



Y1825885

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

The Graduate School

College of Mechanical and Electrical Engineering

Research and Implementation on Design System of Stamping Die Mold-Type Surface for Metal Spoon

A Thesis in

Aeronautical and Astronautical Science and Technology

by

Rong Tian

Advised by

Professor Huang Xiang

Submitted in Partial Fulfillment

of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

January, 2010

承诺书

本人声明所呈交的硕士学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得南京航空航天大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。

本人授权南京航空航天大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本承诺书)

作者签名: 荣田
日 期: 2020.03.19

摘要

金属餐勺冲压模具型面设计是餐勺设计中的重要环节,传统的型面设计与制造过程脱离,过分依赖工程师的经验知识,导致模型可重用性差,严重影响了型面设计的质量和效率。为此,本文研究了金属餐勺冲压模具型面的相关设计技术,并将有关研究成果应用到美利龙餐厨具(苏州工业园区)有限公司的餐勺冲压模具型面设计过程中,开发了金属餐勺冲压模具型面快速设计系统。本文主要研究内容如下:

1)分析了快速响应工程和变型设计的优点,提出了金属餐勺冲压模具型面的快速设计方法。该方法以特征为组元,以参数为修改依据,在模块化设计环境下,对餐勺型面进行变型设计;

2)总结了金属餐勺冲压模具型面特征的成形特点,以子特征的方式描述餐勺型面特征,将其拆分为勺头型面子特征和勺柄型面子特征,并定义各自的几何信息和约束关系。通过构建型面特征库来储存型面特征,对型面库进行模块化划分,分为勺头型面库和勺柄型面库,特征库之间通过共同的几何约束信息建立映射关系;

3)研究了型面知识的表示、获取和重用方法。以用户自定义型面特征来表示型面知识,采用快速反求的方法获取型面制造知识,采用快速建模方法获取型面设计知识,运用快速拼接的方法支持型面知识的重用;

4)基于以上研究成果,开发了基于CATIA的金属餐勺冲压模具型面快速设计系统,该系统为餐具生产企业提高模具型面的设计质量和效率提供了技术支持。

关键词: 餐勺, 型面, 变型设计, 知识, 特征库, 逆向工程

Abstract

Metal Spoon Stamping Die Surface Design is an important part of the spoon design process, however there are some problems in the traditional design process. It is inefficient, the model reusability is poor, design and manufacturing process are breaking away and relying on the experience of engineers so much. For these reasons, this paper study the crucial techniques of Metal Spoon Stamping Die Surface Design, applied this technology techniques in the spoon design process of Murray Long Kitchenware (Suzhou Industrial Park) Co., Ltd, and develop the Metal Spoon Stamping Die Surface Rapid Design System. This paper studies the following:

1) This paper which aims at Spoon Stamping Die Surface Rapid Design Method, analyses the advantages of the Rapid Response Project and deformation design. This method based on the modular design environment, which features are group unit and parameters are the basis of modification, has done variant design of spoon surface.

2) This paper summarizes the forming characteristics of metal spoon surface features, describes spoon surface features by the way of sub-features , splits spoon surface features into spoon head surface sub-features and spoon handle surface sub-features, and defines respective geometric information and constraint relationship. Constructing surface features database to store surface features and dividing surface features database by modular division into spoon head surface database and spoon handle surface database, both features database through common geometric constraints information establishes mapping relationships.

3) This paper summarizes the knowledge representation, extraction and reuse method, through User-Defined Feature to represent the knowledge, using reverse method to extract manufacturing knowledge, using fast modeling method to extract the design knowledge and using fast splice method to support knowledge reuse.

4) Based on the above research and technology, we have developed CATIA-based metal spoon stamping die surface rapid design system, which provides technical support for the tableware manufacturing enterprises to improve mold-type surface design quality and efficiency.

Keywords: spoon, mold-type surface, variant design, knowledge, feature database, reverse engineering

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 模具 CAD.....	1
1.1.1 模具 CAD 技术的优越性.....	1
1.1.2 模具 CAD 存在的问题.....	2
1.1.3 模具 CAD 的发展方向.....	2
1.2 金属餐勺冲压模具型面设计和制造技术现状	3
1.3 课题来源	4
1.4 论文主要研究内容和结构安排	5
第二章 快速设计方法研究.....	7
2.1 概述.....	7
2.2 快速响应工程	7
2.2.1 快速响应工程的内容	7
2.2.2 实现快速响应的关键	8
2.2.3 实施快速响应的主要技术	9
2.2.4 实现快速响应的策略	10
2.3 变型设计	10
2.3.1 关系型 CAD 系统.....	12
2.3.2 模块化变型设计	12
2.3.3 基于特征的变型设计	13
2.3.4 基于参数设计和变量设计的变型设计	14
2.4 金属餐勺冲压模具型面快速设计方法讨论	14
2.5 金属餐勺冲压模具型面快速设计方法的确定	15
2.5.1 模块化设计方法在金属餐勺冲压模具型面设计系统中的应用.....	16
2.5.2 基于特征设计方法在金属餐勺冲压模具型面设计系统中的应用.....	16
2.5.3 基于参数设计方法在金属餐勺冲压模具型面设计系统中的应用.....	16
2.5.4 快速反求技术在金属餐勺冲压模具型面设计系统中的应用.....	17
2.6 本章小结	17
第三章 基于特征和参数的餐勺型面模块化设计方法研究	18
3.1 概述.....	18

3.2 餐勺冲压模具型面特征库的构建技术	18
3.2.1 型面特征模板	18
3.2.2 型面特征库的开发方法	19
3.2.3 型面特征库的构建原则	20
3.2.4 型面特征库信息描述方法	22
3.3 餐勺冲压模具型面模块化特征库的建立	23
3.3.1 型面特征库的模块划分	23
3.3.2 定义型面特征	24
3.3.3 型面特征入库	25
3.4 餐勺冲压模具型面特征库的参数化驱动方法	26
3.5 本章小结	28
第四章 金属餐勺冲压模具型面知识的获取、表达与重用技术	29
4.1 概述	29
4.2 知识的含义	29
4.3 基于知识的设计系统的关键技术	30
4.3.1 知识获取	30
4.3.2 知识表示	31
4.3.3 知识重用	31
4.4 餐勺冲压模具型面知识的获取	32
4.4.1 型面制造知识的获取	32
4.4.2 型面设计知识的获取	34
4.5 餐勺冲压模具型面知识的表示	36
4.6 餐勺冲压模具型面知识的重用	36
4.7 本章小结	37
第五章 金属餐勺冲压模具型面快速设计系统的实现	38
5.1 系统开发环境与开发工具	38
5.1.1 CATIA V5 R16 系统简介	38
5.1.2 CAA 简介	39
5.2 系统框架结构	40
5.2.1 系统体系结构	40
5.2.2 系统功能及运行流程	40
5.3 系统运行实例	41

5.3.1 快速建模	41
5.3.2 型面入库	43
5.3.3 型面特征实例化	44
5.3.4 型面快速拼接	46
5.4 本章小结	47
第六章 总结与展望	48
6.1 总结	48
6.2 展望	48
参考文献	50
致 谢	53
在学期间的研究成果及发表的学术论文	54

图、表清单

图 1.1 论文章节结构图	6
图 2.1 产品设计路线图	11
图 2.2 变型设计过程图	11
图 2.3 关系的划分	12
图 2.4 模块的划分原则	13
图 2.5 特征实例化过程	14
图 2.6 快速设计流程和组成模块	16
图 3.1 特征模板的构造过程	19
图 3.2 部件族法与编程法的综合应用示例	20
图 3.3 餐勺型面特征库动态扩充流程图	21
图 3.4 型面特征库分层管理结构	22
图 3.5 餐勺标准型面特征库组织结构图	23
图 3.6 模块间的关系	24
图 3.7 特征间的定位关系	25
图 3.8 特征入库过程	25
图 3.9 程序实现的型面特征入库过程	26
图 3.10 型面位置关系的差异	27
图 3.11 型面参数	27
图 3.12 参数对餐勺型面空间位置的控制	27
图 3.13 参数修改结果	28
图 4.1 制造知识的获取和重用过程	33
图 4.2 数据采集结果	33
图 4.3 网格生成的结果	34
图 4.4 勺头型面 CAD 模型	34
图 4.5 设计知识获取过程	35
图 4.6 型面快速拼接过程	37
图 5.1 系统结构图	40
图 5.2 系统运行流程图	41
图 5.3 快速建模运行示例	42

图 5.4 型面空间位置的控制	43
图 5.5 勺头型面入库过程示意	43
图 5.6 勺柄型面入库过程示意图	44
图 5.7 勺头型面实例化过程	45
图 5.8 勺柄型面实例化过程	45
图 5.9 型面空间位置调整前后对比	46
图 5.10 型面切割及拼接过程	46
图 5.11 型面三视图	47

注 释 表

CAD: Computer-Aided Design, 计算机辅助设计。

CAM: Computer-Aided Manufacturing, 计算机辅助制造。

CATIA: Computer Aided Three-dimensional Interactive Application, 法国 Dassualt Systems 系统公司开发的高档 CAD/CAM/CAE 一体化软件。

CAA: Component Application Architecture, 组件应用构架, Dassualt Systems 产品扩展和客户进行二次开发的工具。

第一章 绪论

1.1 模具 CAD

模具技术是制造业中发展最快的技术之一，其特点是数量大，批量小，换代快。模具是工业生产的主要工艺装备，采用模具生产零部件，具有生产效率高、质量好、成本低、节省能源和原材料等一系列优点，它已成为当代工业生产的重要手段和工艺发展方向。模具制造能力的强弱、水平的高低，直接影响着许多工业部门新产品的开发和老产品的更新换代，关系着产品质量和经济效益的提高。现代工业品的发展和技术水平的提高，在很大程度上取决于模具工业的发展水平。因此，模具是国民经济各部门发展的重要基础之一，在工业生产中占有很重要的地位^[1]。

传统模具设计制造过程中存在设计制造周期长、信息共享程度低、依靠经验设计、结果难以预测以及冲压工艺设计效率低等问题，难以保证对成形质量的要求，严重阻碍了产品的更新换代^[2]。因此，如何缩短模具设计周期、提高模具生产效率、保证模具质量，是促进模具企业发展的重要课题。因而在模具的设计和生产中采用 CAD/CAM 技术，是模具制造工业的必然趋势^[3]。

模具 CAD 技术是模具设计工程师在计算机系统的辅助下，根据产品的几何特性和非几何特性进行模具设计并指导制造过程的一项先进技术，是在传统模具技术基础上的技术飞跃。随着计算机与数控加工设备的发展，计算机辅助技术已应用到模具生产的各个环节，包括设计、制造、检测及管理。

现代模具具有精度高、寿命长、生产效率高等特点^[4]。随着一些产品对形状、尺寸精度和零件整体要求的提高，以及许多新材料、新工艺的广泛使用，现代模具的结构形式和型面形状也日益复杂。一些冲压件的成形模具不仅型面复杂，而且模具的配套性要求极高，加工中必须保证多个模具之间几何形状的协调一致。这类模具使用传统的加工方法无法保证其质量要求，而应用模具 CAD 技术却使其成为可能。

产品及其模具的几何形状描述是模具设计 and 生产中的关键问题。建立物体的计算机几何数学模型称为几何构形，几何构形系统是模具 CAD 系统的重要组成部分，它不仅为模具 CAD 系统奠定了计算机交互图形设计的基础，而且也为模具 CAD 专业分析及模具型面加工提供了几何数字依据^[5]。

1.1.1 模具 CAD 技术的优越性

模具 CAD 技术在模具行业的广泛应用，将彻底改变传统的模具设计方式，其优越性主要

表现在下列几个方面^{[6][7]}错误：未找到引用源。^{[9][10]}：

1、提高模具质量。计算机模具系统存储了大量经过综合整理的技术知识，为模具的设计提供了科学基础。CAD 技术利用计算机与设计人员的交互作用，充分发挥人、机各自的特点，使模具设计更加准确、快速。

2、缩短模具制作周期。由于 CAD 系统中存贮有模具标准件、常用设计计算的程序库及各种设计参数的数据库，加上计算机自动绘图，可以大大缩短设计时间。

3、大幅度降低成本。计算机的高速运算和绘图机的自动化工作节省大量的劳动力。用计算机模拟冷冲模成形过程，可以避免模具反复修模、试模，从而降低成本。由于应用 CAD 技术，新产品开发时间缩短，产品更新换代加快，大大增加了产品在市场上的竞争力。

4、充分发挥设计人员的主观能动性。由于 CAD 技术可以使设计人员从繁忙的计算和绘图中解放出来，使其可以从事更多的创造性劳动。

1.1.2 模具 CAD 存在的问题

虽然 CAD 技术在许多方面已发展到实用化的水平，但是模具 CAD 尚存在以下问题^[11]：

1、现有的 CAD 系统均为交互式造型系统，设计人员面对的是低层次的几何信息，要进行大量的交互操作，设计效率低下，离真正自上而下的建模设计还有一段距离。

2、冲压件模具型面复杂，多由自由曲面拼合而成，在通用的 CAD 系统中，对其操作比较困难，制约了冲压件模具设计的发展。

3、现有的模具 CAD 系统智能化程度不高，不能捕捉设计者意图以使设计简化，不能提供智能化的评价。

4、覆盖件的成形涉及到复杂的塑性变型，其规律直到现在还没有被完全掌握。在我国生产中对覆盖件成形性的分析、对模具设计结果的评估仍然以几何计算和经验类比为主要手段，无法保证设计结果的合理性和有效性，有时甚至存在着推翻原设计方案，从新设计的可能性。

5、模具种类繁多，结构复杂，模具设计是一种基于经验和知识的、复杂的创造性劳动，而一般 CAD 系统不能使模具设计师的知识和经验与 CAD 系统有机地结合起来。模具设计的经验性使得模具 CAD 系统的设计和实现比较复杂和困难。对于冲压件模具来说，现有的 CAD 商业软件均需要做大量的二次开发，将已有的模具设计专家知识集成到 CAD 软件中。

1.1.3 模具 CAD 的发展方向

21 世纪模具制造行业的发展方向是高度集成化、智能化、柔性化和网络化，追求的目标是提高产品质量及生产效率，缩短设计周期及制造周期，降低生产成本，最大限度地提高模具制造业的应变能力，满足用户需求。

随着计算机科学和其他学科技术的发展，CAD 技术得到迅速发展，在这些发展方向中，结

合模具自身的特点和上述存在的问题, 模具 CAD 有以下几个方面的发展方向^{[8][10][12][13][14][15]}。

1、标准化 CAD 系统可建立标准零件数据库, 非标准零件数据库和模具参数数据库。标准零件库中的零件在 CAD 设计中可以随时调用。非标准零件库中存放的零件, 虽然与设计所需结构不尽相同, 但利用系统自身的建模技术可以方便地进行修改, 从而加快设计过程, 典型模具结构库是在参数化设计的基础上实现的, 按用户要求对相似模具结构进行修改, 即可生成所需要的结构。

2、集成化 现代模具设计制造系统不仅应强调信息的集成, 更应该强调技术、人和管理的集成。在开发模具制造系统时强调“多集成”的概念, 即信息集成、智能集成、串并行工作机制集成及人员集成, 这更适合未来制造系统的需求。

3、智能化 应用人工智能技术实现产品生命周期(包括产品设计、制造、使用)各个环节的智能化, 实现生产过程(包括组织、管理、计划、调度、控制等)各个环节的智能化, 以及模具设备的智能化, 也要实现人与系统的融合及人在其中智能的充分发挥。

4、专用化 未来的模具 CAD 将走向更加专业化的道路。一些通用的软件由于其功能繁多、专业性较差, 已不能满足模具 CAD 的需要。更好的方法是软件公司与专业模具厂商密切合作, 开发专用性很强的模具 CAD 软件。如美国 PTC 公司在 Pro/E 软件基础上开发的模具型面设计模块 PRODIEFACE 等, 这也是模具 CAD 的一个发展方向。

另外, 模具 CAD 技术与逆向工程技术的结合日趋紧密。在许多情况下, 一些产品并非来自设计概念, 而是起源于另外一些产品或实物, 要在只有产品原型或实物模型, 而没有产品图样的条件下进行模具的设计和制造以便制造出产品。此时需要通过实物的测量, 然后利用测量数据进行实物的 CAD 几何模型的重新构造, 这种过程就是逆向工程。逆向工程能够缩短从设计到制造的周期, 是帮助设计者实现并行工程等现代设计概念的一种强有力的工具, 目前在工程上正得到越来越广泛的应用。

1.2 金属餐勺冲压模具型面设计和制造技术现状

金属餐勺的生产工艺包括落料、勺头轧延、粗抛光、精压花字、勺头切边、勺头冲压成形、勺柄弯曲、抛光等过程^[16]。涉及到了落料模、切边模、冲压模及弯曲模等模具的使用, 其中落料模、切边模和弯曲模等都可以通过普通的机加工工艺制造出来。而冲压模具型面为复杂的三维曲面, 不能用简单的数学解析来表达, 为其型面的设计和制造过程带来困难, 成为制约餐勺生产效率和质量的关键因素。

目前国内大部分的餐勺生产企业仍使用传统的模具设计、制造方法。工程师依照餐勺的设计外形, 结合积累的设计经验, 确定模具的工艺参数并绘制图纸, 制造出模具粗坯。再按照餐勺的设计图纸加工出餐勺样板, 依据样板在粗坯上加工凸模和凹模型面, 经过不断地试模和修

整模面加工出合格的模具型面。

传统的型面设计方法脱离了制造过程,缺乏对型面可制造性的分析,要求设计人员具备大量的设计经验。复杂的型面对修模工人的技术水平要求较高,人工修模过程充满了随意性和不确定性,很难满足型面的精确度。按照传统的生产工艺,不但难度大、速度慢、耗时费工,难以满足生产要求,而且模具的形状尺寸很难保证一致,造成生产的餐具形状尺寸出现差异,这也成为提高型面制造效率难以突破的瓶颈。

针对传统模具设计与制造过程中的弊端,杜忠友提出了餐勺制造的反印技术。其过程是首先制造母模,通过母模反印出阳模,再由阳模大批量反印出工作模^[17]。因此,阳模是制造工作模的模具,母模是制造阳模的模具,正如工作模是制造产品的模具一样。由此可知,在反印过程中母模的地位最为重要,它是准确制造阳模、工作模和产品的根本,在阳模大批量制造工作模损坏以后,可以用它再反印一套阳模,继续制造工作模。工作模尺寸相当稳定,与前一阳模制造的模具并无差异,所以母模要精心制造、严格保管。

这种方法在一定程度上摆脱了大量的高难度重复性修模工作,达到了稳定型腔尺寸、控制型面精度以及批量制造模具的目的。是一种通过变更制造方法来解决制造问题的手段,它的局限在于没有提出设计阶段对制造因素的考量,也没能够利用当今 CAD 技术来解决工程师设计经验的遗失问题。同时阳模的设计和制造依旧是通过传统方法来进行的,并没有从根本上解决问题。因此模具制造迫切需要采用高效率、高精度的新工艺新技术。

