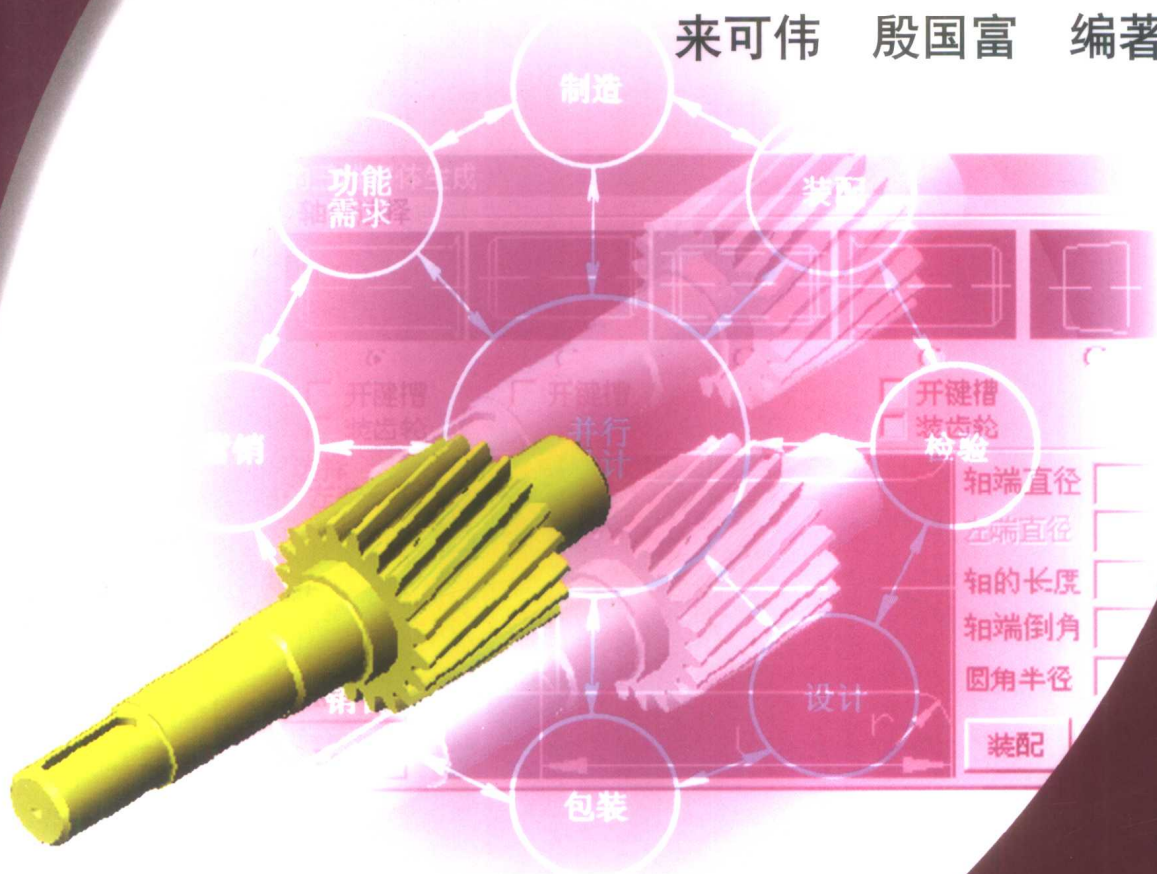


机械设计丛书

并行设计

来可伟 殷国富 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机械设计丛书

并行设计

来可伟 殷国富 编著



机械工业出版社

本书系统地阐述并行设计学科领域的体系结构,注重其赖以发展的基本概念、基本原理和基本方法,强调基础研究对于其应用技术发展的指导意义。在内容安排上特别注意了对各种学术思想的兼收并蓄,努力反映该学科领域的最新进展。

本书凡是引用源自国外的定义、概念的,一般都附以原文,且书后有名词索引表,目的在于方便读者查阅。

图书在版编目(CIP)数据

并行设计/来可伟,殷国富编著. —北京:机械工业出版社,2003.5
(机械设计丛书)

ISBN 7-111-11735-2

I. 并... II. ①来...②殷... III. 机械设计:计算机辅助设计
IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第011980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:刘小慧 张亚秋 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003年4月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm·B5·9.875印张·383千字

0 001—4 000册

定价:25.00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、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

