

教育部—西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

PMI 技术与三维标注

李春燕 耿其东◎编著

西门子工业软件（上海）有限公司 监制

提供课件等配套资源（www.hxedu.com.cn）



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

教育部-西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

PMI 技术与三维标注

李春燕 耿其东 编 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书顺应产品制造信息基于模型的三维标注替代传统基于工程图的二维标注的发展趋势,体现了“中国制造 2025”规划要求。

本书遵照“卓越工程师教育培养计划”的要求,在知行合一、能力为本的教学思想指导下,介绍 PMI 技术与三维标注的基础知识;将三维标注的国家标准与 Siemens PLM Software 软件有机融合,重在训练读者运用 Siemens PLM Software 软件工具,解决零件、装配件三维标注的能力和方法。本书从工程实践中选取典型案例,让读者系统了解 PMI 技术与三维标注实际应用的流程和方法。为强化读者的能力训练,每个章节都附有相应的练习题目供读者练习。

整本书图文并茂,循序渐进,通俗易懂,符合读者的认知过程。通过学习本书,读者可以全面掌握三维标注的方法,初步具备使用 NX PMI 对零部件进行三维标注的能力。

本书可供机械类专业的本科生或大专生作教材,也可作为工程技术人员的参考资料或培训教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

PMI 技术与三维标注 / 李春燕, 耿其东编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.12

教育部—西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

ISBN 978-7-121-27652-1

I. ①P… II. ①李… ②耿… III. ①项目管理—高等学校—教材 IV. ①F224.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 283056 号

策划编辑: 许存权

责任编辑: 许存权 特约编辑: 王 燕 刘海霞

印 刷: 三河市兴达印务有限公司

装 订: 三河市兴达印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 18.75 字数: 480 千字

版 次: 2015 年 12 月第 1 版

印 次: 2015 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 元 (含 DVD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

Preface

Siemens PLM Software has partnered with the Education Management Information Center of the People's Republic of China Ministry of Education (MOE) to support education in engineering technology and help provide the global manufacturing industry with a highly trained and heavily recruited workforce.

This textbook cultivates innovative engineering technology talent and enhances career competitive advantages for china's university students. It supports the use of leading edge technology to give students a solid platform to become the excellent engineer in the 21st century, and the pioneer the development of digital and intelligent manufacturing throughout the country.

This book combines theory and practice through explanation and examples to enhance the reader's basic knowledge and skills product lifecycle management (PLM).

The curriculum integrates attributes and processes from Siemens PLM software, which is used by leading manufacturing companies around the globe to develop some of the world's most sophisticated products. This includes NXTM software for integrated computer-aided design, manufacturing and engineering simulation (CAD/CAM/CAE), Teamcenter[®] software for digital lifecycle management software and Tecnomatix[®] software for digital manufacturing.

Strong instruction by top Chinese universities accelerates the development of certified industrial IT talent and boosts the application of computer-aided and digital technologies in the field of engineering.

We are impressed with the innovative engineering design projects developed by students leveraging this textbook with top notch classroom instruction.

Leo Liang
CEO and Managing Director
Greater China
Siemens PLM Software

Dora Smith
Global Director
Academic Partner Program
Siemens PLM Software

序 言

Siemens PLM Software 与教育部高等教育司合作，支持工科类教育事业，为全球制造业培养和提供大量训练有素的人才。

本系列教材适用于创新型工程技术人才的培养，有助于提高大学生的职业竞争力，为学生成为21世纪优秀工程师、全国的数字化和智能制造业发展先驱提供了一个领先的技术平台。

本系列教材将理论和实践相结合，通过详细的解析及案例分析，增强了读者掌握产品全生命周期（PLM）的基本知识和技能。

本系列教材集成了Siemens PLM Software的操作及属性，该软件被全球制造业公司用于开发最复杂的产品，软件包括NX™集成计算机辅助设计、制造和工程仿真（CAD/CAM/CAE）软件、Teamcenter®产品全生命周期管理软件、Tecnomatix®数字化制造软件。

在其强有力的引导下，中国顶尖大学加速了工业认证IT人才的发展，提高了计算机辅助技术和数字化技术在工程领域的应用水平。

我们深信，读者在本系列教材及顶级课堂教学的指引下，便能掌握创新性工程设计项目的开发。

梁乃明

首席执行官兼董事总经理

大中华区

Siemens PLM Software

Dora Smith

全球总监

教育合作发展部

Siemens PLM Software

前 言

此教材是教育部—西门子 2013 年产学合作专业综合改革项目系列教材之一（教高司函[2013]101 号）。

随着三维 CAD 技术的发展，产品制造信息在三维模型与二维图纸之间的冲突越发激烈，影响着产品制造信息的正确、快速传递，产品制造信息在三维模型和二维图纸的反复传递过程中增加了许多重复工作量。因此，以标注了产品制造信息的三维模型作为生产制造唯一依据，基于三维模型的产品定义技术应运而生。2003 年，美国国家标准“ASME Y14.41-2003 Digital Product Definition Data Practices”的颁布，标志着三维标注及其标准化技术进入了实用化阶段。2006 年，ISO 组织颁布了“ISO 16792-2006 Technical Product Documentation-Digital Product Definition Data Practices”。2009 年，我国全国技术产品文件标准化技术委员会颁布了 GB/T 24734.1~24734.11-2009《技术产品文件数字化产品定义数据通则》，标志着我国基于三维模型的产品定义技术应用与国际接轨。

