

现代设计丛书



协同设计

芮延年 刘文杰 郭旭红 编著

现代设计丛书

协 同 设 计

芮延年 刘文杰 郭旭红 编著



机械工业出版社

本书系统阐述了“计算机支持下的协同设计工作”这一新的设计方法产生背景、定义与特点,并在此基础上介绍了协同设计基本原理及其关键技术。全书还系统深入地介绍了数字化产品建模,协同设计中的 CAD/CAM/CAPP 集成技术,产品数据管理 PDM 技术以及协同设计能使用的技术。最后从展望的角度出发,研究预测了协同设计今后发展的趋势。

该书是一本介绍协同设计的专著,具有概念准确、论述简洁、内容新颖、系统性和实用性强等特点,并附有大量的图表和参考文献。

本书既可作为企业管理人员、产品设计人员、工程技术开发人员的技术参考书,也可作为机械制造、自动控制和工业工程管理等专业的高年级大学生和研究生的教材或参考书。本书还可作为企业从事产品设计、制造人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

协同设计/芮延年等编著. --北京:机械工业出版社,2003.7

(现代设计丛书)

ISBN 7-111-12422-7

I. 协… II. 芮… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 048032 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:孙 薇 版式设计:霍永明 责任校对:肖新民

封面设计:小 月 责任印刷:王书莱

印 刷:三河市长鸣印刷装订有限公司

发 行:新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·10.25 印张·264 千字

0 001-4000 册

定价:35.00 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)88379785 68993880

编 委 会

主任委员	姚福生			
副主任委员	李 健	王文斌	段爱珍	陈立周
委 员	(以姓氏笔画为序)			
	邓家禔	王玉新	刘志峰	刘宏增
	刘 更	孙 薇	吴宗泽	芮延年
	孟明辰	姚振强	黄永友	黄洪钟
	黄靖远	檀润华		

序

21 世纪世界的一个巨大变革就是形成一个统一的全球市场，每一个国家都不可能离开这个全球市场求得自身的发展，都必须在这个全球市场的竞争中求得生存。这对我国制造业提出了严峻的挑战。

市场竞争的生命力在于产品的创新。任何科技成果要转变为有竞争力的商品，设计起着关键性的作用。设计是产品研制的第一道工序，设计工作的质量和水平，直接关系到产品的质量、性能、研制周期和技术经济效益。世界各国都十分重视产品的设计工作。

随着计算机技术的发展，特别是 CAD 技术的发展，设计手段发生了根本性变化，设计新理论、新方法、新技术不断涌现。广大工程技术人员渴望在“甩掉图板”的同时，更新设计思维，采用现代设计方法，真正提高产品开发能力和设计水平。为此，中国机械工程学会机械设计分会与机械工业 CAD 咨询服务中心联手，组织机械设计领域从事现代设计研究的、有专长的、有经验的专家、教授，编写一套《现代设计丛书》，以适应我国进入 21 世纪技术创新和振兴制造业以及进入 WTO 的需要。

由于现代设计涉及面广，本丛书选题较多，一时难以全部确定，原则上根据需要成熟一个确定一个，不追求系统和全面。因此，全套丛书的编写及出版将采取分批的方式进行。第一批已出版 6 册，它们是：《并行设计》、《虚拟设计》、《稳健设计》、《绿色设计》、《优势设计》、《模糊设计》。第二批将出版：《创新设计》、《产品概念设计》、《数字化设计》、《敏捷制造》、《协同设计》、《无网格方法

及其应用》、《合作产品商务》等。

江泽民同志在全国技术创新大会上强调，我们既要充分估量新的科技革命带来的严峻挑战，更要珍惜它带来的难得机遇。我们必须抓住机遇，正确驾驭新科技革命的趋势，全国实施科教兴国战略，大力推动科技进步，加强科技创新，加速科技成果向现实生产力转化，掌握科技发展的主动权，在更高的水平上实现技术发展的跨越。我们希望通过《现代设计丛书》的出版，能为我国科技创新工程和“信息化带动工业化”做出一点应有的贡献。