虽然并行设计概念的萌芽在国外可以追溯到二次大战前,在中国也可以追溯到1958年“大跃进”时代,但对其系统的、科学的研究还是近30年的事情。促成并行设计概念复兴和发展的背景主要有两方面。首先是生产实践的需要,并行设计的发展是现代制造技术,特别是集成制造技术的需求;其次是工程设计学科的诞生与发展。虽然工程设计的历史几乎与人类的历史一样古老,但是对工程设计理论系统的科学性的研究是在20世纪70年代以后才开始的,“设计理论和方法学”1986年才被正式定义为一个新的研究领域。它的提出规范了对设计理论和方法学的研究,使其系统化和科学化,使得研究者们对设计理论和方法学的研究活动从一个自在的境界进入一个自为的境界。并行设计属于设计理论和方法学的范畴,而并行设计本身亦是设计理论和方法学的研究对象。

在并行设计发展的早期,曾有过将其视为一种哲理的观点,目前也仍有一些文章仍称其为一种哲理或策略。但是,经过20多年的发展,现在的并行设计已成为现代工程设计的一个领域,一种将解决问题的技术和资源集成起来的科学理论和方法学。因此系统地阐述并行设计学科领域的体系结构,注重其赖以发展的基本概念、基本原理和基本方法,强调基础理论研究对于其应用技术发展的指导意义,是本书的特点。

虽然本书是论述设计的并行性的,但是人类的认知特性决定了设计活动的顺序性是绝对的,并行性只是相对的。就像证明永动机不能实现也是科学一样,研究和指出一个理论的不可能性和发展其可能性有着同样重要的意义。因此,在论述并行设计理论和方法时还特别注意了指出它的局限性和风险性,这也算是本书另一个特色吧。

与许多其他新兴学科一样,并行设计的学科体系由许多学者的思想综合而成。因此本书在内容安排上特别注意了对各种学术思想的兼收并蓄。在重点介绍一些比较成熟和比较系统的工作的同时,也兼顾学科本身的发展性,努力反映该学科领域的最新进展,以便读者开拓思路,在应用的基础上创新。但是本书从写作、审阅到修改、出版中间历时两年多,而并行设计领域的发展又是如此之快,因此对有关情况的介绍难免挂一漏万,还请读者见谅。

与上述内容上的特点配合,本书在文字和写作上也做了两点特别安排。第一,在本书中凡是引用源自国外的定义、概念的时候,一般都附以原文,而不是像通常那样,只提供中文。目的就是希望不要因我们翻译水平有限影响了读者自己去

准确理解这些概念。第二，书后增加了一个名词索引表。读者可以很方便地从关键词查到对应的章节。这在外文书中是很普遍的做法，但是在中文书中采用的却并不多。事情虽小，但是却可使读者方便不少。

本书共分9章，第1章绪论从设计理论和制造生产发展关系的角度介绍并行设计学科领域的由来与发展。第2章将并行设计学科的结构分为基本理论、基本方法、支持技术和工程实践四个层面，分别介绍各个层面的内容，重点是并行设计的基本理论和模型。第3章介绍实施并行设计的人员协同集成法。第4章介绍面向下游活动的并行设计法，即一般所说的DFx方法。第5章论述计算机网络环境下的并行设计。第6章讨论计算机辅助下的并行设计法，即一般所说的CAx方法。第7章介绍并行设计中的数据表达与处理技术。第8章介绍并行设计中的知识表达与处理技术。第9章介绍支持并行设计的分布协同技术与应用。其中第1章由来可伟和殷国富合编，第2~4、7、8章主要由由来可伟编写，第5、6、9章主要由殷国富编写，全书文字由来可伟统一整理。

全书由冯培恩教授审阅，根据他的意见本书做了多处重要修改，特此致谢。

本书读者对象以机械类各专业的高年级大学生、研究生和工程技术人员为主，还可供从事计算机学科领域智能设计技术的研究人员参考。希望读者通过阅读本书能对该领域已有的工作作出自己的判断，自主选择研究、开发和应用的方向，从而对提高中国在这一领域的学术和应用水平有所推动。

