

2001 年上海大学博士学位论文

10

现代集成制造环境下基于PDM的 CAPPTool系统研究与开发

作者：毛军波

专业：机械设计与理论

导师：方明伦



上海大学出版社

2001 年上海大学博士学位论文

现代集成制造环境下基于 PDM 的 CAPPTool 系统研究与开发

作 者: 毛海波

专 业: 机械设计与理论

导 师: 方明伦

上海大学出版社

· 上 海 ·

Shanghai University Doctoral Dissertation (2001)

**Research and Development of PDM Based
CAPPTool System in Contemporary
Integrated Manufacturing Environment**

Candidate: Mao Junbo

Major: Mechanic Design and Theory

Supervisor: Prof. Fang Minglun

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查，确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单：

主任：周勤之	院士，上海机床厂有限公司	200063
委员：马登哲	教授，上海交通大学 CIMS 所	200030
严隽薇	教授，同济大学 CIMS 所	200092
王诚德	教授，上海大学机自学院	200072
王庆林	教授级高工，上海飞机制造厂	200435
导师：方明伦	教授，上海大学	200072

评阅人名单:

周勤之	院士, 上海机床厂有限公司	200063
王先逵	教授, 清华大学精密系	100084
张 浩	教授, 同济大学 CIMS 所	200092

评议人名单:

陈康宁	教授, 西安交通大学机械工程系	710049
郭大津	教授, 同济大学机械系	200092
叶洪根	教授级高工, 上海电器科学研究所	200050
王诚德	教授, 上海大学机电学院	200072
金 烨	教授, 上海交通大学机械学院	200030
费仁元	教授, 北京工业大学机电学院	100222
葛巧琴	教授, 东南大学机械系	210018

答辩委员会对论文的评语

现代集成制造需要体系上开放、功能上集成、工程上实用的工艺设计系统。毛军波同学的博士论文“现代集成制造环境下基于PDM的CAPPTool系统研究与开发”为解决这一问题提供了良好途径,拓展了CAPP的发展思路,而国内外多家企业的实施应用也验证了系统的可行性和有效性,使论文具有重要的理论意义和实用价值。

毛军波同学博士论文的创造性与研究成果在于:

(1) 从系统化、工程化、开放性和可行性出发,基于PDM的CAPPTool系统以外壳框架、功能预构件和二次开发工具作为实现机制,构造了一个面向集成、面向产品、面向并行工程、实用的CAPP工具系统。

(2) 该系统扩展了PDM系统中的产品数据结构,改变了传统CAPP系统中的工艺设计和过程管理模式,具有产品工程数据的一致性、唯一性及有效性,开创了基于PDM平台进行工具型CAPP系统研究与开发的先例。

(3) 在PDM平台上由CAPPTool系统生成的实用CAPP系统不仅能完成工艺过程设计和面向产品的工艺信息管理,而且能满足其上下集成环节的信息共享需求,是一个基于PDM实用CAPP系统的成功典范。

(4) 基于PDM的CAPPTool系统在多个企业进行了应用实施,缩短了实用CAPP系统的开发周期,满足了企业的实际需求,验证了系统的可行性。

(5) 提出了在PDM环境下CAPPTool的VⅡPP的思想,发

展了 CAPP 实用技术，为 CAPP 的虚拟化、可视化提供了一种新的实现思路。

论文工作反映了毛军波同学在本专业领域具备了较宽广的理论基础，掌握了系统深入的专业知识，具有独立从事科学研究工作的能力。论文内容丰富，结构合理，文字流畅，达到了博士学位论文水平。

答辩过程中，毛军波同学叙述清楚，回答问题正确。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决，全票同意通过毛军波同学的博士学位论文答辩，建议授予工学博士学位。

答辩委员会主席：**周勤之**

2001 年 5 月 23 日

摘 要

本文针对现代集成制造系统的需求, 进行基于 PDM 的 CAPPTool 系统的研究与开发, 目的在于为企业实用 CAPP 系统生成提供工具软件和设计平台, 同时对面向现代集成制造的可视化、虚拟化工艺规划进行了探索研究, 提出了 VPP (Visual and Virtual Process Planning) 的思想, 作为对基于 PDM 的 CAPPTool 系统的发展。

本论文课题来源于上海市科学技术发展基金项目“面向产品对象的 CAD/CAPP 数据管理系统”和上海市科学技术发展基金项目“基于 PDM 的 CAPP 系统研究开发”。本文是作者结合上述实际课题, 兼顾理论与工程实践, 总体规划, 分步展开, 重点突出, 从理论、方法、探索研究和应用实践四个层面上进行初步研究的点滴成果和工作总结。

