

基于特征的组合夹具快速装配设计

Modular Fixture Rapid Assembly Design Based on Feature

南京航空航天大学机电学院 陆晓斌 周来水 姚 铄
中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 赵西松

[摘要] 为提高组合夹具的装配效率,提出了一种基于特征的组合夹具快速装配方法。该方法通过定义组合夹具元件的装配特征,将装配过程由几何元素级的约束创建简化为装配特征级的特征匹配,设计者只需指定被动件上参与匹配的装配特征,主动件即可自动完成装配并能够实现同构件替换。现已成功应用在某航空发动机组合夹具设计系统中。

关键词: 装配特征 组合夹具 快速装配

[ABSTRACT] A rapid assembly approach based on assembly features is proposed to improve the efficiency of modular fixture design. This approach simplifies the assembling procedure from creating constraints between geometrical elements to mating assembly features which are predefined on the fixture elements. Based on this, designers only need to specify the assembly features on the driven part, and then the driving part can automatically realize assembly, as well as adjustment and replacement. This approach is successfully applied in an aeroengine modular fixture designing system.

Keywords: Assembly feature Modular fixture Rapid assembly

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.10.080

航空发动机零件在机械加工过程中大量使用组合夹具实现零件的装夹与定位,目前在很多航空发动机企业中,组合夹具的设计通常由技术人员在现场反复选件、试装完成。这种设计方式存在以下问题:(1)对设计者的设计经验和知识水平要求较高,且反复的拆卸、试装过程不仅耗费大量的人力、物力,也会影响到组合夹具的设计效率;(2)由于组合夹具在使用完成后应拆卸清洗并将元件入库,这就导致组合夹具设计知识和元件装配知识无法得到有效保存,从而影响到知识的重用。

计算机辅助组合夹具设计可以在一定程度上解决以上问题。目前国内外研究学者将基于案例(Case-based Reasoning, CBR)、基于规则(Rule-based Reasoning, RBR)等智能化设计方法应用于计算机辅助组合夹具设计中,但这些方法大多面向组合夹具的总体

规划和方案设计,而针对组合夹具元件的快速组合装配设计方面的研究较少。现有的商用软件在模型装配时需要建立几何元素之间的约束关系,也存在装配工作量大且装配效率低等问题^[1-4]。

基于此,本文提出并实现了一种基于装配特征的组合夹具快速设计方法。该方法在总结组合夹具装配设计特点的基础上,通过定义组合夹具元件的装配特征,将装配过程由创建几何元素级的约束简化为装配特征级的特征匹配,设计者只需指定被动件上参与匹配的装配特征,主动件即可自动完成装配,从而大大简化了组合夹具元件的装配操作。

1 组合夹具元件装配特征的创建和存储

1.1 装配特征的定义

装配特征(Assembly Feature, AF)可以简单地理解为零件上参与装配活动的特征,不同的学者根据自己的研究目标对装配特征的界定也有所不同,如邵晓东^[5]等定义装配特征为零件面上参与装配活动的区域及其相关信息的集合, Li^[6]等定义装配特征为组合件上典型的点、线、面。

在组合夹具的组合装配中,夹具元件之间一般通过键槽配合和轴孔配合实现定位和连接,如图1所示。参与装配连接的几何特征可分为3类:轴/孔、键/槽和键/槽/孔。根据组合夹具元件的装配特点,本文将元件