随着现代数字化制造和数字化工厂理念的日趋成熟，很多企业已在制造车间实现了信息联网，部署了数字显示终端，使得 3D 数据能够直接传输到生产现场，传统的纸质图纸及工艺文件将被逐步取代。产品制造信息基于模型的三维标注替代传统基于工程图的二维标注，已成为设计制造技术的发展趋势。

Siemens 公司开发的 NX PMI（产品制造信息）功能模块提供了完整的三维标注技术，同时提供了基于模型的产品全生命周期一体化解决方案，并已在全球著名的制造业企业——波音航天航空公司得到验证。在中国，中航工业沈阳发动机设计研究所、西安航空发动机（集团）公司等率先将 PMI 技术应用于产品的设计生产之中。

顺应产品设计制造技术发展的趋势，在 Siemens 公司资深专家的参与下，以 GB/T 24734.1~24734.11-2009《技术产品文件数字化产品定义数据通则》等系列标准为依据，以 Siemens 公司 NX PMI 为技术工具，编写了两者有机融合的本书。以期为工业界培养急需的掌握国家相关标准，能够运用三维标注技术解决产品设计制造实际问题的技术人才。

本书共 8 章。第 1 章介绍三维标注和 PMI 技术的发展和研究现状；第 2 章详细介绍三维标注有关的国家标准；第 3、4 章具体介绍 NX PMI 工具实现各类信息标注的方法，包括尺寸、注释、轻量化剖视图等；第 5 章介绍企业实施三维标注时应制定的一般要求；第 6、7 章以典型工程案例为对象，介绍三维标注的实际应用，包括典型零件和装配结构等；第 8 章介绍企业应用的解决方案。

参加本教材编写工作的有机械科学研究总院生产力促进中心标准化研究所潘康华（第 1 章）、杨东拜（第 2 章），盐城工学院李春燕（第 3、6 章）、耿其东（第 4、7、8 章），中国南方航空工业（集团）有限公司的王静宜（第 5 章）。

在教材编写过程中，得到了盐城工学院副校长刘德仿先生、优集学院副院长陈青女士，Siemens PLM Software 公司高级顾问方正先生、资深专家孟军良先生和赵辉女士，南京易之恒软件技术有限公司总经理周益民先生等的大力支持和指导。盐城工学院的王俊、杨乐等同学承担了教材文本处理、模型创建等方面的部分工作。本书在编写过程中参考了国内同行编写的很多同类优秀教材和研究成果，在此一并致以衷心的感谢。

限于编者学识水平，书中的不妥甚至错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

Jim Rusk

产品工程软件高级副总裁

Siemens PLM Software

目 录

第 1 章 概述	1	3.1.1 PMI 工具条	56
1.1 三维标注技术的研究现状	1	3.1.2 PMI 的显示	59
1.1.1 标注技术的发展历程	1	3.2 创建并放置 PMI	59
1.1.2 基于模型数字化定义 技术	2	3.2.1 在模型视图管理 PMI	59
1.1.3 企业实施数字化定义的 实践与挑战	3	3.2.2 PMI 首选项	60
1.1.4 数字化定义技术对产品 研发模式的影响	5	3.2.3 公差标准	62
1.1.5 实现数字化定义技术的 挑战与对策	6	3.2.4 调整 PMI	63
1.2 全三维表达模式的历史必然性	8	3.2.5 PMI 注释平面	63
1.3 全三维标注与 PMI 技术	9	3.2.6 PMI 关联对象	64
课后习题	12	3.2.7 层叠 PMI	64
第 2 章 三维标注的国际、国家标准	13	3.2.8 创建各类注释对话框中 公共选项	66
2.1 三维标注标准的制定和发布	13	3.2.9 样例 3-1: 创建 PMI 视图 并添加实例	69
2.1.1 三维标注标准体系的 创建	13	3.2.10 样例 3-2: 模型视图中 PMI 可见性	70
2.1.2 已颁布的三维标注标准	15	3.2.11 样例 3-3: 编辑 PMI 首 选项	72
2.2 数字化产品定义数据通则 标准	18	3.2.12 样例 3-4: 创建层叠的 PMI	73
2.2.1 术语和定义	18	3.3 三维尺寸标注	75
2.2.2 数据集识别与控制	20	3.3.1 快速创建 PMI 尺寸	75
2.2.3 数据集要求	21	3.3.2 线性尺寸	78
2.2.4 设计模型要求	24	3.3.3 径向尺寸	81
2.2.5 产品定义数据通用要求	24	3.3.4 角度尺寸	84
2.2.6 几何建模特征规范	28	3.3.5 倒斜角尺寸	88
2.2.7 注释要求	37	3.3.6 厚度尺寸	90
2.2.8 模型数值与尺寸要求	37	3.3.7 弧长尺寸	91
2.2.9 基准的应用	42	3.3.8 坐标尺寸	91
2.2.10 几何公差的应用	44	3.3.9 样例 3-5: 在用户定义的 注释平面上创建 PMI	95
2.2.11 模型几何细节层次	53	3.3.10 样例 3-6: 创建 3D 水平 尺寸	98
课后习题	55	3.4 各类注释信息标注	99
第 3 章 PMI 基本信息标注方法	56	3.4.1 注释	99
3.1 PMI 概述	56		