目 录

前言

第 1 章 概论 1

1.1 21 世纪的制造业 1

1.1.1 先进制造模式 1

1.1.2 制造业的信息化 2

1.1.3 先进制造技术的发展趋势 4

1.2 现代设计理论与方法学的学科领域 5

1.3 并行设计学科领域 7

1.3.1 并行设计的发展简述 7

1.3.2 并行设计当前的发展 9

1.3.3 并行设计与并行工程 10

参考文献 12

第 2 章 并行设计学科 15

2.1 设计过程模型 15

2.1.1 设计过程的通用模型 16

2.1.2 设计过程分类和产品开发周期模型 17

2.2 工程设计的基本理论 18

2.3 并行设计学科 21

2.3.1 并行设计学科的体系结构 21

2.3.2 并行设计模型 21

2.3.3 并行设计方法 24

2.3.4 并行设计进程管理 25

2.3.5 研究中的并行设计关键技术 26

2.3.6 并行设计的风险 31

2.4 关于并行设计模型的研究 32

2.4.1 并行设计的微循环模型 32

2.4.2 设计信息— workflow 模型 33

2.4.3 应用 Info-Workflow 模

型定义和管理并行设计 ... 36

2.4.4 其他并行设计模型和建模方法 39

参考文献 40

第 3 章 人员协同集成的并行

设计法 42

3.1 并行设计的组织形式 42

3.1.1 设计项目的组织结构 42

3.1.2 设计团队的人员结构 44

3.1.3 设计团队的建设 45

3.2 并行设计进程计划与管理 46

3.2.1 描述过程的数学工具 46

3.2.2 过程描述方法 49

3.2.3 对过程描述方法的要求 ... 52

3.2.4 IDEF3 方法简介 54

3.2.5 用 workflow 技术管理并行设计进程 58

3.2.6 设计过程结构化 67

3.2.7 并行设计进程中的约束与冲突 69

3.3 设计过程信息共享与过程规范化描述语言 PSL 73

3.4 人员协同集成法中的计算机辅助工具 75

3.5 人员协同集成法的工程实践 ... 78

3.5.1 人员协同集成法在国外 ... 78

3.5.2 人员协同集成法在中国 ... 82

参考文献 83

第 4 章 面向下游环节的并行

设计 86

4.1 概述 86

4.1.1 面向下游环节并行设计的定

义、应用领域和效益	86	性	121
4.1.2 面向下游环节并行设计的 方法和工具	88	5.1.5 面向对象的分布式设计 系统	122
4.1.3 面向下游环节并行设计的 关键技术	88	5.1.6 分布式并行设计系统的结 构与管理	123
4.2 面向装配的设计 (DFA)	89	5.1.7 协同设计的实现方法	125
4.3 面向制造的设计 (DFM)	93	5.1.8 面向 CSCW 的 CAD/CAM 系统	126
4.4 面向质量的设计 (DFQ)	95	5.2 计算机网络支持的分布式 并行设计技术	127
4.4.1 质量控制观念的演变	95	5.2.1 CSCW 基本概念	128
4.4.2 面向质量设计的方法和 工具	96	5.2.2 CSCW 工作环境	128
4.4.3 质量功能配置法	98	5.2.3 CSCW 的研究内容	130
4.4.4 Taguchi 稳健设计法	101	5.2.4 CSCW 系统的基本分 类	131
4.5 面向环保的设计 (DFE)	105	5.2.5 CSCW 的关键技术	132
4.5.1 面向回收重用设计的指 导原则	106	5.2.6 CSCW 与分布式系统	133
4.5.2 基础数据库的建立	106	5.2.7 计算机辅助并行设计系统 的体系结构	135
4.5.3 一个定量评估设计环保性 的方法	108	5.3 应用实例	137
4.6 面向下游环节并行设计对 管理的要求	110	5.3.1 系统概述	138
4.7 面向下游环节并行设计的计 算机支持技术	112	5.3.2 开发与运行实例	141
4.7.1 电子表格格式的设计工 具	112	参考文献	150
4.7.2 基于设计规则的系统	113	第 6 章 CAD/CAPP/CAM 集成 技术	152
参考文献	114	6.1 面向并行设计的 CAD/CAM 技术特征	152
第 5 章 计算机网络环境下的并 行设计支持技术	116	6.2 产品建模技术	153
5.1 分布式并行设计原理和方 法	116	6.2.1 产品模型的概念与类 型	153
5.1.1 并行设计的计算机网络环 境	116	6.2.2 产品几何建模技术	155
5.1.2 网络浏览器-服务器-数据 库计算模式	118	6.2.3 特征建模技术 (Feature Modeling Technology) ...	156
5.1.3 网络环境下并行设计的协 同交互工具	120	6.2.4 并行设计中特征识别方 法	159
5.1.4 网络化 CAD 软件的特 性	121	6.2.5 特征造型的基本方法	162
		6.2.6 面向并行设计的特征映 射	164

