



工业和信息化部“十二五”规划教材

数字化设计与制造技术

SHUZHUA SHEJI YU ZHIZAO JISHU

汪惠芬 主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社



工业和信息化部“十二五”规划教材

数字化设计与制造技术

SHUZHUA SHEJI YU ZHIZAO JISHU

汪惠芬 主 编
张 帆 童一飞 副主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书系统阐述数字化设计与制造技术的产生背景、学科体系、理论方法、关键技术、主要应用以及发展趋势,力求反映产品数字化设计与制造技术的全貌和最新发展动态,内容新颖实用,体系结构完整,系统性强。全书注重基本概念、原理和方法的阐述,并附有一定数量的案例、思考题和参考文献,有助于教师结合案例进行分析、习题研讨和组织教学。

本书可作为高等学校机械工程、工业工程、车辆工程等专业相关课程的教材,也可供从事产品数字化设计与制造、生产运作与管理、企业信息化规划与决策等领域的工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字化设计与制造技术/汪惠芬主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2015. 12
ISBN 978 - 7 - 5661 - 1187 - 6

I. ①数… II. ①汪… III. ①数字技术 - 应用 - 机械设计②数字技术 - 应用 - 机械制造工艺 IV. ①TH122
②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 000644 号

选题策划 卢尚坤
责任编辑 卢尚坤 宗盼盼
封面设计 恒润设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 21. 25
字 数 557 千字
版 次 2015 年 12 月第 1 版
印 次 2015 年 12 月第 1 次印刷
定 价 48. 00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

科学技术是推动经济和社会发展的第一生产力。以计算机和网络为核心的信息技术的迅猛发展,不仅已形成了一个融合度最高、潜力最大、增长最快的信息产业,而且成为推动全球经济快速增长和全面变革的关键因素。制造业是国民经济的支柱产业,也是推动社会进步的重要力量,数字化技术为制造业的变革提供了良好的机遇,也给制造业的发展带来了新的挑战。数字化设计与制造技术经过几十年的发展,在计算机图形学、计算机辅助设计、面向“X”的设计、可靠性设计等技术的基础上形成了产品数字化设计技术群;在数字化样机、设计仿真分析、虚拟制造、虚拟装配等技术的基础上形成了产品数字化分析与仿真技术群;在成组技术、数控加工、柔性制造系统、快速成型等技术的基础上形成了产品数字化制造技术群;在产品数据管理、 workflow 管理、制造执行系统、企业资源计划、产品生命周期管理、供应链管理等技术的基础上形成了产品数字化管理技术群。数字化设计、数字化仿真分析、数字化制造与数字化管理技术的交叉、融合和集成,形成了产品数字化开发的集成环境与平台,成为提升产品研发能力和管理水平的重要动力,形成了并行工程、计算机集成制造、敏捷制造、虚拟企业、网络化制造等一系列先进制造模式,大大推动了制造企业的进步。总之,数字化设计与制造技术正在迅速而持续地改变着制造业的面貌。

全书共分 7 章,从产品数字化设计、制造、管理的角度出发,系统地阐述数字化设计、数字化仿真分析、数字化制造以及数字化管理的基本原理和方法。全书包含三大部分内容:一是分析了 21 世纪以来制造业的变革及其面临的挑战与发展趋势,系统地论述了数字化设计与制造技术的产生背景、内涵及其学科体系;二是着重阐明了数字化设计与制造的基本概念、原理和方法,涵盖了数字化设计、数字化分析与仿真、数字化制造、数字化管理、先进制造模式等内容;三是结合当前工业 4.0 和中国制造 2025 的提出,阐述了数字化设计与制造技术的新发展和新特点。本书以基本概念、原理和方法为基础,以基础技术、关键技术和应用技术为主干,内容选择上力求实用性、综合性、先进性。

本书由南京理工大学汪惠芬担任主编,张帆、童一飞担任副主编,王孝义、刘庭煜、王志亮、徐建国参与编写。各章编写人员分工如下:第 1 章、第 5 章、第 7 章由南京理工大学汪惠芬、刘庭煜编写,第 2 章由南京理工大学童一飞编写,第 3 章由扬州大学张帆编写,第 4 章由南京工程学院王志亮、南京航空航天大学徐建国编写,第 6 章由安徽工业大学王孝义编写。东南大学汤文成教授、南京理工大学李东波教授认真细致地审阅了全书,编者对他们的支持、帮助和所提宝贵意见表示衷心的感谢。教材的编写工作还得到工业与信息化部立项支持,南京理工大学提供了资助,中国机械工程学会微信平台、e-works 中国制造业信息化门

户网、先进制造业专业门户网、中国政府网等提供了相关资料。在教材编写过程中,编者参考了大量的文献资料,在此谨向原文献作者表示由衷的谢意。

数字化设计与制造技术是一门不断发展中的综合性交叉学科,涉及的学科多、知识面广,由于编者水平和经验有限,疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正,编者在此表示衷心的感谢。本书虽然属于教材范畴,但其内容丰富、新颖、实用,因此也可作为从事这个领域工作的工程技术人员的参考材料。

