

# 面向数控工艺复用的柴油机关键件特征定义

张 辉<sup>①②</sup> 李磊磊<sup>①②</sup> 官 威<sup>③</sup> 欧联春<sup>①②</sup> 李 群<sup>③</sup> 张胜文<sup>①②</sup>

(①江苏科技大学机械工程学院,江苏 镇江 212003; ②江苏省船海机械装备先进制造重点实验室,江苏 镇江 212003; ③先进制造技术设计部沪东重机有限公司,上海 200129)

**摘 要:** 根据船用柴油机关键件的几何形状与数控工艺特点,给出关键件加工特征的详细定义。从制造语义、制造资源、几何信息等方面对特征进行描述,构建柴油机关键件加工特征信息模型,并给出特征的相似度计算方法。最后,以关键件某加工特征为对象,结合所给出的关键件加工特征定义对几种定义方法的特征匹配结果进行分析。分析结果表明,使用所述的面向数控工艺复用的特征定义方法,能够实现加工特征的高效精准匹配,进而对已有数控工艺成果进行复用,提高 NC 程序的编制质量与效率。

**关键词:** 加工特征; 特征识别; 制造语义; 数控工艺

**中图分类号:** TH166 **文献标识码:** A

**DOI:** 10.19287/j.cnki.1005-2402.2018.09.010

## Definition of machining features of diesel engine key parts for NC process reuse

ZHANG Hui<sup>①②</sup>, LI Leilei<sup>①②</sup>, GUAN Wei<sup>③</sup>, OU Lianchun<sup>①②</sup>, LI Qun<sup>③</sup>, ZHANG Shengwen<sup>①②</sup>

(①School of Mechanical Engineering Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, CHN;

②Jiangsu Provincial Key Laboratory of Advanced Manufacture and Process for Marine Mechanical Equipment, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, CHN; ③Advanced Manufacturing Tech.

Design Dept., Hudong Heavy Machinery Co., Ltd., Shanghai 200129, CHN)

**Abstract:** The definition of machining features which is applicable to diesel engine key parts is given according to the characteristics of geometric shape and numerical control process of diesel engine key parts. The features are described from manufacturing semantic, manufacturing resources and geometric information, and the machining feature model of diesel engine key parts is constructed and a method of similarity comparison of features. Finally, the feature matching results of several definition methods are analyzed. The analysis results show that we can achieve efficient and precise matching of machining features, and reuse existing NC process achievements to improve the quality and efficiency of NC programming by using the method of feature definition for the reuse of NC process described in this paper.

**Keywords:** machining features; feature recognition; manufacturing semantic; NC process

随着数字化制造技术应用的不断深入,在柴油机制造领域已积累了大量丰富的 CAD/CAM 设计成果,为新产品的制造提供了宝贵的知识资源。在产品不断的更新换代过程中,新老代产品在产品结构、制造工艺等方面具有很强的相似性和继承性。因此,实现对现有数控成果的准确快速复用,是提升船用柴油机制造行业生产制造质量、效率的重要一环。传统的复用手段多为手工比对,人工修改,其过程繁琐,效率低下。特征技术的引入将颠覆传统的复用手段,大大提高设计、工艺复用的效率与准确性。

自加工特征的概念提出以来,特征定义的发展

从最初的仅包含几何属性的定义<sup>[1-2]</sup>,到结合加工意图、制造语义的特征定义<sup>[3-4]</sup>,再到结构化、分层化的更为完整的特征定义描述<sup>[5-6]</sup>。上述诸多定义均不适用于关键件结构复杂,相交特征众多的特点,且信息描述不够完备。本文面向关键件将加工特征定义为加工方法相同,所用加工资源相似,几何形状相似的一次加工成型的一个或一组加工表面,每个(组)加工面与特定的加工操作相关联。并且对特征各方面展开详细完整描述,从而实现特征高效精准的识别与匹配,自动化、智能化地实现数控工艺成果的复用。

