

卓越工程师教育培养计划配套教材

机 械 工 程 系 列

机械制造工艺



主 编 张敏良

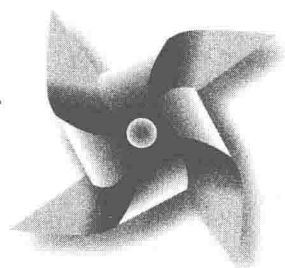
副主编 王明红 王越

清华大学出版社

卓越工程师教育培养计划配套教材

机械工程系系列

机械制造工艺



主 编 张敏良

副主编 王明红 王越



清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据机械制造技术的发展趋势和“上海市机械制造及其自动化本科教育高地建设”及培养“卓越工程师”的要求,同时遵循“机械制造工艺及设备专业教学指导委员会”制定的教学计划和课程教学大纲编写而成。全书内容共8章,依次为:绪论、工件的定位、机床夹具设计、机械加工工艺规程的制定、机械加工精度、机械加工表面质量、机器的装配工艺、机械加工技术新进展。

本书在保证基本内容的基础上,增加了反映现代制造技术发展的新内容;理论联系实际,多用实例、图、表等来表述,贯彻国家新的制图标准,且每章均有一定数量的习题与思考题,便于学生思考,掌握内容要点。

本书可作为高等院校“机械制造工艺及设备”“机械设计制造及其自动化”专业本科教材,也可供职工大学、电视大学、函授大学、业余大学等学生作教材或参考书,同时也可供从事机械制造业的工程技术人员自学及考试参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺/张敏良主编. —北京:清华大学出版社,2016

(卓越工程师教育培养计划配套教材. 机械工程系列)

ISBN 978-7-302-45062-7

I. ①机… II. ①张… 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 218564 号

责任编辑:许 龙 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:26.5

字 数:646 千字

版 次:2016 年 12 月第 1 版

印 次:2016 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:55.00 元

产品编号:068377-01

卓越工程师教育培养计划配套教材

总编委会名单

主 任：丁晓东 汪 泓

副主任：陈力华 鲁嘉华

委 员：（按姓氏笔画为序）

丁兴国	王岩松	王裕明	叶永青	刘晓民
匡江红	余 粟	吴训成	张子厚	张莉萍
李 毅	陆肖元	陈因达	徐宝钢	徐新成
徐滕岗	程武山	谢东来	魏 建	



进入 21 世纪以来,我国制造业得到了飞速发展。中国已成为世界制造业大国,正面临从制造业大国向制造业强国转型的关键时期。培养大批适应中国机械工业发展的优秀工程技术人才——卓越工程师,是实现这一重大转变的关键。

遵循高等教育、人才培养和社会主义市场经济的规律,围绕《中国制造 2025》和《上海优先发展先进制造业行动方案》,紧贴区域经济和社会需求的发展,上海工程技术大学机械工程学院抓住“卓越工程师教育培养计划”这一机遇,把握先进制造业和现代服务业互补、融合的趋势,把打造工程本位的复合应用型人才培养基地作为“卓越计划”的核心,把培养具有深厚的科学理论基础和一定的工程实践能力及创新能力的优秀的复合应用型人才——卓越工程师,作为“卓越计划”的战略发展目标。

正是基于上述考虑,本编写委员会联合清华大学出版社推出“卓越工程师教育培养计划配套教材”,希望根据“以生为本,以师为重,以教为基,以训为媒,突出工程实践”的教育思想理念和当前的科技水平及社会发展的需求,精心策划和编写本系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的工程技术人才。

本系列教材的编写,注重文字通顺,深入浅出,图文并茂,表格清晰,符合国家与部门标准。在编写时,作者重视基础性知识,精选传统内容,使传统内容与新知识之间建立起良好的知识构架;重视处理好教材各章节间的内部逻辑关系,力求符合学生的认识规律,使学习过程变得顺理成章;重视工程实践与教学实验,改变原有教材过于偏重理论知识的倾向,力图引导学生通过实践训练,发展自己的工程实践能力;倡导创新实践训练,引导学生发现问题、提出问题、分析问题和解决问题,培养创新思维能力和团队协作能力。