本文在理论上, 通过对 CAPP 研究与应用现状的分析, 结合现代集成制造哲理及其相关方法与技术发展趋势, 阐明了 CAPP 研究中存在的主要问题, 论述了 CAPP 自身的发展趋势。根据 CAPP 技术原理的一致性和 CAPP 系统的开发模式, 提出了 CAPPTool 方法原理。在分析 PDM 系统体系结构的基础上, 对松散耦合式、接口式和功能集成式三种集成方案进行分析比较, 确定功能集成作为基于 PDM 的 CAPPTool 系统的集成方案, 确立了系统的设计思想。

本文在方法上, 进行基于 PDM 的 CAPPTool 系统体系结构研究与实现, 确定了包括用户界面层、功能层和数据层的三层结

构体系,综合利用外壳框架、功能预构件和二次开发工具作为系统的实现方法.面向 PDM 系统对象,在 PDM 平台上分别进行 CAPPTool 系统的工艺知识库、工艺数据库和制造资源库的设计与实现,将 PDM 系统功能融入 CAPPTool 系统的外壳框架或功能预构件进行工艺设计功能、面向产品的工艺信息管理系统和智能化工艺输出系统进行设计和实现,并引入马尔科夫链理论进行加工序列生成算法的研究.

本文在探索研究上,将可视化、虚拟化原理应用到工艺规划系统中,提出了 V^{II}PP 的思想,作为对基于 PDM 的 CAPPTool 系统的发展.针对 V^{II}PP 系统的功能需求,对系统的总体方案和体系结构进行了研究,并重点论述了虚拟平台构造和可视化工艺分析技术.

本文在应用实践上,确立了包括实用 CAPP 系统原型构造、原型系统完善和系统维护三个阶段的 CAPPTool 系统工程化实施体系.以上海汽车齿轮总厂为应用案例,分析企业的问题所在和应用需求,在对企业进行 PDM 实施的基础上,由 CAPPTool 系统构造出 SAGWCAPP 系统,验证了基于 PDM 的 CAPPTool 系统的可行性和有效性.

关键词 现代集成制造, PDM, CAPPTool, 功能集成, 面向对象技术, 外壳框架, 功能预构件, 可视化、虚拟化工艺规划

Abstract

In Contemporary Integration Manufacturing environment, it is of great importance to provide the enterprise with tool software and design platform to produce the applied CAPP system. Attention is paid on the research and development of CAPPTool system based upon PDM in this paper. And as the development of CAPPTool system based upon PDM, the Contemporary Integration Manufacturing Oriented V II PP (Visual and Virtual Process Planning) theory is proposed.

Based on the projects of "Production Object Oriented CAD/CAPP Data Management System" and "Research and Development of PDM Based CAPP System", the research of PDM based CAPPTool system has been gone on. In this paper, from the four layers of theory layer, methodology layer, innovation layer and application layer, attention is paid on theory research as well as on enterprise application.

In the theory layer, according to the analysis of CAPP research and application, combining with the theory and development direction of Contemporary Integration Manufacturing, the problems and development tendency of CAPP are discussed. According to the technical uniformity principle and the development methods of CAPP system, the CAPPTool theory is proposed. Based on the analysis of PDM system architecture, the three integration methods: loose coupling method, interface method and functional integration are compared, and the functional integration method is chosen for the PDM based CAPPTool system, which establishes the design principle of CAPPTool system.

In the methodology layer, system architecture and implement

mechanism of PDM based CAPPTool system is studied. The architecture of CAPPTool system consists of three layers: user interface layer, function layer and data layer, which synthetically uses shell framework, functional modules and development tools as implement method. Using object-oriented technology, the knowledge database, the process database and the manufacturing resource database of PDM based CAPPTool system are designed and implemented. The process design function, the production oriented process information management system and the intelligent process output system are designed and implemented as shell framework or functional modules.

In the innovation layer, as the development of PDM based CAPPTool system, the visual theory and virtual theory are applied to CAPP, and the V II PP theory is proposed. According to the functional requirement of V II PP system, system architecture is studied, and attentions are paid on virtual platform construction and visual process analysis technology in this paper.

In the application layer, the implement architecture of CAPPTool system is given, which consists of three phases: applied CAPP prototype construction, prototype perfection and system maintenance. In this paper, Shanghai Automobile Gear Works as the application case, the feasibility of CAPPTool system is proved. In this case, existent problems and application requirement are first analyzed, then PDM system is implemented in the enterprise, finally the SAGWCAPP system is constructed by CAPPTool system.