1.3 课题来源

本课题来源于由美利龙餐厨具(苏州工业园区)有限公司与南京航空航天大学合作开发的“金属餐勺冲压模具型面快速设计系统”项目。该公司在餐勺冲压模具的设计和生产过程主要存在以下几方面问题。

1、餐勺的设计过程与生产过程脱离,使得型面的设计和制造质量达不到要求。主要表现在餐勺在冲压成形过程中经常出现餐勺与模具型面不相贴合的现象。这一方面导致了餐勺表面光顺度不够,增加了后续抛光的工作量;另一方面带来了繁重的模具修模和试模的工作量,影响餐具的生产效率。因此需要一套面向制造的设计系统。

2、模具型面的设计效率低。型面设计师根据餐勺设计图来设计型面外形,由于勺头部分的曲面复杂难以表达,增加了型面设计的工作量。因而开发餐勺设计图到型面设计图的转换工具成为迫切需要。

3、修模、抛光工作量大。冲压过程通过模具的上下型面来控制材料的金属流动,由于金属流动的复杂性,模具对材料的控制往往不尽人意。为了达到理想的冲压结果要不断对模具型面进行修整。另一方面,正是由于冲压质量不高,增加了后续对餐勺抛光的工作量,增加了企业

的成本。

4、设计、生产过程对经验知识过分依赖。由于缺乏对企业知识的管理和存储机制,造成企业资源的流失和浪费,影响了企业开发新产品的效率。

基于以上原因,该项目旨在通过对型面设计和制造过程种种弊端的研究,结合模具 CAD 技术,综合各种先进的设计方法,利用 CATIA/CAA 的应用开发功能,开发出适用于餐勺型面设计的面向制造的型面设计系统。在设计的过程中考虑制造因素,减少重复劳动,提高设计、制造的效率。能够很好的储存工程技术人员长期积累的优秀经验,提高型面的质量。

1.4 论文主要研究内容和结构安排

本文以餐勺冲压模具型面为研究对象,归纳了型面设计和制造过程中的关键技术,并建立了面向制造的金属餐勺冲压模具型面快速设计系统框架,着重对型面面向制造快速设计技术进行研究,并在此基础上开发了相应模块。本文各章的内容安排如下:

第一章 绪论。介绍了模具 CAD 技术和当前餐勺模具型面的设计、制造现状,分析了传统型面设计方法的弊端,并提出了解决办法,最后对论文的结构进行了安排。

第二章 快速设计方法研究。研究了快速响应工程对企业提高竞争力、快速响应市场需求所起到的促进作用,总结了实施快速响应工程的主要技术和关键策略,决定采用基于特征和知识的模块化变型设计方法支持快速响应工程的实现。

第三章 基于特征和参数的餐勺型面模块化设计方法研究。对金属餐勺冲压模具型面快速设计系统进行规划。讨论了型面特征库的构建技术,通过建立型面特征库储存型面知识。应用模块化设计方法对型面特征库进行模块划分。通过对型面特征的参数化,实现型面特征的参数化驱动。

第四章 金属餐勺冲压模具型面知识的获取、表达与重用技术。讨论了产品设计领域知识的特点、来源和分类,分别从知识获取、知识表示和知识重用三个方面对基于知识设计系统的关键技术进行了总结,并提出具体的实现方法。

第五章 金属餐勺冲压模具型面快速设计系统的实现。基于以上研究,在 CATIA 平台上开发相应模块,应用于金属餐勺冲压模具型面快速设计系统,并取得了良好的效果。

第六章 总结与展望。总结了本文的主要研究工作和成果,并对今后的研究工作进行展望。

图 1.1 为论文章节结构图。

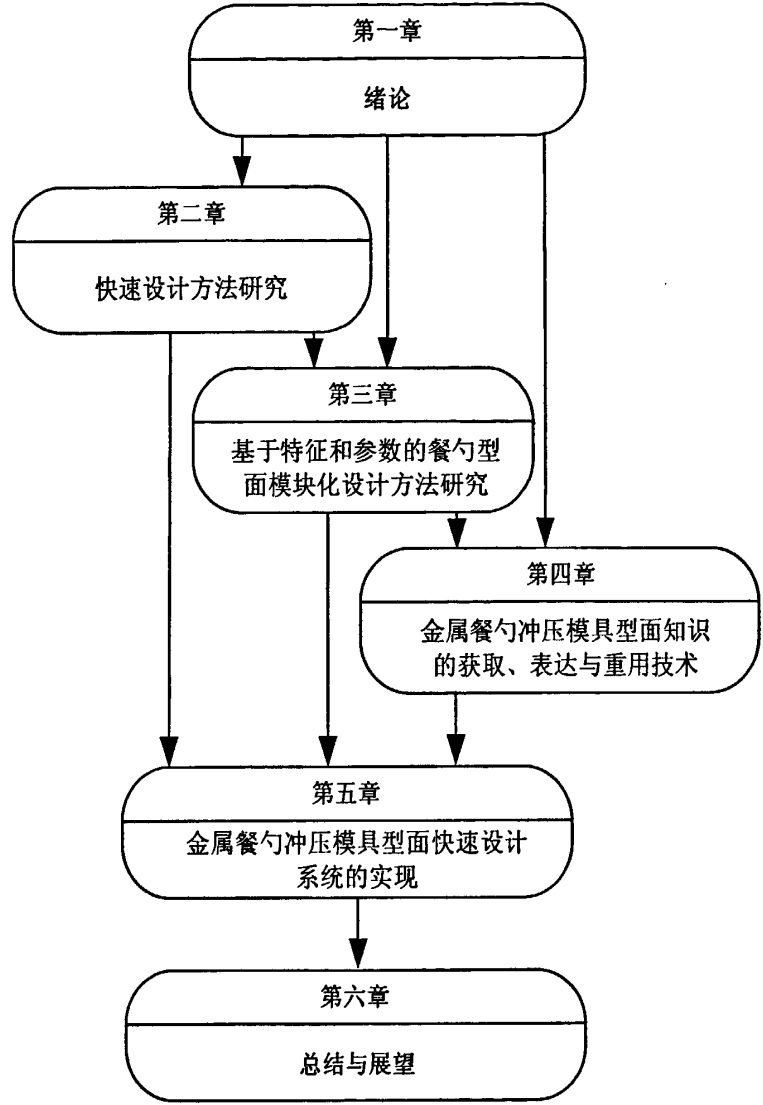


图 1.1 论文章节结构图

第二章 快速设计方法研究

2.1 概述

由于生产力的高度发展,金属餐勺的生产批量可以达到几十万打甚至几百万打,使得餐勺的总供给能力远大于需求量,因而普遍形成买方市场,所有的餐具企业都必须经受这个全球买方市场的挑战。由于市场上产品日趋丰富,消费者的选择余地日益扩大。在基本需求得到满足之后,人们开始不断追求高层次需求,产生了个性化的需求。在顾客需求的不断变化和激烈竞争的条件下,餐具企业获得市场份额和顾客的忠诚越来越依赖于对顾客需求的快速可靠的反应^[18]。如何解决好产品市场寿命缩短和新产品开发周期延长的尖锐矛盾,已成为决定企业成败兴衰生死攸关的问题。事实上,市场竞争的加剧导致了制造业的生产方式和市场竞争焦点的快速转移。由于市场的变化,产品的更新换代越来越快,生命周期越来越短。这迫使企业采用变批量、多品种的生产方式,按订单组织生产。在以快交货(T)、高质量(Q)、低成本(C)和重环保(E)去争取市场份额的市场竞争中,缩短交货期,乃至快速响应市场需求,已经成为竞争的第一要素^[19]。这更要求企业具有高度的灵敏性,能抓住稍纵即逝的机遇,不断地迅速开发出性价比更高的产品并持续不断地进行质量改进以吸引顾客,变被动适应用户为主动引导市场,这样才能保证企业在竞争中立于不败之地。

从竞争力诸多因素中,速度在一定程度上左右着竞争力的其他要素。在产品的研制过程中,先期的快速设计决定了产品的上市速度,也阻止了其他企业的介入,同时快速设计的费用可以由其带来的巨大利润所支付^[18]。在这种时代背景下,市场竞争的焦点就转移到速度上来,交货期成为竞争力诸要素中的首要因素。因此,快速响应工程也就应运而生。

2.2 快速响应工程

快速响应作为一种战略来源于美国对纺织服装行业长期竞争力的研究^[20]。随着制造技术的发展,时代的进步,快速响应战略逐渐影响到制造领域。在制造过程中采用快速响应原理和技术,可以取得明显的效果^[21]。

2.2.1 快速响应工程的内容

快速响应工程目前尚无统一的定义,它包含了能够加速研制过程的所有技术和方法的总和。本文中的快速响应是指在快速反应哲理指导下,以提高企业研制速度为目标,应用先进的设计和分析技术、科学的生产和管理手段、有效的制造技术和实验手法^[18],使企业具备从捕捉产品信息到及时投放市场的全面快速响应能力。它将信息技术、快速制造技术、虚拟现实技术、管

理科学等集成,充分利用 INTERNET 和制造业的资源,采用新的设计理论和方法、制造工艺、新的管理思想和企业组织结构,将市场、产品开发和生产有机地结合起来,以便快速、经济地对市场现有需求和潜在需求作出快速响应^[22]。

快速响应工程主要包括以下几个方面内容^[23]:

- 1) 建立快速捕捉市场动态需求信息的决策机制;
- 2) 实现产品的快速设计;
- 3) 追求新产品的快速试制定型;
- 4) 推行快速响应制造的生产体系。

快速响应反映了一种管理理念,对企业的管理观念、经营决策、投资意向、企业文化都有巨大的影响^[18]。实施快速响应工程,达到产品研制过程的快速性,使企业能够按照订单快速地生产出符合用户需求的产品,从而在行业内取得领先地位,最终获得企业的竞争优势。由于能有效地满足现代市场的需求,该技术将得到超速发展和应用。

2.2.2 实现快速响应的关键

实现快速响应的关键是要有效利用产品的信息资源。人类一切制品都由自然物(如矿藏、野生动植物、阳光、空气和水等)通过注入各种信息加上一定的体力而制成的。产品的信息资源可从以两方面加以分析^[24]。

1) 在许多现代化产品(尤其是信息产品和机电一体化产品)中,凝集着信息(知识)的软件已经成为产品的重要组成部分,产品的智能化程度越高,这部分的比重就越大。

2) 在产品的制造过程中,也直接需要使用各种信息,这包括产品设计信息和制造信息两大类。设计信息指的是为了正确设计产品和确切描述产品特征所需的信息,包括产品的几何形状、尺寸、精度、材质,以及各种规范和技术知识等;制造信息指的是为了进行某一步制造过程,以获得能满足预定要求的产品所需注入的各种信息,包括工艺信息和管理信息。

产品的信息含量越高,信息对产品的交货期、质量和成本的影响也就越大。那么如何有效利用产品的信息资源,以实现快速响应呢?信息具有极佳的共享性。一项新的信息(软件、知识、经验)开发成功后,大量用户立刻可以共享^[22]。根据这些特点,利用现代计算机通信技术对信息的高度储存和传播能力,人们主要采取重用产品信息资源的方法达到使企业快速响应市场的目的。

企业在长期的生产活动中,积累了大量宝贵的产品信息(图纸、数据、经验、标准、规范等)。对这些信息进行充分挖掘和科学重组,使之资源化,成为有用和便于重复利用的产品信息资源。将这些信息资源存储在庞大的数据仓库中,可以有效支持对市场做出快速响应。其要点是在新产品的的设计、研制和制造过程中,尽量重用已有的信息资源(尤其是机电产品中的成熟

零部件), 对于那些确实必须创新的产品信息(如新技术、新结构、新零部件), 也尽量通过先期的开发活动(实行信息重组)加以创建^[24]。这样, 自然能够实现快速响应, 尤其是快速设计。

2.2.3 实施快速响应的主要技术

实施快速响应的主要技术包括: 快速设计系统、快速反求系统、可重组制造系统、客户化生产等技术。

2.2.3.1 快速设计系统

快速设计系统是基于现代设计理论和方法, 应用微电子、信息、管理等现代科学技术, 以缩短产品开发周期为目的的设计系统。产品快速设计的手段是多样的, 但均以信息技术为基础, 以 CAD 技术为基本手段。设计人员能够充分利用三维造型设计技术, 在设计阶段模拟出产品未来制造过程及其对产品设计的影响, 预测产品性能、产品制造成本、产品的可制造性, 减少或避免人为出错, 从而更有效、更经济、更灵活地组织生产, 以达到产品开发周期和成本的最小化, 产品设计质量的最优化, 生产效率的最高化^[22]。

2.2.3.2 快速反求技术

快速反求技术是为了快速响应市场的需求变化、尽可能缩短产品开发周期的背景下应运而生。是针对消化吸收先进技术采取的一系列分析方法和应用技术的综合。通过使用 3D 数字化测量仪器, 快速、准确测取某一先进产品实物或样品轮廓的三维坐标点。将坐标点数据反求为可被 3D 软件接受的数据模型, 运用高性能的三维 CAD 软件系统进行三维曲面重构、修改和设计, 进而开发出同类的或更先进的产品。作为一种逆向思维的设计方法, 它是根据已经存在的产品原型进行解剖、深化和再创造, 是对已有设计的再设计。快速反求技术可以应用于新产品的改型设计、仿形设计以及对已有产品设计意图的再现。

2.2.3.3 可重组制造系统

可重组制造系统指能适应用户需求多样化和产品快速的更新换代要求, 按系统规划的要求, 以重排、重复利用、革新组元或子系统的方式, 快速调整制造过程、制造功能和制造生产能力的一类新型可变制造系统。它是基于可利用的现有的或可获得的新技术设备和其它组元, 可动态重组的新一代制造系统。该系统具有可变性、可集成性、订货化、模块化和敏捷性等特点^[22]。该系统既满足较大规模的标准化产品的生产需求又满足生产多样的个性化产品要求, 特别适用于市场竞争激烈、产品品种和数量陡变的状况。

2.2.3.4 客户化生产

客户化生产是指既具有大批量生产方式下的高效率、低成本，又要像定制生产方式那样满足客户对产品变批量、多品种功能需求的生产方式。包括模块化设计、客户生产的组织管理方式和资源的重组，变型零部件的设计和制造技术，制造商与客户的信息交流等。对客户而言，所得到的产品是定制的、个性化的；对企业而言，该产品是采用大批量生产方式制造的成熟产品，能够满足交货期短，顾客满意度高。

2.2.4 实现快速响应的策略

实施快速响应工程，设计是重要的一环。对企业生产活动的大量调查表明，产品设计制约着包括技术准备（试制、工艺、工装、采购）在内的产品生产周期。产品设计策略的要点可以概括为以下几方面^[23]：

1) 重组企业工作流程，采用变型设计快速响应市场需求；

2) 重组企业产品信息，使企业在设计开发领域中积累的丰富知识，转变为有用和好用的宝贵信息资源，以期尽量利用已有的成熟零部件设计新产品；

3) 建立集成的关系型产品模型，通过产品结构的重组，来支持快速设计。

简而言之，就是通过业务过程重组、信息资源重组和产品结构重组进行变型设计。通过对成熟产品的变型设计，充分利用企业的产品信息资源，最大限度地控制新零件的种类和数量，并在缩短整个生产周期的同时，有效地控制成本和保证质量。

2.3 变型设计

机械产品的设计通常可分为新颖设计和变型设计。两种设计类型都有自身的创新之处，但其特征和层次有所不同。

新颖设计是在全新的工作原理指导下，运用成熟的科学技术或经过实践检验的可行技术，提出新颖的结构方案，设计出创新的机械产品。在产品信息资源的重用程度方面，新颖设计涉及的可重用信息资源较少，它的实现过程需要耗用客观的企业资源，来验证、完善产品结构。

变型设计是在保持原理不变，利用零部件或产品的相似性，针对特定的功能要求或用户个性化需求，遵循一定的科学流程，对产品的局部结构形式、结构要素或参数进行调整和变更，以满足新的设计需求，最终形成相似零部件或产品的设计方法。变型设计并没有改变原有产品的功能和原理，它能很好地组织和结合相似产品的通用性和差异性，在重用已有资源的基础上快速、高质量、低成本地实现产品的快速设计和快速试制定型，以满足市场多样化和用户个性化需求^[25]，大大提高产品的设计效率和质量。是一种用来减少设计者重复劳动、缩短产品开发周期、降低成本，迅速开发出个性化产品的通用方法。在产品信息资源的重用程度方面，变型

设计的实现过程可最大限度地重用企业已有的成熟产品资源，具有很强的灵活性和适应性。

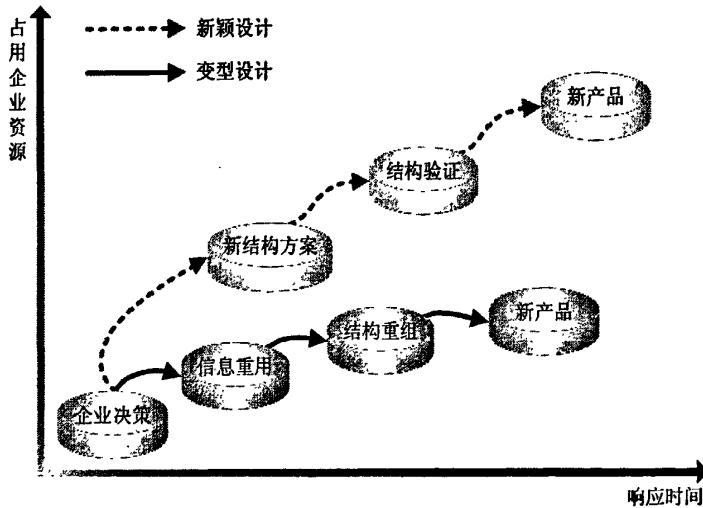


图 2.1 产品设计路线图

图 2.1 所示为产品设计路线图，虚线和实线分别代表了新颖设计方法和变型设计方法。从图中可以看出新颖设计无论从占用企业资源方面还是响应时间方面都要多于变型设计。因此，变型设计更能够使企业动用少数资源快速响应市场需求。

传统的变型设计并不能自动保证产品的快交货、高质量和低成本，甚至适得其反。主要表现在企业生产零件的多样性和缺乏可重用性，导致新零件数目的失控。引起这种现象的原因在于企业产品信息的无序状态和设计者的随意性^[19]，使大量的产品数据无法成为能有效支持快速变型设计的信息资源。因此，深入系统地研究一种能科学重用企业的产品信息资源，有效支持快速响应设计的变型设计理论和方法及其实现手段是很有必要的。

变型设计的过程如图 2.2 所示。实例库储存原有产品的信息资源，从实例库中总结出的模板库和规则库为变型设计提供变更依据，虚线框部分为快速修改的方法和策略。从图中可以看出实例库、模板库、规则库提供的变型信息资源在变型设计中的核心地位。