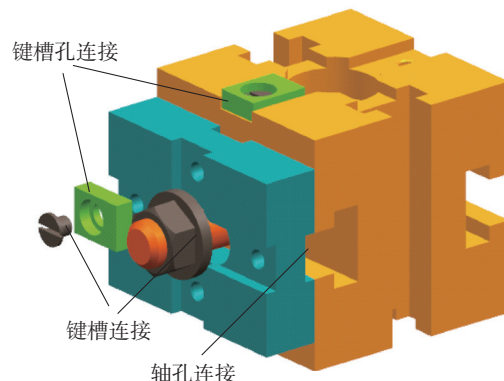


图1 组合夹具元件主要装配关系

Fig.1 Main assembly relationship of modular fixture element

上用于定位和连接的典型几何特征称为装配特征。

1.2 装配特征的创建

定义 1：被动装配特征，在装配过程中相对静止装配特征。

定义 2：主动装配特征，在装配活动中通过调节自身位姿实现与被动装配特征约束关联的装配特征。

需要注意的是，1 个元件上可能同时存在主动装配特征和被动装配特征，这与具体的装配顺序有关。为了方便装配属性的存储，可将一些元件的装配顺序固定下来，如螺母和螺杆的装配，可先确定螺母孔的位置，然后再调整螺钉轴的姿态实现与螺母孔的装配，此时螺母上的孔轴特征即为被动特征，与之对应，螺杆上的孔轴特征可定为主动特征。

根据装配特征的定义，结合装配连接中元件的主被动关系，本文采用以下公式对 AF 进行描述：

$$AF = \{r, G\{g_i | i=1, \dots, Ng\}, size\} \quad (1)$$

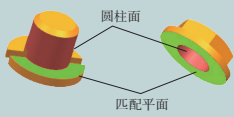
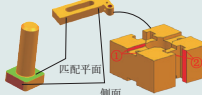
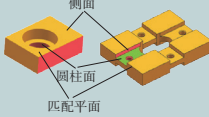
式中： r 为 AF 在装配连接中扮演的角色， $r=1$ 表示 AF 为主动装配特征， $r=0$ 表示 AF 为被动装配特征； G 为 AF 的几何元素集合， g 为集合 G 中的几何元素， Ng 为几何元素的数量； $size$ 为 AF 的关键尺寸。

对于组合夹具元件，根据参与装配连接的几何特征类型的不同，将其装配特征分为 3 类：

- (1) 轴孔类装配特征(用 AxisF 表示)；
- (2) 键槽类装配特征(用 KeyF 表示)；
- (3) 键槽孔类装配特征(用 keyHoleF 表示)。

表 1 所示为组合夹具元件装配特征的类别、各类装配特征包含的几何元素及其关键尺寸。以 KeyF 为例，该类装配特征封装了 1 个匹配平面、键槽的 2 个侧面和槽宽尺寸等信息。

表1 组合夹具元件装配特征分类

编号	类型	G	$Size$	示例
1	AxisF	匹配平面 + 轴、孔圆柱面	直径	
2	KeyF	匹配平面 + 键(槽) 2 个侧面	槽宽	
3	keyHoleF	匹配平面 + 键(槽) 2 个侧面 + 圆柱面	槽宽 + 直径	

1.3 组合夹具元件装配特征集的存储

组合夹具元件的装配具有多样性的特点，因此每一

个组合夹具元件可能包含有多个装配特征，将其称之为装配特征集。组合夹具元件的装配特征集可表示为：

$$ELEMENT = \{A_i | i=1, 2, 3\} + \{P_j | j=1, 2, 3\} \quad (2)$$

式中， A_1 表示主动 AxisF 的集合， A_2 表示主动 KeyF 的集合， A_3 表示主动 keyHoleF 的集合， P_1 表示被动 AxisF 的集合， P_2 表示被动 KeyF 的集合， P_3 表示被动 keyHoleF 的集合。

本文在 Access 数据库中建立了 6 个表空间(Act_AxisF、Act_KeyF、Act_keyHoleF、Pos_AxisF、Pos_KeyF、Pos_keyHoleF)来存储元件的装配特征集，每个表空间中包含有零件名称以及该装配特征中封装的每个几何元素的标识信息(如图 2 所示)。