6.3 CAD/CAM 系统中的产品数据交换	167	7.2.1 产品数据管理系统的组成	194
6.3.1 CAD/CAM 图形系统的交换标准	167	7.2.2 基于配置管理模式的产品数据管理	196
6.3.2 图形数据交换规范 (IGES)	169	7.2.3 基于项目管理模式的产品数据管理	198
6.3.3 产品模型数据交换标准 (STEP)	171	7.3 产品数据表达的标准化	199
6.4 并行设计环境下的 CAPP 技术	172	7.3.1 产品数据定义标准——STEP	199
6.4.1 基于 STEP 的 CAPP 体系结构	173	7.3.2 IDEF1x 标准	203
6.4.2 并行设计环境下 CAPP 系统的实现方法	174	7.3.3 产品数据模型标准 STEP PDM Schema	204
6.4.3 并行设计中产品制造性综合评价	176	7.4 产品数据管理系统的实现技术	208
6.5 并行设计的 CAD/CAM 集成化	178	7.4.1 与 CAD 软件集成在一起的专有系统	208
6.6 基于产品数据管理技术的 CAD/CAM 集成方案	180	7.4.2 基于通用数据库平台的系统	208
6.7 金属冲压件并行设计系统	182	7.4.3 基于网络浏览器-服务器-数据库模式的系统	209
6.7.1 金属冲压设计过程简介	182	7.4.4 STEP PDM Schema 的实现机制	211
6.7.2 CDMS 系统	182	7.4.5 可视化产品数据管理技术	212
6.8 液压缸智能 CAD 系统	185	7.4.6 一个面向图样管理的 PDM 系统	213
6.8.1 系统技术特点	185	7.5 产品数据管理技术的发展趋势	216
6.8.2 并行多专家系统	186	7.5.1 基于产品数据管理系统的 C4 环境	216
6.8.3 HICAD 系统结构模型	186	7.5.2 协同产品数据管理	218
6.8.4 HICAD 的主要功能	188	7.5.3 产品数据管理与企业信息化的风险	219
参考文献	190	参考文献	220
第 7 章 并行设计中的产品数据表达与管理	191	第 8 章 并行设计中的知识表达与处理	222
7.1 产品数据管理	191	8.1 关于知识表达和处理的一般概念	222
7.1.1 产品数据管理的定义	191		
7.1.2 产品数据管理的基本功能	192		
7.1.3 产品数据管理的效益	193		
7.2 产品数据管理系统	194		

8.2 知识表达方法	224	形式	258
8.2.1 命题式 (Declarative) 方法	224	9.2.5 多智能元间的协同方法	261
8.2.2 框架 (Frame) 理论	225	9.2.6 多智能元之间的冲突消除	261
8.2.3 智能元 (Agent) 方法	227	9.3 基于多智能元的网络协同设计系统	263
8.3 设计语言	230	9.3.1 网络协同设计系统的目标	264
8.3.1 功能描述语言 FDL	231	9.3.2 多智能元网络协同设计系统的功能模型	264
8.3.2 设计专家和计划语言 DSPL	233	9.3.3 网络协同设计系统的工作流程	265
8.4 并行设计中的知识表达与处理	235	9.4 支持协同设计的全域产品信息模型	267
8.4.1 知识交换标准语言	236	9.4.1 全域产品信息建模	267
8.4.2 并行设计中的评价决策方法	238	9.4.2 零件信息模型的框架	268
8.4.3 并行设计中的协同决策	241	9.4.3 全域产品信息模型的框架	269
8.5 关于设计综合的理论和方法	241	9.4.4 全域产品信息模型的管理	270
8.5.1 设计综合与设计分析	241	9.4.5 全域产品信息管理模型中的数据库技术	271
8.5.2 实施设计综合自动化的技术	242	9.4.6 基于网络浏览视图的信息抽象	272
8.5.3 设计过程逆向建模与基于实例推理的综合	244	9.4.7 基于网络浏览的设计信息检索	272
8.6 全面理解知识处理在设计中的作用	248	9.5 基于树形结构的设计任务分解	274
参考文献	251	9.5.1 设计任务求解的过程空间	275
第 9 章 分布协同并行设计原理与应用	254	9.5.2 设计任务分解规则	275
9.1 产品协同设计	254	9.5.3 设计任务分解的基本条件	276
9.1.1 协同设计的概念	254	9.5.4 设计任务分解树的定义与操作算法	276
9.1.2 协同设计的关键技术	255	9.5.5 任务树的节点属性	278
9.2 基于多智能元 (Multi-Agent) 技术的协同设计	256	9.6 协同设计过程的管理	279
9.2.1 多智能元的定义	256		
9.2.2 软件智能元的框架描述	256		
9.2.3 多智能元系统	258		
9.2.4 多智能元的组织结构			