科技部高新技术发展及产业化司司长 **李健**

前 言

“计算机支持下的协同设计”(Computer Support Cooperative Design)是近年来新出现的一种产品开发设计模式,它受到了国内外众多研究单位与制造商的重视。协同设计可以定义为:在计算机技术支持的环境中(即CS),一个群体协同工作完成一项设计任务(即CD),它的目标是要设计各种各样协同工作的应用系统。同时,也是一门综合的现代设计技术。协同设计继承发展了并行设计的基本思想,借助于迅速发展的计算机技术和网络技术,构成“计算机支持下的协同设计”。协同设计的哲理和技术不是简单的设计发明或创造,而是集成了现代设计中许多新方法、新技术、新思想、新模式,经过系统的抽象发展而成的。传统手工生产模式的一体化设计与今天信息化时代不相适应,协同设计关于面向用户、面向制造、面向装配的设计理念与其它先进设计方法,一起代表着现代设计与制造发展方向。CIMS、CAD/CAM/CAPP、PDM、虚拟设计等都对协同设计产生直接的影响。

协同设计的目的,就是要通过提高群体成员间的协调配合和协同工作水平,使设计工作具有全局性,更符合制造、装配、使用、维修和环境保护的要求。协同设计涉及的内容很多,如经营与生产过程重构、数字化产品建模、产品数据管理、敏捷供应、CIMS、CAD/CAM/CAPP集成、虚拟设计、智能制造和数据库技术等。由于篇幅与水平有限,本书的主要内容如下:

第一章“协同设计概论”。主要介绍“计算机支持下的协同设计工作”这一新的设计方法产生背景、定义与特点,并初步探讨了其应用与发展。

第二章“协同设计原理”。通过对串行设计、并行设计与协

同设计过程区别的分析研究,介绍了协同设计基本思想、方法与特点以及协同设计与并行工程、CIMS、虚拟设计等现代设计之间的关系。

第三章“协同设计的关键技术”。主要介绍协同设计过程重构技术、基于协同设计的集成开发团队、分布式对象计算技术概念、协同设计过程中的 CAD/ CAM/ CAPP 集成技术、产品建模技术等关键技术概念、定义及基本方法。

第四章“数字化产品建模”。通过对数字化产品建模的基本概念、几何建模技术、特征建模技术、推理智能建模技术、面向装配建模技术、面向协同设计集成化产品建模等技术的讨论,阐述了数字化产品建模的原理和方法。

第五章“协同设计中 CAD/CAM/CAPP 集成技术”。从讨论协同产品开发的工作方式、协同开发环境 CAD/CAM/CAPP 集成特点入手,分别介绍了 CAD/CAE、CAD/CAM、CAD/CAPP、CAD/ CAM/ CAPP 集成基本原理、CAPP 系统设计基本方法、成组技术的概念与零件分类方法,以及实现 CAD/CAM/CAPP 集成的关键技术。

第六章“产品数据管理”。主要阐述产品数据管理(PDM)的基本概念,PDM 数据管理原理,CAD/CAM/CAPP 与 ERP 的信息管理,PDM 软件和 PDM 系统的应用。

第七章“协同设计能使用的技术与工具”。介绍智能协作中的“Agent”原理、数据库技术、数据挖掘、面向应用领域的设计评价有关技术(如产品生命周期设计评价、可制造性评价、可装配性评价、面向成本设计评价等)。

第八章“协同设计的发展趋势”。从展望的角度出发,研究预测协同设计今后发展的趋势。介绍了产品设计的虚拟化——虚拟产品开发;产品设计的网络化、敏捷化——形成全球设计制造;可持续发展的绿色设计与绿色制造模式。

在编写过程中,引用了部分文献资料,现将主要参考文献附

在书末，在此谨向有关作者表示敬意。

本书的第5章、第6章由刘文杰副教授编写，第7章由郭旭红副教授编写，其余各章由芮延年教授编写，最后由芮延年教授汇总整理。王明娣讲师对全书在文字和编辑方面作了大量工作。

东北大学闻邦椿院士在百忙中审阅了全书，提出了很多宝贵意见，对此表示衷心的感谢。本书在编写过程中研究生李军涛、宋兵、李小平等同学在插图方面做了很多工作，在此一并感谢。

