

先进制造技术 概念与实践

张 辉 杨林初 编 著

 卓越工程师教材
EXCELLENT ENGINEER

先进制造技术 概念与实践

张 辉 杨林初 编 著

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术：概念与实践 / 张辉, 杨林初编著

—镇江：江苏大学出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-5684-0384-9

I. ①先… II. ①张… ②杨… III. ①机械制造工艺
—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 309412 号

内容简介

本书按教学规律,依据机械专业课程教学的实训基本要求和相关工程训练教学改革精神,结合近年来先进制造技术实训教学改革实践,以船舶主机行业为背景编写而成。

本书共 4 篇 18 章,主要内容包括数字化设计技术、数字化制造技术、特种加工技术、测量检测技术,内容丰富、深入浅出,结构清晰合理,从数字化设计制造的角度,对船舶主机行业的相关内容进行了介绍,突出了工程实践性、相关技术的串联性、原理与实践的结合性及先进的数字化制造理念。

本书可作为高等院校机械类各专业先进制造技术课程的理论教学与实践教材,也可作为高职高专相关专业师生和工程技术人员的参考书。

先进制造技术：概念与实践

Xianjin Zhizao Jishu: Gainian yu Shijian

编 著/张 辉 杨林初

责任编辑/吴蒙蒙

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司

印 刷/虎彩印艺股份有限公司

开 本/787 mm×1 092 mm 1/16

印 张/15

字 数/387 千字

版 次/2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0384-9

定 价/38.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)是指微电子技术、自动化技术、信息技术等先进技术给传统制造技术带来的种种变化与新型系统。具体地说,就是指集机械工程技术、电子技术、自动化技术、信息技术等多种技术为一体所产生的技术、设备和系统的总称。先进制造技术日益成熟与发展,已成为 21 世纪增强制造业竞争力、实现中国制造的

关键技术。
为适应科技进步与社会的发展需要,开阔学生视野,让学生掌握先进制造技术的运用技能,国内外多数高校在机械相关专业高年级学生教学中开设了“先进制造技术”课程及相关的实践课程。编者结合近年来自身在机械专业教改实践中的经验,依托船舶主机行业工程实践背景,以培养学生动手实践能力为目的编写此书。

本书共分 4 篇 18 章,介绍了先进制造技术的主要内涵和基本实践方法,主要内容包括数字化设计技术、数字化制造技术、特种加工技术、测量检测技术,内容丰富,适应面宽,实践性强,可作为机械制造及其自动化、机电一体化、数控加工、企业信息化、工业工程等工科类专业先进制造技术实践教学的教学教材。

编者在编写的过程中,力求做到结构体系清晰、深入浅出、易读易懂,按照设计、制造、特种工艺、检测的路线展开,便于施教。本书偏重数字化技术在先进制造技术中的运用,以各类数字化平台软件为重点内容,同时注重实践操作环节,以船舶主机行业为载体进行展示。

本书由江苏科技大学张辉、杨林初编著,张辉统稿,周宏根教授主审。张辉编写了第 1—6,9,10,16—18 章;杨林初编写了第 7,8,11—15 章。周礼鹏参与编写了第 1、2 章,王永霞参与编写了第 3 章,周经纬参与编写了第 4、5 章,韩振洲参与编写了第 6 章,王伟参与编写了第 8 章,费天鸣参与编写了第 10 章,查显超参与编写了第 17、18 章。李初阳、张攀、唐维康也参与了本书的部分编写工作。

本书在编写过程中得到了学院领导窦培林教授、唐文献教授、张冰蔚教授及方喜峰教授、张胜文教授的支持,得到江苏大学出版社、江苏科技大学教务处及机械工程学院有关同仁的帮助,得到了江苏科技大学江苏省船海机械装备先进制造重点实验室的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平和经验有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大同行和读者予以批评指正。

编著者

2016 年 10 月

目 录

第1章 先进制造技术总论	001
1.1 制造与制造业的概念	001
1.2 先进制造技术的提出及其特点	008
1.3 先进制造技术的内涵及分类	011
1.4 先进制造技术的发展趋势	015
1.5 先进制造技术背景下的实践	017

第一篇 数字化设计技术

第2章 数字化设计技术概论	020
2.1 数字化设计技术定义及发展趋势	020
2.2 CAD 建模技术	026
2.3 CAE 技术	029
2.4 逆向工程	031
2.5 数据交换方法	032
2.6 PDM 技术	034
2.7 常用的 CAD/CAE/RE/PDM 软件	036
第3章 SolidWorks 建模与仿真	044
3.1 SolidWorks 概述	044
3.2 SolidWorks 建模	046
3.3 SolidWorks 装配	053
3.4 SolidWorks 运动仿真	059
第4章 NX 机电概念设计	064
4.1 NX 概述	064
4.2 NX 机电一体化概念设计	065
第5章 ANSYS 仿真与分析	073
5.1 ANSYS 概述	073
5.2 ANSYS 仿真与分析	075