以组合夹具元件回转支座 Z812305 为例(如图 3 所示)，该元件的装配特征可表示为 $A_2 + P_2 + P_3$ 。其中，



图2 装配特征数据库

Fig.2 Assembly feature database

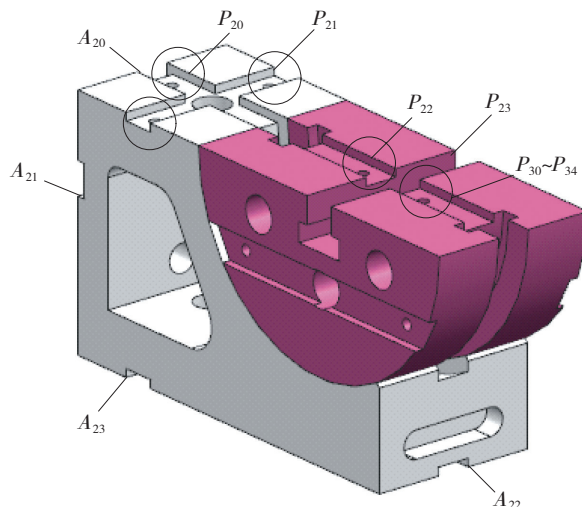


图3 回转支座Z812305的装配特征

Fig.3 Assembly features of tilting support Z812305

$A_2=\{A_{2i} | i=0,1,2,3\}$, $P_2=\{P_{2i} | i=0,1,2,3\}$, $P_3=\{P_{3i} | i=0,1,2,3,4\}$ 。因此,该元件的装配特征存储方法为:4个主动键槽类装配特征存储在 Act_KeyF 表空间中,4个被动键槽类装配特征存储在 Pos_KeyF 表空间中,5个键槽孔类装配特征存储在 Pos_KeyF 表空间中。

2 基于特征的组合夹具元件装配流程

2.1 基于特征的装配过程

所谓特征装配,是指以装配特征为基础进行的零部件装配。在人机交互方式下,特征装配的过程如图5所示。首先选定主动件,在装配环境中选择参与装配的被动装配特征(目标特征)。通过遍历所选元件的主动装配特征,筛选出能够与目标特征相匹配的特征,据此可生成满足配合要求的不同装配方案,用户根据方案预览确定最终的装配方案,并创建所选元件与目标特征之间的约束,完成装配操作。

以回转支座 Z812305 与基础板 Z103915 之间的装

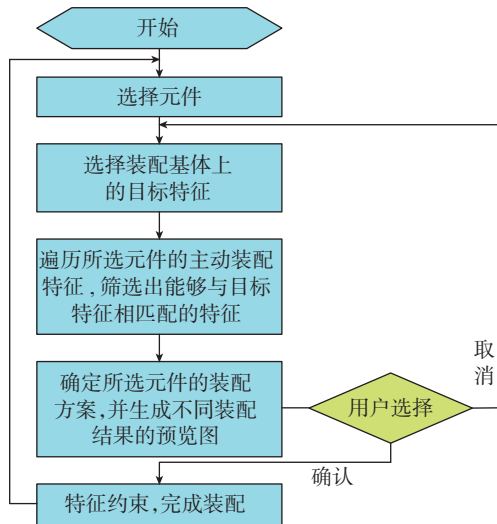


图5 特征装配过程

Fig.5 Assembly process based on features

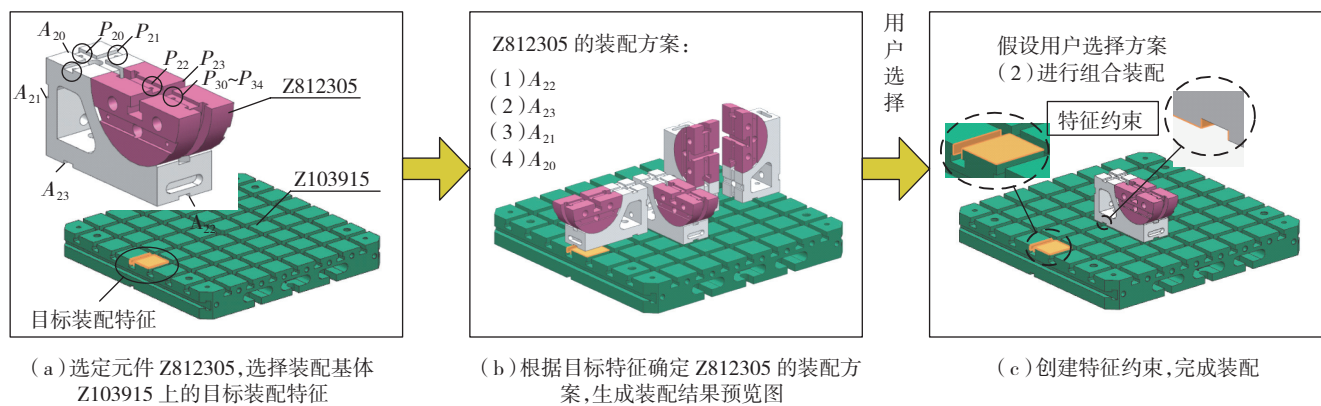


图6 回转支座Z812305的装配过程

Fig.6 Assembly process of tilting support Z812305

配为例,应用基于特征的组合夹具元件装配方法进行特征装配的过程如图6所示,具体描述如下:

(1) 选定元件 Z812305,拾取装配基体 Z103915 上需要装配的被动键槽特征作为目标特征;

(2) 遍历 Z812305 的主动装配特征,得到满足匹配条件的4种装配方案(图6中的(1)、(2)、(3)、(4)),并生成预览图;

(3) 用户根据装配方案预览图确定需要的装配方案;

(4) 根据预设的特征约束规则,创建 Z812305 的装配特征与目标特征之间的约束,完成装配。

与现有的模型装配方法比较,图6所示的特征装配方法具有以下特点:一方面,装配特征是几何元素的集合,比几何元素层级更高,因此基于特征的装配可以显著减少繁琐的几何元素拾取操作次数,降低操作复杂度。另一方面,在特征装配过程中,用户可通过预览装配方案,结合实际需要确定最终的装配方案,整个过程较为灵活,操作也较为直观。

2.2 特征约束的转换

在特征装配的过程中,实现快速装配的关键是特征约束的创建,其实质是将特征约束转换为合理的几何约束。特征约束的转换过程如下:(1) 确定元件之间的特征约束类型;(2) 搜索参与约束的被动装配特征中封装的几何元素,并根据几何元素的类型找出主动特征中与之配对的几何元素;(3) 根据表2给出的规则创建几何约束。

以图6所示装配过程中的特征约束转换为例,该特征约束为键槽连接,即可根据转换规则创建2个约束:共面(主被动特征的匹配平面之间);中心对齐“2 to 2”(主被动特征的2个键槽之间)。

3 同构件的快速替换

同构件是指一组结构相同但规格尺寸不同的零件,

表2 特征约束转换规则

特征约束类型	对应的几何约束类型
轴孔连接	对应两个几何约束,即匹配平面的共面约束和圆柱面的对齐约束
键槽连接	对应两个几何约束,即匹配平面的共面约束和键槽侧面之间的中心对齐 2to2 约束
键槽孔连接	对应 3 个几何约束,即匹配平面的共面约束、键槽侧面之间的中心对齐 2to2 约束和圆柱面的对齐约束

通常采用部件族法进行建模。所谓部件族法,就是在建立参数化的零件模板的基础上,利用参数驱动技术生成一系列部件族实例的快速建模方法。本文在储存同构件的装配特征时采用“部件族储存法”,即储存参数化零件模板的装配特征,使实例化的所有部件族成员继承模板的装配特征。

在组合夹具设计过程中,当已装配的夹具元件尺寸规格不符合要求时,就需要将其快速替换为其他规格的元件,替换后的元件应能保留原零件的特征约束关系。基于此类问题,本文给出了同构件的快速替换方法,实现了基于特征装配方法完成装配后的元件与同构元件的快速替换。替换流程如图 7 中所示:首先搜索装配基体和被替换件上参与约束的装配特征;然后根据被替换件确定替换件上需参与约束的特征,创建被替换件与装配基体的特征约束;最后将替换件删除即可。

