

文章编号: 1006-2467(2005)01-0052-04

# 基于特征映射的车身检具设计方法

胡彩旗<sup>1</sup>, 林忠钦<sup>2</sup>, 陈杰<sup>2</sup>, 金隼<sup>2</sup>, 陈关龙<sup>2</sup>

(1. 莱阳农学院 工程学院, 莱阳 265200; 2. 上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200030)

**摘要:** 通过对特征映射机理及其映射过程的分析, 提出了一种基于车身覆盖件特征模型、面向组合检具智能设计的特征映射系统。在研究车身覆盖件的结构形状特征、定位装夹特征、检测特征和车身检具关系的基础上, 讨论了车身覆盖件模型到检具模型的特征映射关系, 给出特征信息演变的映射函数, 实现在车身覆盖件的概念设计阶段, 同步进行检具设计的思想。文中的覆盖件表面特征分析、相应检具功-构映射和组合检具结构生成的过程完成了零件设计特征到相应检具模型特征的映射, 从而实现了信息在特征层上的转换, 完善了在并行工程环境下产品信息的集成与共享, 并进行了实例验证。

**关键词:** 车身覆盖件; 检具模型; 特征映射; 并行工程

**中图分类号:** TG 386      **文献标识码:** A

## An Auto-Body Checker Design Method and Its Application Based on Feature Mapping

HU Cai-qi<sup>1</sup>, LIN Zhong-qin<sup>2</sup>, CHEN Jie<sup>2</sup>, JIN Sun<sup>2</sup>, CHEN Guan-long<sup>2</sup>

(1. Laiyang Agricultural College, Laiyang 265200, China;

2. School of Mechanical Eng., Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030)

**Abstract:** Based on analyzing mapping mechanism, a feature mapping system based on auto-body covering feature model and oriented on modular checker intelligent design was described. Based on the relation between the covering shape feature, holding feature, checking feature and checker model, the feature mapping relation from auto-body covering model to checker model was discussed, the mapping function of feature information evolving process, was presented, and a simultaneously checker design during covering concept design phase was realized. In this system, the process of covering surface feature analysis, checker function-form mapping and construct of modular checker structure realizes the mapping from covering design feature to corresponding checker feature model. Therefore, the conversion of feature information on the feature level is implemented, which accords with the theory of concurrent engineering. An example was presented to verify the system. A new approach of modular checker intelligent design was explored.

**Key words:** auto-body covering; checker model; feature mapping; concurrent engineering

车身覆盖件泛指汽车车身薄板冲压件, 按其作用可分为外覆盖件、内覆盖件和车身结构件, 它们都

收稿日期: 2004-02-24

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(863-511-030-002)

作者简介: 胡彩旗(1974-), 女, 山东郯城人, 副教授, 主要从事车身制造质量控制技术及检具设计与应用方面的研究

电话(Tel): 0535-7331976; E-mail: hucaiqi@163.com.

具有复杂的空间曲面。车身覆盖件的制造质量对整个车身的密封性影响很大, 在零件的制造过程中, 为了检验制件是否正确, 必须使用根据零件主模型和产品工艺协调图制造出来的测量工具进行检测, 这类工具就叫车身覆盖件检验夹具<sup>[1]</sup> (简称检具), 用于控制工序间的产品质量, 持续改善产品及过程。车身覆盖件的显著特点是柔性大 (通常称之为柔性件)、形状复杂、不规则, 定位、支承、装夹均较困难, 受力后具有变形形状的不确定性和变形方向的不确定性<sup>[2]</sup>, 若考虑不周, 会在检测过程中引起不应有的误差。车身覆盖件结构和形状的复杂多样性决定了检具结构的复杂多样性<sup>[3]</sup>。

本文通过对特征映射机理及其映射过程的分析, 提出了一个基于车身覆盖件特征模型、面向检具智能设计的特征映射系统, 通过特征映射, 实现覆盖件设计特征到相应检具特征模型的转换。在概念设计阶段, 同步进行相应检具的设计, 使检具设计系统能根据所需的检测特征信息 (经特征映射), 按其自身的组织结构获取 CAD 系统经特征映射后形成的零件信息, 建立自动化的车身覆盖件检具设计系统。

