

# 基于 MBD 的三维图样表达方式研究与系统实现

吕 程, 龚 练, 刘 辉, 伍国果

(重庆文理学院 机电工程学院 智能产线集成技术研究所, 重庆 402160)

**摘 要:** 针对现有三维图样技术在实际应用中存在的主要问题, 提出了设计视图、模型与标注分区显示、集成标注等具体方法, 解决了目前三维图样信息显示不清晰、无法满足复杂产品信息定义需求等关键问题。结合数字化环境下产品信息表达与数据一致性等需求, 采用信息结构树保证了几何与非几何信息间的关联性。给出了三维图样系统的具体设计方案, 以及相应可视化功能的具体实现方法, 实现了基于 ACIS 与 HOOPS 联合平台的三维图样软件系统开发, 在该系统中完成了典型零件的精度设计, 验证了三维图样软件系统的实用性。

**关 键 词:** MBD 技术; 三维图样; 设计视图; 集成标注; 系统实现

中图分类号: TH 126

DOI: 10.11996/JGj.2095-302X.2018050951

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2018)05-0951-07

## Research of Three-Dimensional Drawings Expression and System Implementation Based on MBD

LV Cheng, GONG Lian, LIU Hui, WU Guoguo

(Institute of Intelligent Production Line Integration Technology, Mechanical Electrical Engineering,

Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China)

**Abstract:** The main problems existing in the practical application of the existing three-dimensional drawing technology are analyzed. The design view, model and annotation partition display, integration annotation and other specific methods are proposed to solve the key problems such as lacking of clarity of three-dimensional drawings information and the definition of complex product information. In combination with the requirements of product information expression and data consistency in the digital environment, the relationship between geometry and non-geometry information is guaranteed by using the information structure tree. The detailed design scheme of the three-dimensional drawing system and the concrete realization method of the corresponding visualization function are given, and the three-dimensional drawing software system development based on ACIS and HOOPS joint platform is realized. In the three-dimensional drawing software system, the precision design of typical parts is realized, and the practicability of the system is verified.

**Keywords:** MBD technology; three-dimensional drawings; design view; integration annotation; system development

随着 CAX 技术的飞速发展, 产品设计制造技术也逐步向着全数字化方向迈进, CAX 技术的应用

不再以满足各分离的阶段性生产需求为目标, 而是面向产品的全生命周期, 从本质上改变了产品的生

收稿日期: 2017-12-14; 定稿日期: 2018-03-05

基金项目: 重庆市永川区科委自然科学基金计划项目(yestc, 2017nc3001); 重庆市教委科学技术研究项目(KJQN201801334, KJQN201801333, KJQN201801329); 重庆文理学院引进人才项目(2017RJD14, 2017RJD13, 2017RJD12)

第一作者: 吕 程(1988-), 女, 辽宁抚顺人, 讲师, 博士。主要研究方向为复杂装备精度理论。E-mail: lvcheng0424@126.com

产制造方式<sup>[1]</sup>。在 CAD 领域中,基于二维工程图的产品信息定义方式,由于存在无法满足全生命周期不同研发与生产阶段的数据一致性等诸多问题,正逐步被三维图样技术所取代。

诸多专家学者围绕三维图样技术,对三维图样的表达方法、数据处理、系统实现技术等展开了大量研究,并获得了相应的成果。潘康华等<sup>[2-3]</sup>规范了基于模型的定义(model based definition, MBD)的机械产品三维设计的表达形式,开发了三维标注的辅助工具;姜立军<sup>[4]</sup>结合数字化产品数据定义通则,分析了三维软件环境下图样的表达方式。艾彦迪等<sup>[5]</sup>提出了基于 MBD 技术及动态同构树数据结构的三维图样系统实现方法;周秋忠等<sup>[6-7]</sup>分析了三维标注对数字化制造业的影响,探讨了产品非几何制造信息的表达方法以及支持三维工艺设计的信息模型;刘伟东等<sup>[8]</sup>构建了虚拟装配中几何精度三维标注的模型,实现了原型系统开发。刘荣来和吴玉光<sup>[9]</sup>分析了三维标注技术中存在的问题,提出了基于关联关系图的三维标注信息管理方法;简建帮等<sup>[10-11]</sup>为处理飞机结构件设计的信息关联性问题,提出了基于 MBD 与多 Agent 的飞机结构件的协同设计方法与数控加工方法。