第6章 Teamcenter 产品数据管理	084
6.1 Teamcenter 概述	084
6.2 Teamcenter 文档管理	085
6.3 Teamcenter 结构与配置管理	092

第二篇 数字化制造技术

第7章 数字化制造技术概述	110
7.1 数字化制造技术的内涵、基础理论及发展趋势	110
7.2 CAM 技术概要及数控编程方法	112
7.3 加工仿真技术	116
7.4 数字化工厂	117
7.5 装配仿真	118
7.6 常用的数字化制造软件	119
第8章 NX CAM	126
8.1 NX CAM 概述	126
8.2 NX CAM 自动编程	127
第9章 eM-Plant 仿真	145
9.1 eM-Plant 概述	145
9.2 eM-Plant 仿真	146
第10章 Tecnomatix 装配仿真	169
10.1 Tecnomatix 概述	169
10.2 Tecnomatix 装配仿真	171

第三篇 特种加工技术

第11章 特种加工技术概述	185
11.1 特种加工技术的发展及特点	185
11.2 特种加工的分类	186
11.3 特种加工对材料可加工性和结构工艺性等的的影响	187
11.4 特种加工技术发展趋势	188
第12章 电火花加工技术	190
12.1 电火花加工概述	190
12.2 电火花加工的机理	191

12.3	电火花加工中的一些基本规律	193
12.4	电火花线切割加工的原理	194
12.5	电火花线切割加工典型步骤	195
第 13 章	快速成型技术	196
13.1	快速成型技术概述	196
13.2	FDM 快速成型技术	199
第 14 章	真空注型技术	201
14.1	真空注型概述	201
14.2	真空注型	203
第 15 章	激光加工技术	206
15.1	激光加工概述	206
15.2	激光打标	207

第四篇 测量检测技术

第 16 章	测量检测技术概述	209
16.1	测量检测技术的内涵	209
16.2	测量检测技术的相关基础理论	209
16.3	测量检测技术发展趋势	210
第 17 章	逆向扫描技术	212
17.1	光学扫描概述	212
17.2	结构光扫描	213
第 18 章	三坐标测量技术	223
18.1	接触测量概述	223
18.2	三坐标测量	224
参考文献		230

第1章 先进制造技术总论

1.1 制造与制造业的概念

1.1.1 制造、加工与生产

1. 制造

制造,英文为 manufacturing。该词起源于拉丁文词根 manu(手工)和 facere(做)。这说明,从古至今人们习惯将“制造”理解为“用手来造”。随着社会的进步和制造生产活动的发展与演进,“制造”的概念也在不断地演变与进化。

制造这一术语在使用中有狭义与广义之分。

(1) 狭义制造

狭义制造,又称“小制造”,是指产品的制作过程,即使原材料(矿产或动植物)在物理性质和化学性状上发生变化而转化为产品的过程。传统上人们理解的“制造业”中的“制造”二字便是此意。人们将“制造”理解为产品的机械加工与装配过程。例如,“机械制造基础”主要介绍各类冷加工和热加工方法,包括车、铣、刨、磨、钳及热处理等。

(2) 广义制造

广义制造,又称“大制造”,是指产品的全生命周期活动过程。国际生产工程学会(CIRP)1990年给出了定义:制造是一个涉及制造业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售与服务的一系列相关活动和工作的总称。根据广义制造的概念,制造的功能可在以下4个过程实现。

① 制造工艺过程:制造过程必然将制造的原材料经过一系列的转换使之成为产品,这些转换既可以是原材料在物理性质上的变化(例如:对机械产品的铣削加工),也可以是原材料在化学性状上的变化。工艺过程是制造企业的重要制造活动。

② 物料流动过程:制造过程总是伴随着物料的流动过程,包括物料的采购、存储、生产、装配、运输、销售等一系列物流活动。各类物料在企业内部与企业外部和企业各部门之间流转与运输,构成了企业运营的重要制造活动内容。

③ 信息流动过程:制造过程中,除了物料的流动,还始终伴随着各类信息的流动。一方面,制造企业获得原始的市场需求信息,通过产品设计、工艺设计、加工制造等活动形成市场所需要的产品,在整个制造过程中同时进行着市场需求信息和产品信息处理;另一方面,制造企业通过生产计划和管理手段控制着整个生产制造过程,使制造过程能够顺利、有效地协调进行,在有限的资源条件下,尽量生产出更多高质量的产品,获取更高的利润,因此,制造过程中还伴随着大量的管理信息和控制信息。

④ 资金流动过程：以市场为导向，以利润为目标的企业各项活动与制造过程中的资金流动密切相关，制造企业的采购、设计、生产、销售、物流、服务等都伴随着资金的“逆向”流动。在新的多变市场条件下，注重资金流动性的小型企业更多地关心其利润率最高的“核心”业务，更加体现出资金流动在现代企业中的重要性。