由于协同设计涉及到的内容很多，内容博大精深，作者的知识水平有限，加上时间仓促，书中内容难免有不当或错误之处，恳请读者批评指正。

编 者
苏州大学
2003 · 6

目 录

序

前言

第 1 章 协同设计概述	1
1.1 协同设计的产生	1
1.1.1 协同设计产生的背景	1
1.1.2 全球化市场竞争对协同设计的要求	2
1.1.3 传统产品设计方式的缺陷	3
1.2 协同设计的定义及特点	5
1.3 协同设计的应用及发展	6
1.3.1 面向产品设计及制造的协同设计	7
1.3.2 有利于项目管理的协同设计	7
1.3.3 满足客户需求的协同设计	8
1.3.4 实时供应要求的协同设计	8
1.3.5 协同设计的发展	9
第 2 章 协同设计原理	14
2.1 概述	14
2.1.1 协同设计的特点	15
2.1.2 串行设计、并行设计与协同设计的区别	17
2.2 协同产品设计的工程基础	27
2.2.1 设计方案的拟定	27
2.2.2 详细设计方案	31
2.3 基于协同概念产品设计建模技术基础	35
2.3.1 协同设计产品模型概念	35
2.3.2 产品建模基本方法	37
2.3.3 产品建模实施要求	39
2.4 设计过程的可靠性评价	41

2.5 协同设计与并行工程、CIMS、虚拟设计等现代设计方法的关系	44
2.5.1 并行工程(CE——Concurrent Engineering)	44
2.5.2 CIM 和 CIMS	46
2.5.3 虚拟设计(Virtual Reality)	48
2.5.4 精良生产(Lean Production)	50
2.5.5 敏捷制造(Agile Manufacturing)	51
2.5.6 协同设计是对并行工程、CIMS、虚拟设计的继承和发展	53
第3章 协同设计的关键技术	55
3.1 协同设计过程重构技术	55
3.1.1 协同设计系统协作模型及组织结构	58
3.1.2 过程重构设计基本原则与方法	60
3.2 基于协同设计的集成化产品开发团队	62
3.2.1 集成团队的人员与组织结构	62
3.2.2 集成团队协同工作模式	63
3.2.3 决策模式和方法	68
3.3 分布协同对象计算技术概念	71
3.3.1 CORBA 技术	71
3.3.2 微软方案(OLE、ODBC and DLL)	72
3.3.3 WEB 技术	74
3.4 协同设计过程中的 CAD/CAM/CAPP 集成技术	75
3.5 产品建模技术	80
3.5.1 特征建模技术	80
3.5.2 产品定义模型	82
3.5.3 CAPP 技术	83
3.6 协同设计其它关键技术	86
第4章 数字化产品建模	87
4.1 数字化产品建模的基本概念	88
4.2 产品几何建模技术	90
4.2.1 参数形体及其调用	92
4.2.2 扫描表示法	92
4.2.3 单元分解法	94
4.2.4 几何体素构造法	96

4.2.5 边界表示法	97
4.3 产品特征建模技术	100
4.3.1 特征的定义与分类概述	101
4.3.2 协同设计环境中特征的分类	104
4.3.3 特征建模系统设计	107
4.3.4 基于特征的参数化建模	110
4.3.5 零件特征编码	111
4.3.6 特征造型实例	116
4.4 推理智能建模技术	119
4.5 面向产品装配建模技术	122
4.5.1 装配关系的定义及分类	124
4.5.2 面向协同设计的产品装配模型	124
4.6 面向协同设计集成化产品建模	129
4.6.1 集成化产品建模框架	130
4.6.2 集成产品数据模型	131
4.6.3 产品数据交换标准	132
4.7 产品知识建模	135
4.8 智能 CAD 系统的设计方法	135
4.8.1 面向对象的求解方法	136
4.8.2 推理机制	138
4.8.3 智能 CAD 的广义类比推理方法	140
4.8.4 设计过程模型的特征设计方法	142
4.9 构建面向协同设计的产品信息集成建模	144
第 5 章 协同设计中 CAD/CAM/CAPP 集成技术	145
5.1 协同设计中 CAD/CAM/CAPP 集成系统概述	145
5.1.1 协同开发的工作方式	146
5.1.2 协同开发环境中 CAD/CAM/CAPP 集成的特点	147
5.2 CAD/CAE 集成原理	149
5.2.1 CAD/CAE 系统集成的基本方法	150
5.2.2 CAD/CAE 系统集成关键技术	151
5.3 CAD/CAM 集成原理	153
5.4 面向协同开发的 CAD/CAM/CAPP 集成系统体系结构	157