现有研究多分析三维图样与二维工程图相比的优势及三维图样在信息表达与数据处理方面的问题,部分学者针对特定应用背景给出了具体数据处理方案,开发了辅助性软件,但鲜见深入分析三维图样关键问题,并给出切实有效解决方案的研究,因此,目前的三维图样技术缺少一定的实用性与普适性。

综上所述,本文以解决三维图样技术在推广应用中遇到的瓶颈问题为目标。针对三维图样的表达方式,基于“分解-集成”的思想,提出了设计视图、模型与标注分区显示、集成标注等信息表达方式,实现了视图表达的轻量化,从而使产品设计信息表达更清晰、简洁、准确,使三维图样技术的应用不再受产品复杂程度的限制;针对模型与数据的处理,建立了保证几何与非几何信息关联性的结构树模型,采用数据库进行产品信息管理,可实现以数据为粒度的信息共享,保证了不同生产阶段产品信息的一致性,并支持数字化环境下产品信息数据的自动处理功能。

## 1 MBD 技术与三维图样

MBD 技术以三维模型为载体,定义产品的几

何尺寸、公差以及工艺信息等,改变了以二维工程图为主,三维实体模型为辅的产品信息表达模式<sup>[12]</sup>。三维图样技术是直接三维模型上标注产品设计、工艺等信息的数字化技术,其将全面取代二维工程图,成为产品全生命周期中唯一的信息数据依据,MBD 是实现三维图样技术的主要手段。最早美国机械工程师协会在波音公司的协助下于 2003 年形成了关于三维图样的美国国家标准“ASME Y14.41-2003 Digital product definition data practices”。而后 ISO 组织基于 ASME Y14.41 制定了 ISO 标准草案。我国于 2009 年以 ISO 16792 为蓝本制定了 GB/T 24734.1 ~34734.11-2009《技术产品文件 数字化产品定义数据通则》<sup>[2]</sup>。目前已有多款常用三维软件开发了三维标注功能。

三维图样作为取代二维工程图的先进技术,在信息表达与数据处理等方面有着二维工程图无法比拟的优势。两者的对比分析见表 1。

表 1 三维图样与二维工程图部分特性对比分析

对比内容	二维工程图	三维图样
载体类型	平面图形	三维模型
形状表达	多个视图、间接表达	一个模型、直接表达
数据展示	静态、全面、清晰	动态、局部、灵活
图样生成	手工或计算机绘图	计算机及软件设计
设计技能	画法几何与工程图学	CAD 建模技术
设计方法	TOP-DOWN 平面设计	空间建模与设计
读图方式	同时展示信息供读取	选择性展示信息供了解
读图技能	工程图学知识	直接观察和理解
数据处理	用于供人阅读	供人阅读和计算机处理
数据存储	纸质+文档方式存储	文档+数据库方式存储
数据集成	视图上标注数据的集成	模型为载体的信息集成
数据重用	人工读取实现数据重用	软件技术实现数据重用
数控加工	不能直接用于数控加工	可生成数控代码进行加工
过程支持	以静态被动方式提供信息	以动态主动方式提供信息
知识积累	依赖于人工完成积累	借助 CBD 技术实现积累
产品研发	完成设计流程的过程	完成设计和累积数据过程
管理支持	以文档为粒度	以数据为粒度

由表 1 可知,三维图样在信息表达,数据重用以及对自动化数控技术的支持等方面全面优于二维工程图。这也是三维图样技术作为制造业信息化发展趋势的重要因素。

MBD 技术对保证产品设计与生产过程中的数

据一致性具有重要意义。MBD 技术实现了三维模型与二维文字性信息在三维空间的关联统一,对产品几何信息的表达也更加直观。而本文研究的新三维图样表达方法,在现有三维图样基础上,充分考虑了标注等文字与图框信息的二维特性,在保证信息与模型关联性的前提下,使三维空间中模型与标注的表达更简洁、清晰、有条理,提高三维图样的读图效率。

## 2 三维图样的信息表达方法

### 2.1 三维图样技术的主要问题分析

三维图样技术作为先进数字化技术在我国制造业中的应用推广并不顺利,通过对现有三维图样相关标准及相应软件功能的深入分析得出,现阶段三维图样技术难以满足产品信息表达需求的主要原因如下:

(1) 不同标注信息显示在不同标注平面内,易造成部分信息无法清晰显示;

(2) 标注与标注以及模型与标注在平行于屏幕的投影面上易造成重叠和遮挡,不能清晰显示模型结构特征与标注内容;

(3) 同时显示所有标注信息,增加了信息读取难度,降低了信息读取效率;

(4) 随着产品设计复杂程度的提高,需要标注的信息数据量急剧增加,导致三维图样的标注显示呈现“刺猬”状态,丧失信息的可读性;

(5) 模型的显示视角固定单一,对于结构复杂的机械产品无法清晰、全面、准确地显示所有结构特征。

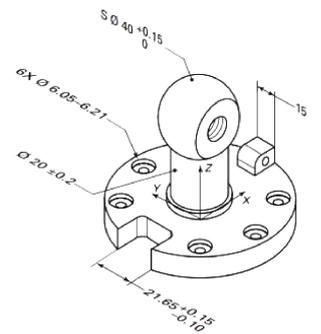
其中,复杂产品三维标注的显示呈现“刺猬”状态的问题,严重限制了三维图样的应用范围,成为阻碍三维图样技术推广应用的瓶颈。

根据三维图样的技术特点,针对上述产品信息表达的主要问题,本文提出了标注信息水平显示、标注与模型分区显示、标注信息的集成标注和设计视图等具体解决方法。

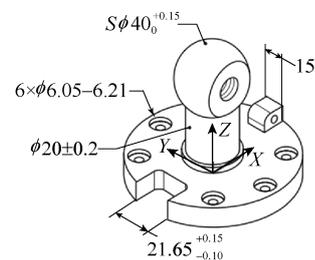
### 2.2 标注信息水平显示

目前三维图样技术将产品信息标注在三维空间不同的标注平面内,这种信息标注方法其内容显示的清晰度受模型显示角度影响,无法保证不同标注平面内的标注信息可以同时清晰显示。对此,为保证标注信息可清晰显示且被准确读取,根据正常的阅读习惯,本文提出了水平显示方式,即标注信

息在与屏幕平行的平面内水平显示,两种信息显示方式的效果对比如图 1 所示。



(a) 现有三维标注样式



(b) 标注的水平显示样式

图 1 两种信息显示方式的对比

在标注信息水平显示方式中,标注信息不受模型显示角度的影响,也不受标注平面的限制,始终在与屏幕平行的平面内水平显示,保证了标注信息时刻以最清晰的视角呈现。

### 2.3 模型与标注分区显示

在三维图样中,标注与模型处于同一空间,目前的三维图样表达方式极易造成在平行于屏幕的投影面上标注与标注的重叠以及模型与标注间的相互遮挡,严重影响了视图整体的可读性,导致无法准确查看模型的结构特征与标注信息的具体内容,如图 2 所示。

针对以上问题,本文提出了分区显示法,即将模型与标注信息分区显示。将屏幕划分为模型区和标注区,屏幕中心区域为模型区,用于显示模型的具体几何结构特征,屏幕四周的矩形区域为标注区,用于无重叠地显示标注信息。同时,为了更清晰地显示标注的文字信息,便于后文进行标注信息的二维集成,在三维图样系统中,标注信息统一采用白色背景标注框,并通过引出方式标注,如图 3 所示。