3.4.2	特征控制框	104	4.4.1	三类安全标记	159
3.4.3	基准特征符号	107	4.4.2	样例 4-5: 使用 PMI 安全标记	162
3.4.4	基准目标	108	4.5	剖面视图	164
3.4.5	表面粗糙度	109	4.5.1	轻量级剖视图	164
3.4.6	焊接符号	112	4.5.2	剖视图	168
3.4.7	符号注释	116	4.5.3	样例 4-6: 创建一个平面 类型的轻量级剖视图	170
3.4.8	样例 3-7: 在部件中添加 PMI 注释	117	4.5.4	样例 4-7: 创建方块类型 的 PMI 轻量级剖视图	171
3.4.9	样例 3-8: 创建并编辑 表面粗糙度	120	4.6	搜索和报告	173
3.4.10	样例 3-9: 创建焊接 符号	122	4.6.1	PMI 报告	173
	课后习题	123	4.6.2	查找与几何体关联的 PMI	174
第 4 章	PMI 专业信息的标注方法	127	4.6.3	PMI 搜索	176
4.1	PMI 自定义符号	127	4.6.4	样例 4-8: 获取 PMI 报告	178
4.1.1	定制符号	127	4.6.5	样例 4-9: 查找与几何 体关联的 PMI	178
4.1.2	定义定制符号	130	4.6.6	样例 4-10: 搜索 PMI	180
4.1.3	打散定制符号	133	4.7	PMI 编辑	182
4.1.4	替换定制符号	134	4.7.1	编辑注释	182
4.2	补充几何体	135	4.7.2	编辑设置	182
4.2.1	PMI 区域	135	4.8	检查 PMI 形位公差有效性	183
4.2.2	PMI 中心标记	139	4.8.1	检查方法	183
4.2.3	PMI 中心线	141	4.8.2	样例 4-11: 检查 PMI 形位公差语义与句法有 效性	184
4.2.4	样例 4-1: 创建并编辑 圆形 PMI 区域	142	4.9	PMI 装配过滤器	185
4.2.5	样例 4-2: 创建 PMI 中心线和中心标记	144	4.10	PMI 数据重用	187
4.3	专用 PMI	146	4.10.1	继承 PMI	187
4.3.1	坐标注释	147	4.10.2	PMI 双向编辑	188
4.3.2	一般信息的注释	149	4.10.3	PMI 和 JT 文件	189
4.3.3	特定信息	151	4.10.4	WAVE PMI 链接器	189
4.3.4	定位器指示符	153	4.10.5	样例 4-12: 继承 PMI 数据	189
4.3.5	用户定义的 PMI	154	4.10.6	样例 4-13: PMI 双向 编辑	191
4.3.6	文本注释	154	4.10.7	样例 4-14: 将 PMI 从	
4.3.7	样例 4-3: 创建并编辑 一般注释	155			
4.3.8	样例 4-4: 创建不同类 型的 PMI 注释	157			
4.4	安全标记	159			