编 者

于南京理工大学

目 录

第1章 引言	1
1.1 制造业面临的挑战与发展趋势	1
1.2 数字化设计与制造技术概述	5
思考与讨论	10
第2章 数字化设计技术	12
2.1 公理性设计(AD)	12
2.2 计算机辅助技术(CAX)	20
2.3 面向“X”的设计(DFX)	35
2.4 可靠性设计(RD)	44
2.5 精度设计(PD)	55
2.6 健壮性设计	63
2.7 反求工程(RE)	71
思考与讨论	79
第3章 数字化分析与仿真技术	81
3.1 数字化样机(DP)	81
3.2 设计仿真技术	87
3.3 虚拟制造(VM)	104
3.4 虚拟装配(VA)	117
思考与讨论	133
第4章 数字化制造技术	134
4.1 成组技术(GT)	134
4.2 数控技术(NC,DNC)	147
4.3 柔性制造系统(FMS)	158
4.4 快速成型(RP)	181
思考与讨论	194
第5章 数字化管理技术	195
5.1 产品数据管理(PDM)	195
5.2 工作流管理(WfM)	200
5.3 制造执行系统(MES)	207
5.4 企业资源计划(ERP)	218
5.5 产品生命周期管理(PLM)	230
5.6 供应链管理(SCM)	242
思考与讨论	251

第 6 章 先进制造模式 252

6.1 并行工程(CE) 252

6.2 计算机集成制造(CIM) 263

6.3 敏捷制造(AM) 275

6.4 虚拟企业(VE) 283

6.5 网络化制造(NM) 293

思考与讨论 303

第 7 章 数字化设计与制造技术展望 304

7.1 工业 4.0 的内涵、技术和发展 304

7.2 中国制造 2025 的提出 314

7.3 数字化设计与制造技术展望 318

思考与讨论 324

参考文献 325

第 1 章 引 言

1.1 制造业面临的挑战与发展趋势

制造业是所有与制造有关的企业机构的总体,是国民经济的支柱产业。它一方面创造价值、生产物质财富和新的知识,另一方面为国民经济各个部门包括国防和科学技术的进步与发展提供先进的手段和装备。在工业化国家,约有 1/4 的人口从事各种形式的制造活动,有 70%~80% 的物质财富来自制造业。因此,很多国家,特别是美国把制定制造业发展战略列为重中之重。美国认为制造业不仅是一个国家国民经济的支柱,而且对其经济和政治的领导地位也有决定性的影响。

1.1.1 21 世纪以来制造业的变革

随着科学技术的进步、社会生活水平的提高,人们对产品的要求越来越高。产品质量的概念不再是满足设计要求,而是用户对产品的满意度。世界经济的全球化,进一步加剧了市场的竞争。在未来消费者导向的时代,如何对市场环境急剧变化做出快速反应,及时掌握用户需求,有效地生产和提供令用户满意的产品及服务,是 21 世纪制造业面临的挑战。

21 世纪以来,世界制造业逐步形成了多极化的局面,世界制造业领域新思想、新技术层出不穷,制造业产品结构朝着先进实用、高效、节能、体积小、质量好、功能先进无冗余、环保型绿色产品方向发展。生产模式朝着多品种、小批量、单件化、柔性化、生产周期大幅度缩短等方向发展。生产过程朝着高速、精密、自动化、少切削、节能、环保、非传统加工方法,甚至零缺陷等方向发展。

当今世界已进入了创新和新兴产业快速发展的时代,以互联网和新兴技术为引领的新一代产业革命和科技革命正在兴起。近年来,美国和欧盟纷纷提出“再工业化战略”,加大科技创新力度,推动制造业向智能化生产和个性化定制的转型,以低劳动力成本和大规模生产为主的传统制造业正在逐步失去比较优势,机器人、物联网、3D 打印这些新兴技术将决定着未来制造业发展的方向。科技的进步每时每刻都在影响着人类的生活方式,新一代先进制造技术将会推动制造业的转型升级。

随着劳动力成本和原材料价格的不断上升,一些制造业已经开始向更低成本的国家转移,而发达国家提出“再工业化”,要用人工智能、机器人以及数字化制造重新夺回制造业的竞争优势。随着智能制造技术、先进制造技术的快速发展,制造业已经开始向发达国家回流,一度被视为“夕阳工业”的传统制造业,其作用和地位又重新被人们所重视。

工业的发展经历了以蒸汽机为代表的机械时代,以电子信息技术为代表的电器时代,以计算机为代表的数字时代,下一个时代应该叫智能时代。智能制造技术是市场的必然选择,也是先进生产力的重要体现。

英国经济学家保罗·麦基里认为,以互联网、新材料和新能源为基础,“数字化智能制造”为核心的第三次工业革命即将到来,而“数字化智能制造”的主体就是工业机器人。机器人的核心技术是运动控制技术。工业机器人基本沿着两个路径在发展:一是模仿人的手臂,实现多维运动,在应用上比较典型的是点焊、弧焊机器人;二是模仿人的下肢运动,实现物料输送、传递等搬运功能,例如,AGV 搬运机器人。随着微电子、新材料、控制、传感交互等新技术的发展,通过软件优化,机器人的功能将更加强大。