## 1 特征映射与特征映射函数

### 1.1 特征映射

令  $F_d$ 、 $F_c$  分别为一车身覆盖件设计特征集和对应的检具特征集;  $f_d$  和  $f_c$  分别为车身覆盖件设计特征和检具结构特征。若对于每个  $f_d \in F_d$ , 有唯一的  $f_c \in F_c$ , 使得从集合  $F_d$  到集合  $F_c$  存在某种关系  $R$ , 则称  $R$  是从  $F_d$  到  $F_c$  中的映射。记作:  $R: F_d \rightarrow F_c$ 。

车身覆盖件设计特征集包括形状特征 (如曲面、平面、斜面、孔、凸台、凹槽等)、基准特征 (包括定位基准和测量基准)、精度特征、检测特征 (如几何形状的尺寸、位置坐标、相对距离、绝对距离等); 检具特征集包括仿型面检测特征、截面样板检测特征、定位特征、夹紧特征、精度特征、基准特征、几何形状的尺寸位置等特征。

从工程意义上说, 车身零件设计特征集和相应的检具模型特征集间的映射关系实质上揭示了特征的分析、分解、转换与重构关系。

### 1.2 特征映射函数

映射关系可以描述为函数关系, 因此映射  $R$  又可称为特征映射函数, 特征映射函数一般是复合函数, 所以, 零件设计特征集与对应的检具特征集之间的映射关系可以表达为:

$$F_c = R_j(R_t(R_s(F_d)))$$

式中:  $R_s$  为筛选函数, 实现从零件设计特征集空间

筛选出对形成检具模型特征集空间有用的特征信息;  $R_t$  为提取函数, 进一步获取包括与检具特征有关的其他特征属性;  $R_j$  为聚合函数, 实现检具特征集空间的结构重构。上述 3 个函数反映了特征映射过程。

## 2 特征映射系统基本结构及功能实现

### 2.1 基本结构

车身零件 CAD 模型到检具模型的特征映射系统结构如图 1 所示, 主要由筛选、提取、聚合等特征映射子函数组成。零件设计特征信息首先经预处理, 被分为简单特征和复合特征。简单特征可通过检具设计规则直接转换为检具特征, 形成检具结构模型的一个组成部分, 如不用于定位和夹紧的一些平面面域, 也不是质量检测重点, 可以把它作为简单特征来处理, 直接转换为检具的一个简单特征; 对于具有复合特征的零件则需经过图 1 所示流程进行特征转换。特征转换的关键在于筛选、提取和聚合函数功能的实现。

图 1 特征映射系统结构图

Fig. 1 Framework of a feature mapping system

车身覆盖件组合检具智能化设计是以覆盖件的三维 CAD 型面为设计依据<sup>[4]</sup>, 建立三维 CAD 型面与检具结构中所有零/部件的直接或间接映射关系, 进而实现面向装配的覆盖件检具结构模型。如果替换三维零件 CAD 型面, CAD 系统在检具设计人员的适当干预下, 自动更新原有检具结构, 设计出符合要求的新的检具结构。为了模拟装车状态, 检具的设计是根据零件在车身坐标系中的位置和姿态进行的, 即检具主体上的坐标和零件在车身坐标系中的坐标是一致的<sup>[5]</sup>。

## 2.2 筛选函数

进行检具设计时,根据零件表面面域的作用不同把零件表面面域分为功能面域和非功能面域。功能面域指该件的特征要素所在的区域,对相应的检具模型特征的生成起重要作用,如检测面、定位面、夹紧面、配合面等。非功能面域指上述面域以外的其他区域,如零件的过渡面等,既没有定位面的准确度要求,也没有配合面的精度要求,只是起到特征之间的连接作用和曲面之间的过渡作用。

