

# 快速原型虚拟逼真设计

曹岩 著



化学工业出版社

TP391.9/66

2008

# 快速原型虚拟逼真设计

曹 岩 著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本专著主要介绍虚拟制造国内外研究概况、研究的目的和意义以及主要研究工作。提出了建立虚拟制造系统的框架结构,虚拟制造系统的三级结构,虚拟制造的实施对产品开发、企业组织、技术、管理和人员等方面的影响。讨论基于虚拟原型的设计过程模型的生成,基于虚拟原型和设计过程集成建模的、面向并行工程的设计过程管理,产品设计综合评价的原理和三维体系结构,以实现在产品设计的各个阶段,在不同层次上对产品设计进行多角度的评价,为设计决策提供所设计产品综合性能的评价。在分析坐标测量机研究现状的基础上,基于前面章节对快速原型虚拟逼真设计的论述,研究快速原型虚拟逼真设计在坐标测量机研制上的应用等。

## 图书在版编目(CIP)数据

快速原型虚拟逼真设计/曹岩著. —北京:化学工业出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-122-01949-3

I. 快… II. 曹… III. 计算机辅助设计与制造-研究 IV. TP391.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第006291号

---

责任编辑:张敏

装帧设计:唐瑞刚

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张8 字数195千字 2008年1月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:32.00元

版权所有 违者必究

# 前 言

在当今全球制造的新时代, 虚拟制造为制造业迎接新的挑战提供了一种新的制造策略和方法。本专著在分析现代制造环境下企业所面临的复杂性的基础上, 提出了虚拟制造的概念, 并对其功能进行了详细论述, 分析了虚拟制造研究的现状, 并提出了虚拟制造研究的关键技术。

面对制造环境的复杂性、制造产品的复杂性以及制造系统和制造过程本身的复杂性, 作者提出通过虚拟制造系统对制造企业进行多方面集成, 使其能够根据市场变化进行自我调节、自我完善、自我改造和自我发展。在分析虚拟制造系统功能的基础上, 提出了一种虚拟制造系统的体系结构, 并讨论了虚拟环境下基于黑板控制系统的分布式并行协作以及基于虚拟制造系统的制造企业多集成。

在分析虚拟制造背景、概念、特点和作用的基础上, 作者从三个层次上论述了虚拟制造的实施, 提出了建立虚拟制造系统的框架结构及其三级结构, 虚拟制造的实施对产品开发、企业组织、技术、管理和人员等方面的影响, 并且提出了建立虚拟制造系统的 4 级规模, 讨论了影响虚拟制造实施的一些关键因素。

在分析设计的特点和发展趋势的基础上, 提出了快速原型虚拟逼真设计的概念, 并对其原理和特点进行了讨论, 也从 3 个层次上研究了快速原型逼真设计。

根据快速原型虚拟逼真设计的概念和思想, 提出快速原型虚拟逼真设计模型以及基于该模型的快速原型虚拟逼真设计的体系结构, 并且对其关键功能进行了详细讨论。

实现快速原型虚拟逼真设计的基本问题是产品 and 设计过程的表达及其实现。提出虚拟原型的概念、功能要求和特点, 研究了基于 Meta 模型的各种模型的集成和虚拟原型的信息组织, 讨论了基于虚拟原型 4 个机制的主动信息服务。

研究虚拟原型与设计过程模型的集成问题以及基于该集成模型的设计进程管理。首先讨论了基于虚拟原型的设计过程模型的生成, 然后讨论基于虚拟原型和设计过程集成建模的、面向并行工程的设计过程管理。并重点讨论了两个问题: ①通过初步设计信息交换加快设计进程; ②产品开发组织动态生成与管理。

提出了产品设计综合评价的概念和定义, 基于产品设计综合评价模型, 讨论了产品设计综合评价的原理和三维体系结构, 以支持在产品设计的各个阶段, 在不同层次上对产品设计进行多角度的评价, 为设计人员提供所设计产品综合性能的评价。并重点对产品设计综合评价的实施方法和基于产品设计综合评价的产品设计修改和优化过程进行了讨论。

在分析坐标测量机研究现状的基础上和基于前面章节对快速原型虚拟逼真设计的论述, 作者研究了快速原型虚拟逼真设计在坐标测量机研制上的应用。重点讨论: ①虚拟原型和计算机仿真在坐标测量机设计方面的应用; ②虚拟原型、计算机仿真和物理试验在坐标测量机误差补偿方面的应用, 并提出了虚拟误差补偿的概念。