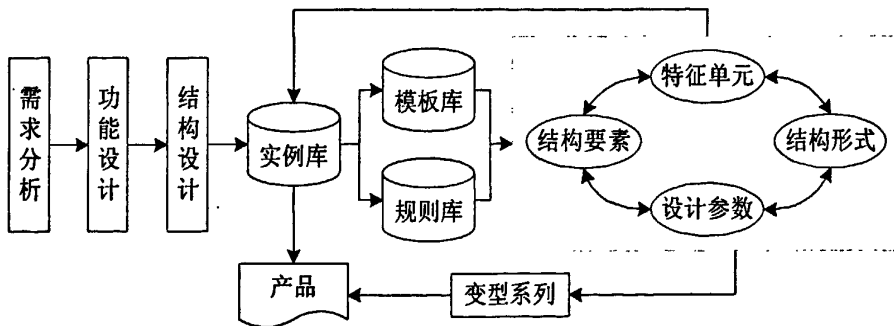


图 2.2 变型设计过程图

因此用于变型设计的 CAD 系统具有一些与传统 CAD 系统不同的特点。它是以信息资源为核心的关系型 CAD 系统, 提供一系列工具来帮助设计师在设计对象之间建立、表达设计关系和设计约束。CAD 系统要支持这种设计方法必须满足以下要求^[26]:

- 1) 提供维持原有产品功能、原理的方法和工具;
- 2) 提供对已存在的设计信息资源的有效管理和组织手段, 方便对设计的检索和存取;
- 3) 提供对已存在的设计的快速修改的方法和工具。

2.3.1 关系型 CAD 系统

支持变型设计的关系型 CAD 系统要支持包括概念设计在内的全过程, 要存储设计者的设计知识, 表达设计意图, 并支持设计结果及设计过程的重用。

在设计过程中, 设计者要表达各种各样的工程语义关系, 如配合关系、位置关系、联接关系等, 在 CAD 系统中, 这些关系可以借助抽象的几何及非几何对象间的关系来表达, 如图 2.3 所示。

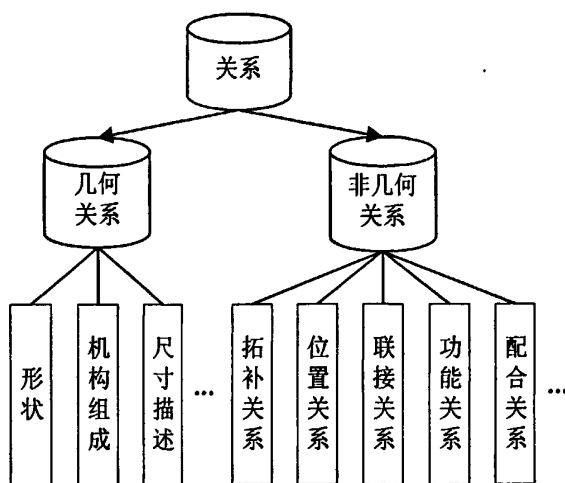


图 2.3 关系的划分

要准确表达设计知识和设计意图, 就要保证这些关系能够以一种完整、统一的策略进行表示和维护。关系是整个设计对象内涵保持一致的基础, 也是各种设计知识和设计约束的载体。正确合理地运用这些关系, 可以建立机械设计中的概念模型、装配模型和零件模型。将关系和约束两个概念结合起来, 用约束对关系进行限制, 形成约束模型^[19], 使其达到特定设计要求, 这样才能实现产品的快速设计。

2.3.2 模块化变型设计

模块化设计是在对一定范围内的不同功能、不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上, 划分出一系列相互独立的功能模块, 通过模块的选择和组合可以构成不同品种、不同规

格的产品^[27]，从而满足市场不同需求的设计方法。模块化设计原则是力求以尽可能少的模块种类组合成尽可能多的变型产品。模块化设计包括模块划分、模块创建和模块综合三个过程。

模块划分要遵循图 2.4 所示的如下原则^[28]：

- 1) 划分使模块的功能独立，结构完整，接口标准化；
- 2) 将产品更新中相对变化较多的部分和相对稳定的部分分解成独立的模块，以便于产品的更新换代，将客户经常定制的部分独立出来形成模块，以满足用户个性化需求；
- 3) 按照产品结构的复杂程度、零部件种类的数量划分模块；
- 4) 按照产品生命周期的不同阶段划分，如面向设计的模块和面向制造的模块等。

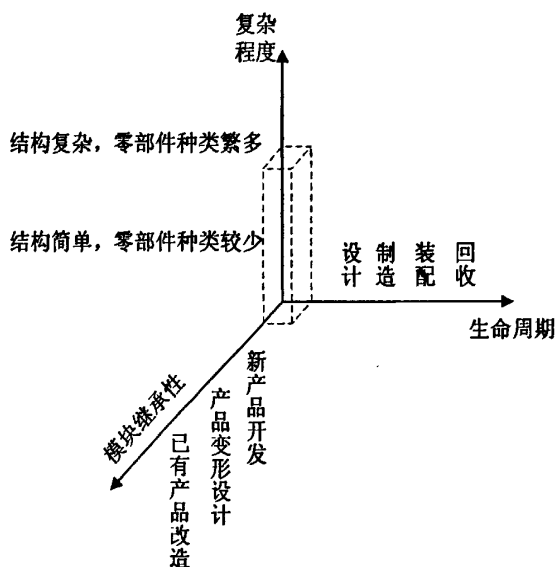


图 2.4 模块的划分原则

模块的创建建立在标准化与通用化基础上，从客户的满意程度、可制造性等方面对模块化的结构进行设计，使企业可以容易地将各模块组合装配成不同形式的产品，来满足客户的要求。

模块综合则是根据具体设计要求，进行功能分解，并从模块集中选择合适的模块实现分解功能，并最终将分功能模块组合形成产品^[29]。

模块化设计可以使产品的设计、制造周期大大缩短，降低成本且提高产品的质量，并可使产品具有很大的灵活性和适应性；能快速响应用户的多品种、小批量的需求，使产品具有很强的市场竞争力。

2.3.3 基于特征的变型设计

特征技术的发展给产品的变型设计提供了一种手段，用户通过对一系列特征的实例化和特

征的自动维护达到产品变型设计的目的。

特征是指在产品生命周期各阶段活动中,与产品描述相关的信息集。基于特征的设计是一种基于特征的 CAD 系统的实现方法,是为克服传统 CAD 系统的缺陷,为了 CAD / CAM 集成的需要提出的。它以特征作为产品设计的基本单元,力求从一开始就把特征融合到产品模型中,把产品模型描述为特征的集合。特征设计是面向设计和制造的全过程,以几何模型为基础,包括零件设计、生产过程所需的各种信息的一种产品模型方案。

在设计阶段,设计者直接使用设计特征进行产品建模,设计特征与形状特征紧密相关,设计者的设计意图通过形状特征以及它们之间的关系,如相对位置、约束等来表达。形状特征由系统设计者以特征库的形式提供给用户,许多系统允许用户用自定义特征扩展系统特征库。基于特征的设计过程就是特征库中的特征实例化的过程,如图 2.5 所示。

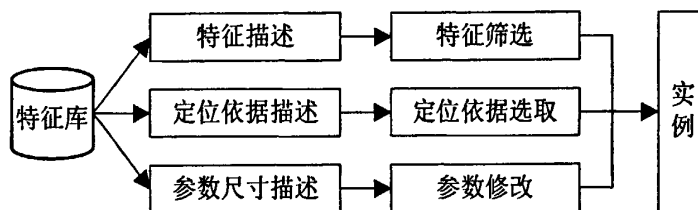


图 2.5 特征实例化过程

基于特征设计的方法弥补了传统的以实体造型为基础的 CAD 系统的数据不完整、造型方法单一的缺点,可为用户提供参数设计、变量设计等灵活的设计手段。

2.3.4 基于参数设计和变量设计的变型设计

参数设计一般是指设计对象的结构形状比较定型,根据产品零部件的性能参数来确定其几何形状或结构尺寸的设计方法。参数与设计对象的控制尺寸有显式的对应关系,设计结果的修改受到尺寸驱动。生产中最常用的系列化、标准化设计就是属于这一类型。

变量设计思想是在参数设计的基础上发展而来的,是一种基于约束的设计方法。设计对象的修改需要更大的自由度,使用一系列与几何和尺寸参数相关的约束方程来描述特征,通过求解约束方程组来确定产品的尺寸和形状。约束结果的修改受到约束方程驱动。

参数设计和变量设计适用于产品的初始设计和定型产品系列设计,使产品的设计图纸可以随着某些结构尺寸的修改和使用环境的变化而自动修改,从而实现变型设计。

2.4 金属餐勺冲压模具型面快速设计方法讨论

实施快速响应工程,设计是重要的一环。企业为了实现快速响应工程而进行的业务过程重组、信息资源重组和产品结构重组,都是围绕着快速设计以及为快速设计提供支持为核心进行的,支持变型设计作为快速设计的策略。基于快速响应工程的快速设计方法,在设计阶段考虑

设计和制造问题。根据产品特性将快速反求技术、可重组制造系统、客户化生产技术相结合,实现产品的变型设计。

变型设计以关系为核心,注重产品信息知识的重用。产品信息的重用必须以知识库的建立、使用和维护为前提,模块化变型设计、基于特征的变型设计、基于参数设计和变量设计的变型设计都可以为知识库提供很好的支持。如何能将各种变型设计方法结合起来,取长补短,使得变型设计能够灵活、快速的应用于该餐具企业,并最大限度的面向设计与制造过程,是本小节讨论的重点。

模块化变型设计是建立在模块的定义和组织管理基础之上的,不同模块概括了产品的生命周期,体现产品的不同结构,体现客户的定制要求,使变型设计能够面向产品设计制造过程,灵活的反应市场需求。然而不同模块之间的对应关系是预先确定的,不能随意改变,这使该方法不能建立一种通用的设计环境,也不适用于较大范围的产品设计。

基于特征的变型设计方法通过实例化特征库中的特征来完成产品设计。特征的实例化省去了建模过程,形状特征形象的体现了设计者的设计意图,为特征检索提供线索,因此该方法可以提高设计速度。特征的实例化必须以约束为依据,因而不同特征间需要保持统一的约束标准,这为特征的更新带来麻烦,是基于特征的设计方法必须考虑的因素。

基于参数设计和变量设计方法的变型设计要与特征设计相结合,参数和变量的使用为特征的形状、尺寸、定位关系的快速修改提供了一种灵活的解决方案。参数与知识库的结合使得产品设计能够实现标准化和系列化,为面向制造的设计提供技术支持。但是,这种设计方法表达的信息量小,无法准确描述复杂的工程约束,这也是当前 CAD 系统研究的重点。

2.5 金属餐勺冲压模具型面快速设计方法的确定

实施快速响应工程,采用变型设计的方法,融合实施快速响应的主要技术,结合前文提到的几种变型设计方法的优点,确定金属餐勺冲压模具型面快速设计方法为基于特征和参数的模块化变型设计方法。

金属餐勺的冲压过程经常存在着板料与模具型面不相贴合的现象,这样造成了餐勺成形质量较差,增加了后续抛光的工作量。为了提高成形质量,模具工人要经常对模具进行修模、试模工作,使模具型面达到成形要求,这不但影响了餐勺的生产效率,也使得生产过程十分依赖模具工人的操作经验。快速设计方法正是为了解决这一问题而提出的,在设计阶段面向设计和制造的过程,在设计阶段解决设计和制造问题。快速设计方法的基本流程和组成模块如图 2.6 所示。从图中可以看出系统以特征库为核心,以参数为特征的主要依据,将系统分为勺头库模块,勺柄库模块,特征实例化模块,型面入库模块,知识获取模块等。

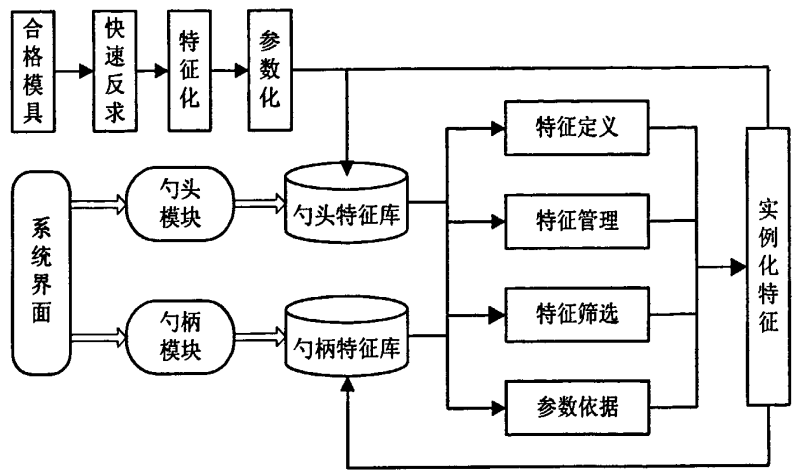


图 2.6 快速设计流程和组成模块

2.5.1 模块化设计方法在金属餐勺冲压模具型面设计系统中的应用

在对该餐具企业的餐勺型号进行调查后发现，不同型号餐勺的勺头部分形状比较稳定，可以划分出几个系列，而勺柄部分则变化较大。另外，餐勺成形过程中板料与模具型面不相贴和的部位多发生在勺头部分。因此，在可重组制造技术的要求下和模块化设计思想的指导下，将餐勺模具型面进行模块化划分。依据模块划分原则将餐勺型面划分为勺头库模块和勺柄库模块来支持变型设计。进行餐勺设计时，根据设计需要和创新要求，分别从两个模块中取出勺头型面和勺柄型面进行变型设计，可以灵活、快速的设计出个性化的新产品，快速响应客户多品种小批量的需求。另外，在企业资源的储存方面，建立知识获取模块和型面入库模块，在企业资源的重用方面，建立特征实例化模块等。

2.5.2 基于特征设计方法在金属餐勺冲压模具型面设计系统中的应用

为了摆脱企业对模具工人生产经验以及设计人员设计经验的依赖，提高产品信息资源的可重用性，设计过程需要特征技术的支持，以特征为单位进行产品设计。特征包含产品的设计和制造信息，通过建立型面特征库，储存产品设计和制造知识，使得产品信息能够得到很好的继承和扩充。特征库包含了特征间的形位、尺寸等约束关系，作为特征实例化的依据。统一、标准的约束关系，使得特征的实例化过程可以提高产品的设计效率。

2.5.3 基于参数设计方法在金属餐勺冲压模具型面设计系统中的应用

参数是产品信息的主要描述手段之一，是产品知识的数字化表述方法，是餐勺型面特征库的重要组成部分，基于特征的设计方法离不开参数的支持。通过参数的修改，可以灵活的设计勺头型面特征与勺柄型面特征间的位置关系、形状尺寸等信息，来源于产品型面设计知识的参

数可以为设计过程提供参考，为实现型面设计的标准化提供保障。

2.5.4 快速反求技术在金属餐勺冲压模具型面设计系统中的应用

为了减少甚至消除制造过程中勺头部分与模具型面不相贴合的现象，设计系统建立了型面特征库，使用参数来描述勺头与勺柄间的约束关系。但是，如何将模具工人经过反复修模、试模加工出的合格型面储存下来，加入型面特征库并建立约束关系，成为迫切需要解决的技术问题。快速反求技术为这一问题提供了解决方法。通过快速反求技术，提取模具勺头部分型面，将型面特征化、参数化，加入型面特征库，实现制造知识的获取和储存。

2.6 本章小结

本章对快速响应工程在企业提高竞争力、快速响应市场需求起到的促进作用等方面进行了讨论，总结了实施快速响应工程的主要技术和关键策略，采用变型设计方法支持快速响应工程的实现。提出了基于特征和参数的模块化金属餐勺冲压模具型面变型设计的快速设计方法。该方法支持产品信息的储存和重用，以特征为设计组元，以参数为设计修改依据，在模块化设计环境下，进行餐勺型面的变型设计，提高设计的质量和效率。

第三章 基于特征和参数的餐勺型面模块化设计方法研究

3.1 概述

在基于特征和参数的模块化变型设计方法指导下,实现金属餐勺冲压模具型面的快速设计,构建设计系统。根据餐勺冲压模具型面的特点对系统进行模块划分,通过不同模块的应用、组合来设计型面。快速设计方法以型面特征库的构建和应用为核心,型面特征库以形状特征和参数相结合的方式体现型面知识,将参数和约束关系作为特征实例化和修改的依据。特征库与参数的结合为型面知识的储存、重用和更新提供支持,减少设计过程中的重复性劳动。

3.2 餐勺冲压模具型面特征库的构建技术

在目前激烈的市场竞争环境下,要求产品的设计和制造周期不断缩短,宜采用标准化、通用化、模块化、组合化的方式进行设计。这就需要标准特征库的支持,以减少设计过程中重复建模的过程。对于餐勺生产企业来说,建立企业内部标准的金属餐勺冲压模具型面标准特征库,是提高设计效率,降低生产成本的基础。

3.2.1 型面特征模板

特征模板是采用特征造型技术和拓扑约束关系建立的三维参数化模型,模型经过简化,只有代表其特征的结构和尺寸^[32]。模板有若干个几何尺寸,从中抽取出主参数和副参数,其他参数的值是固定的数值或者是包含主参数的数学表达式。由于相同系列的模板具有相同的拓扑结构和不同的尺寸参数,一系列的标准模板就可以使用同一三维实体模型,这种方法不仅减少了尺寸的数量,也能保证模板模型的简化性,大大提高建模速度。

采用特征模板的优点是模板在调用过程中不会发生尺寸被修改的现象,便于一次建模,多次使用^[33]。借助于尺寸驱动技术,也就是参数化技术,发生改变的是实际生成的标准特征,与之相应的,从数据库中读入的标准模板的各种属性参数,如模板代号、模板名称、规格等会自动加载到所生成的标准特征中。首先应用三维 CAD 软件的建模功能建立模板特征,将模板特征和参数存储于数据库中,数据库包含两部分内容,一部分用于存储模板特征,称为标准件图形库;另一部分用于存储标准特征详细规格、参数以及模板特征路径等内容,称为标准参数库。当用户选择标准特征后系统自动和标准参数库相连,加载对应该特征的主参数供用户选择,用户在做出选择后,系统并不是直接调用模板特征,而是将标准模板特征拷贝到用户当前文件所在目录,对拷贝过来的模板特征通过相应参数的映射机制进行参数化尺寸驱动^[30],生成实例化标准特征。

餐勺冲压模具型面特征模板是包含实特征、虚特征以及他们之间的相对位置关系的特征模型文件。特征模板的设计包括实、虚特征的构造，以及它们相对位置的确定^[34]。以餐勺正视图型面截面投影线为例，对特征模板的构造过程加以说明。如图 3.1 所示，餐勺型面正视图截面投影线作为实特征，餐勺型面的定位基准作为虚特征。实特征是特征实例化的主要内容，而虚特征则为主特征的实例化过程提供依据。图 3.1 显示了特征模板的构造过程中，实特征与虚特征的结合，以虚特征为依据对实特征的空间位置进行约束。