一个部件 WAVE 链接 到另一个部件.....	192
课后习题.....	194
第 5 章 PMI 应用的一般要求.....	197
5.1 通用要求.....	198
5.2 NX 三维标注环境设置和视图 要求.....	199
5.2.1 NX 三维标注环境的 设置.....	199
5.2.2 视图要求.....	200
5.3 尺寸标注要求.....	202
5.3.1 一般步骤.....	202
5.3.2 基本要求.....	204
5.4 各类符号标注.....	209
5.4.1 基准的应用.....	209
5.4.2 几何公差应用.....	210
5.4.3 表面粗糙度.....	211
5.4.4 焊接.....	213
5.5 其他信息的标注.....	214
5.5.1 注释.....	214
5.5.2 技术要求.....	215
5.5.3 PMI 区域.....	216
5.5.4 参数表.....	217
课后习题.....	217
第 6 章 典型零件的三维标注.....	219
6.1 基本特征的三维标注.....	219
6.1.1 45 度倒角的标注.....	219
6.1.2 非 45 度倒角的标注.....	220
6.1.3 对称结构的标注.....	221
6.1.4 弧长的标注.....	224
6.1.5 半剖视图的标注.....	224
6.1.6 斜孔的标注.....	226
6.2 盘类零件的三维标注.....	227
6.2.1 阵列圆的标注.....	227
6.2.2 创建剖视图.....	230
6.2.3 直径尺寸的标注.....	230
6.2.4 创建注释方式的倒角 标注.....	231
6.2.5 基准符号的标注.....	232
6.2.6 形位公差的标注.....	232
6.3 轴类零件的三维标注.....	233
6.3.1 长度尺寸的标注.....	233
6.3.2 圆柱的标注.....	235
6.3.3 轴端孔的标注.....	236
6.3.4 轴上平面尺寸的标注.....	238
6.3.5 基准及形位公差的 标注.....	238
6.3.6 粗糙度的标注.....	241
6.3.7 与表达式关联的倒角 注释标注.....	241
6.4 典型零件的三维标注.....	242
6.4.1 典型零件介绍.....	242
6.4.2 二维工程图分析.....	242
6.4.3 三维标注的实现.....	243
课后习题.....	248
第 7 章 产品装配的三维标注.....	251
7.1 减速器装配信息的三维标注.....	251
7.1.1 首选项的设置.....	251
7.1.2 件名的创建.....	252
7.1.3 明细栏的创建.....	253
7.1.4 技术要求的创建.....	254
7.1.5 最大外形尺寸的标注.....	255
7.2 球心阀装配信息的三维标注.....	256
7.2.1 创建爆炸视图.....	257
7.2.2 明细栏的创建.....	258
7.2.3 创建件号.....	259
7.2.4 创建主视图标注主要 尺寸.....	261
7.2.5 补充信息的标注.....	264
7.2.6 技术要求的创建.....	264
7.2.7 全息模型的表达.....	265
课后习题.....	266
第 8 章 基于模型的定义在产品全生 命周期的应用.....	267
8.1 基于模型的企业 (MBE) 解决 方案.....	267
8.1.1 基于模型的企业 (MBE) \ 的组成.....	268

8.1.2	基于模型的企业 (MBE) 的能力矩阵	271	8.2.7	基于模型的装配工艺 解决方案	280
8.2	西门子 MBE 解决之道	275	8.2.8	基于模型的质量检测 解决方案	281
8.2.1	基于模型的系统工程 解决方案	277	8.2.9	基于模型的作业指导书 解决方案	282
8.2.2	基于模型的三维产品 设计解决方案	277	8.2.10	基于模型的制造执行 管理	282
8.2.3	基于模型的设计分析 应用解决方案	278	8.3	基于西门子软件的 MBD 应用 系统	283
8.2.4	基于模型的全生命周期 质量管理解决方案	279	8.4	西门子 MBE 解决方案的价值 定位	289
8.2.5	基于模型的工装设计 解决方案	279		课后习题	289
8.2.6	基于模型的零件工艺 解决方案	280		参考文献	290

第 1 章 概述

1.1 三维标注技术的研究现状

1.1.1 标注技术的发展历程

进入工业化时代以来,随着计算机技术的发展和三维 CAD 技术的日趋成熟、普及,产品定义技术经历了从二维工程图到三维模型发展的三个阶段。

1. “二维设计、二维出图”阶段

在近代工业革命的进程中,随着生产的社会化,1795 年法国科学家蒙日系统地提出了以投影几何为主线的画法几何,把工程图的表达与绘制高度规范化、唯一化,工程图便成为工程界中常用的产品定义语言。

自 20 世纪 60 年代起,又出现了以计算机绘图来代替图板手工绘图的 CAD 技术。1991 年,国家科技部提出“甩图板”口号,全国机械领域的研究院所、企业和高校经过不懈的努力,应用了以 AutoCAD 为代表的二维 CAD 软件,逐步实现了工程图从手工绘制到计算机绘制的转变。这个阶段以二维工程图为唯一交付物。

2. “二维为主,三维为辅”阶段

此阶段的设计到制造以二维图纸为准,二维归档,三维模型只在局部环节应用,例如,CAE 分析、CAM 数控加工编程,以及虚拟装配等必须使用三维模型才能展开工作的环节。这些环节必须进行三维建模,否则可能引起产品性能不足或对产品质量产生较大影响,甚至造成难于生产制造或生产效率低下等影响。

3. “三维设计、二维出图”阶段

随着三维建模技术的发展和应用,产品设计模式演变为先利用三维 CAD 软件构建三维模型,再利用三维建模软件自动完成投影、消隐生成二维工程图,并进行必要的修改和标注。该阶段以二维工程图为主、三维模型为辅,同时作为交付物向下游设计环节传递。三维模型与二维图纸处于同样的重要地位,需要同时进行归档。这种设计模式充分发挥了三维 CAD 系统的几何表现能力,但由于规范与标准相对滞后,以及车间的软硬件环境不足等局限,还有大量的传统制造工艺与设备的大量存在,新技术向制造下游的传递遇到了一些阻力,同时由于缺乏有效的制造工艺、检验信息的三维表达方法,在产品制造过程中二维工程图还无法被完全取代。