以典型被检测覆盖件作为组合检具结构设计的原始需求。组成被检测零件的表面根据检测工艺的需要又可分为三组:待检测表面面域 $\{M\}$ 、非检测表面面域 $\{N\}$ 以及从待检测表面和测头行走轨迹上引伸出来的检测轨迹面面域 $\{T\}$ 。检具设计一般原则是:并不需要对待检测表面的每一个点都检测,这就存在一个对 $\{M\}$ 筛选的问题,筛选出的需要检测的特征组成一个集合,称为零件检测特征集 $\{F\}$ ,检测要素的确定是对 $\{M\}$ 选择关键特征和控制特征。根据整车的结构设计、装配关系以及制造工艺等,某些检测要素的布置要能够反映白车身零件、分总成、总成及整车的产品关键特征的变化,这类特征要素被定义为关键特征要素,关键特征要素的变差将极大地影响产品对安全或制造标准的符合程度,还会影响顾客对产品的满意度;控制特征要素既是关键特征要素的必要保证,同时它又属于过程控制参数,控制本级装配中车身装配尺寸质量,用于对本级车身装配过程中制造偏差进行识别和诊断。如图2中的2、4、6、8所对应的面域就是需检测特征,其中:2、4检测特征要控制其所在的配合面 $z$ 向高度;6检测特征要控制其所在的面域 $y$ 向偏差;8检测特征要确保其所在的面域在理论公差范围之内,避免与下一级装配件发生干涉。针对待检测表面的具体特征,或设计相应的仿型面检测结构进行相对测量,或用三坐标测量机进行绝对测量。根据检测工艺需求,综合考虑效率、经济性、准确性和精确性等的要求,选择其中的一种方法单独使用或几种方法相结合使用。

图2 车身覆盖件表面面域分解

Fig. 2 Surface analysis of a part

对零件的定位和夹紧过程都在该件的非检测 $\{N\}$ 面域上完成,每个定位元件和夹紧元件在空间上都要避免和 $\{M\}$ 面域及 $\{T\}$ 面域发生干涉。在考虑定位和夹紧时,有些面不适合定位、夹紧要求,如零件上的复杂自由曲面、加强筋侧面、焊接面等。因此存在一个对 $\{N\}$ 面域的筛选问题。将车身零件上用于定位和夹紧的特征归纳为面和孔两大类。根据装夹面特征在车身坐标系的方位不同又可分为 $x$ 向面特征、 $y$ 向面特征、 $z$ 向面特征以及斜向面特征;根据孔特征方位的不同也可分为 $x$ 向特征、 $y$ 向特征、 $z$ 向特征。 $\{N\}$ 面域中筛选出来的用于定位和夹紧的表面组成一个集合,称为零件装夹特征集 $\{P\}$ ,其装夹特性分析就是分析 $\{P\}$ 面域中每个面的装夹特性,按定位、夹紧要求,再将 $\{P\}$ 面域分成2个子集,分别为零件定位特征集 $\{L\}$ 和零件夹紧特征集 $\{C\}$ 。图2中的1、3、5、7所对应的外表面域为夹紧特征面域,内表面为定位特征面域。基于以上分析,可以把设计特征域集合 $\{D\}$ 简化成由不同功能的表面面域集合构成,描述为:

$$\{D\} = \{F\} \cup \{T\} \cup \{L\} \cup \{C\}$$

## 2.3 提取函数

提取函数解的过程就是根据上一步筛选得到的零件检测需求的功能特征集合,向检具的结构特征集合进行映射的过程,即检具结构设计中的功-构映射。检具是要根据零件的检测工艺需要,在一定的检测设备条件下,根据待检测面的具体特征,设计相应的检测结构。按照针对柔性件的“N-2-1”定位原理对所检测的零件进行定位和夹紧,限制工件必要的自由度及保证定位的可靠性。“N-2-1”定位原理就是在第一主定位面上除了设置3个主定位点外,还要设置 $N-3$ 个辅助支撑点,以消除柔性件由于自重作用引起变形而导致的检测误差,“N”的确定方法是利用有限元方法对只受重力作用的柔性件进行变形分析,确定使零件总变形量最小的支撑定位点的数量,即N的数值以及N的布置。