## 1 层次化特征信息模型的定义与量化表达

对于某一类特征  $F_A$ , 可表达为:

$$F_A = [S_A, GM_A] \quad (1)$$

式中:  $S_A$  为特征  $F_A$  的信息集合;  $GM_A$  为特征  $F_A$  的几何实体。

$$S_A = [I_A, Op_A] \quad (2)$$

式中:  $I_A$  为特征基本描述信息,  $Op_A$  为特征  $F_A$  的加工操作, 加工操作是特征数控工艺的集合。  $I_A$  可分解为下式:

$$I_A = [G_A, M_A] \quad (3)$$

式中:  $G_A$  为几何信息,  $M_A$  为非几何制造语义信息。

$I_A$  可看作是  $Op_A$  的索引, 在对特征  $F_A$  进行加工时, 特征匹配的过程也就是在预定义特征库  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$  所对应的集合  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$  中匹配得到与  $I_A$  最为相似的  $I_K$ , 进而得到  $I_K$  所对应的加工操作  $Op_K$ , 实现数控工艺设计成果的复用。

为了实现上述特征识别过程, 必须对特征基本描述信息  $I$  进行详细定义及量化表达。本文引入一个层次化信息模型对  $I$  进行描述。

### 1.1 层次化信息模型概述

特征层次化信息模型由关键、次关键制造语义层、制造资源层和几何层 4 个层次组成, 每个层次又由若干信息元素构成, 每一个信息元素由若干属性进行描述。如图 1 所示。



图1 特征信息模型层次结构

#### 1.1.1 关键制造语义层

关键制造语义层在后续的特征相似性比较中占有决定性地位, 若该层次中信息元素在比较时有所差异, 则可认为两个特征之间的相似度为 0。

关键制造语义层包括特征类别与加工方法 2 个单

属性信息元素。特征类别依据关键件的加工对象进行粗粒度划分, 可分为面、孔、槽与复杂特征。

#### 1.1.2 次关键制造语义层

次关键制造语义层包括加工阶段与加工精度。其中, 加工精度由表面粗糙度与公差 2 个属性构成, 由于尺寸公差与形位公差的数值在一定程度上可以相互转换<sup>[7]</sup>, 因此, 这里的公差仅考虑尺寸公差。

#### 1.1.3 制造资源层

制造资源层有刀具、夹具、加工设备 3 个信息元素。刀具信息的定义依据汤岑书<sup>[8]</sup>等提出的加工资源模型, 由刀具类别、运动模式、尺寸信息、精度能力 4 个属性构成; 加工设备信息包含设备类别与机床工作行程; 夹具信息包含夹具定位方式与夹紧机构类别。

#### 1.1.4 几何层

几何层包括几何尺度、几何形状与特征拓扑结构 3 个单属性信息元素。

几何尺度与形状可依据黄瑞<sup>[6]</sup>等定义的特征描述子中的几何层进行定义。以特征最大加工面的形心为原点, 以面的外法向为  $Z$  轴正方向, 以加工面最长边界线弧长中点切线方向为  $X$  轴, 建立右手笛卡尔坐标系, 将空间分为 8 个卦限, 将特征拓扑结构表述为当前特征与周围 8 个卦限内各特征的关联关系。以关联特征加工面形心所在卦限判定关联特征所在卦限。依据 LI WD<sup>[9]</sup>等对特征间相交关系的分类, 特征之间的关联关系可分为相离、毗连、邻接、剥离与分裂。

### 1.2 信息元素的量化方法

#### 1.2.1 属性的量化

上述各信息元素的属性可分为分类(定性)的与数值(定量)的<sup>[10]</sup>。具体来说, 特征类别、加工方法、加工阶段、刀具类别、刀具运动模式、刀具精度能力、夹具定位方式、夹紧机构类别与机床设备类别等属性为分类的, 表面粗糙度、公差、刀具尺寸、机床工作行程、几何尺度、几何形状与特征拓扑结构是数值的。

对于分类属性, 采用 One-Hot<sup>[11]</sup> 编码对其进行数字化转换。对于某些信息元素来说, 其各个属性有不同的信息增益<sup>[12]</sup>, 为了凸显属性之间的差异, 在属性编码后拼接附加码, 附加码也是一串二进制码, 附加码长度与属性的信息增益成正比。在相似性比较之初为属性附加码置值, 当所比较的两个属性值相同时, 两个属性的附加码全部置为 1, 不同时, 附加码设置为相异(其一为全 1 串, 其二为全 0 串)。

