

面向产品状态的工装建模技术研究

周涛¹, 熊珍琦², 姚为², 秦英²

(1. 西北工业大学 自动化学院, 西安 710072; 2. 北京航星机器制造有限公司, 北京 100013)

摘要: 为了在工艺装备设计过程中, 提前考虑后续制造、使用、维护的相关需求, 确保工艺装备在使用过程中对武器装备状态更改的及时响应; 在分析工装生命周期特点的基础上, 总结了面向产品状态工装模型的要求, 提出了面向产品状态工装模型的定义, 着重指出了工装模型与产品模型的关联关系; 最后介绍了面向产品状态工装模型响应武器装备状态改变的实现方法。

关键词: 产品状态; 工装; 建模; 关联关系

Study on Modeling Technology of Product-Oriented Process Equipment Models

Zhou Tao¹, Xiong Zhenqi², Yao Wei², Qing Ying²

(1. College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Beijing Hangxing Technology Development CO., LTD., Beijing 100013, China)

Abstract: In order to considering the related demand of manufacturing, use, maintenance in the process equipment design, to ensure timely response in the course of weapons and equipment status changes, based on analyzing the life cycle characteristics of the process equipment models, the requirements of product-oriented process equipment models are summarized, the definition of product-oriented process equipment models is put forward, and the incidence relation of the process equipment models and the product model is emphatically pointed out. Finally the implementation method of product-oriented process equipment models is introduced to timely response the weapon equipment state change.

Keywords: product status; process equipment; modeling; incidence relation

0 引言

随着我国武器装备现代化步伐的加快, 武器装备更新换代越来越频繁, 产品研制周期越来越短; 工艺装备(简称工装)作为产品生产的保障条件, 数量也越来越多, 研制要求也越来越高。但是, 目前工装的设计还沿用传统方式, 工装的设计多关注功能的实现, 对于制造性能和后期的使用维护考虑较少; 同时, 由于武器装备产品状态繁多、变化频繁, 工装需要随着产品的更改不断返修、甚至重做。因此, 工装现有的研制方式已经难以适应新型号导弹数字化、集成管理的需要, 成为制约导弹武器产品制造周期和质量的关键因素。因此, 需要面向武器装备状态变化的需求, 在复杂、精密工装的数字化工装设计技术方面开展深入研究, 以适应现代导弹武器研制生产需求。

国内外学者对产品信息建模技术进行大量的研究, 杨洪君^[1]等提出了面向产品自顶向下的设计过程的产品装配模型。马明旭等^[2]提出基于产品结构实现产品生命周期形式化建模。孙飞等^[3]为满足开发过程产品结构数据的动态结构配置、动态任务写作、动态目标求解、动态状态跟踪等应用需求, 提出了一种面向开发过程应用的产品结构形式化模型。但由于工装产品的特殊性, 上述研究难以支持工装的高继承性及变状态

管理。

为实现工装在整个生命周期过程信息的统一性、准确性和可控性, 针对工装对产品变状态响应的问题, 建立了面向产品状态的工装模型, 为工装的及时、准确使用和快速响应制造维护奠定了基础。

1 工装研制过程特点

工装即产品制造过程中所用的各种工具的总称。包括刀具、夹具、模具、量具及辅具等, 可分为通用工艺装备和专用工艺装备。

由于工装产品的特殊性, 其设计、制造、使用、维修、报废均根据其服务产品的制造要求决定, 工装具有良好的继承性和针对性, 因此对于某个种类的工装, 其结构上既有通用的继承性好的结构, 也有专用的针对性强的结构。同时, 由于工装对其服务产品的依赖性, 工装的生命周期有以下特点:

1) 工装的终止有两种情况: 一种是已经达到工装设计的使用寿命, 在性能和可靠性方面无法维持后续的功能要求; 另一种是产品设计有部分或全部修改, 导致工装的功能、尺寸或部组件关系有部分或全部改变。第一种情况是工装整体生命周期的终止, 包括所有零部件的报废; 第二种情况工装仅部分零部件生命周期终止即可, 其他零部件还可以继续应用到其他工装。

2) 工装的维修有两种情况: 一种是在工装的使用过程中, 由于设计、制造偏差或使用过程中的磨损, 导致工装的无法正常使用, 需要进行维修; 另一种就是产品设计的更改, 导致工装需要进行与产品匹配的适应性维护及返修。