随着国内外经济环境的变化,当前的中国制造业面临着前所未有的挑战。为适应市场竞争的加剧,近年来,中国制造业正在经历着重要的转变,企业的大批量生产向按市场或客户要求柔性生产转变,设计和控制系统各自独立向设计和控制系统集成一体转变,可以预见的是这些转变将推动自动化技术的发展及应用进入新的发展阶段。

1.1.2 制造业面临的挑战与发展趋势

建立现代化制造工业实质上是建立现代化社会、经济、工业、农业、科技、文化和国防大系统工程中的一个组成部分。任何制造企业都不是政治、社会、经济和文化环境中的静态孤岛,而是与之存在大量联系的动力学系统,环境通过各种联系在不同程度上都会影响并制约着制造业的行为及其发展。

1.1.2.1 21 世纪制造业面临的市场特征

1. 买方市场(市场质量的短缺和动态的非均衡)

未来市场的调节表现为价格和质量的权衡,依赖于新产品出现后价格的调整。这是科学技术与生产力发展的必然结果。

2. 多变性市场(产品需求不确定性)

由于科技发展快,技术更新快,产品换代快,从而产品非大量化、分散化、个性化的生产越来越强,竞争日趋激烈,不确定因素猛增,市场变化很快。

3. 市场的国际化和全球化

世界贸易组织的成立、欧元计划的启动、亚太经济合作组织的建立、北美经济一体化联盟的产生,这一切都意味着市场打破国界,走向区域化,走向国际化。

4. 新兴产业的崛起

不仅涉及对传统产品用高新技术加以改造与发展而成的产品,而且更涉及前所未有的新类型的“产品”,从而导致如技术、软件、环保等产业的出现。

5. 虚拟市场是未来市场的重要形式

信息化的进一步是网络化,网上的产品广告、商品展示、商品交易、客户关系、代理制等均属于虚拟市场。

1.1.2.2 在全球化竞争时代制造企业面临的挑战

①市场竞争激烈,企业经营风险与机遇并存。

②知识经济和产业经济并存,产业经济支撑知识经济,二者共同构成制造业新的经济环境,并将对制造业的繁荣发展产生决定性影响。

③制造业产品的研究开发、市场营销策略和生产管理等,必须适应保护环境、制造全球化和局域化并存、后工业化和前工业化并存、人口老龄化等新世纪特点和要求。

④国家经济总产值中服务行业比例上升,制造业业务中应用工程比例加大,制造业的服务行为日益强化。

⑤制造过程技术日益高新化,价格上扬,亟须提高制造过程,包括设备、工艺和工装的利用率。

⑥软件开发工作量日益繁重,存在大量重复开发,且已开发软件通用性不足,亟须提高软件开发及利用效率。

⑦目前,制造工艺领域普遍存在种类繁多、单元标准化不足、机理研究薄弱、用量偏低、优化不足等现象,要尽快解决先进的装备与落后的工艺这一矛盾。

⑧数字化制造技术将日益成为主流制造技术。现有制造系统面临全面改组和改造。

⑨尽管制造业中高新技术应用的比例有所上升,但是人的决策和作业功能不仅不可能完全被替代,反而变得更加复杂、更加重要,亟须探讨、解决人机功能的合成特点及其优化分配问题。

⑩现有专业人才的培养方式不适应现代制造业的需求。面对激烈的竞争,企业亟须补充高素质的青年人才,建立先进的人才管理机制,充分发挥员工的积极性。没有高素质的员工和他们的敬业精神,建立现代化的制造企业是不可能的。

1.1.2.3 21 世纪制造业及产品呈现的特征

1. 产品的特征

(1) 个性化和多样化

产品制造定制化、模块化,满足不同消费者喜好。

(2) 寿命周期不断缩短

电子产品符合摩尔定律,芯片性能每 18 个月提高 1 倍,价格却保持不变。

(3) 智能化

包括产品自身智能和生产设施工具的智能。

(4) 绿色产品

全寿命周期无污染、低资源消耗和可回收利用。

2. 企业的特征

杨叔子院士指出,21 世纪制造业企业大致有六大特征。第一是满足“客户化”要求,这是“买方市场”必然导致的结果,“顾客就是上帝”。第二是对市场的快速响应,对生产的快速重组,从而要求生产模式必须有高度柔性,有足够敏捷性,这是“客户化”必然导致的结果。第三是既竞争又合作地参与市场,走向“双赢”“多赢”,这是“纳什方程”给出的结果,而不一定是或“鱼死”,或“网破”,或“两败俱伤”。第四是本土化与国际化交互,走向全球化,既竞争又合作。第五是应用虚拟技术,以加快企业有关活动的节奏,提高产品质量,节约成本。第六是“以人为本”,加强企业人文文化建设,应该说,这是现代企业成败关键之所在。