Key words Contemporary Integration Manufacturing, PDM, CAPPTool, Functional Integration, Object Oriented Technology, Shell Framework, Functional Module, Visual and Virtual Process Planning

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 引 言	1
1.2 CAPP 研究、应用状况分析	2
1.3 现代集成制造理念及其发展	6
1.4 CAPP 的发展趋势	14
1.5 论文研究的主要内容	18
第二章 基于 PDM 的 CAPPTool 方法论研究	21
2.1 CAPP 技术原理的一致性	21
2.2 CAPP 系统的开发模式及 CAPPTool 方法论	22
2.3 PDM 的哲理及体系结构	25
2.4 PDM 与 CAPP 系统的集成模式研究	28
2.5 PDM 与 CAPPTool 系统的功能集成分析	33
2.6 基于 PDM 的 CAPPTool 系统的设计思想	42
2.7 本章小结	43
第三章 基于 PDM 的 CAPPTool 系统体系结构研究与实现 ..	45
3.1 基于 PDM 的 CAPPTool 系统的体系结构	45
3.2 PDM 平台上 CAPPTool 系统面向对象的 工艺知识库的设计与实现	52
3.3 PDM 平台上 CAPPTool 系统面向对象的 工艺数据库的设计与实现	68
3.4 PDM 平台上 CAPPTool 系统面向对象的 制造资源库的设计与实现	72
3.5 基于 PDM 的 CAPPTool 系统工艺设计功能的	

设计与实现	74
3.6 CAPPTool 系统的加工序列生成算法研究	84
3.7 PDM 平台上 CAPPTool 系统面向产品的 工艺信息管理系统的设计与实现	90
3.8 PDM 平台上 CAPPTool 系统的智能化 工艺输出系统的设计与实现	101
3.9 基于 PDM 的 CAPPTool 系统的二次 开发工具功能	104
3.10 本章小结	105
第四章 可视化、虚拟化工艺规划研究	107
4.1 可视化、虚拟化理论及研究	108
4.2 V II PP 的原理与功能需求	113
4.3 V II PP 系统的体系结构研究	117
4.4 V II PP 的关键使能技术研究	122
4.5 本章小结	134
第五章 基于 PDM 的 CAPPTool 系统的工程化	
实施与应用案例	135
5.1 基于 PDM 的 CAPPTool 系统的工程 化实施体系	135
5.2 应用案例需求分析	144
5.3 企业 PDM 实施	148
5.4 应用案例 SAGWCAPP 系统	163
5.5 本章小结	177
第六章 结论与展望	179
参考文献	183
致 谢	194

第一章 绪 论

1.1 引 言

计算机辅助工艺过程设计 (CAPP: Computer Aided Process Planning) 是连接 CAD 与 CAM 的桥梁, 是许多先进制造系统的技术基础之一。自 20 世纪 60 年代末诞生以来, CAPP 技术在国内外蓬勃发展, 并逐渐引起越来越多的重视, 美国机械工程师协会 (ASME)、国际生产工程研究会 (CIRP)、国内外各类生产 (制造) 自动化会议、计算机集成制造技术学术会议等都设立了 CAPP 或 CAD/CAPP/CAM 专题。近年来, 随着计算机集成制造系统 (CIMS: Computer Integrated Manufacturing System)、并行工程 (CE: Concurrent Engineering)、智能制造系统 (IMS: Intelligent Manufacturing System)、虚拟制造系统 (VMS: Virtual manufacturing System)、敏捷制造 (AM: Agile Manufacturing) 等现代集成制造 (Contemporary Integrated Manufacturing) 理念、系统模式的发展, 无论从广度上还是从深度上, 都对 CAPP 的发展提出了更新更高的要求。遗憾的是, 尽管国内外在各种决策方式、智能化和集成化等方面取得许多成绩, 但 CAPP 的应用基础还不很牢固, 研究开发方向与企业的实际需求有较大差距, CAPP 作为一种将工艺设计人员从许多工艺设计工作中解脱出来的一种工具, 现有系统还不能成为企业的解决方案^[1], CAPP 在企业

中的应用已经落后于新概念的应用和新系统的开发^[2]；另一方面，工艺设计方法缺乏良好的理论和坚实的科学基础也是阻碍 CAPP 发展的重要因素，特别是近年来，国内外研究者日益认识到 CAPP 基础性理论和方法研究的重要性^[3,4]。

本论文课题来源于上海市科学技术发展基金项目“面向产品对象的 CAD/CAPP 数据管理系统”和上海市科学技术发展基金项目“基于 PDM 的 CAPP 系统研究开发”。作者结合上述课题，针对现代集成制造系统的要求，在 PDM 平台上对 CAPPTool 系统的方法论、体系结构、设计与实现机制和工程化实施体系进行了深入研究，提出了可视化、虚拟化工艺规划（V II PP: Visual and Virtual Process Planning）的思想，并将 CAPPTool 系统在企业实用 CAPP 系统构造中进行验证，本文是对上述理论研究和工程实践工作的总结。

1.2 CAPP 研究、应用状况分析

1.2.1 CAPP 的研究、应用状况

在国外，CAPP 的研究已经有 30 多年的历史，我国也已经进行了 10 多年的研究和实践，国内外 CAPP 发展史上具有里程碑意义的是 CAM-I'APP 系统和 TOJICAP 系统。CAM-I'APP 系统是美国国际计算机辅助制造公司（Computer Aided Manufacturing - International）于 1976 年推出的自动工艺设计系统（Automation Process Planning System），是国际上第一个较有影响力的 CAPP 系统，它采用基于成组编码的派生法原理，是一个由用户提供标准工艺的可适合各类零件（回转体、菱形体和钣金）的工艺设计系统。

表 1.1 国内外部分具有代表性的 CAPP 系统

系统特点 系统名称	适合对象类型			信息输入 方式			工艺设计方法			开发单位	日期	
	回 转 体	非回 转体	装 配 体	基 于 CAD	交 互	编 码	派 生 式	创 成 式	专 家 系 统	交 互 式		
AUTOPROS	✓				✓					✓	挪威 NAKK	1969
CAPP	✓	✓				✓	✓				美国 CAM-I 公司	1976
AUTAP	✓	板金件		✓	✓			✓			西德阿亨大学	1980
GARI		孔、槽			✓			✓	✓		法国	1981
TOM		板金件		✓					✓		日本东京大学	1982
TOJICAP	✓					✓	✓				同济大学	1982
CAOS	✓							✓			西北工业大学	1983
SIPS	✓				✓				✓		美国普渡大学	1986
EXCAP-P	✓				✓				✓		英国 UMIST	1986
BITCAPP	✓					✓	✓				北京理工大学	1987
J2CAPP	✓	✓				✓	✓				济南第二机床厂	1987
NHCAPP	✓					✓	✓	✓			南京航空航天大学	1988
XTDCAP	✓					✓	✓		✓		西安交通大学	1988
TOJICAP		✓				✓		✓			同济大学	1988
BRCAPP	✓			✓	✓	✓			✓		北京航空航天大学	1989
THCAPP		✓		✓		✓			✓		清华大学	1989
MACRO-CAPP	✓	棱形体				✓		✓			美国纽约州立大学	1989
PART	✓	棱形体			✓	✓		✓	✓		荷兰	1990
TIPPS	✓	棱形体		✓		✓			✓		美国普渡大学	1990
TDBOX-CAPP		✓			✓				✓		天津大学	1991
CTUCAPP		✓			✓	✓	✓				中国纺织大学	1992
SE-CAP/NC	✓			✓			✓	✓			东南大学	1992
SIP		✓	✓		✓			✓	✓	✓	上海交通大学	1993
PCAP	✓			✓			✓	✓	✓	✓	华中理工大学	1995
RZBJCAPP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	中国纺织大学	1997
开目 CAPP	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓	开目技术集成公司	1998
CAPPFramework	✓	✓			✓		✓	✓		✓	西工大陕西金叶	2000

可以进行工艺路线的生成和部分工序设计工作,采用 FORTRAN 作为编程语言.国内最先推出的 CAPP 系统是同济大学研制的 TOJICAP 系统^[5],1982 年推出了针对回转类零件的 CAPP 系统,1988 年推出了针对非回转类零件的 CAPP 系统,前者为基于成组编码的派生式系统,后者为基于决策规则的创成式系统,分别采用 BASIC 和 FORTRAN 作为编程语言.在此之后,国内外研究人员进行了大量的研究工作,诞生了众多的 CAPP 系统,表 1.1 是国内外部分有代表意义的 CAPP 系统^[6-11].

综观国内外 CAPP 的研究与应用历程,可归纳为如下几点:

1) 从派生式系统向创成式系统发展,基于知识的专家系统成为 CAPP 研究开发的主流;

2) 从适合回转类零件的系统向适合非回转类零件的系统发展;

3) 从设计零件机械加工工艺规程的系统向设计产品工艺规程的系统发展;

4) 从孤立的 CAPP 系统向集成化 (CAD/CAPP、CAPP/NC、CAD/CAPP/CAM、CAPP/PPC 等) 系统发展;

5) 从传统的 CAPP 系统向智能化的 CAPP 系统发展;

6) 从针对性开发 CAPP 系统向研制 CAPP 开发工具或 CAPP 开发平台发展;

7) 从实验室型或学术型的 CAPP 系统向实用型的 CAPP 系统发展;

8) 从集中式 CAPP 系统向分布式 CAPP 系统发展;

9) 到目前为止,真正能在企业中发挥作用的系统大多数仍是交互型或派生型 CAPP 系统.

目前,国内 CAPP 的研究的深入程度、覆盖面和发展水平已经处于与国外并驾齐驱的阶段^[12],研究成果主要表现为以下三个