简言之，狭义制造是通过人工或机器使原材料变为产品；广义制造是指产品全生命周期过程的全部活动，包括市场分析、产品开发、生产技术准备（产品设计、工艺编制、装备设计制造）、产品生产、生产组织和管理、质量管理、运输、维修保养及报废回收和再制造等。

2. 加工

加工（Machining）是把原材料直接变换为产品的物理过程。一般通过改变毛坯或半成品的形状、性质和表面状态以达到设计所规定的技术要求。

3. 生产

生产（Production）是指人们使用工具来创造各类生产生活资料的活动。它包含 4 个要素，即生产对象、生产劳动、生产资料和生产信息。

4. 制造、加工、生产的关系

从制造和加工的定义可知，狭义制造主要包括加工和装配。加工是制造活动的关键内容之一。加工系统是制造系统主要的子系统，加工车间或部门是制造企业的重要机构。由此可见，制造和加工是包含关系，不能混淆，更不能并列使用。

从制造和生产的定义可知，广义制造包含生产，生产过程是制造过程中的一个重要活动，生产系统则是制造系统中的一个重要子系统；若使用狭义制造的概念时，制造系统则成为生产系统的一个组成部分，成为生产过程的一个生产单元，实际上指的是加工和装配。从词语使用的语境来看，制造是工程学中的一个常用术语，较多地使用于工程技术领域，而生产通常包含有形和无形两种产出，常出现在政治或经济管理领域。

1.1.2 制造业的内涵

制造业是指将制造资源（物料、设备、工具、资金、技术、信息和人力等）通过制造过程转化为可供人们使用和消费的产品行业。它是所有与制造相关的企业生产机构的总称，包括消费品制造业、装备制造业、轻型制造业和重型制造业、民用制造业和军工制造业、传统制造业和现代制造业等。

制造业按行业可划分为机械制造、运输设备制造、仪器仪表制造、废弃资源综合利用、食品制造、化工制造、石油产品制造、冶金产品制造、军工产品制造、电子产品制造、信息产品制造、医药制造、纺织制造等。按我国目前的统计体系划分，在工业领域，除矿产、自来水等少数行业，制造业几乎包含了所有行业。

1. 制造企业分类

美国国家研究委员会（NRC）将制造企业分为两大类。

① 物质企业：把原材料和可重复利用的毛坯件转变为可分离的半成品和最终物件的企业，如钢铁厂、化工厂等。物质企业所用的制造系统通常被组织在供应链网络中，常常以其他企业供应商的身份出现于市场之中。

② 产品企业：把分离的半成品和物件转变或装配成整体产品的企业。产品企业一般要求有众多的物质企业支持，在供应链网络支持下完成最终产品的加工与装配。这类企业的

制造系统主要是某些关键部件(如汽车发动机、变速箱等)的制造和总装系统。

2. 制造业的发展阶段

制造业的发展可以粗略地划分为古代、近代和现代3个阶段。

古代没有清晰分类的制造业,人类在不断地搜集和摸索中总结经验,从制造工具开始了原始的制造活动。“直立和劳动创造了人类,而劳动是从制造工具开始的”。最初的制造工具是石器工具。人类文明便以此划分为旧石器时代和新石器时代。这些原始工具的制造是人类社会制造业的最初萌芽。随着狩猎和采集技术的进步,工具日趋精细,出现了有组织的石料开采与加工,形成了原始的制造业。在新石器时代,人类从采集和狩猎转向耕作与畜牧。到了青铜器与铁器时代,制造业以手工作坊的形式出现,形成了各类利用人力或畜力纺织、铸造等所需的农耕器具等的原始制造活动。

近代制造业开始于18世纪,蒸汽机的发明为制造业提供了新的动力,初步形成了传统的大机器制造业及其制造技术体系。到19世纪,工业革命继续深入发展,生产规模进一步扩大,制造技术进一步提升,诞生了新型冶炼技术、内燃机技术和电气技术。20世纪初,流水线形式的大量生产方式,显著提高了生产效率,创造了人类历史上制造业的辉煌。以机电自动化为基础的制造自动化在这一时期达到了相当高的水平。当时的市场需求、科技与生产力发展水平,决定了近代制造业的发展重点是以机床、工艺、工具和检测等“物”为主题的机械制造技术。

现代制造业以计算机的融入为显著标志。第二次世界大战后,数字计算机融入制造领域,1952年美国推出了数控机床并很快应用到工业领域。自此,世界生产迈进了数字化制造时代。20世纪70年代,随着市场竞争的加剧,大量生产方式开始逐步向多品种、中小批量生产方式转变。20世纪90年代,随着计算机和网络技术的飞速发展及与制造技术的融合,数字化制造日益成为主流的制造技术,制造工程开始了向制造工程与科学的过渡,更新与扩大了制造系统的学科基础。现代制造业的发展成就主要集中于数字化、信息化、系统化和科学化等。