1.1.2.4 我国先进制造技术发展趋势的基本特征

与科学技术和市场经济的发展相适应,先进制造技术发展的总趋势是走向“制造 - 服务”一体化的和谐制造。杨叔子院士认为可以用“精、极、文、绿、快、省、效、数、自、集、网、智”12 个字来表示我国先进制造技术发展趋势的基本特征。

1. 制造产品：“精”“极”“文”

“精”是发展的关键——精确化。它是指加工精度精密化,操作尺度细微化,物理性能精确化,控制要求纳米化,即必须切实保证产品的高质量。

“极”是发展的焦点——极端、极限。这是关键的关键。它是指在几何形体上的极大、极小、极厚、极薄、极柔、极刚以及奇形怪状;在物理性能上具有极高硬度、塑性,或具极大弹性、脆性,或具极强磁性、辐射性、腐蚀性,或具奇怪性能;在极端条件下加工、应用;在制造手段上,极端如飞秒脉冲技术。

“文”是发展的新义——人文化。它既是工业产品,物质层面要“价廉”“实用”;也应是艺术产品,精神层面要“美”,文化含量高,环境协调,赏心悦目,经得起“看”,经得起“想”,这是工业设计应有之义。

2. 制造过程：“绿”“快”“省”“效”

“绿”是发展的必然——绿色化。人类社会的发展必将走向人类社会与自然界的和谐共处。制造各阶段都必须充分考虑当前与未来的环境保护,包括自然环境、社会环境、生产和使用环境,以及生产者和使用者的身心健康。

“快”是发展的动力——快速化。对市场的快速响应,对生产的快速重组,生产模式中的高度柔性 with 高度敏捷性,推动着制造技术的进步与制造方法的发展。

“省”是发展的原则——节省化。根据市场经济必然的要求,制造过程必须节省、节约、节俭,包括制造过程、制造环节和制造资源的优化配置。

“效”是发展的追求——高效、高生产率。个性化大生产、大规模定制,快速响应市场需求,生产效率提高,生产力才能发展,社会才能进步。

3. 制造方法：“数”“自”“集”“网”“智”

“数”是发展的核心——数字化。信息化的核心是数字化,数字制造是制造技术与信息技术(包含传感技术、计算机技术、网络技术)等交叉、发展与应用的结果,如数字化设计、控制、管理以及正在迅速发展的“虚拟”技术。数字化技术必将导致制造技术乃至整个生产、生活、思维、管理等方式的重大发展与变革。

“自”是发展的条件——自动化。自动化是强化、延伸、取代人有关劳动(体力、脑力)的技术或手段。它从一般的自动控制、自动调节、自动补偿、自动辨识等,发展到自学习、自组织、自维护、自修复等更高水平的自动化。

“集”是发展的方法——集成化。技术与管理的集成、知识与信息的集成,集成也包含了“交叉”。中国特色的“集”——集聚化,是指相关产业在同一地域高度重聚。

“网”是发展的道路——网络化。网络是现代新型制造模式实施的基础设施,是现代制造企业生产活动必不可少的运行环境。网络化既是制造企业信息化、集成化的基础,又是企业信息化、集成化的进一步发展,网络化将导致制造业走向全球化、整体化、有序化。

“智”是发展的前景——智能化。智能化是各行各业发展的趋向。与传统的制造相比,智能制造系统具有人机一体化,自律能力,自诊断、自修复能力,自组织、自重构能力,主动协调和协同能力,超柔性、自学能力,自维护能力,非逻辑处理能力,乃至更高级的类人思维的能力。虽然智能化制造道路会很漫长,但它必将成为未来制造业的主要生产模式之一。

正如路甬祥院士指出的那样,今天的制造包括从市场调研开始,到售后服务、产品报废回收在内的全过程,制造企业不仅要成为优秀的物质形态产品供应商,还要成为优质服务供应商。

1.2 数字化设计与制造技术概述

1.2.1 数字化设计与制造技术的内涵

1.2.1.1 数字化技术

数字化技术指的是运用0和1两位数字编码,通过电子计算机、光缆、通信卫星等设备来表达、传输和处理所有信息的技术。数字化技术一般包括数字编码、数字压缩、数字传输、数字调制与解调等技术。

数字化技术是信息技术的核心,信息的媒体有多种,如字符、声音、语言和图像等。这些信息媒体存在着共同的问题,一是信息量太小,二是难以交换、交流。如一本厚厚的《辞海》虽然有1 300万个汉字,但与大型数据库相比,它包含的信息量仍然太少,《辞海》只能查找字词的基本含义,若想查去年世界各国的国防开支是多少则无可奉告。况且一本书要从一个城市寄到另一个城市少则数天多则数周。这种信息,交换起来很不方便。又如,当今世界大约有3 500种语言,使用不同语言的人,信息交流就非常困难。数字化技术使这些问题迎刃而解,无论是字符、声音、语言和图像,也无论是中文还是外文,都使用世界上共同的两个数字0和1编码来表达、传输和处理,到了终端,即用户手上,又原原本本地还它本来的面目。这无异于消除了世界各个国家,各个民族之间的语言隔阂。一般说来8个0和1,就是一个最基本的信息单位,称之为1个比特,简称为1 b。每秒钟传输的信息量称之为信息的传递速率(b/s,即每秒传送多少个比特)。每秒传送1千比特表示为1 kb/s,每秒传送1兆比特表示为1 Mb/s,每秒传送1千兆比特表示为1 Gb/s,等等。