本系列教材的编写和出版是实施“卓越计划”课程和教材改革中的一种尝试,教材中一定会存在不足之处,希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,使我们编写出的教材能更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。



为了适应机械制造及其自动化专业的专业教学改革需要,编者根据“卓越工程师教育培养计划”的要求,突出理论和实践结合,同时执行“机械制造工艺及设备专业教学指导委员会”制定的教学计划和课程教学大纲,在吸取国内外优秀教材优点的基础上,结合多年的教学实践,编写了这本在学时和内容上均适合高等工科院校学生使用的《机械制造工艺》教材。

本教材在编写体系上按照机器产品的制造过程,由浅入深地编写了有关机器产品加工、装配的最基本内容,以及反映本学科发展方向的计算机辅助工艺编制、计算机辅助夹具设计、机械加工技术新进展等新内容。本教材各章内容有所侧重,重点阐述机器产品制造中的某一方面的问题。各章之间通过有机的联系,综合阐述,分析和解决机器产品加工、装配的质量、效率和成本等问题。

第1章为绪论,主要介绍有关机械制造工程技术的发展、生产过程、工艺过程、生产类型和基本加工方法等概念。

第2章为工件的定位,主要介绍基准的概念及其分类、工件的定位原理、定位元件及选择,奠定后续学习的基础。

第3章为机床夹具设计,主要是研究机床夹具及其组成、工件的装夹方式、定位误差分析、工件的夹紧装置设计、夹具的设计、计算机辅助夹具设计问题,并通过各类机床夹具范例,阐明了机床夹具的设计方法、步骤,探讨了利用计算机辅助设计夹具方法及需要解决的问题。

第4章为机械加工工艺规程的制定,主要是以机器零件为研究对象,通过合理安排它的机械加工工艺过程来实现机器零件制造过程中的优质、高效和低消耗问题,并对数控加工工艺设计、计算机辅助工艺过程设计进行了阐述和探讨。

第5章为机械加工精度,主要是以机器零件的加工表面为研究对象,分析研究控制各种误差,保证零件的尺寸、形状和位置精度等问题。

第6章为机械加工表面质量,主要是以机器零件的加工表面为研究对象,分析研究控制加工表面粗糙度和物理、力学性能等问题,进而保证机器零件的使用性能和寿命。

第7章为机器的装配工艺,主要是以整台机器为研究对象,分析研究保证机器的装配精度和提高装配效率等问题。

第8章为机械加工技术新进展,主要是为了适应本学科发展的要求,介绍了微机械及其微细加工技术、人工神经网络在切削加工技术中的应用、数值模拟在切削加工技术中的应



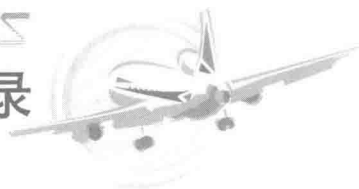
用、新型刀具材料、现代机械加工设备等前沿技术及装备。

为帮助学生进一步理解和掌握教材的主要内容,在各章后面均附有一定数量的习题。

本书可作为高等工科院校机械设计制造及其自动化专业和有关专业学生的教材,也可供有关工程技术人员参考。对本教材的不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 12 月



第 1 章 绪论	1
1.1 机械制造工程技术的发展	1
1.1.1 制造的永恒性	1
1.1.2 广义制造论	4
1.1.3 机械制造科学技术的发展	7
1.2 生产过程和工艺过程	9
1.2.1 机械产品生产过程	9
1.2.2 机械加工工艺过程	9
1.3 制造过程	12
1.4 系统的概念、工艺系统和制造系统	13
1.4.1 系统的概念	13
1.4.2 工艺系统	13
1.4.3 制造系统	13
1.5 生产纲领、生产类型及其工艺特征	14
1.5.1 生产纲领	14
1.5.2 生产类型	14
1.5.3 各种生产类型的工艺特征	15
1.6 基本的加工方法	17
1.6.1 获得尺寸精度的方法	17
1.6.2 获得形状精度的方法	18
习题与思考题	19
第 2 章 工件的定位	20
2.1 基准的概念及其分类	20
2.1.1 基准的概念	20
2.1.2 基准的分类	20
2.2 工件的定位原理	23