4. 全三维数字化设计阶段

1997 年,美国机械工程师协会在波音公司的协助下发起了三维标注技术及其标准化的研究,并最早于 2003 年形成了美国国家标准“ASME Y14.41-2003 Digital Product Definition Data Practices”。2006 年,ISO 组织借鉴 ASME Y14.41 制定了 ISO 标准草案“ISO 16792-2006 Technical Product Documentation-Digital Product Definition Data Practices”,为欧洲及亚洲等国家的用户提供了支持。2009 年,我国 SAC/TC146 全国技术产品文件标准化技术委员会以 ISO 16792 为蓝本,制定了 GB/T 24734.1~24734.11-2009《技术产品文件数字化产品定义数据通则》。

同时,随着 CAX、PLM 技术及应用软件的不断发展,企业信息化建设的逐步推进,以及现代数字化制造和数字化工厂理念的日趋成熟,很多企业已在制造车间实现了信息联网,并且部署了数字显示终端,使得 3D 数据直接下车间已成为可能,传统的纸质图纸及工艺文件被逐步取代已成为必然趋势。

在软件实现方面,国际主流的知名的工业软件供应商 Siemens、Dassault、PTC 等公司分别在自己的 CAD 产品中实现了三维标注等相关功能模块,使得产品设计和制造过程最终摆脱二维工程图的束缚成为了可能。

1.1.2 基于模型数字化定义技术

当前,国内外大型装备制造企业对数字化技术的理解逐渐加深,三维数字化设计技术得到了广泛的应用,基于模型定义(Model-Based Definition,简称 MBD)的数字化设计与制造技术已经成为制造业信息化的发展趋势。MBD(Model-Based Definition),即基于模型的定义,有时又称为数字产品定义,是一种面向计算机应用的产品数字化定义技术,它是指产品定义的各类信息按照模型的方式组织,其核心思想是用一个集成的三维实体模型来完整地表达产品定义信息,实现面向制造的设计。MBD 改变了传统的由三维实体模型来描述几何信息,而用二维工程图来定义尺寸、公差和工艺信息的产品数字化定义方法。同时,MBD 使三维实体模型成为生产制造过程中的唯一依据,改变了传统以二维工程图纸为主,而以三维实体模型为辅的制造方法。

采用 MBD 技术定义的三维实体模型又称为 MBD 数据集,分为装配模型与零件模型两种,其组织定义如图 1-1 所示。

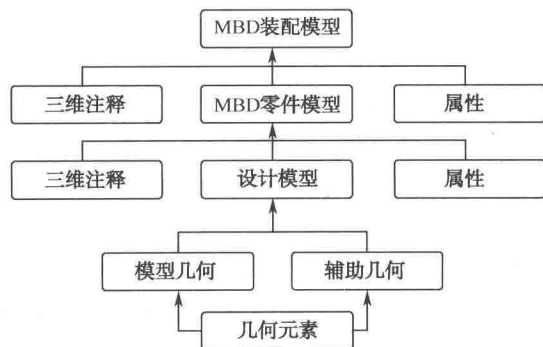


图 1-1 MBD 数据集的组织定义

MBD 零件模型一般由设计模型、三维注释集和属性组成。几何模型以简单几何元素构成,并用三维图形的方式描述了产品的几何形状信息。三维注释和属性统称为非几何信息,前者包含了产品的尺寸与公差范围、制造工艺和精度要求等生产必需的工艺约束信息,后者则表达了产品的原材料规范、分析数据、测试需求等产品内置信息。而 MBD 装配模型则是由一系列 MBD 零件模型组成的装配零件列表加上以文字表达的非几何信息(包括配合公差、BOM 表等)组成的。这种标注有产品制造信息的模型有时又称为全信息模型,简称全息模型。

MBD 技术不是简单地在三维模型上进行三维标注,它不仅描述设计几何信息而且定义了三维产品制造信息和非几何的管理信息(产品结构、PMI、BOM 等),它通过一系列规范的方法能够更好地表达设计思想,具有更强的表现力,同时打破了设计制造的壁垒,其设计、制造特征能够方便地被计算机和工程人员解读,而不是像传统的定义方法只能被工程人员解读,这就有效地解决了设计、制造一体化的问题。

MBD 模型的建立,不仅仅是设计部门的任务,工艺、检验都要参与到设计的过程中,最后形成的 MBD 模型才能用于指导工艺制造与检验。MBD 技术融入知识工程、过程模拟和产品标准规范等,将抽象、分散的知识集中在易于管理的三维模型中,设计、制造过程能有效地进行知识积累和技术创新,将成为企业知识固化和优化的最佳载体。

