识到面临的危机,美国各界认识到无论在什么时代,制造业都是创造财富、提供就业机会和促进创新的重要生产部门。美国人开始把雄心勃勃的“星球大战”计划转移到发展先进制造技术的应用和推广上来。通过一系列的举措,美国依然是世界上的制造大国和强国。

目前,制造业在美国经济社会发展中仍占有重要地位,其主要表现为:制造业在国内生产总值中占的比重较大,对其他行业也有较大的推动作用,如销售业和服务业等;美国制造业的全球化程度远高于其他行业;出口的产品主要包括计算机电子设备、化工产品、机械、汽车和飞机等制造领域,占美国出口产品的一半以上。

#### 特别提示

阿尔文·托夫勒是当今最具影响力的社会思想家之一,1928 年 10 月 8 日出生于纽约,纽约大学毕业,1970 年出版《未来的冲击》,1980 年出版《第三次浪潮》,1990 年出版《权力的转移》等未来三部曲,其著作对当今社会思潮有广泛而深远的影响。

他认为,农业的兴起是人类社会发展的第一个转折点,称为第一次浪潮。工业革命是第二次伟大的突破,称为第二次浪潮。工业化在第二次世界大战后的 10 年达到顶峰,第三次浪潮开始。第三次浪潮是不同于农业兴起和工业革命的革命。他认为“第三次浪潮”不仅加速了信息流动,而且还深刻改变了人们赖以行动与处世的信息结构。传统工业被称为“夕阳工业”或“烟囱工业”,是由于信息技术发展的影响使得工厂开工不足,工人大量失业,市场日益缩小。据统计,从 1973 年到 1980 年,美国汽车产量从 1200 万辆跌到 700 多万辆,工人失业率在 1983 年达到了 19%。1983 年,美国钢铁工业的开工率仅为 42%,西欧国家仅为 40%左右,日本也不过 60%。

### 2. 德国

德国是世界制造业的传统强国,以良好的质量和生产工艺闻名于世。制造业是德国重要的经济生产部门,在全球处于领先地位,其机械产品在国际市场上享有盛誉,产品占世界同类产品的五分之一左右,研发获得的发明专利数量居世界首位。

在 20 世纪末期,德国政府、企业界、科技界和工会组织共同提出了 2000 年生产计划。其主要研究领域包括:产品开发方法和制造方法,研究如何缩短产品开发和制造周期的方法;产品制造过程中的经济学,开发可重复利用的材料、可重复利用的产品以及“清洁制造”过程,制定新材料的标准;面向制造的后勤学,研究能够缩短制造周期和降低运输费用的方法;面向制造的信息技术,开发适用于制造的高效可控的通信系统;多变环境下的

制造方式, 研究开放的、具有学习能力的生产组织结构以及可重构生产系统的设计和运行等。

除 2000 年生产计划外, 近几年德国教育、科学、研究与技术部等相关部门相继发起了“质量保证计划”、“工作和技术计划”、“保护环境的生产计划”、“微系统技术计划”、“工业基础技术研究计划”等计划, 这些计划主要研究开发可靠的质量管理体系, 工业机器人的编程问题, 流程工业中的柔性生产结构, 计算机多媒体系统, 工业生产的发展与环境保护间的协调, 微系统制造技术, 利用工业基础研究成果开发新产品、新工艺和新技术等。

#### 特别提示

西门子股份有限公司的前身是 1847 年创建于柏林的西门子-哈尔斯克电报机制造公司。1897 年该公司改为股份公司, 1966 年正式取名为西门子公司。总部位于柏林和慕尼黑的西门子公司是德国乃至欧洲最大的电器电子公司, 也是世界上最大的电气工程和电子公司之一。德国西门子公司生产的可编程序控制器在我国的应用也相当广泛, 在冶金、化工、印刷生产线等领域都有应用。

1886 年, 罗伯特·博世先生在德国创办了一间简陋的“精密机械和电器工程车间”。如今已经发展为以博世自己的名字命名的公司, 并成为德国第六大制造企业, 总部位于德国斯图加特。博世在全球 50 多个国家设有子公司和分支机构, 2005 年位列全球 500 强企业第 83 名。其产品涉及汽车技术、工业技术、消费品和建筑智能化技术等领域。