2.2.1	完全定位	24
2.2.2	部分定位	24
2.2.3	欠定位	25
2.2.4	重复定位	26
2.3	定位元件及选择	29
2.3.1	平面定位元件	29
2.3.2	圆孔表面定位元件	32
2.3.3	外圆表面定位元件	35
2.3.4	锥面定位元件	37
2.3.5	常用的定位元件能限制工件的不定度	38
2.3.6	满足加工要求必须限制的不定度	41
	习题与思考题	43
第3章	机床夹具设计	45
3.1	机床夹具概述	45
3.1.1	机床夹具及其组成	45
3.1.2	机床夹具的功能	47
3.1.3	机床夹具的分类	47
3.2	工件的装夹方式	47
3.2.1	装夹的概念	47
3.2.2	装夹的方法	48
3.2.3	夹具装夹及其误差	49
3.3	定位误差分析	52
3.3.1	定位误差分析与计算	52
3.3.2	典型表面定位时的定位误差	55
3.3.3	提高工件在夹具中定位精度的主要措施	61
3.3.4	工件定位方案设计及定位误差计算举例	63
3.4	工件的夹紧及装置设计	65
3.4.1	夹紧装置的组成及设计要求	65
3.4.2	夹紧力的确定	66
3.4.3	夹紧机构设计	71
3.4.4	工件夹紧方案设计及夹紧力计算举例	89
3.4.5	夹紧动力装置设计	91
3.5	夹具的设计	95
3.5.1	夹具设计步骤	95
3.5.2	夹具设计举例	97
3.6	计算机辅助夹具设计	102
3.6.1	计算机辅助夹具设计系统工作原理	102
3.6.2	计算机辅助夹具设计系统应用软件	102



3.6.3	夹具装配体及装配图的转换	106
3.6.4	计算机辅助夹具设计技术的发展方向	109
3.7	各类机床夹具	111
3.7.1	车床与圆磨床夹具	111
3.7.2	钻床夹具和镗床夹具	113
3.7.3	铣床夹具	120
3.7.4	加工中心机床夹具	123
3.7.5	柔性夹具	125
	习题与思考题	134
第4章	机械加工工艺规程的制定	139
4.1	概述	139
4.2	零件的工艺性分析及毛坯的选择	140
4.2.1	零件的工艺性分析	140
4.2.2	毛坯的选择	142
4.3	工艺过程设计	143
4.3.1	工艺过程的组成	143
4.3.2	定位基准的选择	144
4.3.3	零件表面加工方法的选择	147
4.3.4	加工顺序的安排	147
4.3.5	工序的集中与分散	150
4.4	工序设计	151
4.4.1	机床和工艺装备的选择	151
4.4.2	加工余量及工序尺寸的确定	152
4.5	时间定额及提高劳动生产率的工艺措施	173
4.5.1	时间定额的估算	173
4.5.2	提高劳动生产率的工艺措施	174
4.6	工艺方案的技术经济分析	179
4.6.1	工艺方案的比较	180
4.6.2	技术经济分析	181
4.7	机械加工工艺规程制定及举例	185
4.7.1	制定机械加工工艺规程的基本要求	185
4.7.2	机械加工工艺规程的制定原则	185
4.7.3	制定机械加工工艺规程的内容和步骤	185
4.7.4	制定机械加工工艺规程举例	186
4.8	数控加工工艺设计	192
4.8.1	数控加工的主要特点	192
4.8.2	数控加工工序设计	192
4.8.3	数控编程简介	193



