



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



网络化计算机 辅助设计与制造技术

第2版

西安交通大学 江平宇 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

网络化计算机辅助设计与 制造技术

第 2 版

主编 江平宇 (西安交通大学)

参编 周光辉 (西安交通大学)

莫蓉 (西北工业大学)

殷国富 (四川大学)

乔立红 (北京航空航天大学)

主审 姚英学 (哈尔滨工业大学)

明新国 (上海交通大学)



机械工业出版社

为适应新形势发展的需要,本书在第1版的基础上,对每章的内容均进行了大量的修改与增补。

本书共分7章。第1章主要介绍网络化CAD/CAM技术的相关概念和原理等;第2章介绍网络化CAD/CAM的支持技术与实现结构;第3~6章在介绍传统的CAD、CAPP、CAM技术的基础上,阐述因网络化而带来的新问题,以及网络化CAD/CAM系统集成技术;第7章讲解了两个网络化CAD/CAM系统实例。

本书可作为制造工程相关专业的本科生教材、研究生教学参考书,也可作为从事制造工程相关工作的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

网络化计算机辅助设计与制造技术/江平宇主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2011.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-34500-8

I. ①网… II. ①江… III. ①机械设计—计算机辅助设计—高等学校—教材②机械设计—计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. ①TH122②TH164

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第115759号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 黄金荣 任正一

版式设计:霍永明 责任校对:姜婷

封面设计:张静 责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2011年10月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·406千字

标准书号:ISBN 978-7-111-34500-8

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

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

制造业是社会可持续发展的基石，是创造社会财富的直接源泉。当前，随着信息技术和网络技术的发展，市场全球化进程大为加快，市场响应的快速化、产品的客户化等要求促使制造业必须采用先进的制造模式来组织生产，而计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）技术作为支持产品设计与制造的关键单元技术应起重要的作用。

CAD/CAM 技术是以工程领域为对象，以制造技术、数控技术、计算机科学、信息技术等为支撑的先进实用化技术。应用 CAD/CAM 技术的目的在于从缩短生产周期、降低成本、提高质量、减少对环境的影响等方面支持各种产品的开发与制造过程。

CAD/CAM 技术的发展不仅受各种先进制造技术的影响，而且也有其自身发展的规律。当前，网络技术尤其是 Internet 技术的发展对 CAD/CAM 技术最直接的影响是正改变着其应用模式的进化方向，以及与应用模式相匹配的各项使能技术的实现方法等。据此，本书在传统 CAD/CAM 技术知识的基础上，结合因网络技术引入所带来的新问题，来论述网络化 CAD/CAM 技术的概念、原理、方法及实现模式。

本书的第 1 版已于 2004 年由机械工业出版社出版。在此基础上，第 2 版修订工作于 2006 年启动，并列入教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在第 1 版的基础上，编者对每章的内容均进行了大量的修改与增补。

通过本书，读者能在了解传统 CAD/CAM 技术内容及方法的基础上，从一个新的视点，掌握在引入网络技术后 CAD/CAM 技术的变化，掌握网络化 CAD/CAM 的实现模式、关键技术及实施过程，了解网络化 CAD/CAM 的支撑技术，以便适应新形势的需要，适应社会发展的需要。

全书由西安交通大学的江平宇教授主编、统稿。各章编写人员的分工如下：第 1 章、第 2 章（2.5）、第 5 章、第 7 章（7.1）由西安交通大学的江平宇教授修改与增补；第 2 章（2.1~2.4）、第 7 章（7.2）由西安交通大学的周光辉副教授修改与增补；第 3 章由西北工业大学的莫蓉教授重新编写；第 4 章由四川大学的殷国富教授重新编写；第 6 章由北京航空航天大学大学的乔立红教授修改与增补。

由于本书内容涉及面较广，部分内容首次出现在 CAD/CAM 类图书中，加之水平有限，错误之处在所难免，希望读者不吝赐教，在此谨表衷心的感谢！

编 者

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 网络化 CAD/CAM 技术的定义	1
1.1.1 传统 CAD/CAM 技术的定义	1
1.1.2 网络化 CAD/CAM 技术的引入与定义	2
1.2 网络化 CAD/CAM 系统的组成	3
1.2.1 网络化 CAD/CAM 系统的软硬件组成	3
1.2.2 网络化 CAD/CAM 系统的模式	4
1.3 网络化 CAD/CAM 技术的新支持技术	5
1.3.1 现代设计支持技术	5
1.3.2 现代制造支持技术	10
1.4 思考题	13
第2章 网络化 CAD/CAM 的支持技术与实现结构	14
2.1 计算机网络及 Internet/Intranet 技术	14
2.1.1 计算机网络的起源及发展	14
2.1.2 Internet/Intranet 技术简介	15
2.2 C/S 与 B/S 结构	18
2.2.1 C/S 计算结构模式	18
2.2.2 B/S 计算结构模式	20
2.3 CORBA、DCOM 及其他中间件技术	21
2.3.1 中间件技术的概念及其在网络化应用系统中的作用	21
2.3.2 CORBA 及其功能	22
2.3.3 DCOM 及其功能	24
2.3.4 智能代理及其功能	26
2.3.5 移动智能代理及其功能	28
2.4 数据库技术	31
2.4.1 数据库技术的发展	31
2.4.2 基于 Web 的数据库系统	33
2.5 网络化 CAD/CAM 系统的实现结构	37
2.5.1 CAD/CAM 系统的特征	37
2.5.2 网络化 CAD/CAM 系统的工作逻辑	38
2.5.3 网络化 CAD/CAM 系统的体系结构	40
2.6 思考题	40
第3章 网络化计算机辅助设计技术	41
3.1 CAD 与网络化	41
3.1.1 应用工具对 CAD 技术的影响	41
3.1.2 信息应用方式对 CAD 技术的影响	47
3.1.3 CAD 系统的网络化	47
3.2 网络化产品设计	50
3.2.1 产品设计方法的类型划分	50
3.2.2 产品设计过程与网络化	52
3.2.3 网络化产品设计过程的建模	54
3.3 产品模型与网络化计算机辅助造型	59
3.3.1 产品模型的几何表达与轻量化	59
3.3.2 以网络为中心的 WebCAD 特征造型与网络化传输	64
3.3.3 网络化计算机辅助产品设计的 方法	73
3.3.4 商用 CAD 系统的网络化封装与应用	78
3.4 产品协同设计通用工具	83
3.4.1 常用的协同工具	83
3.4.2 协同批注	85
3.4.3 协同浏览	87
3.4.4 协同查询	88