收稿日期: 2014-06-09; 修回日期: 2014-06-25。

基金项目: 国防基础科研项目(A0420132503)。

作者简介: 周涛(1971-), 男, 陕西商州人, 博士研究生, 主要从事系统工程在产品研制过程应用方面的研究。

2 面向产品状态的工装模型定义

2.1 面向产品状态的工装模型要求

面向产品状态的工装模型应该包括工装在设计、制造、使用过程中所需的所有信息, 以及与产品关联的相关信息, 形成与产品的紧耦合, 满足产品制造过程的工装使用要求。

2.1.1 工装的结构和装配关系信息

面向产品状态的工装模型应该包括工装零部件信息和零部件之间的装配关系信息。其中工装的零部件信息包括零部件的精确几何与拓扑信息, 以便实现零部件装配基准、约束条件信息的表达; 零部件之间的装配关系信息包括装配特征信息, 如螺栓—孔—螺母连接、螺钉连接、销钉连接和平键连接等, 这些装配特征可以形成零件之间的装配语义, 为后续信息的添加提供基础。

2.1.2 工装零部件的分类信息

面向产品状态的工装模型还应该包括工装零部件的分类信息, 即工装零部件根据应用情况, 可以分为标准件、通用件、普通件等等。工装模型包含上述信息, 在设计阶段可以通过多引用通用件和标准件简化设计, 在使用维护阶段通过快速定位返修零部件的分类情况, 及时得出返修方案, 减少返修周期。

2.1.3 工装的制造信息

工装的结构和装配关系信息、工装零部件分类信息主要表达产品设计阶段的信息, 面向产品状态的工装模型也应该包括在产品制造阶段所需的工艺要求、工艺方法等相关信息, 以便在产品维护过程进行追溯和分析, 减少返修的周期和工作量。

2.1.4 工装的使用维护信息

工装的生命周期中, 使用维护是最关键的环节, 也是体现工装价值的重要环节。因此, 面向产品状态的工装模型也应该包括工装的使用维护信息, 包括工装在使用过程中的注意事项、维护方法等相关信息。一方面为后续工装的使用提供示范和指导; 另一方面为后续工装的维护提供参考, 保障工装使用和维护的顺利进行。

2.1.5 工装与对应产品的特征关系信息

以往的工装模型中, 仅包括工装的设计信息和所对应产品的名称, 但工装的关键特征与对应产品的关键特征的关联关系没有体现, 在工装的使用过程中引发许多问题: 当工装在使用中出现问题时, 需要全面复查设计图纸, 找出关键问题点; 当产品设计更改时, 难以快速确定工装是否需要更改, 需要凭借技术人员进行全面分析, 鉴别工装需要修改的位置及具体要求。面向产品状态的工装模型应该包括工装与对应产品的特征关系信息, 保证工装使用和返修的及时响应。

2.2 面向产品状态的工装模型定义

面向产品状态的工装模型, 是指基于系统理论和信息技术, 针对武器装备产品状态繁多的状况, 采用一定的数据模式对不同的产品状态下, 工装在设计、制造、使用过程中所需的数据内容及数据关系进行定义和描述的一种定义模型, 包括工装在设计、制造和使用过程中所需的各种信息, 为工装的使用、维护以及后续类似产品的设计提供统一的、可继承的模型。