### 3. 英国

英国属于传统制造业强国, 曾一度成为“世界工厂”。但受产业结构调整和其他工业强国崛起等诸多因素的影响, 英国传统制造业的竞争力有所下降。20 世纪 80 年代是英国制造业以及整个产业体系的结构调整时期, 在该时期, 英国的许多电子产品在国际上已跻身先进行列。在 20 世纪 80 年代末和 90 年代, 虽然英国传统行业的产出出现连续下滑, 但英国的先进制造业部门已进入快速持续增长时期。进入 21 世纪以来, 高附加值的先进制造业成为其发展的重点, 主要包括: 航空航天工业、通信与光电行业、汽车工业、化学工业等。尤其在先进制造技术上, 如医药、化工、交通运输设备制造与光电设备制造, 其都有很强的研发与创新能力, 研发水平处于世界前列。

英国政府重视先进制造技术的研发, 支持工程和技术规划及制造系统工程研究, 开展了先进制造技术研究, 如计算机集成制造技术(CIMS)、单元式制造技术、快速原型制造技术、人机工程学、并行工程实施方法等。

### 4. 法国

法国是欧洲经济强国, 尤其在核电装备、高速列车、航空与航天、工业机器人、汽车制造和纺织机械等领域长期保持领先地位。制造业曾经是推动法国工业化阶段完成的重要力量, 但进入后工业化阶段后, 制造业在国民经济中的地位呈下降趋势, 在整个 20 世纪 90 年代, 制造业增加值在法国的国民生产总值中所占的比重有下降的趋势。但制造业依然是法国国民经济中的重要组成部分, 对于维持和巩固法国在全球的国家竞争优势地位发挥着不可替代的作用。特别是 20 世纪 90 年代以来, 随着高新技术产业的发展和传统制造业的高新技术改造, 先进制造业在制造业中所占的比例迅速提高, 巩固了法国作为世界先进制造业强国的地位。

目前,法国绝大部分制造业行业都充分吸收和应用了世界信息技术发展的成果,主要制造业领域基本实现了信息化,基本建立起与现代技术相适应的生产方式。

### 5. 意大利

意大利是欧洲重要工业发达国家之一,在工业机器人制造业、机床工业、制药业、纺织机械业、通信设备业和航空航天设备制造业等领域拥有全球领先的技术。意大利作为工业强国之一,其优势主要体现在:炼油能力达到1亿吨左右,素有“欧洲炼油厂”之称;钢铁产量居欧洲第一位;塑料工业、拖拉机制造和电力工业等也位居世界前列;制革、制鞋、纺织、家具、首饰、酿酒、机械及电子工业等在全球拥有很高的知名度。

### 6. 日本

日本是继英、美之后又一个依靠制造业崛起的国家。在第二次世界大战后短短几十年的时间里,日本已经跻身世界经济强国之列。战后初期,日本经济技术水平与欧美各国之间差距很大,但日本政府和企业利用相对有利的国际环境,通过持续不断地对应用技术的开发,在20世纪70年代,已极大地缩短了与欧美工业发达国家之间的差距,并在钢铁、汽车、家用电器等领域达到了世界先进水平。在20世纪80年代,日本的制造业水平已处于国际领先地位,在该时期成为“世界工厂”,在20世纪末期日本经济进入震荡期,该时期日本政府确定了以高科技为导向带动产业结构调整的措施,大力发展以信息技术为代表的先进制造业。进入21世纪以来,日本进一步大力调整制造业内部结构,国内主要保留附加价值和技术含量高的部分,而附加值低和技术含量不高的产品生产则向国外转移。

日本为了摆脱“美国出创新概念,日本出创新产品”的不利局面,提出了以信息化带动制造业的智能制造技术(Intelligent Manufacturing System, IMS)国际合作计划。在20世纪末期,日本文部省下属的日本科学振兴会发起未来计划。该计划旨在发展本国技术,其中与制造相关的领域有:先进工艺,下一代加工制造技术,智能信息与先进信息控制技术,微机械电子与软机械电子,通过将生命科学与化学技术的集成来生产新型材料等。

