简化尺寸标注的 MBD 设计方法研究与实践

张　瑜[1],王光耀[1],张让威[1],窦爱国[2]
(1. 中国航发沈阳发动机研究所,沈阳 110015; 2. 无锡市润和机械有限公司,江苏无锡 214161)

摘要: 应用 MBD 技术进行结构复杂产品及大型装配件设计时,由于标注信息量过大易产生“刺猬”现象而影响信息快速准确地表达和提取。为解决这一问题,提出了简化尺寸标注的 MBD 设计方法,通过简化 MBD 标注信息能够建立可快速读取的 MBD 3 维模型。将新方法应用于某型发动机机匣的设计。研究结果表明:采用简化尺寸标注的 MBD 方法可大幅减少设计的工作量,提高设计的效率和质量,验证了该方法的可行性和可靠性。

关键词: 模型定义技术;简化尺寸标注;机匣;航空发动机
中图分类号: V260.5　　**文献标识码:** A　　doi:10.13477/j.cnki.aeroengine.2018.01.005

Research and Application of Design Method of MBD Technique with Simplified Dimension Annotation

ZHANG Yu[1], WANG Guang-yao[1], ZHANG Rang-wei[1], DOU Ai-guo[2]
(**1.AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China; 2. Wuxi Runhe Machinery Co. Ltd., Wuxi Jiangsu 214161, China**)

Abstract: using MBD (Model Based Definition)technique to design products with complex structure and large assembly parts, the large amount of annotation information may lead to the"hedgehog" phenomenon, which will impact on the quick and correct expression and extraction of information. To solve the problem, the MBD design method with simplified dimension annotation was proposed. A MBD 3D model was built that can be read quickly by simplifying the annotation information of the MBD. The new method was applied to the design of an engine casing. The results show that the method of MBD with simplified dimension annotation can greatly reduce the design workload and improve the design efficiency and quality, which verified the feasibility and the reliability of the method.

Key words: Model Based Definition(MBD); simplified dimension annotation; casing; aeroengine

0　引言

随着 3 维数字化技术的不断推广应用,MBD (基于模型的定义)数字化设计与制造已成为航空制造业信息化的发展趋势。MBD 技术是用集成的 3 维实体模型来完整表达产品定义信息的方法, 产品的结构、几何、标注、工艺、制造、管理等信息均附着在 3 维综合化模型中,直观有效地表达了产品的设计意图。3 维模型成为设计制造信息表示的唯一载体,改变了传统以 2 维工程图纸为主,以 3 维实体模型为辅的制造方法。MBD 模型不仅易于工程人员理解,也易于被计算机解读,有效地解决了设计制造一体化问题[1-4]。

从国内外 MBD 技术的应用情况来看,MBD 技术相比传统的设计方式有着巨大优势, 但相比国外,当前我国机械产品制造业中 MBD 技术的应用还处于探索阶段,存在着一些问题,例如缺乏统一的 MBD 标准和管理规范,MBD 数据集的“数字化”程度不高等[5-9]。另外在航空发动机的设计工作中逐渐体会到,对于结构复杂的产品或大型装配件,MBD 3 维模型标注信息量过大,信息表达和提取十分困难,经常会出现因信息量杂乱无章而导致的“刺猬”现象,不但占用了大量的标注及校对时间,设计质量的保证也会更加困难。

为解决“刺猬”现象,本文在借鉴国内外 3 维标注简化方法的基础上,结合实际设计工作,进行了简化

收稿日期: 2017-06-10　　**基金项目:** 航空动力基础研究项目资助
作者简介: 张瑜(1986),女,硕士,工程师,从事航空发动机总体外部结构设计工作;E-mail:290100012@qq.com。

引用格式: *张瑜,王光耀,张让威,等. 简化尺寸标注的 MBD 设计方法研究与实践[J].航空发动机,2018,44(1):22-26.ZHANG Yu,WANG Guangyao, ZHANG Rangwei, et al. Research and application of MBD technology with simplified dimension annotation method[J].Aeroengine,2018,44(1):22-26.*