将虚拟原型和仿真应用于移动桥式三坐标测量机 CMM ZOO3/1077 的静、动、热特性的

研究,以提高测量精度和加速度。首先,作者对 CMM 结构进行有限元建模,研究各种工作条件下原始设计的静、动、热特性,分析了原始设计所存在的问题。然后,根据协同工作的研究结果和提高策略专家系统所提供的改进策略,对左立柱、右立柱、横梁和滑架分别采用新材料、不同的结构和参数进行了分析。通过设计改进后的 CMM 与原始设计的静、动、热特性比较,发现改进后的 CMM 比原始设计优越,从而能够在温控环境中达到更高的测量精度和测量加速度。最后,基于以上分析与研究,通过 CMM 结构和参数优化以进一步提高改进后的 CMM 性能。

本专著所进行的研究得到西安交通大学赵汝嘉教授的精心指导和西安交通大学博士学位论文基金资助,本专著的出版得到西安工业大学专著基金的资助,编者在此表示衷心的感谢。同时,对于在本专著的研究过程中给予作者帮助和建议的各位老师和同学,表示衷心的感谢。由于作者水平所限,不妥之处在所难免,还请专家和读者多提宝贵意见,作者在此深表谢意。

作者

2007 年 11 月

# 目 录

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                         | 1  |
| 1.1 虚拟制造国内外研究概况 .....                  | 1  |
| 1.1.1 产生的背景 .....                      | 1  |
| 1.1.2 虚拟制造的概念 .....                    | 1  |
| 1.1.3 研究现状和关键技术 .....                  | 2  |
| 1.2 研究目的和意义 .....                      | 4  |
| 1.3 研究方法和实施过程、工程项目背景以及主要研究工作 .....     | 4  |
| 1.3.1 研究方法和实施过程 .....                  | 4  |
| 1.3.2 工程项目背景 .....                     | 5  |
| 1.3.3 主要研究工作 .....                     | 5  |
| 第 2 章 虚拟制造系统体系结构及实施途径 .....            | 8  |
| 2.1 虚拟制造的概念 .....                      | 8  |
| 2.2 虚拟制造系统的技术群及其功能 .....               | 8  |
| 2.2.1 实现制造企业产品开发过程的集成 .....            | 9  |
| 2.2.2 实现了虚拟产品设计/虚拟制造仿真闭环产品开发模式 .....   | 9  |
| 2.2.3 提高产品开发过程中的决策和控制能力 .....          | 10 |
| 2.2.4 提高企业自我调节、自我完善、自我改造和自我发展的能力 ..... | 10 |
| 2.3 虚拟制造系统的体系结构 .....                  | 10 |
| 2.3.1 基于黑板控制系统的分布式并行处理协同求解 .....       | 11 |
| 2.3.2 基于集成过程建模实现产品开发过程管理与控制 .....      | 12 |
| 2.4 虚拟制造实施的三个层次 .....                  | 13 |
| 2.4.1 虚拟制造哲理和方法论的指导意义 .....            | 13 |
| 2.4.2 虚拟制造技术与系统的原理和方法论的研究 .....        | 13 |
| 2.4.3 虚拟制造系统的建立 .....                  | 13 |
| 2.5 虚拟制造的实施对制造企业诸要素的影响 .....           | 15 |
| 2.5.1 在产品方面——虚拟产品开发 .....              | 15 |
| 2.5.2 在组织结构方面——组织结构的虚拟化 .....          | 16 |
| 2.5.3 在管理方面——虚拟工作空间 .....              | 16 |
| 2.5.4 在技术方面——各种先进制造技术和方法的大量应用 .....    | 16 |
| 2.5.5 在人的方面 .....                      | 16 |

