



国防科工委“十五”规划教材·机械工程

数字化设计制造技术基础

主 编 杨海成

副主编 王俊彪

西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书围绕产品设计制造的实际工程需求,全面系统地介绍了数字化技术的基础知识、基本概念、关键技术和应用成果等,力求使读者能从技术体系、技术内容、技术方法等诸方面了解、掌握数字化设计制造技术的基础知识,同时也能了解这一领域的技术应用成果和发展前沿。

本书可作为机械工程类、飞行器制造工程专业本科生的专业教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字化设计制造技术基础/杨海成主编. —西安:西北工业大学出版社,2007.1

国防科工委“十五”规划教材. 机械工程

ISBN 978-7-5612-2162-4

I. 数… II. 杨… III. ①数字技术—应用—机械设计—高等学校—教材②数字技术—应用—机械制造—高等学校—教材 IV. ①TH122②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 145456 号

数字化设计制造技术基础

杨海成 主编

责任编辑 季强

责任校对 方敏

西北工业大学出版社出版发行

西安市友谊西路 127 号

市场部电话:029-88493844 88491757

<http://www.nwpup.com>

陕西向阳印务有限公司印制 各地书店经销

开本:787 mm×960 mm 1/16

印张:14 字数:295 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~3 000 册

ISBN 978-7-5612-2162-4 定价:20.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任：张华祝

副主任：王泽山 陈懋章 屠森林

编 委：王 祁	王文生	王泽山	田 蔚	史仪凯
乔少杰	仲顺安	张华祝	张近乐	张耀春
杨志宏	肖锦清	苏秀华	辛玖林	陈光禔
陈国平	陈懋章	庞思勤	武博祯	金鸿章
贺安之	夏人伟	徐德民	聂 宏	贾宝山
郭黎利	屠森林	崔锐捷	黄文良	葛小春



前言

数字化技术是以计算机软硬件、外围设备、协议和网络为基础的信息离散化表述、定量、感知、传递、存储、处理、控制、联网的集成技术。数字化设计制造就是用数字化定量、表述、存储、处理的方法,支持产品全生命周期和企业的全局优化运作。它是在计算机和网络技术与制造技术的不断融合、发展和广泛应用的基础上诞生的,它以 CAD/CAM/CAE 为设计的技术主体,而以数控机床为制造的主要手段。数字化设计制造实际上就是制造信息的数字化,使得人机交互能以多媒体形式实现,而符号化了的制造信息则可在不同软件平台上进行存储、处理并通过协议进行传递。所有这些都把制造信息的表述、处理、传递、存储、重组、更新和应用提高到一个新的水平。

数字化时代革新了制造的科学基础。从内容上看,数字化设计制造与传统的设计制造不同,它力图从离散的、系统的、动力学的、非线性的和时变的观点研究制造工艺与技术。传统制造中许多定性的描述,都要转化为数字化定量描述,在这一基础上逐步建立不同层面的、系统的数字化模型。基于上述认识,本书围绕产品设计制造的实际工程需求,从数字化技术的基础知识、基本概念、关键技术和应用成果等方面安排内容,力求使读者能从技术体系、技术内容、技术方法等诸方面了解、掌握数字化设计制造技术的基础知识,同时也能了解这一领域的技术应用成果和发展前沿。在内容体系的安排上,本书突出了以数字化设计制造为核心的先进制造系统。

本书内容共分为九章。第一章概论,主要介绍信息技术的发展对制造的影响、先进制造技术的发展、数字化设计制造技术的地位和作用。第二章产品数字化建模,主要讲述产品模型、数字样机等基本知识。第三章产品数字化设计,讲述数字化设计过程、数字化设计实现方法和手段及知



识。第四章数字化设计系统,介绍数字化设计系统的基本功能、构成、典型数字化设计系统及其应用实例。第五章计算机辅助工艺规划,主要内容为计算机辅助工艺规划技术、制造工艺信息系统及典型 CAPP 系统的应用。第六章数字化制造管理,介绍制造计划管理、生产调度、制造执行控制的作用和功能。第七章数控加工技术,主要介绍数字控制的基本概念和工作原理、数控加工程序的编制、数控测量设备等内容。第八章数字化设计制造集成,主要讲述 CAD/CAE/CAPP/PDM 的集成方法。最后一章为数字化设计制造技术的发展与展望,主要介绍数字化设计制造方面的进展及一些新兴的设计制造模式和理念。

全书由杨海成(中国航天科技集团公司)、王俊彪规划、组织编写并统稿。其中,第一章由王俊彪编写,第二章由莫蓉、王增强编写,第三章由朱斌、常智勇编写,第四章由张开富编写,第五章由田锡天、贾晓亮编写,第六章由敬石开(北京航空航天大学)、王海龙(北京航空航天大学)编写,第七章由田锡天编写,第八、九章由和延立、何卫平编写。此外,李原、刘海滨(中国航天工程咨询中心)、侯俊杰(中国航天工程咨询中心)、王展也参加了部分章节的编写与修改工作。

南京航空航天大学廖文和教授、北京航空航天大学乔立红教授担任了本书的主审,在审阅过程中,提出了许多意见与建议,在此表示衷心的感谢。在本书的编写过程中,编者参考了国内外许多同行专家论文及论著的研究内容,在此谨表衷心感谢!在本书的出版过程中,得到了国防科工委、西北工业大学教务处、西北工业大学出版社等单位的大力支持,在此表示诚挚的感谢!

由于数字化设计制造技术发展迅猛,不断有新的理论和技术产生,加之编者掌握的资料及水平有限,书中难免有不足甚至错误之处,敬请广大读者批评指正!

编 者

2006 年 9 月

于西北工业大学



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就;研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。党的十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济做出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新



世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,产生和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入 21 世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,此²为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com



对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝

第一章 概 论

第一节 制造业与制造技术

一、制造业是国民经济的基础

制造业是国民经济的基础。所有将原材料转化为物质产品的行业都可称为制造业,它覆盖了除去采掘业、建筑业等以外的整个第二产业。制造业是社会财富的主要来源,制造技术创造了当前工业发达国家 $1/4 \sim 1/3$ 的国民收入。制造技术的水平高低已成为一个国家经济发展的主要标志。一个国家要生活得好,必须生产得好。

在经济全球化的大趋势中,几乎每一个国家都处于全球化竞争的市场中,而经济竞争归根结底是制造技术和制造能力的竞争。谁掌握了先进的制造技术,谁就能制造出高水平的产品,谁就掌握了市场,谁就能在竞争中立于不败之地。正如日本著名企业家盛田昭夫所指出的:制造业是提高竞争力的火车头。例如,机电产品是世界商品贸易的主导产品(1990 年机电产品占全部商品的比例为 35.5%),在机电产品市场中,由于美、日、德三国科技实力强大,其机电产品占据了世界机电产品市场的 50% 左右。

从产业结构来看,经济发达国家虽然从数量上其第三产业的比重已达 60% 左右,但社会的经济主体仍然是物质经济,第三产业依附于第一、第二产业的基本关系没有改变,第三产业的发展始终以第一、第二产业的充分发展为前提。其根源在于制造业的最大特点是能创造附加价值,制造业是全社会产生附加价值的源泉。所以,即便在经济高度发达的工业国家,制造业仍然是经济的主体。事实上,任何经济实力强大的国家,都拥有发达的制造业基础。

从技术发展来看,制造技术水平综合体现了一个国家的科技水平,是增强国家综合实力与国际竞争力的根本。制造技术是将原材料有效地转变成产品的技术的总称,是制造业赖以生存的技术基础。制造技术是创造社会物质产品的手段,是人类创造物质文明、精神文明的技艺和工具。制造技术是将科学发明、发现转化为人类可使用的产品的关键环节。伴随着人类文明的进化,制造技术也不断发展进步,并推动社会生产力发展,从而满足不断更新和发展的社会需求。

以信息技术、生物技术等为主体的高新技术的发展使得产业结构发生了很大的变化,但高新技术产业化实现的决定性因素是拥有相应的制造工艺和装备,制造技术是高新技术走向工程化、产业化的桥梁和通道。



二、信息技术的发展深刻地改变了制造业

在人类历史上,20 世纪的科学技术是空前发达和最为辉煌的。而在 20 世纪所有的科学发现和技术发明中,以计算机和通信技术为核心的,特别是以网络为标志的现代信息科学技术尤其令人瞩目。信息技术被公认为是当前发展最快、应用最广、潜力最大的领域之一。1971 年美国 Intel 公司研制出第一块微处理器,即用大规模集成电路研制成计算机的第一块中央处理器 CPU。在此基础上,随后研制出完全由大规模集成电路组成的微型计算机。这标志着微电子技术和计算机技术的结合,使计算机在全球开始普及。与此同时,通信从模拟技术向数字技术过渡,通信技术也开始和计算机技术结合起来。计算机技术、电子技术和通信技术极大地增强了人类处理和利用信息的能力,因而被统称为“信息技术”。

信息技术已经成为现代生产力发展的主导因素,它不但在急剧地改变着人类的经济生活,而且以其强大的渗透力进入社会生活的方方面面。在科学、教育、文化、道德、法律、政治、军事等各个领域,由于信息技术的运用,不断呈现出新面貌,人们的物质生活和精神生活也因此发生了深刻的变化,学习、工作、消费、休闲、医疗及交际等各种活动模式都在不断地更新。

随着信息技术在人类生活的各个领域的不断发展和应用,对全球范围的经济、政治、军事、文化及意识形态的影响越来越广泛和深刻,导致了经济增长方式、经济体制、政府职能等各方面的重大变革,使人类文明和社会发展走向新的高度,引起了“信息革命”或“信息技术革命”。当前,信息的应用程度已经成为衡量一个国家或地区的国际竞争力、现代化程度、经济成长能力的重要标志。

1. 引起产业结构的重大调整

信息技术的进步带动了信息产业的发展。1990 年,世界信息产业的产值就达到了 1 489 亿美元,到 20 世纪 90 年代中期已经突破 1 万亿美元,成为跃居传统产业之上的最大的产业部门。如今,在发达国家,信息产业的年增长率往往是传统产业的 3~5 倍,信息产业占生产总值的 45%~67%。信息技术的应用已经成为国民经济新的增长点,信息产业已经成为经济发展的主导产业。

改革开放 20 年来,中国经济获得了高速发展。在完成粗放经营、数量扩张,实现由短缺向温饱的过渡后,信息技术的应用已成为重要的经济增长点。利用信息技术改造和提升传统产业,加强信息技术和传统技术的结合,可以提高产品的数量和质量;以信息技术为依托,企业实现扁平化管理,可以提高资金周转速度和使用效率,降低能耗和库存积压,提高企业运营效率;围绕互联网开展企业的信息化应用工作,可以使企业融入全球化经济,实现产品的敏捷和柔性的个性化生产,赢得市场。

2. 促进了生产方式的变革

我国的制造业要想在全球化的国际竞争中取胜,必须要实现制造业跨地区、跨行业、跨所有制、跨国的经营,必须迅速跨越与先进技术的差距,跨越式发展是我国民族工业的出路。我



国已确定了用信息化带动工业化的发展战略,即在完成工业化的过程中注重运用信息技术提高工业化的水准,在推进信息化的过程中注重运用信息技术改造传统产业,以信息化带动工业化,发挥后发优势,努力实现技术的跨越式发展。

首先,从工业生产的角度讲,由于微电子和数字化通信的应用,使信息处理的相对价格下降,工业生产从“能源和材料密集型”转向“信息密集型”,产品和装备由机械向着机电转变,呈现出“软化”和高附加价值的趋势。

其次,信息技术在生产中的广泛应用,发展了先进制造技术,计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助工程分析(Computer Aided Engineering, CAE)和计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)等成为基本的技术手段,机器人、自动化装备、自动化生产线受到普遍重视,设计制造的自动化、智能化程度大大提高。

第三,信息技术的发展使生产具有更大的灵活性,生产信息可以准确控制、实时共享,能够快速和低成本为目标优化生产流程,极大地降低了由于改变产品组合而导致的停工成本,生产的柔性和敏捷性大大提高。

3. 引起了信息交换方式的改变

市场是制造业的生命线。迅速对市场需求变化做出反应,及时推出适销对路的产品是制造业成功的关键所在。市场竞争对企业的应变能力提出了更高的要求,需要制造业对内可使生产经营活动过程中的人流、物流、资金流、信息流处于最佳状态,以最少的投入获得最大的产出,以最短的时间生产出最好的产品;对外可以通过网络、电子商务,跨越中间商环节,直接面对顾客,从而以更低的价格和更好的服务赢得市场。

传统的产品交换及经济信息流通方式,绝大部分是通过人与人之间的直接交往实现的。这种直接的交往加上落后的交通设施往往将人们的经济行为局限在一个非常有限的时空。随着信息时代的到来,特别是全球互联网的发展,实现了世界信息的同步传播,从而极大地拓展了经济活动的舞台。

三、数字化是制造技术创新的基本手段

数字化改变了社会,改变了制造,改变了制造技术。从手工作业使用图板到计算机二维绘图和 NC 加工,从三维设计到数字样机,由数字化工艺过程设计到数字化制造、虚拟制造,从 CAD 应用到数字化企业(Digital Enterprise)的发展,使传统的制造发生了质的变革。数字化程度已经成为衡量设计制造技术水平的重要标志。实践表明,数字化技术是缩短产品研制周期、降低研制成本、提高产品质量的有效途径,是建立现代产品快速研制系统的基础。

人类在 20 世纪取得了令人瞩目的制造技术成果,其中 CAD/CAM 技术是突破性创新成果,并由此孕育了先进制造技术。在先进制造技术的发展过程中,有四项技术具有里程碑的性质,分别是 CAD 技术、NC 技术、智能技术和集成技术。



1. CAD/CAM 技术奠定了数字化设计制造的基础

产品几何、状态等的表达、传递是设计制造过程的核心。传统的以“工程图纸”为核心的设计制造技术体系构建了以模拟量传递为特征的制造模式。CAD 技术的发展使得对产品及其零件的表达、传递可以采用数字化形式精确表达,从而推动了二维 CAD 和三维 CAD 的研究和应用。由此形成了以“三维几何模型”为核心的数字化设计制造技术体系,实现了以数字量传递和控制为特征的先进制造技术。目前,产品的数字化定义、数字样机、虚拟仿真等已成为产品研制的基本手段和技术选择。

CAD 技术起步于 20 世纪 50 年代后期。60 年代,随着计算机软硬件技术的发展,在计算机屏幕上绘图变为可能,CAD 开始迅速发展。人们希望借助此项技术来摆脱烦琐、费时、精度低的传统手工绘图,即“甩图板”。此时 CAD 技术的出发点是用传统的三视图的方法来表达零件,以图纸为媒介进行技术交流,即二维计算机绘图技术。在 CAD 软件开发初期,CAD 的含义仅仅是计算机辅助绘图(Computer Aided Drawing),此后逐步发展形成了计算机辅助设计(Computer Aided Design)的概念。CAD 技术以二维绘图算法为主要目标的研究与应用一直持续到 70 年代末期。60 年代初期出现了三维 CAD 系统,起初是极为简单的,只能表达基本几何信息线框系统,不能有效表达几何数据间的拓扑关系,缺乏形体的表面信息。

进入 70 年代,正值飞机和汽车工业的蓬勃发展时期,飞机及汽车制造过程中遇到大量的自由曲面问题,当时只能采用多截面视图、特征纬线的方式来近似表达所设计的自由曲面。由于三视图方法表达的不完整性,经常发生设计完成后,制作出来的样品与设计者所想象的有很大差异甚至完全不同的情况,这样大大拖延了产品研发时间。此时法国人提出了贝塞尔算法,使人们用计算机处理曲线及曲面问题变得可行,同时也使得法国达索飞机制造公司的开发者们,能在二维绘图系统 CADAM 的基础上,开发出以表面模型为特点的自由曲面建模方法,推出了三维曲面造型系统 CATIA。它的出现标志着计算机辅助设计技术从单纯模仿工程图纸的三视图模式解放出来,首次实现计算机完整描述产品零件的主要信息,同时也使得 CAD 技术的开发有了现实的基础。曲面造型系统为人类带来了第一次 CAD 技术革命,改变了以往只能借助油泥模型来近似表达曲面的落后的工作方式。70 年代末到 80 年代初,随着 CAD 技术的迅速发展,CAE/CAM 技术也开始有了较大发展。SDRC 公司在当时星球大战计划背景下,由美国宇航局支持及合作,开发出了许多专用分析模块,用以降低巨大的太空实验费用,而 UG 则侧重在曲面技术的基础上发展 CAM 技术,用以满足麦道飞机零部件的加工需求。

由于表面模型技术只能表达形体的表面信息,难以准确表达零件的其他特征,如质量、重心、惯性矩等,从而提出了对实体造型技术的需求。由于实体造型技术能够精确表达零件的全部属性,在理论上有助于统一 CAD/CAE/CAM 的模型表达,给设计带来了惊人的方便性。可以说,实体造型技术的普及应用标志着 CAD 发展史上的第二次技术革命。进入 80 年代中期,CV 公司提出了一种比无约束自由造型更新颖、更好的算法——参数化特征造型方法。它具有基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改的特征。可以认为,参数化技术的应



用主导了 CAD 发展史上的第三次革命。此时众多 CAD/CAM/CAE 软件开发公司群雄逐鹿。80 年代后期到 90 年代, CAD 向系统集成化方向发展, 引起了 CAD 发展史上的第四次革命。特别是波音 777 实现了全数字样机, 进一步发展了数字化设计制造技术。

2. NC 技术促进数控设备的发展, 实现产品制造的数字化

制造设备的数控化已成为一个大趋势。在制造技术的发展中, 数控加工技术是一个重要领域, 包括数控编程技术、数控技术、智能控制技术等, 数控车床、数控铣床等已成为制造的基本手段。由此, 发展了柔性加工技术、数字化生产线等技术。数控化使得机床的效率、精度和产品适应性等大为提高。

技术的发展和竞争的加剧, 使得人们对产品的要求越来越高, 企业要制造高质量、高效率、高可靠性、低缺陷的产品, 必须广泛采用先进制造工艺及现代化装备。数字化、精密化、高速化及高效化是现代工艺装备的主要发展趋势, 采用先进和稳定的工艺技术, 使用精密、高效的数控生产装备, 对于提高产品质量、降低生产成本、缩短响应时间具有重要意义。

数控加工设备可以解决由手工作业所引起的质量不稳定问题, 可以消除手工作业中工人的技术水平、经验、情绪、觉悟、品德等诸多非技术因素对质量的影响。通过进一步实现数控设备的集成控制, 建立零件加工工艺方案、工艺参数设计、控制指令编辑、加工过程仿真等网络化集成应用, 将设备的加工过程控制指令永远保存, 任意“再现”, 从而减少零件在设备上的“在线”时间, 减少工人手工操作、输入所占用的机时, 大大提高设备的使用效率。

3. 知识库和智能化设计是传统工艺技术创新的关键

从系统的角度来认识, 制造过程是一个多因素、多目标的复杂系统。由于工艺过程具有不连续性、不平衡性、动态性、多样性、模糊性等诸多不确定, 导致了加工工艺技术的“再现性”差, 定性的描述较多, 定量的表达较少, 甚至有的零件本身几何形态的转移也要借助于刚性工具, 也是模拟性的。同时, 工艺过程涉及的因素多、系统多, 构成工艺知识的“粒度”大小不一, 很难完全用规则表达清楚。即使采用数值分析, 其分析计算结果仍须要由人类专家进行评估、分析、判读。因此, 以制造过程的知识融合为基础, 采用智能化设计已成为解决加工工艺设计的有效方法和重要发展方向。

4. 集成化促进了制造的柔性化和敏捷化, 是实现快速反应制造的基础

面对变化莫测的市场, 制造企业应具有快速组织生产、柔性制造和灵活应变的能力, 即具备快速响应能力。快速响应制造以数字化、柔性化、敏捷化为基本特征, 它要求制造企业通过企业内部网络和外部网络相结合, 形成网络化的集成制造系统, 对各种设计、制造和信息以及人力、物力等资源进行集成, 从而快速地制造出高质量、低成本的新产品。目前, 在实际的产品研制中, 数字化技术的应用“点”很多, 研究的触角也很广泛, 但众多的研究基本上还处于“孤岛状”。单点推进多, 系统化的研究应用少, 总体效能不高, 不能满足快速研制的需要。CAD/CAE/CAM 及计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning, CAPP)等技术在制造中有了多方面的应用, 但对于数字化环境中零件、工艺、制造资源等之间的互动和关联的研究



与应用还相差甚远,在数字空间中的运行模式尚在探索之中。建立基于信息技术的数字化定义、工艺设计、工装设计、设备数控的综合集成系统,可以减少中间传递环节,减少传递误差引起的返工,提高系统的柔性,实现快速反应。

四、先进制造技术的发展趋势

进入 21 世纪,数字化技术已在社会经济、科技教育、工业生产、文化生活以及国防建设等各个领域得到广泛的应用。所谓数字化技术,是指以计算机硬件及软件、接口设备、协议和网络为技术手段,以信息离散化表述、传感、传递、处理、存储、执行、集成和联网等信息科学理论及方法为基础的集成技术。数字化技术作为一种通用信息工程技术,具有分辨率高,表述精度高,可编程处理,处理迅速,信噪比高,传递可靠迅速,便于存储、提取和集成、联网等技术优势,这些技术优势给各个领域专业技术的改造、革新提供了崭新的手段。

事实上在 20 世纪 80 年代末期,美国根据本国制造业面临的挑战和机遇,为增强制造业的竞争力和促进国家经济增长,首先提出了先进制造技术的概念。此后,欧洲各国、日本以及亚洲新兴工业化国家,如韩国等,也相继作出响应。

国内外的实践表明,制造业数字化不仅能大幅度缩短产品研制周期、降低研制费用、提高效率 and 产品质量、增强应变能力和市场开拓能力,而且从根本上改变设计、制造、试验和管理的模式、方法和手段,提高核心竞争力,引起制造业生产方式的变革。

1. 数字化设计制造是现代产品研制的基本手段

制造业推广数字化设计制造技术是将信息技术、自动化技术、现代管理技术与制造技术相结合,带动产品设计方法和工具的创新、企业管理模式的创新、企业间协作关系的创新,实现产品设计制造和企业管理的信息化、生产过程控制的智能化、制造装备的数字化、咨询服务的网络化,从而全面提升制造业的竞争力。制造业推广信息技术的关键是实现数字化,包括设计数字化、制造装备数字化、生产过程数字化、管理数字化和企业数字化等。现代制造业本身作为一个多变量、非线性的复杂大系统,具有离散性、系统性、动态非线性和时变性等特点,涉及制造工艺、装备、技术、组织、管理、营销等多方面的问题。传统制造中采用的定性描述处理方法已经不能适应现代制造系统的复杂性要求,采用数字化技术,可以实现制造系统和制造过程信息的存储、传输、共享和处理,从而实现对复杂系统问题的定量化、最优化、可视化的解决方案,最终完成对给定问题的定量描述、建模、仿真和求解,使得制造过程中大量常规的工程数据、图形信息和经验知识处理、制造状态与过程的数字化表述、制造信息的基础性质(如定量、质量、价值、分类和评价等)、非符号化制造知识的表述、制造信息的可靠获取及其传递,都以数字化方式解决。因此,数字化已成为产品研制生产的必要手段。

现代产品的研制生产过程包括概念设计、功能仿真、结构设计等设计过程,还包括工艺设计、加工制造、质量保证、使用维护、维修乃至报废的产品全生命周期的各个环节。这些环节构



成一个涉及多学科、多专业交叉融合的不可分割的有机整体,并形成一个复杂的系统,以数字化为核心的制造业信息化技术已成为制造业发展的重要基础和支撑。

零件的设计、工艺装备的设计与制造、零件的制造过程是一个很长的链条,制造过程中涉及复杂的几何模型转移,因此,中间工序件的形状、模具的形状等的确定与控制构成了制造过程中关于信息的传递模式。传统的制造中采用的主要是模拟量的传递方式,即往往要借助于模具、样板等刚性工具传递。数字化设计制造改变以模拟量为主的传递方式,使样板等辅助工具的使用减到最少,不仅可以提高几何模型的传递精度,而且可以提高设计效率,缩短周期。

2. 先进制造技术的特征

先进制造技术是传统制造业不断地吸收机械、电子、信息、材料及现代管理技术等方面最新的成果,并将其综合应用于产品制造全过程,即开发与设计、制造、检测、管理及售后服务等,实现优质、高效、低耗、清洁、敏捷制造,并取得理想的技术经济效果的前沿制造技术的总称。先进制造技术与传统制造技术的比较见表 1.1。先进制造技术具有以下几方面的特征:

(1) 先进制造技术是制造技术的最新发展阶段。先进制造技术由传统制造技术发展而来,继承了传统制造技术中的有效要素,同时又随着高新技术的渗入和制造环境的改变而产生了质的变化。它已成为一项能驾驭制造过程中物流、能量流、资金流与信息流的系统工程。先进制造技术是传统制造技术与以信息技术为核心的现代高新技术相结合而产生的一个完整的高新技术群,是一类具有明确范畴的新的技术领域,是面向 21 世纪的技术。

(2) 先进制造技术贯穿了制造全过程以至产品的整个生命周期。先进制造技术贯穿了从产品设计、加工、制造到销售及售后服务的制造全过程。由传统制造技术、信息技术和现代管理技术有机结合而形成的先进制造技术,使制造全过程实现了以人为中心的系统集成,构成了市场—产品设计—制造—市场的大系统,从而不再是传统制造技术所指的一般加工制造过程的工艺方法。

(3) 先进制造技术注重技术与管理的结合。生产规模的扩大及最佳技术经济效果的追求,使先进制造技术比传统制造技术更加重视技术与管理的结合,重视制造过程的组织和管理机制的简化及合理化,并由此产生了诸如精良生产、并行工程、企业过程重组、敏捷制造等一系列技术与管理相结合的新的生产组织方式。

(4) 先进制造技术是面向工业应用的技术。先进制造技术应能适于在工业企业推广并取得明显的经济效益。先进制造技术的发展往往是针对某一具体的制造行业(如汽车工业、电子工业)的需求而发展起来的。它有明显的需求导向的特征,不以追求技术的高新度为终极目标,而是注重产生最好的实践效果,以提高企业的竞争力和促进国家经济增长和提高综合实力为目标。



表 1.1 数字化制造方式与传统制造方式的对比

方式 比较内容	传统制造方式	数字化制造方式
模式	传统企业	虚拟企业
	企业内部资源	全球资源
	企业自身能力	最优能力中心
	固有生产方式	流程再造
	企业内部协调	用户/合作伙伴/供应商协同
方法	串行方式	并行方式
	实物样机	数字样机
	实物造型实验	数字造型
	仓储式管理	配送式管理
	全机定义	构型定义
	标准样件、模线样板协调	数字化预装配/数字量协调
手段	模拟量加工/测试	数控加工/测试
	工艺试验	工艺数字模拟与仿真
	刚性生产线	柔性生产线
	单台设备作业	网络化制造

3. 设计制造技术的发展趋势

随着信息技术的广泛应用及经济全球化的发展趋势,制造业进入了一个新的发展时期,21世纪制造业将要求产品开发周期显著缩短、竞争能力强、系统柔性高、生产过程精良、提供产品全生命周期质量保障以及注重环境等。因此,制造企业在组织模式、技术应用、经营管理方法等多个方面,都有创新性的发展,这些都对设计制造技术提出了新的要求。在新的技术背景和市场形势驱动下,设计制造技术呈现出许多新的发展趋势,概括起来,主要表现在全球化、网络化、虚拟化、智能化和绿色化等几个方面。