用简单的两位数0和1表达、传输和处理一切信息,把信息数字化、一体化,这是信息史上的又一次重要革命。但从技术上讲,却又相当复杂,相当困难。世界上如此庞杂的事物、浩如烟海的信息,都要用简单的0和1来表达,这是非常复杂的技术。信息以0和1表达后,会出现庞大的数据交流,这对数据的快速传递提出了很高的要求。

总之,数字化技术是指以数字电子计算机硬件、软件、信息存储、通信协议、周边设备和互联网络等为技术手段,以信息科学为理论基础,包括信息离散化表述、扫描、处理、存储、传递、传感、执行、物化、支持、集成和联网等领域的科学技术集合。

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、联网等重大技术优势。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。

1.2.1.2 数字化设计与制造技术

随着全球经济一体化的进程加快以及信息技术的迅猛发展,现代制造企业环境发生了重大的变化,其变化的主要特征为:产品生命周期缩短;交货期成为主要竞争因素;大市场和大竞争已基本形成;用户需求个性化,多品种小批量生产比例增大。为适应需求的变化,现代制造业出现了符合这种发展的新模式,其核心在于:在制造企业中全面推行数字化设计与制造技术,通过在产品全生命周期中的各个环节普及与深化计算机辅助技术、系统及

集成技术的应用,使企业的设计、制造、管理技术水平全面提升,促进传统产业在各个方面的技术更新,使企业在持续动态多变、不可预测的全球性市场竞争环境中生存发展并不断地扩大其竞争优势。

数字化技术应用于制造业可包括数字化设计与制造技术、数字化产品两部分。将数字化技术用于支持产品全生命周期的设计制造活动和企业的全局优化运作就是数字化设计与制造技术,将数字化技术注入工业产品就形成了数字化产品。

数字化设计与制造技术是以计算机软硬件为基础、以提高产品开发质量和效率为目标的相关技术的有机集成。与传统产品开发手段相比,它强调计算机、数字化信息、网络技术以及智能算法在产品开发中的作用,是一项融合数字化技术和设计制造技术,且以制造工程科学为理论基础的重大的制造技术革新,是先进制造技术的核心,有广阔的应用前景。

数字化设计与制造技术术语性定义为:在数字化技术和设计制造技术融合的背景下,并在虚拟现实、计算机网络、快速原型、数据库和多媒体等支撑技术的支持下,根据用户的需求,迅速收集资源信息,对产品信息、工艺信息与资源信息进行分析、规划和重组,实现对产品设计和功能的仿真以及原型制造,进而快速生产出达到用户要求性能的产品制造全过程。

通俗地说,数字化设计与制造就是指产品设计制造领域的数字化,它是产品设计制造技术、计算机技术、网络技术与管理科学的交叉、融合、发展和应用的结果,也是制造企业、制造系统与生产过程、生产系统不断实现数字化的必然趋势。

如图 1-1 所示,数字化设计与制造技术的内涵是支持企业的产品开发全过程、支持企业产品的创新设计、支持产品相关数据管理、支持企业产品开发流程的控制与优化等,归纳起来就是:产品建模是基础,优化设计是主体,数控技术是工具,数据管理是核心。

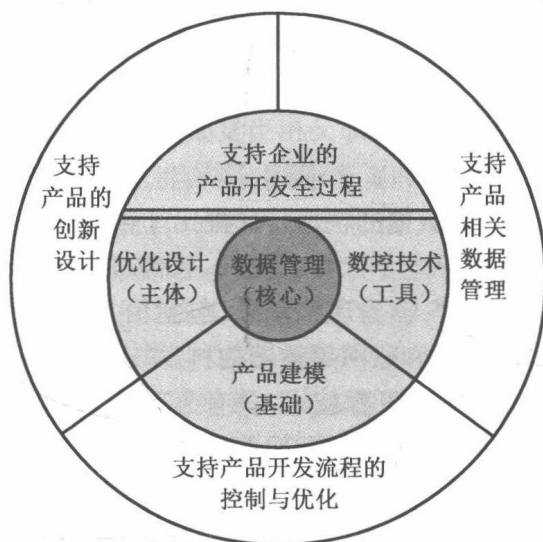


图 1-1 数字化设计与制造技术的内涵图

1.2.2 数字化设计与制造技术的学科体系

20 世纪 80 年代以后,随着计算机技术、网络技术、数据库技术的成熟以及产品数据交换标准的不断完善,各种数字化开发技术开始交叉、融合、集成,构成功能更完整、信息更畅