3.4.5 协同会话	91	4.5.2 工艺知识的定义与分类	124
3.5 DFX 驱动的网络化产品协同设计		4.5.3 工艺设计知识库系统的体系结构	
方法	93	模型	125
3.5.1 常用 DFX 设计方法概述	94	4.5.4 基于实例的推理技术	126
3.5.2 DFX 设计方法与协同工作		4.5.5 基于实例推理的工艺决策	
流程	95	方法	127
3.5.3 DFX 驱动的网络化产品协同设计		4.5.6 基于“实例+规则”的工艺决策	
系统	102	方法	128
3.6 思考题	104	4.6 网络化 CAPP 系统的流程管理与	
第 4 章 网络化计算机辅助工艺设计		安全模型	129
技术	106	4.6.1 工艺设计流程管理原理	129
4.1 计算机辅助工艺设计技术		4.6.2 工艺设计流程管理的安全	
概况	106	模型	129
4.1.1 CAPP 的基本概念与系统功能		4.7 面向远程协同工艺设计的	
模型	106	网络化 CAPP 系统	131
4.1.2 CAPP 的基础技术	107	4.7.1 远程协同工艺设计系统的体系	
4.1.3 CAPP 系统类型	108	结构	131
4.1.4 CAPP 在制造业信息化中的		4.7.2 远程协同工艺设计系统的功能模块	
作用	111	分析	131
4.2 网络化 CAPP 的概念与系统		4.7.3 远程协同工艺设计的管理	
结构	112	技术	132
4.2.1 CAPP 与网络化	112	4.7.4 协同工艺设计的冲突消解	
4.2.2 网络化 CAPP 的特点	113	策略	134
4.2.3 网络化 CAPP 系统的体系		4.7.5 远程协同工艺设计系统的运行	
结构	113	实例	134
4.3 网络化 CAPP 的工艺数据库		4.8 CAPP 技术研究的发展趋势	136
技术	115	4.9 思考题	137
4.3.1 工艺设计信息处理模式	115	第 5 章 网络化计算机辅助制造与	
4.3.2 工艺卡片的数据库模型	116	MES	138
4.3.3 制造工艺资源数据库	117	5.1 CAM 与网络化	138
4.3.4 网络化工艺设计信息数据库	119	5.1.1 制造硬件对 CAM 技术的影响	138
4.4 零件制造特征的网络化表达、		5.1.2 信息应用方式对 CAM 技术的	
映射与传输	119	影响	140
4.4.1 零件制造特征的概念	119	5.1.3 CAM 系统的网络化	142
4.4.2 零件制造特征信息模型的 XML		5.2 开放式 CNC 体系结构	143
表达	120	5.2.1 数控的轴的概念	144
4.4.3 零件制造特征的自动识别与		5.2.2 基于运动控制卡的开放式 CNC 体系	
映射	122	结构	144
4.5 基于知识的 CAPP 系统实现		5.2.3 基于 PC 软数控机理的开放式 CNC	
技术	123	体系结构	146
4.5.1 基于知识的 CAPP 系统特征	123	5.3 制造执行系统及网络化	147
		5.3.1 制造执行系统的概念	147

5.3.2	制造执行系统的配置	148
5.3.3	基于制造执行系统的 CAM 扩展	151
5.4	电子服务驱动的网络化计算机 辅助制造	152
5.4.1	产品制造电子服务的概念	152
5.4.2	电子服务驱动的 CAM 的工作逻辑和 运行流程	152
5.4.3	制造设备的“电子化”技术及服务 功能的提供	153
5.4.4	网络化制造执行系统的配置	156
5.4.5	网络化制造执行系统的运行	161
5.4.6	支撑制造执行系统运行的基础 服务技术	172
5.5	思考题	174
第6章 网络化 CAD/CAM 系统集成		
技术 175		
6.1	网络化 CAD/CAM 系统集成技术的 概念	175
6.1.1	网络化 CAD/CAM 系统集成的 意义	175
6.1.2	设计信息与制造信息的关系	175
6.1.3	设计信息与制造信息集成的 XML 表达	177
6.1.4	网络化集成的模式与层次	178
6.2	网络化 CAD/CAM 系统集成的 基础架构	181
6.2.1	基于 B/S 和 C/S 的网络化 CAD/CAM 系统集成架构	181
6.2.2	基于 CORBA 的网络化 CAD/CAM 系统 集成架构	182
6.2.3	基于智能代理的网络化 CAD/CAM 系统集成架构	183
6.2.4	基于 SOA 的网络化 CAD/CAM 系统 集成架构	184
6.3	面向网络化信息传输的产品数据 交换标准	185
6.3.1	IGES 标准及网络化传输的 考虑	185
6.3.2	STEP 标准及 XML 映射	187
6.3.3	VRML/SVG 标准及其网络传输的 轻量化	189
6.3.4	网络传输的数据压缩技术	193
6.4	网络化 CAD/CAM 系统的数据集成 技术	194
6.4.1	共享文件的网络化数据集成实现 方法	194
6.4.2	基于 Web 共享数据库的作用及其 应用	196
6.4.3	基于统一产品信息模型的网络化 数据集成	197
6.5	网络化 CAD/CAM 系统的过程 集成技术	199
6.5.1	网络化 CAD/CAM 系统集成的运行 过程流分析	199
6.5.2	网络化过程模型的概念与建立 方法	199
6.5.3	同构网络化 CAD/CAM 系统的过程 集成	200
6.5.4	异构网络化 CAD/CAM 系统的过程 集成	202
6.6	网络化 CAD/CAM 系统集成技术的 应用	203
6.6.1	商品化 CAD/CAM 系统中的网络化 集成	203
6.6.2	新一代网络化 CAD/CAM 系统 集成	205
6.7	思考题	206
第7章 网络化 CAD/CAM 系统实现的 实例分析 207		
7.1	网络化 CAD/CAPP/CAM 集成系统 TeleDM	207
7.1.1	网络化 CAD/CAPP/CAM 集成系统 TeleDM 简介	207
7.1.2	建立 TeleDM 的 Web 基础信息 架构	207
7.1.3	实物原型评价驱动的并行设计 模型	208
7.1.4	面向 RP 的计算机辅助工艺规划 技术	210
7.1.5	电子服务驱动的 RP 远程 制造	214
7.1.6	支持 RP 驱动的并行设计过程的协同 技术	225
7.1.7	TeleDM 系统的实现与运行	230