具体来说,就是要根据检测特性要求,按照映射原理,针对零件的待检测特性面域 $\{F\}$ 完成检具检测结构设计,按照零件的装夹特性要求,选择合适的组合夹具元件,在零件的 $\{L\}$ 和 $\{C\}$ 面域中完成定位和夹紧过程,这就是对于检具结构的最基本“功能”的要求。同时,设计出来的检具“结构”既要实现上述功能,满足由零件形状特征、检测工艺、精度特征和检测设备与量具所决定的零件检测特性的需要,同时还要考虑满足检具元件组装上的装配性、拆卸性等的要求。这样,结构作为功能的实现形式,就存在

着一种由“功能”到“结构”的映射关系, 从而实现检测单元、定位单元、夹紧单元映射

在检具的结构设计中, 最主要的是零件的检测、定位和夹紧三大功能结构模块, 检具结构表达为: 定位工件、夹紧工件和检测工件, 而每一个功能模块又是由多个子功能模块构成, 其他的功能需求可以看成是分别隶属于这些子功能项的, 例如工艺特征中的精度特征、尺寸特征等是伴随检测特征、定位特征和夹紧特征而产生的, 因而检具结构的功-构映射表达为对每个子功能的映射, 并综合考虑该子功能的其他隶属功能项

#### 2.4 聚合函数

聚合函数解的过程就是把上一步解得到的结果, 即功-构映射得到的各个功能单元模块按照检测、定位、夹紧表面的空间位姿关系进行空间结构布局, 生成最终的检具结构

### 3 应用实例

以 UG/OPEN API 及 VC++<sup>[6]</sup> 为主要编程手段, 采用面向对象技术开发了组合检具结构设计系统, 零件特征信息输入如图 3 所示

图 3 零件检测特征信息输入

Fig. 3 Input of the part check feature

本文选择某型轿车车身一覆盖件为实例验证, 如图 4 所示

图 4 设计实例

Fig. 4 Example of checker design

设计步骤及结果如下:

(1) 输入零件特征信息及零件模型

(2) 零件表面面域分析及分解 根据零件的检测特性、装夹特性及工艺特性提取  $\{F\}$ 、 $\{T\}$ 、 $\{L\}$  及  $\{C\}$ 。

(3) 检具功-构映射 在 UG 环境下, 根据德国 WITTE 公司所生产的 ALU FIX 型柔性夹具元件建立柔性夹具元件库以及夹具元件装配规则库

(4) 检具结构装配 采用参数驱动, 模块化装配, 检具结构自动布局, 完成检具结构自动化设计。

### 4 结 语

本文在分析了车身覆盖件特征和检具模型特征的基础上, 论述了车身覆盖件设计域到检具结构模型的特征映射机理。根据零件特征进行相应检具模型智能化设计的研究中, 应用了特征映射技术, 确定了零件 CAD 型面和检具结构零/部件间的直接或间接关系。通过零件表面面域分析、零件-检具功-构映射以及检具结构模块化设计等步骤进一步完善了特征映射过程, 丰富了特征映射函数内容。在此基础上开发了检具设计原型系统, 完成了从覆盖件设计域到检具模型的特征映射, 以实例对系统进行了验证。

#### 参考文献

- [1] Wu Y, Rong Y, Chu T C. Automated generation of dedicated fixture design[J]. *International Journal of Computer Application in Technology*, 1997, 10(3/4): 213- 235
- [2] Amy J C, Liu C R. A literature survey of fixture design automation[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1990, 2(5): 240- 255
- [3] Asada H, Kitagawa M. Kinematic analysis and planning for form closure grasps by robotics hand[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 1989, 5(3): 293- 325
- [4] Wang Y. A time finite element method for dynamic analysis of elastic mechanisms in link coordinate systems[J]. *Computers and Structures*, 2001, 79(2): 223- 230
- [5] Rong Y, Bai Y. Automated generation of fixture configuration design[J]. *Transaction of the ASME*, 1999, 119(5): 208- 219
- [6] Liu W J. A study on modular fixture design with intelligent selection of element and interactive assembly[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 1996, E-3(4): 45- 48