9.6.1	设计事务的概念	279	泵 CAD 系统	283	
9.6.2	设计事务的分类	279	9.7.1	离心泵的工作原理	283
9.6.3	设计事务的建立	280	9.7.2	离心泵的网络协同设计过程	284
9.6.4	设计事务的处理	282	9.7.3	系统运行实例	284
9.6.5	协同设计系统中的多版本形成	282	参考文献	294	
9.6.6	基于任务结构树的版本管理策略	283	名词索引	297	
9.7	多智能元网络协同水		英文	297	
			中文	300	

第 1 章 概 论

【本章提要】

研究并行设计理论及方法对缩短产品开发周期、降低产品成本、提高产品质量、增强市场响应能力和使产品在制造前一次性设计成功具有特别重要的意义。本章从设计理论和制造生产发展关系的角度出发,首先分析面向 21 世纪的制造业发展趋势,然后介绍随这个趋势发展起来的现代设计理论和方法学的学科领域,最后介绍既属于设计理论和方法学范畴,而本身也是设计理论和方法学研究对象的并行设计学科领域的概况。

1.1 21 世纪的制造业

制造业是国民经济的发动机。一个没有强大制造能力的国家永远不可能成为经济强国。只有建立了以现代信息技术为基础的现代制造业,才能满足各行各业发展的基本物质需求,提高我国的综合国力。

1.1.1 先进制造模式

最近 20 多年来,由于宏观环境因素,特别是经济、技术、自然和社会环境因素的影响,世界制造业已进入了一个巨大变革的时期,其主要特点为:

1) 生产能力(包括资本、信息)在世界范围内迅速提高和扩展,已形成全球性的激烈竞争格局;

2) 先进生产技术的出现正在急剧地改变着现代制造业的产品结构和生产过程;

3) 传统的管理、劳动方式、组织结构和决策准则都在经历新的变化。

这些既为制造业带来了市场竞争的压力,同时也带来了机遇。传统的相对稳定的市场已变成动态多变的市场,它的主要特点包括:

1) 产品生命周期缩短,产品更新加快;

2) 产品品种增加,批量减少;

3) 产品的质量、价格和交货期是增强企业竞争力的三个决定性因素,特别是缩短和信守交货期日益受到重视。

因此,加快新产品的上市时间 T (Time to Market),改善产品质量 Q (Quality),降低产品成本 C (Cost) 以及完善售前售后服务 S (Service) 就成为面对全球市场的制造业的主题。追求更完善的 T 、 Q 、 C 、 S 是永无止境的过程,它

不断促进管理变革和技术进步，并由此推动了全社会的进步。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，产生和应用着不同的技术和管理模式 (见表 1-1)。对于 21 世纪制造业来说，其竞争的焦点将是基于知识创新的设计。而计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM)、计算机集成制造 (CIM) 等技术则是企业提高创新能力的关键技术和应对策略。

表 1-1 生产技术和管理模式演变

时 期	制造业竞争的焦点	相应的技术、管理对策与特点
早 期	降低产品成本	流水线、标准化
50~70 年代	提高企业整体效率及产品质量	统计质量工艺控制 (SPC, Statistic Process Control)、数控技术、CAD、CAM……
80 年代	全面满足用户在上市时间 (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
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 并行工程 GE (Concurrent Engineering) 敏捷制造 AM (Agile Manufacturing) 特点：过程集成
21 世纪	以知识创新带动的创新设计	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

1.1.2 制造业的信息化

信息技术近年来的迅速发展及其与制造技术的密切结合，为改造传统的制造业、推进其技术进步起到了至关重要的作用。制造业信息化是将信息技术、现代管理技术和制造技术相结合并应用到产品生命周期 (Life-Cycle) 和企业运行管理的各个环节，从而提高企业市场竞争能力的过程。

通俗地说，制造业信息化就是用计算机技术来表示、处理和传输制造业生产经营的一切信息，包括企业生产经营的产品信息、工艺信息、物料信息、生产信息、财务信息和市场营销信息等，从而使制造业的生产经营达到前所未有的高节奏和高效益。其基本特点为：

