

长江科学技术文库

国家“十五”重点
图书出版规划项目



Virtual Reality and Virtual Manufacturing

虚拟

现实与虚拟制造

周祖德 陈幼平 等著
湖北科学技术出版社

技术文库

重点
页目

虚拟

现实与虚拟制造

Virtual Reality and Virtual Manufacturing

湖北科学技术出版社

周祖德 陈幼平 等著

图书在版编目 (CIP) 数据

虚拟现实与虚拟制造/周祖德, 陈幼平等著. — 武汉: 湖北科学技术出版社, 2005. 2

(长江科学技术文库)

ISBN 7-5352-2879-8

I. 虚... II. ①周... ②陈... III. 计算机辅助制造 IV. TP391.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第072169号

虚拟现实与虚拟制造

© 周祖德 陈幼平 等著

策 划: 王连弟 王汉熙 刘 敏

封面设计: 王 梅

责任编辑: 王连弟 王汉熙 刘 敏

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 87679468

地 址: 武汉市雄楚大街268号
湖北出版文化城B座12-14层

邮编: 430070

印 刷: 武汉中远印务有限公司

邮编: 430034

督 印: 刘春尧

787毫米×960毫米 16开 21.5印张 4插页 360千字

2005年2月第1版

2005年2月第1次印刷

ISBN 7-5352-2879-8/G·676

定价: 48.00元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

《长江科学技术文库》编委会

主任 王少阶

副主任 (按姓氏笔画为序)

王建辉 刘会永 邱久钦 邱菊生

郭生练 路 钢

委员 (按姓氏笔画为序)

王少阶 王建辉 方秦汉 宁津生

齐民友 刘会永 张天序 邱久钦

张勇传 李家荣 邱菊生 张端明

郑守仁 周祖德 赵守富 赵修建

郭生练 殷鸿福 夏穗生 黄志远

路 钢 樊明文

总策划 李慎谦 张端明(兼)

策划组成员 (按姓氏笔画为序)

王红斌 史可荣 余永东 夏杨福

第一作者简介

周祖德教授

1970年毕业于华中科技大学电力
系统自动化专业；1984-1986
年英国 Birmingham 大学访问学
者；1992-1994



年英国 Bolton 大学客座教授；1996 年香港大
学机械系客座教授；1999 年新加坡国立大学
访问科学家。现任华中科技大学教授、博士
生导师；武汉理工大学校长；《武汉理工大
大学学报》主编。

主要研究工作集中在机械加工自动化及
智能控制研究领域。先后主持并完成了国家
自然科学基金、国防预研基金、博士点基
金、国家教育部优秀年轻教师基金、国家科
技攻关、863 高技术、产业化示范工程、国
际合作等 10 多项国家级项目。在国内外重
要学术刊物和学术会议上发表高水平研究论
文 300 余篇，主编、参编了 8 本学术著作及
教材。获包括国家科技进步二等奖、湖北省
科技进步一等奖、国家教委科技进步二等
奖在内的各类科技成果奖励 15 项。

总 序

科学技术作为“最高意义上的革命力量”，推动社会生产力的急剧发展，乃是人类社会进步的强大动力。科学技术的一次次革命，触发一次次的产业革命，使人类文明一次又一次地攀上更高的峰顶。“科学技术是生产力，而且是第一生产力”已成为当代公众的共识。

当前，一场规模宏伟的高科技革命正以排山倒海之势席卷全球。这场革命其范围之广泛，内容之丰富，发展之迅猛，影响之深刻，更是以往的科技革命所无法比拟的。其直接之后果导致所谓“信息革命”、“知识经济”应运而生。这场新的科学技术革命的三大主角是信息科学技术、材料科学技术和生命科学技术。科技知识空前快捷和广泛地产生、传播和应用，不仅极大地推动经济和社会发展，归根结底，也决定了国家的综合国力和民族的竞争能力。因此，“科教兴国”不仅是现代化建设的需要，更是我们自立于世界民族之林、振兴中华的英明决策。

荆楚大地，人杰地灵，自古以来，人才辈出。不仅创造了瑰丽多姿的楚文化，而且在科学技术方面谱就了一篇篇辉煌的乐章。曾侯乙编钟，陆羽的《茶经》，毕昇的活字印刷术，李时珍的《本草纲目》……，无不闪耀着智慧的光芒。清末民初，欧风东渐，现代的科技传入中国，湖北省更是开风气之先。尤其是清末张之洞主政湖广，锐意革新，创建学堂，兴办实业。所谓“汉阳造”竟成为当时中国新兴军工的象征；“汉冶萍”公司更是中国近代工业的翘首。因此，民初以来，汉口遂发展成为全国仅次于上海、天津的大