### 7. 韩国

韩国是新兴工业化国家之一,韩国政府通过实施强力主导的产业政策,大力推动了工业化进程,借助国际产业结构调整的机会,加速了产业结构的转换和升级。韩国政府一直将科学技术进步视为经济发展的主要动力,注重制定与经济发展计划紧密配合的技术进步政策。韩国制造业是从单纯引进到消化、吸收与改进国外先进技术,积累自身技术能力的技术进步战略的成功典型。韩国制造业也经历了劳动密集型、资本密集型到知识技术密集型,由传统生产方式到先进制造模式并最终实现循环经济发展模式的过程。

在20世纪60年代,韩国建立了以轻工业为中心的制造业体系;在20世纪70年代,建立了以重工业和化学工业为中心的制造业结构。在20世纪80年代,与日本相似,韩国的制造业处于结构调整和优化阶段。20世纪末,受到金融危机的影响,韩国的制造业进入了相对下降和震荡的阶段。

韩国是造船大国,移动电话制造也居世界前列,是拥有高速铁路较早的国家之一,同时是世界汽车生产的大国。目前韩国的制造业水平已进入世界领先行列。

20世纪末期,韩国政府提出了先进技术国家计划(简称G7计划),由韩国科技部、工商

部、能源部和交通部联合实施,旨在将进入 21 世纪时韩国的技术实力提高到世界一流工业发达国家的水平。

### 知识链接

1991 年 4 月,卢泰愚总统发表了科学技术政策宣言,提出到 2000 年要使韩国的科学技术达到西方 7 国(美国、英国、法国、德国、日本、加拿大、意大利)的水平,作为实现这项宏伟目标的措施之一,韩国政府决定实施先导技术开发计划(Highly Advanced National Project, HAN Project, 又称 G7 计划),其内容见表 1-1。

表 1-1 韩国 G7 计划列表

| 系 统                  | 领 域               | 项 目  |
|----------------------|-------------------|--|
| 系统 1<br>共性基础技术       | 开放式集成系统           | 关键单元软件,设计自动化,并行工程网络系统,物料搬运系统,系统仿真,管理软件,系统开发,系统集成   |
|                      | 标准和性能评价           | 关于 IMS 战略(智能制造系统),标准化,性能评价,产出评价和运营战略               |
| 系统 2<br>下一代加工系统      | 加工设备开放            | 5 轴加工中心,高精度、高生产率加工中心,超精非球面加工中心,CNC 磨削中心,CNC 滚球丝杠磨床 |
|                      | 机械技术              | 高精度加工和测量,高性能主轴,柔性外围设备,主轴和伺服电机及驱动器,CNC 控制器          |
|                      | 运营技术              | 智能生产计划和控制,数据库和技术信息管理,系统监督和诊断                       |
|                      | 集成技术              | CAD/CAM/CAE 智能 CAPP,物料搬运系统,系统集成                    |
| 系统 3<br>电子产品的装配与检验系统 | 下一代印制线路板装配和检验系统   | 电子元件插装表面安装,COBTABB 附件,印制线路板,高速精密线路测量               |
|                      | 用于装配和制造系统的高性能机械机构 | 柔性装配的外围设备,装配用高性能机器人技术,图像检测系统                       |
|                      | 先进装配用的基本技术        | 高密度印制线路板的设计和制造,高精装配,无纤料组合,清洁技术                     |
|                      | 系统运行和集成           | 自动诊断和运行控制,自动装载和卸载,生产计划和控制,生产信息和动作的数据库,系统集成         |

综上所述,各发达国家先进制造技术的发展具有共同的特点,如以技术为驱动,以支柱产业为依托,注重技术上的超前性和工业发展的需求。

## 1.2 先进制造技术的内涵及体系结构

先进制造技术是为了适应时代和市场需求,对制造技术不断优化及推陈出新以提高竞争能力,从而形成的一个相对的、动态的概念。

### 1.2.1 先进制造技术的内涵和特点

随着社会需求个性化、多样化的发展,生产规模也必然经历从小批量到大批量,最终发展到多品种变批量的阶段。计算机和现代化管理技术的不断引入、渗透与融合逐渐改变着传统制造技术的面貌和内涵,从而形成了先进制造技术自身的特征。