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

尺寸标注的 MBD 设计方法研究与实践，探索了 1 种可以减少设计工作量,提高设计效率和质量,在现有加工水平条件下可方便转化为工艺文件并完成加工的 MBD 设计方法。

1　国内外企业 3 维标注简化情况分析

1.1　美国军用标准

美国军方于 2013 年发布了 MIL-STD-31000A《技术数据包》[10],该标准根据模型的不同用途规定了不同详细程度的 MBD 标注方法。如果模型作为原型,则仅需最小级别的标注；如果设计需要进行二次操作,模型仅用于首次操作,则仅需定义部分标注;如果设计需要由外部供应商制造或交付给用户,则需要进行完整标注。不同类别模型 MBD 标注的内容见表 1。

表 1　不同类别模型 MBD 标注内容

标注内容	最小 / 概念标注模型	部分 / 设计标注模型	完整 / 制造标注模型
外廓尺寸	√	√	√
一般公差或轮廓度公差	√	√	√
材料和表面处理要求	√	√	√
标题栏信息	√	√	√
所有尺寸		非标准尺寸	√
Site Map		√	√
所有注释		重要注释	√
辅助视图			√
图例	图 1	图 2	图 3

1.2　波音公司标准

在波音公司基于 CATIA 建模要求的系列标准中对具有复杂外形的零件也给出了产品定义方法,包括等厚度,筋壁、腔壁、腔底的拉伸厚度,机加台阶定位,

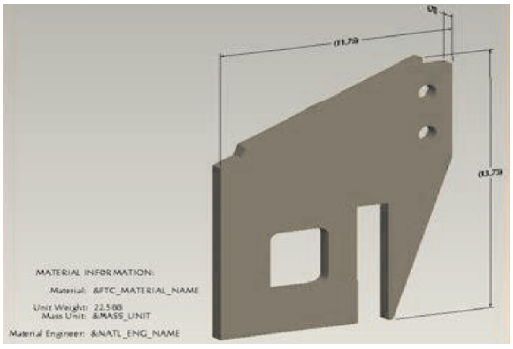


图 1　最小 / 概念模型标注图例

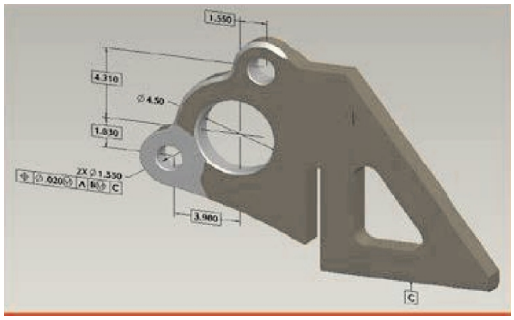


图 2　部分 / 设计模型标注图例

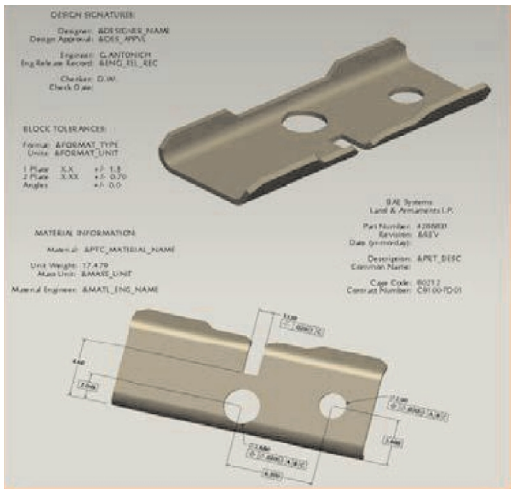


图 3　完整 / 制造模型标注图例

外部曲面,筋、肋、腹板的简单外部轮廓以及半径等典型结构的标注。其标注主要有 2 种方法,一种是在模型或图样上标注表面轮廓度,另一种是使用通用注释方法。标准对通用注释进行了标准化,即提取出能够通过制定规则进行简化的同类标注信息,将其整理归纳为默认规则而省去其在模型上的标注[11-13]。