模型区与标注区在屏幕上无明显界限,其通过数字化系统的功能设计实现隐式的区域划分。

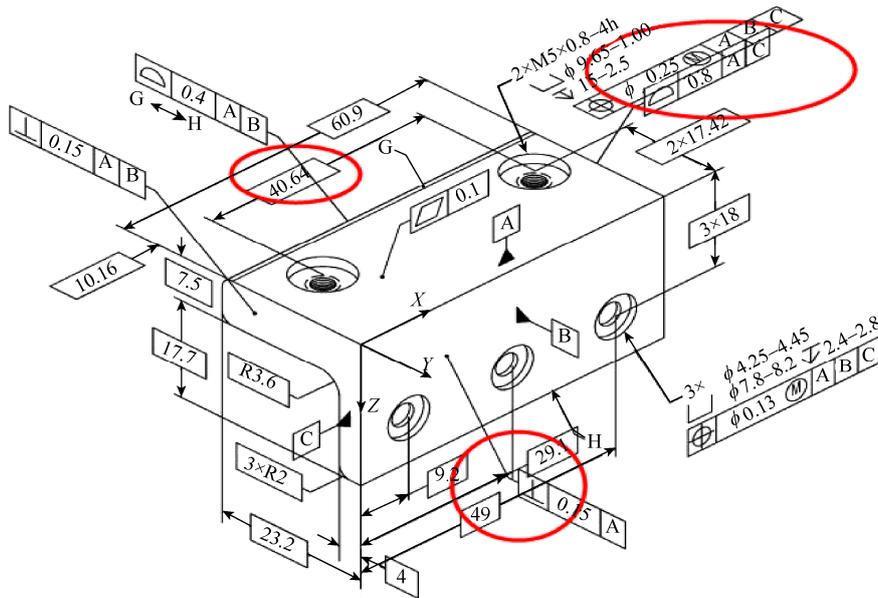


图2 标注与标注在投影面上重叠

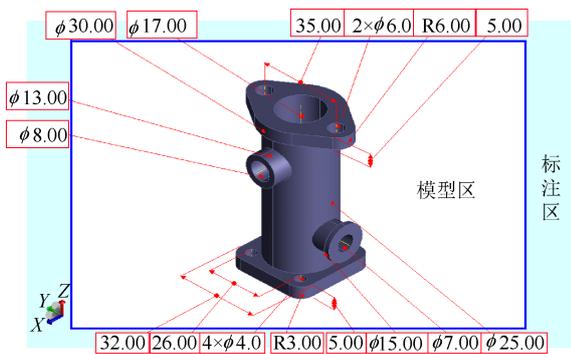


图3 模型与标注的分区显示

### 2.4 设计视图

目前三维图样的表达严格限制了模型的显示角度，不能较好地呈现复杂模型的完整结构特征，为此，提出以设计视图取代正等轴测图，实现任意视角的模型显示。设计视图是指通过旋转、缩放、平移等操作，将模型调整至最适合观察产品相应结构特征的状态，并定义该模型显示状态的屏幕视图为一个设计视图，每个设计视图对应一组模型显示的角度、大小、位置等基本属性参数，设计人员可在设计视图中添加相应的标注信息。根据产品的具体结构特征，可以灵活地调整设计视图的基本属性参数，创建新的设计视图。但其数量并非越多越好，视图过多将导致信息过于分散，使模型表达的整体性和信息表达的关联性被破坏。因此，设计视图的创建应遵循以下原则，即在可清晰、准确表达产品全部结构特征的基础上，采用尽量少的设计视图完成产品信息定义。

基于设计视图的产品信息表达方法不但可以灵活全面地展示产品的几何结构特征，而且通过设计视图的创建，可适当分散产品的标注信息，使各设计视图中仅显示当前视图可见模型结构特征的相关信息。相比于目前将所有标注信息同时显示的信息表达方式，该方法合理有效地降低了单个视图中的标注数量，实现了视图表达的轻量化，提高了信息表达的清晰度及信息的读取效率。

### 2.5 标注信息的集成标注

随着模型的复杂程度不断提高，相应标注信息的数量也不断增加，使三维图样的显示呈“刺猬”状态，导致信息无法清晰显示和被准确读取，严重限制了三维图样技术的普及应用。因此，在完整表达产品信息的前提下，最大限度地减少标注数量及相应标注引线等标注要素是提高视图清晰度、保证视图可读性的重要手段。

前文基于“分解”的思路，将标注信息分散到不同的设计视图中，降低了单个设计视图的标注数量。但对于异常复杂的模型，为清晰显示所有产品信息，可能需要创建大量设计视图，从而导致信息表达的整体性被破坏，信息读取效率降低。鉴于此，基于“集成”的思路，提出了标注信息的集成标注方法。

三维标注的集成包括一维和二维。一维集成是指对具有固定参数的常见几何形体、工程特征、常用件和组合标注信息等的参数进行重新的整合集成，形成可完整描述几何及工程对象的规范的独立标注信息单元。现以工程中常见的圆头平键键槽为

例, 键槽尺寸信息的集成标注如图 4 所示。

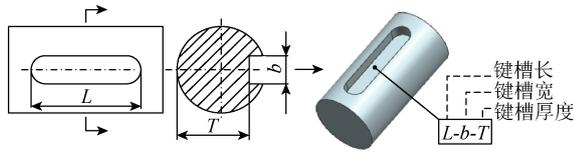


图 4 键槽尺寸信息的集成标注

现列举几种常见工程特征及属性标注的集成标注, 见表 2。

一维集成标注对具有固定参数的工程特征或属性进行信息数据的整合集成, 形成相应的信息标注单元。集成标注较原分散式信息标注方式具有更好的信息表达整体性与完整性, 且表达清晰简洁, 便于高效读取。

为实现更加合理的信息整合, 在一维集成标注的基础上, 将同一几何特征的多个标注进行纵向排序整合, 形成完整表达某一几何对象信息的一组标注, 实现标注信息的二维集成。其在一维集成的基础上, 减少了标注引线等要素, 进一步实现了三维

图样的轻量化表达, 同时可以更直接清晰地读取某一几何特征的全部标注信息, 大幅度提升了读图效率。标注的二维集成过程如图 5 所示。

表 2 几种常见工程特征及标注方法的集成标注

内容	现有标注样式	集成标注样式
圆锥		$\angle \alpha - \phi D - L$
螺纹孔		$3 \times M6-7H \nabla 10 \text{孔} \nabla 13$
螺纹轴		M20-6g/60
孔内键槽		55-12-43.5/phi 40
表面粗糙度		$\sqrt{c \cdot a \cdot b \cdot d \cdot e}$ $\sqrt{1.6}$

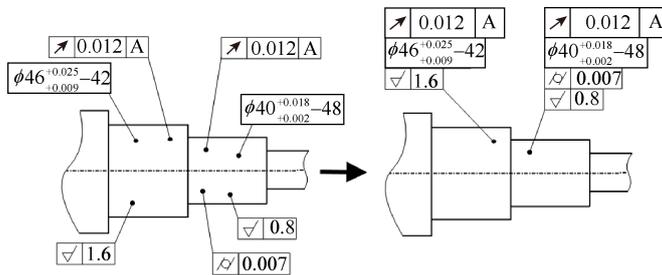


图 5 标注信息的二维集成过程

### 2.6 自由剖切

工程中常有内部结构复杂, 难以通过旋转、缩放等基本操作清晰表达内部结构特征的模型, 对该类模型进行合理剖切, 是清晰表达模型内部特征的重要手段。本文提出了自由剖切的模型剖切法, 该方法通过在相应投影面内绘制剖切线, 实现模型的剖切, 其过程如图 6 所示。该方法可以更加自由灵活地实现模型的剖切。



图 6 模型的自由剖切过程

## 3 三维图样系统的设计与实现

将本文提出的方法应用于工程实际中, 解决现有三维图样软件系统存在的问题, 通过 VC++编程

开发了基于 ACIS 与 HOOPS 联合平台的三维图样软件系统, 其框架如图 7 所示。

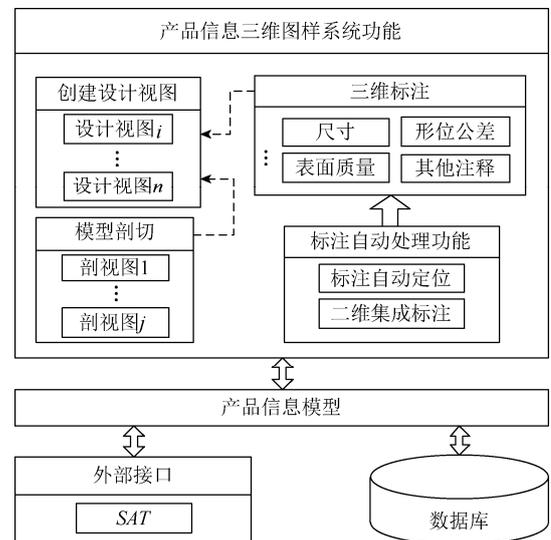


图 7 三维图样软件系统框架

### 3.1 三维图样系统的信息结构树

生产过程所需要的数据来自于设计阶段给出的产品模型三维图样。其作为支持生产活动的唯一数据来源，通过数据库实现以数据为粒度的产品信息管理是保证数据一致性与共享性的重要手段。

三维图样包含了模型几何信息与非几何产品定义信息，确保几何与非几何信息间的关联关系是实现准确的可视化表达、支持自动数控加工过程及产品全生命周期信息跟踪等功能的关键技术。

