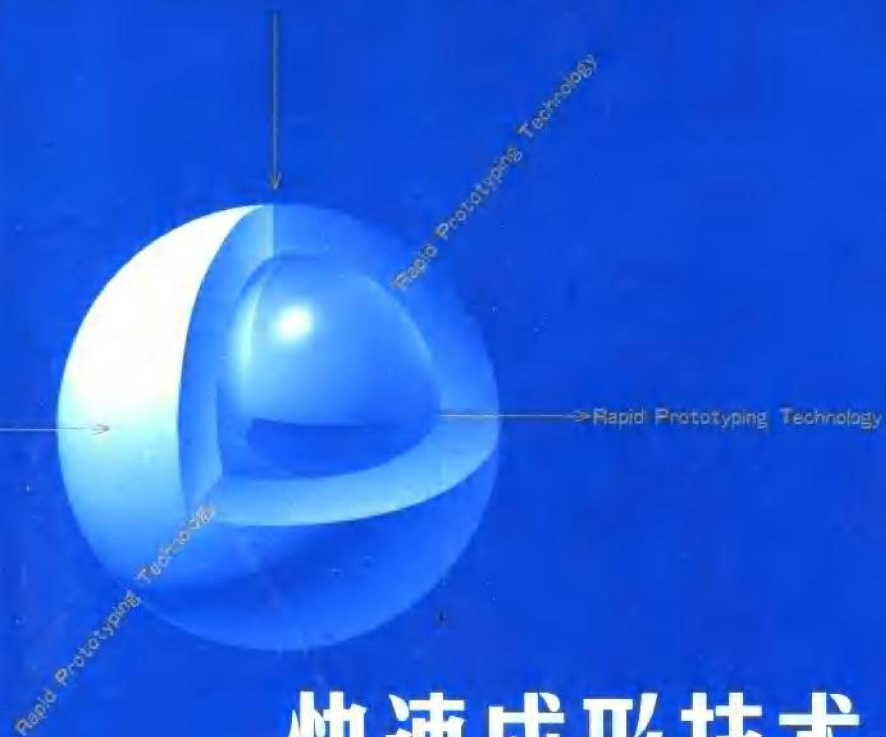


先进制造技术系列



快速成形技术

Rapid Prototyping Technology

王运赣

华中理工大学出版社

先进制造技术系列

快速成形技术

Rapid Prototyping Technology

王运赣

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

快速成形技术/王运赣
武汉:华中理工大学出版社, 1999年9月
ISBN 7-5609-2029-2
ISBN 7-5609-2034-9

I. 快…
II. 王…
III. 成型-技术
IV. TG39

快速成形技术

王运赣

责任编辑:叶翠华
责任校对:张欣

封面设计:潘群
监印:张正林

出版发行:华中理工大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87542624

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学出版社照排室
印刷:华中理工大学出版社印刷厂

开本:850×1168 1/32	印张:9.75	插页:2	字数:220 000
版次:1999年9月第1版	印次:1999年9月第1次印刷	印数:1-3 000	
ISBN 7-5609-2029-2/TG·47		定价:15.00元(平)	
ISBN 7-5609-2034-9/TG·48		定价:28.00元(精)	

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

内 容 提 要

本书介绍现代先进制造技术中的一项支柱技术——快速成形,它将三维物体分解成一层层二维形体的组合,无需传统的机床、工具和模具,能快速制作产品的样品或模具,因此可以大大缩短新产品投放市场的周期和降低成本。

本书总结了作者多年来的研究、开发和生产经验,汇集了国际最新技术,全面、系统阐述了快速成形技术的原理和应用。全书共分九章:概述,快速成形过程及其前处理,快速成形机,快速成形的后处理,快速成形采用的材料,快速成形的精度、效率和标准,快速成形技术在工业领域中的应用,快速成形技术在医疗领域中的应用,快速成形技术的发展方向。

本书可作为高等院校制造工程专业教材和参考书,也是从事新产品研究、设计、制造的工程技术人员的必备书。

——先进制造技术系列——

序 言 （一）

天旋地转,世界在飞速前进!科技在加速发展!工业也随之发生一日千里的变化!