通、效率更显著、使用更便捷的产品数字化开发集成环境。

基于传统的设计与制造理论和方法、管理科学、计算机、网络 and 数据库等基础技术,数字化设计与制造技术经过几十年的发展形成了核心关键技术群。这些技术群包括:在计算设计、计算机辅助设计、面向“X”设计、可靠性设计等技术的基础上形成的产品数字化设计技术群,在数字化样机、设计仿真分析、虚拟制造、虚拟装配等技术的基础上形成的产品数字化分析与仿真技术群,在成组技术、数控加工、柔性制造系统、快速成型等技术的基础上形成的产品数字化制造技术群,在产品数据管理、工作流管理、制造执行系统、企业资源计划、产品生命周期管理、供应链管理等技术的基础上形成的产品数字化管理技术群。数字化设计、数字化仿真分析、数字化制造与数字化管理技术的交叉、融合和集成,形成了产品数字化开发的集成环境与平台,成为提升产品研发能力和管理水平的重要动力,形成了并行工程、计算机集成制造、敏捷制造、虚拟企业、网络化制造等一系列先进制造模式,并应用到各种产品开发全生命周期,大大推动了制造企业的进步。由此构成了如图 1-2 所示的产品数字化设计与制造技术的学科体系。

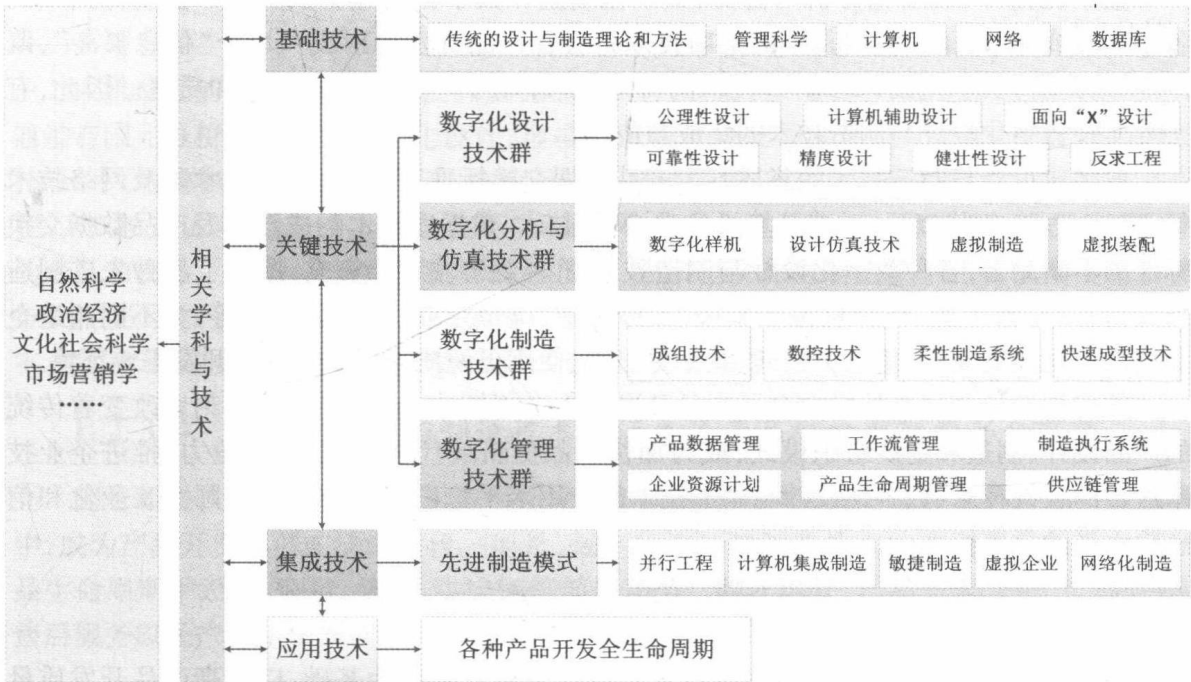


图 1-2 产品数字化设计与制造技术的学科体系图

数字化设计是以新产品设计为目标,以计算机软硬件技术为基础,以数字化信息为手段,支持产品建模、分析、性能预测、优化以及生成设计文档的相关技术。数字化设计技术群以计算机图形学为理论基础,支持产品设计过程,包括公理性设计、计算机辅助设计、面向“X”设计、可靠性设计、精度设计、健壮性设计、反求工程等。

数字化分析与仿真是以产品的数字化模型为基础,以力学、材料学、运动学、动力学、流体力学、声学、热学、电磁学等相关理论为依据,利用计算机对产品的未来性能、加工程序、装配工艺等进行模拟、评估、预测和优化。数字化分析与仿真技术群包括数字化样机、设计仿真技术、虚拟制造及虚拟装配等。其中,有限元方法是应用最广泛的数字化设计仿真技术,可以用于应力应变、强度、寿命、电磁场、流体、噪声、振动、热变形以及其他连续场等的

