

三维CAD支持MBD设计模式的几个关键技术*

Key Technologies of 3D CAD Supporting MBD Design Mode

山东大学高效洁净机械制造教育部重点实验室 赵晓峰 周以齐
山东山大华天软件有限公司 魏威 何彦田



赵晓峰
博士,主要研究CAD技术、虚拟制造、形式化技术。

MBD (Model Based Definition) 是指用集成的三维模型完整地表达产品定义信息,将设计、制造、检验信息共同定义到产品的三维数字化模型,使三维模型成为产品生命周期各阶段信息的唯一载体,不再需要将三维模型转换为二维工程图,避免了大量重复劳动,不仅提高了产品设计效

目前,主流的三维CAD系统都具备了三维标注的模块,支持MBD部分功能,如UG NX的PMI模块,CATIA的Functional Annotation & Tolerance模块,Solidworks的DIMxpert模块,PTC、SpaceClaim都在造型模块中增加了三维标注功能。然而,要实现全面支持MBD,三维CAD软件及标准还有一些关键的技术及问题有待研究。

率^[1],更重要的是保证了产品数据源的唯一性。

MBD技术及实施最早由波音公司提出,于2003年被美国ASME批准为机械产品工程模型的定义标准,标准号为ASME Y14.41^[2];2006年ISO组织借鉴ASME Y14.41标准制定了ISO16792标准;我国在参考ISO16792标准的基础上,于2009年11月30日发布了国家标准《技术产品文件——数字化产品定义数据通则》(GB/T 24734-2009),规范了国内企业的MBD技术的应用。

目前主流的三维CAD系统都具备了三维标注的模块,支持MBD部分功能,如UG NX的PMI模块,CATIA的Functional Annotation & Tolerance模块,Solidworks的

DIMxpert模块,PTC、SpaceClaim都在造型模块中增加了三维标注功能。然而,要实现全面支持MBD,三维CAD软件及标准还有一些关键的技术及问题有待研究。

机加工工艺三维表达关键技术

1 机加工工艺三维表达方案

目前,国内外还没有机加工工艺信息的三维表达规范和标准,因此需要根据实际需要,在三维CAD软件现有三维标注功能基础上,设计机加工工艺信息表达方案。

目前,机加工工艺设计的结果文件主要是工艺过程卡、工艺卡和工序卡。3种卡片所记载的信息各不相同,但结构相似,中间区域或详或简地记录工序或工步信息,卡片上部区

* 国家863计划资助项目(2012AA040903),工信部电子信息产业发展基金招标项目(2012[407])资助。

域主要记录工艺或工序中共有的信息,卡片下部区域是变更、审核和签字信息。

因此,基于三维模型的工艺信息表达可以采用相似的方案,如图1所示零件包括3个机加工序,每个工序又包括多个工步。其工艺过程卡信息表达方案如图1所示,为每个工序设计一个视图(也可用多个视图或没有),每个视图包括4项内容:1个产品最终三维模型、必要的尺寸及面标识、某标注平面上的工序简要描述、某标注平面上的共有属性信息。

工序卡和工艺卡信息的三维表达与工艺过程卡相似,具有相似的4项内容,可以使用一到多个视图表达该工序详细的加工工步、装夹、定位信息。

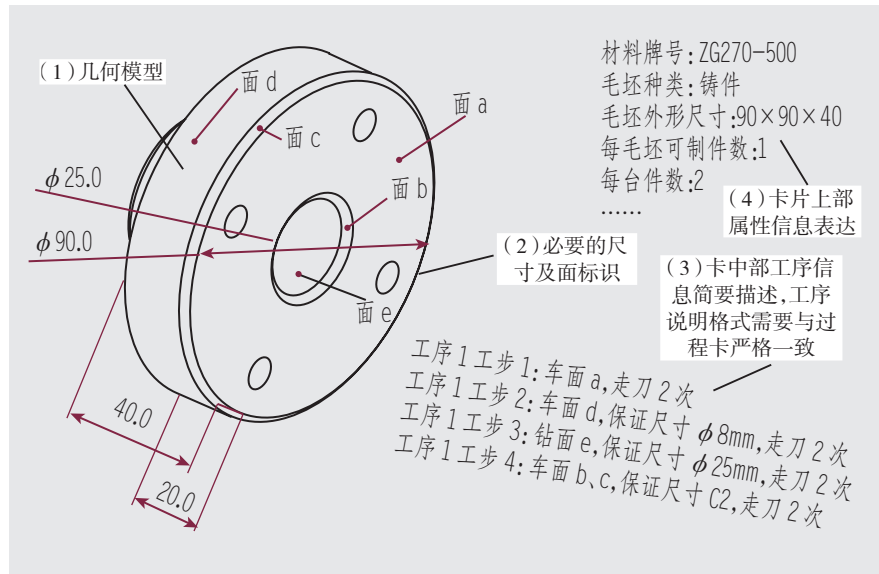
目前,国家标准化组织正在制定机加工工艺信息的三维表达标准^[5],采用“工艺信息框格”表达机加工工艺信息,其结构如图2所示。“机械加工工艺方法图形符号”、“机械加工工艺参数表示法”、“机械加工工艺信息三维标注规范”分别规范了框格中使用的刀具符号、工艺方法图形符号、加工参数和刀具参数。

新标准定义的工艺信息框格,能够针对过程卡、工艺卡、工序卡对工艺信息要求不同详细程度的情况进行调整,能够充分表达机加工工艺。三维CAD需要在指引线注释功能的基础上,开发框格及相应的图形符号库,支持新的表达规范。

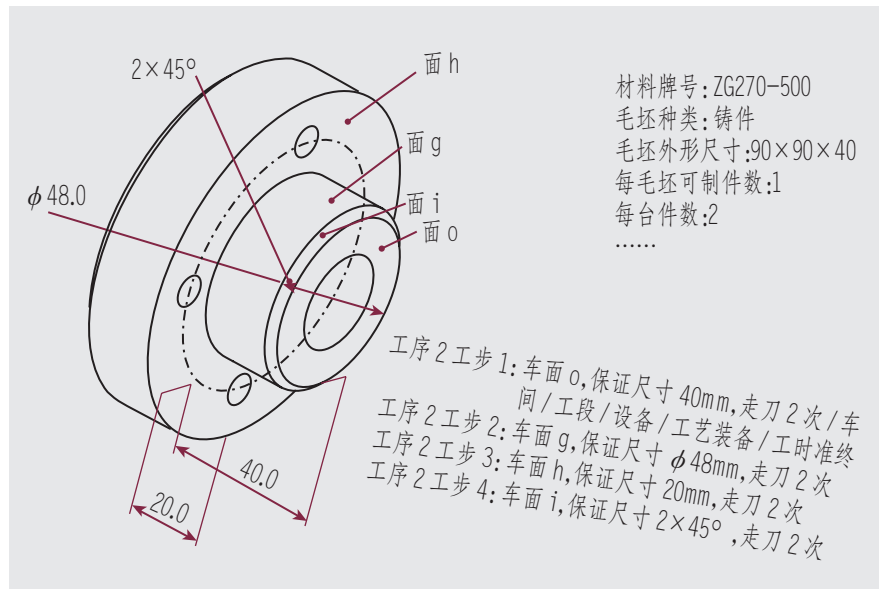
2 基于模型定义的工艺信息结构

要支持基于三维模型的工艺信息表达,需要建立产品基于MBD的工艺信息模型。目前已经有一些文献研究了MBD技术下的零部件制造模型^[4-6],但目前主流的三维CAD在MBD技术下的模型构成方面还没有成熟的解决方案。