5.4.1	系统的功能模型	157
5.4.2	系统的工作流程	160
5.4.3	系统的网络体系结构	161
5.5	CAPP 原理与系统设计	164
5.5.1	CAPP 原理	164
5.5.2	CAPP 系统设计基本方法	167
5.6	成组技术的概念与零件分类方法	171
5.6.1	成组技术的概念	171
5.6.2	零件分类编码方法	171
5.7	CAD/CAM/CAPP 集成技术	175
5.7.1	CAD/CAM/CAPP 集成技术系统组成及主要功能	176
5.7.2	构造面向协同开发的 CAD/CAM/CAPP 集成系统关键技术	179
第 6 章	产品数据管理	190
6.1	PDM 的基本概念与技术特点	190
6.1.1	PDM 的定义	191
6.1.2	PDM 的技术特点	192
6.1.3	PDM 的体系结构	196
6.2	PDM 产品数据管理原理	197
6.2.1	数据管理	198
6.2.2	过程管理	213
6.2.3	系统集成	216
6.3	CAD/CAM/CAPP 与 ERP 的信息集成	227
6.4	PDM 的软件	228
6.5	PDM 系统的应用	236
6.5.1	机电产品数据集成管理应用	236
6.5.2	塑料件与模具设计集成应用	237
第 7 章	协同设计使用的技术与工具	241
7.1	智能协作原理	241
7.1.1	智能协作研究	241
7.1.2	多“Agent”系统基本概念	242
7.1.3	Agent 的基本结构	246
7.1.4	Agent 的工作过程	248

7.1.5 多 Agent 系统中自主主体模型	248
7.1.6 多 Agent 协作系统实现的基本方法	251
7.2 数据库技术	256
7.2.1 信息、数据和数据处理	256
7.2.2 数据模型	258
7.2.3 数据库语言	262
7.3 数据挖掘	268
7.4 面向应用领域的设计评价技术	272
7.4.1 产品生命周期评价	272
7.4.2 产品可制造性评价	281
7.4.3 产品可装配性评价	285
7.4.4 面向成本设计的评价	289
第 8 章 协同设计的发展趋势	295
8.1 产品设计的虚拟化——虚拟产品开发	295
8.1.1 虚拟现实的定义	295
8.1.2 虚拟现实的四个重要特征	296
8.1.3 虚拟现实的组成	297
8.2 产品设计的网络化、敏捷化——形成全球设计、制造模式	298
8.3 可持续发展的绿色设计与绿色制造	300
8.3.1 绿色设计与绿色制造的研究内容	301
8.3.2 面向生命周期的绿色设计与绿色制造	302
8.3.3 绿色设计与绿色制造研究方向	303
8.3.4 绿色产品应用及发展前景	306
参考文献	309

第 1 章 协同设计概述

本章重点:“计算机支持下的协同设计”这一新的设计方法的产生背景、定义与特点,并初步探讨了其应用与发展。

1.1 协同设计的产生

随着信息技术、计算机技术和网络技术的迅速发展,经济活动按网络化的形式加以组织,世界经济正经历着一场深刻的革命。这场革命使世界经济全球化进程大大的加快,跨国、跨行业、跨企业之间的联合得到进一步的发展。我国的制造业,特别是机电工业面临着机遇与挑战,以信息化带动机电工业的发展是机电工业进一步发展的必由之路。

1.1.1 协同设计产生的背景

20 世纪 80 年代以来,自动化技术、信息技术、计算机技术和制造技术相互渗透,发展迅速,新知识应用于生产实际的速度是惊人的。随着计算机技术的进步、信息时代的到来,世界似乎变小了,这一切都加速了全球化市场的形成与发展,而全球化市场的形成与发展又使得在世界范围内的市场竞争变得越来越激烈。随着竞争的加剧,竞争的焦点变为怎样以最快的速度开发出高质量、低成本的产品投放市场;同时,由于技术的飞速发展以及产品复杂程度的不断提高,增加了新产品设计开发的难度。谁能在最短的时间内,把高质量、低成本的产品推向市场,谁就是竞争的胜利者。

