

周祖德 编著

# 数字制造



科学出版社  
www.sciencep.com

# 数 字 制 造

周祖德 编著

国家自然科学基金重点资助项目

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书从数字制造形成的背景、数字制造的概念以及数字制造的技术内涵出发,介绍了数字制造的理论基础,数字制造与网络制造、敏捷制造、虚拟制造、快速原型制造以及计算机集成制造等先进制造技术的关系;同时全面介绍了数字制造中的营销数字化和数字化管理以及异地协同数字设计和嵌入式数字控制,在此基础上,对数字制造中的共性关键技术如数字产品、数字设备、数字加工过程、数字维修与数字制造资源等作了全面阐述。

本书适用于机电、自动化和计算机通信专业的博、硕士研究生,也可作为计算机控制与应用、机电一体化、智能制造、现代制造技术与系统等领域的研究人员和专业技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字制造/周祖德编著. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-012813-3

I. 数… II. 周… III. 数字技术-应用-制造 IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 005442 号

责任编辑:段博原 贾瑞娜 / 责任校对:钟 洋

责任印制:安春生 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004 年 6 月 第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004 年 6 月第一次印刷 印张:19 1/2

印数:1—3 000 字数:392 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

## 序

我热烈祝贺《数字制造》这一专著的出版。谁都知道,信息化的核心是数字化,先进制造技术的核心也是数字化。数字制造正是先进制造技术发展的最重要的方向。

自美国 1998 年首先提出“数字地球”的概念以来,诸如数字流域、数字城市、数字化生存、数字化部队等以数字为前缀的新概念和新思想大量涌现,数字制造乃是全球数字化浪潮中的重要一环。凡事预则立,我们应清楚看到,数字制造的出现给制造系统、装备、制造过程和产品的核心技术方面带来了一系列变革,推动了制造业的数字化、网络化、智能化和可视化的迅速发展,宛如大江东去,不可阻挡,成为先进制造技术的第一特征。数字制造的发展将对制造业产生深远影响,为制造业的发展注入强大活力,给制造业带来深刻革命。

数字技术融入产品开发过程,使产品的功能、结构、质量、性能、价格、效益等发生了深刻的变化。数字制造有其自身明显的特点,Seino 等从开发和生产两个角度描述了数字制造的基本属性,指出在数字制造中,隐含知识的二义性必须彻底消除,必须表示为计算机能够处理的形式,如数值和(或)方程,最终转化为数字值。上述概念用于产品设计和制造过程,形成数字产品、数字制造装备、数字制造技术等研究领域。与数字制造紧密相关的概念有虚拟制造、网络制造和智能制造等。虚拟制造的核心思想是用虚拟原型代替物理原型,目标是达到可制造性的设计;网络制造主要研究制造业内部的信息交流和共享,以及外部的网络应用服务;智能制造则主要研究不确定性和不完全信息下的制造问题求解。数字制造从不同角度综合了上述制造技术的部分属性,但数字制造更多关注数字建模、数字加工等底层技术以及高速、高精度数字加工装备的研究。目前,数字制造还是一个开放的研究领域,也是一个快速发展的并将极富于成果的研究领域。

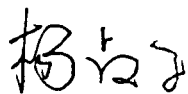
通过信息技术和数字技术改造传统制造业和提升制造业,具有重要的研究意义和广泛的应用前景。一方面,数字化将是 21 世纪制造技术创新的主要手段,如何将自然界的连续物理现象、模糊的不确定现象以及人的经验与技能等加以数字化,是涉及技术创新成败、优劣的关键问题之一;另一方面,发展高度数字化生产装备是制造企业赢得市场竞争的主要手段之一。生产装备的数字化不仅增强了装备的功能和系统集成能力,而且显著地提高了系统的可操作性、可维护性及可靠性,降低了装备的运行和维护成本。随着中国共产党的“十六大”确定以信息化带动工业化,走新型工业化的道路,数字制造对于提高我国制造业的技术创新能力和国际竞争力,促进制造业产业结构的优化和升级,以及实现我国制造业跨越式发展等具

有积极的推动作用。

数字制造技术是数字化技术和制造技术以及有关科技融合形成的,是先进制造技术的核心。作者总结了自己多年从事制造科学与工程的教学和研究工作,特别是近几年在数字制造科学与工程方面潜心研究的成果,向广大读者推出了《数字制造》这本书。本书从理论和实践两个方面介绍了数字制造形成的背景,讨论了数字制造的概念及其技术内涵、参考模型和体系结构,在此基础上全面介绍了数字制造中包括数字建模理论、制造信息学、计算制造学、制造智能学等数字制造中涉及的基本理论,数字制造与其他先进制造技术的关系,以及数字营销、数字管理和数字化决策、数字工厂和数字产品、数字加工与数字制造资源以及嵌入式数字控制技术和系统。

当前,数字制造的研究刚刚开始,数字制造的技术发展方兴未艾,数字制造的应用十分广泛。随着数字制造理念的推广,数字制造理论和学科的发展,数字制造关键技术和应用平台的突破,以及数字制造规范和标准的实施,可以预料数字制造必将得到日益广泛的应用。21世纪随着网络和信息技术的发展,数字制造技术将成为制造业的主导制造手段,人类社会将进入数字制造时代。

作者深知本书不会没有错误、不妥与不足之处,本书提出的有关数字制造的一些观点、概念、思想希望引起广大读者的共鸣和讨论,加以完善。我十分了解作者这一真挚的愿望,并期待着本书得到不断的改进和充实提高。谨为之序。



中国科学院院士  
华中科技大学教授  
2003年11月 瑜园

# 前 言

在世界进入知识经济时代的今天,制造技术与制造系统的发达程度已成为衡量一个国家综合实力和科技发达水平的重要标志。市场的全球化和多样化,以及信息技术和人工智能技术等高新技术的迅猛发展,推动了制造业的革命,极大地拓展了制造活动和制造领域的深度和广度,导致了制造过程信息的表征、存储、处理、传递和加工的深刻变化。网络化和数字化已逐渐成为制造业产品全生命周期中不可缺少的驱动因素,数字制造就是在这样一个背景下应运而生的。

数字制造是在数字技术和网络信息技术与制造技术不断融合、发展和广泛应用的基础上诞生的,也是制造企业、制造系统和制造过程不断实现数字化的必然结果。它是用数字化定量、表述、存储、处理和控制等方法,支持产品生命周期和企业的全局优化运作。它是以制造过程的知识融合为基础,以数字化建模、仿真与优化为特征,在虚拟现实、计算机网络、快速原型、数据库等技术支撑下,根据用户需求,对产品信息、工艺信息和资源信息进行分析、规划和重组,实现对产品设计和功能的仿真以及快速原型制造,进而对产品的工艺过程及加工过程实现数字化,快速生产出满足用户要求、高性能产品的整个制造过程。

从数字制造的概念出发,可以认为网络制造是数字制造的全球实现;虚拟制造和快速原型制造是数字制造的快速实现;敏捷制造是数字制造的一种动态联盟;计算机集成制造是数字制造的集成模型;绿色设计与制造是数字制造的环保化实现。数字制造的技术和系统还涉及数字加工、数字设备、数字资源、数字控制、数字维护和数字工厂等。

本书围绕数字制造的基本概念和关键技术,并结合我们已经开展的研究工作,首先介绍了数字制造的基本理论、技术基础、核心技术与体系结构,在此基础上,还分别介绍了数字制造中从营销、管理、设计到制造、控制、维修等产品全生命周期的相关技术与系统。

全书共分为10章,第1章介绍了数字制造的形成背景、概念及体系结构;第2章、第3章分别阐述了数字制造的理论基础以及数字制造与其他先进制造技术的关系;第4章、第5章介绍了数字营销和数字管理以及产品数字协同设计;第6章、第7章、第8章就数字产品和数字工厂、数字加工过程与数字设备以及产品数字维修技术分别作了较详细的介绍;第9章介绍了数字制造资源;第10章介绍了嵌入式智能数字控制技术与系统。江征风、胡业发、郭顺生、李刚炎、盛步云、陈作炳、卢红、吴波等同志分别编写了本书的相关章节,刘泉负责了相关章节的修改与全书统稿,谨此表示衷心地感谢。

本书的出版还获得了国家自然科学基金重点资助项目“网络环境下数字制造理论与关键技术”课题(项目编号:50335020)的资助,在此一并表示感谢。

数字制造的相关理论与关键技术尚处于不断完善、探索和发展之中,本书只是对这方面工作的初步探索。由于作者水平有限,因此书中的错误、不妥和欠缺之处在所难免,恳请专家和读者批评指正,作者将不胜感激。

作 者

2004 年 3 月

于武汉理工大学

# 目 录

序

前言

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第1章 绪论                  | 1   |
| 1.1 数字制造的形成背景           | 1   |
| 1.2 数字制造的概念             | 3   |
| 1.3 数字制造技术的内涵           | 7   |
| 1.4 数字制造模型与体系结构         | 9   |
| 本章小结                    | 13  |
| 参考文献                    | 13  |
| 第2章 数字制造的理论基础           | 14  |
| 2.1 数字制造的建模理论           | 14  |
| 2.2 制造信息学               | 27  |
| 2.3 计算制造学               | 33  |
| 2.4 制造智能学               | 36  |
| 本章小结                    | 45  |
| 参考文献                    | 46  |
| 第3章 以数字制造为基础的先进制造技术     | 47  |
| 3.1 数字制造的全球实现——网络制造     | 47  |
| 3.2 数字制造的动态联盟——敏捷制造     | 52  |
| 3.3 数字制造的计算机实现——虚拟制造    | 56  |
| 3.4 数字制造的快速实现——快速原型制造   | 61  |
| 3.5 数字制造的集成模型——计算机集成制造  | 65  |
| 3.6 数字制造的环保化实现——绿色设计与制造 | 70  |
| 本章小结                    | 71  |
| 参考文献                    | 71  |
| 第4章 数字制造中营销数字化与数字化管理    | 73  |
| 4.1 数字营销的概念特点和功能        | 73  |
| 4.2 客户关系管理与数字营销         | 75  |
| 4.3 数字化管理               | 84  |
| 4.4 数字化决策理论与方法          | 92  |
| 本章小结                    | 101 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 参考文献                  | 101 |
| 第 5 章 数字协同设计技术        | 103 |
| 5.1 概述                | 103 |
| 5.2 数字协同设计使能技术        | 104 |
| 5.3 数字协同设计体系结构        | 108 |
| 5.4 支持异地的协同数字化设计环境模型  | 110 |
| 5.5 ASP 架构的数字协同设计技术   | 113 |
| 5.6 数字协同设计系统的软硬件组织模式  | 120 |
| 5.7 协同设计工具            | 126 |
| 本章小结                  | 133 |
| 参考文献                  | 133 |
| 第 6 章 数字产品与数字工厂       | 134 |
| 6.1 数字产品概述            | 134 |
| 6.2 数字产品建模的关键技术       | 139 |
| 6.3 数字产品的开发技术         | 155 |
| 6.4 数字工厂              | 167 |
| 本章小结                  | 171 |
| 参考文献                  | 171 |
| 第 7 章 数字加工过程与数字设备     | 173 |
| 7.1 数字加工过程概念          | 173 |
| 7.2 数字加工过程的实现         | 176 |
| 7.3 数字设备的建模           | 186 |
| 7.4 数字设备的网络化          | 191 |
| 本章小结                  | 196 |
| 参考文献                  | 197 |
| 第 8 章 产品的数字维修与数字培训    | 198 |
| 8.1 数字维修的概念与关键技术      | 198 |
| 8.2 基于网络的产品维修向导系统     | 199 |
| 8.3 基于网络的产品维修工艺自动生成技术 | 212 |
| 8.4 数字培训              | 228 |
| 本章小结                  | 237 |
| 参考文献                  | 238 |
| 第 9 章 数字制造资源          | 239 |
| 9.1 数字制造资源的内涵         | 239 |
| 9.2 数字制造资源的共享         | 242 |
| 9.3 数字制造资源的集成         | 247 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 9.4 数字制造资源的安全机制 .....              | 252 |
| 9.5 数字制造资源应用系统 .....               | 259 |
| <b>本章小结</b> .....                  | 265 |
| <b>参考文献</b> .....                  | 266 |
| <b>第 10 章 嵌入式智能数字控制技术与系统</b> ..... | 267 |
| 10.1 基于网络的嵌入式数字控制系统体系结构 .....      | 267 |
| 10.2 基于可重构计算的嵌入式数字计算系统结构 .....     | 274 |
| 10.3 虚拟数字控制技术与系统 .....             | 282 |
| 10.4 嵌入式智能数字控制的应用 .....            | 284 |
| 10.5 SOC 与网络智能数字控制 .....           | 295 |
| <b>本章小结</b> .....                  | 300 |
| <b>参考文献</b> .....                  | 300 |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 数字制造的形成背景

20 世纪中叶以来,随着微电子、自动化、计算机、通信、网络、信息等科学技术的迅猛发展,掀起了以信息技术为核心的新浪潮。以“网络化”、“信息化”为标志的 21 世纪,已经在改变或正在改变人类获取、处理、传送及利用信息和知识的方法,从而推动人们的生活方式、生产方式乃至社会结构和社会分工发生史无前例的变化。在这个浪潮下,各种新概念、新理论、新技术、新思想和新方法层出不穷。数字图书馆、数字流域、数字家园、数字企业、数字经济、数字化部队乃至作为描述整个地球上各类信息的时间序列和空间数据构架的数字地球等新概念和新的研究工作不断被推出,并已开始进入我们的生活,改变我们的生活。数字制造就是在这样一个背景下应运而生的。

### 1.1.1 数字制造将成为未来制造业发展的重要特征

随着信息技术和计算机网络技术的发展,尤其是网络数字技术的发展,世界正经历一场深刻的“网络化革命”。这场革命极大地改变着人类的生存环境和生活方式,并深刻影响人们过去常规的思维定势和工作模式,进而使为人类提供生存条件的各行各业从概念、组织模式、运行方式到结构、管理模式、功能特性等都发生了前所未有的深刻变化。这种网络化、数字化进程的加快使主导世界经济的制造业面临五大突出问题的挑战,即网络化、数字化、全球化、知识化和服务化,就某种意义而言,数字化是核心。

数字化已逐渐成为制造业中产品全生命周期不可缺少的驱动因素。由于制造业市场需求的快速变化和全球性的经济竞争以及高新技术的迅猛发展,促使制造业发生了革命性的深刻变化,极大地拓展了制造活动的深度和广度,推动制造业朝着自动化、智能化、集成化、网络化和全球化的方向发展,从而导致了制造信息的表征、存储、处理、传递和加工的深刻变化,使制造业由传统的能量驱动型逐步转向为数字信息驱动型。这主要表现在:

制造已不再仅仅是传统意义上的制造行为,还包括社会、经济、人文等多种综合因素。由此,制造与制造系统必须置于社会、经济和人文环境中,成为一个复杂的社会化大系统中的一个重要因素。

制造的全球化,使制造业的组织形态、经营模式和管理机制需要重新定位和创新,这就要求新一代企业必须实现网络化、数字化,构建新一代制造系统的模式,从

而提出了数字制造工厂的要求。

随着制造系统复杂度的增加,制造过程中所必须接收和处理的各种信息正在爆炸性地增长,限量制造信息成为制约制造系统效能的关键因素。解决这一问题的关键是在分布式数字化、网络化结构的基础上,通过限量数据的几何与拓扑建模,使制造系统中的制造单元或装备具有一定的自主性和智能化水平。这就是所谓分布式数字制造。

制造市场需求的快速变化以及消费需求日趋个性化与多样化,要求新一代制造系统必须体现柔性化、敏捷化、客户化与全球化等基本特征。柔性化与敏捷化是快速响应客户化需求的前提,这意味着新一代制造系统必须具有动态易变性,能通过快速重组,以快速响应市场需求的变化。而柔性化、敏捷化、客户化与全球化实现的基础是网络化和数字化,在此基础上提出制造过程数字化和数字化产品的要求。

制造活动的全球化,对制造活动的服务环节也提出了新的要求。由于制造产品复杂程度的不断增加,服务地域的不断扩大,用户对服务时间的要求越来越短,因此迫切需要新的服务手段和服务技术的支持。这就很自然地提出了数字培训、数字维护与数字诊断的概念与技术。

由此可见,Internet的发展引来了数字经济或 Internet 经济,并由此引起的生产活动和商务活动导致制造企业从形式到内容结构性的深刻变化,同时制造企业的竞争态势、市场结构、企业结构、公司形式、业务流程、管理模式、制造过程等也将随之而变。为了迎接这些变化带来的挑战,制造企业和制造过程必须走数字化的道路。数字制造也就成为一种用以适应日益复杂的产品结构,日趋个性化、多样化的消费需求和日益形成的庞大制造网络而提出的全新制造模式,并很自然地成为未来制造业发展的重要特征。

### 1.1.2 数字制造的提出是当代社会经济和科学技术发展的必然结果

由于网络技术特别是 Internet/Intranet/Extranet 技术的迅速发展以及由此而给制造业带来的新变化和重大影响,首先引起了制造业界科技工作者的高度关注。国际权威制造技术研究机构德国 Fraunhofer 研究院院长 Hang Jurgen Warnecke 教授,曾在 2000 年 11 月在我国上海召开的第 1 届国际机械工程学术会议上做的题为“网络生产——制造业全球化的前景”大会报告中,特别强调了网络生产在制造业发展中的重大影响和作用。在 2000 年 3 月新加坡第 5 届国际计算机集成制造大会上,大会组织委员会主席 Robert Gay 和学术委员会主席 Jasbir Singh 在他们联合撰写的大会论文集前言中指出:“近年来制造业最伟大的影响就是 Internet 技术和相关业务的出现”。美国互联网投资公司创办人 David Wethevell 甚至认为互联网的出现比工业革命更为重要,改变的步伐远比工业革命大。制造全球化、制造敏捷化、制造网络化、制造虚拟化和制造绿色化是现代制造业发展的趋势。而制造全

球化、敏捷化和虚拟化首先离不开制造网络化的支撑环境,更离不开制造信息化和制造数字化的理念和支持技术,因此,数字制造是当代科学技术迅速发展的必然趋势和必然结果。

从社会经济角度来看,制造业的市场环境 30 年来发生了重大变化,表现为部分发展中国家制造业生产能力的迅速提高以及由此带来的制造业主之间的激烈竞争。这种竞争导致了制造业市场的容量饱和、资源短缺和产品价格上扬。因此,买方多变的市場以及繁荣与衰退交替波动的经济环境,迫使各国的制造业不得不经常不断地调整、改组、整合、创新,从而力争做到快速响应市场需求,以便适应难以预测的不断变化的市场需求。也就是说,为了适应数字和网络经济的时代,制造企业必须实现数字化改造。这种数字企业或数字制造工厂必须能够利用数字技术为客户和企业员工设计全新的价值理念,发现创造和捕捉利润的新方法。也就是说,数字制造企业将在研发、生产、营销和管理等方面都广泛利用计算机和网络技术,构筑企业的数字系统,以全方位改造企业,降低生产成本和费用,增加产量与销售,实现增值,从而提高企业的经济效益。

发达国家早在上世纪末就已经将信息技术改造传统产业,提升制造业的新技术水平作为发展国家经济的重大战略之一。可以说,以计算机和信息技术与传统制造业相结合提升制造业、创建新兴制造业等为特征的先进制造技术,完全改变了美国曾称之为夕阳工业的制造业发展态势,使制造业的发展出现了前所未有的勃勃生机。近几年来,这种以信息技术和数字技术改造和提升制造业的成功范例很多,如日本任天堂公司采用数字制造的一种模式——虚拟生产模式就是成功的一例,它通过虚拟制造的思想,运营自己的无形资产、专利资源等实施“虚拟经营”、“委托加工”,依托 30 多个协作厂昼夜运行,人均创纯利润达 9000 多万日元,按当年国际汇率,相当于每人每年创利 80 万美元。此后,日本的索尼与东芝,德国的西门子与荷兰的菲利普等先后成立“虚拟联盟”,或互换技术技艺,或构建特殊的供应合作关系,或共同研制开发新技术和新产品,成功地通过网络和信息技术实施虚拟经营,从而在瞬息万变的世界市场中,这些企业始终能保持其在国际市场中的领先地位。

概言之,数字制造的发展,是当今社会经济和科学技术发展的必然结果,是网络和信息技术与制造科学结合的必然结果,是经济全球化、全球信息化的必然结果,是制造业竞争日趋激烈,市场瞬息万变的必然结果。因此,数字制造必将成为未来制造业发展的重要特征和必然趋势。

## 1.2 数字制造的概念

20 世纪 50 年代产生的数字控制机床,将过去由人工操作、行程开关或模板产生的各类加工信息通过数字控制实现自动化和数字化,大大提高了机械加工的加

工精度和工作效率,并降低了劳动强度,改善了生产条件,整体上提高了制造业的自动化水平。可以说数控机床的诞生和不断发展,从纯硬件系统发展到软、硬件结合到计算机控制以至到今天的网络远程控制和嵌入式控制等,构成了制造业数字化的一个十分重要的基础。事实上,数字制造机床的拥有量及其年产量已经成为一个国家制造能力的重要标志,数字制造的概念也就是从数字控制机床逐步演化而来的。

### 1.2.1 数字制造的定义

数字制造是在计算机、数字技术和网络信息技术与制造技术不断融合、发展和广泛应用的基础上诞生的,也是制造企业、制造系统和制造过程不断实现数字化的必然结果。

由于数字制造的提出仅仅是近几年的事情,因此,国际和国内并未对数字制造有非常明确的定义,最早关于数字制造的定义是由本书作者于2001年在“中国机械工程”杂志第12卷第1期的“数字制造的概念与科学问题”一文中提出的:

数字制造是用数字化定量、表述、存储、处理和控制方法,支持产品全生命周期和企业的全局优化运作,以制造过程的知识融合为基础,以数字化建模仿真与优化为特征;它是在虚拟现实、计算机网络、快速原型、数据库等技术支撑下,根据用户的需求,对产品信息、工艺信息和资源信息进行分析、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的整个制造过程。按照产品的制造过程,可以将对制造工艺过程知识的获取及进行制造工艺自主设计和优化控制等的数字化作为微观过程数字化,而对生产系统的布局设计与实际优化运作等数字化作为宏观生产过程数字化。

数字制造技术是数字化技术和制造技术融合形成的,是以制造工程科学为理论基础的制造技术的重大革新,是先进制造技术的核心。数字制造在领域和过程两个方面扩展了传统的制造概念。在领域方面,制造从机械领域扩展到了除第一产业和第三产业以外的几乎所有工业领域;在过程方面,制造从单纯的机械加工过程扩展到了产品整个生命周期过程;从内容上看,数字制造与传统制造的不同在于它力图从离散的、系统的、动力学的、非线性的和时变的观点研究制造工艺、装备、技术、组织、管理、营销等问题,以获取更大的投入增值。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数字化模型,并进行仿真,使制造从部分量化和部分经验化、定性化逐步转向全面数字量化。

### 1.2.2 数字制造的概念轮图

从数字制造的定义出发,不难清楚地看到,一个数字制造系统,对制造设备而言,其控制参数均为数字信号,设备本身的内涵均以数字化形式描述;对制造企业

而言,各种信息包括市场、管理、生产、设计、维护乃至各种制造资源等均以数字的形式通过数字网络在企业内外传递;对制造产品而言,产品内外特征的表征,产品质量的控制,产品在市场流通的过程等也都是以数字来表征的;对全球制造业而言,用户通过数字网络发布需求信息,各大、中、小型企业则通过数字网络根据用户需求,在企业之间实现优势互补、动态组合、迅速敏捷地协同设计并制造出相应的产品,在数字制造环境下,在广域内形成一个由数字织成的网,个人、企业、车间、设备、经销商和市场都成为网上的一个个结点。这样一来,一方面,由产品在设计、制造、销售过程中所赋予的数字信息成为主宰制造业的最活跃的驱动因素;另一方面,分别从管理、设计、制造为中心的数字化和信息化组成了数字制造的基本框架,由此可以得出图 1.1 所示的数字制造的概念轮图。

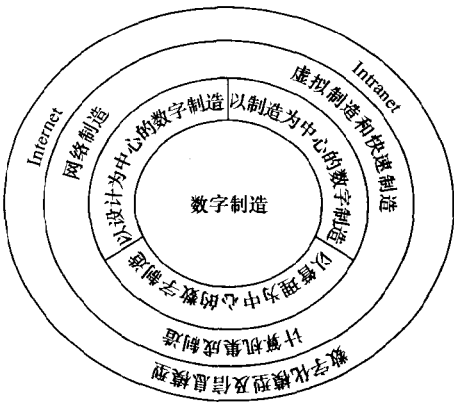


图 1.1 数字制造的概念轮图

### 1.2.3 三种数字制造观

从图 1.1 的数字制造轮图可知,三种不同的数字制造观组成了数字制造的基本框架,这就是以制造为中心的制造观、以设计为中心的制造观和以管理为中心的制造观。

#### 1. 以制造为中心的制造观

数字制造的概念,首先来源于数字控制技术(NC 或 CNC)与数控机床。数控技术就是用数字量及字符发出指令并实现控制的技术。它不仅控制位置、角度、速度与机械量,也可控制温度、压力、流量等物理量。这些量的大小不仅可用数字表示,而且是可测、可控的。如果一台设备,实现其自动工作过程的命令是以数字形式来描述的,则称其为数控设备。显而易见,这远不是数字制造,但却是数字制造的一个十分重要的基础。

随着数控技术的发展,又出现了对多台机床,用一台(或几台)计算机数控装置进行集中控制的方式,即所谓直接数字控制(DNC)。为适应多品种、小批量生产的自动化,发展了若干台计算机数控机床和一台工业机器人协同工作,以便加工一组或几组结构形状和工艺特征相似的零件,从而构成所谓柔性制造单元(FMC)。借助一个物流自动化系统,将若干柔性制造单元或工作站连接起来实现更大规模的加工自动化就构成了柔性制造系统,它以数字量实现加工过程的物料流、加工流和控制流的表征、存储与控制。

数字控制,不仅实现制造过程的自动化,而且实现制造过程各种参数的检测、控制和故障报警乃至维修决策和建议的提出等。随着网络信息技术的发展,由多台数字控制机库联网组成局域网实现一个车间或多个车间的生产过程自动化,进而发展到每一台设备的控制器或控制系统成为网上的一个结点,使制造过程向更大规模和更高水平的自动化方向发展,这就形成了所谓以制造为中心的数字制造观。

## 2. 以设计为中心的数字制造观

由于计算机的发展以及计算机图形学与机械设计技术的结合,产生了以数据库为核心,以交互式图形系统为手段,以工程分析计算为主体的计算机辅助设计(CAD)系统。CAD系统能够在二维与三维的空间精确地描述物体,大大地提高了生产过程中描述产品的能力和生产率。正如数控技术与数控机床一样,CAD的产生和发展,为制造业产品的设计过程数字化和自动化打下了基础。

将CAD的产品设计信息转换为产品的制造、工艺规则等信息,使加工机械按照预定的工序和工步的组合和排序,选择刀具、夹具、量具,确定切削用量,并计算每个工序的机动时间和辅助时间,这就是计算机辅助工艺规划(CAPP)。将包括制造、检测、装配等方面的所有规划,以及面向产品设计、制造、工艺、管理、成本核算等所有信息数字化,转换为计算机所理解、并被制造过程的全阶段所共享的数据,就形成了所谓CAD/CAM/CAPP的一体化,从而使CAD上升到一个新的层次。近几年来,计算机网络为CAD技术提供了网上协同和合作进行设计的平台。由于网络技术和信息技术的发展,多媒体可视化环境技术、产品数据管理系统、异地协同设计以及跨平台、跨区域、同步和异步信息交流与共享,多企业、多团队、多人、多应用之间群体协作与智能设计正在深入开展研究,并进入实用阶段,这就形成了所谓以设计为中心的数字制造观。

## 3. 以管理为中心的数字制造观

通过企业内部物料需求计划(MRP)的建立与实现,根据不断变化的市场信息、用户订货和预测,从全局和长远的利益出发,通过决策模型,评价企业的生产和经营状况,预测企业的未来和运行状况,决定投资策略和生产任务安排,这就形成了制造业生产系统的最高层次管理信息系统(MIS)。为了支持制造企业经营生产过程能随市场需求快速重构和集成,出现了能覆盖整个企业从产品的市场需求、研究开发、产品设计、工程制造、销售、服务、维护等生命周期中信息的产品数据管理系统(PDM),从而实现了以“产品”和“供需链”为核心的过程集成。当前,随着企业需求规划(ERP)这一建立在信息技术基础上的现代化管理平台的广泛应用,由于它集中信息技术与先进管理思想于一身,使企业经营管理活动中的物流、信息流、资金流、工作流加以集成和综合,形成了以ERP为中心的MRP/PDM/MIS/

ERP 等技术集成的所谓以管理为中心的数字制造观。

## 1.3 数字制造技术的内涵

随着数字地球概念的推出,可以说,全球正在进入数字信息化时代。数字信息化时代是过去 50 年,特别是最近 30 年信息技术发展的一个历史阶段,其主要特征就是数字化技术在生产、生活、经济、社会、科技、文化、教育和国防等各个领域不断扩大应用并取得日益显著效益的时代。数字化技术应用于制造领域,就形成了数字制造。

### 1.3.1 从数字制造企业看数字制造技术的内涵

数字化工厂或数字企业(digital enterprise 或 E-enterprise、E-factory)是通过使用数字技术使企业的战略选择发生变化,并使选择范围大大拓展的新型企业。根据这一定义,数字工厂或数字企业必须能够利用数字技术为客户和企业员工设计全新的价值理念和数字化环境,发现创造和捕捉利润的新方法,并通过数字技术在企业的全面应用,实现内、外部及整个业务流程全面的信息化和数字化。

从数字企业的关联角度看,数字制造技术所涉及到的对象和活动主要包括企业、企业之间的关系以及企业之间的协作活动和供需活动,可用图 1.2 表示。

图 1.2 中,数字制造企业是指把企业看做是协作链或供需链的核心,从宏观的角度出发应用数字技术对数字制造企业的整体特征进行表达和处理,如发展战略、主要产品特征、企业形象、可共享资源等。数字制造协作链是指应用数字技术对企业间的各种制造协作关系和活动进行表达、处理、控制和实现,如协同设计、战略联盟建立等。数字制造客户链是指应用数字技术对企业与客户的关系进行表达、管理和控制,如客户档案、客户需求信息、客户联系档案、客户反馈信息的表达与处理、客户产品配置活动、客户投诉活动、客户订货活动的表达、管理与控制等。数字制造供应链是指应用数字技术对企业与供应商的关系进行表达、建立与控制,如供应商档案、供应商供应信息、供应商联系档案的表达与处理、询价报价活动、供应商选择活动的表达、管理与控制等。

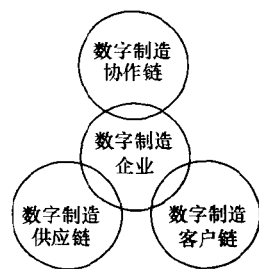


图 1.2 数字制造技术内涵——数字企业关联图

### 1.3.2 从数字制造的内容看数字制造技术的内涵

从数字制造的内容上看,数字制造与传统制造的本质差别在于,数字制造力图从离散的、系统的、动力学的、非线性的和时变的观点研究制造工艺、装备、技术、组织、管理、营销等问题,并力图以互联网为技术手段、以信息为理论基础,将传统制