|       |                                |    |
|-------|--------------------------------|----|
| 2.6   | 建立虚拟制造系统的四级规模 .....            | 17 |
| 2.6.1 | 单元级 .....                      | 17 |
| 2.6.2 | 过程级 .....                      | 17 |
| 2.6.3 | 企业级 .....                      | 17 |
| 2.6.4 | 虚拟公司级 .....                    | 17 |
| 2.7   | 影响虚拟制造实施的关键因素 .....            | 17 |
| 2.8   | 小结 .....                       | 18 |
| 第3章   | 快速原型虚拟逼真设计原理及体系结构研究 .....      | 20 |
| 3.1   | 引言 .....                       | 20 |
| 3.1.1 | 设计过程的特点 .....                  | 20 |
| 3.1.2 | 设计发展趋势 .....                   | 20 |
| 3.1.3 | 虚拟原型仿真(VPS)和虚拟产品开发(VDP) .....  | 21 |
| 3.2   | 快速原型虚拟逼真设计的概念和特点 .....         | 22 |
| 3.2.1 | 快速原型虚拟逼真设计的概念 .....            | 22 |
| 3.2.2 | 快速原型虚拟逼真设计的特点 .....            | 22 |
| 3.3   | 快速原型虚拟逼真设计的原理 .....            | 23 |
| 3.4   | 快速原型虚拟逼真设计的主要研究内容 .....        | 24 |
| 3.4.1 | 关键技术层 .....                    | 24 |
| 3.4.2 | 原型系统层 .....                    | 25 |
| 3.4.3 | 开发环境层 .....                    | 26 |
| 3.5   | 快速原型虚拟逼真设计模型 .....             | 26 |
| 3.6   | 快速原型虚拟逼真设计的体系结构、流程以及主要功能 ..... | 27 |
| 3.6.1 | 快速原型虚拟逼真设计的体系结构 .....          | 27 |
| 3.6.2 | 快速原型虚拟逼真设计的流程 .....            | 28 |
| 3.6.3 | 快速原型虚拟逼真设计的主要功能 .....          | 30 |
| 3.7   | 小结 .....                       | 31 |
| 第4章   | 基于Meta模型的虚拟原型及其主动信息服务 .....    | 33 |
| 4.1   | 虚拟原型的概念 .....                  | 33 |
| 4.2   | 虚拟原型的功能要求 .....                | 33 |
| 4.3   | 虚拟原型的特性 .....                  | 35 |
| 4.4   | 基于Meta模型实现多模型管理的一体化 .....      | 35 |
| 4.4.1 | 产品信息描述的多样性和灵活性 .....           | 35 |
| 4.4.2 | Meta模型 .....                   | 36 |
| 4.5   | 虚拟原型的信息组织 .....                | 37 |
| 4.6   | 基于虚拟原型4个机制实现主动信息服务 .....       | 39 |

|            |                               |           |
|------------|-------------------------------|-----------|
| 4.6.1      | 管理机制                          | 40        |
| 4.6.2      | 决策机制                          | 40        |
| 4.6.3      | 调度机制                          | 41        |
| 4.6.4      | 控制机制                          | 41        |
| 4.7        | 基于虚拟原型、面向产品族的设计               | 41        |
| 4.8        | 小结                            | 43        |
| <b>第5章</b> | <b>基于集成产品与设计过程建模的设计过程管理</b>   | <b>44</b> |
| 5.1        | 集成虚拟原型和设计过程模型的概念              | 44        |
| 5.2        | 基于集成虚拟原型与过程建模的设计过程管理模型        | 44        |
| 5.3        | 基于集成产品与过程建模的设计过程管理的层次结构       | 45        |
| 5.3.1      | 产品信息管理 (VP 模型层)               | 46        |
| 5.3.2      | 集成虚拟原型和设计过程模型建模 (VP+PM 模型层)   | 46        |
| 5.3.3      | 基于集成虚拟原型和设计过程模型的设计过程管理层       | 48        |
| 5.3.4      | 产品开发过程实施 (实施层)                | 51        |
| 5.4        | 通过初步设计信息交换加快设计进程              | 51        |
| 5.4.1      | 设计活动的分类                       | 52        |
| 5.4.2      | 并行递进迭代问题                      | 52        |
| 5.5        | 以人为中心的产品开发过程实施的组织——智能企业       | 55        |
| 5.5.1      | 智能企业层次结构                      | 55        |
| 5.5.2      | 控制和协调机制                       | 56        |
| 5.6        | 小结                            | 57        |
| <b>第6章</b> | <b>产品设计综合评价原理、体系结构和方法</b>     | <b>59</b> |
| 6.1        | 产品设计综合评价 (PDSE) 的概念及特点        | 59        |
| 6.1.1      | 产品设计综合评价的概念                   | 59        |
| 6.1.2      | 产品设计综合评价的特点                   | 59        |
| 6.2        | 产品设计综合评价模型                    | 60        |
| 6.3        | 产品设计综合评价原理                    | 62        |
| 6.3.1      | 面向并行工程的分阶段、多层次、多角度的综合评价       | 62        |
| 6.3.2      | 产品开发过程中面向整个产品生命周期的综合评价模型的动态生成 | 62        |
| 6.3.3      | 基于虚拟原型和虚拟环境下仿真的评价             | 63        |
| 6.4        | 产品设计综合评价系统体系结构                | 63        |
| 6.4.1      | 产品设计综合评价体系结构中的产品生命周期的各个阶段     | 64        |
| 6.4.2      | 产品设计综合评价体系结构中的各个评价层次          | 65        |
| 6.4.3      | 产品设计综合评价体系结构中的时间、质量及成本的各种组合   | 66        |
| 6.5        | 产品设计综合评价的实施方法                 | 67        |
| 6.5.1      | 产品设计综合评价规划与控制                 | 68        |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 6.5.2 产品评价模型动态生成 .....             | 69 |
| 6.5.3 综合分析 with 评价模块 .....         | 69 |
| 6.5.4 基于产品设计质量评价的产品设计修改和优化过程 ..... | 70 |
| 6.6 小结 .....                       | 72 |

## 第7章 坐标测量机快速原型虚拟逼真设计与虚拟误差补偿 .....

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 7.1 坐标测量机研究现状 .....                             | 74 |
| 7.2 坐标测量机快速原型虚拟逼真设计思想 .....                     | 75 |
| 7.2.1 利用虚拟原型和仿真代替物理原型, 加快产品开发进程, 支持并行产品开发 ..... | 76 |
| 7.2.2 利用虚拟原型和仿真尽早发现问题 .....                     | 76 |
| 7.2.3 对多种方案和思路进行比较, 帮助发现解决问题的思路 .....           | 76 |
| 7.2.4 从整体上对产品设计进行优化 .....                       | 77 |
| 7.3 基于虚拟原型和计算机仿真的坐标测量机设计 .....                  | 77 |
| 7.3.1 虚拟原型和计算机仿真的作用 .....                       | 77 |
| 7.3.2 系统框架 .....                                | 79 |
| 7.4 虚拟原型、计算机仿真与坐标测量机虚拟误差补偿 .....                | 80 |
| 7.4.1 综合利用虚拟原型、计算机仿真和物理试验在坐标测量机误差补偿中的作用 .....   | 80 |
| 7.4.2 虚拟误差补偿 .....                              | 81 |
| 7.5 小结 .....                                    | 83 |

## 第8章 移动桥式三坐标测量机 CMM Z003/1077 快速原型虚拟

### 逼真设计 .....

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 8.1 引言 .....                                | 84  |
| 8.2 研究框架 .....                              | 84  |
| 8.3 三坐标测量机热特性分析及改善对策 .....                  | 85  |
| 8.3.1 试验方案与内容 .....                         | 86  |
| 8.3.2 试验结果与分析 .....                         | 86  |
| 8.3.3 改进对策 .....                            | 93  |
| 8.4 模型的建立 .....                             | 94  |
| 8.5 CMM Z003/1077 原始设计静、动、热特性分析 .....       | 95  |
| 8.5.1 静态分析——CMM 在自身移动重量下的变形 .....           | 96  |
| 8.5.2 动态分析——CMM 梁柱部分的振动模态和惯性力作用下的动态响应 ..... | 97  |
| 8.5.3 CMM 结构热变形 .....                       | 100 |
| 8.5.4 两种虚拟工作条件下的原始设计性能分析 .....              | 101 |
| 8.6 设计改进 .....                              | 103 |
| 8.6.1 左立柱设计改进 .....                         | 103 |

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| 8.6.2 右立柱设计改进 .....   | 103     |
| 8.6.3 横梁设计改进 .....    | 103     |
| 8.6.4 滑架设计改进 .....    | 104     |
| 8.7 新设计与原始设计的比较 ..... | 104     |
| 8.8 最优设计 .....        | 105     |
| 8.9 小结 .....          | 105     |
| <br>第9章 结论 .....      | <br>107 |
| 参考文献 .....            | 109     |

# 第1章 绪 论

## 1.1 虚拟制造国内外研究概况

### 1.1.1 产生的背景

市场全球化使企业面临的竞争对手不断增多,面临的竞争压力日益加重,随着产品更新换代速度的加快,交货时间和产品质量较之于成本成为企业参与市场竞争更为重要的手段。与此同时,由于社会、经济和科学技术的发展而引起的对环境和社会因素的日益关注,导致了产品生命周期概念和可持续性工业生产的出现。

面对制造环境的复杂性、制造产品的复杂性以及制造本身的复杂性(包括制造系统结构的复杂性和制造过程的复杂性)<sup>[1]</sup>的不断提高,企业能否在瞬息万变的市场竞争中立于不败之地,取决于企业的整体竞争能力,即取决于其能否通过信息集成、智能集成、资源集成、技术集成、过程集成、串并行工作机制集成、组织管理集成以及人机集成实现分布式协同求解,从而使企业的运作达到全局最优,资源得到合理的配置和利用,提高市场竞争力。虚拟制造使企业的全面集成成为可能,从而作为一种21世纪的新型制造策略和方法正越来越受到工业界和学术界的重视。