(1)设计制造的全球化。随着 Internet 技术的发展,设计制造全球化的研究和应用发展迅速,已成为一个不可阻挡的发展趋势。由于信息技术的发展,设计制造的全球化方式也发生了变化,从传统的制造业全球化方式(即企业自己拥有生产设施与产品研发、制造技术,利用东道国的原材料、人员或资金等,进行产品制造),转变为新的制造业全球化方式,即广泛利用别国的生产设施与技术力量,在自己可以不拥有生产设施与制造技术的所有权的情况下,开发、制造出最终产品,并进行全球销售。设计制造全球化包括的内容非常广泛,主要有:市场的国际化;产品设计和开发的国际合作化;产品制造的跨国化;制造企业在世界范围内的重组与集成,



如动态联盟公司;制造资源的跨地区、跨国家的协调、共享和优化利用;等等。在全球化的过程中,制造企业在技术研究与开发方面的全球化合作趋势也在加强,国家间的、不同国家企业间的跨国研究计划已经或正在实施,极大地推动了设计制造技术的发展与进步。信息网络技术的广泛运用,促进了电子商务、虚拟制造、虚拟企业等的发展,进一步加快了制造企业的全球化步伐。

(2)设计制造的网络化。网络化设计制造是一种新的制造模式。它指采用 Internet 技术,建立灵活有效、互惠互利的动态企业联盟,有效地实现研究、设计、生产和销售各种资源的重组,从而提高企业的市场响应速度和竞争能力。在企业内部,通过 Intranet 将制造企业的各个部门及制造过程与企业中的设计、管理信息等子系统进行集成;在企业外部,以 Extranet 灵活地组织各种资源进行异地产品设计和异地制造,从而快速地开发出高质量、低成本的新产品。就产品而言,网络化设计制造贯穿于从订单到经营活动组织的组建再到产品研发、设计、制造加工、销售、售后服务等的产品全生命周期;从生产组织和运行形态而言,网络化设计制造表现为结构上的分布性、组织上的动态可重构性、执行上的并行性以及时间上的快速响应。设计制造的网络化发展,正在对传统制造业的生产和经营产生着巨大的影响。

(3)设计制造的虚拟化。虚拟制造是 20 世纪 90 年代提出的新概念,它的产生是虚拟现实技术发展并推动制造业变革的结果。虚拟设计制造可以理解为,利用计算机仿真和虚拟现实技术,在计算机上模拟出产品的整个制造过程,包括虚拟加工、虚拟装配、虚拟调度、虚拟测试等,从而对产品设计、加工制造、性能分析、生产管理和调度、销售及售后服务作出综合评价,以增强制造过程各个层次的决策与控制。提出虚拟设计制造这一理念的时间虽然不长,但它已成为先进制造技术的前沿和先导,在促进制造业的新产品开发、缩短研制周期、提升制造技术水平、增强市场竞争力等方面,已经显示出巨大的潜力。

(4)设计制造的智能化。智能化设计制造可以理解为具有人类智能特征的设计制造模式。与传统的设计制造相比,智能化设计制造系统具有自组织、高柔性 with 学习能力等特点。它突出了在设计制造诸环节中以一种高度柔性 with 集成的方式,借助计算机模拟的人类专家的智能活动,进行分析、判断、推理、构思和决策,取代或延伸制造环境中人的部分脑力劳动。同时,收集、存储、处理、完善、共享、继承和发展人类专家的设计制造知识。可以说,智能化设计制造作为一种模式,是集自动化、集成化和智能化于一身,并具有不断向纵深发展的高技术含量和高技术水平的先进制造系统。

(5)设计制造的绿色化发展趋势。环境、资源、人口是当今人类社会面临的主要问题,制造业对环境和资源问题有着重要影响和直接作用。因此,在制造业中如何最有效地利用资源和最低限度地产生废弃物,关系到人类社会的生存和发展,是必须解决的重大问题。绿色制造是一种综合考虑环境影响和资源利用效率的现代制造模式,是从根本上解决制造业与人类及自然和谐发展的途径。

综观世界现代制造业近几十年的发展,20 世纪 60 年代以规模效益放在首位,70 年代以成