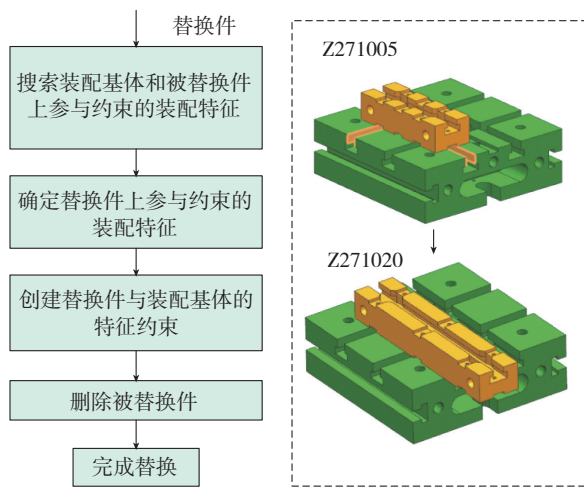


图7 同构件的快速替换流程

Fig.7 Rapid replacement between parts with same structure

4 应用实例

在上述理论的基础上,结合某航空发动机制造企业的具体需求,开发了组合夹具的快速装配设计系统。系

统以 VS2010 为开发环境,以 UG7.5 为平台。系统主要包括两个部分:(1)组合夹具元件的检索,检索界面如图 8 所示,系统提供分级检索和模糊检索两种检索方式,并配有元件预览图方便用户选择元件。(2)组合夹具的装配设计,装配界面如图 9 所示。用户只需在 UG 主界面中点选被动元件的装配特征,系统即可根据特征约束规则自动列出可选的装配组合方案以及每种方案的装配效果预览图,确定装配组合方案后将生成基于几何约束的装配模型。为了便于装配后元件的调整,系统提供了后处理功能,可实现元件的移动、删除和快速替换等。

以图 10 所示的组合夹具模型为例(共 64 个元件),

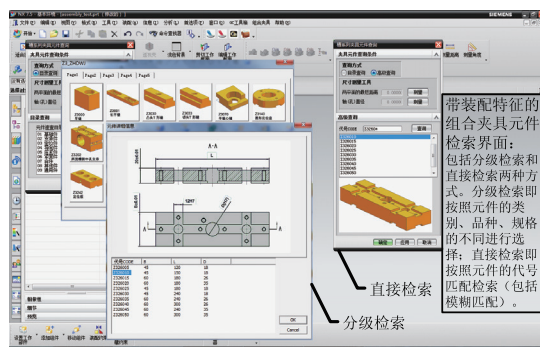


图8 组合夹具元件检索界面

Fig.8 Modular fixture element retrieval interface

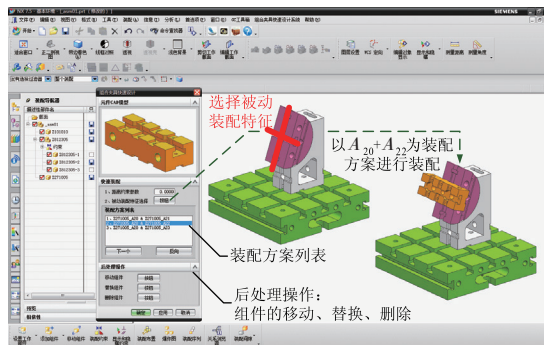


图9 组合夹具装配设计界面

Fig.9 Modular fixture assembly design interface

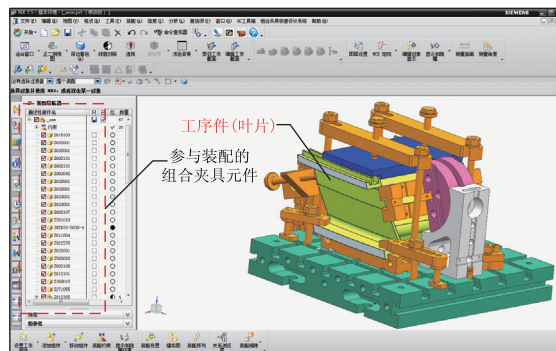


图10 某叶片的组合夹具模型

Fig.10 Modular fixture model of a blade

(下转第 95 页)

不平衡量 $\leq 2\text{g}\cdot\text{cm}$ 。然后再对工件进行静平衡,如图9所示,找正工件内孔 D 跳动不大于 0.01mm ,测量记录静不平衡量的大小和方位,并在工件 Q 面用记号笔标记轻点 Q 。