1.3　国内飞机产品定义中的尺寸标注简化

国内飞机产品定义中也有对尺寸标注进行简化的应用实例,部分尺寸在 3 维模型中可不标注(如按一般公差制造的尺寸等),但需注明公差的尺寸(包括基本尺寸和公差)、形位公差、表面粗糙度、螺纹、结构要素(如板材和型材下陷等)等必须进行标注[14-15]。

这些标注信息简化方式一方面有效地提高了 MBD 标注的效率,另一方面明确了关键的重要尺寸,使信息的读取更加简便,也为后续的加工制造带来了方便。

2　简化尺寸标注的 MBD 设计方法

通过对国内外军工、航空企业 3 维简化标注的情况分析，并结合国内航空发动机行业现有的 MBD 设

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

计情况,进行了简化尺寸标注 MBD 设计方法研究。对 3 维模型完整定义需要标注的尺寸进行了总结和分类,继而对各类型尺寸是否可以进行简化标注进行了判断,研究出了 1 种简化方法。下面对该方法进行简要介绍。

对于机件,完整的标注一般包括结构尺寸、螺纹、尺寸公差、形位公差、基准、表面粗糙度、焊接以及技术要求等。

对于结构尺寸,由于 MBD 技术使 3 维模型成为唯一的数据源,对加工制造来说,通过 MBD 的 3 维模型可以直接读取模型尺寸,自动生成刀位轨迹建立数控加工程序,因此设计过程中可以对按一般尺寸公差标准设计的结构尺寸信息进行简化,即取消标注,而对于精确控制的关键结构尺寸则无法简化表达,仍需要进行详细的 3 维标注,明确其结构尺寸及公差。

对于精确控制的关键结构尺寸,如产品中还存在与之相同的构造因素,可以简化标注,即仅在其中 1 个因素上进行详细标注(其余相同因素不标注),同时,相同因素数量也可省略,但需将标注内容与不标注的相同构造因素进行关联,实现在读取信息时通过选择标注内容将相同构造因素位置全部高亮显示,便于加工制造识别。

对产品中的螺纹进行螺纹规格的标注,相同规格的螺纹参照相同构造因素的简化标注方法进行标注。

参考基准和形位公差是对模型关键结构的严格控制信息,应在模型中进行详细标注。

表面粗糙度一般根据表面配合情况进行设计,当某个粗糙度标注占多数时,可以取消在模型中的标注,而在图样空白处或技术要求中进行说明,其余粗糙度类型则须在模型中注明。

产品中的焊接信息应在焊缝处进行标注,相同焊接要求的焊缝简化标注与相同构造因素的简化标注规则相同。

运用简化标注方法标注的 3 维模型的技术要求除包含热处理、表面处理、制造要求、验收要求等,还应将未注尺寸查询基准以及需要说明的简化规则在技术要求中加以明确。以上标注内容的简化标注方法见表 2。

