

文章编号: 1673-5196(2021)03-0045-05

产品 MBD 数据集三维标注中工艺面的形成与校验

王洪申*, 王道俊, 曹玉法

(兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 由于造型原理、方法等原因, 三维模型中的面往往不具有明确的工程语义, 使三维模型上标注工程尺寸等信息易产生歧义, 目前商用 CAD 软件没有很好地解决该问题。基于 OpenCASCADE 几何造型内核研究了解决该问题的方法, 提出造型面和工艺面的概念, 通过对造型面的数学属性识别, 结合机械工程中工程语义, 将造型面进行绑定, 形成符合工程语义的工艺面, 把模型三维标注信息作为工艺面的属性, 增加了系统三维尺寸标注的智能性, 也为后续的产品虚拟装配、加工制造以及产品服役中语义信息的自动提取提供可能。

关键词: MBD; 三维标注; 造型面; 工艺面; OpenCASCADE

中图分类号: TH124; TP391.72 **文献标志码:** A

Formation and verification of process surface in annotation of product MBD data set

WANG Hong-shen, WANG Dao-jun, CAO Yu-fa

(College of Mechano-Electronic Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: Because of the principle and method of modeling, the surface in the 3D model often does not have a clear engineering semantics, which may produce ambiguity in tagging the dimension and other information on the 3D model of the project. This problem is not well solved by commercial CAD software. Based on OpenCASCADE 3D modeling kernel, this paper studies the methods to solve the above problems, and puts forward the concepts of modeling surface and process surface. By recognizing the mathematical attributes of the modeling surface and combining the engineering semantics in mechanical engineering, the modeling surface is bound to form a process surface that conforms to the engineering semantics. The information of 3D annotation information of the model is regarded as the attribute of the process surface, which increases the intelligence of the system's 3D dimensioning, and also makes it possible to extract the product semantics information automatically in subsequent product virtual assembly, processing and manufacturing as well as in product service.

Key words: MBD; 3D annotation; modeling surface; process surface; OpenCASCADE

基于模型定义(Model Based Definition, MBD)将产品的三维模型和工程语义信息结合在一起, 实现了全三维制造的模式, 是全三维制造的基础^[1]。产品的 MBD 信息中包含表达产品几何、拓扑信息的三维几何模型, 还有表达产品工程语义的标注信息和属性信息^[2-3]等。计算机可以从产品 MBD 数据集中提取需要的几何和工程语义信息, 并自动传入制

造后续环节, 如虚拟装配、加工规划^[4-6]、产品检验等, 为实现后续环节的智能化制造提供必要条件。这种自动提取信息的方式越来越受到重视^[7]。产品 MBD 信息是产品制造信息的源, 其中的标注信息必须准确无歧义。

工程中, 通常将三维模型的面作为主要标注对象^[8]。但商用 CAD 软件对产品进行三维造型时, 常将工程语义上整体的曲面(本文称为工艺面)表达成拓扑分离的多个曲面(本文称为造型面), 造成这种现象的原因:

1) 为了满足三维几何造型需要。例如, 同一个

收稿日期: 2019-06-24

基金项目: 国家自然科学基金(61962035)

通讯作者: 王洪申(1969-), 男, 辽宁海城人, 博士, 教授。

Email: whs_1989@126.com

回转面被表达成多个曲面, creo 和 UG 软件将圆柱面、圆锥面和球面用整个沿着过回转轴的某一平面切分为两个子面,本文称为第一类分割造型面。

2) 造型操作(如分割、阵列等)形成,如图 1 所示,本文称为第二类分割造型面.这种造型面与工艺面并不一一对应的现象通常会使得几何标注信息的归属出现困难。

从工程语义的角度理解,图 1 中花键外径的 10 个圆柱面是属于一个圆柱,因此当在 10 个圆柱面中的一个面上标注信息时,看图的工程技术人员会根据领域知识解析出其他 9 个圆柱面也有同样的标注要求,但计算机却需要采用专用的识别算法或系统才能实现正确理解,使问题复杂化.如果对三维模型中每个拓扑分离的曲面都进行标注,无疑与工程实践相矛盾,也会使模型标注的信息过于繁复。

针对这种情况,目前一些商用软件为用户提供面绑定的工具,允许用户将多个面绑定在一起,进行一次性标注.图 1 是 Creo 软件的解决方案,用户可以通过交互式鼠标选择,将选定面绑定,再进行标注,但由于没有对选择的曲面进行一定规则的判断,用户可以将完全不同的面绑定在一起,所以导致标注出错.NX 软件的解决方案与 Creo 的解决方案类似,绑定时没有判断识别特征与标注的匹配问题,容易导致用户标注出错.本文针对目前商用软件存在以上不足,从几何造型的层面研究了解决策略,并通过编程验证了本文方法的可行性。

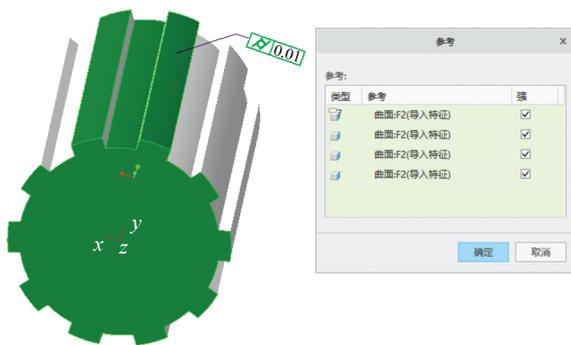


图 1 Creo 中存在的问题
Fig.1 The Problem with Creo

1 机械零件的工艺面及其数据结构

1.1 造型面与工艺面的对应关系

产品的 MBD 三维标注信息是工程语义,这些信息与被标注对象相关联,作为被标注对象的属性.标注对象应该是三维模型的工艺面,因此,标注时需要将三维模型的几何造型面通过绑定等方式处理成工艺面,然后再进行标注.对于第一类分割造型面,

需设计算法实现面的自动合并;对于第二类分割造型面,按照工程专业知识,通过人机交互方式将其处理成工艺面,对被处理面进行基本属性校验,防止选择错误.图 2 表示了几何造型面和工艺面的关系,可以一个造型面对应一个工艺面,也可以多个造型面通过绑定处理,对应于一个具有完整工程语义的工艺面.将工艺面的标注信息作为被绑定的所有面的属性,为后续装配、加工过程中信息再利用提供了便利。

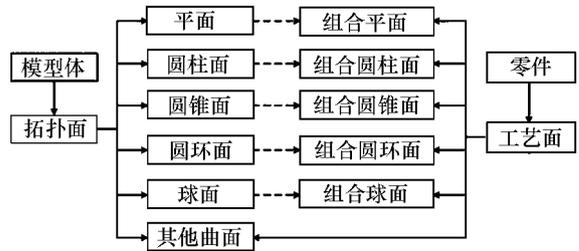


图 2 零件的造型面与工艺面

Fig.2 Modeling surface and process surface of parts

1.2 工艺面的数据结构设计

按照机械工艺设计的要求,将具有符合数学相关要求和同样几何性质的面进行组合,设计如图 3 所示的零件数据结构图.为了便于扩展到装配体,故设一个文档中含有 n 个零件(模型)结点,一个零件标签下有 m 个工艺面结点,每个工艺面结点下面分别有造型面的信息以及其携带的标注信息.由于一个工艺面可能映射多个造型面,故设一个根标签便于管理.给每个合并好的工艺面绑定相关的标注信息,集成管理相关的造型面,并且在标注过程中以工艺面为单位进行一些标注的正确性校验。

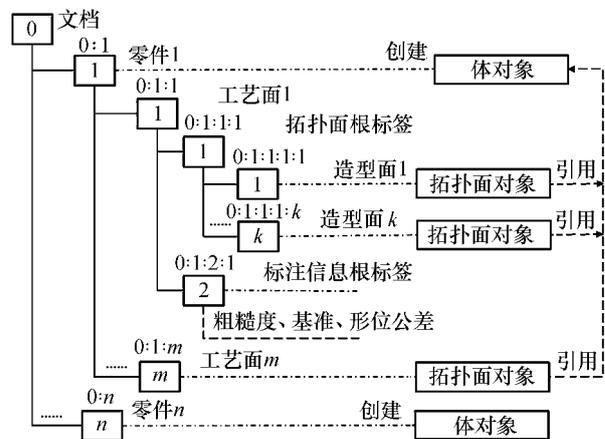


图 3 零件的工艺面数据结构图

Fig.3 The Data structure diagram of process surface of parts

2 基于 OpenCASCADE 零件工艺面整合的实现

2.1 造型面合并成工艺面的算法

首先解决第一类分割造型面的绑定问题,即绑定由于造型需要而将同一回转面分割成两个或更多拓扑面的情况.此时相同工艺面的各造型面具有相同的类型、相同的几何定义(如同轴、同心、等半径等),并具有一定的连接关系(面具有相邻性).根据这些特征设计绑定算法 1,算法 1 计算流程如图 4 所示.

算法 1 绑定第一类分割造型面(以圆柱面为例):

- (1) 选取目标面,并判断目标面的类型.

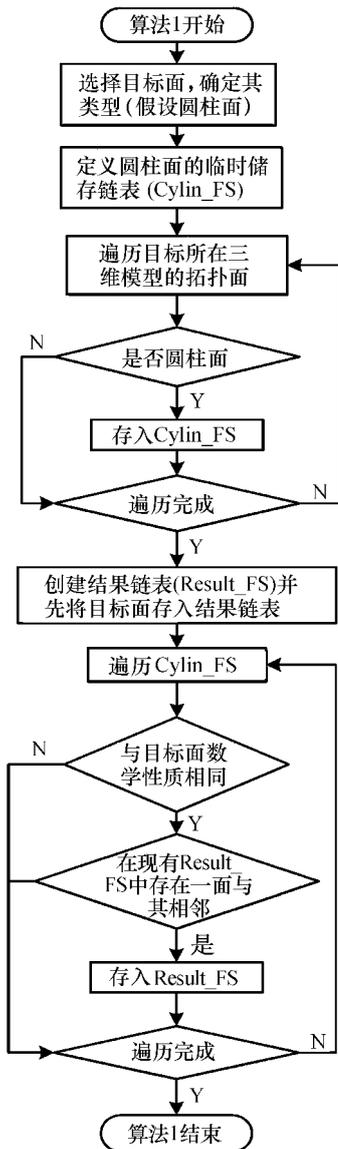


图 4 算法 1 计算流程图

Fig.4 Computational flow chart of the first algorithm

- (2) 定义回转面临时存储链表,如 Cylin_FS(圆柱面).

- (3) 遍历目标面所在三维模型的拓扑面,将与目标面类型相同的面存在临时储存链表中.

- (4) 创建一个结果链表 Result_FS,先将目标面存入其中.

- (5) 遍历回转面临时存储链表,按以下校验规则将当前面与目标面进行比较:① 是否具有相同的数学性质(具体比较内容见表 1);② 是否与结果链表中的任意一面具有相邻关系.将满足以上两点的面存入结果链表中.

- (6) 重复执行第(5)步,直到临时存储链表遍历完成,得到结果链表.

通过算法 1,将那些分割的回转面组成一个完整的面,当选择其中的任一造型面时,其结果选中的是通过绑定之后的工艺面.

其次,解决第二类分割造型面的绑定问题.由于该类造型面的分割现象是由于用户造型过程中进行分割、阵列等操作后形成,将原本是同一加工工序且具有相同属性要求的工艺面分割成为不同面^[9].不同的用户造型操作往往会有区别,因此难以通过系统自动判断处理.本文采用用户交互式选定预绑定的面,再由系统实现绑定.算法 2 计算流程如图 5 所示.

表 1 常见面的数学性质比较

Tab.1 The comparison of mathematical properties of common surface

面类型	定义	判断两面的方式
平面	平面一点 法向量	两平面轴线是否平行 两平面的距离为 0
圆柱面	轴线 半径	轴线是否平行且距离为 0 半径是否相等
圆锥面	轴线 尖点 锥角	轴线是否平行 两尖点的距离是否为 0 锥角是否相等
圆环面	主轴线 主圆圆心点 主圆半径 次圆半径	轴线是否平行 主圆圆心点距离是否为 0 主圆半径是否相等 次圆半径是否相等
球面	球心 球半径	球心距离是否为 0 球半径是否相等

算法 2 绑定第二类分割造型面:

- (1) 用户选定预绑定的两个面;
- (2) 判断所选择的造型面是否满足以下条件:① 是否具有相邻关系;② 是否属于同一种类型的面;③ 是否具有相同的数学性质.
- (3) 如果第(2)步中条件都满足,则对选定面进行绑定处理,并对面进行标记.如果不满足,则绑定

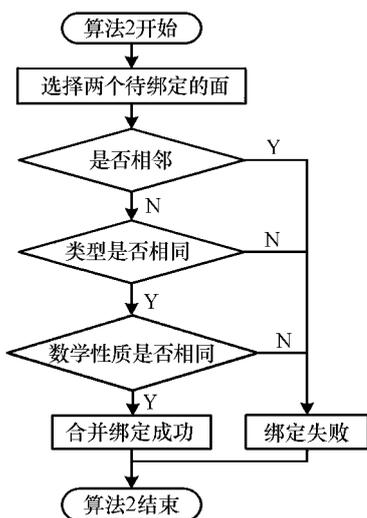


图 5 算法 2 计算流程图

Fig.5 Computational flow chart of the second algorithm

失败,系统输出提示信息。

(4) 绑定两个以上工艺面则重复执行第(1)至(3)步。

2.2 标注系统

OpenCASCADE(OCC)平台是由法国 Matra-Datavision 公司开发的,是一套面向对象的 C++ 开发库^[10-11]。本文的测试系统采用基于 MFC 和 OpenCASCADE 设计的三维标注系统^[12],采用面向对象的设计技术。系统主要包括四个模块:CAD 模型数据交换模块、文档存取模块、显示模块和人机交互模块,如图 6 所示。

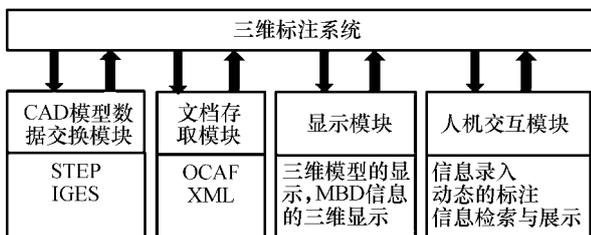


图 6 三维标注系统

Fig.6 The system frame of 3D annotation

CAD 数据交换模块为了支持其他三维软件 CAD 模型导入,解析成 OCC 基本数据结构后供其他模块使用;文档存取模块是为了记录所标记的三维标注信息,能够实现标注信息的校验;显示模块主要包括零件三维模型、三维标注图形的显示和管理;人机交互模块是一个综合的模块,可实现交互式三维模型标注查询、修改等操作。

2.3 造型面绑定成工艺面的实质

工艺面是指从机械工程的观点看,可以一次或

一起被加工的面。本文中所提出的面的绑定并不是把面从数据层面真正地修改,而是在操作过程中,每个被绑定的子面都代表这个工艺面整体。在三维标注的正确性校验时,其中一个子面就代表该绑定面的所有子面。工艺面整合的相关操作是为了在三维标注的系统中,使得标注操作更符合机械工程语义,从而为系统实现标注正确性的自动检验提供可行方法,也为后续的虚拟装配和加工工艺规划提供与工程语义相一致的相关信息。

3 标注效果检验

3.1 第一类造型面的绑定测试

构造用于测试的三维模型如图 7 所示,模型由圆柱切割而成。将其导入 Creo5.0 中进行拾取时发现同一个圆柱面被分割成多个独立的子面,而从加工的角度,该圆柱面的标注通常应按一个圆柱面处理。

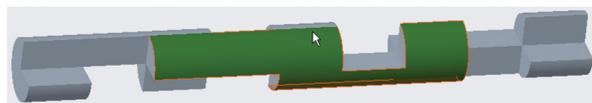


图 7 在 Creo 中对造型面的拾取

Fig.7 Pick up the modelling surfaces in Creo

如图 8 所示,在本文所设计的标注系统中,拾取其中一个子面,就能选中整个圆柱面。在圆柱面的一个位置标注粗糙度,该粗糙度绑定的是整个圆柱面。再对该模型的其他子圆柱面标注粗糙度时,会提示该面的粗糙度已经定义,从而防止了重复标注的错误。

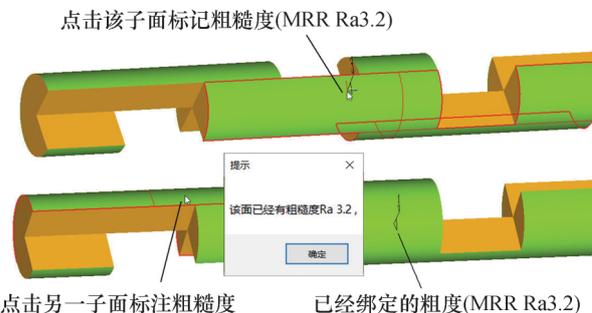


图 8 三维标注系统的操作

Fig.8 The operation of The 3D annotation system

3.2 第二类工艺面的绑定测试

以机械工程中花键为原型,构造用于测试的三维模型。依据机械工程语义,花键是由圆柱通过铣刀加工而成,键的顶面都属于一个圆柱面,且加工的要求通常也是相同的^[8]。但由于造型的影响,在三维模型中,顶面都变成了单独的面,这样给三维尺寸标注

造成了困难.本文标注系统将相应的面通过人工交互选择的方式,经过一定的数学判断,将合适的选定面绑定在一起,作为一个工艺面,并显示在 MBD 信息树中.在该工艺面的子面进行两次圆柱面的标注时,会给出过定义提示(如图 9 所示).



图 9 标注的检验

Fig.9 The verification of annotation

对于平面的工艺面合并(如图 10 所示)必须要检测其几何性质是否相同,方能合并到一起.对于类型不同、或类型相同但解析式不同的造型面则不能合并成一个工艺面.

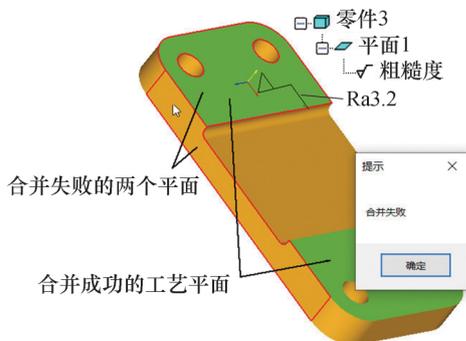


图 10 平面工艺面的合并

Fig.10 The compound of process surface of plane

3.3 零件的标注

对如图 11 所示的三维零件进行标注.在标注第一类工艺面时,系统自动识别判断,并自动合并.在

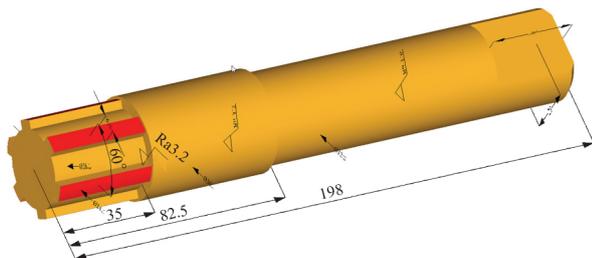


图 11 机械零件的三维标注

Fig.11 The 3D annotation of machine part

标注第二类工艺面时,需要用户通过交互式方法,将相应造型面定义成一个工艺面,系统会根据相应判定规则判断合理性,并给出提示.加入工艺面合并算法后,三维标注系统更加智能便捷,并且从数据层面上,使信息依附到模型更加准确完整.

4 结论

由于造型、方法等原因,常常会产生三维模型中造型面和工程语义中面的概念不同的现象,进而使标注信息归属困难,造成在虚拟装配和加工规划中对工程语义信息提取出现歧义.本文研究解决以上问题的方法,提出造型面和工艺面的概念,并给出了将三维模型中的造型面转变为工艺面的方法.较好地解决了三维标注信息的归属问题,为进一步实现对虚拟装配和加工工艺规划中所需语义信息的提取铺平了道路.

参考文献:

- [1] 梅中义.基于 MBD 的飞机数字化装配技术 [J].航空制造技术, 2010,34 (18): 42-45.
- [2] 冯潼能,王铮阳,宋 娅.MBD 技术在协同设计制造中的应用 [J].航空制造技术,2010,34 (18): 64-67.
- [3] 曾 红,崔学森.基于 MBD 技术的产品三维工艺生成过程研究 [J].辽宁工业大学学报(自然科学版),2019,39(1): 33-37.
- [4] QUINTANA V, RIVEST L, PELLERIN R, et al. Re-engineering the engineering change management process for a drawing-less environment [J]. Computers in Industry, 2011, 63(1): 79-90.
- [5] QUINTANA V, RIVEST L, PELLERIN R, et al. Will model-based definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry [J]. Computers in Industry, 2010, 61(5): 497-508.
- [6] ALEMANNI M, DESTEFANIS F, VEZZETTI E. Model-based definition design in the product lifecycle management scenario [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 52(1/2/3/4): 1-14.
- [7] 张俊锋,李 明,韦庆玥.基于 NX 二次开发的自动提取基准信息研究 [J].计量与测试技术,2019,46(5): 45-49.
- [8] 杜宝瑞,张 杰,李 亮,等.面向数字化检测的尺寸标注自动规范方法 [J].制造业自动化,2018,40(11): 111-116.
- [9] 魏 杰.机械加工工艺 [M].北京:北京理工大学出版社,2016.
- [10] 张 渊.基于 Open CASCADE 的虚拟三维建模平台的开发 [D].山东大学,2007: 24-51.
- [11] 袁 媛,王延红,江 凌,等.基于 Qt 及 OpenCASCADE 的建模技术研究 [J].现代电子技术,2013,36(10): 74-77.
- [12] 王洪申,王道俊.产品 MBD 数据集三维标注的自动校验与实现 [J].兰州理工大学报,2021,47(2): 48-53.