本文采用可扩展的信息结构树，保证不同类型信息间的关联关系，如图8所示。

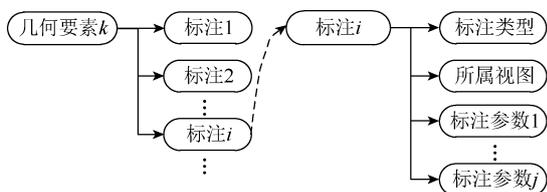


图8 信息结构树示意图

### 3.2 标注自动处理功能的实现

(1) 标注自动定位功能的实现。该功能指在设计视图中添加标注的操作过程中，系统根据当前鼠标插入标注的位置，自动将标注放至标注区的对应位置，实现模型与标注的分区显示。具体实现方法如图9所示。

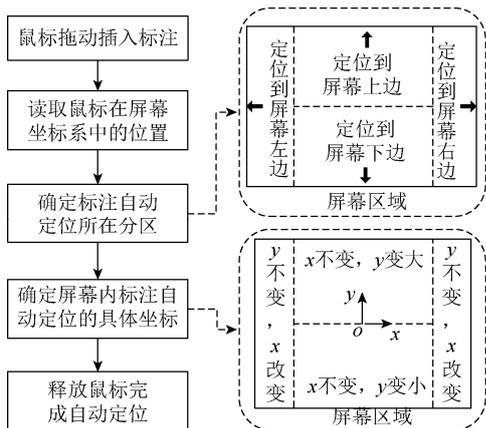


图9 标注自动定位功能的实现方法

在自动定位功能中，屏幕被划分为上、下、左、右4个隐式区域，在插入标注时，根据鼠标在屏幕上所处的区域，分别将上述4个隐式区域中的标注自动定位到屏幕上、下、左、右对应的标注区中，自动定位标注的标注框分别采用上边框对齐、下边框对齐、左边框对齐、右边框对齐的对齐方式分布

于屏幕四周的标注区内。

(2) 标注自动二维集成功能的实现。该功能指在进行产品信息标注时，若当前标注关联的几何要素已有其他的关联标注，则自动将当前标注与已有标注按照标注框的长短排序，进行纵向的集成，形成共享同一标注引线的标注组。具体实现方法如图10所示。

