

三维工序模型的演进式构建方法*

Approach to Evolutionary Construction of Three Dimensional Operational Model

北京航空航天大学工业与制造系统工程系 陈 飞 乔立红

[摘要] 为实现以三维工序模型为核心的三维工艺构建,基于从毛坯模型到最终产品模型的演进过程,对三维工序模型的生成方法进行研究。在制造特征信息模型的基础上,结合基准信息建立了面向工序模型生成的工序信息模型。提出制造特征信息在工序模型中的映射机制,解决该模式下工序模型信息缺失的问题。以工序信息模型为模板,首先定义加工特征基元,然后通过实例化实现工序模型的变换。最后,通过集成工艺决策系统,构建三维工序模型生成系统,为后续工艺尺寸标注和工艺展示提供模型支持。

关键词: 三维工序模型 工艺信息模型 信息映射 制造特征

[ABSTRACT] In order to construct three dimensional (3D) manufacturing process plan with 3D process models, from the perspective of real machining process, a methodology of generating the 3D operational model for manufacturing process operations is proposed. Based on a proposed manufacturing feature information model and the datum information, an operational information model is established. To avoid the absence of information in the operational model, a mechanism of information mapping from manufacturing feature information to the operational model is created. Taking operational information model as a template, manufacturing feature elements are defined and instantiated to carry out the evolutionary construction of the operational models. Finally, a 3D operational model generation system is achieved by integrating the process planning system to support further process dimension annotation and demonstration.

Keywords: 3D operational model Process information model Information mapping Manufacturing feature

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.07.082

在数字化工艺设计中,三维模型作为工艺设计的核心,承载着大量的工艺信息。随着三维 CAD 技术的发展

与应用,基于模型的定义(Model Based Definition, MBD)技术被引入航空企业的机械设计与制造环节^[1-2],三维工序模型在企业信息化进程中得到广泛应用。但是,当前三维工序模型的创建在企业实际中多停留于手工阶段。

针对三维工序模型的构建,王宗彦等^[3]提出了由零件设计模型向毛坯模型转换的方法,该方法着重于几何方面的变换,构建过程依赖于零件设计模型的创建方式。石云飞等^[4]探索了根据工序语义构建三维模型的方法,着重于二维工序图的构建,其不足主要在于需要实现工序设计语句的标准化,在工艺设计中未充分利用三维模型。王飞飞等^[5]设想以参数化为基础进行工序模型构建,偏向于毛坯模型与设计模型拓扑关系变化极小的情况。在此基础上,万能、陈刚等^[6-9]提出了将工艺信息与建模信息进行映射,从而生成工序模型的方法,但信息映射仅局限与工艺与建模之间,工序模型作为工艺载体仍游离于工艺设计体系之外,无法有效地进行工艺表达,在工序模型生成过程中需要大量人工交互。

本文在制造特征信息模型^[10]的基础上,研究了特征信息在工序模型中的映射机制,利用制造特征信息实现三维工序模型的生成。最后通过实例验证了特征信息映射方案辅助工序模型生成的可行性。

1 工序信息模型的构建

工序信息作为工序模型构建的基础,主要用于描述加工对象,操作方法以及加工参数。工艺以制造特征为基础进行设计决策,工步的操作对象限定为制造特征。

本文将工步信息定义为制造特征信息与工艺方法的合集,并用式(1)描述。

$$M_{\text{step}} = \{MF, MT, MP, MD\}, \quad (1)$$

式中, M_{step} 为工步信息, MF 为工步对应的制造特征实例, MT 为加工方法, MP 为尺寸参数, MD 为工步基准。尺寸参数 MP 与工步基准 MD 的元素集合分别为制造特征实例在工序模型中非几何元素与几何元素集合的子集。制造特征的实例化以层次化特征信息模型为基础,将特征的几何形状要素与制造信息要素进行关联。加工方法与尺寸参数则通过数字化工艺设计系统进行决策与推导。作为工步间不同制造特征的关联,工步基准在特征信息与工序几何模型的映射过程中递推获取。