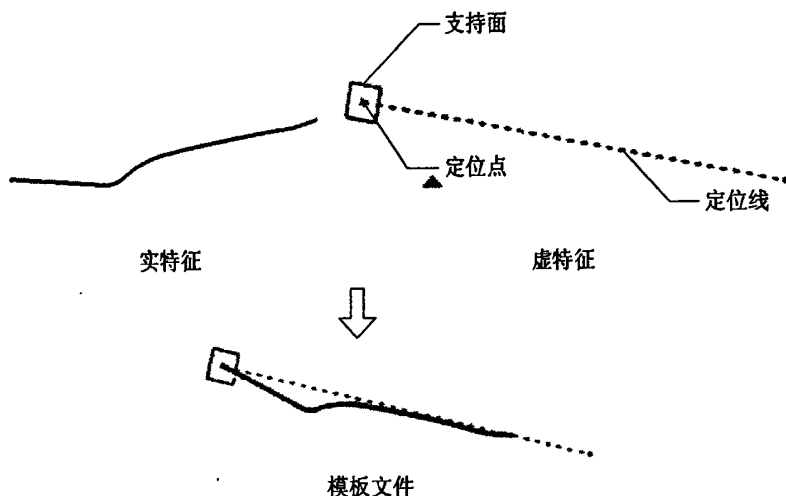


图 3.1 特征模板的构造过程

3.2.2 型面特征库的开发方法

目前有关三维特征库开发方法的研究主要有部件族法和编程法两种^[35]。

部件族法是在大型 CAD 系统支持下，综合电子表格、关系表达式、用户自定义特征等特征参数化手段，建立标准特征模板。对于确定特征尺寸及约束关系的参数表达式进行用户化命名，并与标准参数电子表格建立映射关系，填写族内所有特征对应的参数值。标准特征调用是通过选择一组参数来修改标准特征模板的尺寸变量，得到相应的标准特征模型^[31]。部件族法的优点是有成熟 CAD 系统的特征技术作保障，适用的特征种类多。但建库过程自动化程度差，经常出现人为因素造成的返工。

编程法是基于某一 CAD 系统环境下，利用该系统的二次开发工具，使用某种编程语言，进行程序开发。通过程序调用运行，对某种特征进行自动化建模、参数化、标准化等操作，建立约束关系，生成模板文件并将其加入特征库。编程法的优点是自动化程度高，但对于复杂特征来说，编程工作量较大，难度较高。

通过对上述方法的分析，对两种方法进行综合，发挥各自的优点，针对其中的缺点进行改

进。如图 3.2 所示为部件族法与编程法的综合应用示例图。

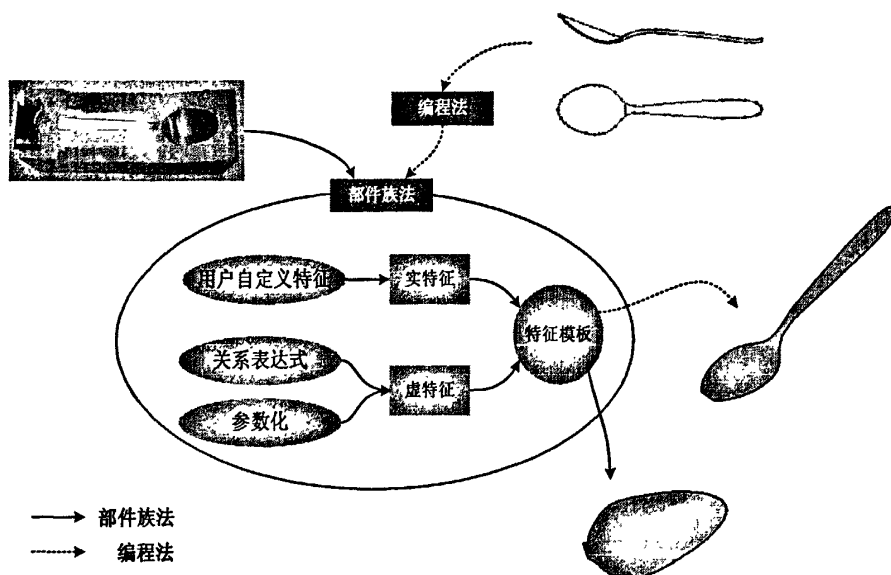


图 3.2 部件族法与编程法的综合应用示例

餐勺勺头标准型面特征库的建立应用部件族方法。采用逆向工程的方法，对合格模具进行快速反求，对反求结果进行特征化、参数化，创建勺头型面特征标准模板。并对勺头模板进行形位、尺寸约束，如图 3.2 中实线所示。

餐勺勺柄标准型面特征库采用编程法与部件族法的综合。应用程序法对某大型 CAD 系统进行二次开发，设计用户界面，编写参数化驱动程序。程序实现从型面二维工程图到勺柄三维型面特征间的自动化参数建模，将型面加入特征库，创建勺柄型面特征模板，并对勺柄模板进行形位、尺寸约束等一系列部件族法过程，构建与勺头型面的映射关系，如图 3.2 中虚线所示。

3.2.3 型面特征库的构建原则

通过借鉴多种三维 CAD 系统的特征库构建平台的优点，根据 CAD/CAM 系统的现状和特定用户需求的分析，餐勺冲压模具型面特征库的构建主要考虑以下原则：

- 1) 信息完整性。既要包含型面几何信息，又要包含非几何信息^[36]，以便对型面设计系统各模块的组合、型面特征的联接等提供完备的信息支持。
- 2) 专用性。针对金属餐勺冲压模具型面设计领域，设计出专用的型面特征库。
- 3) 参数驱动性^[37]。在型面特征实例化的过程中，由于应用环境的改变，特征参数也应做相应改变。再者在交互式 CAD 系统中，由于用户的疏忽，错误的输入有时难以避免。因此必须引入参数驱动机制，方便用户通过修改参数生成新特征。
- 4) 可扩充性。这是目前集成标准特征库建库工具的 CAD 系统的共有特点。根据 CAD 系

统的交互式用户向导, 自定义标准特征, 并且可以添加到指定的库中^[38]。扩充性是评价特征库完善与否的重要指标。对于餐勺冲压模具型面特征库来说, 更要具有扩充能力。基于编程法实现的型面特征模板可以自动加入到型面特征库中, 即通过编译程序, 设计系统自动将符合设计者要求的型面特征及相关信息添加到特征库中, 实现特征库的动态扩充, 供以后重用。餐勺型面特征库的动态扩充流程如图 3.3 所示, 通过采用编程法, 设计系统自动完成从工程图型面拾取、型面特征化和型面特征参数化的过程。经过对型面质量的评价后, 通过程序实现对合格型面特征的信息进行描述、分类, 并加入型面特征库。

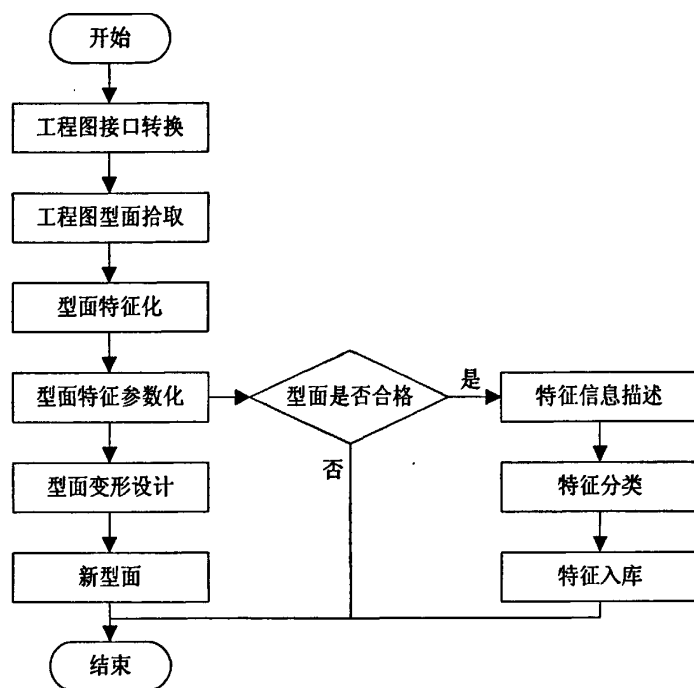


图 3.3 餐勺型面特征库动态扩充流程图

5) 支持型面知识的重用。型面信息资源的重用是建立型面特征库的最主要目的, 换句话说特征库是型面知识的储存载体。特征库对知识重用的支持要从以下两方面来考虑。一方面是支持型面特征的重复使用, 另一方面是对型面变型设计的支持。

6) 易于管理。型面特征库是一个信息集合体, 需要不断地进行维护才能适应不同的需要并保持良好的状态以支持变型设计。对特征库中的型面特征实施多层次分类管理, 方便用户对库内标面特征信息的检索、查询和所需标准型面特征的选择。对基于编程法特征库自动化动态扩充功能来说, 在型面特征动态添加入库前, 要对型面特征按要求创建分层检索目录, 然后在特定目录下实现型面特征的自动添加。这对编程法程序的编写提出了更高的要求。特征库分层管理结构如图 3.4 所示。

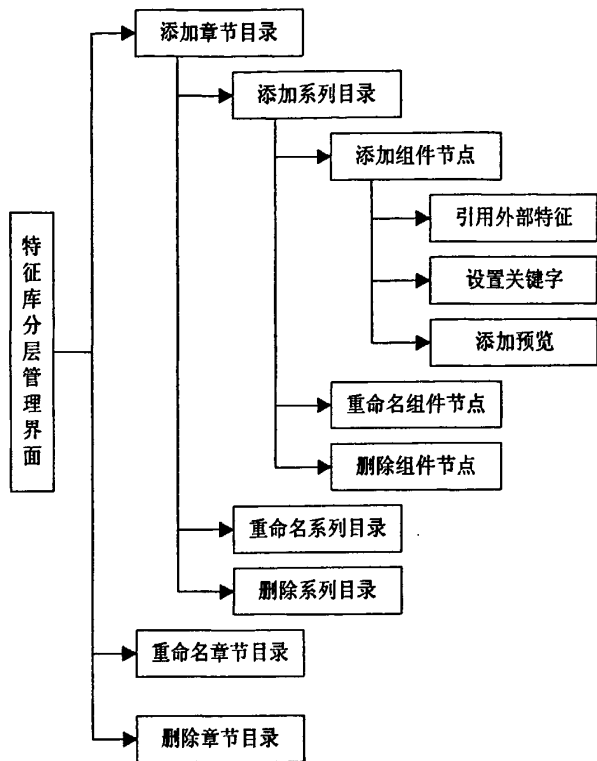


图 3.4 型面特征库分层管理结构

7) 支持型面特征的预览。型面特征库应为设计者提供直观的预览方式，通过预览设计人员可以方便的了解该型面的基本属性。最直观的方式就是将信息组织成树状列表，这样用户的浏览和选择都会十分直观。

3.2.4 型面特征库信息描述方法

快速设计系统将特征库内的型面组织成一个具有单一继承关系的树状结构，具有相同或相似特性的特征构成族，以特征族的形式组织和描述特征信息。特征族分为通用族和简单族，通用族用于分类，对它们并不实例化，简单族继承通用族的特性，且必须实例化。采用这种描述方法减少了型面特征库信息系统的冗余，也方便用户添加自己独有的型面特征族及特性。图 3.5 为餐勺冲压模具型面特征库组织结构图，图中（1）代表通用族，（2）代表简单族，用于实例化。

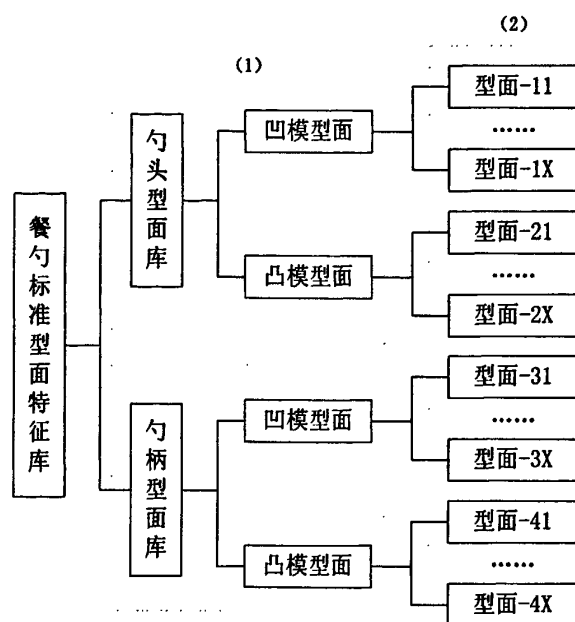


图 3.5 餐勺标准型面特征库组织结构图

为了满足不同领域的设计人员对特征信息的不同要求，系统从三个方面描述一个特征。通用模型类描述的是特征的本质属性，是对特征总体信息的抽象和简化。功能视图类抽象了特征在 CAD 系统中的显示方法，其结构与具体的特征无关，可以应用于任何通用模型类。功能模型类是在特征通用模型类的基础上，按照特征功能视图类的要求提供同类特征集合的不同表达，即从不同的角度对零件族信息进行多视图表达^[39]。

3.3 餐勺冲压模具型面模块化特征库的建立

综合模块化设计方法的优点和特征库技术的优势，建立模块化的型面特征库。

3.3.1 型面特征库的模块划分

依据模块划分思想，结合餐勺型面特征的特点将型面特征库划分为基于设计知识的型面特征模块和基于制造知识的型面特征模块，再构建型面知识更新模块来支持特征库的更新维护。模块的划分体现了特征库对产品信息重用的支持。通过模块的划分使得特征库具有知识重用性、扩充性和专用性。

基于设计知识的型面特征模块对包含设计知识的型面特征进行储存、管理，主要针对勺柄型面。设计知识的储存来源于设计师的工程图纸，对图纸中型面进行特征化、参数化，以形状特征的形式体现设计知识。设计知识主要包括以下几个方面：

- 1) 企业内部标准。用于建立一些准则，在企业内部实现标准化，以提高设计效率。

2) 设计规则。通过反复试验而得到的或长期积累、总结的设计所必须遵守的准则。

3) 经验准则。这种指导性准则是应用最广泛的一种, 并且属于非书面的工程知识, 往往以实例的形式存在于有经验的工程师脑中^[40]。

基于制造知识的型面特征模块对包含制造知识的型面特征进行储存、管理, 主要针对勺头型面。制造特征来源于符合生产要求的模具型面, 通过快速反求方法进行提取, 经过特征化、参数化, 以形状特征的形式体现制造知识。

型面知识更新模块支持特征库的动态扩充, 主要针对的是型面入库过程。更新的型面特征按照所包含的知识进行分类, 包含设计知识的特征归入特征库的设计知识型面特征模块, 包含制造知识的特征归入特征库的制造知识型面特征模块。入库的新特征按照特征库的规定层次结构进行储存、管理。

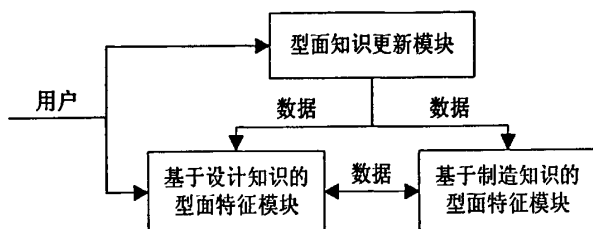


图 3.6 模块间的关系

如图 3.6 所示三个模块之间相互独立, 基于设计知识的型面特征模块与基于制造知识的型面特征模块之间的数据是通过参数传递的, 只要参数的个数、类型和作用等关系不变, 模块内部的修改不会影响到其他模块。型面知识更新模块与两个特征库模块间的数据是通过外部特征来传递的。模块之间的独立性和相互关系的确定性使得模块的维护和扩充便于实现。

3.3.2 定义型面特征

本文通过建立自定义形状特征的方法, 来实现型面特征的定义。特征的定义是用户创建特征原型的一个设计过程。在该过程中, 系统不仅记录了特征模型的建立过程, 还记录了设计意图, 即型面特征之间的关系。形状特征是具有一定形状和属性的几何实体。基于设计知识的型面特征与基于制造知识的型面特征都是通过形状特征的方式来表示知识。

通过型面自定义特征的建立, 可以实现以下功能:

- 1) 实现交互式设计。用户通过自定义约束输入对话框实现与型面特征库的交互。
- 2) 实现参数驱动。通过建立型面特征间的参数约束关系, 实现参数驱动。

勺头型面特征包含了餐勺的制造知识, 储存在基于制造知识的型面特征库中, 勺柄型面特征包含了餐勺的设计知识, 储存在基于设计知识的型面特征库中。特征库之间具有统一的约束对应关系, 通过设置共同的定位点、定位线和定位面等定位基准来实现特征定位。

从图 3.7 中可以看出勺头型面特征与勺柄特征之间有共同的定位基准, 通过定位基准建立

对应关系，实现餐勺型面特征的定位。

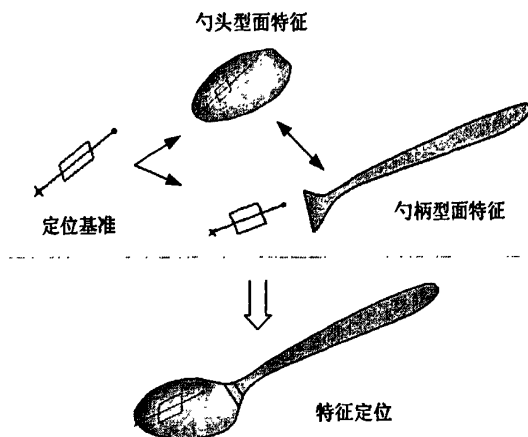


图 3.7 特征间的定位关系

3.3.3 型面特征入库

型面特征定义出来后，要将其加入相应的型面特征库，才能实现型面特征的储存和重用。根据特征库的两种开发方法和餐勺型面特征的特点，采用部件族法实现勺头型面特征的入库，采用编程法实现勺柄型面特征的入库，过程如图 3.8 所示。

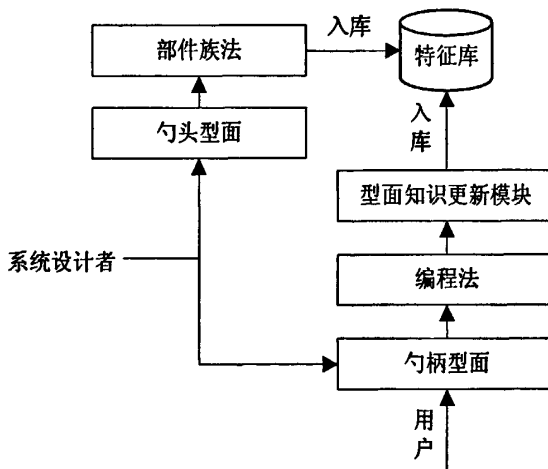


图 3.8 特征入库过程

勺头型面与勺柄型面相比，型面种类较少，并且勺头型面的种类比较固定，几乎不进行更新。因此采用部件族的方法将勺头型面加入特征库。勺头型面的入库过程是型面快速设计系统构建过程的一部分，不对用户开放，如图 3.8 所示。通过系统设计者手动建立勺头特征模板并填写特征对应的参数值，按照一定储存结构和层次，将勺头特征加入特征库。