7.2 基于 Web 的 CAD/CAM 项目	
CyberCut	232
7.2.1 CyberCut 简介	232
7.2.2 CyberCut 的基本框架	233
7.2.3 使能 CyberCut 的 WebCAD 技术	234
7.2.4 使能 CyberCut 的加工咨询与工艺 设计	237
7.2.5 基于网络的开放式数控结构的远程 加工	241
7.2.6 CyberCut 的实现与运行	242
7.3 思考题	245
附录 英文缩写对照表	246
参考文献	249
读者信息反馈表	

第1章 绪论

计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 技术是以工程领域的通用与专用应用技术为基础, 以数控技术、计算机科学、信息技术等为支撑的先进实用化技术。应用 CAD/CAM 技术的目的在于, 从缩短生产周期、降低成本、提高质量、减少对环境的影响等方面, 支持各种产品的开发与制造过程。同时, CAD/CAM 技术也是各种先进制造技术如敏捷制造、可重组制造、大规模定制生产等的关键单元技术。

CAD/CAM 技术的发展既受各种先进制造技术的影响, 也有其自身发展的规律。当前, 网络技术, 尤其是因特网 (Internet) 技术的发展, 对 CAD/CAM 技术的最直接影响是改变其应用模式的进化方向, 以及与应用模式相匹配的各项使能技术的实现方法等。然而, 即使网络技术对传统 CAD/CAM 技术的内容有一定的影响, 但 CAD/CAM 技术的基础部分仍起着重要作用, 且并不随着网络技术的引入而改变, 网络化 CAD/CAM 技术的概念、原理、方法和实现模式都建立在传统 CAD/CAM 技术的基础上。

作为概念性描述, 第 1.1 节首先给出了 CAD、CAM、CAD/CAM 集成技术的定义、发展历史、应用, 以及引入网络化技术后导致的 CAD/CAM 应用模式的变化; 第 1.2 节将介绍网络化 CAD/CAM 系统的软硬件组成及模式; 第 1.3 节将描述现代设计技术和现代制造技术对网络化 CAD/CAM 技术的影响。

1.1 网络化 CAD/CAM 技术的定义

1.1.1 传统 CAD/CAM 技术的定义

从传统意义上看, CAD/CAM 技术是指计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM)、CAD/CAM 集成技术的总和。其中, CAD/CAM 集成技术依赖于计算机辅助工艺规划 (Computer Aided Process Planning, CAPP) 技术, 而 CAPP 恰是实现 CAD 与 CAM 集成的桥梁。有时, CAD/CAM 技术也可称为 CAD/CAPP/CAM 技术。

1. CAD 的定义与概况

CAD 技术是指采用计算机及其交互设备, 辅助人们实现产品设计全过程, 并产生最终产品设计方案、图样及相关文档的技术。CAD 技术有三个层面上的含义, 即数据层面、过程层面和方法层面。

CAD 技术的数据层面含义是指相关产品数据的生成、表达、传递、存储、变换等的产品建模; CAD 技术的过程层面含义是指过程链建模, 以及基于过程事件与状态数据处理的规划与调度等; 而 CAD 技术的方法层面含义是指采用何种设计方法学支持过程链运行, 以产生产品数据。CAD 技术的实现依赖于产品造型系统及相关的设计支持工具集。典型的产品造型系统有 SolidWorks、Pro/Engineer、CATIA 等, 设计支持工具有生命周期分析 (Life

Cycle Assessment, LCA) 工具、设计链规划工具、DFX 评价工具等。

CAD 技术起源于 20 世纪 60 年代初出现的计算机绘图技术。1962 年, 美国麻省理工学院的萨瑟兰 (Sutherland) 首次提出了交互式计算机图形学的概念, 并据此开发了阴极显像装置及光笔等硬件设备。而 CAD 概念的正式定义则出现于由孔斯 (Coons) 在美国计算机联合大会上发表的论文中。自此, CAD 技术不断地从原理和方法等方面进行扩张, 通过设计方法学、计算机图形学、优化理论、有限元分析、自由曲面理论、人工智能, 乃至并行工程、虚拟现实与高性能计算等技术的支持, CAD 技术到目前已取得了很大的发展。