### 1.1.2 虚拟制造的概念

由于虚拟制造研究的出发点、侧重点以及应用场合等方面的不同,因此存在对虚拟制造各种不同的定义。

Kimura<sup>[2]</sup>、Onosato<sup>[3]</sup>等将虚拟制造定义为现实制造系统在虚拟环境下的映射,是针对现实制造环境的虚拟模型,该模型为生产规划、调度和管理提供测试环境。Chetan Shukla<sup>[4]</sup>等将虚拟制造定义为一个正在发展中的研究领域,其目的是通过虚拟现实技术将各种与制造有关的技术集成起来。Hitchcock等则将其定义为一个用于提高制造企业内各级决策和控制能力的集成的、虚拟的制造环境。

而Nahavandi和Preece对虚拟制造定义则与Kimura的定义有些相似,将其定义为已经存在或还不存在的制造系统的仿真模型,该模型具有与制造过程、过程控制和管理以及产品有关的所有信息。Lin<sup>[5~7]</sup>等认为虚拟制造是应用计算机模型和制造过程仿真来辅助产品的设计和制造。Iwata等认为虚拟制造系统是实现沟通制造工程和信息基础结构建立新型信息基础结构最有希望的方法。K. I. Lee和S. D. Noh<sup>[8]</sup>则认为虚拟制造系统是表示现实制造系统物理和逻辑结构和特性的一种集成计算机模型。

### 1.1.3 研究现状和关键技术

虚拟制造是近几年来在国际上提出的,完整的理论体系还没有形成,其研究处于探索阶段。虽然某些基础单元技术已有了较深入的研究,但即使在欧美日等工业发达国家,目前也主要是分析虚拟环境下基础单元技术的要求,对其进行理论上的研究。美国自然科学基金(NSF)、美国国家标准和技术研究所(NIST)和美国国防部高级研究计划署(ARPA)资助和支持下的几所大学和企业联合研究中心正在进行虚拟制造各个领域关键技术和系统开发方面的研究。日本东京大学和大阪大学的研究人员自1993年起也在CIRP上发表论文,论述虚拟环境下产品建模的需求及其关键技术、虚拟制造系统体系结构等方面的研究成果。

虚拟制造对于很多工业部门来说,仍处于酝酿阶段<sup>[9, 10]</sup>,对于大多数企业还仅仅只有单元技术,目前已真正开始从事虚拟制造的企业有波音的777部等。

我国在虚拟制造领域方面的研究基本上处于刚刚起步阶段。为适应制造技术今后的发展趋势,有必要对其进行深入研究,使我国的制造技术上一个新台阶,达到或赶超国际先进水平,并为我国制造业的发展提供一条新途径。其关键技术的研究分为以下4个层次:

#### 1. 虚拟制造哲理

虚拟制造哲理的研究为制造企业实现从精良制造向敏捷制造的转变提供指导思想。在信息集成的基础上,通过组织管理、技术、资源和人机集成实现产品开发过程的集成。在整个产品开发过程中,在基于虚拟现实、科学计算可视化、多媒体等技术的虚拟使用环境、虚拟性能测试环境以及虚拟制造环境等虚拟环境下,在各种人工智能技术和方法的支持下,通过集成地应用各种建模、仿真和分析技术和工具,实现集成的、并行的产品和过程开发以及对产品设计、制造过程和生产规划、调度和管理的测试,利用分布式协同求解,以提高制造企业内各级决策和控制能力,使企业能够实现自我调节、自我完善、自我改造和自我发展,以达到提高整体运作效能、实现全局最优决策和提高市场竞争力的目的。

#### 2. 虚拟制造技术

虚拟制造技术的研究为虚拟制造的实施和虚拟制造系统的建立提供理论和技术上的支持。它由三大主体技术群(建模技术群、仿真技术群、控制技术群)和一个支撑技术群(为三大主体技术群的实施提供支持)组成。

##### (1) 建模技术群。

建模技术群是指用来开发虚拟制造系统中各种模型的所有技术与方法。主要包括:

1) 产品、过程及生产系统建模技术——虚拟环境下的产品模型除了要表达产品的几何/拓扑、特征、产品所具有的功能和特性等信息外,还应具有动态结构,以反映在不同开发阶段产品结构、功能等方面的变化;此外,还应能够通过调度、管理、控制和决策机制为设计分析、加工制造、生产规划与调度等各个环节提供信息,实现对其能够进行多用户(智能主体)并行演进。通过在虚拟环境下,产品设计/制造/生产过程集成化方面的研究,综合利用虚拟产品、制造过程以及生产系统等各种模型,对整个产品开发、制造和生产过程进行仿真;

2) 虚拟公司建模技术。

3) 虚拟制造环境与现实制造环境之间结构、功能等映射关系的管理、维护、监控和更新问题。

4) 基于分布式并行处理环境下的虚拟制造开放式体系结构的研究。

5) 面向整个产品生命周期综合经济模型和产品评价体系——为产品研制开发过程中的经营决策、生产决策、产品设计/制造过程决策以及效益和风险评价等各个方面的评价提供方法、规范和指标等。

(2) 仿真技术群。

仿真技术群是指运行和操作构成虚拟制造系统的各种模型的所有方法和技术。分布式交互仿真技术和虚拟现实技术在仿真中的应用是虚拟制造对仿真提出的新要求。

(3) 控制技术群。

控制技术群是指建模过程、仿真过程所用到的各种管理、组织与控制技术与方法。主要包括:

1) 模型部件的组织、调度策略及交换技术。

2) 仿真过程的工作流程与信息流程控制。

3) 虚拟制造方法论。

4) 概念设计与制造方法、加工过程、成本估计集成技术。

5) 集成动态的、分布式的、协作模型的集成技术。

6) 实现最佳设计的冲突求解技术。

7) 基于仿真的推理技术。

8) 模型及仿真结果的验证、确认技术。

9) 虚拟制造环境下, 产品开发过程中的调度与控制机制的研究, 以及面向产品开发过程的组织与管理等问题的研究等。

(4) 支撑技术群。

支撑技术群是指支持虚拟制造系统开发、控制与运行的基础性技术。主要包括:

1) 数据库技术。

2) 人工智能在制造企业各级组织、产品生命周期的各个阶段决策中应用的研究。

3) 系统集成技术。

4) 虚拟环境下分布式并行处理多智能主体协同求解技术与系统的研究, 以及全局最优决策理论和技术的研究。

5) 综合可视化技术(虚拟现实技术、科学可视化技术、计算机仿真和多媒体技术)在虚拟制造环境构造中的应用。

6) 计算机软硬件技术以及通讯技术等。

### 3. 虚拟制造原型系统

在虚拟制造哲理和技术研究的基础上, 虚拟制造原型系统的研究和开发可以从以下 3 个方面进行:

(1) 从产品整个生命周期的各个阶段出发, 建立面向经营决策、产品决策、设计、制造, 一直到产品的回收和再利用等各个阶段或整个生命周期的原型系统。

(2) 从制造企业的各个组成要素出发, 面向技术、组织、管理、人员等各方面建立原型系统。

(3) 根据原型系统规模的不同, 可划分为单元级、过程级、企业级和虚拟公司级 4 种规模。

#### 4. 虚拟制造集成开发平台

在理论研究和虚拟制造原型系统开发的基础上,从集成开发平台的要求出发,对虚拟制造的通用功能、模块以及子系统等方面进行归纳整理,构造虚拟制造集成开发平台,以适应灵活方便地建立针对不同产品和制造环境的虚拟制造系统的需求。

主要研究内容有:

- (1) 虚拟制造集成开发平台体系结构的研究。
- (2) 构件库管理系统及构件集的建立。
- (3) 构件重用技术的研究。
- (4) 自适应开发界面的研究。

## 1.2 研究目的和意义

快速原型虚拟逼真设计作为虚拟制造研究的一个方面,主要研究虚拟环境下的产品建模问题以及基于仿真的集成产品和过程设计问题。随着 20 世纪 80 年代中期以来计算机硬件、软件以及建模和仿真技术的飞速发展<sup>[11, 12]</sup>,基于 CAD、CAE 技术的结构、性能、机械系统动力学、空气动力学、控制系统以及制造过程等方面的仿真技术和工具正广泛应用于机械设计过程中。然而,将所有这些仿真技术和工具集成起来形成一个虚拟原型仿真环境仍是一个有待解决的问题。在美国自然科学基金(NSF)和国防部(DOD)的支持和资助下,以地面车辆为应用原型的虚拟原型仿真研究已经取得了一些重要进展。

快速原型虚拟逼真设计的研究意义主要有:

- (1) 基于 Internet 和 Intranet,虚拟原型的使用可以使用户参与到设计过程中来,通过其对产品的使用来发现设计中存在的问题。
- (2) 有助于解决机械设计中存在的与产品和制造过程相关的未知因素,从而使各种潜在的、而往往被设计师所忽视的各种缺陷,在成为事实之前就暴露出来并予以消除,从而大大节约研制经费和时间。
- (3) 通过基于虚拟原型集成、并行地进行协同决策和对设计进行多层次、分阶段、多侧面的评价,提高产品质量。
- (4) 通过虚拟原型仿真,可以缩短产品测试的时间和减少设计成本,从而做到产品设计一次成功。