* 部委预研项目(A0320131002);国家自然科学基金项目(51075022)资助。

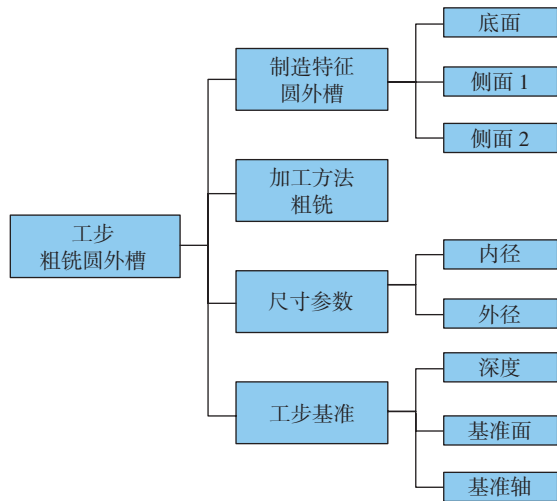


图1 粗铣圆环槽的工步信息模型

Fig.1 Operational information model for rough milling of annular groove

以粗铣圆环槽特征为例,其工步信息模型如图1所示。

工艺信息具备离散性。以工序模型正向演变为例,工步节点为最小单元,将工步对应的三维模型变换作为增量,则工序的信息模型可以表示为公式:

$$M_n = M_{\text{stock}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{S_i} \Delta_{ij}, \quad (2)$$

式中, M_n 为工序 n 的工序模型, M_{stock} 为毛坯模型, Δ_{ij} 为工序 n 工步 j 对应的工序模型变换, S_i 为工序 i 的工步数量。

工序模型的变换通过三维建模方法和相应的几何模型操作来实现。本文将在模型演变过程中,与制造特征所对应的,与工序模型进行布尔运算的几何体定义为加工特征基元。其信息模型与工步信息模型相对应,由制造特征、加工方法、尺寸参数、工步基准构成。其中,尺寸参数具体化为几何体的尺寸信息,与工步信息可以存在差别。

以铣平面的加工特征基元为例,其模型为直径 R 的圆柱体, R 大于等于对应平面的包围盒对角线长度,此尺寸与工步尺寸不完全相关。将加工特征基元在工序模型进行实例化即可得到工序模型的变换 Δ_{ij} 。此时,作为加工特征基元的圆柱体直径 R 、高度 H 以及对应的基准信息共同决定工步的尺寸参数。

加工特征基元集合 B 与制造特征 MFT 和加工方法 MT 存在映射关系,可记为: $f_B: (MFT, MT) \rightarrow B$ 。制造特征 MFT 的几何元素集 S_{MFT} 与对应加工特征基元的几何元素集合 S_B 的存在映射关系 $f_S: S_{MFT} \rightarrow S_B$ 。

加工特征基元实例的 XML 标记描述如表 1 所示。

2 特征信息在工序模型中的映射机制

工序模型的生成方法根据模型生成的顺序可以分

表1 加工特征基元实例的XML标记

标记	属性	含义
StepID		工步号
MFID		加工特征基元 ID
Expressions		表达式集合
Expression	Name	表达式名称
	Type	表达式值类型
Datums		参考集合
Datum	Name	参考名称
	Type	参考系类型
	ValueType	参考系值的类型

为正向生成与逆向生成。正向生成以毛坯模型作为起始点,一般通过参数化或者具体模型操作实现;逆向生成通常通过设计模型进行逆推,具体可以通过抑制特征或者修改几何面元素达到特征的变换。两种生成方式区别在于设计模型与毛坯模型几何要素间的关联过程。逆向生成以设计模型为基础创建工序模型,在设计模型实现制造特征实例化的情况下,相应几何元素的关联自动形成。正向生成需要重新建立两者的管理,即使毛坯模型基于产品模型重新建立,与产品模型上的几何要素已不存在标识、属性的对应关系,需要通过对空间方位面的识别建立与产品模型上的相应方位面的关系,才能在正确的方位进行几何面的创建和特征的修改。