商埠；湖北的近代教育、近代科技、近代产业在当时的中国堪称中坚。

党的十一届三中全会以来，湖北科技界高举邓小平理论伟大旗帜，锐意创新，勇攀高峰，硕果累累，成绩斐然。老一代的硕学鸿儒，春深花茂；一大批功底扎实、奋进不已的中年学者，叶盛枝繁；更加可喜的是，风起云涌的青年才俊更是意气风发，大展宏图。目前湖北省的整体科技实力已跻身于全国“科技强省”之列。

为了进一步贯彻好“科教兴鄂”的战略方针，弘扬科学精神，宣传科学方法，普及科学知识，汇集并宣扬改革开放以来湖北省在科学技术上，尤其是在高科技研究方面所取得的丰硕成果，特组织出版《长江科学技术文库》。本文库的宗旨，在于收录奋战在荆楚大地科研第一线上，并且取得了在国际和国内能够占据一席之地的优秀科研成果的专家教授的新著，兼收并蓄，分卷出版，无分轩轻。文库内容遍及偏微分方程、现代分析理论、随机分析、理论物理、高能物理、原子核物理、高分子材料、纳米材料、大地测量、摄影与遥感、生物地质、作物遗传改良、动物遗传育种、口腔医学、器官移植、激光技术、数控技术、人工智能、水利工程和桥梁建设等等。需要说明的是，应该收录而未进入本文库的专著还很多。其中原因多多，如有的专家工作太忙，近期无暇著书立说；有的专家刚有专著出版；等等。由于湖北科技战线很广，而文库容量有限，挂一漏万，也在所难免，敬请各界同仁见谅。我们希望，这个文库还可以继续出续集，以弥补这些遗憾。

“天行健，君子以自强不息。”愿湖北的广大科技工作者再接再厉，百尺竿头，更进一步，描绘出荆楚大地上更灿烂的科技星空。

《长江科学技术文库》编委会

2003年8月

本书序一

江泽民同志深刻指出：“在当今世界上，综合国力的竞争，越来越表现为经济实力、国防实力和民族凝聚力的竞争。”而经济实力的竞争将成为世界各国实力竞争的焦点和社会发展的主动力。对于制造业来说，竞争的核心将是产品创新和技术创新的竞争。

产品创新对于发达国家而言，是制造业发展的自然结果。而对处于工业化进程中的我国，则是良好的机遇与严峻的挑战并存。目前，我国已提前达到第二步战略目标，正在向本世纪中叶达到中等发达国家的战略目标迈进。在这个过程中，一方面世界科技的发展将更加迅猛，科技成果与技术革新向产业转化的周期和高知识含量的产品的市场生命周期将更短，我国通过学习国外的先进技术和经验而赶上发达国家的难度将加大，“后发优势”的作用将明显减弱；另一方面，我国已经加入世界贸易组织，国外企业纷纷瞄准处于改革开放中的中国这个潜在的巨大市场。我国的制造企业面临着在国内国际两个市场同国外制造企业竞争的严峻形势。因此，我国制造业发展的持续动力将主要来自产品创新。

在产品创新过程中，产品功能越来越趋向集成化和复合化。因此，时间是竞争优势的最终资源，设计、试制、制造的“一次成功(Right the First Time)”是达到这种优势的关键。为此，在设计阶段综合考虑产品试制、制造乃至整个生命周期的所有因素的并行工程思想和实现方法越来越受到人们的重视。目前，虚拟现实与虚拟制造技术则是这种思想得以成为现实的最有效的方法。

虚拟现实与虚拟制造技术以其多感知性、沉浸感、交互性和自主性的特点极大地调动了设计与开发人员的创新能力,是制造企业提升其产品创新能力,参与全球化市场竞争的重要技术保证。近年来,虚拟现实与虚拟制造的研究方兴未艾。但是不可否认,我国在这一领域的研究还处于一个起始阶段,尽管在某些方面研究的文章出了不少,但有关虚拟现实与虚拟制造技术的专著却甚少。《虚拟现实与虚拟制造》一书博采众长,科学地、系统地描述了当今国内外虚拟现实与虚拟制造领域的先进理论与方法。本书的出版,是我国先进制造技术领域中的一件大事。作者为此书的出版进行了艰辛的劳动,付出了极大的心血,并希望此书能使科技工作者在虚拟现实与虚拟制造技术的研究与开发过程中有所裨益。我如同有关读者一样,对作者十分感激。同时,由于我与作者熟悉,我为作者的劳动成效而无比高兴。我还希望此书在读者的关心与支持下,能得到进一步的发展与提高。

送你一个“虚拟”的世界,
去完成一个现代“制造”的伟业。
长风破浪今是时,
直挂云帆济沧海!

读者之序。

杨叔子
2004年12月

本书序二

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展水平的重要标志。没有先进的制造技术与制造系统,就不可能有发达的制造业,就无法参与国际经济发展的激烈竞争。我国制造业的产值占国民生产总值的40%,预计未来15年内制造业的年平均增长率仍将高于国民生产总值的年平均增长率。因此,中国振兴国家经济、提高综合国力的根本动力在于发展适合中国国情的先进制造生产方式以实现制造业的振兴。

市场的全球化和多样化,以及电子技术、信息技术、自动化技术、计算机科学技术和人工智能技术等高新技术的迅猛发展,推动着制造业的深刻革命,极大地拓展了制造活动的深度和广度,促进了制造业朝着自动化、智能化、集成化、网络化和数字化的方向发展,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中产品全生命周期中不可或缺的驱动因素。

以网络化和数字化为基本特征的新的制造哲理深刻地影响着新世纪的制造模式和制造观念。因此,当前世界各国都把先进制造技术的研究和开发作为国家的关键技术进行优先发展,如美国的先进制造技术计划AMTP、日本智能制造技术(IMS)国际合作计划、韩国的高级先进技术国家计划(G-7)和欧共体的ES-PRIT和BRITE-EURAM计划等。面临着这样一个严峻的挑战,我国制造业的紧迫任务就是要提高企业产品的市场竞争力,

而产品竞争力的关键在于创新。因此,引进和创造先进的制造技术和制造方法是我国制造业发展的首要问题。

虚拟制造技术可以理解为在计算机上实现的制造技术(Manufacturing in Computer)。虚拟制造技术又可看作是 CAD、CAM、CAE 集成化发展的更高层次。虚拟制造强调在实际产品实现过程之前完成产品设计与制造过程的全面的仿真和分析,以保证产品制造的可行性。

虚拟制造技术覆盖面极为广泛,它包括虚拟设计、虚拟生产、虚拟测试和虚拟制造,除虚拟现实技术涉及的共性技术外,虚拟制造领域本身涉及的关键技术及主要研究内容包括虚拟制造的理论体系、设计和加工过程的三维可视化、虚拟环境下系统最优决策理论及技术、虚拟制造系统的体系结构、虚拟产品的装配仿真以及虚拟环境加工过程的人机协同等。

近年来,我国十分重视可持续发展战略,虚拟制造技术在我国已日益受到重视,发展势头比较强劲,尤其是在虚拟设计与虚拟制造的理论研究方面十分活跃,取得了一些进展,如飞机的异地设计、虚拟风洞,以及某些工程应用等。但是,应该认识到,我国在虚拟现实与虚拟制造技术的研究方面刚刚开始,仅限于国外理论的消化和国外软件的引进试用,还谈不上全面和系统的研究开发。有关虚拟制造技术的实质性研究还有待进一步展开。《虚拟现实与虚拟制造》一书在系统总结作者前期研究工作的基础上,科学地和系统地阐述了当今国内外在虚拟现实与虚拟制造领域中的先进理论与方法。该书的出版,将为虚拟现实与虚拟制造技术的深入研究与开发起到极大的促进作用,并将为从事该领域研究工作的科技人员提供一个有力的工具。

熊有伦
2004 年 12 月

前 言

当前,以计算机技术、微电子技术、网络通讯与信息技术、自动化技术和人工智能技术为核心的新一代科学技术的迅猛发展,将我们所处的世界由“工业经济”引入到一个全新的知识经济时代。这些新技术及相关的新方法在社会生产和工业技术等领域的广泛渗透、应用与衍生,正在使现代社会的面貌发生翻天覆地的变化,并为人类描绘了一幅未来信息社会的壮丽图景。

众所周知,在诸多新一代科学技术中,虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术就是一门格外引人注目的新技术。它采用计算机、多媒体和网络技术等多种高科技手段来构造虚拟境界,进而使参与者获得与现实世界相类似的感觉。由此,人们可以在这样一个由计算机构造的能够模拟现实世界的数字化环境中获得人与环境相互作用的各种信息,并通过多媒体交互设备进入一种虚拟环境而产生身临其境的感觉;同时,人们还可在这个虚拟环境中模拟进行各种创造性活动。因此,有些计算机学者甚至认为:20世纪80年代是个人计算机时代,20世纪90年代是多媒体时代,21世纪初则将是虚拟现实技术的时代。

虚拟制造(Virtual Manufacturing, VM)技术则是一门以虚拟现实技术、计算机仿真技术、分布式计算理论、制造系统与加工过程建模理论、产品数据管理技术等为理论基础,研究如何在计算机网络环境及虚拟现实环境下,利用制造系统各层次及各环节的数字模型,完成制造系统各个环节的计算与仿真的科学。它是实际制造在计算机上的本质实现,即通过采用虚拟现实与计算机仿真技术,在计算机上群组协同工作,对设计、工艺规划、加工制造、性能分析、质量检验及生产管理等产品全生命周期各个环节的各种技术方案和技术策略进行评估和优化,预测产品的性能、成本和可制造性,从而有助于更有效、更经济 and 更灵活地组织生产,以增强制造企业对整个产品制造过程的决策与控制能力。虚拟制造技术的广泛应用,将从根本上改变现行的传统制造模式,对相关行业将产生巨大影响。可以说,虚拟制造技术

将在某种程度上决定制造企业的未来,也决定着制造企业在竞争中能否立于不败之地。

另一方面,由于分布式虚拟现实(Distributed Virtual Reality,DVR)技术能使多个用户同时通过网络在同一虚拟现实环境中协同工作,而且 Web 已经成为用户使用计算机网络的事实上的标准模式。因此,随着计算机网络通讯技术和虚拟制造技术的迅速发展与日益紧密结合,基于 Web 的分布式虚拟制造必将成为未来虚拟制造技术发展的重要趋势,未来的研究机构及制造企业将可以通过网络开展广泛的协同研究与产品开发。从这一点出发,华中科技大学的研究人员自 20 世纪 90 年代中期开始,通过与新加坡国立大学的研究人员的合作,对基于 Internet 的虚拟数控系统展开了广泛深入的研究,提出了利用虚拟现实建模语言(Virtual Reality Modeling Language, VRML)和 Web 环境建立分布式虚拟现实运行环境的设想,并由该设想实现了基于 Internet 的虚拟数控系统(VCNC)的原型系统。

多年的研究工作积累,使我们觉得十分有必要撰写一部有关“虚拟现实与虚拟制造”的书,全面介绍虚拟现实和虚拟制造的体系结构、设计思想以及虚拟制造系统的具体实现和应用情况,以期与同行共同分享已有研究成果并共同探讨虚拟制造系统研究开发过程中的关键问题。因此,在湖北科学技术出版社的大力支持下,周祖德和陈幼平两位教授提出了本书的总体框架和写作思路,并由多位研究人员通力合作,完成了本书的写作。

全书共分九章。其中,周祖德和李宇撰写了第一章;陈幼平、曹家勇和杨波撰写了第二章和第三章;王洪海撰写了第四章;余文勇和姜平撰写了第五章;袁楚明撰写了第六章;谢经明和张冈撰写了第七章;许杨和陈幼平撰写了第八章;周敬东和陈幼平撰写了第九章。最后,由陈幼平负责全书的统稿与修改。

作者特别感谢王连弟女士和王汉熙先生两位编辑。他们为本书的出版付出了巨大的劳动,做出了重要的贡献。从开始列题,制定计划,讨论方案,修改文稿,润饰文字,直到封面设计,处处都凝结着两位编辑的劳动。

鉴于作者的业务水平有限,同时由于虚拟现实与虚拟制造的研究工作与技术发展日新月异,不断有新的理论和技术产生,因此,本书中的错误和欠缺之处,敬请专家和读者在阅读中不吝指教,以期将此书趋于完善,并共同推进虚拟现实与虚拟制造技术的发展。

作者

2004 年 10 月于华工园

目 录

总 序	1
本书序一	III
本书序二	V
前 言	VII
第 1 章 概论	1
1.1 概述	1
1.1.1 虚拟现实与虚拟制造的产生背景	1
1.1.2 虚拟现实与虚拟制造的现状	5
1.2 虚拟现实的基本特性与特点	8
1.2.1 虚拟现实的基本特性	8
1.2.2 虚拟现实的硬件特点	9
1.2.3 虚拟现实的软件特点	10
1.3 先进制造系统与虚拟制造系统	11
1.3.1 先进制造系统的发展历程	11
1.3.2 敏捷制造与虚拟制造	14
1.4 虚拟现实与虚拟制造的应用	16
1.4.1 在军事方面的应用	17
1.4.2 在建筑设计中的应用	18
1.4.3 在工程及产品设计方面的应用	19
1.4.4 在医疗方面的应用	19
1.4.5 在电子电路方面的应用	19
1.4.6 在汽车制造方面的应用	20
1.4.7 在娱乐方面的应用	20
1.4.8 在教育培训方面的应用	20
1.4.9 其他方面的应用	20

1.5	虚拟现实与虚拟制造的发展与展望	21
1.5.1	支持并行工程	22
1.5.2	完成动态联盟的建立	22
1.5.3	进行虚拟制造	23
	参考文献	23
第2章	虚拟现实技术与系统	26
2.1	计算机仿真与虚拟现实	26
2.1.1	虚拟现实的特点	26
2.1.2	计算机仿真与虚拟现实的关系	29
2.1.3	虚拟现实在计算机仿真中的应用分析	32
2.2	虚拟现实系统的环境构成	33
2.2.1	虚拟现实的硬件环境	33
2.2.2	虚拟现实的软件环境	45
2.3	支持虚拟现实的多通道技术	55
2.3.1	多通道用户界面模型概念及特点	55
2.3.2	多通道用户界面模型结构及运行机制	56
	参考文献	58
第3章	虚拟制造的概念体系	60
3.1	虚拟制造的概念	60
3.1.1	虚拟制造的定义	60
3.1.2	虚拟制造的特点	62
3.1.3	虚拟制造与实际制造之间的关系	63
3.2	虚拟制造的分类	64
3.2.1	以设计为中心的虚拟制造	64
3.2.2	以生产为中心的虚拟制造	65
3.2.3	以控制为中心的虚拟制造	65
3.3	虚拟制造的理论基础	66
3.3.1	建模理论	66
3.3.2	计算机仿真实论	74
3.3.3	分布式计算理论	80
3.4	虚拟制造的技术体系	82
3.4.1	使能技术群	82

3.4.2 关键技术群	84
3.5 虚拟制造系统的体系结构	84
3.5.1 虚拟制造体系结构的研究现状	84
3.5.2 虚拟制造系统的功能要求	85
3.5.3 虚拟制造系统的体系结构	87
3.6 虚拟数控加工系统的体系结构与组成 ^[6]	89
3.6.1 虚拟数控加工系统的功能要求	89
3.6.2 虚拟数控加工系统的体系结构	91
3.6.3 虚拟数控加工系统的组成	92
参考文献	100
第4章 虚拟制造的建模与仿真技术	102
4.1 虚拟制造系统理论建模	102
4.1.1 制造系统建模理论概述	102
4.1.2 分布式多智能体系统理论	105
4.1.3 虚拟制造企业的建模技术	115
4.1.4 虚拟制造单元的建模技术	126
4.2 虚拟制造系统仿真技术	134
4.2.1 仿真技术发展概况	134
4.2.2 虚拟环境下的多任务仿真技术	137
4.2.3 制造单元布局与设计仿真	142
4.2.4 产品虚拟装配仿真	145
参考文献	151
第5章 虚拟制造的若干关键技术	154
5.1 可视化与智能化仿真设计	154
5.1.1 可视化仿真技术	154
5.1.2 智能化设计	159
5.1.3 交互式智能设计系统	165
5.1.4 仿真设计工具及实例	166
5.2 制造特征化	170
5.2.1 制造特征的概述	170
5.2.2 特征定义	171
5.2.3 特征的数学描述	172

5.2.4	零件的特征模型	173
5.2.5	从设计特征到制造特征	174
5.2.6	特征映射	175
5.2.7	从设计特征模型提取制造特征	177
5.2.8	特征干涉问题	180
5.3	虚拟成型	182
5.3.1	虚拟原型的设计技术	182
5.3.2	成型产品的虚拟制造技术	186
5.3.3	虚拟成型产品开发平台结构	186
5.3.4	虚拟成型技术在表面组装中的应用	186
5.3.5	虚拟成型技术在虚拟数控加工中的应用 ^[24]	188
5.4	虚拟控制	199
5.4.1	虚拟控制原型	199
5.4.2	基于仿真的实时动态调度	200
5.4.3	虚拟设备与虚拟控制器 ^[33~35]	205
	参考文献	207
第6章	数字原型与虚拟培训	210
6.1	数字原型的基本概念	210
6.1.1	数字原型概念的产生	210
6.1.2	数字原型的优点	211
6.1.3	利用数字原型制作与分析设计过程	212
6.2	三维动感的数字原型建模	213
6.2.1	数字原型中的三维图形	213
6.2.2	几何建模	214
6.2.3	动态建模	215
6.2.4	物理属性建模	216
6.2.5	数据库的使用及格式	217
6.3	数字原型的应用	217
6.3.1	波音 777 型客机的开发	218
6.3.2	福特汽车的设计	218
6.3.3	Mazda 汽车的设计开发	219
6.3.4	产品与数字人体模型	219
6.3.5	与虚拟现实的结合	221