3. 世界制造中心的转移

世界制造中心的转移是在技术革命和产品革命中形成的。到目前为止,世界制造中心已经经历了三次转移,并正在进行第四次转移。历史上,英国、德国、美国和日本这4个国家都可以被称为“世界工厂”或“世界制造中心”。

① 第一个被称为世界工厂的国家是英国:1760—1850年,英国制造业在世界制造业总量中所占比例从1.9%上升到19.9%。当时,英国生产全世界53%的铁和50%的煤。第一次技术革命和产业革命,标志着世界制造中心的产生。英国作为世界制造中心和科技中心的地位一直保持到19世纪后期。

② 世界制造中心第一次转移:1851—1900年,德国的哲学革命给德国的科学革命开辟了道路,使人类进入合成化学时代和人工制品时代。德国仅用40多年的时间就超越了英国,实现了工业化,成为世界科技与制造中心。

③ 世界制造中心第二次转移:1879—1930年,发生在美国的第二次技术革命——电力技术革命,使美国建立和完善了化工与电力产业,成为石油化工技术王国,诞生了一大批垄断性企业。在此基础上,美国大力发展汽车行业,1927年汽车总产量占世界市场的80%。美国取代德国成为世界科技中心和制造中心,并在第二次世界大战之后,在第三次技术革命中,

凭借信息技术为主的高技术群,保有世界科技中心和世界制造中心的桂冠。

④ 世界制造中心第三次转移:第二次世界大战后,日本提出了“技术立国”的口号,采用引进、吸收、创新的方法,博采各国技术之长,组成世界独一无二的日本产品系列,迅速发展成为世界第二大经济体,GDP 占世界总额的 15%。20 世纪八九十年代,日本取代美国成为世界制造中心。

目前,世界制造中心正在往中国转移。从这几次制造中心转移的过程可以发现,全球制造业中心的转移都是以科技创新为基础的,制造业大国也都是科技强国。

4. 制造业的作用

(1) 制造业是人类文明发展的重要推手

在人类文明发展的历史长河中,每一次文明进步和发展总是伴随着制造产品的重大创新。石器时代基于石制工具,青铜器和铁器时代基于金属制品,近代的世界制造中心也都围绕着一系列的制造业重大革新而转移。从某种意义上说,人类文明的发展历史就是人类展现制造物品能力的历史。制造业不仅是文明向前进步的重要推手,也是文明湮灭的重要原因,人类历史上重要的文明变革都与民族间或文明间的制造业差异密切相关。秦灭六国与其箭、戈武器的标准化制造水平不无关系,美洲印第安人几乎被欧洲殖民者灭族根源在于两者间制造工业水平差距之大,近代中国百年屈辱历史亦与近代中国几无工业关系甚大。

(2) 制造业是国民经济的支柱产业和经济增长的发动机

从经济角度看,制造业是一个国家经济发展的基石,也是增强国力的基础。制造业的先进性是一个国家经济发展的重要标志。据估计,工业化国家 60%~80% 的物质财富来自制造业。高精技术产品、关键装备能自给自足,而不依赖进口是国家经济自力更生能力的重要标志。强大的制造业不仅可以满足国内市场需求,而且可以出口创汇,提高国际地位。在现代国际经济中,一个国家想要拥有强大的经济,尤其是像中国这样的大国,没有强大的制造业是不可想象的。

(3) 制造业是高技术产业化的载体和实现现代化的基石

从技术角度看,制造业是使技术转化为生产力的基础。以美国来看,制造业企业几乎囊括了整个国民经济产业的全部研究与开发,提供了制造所用的大部分科技创新,使美国经济增长的大部分技术进步长期都来源于制造业。纵观工业化历史,众多的科技成果都孕育于制造业的发展之中。制造业也是科研手段的提供者,20 世纪涌现的核技术、空间技术、信息技术、生物医学技术等高新技术无一不是通过制造业的发展而产生并转化为规模生产力的。新兴的科技成果,如集成电路、移动通信、互联网、航天飞机等产品,形成了制造业中的高新技术产业。

综上所述,制造业是现代物质文明的基础,是国防安全的保障,是国民经济的主体和支柱,是技术进步的需求和舞台,是国际竞争的取胜法宝。

1.1.3 我国制造业的现状

制造业是新中国成立以来经济发展的主要贡献者,没有中国制造业的发展就没有今天中国人民的现代物质文明。

1. 制造业已成为国家命脉

① 制造业是关系国计民生的产业主体:制造业是国民经济的基础,制造业的发展直接影响着国计民生的发展及国防科技力量的加强。一个国家的制造业不仅是社会经济发展的基础,也是人类精神文明发展的载体。因此,各国均把制造业的发展放在社会经济建设的首要位置,制造业也以其发展完善、分工严密、专业化程度高、需求量大等特点成为国家竞争力的主要标志。进入21世纪,我国制造业飞速发展,制造业增加值屡创新高,逐渐成为国民生产总值及工业生产总值的重要组成部分。

② 制造业是吸纳劳动就业的重要市场:制造业的发展中,存在着大量的从业就业机会,能够接纳多个层次不同类型的人才。制造业由于其独特的优势成为解决我国就业人口压力的重要途径。制造业对增加就业机会的贡献主要表现在两个方面:一是制造业自身发展创造的机会;二是伴随制造业的发展,相应的服务行业逐渐兴起,带动了大量的第三产业的就业机会。

③ 制造业是我国扩大出口和内需的关键产业:改革开放以来,中国经济持续高速增长,很大程度上依靠出口的拉动。但是随着全球经济格局的变化,特别是2008年金融危机以来,出口拉动型增长面临越来越多的困难。在经济增长方式由外需拉动转向内需消费与外需拉动结合的同时,充分发展具有高技术含量的制造业,以弥补大量初级产品价格不断走低、竞争力缺乏的不足,成为拉动经济发展的重要方式。随着经济全球化的发展,更多的国家不断扩大制造业产品的出口及国内消费需求,以拉动国际市场竞争力和附加值。欧美等发达国家的制造业出口值均占其出口总值的90%以上。随着国际经济的发展,我国也在大力促进制造业的发展,20世纪以来,我国制造业出口额显著提高,已经成为扩大出口和内需的关键产业。

2. 我国已跻身世界制造大国行列

① 提供重大成套装备能力不断提高:我国制造业已经初步具有世界制造大国的规模和水平。在几代人的不断努力之下,我国提供重大成套装配的能力不断提高。华能沁北600 MW超临界火电站成套设备;装有32台发电机组、功率达到2240万kW的三峡水电站;宝钢三期工程250 t氧气转炉设备;先进的水下探测器“潜龙2号”;我国领先世界的高铁技术等凸显了我国制造业大国的能力和形象。

② 制造业总体规模已居世界前列:近年来我国制造业规模已跃居全球首位,占全球制造业的20%左右,并且门类最为齐全。在农用机械、摩托车、集装箱、太阳能、空调等家电领域遥遥领先。中国制造也已经远销海内外,中国制成品在海内外的占有额增长迅速。发改委决定,近些年着重发展工业机器人、船舶海洋工程装备、高端医疗器械、新能源汽车、现代农业设备、轨道交通等六大领域,开始集中力量做大事,使中国制造不断走向“中国创造”,提高我国制造业的技术含量,使我国制造业规模完成质与量的综合飞跃。

③ 各具特色的制造业基地逐渐形成:根据我国不同区域的发展历史和市场需求,制造业市场也形成鲜明的格局。东北老工业基地由于长期沉淀的工业基础,成为独具特色的重大成套设备制造集中地;长三角地区以上汽等一大批汽车企业为代表,形成了以上海为中心,江苏、浙江为两翼的长三角汽车工业制造基地;珠三角地区依靠先进的电子设备制造技术,逐渐发展成为家用电器、电子产品及通信设备等的制造基地。由于国家需要,西部国防装备制造基地正在形成。这些各具特色的制造基地在我国制造业发展中起到各自关键的作用。

3. “中国制造”的“新常态”

近年来,我国 GDP 增长放缓,由过去的高速增长转变为中高速增长的新常态,而中国的制造业受各种内外部因素和压力影响,也开始进入“新常态”。

① 成本优势逐步削弱。美国波士顿咨询集团发布的报告指出,在全球出口量排名前 25 位的经济体中,如果以美国的制造成本为基准 100,则“中国制造”的成本指数为 96。这意味着“中国制造”传统劳动密集型制造业竞争力逐步消失。

② 企业行为越来越由消费者需求驱动。消费者的需求越来越多元化,对产品质量、创新性等要求高;个性化的需求越来越多,要求对需求响应的时间越来越短;对服务质量的要求越来越高。能否紧紧抓住消费者的需求、满足消费者的体验,在很大程度上决定了企业的成败。

③ 出口增速放缓。国际贸易受困于全球经济疲软,“中国制造”出口数据增速放缓,过去多为两位数增长,如今已经降至一位数,甚至短期出现负增长。

④ 面临环境与资源的挑战。近 10 年来中国制造业快速发展,在消耗大量能源的同时,也给环境带来了巨大的影响,制造业高污染、高能耗的问题愈加凸显。解决该问题需从两方面着手:一方面企业需要强化产品全生命周期绿色管理,按照先进制造技术中的绿色制造理念,努力构建高效、清洁、低碳、循环的绿色制造体系;另一方面在政府的指导下进行产业结构调整,发展清洁能源及加大各类节能技术与节能设备的研究与应用。

1.1.4 我国制造业问题表现分析

尽管我国制造业总产值位居世界第一,也不乏产量居世界前列的产品,制造业的国际竞争力不断提高,但是与发达国家相比,依然还有较大的差距。

1. 制造业总体问题

① 技术创新能力薄弱。技术创新能力是一个国家制造业发展的根本。中国由于制造业起步较晚,在技术创新方面仍然存在较多不足;一些核心制造的关键技术还依靠国外引进;绝大多数高端电子设备依靠进口;拥有自主知识产权的产品较少,对引进技术的消化吸收也大多停留在仿制阶段,不能真正掌握核心技术;受到生产设备和技术理念的制约,工艺加工水平也比较粗糙。因此,急需把提高自主创新能力作为调整产业结构,转变经济增长方式的中心环节,从政策环境、对外交流、融资氛围、基础设施、创新文化等多个方面有效促进制造业创新能力的发展。

② 处于全球产业链的低端。21 世纪以来,“中国制造”一度风靡全球,但一些有远见的人逐渐发现,中国仅仅是世界制造业的一个大型加工厂,中国制造业发展不容乐观,高技术产品严重依赖进口。光纤设备、集成电路芯片等设备进口率超过 90%,石油化工设备、汽车核心部件、数控机床、纺织机械市场均被进口产品所占领,自主研发产品所占比例微乎其微。“中国制造”仅作为全世界制造中较为低端的一个环节,中国大量出口产品缺乏核心技术,主要集中在初级产品包括手工业等产品上。我们生产的衣服、箱包及农产品技术含量低、利润小、可替代性强,缺乏核心竞争力,屡屡受到外国市场的压制。因此,提高我国制造业的技术水平迫在眉睫。

③ 产业结构不合理。我国制造业总体结构偏轻,装备制造业基础薄弱,机电产业发展缓慢,制造业产业技术停滞不前,并且长期受到国际封锁、行业垄断的影响,加上自身法制不健

全,使得我国生产要素分配、资源流动和重组困难重重,组织结构较为分散。

④ 劳动生产率及附加值低。近10年来,我国劳动生产率及附加值稳步上升。2015年我国劳动生产率提高7%,但是与发达国家还有很大差距。我国劳动生产率的提高主要集中于中低技术的制造业,人均劳动生产率仅为美国的1/25,日本的1/26;装备制造在制造业中所占的比重依然较低,拥有自主知识产权的产品并不太多,依附于国外技术的产品所占比重仍然过大;国企改革没有到位,围绕大型企业的中小企业群体也未形成,主要还停留在劳动密集阶段。

2. 制造企业问题

① 国有企业体制不适应。随着中国特色社会主义的发展,我国的制造企业重点集中在国有企业。国有企业拥有雄厚的资本和制造资源,但是由于机构过于庞大、体制更新较慢、管理机能落后、革新执行力较弱,很多国家新兴技术理念难以落实,部分企业部门多头管理,应变能力大大削弱,无法对市场需求快速反应。同时也导致技术研发、生产、营销和维护难以协调发展。

② 生产管理手段不先进。工业发达国家中,许多先进的管理模式已经得到推广,包括企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)、客户关系管理(Customer Relationship Management, CRM)、供应链管理(Supply Chain Management, SCM)、电子商务(Electronic Commerce, EC)等模式。我国大部分企业管理模式落后,先进管理理念缺乏,产品物料清单混乱、生产计划精度较低,从而导致生产成本大幅度提高,产品生产周期过长。很多企业开始引进国外先进管理系统,但是落实难度较大。

③ 企业组织结构不合理。随着企业的逐步发展,企业规模不断扩大,不少企业出现了机构组织僵硬、臃肿的现象,企业内部执行力降低,简单事情被逐步复杂化,造成工作效率低下;也有一些企业忽视企业文化的建设,一味强调生产的重要,从而造成企业信息传递环节冗乱,决策力下降,缺乏对市场行情变换的快速响应能力。

④ 制造技术水平较低下。在制造业日益强调柔性化、智能化、精密化的背景下,制造技术水平直接反映制造业发展的能力。未来的制造单元工艺将导致生产能力急剧变化。我国众多企业创新能力较弱、技术水平低,难以应对制造业全球化、信息化的挑战。许多企业采用的传统生产模式在能源、材料和人员方面都造成了较大的浪费,急需做出改变。

1.1.5 我国制造业的目标

新中国成立尤其是改革开放以来,我国制造业持续快速发展,建成了门类齐全、独立完整的产业体系,有力地推动了工业化和现代化进程,综合国力显著增强,然而,与世界先进水平相比,中国制造业仍然大而不强,在自主创新能力、资源利用效率、产业结构水平、信息化程度、质量效益等方面差距明显,转型升级和跨越发展的任务紧迫而艰巨。

工业4.0是德国政府提出的一个高科技战略计划,旨在提升制造业的智能化水平,建立具有适应性、资源效率及人因工程学的智慧工厂,在商业流程及价值流程中整合客户及商业伙伴。其技术基础是网络实体系统及物联网。

根据德国工业4.0,我国首次提出了“中国制造2025”这一概念。《中国制造2025》是我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领,为中国制造业转型升级设计了规划,将“中国制造”向“中国智造”推进,突出表现为转型升级和价值链攀升。一方面,原有劳动密集型产

业向东南亚和印度等劳动力成本更低的国家转移；另一方面，中国制造正向价值链更高端产品延伸，制造业和互联网紧密融合。

中国制造业目标：

① 力争用 10 年时间，迈入制造强国行列。到 2020 年，基本实现工业化，制造业大国地位进一步巩固，制造业信息化水平大幅提升。掌握一批重点领域关键核心技术，优势领域竞争力进一步增强，产品质量有较大提高。制造业数字化、网络化、智能化取得明显进展。重点行业单位工业增加值能耗、物耗及污染物排放明显下降。到 2025 年，制造业整体素质大幅提升，创新能力显著增强，全员劳动生产率明显提高，两化（工业化和信息化）融合迈上新台阶。重点行业单位工业增加值能耗、物耗及污染物排放达到世界先进水平。形成一批具有较强国际竞争力的跨国公司和产业集群，在全球产业分工和价值链中的地位明显提升。

② 到 2035 年，我国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平。创新能力大幅提升，重点领域发展取得重大突破，整体竞争力明显增强，优势行业形成全球创新引领能力，全面实现工业化。

③ 新中国成立 100 年时，制造业大国地位更加巩固，综合实力进入世界制造强国前列。制造业主要领域具有创新引领能力和明显竞争优势，建成全球领先的技术体系和产业体系。

“中国制造 2025”是在新的国际国内环境下，中国政府立足于国际产业变革大势，作出的全面提升中国制造业发展质量和水平的重大战略部署。其根本目标在于改变中国制造业“大而不强”的局面，通过 10 年的努力，使中国迈入制造强国行列，为到 2035 年将中国建成具有全球引领能力和影响力的制造强国奠定坚实基础。

1.2 先进制造技术的提出及其特点

1.2.1 先进制造技术产生背景

传统的机械制造已有很长的历史，它对人类的生产和物质文明起到了极大的作用。但随着科技和社会的发展，传统的制造技术面临着巨大的压力：

① 供货方面的压力。由于新兴国家和地区，特别是环太平洋的国家和地区经济的迅速发展，打破了原有的世界市场份额分配格局，因而出现了重新分配国家市场份额的激烈竞争。

② 用户方面的压力。随着社会的进步，人们对产品多样化的需求越来越大，因而产品的批量越来越小。用户对产品的要求越来越高，产品需要多变的型号、低的价格、高的质量、按期交货和良好的服务等。

③ 社会方面的压力。人类要求一个更加安全和舒适的生存环境，因此无污染和无公害的绿色产品和清洁制造的呼声日益高涨。

④ 技术进步方面的压力。由于新技术的迅速出现，使得产品技术越来越复杂、产品的开发周期越来越长，而产品的生命周期则越来越短。

由于传统制造技术已经不能适应当今制造技术发展的要求。近 30 年来随着科学技术的进步，微电子技术、光电子技术、计算机技术已经得到广泛的应用，这些新技术的产生和应用

推动了传统机械制造向先进制造技术转变。传统的制造技术在巨大的压力下逐步向先进制造技术转变。先进制造技术的提出和发展有其深刻的技术背景和社会背景。

1.2.2 先进制造技术的提出

制造业的发展经历了单一手工生产、小批量生产、少品种大批量生产、多品种大批量生产的阶段。随着近代制造业技术科技的不断更新,制造资源也由劳动密集型产业向技术密集型产业转移。进入21世纪,随着互联网技术的发展,制造业又逐渐走向以信息技术为中心的舞台。从传统的手工制造发展到机械化生产,进而更进一步地发展了柔性化生产和智能化生产的模式。