1.1.3 企业实施数字化定义的实践与挑战

MBD 技术采用包含了三维几何模型、尺寸和几何形位公差标注,以及属性注释等产品制造信息的单一主模型来完整表达产品定义信息,并将其作为产品制造过程中的唯一依据,从而实现设计、工艺、制造、检测等各业务的高度集成。MBD 技术实现了单一数据源,消除了传统研发模式中的三维模型与二维图纸之间的信息冲突,减少了创建、存储和追踪的数据量,保证了产品制造信息的正确性和快速传递,从而有效地缩短了产品研制周期,减少了重复工作,提高了生产效率和产品质量。

随着 MBD 技术应用的逐步深入,MBD 技术在国外已经得到了广泛的认同和较为深入的应用,主要体现在以下两个方面。

(1) 数字产品定义相关标准的制定和发布:美国机械工程师协会于 2003 年发布了 ASME 14.41 “数字产品定义数据实践”标准,为 MBD 技术的应用设置了基本准则。该标准现今已经被国际标准化组织所采用,并于 2006 年采纳为 ISO 16792 “技术产品文件—数字产品定义数据实践”标准。另外,很多企业根据自身的特点和需求,在这些标准基础上,做了进一步研发工作,制定了自己的标准规范,例如,波音公司制定了基于模型定义的 MBD 技术应用规范 BDS-600 系列,为顺利实现 MBD 技术的应用奠定了基础。

(2) 三维可视化 JT 文件格式标准 ISO 14306 发布:2012 年 12 月,ISO 发布了 ISO 14306 “三维可视化 JT 文件格式”标准,促进了 MBD 模型数据的共享和可视化。轻量化 JT 数据格式可实现数字化三维产品数据在产品生命周期各阶段的实时共享和可视化,通过 JT,制造商可在支持 JT 标准的大量计算机辅助设计(CAD)和产品生命周期管理(PLM)软件应用之间实现三维产品数据(MBD 模型数据)的即时、无缝传递,促进各业务环节过程和数据的有效协同。

MBD 技术在国外众多企业得到应用。例如,波音公司在以波音 787 为代表的新型客机研制过程中,全面采用了 MBD 技术,将三维产品制造信息(Product Manufacturing Information, PMI)与三维设计信息共同定义到产品的三维数字化模型中,摒弃二维图样,直接使用三维标注模型作为制造依据,开创了飞机数字化设计制造的崭新模式。近年来,波音公司在战神航天运载工具和 C130 中,采用 MBD、MBI 技术使得装配时间缩短了 57%,引发了三维数字化设计制造的第二次浪潮。作为上游企业,波音公司在合作伙伴中也全面推行了基于模型的数字化定义技术;R&R 公司开始应用主模型驱动的技术,以具有 PMI 三维标注的模型作为单一数据源,贯穿产品研发的各个环节;GE 航空发动机应用主模型驱动技术,实现三维主模型与多种具体应用或任务关联,极大地缩短了产品研制周期,节省了研制成本;洛克希德·马丁公司提出了 3D PMI 的计划,通过具有 PMI 的三维产品模型在产品研制各阶段的应用,不断完善企业的业务流程。

以主模型/PMI 驱动的技术(其内涵与 MBD 相似)已经成为了国外航空企业的共识,通过 35 个应用案例的研究,大家都认同了以 PMI 驱动的少图纸或无图纸的产品研制流程,PMI 驱动的最佳实践贯穿于整个产品全生命周期,包括以下几个方面。

- (1) 将 PMI 作为需求进行描述和管理。
- (2) 创建关联 PMI 的产品模型。
- (3) 基于 PMI 的公差仿真。
- (4) PMI 驱动的基于特征的加工。
- (5) PMI 驱动的 CMM 数控检测编程。
- (6) 将具有 PMI 的模型数据共享给供应商,使其能容易地浏览查看。
- (7) 基于 PMI 的装配和 3D 现场作业指导说明。
- (8) 基于 PMI 的自制或外购。
- (9) PMI 在生产、供应商处的应用。
- (10) PMI 在 MRO(维护/维修)中的应用。
- (11) 基于 PMI 的 CMM 执行和质量记录。
- (12) PMI 分析:规划与实作之间的比较。

近年来,国内大型装备制造企业已认识到 MBD 技术的优势,并逐步开始应用 MBD 技术进行产品设计,并将 MBD 模型作为制造的唯一依据。我国的 MBD 全三维数字化设计也是从波音公司的转包生产中开始逐步发展起来的。如今在我国航空航天工业中,“三维模型下车间”等设计模式正在如火如荼地展开,基于 NX、CATIA、Pro/E 的全三维设计规范也在不断完善,应用水平也比较高,在飞机、卫星、火箭等典型产品的生产上也基本打通了整个数字化设计制造数据链。同时,在大型装配制造业中,南车集团、北车集团等在高速列车的设计生产中,也正在全面推行 MBD 全三维数字化设计及三维工程化应用工作。中航在某型号飞机机头物理样机的研制中,首次把全三维设计技术应用于型号的研制中。在此研制过程中,没有使用一张二维图样,全部使用三维模型,效果显著,得到了设计、制造及其行业内各方的认可。2009 年 12 月新华网关于“中国大型客机机头工程样机主体结构交付”的报导中指出,C919 大型客机机头工程样机运用大量先进制造技术,不仅首次全部采用模块化定义规范开展全三维数字化设计和模块化管理,还利用 PDM 数据管理系统开展在线全关联设计,使得协调便捷快速。