勺柄型面与勺头型面相比，型面种类较多，而且勺柄型面造型各异，难以总结规律，需要经常更新以适应市场变化的需求。因此采用编程法将勺柄型面加入特征库，勺柄型面的入库过程是由特征库型面知识更新模块支持的，如图 3.8 所示。系统设计者将一些基本的勺柄型面加入特征库并建立型面快速设计系统后，用户可以根据需要对特征库进行更新，通过调用程序，建立勺柄型面特征模板并填写特征对应的参数值，将符合设计、生产要求的勺柄型面加入特征库。编程法的优点是自动化程度高，由于对用户开放，因此必须具有良好的操作性和简单性，降低人为出错的概率，因此采用编程法。编程法的实现过程如图 3.9 所示，用户通过系统的入库按钮进入型面入库界面，用户根据型面的命名规律对即将入库的型面进行命名。操作完成后，程序在后台将按照与勺头型面相同的储存结构和层次将新的型面特征加入特征库。

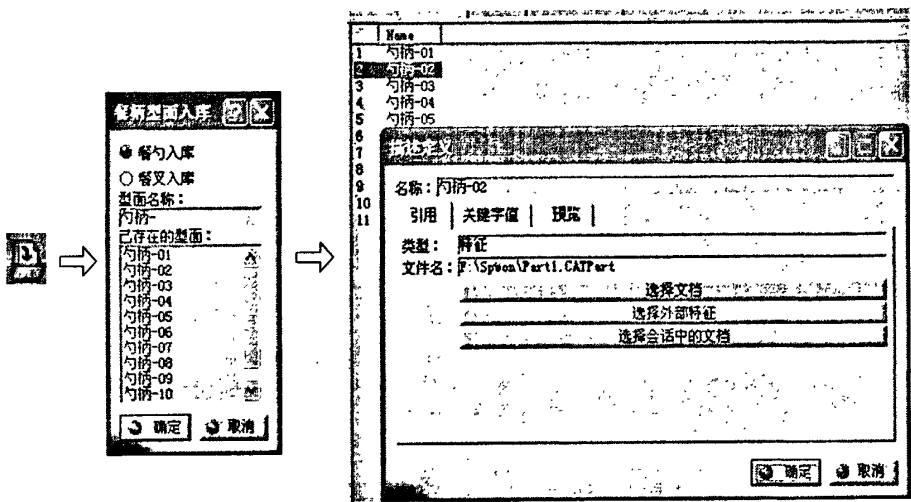


图 3.9 程序实现的型面特征入库过程

3.4 餐勺冲压模具型面特征库的参数化驱动方法

所谓参数驱动，就是采用参数化建模方法建立型面特征种子模板文件，在模板文件基础上通过改变控制参数，驱动种子特征产生相似的新特征。是基于对形状特征的操作和对几何约束处理的一种参数化特征实例化方法。

为使参数驱动模型拓扑结构正确，不产生畸变，要求作为模板的种子特征建模合理。创建零件的种子模板时，要仔细分析该特征的拓扑结构，建立结构合理、全约束的模型，该模板包含用作参数驱动的相关参数及其初值等信息^[41]。

变型设计过程涉及到对产品知识的重用和重组，虽然特征间的参数约束关系是固定的，但是不同特征间的差异导致特征之间位置关系的差异。如图 3.10 所示，实例化的勺头型面和勺柄型面的空间位置并不一致，存在着一定的定位差异。这使得用户不能够很好的将两个型面接合到一起成为完整的、合格的型面，因此要对型面的空间位置进行调整，消除定位差异。

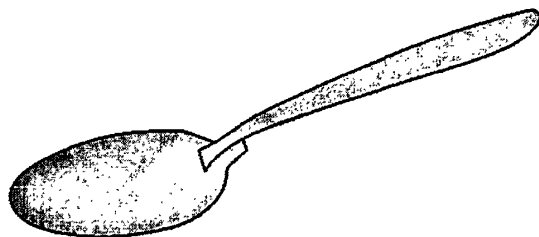


图 3.10 型面位置关系的差异

为了解决定位差异的问题，就要通过参数驱动来对特征的定位关系进行调整。型面的参数如图 3.11 所示，其中，“纵向偏移量”和“垂向偏移量”是对型面的空间位置在纵向和垂向的平移调整变量，通过对这两个变量的修改，实现对型面的平移操作。“摆向偏转角”和“俯仰偏转角”是对型面空间位置在摆向和俯仰方向的旋转调整变量，通过对这两个变量的修改，实现对型面的旋转操作。

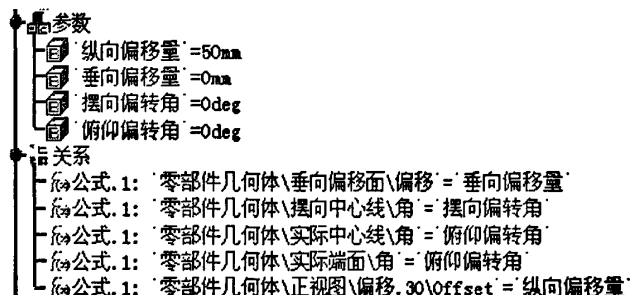


图 3.11 型面参数

型面的位置是通过一个定位端面、一个定位端面和一个定位中心线确定的。而型面在空间坐标系中的位置是通过以上参数对定位端点和定位中心线的调整来控制的。如图 3.12 所示。

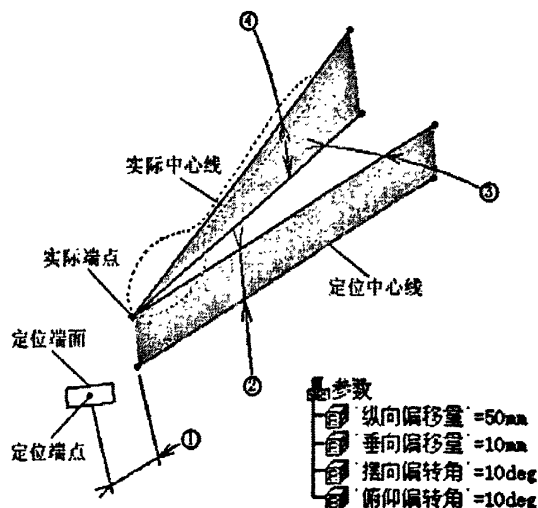


图 3.12 参数对餐勺型面空间位置的控制

图 3.12 中的①代表了纵向偏移量,②代表了垂向偏移量,③代表了摆向偏转角,④代表了俯仰偏转角。这四个尺寸代表了四个自由度,通过这四个自由度的修改可以实现对型面中心线的形位控制,从而实现对型面空间姿态的调整,以实现设计者的设计意图。

通过对型面参数的修改,对型面空间位置进行调整,解决了型面的定位差异。结果如图 3.13 所示,勺头型面与勺柄型面实现了统一,为后续的类型面拼接打下了良好的基础。

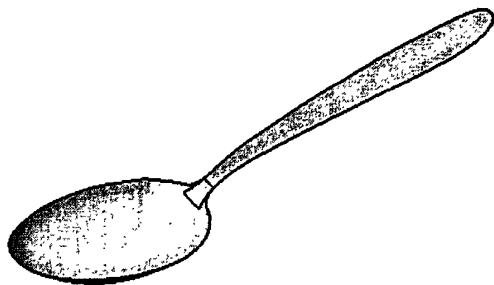


图 3.13 参数修改结果

3.5 本章小结

本章讨论了基于特征和参数的模块化变型设计思想的实现方法,对金属餐勺冲压模具型面快速设计系统进行规划。分析了型面特征库的构建技术,通过建立型面特征库来储存型面知识。应用模块化设计方法对型面特征库进行模块划分,通过功能模块的有机组合来实现型面特征库的有效维护,从而使型面特征库具有知识重用性、可扩充性和专用性。通过对型面特征的参数化操作,实现型面特征的参数化驱动,使设计人员能够对型面的姿态进行灵活的调整,以达到变型设计的目的。

第四章 金属餐勺冲压模具型面知识的获取、表达与重用技术

4.1 概述

型面知识的获取、表达与重用技术是实现餐勺冲压模具型面快速设计方法的关键技术。型面的变型设计方法是以知识的获取和表达为基础而进行的知识重用过程,可见型面知识在变型设计中的核心地位。随着对餐勺冲压模具型面设计方法研究的深入,迫切需要对型面知识的获取、表达和重用技术进行探讨。型面知识的重用是变型设计主要过程,型面知识的获取和表达技术为这一过程提供了技术准备,研究型面知识获取和表达的目的正是为了解决型面设计中的知识重用问题。恰当运用型面知识的获取、表达和重用技术,是基于知识设计系统的重要技术问题^[42]。

4.2 知识的含义

达文波特(Davenport)和普鲁萨克(Prusak)认为^[43],知识是结构化的经验、价值、语境信息、专家见解和直觉的非固定混合体,是人类在实践的基础上产生又经过实践检验的对客观实际的可靠反映,它是底层数据经过归纳、综合、比较分析和推理等加工处理后得到的高层次信息^[42]。

对产品设计来说,知识在计算机中的表示和存储,是知识在产品辅助设计系统中运用的基础和前提^[44]。通常人们所关注的产品设计中的知识主要是指产品设计所包含的设计经验、设计方法、设计过程以及几何结构等知识。而广义的产品设计知识还应当包括客户需求知识、市场竞争知识、企业资源知识和设计约束知识等方面的知识。产品设计知识有其自身的发展过程和生命周期,产品设计知识的生命周期包括设计知识的产生、获取、精炼、表示、重用、维护和废弃等几个阶段。

知识主要有以下几方面的来源^[48]:

1) 书本、工艺手册、工艺标准等,这方面的知识一般规律性强,多以规范化的表格、共识、图形等形式出现。其知识范围有限,因普遍适用性而未能考虑具体系统的特殊性,一般需要改造方可使用。

2) 专家。专家是知识的主要来源之一。专家具有丰富的经验而且对于解决具体问题有很实用的方法、策略。这类知识多以语言等抽象的形式表达,知识获取难度较大,由于是对专家个人经验的总结,具有一定的相对性、不完全性和不确定性。

3) 制造工艺。为使型面设计结果具有较好的可制造性,型面设计中须包含对制造工艺知识的描述。

4) 设计实例。以实例的形式来表明设计过程中的知识。这类知识是解决实际问题的主要依据之一, 需要经过工程师的总结、归纳, 形成具有一定规律性的知识, 并需要专家审核确定。

5) 工艺数据库。在信息技术广泛应用的背景下, 数据库成为新的知识来源。企业的工艺数据库中积累了大量的工艺数据, 是对设计和制造领域中知识的描述, 这些数据与日俱增。数据库中的工艺知识通过了生产实践的检验, 其中蕴含了工艺设计员与专家的设计经验, 因此工艺数据库是工艺知识的新的来源。

知识有如下分类^{[45][49]}:

1) 产品开发不同阶段用来描述产品、部件、零件的参数信息, 如产品的基本信息、功能属性、零部件的主参数、工艺参数等, 主要为一些几何参数和陈述性知识。

2) 用来描述产品开发过程中参数和属性、零部件对象之间的关系, 如装配关系、几何约束、结构约束等。主要为一些几何关系、规则和逻辑知识。

3) 支持产品开发和产品设计过程中产生的一些技术文件, 主要为结构化文档和图纸。

4) 支持产品开发管理的相关信息, 如项目信息、人员信息、权限信息等。

4.3 基于知识的设计系统的关键技术

基于知识的设计系统的关键技术包括知识获取、知识表示和知识重用。

4.3.1 知识获取

知识获取是 KBE 中的关键技术之一^[46], 知识获取来源于人工智能领域, 知识获取是从特定的知识源获取有用的问题求解知识并转换为程序的过程。知识获取研究的主要目标是为基于知识的系统获取高质量的知识, 从而建立起健全、完善和有效的知识库, 是基于知识设计过程的实施基础。

知识的获取可从设计标准、手册、规范、普遍的科学理论、专家经验等获取; 也可以从现有成熟的、成功的国内外产品、科研实践中反求出来。获取的知识成为了规则、成熟的工程。规则和几何对象可以存储在知识库中, 为以后的开发提供实例。

传统的知识获取方法主要是依靠知识工程师手工获取专家知识, 手工获取知识的效率低下。本文将知识的获取过程与计算机技术相结合, 提高知识获取的效率和准确性。知识获取的基本过程如下^[50]:

1) 明确要获取知识的性质和范围, 列举可能用到的术语和概念, 并分析概念间的关系, 建立概念本体。

2) 根据需要获取知识的特点, 确定知识的表达形式, 建立知识存储的物理逻辑结构。

3) 借助人机界面系统获取知识, 然后进行知识分解、知识约简转化、语法语义检查、一致性检查和知识评价, 最后存入知识库。

4.3.2 知识表示

知识表示是把从知识源获得的知识用某种约定的知识工程技术表达成计算机易于表示和利用的符号^[47],即知识的计算机化。知识表示对知识存储方式的实现、知识的操作起着重要的作用,是知识重用的前提。恰当的知识表达可以使复杂的问题简单化,便于计算机存储、管理和应用。因此,选择合适的知识表达方法十分必要。一般而言,计算机中所能表达的知识均要满足如下条件:知识表达需要有一个统一的结构模式;知识表达需要有限一致的符号;上述符号和结构模式能构成一个合理的体系^[43]。

常用的知识表示方法有:基于实例推理、面向对象、规则及框架和神经网络表示等。不同的知识表示法都有其针对性和局限性,选择知识表示法应综合考虑以下几个方面:体现领域知识的特点、便于知识推理的实现、便于知识的维护与管理。

4.3.3 知识重用

在餐勺制造企业的工艺设计过程中,存在着许多非常近似或重复以前状态的设计,因此餐勺的工艺设计依赖于已有的工艺设计知识,一个有经验的工艺设计员在设计新工艺时,通常总是先考虑已有的设计实例和设计经验,然后确定工艺方案,直到完成整个工艺设计工作。在设计过程中不断引用或参考以往的知识,即不自觉地对以往的设计知识进行了重用。知识重用就是从已有的知识中推导出所需要的结论和知识。已有的数据、信息、经验必须经过组织、归纳、学习、总结、提炼和抽象才能形成知识,同时还必须建立与 CAD 系统的应用接口及应用方法。

但是大量的工艺知识,仅靠人大脑记忆是不够的,这种记忆不仅具有模糊性,而且容易混淆,因此借助于计算机对知识进行重用,建立知识库,可以大大提高工艺设计的速度和质量。知识库用于储存专家的经验、知识以及已知的事实和采用这些知识的规则,库中的知识数据是能够被推理机制采纳,并可以通过相应的软件来添加、修改和维护的。知识库的任务是:支持知识重用,即从已有的知识中推导出所需要的结论和知识;控制搜索过程,即确定知识库中规则的扫描顺序,决定在每个控制信息下要触发的规则。在检索结果的基础上进行修改、变革,产生新的知识,是知识重用的最重要形式。知识重用包括以下几个方面^[51]:

- 1) 流程重用。工艺流程或部分流程、子流程的借用等。
- 2) 参数重用。工艺流程所包含的工艺参数,直接沿用或者根据新的工艺需要,运用一定的计算规则在新的流程中变更后使用。
- 3) 资源重用。为完成工艺流程所使用的方法、数据、设备等资源的重用。
- 4) 生产重用。不变更工艺流程,但是使用于不同的生产车间、生产环境或外包、借用等等。

4.4 餐勺冲压模具型面知识的获取

在餐勺冲压模具型面的设计、生产过程中,积累了很多知识。设计师与制造工人的经验对型面的质量和生产效率产生重要的影响。

在设计过程中,设计师根据产品需求,按照自己的设计意图进行型面设计,设计师的设计经验以及企业内部的设计规范在这一过程中起到了重要作用。正是基于设计师的设计经验和企业内部设计规范,才能使设计师设计出的产品即满足市场要求又能够保持企业产品的一贯风格。

在制造过程中,制造工人根据型面图利用 CAM 系统对模具型面进行加工,加工出来的型面要经过不断地修模、试模才能够满足餐勺的成形要求。而模具工人修模、试模的经验对于型面的修改、定型起着重要的作用,直接影响着修模、试模的质量和成功率。

因此,如何获取型面设计过程及生产过程中的经验知识,并将其加入企业内部知识库,为以后的设计提供指导,降低企业对设计人员和生产人员经验知识的依赖,成为餐具企业迫切需要解决的问题。

4.4.1 型面制造知识的获取

型面快速设计的方法要求在设计阶段考虑设计和制造问题,建立面向制造的设计系统。模具工人的生产经验来源于长期的生产实践过程中,因此这部分知识主要是用于指导工人如何正确、快速的进行修模和试模的生产过程,很难将这些具体的操作经验集成到设计过程中,对设计过程进行指导。另一方面,这些制造知识是以工人师傅口头传授的方法存在的,是对以往加工经验的总结。因此,很难将这部分知识描述成便于储存和重用的计算机数字化语言。所以,制造知识的获取方法对于型面快速设计系统来说十分关键。

用什么方法获取制造知识即能够满足将制造过程中的经验融入设计过程又能够方便使用计算机语言进行表示呢?本文采用快速反求的办法,对已经经过修模和试模操作并符合成形要求的模具型面进行提取,并将提取的型面加入制造知识库,其过程如图 4.1 所示。从图中可以看出,这种知识获取方法并不针对型面的制造过程,而是针对制造的结果。制造知识源于制造过程,以达到高效、高质量的生产结果为目的。对合格型面的提取,正是基于制造知识对制造过程影响下的生产结果的提取。这种制造知识的获取方法即能够满足将制造知识融入设计过程的要求,又能够方便计算机对制造知识进行数字化描述,实现知识的重用。