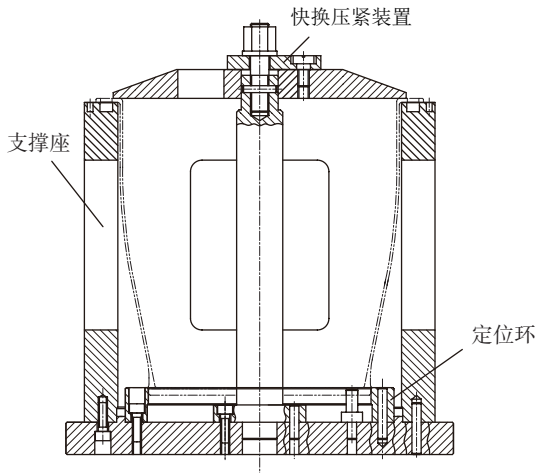


图8 镗大端面孔夹具示意图

Fig.8 Diagram of special fixture for boring big end face

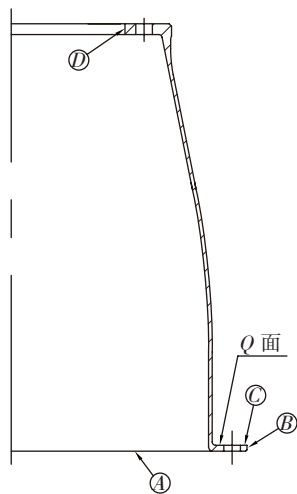


图9 静平衡工序图

Fig.9 Diagram of static balance process

3 结论

经过进行后轴颈工艺的分析研究,制定合理的工艺路线、加工方法,加工出的工件符合设计要求,结果表明工艺路线、加工方法可行。高温合金薄壁鼓筒型后轴颈工件研制的成功,为其他类似结构薄壁轴颈类工件的机械加工制造提供了宝贵的经验。

参考文献

- [1] 陈日曜. 金属切削原理. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 张幼楨. 金属切削原理及刀具. 北京: 国防工业出版社, 1990.

[3] 柯明扬. 机械制造工艺学. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.

[4] 汤湘中. 机床夹具设计. 北京: 机械工业出版社, 1988.

(责编 一帆 古京)

(上接第83页)

同一组技术人员分别采用UG原有装配功能和本系统进行装配设计测试,结果表明:在建立组合夹具元件库的前提下,采用UG原有装配功能设计此套夹具的时间约为4h,而采用本系统装配设计时间仅为1h左右,设计效率大大提高。

5 结束语

本文根据组合夹具的结构和装配特点,提出了一种基于特征的组合夹具快速装配设计方法,给出了装配特征的定义和表示方法,研究了组合夹具元件装配特征的存储方式,并在此基础上实现了特征级别的快速装配,与传统的几何约束装配方式相比,装配操作的复杂度和工作强度都大大降低。最后开发了组合夹具快速装配设计系统,并以某叶片的组合夹具装配设计为例,验证了本方法的有效性和实用性。现该系统已成功应用在某航空发动机组合夹具设计过程中。

参考文献

[1] Wang H, Rong Y M, Li H, et al. Computer aided fixture design: Recent research and trends. *Computer-Aided Design*, 2010, 42: 1085-1094.

[2] 朱耀祥, 融亦鸣. 柔性夹具与计算机辅助夹具设计技术的进展. *制作技术与机床*, 2008(8):5-8.

[3] Wang H, Rong Y M. Case based reasoning method for computer aided welding fixture design. *Computer-Aided Design*, 2008, 40: 1121-1132.

[4] Peng G L, Chen G F, Wu C, et al. Applying RBR and CBR to develop a VR based integrated system for machining fixture design. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38:26-38.

[5] 邵晓东, 殷磊, 陆源, 等. 一种基于特征的快速装配方法. *计算机集成制造系统*, 2007, 13(11):2217-2223.

[6] Li G D, Zhou L S, An L L, et al. A system for supporting rapid assembly modeling of mechanical products via components with typical assembly features. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, 46:785-800.

(责编 谷雨)

(上接第86页)

[2] 辛彦秋, 吴斌, 苏丹, 等. 民用航空发动机脉动装配浅析. *航空制造技术*, 2013(20): 118-120.

[3] 张忠将, 李敏. *Solidworks2010机械设计从入门到精通*. 北京: 机械工业出版社, 2012.

(责编 谷雨)