随着各种制造技术的不断革新,先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)的概念于20世纪80年代在美国首次被提出。由于美国和苏联的竞争日益白热化,国防、军工等多项大型制造业面临严峻的挑战和拓展的压力,美国根据自身制造业存在的问题进行了调查反馈,制定了“先进制造技术(ATP)计划”和“制造技术中心(MTC)计划”。20世纪90年代初,克林顿政府发起了振兴美国经济计划,突出了现代装备制造业的支撑作用,提出了增强产品市场竞争力的关键是发展“先进制造技术”的新观念。由此,先进制造技术作为一个新的概念在政府层面上被接受,同时作为一项高层次水平上的制造技术受到众多发达国家及部分新兴工业国家的重视。在美国制造业引起了革新的风暴,给美国制造业领域带来了新的思潮,显著地推动了美国制造业的发展。随后发达国家的争相效仿。以日本为主导,多国制定并参与“智能制造技术计划(IMS)”,该计划于1992年秋开始执行,预算投资10亿美元,形成了一个大型国际共同研究项目,旨在组合工业发达国家的先进制造技术,探索将研究成果转变为生产技术的途径及开发下一代的标准化技术。其目标重点是实现制造技术的体系化、标准化,开发出能使人 and 智能设备不受生产操作和国界限制、彼此合作的高技术生产系统,以适应当今制造全球化的发展趋势。在欧共体各国,政府和企业界共同掀起了一场旨在通过“欧共体统一市场法案”的运动,制定了一系列发展计划。如尤里卡计划(ERKA)、欧洲信息技术研究发展战略计划(ESPRIT)、欧洲工业技术基础研究计划(BRITE)。德国也在20世纪末提出了“德国制造2000”的计划,进而提出了“工业4.0”计划。这些计划都有效地促使各国的制造业技术得到长足的发展。

我国制造业发展起步较晚,大型制造业技术较为落后,但是改革开放以后,国家开始大力投入先进制造领域。20世纪90年代,我国启动了AMT基础重大自然科学基金项目研究。1995年9月《中共中央关于制定国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标的建议》中明确提出要大力采用先进制造技术,先进制造技术是一个国家,一个民族赖以昌盛的重要手段。《全国科技发展“九五”计划和到2010年长期规划》中明确将先进制造技术专项列入高技术研究与发展专题。先进制造技术的提出,给我国制造业指明一个新的方向与目标,引领了又一个制造业技术现代化的革新浪潮。

目前,现代制造系统中,有的技术已经相当成熟,如计算机辅助设计/制造/工艺设计/工程分析(CAD/CAM/CAPP/CAE)和计算机集成制造系统(CIMS)等;有的技术近几年才开始发展运用,如并行工程(CE)、虚拟现实制造(VM)、企业资源计划(ERP)和智能制造(IM)等;还有一些技术是刚提出的研究设想,如网络合作制造(Network Collaborative Manufacturing,

NCM)、生物制造(Biological Manufacturing, BM)、绿色制造(Green Manufacturing, GM)、遥远制造(Remote Manufacturing, RM)、全球制造(Global Manufacturing, GM)和下一代制造系统(Next Generation Manufacturing System, NGMS)等。

1.2.3 先进制造技术的特点

1. 先进性

先进制造技术的核心是优质、高效、低耗、清洁等基础制造技术,它是从传统的制造工艺发展起来的,并与新技术实现了局部或系统集成。其重要特征是实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产。这意味着先进制造技术强调计算机技术、信息技术和现代系统管理技术在产品设计、制造和生产组织等方面的应用。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“挑剔”的市场需求,实现灵活生产。

2. 广泛性

先进制造技术相对传统制造技术在应用范围上的一个很大不同点在于,传统制造技术通常只是指各种将原材料变成成品的加工工艺,而先进制造技术虽然仍大量应用于加工和装配过程,但由于其组成中包括了产品技术、生产技术、拆卸技术和再循环技术,因而被综合应用于制造的全过程,覆盖了产品设计、生产准备、加工与装配、销售使用、维修服务甚至回收再生的整个过程。

3. 实用性

先进制造技术最重要的特点在于,它是一项面向工业应用,具有很强实用性的新技术,对制造业、对国民经济的发展起重大作用。先进制造技术的发展往往是针对某一具体的制造业(如汽车制造、电子工业)的需求而发展起来的先进、适用的制造技术,有明确的需求导向的特征;先进制造技术不是以追求技术的高新为目的,而是注重产生最好的实践效果,以提高效益为中心,以提高企业的竞争力和促进国家经济增长和综合实力为目标。

4. 系统性

传统制造技术一般只能驾驭生产过程中的物质流和能量流。随着微电子、信息技术的引入,先进制造技术还能驾驭信息生成、采集、传递、反馈、调整的信息流动过程。因此,先进制造技术是可以驾驭生产过程的物质流、能量流和信息流的系统工程。一种先进的制造模式除了考虑产品的设计、制造全过程外,还需要更好地考虑整个制造组织。

5. 集成性

传统制造技术的学科、专业单一独立,相互间的界限分明;先进制造技术由于专业和学科间的不断渗透、交叉、融合,界线逐渐淡化甚至消失,技术趋于系统化、集成化,已发展成为集机械、电子、信息、材料和管理技术为一体的新型交叉学科。因此可以称其为“制造工程”。

6. 动态性

由于先进制造技术是针对一定的应用目标,不断地吸收各种高新技术,将其渗透到企业生产的所有领域和产品寿命循环的过程,实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,因而其内涵不是绝对的和一成不变的。不同的时期,先进制造技术有其自身的特点;不同的国家和地区,先进制造技术有其本身重点发展的目标和内容,通过重点内容的发展以实现这个国家和