先进制造技术的特点主要体现如下。

#### 1. 动态性

先进制造技术主要针对一定的应用目标,不断地吸收各种高新技术,因此先进制造技术本身的发展并非一成不变,而是随着其他相关技术的发展不断地更新自身的内容,反映在不同的时期先进制造技术有其自身的特点。

#### 2. 广泛性

传统的制造技术是将各种原材料变成成品的加工工艺,而先进制造技术则在传统制造技术的基础上,大量应用于加工和装配过程,但由于生产过程包括了设计技术、自动化技术和系统管理技术等,其涉及面广泛。

#### 3. 实用性

先进制造技术首先是一项面向工业应用、具有很强实用性的新技术。其主要是针对某一具体制造业的需求而发展起来的先进、适用的制造技术,它不以追求技术的高新为目的,而是注重产生效果。先进制造技术以提高效益为中心,以提高企业竞争力、促进国家经济增长和综合国力为主要目标。

#### 4. 集成性

传统制造技术的学科和专业较单一,且界限分明。由于专业和学科间的不断渗透、交叉和融合,使得先进制造技术的界限逐渐淡化,技术趋于系统化、集成化,它已发展成集机械、电子、信息、材料和管理技术为一体的新型交叉学科。

#### 5. 系统性

先进制造技术包括信息的生成、采集、传递、反馈和调整。随着微电子和信息技术等高新技术的引入,一项先进制造技术的产生往往要系统地考虑到制造的全过程,如并行工程就是集成地、并行地设计产品及其零部件和相关各种过程的一种系统方法。这种方法要求产品开发人员与其他人员一起工作,在设计开始就考虑产品在整个生命周期中从概念形成到产品报废处理等所有的因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求等。

#### 6. 高效灵活性

先进制造技术的核心是优质、高效、低耗、清洁等,它根植于传统的制造工艺,并与新技术实现了局部或系统的集成。此外,先进制造技术也必须面临人类在 21 世纪消费观念变革的挑战,满足日益多变的市场需求,实现灵活生产。

#### 7. 先进性

先进制造技术是多项高新技术与传统制造技术相结合的产物,它代表着制造技术的发

展趋势和方向，其内涵与外延将在与其他相关学科的交叉融合中不断丰富和发展。

先进制造技术的最终目标是要提高对动态多变的产品市场的适应能力和竞争能力。随着世界自由贸易体制的进一步完善以及全球交通运输体系和通信网络的建立，制造业将形成全球化与一体化的格局，新的先进制造技术也必将是全球化的模式。

### 1.2.2 先进制造技术的体系结构及其分类

先进制造技术是一个多学科体系，其自身具有复杂的体系结构，因此对先进制造技术体系结构的认识也不统一。目前，对于先进制造技术的体系结构主要有如下两种观点。

#### 1. AMST 多层次先进制造技术体系

美国机械科学研究院(AMST)提出的由多层次技术群构成的体系强调先进制造技术从基础制造技术、新型制造单元技术到先进制造集成技术的发展过程，AMST 体系结构如图 1.3 所示。