分析与优化;虚拟制造、虚拟装配则可用于加工程序、装配工艺的分析与优化,是保证产品一次加工、装配成功的关键技术。

计算机辅助制造是以产品制造中的工艺规程、过程控制为目标,以计算机作为直接或间接工具来控制生产装备,实现产品的加工和生产。数字化制造技术群以数控编程、数控机床及数控加工技术为基础,包括成组技术、数控技术、柔性制造系统和快速成型技术等。其中,数控技术是数字化制造中技术最成熟、应用最广泛的技术,它利用编程指令来控制数控机床,可以完成车削、铣削、磨削、钻孔、镗孔、电火花加工、冲压、剪切和折弯等各种加工操作。

数字化管理是在计算机和网络环境下实现管理信息和管理方式的数字化,设计了产品开发过程中的订单管理、供应链管理、产品数据管理、库存管理、人力资源管理、财务管理、成本管理、设备管理、客户关系管理等管理环节,可以有效提高管理效率和质量、降低管理成本和生产成本。数字化管理技术群包括产品数据管理、工作流管理、制造执行系统、企业资源计划、产品生命周期管理和供应链管理等技术。

数字化设计、数字化分析与仿真、数字化制造和数字化管理分别关注产品生命周期的各个阶段或环节,单独应用其中的某项技术将会在产品开发中形成一个个“信息孤岛”,既不能充分发挥数字化设计与制造技术的特点,也影响了产品开发的效率和质量。因此,有必要实现数字化设计与制造技术的集成与应用。

数字化设计与制造技术的集成基于产品数据交换标准、单一数据库技术以及网络技术等,20世纪80年代以后,随着计算机技术、网络技术、数据库技术的成熟以及产品数据交换标准的不断完善,各种数字化设计与制造技术开始交叉、融合、集成,形成了各种先进制造模式,包括并行工程、计算机集成制造、敏捷制造、虚拟企业、网络化制造等,为不同制造企业提供了功能更完整、信息更畅通、效率更显著、使用更便捷的产品数字化开发集成环境。

数字化设计与制造技术在各种产品开发全生命周期中的推广应用,深刻地改变着传统的产品设计、制造和生产组织模式,成为加快产品更新换代、提高企业竞争力、推进企业技术进步的关键技术,数字化设计与制造技术的应用水平也已成为衡量一个国家工业化和信息化水平的重要标志。

1.2.3 数字化设计与制造技术的特点

如前面所述,数字化设计与制造技术是以计算机软硬件为基础、以提高产品开发质量和效率为目标的相关技术的有机集成。与传统产品开发手段相比,它强调计算机、数字化信息、网络技术以及智能算法在产品开发中的作用。它具有以下特点。

1.2.3.1 计算机和网络技术是数字化设计与制造技术的基础

与传统的产品开发相比,数字化设计与制造技术是建立在计算机之上的,它充分利用了计算机的优点,如强大的信息存储能力、缜密的逻辑推理能力、持续精确的重复工作能力、快速准确的计算能力、高效的信息处理功能、智能的推理决策能力等,极大地提高了产品开发的效率和质量。

随着网络和信息技术的日趋成熟,以计算机网络为支撑的产品异地、异构、协同、并行开发成为数字化设计与制造技术的发展趋势,也成为现代产品开发不可或缺的技术手段。

1.2.3.2 计算机只是产品数字化设计与制造的重要辅助工具

尽管计算机具有诸多的优点,有助于提高产品开发的效率和质量,但它只是人们从事产品开发的辅助工具,无法完全代替人的工作。首先,计算机的计算和逻辑推理等能力都是人们通过程序赋予的;其次,新产品开发是一项创造性的活动,目前的计算机还不具有创造性思维,而人具有创造性思维,能够对所开发的产品进行分析和综合,人还可以控制计算机及程序的运行,并对计算结果进行分析、评价、修改和优化;再次,人的直觉、经验和判断是产品开发中不可缺少的,也是计算机无法替代的。

计算机在计算能力、存储能力等方面的巨大优势,使之成为产品开发的重要辅助工具,能辅助人完成数值计算、产品建模、工程图绘制、有限元分析、优化计算、运动学和动力学仿真、数控编程及加工仿真等任务,更能在数据存储、管理、检索中发挥重要作用,以解放技术人员,使其投身到具有创造性的产品开发工作中。

1.2.3.3 数字化设计与制造技术能有效地提高产品质量、缩短开发周期、降低生产成本

人机交互的产品开发,可以发挥人机各自的特长,使得产品设计及制造方案更加合理。通过有限元分析、力学分析、优化设计、虚拟制造等可以及早发现设计缺陷,优化产品的拓扑、尺寸、结构和工艺,克服了以往被动、静态、单纯依赖于人的经验的缺点。数控自动编程、刀具轨迹仿真、虚拟制造和数控加工保证了产品的加工质量,大幅度减少了产品开发中的废品和次品。此外,基于计算机和网络技术,数字化设计与制造技术将传统的串行开发方式转变为并行开发方式,可以有效地提高产品的开发质量、缩短开发周期、降低开发成本,加快产品的更新换代,提高产品及生产企业的市场竞争力。