对于数值属性, 将属性值依序量化为向量, 将各向量分量处理为相近的数量级, 并进行归一化处理, 将其映射至  $[0, 1]$  区间。

特别的,对于特征拓扑结构与几何形状,采用如下方式向量化:

特征拓扑结构:对5种特征关联关系进行 One-Hot 编码,并将编码值向量化,用以表示当前特征与某一卦限相关联特征的关联关系,若某一卦限内没有关联特征,则将向量各分量的值全部赋为0,若一个卦限中的关联特征大于1个,则对相同卦限的向量相加合并。以相关联特征所在卦限 I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII 的次序组合各向量。

几何形状:可量化为  $n$  维形状分布向量  $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ ,其中  $n$  为所划分的  $D_2$  距离<sup>[13]</sup>区间数量,  $s_n$  为落在相应区间内的随机点对的统计数量。

### 1.2.2 信息元素量化

对于含有多个相同类型属性的信息元素,可将各属性值进行简单拼合,如下式所示:

$$E = A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_n \quad (4)$$

式中:  $\oplus$  为自定义拼合运算符,可将分类属性的编码值首尾相连,组合为新的长串编码,或将数值属性的量化而成的向量组合为新的高维向量;  $A_1, A_2, \dots, A_n$  为  $n$  个属性的量化结果。

对于含有多个不同类型属性的信息元素,可将数值属性离散化,统一采用分类属性的量化方式进行量化表达,并按式(4)进行拼合。

依据上述量化方法,特征类别、加工方法、加工阶段、刀具、夹具、机床设备信息可最终量化为二进制编码,加工精度、特征拓扑结构、几何形状、几何尺度最终量化为数值向量。

## 2 制造特征的相似度计算方法

特征  $F_i$  与  $F_j$  之间相似度可定义为:

$$SIM_{ij} = \begin{cases} 0, & \exists k \in \{T, M\}, \\ & s. t. SIM(F_{ik}, F_{jk}) = 0 \\ \sum_{k \in E} \omega_k SIM(F_{ik}, F_{jk}), & \forall k \in \{T, M\}, \\ & s. t. SIM(F_{ik}, F_{jk}) \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中:  $E$  为所有信息元素构成的集合;  $T$  与  $M$  分别表示特征类别与加工方法;  $SIM(F_{ik}, F_{jk})$  表示特征  $F_i$  与  $F_j$  在信息元素  $k$  上的相似度,当关键制造语义层信息有所差异时,可认为两特征之间无相似性,不再进行低层次信息的比较,简化比较过程;  $\omega_k$  为各个信息元素在相似性比较中的权值,权值的设置参考特征描述子<sup>[6]</sup>在相似性比较时的权重设置。

下面就信息元素的两种最终量化结果的相似性比

较展开论述。

### 2.1 二进制编码

使用 Jaccard 系数<sup>[10]</sup>进行编码值的相似性比较。编码属性的相似度可表示为:

$$SIM = \frac{s_{11}}{s_{01} + s_{10} + s_{11}} \quad (6)$$

其中:  $s_{00}$ 、 $s_{01}$ 、 $s_{10}$ 、 $s_{11}$  分别为二进制位比较生成的个量值<sup>[10]</sup>。

### 2.2 数值向量

对于特征拓扑关系向量与形状分布向量,可使用修正余弦相似度来计算2个  $n$  维向量的相似度,修正余弦相似度通过去中心化来改善余弦距离对数值不敏感的缺陷。如下式所示:

$$SIM = \left| \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - z)(y_i - z)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - z)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - z)^2}} \right| \quad (7)$$

其中:  $z$  为两向量所有分量的算术平均值。

特别的,对于形状分布向量,需要对原向量做规范化处理,使得两个向量各分量所对应的  $D_2$  距离区间相同。

对于加工精度与几何尺度,可使用欧几里得距离(侧重于向量数值大小的比较)度量向量之间的差异:

$$dist = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - y_i)^2} \quad (8)$$

此时,相似度可按下式计算:

$$SIM = 1 - j \cdot dist^k \quad (9)$$

其中:  $j, k$  根据实际情况取合适的值。

## 3 验证与讨论

为验证本文特征定义及相似性比较方法的有效性,本文以 Microsoft Visual Studio 2010 为开发环境, Siemens NX 8.5 为 CAD/CAM 平台,实现以本文特征定义方法为基础的柴油机关键件加工系统,针对的关键件主要有机架、机座、连杆等等。下例以 U 型门框面为加工对象,匹配特征库中预定义特征实现刀轨复用,完成特征加工,如图2所示。