人类即将迎来一个新的世纪与一个新的千年。以微电子技术、通信技术、自动化技术、人工智能和新材料,特别是计算机技术为核心的新一代科技的迅速发展,给人类描绘了一幅未来信息社会、知识社会的壮丽图景。这些新科技在制造领域所产生的强大渗透和辐射效应,已经使而且正在使制造业的面貌发生翻天覆地的变化。

制造业是重要的基础产业,它一方面直接创造价值,成为社会财富的主要创造者和国民经济收入的主要来源;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提供先进的手段和装备。它既是一个十分古老的重要生产部门,又是一个非常年轻的基础产业。历史的实践已一再证明:从猿变成人制造第一把刀开始,一直到今天,制造业的发展是一个技术进步的过程,也是一个生产模式不断革新、管理水平以及认识水平不断提高的过程。逝者如斯夫,过去是这样,现在还是这样,将来也必定是这样。

本世纪制造技术的发展充分显示出邓小平同志的“科学技术是第一生产力”这一论断的正确性,也显示出科学技术进步在制造技术体系中越来越起着支配作用。目前,先进制造技术在传统制造技术的基础上,越来越多地利用计算机技术、网络技术、控制技术、传感技术与机、光、电一体化技术等方面的最新进展,使制造技术

焕发出新的活力;以系统论、信息论和控制论为核心的系统科学的思想和方法,不断融入制造过程的各个环节,并贯穿于整个制造系统,产生出新的设计、加工和管理的概念和哲理;制造系统正在向大系统、大科学方向发展,形成对制造过程中人、物质流、能量流、信息流和知识流等方面构成的制造系统的更为完整和全面的认识,产生了制造系统的信息制造观;计算机技术、网络技术、微电子技术的发展使得用较以往更短的时间收集、存储、处理、交换和保真传递大量制造数据和信息的能力大大加强,从而加速了用计算机系统对复杂制造问题和情况进行信息处理和高效管理;以各种人工智能手段为基础的计算智能在制造领域中的广泛应用,正在形成制造智能,促进制造活动由劳动密集型向信息密集型甚至知识密集型转变;制造自动化与智能制造系统的探索和实践,充分揭示出作为制造技术的主体的人的重要作用,进一步表明人在生产活动中,包括在制造活动中具有不可取代的方面与地位,由此出现了新的人机一体化系统理论;制造机理(制造工艺理论)的研究正在借助于以计算机科学、电子科学为基础的现代实验、传感、测试、监控、诊断、补偿与信息处理等科技手段日益精确化和学科综合化,日益依赖于现代数学、物理、化学、材料、生物科技的最新成果进行建模、仿真,以揭示其本质及其规律。总之,先进制造技术的研究与发展将更加依赖于数学、物理、化学、材料科学、电子科学、计算机科学以及生命科学、社会科学等诸多学科的基本理论和最新成果。制造业已经建立和正在建立自己的科学基础——制造科学(Manufacturing Science),正在由一门经验和技艺上升为一门科学,为更大范围的自动化开辟更加有效的途径。

下一世纪,经济的竞争,特别是信息经济、知识经济的竞争,将成为世界各国竞争的焦点和社会发展的主要动力。消费的多样化、市场的全球化、高科技发展的需要、世界范围内的激烈竞争和高效协作,以及国际社会对人类赖以生存的资源和环境的高度重视,对制造业的发展提出了更高的要求 and 更加严厉的制约条件,制造业

面临着新的历史性发展机遇和更加严峻的挑战。未来的产品是基于信息和知识的产品,未来的制造技术将进一步向系统化、智能化、集成化、全球化的方向发展。随着高新技术在制造业中的比例日益增加,产品的技术含量日益提高,技术含量对产品的市场占有率的影响不断扩大,制造业的发展将越来越依赖于先进制造技术的发展,越来越依赖持续不断的技术创新和基础技术的新突破。当前,一场围绕市场需求,以提高制造质量和生产效益为中心,同时充分考虑到环境保护战略的高科技竞争正在全球范围内展开。

90年代和21世纪初,是我国由计划经济向社会主义市场经济转变,初步建立新的经济体制,与世界市场进一步接轨,并逐步走向可持续发展的重要时期。我国经济发展模式正在经历由计划经济向社会主义市场经济转变,由粗放型生产向集约化生产转变。先进制造技术是促进这两个史无前例的伟大转变的技术基础。我们深知,基础研究是科学之本、技术之源,因此,大力发展先进制造技术,尤其是坚定不移地发展作为其技术源头的制造科学已日益成为我国的国家目标。毫无疑问,在我们的发展工作中,一定会有形形色色的困难,但只要凭着“人一能之己百之,人十能之己千之”的不屈精神,善于学习,善于总结,敢于创新,敢于开拓,我们就一定能达到我们既定的目标。

时代呼唤着“先进制造技术”系列专著。我们尝试着承担起这个任务。路总得要走,有问题就在实践中积极而逐步地加以解决。本套专著的作者大都是近年来活跃于制造科学与技术前沿的专家和学者,朝气蓬勃,他们在各自的研究方向上取得了丰硕的成果。本套系列专著是他们所取得的前沿成果的科学而系统的总结,内容涉及制造科学发展的许多新领域,如制造系统建模、优化与仿真,制造系统监控与诊断,制造智能与智能制造,质量工程与集成质量系统,制造信息学,海量制造信息与制造知识的存储、处理、变换、保真传递等诸多方面,具有较高的学术价值。我相信本套系列专著的出版,将为宣传和交流制造科学的最新成果,发展和完善我

国制造学科体系,推动先进制造技术的发展起到良好的促进作用。从中我们更加看到,在我国,制造科学和技术的发展正是姹紫嫣红,充满了无限的希望。

当然,任何事物都不可能是完美无缺的,何况本套书是一个尝试,是试着走,是在这一前沿领域的探索。专著中的欠妥之处必定难免,因而真诚地希望一切有关的读者给我们批评、指正,我们一定“衷心藏之”。

华中理工大学出版社的领导、编辑、工作人员和有关专家、朋友对本套系列专著的出版与对作者的写著所给予的热情支持和帮助,我们作者永远铭记在心。在此,我谨代表作者对于他们付出的辛勤劳动与真挚友谊,致以衷心诚挚的谢意。

中国科学院院士、华中理工大学教授 杨叔子

1998年5月1日于喻家山

——先进制造技术系列——

序 言 (二)

制造(Manufacturing)是人类所有经济活动的基石,是人类历史发展和文明进步的动力。随着人类工业文明的不断进步,制造业已经发展为一个国家国民经济和综合国力的基础;随着知识经济的到来,制造业的范围进一步扩大,制造业本身亦将产生深刻的变化。它不仅直接创造价值,成为社会财富的主要创造者和国民经济收入的重要来源;并且为国民经济各个部门,包括国防、能源、交通的发展提供先进的设备和手段。另一方面,制造业作为知识财富的载体,将对促进科技进步和发展,建立知识文明和精神文明作出贡献。

我们正处于一个前所未有的变革时代,以电子技术、信息技术、自动化技术、计算机科学与技术、人工智能和新材料为核心的新一代工程技术的迅猛发展,给人类描绘了一幅未来信息社会和知识经济的壮丽图景。这些新技术在制造领域的广泛渗透、应用和衍生,正在使制造业的面貌发生翻天覆地的变化。下一世纪,经济竞争将成为世界各国竞争的焦点和社会发展的主要动力;对制造业来说,21世纪竞争的核心将是新产品和制造技术的竞争,先进制造技术(AMT=Advanced Manufacturing Technologies)的研究、开发和应用正是顺应世界经济发展和科技进步的必然趋势,适应市场经济要求的必然结果。我国国有企业正在经历由计划经济向市场经济的转变,由粗放型生产向集约化生产的转变,先进制造技术是促进这两个根本转变的技术基础。经济体制转轨、企业的快

速重组和先进制造技术是我国经济进一步发展的三个重要支柱。

未来的产品是基于信息和知识的产品,未来的制造技术将进一步向系统化、智能化、集成化和全球化的方向发展。这一发展过程向支撑制造技术取得革命性进步的基础理论研究提出了严峻挑战。作为制造技术的最新发展阶段,先进制造技术面临着一系列急需解决的重点、关键、共性基础理论问题。制造科学的建立,必将提高我国制造业的综合竞争能力,尤其是产品创新能力、企业重组能力、知识运用能力,为先进制造技术的发展提供源源不断的动力,促使制造业持续、健康、稳步地发展。这套系列著作围绕先进制造技术各个主题,从制造科学基础理论、现代设计技术、成形制造技术、加工制造技术、制造自动化技术,以及制造生产模式与管理等方面,分别论述了相应的基础理论和基础技术问题。内容涉及制造技术、制造工程和制造科学的各个层次,包括制造过程和系统的建模、仿真和优化;制造系统的故障诊断和监控;智能制造和制造智能;现代设计理论与方法;制造信息的获取、表示和传递;基于internet/intranet的网络制造;虚拟制造和并行工程;高效快速重组(LAF)生产系统等,系统而又重点地反映了我国先进制造技术方面的研究成果;同时也总结了最新的研究进展和发展趋势。感谢国家自然科学基金委员会支持和促进我国先进制造技术的发展;感谢华中理工大学出版社适时地组织出版了这套系列著作,更感谢参加撰写系列书的作者们,大家的努力和辛勤劳动必定会促进我国制造科学和技术的发展,必定有利于我国国民经济发展。

中国科学院院士、华中理工大学教授 熊有伦

1998年5月

FOREWARD(三)

The shifts in manufacturing paradigms have come in continuous spates in the last 10 years. Just-in-Time inventory control, Lean Manufacturing, Material Resource Planning, Outsourcing, are some of the better known paradigms that we manufacturing tradesmen know have vastly improved the quality and costs of goods, especially goods with short life-cycles.

A more recent focused process in the manufacturing environment is Rapid Prototyping. Rapid Prototyping contributions to the quality, cost and products' time-to-market is becoming an increasingly competitive edge for the successful manufacturers of products.

Prof. Wang Yungan's extensive in-depth research and development into this art is strongly supported by Kinergy Pte. Ltd. He has participated extensively in conferences and exhibitions in USA, Europe, and the Far East, notably Japan. This has resulted in not mere empirical expose on so significant a subject, but practical and market accredited works that has resulted in Kinergy's design and manufacture of two successful kinds of highly efficient rapid prototyping machines, and the accompanying rapid toolings.

This book makes enlightened reading for practitioners of this art.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'LKL', with a horizontal line underneath.

LESLIE K. C. LIM

Chairman

Kinergy Pte. Ltd.

序言(三)(译文)

过去十年中,制造领域中的创新不断涌现,如我们所知,及时库存控制、灵敏制造、外协承包、物流的规划与统筹是一些著名的新技术。这些技术的应用极大地改善了产品的品质,降低了制造成本,尤其对更新换代快的产品更有意义。

而近年来,快速成形则是制造领域中倍受瞩目的一种新工艺,它以其优良的产品品质、低廉的制造成本,以及加速产品进入市场等特色,日益成为成功制造厂商的竞争优势。

王运赣教授在此项新技术方面所作广博、深入的研究与开发,得到了新加坡 KINERGY 公司的大力支持,他多次出席了在欧美、远东,特别在日本举办的有关国际学术会议及博览会,这不仅为他在这一重要领域积累了丰富的经验,而且促使他致力于实用和市场认可的工作,从而在 KINERGY 公司成功地设计和制造了两种高效的快速成形机,并且开发了配套的快速制模技术。

我深信,阅读本书对从事快速成形技术的人员必有启迪。

KINERGY 公司

董事长 林国才

序 言（四）

王运赣教授自 90 年代初开始投身于快速成形 (Rapid Prototyping) 制造技术的研究与开发工作,曾先后开发过以纸和塑料为原料的激光快速成形系统。他是我国最早从事快速成形制造技术研究与开发的学者之一,也是最早通过国际合作途径使其所开发的产品进入国际和国内市场的资深工程技术专家之一。

王运赣教授研究开发实践的意义,不仅在于他使一项以国内研究为基础的技术成为一种具有显著市场价值的产品,更在于这一过程本身蕴含了有关中国研究开发成果商品化、国际化的多方面的启示。其中重要的一点是:通过适当的途径和国际合作形式,以中国研究开发为基础的技术成果,完全有条件进入国际市场。

在今日世界,“新产品是竞争环境的产物”这个概念已被广泛地接受。与此相应的一个表述是:什么样的市场塑造什么样的产品。作为一个案例,王运赣教授在快速成形技术方面“开发—合作—进入市场”的过程给人们的一个印证是,北美和欧洲的市场概念塑造了他的产品雏形,而他的产品完成后又进入欧洲、亚洲市场。在这个意义上说,王教授的道路代表了一种发展的模式:发展中国家的研究开发成果不在本土而在国际市场商品化的模式。

今借王运赣教授关于快速成形制造技术之新作出版发行之际,恭奉微辞,既表祝贺之意,也抒我于中华科技发展之寄望。祝王

教授事业更进,也愿中华科技显立于世界科技之林。

中国驻新加坡大使馆一等科技秘书

A stylized handwritten signature in black ink, consisting of two large characters, '章' (Zhang) and '宁' (Ning), written in a cursive script.