目前该方法还比较粗浅,其研究目的是探索简化尺寸标注的 MBD 设计方法在发动机研制工程实践中的可行性,通过某型发动机机匣的设计对该方法的可行性进行验证。

表 2 不同标注内容简化标注规则

标注内容	标注规则
结构尺寸	(1)按一般尺寸公差标准设计的结构尺寸不标注,从 3 维模型直接提取。 (2)一般公差尺寸以外的尺寸均需标注,比如外形控制尺寸、配合尺寸等;对机件内的相同构造因素(如孔、槽等),可仅在其中 1 个因素上标注出尺寸及公差,无需标注相同因素数量,其余未标注的相同因素通过关联对象与标注信息进行关联。
螺纹	标注螺纹规格,对机件内相同螺纹规格,可仅在其中 1 个螺纹上标注出规格,无需标注相同规格螺纹数量,其余未标注的相同规格螺纹通过关联对象与标注信息进行关联。
焊接	标注焊接符号,对机件内相同焊接要求的焊缝,可仅在其中 1 个焊缝处进行标注,无需标注相同要求焊缝数量,其余未标注焊缝通过关联对象与标注信息进行关联。
形位公差、参考基准	详细标注
表面粗糙度	全部相同或某个粗糙度标注占多数时,可在图样空白处或技术要求中进行说明。
技术要求	(1)对未注尺寸获取方法说明; (2)一般公差参考标准; (3)螺纹首尾参考标准; (4)其余粗糙度要求; (5)热处理、表面处理、制造要求、验收要求等其他技术要求; (6)其他简化标注规则说明。

3 在某型发动机机匣设计中的实践

3.1 某型发动机机匣结构方案简介

根据某型发动机总体结构布置、发动机附件安装、维护及部件试验借用的需要,机匣采用分段式结构,由连接环、机匣前段、机匣中前段、机匣中后段和机匣后段组成,如图 4 所示。其中除了机匣后段为沿用已有件外,其余机匣部分均采用金属材料经数控加

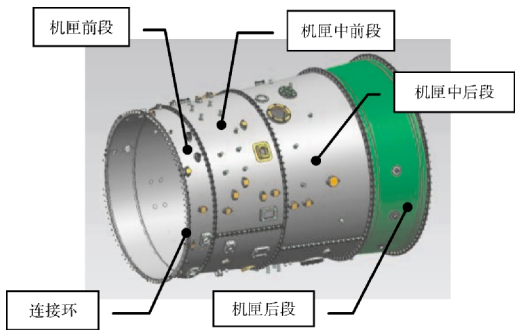


图 4 机匣结构

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

工而成，本次 MBD 简化标注实践对象即为金属机匣部分。

3.2　机匣 MBD 设计

采用简化尺寸标注的 MBD 设计方法完成了机匣设计,共生成大型零组件 MBD 模型 12 个,MBD 出图周期约为 30 天。采用简化尺寸标注的 MBD 设计方式与标注完整尺寸的设计方式相比，未增加模型数量，而 MBD 标注工作量大幅减少。

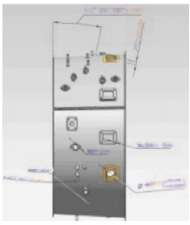
以机匣中前段加工组合件 MBD 设计的标注情况为例(如图 5 所示),图 5(a)为模型包含的全部视图,可见该模型仅包含 7 个视图，其中 4 个为外形控制和尺寸配合标注视图(如图 5(b)、(c)所示),1 个为基准与形位公差视图(如图 5(d)所示),1 个为表面粗糙度与焊接符号视图如图 5(e)所示),1 个为技术要求视图如图 5(f)所示)。从图中可以看出,通过简化 MBD 标注使标注信息大量减少,也使模型表达更加清晰,明确。