1. 制造依据数字化

工程图样是传统制造业的制造依据，历来被称为工程师的语言，然而计算机在工程设计中的应用导致了工程图样被产品定义数据所取代 (图 1-1)。工程设计

正在经历着人工绘图、计算机绘图、到“无纸化”（或者说“数字化”）的变化。

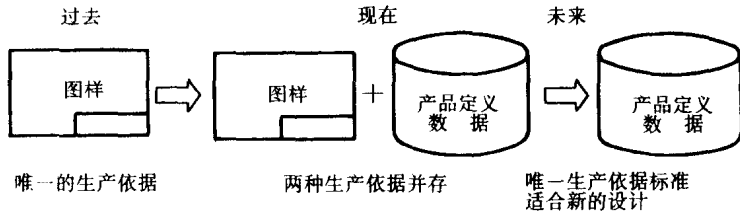


图 1-1 制造依据数字化

2. 制造过程数控化

传统制造业的加工、成形、装配、测量等制造过程是由手工控制的，计算机在制造过程中的应用实现了数字指令控制，产生了“无纸”制造的变化。

制造业信息流的数字化使制造业生产力的发展产生了新的飞跃。美国波音 (Boeing) 公司设计制造其大型客机波音 777 是 20 世纪 90 年代制造业信息化最杰出的代表。在波音 777 的开发过程中组成了包括设计、工艺、制造以及供应商和潜在用户在内 7000 多人参加的 238 个协同工作组，通过网络把三家发动机供应商美国通用电气、惠普和英国的诺依斯-罗斯联合在一起进行数据交换和异地设计制造。在分布式 CAD/CAM 系统的 8 台 IBM 大型计算机 ES/9000 和 2000 个 IBM5080-5086 图形终端的支持下，波音 777 实现了产品全数字化定义，应用数字样机取代原型机的研制，在航空工业发展史上第一次把样机研制可能出现的问题解决在制造装配前和试飞前。63m 长的波音 777 装配基准误差仅为 0.58mm，检测到零件干涉 2500 处，减少工程更改 50% 以上，确保了样机按时研制成功。设计制造信息化和现代管理技术的应用使波音公司把 777 的研制周期从 757 和 767 的 9~10 年时间缩短为 4 年多，创造了显著的经济效益和市场竞争能力。

从制造业信息流的数字化和制造过程的数控化到波音 777 飞机的“无纸”设计和制造，都无可置辩地表明，制造业信息化是以制造业信息流数字化为基本特征的一次新的工业革命。其主要特点为：

- 1) 计算机辅助的单元技术，如 CAD/CAM、数控技术和 MRP-Ⅱ 等成为企业设计、制造和管理的主要技术手段；
- 2) 上述计算机辅助的单元技术在网络和数据库支持下进行信息集成和过程集成；
- 3) 并行工程成为企业产品开发的主要方式；
- 4) 网络成为企业内外重要通信媒体；
- 5) 企业获取利用信息的能力越来越成为企业生存和发展的最重要的能力，信息化的程度决定企业的生存。

制造业信息化的目的是应用现代信息技术解决企业生产经营活动中人工难以

办到或人工效率低的企业产品质量效益问题，更好地发挥人的作用，最大限度地发展社会生产力和企业市场竞争能力。现代信息技术能用于辅助企业进行产品开发、市场营销和企业管理等一切生产经营活动，其应用系统和支撑系统，如CAD/CAM、车间自动化、企业资源计划系统ERP (Enterprise Resource Planning)、电子商务等，以及网络和数据库都是制造业信息化的基础。制造业信息化的内容正在沿着信息集成→产品数据管理→并行工程→虚拟制造供应链→企业动态联盟→……企业的方向深入发展。

1.1.3 先进制造技术的发展趋势

先进制造技术目前的发展趋势可以归纳为以下七点：

1. 全球化

近年来随着网络技术的发展，制造全球化的研究和应用发展迅速。制造全球化的主要内容有：市场的国际化，产品销售的全球网络正在形成；产品设计和开发的国际合作；产品制造的跨国化；制造企业在世界范围内的重组与集成，如动态联盟公司；制造资源的跨地区、跨国家的协调、共享和优化利用。

2. 敏捷化

敏捷制造是一种新的制造战略和制造模式，它是对广义制造系统而言的。制造环境和制造过程的敏捷性问题是其重要组成部分。敏捷化的内容包括：制造系统的柔性、重构能力、快速化的集成制造工艺等。敏捷化是制造环境和制造过程在21世纪发展的必然趋势。