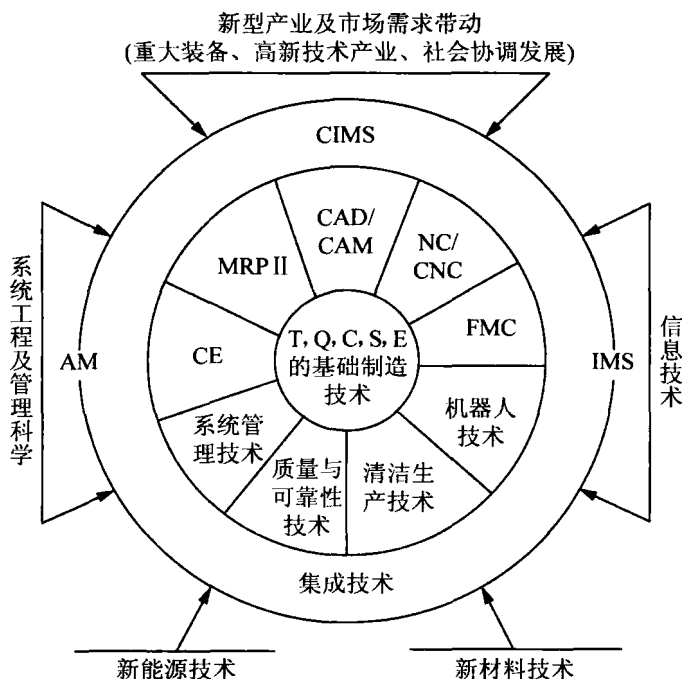


图 1.3 AMST 体系结构

如图 1.3 所示，第一个层次是优质、高效、低耗、清洁基础制造技术。第二个层次是新型的制造单元技术。第三个层次是先进制造集成技术。这是应用信息技术和系统管理技术通过网络与数据库对上述两个层次的技术集成而形成的，如 FMS、CIMS、IMS 以及虚拟制造技术等。

以上 3 个层次都是先进制造技术的组成部分，但其中每一个层次都不等于先进制造技术的全部。这种体系结构强调了先进制造技术从基础制造技术、新型制造单元技术到先进制造集成技术的发展过程。事实上，这个过程正是先进制造技术在新型产业及市场需求的带动之下，在各种高新技术的推动下的发展过程。



## 2. FCCSET 先进制造技术体系结构

美国联邦科学、工程和技术协调委员会(FCCSET)下属的工业和技术委员会先进制造技术工作组提出了先进制造技术是由主体技术群、支撑技术群、制造基础设施组成的三位一体的体系结构。这种体系不是从技术学科内涵的角度来描绘先进制造技术,而是着重从比较宏观组成的角度来描绘先进制造技术的组成以及各个部分在制造技术发展过程中的作用。1994年初,该工作组又提出了有关制造技术的分类目录,这是对先进制造技术内涵的首次较系统的说明。根据这一定义,先进制造技术主要包括以下3个技术群。

该分类体系主要包括主技术群、支撑技术群和制造技术基础设施(制造技术环境),三者之间相互联系,相互促进,否则就很难发挥预期的整体功能效益。FCCSET 先进制造技术的体系结构及主要内容如图 1.4 所示。

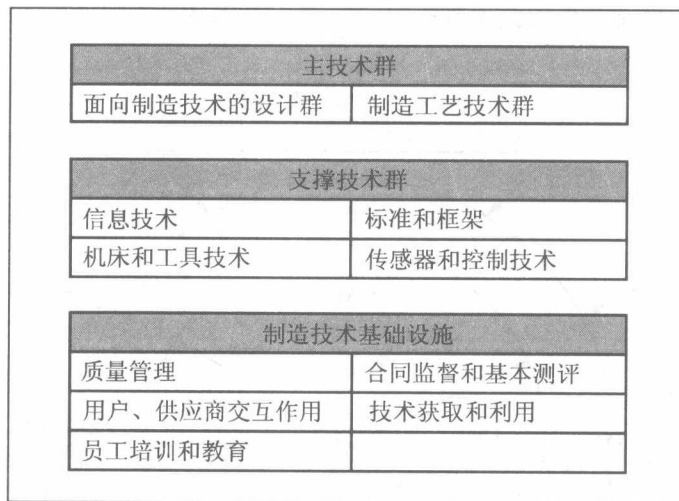


图 1.4 FCCSET 体系结构

如图 1.4 所示,主技术群是制造技术的核心,它又包括有关产品设计技术和工艺技术两个部分,可分为面向制造技术的设计群和制造工艺技术群两个子群。

## 1.3 先进制造技术的发展趋势

制造是创造人类物质财富的源泉,如果没有先进制造技术的原创性研究成果,一个国家的制造业就会失去核心竞争力,在经济全球化进程中不可能成为“制造强国”,也不可能成为世界的“制造中心”。随着经济全球化进程的加快,先进制造技术呈现出新的发展趋势,主要体现在如下。

### 1. 集成化

集成主要是指现代技术的集成,主要包括 3 方面的内容:首先是现代技术集成,如机电一体化;其次是加工技术的集成,如激光加工、高能束加工、电加工等;最后就是企业的集成,如并行工程、敏捷制造、精益生产和 CIMS 等。