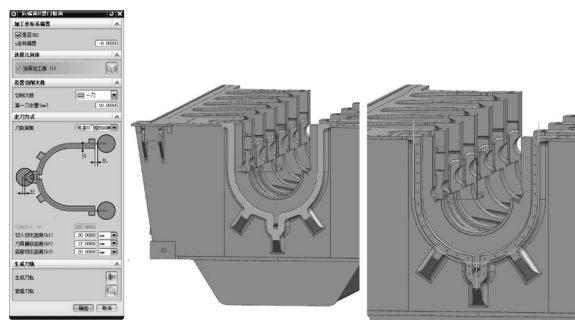
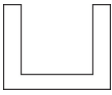
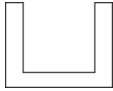



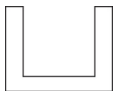
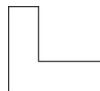

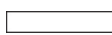
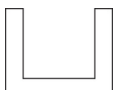





图2 U型门框面加工过程及刀轨展示

表 1 特征匹配综合比较结果

索引特征	特征定义匹配方法	匹配结果及各匹配结果相似度值			
		I	II	III	IV
 U 型门框面	基于形状分布的定义	 U 型门框面	 大圆法兰	 轴承座端面	 减震器连接面
		0.987	0.889	0.858	0.826
	特征描述子	 U 型门框面	 L 形面	 大圆法兰	 侧边
		0.993	0.876	0.832	0.796
	本文特征定义方法	 U 型门框面	 大圆法兰	 轴承孔大端平面	 搭子平面
		0.998	0.913	0.883	0.813

取特征描述子<sup>[6]</sup>、基于形状分布<sup>[13]</sup>的特征定义,结合本文定义方法,进行相似性比较性能分析,如表 1 所示为种定义匹配方法下相似度排名前 4 的匹配结果。

由表 1 可知,基于形状分布的定义方法对于特征的描述更侧重于特征的几何信息,没有考虑特征的语义信息,匹配结果偏重于特征的外观形状;特征描述子所包含的信息不够完备,应用于关键件对象时不够准确,对于相似度较小的匹配结果,有较大偏差;本文的特征定义方法综合考虑关键件制造语义与几何信息,能够有效地对关键件特征进行识别匹配。通过匹配结果,得到与匹配特征相对应的数控工艺集合,适当修改后可用于待匹配特征的加工。

4 结语

对于船用柴油机生产制造企业,如何复用已有的设计制造成果,提高产品的生产质量与效率,对企业的生存发展至关重要。本文针对关键件的加工特点,给出面向关键件的特征分类与定义方法,构建了关键件加工特征信息模型,并提出特征信息模型的相似性比较方法。本文所述加工特征信息模型及其相似性比较方法为解决船用柴油机设计制造集成,实现数控工艺的快速复用提供了高效实用的解决方法。此外,在后续的研究过程中,可进一步规范特征信息的组织形式,使得本文的定义方法有更广的适用范围。对于每一个

信息元素的属性也可以进一步扩充,使相似性比较结果更为精确。

参 考 文 献

[1] Industrial automatic systems and integration-Product data representation and exchange--Application protocol: Mechanical product definition for process planning using machining features [S]. International Standard. ISO10303-224, 2006.

[2] Xu X, Hinduja S. Recognition of rough machining features in 2 1/2D components[J]. Computer-Aided Design 1998, 30: 503-516.

[3] Tseng, Joshi. Recognition of interacting rotational and prismatic machining features from 3-D mill-turn parts[J]. International Journal of Production Research, 1998, 36( 11): 3147-3165.

[4] Gaines D M, Hayes CC. MEDIATOR: A resource adaptive feature recognizer that intertwines feature extraction and manufacturing analysis [J]. Journal of Mechanical Design, 1999, 121( 1): 145-158.

[5] 张力,邓家祺. 数控特征单元定义实现及其应用研究[J]. 中国机械工程, 2000, 11( 4): 364-368.

[6] 黄瑞,张树生,白晓亮,等. 融合制造语义的三维 CAD 模型检索方法[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19( 6): 1177-1185.