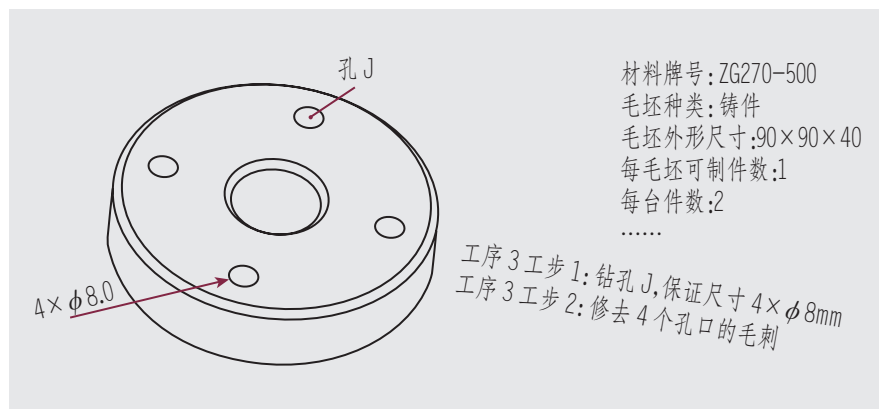
为满足机加工产品的工艺信息表达,CAD系统需要满足:(1)能管理零件、毛坯、工序模型等不同阶段



(a)工序1



(b)工序2



(c)工序3

图1 工艺过程卡信息基于三维模型的表达

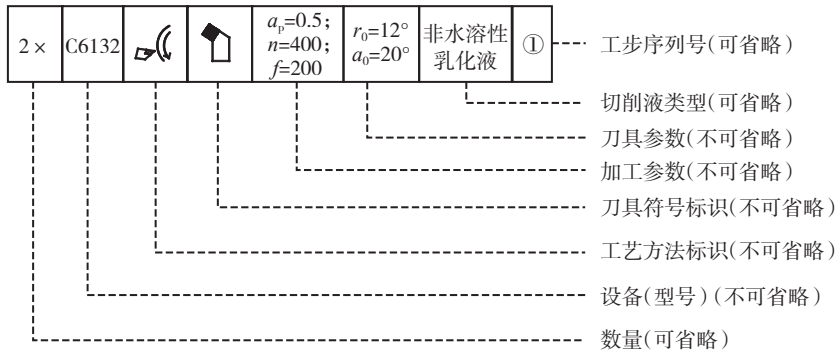


图2 工艺信息框格构成(摘自《机械加工工艺信息三维标注规范》征求意见稿)

的多个三维模型;(2)能保持毛坯模型、工序模型、零件模型之间的双向相关关系,当某个模型变更时,其前驱和后续模型也应相应修改;(3)提供不同阶段的各类标注符号,除粗糙度、尺寸公差、形位公差外,还需要定位符号、夹紧符号、新标准中的加工方法符号、刀具符号、工序及工步描述中客户自定义的各类技术要求符号等。

结合上述工艺表达方案,三维CAD系统的MBD信息可以设计如图3所示的树形结构。按阶段设计“设计模型”、“制造计划”、“检验计划”等子节点,分别对应相应阶段的MBD模型信息。

表1给出了机加产品的MBD模型的信息构成。其中“设计模型”表达“零件图”信息,“工艺过程”表达“工艺过程卡”信息,“毛坯”表达毛坯零件图信息,“工序N”表达当前工序的“工序卡”信息。虽然结构相似,但其具体内容完全不同。

3 零件、工序、毛坯模型的相关性

MBD模式下机加工产品的三维数模包括:毛坯模型、工序模型和零件模型。模型创建次序包括正向创建法和逆向创建法。正向创建法见图4(a),根据零件模型和经验,首先创建毛坯模型,然后按照工序顺序,依次创建第1~N道工序的模型;逆向创建法见图4(b),根据零件模型及工序内容,首先创建最后一道工序的工序模型,依次逆向创建前道工

序模型,直到毛坯模型。

虽然用户看到的是多个不同模型,但为保证数据源的唯一性,上述模型必须是相关的,CAD系统应该只维护一套模型数据,并建立不同模型间复杂的几何相关性。因此,CAD系统必须建立造型特征抑制、隐藏、压缩、配置等功能。如图5所示,SolidWorks通过特征压缩功能在一个模型上定义了3个配置,分别表达毛坯及2个工序模型,实现了模型相关。

此外,除工艺阶段需要毛坯、工序及产品的设计结果模型外,在产品检验阶段还需要根据实测值创建实测模型,或根据某些规则在保证合格条件下建立其他极限模型等。虽然这些模型不需要在造型特征层与设计模型建立相关性,但与模型外表面的相关性也是需要的。另外,各种模型的变更,也需要依据内在模型间的相关性,按依赖关系依次变更。

MBD模型的多视图管理技术

在产品三维数模上标注了众多PMI后,为避免出现刺猬状的凌乱视图,CAD系统需要创建各类不同的视图,分别表达不同阶段、不同角色的查阅需求。目前,主流CAD系统已经提供了可以借鉴的视图管理方案,视图的基本构成见图6。

几何模型集包括毛坯、工序、零件等各种模型,视点集包括6个基本视点、2个轴测视点、以及用户自定

义的视点,标注和注释集是用户标注的各种PMI项及属性项,截面集包括剖切三维模型的各种截面。

标注及注释信息形式化面临的问题

注释信息的形式化,就是将三维标注信息转化为有一定逻辑,计算机可理解的形式,以方便计算机对信息进行解析,提取其中的关键元素,实现对分析、工艺规划、制造等过程的驱动^[7]。虽然,目前尺寸及公差、基准、表面粗糙度、形位公差已经做到了结构化、形式化,但仍然面临一些问题。

1 关联到几何要素的标注项/注释项的多义性

不同工程师理解图7所示标注时,通常不会出现歧义,但计算机可能理解为点到点、点到线、点到面、线到线、线到面、面到面等多种可能,原因是计算机只能按照用户选定的尺寸界线元素进行理解。因此,为实现标注的形式化,CAD系统必须区分“标注几何”和“标注定位几何”。“标注几何”应该是最能代表标注意图的几何要素,图7应该是模型的顶面和底面,而不是线或点。而“标注定位几何”表明尺寸界线从哪里引出,应该是某个具体点、边上点或虚交点(如圆柱轴线与端面交点)。

2 统一技术要求的形式化

在二维零件图中,通常还会有一些如下技术要求:“未注尺寸允许偏差 ± 0.05 ”、“未注圆角R3-R5”、“未注倒角 $2 \times 45^\circ$ ”、“未注尺寸公差的偏差均按H级”、“未注拔模斜度 $1^\circ \sim 2.5^\circ$ ”、“未注表面粗糙度”等。此类标注的特点是:都与三维数模上多个几何要素相关,而利用现有的各CAD系统,这种一对多的相关性都还不能很好地表达。

要使计算机理解哪些几何要素要满足这些技术要求,就必须显式的表达技术要求与几何要素间的相关

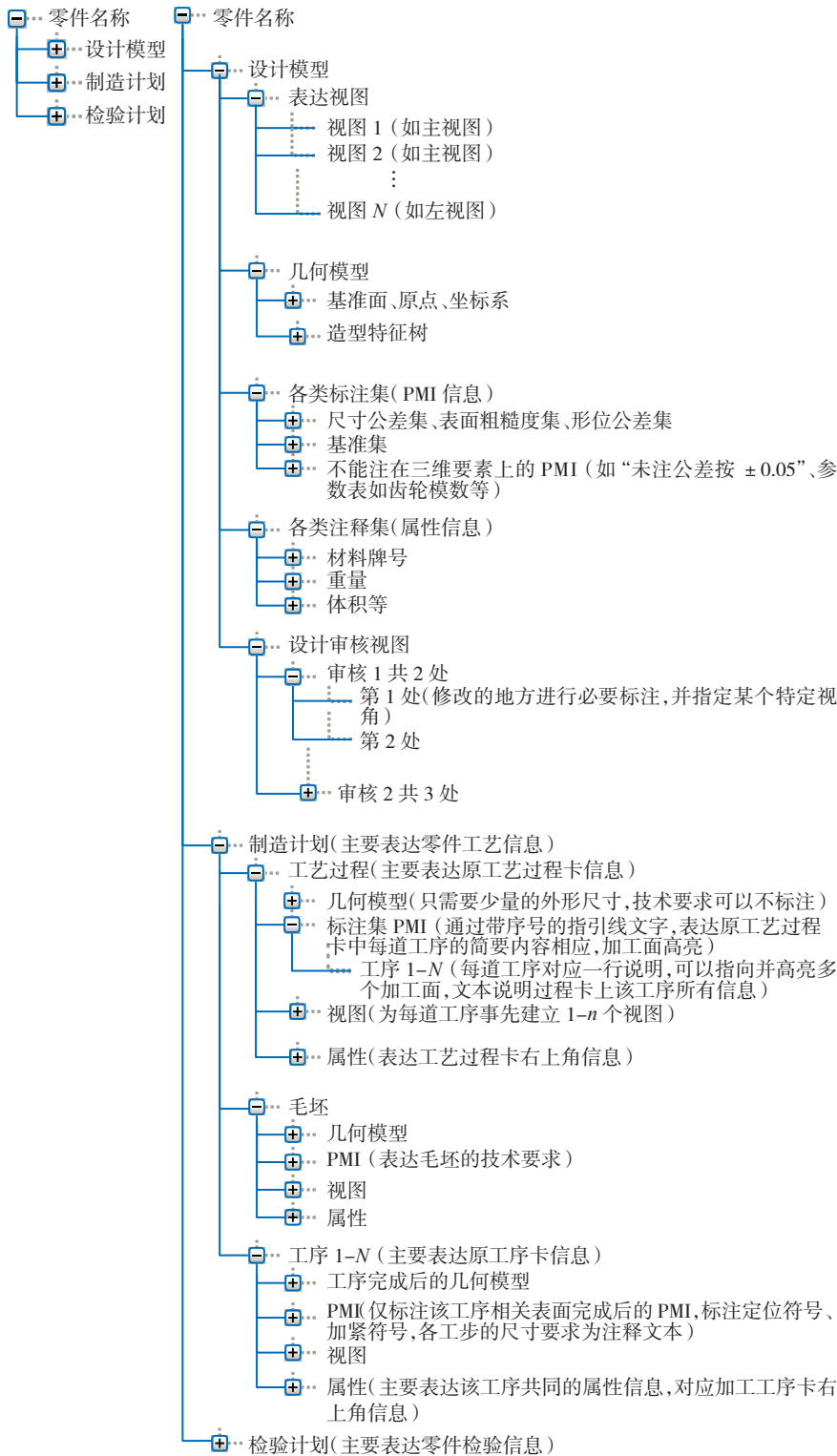


图3 机加工产品的MBD模型结构

性,即建立标注与几何要素间的关联。在CAD系统中需要将此类技术要求定义为特定标注项,通过提供几何要素列表,建立相关性。此类技术要求类型很多,CAD系统难以完全

定义,因此,必须设计为用户自定义方式。

文字可阅读性

按照 ASME Y14.41 以及 GB/T

24734-2009 在 3.1.2 和 5.4 中的规定“所有的标注都应在一个或多个标注面上给出详细说明,并始终保持标注面相对模型的定向关系”。因此,在保持定向关系条件下旋转模型时,标注平面也将随模型转动,其上的文字将出现上下或前后颠倒的情况。在标准 GB/T 24734.5-2009 中 5.4 规定了 3 种解决方法:(1)模型旋转后,标注面的阅读方向也能相应更新,NX 和 Solidworks 具备此功能;(2)在模型的每个标注面上应确定正确的阅读方向;(3)保存视图时,应能确保模型朝向符合设定的视图方向。CATIA、SC、Proe 标注文字的阅读方向不随动,需要用户保证视图或阅读方向。

要实现标注文字阅读方向的自动更新,CAD 系统的实现思路如下。

1 4 种基于视点变化的文本姿态

二维标注平面内的文本总占用一个矩形区域,将该矩形显式的画出,并分别为标注平面中矩形的 4 个角点编号为 1~4 (该编号不再改变),随着模型的旋转,文本分别存在 4 种空间姿态,如图 8 所示。在保证文字总是从左向右阅读的原则下,为了保持文本的可阅读性,系统需要将文本相应变换为图 9 所示的 4 种状态。

依据分析,在规定文本只能从左向右阅读时,空间文字相对于其在文本框的状态就 4 种,即分别以文本框 4 个角点为左上角点的状态。

2 三维空间中文本定姿参数

三维空间中要确定文本的姿态,通常需要 3 个矢量参数,如图 10 所示:文本平面正向(图中黑色箭头的反方向)、文本书写方向(图中红色箭头)、文本字头方向。若规定文本总是从左向右阅读,这 3 个矢量符合右手法则,即文本平面正向为 X 轴,书写方向为 Y,则文本字头方向为满足右手法则的 Z 方向。依据上述分析,在规定文本阅读顺序从左到右的情况下,用户只要给出 3 个矢量中的 2

表1 机加产品的MBD模型的信息构成

机加产品的 MBD 模型结构		表达视图	几何模型	各类标注集 PMI	各类注释集	审核视图
设计模型	零件模型	包括产品所需的所有必要视图,通常包括多个视图,可以是二维投影图、三维轴测图、三维剖视图,视图的全集就是三维图样输出所需的所有视图,且不含多余视图	最终产品模型,包括原点、坐标系、基准、造型特征	包括零件图中所有尺寸公差、形位公差、粗糙度、文字技术要求、以及必要的设计参数	包括零件图中标题栏信息及必要的零件管理属性	每次审核包括多个视图,每个视图表达一处修改
制造计划	工艺过程	仅仅包括工艺过程所需要的特定视图,不需要完整的视图表达	最终产品模型	只包括过程卡需要的 PMI 标注	只包括过程卡需要的注释	同上
	毛坯	包括毛坯所需的所有必要视图,视图的全集就是三维图样输出时所需的所有视图,且不含多余视图	毛坯模型	包括毛坯的毛坯图中所有尺寸公差、形位公差、粗糙度、文字技术要求,以及必要的设计参数	包括毛坯的毛坯图中标题栏信息及必要的零件管理属性	同上
	工序 N	仅仅包括工序所需要的特定视图,不需要完整的视图表达	各不相同的工序模型	只包括当前工序卡视图中所需要的少量 PMI 标注	只包括当前工序卡视图中所需要的少量注释	同上

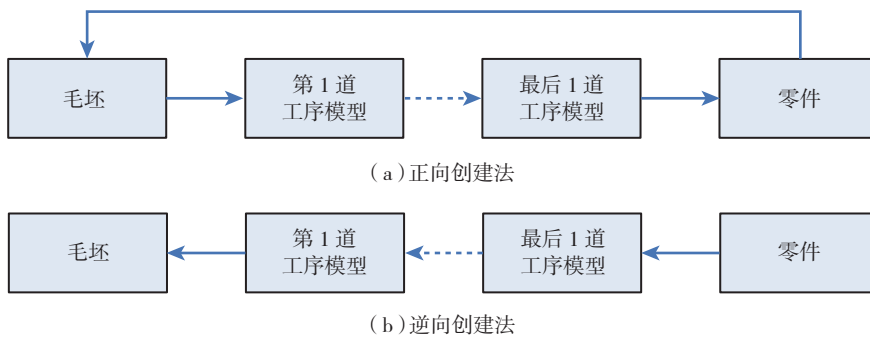


图4 工序及毛坯模型的创建方法

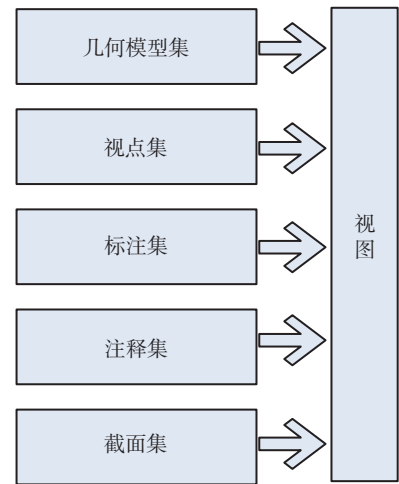


图6 三维CAD中MBD模型的视图构成

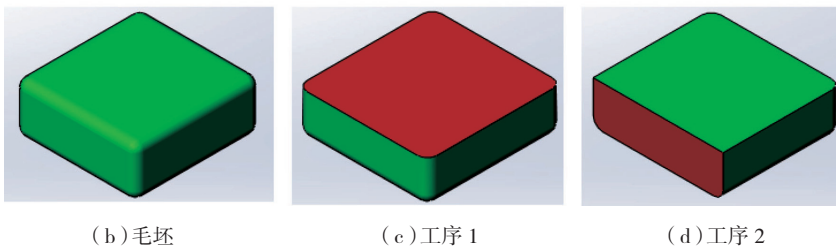


图5 SolidWorks采用配置技术表达模型相关性的可行方法

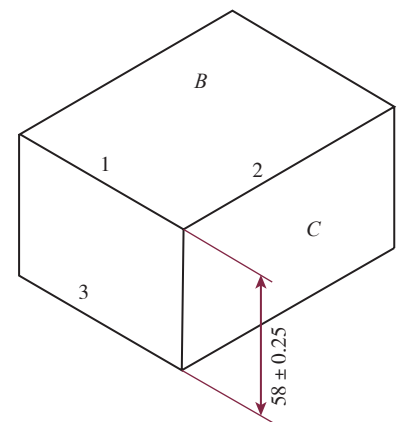


图7 计算机对该标注的理解存在多义性

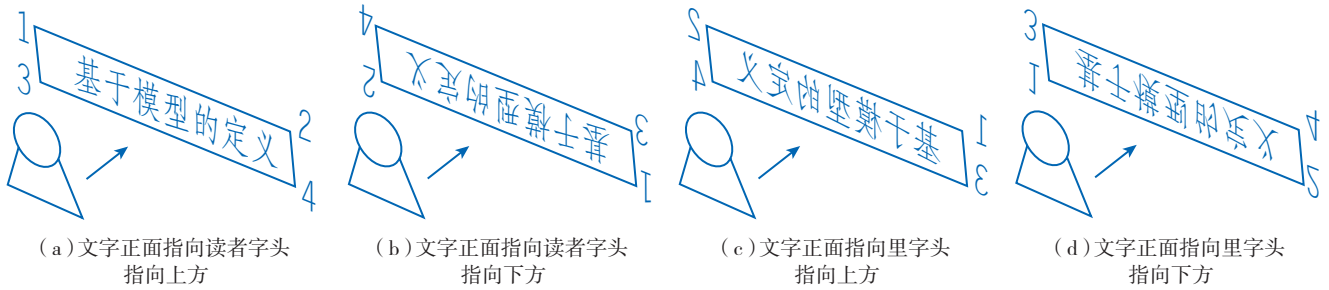


图8 模型旋转时标注平面上文本的4种空间姿态

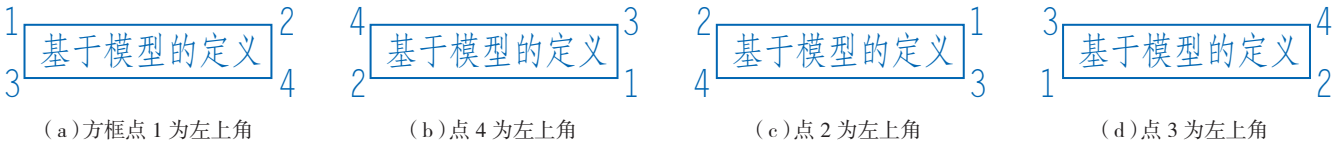


图9 文本根据可读性调整后的对应状态

个,按右手法则就可以完全确定文本的空间姿态,其中文本平面正向在用户指定标注平面时确定,因此后续只需用户指明书写方向和字头方向中的一个。

要实现文本的模型旋转过程中的可读性,实时计算上述3个矢量方向。根据图8、图9的分析,文本在定义之处就确定了3个矢量,文本阅读方向的不同,也就是3个矢量正向或反向的组合。

要判断矢量是否反向,CAD系统需要定义屏幕坐标系(图11),取OM垂直于屏幕平面指向观察者,ON平行于屏幕水平向右,OP平行于屏幕竖直向上,该屏幕坐标系的3个方向永远不变,不随模型的旋转改变。确定文本姿态的3个矢量中O'M'代表文本平面正向,O'N'代表书写方向,O'P'代表字头方向,3个矢量在随模型转到某一姿态时,

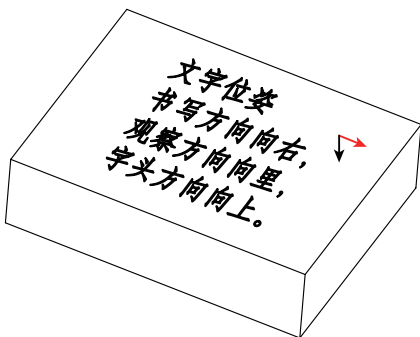


图10 标注平面上文本定姿示例

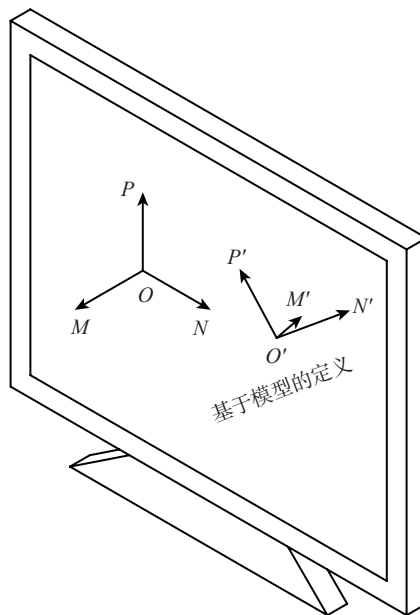


图11 屏幕坐标系及文本姿态矢量反向的判别条件

若矢量OM和O'M'之间的夹角 $> 90^\circ$ 时,将矢量O'M'反向;当矢量OP和O'P'之间的夹角 $> 90^\circ$ 时,将矢量O'P'反向。文字书写方向的判断就根据3个矢量之间的右手法则判断。

结束语

本文提出了一种机加工产品工艺信息基于三维模型的表达方案,并设计了机加工产品MBD模型结构和多视图管理方法,为机加工产

品MBD体系下的工艺信息表达提供了较完整的方案;根据毛坯、工序、零件模型间相关性,分析了工序模型的正向和逆向创建方法,并提出了模型修改方式,为CAD系统建立工序、毛坯、零件模型间的相关性提供了思路;分析了标注内容形式化目前面临的2个问题,并提出了可行的解决方法,为MBD模型的计算机理解提供了方法。最后提出的一种实现文字动态可读性的技术方法,对三维CAD系统的开发有借鉴意义。

参考文献

- [1] 巫鹏伟,卢鹤,于勇,等. 工程师的新语言——基于模型的定义. 航空制造技术, 2010(21):68-71.
- [2] ASME Y 14.41-2003 [EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/ASME_Y14.41-2003 2010.
- [3] 国家标准化委员会. 机械加工工艺信息三维标注规范(征求意见稿),2012.11.
- [4] 冯国成,梁艳,于勇,等. 基于模型定义的数据组织与系统实现. 航空制造技术, 2011(9):62-66.
- [5] 张荣霞,张树生,周竞涛,等. 基于MBD的零件制造模型管理. 制造业自动化, 2011(8):6-9.
- [6] 冯廷廷. 基于MBD的飞机装配工艺规划与仿真[D]. 南京:南京航空航天大学, 2011.
- [7] 张宝源,席平. 三维标注技术发展概况. 工程图学学报,2011(4):74-79.

(责编 亦非)