1999 年 4 月 4 日

前 言

1990年,受美国自然科学基金会(NSF)的邀请,我随中国自然科学基金会代表团出席在 ARIZONA 州召开的 NSF 年会,在会后的参观访问中,有幸亲眼见到了刚问世不久的快速成形机。虽然参观是如此的短暂,但我却被这魔术般的逐层“增长”加工法深深吸引,并立刻产生一种预感——快速成形技术必将风靡全球,它将在制造业中带来一场巨大的变革!

回国之后,我在华中理工大学,向领导和同事们大力宣传快速成形这一高新技术,希望能尽快组织较大规模的研究,迅速赶上世界潮流。然而,当时在中国几乎没有人知道快速成形是怎么回事,因此很难产生认识上的飞跃。庆幸的是,我的热情终于打动了湖北省科委有关的领导,从他们那里得到了一笔研究液态光敏树脂快速成形的启动经费。以现在的眼光来看,这笔经费实在太少,但是它却使我能真正迈开第一步,得以实现梦寐以求的愿望。凭借这个推动力,我和我的博士研究生尹希猛及有关同事开始了快速成形研究的艰辛历程。

经过一段时间的努力,我们探索到了一些影响成形精度的因素,遗憾的是,由于一无快速成形机,二无原材料,资金又十分拮据,进展相当缓慢。在这种情况下,我们只好走出国门,与新加坡南洋理工大学合作,利用该校的一台快速成形机,继续开展液态光敏树脂快速成形的精度研究。后来,研究的结果虽然达到了湖北省科委下达课题的要求,但是因为所用液态光敏树脂和相应的快速成形机价格太贵,难于商品化,很难在中国推广应用,于是研究陷入困境,不得不寻找新的出路。

“山重水复疑无路,柳暗花明又一村”,当我得知一种以纸为原

材料的快速成形技术正在兴起时,我再次被激励。我判断,由于这种方法的独特之处,它将迅速在快速成形领域中处于领先地位,特别适合在中国大规模推广应用。因此,我们当即扩大研究力量,仅用半年的时间,在华中理工大学试制成功了中国第一台以纸为原材料的快速成形机。应该说,这台原型机相当粗糙,然而它毕竟展现了它良好的前景。一阵欣喜之后,问题又接踵而至——进一步改进和商品化的大量资金和高品质的元器件从何而来?我认为,按照当时人们对快速成形效用的理解程度来看,如果仅限于在中国解决问题,那将有很大的困难,必须再次寻求国际合作,于是,我自然而然地想到了老朋友——新加坡 KINERGY 公司的董事长林国才先生。那时,他已经和上海交通大学、华中理工大学分别建立了合资公司,在精密模具制造方面取得了可喜的成绩。我向他推荐了我们的初步成果,并建议双方合作,在新加坡迅速实现快速成形机的商品化。林先生以敏锐的洞察能力和高度的信任,热情、及时地接受了这个建议,我们一批教授和研究生受华中理工大学的派遣,开始频繁来往于中国和新加坡,致力于新型快速成形机的商品化、国际化研究。

由于双方领导人,以及中国驻新加坡大使馆前、后两位一等科技秘书王鼎和章宁先生的大力支持,工作进展十分顺利,仅用 5 个月的时间就实现了商品化,并于 1995 年 3 月参加了德国汉诺威的国际博览会,首次获得了两台订货。在随后的几年里,KINERGY 公司不断地对快速成形机进行了改进,形成了大、中、小三种规格的 ZIPPY 系列产品,经过市场部负责人牧青小姐等的长期努力,这些产品现已销售到德国、印度尼西亚、中国大陆和台湾地区,获得了国际的好评。为了更好地在中国推广快速成形技术,KINERGY 公司在北京、上海、深圳等十多个城市举行了报告会,并且和广东顺德容奇经济发展总公司合资建立了快速成形机制造公司,一步一步向更高的合作境界发展。

在研制快速成形机的艰苦历程中,我和我的中、新同事们一同