3. 网络化

网络技术的迅速发展正在给企业制造活动带来新的变革。制造网络化的内容包括：通过制造环境内部的网络化实现制造过程的集成；通过制造环境与整个制造企业的网络化实现制造环境与企业中工程设计、管理信息系统等各子系统的集成；通过企业与企业间的网络化，实现企业间的资源共享、组合与优化利用；通过网络，实现异地制造。

4. 虚拟化

制造虚拟化的主要内容是以制造技术和计算机技术支持的系统建模技术和仿真技术为基础，集现代制造工艺、计算机图学、并行工程、人工智能、人工现实技术和多媒体技术等多种技术，多门学科知识为一体，通过建立系统模型将现实制造环境及其制造过程映射到计算机及其相关技术所支撑的虚拟环境中，在虚拟环境下模拟现实制造环境及其制造过程的各种活动，对产品制造及制造系统的行为进行预测和评价。虚拟制造也是实现敏捷制造的重要关键技术之一。

5. 智能化

制造智能化的主要内容包括建立由智能机器人和人类专家共同组成的人机一体

化智能化制造系统。它在制造过程中能进行诸如分析、推理、判断、构思和决策等智能活动。智能制造技术的宗旨在于通过人与智能机器的合作共事，去扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动，以优化制造过程。

6. 标准化

随着制造业向集成化、全球化、智能化方向发展，标准化技术已显得愈来愈重要，它是信息集成、过程集成和企业间集成的基础。近年来，在标准化领域里，研究与应用最多的标准包括产品数据交换标准 STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)、初级图形数据交换标准 IGES (Initial of Graphics Exchange Standard)、电子商务数据交换标准 EDI (Electronic Data Interchange)、和标准通用置标语言 SGML (Standard Generalized Markup Language) 等。

7. 绿色化

环境、资源、人口是当今人类社会面临的三大主要问题。制造绿色化通过综合考虑环境影响和资源效率，使得产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品生命周期中，对环境的影响（负作用）最小，资源效率最高。制造绿色化是可持续发展战略在制造业中的体现，或者说制造绿色化是现代制造业的可持续发展模式。

1.2 现代设计理论与方法学的学科领域

工程设计是将新发明的事物或者已经存在的事物以新的方式组合起来去实现特定功能的过程。虽然工程设计的历史几乎和人类的历史一样古老，但是对工程设计理论的系统的科学性的研究只是在最近 20 年里才开始的^[1~6]。这是由工程设计本身的特点所决定的。因为设计活动本身既有科学性的一面，又有其艺术性 (State of the Art) 的一面。设计过程是一个发展计划或策略的过程，而设计就是其所产生的计划或策略，它可以只是某种想法，也可以用图样、模型来具体表示。设计的艺术性体现在它需要创造性，而设计的工程性则体现在它必须是概念和经验的恰当组合。设计的艺术性和工程性又是互相制约的，设计人员既不能只凭公式设计、但是也没有像画家、诗人、音乐家等艺术家那样高度自由的创造空间。多年来在许多教科书中所谓的设计理论和方法只是用于设计分析的数学优化理论和方法，或者是对设计活动中“应该怎样做和不应该怎样做”的实践性规则。

20 世纪 70 年代以后，在计算机绘图系统和制造自动化技术进展的推动下，通过借鉴运筹学、人工智能、心理学、社会学等学科的最新发展，学术界和工业界对工程设计理论的研究都有了很大的发展。在此基础上，美国机械工程师协会和美国国家自然科学基金委员会于 1986 年将“设计理论和方法学”正式定义为一个新的研究领域^[1]。

“Design theory and methodology is an engineering discipline concerned with process understanding and organized procedures for creating, restructuring and optimizing artifacts and systems” (设计理论和方法学这个工程学领域的研究范围包括了解和组织关于创造、重构和优化人工物和系统的过程)^①

这里所说的设计理论是指解释设计过程的系统化原则和经实验证实的关于设计活动之间关系的说明, 这些说明提供了创造设计方法学所必需的基本理解。这里所说的设计方法学是指可供设计者将设计理论应用于设计过程的程序、工具和技术的集合。

有关学者在定义设计理论和方法学这个研究领域的同时也明确了其研究内容和范围。具体地说, 对设计理论和方法学的研究主要包括三个方面: 实施概念设计的理论, 系统化和量化的设计方法, 支持设计的相关领域和方法^[1]。