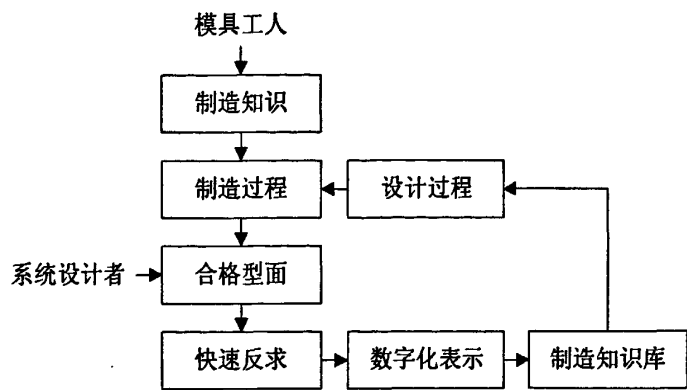


图 4.1 制造知识的获取和重用过程

快速反求工程也称为逆向工程，源于精密测量和质量检测，是一种以设计方法学为指导，以现代设计理论、方法、技术为基础，运用各种专业人员的工程设计经验、知识和创新思维，对已有新产品进行解剖、深化和再创造。广义的反求工程包括几何形状逆向、工艺逆向和材料逆向多个方面，是一个十分复杂的系统工程。不过就目前而言，绝大多数有关快速反求工程技术的研究和应用都集中在几何形状的逆向上，即重建产品实物的数字化模型^[52]。通过快速反求对实物模型进行数字化三维建模过程最关键有三个步骤，包括：数据采集，数据处理和模型重建。

1) 数据采集

型面数据采集过程是通过精密测量设备获取型面几何形状离散点几何坐标数据的过程，高效、高精度地获得各离散点几何坐标值是快速反求实现的基础和关键技术之一。模具的点云数据是使用 ATOS 光学扫描仪来采集的，ATOS 光学扫描仪具有扫描速度快、性能稳定、易于操作等优点，借助高分辨率的数码相机对模具型面进行高速扫描测量，将多次扫描获取的型面信息拼合成统一的数字化三维数据。图 4.2 为餐勺模具型面经过 ATOS 数据采集后的输出结果。

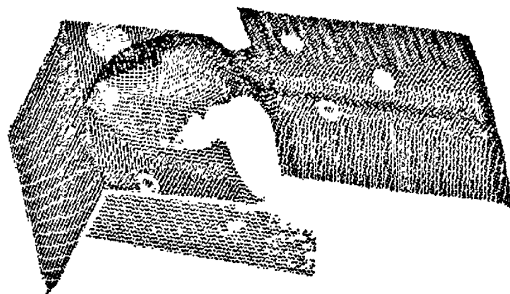


图 4.2 数据采集结果

2) 数据处理

数据处理包括数据过滤、数据平滑、数据精减等几个方面的内容。在数据采集过程中，难

免会采集到一些噪声点、坏点,如尖锐角附近及边界附近的测量数据,同时测量过程中由于操作误差等原因还可能产生跳点,这些点都要在模型建立之前进行剔除。对于高密度的点云由于包含大量的冗余点,为了提高计算的效率有时要按一定的要求减少点云的密度并对点云密度进行均匀化。对点云数据进行处理后,还要生成三角网格,合理设置网格大小有助于网格质量的提高,为模型重建做准备。型面点云经过处理后的网格生成结果如图 4.3 所示。

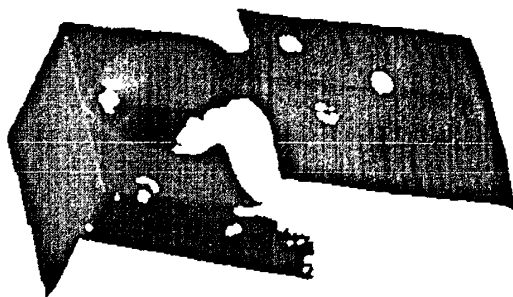


图 4.3 网格生成的结果

3) 模型重建

自由曲面是冲压模具型面的常见形式,是描述复杂型面的基本工具。在点云网格划分的基础上,应用大型 CAD 软件对点云进行合理分割,在点云模型上构建点、线等构造元素,在构造点和构造线的基础上建立自由曲面来重构样件形状。勺头型面经过模型重建后的 CAD 模型如图 4.4 所示。



图 4.4 勺头型面 CAD 模型

采用快速反求技术,对餐勺冲压模具型面进行数据采集、数据处理和模型重建,得到型面的 CAD 模型。该模型以形状特征的形式对制造知识进行表示,以此型面为依据,结合 CAM 技术加工出的模具型面可以减少甚至避免工人的修模工作,减少了对餐勺的后续抛光工作。不但降低了工人的劳动强度,也减少企业对工人经验的依赖。

4.4.2 型面设计知识的获取

型面的设计知识主要体现在设计师对餐勺外形的设计过程中。设计师根据对市场需求的反应,从美观、实用性及观赏性等角度出发,按照本企业餐勺的一贯风格,加上自己的设计灵感,对餐勺外形进行设计。由此可见设计师的设计知识比较灵活,甚至带有一定的不确定性,很难

用确定的计算机语言进行描述。另一方面,随着市场竞争的激烈程度加深,企业要不断地设计出新产品以适应市场的变化,必须要不断地更新设计方案。从这方面来说设计知识的更新速度是比较快的,这也为设计知识的获取和储存增加了难度。综合这两方面因素可以看出,设计知识的获取方法对于设计知识能否得到很好的储存和重用是至关重要的因素。

经过对知识获取技术的研究、总结和综合,本文提出采用快速建模的方法获取设计知识。快速建模的过程是在某大型 CAD 系统环境下,通过接口转换获取型面设计工程图电子文档,在工程图操作界面下,通过快速系统相应模块的调用对文档中的型面投影截面线进行提取,通过后台程序对型面进行自动化特征建模,并对型面特征进行参数化约束的过程。是一种快速将二维工程图转化为三维参数化特征的方法,通过转化实现对设计知识的获取,并以形状特征的形式体现设计知识。

由于型面快速设计系统是针对变型设计过程构建的,快速建模过程也是变型设计的一部分,获取的设计知识是设计师的设计结果,因而不面向具体的设计过程。这一知识获取的方法对设计系统操作人员的技术要求不高,全过程实现自动化,提高了设计效率,降低设计人员的工作强度。正是由于操作简便,因此能够适应设计知识的快速更新特性。另一方面,型面的特征化和参数化,为设计知识的储存提供了便利。设计知识的获取过程如图 4.5 所示,从图中可以看出快速建模的实现过程是从对工程图型面投影截面线的提取到型面参数化和特征化的过程,由于工程图是设计师充分发挥主观能动性的设计结果,因而快速建模实现了设计知识的获取。

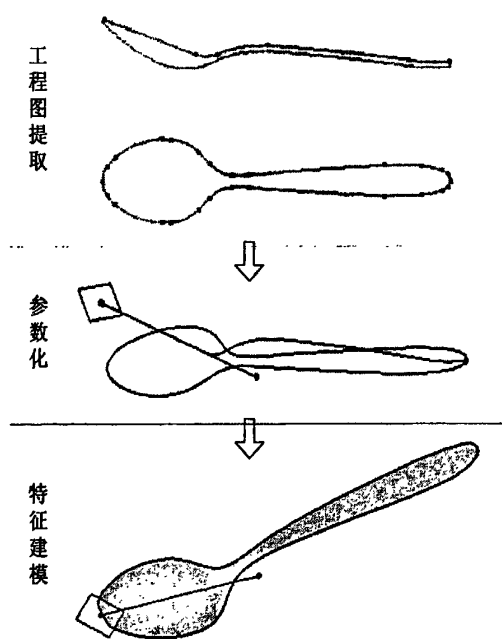


图 4.5 设计知识获取过程

4.5 餐勺冲压模具型面知识的表示

型面知识的表达是连接知识获取和知识重用的重要技术, 直接影响了知识的存储状态和重用方法。在知识表达中所涉及的新技术使许多不同的研究机构组织开发了许多描述、捕获和表达设计和制造系统中知识的方法^{[53][54]}。将知识模型定义成一种工具^[55], 方便我们完成对知识的处理任务, 一个知识模型提供了一种设计系统所需要的数据和推理过程的规范^[56]。

用户自定义型面特征可以作为知识模型的良好载体, 是阐述型面知识信息并提供知识处理方法的规范工具。用户自定义特征将型面知识转化为形象的计算机语言, 便于知识的管理、储存和应用。通过编写程序, 将型面知识以自定义特征的方式体现, 为型面知识的表达提供了统一的结构模式, 从而形成统一合理的型面知识体系。获取的型面知识以用户自定义特征的形式加入型面特征库, 实现了对型面知识的储存, 为知识的重用提供解决方法。

4.6 餐勺冲压模具型面知识的重用

获取型面制造知识和设计知识后, 储存在型面特征库中, 通过形状特征的形式表达知识。知识储存的目的就是为了能够支持知识的重用。本文通过采用型面自定义特征实例化以及型面特征快速拼接的方法实现型面知识的重用。

型面自定义特征的实例化过程以勺头型面和勺柄型面共同的约束关系为依据, 依靠大型 CAD 系统的实例化功能, 进行实例化。型面特征实例化结果的好坏取决于系统对自定义特征的定义。特征的定义方法这在第三章已经讨论过, 合理的定义特征, 可以使特征实例化的过程操作简便, 结果精确。

按照模块化的设计方法将型面特征库划分为两个模块, 这就要解决从两个模块中实例化特征间的拼接问题。另外, 如何将型面的制造知识与设计知识进行融合, 统一到餐勺型面中, 也是知识重用过程中所要解决的重要问题。型面快速拼接方法为这两个问题提供了很好的解决方案。

型面快速拼接的过程要先从勺头型面库中实例化勺头型面, 按照与勺头型面相同的约束关系从勺柄型面库中实例化勺柄型面, 通过相同的约束关系进行型面特征的快速定位。根据勺头型面和勺柄型面上的构造点与构造线, 建立分割样条线, 使用样条线对型面进行分割。经过分割后的勺头型面和勺柄型面边界在结合处具有相同的曲率, 使得型面可以顺利拼接, 这一过程通过程序实现。其实现过程的快速性符合系统追求快速响应的要求。型面的快速拼接的过程如图 4.6 所示。

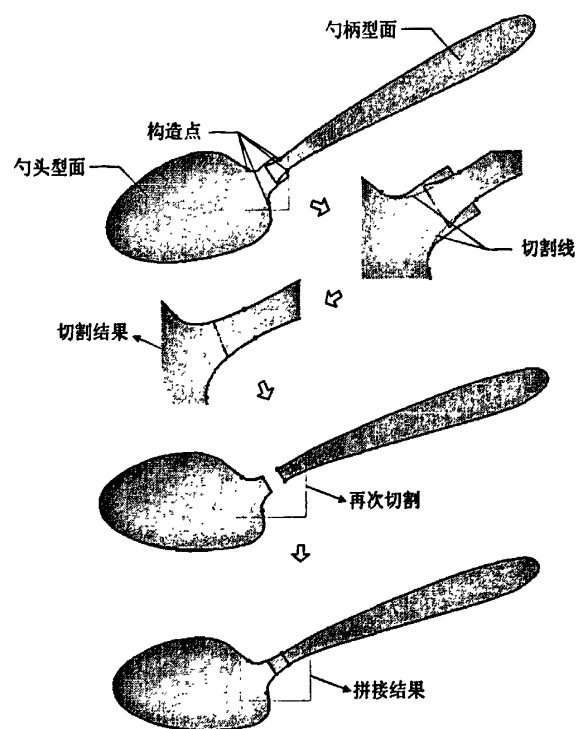


图 4.6 型面快速拼接过程

4.7 本章小结

本章讨论知识的含义，分别从知识获取、知识表示和知识重用三个方面对基于知识的型面设计系统的关键技术进行了研究。通过采用快速反求的方法获取餐勺型面制造知识，采用快速建模的方法获取餐勺型面设计知识，以用户自定义型面特征的形式表示型面知识，通过快速拼接的方法对型面知识进行重用。

第五章 金属餐勺冲压模具型面快速设计系统的实现

5.1 系统开发环境与开发工具

以 CATIA V5R16 为系统实现平台, 以 CAA 为软件开发接口, 在 Windows XP 环境下采用面向对象的程序设计语言 C++ 在 Visual C++6.0 平台上开发了金属餐勺冲压模具型面快速设计系统, 用以实现金属餐勺冲压模具型面的快速设计方法。

5.1.1 CATIA V5 R16 系统简介

CATIA V5 是达索集团在其开发的系统设计应用软件的基础上研究发展, 在起源于航空工业的软件系统基础上扩充开发的 CAD/CAM/CAE 软件系统。CATIA 是一个先进的自动设计、制造及工程分析软件, 是一套集成的应用软件包, 内容覆盖了产品设计的各个方面: 计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工程分析 (CAE)、计算机辅助制造 (CAM)。主要应用于机械制造、工程设计及其电子行业, 可以帮助用户完成大到飞机小到螺钉的设计及制造。既提供了支持各种类型的协同产品设计的必要功能, 也可以进行无缝集成完全支持“端到端”的企业流程解决方案。CATIA 软件以其强大的设计功能而在飞机、汽车、轮船等设计领域享有很高的声誉, 除了本身所提供的强大设计功能外, CATIA 还可以与产品生命周期管理相集成, 为用户提供了严密的无纸化工作环境, 从而缩短设计生产时间、提高加工质量和降低费用的效果^[57]。

CATIA V5R16 全面支持微软 64 位 Windows 系统, 加快了产品开发流程; 并与 ENOVIA 或 SMARTEAM 一起, 提升了与业务合作伙伴之间的协同过程。同时, CATIA V5R16 系统能够运行于多种平台, 特别是微机平台。这不仅使用户能够节省大量的硬件成本, 而且其友好的用户界面, 使用户更容易使用。CATIA V5R16 在工业领域和日常生活中的广泛用途, 使它成为一门真正的世界通用工程大型语言。

金属餐勺冲压模具型面快速设计系统基于 CATIA V5R16 平台, 就是考虑到它强大的 CAD、CAM 功能; 良好的 CAD/CAM 集成框架; 在机械制造业中广泛的应用。

作为一种大型工程应用软件, CATIA V5 先后具备了以下 5 个开放性能, 从而使其用户能够方便地对 CATIA 进行定制开发:

- 1) 标准格式的输入输出。用于跨 CAD 平台、跨 PDM、标准格式的输入输出, 以便进行数据格式的转化。

- 2) 使用自动化应用接口(Automation API)的宏。用于自动化(Automation)组件, 日志(Journaling), Visual Basic 和 JavaScript/Html 的开发, 这是一种交互方式的定制。该定制方式允许用户获取 CATIA 的数据模型。Automation API 具备了与任何 OLE 所兼容的平台进行通讯

的能力。

3) 智能构件 (Knowlegeware)。智能构件是一套预定义的易用服务, 它驱动的管理和重用是从函数、规范到组件和系统来一步一步实现的。它是一种反应式的、基于规则的、面向目标的客户化方式, 允许定制和外部代码的集成。它用于三个方面: 知识顾问、知识专家和产品工程优化。

4) 交互式的用户定义特征, 是一种编制式的定制开发。通过聚合现存的特征来交互地定义新的数据类型。收集现存规范, 指定输入, 从而创建一个 IUDF (用户定义特征)。IUDF 可以通过引用一个 Catalog 保存在 CATPart 文档中。它可以交互地被客户使用。

5) CAA V5 的 C++ 和 Java 应用接口。这是基于组件的定制开发。它是基于 CATIA 进行较大型软件开发的主要途径。

5.1.2 CAA 简介

Component Application Architecture (CAA) 组件应用架构, 是 Dassault Systemes 产品扩展和客户进行二次开发的强有力的工具。CAA 主要包括 C++&Java API, CAA V5 Encyclopedia, 以及 RADE (Rapid Application Development Environment) 等一系列的开发工具, 用户可以通过开发自己的 CAA 组件, 对 CATIA V5 进行扩展, 也可以把用户开发的 CAA 组件结合起来, 实现用户的自定义应用^[57]。CAA 采用面向对象的程序语言, 而面向对象的程序设计 (Object-Oriented-Programming, OOP) 已成为软件开发领域中软件开发设计的主流, 其好处在于: 可复用性、抽象性、封装性等。CAA 的开发可以看作是其组件对象的组合和扩展。CAA 采用 COM 技术和 OLE 技术, COM 作为一种软件架构具备了更好的模块独立性、可扩展性, 使 CAA 的程序设计更加容易且趋于标准化, 使程序的代码更加简洁。Dassault Systemes 的这套解决方案得利于开放式、可扩展的模块化开发架构 CAA, 使得全球诸多开发商可以参与 Dassault Systemes 的研发。基于 CATIA 的应用开发可分为以下几类: 批处理、IUA (Interactive User Access) 命令、GII (Graphics Interactive Interface) 交互功能。CAA 的开发实现, 是通过提供的快速应用研发环境 RADE 和不同的 API 接口程序来完成的。详细的 API 函数用法和说明见 CAA 自带的 CAA V5 Encyclopedia。

对客户而言, CAA 以进行从简单到复杂的二次开发工作, 而且和原系统的结合非常紧密, 如果没有特别的说明, 无法把客户所研发的功能从原系统中区分出来, 这非常有利于用户的使用和集成。

CAA 的实现, 是通过提供的快速应用研发环境 RADE 和不同的 API 接口程序来完成的。

快速应用研发环境 Rapid Application Development Environment (RADE) 是一个可视化的集成开发环境, 它提供完整的编程工具组。实际上 RADE 以 Microsoft Visual Studio VC++6.0 为载体,

在 VC++ 环境中增加了 CAA 的开发工具。API 提供了操作各种对象的方法、工具和接口。

Dassault Systemes 提供的 CAA 产品包括如下内容：

CAARADE 快速开发环境，基于 Microsoft Visual Studio；

CAACATIA V5 API，CATIA V5 应用开发工具；

CAAENOVIA LCA V5 API，ENOVIA LCA 应用开发工具；

CAADELMIA V5 API，DELMIA V5 应用开发工具；

CAAENOVIA PORTAL V5 API，ENOVIA PORTAL V5 应用开发工具。

5.2 系统框架结构

5.2.1 系统体系结构

基于 CATIA 平台开发了金属餐勺冲压模具型面快速设计系统，系统结构如图 5.1 所示，本系统包括三大部分：数据层、支撑层、系统功能层。

数据层：总结企业生产、设计资源，对型面特征进行分类描述，建立型面特征数据库，对型面知识进行储存。特征数据库是型面设计的主要数据来源，支持型面知识的重用。

支撑层：系统通过快速建模模块实现设计工程图与型面特征间的快速转换；通过型面入库模块为设计知识与数据层之间提供接口；通过快速反求方法获取制造知识对数据层提供支持。

功能实现层：包括型面特征实例化和型面快速拼接两个功能模块。

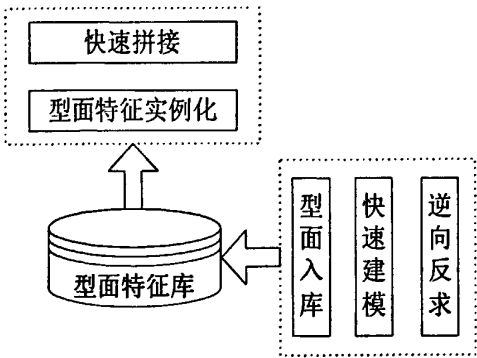


图 5.1 系统结构图

5.2.2 系统功能及运行流程

金属餐勺冲压模具型面快速设计系统主要包括以下功能：

- 1. 快速建模：通过提取工程图中的型面线，生成型面特征，对型面特征参数化，实现型面的快速特征化和参数定位。
- 2. 型面入库：对快速建模生成的型面进行质量评价，将质量合格的型面按照相应规范加入

型面特征库，为设计知识的重用做准备。

3. 型面特征实例化：分别从勺头型面库和勺柄型面库中实例化勺头型面和勺柄型面，根据共同的约束关系确定勺头型面与勺柄型面的空间位置关系。

4. 型面快速拼接：将实例化的勺头和勺柄型面光滑连接，最终生成符合要求的完整型面。金属餐勺冲压模具型面快速设计系统运行流程如图 5.2 所示。

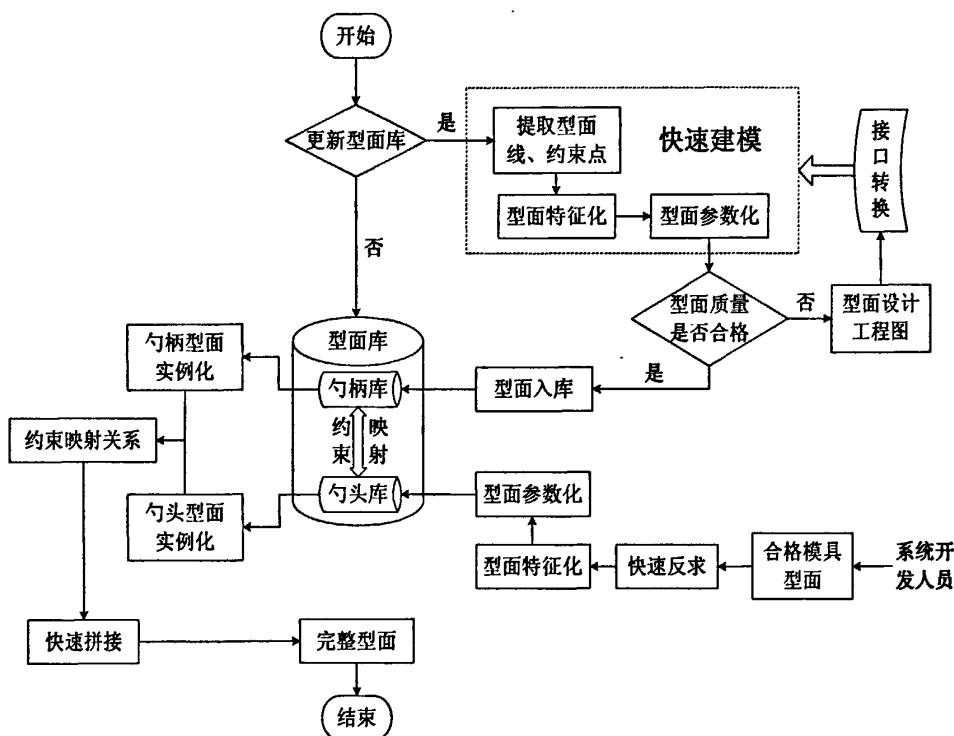


图 5.2 系统运行流程图

5.3 系统运行实例

金属餐勺冲压模具型面快速设计系统是基于 CAA 开发的、与 CATIA V5 R16 集成的应用系统，以 Mechanical Design Workshop 下的 Part Design workbench 为模板建立了 SpoonDesign workbench 应用环境，通过嵌入式工具栏的形式集成于该环境中。下面介绍金属餐勺冲压模具型面快速设计系统的功能及运行过程。

5.3.1 快速建模

快速建模是为了获取型面设计知识而设计的模块，其目的是快速的将型面设计工程图转化为参数化的型面特征，将设计知识储存在型面特征中。如图 5.3 所示为快速建模的运行示例。图纸转化对话框用于提取型面工程图中的信息，其中①拾取型面正视图投影线；②拾取型面俯视图投影线；③、⑤分别导入正视图和俯视图的型面投影顶点；④、⑥分别导入正视图和俯视图

图的型面投影端点。型面信息提取完后可以通过确定按钮退出，完成快速建模过程，快速建模的结果如图 5.3 中的⑦所示。

快速建模针对的是勺柄型面，因此生成的型面不包含勺头信息，从图 5.3 可以看出勺柄型面还包括型面端点、端面和中心线，这些拓补信息是勺头型面和勺柄型面共有的约束信息，为后续勺柄、勺头型面的实例化和拼接做准备。

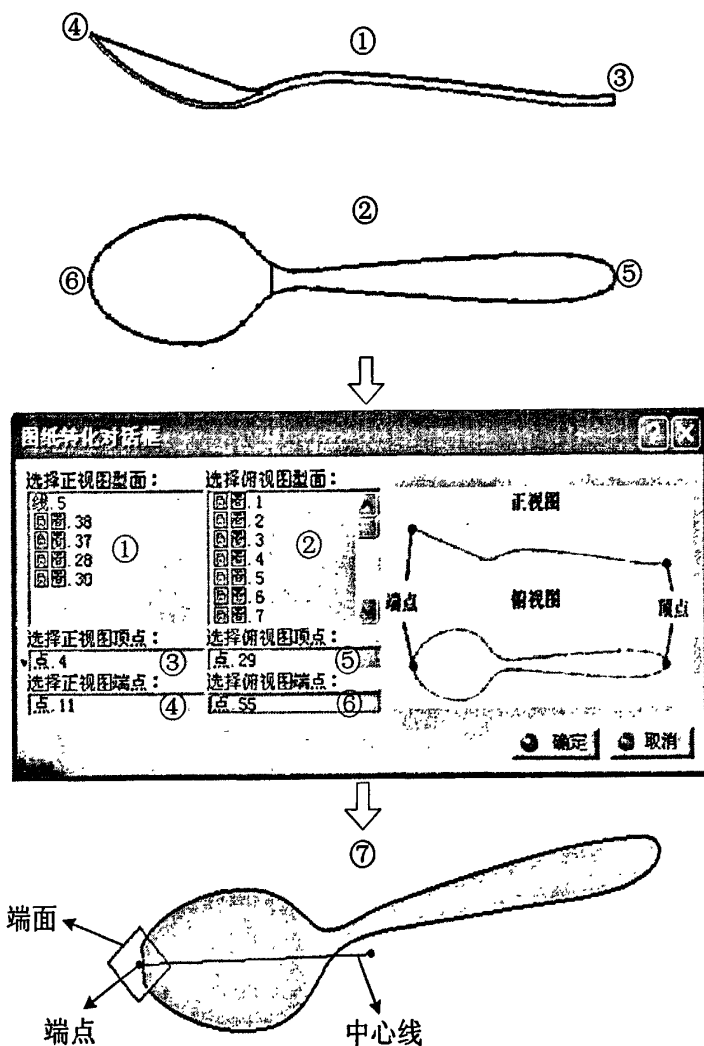


图 5.3 快速建模运行示例

快速建模是对工程图的特征化和参数化的过程。参数化主要体现在对型面空间位置的约束控制上。除了图 5.3 中通过端面、端点和中心线对型面进行定位外，还有图 5.4 中的四个参数 a 、 b 、 θ 、 ψ 对型面的空间位置进行控制。图 5.4 以型面正视图投影截面线为例来表示 a 、 b 、 θ 、 ψ 四个参数对型面空间位置的控制。

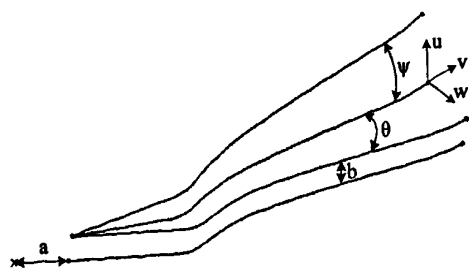


图 5.4 型面空间位置的控制

5.3.2 型面入库

型面特征库用于存放合格的型面特征，对型面知识进行储存，以便对型面知识的重用。型面库包括勺头型面库和勺柄型面库两部分，两个型面库通过共同的约束信息建立映射关系。图 5.5 所示为勺头型面入库过程示意图，由于勺头型面的种类固定，因此这一过程不对用户开放，用户只能通过型面特征库来使用勺头型面，而不能对勺头型面的入库过程进行操作。图中①为点云数据；②为勺头型面特征及相关拓补约束信息；③对勺头型面进行用户自定义特征操作；④为勺头型面特征库。

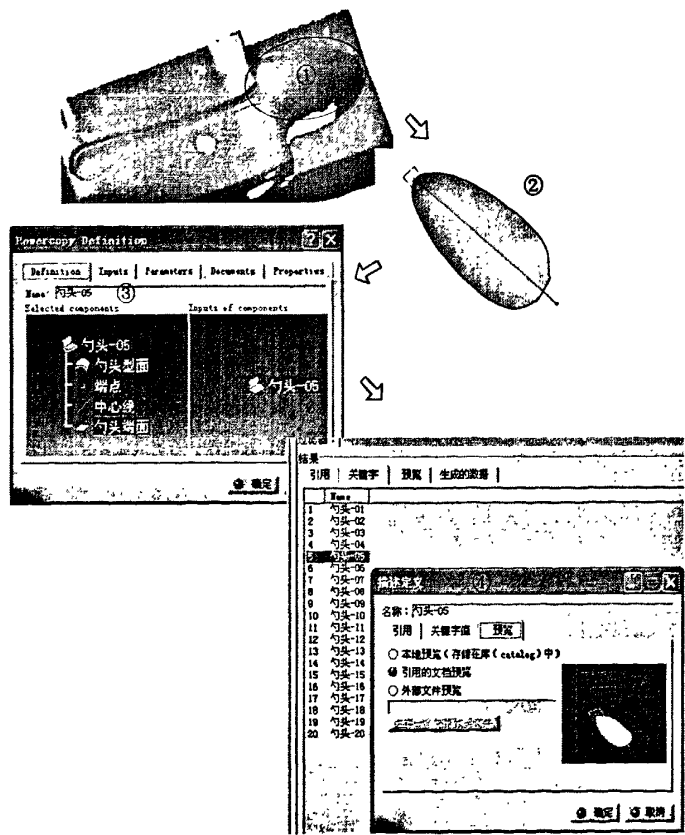


图 5.5 勺头型面入库过程示意

图 5.6 所示为勺柄型面入库过程示意图。勺柄型面更新速度较快,要不断对勺柄型面特征库进行更新,因此设计了勺柄型面入库模块并对用户开放,通过编写程序,用最简单的操作方法实现对合格的勺柄型面进行用户自定义特征操作,并将其加入勺柄型面库中,完成勺柄型面的入库过程。图 5.6 中①为勺柄型面特征及其相关的拓补约束信息;②对勺柄型面进行用户自定义特征操作;③为勺柄型面入库对话框,从中可以遍历到勺柄库中已存在的型面特征,并根据命名规则对新型面进行命名,将其加入勺柄型面库;④为勺柄型特征面库。

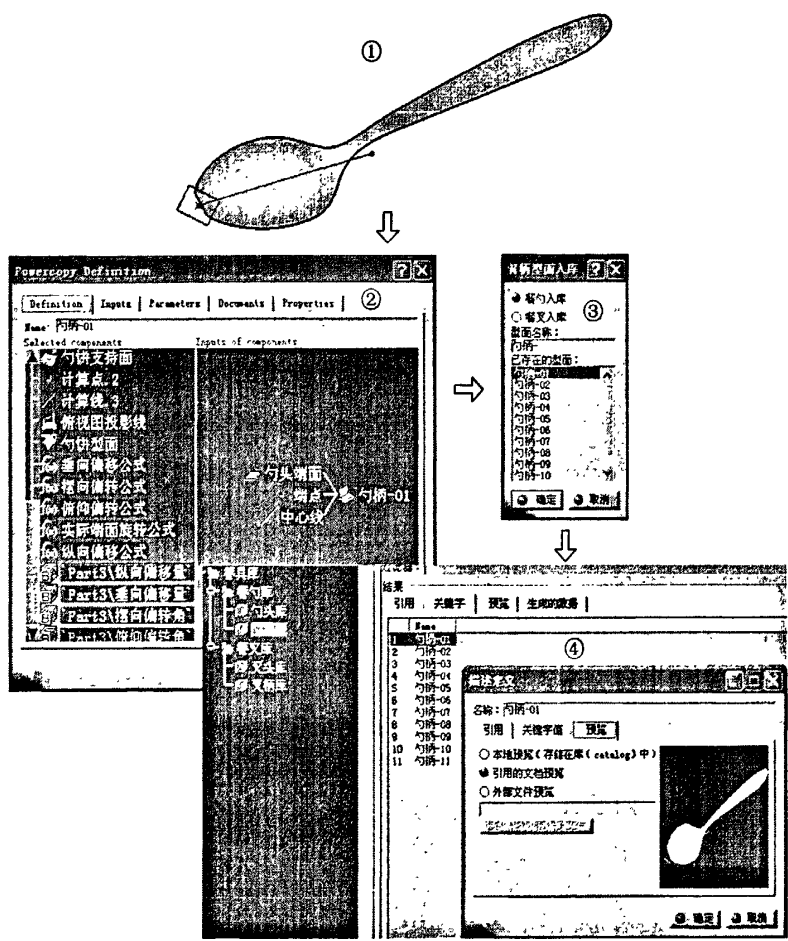


图 5.6 勺柄型面入库过程示意图

5.3.3 型面特征实例化

型面实例化是对型面知识的重用过程,分为勺头型面实例化和勺柄型面实例化两个过程。勺头型面和勺柄型面通过共同的约束信息进行定位。

首先对勺头型面进行实例化,图 5.7 为勺头型面实例化过程示意图。从勺头型面库中选取符合要求的勺头,进入实例化对话框,确定后及完成勺头型面的实例化。其次对勺柄型面进行实例化,图 5.8 为勺柄型面实例化过程示意图。从勺柄型面库中选取符合要求的勺柄,进入实

例化对话框。在实例化对话框中需要设置勺柄的端面、端点和中心线,如图 5.8 中①、②、③所示,勺柄端面、端点和中心线需要分别从 CATIA 的工作环境中拾取勺头端面、端点和中心线,并保证勺柄端面与勺头端面、勺柄中心线与勺头中心线方向一致。

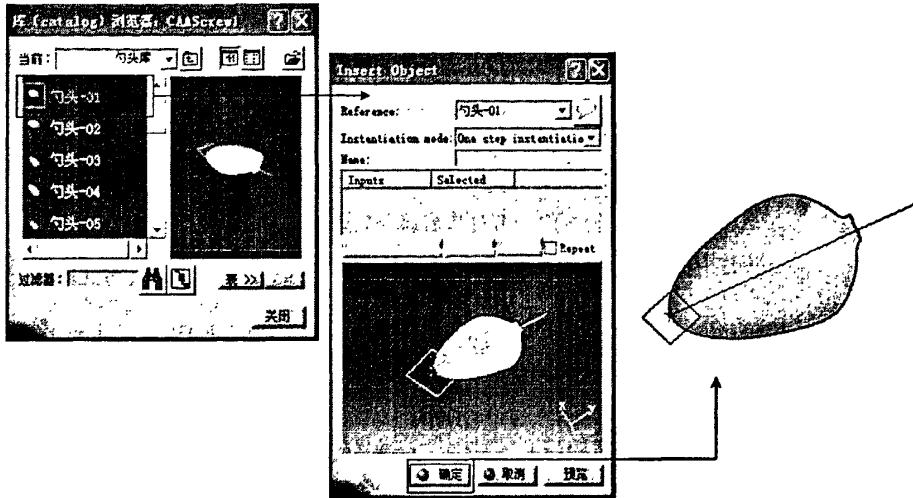


图 5.7 勺头型面实例化过程

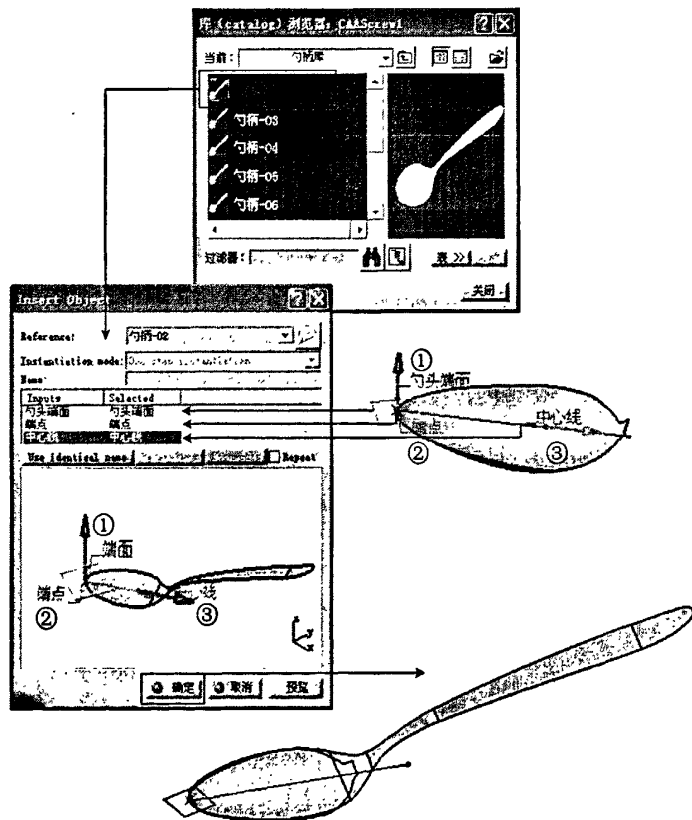


图 5.8 勺柄型面实例化过程

5.3.4 型面快速拼接

型面快速拼接首先通过修改 a 、 b 、 θ 、 ψ 的值, 实现对勺头型面和勺柄型面空间位置的调整, 通过调整使得勺头型面和勺柄型面在连接处近似相切。图 5.9 为型面空间位置调整前后的对比图。

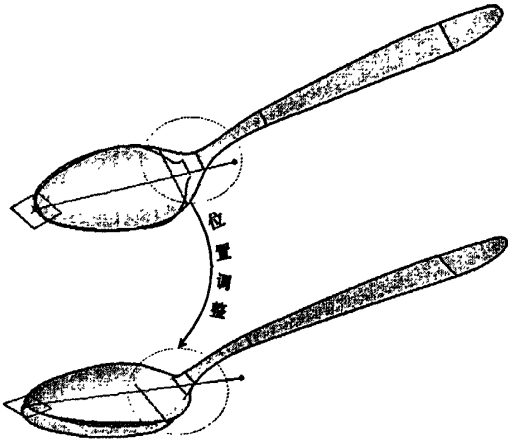


图 5.9 型面空间位置调整前后对比

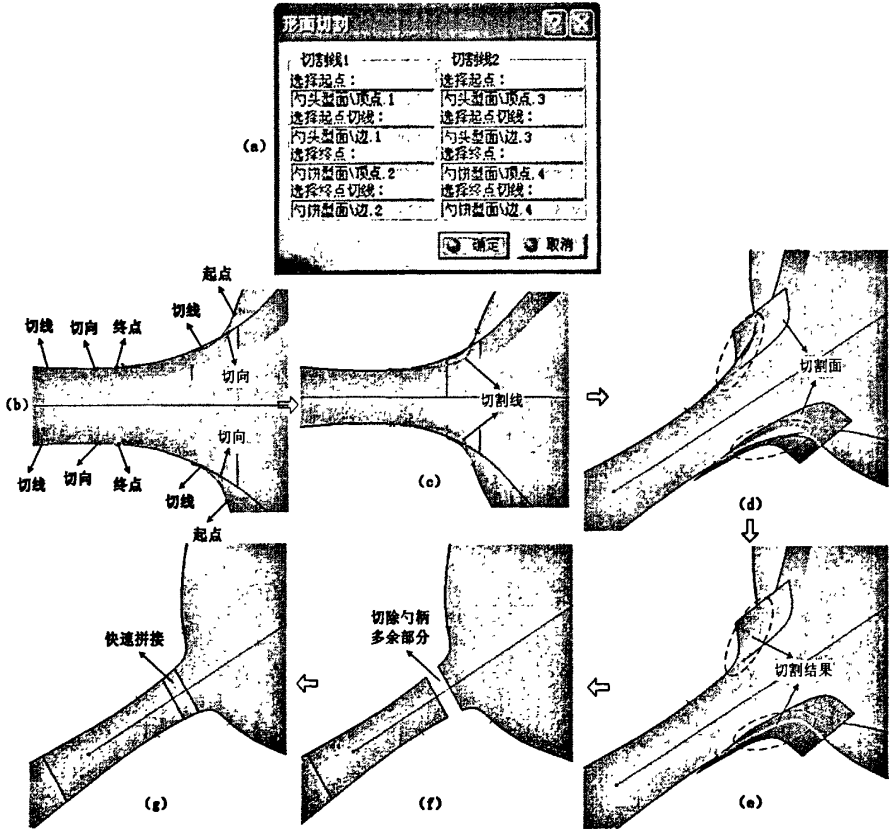


图 5.10 型面切割及拼接过程

型面经过位置调整后还需要对勺头、勺柄型面的余边、余面进行切割。图 5.10 中 (a)、(b)、(c)、(d)、(e) 为型面切割过程。(a) 为型面切割对话框, 从 (b) 中拾取两条切割线的起止点及起止方向切线, 来定义 (c) 中的切割样条线。选取确定后, 系统会根据切割线生成 (d) 中的切割面, 并对勺头和勺柄型面进行切割, (e) 为切割结果。(f) 和 (g) 为型面拼接过程, (f) 将勺柄伸出勺头的部分切除, (g) 通过拼接命令将型面拼接在一起。图 5.11 为型面三视图。

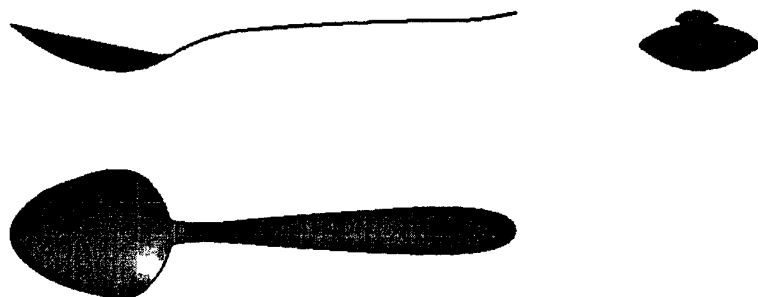


图 5.11 型面三视图

5.4 本章小结

本章介绍了系统的实现平台 CATIA 和开发工具 CAA, 结合前几章的研究成果开发了金属餐勺冲压模具快速设计系统。阐述了系统的体系结构和系统运行流程, 并对系统各模块的功能、运行过程及结果进行了介绍。该系统成功的将型面设计知识和制造知识进行了融合, 为型面信息资源提供了良好的表达、存储和重用机制, 降低了对工程师经验知识的依赖, 提高了型面设计与制造的质量和效率, 减少了模具生产中修模、试模以及对餐勺抛光的工作量。

第六章 总结与展望

6.1 总结

本文重点讨论了金属餐勺冲压模具型面快速设计的关键技术和实现方法,并在 CATIA 环境下开发了金属餐勺冲压模具型面快速设计系统。该系统是以知识为核心的基于特征和参数的模块化变型设计系统。将系统应用于餐勺冲压模具型面的设计过程中,克服了以往设计过程中存在的 CAD 系统专用性不够、操作繁琐,对工程技术人员的经验依赖较强,设计与制造过程脱节等问题。本论文主要工作如下:

1) 对餐勺冲压模具型面快速设计技术进行了研究,提出了基于特征和参数的模块化变型设计方法。该方法支持型面信息的储存和重用,以特征为设计组元,以参数为设计修改依据,在模块化设计环境下,对型面实施变型设计。该方法的应用可以提高型面设计的质量和效率,使得餐勺生产企业可以快速的响应市场需求,研发新产品。

2) 提出了餐勺冲压模具型面快速设计技术的实现方法。通过建立型面特征库来储存型面知识,为变型设计提供设计依据;将模块化设计方法应用于型面特征库的构建过程,通过功能模块的有机组合来实现型面特征库的有效维护;采用参数化的特征驱动技术,通过修改参数灵活的控制型面姿态,以达到变型设计的目的。

3) 研究了基于知识的餐勺冲压模具型面设计系统的关键技术。通过采用快速反求的方法获取餐勺型面制造知识;采用快速建模的方法获取餐勺型面设计知识;以用户自定义型面特征的形式表示型面知识;采用快速拼接的方法支持型面知识的重用。

4) 基于 CATIA 平台开发了金属餐勺冲压模具型面快速设计系统。给出了系统的体系结构和系统运行流程,并对系统各模块的功能、操作过程和结果进行了演示。该系统已经应用于美利龙餐厨具有限公司。经应用验证,该系统成功的将型面设计知识和制造知识进行了融合,为型面知识提供了良好的表达、存储和重用机制,降低了对工程师经验的依赖,提高了型面设计的质量和效率,减少了模具生产中修模、试模和对餐勺抛光的工作量。

6.2 展望

基于知识和特征的设计方法是当前国内外制造领域的热点问题,许多学者在诸多方面取得了丰硕的研究成果。金属餐勺冲压模具型面快速设计系统充分利用了在基于特征和知识等方面的理论成果,并结合企业实际情况和需求,集特征化、参数化、知识的获取、表示和重用以及逆向工程为一体的设计系统。该系统的研究和建立取得了重大进展,但仍存在一些技术难点需要进一步去攻克,总结如下:

1) 系统对型面设计知识的获取方法仅限于已经设计成型的餐勺型面, 面向的是变型设计过程, 而对于餐勺型面设计过程中相应知识的获取没有提出解决方法, 因而系统不能很好的支持创新设计过程;

2) 系统对型面制造知识的获取是以减少修模、试模和抛光为目的的, 因而制造知识的储存方法缺少对加工参数的表达机制, 有待进一步改善;

3) 缺乏与系统相集成的专用 CAM 系统, 仍需借助通用 CAM 系统的部分功能。需要以现有工作为基础, 将其作为下一步的工作方向;

4) 系统结合餐勺型面的特点, 将勺头型面和勺柄型面分开进行设计, 经过拼接模块来完成型面的设计过程。由于缺少了型面质量的评价机制, 无法对型面的质量进行量化评估, 因而建立型面质量的评价模块是系统完善过程中需要解决的重要部分。

参考文献

- [1] 金涤尘,宋放之.现代模具制造技术.北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 李素萍.汽车覆盖件模具快速设计系统的研究,[硕士学位论文].天津:河北工业大学,2006.
- [3] 刘全刚.汽车覆盖件模具 CAD_CAE 技术研究,[硕士学位论文].济南:山东大学,2008.
- [4] 《现代模具技术》编委会.模具 CAD/CAM 技术.北京:国防工业出版社,1995.
- [5] 卿海鸽.大型覆盖件模具型面重构及在冲压成形工艺中的应用研究,[硕士学位论文].长沙:湖南大学,2003.
- [6] H.Suzuki. The CAD/CAM System for Die and Mold and an Example of its Application. Soc.of Prec Eng, 1984,18(2):198-206.
- [7] M. Ohara. CAD/CAM in the Automotive Industry. Soc. Of Prec Eng, 1984,18(2):193-197.
- [8] 李伟.基于实例的冷冲拉伸模具 CAD_CAE 关键技术,[硕士学位论文].合肥:合肥工业大学,2009.
- [9] 孙文焕,张铁昌,王乃康,沈裕和.机械 CAD/CAM 技术概论.西安:西安电子科技大学出版社,1995.
- [10] 田福祥.现代模具技术的特点及其发展趋势.热加工工艺,2004,(8):55~57,60.
- [11] 肖祥芷,李志刚,李德群等.CAD 在模具设计中的应用.北京:科学出版社,1993.
- [12] B T Cheok et al. Trends and developments in the automation of design and manufacture of tools for metal stampings. Journal of Materials Processing Tecnology, 1998,(75):240~252.
- [13] 李焰.覆盖件模具三维 CAD 设计及型面处理技术的研究,[硕士学位论文].武汉:华中科技大学,2005.
- [14] 王洪俊,陈延波.汽车覆盖件模具 CAD 技术的应用与发展.锻压机械,2000,29(2):35~39.
- [15] 汪承研.面向功能的覆盖件模具 CAD 关键技术的研究,[硕士学位论文].武汉:华中科技大学,2003.
- [16] 杜忠友.餐勺成形工艺的研究设计与模具制造.五金科技,1992,(4):15~19.
- [17] 杜忠友.餐具模制造的反印技术.五金科技,1992,16(2):41~44.
- [18] 史宪铭,郭波,武小悦.快速研制系统的组成研究.科技情报开发与经济,2006, 16(8):161~164.
- [19] 钟廷修.快速响应设计的理论和方法.液压气动与密封,2000,4(2):80~4~7.
- [20] Hunter, N.A. Quick Response in Apparel Manufacturing. The Textile Institute.1990.
- [21] Abdelmola, A.I., Taboun, S.M., Merchawi, S. Productivity optimization of cellular manufacturing system. Computers and Industrial Engineering, 1998,(35):403~406.
- [22] 赖建康,何文瀚.快速响应制造技术集成与应用.机电工程技术,2001,30(2):15~19.
- [23] 钟廷修.快速响应工程和快速产品设计策略.机械设计与研究,1999,99(1):9~12.
- [24] 钟廷修.快速响应工程及其实现.机电一体化,1999,5(5):18~19,24.

- [25] FOWLER J E. Variant design for mechanical Artifacts: A state-of-the-art survey. *Engineer with computer*,1996,(12):1~15.
- [26] 赵继云, 高剑峰.支持变型设计的 CAD 理论和方法的分析与研究. *机械设计*,1999, 16(2):28~31.
- [27] 江伟光,武建伟,潘双夏.支持变型设计的可配置产品结构模型. *计算机集成制造系统*,2008,14(5):849~854,903.
- [28] 王日君,张进生,葛培琪,王志.模块化设计中模块划分方法的研究. *组合机床与自动化加工技术*,2008,(7):17~21.
- [29] 闫栋.分布式模块化产品系统的演化动力学,[博士学位论文].杭州:浙江大学,2006.
- [30] 张新.基于实例的计算机辅助夹具设计系统的研究与开发,[硕士学位论文].西安:西北工业大学,2007.
- [31] 王艺树,张毅,梁强.基于 UG 的参数化标准件库的研究与实现. *机械制造与自动化*,2009,38(2):127~129.
- [32] T.R. Kramer HH, E.Mission, F.M. Proctor, et al. A feature-based inspection and machining system. *Computer Aided Design*, 2001, (33):653~669.
- [33] 潘志毅.基于特征联系的 CAD 快速建模,[硕士学位论文].南京:南京航空航天大学,2005.
- [34] Myung S, Han S. Knowledge-based parametric design of mechanical products based on configuration design method. *Expert Systems with Application*, 2001, 21(2): 99~107.
- [35] De Fazi T L et al. A prototype of feature-based design for assembly. *Journal of mechanical design*,1993,(115):723-734.
- [36] 李迎光.KBE 中知识处理技术的研究与实现,[博士学位论文].南京:南京航空航天大学,2004.
- [37] Salomons O W, Hooten V I, Kals H J J. Review of Research in Feature-Based Design. *Journal of Manufacturing Systems*, 1992,12(2):285-297.
- [38] 万久团.三维 CAD 标准件库建库平台的研究,[硕士学位论文].南京:南京航空航天大学,2003.
- [39] 鲁泳,廖文和,黄翔.零件库标准及其信息建模技术的研究. *机械科学与技术*,2003, 22(6):1021~1025.
- [40] 陈营.基于 Pro/Engineer 的机械零件参数化特征库的研究,[硕士学位论文].济南:山东大学,2007.
- [41] 杨化林,邓芳,张莹,史俊友,童水光.模型参数驱动的零部件库设计方法研究. *机械科学与技术*,2008,27(11):1374~1378,1382.
- [42] 童颖,沈一栋.知识工程.北京:科学出版社,1992.
- [43] 熊志勇.基于知识工程的产品创新设计关键技术研究,[博士学位论文].武汉:武汉理工大学,2007.
- [44] Zha X F, Lim S Y E, Fok S C. Integrated knowledge-based approach and system for product design for assembly. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2001, 12(3): 211~237.

- [45] Moutianitis V.C.. A knowledge-based system for the conceptual design of grippers for handling fabrics. *Artificial Intelligence for Engineering Design*,2003,110-117.
- [46] Devedzic V.. A survey of modern knowledge modeling techniques. *Expert System with Application*,1999:17(4):275-294.
- [47] Steven Walczak. Knowledge acquisition and knowledge representation with class: the object-oriented paradigm. *Expert System with Application*,1998,(15):235-244.
- [48] 刘书暖.工艺知识发现与重用技术,[博士学位论文].西安:西北工业大学,2006.
- [49] 江伟光,武建伟,潘双夏,郭峰.面向知识工程的产品信息模型. *农业机械学报*,2008,39(7):133~138.
- [50] Akagi S, Fujita K. Building an Expert System for Engineering Design Based on the Object-Oriented Knowledge Representation Concept. *Transactions of the Asme, Journal of Mechanical Design*,1990,112(6):215-222.
- [51] 张格伟.基于工艺知识网格的可重构 CAPP 系统关键技术研究,[博士学位论文].南京:南京航空航天大学,2008.
- [52] 龚志辉.基于逆向工程技术的汽车覆盖件回弹问题研究,[博士学位论文].长沙:湖南大学,2007.
- [53] J. Barreiro, J. Labarga, A. Vizan, J. Rios. Information model for the integration of inspection activity in a concurrent engineering framework. *Int. J. Mach. Tools Manuf*, 2003,(43):797-809.
- [54] N. Bugtai, R.I.M. Young. Information models in an integrated fixture decision support tool. *J. Mater. Process. Technol*, 1999,(76):29-35.
- [55] C. Grabowick, R. Knosala. The method of knowledge representation for a CAPP system. *J. Mater. Process. Techno*, 2002,58(5):1-9
- [56] G. Schreiber, et al. Knowledge engineering management in The Common KADS Methodology. Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, 1999.
- [57] 何朝良.基于 CATIA/CAA 平台的虚拟装配路径规划的研究,[硕士学位论文].南京:南京航空航天大学,2005.

致 谢

本论文的研究工作是在导师黄翔教授的悉心指导和亲切关怀下完成的。导师学识渊博、治学严谨、勇于创新,展现了一个优秀科研人员的品质。导师快乐的生活原则、积极乐观的处世态度、大处着眼的处事方式、宽容谦让的待人风格教会了我该如何做人。他高超的科研水平、严谨求实的治学态度、孜孜以求的敬业精神、科学研究与工程实际密切结合的工作方法都给我以深刻的教育和熏陶,使我受益匪浅。导师的教诲和启迪使学生终身难忘。在论文完成之际,我谨向我的导师致以深深的敬意和由衷的感谢!

在我两年半的学习过程中,李洸昶老师自始至终给予热情的指导和无私的帮助。他勤奋、博学、认真负责的精神、严谨的工作作风、开创式的思维方式和对学生独立科研能力的培养,使我在学业期间收益颇丰,也是我今后工作和学习的典范。在此,谨表示深深的敬意和由衷的感谢!

感谢方挺立博士、潘志毅博士、朱永国博士和靳江燕博士,师兄和师姐待人宽厚,在我的学习、工作和生活方面给予我许多有益的建议,大力的支持和无私的帮助。感谢胡俊志、鲁杰两位师兄,非常怀念在一起从事科研工作的日日夜夜,感谢你们给予的鼓励和支持。感谢陈登海和秦海峰,给予我的关照,我永远记得我们一起在教研室挥洒智慧,激情澎湃,突破项目中遇到的重重难关的日子。感谢李旭龙、刘永强、林紫雄、张鹏、洪晴、朱明华、裘禄、季红侠、堵鹏、杨艳洲、王永泽、梁佳亮、赵乐乐、裴蕾等师弟师妹,愿你们继续拼搏,将项目更深入的开展下去,以高标准要求自己,不断攀登科研高峰。

感谢女友黄培培对我的鼓励和支持,感谢你给我带来的快乐与幸福,和你在一起的时光是最温暖、最让人眷恋的日子。感谢一起学习生活多年的李德尚、董伟超、袁青、丁永发、方继文、沙小伟、林美安、周恒、陈建伟和雷磊等朋友,我会永远记得这几年别样的青春岁月。

感谢父母,赐予我生命,把我养成人,并在我成长的岁月里严格要求,无私地奉献了自己的青春,儿子只有不断进取回报你们的养育之恩。感谢哥哥,以及所有的亲人,是你们无私的支持和奉献使我可以顺利的完成学业,感谢你们为我付出的一切。

感谢南航,这个我学习和生活了快七年的母校。感谢这里所有关心和帮助过我的老师和朋友。

最后,感谢在百忙之中评阅论文和参与答辩的各位老师,感谢你们对论文提出的宝贵意见和建议。

在学期间的研究成果及发表的学术论文

攻读硕士学位期间发表(录用)论文情况

- [1] 荣田,黄翔,李泷泉.餐勺冲压模具型面快速设计方法研究与实现.机械制造与自动化,已录用(稿件编号:4099) .

攻读硕士学位期间参与的科研项目

- [1] “基于特征与知识的航空钣金快速设计系统的研究与开发”项目,主要负责系统框架设计与模块开发以及相关算法的研究与实现。
- [2] “金属餐勺冲压模具型面快速设计系统研究与开发”项目,主要负责系统框架设计与模块开发和相关算法的研究与实现,以及相关技术文档撰写。