## 1.3 研究方法和实施过程、工程项目背景以及主要研究工作

### 1.3.1 研究方法和实施过程

充分分析传统产品设计过程中存在的问题,根据快速原型虚拟逼真设计的要求,从设计基础理论出发,以其体系结构和关键技术为突破点,在充分消化吸收当今 CIMS、并行工程、

IMS 以及虚拟制造等相关领域研究成果的基础上,以现代设计理论和方法为指导,采用理论与产品开发实践相结合的方法,逐步形成快速原型虚拟逼真设计的体系结构和关键技术。因而,研究方法和实施过程如图 1-1 所示。

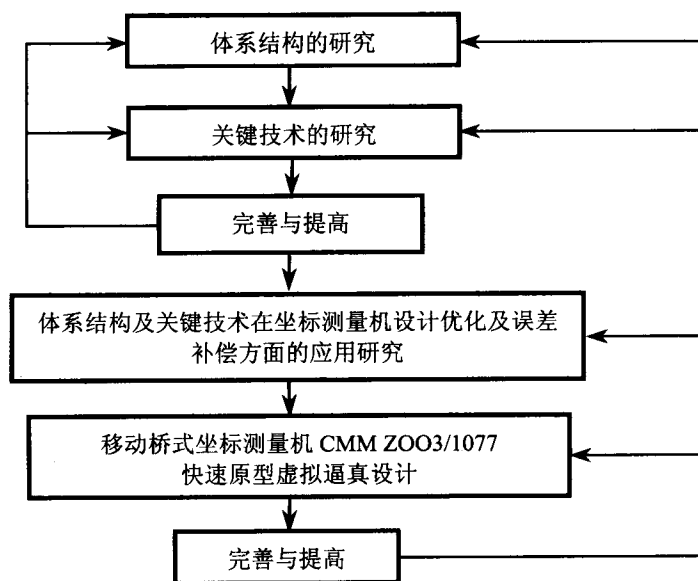


图 1-1 研究方法和实施过程

### 1.3.2 工程项目背景

本文对快速原型虚拟逼真设计的研究,首先结合了国家 863 计划 CIMS 重点推广项目——秦川机床集团有限公司 CIMS 项目的机床大件 CAD/CAPP/CAM 子系统的研制工作,目前该项目已经于 1998 年 2 月通过国家科委 863 专家组的验收。

为了进一步在实际产品开发中对快速原型虚拟逼真设计的思想和一些关键技术进行验证和提高,在研究工作中重点研究了快速原型虚拟逼真设计在坐标测量机 ZOO3/1077 静、动、热特性分析和设计优化等方面的应用。目前,前面 3 个阶段的研究工作已经完成,该项目与青岛前哨英柯发测量设备有限公司进行合作,是该公司国家计委重点军转民产品——坐标测量机研制项目的一个组成部分。

### 1.3.3 主要研究工作

本专著主要研究内容之间的相互关系如图 1-2 所示,它共分为 9 章,各章主要内容如下。

第 1 章:介绍虚拟制造国内外研究概况、研究目的和意义以及主要研究工作。

第 2 章:在分析虚拟制造系统功能的基础上,提出了一种虚拟制造系统的体系结构,并讨论了虚拟环境下基于黑板控制系统的分布式并行协同求解以及基于虚拟制造系统的制造企业多集成。它分 3 个层次论述了虚拟制造的实施,提出了建立虚拟制造系统的框架结构,虚

拟制造系统的三级结构，虚拟制造的实施对产品开发、企业组织、技术、管理和人员等方面的影响，并且提出了建立虚拟制造系统的四级规模，最后讨论了影响虚拟制造实施的一些关键因素。

第 3 章：在分析设计的特点和发展趋势的基础上，提出了快速原型虚拟逼真设计的概念，并对其原理和特点进行了讨论，分 3 个层次研究了快速原型逼真设计。提出快速原型虚拟逼真设计模型以及基于该模型快速原型虚拟逼真设计的体系结构，并且对其关键功能进行了详细讨论。

第 4 章：首先提出虚拟原型概念、功能要求、特点，然后研究基于 Meta 模型的各种模型的集成和虚拟原型的信息组织，最后讨论基于虚拟原型的四个机制的主动信息服务。