2. CAM 的定义与概况

CAM 技术是指采用计算机及其交互设备辅助人们实现数控编程, 并控制、监测、处理、变换和管理加工过程的一种技术。CAM 技术伴随着 20 世纪 50 年代中期数控技术的出现而产生。随后, APT/EXAPT 自动编程语言开始出现, 并用于提高数控加工的效率。20 世纪 70 年代用于单件小批量生产的柔性制造系统, 以及随后在 80 年代开始风行的 CIMS 技术的出现, 为 CAM 技术的发展提供了新的契机, CAM 技术也从狭义的辅助数控加工, 延伸到包括制造过程监控与管理、质量保证等在内的多个方面, 且是 FMS 和 CIMS 的一项重要基础使能技术。

3. CAD/CAM 集成技术的定义与概况

CAD/CAM 集成技术是指在不同的 CAD、CAM 系统间无缝地传递各种数据, 并从过程链的角度作为一个整体共同完成从产品设计、工艺规划、NC 编程到制造辅助等相关方面的工作。CAD/CAM 系统的集成可通过接口或系统的整体开发两种模式实现, 其中, 前者用于在已有系统间实现集成, 后者用于单一系统模式的实现。

在 CAD、CAM 技术的概念、原理与方法形成的初期阶段, CAD、CAM 技术是按各自的轨迹单独发展与进化的。20 世纪 70 年代初以来, 伴随着应用的深化, 一方面人们认识到不同 CAD 系统之间、CAD 与 CAM 系统间应该能达到数据共享, 以便产品的设计数据能被直接用于加工制造, 由此引发了对产品数据交换标准的研究, 这些标准诸如初始图形交换标准 IGES、SET 以及后来的 STEP 等, 用来指导集成接口的开发; 另一方面, 人们也发现在 CAD 与数控加工之间还应包含计算机辅助工艺规划 (CAPP)。因此, 在某种程度上, CAD 与 CAM 技术之间的连接环节是生产准备阶段实现的工艺规划。然而, 20 世纪 60 年代末出现的 CAPP 技术在开始时并未考虑到直接从 CAD 系统中获取数据。尽管如此, CAPP 的出现使得人们有机会开始把 CAD/CAM 作为一种整体技术来加以考虑与实现。为了使 CAPP/CAM 系统能直接获取 CAD 数据, 在 20 世纪 80 年代中期, 研究者提出了以形面特征为基础的特征造型概念, 并由此派生出基于特征 CAD/CAPP/CAM 集成方案。依据 CAD 系统与特征的相关性, 特征识别与特征造型技术均获得了长足的发展。

1.1.2 网络化 CAD/CAM 技术的引入与定义

网络技术出现于 20 世纪 70 年代, 到 20 世纪 90 年代, Internet/Intranet、尤其是万维网 (World Wide Web, WWW) 技术得到不断发展与完善。CAD/CAM 技术向网络化的过渡主要以 Internet/Intranet 为计算环境方面的基础支撑。另一方面, 网络化 CAD/CAM 技术的发展还需要工程技术支持, 这就是在 20 世纪 90 年代前后同时出现的敏捷制造哲理、虚拟制造技术、并行工程、网络化制造技术等先进制造技术。这两方面的因素促使了网络化 CAD/CAM

技术向纵深方向的发展。

到目前为止，网络化 CAD/CAM 技术仍是一个发展中的技术。一般人们将网络化 CAD/CAM 技术定义为：在网络环境下分布在不同地理位置上的不同 CAD、CAM 系统间无缝地传递各种数据，并以过程链为纽带，从整体协同的角度完成从产品设计、工艺规划、NC 编程到制造辅助等方面工作的一种集成技术。

网络化 CAD/CAM 技术大规模的展开得益于 Internet 的发展，且已成为上述提及的若干先进制造技术的基本使能单元技术。图 1-1 展示了 CAD、CAM、CAD/CAM、网络化 CAD/CAM 技术的发展历程、相互关系与支撑技术。

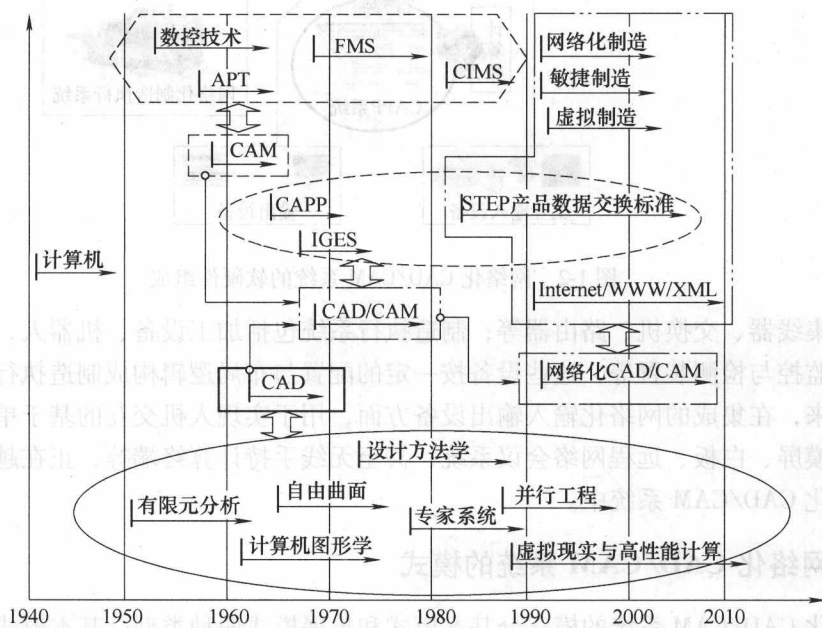


图 1-1 CAD、CAM、CAD/CAM、网络化 CAD/CAM 技术的发展历程、相互关系与支撑技术

1.2 网络化 CAD/CAM 系统的组成

网络化 CAD/CAM 技术的物理体现形式是网络化 CAD/CAM 系统。以下将讨论网络化 CAD/CAM 系统的软硬件组成及模式。

1.2.1 网络化 CAD/CAM 系统的软硬件组成

网络化 CAD/CAM 系统的软硬件组成如图 1-2 所示。

在软件方面，网络化 CAD/CAM 系统包括 CAD 系统、CAPP 系统、CAM 系统、数据库系统等。各软件系统既可以以一体化的 CAD/CAPP/CAM 系统的不同模块出现，也可以是由独立的系统通过统一接口模块构成的集成软件系统。

在硬件方面，网络化 CAD/CAM 系统包括计算机、输入设备、输出设备、网络化 CNC 加工设备和制造执行系统等。其中，输入设备包括鼠标（含三维鼠标）、键盘、数字化仪、光笔、数据手套等；输出设备包括打印机、绘图机、头盔显示器、立体眼镜等；网络设备包

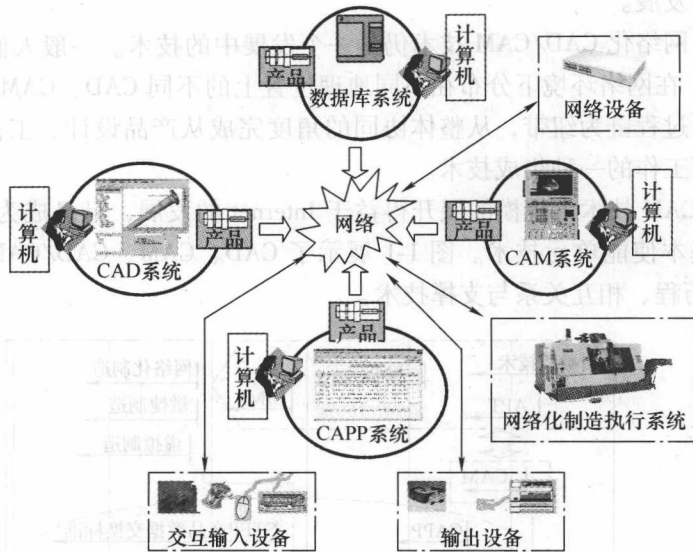


图 1-2 网络化 CAD/CAM 系统的软硬件组成

括网线、集线器、交换机、路由器等；制造执行系统包括加工设备、机器人、搬运设备、仓储设备、监控与检测装置等，这些设备按一定的配置与布局逻辑构成制造执行系统。

近年来，在集成的网络化输入输出设备方面，用于实现人机交互的基于单点或多点触控机理的触摸屏、白板、远程网络会议系统，甚至无线手持计算终端等，正在越来越多地被使用在网络化 CAD/CAM 系统中。

1.2.2 网络化 CAD/CAM 系统的模式

网络化 CAD/CAM 系统的模式分基本模式和扩展模式两种类型。基本模式包括基于直接网络集成接口模式、网络数据库模式、客户机/服务器（Client/Server, C/S）结构模式和浏览器/服务器（Browser/Server, B/S）结构模式 4 种；扩展模式根据所采用的基础信息架构的不同分为基于智能代理（Agent）的模式、基于移动智能代理的模式、基于 CORBA 的模式和基于 Web Services 的模式。基本模式可单独存在，扩展模式则在基本模式的基础上使用。

1. 网络化 CAD/CAM 系统的基本模式

基于直接网络集成接口模式的网络化 CAD/CAM 系统是指将分立的 CAX 系统，通过附加数据交换接口组合在一起，其中，不同 CAX 系统分布在不同的地点，并通过网络互联。一方面，各个系统完成自身的工作，当需要数据交换时，通过接口直接与相关的系统进行基于数据上、下载的通信。这种模式在接口方面既可设计成一对一的专用型接口，也可利用数据交换标准如 STEP 开发统一接口。当 CAX 系统属于一体化的 CAD/CAM 系统的不同模块时，模块间的数据交换则变得简单。实际上，现有商用 CAD/CAM 系统在网络化支持方面的工作是沿此方向进行的。

网络数据库模式是另一种传统的网络化 CAD/CAM 系统实现模式。同样，分立的 CAX 系统也是通过附加数据交换接口组合在一起的，但数据交换时采用数据库作为中间件，而不是系统对系统的直接交换。此外，支持 CAD/CAM 全过程的产品与过程数据可进行统一建

模,并通过数据库进行管理。显然,此模式的数据统一性优于基于直接网络集成接口模式。

C/S 结构模式是指将分立的 CAX 系统或一体化的 CAD/CAM 系统的不同 CAX 模块的程序分为服务器端和客户端程序两部分,且系统的运行与交互界面功能通过客户端程序完成。C/S 结构模式的优点在于运用真正的网络化编程技术实现系统功能,并弥补了前两种模式“伪”网络化且不能很好地支持网络化协同工作的缺陷。

B/S 结构模式是在 C/S 模式的基础上发展而来的。与 C/S 模式不同,它基于 Web 技术来实现,分立的 CAX 系统或一体化的 CAD/CAM 系统的不同 CAX 模块的程序均为服务器端程序,系统在客户端通过 Web 浏览器(如 Netscape、Internet Explorer 等)运行。同样,B/S 模式也是真正的网络化编程实现模式。

2. 网络化 CAD/CAM 系统的扩展模式

网络化 CAD/CAM 系统除继承了传统 CAD/CAM 系统的功能外,最主要的功能扩展是协同技术,以及伴随协同而产生的频繁的网上数据交换。因此,在基本模式的基础上采用不同的基础信息架构将有助于提高数据交换的效率,从而有助于协同工作的顺利进行,并达到扩展网络化 CAD/CAM 技术的目的。有关基于智能代理、移动智能代理、CORBA 和 Web Services 的网络化计算模型将在第 2 章中重点介绍。

1.3 网络化 CAD/CAM 技术的新支持技术

网络化 CAD/CAM 技术除继承了传统 CAD/CAM 技术所需的支持技术外,还依赖于不断发展的现代设计和现代制造技术的支持。

1.3.1 现代设计支持技术

新一代的网络化 CAD/CAM 技术需要现代设计技术的匹配与支持。这种匹配与支持主要体现在 3 个层次上,即产品设计方法、产品设计链建模和调度执行技术、多学科设计决策与基于知识的设计综合方法。此外,新一代的人机交互技术以及相关的硬件,为网络化 CAD/CAM 系统提供了更强有力的支撑。在此基础上,形成新的协同设计架构、理论与方法相应的关键技术。

1. 产品设计方法

产品设计方法是产品设计的灵魂,它规定了如何产生设计结果即产品文档的规范、流程、可使用的设计资源(如算法、知识、信息等)和问题求解的思路等。产品设计方法主要有以贝茨(Beitz)等为代表的欧洲学派和以苏哈(N. Suh)为代表的美国学派,他们先后发展了如 VDI2221、公理设计法等设计理论。此外,产品设计方法根据应用场合的不同,还有诸如等寿命设计法、优化设计法、可靠性设计法、基于 DFX 的设计法等,并已有相应的设计支持工具。

满足产品个性化需求的设计理论是近年来学术研究与工业应用的重点,与此相适应的产品平台设计方法则是在 20 世纪 90 年代末发展起来的一种新的设计理论,目前仍在发展之中。产品平台设计方法旨在利用一个通用、成熟的产品平台(Platform),通过匹配功能、色彩、性能等不同的定制模块,以最短的开发周期、最低的成本向市场提供不同系列的产品,以满足不同客户群的需求。

产品平台设计方法是制造企业快速开发产品、降低成本、实现大批量定制生产的有效途径,被汽车、家电、计算机等行业的制造企业广泛采用。产品平台可支撑产品族设计,从而为产品的个性化需求提供支持产品族设计的基本流程如图 1-3 所示。

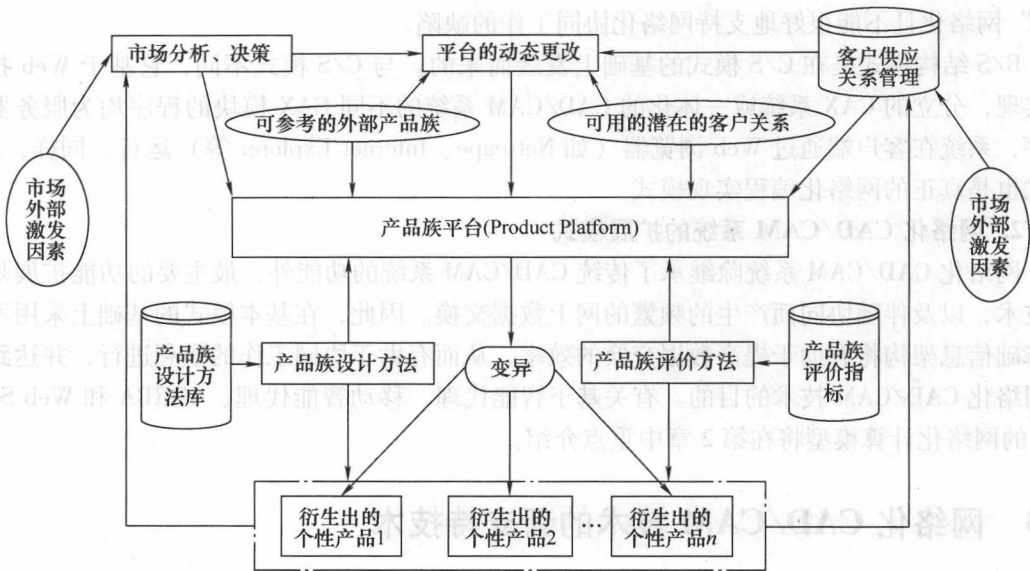


图 1-3 产品族设计的基本流程

这里,产品设计工作从识别客户和市场需求开始,产品平台是产品族设计的核心,是衍生新的变异产品的基础。一个完整的产品平台设计框架必须由产品平台设计、产品平台评价、产品变异等模块组成。通过客户关系管理,客户可以对自己所关心的产品功能直接进行动态配置,并且客户得到的最终定制产品也能够通过客户、市场关系映射到产品的功能视图上,因此产品平台设计框架是一个动态、闭环的结构。

2. 产品设计链建模与调度执行技术

随着市场竞争的加剧,企业间的合作也越来越密切,许多企业意识到与供应商的合作会带来更大的利益,于是越来越多的供应商得以参与到产品早期的设计过程中,企业与供应商的产品协同设计网络就构成了产品设计链(Product Design Chain, PDC)的概念。英国学者特威格(Twigg)、美国学者马丁(Martin)和设计链协会(Design Chain Associations, DCA)等都从不同角度给出了设计链的概念。但总体来说,关于设计链没有公认的统一定义。我们可以将设计链描述为:以协同设计、先进制造、供应链等理论为基础,以计算机技术和通信技术为支撑,以动态、分布式的产品设计网络为载体,通过建立设计过程链模型和优化配置设计过程中的各种资源,以缩短开发周期、降低成本、提高企业核心竞争力为目标的一种设计哲理。

设计链的研究内容非常广泛,主要包括设计链的建模与调度、供应商的早期介入、设计链的管理等方面,其中设计链的建模与调度是非常重要的。该技术分为两个层次,一层为参考模型,一层为执行模型。参考模型从整体的角度定义设计链,如供应链协会(Supply Chain Council, SCC)提出的设计链参考模型(Design Chain Operation Reference model,

DCOR) 就是一个业界公认的参考模型。DCOR 是一个以流程观点、绩效评价观点和行业最佳实践等构建的设计链架构工具, 该模型对企业构建合理的设计链具有良好的参考作用, 但是缺乏运营模式分析、对流程的处理也较为粗糙, 目前还在完善中, 一般用于企业层面的设计链建模。

执行模型则是从具体的设计角度入手, 构建设计过程的模型, 并采用相应的数学手段对设计过程进行计算分析, 以达到对模型优化和调度执行的目的。常用的方法有 workflow 技术、图论、设计结构矩阵 (Design Structure Matrix, DSM) 和 Petri 网等。如采用图论的方法, 其建模和调度流程可描述如下: 将设计活动定义为一个节点, 并赋予节点相应的属性; 根据节点间的相互关系 (如串行、并行、条件和循环等) 构建设计过程的有向图模型; 然后将有向图转化为树状结构, 根据相应的约束对树进行广度和深度搜索, 寻找最优路径, 达到对设计过程调度的目的。

设计链的建模和调度执行技术如图 1-4 所示。

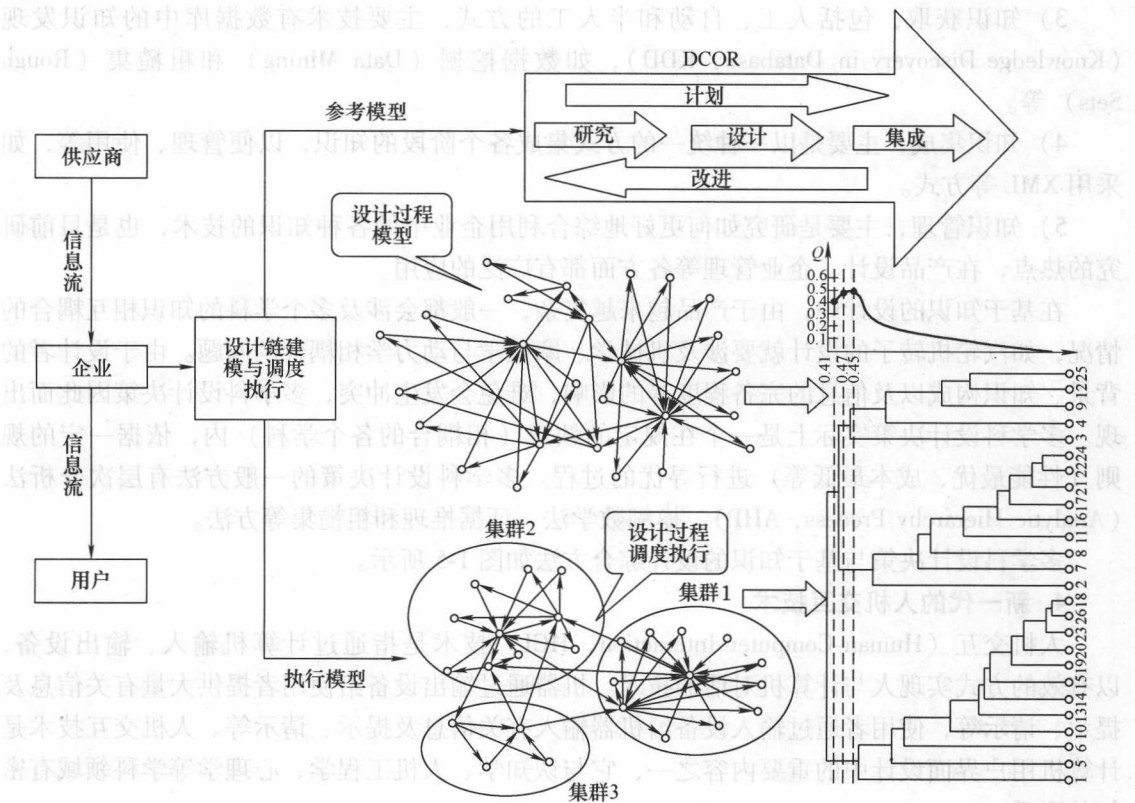


图 1-4 设计链的建模与调度执行技术

3. 多学科设计决策与基于知识的设计综合方法

在现代设计的整个周期的各个阶段, 都包含着大量的知识, 现代产品设计过程实际上就是一个知识驱动的创新设计过程。基于知识的设计方法正是面向现代设计要求而产生的新型智能设计方法, 已经成为现代设计发展的重要方面。在基于知识的设计过程中, 会涉及众多

不同学科的知识,有可能会出现不同学科间的冲突,这就需要用到多学科协同设计决策的方法。

这里首先要说明数据、信息和知识之间的区别与联系。数据一般是指一组数值,如果不在具体的语境下就没有特定的意义;信息是有相互关系的数据,且具有一定的意义;知识则是通过信息之间的关系来表明某种规律。这三者既是信息逐步取精逐步细化的过程,也体现了人类认识逐步提高的过程。

基于知识的设计方法是一种面向设计全过程的方法,它以先进制造技术、人工智能、计算机技术等为基础,以CAD技术等为辅助,将与知识相关的技术,如知识表示、推理、获取、集成、管理等集成到设计过程的各个阶段,达到提高设计的效率和企业核心竞争力的目的。基于知识的设计方法的核心内容是与知识相关的技术,其中包括:

1) 知识的表达,如产生式规则、谓词逻辑、面向对象、语义网络、本体论等,以及其中几种的混合表达方式。

2) 知识推理,有正向推理、逆向推理、混合推理和双向推理等。

3) 知识获取,包括人工、自动和半人工的方式,主要技术有数据库中的知识发现(Knowledge Discovery in Database, KDD),如数据挖掘(Data Mining)和粗糙集(Rough Sets)等。

