

航空发动机装配技术状态数据模型研究*

Study on Configuration Data Model of Aeroengine Assembly

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室

孙惠斌 常智勇

[摘要] 提出一种装配工艺与质量检验集成的机型装配技术状态数据网络模型,表达了发动机、装配任务、装配工艺、装配工序、检验项等之间的关联关系。提出了一种发动机装配技术状态数据网络模型,不仅可以表达发动机与机型装配技术状态数据模板之间的实例化关系,而且便于换件后的装配技术状态维护。设计了技术状态跟踪搜索算法,对比了不同发动机之间在装配技术状态上的差别,动态输出了工序与检验项的合成工艺指导卡片数据。

关键词: 航空发动机装配 技术状态 数据模型

[ABSTRACT] An assembly process and quality check integrated product type assembly configuration data network model is proposed to formalize interrelationship among engine, assembly task, assembly process, assembly procedure and check items. An engine assembly configuration data network model is suggested. It can be used not only to describe instance relationship between engines and product type assembly configuration data templates, but also to maintain engine assembly configuration after component exchange. Correspondent searching algorithms are designed to compare assembly configuration between engines, and to output procedure and check items mixed on-spot process guide card content dynamically.

Keywords: Aeroengine assembly Configuration Data model

航空发动机装配是一个复杂的过程,涉及的零部件众多、工艺繁杂。为了满足不同客户的需求,经常需要临时调整工艺要求,这导致每两台发动机的装配工艺之间可能存在差别。鉴于航空发动机存在多装多试、回厂大修等特点,即使是同一台发动机,在多次装配中所使用的工艺也不尽相同。此外,当某发动机的装配工艺更

改之后,相应的检验规则也要及时地进行调整,以避免装配工艺与质量检验之间产生脱节。更重要的是,由于部件级换件的存在,使得单台发动机的装配技术状态变得更加复杂,对比两台发动机在这方面的差别更难以实现。在现有的航空发动机装配数字化系统^[1]基础上,对以上这些信息的跟踪和识别不仅是技术状态管理所涉及的关键内容之一,也是航空发动机MRO^[2]的重要参考和依据。

但是,目前国内外的相关研究大多从设计的角度实现产品的多样化和个性化,主要聚焦于产品设计时的产品结构配置、变型设计、设计版本管理^[3],以及装配前的工艺规划、虚拟装配、工艺版本管理^[4]等,而对于因装配执行的动态性而产生的产品技术状态的多样化问题则研究较少。

因此,本课题首先采用机型装配技术状态数据网络模型表达了描述航空发动机装配技术状态的主要元素之间的关系,然后通过配置产生了不同的装配技术状态数据模板,接下来建立了沿时间轴的产品装配技术状态数据网络,最后通过搜索算法,实现了产品装配技术状态的对比。

1 机型装配技术状态数据网络模型

一个航空发动机总是属于某一机型,而一个机型的装配过程可以分为若干个装配节点,每个装配节点执行一本装配工艺,每本工艺又包含若干工序,每个工序执行之后要执行若干检验项。这里,机型、装配、工艺、工序、检验项等构成了描述航空发动机装配技术状态的基本元素。为了将它们之间的关系形象地表示出来,可将这些元素放置在 XOY 平面上,使每个元素在该平面上有唯一的坐标 (x, y) ,用线条把存在关联关系的元素连接起来,形成的机型装配技术状态数据网络模型如图1所示。