1. 实施概念设计的理论

包括对不同类型设计活动的实验性研究以及如何用适当的理论支持那些经过验证的工程实践; 对各种类型设计活动之间转换关系的研究; 开发能够迅速筛选概念设计或突破性设计的关系和标准; 开发能够产生各种满足设计要求方案的方法; 研究如何与其他领域(如经济学、认知心理学、营销学、控制理论、价值论、人工智能等)集成起来以帮助加深对概念设计的理解; 研究如何产生和评价各种设计问题的定义方法; 开发描述设计知识和信息的支持工具; 发现用于处理设计模型的转换规则; 对产品开发过程的研究; 开发用于稳健设计的标准。

2. 系统化和量化的设计方法

包括设计过程结构的形式化; 确定用于设计综合(Synthesis)的方法; 开发产生和评价设计方案的方法; 设计模型的研究; 研究面向最终实现过程的设计方法; 研究评价设计需求的方法。

3. 支持设计的相关领域和方法

可进一步分为以下三个方面:

(1) 智能化的和基于知识的系统的研究 包括对设计交互过程的研究; 开发在不完整设计描述上进行推理的方法; 设计策略的发现和抽象化; 团队设计策略的研究; 多重设计模型的和集成; 开发基于知识的设计模型并将其与已有的设计工具联系起来; 开发能有效利用过去设计成果的方法; 开发能利用设计知识库的系统; 开发能学习新设计策略和方法的系统。

① 正如本书前言里指出的那样, 在本书中凡是引用源自国外的定义、概念的时候, 将附以原文, 目的是希望不要因我们翻译水平有限影响了读者自己准确理解这些概念。在后续章节里, 类似这样的情况就不再一一注释了。

(2) 信息及其集成与管理的研究 包括对设计信息及其使用情况的研究; 设计信息特征; 设计信息的收集、表示方法; 工程设计模型的开发; 设计过程的动态特性; 信息和设计任务的相互作用; 工程数据库技术; 设计环境; 产品生命周期对设计的反馈作用。

(3) 设计活动界面(包括人—人界面和人—计算机界面)的研究 包括改进人—计算机对话的可视化界面; 改进用户界面的表示以增强其柔性; 开发用于设计的声音的和触觉的输入/输出界面; 多重交互模式的集成; 能增强相互理解的个性化界面; 界面的自适应性和柔性的开发; 有自主功能的界面; 界面效率的客观评价手段; 界面形态学。

设计理论和方法学领域研究内容或范围的定义并不是一成不变的, 随着人们认识的推移和相关学科的发展, 其研究内容也在不断发展。但是, 它的提出在历史上第一次规范了对设计理论和方法学的研究, 使其系统化和科学化。它使得研究者们能从总体上把握具体的研究课题和整个学科的关系, 使其对设计理论和方法学的研究活动从一个自在的境界进入一个自为的境界。

1.3 并行设计学科领域

工程设计学科是多种不同知识和领域的逻辑结合。并行设计属于设计理论和方法学的范畴, 而并行设计本身亦是设计理论和方法学的研究对象。

1.3.1 并行设计的发展简述

美国是世界上最早提出并行设计概念的国家, 也是应用最成功的国家。美国对并行设计的应用可以追溯到二次大战前, 美国福特汽车公司最先在产品设计中采用了类似现代并行设计的小型、集成化的多功能设计团队。公司创始人福特亲自领导一支短小精悍的设计队伍, 设计了著名的 T 形汽车, 它可以说是当时一些先进技术和当时制造技术的完美结合。二战时, 福特公司又把这样的设计哲学应用到军工生产领域, 完成了许多人认为是不可能的设计任务。老福特的孙子亨利·福特二世领导一支包括公司里顶尖制造人员的短小精干的设计队伍, 设计了世界上第一台低成本、集成化缸体的 V-8 发动机。通过这些实践, 确定了并行工程的概念在福特公司里的地位。并行设计概念也在其他许多公司得到了成功的实施。例如克莱斯勒公司采用面向制造的小型设计团队, 成功地设计了包括 M-1A2 主战坦克在内的许多优秀军工产品。North American Aviation Corporation 应用并行设计的概念, 仅用了 102 天就完成了著名的 P-51 野马式 (Mustang) 战斗机的设计和制造, 其成功的诀窍就是小的设计队伍和具有广泛经验的领导力量。德国人基于同样的理念, 设计了易于制造的 ME-109 型战斗机, 全部制造时间只有 4000 小时, 而与之相当的英国喷火式 (Spitfire) 战斗机的制造时间是 13000 小