4) 知识集成,主要是以一种统一的方式集成各个阶段的知识,以便管理、使用等,如采用XML等方式。

5) 知识管理,主要是研究如何更好地综合利用企业中的各种知识的技术,也是目前研究的热点,在产品设计、企业管理等各方面都有广泛的应用。

在基于知识的设计中,由于产品越来越复杂,一般都会涉及多个学科的知识相互耦合的情况,如汽轮机转子的设计就要涉及机械学、摩擦学与动力学相耦合的问题。由于设计者的背景、知识构成以及信息的完备程度等的影响,难免会发生冲突,多学科设计决策因此而出现。多学科设计决策实际上是一个在规定的领域(相耦合的各个学科)内,依据一定的规则(性能最优、成本最低等)进行寻优的过程。多学科设计决策的一般方法有层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)、模糊数学法、证据推理和粗糙集等方法。

多学科设计决策与基于知识的设计综合方法如图1-5所示。

4. 新一代的人机交互技术

人机交互(Human-Computer Interaction, HCI)技术是指通过计算机输入、输出设备,以有效的方式实现人与计算机对话的技术。机器通过输出设备给使用者提供大量有关信息及提示、请示等,使用者通过输入设备给机器输入有关信息及提示、请示等。人机交互技术是计算机用户界面设计中的重要内容之一,它与认知学、人机工程学、心理学等学科领域有密切的联系。

传统的人机交互技术主要包括标准的输入输出设备,如鼠标(含三维鼠标)、键盘、显示器、立体眼镜等。新一代的人机交互技术则更注重用户的感受和随时随地参与交互的需求,其中单点或多点的触控技术、白板、无线手持终端等正是这一技术的代表。

单点或多点触控是一种新的人机交互模式,它抛弃了传统的鼠标、键盘等人机交互设备,通过触摸以及手指的动作来实现操作。触摸屏就是一种触控技术,但是它只支持单点和固定屏幕的操作,现在有很多厂家和研究所在对这一技术进行研究,比较著名的有微软的表

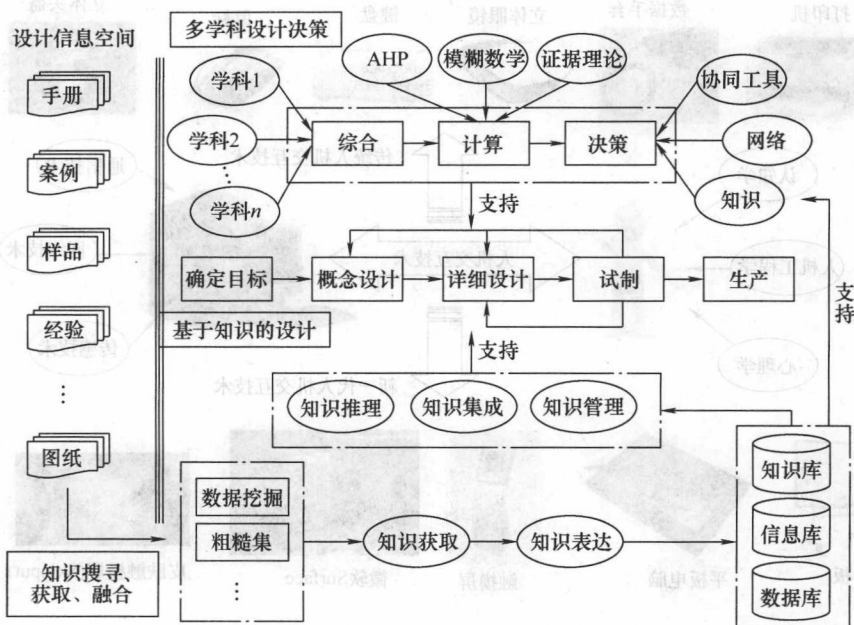


图 1-5 多学科设计决策与基于知识的设计综合方法

面计算 (Surfacing Computing)。微软组建了一个 Surface 平台, 用来实现 Surfacing Computing 技术, 该平台是一个表面安装了 30in (1in = 25.4mm) 显示器的工作台, 分辨率为 1024 × 768, 刷新率为 60Hz, 内部驱动硬件包括奔腾 4 (Pentium 4) 3GHz 处理器、2GB 内存、标准桌面独立显卡、电源、立体声扬声器、红外照明灯等, 成像部分则是五个重叠的镜头和一个短焦广角 DLP 投影仪, 镜头距离桌面 21in。其显示器可以接收多个触摸输入信号, 支持多人同时操作。麻省理工学院 (MIT) 则演示了一种可以投影在皮肤上进行操作的技术, 该技术支持操作者在自己手臂或身体的其他部位敲击投影的屏幕, 进行相应的操作, 甚至在运动过程中也可达到不错的识别程度。

白板 (White Board) 是另一种新兴的人机交互设备, 由硬件白板和相应的操作软件组成。它的核心组件是电子感应的白板、感应笔、计算机和投影仪。白板集传统的黑板、计算机、投影仪等多种功能于一身, 使用非常方便。利用特定的定位笔代替鼠标在白板上进行操作, 可以运行任何应用程序, 可以对文件进行编辑、注释、保存等。白板还为远程协同交互提供了新的解决方案, 使用者可以以白板为载体召开远程网络会议。

随着人们对网络的利用率越来越高, 许多便携式的计算终端不断出现, 以满足人们随时随地接入网络的要求, 如上网本、PDA、平板电脑等。这些终端以其携带方便、功能强大而逐渐成为人们的新宠。这些终端的操作方式, 从早期的键盘鼠标操作 (如上网本等), 到后来的触摸屏操作 (如 PDA 等), 再到后来的多点触控操作 (如平板电脑等), 也验证了新一代人机交互技术的进展。

新一代人机交互设备的广泛运用, 对于计算机技术及其相关领域的发展有着不可估量的作用。图 1-6 所示为传统与新一代人机交互系统示意图。