随着世界工业市场竞争的不断加剧,各国制造商纷纷采用各种新概念、新思想、新方法、新技术来改进自己的产品设计开发模式,力求使其产品在市场上有较强的竞争力和生命力。用户对产

品需求呈多样化和个性化,对设计提出了更高的要求。传统设计无法跟上时代要求的步伐。优势设计、虚拟设计、CIMS、精良生产、敏捷制造等方法先后产生,新产品开发能力得到了进一步加强。然而,应用这些新技术开发产品,在很大程度上仍然采用传统的串行开发模式,致使设计的早期阶段不能很好地考虑产品整个生命周期的各环节。如对其下游的制造、装配以及用户使用等问题往往考虑的较少。因此,怎样把上述问题与设计很好地协同起来的问题引起大家的重视。在 20 世纪 90 年代前后出现了并行设计、面向用户设计、面向制造设计、面向装配设计、面向销售设计等一系列新概念设计方法。协同设计就是建立在这些新设计思想的基础上,在设计时对产品整个生命周期的各环节进行统筹考虑的设计。

“计算机支持下的协同设计”(Computer Support Cooperative Design)是近年来新提出的一种产品开发设计模式,它受到了国内外众多研究单位与制造商的重视。协同设计可以定义为:在计算机技术支持的环境中(即 CS),一个群体协同工作完成一项设计任务(即 CD),它的目标是要设计各种各样的协同工作的应用系统。同时,也是一门综合的现代设计技术。协同设计继承发展了并行设计的基本思想,借助于迅速发展的计算机技术和网络技术,构成“计算机支持下的协同设计”。协同设计不是简单的设计发明或创造,而是集成了现代设计中许多新方法、新技术、新思想、新模式,经过系统的抽象发展形成的。传统的手工一体化串行设计生产模式与今天信息化时代不相适应,面向用户、面向制造、面向装配设计和 CIMS 中的信息集成是协同设计的基本思想。CAD/CAM/CAPP、虚拟设计等都对协同设计产生直接的影响。

1.1.2 全球化市场竞争对协同设计的要求

机电工业是一个国家综合国力的基础,机电工业的发展是社会进步的推动力之一,同时,社会的进步又影响着机电工业的发展。面对竞争日益激烈,需求不断变化的国际市场,企业只有不断

地缩短产品开发时间、提高质量、降低成本、改进服务,才能在激烈的市场竞争中立于不败之地。为了增强企业的竞争能力,企业进行技术改造,如添置先进的生产设备、购买技术软件和引进人才等,但是,其效果并不明显。

当前,特别是进入 WTO 后,我国的机电工业在发展过程中遇到了前所未有的困难。从设计的角度上讲,由于多年的计划经济政策和国家统购统销体系的约束,企业普遍缺乏新产品开发能力,不能适应国际市场竞争的要求。其次,我们很多企业在产品开发生计中仍沿用着串行产品设计开发模式。传统的串行产品设计开发模式,在设计初始阶段不能很好地考虑用户需求、产品制造、装配、使用以及产品绿色性等问题。同时也缺乏相应的技术手段,因此,设计的产品常常存在可加工性、可装配性差以及用户不满意等问题。而这些问题往往一直延续到制造阶段,甚至到交付用户使用时才被发现。事后修改设计方案,不仅延长了产品的开发周期,增加了制造成本,而且用户的需求也不能很好地得到保证。

协同设计要求设计者在设计时,不但要考虑设计本身的技术问题,而且还要考虑市场需求、用户要求、制造、装配、维护以及环境保护等问题。其目的是缩短新产品开发周期,压缩生产成本,向市场提供优质产品。协同设计方法归纳起来有以下几点:

- (1) 建立基于协同理论的产品集成设计团队;
- (2) 对复杂结构产品的设计过程进行重组,建立产品协同设计开发流程;
- (3) 建立能支持协同设计的计算机协同工作环境;
- (4) 通过对复杂结构产品的建模,优化产品设计过程与质量;
- (5) 利用 PDM、CAD/CAM/CAPP、Agent、虚拟设计等集成技术与工具,提高设计质量与速度。

1.1.3 传统产品设计方式的缺陷

产品的开发设计过程是指从产品的需求分析到产品最终定型的全部过程。它包括产品的市场调查、方案拟定、产品设计、样品