1.2.3.4 数字化设计与制造技术只涵盖了产品生命周期的部分环节

随着相关软硬件技术的成熟,数字化设计与制造技术越来越多地渗透到产品开发过程中,成为产品开发不可或缺的手段。但是,数字化设计与制造技术的应用目前只涉及了产品生命周期中设计、制造、管理、供应链等部分环节。除此以外,产品需求分析、市场营销、售后服务以及产品生命周期结束后的材料回收利用等环节尚没有涉及。

1.2.4 数字化设计与制造技术的研究重点

进入21世纪后,计算机技术、信息技术、网络技术以及管理技术的快速发展,对制造企业和新产品开发带来了巨大的挑战,也提供了新的机遇。在网络化和信息化时代,先进制造技术发展的总趋势可归纳为:精密化、柔性化、网络化、虚拟化、数字化、智能化、清洁化、集成化及管理创新等。而数字化设计与制造技术是先进制造技术的基础,随着计算机技术的不断提高,Internet网络技术的普及应用,以及用户的不同需求,CAD,CAE,CAPP,CAM,PDM(C4P)等技术本身也在不断发展,集成技术也在向前推进。

产品数字化设计与制造技术的发展重点主要有以下几个方向。

①利用基于网络的CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM/PLM(C4P)集成技术,实现产品全数字化设计、制造与管理。在CAD/CAM应用过程中,利用产品数据管理PDM技术实现并行工程,可以极大地提高产品开发的效率和质量。企业通过PDM可以进行产品功能配置,利

用系列件、标准件、借用件、外购件以减少重复设计。在 PDM 环境下进行产品设计和制造,通过 CAD/CAE/CAPP/CAM 等模块的集成,实现产品无图纸设计和全数字化制造。

②CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM 技术与企业资源计划、供应链管理、客户关系管理相结合,形成制造企业信息化的总体构架。CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM 技术主要用于实现产品的设计、工艺和制造过程及其管理的数字化;企业资源计划 ERP 是以实现企业产、供、销、人、财、物的管理为目标;供应链管理 SCM 用于实现企业内部与上游企业之间的物流管理;客户关系管理 CRM 可以帮助企业建立、挖掘和改善与客户之间的关系。上述技术的集成,可以整合企业的管理,建立从企业的供应决策到企业内部技术、工艺、制造和管理部门,再到用户之间的信息集成,实现企业与外界的信息流、物流和资金流的顺畅传递,从而有效地提高企业的市场反应速度和产品开发速度,确保企业在竞争中取得优势。

③通过 Internet, Intranet 及 Extranet 将企业的业务流程紧密地连接起来,对产品开发的所有环节(如订单、采购、库存、计划、制造、质量控制、运输、销售、服务、维护、财务、成本、人力资源等)进行高效、有序地管理。

④虚拟设计、虚拟制造、虚拟企业、动态企业联盟、敏捷制造、网络制造以及制造全球化,将成为数字化设计与制造技术发展的重要方向。虚拟设计、虚拟制造技术以计算机支持的仿真技术为前提,形成虚拟的环境、虚拟设计与制造过程、虚拟的产品、虚拟的企业,从而大大缩短产品开发周期,提高产品设计开发的一次成功率。特别是网络技术的高速发展,企业通过国际互联网、局域网和内部网,组建动态联盟企业,进行异地设计、异地制造,然后在最接近用户的生产基地制造成产品。

⑤以提高对市场快速反应能力为目标的制造技术将得到超速发展和应用。瞬息万变的市场促使交货期成为竞争力诸多因素中的首要因素。为此,许多与此有关的新观念、新技术在 21 世纪将得到迅速的发展和应用。其中有代表性的是并行工程技术、模块化设计技术、快速原型成型技术、快速资源重组技术、大规模远程定制技术、客户化生产方式等。

⑥制造工艺、设备和工厂的柔性、可重构性将成为企业装备的显著特点。先进的制造工艺、智能化软件和柔性的自动化设备、柔性的发展战略构成未来企业竞争的软、硬件资源;个性化需求和不确定的市场环境,要求克服设备资源沉淀造成的成本升高风险,制造资源的柔性和可重构性将成为 21 世纪企业装备的显著特点。将数字化技术用于制造过程,可大大提高制造过程的柔性和加工过程的集成性,从而提高产品生产过程的质量和效率,增强工业产品的市场竞争力。

现代产品开发设计要求有效地组织多学科的产品开发队伍,充分利用各种计算机辅助技术和工具并充分考虑产品设计开发的全过程,从而缩短产品开发周期,降低成本,提高产品质量,生产出满足用户需要的产品。数字化设计与数字化制造是计算机技术、信息技术、网络技术与制造科学相结合的产物,是经济、社会和科学技术发展的必然结果。它适应了经济全球化、竞争国际化、用户需求个性化的需求,将成为未来产品开发的基本技术手段。

思考与讨论

1. 什么是制造,什么是制造业,制造的作用有哪些?
2. 分析制造业的发展趋势以及我国制造业当前面临的形势。