MBD 技术从 2007~2008 年开始逐步引入国内, MBD 技术在国内的应用得到了快速发展, 包括航空、航天和兵器等行业都在全面研究和应用 MBD 技术。还有很多企业开展了 MBD 技术的应用, 并已经开始了基于 MBD 的产品设计模型数据的发放并初步形成了基于 NX 软件的 MBD 三维标注规范。

有关 MBD 技术的研讨和技术交流也在持续进行。近年来, 有关 MBD 技术研究和应用的文章资料不断增多, 例如, 航空工业出版社发行的《大型飞机数字化制造工程》就对 MBD 技术及其在飞机部件中的应用进行了介绍。同时, 随着 MBD 技术应用的深入, 大家对 MBD 技术具有了更深的认识并具有了更多的经验, 有关 MBD 技术的研讨和技术交流也在持续进行, 以下是一些实例。

(1) 2010 年 5 月 20 日, 中航工业 MBD 技术专题研讨会在航空城阎良顺利召开。通过交流讨论, 与会各方面的代表一致认为: 目前在飞机设计制造过程中, 全面实施和应用集成的数字化协同设计、制造、试验技术已成为各国和各大航空制造公司提升整体飞机设计、制造水平、缩短设计制造周期、降低设计制造成本、提高飞机产品质量、改变传统研制方法的非常有效的途径。

(2) 2011 年 6 月 16 日, 主题为“MBD 技术在航空制造业中的应用”的 2011 航空信息化论坛在大连举行, 大会旨在加速大飞机研制进程, 推进 MBD 技术在飞机设计、制造领域中的应用, 会议深入讨论了国内外航空制造业 MBD 技术应用现状及发展方向、全三维研制亟待突破的关键技术、全三维研制技术在型号研制中的应用等。

(3) 2013 年 8 月 21 日~24 日, 由中国航空学会制造工程分会主办的第三届 MBD 技术年会在贵阳举行, 年会主题为“MBD 在机加件和部装总装中的成熟应用”。

MBD 技术应用标准规范的制定正在进行。“SAC/TC146 全国技术产品文件标准化技术委员会”根据目前我国机械制造企业的现状及具体情况, 开展了基于模型定义的标准 (Model Based Definition of Standards, MBDS) 的制定工作, 提出了 MBDS 标准的基本模型。已经发布了部分成熟的 MBD 国家标准, 包括 GB/T 24734-2009 “技术产品文件 数字化产品定义数据通则”的标准, 该标准从 2010 年 9 月开始实施; GB/T 26099-2010 “机械产品三维建模通用规则”标准, 该标准从 2011 年 10 月开始实施; GB/T 26100-2010 “机械产品数字样机通用要求”标准, 该标准从 2011 年 10 月开始实施; GB/T 26101-2010 “机械产品虚拟装配通用技术要求”标准, 该标准从 2011 年 10 月开始实施。

为了制定“机械产品三维图样技术规则”和“机械产品三维图样文件管理”标准, SAC/TC 146 全国技术产品文件标准化技术委员会在 2012 年组织了分属航空、汽车、铁道机车、通用机械等不同行业的五家企业开展了 MBDS 标准制定的试点工作。

1.1.4 数字化定义技术对产品研发模式的影响

基于 MBD 的数字化产品研发模式的内涵是关键业务过程的无图纸化和全三维实现, 这必将对多年来以二维图纸, 或二维图纸加三维模型为数据传递依据的传统研发模式带来巨大的变革, 其影响包括对产品设计、工艺规划、制造和检测等关键业务过程的影响, 对供应商、合作伙伴及客户之间交流协同的影响, 对标准化、档案、信息化等管理的影响, 具体体现如下。

1. 产品设计

(1) 三维模型包含所有产品研制的信息, 包括设计模型、注释、属性, 需要有效的工具来定义和管理。

(2) 三维模型上信息的分类管理和显示, 便于不同的人员按照不同的视图进行快速查询。

(3) 面向制造的设计。确保 MBD 模型既反映产品的物理和功能需求, 即客户需求的满足, 又满足可制造性, 创建的 MBD 模型能满足制造应用的需求, 在后续的应用中可直接应用。

(4) 产品设计与工艺制造的协同, 实现产品研制的并行协同。

(5) 设计结果的审校模式的转变, 由基于图样的审校转变为基于三维模型的审校, 需要有相应的手段来实现基于三维模型的审校圈阅及追踪。

2. 工艺规划

工艺规划将以三维产品模型为依据, 从二维文档卡片式工艺设计方式转变为结构化三维工艺设计方式, 并且由三维可视化工序模型取代传统二维工序简图, 从而实现工艺设计的有: 数据来源三维化、工艺结果结构化、工序模型三维化、工装设计三维化、工艺编制三维可视化、工艺仿真三维化、工艺输出三维化、车间执行三维化。

3. 产品制造和质量检测

操作信息的展示由现场的终端显示取代了图纸、数控作业, 所占比例大幅度提高。基于图样的检验转变为基于三维模型的检验、数控检测作业, 所占比例大幅度提高。

4. 上、下游协同

基于技术要求、图样和报告的与用户、合作伙伴、供应商之间的交流沟通和交付方式被以三维模型的交流沟通和交付方式所取代。

5. 标准化、档案和信息化平台

需要有基于三维数字化产品研发的标准规范来适应新的产品研发模式。电子归档代替了实物归档、必须要有统一的 PDM 系统对三维电子数据进行有效的管理和维护。

1.1.5 实现数字化定义技术的挑战与对策

MBD 将设计、制造、检验、管理信息融为一体, 是目前被业界普遍认同的数字化设计、制造的先进技术, 是数字化制造的关键技术之一, 是未来设计技术的发展方向。但从上述 MBD 技术对产品研发模式的影响可以看出, MBD 技术是产品定义方式的一次革命, 不仅仅要解决技术问题, 更主要的是要有效解决由此带来的对企业文化、管理体制、生产方式的冲突。MBD 的实施是一项长期、复杂而又艰巨的工作, 国内企业在 MBD 技术的应用方面还将面临诸多问题。

1. MBD 模型数据的完整表现

MBD 模型数据包括几何模型、注释、属性, 其中注释是不需要进行查询等操作即可见的各种尺寸、公差、文本、符号等; 而属性则是为了完整地定义产品模型所需的尺寸、公差、文本等, 这些内容在图形上是不可见的, 但可通过查询模型获取。为了在模型三维空间很好地表达 MBD 模型数据, 需要有效的工具来进行描述, 并按照一定的标准规范组织和管理这些数据, 以便于 MBD 模型数据的应用。

2. MBD 规范 and 设计要求不全面

目前还没有统一完善的 MBD 行业标准规范,正处于研究阶段。下游部门和合作伙伴所需要的 MBD 文件包含了很多内容,并不是所有内容都可以在 CAD 中由设计师进行定义,同时企业能够应用 MBD 技术的工程师、工人严重缺乏。

3. 传统习惯的限制

传统设计方法及设计习惯对三维数字化定义技术的发展具有阻碍与限制,特别对于制造部门,无疑是一场革命,将改变原有的研制流程,与现行生产、检验制度有很大的冲突。例如,有些车间工人生产时必须以设计图纸为依据,实施 MBD 后将大量取消二维图,生产无依据。

4. 设计效率有可能降低

实施数字化定义的业务流程需要产生和管理海量数据的模型和装配,全息模型包含的信息远多于传统图纸,而具体的工作却只需要确定局部信息,缺乏有效的数据提取工具和技巧将有可能以比原来更低的效率来完成工作。

5. 面向制造的设计

由于全息模型是设计制造过程中的唯一依据,需要确保模型数据的正确性。MBD 的重要特点之一是设计信息和工艺信息的融合和一体化,这就需要在产品设计和工艺设计之间进行及时的交流和沟通,构建协同的环境及相应的机制。MBD 模型数据的正确性反映在两个方面,一是反映了产品的物理和功能需求,即客户需求的满足;二是可制造性,即创建的模型能满足制造应用的需求,该 MBD 模型在后续的应用中可直接应用。

6. 全息模型的共享与传递

通过 MBD 模型一次定义,多次多点应用,实现数据重用的最大化。在编制者和使用者传递数据所选择的机制上会给各类供应商和合作伙伴带来压力,是否属于地理上分布的公司或者供应链是分散的,是否有合适的 IT 架构和查看软件工具等。

只有有效解决以上这些问题,才能进一步推动 MBD 技术在国内的普及应用,且发挥其潜能。

以下是国内企业实施 MBD 时常见的挑战和应对策略。

1. 基于 MBD 的产品设计

挑战:三维模型包含所有产品研制的信息;三维模型上信息的分类管理和显示;面向制造的设计。

应对:根据行业和企业自身特色和产品特点,定义详细的企业标准,并按标准进行产品信息的定义和管理;充分听取工艺、工装、检测人员的意见,本着便于制造和检测的原则,建立三维 MBD 模型,并利用合规性检查和可制造性检查工具确保设计结果满足制造的要求。

2. 基于 MBD 模型的工艺设计

挑战:MBD 模型数据的访问与浏览;工艺结构的快速搭建;零件工艺中工序模型的创建与编辑。

应对:轻量化数据的应用,实现数据的快速查看;典型工艺模板的应用,实现结构化工艺快速设计;WAVE 技术和同步建模技术的应用,实现工序模型的关联设计。

3. 数控工序数据的编制与管理

挑战:NC 加工程序的快速编制;NC 加工程序的有序管理;数控加工的一次性正确制造。