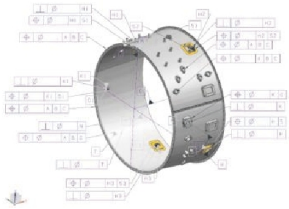
(a) 模型视图总览



(b) 外形控制、配合尺寸示例 1



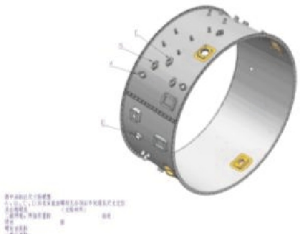
(c) 外形控制、配合尺寸示例 2



(d) 形位公差和基准



(e) 粗糙度与焊接符号



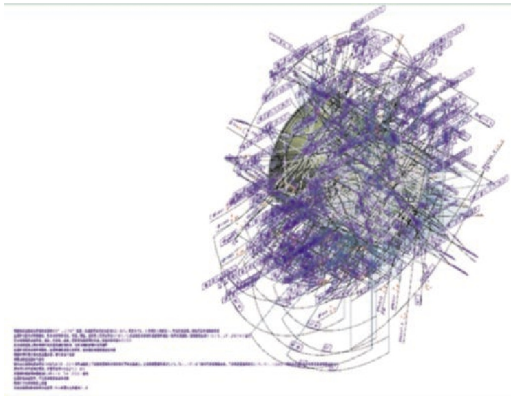
(f) 技术要求

图 5　机匣中前段加工组合件标注情况

另一型发动机机匣加工组合件 MBD 设计的标注情况如图 6 所示。该模型共包含 54 个视图,完整的 MBD 标注信息量巨大，增加了查找和读取信息的困难。



(a) 模型视图总览



(b) 模型 MBD 标注

图 6　某型发动机机匣尺寸标注情况

为进行更合理的比较,对机匣连接环、前段、中前段以及中后段加工组合件的标注数量进行了统计,总数为 228 个,而作为对比的另一型发动机的机匣加工组合件的标注数量为 846 个，标注数量相比减少了 73%。标注数量的减少大大减少了设计的工作量,提高了设计效率。另一方面,由于手工标注的尺寸大幅减少,降低了出错概率,因此也提高了设计质量。

3.3　机匣加工工艺路线

某公司根据简化尺寸标注 MBD 模型的新输入形式编制了机匣的加工工艺路线,如图 7 所示。首先对未注尺寸及公差进行二次分配,再在此基础上进行加工工艺规程以及数控机床加工程序的编制。其中,在对未注尺寸及公差进行二次分配时，遵循了以下原则:(1)未注尺寸基准参考 MBD 模型中有精度要求尺寸的基准选取;(2)未注尺寸由 MBD 模型分析测得,尽量按基准线测量，避免采用连续测量，以免尺寸公差累积产生较大误差,并尽可能的方便工艺生产;(3) 未注尺寸公差按 MBD 模型技术要求中的一般公差标准。

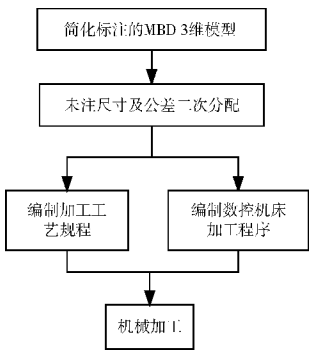


图 7　机匣加工工艺路线

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

3.4 机匣加工、装配验证情况

机匣图纸及生产相关文件发放到承制单位后，承制单位整个加工周期仅用时 2 个月，加工过程中未发现需与设计沟通的任何问题，未出现加工困难或不合格品；产品目前已通过装配验证，装配过程一切顺利，未出现装配困难部位或装配问题。

4 结论

本文在深入理解 MBD 技术内涵的基础上，结合航空发动机设计和制造行业的应用特点，研究并提出了简化尺寸标注的 MBD 设计方法，并在某型发动机机匣设计与加工的实践中进行了应用，有效地解决了复杂结构产品 MBD 标注的“刺猬”现象，大幅减少了设计的工作量，提高了设计效率。通过机匣的设计、生产及装配验证，说明了由简化尺寸标注 MBD 设计方法可带来较高水平的可制造性，证明了其在工程实践中的可行性。

后续可通过标准、规范的形式对简化尺寸标注的 MBD 设计方法进行更系统、更详细的规定，使其更具可操作性，进而推广应用到型号研制中，以减少设计工作量，并提高工作效率和设计质量。