第 5 章：首先讨论基于虚拟原型的设计过程模型的生成，然后讨论基于虚拟原型和设计过程集成建模的、面向并行工程的设计过程管理。最后重点讨论两个问题：①通过初步设计信息交换加快设计进程；②产品开发组织动态生成与管理。

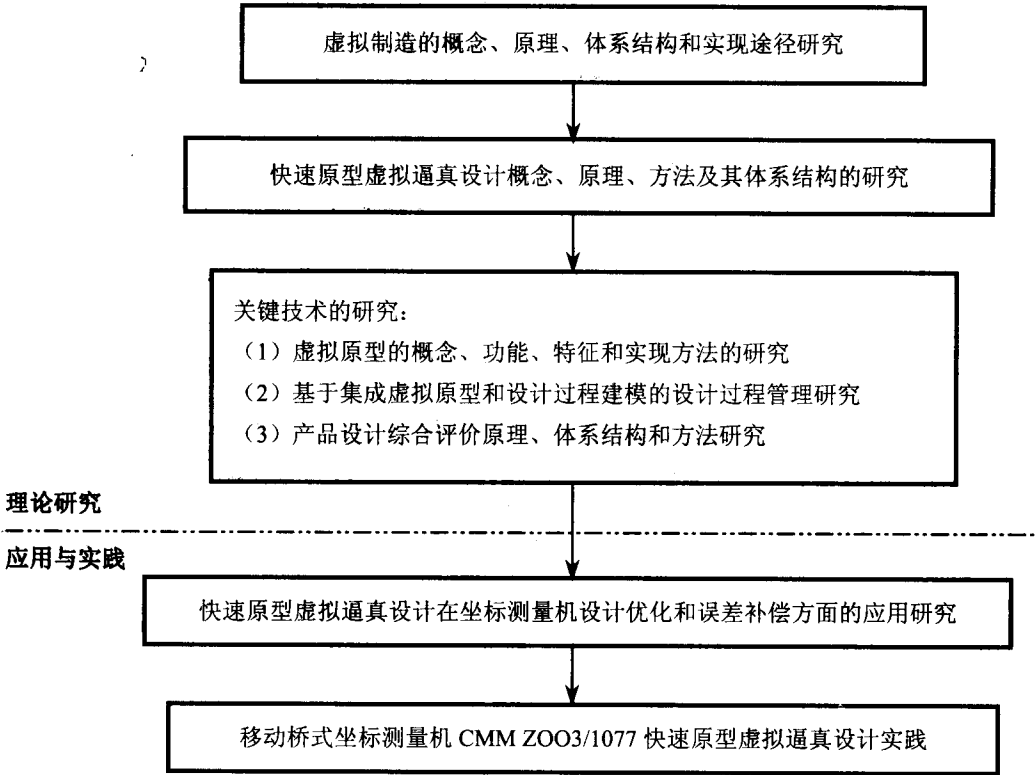


图 1-2 主要研究工作

第 6 章：介绍产品设计综合评价的概念和定义，基于产品设计综合评价的模型，讨论了产品设计综合评价的原理和三维体系结构，以实现在产品设计的各个阶段，在不同层次上对产品设计进行多角度的评价，为设计决策提供所设计产品综合性能的评价。在此基础上，重点对产品设计综合评价的实施方法和基于产品设计综合评价的产品设计修改和优化过程进行了深入的讨论。

第 7 章：在分析坐标测量机研究现状的基础上，基于前面章节对快速原型虚拟逼真设计

的论述,研究快速原型虚拟逼真设计在坐标测量机研制上的应用。重点讨论:①虚拟原型和计算机仿真在坐标测量机设计阶段的应用;②虚拟原型和计算机仿真结合物理试验在坐标测量机误差补偿方面的作用,并提出了虚拟闭环误差补偿的概念。

第8章:以前哨英柯发测量设备有限公司的ZOO3系列移动桥式三坐标测量机CMM ZOO3/1077为研究对象,以提高测量精度和加速度为目标,通过CMM结构有限元建模,研究各种正常工作条件下和虚拟工作条件下原始设计的动、静、热特性,分析了原始设计所存在的问题。根据协同工作的研究结果和提高策略专家系统所提供的改进策略,对CMM的原始设计进行了改进,对左立柱、右立柱、横梁和滑架分别采用不同材料、不同的结构和参数进行了分析。通过设计改进后的CMM与原始设计的性能比较,发现改进后的CMM比原始设计优越,从而能够在温控环境中达到更高的测量精度和测量加速度。同时,以上分析与研究为最终CMM结构和参数优化提供了必需的CMM性能信息,为设计出性能最优的坐标测量机奠定了基础。

第9章:本文研究工作的主要结论。