



先进制造系统导论

普通高等教育机械工程及自动化专业规划教材

# 先进制造系统导论

赵汝嘉 主编

先进制造系统导论  
先进制造系统导论  
先进制造系统导论  
先进制造系统导论

SAFETY PINION.

机械工业出版社



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育机械工程及自动化专业规划教材

# 先进制造系统导论

主 编 赵汝嘉  
副主编 殷国富 江平宇  
参 编 胡晓兵 陈 桦 曹岩 李建华 袁清珂  
王英惠 段宝岩 (排名不分先后)



机械工业出版社

21世纪制造业由于科学技术的飞速发展,其生产模式发生深刻变化,新型的制造模式不断出现,要求工程技术人员知识不断更新。本书为适应这个形势而出版,全书分为九章内容含三大部分:第一部分是系统科学的观点来认识机械制造过程,建立起全新的现代制造系统的概念;第二部分是通过对当前先进制造单元技术的分析,提炼出为实施先进制造系统的使能技术,从而建立现代制造系统的理论基础;第三部分是结合我国机械制造业的实际情况和发展趋势,有选择地介绍先进制造系统的生产模式。本书是较系统全面地介绍先进制造系统的教材,内容新颖实用,适用于机械工程及自动化专业,也可供制造工程领域工程技术人员阅读参考之用。

### 图书在版编目(CIP)数据

先进制造系统导论/赵汝嘉主编 —北京 机械工业出版社, 2002 11

普通高等教育机械工程及自动化专业规划教材  
ISBN 7-111-11093-5

I 先· II 赵· III 机械制造-自动化系统-高等学校-教材 IV TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 082526 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王霄飞 版式设计:冉晓华·责任校对:申春香

封面设计:陈沛 责任印制:村方敏·

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 10 625 印张·410 千字

0 001—3 000 册

定价 27.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677—2527

封面无防伪标均为盗版

# 普通高等教育机械工程及自动化专业 规划教材编委会

主任 于德弘  
副主任 邢建东 迟毅林 王润孝  
顾问 钟掘 (院士)  
委员 陈国定 吴序堂 赵汝嘉 殷国富  
段宝岩 陈晓南 陈花玲 梅雪松  
官德娟 孙国雄 刘全坤  
(排名不分先后)  
策划单位 机械工业出版社  
西安交通大学

# 序

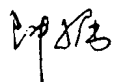
改革开放以来，我国高等教育的专业目录经过了3次大的调整。1987年的专业目录由原来的1400多种调整到740种，1993年又调整到504种，1998年教育部颁布的新专业目录再调整到目前的249种。专业目录的调整，改变了过去狭窄的“对口专业教育”观念，拓宽了专业知识范围，使我国高等教育在专业设置上与发达国家比较接近，也有利于培养具有较宽知识结构和扎实理论基础的复合型人才。

在这一系列的专业调整及教学改革过程中，“机械工程及自动化”大专业教学计划有了根本性的变化，不仅根据机械工程学科的发展增加了一些课程，而且对原来设置的课程也作了较大调整。显然原来使用的专业教材已不能适应现代机械工程及自动化专业的教学要求，编写一套具有较宽知识面且能较全面反映当前机械制造领域发展的新理论、新方法与新技术的教材就显得非常迫切。

正是在这一背景下，西安交通大学机械工程学院与机械工业出版社共同策划、组织了我国西部地区部分高校“机械工程及自动化”专业系列教材的编写工作。参加编写的学校有西安交通大学、西北工业大学、西安电子科技大学、西安建筑科技大学、西安理工大学、昆明理工大学、四川大学等。目前确定的系列教材包括《机械工程测试技术》、《先进制造系统导论》、《工程材料基础》、《机械设计基础》、《机械设计方法及工程图学》、《数控技术》、《网络化计算机辅助设计与制造技术》、《先进设计方法》、《材料成形技术基础》、《机械制造技术基础》等。这些教材初步形成了机械工程及自动化专业主干课程的教材框架。其编写的定位点是适应于大机械类专业本科生学习。教材特别注重拓宽基础知识、加强工程背景和培养学生的工程实践能力。以期形成一个新的、适应于21世纪我国现代化建设和市场经济发展的大机械类专业教材体系。

系列教材的出版符合教学改革的精神，注重教材内容的创新性和系列的整体性，注重教学和人才培养的规律，同时反映了西部地区部

分高校教学改革的成果，具有明显特色。此系列教材将为我国机械工程及自动化专业建设和高等教育的教材建设作出积极的贡献。希望这套系列教材的出版能引起各校的关注与帮助，在实际使用中不断进行修订和完善，为我国高等教育机械类人才的培养不断作出贡献。



2001年10月26日

# 前 言

机械工业出版社为适应培养面向 21 世纪知识经济时代人才的需求,按大学本科培养计划,组织出版普通高等教育机械工程及自动化专业规划教材,《先进制造系统导论》是其中之一。

以信息化为主线利用多学科综合先进技术改造、提升传统制造业,使制造业产生深刻的变化,因而不断地涌现出新制造业模式,先进制造系统内涵也随着它的进展而不断地变化,且内容十分丰富。本书的特点不是介绍机械制造业中当前的先进的制造单元技术,而是从处于信息化时代的制造业用信息技术、系统科学、计算机应用技术等多学科综合技术改造提升传统的制造业,及从系统科学的观点来认识组织制造过程,从而使读者能掌握国内外当前发展的先进制造系统的基本理论及生产模式。通过本书的学习,期望达到下列的要求:

- 1) 了解传统机械制造与先进制造系统的区别;
- 2) 了解先进制造系统的基本概念、组成及其实施过程;
- 3) 了解信息化时代制造业的特征及其制造模式;
- 4) 了解实施先进制造的使能技术;
- 5) 了解面向知识经济时代的机电产品设计、制造的特征及其基本内容;
- 6) 了解相关制造模式的基本概念、关键技术及实施途径。

全书分为九章,含三大部分内容:①用系统科学的观点来认识机械制造过程,建立起全新的现代制造系统的概念;②通过对当前先进制造单元技术的分析,提炼出为实施先进制造系统的使能技术,从而建立现代制造系统的理论基础;③结合我国机械制造业的实际情况和发展趋势,有选择地介绍先进制造系统的生产模式。

全书由赵汝嘉主编;殷国富、江平宇副主编。各章编写人员分工如下:第一、四章由四川大学 殷国富编写;第二章由西安交通大学 赵汝嘉、曹岩,广东工业大学袁清珂编写;第三章由四川大学胡晓兵、陕西科技大学陈桦、西安交通大学曹岩、西安科技学院李建华共同编写;第五章由西安科技学院李建华编写;第六章由西安交通大学江平宇编写;第七章由广东工业大学袁清珂、西安交通大学王英惠编写;第八章由西安交通大学江平宇、西安电子科技大学段宝岩编写;第九章由西安科技学院李建华、西安交通大学曹岩编写。

由于本书内容涉及面很广及作者们水平所限，错误之处在所难免，希望读者不吝赐教，作者们在此表示衷心的感谢。本书虽是教材，但其内容丰富、新颖、实用，故亦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

2002年8月16日



# 目 录

序

前言

<b>第一章 先进制造技术概述</b> .....	1
第一节 制造技术的基本概念与发展概况 .....	1
一、制造系统与制造技术 .....	1
二、传统制造业及其技术的发展 .....	2
三、现代制造及其技术的发展 .....	3
四、制造业发展过程中竞争的焦点和策略 .....	4
五、先进制造技术与制造模式的发展历程 .....	5
第二节 面向知识经济的制造业 .....	6
一、知识经济的特征与对制造业的影响 .....	6
二、知识经济条件下制造业面临的机遇和挑战 .....	6
第三节 21 世纪制造业的主要特点 .....	7
第四节 21 世纪对制造业的挑战 .....	9
第五节 先进制造技术的基本内容与体系结构 .....	10
一、先进制造技术的定义 .....	10
二、先进制造技术体系结构 .....	11
三、先进制造技术的学科内容 .....	11
第六节 制造业信息化的进展 .....	13
一、信息化、知识化的制造 .....	14
二、制造业信息化的定义 .....	14
三、制造业信息化的成效 .....	15
四、企业信息化系统的内容 .....	15
五、制造业信息化的意义 .....	16
第七节 先进制造技术的发展趋势 .....	17
<b>第二章 先进制造系统的基础理论</b> .....	20
第一节 先进制造系统的基本构成 .....	20
一、制造系统基本概念 .....	20
二、制造系统基本构成 .....	20
第二节 物料流 .....	22
第三节 信息流 .....	23

第四节 先进制造系统的控制方式	26
一、制造系统对控制结构的要求	26
二、集中式控制结构	27
三、递阶式控制结构	27
四、分布式控制结构	28
第五节 约束与决策	31
第六节 制造系统的建模、仿真和优化	33
一、概述	33
二、建模方法	33
三、功能模型	34
四、性能模型	34
五、制造过程的建模、仿真和优化的发展方向	36
第七节 面向 21 世纪的信息化制造	37
一、概述	37
二、信息化制造的基本哲理	39
三、分布式信息化制造逻辑体系结构	40
四、集中分布式模式下的企业新式产品开发技术体系	40
五、集中分布式模式下的企业新式商务运作模式	44
六、信息化制造的关键技术	45
<b>第三章 先进制造系统的使能技术</b>	47
第一节 制造自动化	47
一、数控技术	47
二、FMC 和 FMS	57
三、数控系统发展的新方向	63
第二节 基础支撑	71
一、工程数据库	71
二、技术信息系统	78
三、可视化技术(科学计算可视化、虚拟现实技术)	89
四、计算机仿真技术	105
五、计算机网络技术简介	121
六、人工智能技术	129
七、产品数据管理 PDM (Product Data Management)	150
<b>第四章 计算机集成制造系统</b>	160
第一节 CIMS 的基本概念与发展概况	160
一、CIM 与 CIMS 的定义	160
二、CIMS 产生的背景	161
三、CIMS 的发展阶段	162
第二节 CIMS 的组成、体系结构与关键技术	163

一、CIMS 的基本结构轮图 .....	163
二、CIMS 的主要功能分系统 .....	164
三、CIMS 体系的层次结构 .....	166
四、基于 PDM 的 CIMS 框架结构 .....	166
五、实施 CIMS 的关键技术 .....	168
第三节 管理信息系统与制造资源计划系统 (MIS/MRPII) .....	168
第四节 建立 CIMS 的计算机网络/数据库技术 .....	169
一、CIMS 网络的特点 .....	169
二、CIMS 网络体系结构 .....	169
三、CIMS 中的数据特点 .....	170
四、CIMS 中的数据库技术 .....	171
第五节 CIMS 工程的设计与实施 .....	173
第六节 CIMS 工程实例 .....	177
一、DFEM - CIMS 的组成 .....	178
二、管理信息分系统 (MIS) .....	178
三、技术信息分系统 (TIS) .....	179
四、制造自动化分系统 (MAS) .....	179
五、计算机辅助质量信息分系统 (CAQ) .....	179
六、网络和数据库分系统 (NET/DB) .....	181
七、实施效益 .....	183
第七节 现代集成制造系统技术概况 .....	184
一、现代集成制造系统的关键技术 .....	184
二、现代集成制造系统的技术方法论 .....	184
三、现代集成制造系统的发展趋势 .....	185
<b>第五章 并行工程 .....</b>	<b>186</b>
第一节 基本概念 .....	186
一、并行工程的产生 .....	186
二、并行工程的定义 .....	187
三、并行工程的核心内容 .....	187
四、并行工程的研究与应用状况 .....	189
第二节 工作过程 .....	191
一、基本术语 .....	192
二、产品开发过程工程 .....	192
三、产品开发过程建模 .....	194
第三节 设计过程与管理 .....	199
一、集成开发团队的管理和决策 .....	200
二、并行工程产品开发过程的协调管理 .....	204
第四节 关键技术 .....	206

一、并行工程的组织结构 .....	206
二、并行工程过程重构技术 .....	206
三、DFX .....	207
四、PDM .....	207
五、并行工程协调管理 .....	208
六、协同工作环境 .....	208
七、QFD .....	209
<b>第六章 敏捷制造</b> .....	<b>210</b>
<b>第一节 敏捷制造概述</b> .....	<b>210</b>
一、敏捷制造的定义 .....	210
二、敏捷制造系统的实现技术 .....	213
三、敏捷制造的一般实施方法 .....	213
<b>第二节 企业内部的敏捷化改造——企业敏捷化</b> .....	<b>215</b>
<b>第三节 产品驱动的企业动态联盟</b> .....	<b>216</b>
一、产品驱动的企业动态联盟的概念 .....	217
二、构成企业动态联盟的基本功能单元及组织形态 .....	218
三、企业动态联盟的生命周期 .....	218
四、企业动态联盟的建立流程 .....	219
五、企业动态联盟的关键使能技术 .....	221
六、企业动态联盟的运行 .....	228
<b>第四节 我国的“e-企业联盟”构建思路及两级制造信息服务网</b> .....	<b>229</b>
一、主要的基础信息框架和使能技术 .....	230
二、实施方法 .....	231
<b>第七章 基于原型的设计制造</b> .....	<b>233</b>
<b>第一节 虚拟制造</b> .....	<b>233</b>
一、虚拟制造概述 .....	233
二、虚拟制造的研究内容 .....	235
三、虚拟制造的技术体系 .....	236
四、虚拟制造系统的体系结构 .....	239
五、虚拟制造环境与平台 .....	239
六、基于 Internet 的虚拟制造系统 .....	241
<b>第二节 虚拟原型逼真设计</b> .....	<b>243</b>
一、虚拟原型逼真设计法的概念 .....	243
二、虚拟原型逼真设计法的基本原理 .....	243
三、虚拟原型逼真设计法的实现方法论 .....	245
<b>第三节 快速原型制造</b> .....	<b>248</b>
一、概述 .....	248
二、快速原型制造的原理 .....	248

三、快速原型制造工艺 .....	249
四、快速原型制造的应用 .....	253
第四节 反求工程 .....	253
一、引言 .....	253
二、反求工程的概念 .....	254
三、反求工程的关键技术 .....	256
四、反求工程相关软件(模块)分析 .....	269
<b>第八章 基于网络的设计制造 .....</b>	<b>271</b>
第一节 计算机支持的协同工作(CSCW) .....	271
一、CSCW的定义与分类 .....	271
二、CSCW系统的基本操作功能 .....	272
三、CSCW系统实现的关键技术 .....	273
四、CSCW基本工具的实现方法 .....	279
五、CSCW系统的实现与使用 .....	281
第二节 基于Internet的产品设计与制造 .....	286
一、基本概念 .....	286
二、基于网络的先进制造技术 .....	287
三、主体技术群 .....	288
四、基本的功能特点 .....	288
五、实现的途径与模式 .....	290
六、基于Internet的产品设计与开发 .....	297
七、基于Internet的产品制造技术 .....	297
<b>第九章 面向环境的设计制造 .....</b>	<b>299</b>
第一节 绿色制造 .....	299
一、绿色设计 .....	300
二、绿色材料 .....	304
三、绿色工艺规划技术 .....	306
四、绿色包装 .....	307
五、绿色制造系统 .....	309
第二节 精良生产 .....	314
一、精良生产提出的背景 .....	314
二、精良生产的含义 .....	315
三、精良生产的特征 .....	316
四、精良生产模式 .....	318
五、精良生产的应用 .....	319
<b>参考文献 .....</b>	<b>322</b>

# 第一章 先进制造技术概述

先进制造技术 (Advance Manufacturing Technology, AMT) 是传统制造技术、信息技术、计算机技术、自动化技术与管理科学等多学科先进技术的综合, 并应用于制造工程之中所形成的一个学科体系。它的发展的总趋势是向精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、清洁化、集成化、全球化的方向发展。在以知识为基础、以创新为动力的新经济体系中, 制造业正面临着严峻的挑战与机遇。因此, 研究和推广应用先进制造技术无疑是十分重要的。本章将概要地介绍和分析制造技术的基本概念、发展概况与面向 21 世纪制造业的需求特点, 论述先进制造技术的基本体系结构和技术概貌, 在此基础上展望制造业信息化和制造技术发展的趋势。

## 第一节 制造技术的基本概念与发展概况

制造业的主要任务是制造人类社会在生产生活中所需的一切产品, 它一方面创造价值, 产生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和发展提供先进的手段和装备。制造业是我国经济发展的战略重点, 机电一体化的设备制造是我国工业在“十五”期间重点发展的三大方向之一。据估计, 工业化国家约 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, 原因是: ①世界经济的发展趋势表明, 制造业是一个国家经济发展的基石, 也是增强国家竞争力的基础; ②制造业是解决就业矛盾的一个重要领域, 也是 21 世纪提高一个国家整体就业水平的重要基础; ③制造业不仅是高新技术的载体, 而且也是高新技术发展的动力。

### 一、制造系统与制造技术

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。从狭义上可将“制造”理解为机电产品的机械加工工艺过程。随着人类生产力的发展, “制造”的概念和内涵在“范围”和“过程”两个方面大大拓展。国际生产工程学会 1990 年给“制造”下的定义是: 制造是一个涉及制造工业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称 (Manufacturing is series of interrelated activities and operations involving the design, materials selection, planning, production,

quality assurance, management and marketing of the products of the manufacturing industries)。

制造过程及其所涉及的硬件包括人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置以及有关软件包括制造理论、制造技术(制造工艺和制造方法等)和制造信息等组成了一个具有特定功能的有机整体,称之为制造系统(Manufacturing System)。制造技术(Manufacturing Technology)则是按照人们所需的目的,运用知识和技能,利用客观物质工具,使原材料转变为产品的技术总称。先进制造技术的提出和发展只是近20年间的事情。

## 二、传统制造业及其技术的发展

19世纪末20世纪初,内燃机的发明,自动机床、自动线的相继问世,以及产品部件化、部件标准化和科学管理思想的提出,掀起制造业革命的新浪潮。20世纪中期,电力电子技术和计算机技术的迅猛发展及其在制造领域所产生的强大的辐射效应,更是极大地促进了制造模式的演变和产品设计与制造工艺的紧密结合,也推动了制造系统的发展和管理方式的变革。同时,制造技术的新发展也为现代制造科学的形成创造了条件。回顾制造技术的发展,从蒸汽机出现到今天,主要经历了三个发展阶段。

### 1. 用机器代替手工,从作坊形成工厂

20世纪初,各种金属切削加工工艺方法陆续形成,近代制造技术已成体系。但是机器(包括汽车)的生产方式是作坊式的单件生产。它产生于英国,在19世纪先后传到法国、德国和美国,并在美国首先形成了小型的机械工厂,使这些国家的经济得到了发展,国力大大增强。

### 2. 从单件生产方式发展成大量生产方式

推动这种根本变革的是两位美国人:泰勒和福特。泰勒首先提出了以劳动分工和计件工资制为基础的科学管理,成为制造工程科学的奠基人。福特首先推行所有零件都按照一定的公差要求来加工(零件互换技术),1913年建立了具有划时代意义的汽车装配生产线,实现了以刚性自动化为特征的大量生产方式,它对社会结构、劳动分工、教育制度和经济发展,都产生了重大的作用。20世纪50年代发展到了顶峰,产生了工业技术的革命和创新,传统制造业及其大工业体系也随之建立和逐渐成熟。近代传统制造工业技术体系的形成,其特点是以机械—电力技术为核心的各类技术相互联结和依存的制造工业技术体系。

### 3. 柔性化、集成化、智能化和网络化的现代制造技术

20世纪80年代以来所产生的现代制造技术沿着4个方向发展:传统制造技术的革新、拓展;精密工程;非传统加工方法;制造系统的柔性化、集成化、智能化和网络化。

由于传统制造是以机械—电力技术为核心的各类技术相互联结和依存的制造

工业技术体系，其支撑技术的发展，决定了传统制造业的生产和技术有如下特点：

(1) 单件小作坊式生产加高度的个人制造技巧，大量的机械化刚性规模生产加一体化的组织生产模式，再加细化的专业分工。

(2) 制造技术的界限分明及其专业的相互独立。

(3) 制造技术一般仅指加工制造的工艺方法，即制造全过程中某一段环节的技术方法。

(4) 制造技术一般只能控制生产过程中的物质流和能量流（原材料到产品的物质流运过程，能量的投入、转换和消耗过程）。

(5) 制造技术与制造生产管理的分离。

### 三、现代制造及其技术的发展

自然科学的进步促进了新技术的发展和传统技术的革新、发展及完善，产生了新材料技术（新冶炼技术、新合金材料、高分子材料、无机非金属材料、复合材料等），新切削加工技术（数控机床、新刀具、超高速和精密加工），大型发电和传输技术，核能技术，微电子技术（集成电路、计算机、电视、广播和雷达），自动化技术，激光技术，生物技术和系统工程技术。

另外，人类社会在跨入 20 世纪后，物质需求不断提高，在科学和技术进步的同时，受到地球有限资源和环境条件约束，随着全球市场的逐渐形成，世界范围的竞争日益加剧，日益提高的生活质量要求与世界能源的减少和人口增长的矛盾更加突出。因此，社会发展对其经济支撑行业——制造业及其技术体系提出了更高的要求，要求制造业具有更加快速和灵活的市场响应、更高的产品质量、更低的成本和能源消耗以及良好的环保特性。这一需求促使传统制造业在 20 世纪开始了又一次新的革命性的变化和进步，传统制造开始向现代制造发展。现代制造及其技术的形成和发展特点是：

(1) 在制造的生产规模上，从少品种大批量→单件小批量→多品种变批量的发展。

(2) 生产方式上，呈现出从劳动密集型→设备密集型→信息密集型→知识密集型变化。

(3) 制造装备的发展过程是手工→机械化→单机自动化→刚性自动线→柔性自动线→智能自动化。

(4) 在制造技术和工艺方法上，现代制造在发展中，其特征表现为：重视必不可少的辅助工序，如加工前后处理；重视工艺装备，使制造技术成为集工艺方法、工艺装备和工艺材料为一体的成套技术；重视物流、检验、包装及储藏，使制造技术成为覆盖加工全过程（设计、生产准备、加工制造、销售和维修，甚至再生回收）的综合技术，不断发展优质高效低耗的工艺及加工方法，以取代落后



工艺；不断吸收微电子、计算机和自动化等高新技术成果，形成 CAD、CAM、CAPP、CAT、CAE、NC、CNC、MIS、FMS、CIMS、IMT、IMS 等一系列现代制造技术，并实现上述技术的局部或系统集成，形成从单机到自动生产线等不同档次的自动化制造系统；

(5) 引入工业工程和并行工程概念，强调系统化及其技术和管理的集成，将技术和管理有机地结合在一起，引入先进的管理模式，使制造技术及制造过程成为覆盖整个产品生命周期，包含物质流、能量流和信息流的系统工程。

#### 四、制造业发展过程中竞争的焦点和策略

市场竞争是制造业永恒的话题。从 100 多年前福特 (Ford) 汽车的生产线开始，为提高企业的整体效益，针对不同时期的竞争焦点，产生和应用不同的技术和管理模式 (见表 1-1)。20 世纪是制造业空前发展的重要时期，制造系统的集成活动异常活跃，制造模式不断更新。制造技术在广泛吸收高新技术的优秀成果，并且相互渗透、融合和衍生，产生急剧的变化，并不断用于改造制造业，其目的是使所制造的产品 (Product) 达到功能 (Function)、交货期 (Time to Market)、质量 (Quality)、价格 (Cost)、服务 (Service) 均为优良。

表 1-1 制造业各主要发展阶段的生产模式和经营策略

时 期	制造业竞争的焦点	相应的技术、管理对策与特点
1910~1940	降低产品成本	流水线、标准化，以质量为核心的部门间协调
1950~1970	提高企业整体效率及产品质量	统计过程控制 SPC (Statistic Process Control)、数控 (NC) 技术、成组技术的应用、CAD、CAM……
20 世纪 80 年代	全面满足用户在交货期 (Time to Market)、质量 (Quality)、价格 (Cost)、与服务 (Service) 等方面的要求，称为 TQCS	JIT (Just in Time)、CAD/CAM、CIMS…… 特点：信息集成
20 世纪 90 年代	在 TQCS 与可持续发展条件下 (Environment, 用 E 代表) 快速开发质量、性价比好的新产品	CAD/CAPP/CAM/PDM、CIMS、并行工程 CE (Concurrent Engineering)、敏捷制造 AM (Agile Manufacturing) 特点：过程集成
21 世纪	以知识为基础的新产品	现代集成制造系统 (Contemporary Integrated Manufacturing System)、虚拟制造 (Virtual Manufacturing) 特点：企业集成，制造业信息化