[7] 匡兵,黄美发,钟艳如. 尺寸公差与形位公差混合优化分配[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14( 2): 398-402.

[8] 汤岑书,褚学宁,孙习武,等. 基于几何与公差信息的加工特征识别方法[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16( 2): 256-262.

[9] Li W D, Ong S K, Nee A Y C. Recognizing manufacturing features from a design-by-feature model [J]. Computer-Aided Design, 2002, 34( 11): 849-868.

[10] Tan P N, Steinbach M Vipin. Introduction to data mining[M]. Posts & Telecom Press, 2010.



# 基于 PLC 和 MCGS 组态的离子膜成型机控制系统设计\*

张临松 王士军 陈 伟 孙增光 周永鑫

(山东理工大学机械工程学院, 山东 淄博 255000)

**摘 要:** 离子膜是锂离子电池四大关键材料之一, 置于电池正负两极之间阻隔正负极接触。为了解决离子膜的生产效率低, 生产质量差的问题, 设计了顶杆式涤纶排管定型机机构在 PLC 和 MCGS 以及各种传感技术的配合下实现自动加工控制, 编写了 PLC 与触摸屏的控制程序, 设计了触摸屏的控制操作界面, 有效地实现了定型机的实时监控。经调试及应用, 提高了生产离子膜的自动化水平, 使得生产效率提高了近 40%, 能源消耗减少 30% 以上, 节能环保方面也有较大的效果。

**关键词:** 离子膜; 定型机; PLC; MCGS

**中图分类号:** TP23 **文献标识码:** A

**DOI:** 10.19287/j.cnki.1005-2402.2018.09.011

## Design of battery diaphragm molding machine control system based on PLC and MCGS

ZHANG Linsong, WANG Shijun, CHEN Wei, SUN Zengguang, ZHOU Yongxin

(School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, CHN)

**Abstract:** The ion membrane is one of the four key materials for lithium ion batteries, and is placed between the positive and negative electrodes of the battery to block the positive and negative electrodes. In order to solve the problem of low production efficiency of ion membranes and poor production quality, the top-rod polyester tube setting machine mechanism was designed to achieve automatic processing control in cooperation with PLC and MCGS and various sensing technologies, and PLC and touch screens were prepared. The control program designed the touch screen control operation interface, and effectively realized the real-time monitoring and remote control of the setting machine. After debugging and application, the automation level of the production of ion membranes has been improved, the production efficiency has been improved by nearly 40%, the energy consumption has been reduced by more than 30%, and energy-saving and environmental protection also have a greater effect.

**Keywords:** battery separator; shaped machinery; PLC; MCGS

目前我国新能源汽车发展越来越快, 产销规模已居世界首位, 电池是新能源汽车的核心部件, 其性能的好坏制约着新能源汽车的产品性能, 汽车动力电池技术难点在于导电能力以及续航能力, 超透离子膜是形成微孔层的特殊纳米级聚合物膜, 放置在电池的正 (+) 极和负 (-) 极之间, 为电池中离子电荷提供了必

不可少的快速通道, 提高了电池的导电能力以及续航能力<sup>[1]</sup>。如今市场上电池隔膜的生产多为人工操作, 自动化程度较低, 为了提高整个生产线的自动化水平, 研发设计的顶杆式涤纶排管定型机机构在 PLC 和 MCGS 以及各种传感技术的配合下进行自动化生产, 而且能够实时显示和检测现场工况, 使得生产隔膜的

[11] Harris D M, Harris S. Digital design and computer architecture [M]. China Machine Press, 2014.

[12] 刘庆和, 梁正友. 一种基于信息增益的特征优化选择方法 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(12): 130-132, 136.

[13] Osada R, Funkhouser T, Chazelle B, et al. Shape distribution [J]. ACM Transaction on Graphics, 2002, 21(4): 807-832.

第一作者: 张辉, 男, 1981 年生, 博士, 讲师, 研究方向为 CAD/CAM、数字化制造, 已发表论文 20 余篇。

(编辑 李 静) (收稿日期: 2018-03-05)

文章编号: 180918

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

\* 国家自然科学基金青年基金项目“基于进给系统动态特性的多轴协调运动自适应前瞻控制”(51505265)