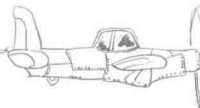
4.8.4	数控加工工序综合举例	197
4.8.5	工序安全与程序试运行	199
4.9	计算机辅助工艺过程设计	199
4.9.1	计算机辅助工艺过程设计的基本方法	200
4.9.2	样件法 CAPP	201
	习题与思考题	204
第5章	机械加工精度	210
5.1	概述	210
5.1.1	加工精度	210
5.1.2	加工误差	211
5.1.3	加工精度的研究内容	213
5.2	加工精度的获得方法	214
5.2.1	尺寸精度的获得方法	214
5.2.2	形状精度的获得方法	214
5.2.3	位置精度的获得方法	215
5.3	工艺系统原有误差对加工精度的影响及其控制	215
5.3.1	工艺系统原有误差对尺寸精度的影响及其控制	216
5.3.2	工艺系统原有误差对形状精度的影响及其控制	233
5.3.3	工艺系统原有误差对位置精度的影响及其控制	255
5.4	加工过程中其他因素对加工精度的影响及其控制	257
5.4.1	工艺系统受力变形对加工精度的影响及其控制	258
5.4.2	工艺系统热变形对加工精度的影响及其控制	270
5.4.3	工艺系统磨损对加工精度的影响及其控制	278
5.4.4	工艺系统残余应力对加工精度的影响及其控制	282
5.5	加工总误差的分析与估算	285
5.5.1	加工总误差的分析方法	285
5.5.2	加工总误差的估算	289
5.6	保证和提高加工精度的主要途径	289
5.6.1	减小或消除原始误差	289
5.6.2	补偿或抵消原始误差	290
5.6.3	转移原始误差	292
5.6.4	分化或均化原始误差	293
	习题与思考题	294
第6章	机械加工表面质量	302
6.1	概述	302
6.1.1	加工表面质量的概念	302
6.1.2	加工表面质量对零件使用性能的影响	304



6.2	影响加工表面的表面粗糙度的工艺因素及其改进措施	306
6.2.1	切削加工表面的表面粗糙度	306
6.2.2	磨削加工后的表面粗糙度	307
6.2.3	表面粗糙度和表面微观形貌的测量	309
6.3	影响表层金属力学物理性能的工艺因素及其改进措施	315
6.3.1	加工表面层的冷作硬化	315
6.3.2	表面金属的金相组织变化	318
6.3.3	表层金属的残余应力	321
6.3.4	表面强化工艺	326
6.4	机械加工过程中的振动	329
6.4.1	机械加工中的强迫振动	329
6.4.2	机械加工中的自激振动(颤振)	330
6.4.3	机械加工振动的诊断技术	336
6.4.4	机械加工振动的防治	342
	习题与思考题	347
第7章	机器的装配工艺	350
7.1	概述	350
7.1.1	机器装配的基本概念	350
7.1.2	装配精度	350
7.2	装配尺寸链	353
7.2.1	装配尺寸链的概念	353
7.2.2	装配尺寸链的种类及其建立	354
7.2.3	装配尺寸链的计算方法	358
7.3	保证装配精度的工艺方法	359
7.3.1	互换装配法	359
7.3.2	分组装配法	369
7.3.3	修配装配法	370
7.3.4	调整装配法	375
7.4	装配工艺规程的制定	381
7.4.1	准备原始资料	382
7.4.2	熟悉和审查产品的装配图	383
7.4.3	确定装配方法与装配的组织形式	383
7.4.4	划分装配单元、确定装配顺序	384
7.4.5	装配工序的划分与设计	386
7.4.6	填写装配工艺文件	386
7.4.7	制定产品检测与试验规范	386
	习题与思考题	386



第 8 章 机械加工技术新进展	390
8.1 微机械及微细加工技术	390
8.1.1 微机械	390
8.1.2 微细加工技术	392
8.2 人工神经网络在切削加工技术中的应用	396
8.2.1 人工神经网络简介	396
8.2.2 人工神经网络在切削加工技术中的应用情况	396
8.2.3 人工神经网络在切削加工中的应用举例	397
8.3 数值模拟在切削加工技术中的应用	398
8.3.1 数值模拟的作用	398
8.3.2 数值模拟在切削加工技术中的应用情况	398
8.3.3 切削加工有限元模拟举例	400
8.4 新型刀具材料	401
8.4.1 刀具材料的发展趋势	401
8.4.2 高速钢刀具材料的发展	401
8.4.3 硬质合金刀具材料的发展	402
8.4.4 金属陶瓷刀具材料的发展	403
8.4.5 陶瓷刀具材料的发展	403
8.4.6 超硬刀具材料的发展	403
8.5 现代机械加工设备	404
8.5.1 现代机械加工设备的发展趋势	404
8.5.2 现代机械加工设备简介	405
习题与思考题	408
参考文献	409



绪 论

1.1 机械制造工程技术的发展

1.1.1 制造的永恒性

1.1.1.1 机械制造技术的发展

现代制造技术(或先进制造技术)是 20 世纪 80 年代提出来的,但它的工作基础已经历了半个多世纪。最初的制造是靠手工来完成的,以后逐渐用机械代替手工,以达到提高产品质量和生产率的目的,同时也为了解放劳动力和减轻繁重的体力劳动,因此出现了机械制造技术。机械制造技术有两方面的含义:其一是指机械加工零件(或工件)的技术,更明确地说,是指在一种机器上用切削方法来加工零件,这种机器通常称为机床、工具机或工作母机;另一方面是指制造某种机器的技术,如空气压缩机、内燃机、涡轮机等。此后,由于材料性能的不断提高,在制造方法上有了很大的发展,除用机械方法加工外,还出现了电加工、激光加工、电子加工、水射流加工、化学加工、电子束、离子束等非机械加工方法,形成了新的机械制造技术,并将其统称为机械制造技术,简称为制造技术。

先进制造技术是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术,进行交叉、融合和集成,综合应用于产品全生命周期的制造全过程,包括市场需求调研、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理等,以优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产,快速响应市场的需求。

制造技术是一个永恒的主题,是设想、概念、科学技术物化的基础和手段,是国家经济与国防实力的标志,是国家实现工业化的关键。制造业的发展和其他行业有着紧密的关系,它随着国际、国内形势的变化,有高潮期也有低潮期,有高速期也有低速期,有国际特色也有民族特色,必须加以重视,而且要持续不断地向前发展。

1.1.1.2 制造技术的重要性

现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题,特别是在市场经济国际化的今天,它更占有十分重要的地位。制造技术是国家生存和发展的重要基础,它有以下四个方面的意义。



1. 制造技术与社会发展密切相关

人类的发展过程就是制造技术不断进步的过程。在人类发展的初期,为了生存,制造了石器,以便于狩猎。此后,相继出现了陶器、铜器、铁器和一些简单的机械,如刀、剑、弓、箭等兵器,锅、壶、盆、罐等用具,犁、磨、碾、水车等农具。这些工具和用具的制造过程都是简单的,主要围绕生活必需和战争,制造资源、规模和技术水平都非常有限。随着社会的发展,制造技术的范围和规模不断扩大,技术水平不断提高,向文化、艺术、工业化发展,出现了纸张、笔墨、活版、石雕、珠宝、钱币、金银饰品等制造技术。社会逐步发展进入工业化,出现了大工业生产,使得人类的物质生活和社会文明有了很大的提高,对精神和物质有了更高的要求,科学技术有了更快、更新的发展,从而与制造技术的关系就更为密切。蒸汽机制造技术的问世带来了工业革命和大工业生产,内燃机制造技术的出现和发展形成了现代汽车、火车和舰船,喷气涡轮发动机制造技术促进了现代喷气客机和超音速飞机的发展,集成电路制造技术的进步左右了现代计算机和工业控制技术的水平,纳米技术的出现开创了微型机械的先河,因此,人类的活动与制造密切相关。另一方面,人类活动的水平受到制造水平的极大约束,宇宙飞船、航天飞机、人造卫星以及空间工作站等制造技术的出现,使人类的活动走出了地球,走向了太空,实现了“嫦娥奔月”的梦想。

2. 制造技术是科学技术物化的基础

从设想到现实,从精神到物质,是靠制造来转化的,制造是科学技术物化的基础,科学技术的发展反过来又提高了制造的水平。信息技术的发展并引入到制造技术,使制造技术产生了革命性的变化,出现了制造系统和制造科学,从此制造就以系统这一新概念问世。制造系统由物质流、能量流和信息流组成,物质流是本质,能量流是动力,信息流是控制。制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合形成了新的制造学科,即制造系统工程,其体系结构如图 1-1 所示,制造系统是制造技术发展的新里程碑。

协同论(协同学)一词可追溯到古希腊语,意为协同作用的科学,现代协同论的起源是德国斯图加特大学赫尔曼·哈肯教授于 1969 年提出的协同学概念,他在其后若干年里出版了《协同学导论》等书,主要内容是探讨了生命系统等复杂系统的运动演化规律,主要理论有:序参数、役使原理、耗散理论等。现代制造系统是一个复杂系统,在网络环境下所形成的扩展企业在生产制造和管理等方面是一个复杂的闭环系统,需要应用协同论的理论来解决产品开发中所遇到的问题。因此,协同论是制造系统又一个重要的理论基础,是制造模式继集成制造、并行工程后的又一重要发展。

科学技术的创新和构思需要实践,实践是检验真理的唯一标准。人类对飞行的欲望和需求由来已久,经历了无数的挫折与失败,通过了多次的构思和试验,最后才获得成功。试验就是一种物化手段和方法,而生产是成熟的物化过程。

3. 制造技术是所有工业的支柱

制造技术的涉及面非常广,冶金、建筑、水利、机械、电子、信息、运载、农业等各个行业都要制造业的支持,如冶金行业需要冶炼、轧制设备,建筑行业需要塔吊、挖掘机和推土机、装载机等工程机械,因此,制造业是一个支柱产业,在不同的历史时期有不同的发展重点,但需

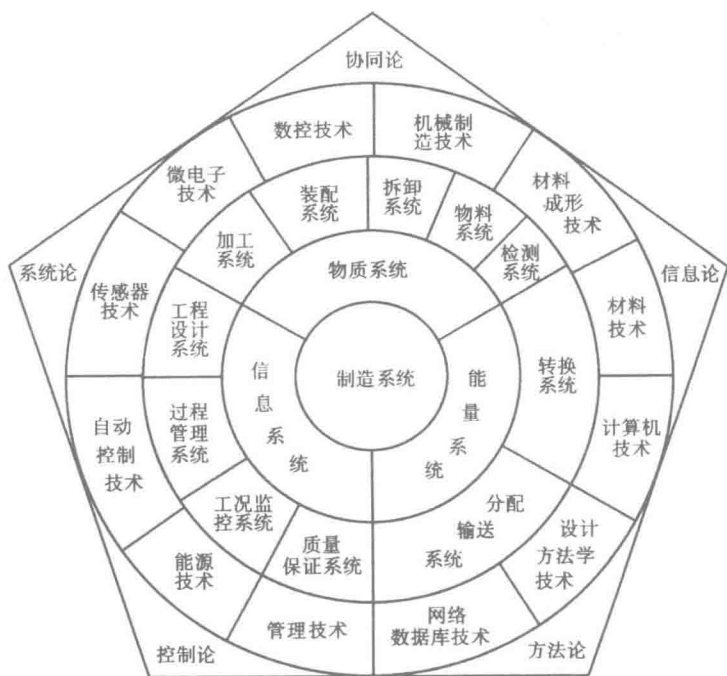


图 1-1 制造系统工程学的体系结构

要制造技术的支持是永恒的。当然,各个行业有其本身的主导技术,如农业需要生产粮、棉等农产品,需要很多的农业生产技术,但现代农业就少不了农业机械的支持,制造技术已成为其重要组成部分。因此,制造技术既有普遍性、基础性的一面,又有特殊性、专业性的一面,制造技术既有共性,又有个性。

4. 制造技术是国力和国防的后盾

制造业是国民经济的主体,是立国之本、兴国之器、强国之基。自18世纪中叶开启工业文明以来,世界强国的兴衰史和中华民族的奋斗史一再证明,没有强大的制造业,就没有国家和民族的强盛。打造具有国际竞争力的制造业,是我国提升综合国力、保障国家安全、建设世界强国的必由之路。一个国家的国力主要体现在政治实力、经济实力、军事实力上,而经济和军事实力与制造技术的关系十分密切,只有在制造上是一个强国,能制造先进的武器装备,才能在军事上是一个强国。一个国家不能靠购买别国的武器装备来保卫自己,必须有自己的军事工业。有了国力和国防才有国际地位,才能立足于世界。