在该模型中,机型、装配、工艺、工序、检验项等元素均被视为节点,分别用符号M、A、P、S、C标识。同种元素的不同类型用数字予以区别,同种类型的不同版本用

* 国家自然科学基金资助项目(50805122);西北工业大学科技创新基金资助项目(2008KJ02017)。

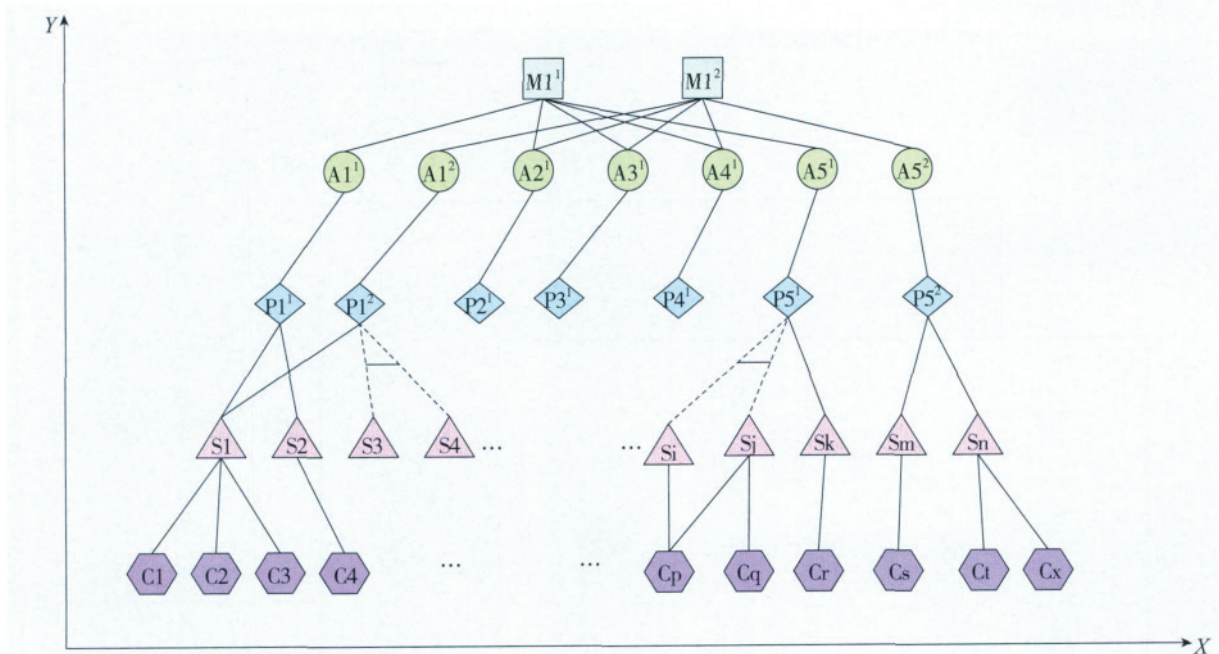


图1 机型装配技术状态数据网络模型

Fig.1 Assembly configuration data network model for a product type

上标区别,例如, A1 和 A2 分别表示 2 个不同的装配,而 P11 和 P12 分别表示工艺 P1 的 2 个不同版本。为简化起见,工序、检验项没有版本的区别。

可以看出,以机型为根节点,以装配、工艺、工序为中间节点,以检验项为子节点,构成一棵机型装配技术状态数据树。机型装配技术状态数据网络模型正是由多个这样的装配技术状态数据树叠加在一起而形成,例如, $M1^1$ 和 $M1^2$ 是机型 M1 的 2 个版本,分别成为两个机型装配技术状态数据树的根节点。其中, $M1^1$ 包括装配 $A1^1$ 、 $A2^1$ 、 $A3^1$ 、 $A4^1$ 、 $A5^1$, $M1^2$ 包括装配 $A1^2$ 、 $A2^2$ 、 $A3^2$ 、 $A4^2$ 、 $A5^2$ 。装配 $A1^1$ 和 $A1^2$ 的区别在于装配 $A1^1$ 执行工艺 P1 的一个版本 $P1^1$,而装配 $A1^2$ 执行工艺 P1 的另一个版本 $P1^2$ 。其他节点之间的连接关系与此类似。此外,工艺 $P5^1$ 中包括的工序 S_i 和 S_j 之间存在或关系(在图 1 中表示为用短实线连接的 2 条虚线),即在具体的产品中需要由工艺员从二者之间选择其一作为工艺 $P5^1$ 需要执行的工序。这主要是为了使工艺员把常见的工艺更改都记录在模型中,以备确认技术状态时选择。

2 发动机装配技术状态数据网络模型

所谓发动机装配技术状态数据模型,就是表达发动机实际装配中技术状态各组成元素及其相互关系的模型。所谓实例化,就是指由机型装配技术状态数据模板产生发动机装配技术状态数据模型的过程。在此过程

中,机型装配技术状态数据模板中的元素分别实例化为发动机装配技术状态数据模型中的元素,同时,各元素之间的关系保持不变。此外,实例化还使得机型装配技术状态数据模板中部分不确定的信息得以确定,同时更增加了机型装配技术状态数据模板中所不具有的动态信息,如时间、人员、状态,以及执行过程中产生的数据等。

为了直观地表现机型装配技术状态数据模板与发动机装配技术状态数据模型之间的实例关系,可用与 XOY 平面垂直的 OZ 轴表示时间,形成三维空间内的坐标系统,如图 2 所示。在时刻 T_1 ,实例化的发动机装配技术状态数据模型用 T_1 来标识,并映射在 $Z=T_1$ 平面上。同样地,随着时间的推移,在时刻 T_2 、 T_3 、 T_4 分别在垂直于时间轴的 $Z=T_2$ 、 $Z=T_3$ 、 $Z=T_4$ 平面上映射出发动机在相应时刻的装配技术状态数据模型。而同一发动机的多次装配也分别映射在不同的平面上。这样,发动机装配技术状态数据模型便可扩展到三维空间,形成一个发动机装配技术状态数据森林。

需要注意的是,源自同一机型模板的两台发动机装配技术状态数据模型不一定相同。

首先,机型装配技术状态数据模板的版本反映了不同模板之间的变迁,但并不是模板中的所有变化都反映为新的模板版本,如工艺人员可能对其中的某工序进行调整,使得不同时间段内的同一机型装配技术状态数据

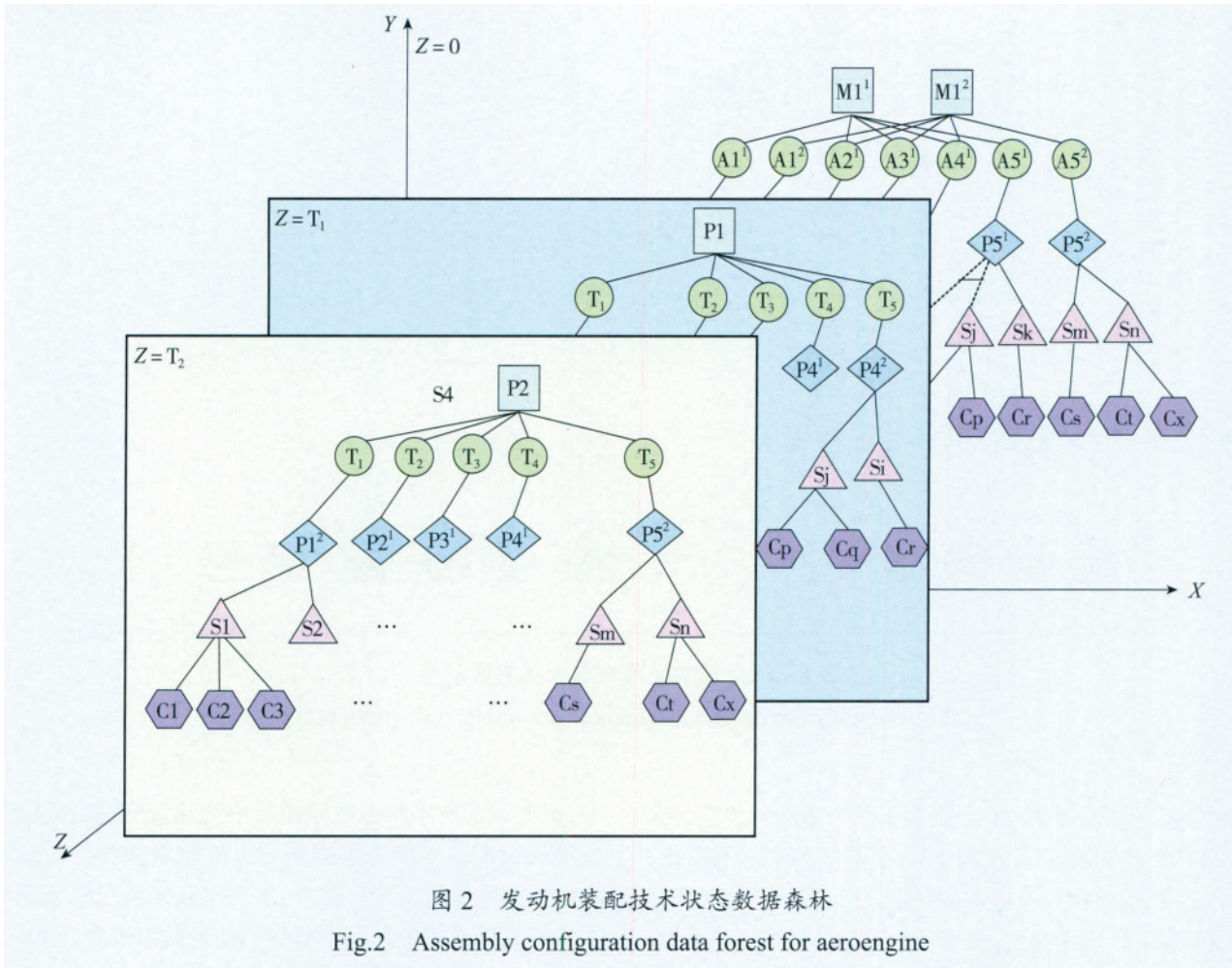


图2 发动机装配技术状态数据森林

Fig.2 Assembly configuration data forest for aeroengine

模板可能存在略微差别,而这种调整可能不会被记录。

其次,由于机型装配技术状态数据模板中存在“或”的关系,工艺员在发动机实例化的时候可以进行多选一操作,这使得源自同一机型装配技术状态数据模板的发动机在模型之间存在差别。

第三,即使机型装配技术状态数据模板完全相同,而实例化时所有不确定的内容都选择了相同的选项,两个发动机的装配技术状态数据模型还可能存在差别。这主要是由于机型装配技术状态数据模板反映的是机型装配数据的全集,而用户在实例化时可能根据实际情况对其进行裁剪,例如,在一个发动机的装配过程中,某部件(如滑油泵)不进行装配,而是从备件库中选取一个现有的部件进行装配。在发动机装配技术状态数据网络上,这种情况可视为某子树的移动。

最后,更值得注意的是,航空发动机装配过程中频繁出现换件,即两台发动机之间交换某部件。这2种情况下,发动机装配技术状态数据模型中的某个子树可能来自于另外一个发动机装配技术状态数据模型,而这个

发动机装配技术状态数据模型和当前的发动机装配技术状态数据模型可能不是来自于同一机型装配技术状态数据模板。

可见,每一个发动机的每一次装配都有特有的装配技术状态数据模型。这就为发动机装配技术状态跟踪、对比与回溯带来了不便。

3 发动机装配技术状态跟踪搜索算法

如前所述,源自一个机型装配技术状态数据模板的多个发动机装配技术状态数据之间存在差别是不可避免的,而这些不易察觉的差别正是技术状态跟踪所关注的内容,例如判断两个发动机在装配工艺上是否存在差别、获取某发动机某次装配所用的工艺、不同发动机执行某一工序的情况等。鉴于发动机装配技术状态数据模型的复杂性,基于机型装配技术状态数据模板的搜索难于处理换件等动态情况,而直接构造适当的数据网络搜索算法寻找这些不同,才是这些问题的解决之道。

在实际生产中,不同发动机的某次装配过程是否使

用同一版本的工艺很容易知道,但是不同发动机之间的装配工艺到底有什么区别则是一个不容易回答的问题,尤其是发动机装配技术状态数据网络结构复杂、发动机众多、换件频繁的时候,查找两个发动机的装配工艺是否存在差别则更难。在发动机装配技术状态数据网络模型的基础上,利用本算法可快速地查找出两个发动机(或部件)的装配或同一发动机的两次装配在工艺上的差别。具体的流程如下:

```

算法 NodeCompare (parentNode1, parentNode2)
  步骤1:ArrayList nodeList=ChildrenTypeUnion
(parentNode1, parentNode2)
  步骤2: For i=0, 1, 2, ..., nodeList.Count-1
    步骤2.1 nodetype=nodeList[i]
    步骤2.2 if(parentNode1.GetChild(nodetype) ==
null)
      Output("parentNode1 has"+ nodetype+" but
parentNode2 none")
    步骤2.3 else if(parentNode2.GetChild(nodetype)
==null)
      Output("parentNode2 has"+ nodetype+" but
parentNode1 none")
    步骤2.4 else
      步骤2.4.1 if (NodeCompare (child1, child2))
        OutPut ("Same")
  
```

在该算法中, parentNode1 和 parentNode2 是发动机装配技术状态数据网络中 2 个需要比较的同级节点。该算法首先获取这 2 个输入节点的所有子节点类型的并集(步骤 1),然后针对其中的每一个类型(步骤 2.1),分别检查 2 个输入节点是否包括该类型的子节点,如果任何一个输入节点不包括该类型的子节点,则表示找到差别所在,输出其内容(步骤 2.2 和 2.3);否则以两个输入节点中的相同类型子节点作为输入,递归调用这个算法,直到遍历了所有节点为止(步骤 2.4)。如果 2 个输入节点具有完全相同的工艺,则输出相应结果(步骤 2.4.1)。

另外一方面,由于发动机装配技术状态数据的动态性,同一机型的不同发动机在装配过程中所采用的检验要求可能不同,这样采用固定格式的检验表可能导致实际的检验内容与格式的要求不完全匹配。如果能动态输出工序内容与检验内容合成的卡片,则对实际装配的指导性更强。在发动机装配技术状态数据网络的基础上,利用以下算法即可迅速地输出某发动机的工序与检验项之间的组合,为动态输出工序内容与检验内容合成

的卡片提供数据源。

```

算法 GetProcessCardData (productNode)
  
```

```

  步骤1:For i=0, 1, 2, ..., productNode.ProcessCount-1
  
```

```

    步骤1.1 processNode=productNode.GetProcess(i)
  
```

```

      步骤1.1.1 For j=0, 1, 2, ..., processNode.Proce-
dureCount-1
  
```

```

        步骤1.1.1.1 procedureNode=processNode.
  
```

```

          GetProcedure (j)
  
```

```

        步骤1.1.1.2 checkItems=procedureNode.
  
```

```

          getCheckItems ()
  
```

```

        步骤1.1.1.3 OutputProcedureData (proce-
dureNode, checkItems)
  
```

在该算法中, productNode 是所要输出的发动机节点。该算法首先获取发动机节点的每个工艺节点(步骤 1.1),然后获取每个工艺节点的工序节点(步骤 1.1.1),再获取每个工序节点的检验项节点(步骤 1.1.1.2),最后以工序为单位输出这种具有检验要求的工序卡片(步骤 1.1.1.3)。

4 实例研究

图 3 是简化后的某机型装配技术状态数据网络模型。可以看出,该机型共有 3 个装配数据模板,可分别称为陆航版、空军 A 版和空军 B 版。0295 号发动机(以下简称 0295)和 0318 号发动机(以下简称 0318)都是空军 B 版的实例,它们的装配技术状态数据模型分别如图 4 (a) 和 4 (b) 所示。利用算法 1 查找出它们之间的差别如下:

(1) 在滑油泵装配中,0295 执行滑油泵装配 2,而 0318 执行滑油泵装配 1;

(2) 在漏油盒装配中,0295 执行工序选配 A,而 0318 执行工序选配 B。

可以看出,虽然 0295 和 0318 都是同一机型装配技术状态数据模板的实例,但二者之间存在一些差别。究其原因,二者在滑油泵装配上的差别是由于 0318 进行了换件所致,而二者在漏油盒装配上的差别是由于原机型装配数据模板在漏油盒装配 3 的工序选配铜垫圈 A 和选配铜垫圈 B 之间存在或关系,发动机实例化时工艺员为两个发动机分别进行了不同的选择。

利用算法 2 可动态生成工序与检验内容的组合。例如,针对 0295 的工序选配铜垫圈 A 和 0318 工序选配铜垫圈 B,产生的工序与检验项组合如表 1 所示。可以看出,两台发动机在关键参数 H 上的取值范围不同。这使得每 2 台发动机的工艺和检验规则都可能不同,可以

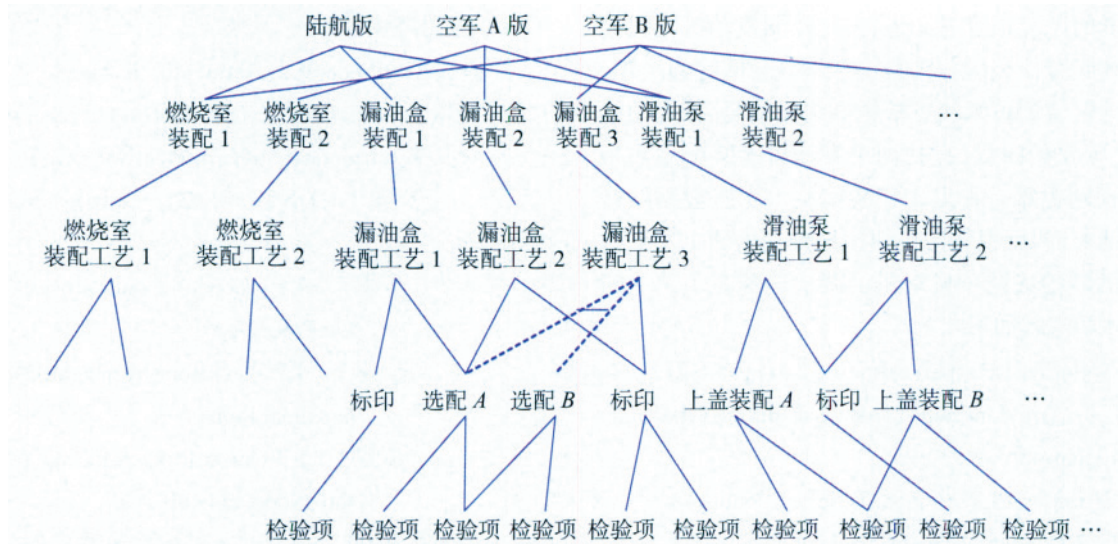
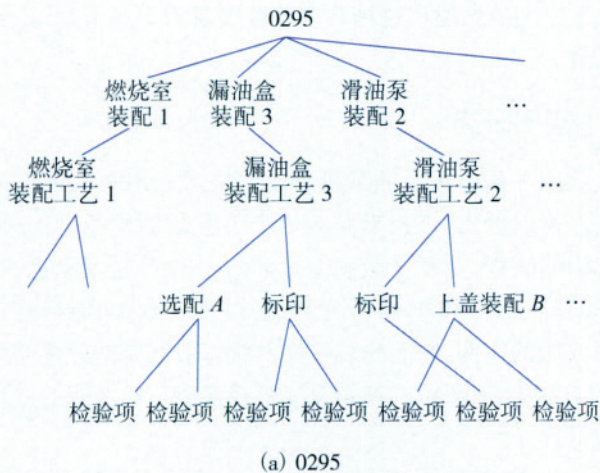
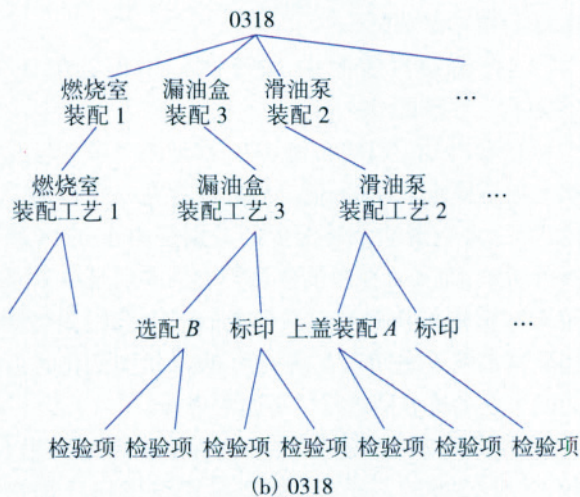


图 3 机型装配技术状态数据模板示例

Fig.3 Assembly configuration data template for a product type



(a) 0295



(b) 0318

图 4 发动机装配技术状态数据模型示例

Fig.4 Assembly configuration data model for aeroengine

表 1 工序与检验项组合示例

发动机号		0295	0318
工序		选配铜垫圈 A	选配铜垫圈 B
检验项	检验项 1	测量, H=0.10~0.25	测量, H=0.10~0.20
	检验项 2	记录限压试验结果	记录限压试验结果

满足个性化和动态化的技术状态管理要求。

5 结束语

针对航空发动机装配数据的复杂性,本课题提出一种机型装配技术状态数据网络模型,建立了机型、装配、工艺、工序、检验项之间的关联关系,在此基础上实例化了发动机装配技术状态数据网络,并研究了发动机装配技术状态跟踪搜索算法,识别了发动机装配工艺差别,生成了工艺与检验内容的动态组合。文中的实例证明,本课题所提出的模型和方法是可行的。

参 考 文 献

[1] 曾亮,常智勇,莫蓉. 航空发动机装配数字化系统研究. 计算机工程与设计,2007,28(21): 5 225-5 227.

[2] Lee S G, Ma Y A, Thimm G L, et al. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. Computers in Industry, 2008, 59(2-3): 296-303.

[3] 杨冰,张林鎔. 面向装配工艺规划的集成式装配模型研究. 系统仿真学报,2006,18(2): 553-556.

[4] 桂元坤,莫蓉,冯向兵,等. 面向航空发动机零部件设计过程的广义版本管理研究. 计算机集成制造系统,2006,12(1): 38-43.

(责编 侧卫)