在工序模型正向演变过程中,工序模型中的制造特征信息从无到有、逐步生成,假定毛坯模型与设计模型不存在关联信息,则需要对工序模型与几何模型的几何元素进行整理完整映射,该过程可以与工序几何模型推演同时进行。

在中间工序模型生成的中,通过工序模型与特征信息、设计模型的逐道工步映射,实现工序模型中几何元素信息的组织。以其中工序 i 工步 j 的工序模型 M_{ij} 为例,假定工步模型 $M_{i(i-1)}$ 的相关几何元素已经组织完毕,模型变换 Δ_{ij} 所造成的几何元素变动可以表达为:

$$\Delta_{ij} = \Delta_N + \Delta_D + \Delta_C, \quad (3)$$

式中, Δ_N 为此次模型变换中新生成的元素集合。 Δ_D 为相应消失的元素集合,该集合不会对模型后续变换产生作用。 Δ_C 为几何位置或形状发生变化的元素,该部分元素虽然在几何性状上发生变化,但其标识、属性信息维持于原有状态,在特征实例的角度可归于未更改集合。综上,工步 i 的工序模型中仅需对新生成的几何元素集 Δ_N 进行组织即可。

在模型变换中,特定制造特征在特定加工方法下所对应的加工特征基元类型处于确定状态,在工艺设计的

特定背景下,布尔运算的结果集合具备一定的拓扑结构,将此拓扑结构赋予特征层面的意义即可实现对元素的组织。若制造特征的几何元素拓扑本身无二义性,则加工特征基元实例中的几何元素集合 S_B 与 Δ_N 存在一一映射关系,记为 $f_{BN}: S_B \rightarrow \Delta_N$ 。结合映射关系 f_S 可以获取 Δ_N 与制造特征几何元素集合之间的映射关系,即 $\Delta_N = f_{BN}(f_S(S_{MFT}))$ 。以环形槽为例,几何元素集合的映射关系如图 2 所示。

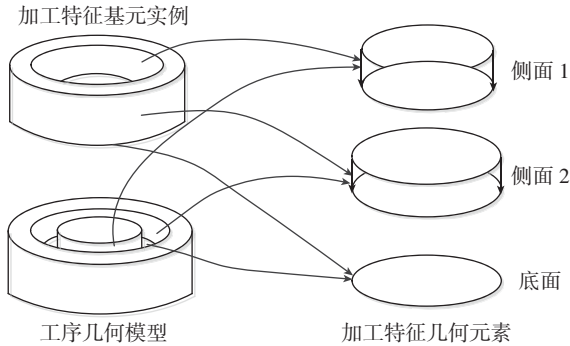


图2 几何元素映射关系

Fig.2 Mapping of geometric elements

对于部分存在二义性的特征,可以利用规则进行区分。以环形槽的侧面 1 为例,若以规则进行判断,根据制造特征的定义可知其位置处于内环,故其对应的直径应小于侧面 2。以 Drools 为规则引擎,则对应规则如下:

```
rule "Surface1_CL"
when
    facelist :faceCollection (MFTType==" CL" )
then
    facelist.setFaceID(facelist.getFaceRadiusMin(face
list),"Surface1_CL");
end
```

3 工序模型的推演生成

本文采用正向的方式实现工序模型的推演生成。对于工序 n 中的工步 j ,其工步信息可通过与工艺设计系统的集成取得。根据工步信息将加工特征基元在工序模型进行实例化获取该工步的模型变换,将其赋予工步 $(j-1)$ 的几何模型可获得该工步的工步模型。将工序 n 中各工步的操作实例化即可得到工序 n 的工序模型。

模型变换的重点在于加工特征基元的实例化,该部分包含几何体尺寸信息和基准信息的确定。尺寸信息的来源分为数字化工艺设计系统与自行推演两种:对于制造特征相关联的尺寸信息可以通过工艺设计决策获取,不存在相关性的尺寸则需要根据具体模型基于规则推断或人工交互确定。基准信息则需要利用工序模型中的几何元素映射信息。

由于毛坯模型与设计模型的不对应,加工特征基元实例无法直接与毛坯模型进行布尔运算。该问题可以通过与信息映射的同时递归操作实现,可分为毛坯模型与中间工序模型两部分的基准映射。

对于毛坯模型的基准映射,主要参考数控程序中的坐标系定位机制,获取毛坯模型与设计模型直接映射坐标 M_T 。对于以毛坯表面作为粗基准的工步,由于其精度要求较低,可以将加工操作的基准转换为毛坯模型中的实际坐标进行布尔运算。

中间工步所对应的加工操作多以已加工面或其相应轴作为基准。该几何集合在前序工步中经过模型操作,已完成与设计模型的信息映射。故在此工步中,加工特征基元实例化所需的基准元素可以通过设计模型对工序模型的几何元素映射获得。

4 实例验证

本研究在课题组前期构建的制造特征实例库基础上,将基准信息与制造特征结合,以此为基础开发了三维工序模型生成系统。系统通过与数字化工艺设计系统进行集成获取相应工艺信息,并通过制造特征信息在工序模型构建中的映射实现了工序模型的正向生成。

系统界面如图 3 所示。模型中的几何元素映射结果以与设计模型的面标识相同作为目标。

以前述粗铣圆环槽为例,按照表 1 所示 XML 标记,其加工特征基元实例表述如图 4 所示。

5 结束语

鉴于工序模型的创建过程多与工艺信息脱离,本文综合基准信息与制造特征建立了工艺信息模型,将工艺信息与设计模型信息进行关联,通过演进式的映射机制解决了工序模型正向生成过程中的工序模型信息缺失问题,对工序模型赋予制造特征属性,实现了工序模型

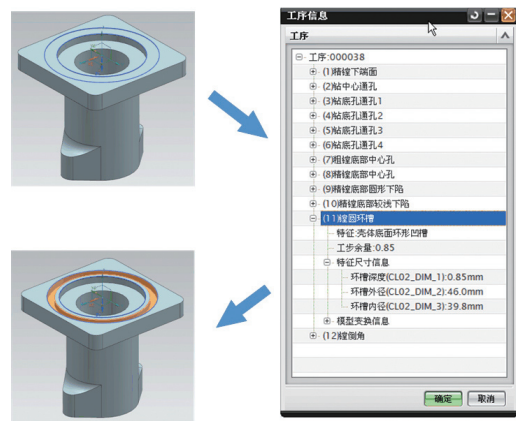


图3 粗铣圆环槽的系统实例

Fig.3 Example of rough milling of annular groove

```

<Step>
  <StepID>P3_OP_2_S11</StepID>
  <MFID>CL04_UDF_01</MFID>
  <Expressions>
    <Expression Type="Real" Name="InDim">
      39.8</Expression>
    <Expression Type="Real" Name="OutDim">46</Expression>
    <Expression Type="Real" Name="Dep">0.7</Expression>
  </Expressions>
  <Datums>
    <Datum Name="Plane" Type="Plane" ValueType="Pid">
      89c34eab23774ded9aac63195bd12032
    </Datum>
    <Datum Name="Xorientation" Type="Datumaxis" ValueType="Orientation">
      1.0, 0.0, 0.0
    </Datum>
    <Datum Name="Sketchpoint" Type="Point"
      ValueType="Point">
      0.0, 0.0, 0.0
    </Datum>
    <Datum Name="Targetbody" Type="Solidbody">
    </Datum>
  </Datums>
</Step>

```

图4 加工特征基元实例的XML描述

Fig.4 XML example of instances of manufacturing feature elements

信息与工艺内容的自动关联,并借助加工特征基元实例实现了工序模型的生成,为后续工序模型标注和工艺展示提供模型支持。

参考文献

- [1] Qiao L, Zhang J. Integrated process planning based on 3D product models. Key Engineering Materials, Jin Z, 2009: 407-408, 298-302.
- [2] Alemanni M, Destefanis F, Vezzetti E. Model-based definition design in the product lifecycle management scenario. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 52(1-4): 1-14.
- [3] 王宗彦,吴淑芳,秦慧斌.零件的设计模型向毛坯模型转换技术研究.计算机集成制造系统,2004(6): 620-624.
- [4] 石云飞,张树生,成彬,等.工艺语义驱动的序列三维模型构建系统.计算机集成制造系统,2009(11): 2133-2139.
- [5] 王飞飞,盛步云,肖聃.基于三维的工艺变更设计研究与实现.机械制造,2009,47(7): 62-65.
- [6] 万能,常智勇,莫蓉.机加工工艺设计的三维新模式研究.计算机集成制造系统,2011,17(9): 1873-1879.
- [7] 陈刚,常智勇,万能,等.基于信息映射的三维工序模型辅助生成方法.机械科学与技术,2011,30(10): 1649-1653.
- [8] 万能,赵杰,莫蓉.三维机加工序模型辅助生成技术.计算机集成制造系统,2011,17(10): 2112-2118.
- [9] 唐健钧,贾晓亮,田锡天,等.面向MBD的数控加工工艺三维工序模型技术研究.航空制造技术,2012(16): 62-66.
- [10] 葛晨,乔立红.制造特征信息建模及其实例化方法.计算机集成制造系统,2010(12): 2570-2576.

(责编 叶枫)

(上接第81页)

3 故障统计分布分析

对25架该型飞机近3年出现的84起直流电源系统故障分析发现,机载蓄电池子系统故障有16起;发电机及电源控制组件子系统故障有45起;供电网络子系统故障有23起。而引起各子系统故障的因素又分别分为两类,具体故障原因分布如表2所示。

从表2可以看出,发电机及电源控制组件故障占了系统故障的一半多,供电网络次之,机载蓄电池最少。而发电机及其部件又在所有故障原因中占有最大份额,这反映了发电机作为通航飞机电源系统的主要动力源,由于工作负荷大、时间长,环境较差等原因,故障率最高。其次是电源控制组件故障和供电网络的线路故障,断路器、继电器、过压保护器和电子线路相对机械结构稳定性较差,再加上温度、湿度、振动等环境因素的影响,极易出现各类故障。

表2 故障原因统计分布表

机载蓄电池		发电机及电源控制组件		供电网络	
电压低、容量不足	电池线路	发电机及部件	电源控制组件	电子线路	电门、跳开关故障
12	4	31	14	14	9
14.3%	4.8%	36.9%	16.7%	16.7%	10.7%
19.2%		53.6%		27.4%	

4 总结

通航飞机直流电源系统相对于大型运输机来说具有结构较简单,安全冗余度较低、故障率较高等特点。通过对典型通航飞机直流电源系统近3年发生故障的详细分析,找出了该系统故障的最大影响因子——发电机及电源控制组件以及3个关键因素——发电机及部件、电源控制组件和电子线路。该结果对其他通用航空类飞机的日常使用和维护都具有较好的参考意义和价值。

参考文献

- [1] 周波.波音737飞机电源系统故障分析.中国民用航空,2011,124: 66-67.
- [2] 冯又欣.老龄飞机电子系统线路故障的维修及预防.航空维修与工程,2010(3): 49-51.
- [3] 许鹰.飞机电气部件产生故障的一般规律和排除方法.航空维修与工程,2007(4):29-30.

(责编 一帆)