3 面向产品状态的工装模型的实现

3.1 面向产品状态的工装模型的层次表达

根据面向产品状态的工装模型的定义和要求, 采用层次化

方法表达面向产品状态的工装模型, 其层次结构如图 1 所示。

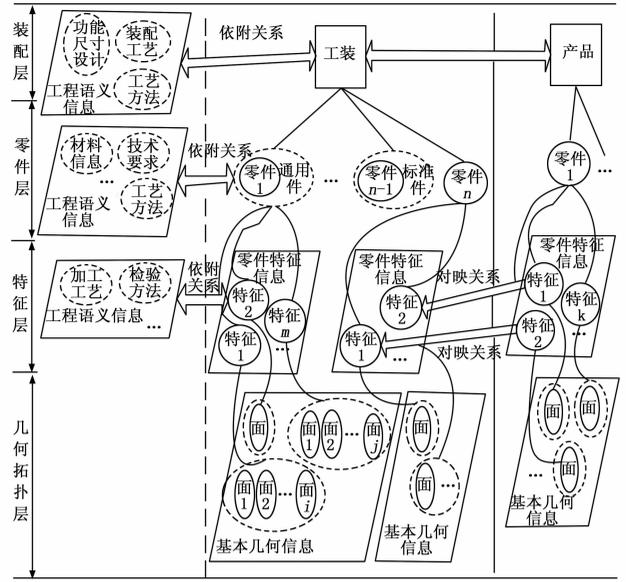


图 1 面向产品状态的工装模型层次图

装配层主要记录工装的唯一标识 ID 号、名称、代号、版本信息管理等属性信息, 工装的组成零部件代号, 以及装配工艺信息、功能尺寸设计信息、工装制造的工艺方法信息等。装配层是工装的整体信息, $A = \{P, A', R, I_A\}$, 其中 $P = \{\langle p_i \rangle, 0 < i \leq m\}$ 为工装的零件, $A' = \{\langle a'_j \rangle, 0 < j \leq n\}$ 为工装的部组件, $R = \{\langle r_{ij} \rangle, 0 < i \leq m, 0 < j \leq n, i \neq j\}$ 为组合工装的零部件之间的对应关系, I_A 为装配层的相应管理信息、工艺方法信息等等附加信息。

零件层主要记录工装所包含零件的唯一标识 ID 号、名称、代号、技术要求、设计者、材料、类型、供应商和设计版本等管理属性信息, 零件包含的特征代号, 以及零件的材料属性信息、工艺方法信息、零件技术要求信息、物理属性信息、设计过程重要节点信息等工程语义信息。工装零件的物理结构是不可进一步细分的整体, 而从功能结构上可以进一步细分为装配特征元及形状特征, $P = \{F^1, F^2, R^1, R^2, R_P\}$, 其中, $F^1 = \{\langle f^1_i \rangle, 0 < i \leq m\}$ 为形状特征, $F^2 = \{\langle f^2_j \rangle, 0 < j \leq n\}$ 为装配特征, $R^1 = \{r^1 \mid r^1 = \langle r^1_{ij} \rangle, 0 < i \leq l, 0 < j \leq m, i \neq j\}$ 为形状特征之间的对应关系, $R^2 = \{r^2 \mid r^2 = \langle r^2_{ij} \rangle, 0 < i \leq m, 0 < j \leq n\}$ 为形状特征与装配特征之间的对应关系, P_A 为零件层的相应管理信息、工程语义信息等等附加信息。

特征层主要记录零件特征的唯一标识 ID 号、特征的类型和参数值信息、特征之间关系类型、关联特征等信息, 以及特征对应的加工工艺、检验方法等工程语义信息; 同时, 还应该包括是否与产品特征有对应关系、与对应产品相关特征的对映关系信息, 特征之间的对应关系是单向传输关系, 主要是产品特征更改时, 工装特征的响应类型及响应关系。特征层是功能信息最丰富的信息层, $F = \{G, D, R^{FP}, R_P\}$, 其中, F 是 F^1 和 F^2 的集合, $F = \{f \mid f = \langle f_i \rangle, 0 < i \leq t (t = F^1 \text{ 的个数} + F^2 \text{ 的个数})\}$, 其中, 工装对应的产品相关特征信息个数为 s 个, $G = \{g \mid g = \langle g_i \rangle, 0 < i \leq m\}$ 为特征包含的几

何信息, $D = \{d \mid d = \langle d_j \rangle, 0 < j \leq n\}$ 为特征包含的尺寸信息, $R^{FP} = \{r^{FP} \mid r^{FP} = \langle r_{ij}^{FP} \rangle, 0 < i, j \leq t\}$ 为工装特征和工装对应产品特征的相关关系, r_{ij}^{FP} 为工装特征尺寸和工装对应产品特征尺寸的相关关系, P_F 为特征层的相应管理信息、工程语义信息等附加信息。

几何拓扑层主要记录各个零件的几何元素信息, 包括零件各个特征所包含的几何元素信息 (图中虚线椭圆包含的若干个几何面构成了一个特征), 如平面、圆柱面等。

通过使用面向产品状态的工装模型, 保证工装在使用维护阶段可以及时获取所需的所有设计相关信息; 在对应的产品进行状态更改时, 可以通过更改特征的查询, 快速得出是否需要更改工装、需要更改工装的具体特征以及更改的方式方法。通过各个层次之间的关联, 和与产品特征之间的紧密耦合, 可以充分利用相关的各种信息, 实现工装快速继承性设计和使用维护。

3.2 面向产品状态的工装模型实现方法

如上文所述, 工装的信息应该是与产品及产品制造过程紧密关联的, 在工装结构模型基础上, 添加丰富的信息来表达的。面向产品状态的工装建模技术与一般产品建模技术最关键的差别即为在产品的模型信息基础上, 增加了与产品状态的关联信息。保证产品状态发生更改时, 通过零件状态改变所设计的特征及特征尺寸信息, 判断对应的工装特征信息是否需要更改, 并根据预留的产品与工装关系信息, 及时得到更改的结果。

面向产品状态的工装模型特征层中记录了 $R^{FP} = \{r^{FP} \mid r^{FP} = \langle r_{ij}^{FP} \rangle, 0 < i, j \leq t\}$ 为工装特征和工装对应产品特征的关联关系, 其中, 关联信息矩阵除对角线元素外均为零, 工装模型特征是否和产品相应特征关联通过关联信息矩阵的对角线数值表达, 与产品相应特征关联的工装模型特征对应的关系矩阵元素为具体关系矩阵, 与产品特征不相关的工装模型特征对应的关系矩阵元素为 1。

如面向产品状态的工装模型特征层共有特征 n 个, 与产品有对应关系的特征 m 个, 其中 $(m < n)$, F^3 为产品状态发生变化后工装模型特征的最终矩阵, F^2 为工装模型特征的初始矩阵, F^1 为与工装模型特征相关联的零件模型特征更改后矩阵, 则:

$$F^3 = R^{FP} F^1 F^2 = \begin{bmatrix} R_{11}^{FP} & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & R_{22}^{FP} & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & R_{mm}^{FP} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_m \\ D_{m+1} \\ \vdots \\ D_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R_{11}^{FP} D_1 D_1) \\ (R_{22}^{FP} D_2 D_2) \\ \vdots \\ (R_{mm}^{FP} D_m D_m) \\ D_{m+1} \\ \vdots \\ D_n \end{bmatrix}$$

利用上述关联关系, 将工装的关键特征与零件的特征关联起来, 具体实施步骤如图 2 所示。

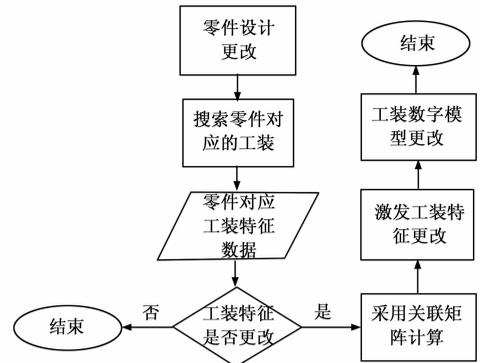


图 2 面向产品状态的工装模型实现流程图

- 1) 当零件的特征发生设计更改时, 系统根据零件附加的关联工装信息, 自动搜索零件制造过程所涉及的所有工装;
- 2) 搜索零件制造过程所涉及的所有工装中, 工装对应该零件的特征数据, 通过特征数据的 ID 标识分辨是否与该零件设计更改的特征有关联关系; 如果没有关联关系则结束; 如果有关联则继续第 3) 项;
- 3) 根据零件更改的特征信息和工装数字模型中的特征信息, 采用关联矩阵重新计算工装特征的相关信息;
- 4) 根据工装特征更改后的相关信息, 激发工装特征进行相应的更改, 并实现工装数字模型的同步更改。

通过上述方法, 实现了面向产品状态的工装模型快速响应重建。当产品状态发生更改时, 产品设计模型更改引发产品模型特征更改, 产品模型特征更改引发相应的工装模型特征发生更改, 通过工装模型的产品特征关联矩阵, 实现工装模型的特征发生更改。在工装设计阶段, 工装模型直接根据特征更改进行重构, 按照新工装模型进行工装的制造; 在工装研制阶段, 为工装设计人员提供更改依据, 辅助工装设计人员判断工装是否进行返修、更换零件或终止使用、报废, 避免产品状态更改引发的大量工装设计复杂、整理工作, 保证工装与产品的状态一致性要求。

4 结束语

工装在设计、使用、维护等生命周期过程中, 与产品的关系紧密, 以往的设计和管理方法与产品结合松散, 且难以体现制造、使用、维护所需的相关信息。本文针对工装在研制过程中问题, 分析了工装生命周期的特点, 分解了工装的信息组成, 并以此提出了面向产品状态的工装模型的概念, 最后阐述了面向产品状态的工装模型的实现方法。

参考文献:

[1] 杨洪君, 宁汝新. 支持自顶向下设计的产品装配模型研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2006, (7): 99-102.
 [2] 马明旭, 范玉顺, 尹朝万. 基于产品结构的全生命周期形式化建模 [J]. 机械工程学报, 2006, 42 (9): 83-84.
 [3] 孙 飞, 唐晓青, 段桂江. 面向开发过程的产品结构形式化建模 [J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34 (10): 1222-1227.