第二次世界大战以后,日本、德国等国家一直重视制造业,因此,国力得以很快恢复,经济实力处于世界前列。从20世纪30年代开始一直在制造技术上处于领先地位的美国,由于在五六十年代未能重视它而每况愈下。克林顿总统执政后,迅速把制造技术研究提到了重要日程上,决心夺回霸主地位,其间推行了“计算机集成制造系统”“21世纪制造企业战略”,提出了集成制造、敏捷制造、虚拟制造和并行工程、“两毫米工程”等举措,促进了先进制造技术的发展,这对美国的工业生产和经济复苏产生了重大影响。



1.1.2 广义制造论

广义制造是 20 世纪制造技术的重要发展,它是在机械制造技术的基础上发展起来的。长期以来,由于设计与工艺分家,制造被定位于加工工艺,这是一种狭义制造的概念,随着社会发展和科技进步,需要综合、融合和复合多种技术去研究和解决问题,特别是集成制造技术的问世,提出了广义制造(也称为“大制造”)的概念,体现了制造概念的扩展。

广义制造概念的形成过程主要有以下几方面原因。

1. 工艺和设计一体化

工艺和设计的密切结合形成了设计工艺一体化,设计不仅是指产品设计,而且包括工艺设计、生产调度设计和质量控制设计等。

人类的制造技术大体上可分为三个阶段,有三个重要的里程碑。

(1) 手工业生产阶段

起初,制造主要靠工匠的手艺来完成,加工方法和工具都比较简单,多靠手工、畜力或极简单的机械(如凿、劈、锯、碾和磨等)来加工,制造手段和制造水平比较低,为个体和小作坊生产方式。制造中可能有简单的图样,也可能只有构思,基本是体脑结合,设计与工艺一体。该阶段的制造技术水平取决于制造经验,基本上适应了当时人类发展的需求。

(2) 大工业生产阶段

随着经济发展和市场需求以及科学技术的进步,制造手段和制造水平有了很大的提高,形成了大工业生产方式。

生产发展与社会进步使制造产生了大分工。首先是设计与工艺分开了,单元技术急速发展又形成了设计、装配、加工、监测、试验、供销、维修、设备、工具和工装等直接生产部门和间接生产部门。制造加工方法也丰富多彩,除传统加工方法(如车、钻、刨、铣和磨等)外,非传统加工方法,如电加工、超声波加工、电子束加工、离子束加工、激光束加工等,均有了很大发展。同时,出现了以零件为对象的加工流水线和自动生产线,以部件或产品为对象的装配流水线和自动装配线,适应了大批大量生产需求。

这一时期从 18 世纪开始至 20 世纪中叶发展很快,且十分重要,它奠定了现代制造技术的基础,对现代工业、农业、国防工业的成长和发展影响深远。由于人类生活水平的不断提高和科学技术日新月异的发展,产品更新换代的速度不断加快,因此,大规模的工业化生产和快速响应多品种单件小批生产的市场需求就成为一个突出矛盾。

(3) 虚拟现实工业生产阶段

为快速响应市场需求,进行高效的单件小批生产,借助于信息技术、计算机技术、网络技术,采用集成制造、并行工程、计算机仿真、虚拟制造、动态联盟、协同制造、电子商务等举措,将设计与工艺高度结合,通过计算机辅助设计、计算机辅助工艺设计和数控加工等,使产品在设计阶段就能发现加工中的问题并协同解决,这就是虚拟现实工业制造技术。生产过程中,可集全世界的制造资源来进行全世界范围内的合作生产,缩短了上市时间,提高了产品质量。这一阶段充分体现了体脑高度结合,对手工业生产阶段的体脑结合进行了螺旋式的上升和扩展。

虚拟现实工业生产阶段采用强有力的软件,在计算机上进行系统完整的仿真,从而可以