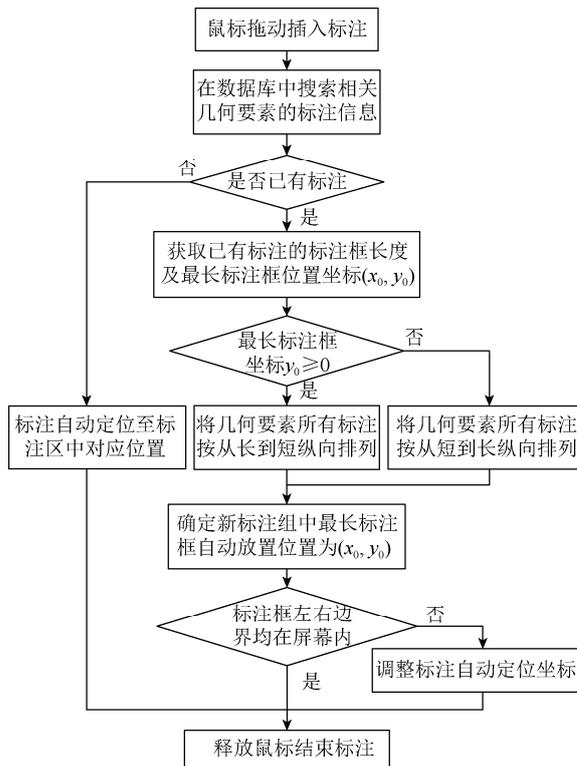


图10 标注自动二维集成功能的实现

## 4 基于三维图样系统的三维图样实例

在三维图样系统中进行常见机械零件的产品信息定义，如图11、12所示。

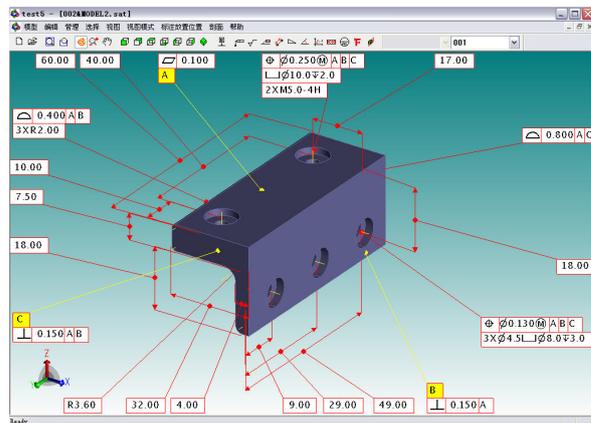


图11 角铁件的三维图样实例

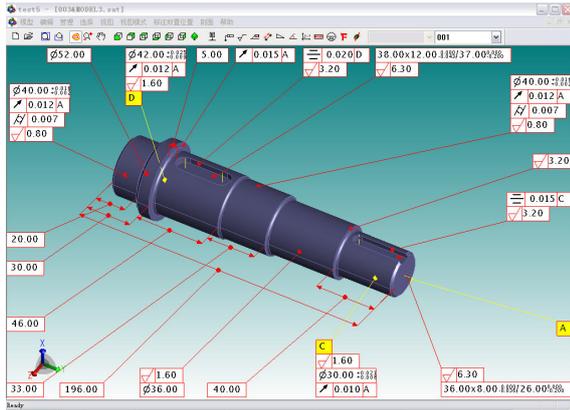


图 12 阶梯轴的三维图样实例

图 11、12 采用了本文所述的方法, 调整模型至可清晰显示零件结构特征的角度后建立设计视图, 将实体模型与标注信息分区表达, 并通过标注引线等保持了模型与标注间的关联性, 避免了不同信息间的遮挡; 不同标注信息的二维集成, 自动实现了信息的归类整理, 使不同标注的相关性更明确。实例采用了文字水平显示、集成标注、分区显示等表达方式, 使图样的模型与信息表达更加简洁、清晰、有条理, 提高了三维图样的读图效率。

## 5 结束语

本文详细对比了三维图样技术较二维工程图的特点与优势, 深入分析了目前三维图样的表达方式在三维图样技术推广应用中存在的关键问题, 并提出了标注信息水平显示、模型与标注分区显示、设计视图、集成标注等方法, 解决了目前三维图样在复杂产品信息定义时呈现“刺猬”状态, 无法有效显示信息的瓶颈问题, 使三维图样的信息表达更加合理、清晰、简洁, 大幅度提高了三维图样技术的实用性与读取效率。采用基于数据库的产品信息管

理, 为后续的自动化制造过程提供了数据支持, 并实现了基于 ACIS 与 HOOPS 平台的三维图样软件系统开发, 验证了所提出的三维图样表达方法的可行性与工程实用性。

## 参考文献

- [1] 胡祥涛, 程五四, 陈兴玉, 等. 基于 MBD 的产品信息全三维标注方法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(S2): 60-63.
- [2] 潘康华. 基于 MBD 的机械产品三维设计标准关键技术与应用研究[D]. 北京: 机械科学研究总院, 2012.
- [3] 潘康华, 王云峰, 杨东拜. 机械产品三维图样表达技术标准的探讨[J]. 机械工业标准化与质量, 2011(12): 30-33.
- [4] 姜立军. 特征造型软件环境下图样表达方法研究[J]. 图学学报, 2012, 33(2): 103-107.
- [5] 艾彦迪, 刘子建, 余治民. 基于三维图样的公差优化分配方法研究[J]. 中国机械工程, 2014, 25(21): 2955-2961.
- [6] 周秋忠, 查浩宇. 基于三维标注技术的数字化产品定义方法[J]. 机械设计, 2011, 28(1): 33-36.
- [7] 周秋忠, 郭具涛, 徐万洪. 基于 MBD 的三维工艺设计系统开发与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016, 12(12): 107-109, 112.
- [8] 刘伟东, 宁汝新, 刘检华, 等. 虚拟装配系统中几何精度三维标注技术与方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(8): 1316-1323.
- [9] 刘荣来, 吴玉光. 三维标注信息的管理方法研究[J]. 图学学报, 2014, 35(2): 313-318.
- [10] 简建帮, 李迎光, 王伟, 等. 基于 MBD 和多 Agent 的飞机结构件协同设计[J]. 中国机械工程, 2010, 21(22): 2647-2652.
- [11] 简建帮, 洪建胜, 李迎光. 基于 MBD 和特征的飞机结构件数控加工方法[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(5): 756-760.
- [12] 靳江艳, 黄翔, 刘希平, 等. 基于模型定义的飞机装配工艺信息建模[J]. 中国机械工程, 2014, 25(5): 569-576.