参考文献：

[1] 周秋忠, 范玉青. MBD 技术在飞机制造中的应用[J].航空维修与工程, 2008, 13(3): 55-57.
ZHOU Qiuzhong,FAN Yuqing. Application of MBD on airplane manufacturing [J]. Aviation Maintenance & Engineering,2008, 13 (3): 55-57.(in Chinese)

[2] 史龙. MBD 的数字信息化探讨及应用 [J]. 科技风. 2011, 9(16): 30-32.
SHI Long. Discussion and application of digital information technology of MBD [J]. Technology Wind, 2011, 9(16): 30-32. (in Chinese)

[3] 安鲁陵,金霞. 基于三维模型定义技术应用的思考[J].航空制造技术, 2011, 23(12):45-47.
AN Luling,JIN Xia. Application of model based definition in aircraft development[J]. Aeronautical Manufacturing Technology,2011, 23(12): 45-47. (in Chinese)

[4] 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(1-4): 1-14.

[5] 潘康华. 基于 MBD 的机械产品三维设计标准关键技术及应用研究[D]. 北京，机械科学研究总院, 2012.
PAN Kanghua. Research on key technology and application of the MBD-based three-dimensional design standards for mechanical products [D].Beijing: China Academy of Machinery Sicence & Technology, 2012. (in Chinese)

[6] Proctor Pall, Wash Everett. Boeing rolls out 777 to tentative market [J]. Aviation Week & Space Technology, 1994, 140(15): 36-39.

[7] 丁红宇,张红旗.《机械产品三维建模通用规则》系列标准研究[J].机械工业标准化与质量,2009, 7(11): 30-32.
DING Hongyu,ZHANG Hongqi. Research on series standard of General rules for 3D modeling of mechanical products [J].Machinery Industry Standardization & Quality.2009, 7(11): 30-32.(in Chinese)

[8] Virqilio Quintana, Louis Rivest, Robert Pellerin. Will model-based definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle a global perspective from aerospace industry [J]. Computers in Industry. 2010, 61(2): 497-508.

[9] 薛莲. 基于 MBD 的三维模型标注研究[J].信息技术与信息化,2015(5): 83-86.
XUE Lian. Research on 3D model annotation based on MBD [J].Information Technology and Informatization,2015(5): 83-86. (in Chinese)

[10] MIL-STD-31000A: Model based enterprise[S].Department of Defense USA,2013.

[11] 范玉青, 周建华. 产品三维数字化定义在波音飞机公司的应用[J]. 航空工艺技术,1996(2):7-10.
FAN Yuqing,ZHOU Jianhua. Product definition by 3D digitizing at boeing company [J]. Aeronautical Technology,1996 (2):7-10. (in Chinese)

[12] 巩玉强. 基于 MBD 的飞机结构件设计和应用[J]. 电子技术与软件工程, 2014(8):82-85.
GONG Yuqiang. Design and application of aircraft structural parts based on MBD [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2014(8):82-85. (in Chinese)

[13] 周超,张树生. 面向三维工序数模构建的特征标注方法研究[J]. 工具技术,2014,48(8):77-81.
ZHOU Chao,ZHANG Shusheng. Research of dimensioning system based on feature for constructing 3D process digital models[J]. Tool Engineering,2014,48(8):77-81. (in Chinese)

[14] 李健,邱明星,苏媛媛,等. MBD 技术在航空发动机设计中的应用[J].航空发动机,2015, 41(1):32-35.
LI Jian,QIU Mingxing,SU Yuanyuan,et al. Research on application of MBD technology in aeroengine design[J]. Aeroengine,2015, 41(1): 32-35. (in Chinese)

[15] 吕春光,邱明星,田静. 航空发动机外涵机匣结构建模方法研究[J]. 航空发动机,2012,38(1):29-32.
LV Chunguang,QIU Mingxing,TIAN Jing. Study of modeling method for aeroengine bypass duct [J]. Aeroengine,2012,38 (1):29-32. (in Chinese)

（编辑：刘 静）

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn