

■ 国家“十二五”重点规划图书

■ 装备标准化实践丛书

产品数字化设计与标准化

郑朔昉 ◎ 主编



 中国标准出版社

 国防工业出版社

产品数字化设计与标准化

郑朔昉 主编

宋利康 王俊彪 主审

中国标准出版社

国防工业出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

产品数字化设计与标准化/郑朔昉主编. —北京: 中国
标准出版社: 国防工业出版社, 2018.5
ISBN 978-7-5066-8926-7

I. ①产… II. ①郑… III. ①产品设计—数字化—标准化

IV. ①TB 472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 062687 号

内容提要

本书是针对复杂产品数字化设计需求, 针对产品数字化设计过程中遇到的标准化问题, 为促进产品模型质量、产品数据规范化管理、基于数字样机的研制以及数字化协同研制等要求, 在总结多年来的研究成果和航空工业实践经验的基础上编制的。

全书共分为 6 章, 以数字化产品的开发为主要对象, 阐述针对复杂产品如何按照相关标准进行数字化设计, 主要包括数字化产品定义、数字化设计技术发展及应用、数字样机基本概念与发展、数字化仿真分析、产品数据管理、标准数字化贯彻实施技术及数字化设计标准的发展趋势等内容。

中国标准出版社 出版发行
国防工业出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 68533533 发行中心: (010) 51780238

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社 秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 20.5 字数 406 千字

2018 年 5 月第一版 2018 年 5 月第一次印刷

*

定价: 88.00 元



如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010)68510107

国家“十二五”重点规划图书
装备标准化实践丛书

丛书编委会

顾 问： 怀国模 李春田

主 任： 杨育中

副 主 任： 李占魁 孔宪伦

主 编： 李占魁

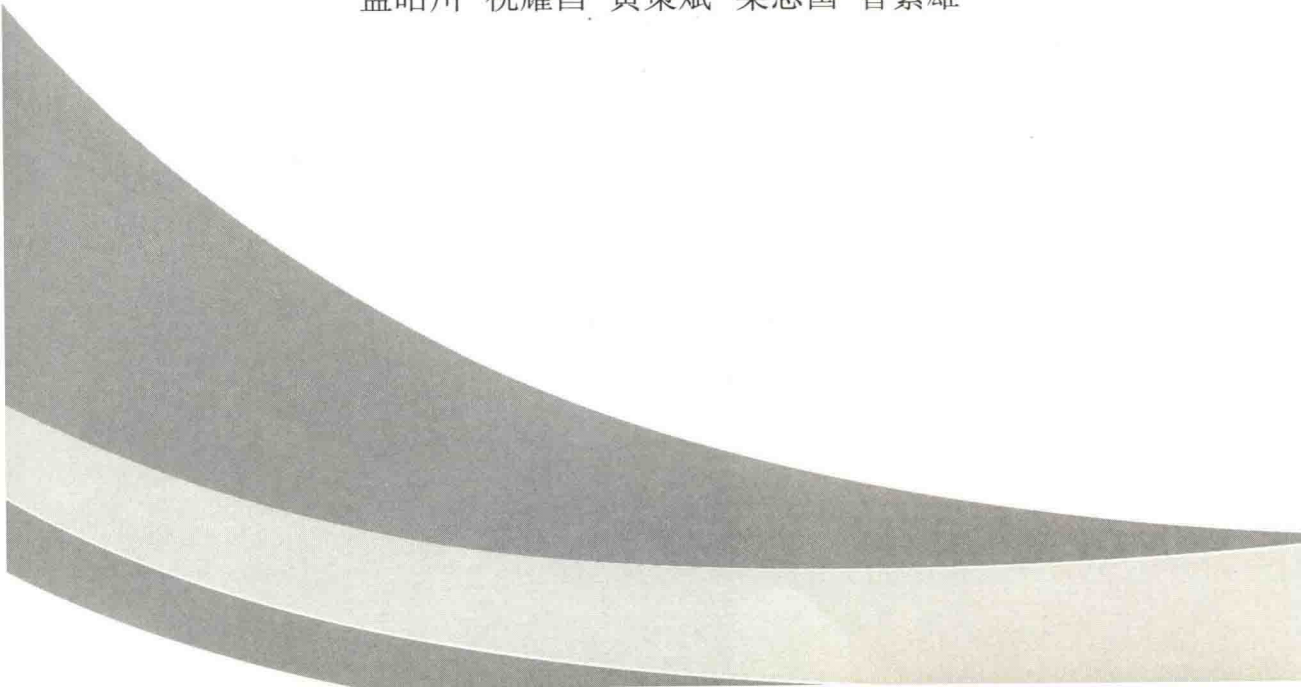
执行主编： 金烈元 曾繁雄

委 员： （按姓氏笔画排序）

丁 昆 孔宪伦 甘茂治 叶茂芳 吕明华 任占勇

杨育中 李占魁 苗建军 季恒宽 金烈元 郑朔昉

孟昭川 祝耀昌 黄策斌 梁志国 曾繁雄



本书编委会

主 编：郑朔昉

副主编：张岩涛

主 审：宋利康 王俊彪

编 委：（按姓氏笔画排序）

王 康 冯 冰 吕 翔 李学常

吴灿辉 汪 森 赵辛雨 赵 亮

姜佳俊 骆晶妍 夏晓理 曹 平

蔡金辉

丛书序言

标准是科学、技术和经验的综合成果和结晶。国际、国内大量各级、各类标准是一个巨大的知识宝库和信息平台，它在生产者和消费者之间构建起一座桥梁。标准化是制定、贯彻标准的活动和过程。标准化推动新技术发展、促进科技转化为生产力，有利于建设资源节约型、环境友好型和谐社会；同时对于国防现代化起到重要的保障作用。

从20世纪80年代初开始，在中央的领导和关怀下，国防科技工业系统借鉴我国工业标准化的经验，参考、吸收国外先进标准和系统工程方法，对军用标准化进行了探索和实践，军用标准化领域大大拓宽，水平得到提高。现在军用标准化工作已覆盖装备科研、生产和使用维修的全过程。各类装备和产品及其可靠性、维修性、环境适应性等专业工程，质量、计量管理都成为标准化的重要对象。经过三十多年的不懈努力，我国军用标准化工作已经建立起行之有效的规章制度，比较完整的军用标准体系，基本配套的产品技术标准、管理标准。

近十多年来，围绕现代信息化条件下立体战争和军工制造业数字化的需要，又制定实施了大量信息化标准，促进了军队建设和军工工业由机械化逐步向信息化方向发展。

党的十七大、十八大提出，要建立并进一步推动和完善军民结合、寓军于民的装备科研生产体系和保障体系，走出一条中国特色军民融合式发展的路子。在新的历史条件下，标准化将成为加强军民联系，实现军民融合、寓军于民的技术基础。加强军民标准化之间的交流，开创军民标准资源共享的新局面将成为今后标准化工作的一项重要任务。我们组织编写“装备标准化实践丛书”的目的是为了总结和提高军用标准化自身的水平；同时以此



加强与民口的交流，相互了解，取长补短，也是贯彻中央提出的军民融合方针的具体体现。

本套丛书从策划到落实编写人员、编写要求都经过了认真讨论，最终确定其内容除标准制定、标准实施、综合标准化、企业标准化，还包括新产品研制和引进的标准化，电子基础产品的标准化，装备的通用化、系列化、模块化，信息技术及数字化设计、制造的标准化，以及可靠性、维修性、环境适应性、计量等专业工程的标准化。

编写该套丛书有较好的实践基础。所列各项都以国防科技工业系统几十年工作实践为基础，各书的主编大多是相应领域的专家或组织领导者。

本套丛书已被国家新闻出版广电总局列入《“十二五”国家重点图书、音像、电子出版物出版规划》，由中国标准出版社和国防工业出版社联合出版。

该项工作也得到有关领导的重视。原国防科学技术工业委员会副主任怀国模、原国家技术监督局政策法规司司长李春田受聘为顾问，总装备部技术基础局李锦程局长等领导给予大力支持。他们对丛书的编写、出版都提出了许多宝贵的意见。

本套丛书的读者对象为：标准化专业人员（含国防工业、民用工业）；各级技术领导干部及管理人员；企事业单位和军队装备部门的论证、设计、制造、生产和使用维修人员、质量计量管理人员。对工程院校的教师、研究人员、高年级学生和研究生也有参考意义。

丛书筹划和编写过程中，中航工业综合技术研究所和中船信息中心等有关单位，以及韩勤、廖晓谦、洪宝林、陶鸿福等同志给予了大力支持，在此一并表示衷心感谢。

编委会

2017年4月

前 言

产品数字化技术是指在制造业中将数字化技术与制造技术和管理技术相融合,并广泛应用于产品的全生命周期设计制造活动、制造企业的全局优化运行和制造行业的整体规划与管理的技术。随着技术进步和市场竞争的日益激烈,产品的技术含量和复杂程度在不断增加,而产品的生命周期不断缩短,缩短新产品的开发和上市周期就成为企业形成竞争优势的重要因素。这种形势下,在计算机上完成产品的开发,通过对产品模型的分析,改进产品设计方案,在数字状态下进行产品的虚拟试验和制造,再对设计进行改进或完善的数字化产品开发技术变得越来越重要。从20世纪末开始,航空航天、船舶、汽车等高端装备行业在产品研制中开始广泛应用数字化技术,并取得了显著效益,目前已基本实现了传统生产方式向数字化生产方式的转变。数字化技术从根本上改变了传统的产品设计、试验、制造和管理的模式,彻底替代了传统的设计图样和图板,在产品研制生产的各个环节,形成全新的快速响应机制,大大增强了产品制造的灵活性,这是产品研制生产方式的一次革命,也是提高产品的性能和质量、降低研制风险、节约研制经费及缩短研制周期的必由之路,已成为各国产品研制转型和发展的重要方向。

国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)指出“信息化是振兴及提升装备制造业的重要途径”。随着在十六大“以信息化带动工业化,以工业化促进信息化”,十七大“大力推进信息化与工业化融合”,十八大“促进工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展”等的提出,两化融合的理论体系与实践不断成熟。信息化与工业化在技术、产品、业务和产业等方面的深度融合已经成为制造业主要发展方向。《关于加强中央企业信息化工作的指导意见》(国资发〔2007〕8号)中明确提出,“加强信息化技术标准和管理规范建设,保障信息集成共享和管理科学高效。”数字化标准体系(以下简称标准体系)是针对复杂产品研制过程中围绕数字化技术的应用和信息系统建设、运行和管理而制定的标准体系。它是指导数字化标准工作的纲领性文件,为信息化建设提供标准信息与技术依据。数字化标准体系也

成为企业标准体系的重要组成部分。数字化标准是指为规范制造业数字化设计、制造、试验和管理等活动,所制定和遵守的一系列可重复使用的规则、导则或特性文件,主要用于规范和指导数字化技术在产品研制全过程中的应用。本质上来说,数字化标准是保障信息共享和集成,达到管理科学高效的基础,是信息资源规划、整合和开发利用的重要前提,是数字化条件下实现业务工作规范化,推进业务持续改进和提升的必要保障。

从工程应用的角度来看,数字化标准包括两个层面:一类是信息化基础标准,这类标准一般由国际标准化组织或专业协会提出,以促进模型数据交换与集成为主要目标,代表性的标准如 ISO 10303STEP、IEEE STD 1516 以及 AIAA CGNS 等;另一类主要以信息技术与工程的结合标准化为主,这类标准一般由行业或企业提出,以促进协同制造和数据管理等为主要目标,在这方面,国外先进制造企业及我国航空工业都进行了较为成功的实践。随着信息技术与业务过程的进一步融合,数字化标准的对象也从较为简单的软件工具使用向新环境下业务流程的重构方向发展,数字化标准已经成为工程技术及管理人员工作和管理的重要指导性文件。从数字化标准如何与企业业务深度融合,如何基于数字化标准优化企业业务流程等宏观层面,具体到如何构建数字化标准体系、国际数字化标准如何贯彻以及某项标准应规范哪些技术要求,这些问题在以往的著作中极少涉及。为了解决上述问题,为企业管理人员、工程技术人员、信息化人员以及标准化人员提供参考,促进企业数字化设计技术规范应用,我们编写了本书。本书采用了“技术发展、标准化现状及需求、标准化要求及标准示例”的编写体例,给出了大量标准示例,以提高本书的实用性和可操作性。

本书共分为 6 章,第 1 章全面描述数字化设计、数字化标准体系、数字化标准的基本概念,阐述了产品数字化设计发展趋势,并对数字化标准体系及国内外数字化标准情况。第 2 章从数字化产品定义技术发展及应用出发,分析了数字化产品定义的标准化需求,从通用要求、典型零件建模、基于模型的定义、面向制造的设计、二维制图、模型质量检查等方面给出了标准化要点及标准示例。第 3 章全面阐述了数字样机的基本概念与发展,从数字样机组成元素、流程和组织、可视化和分布式参考以及风险管理和复杂性等角度给出了数字样机的关键技术,分析了数字样机标准化需求,从数字样机通用要求、数字样机构建以及数字样机检查与验证等方面给出了标准化要求及标准示例。第 4 章阐述了结构有限元、计算流体力学、动力学/运动学以及多学科协同仿真基本概念和发展,分析了数字化仿真标准化需求,从数字化

仿真流程、仿真模型建模、数字化仿真要求、仿真数据管理以及数字化仿真集成等方面给出了标准化要求及示例。第5章阐述了产品数据管理的基本概念与发展,分析了产品数据管理的标准化原则与要求,从信息分类与编码、文档管理、产品结构与配置、工作流和过程管理、数字化协同研制、数据交换与系统集成、系统实施与维护等方面给出了标准化要求及标准示例。第6章全面阐述了标准数字化贯彻实施技术及发展,提出了数字化标准贯彻实施的特点和要求,并给出了国外波音公司以及我国航空工业标准数字化实践。编后语对数字化设计标准的未来发展趋势进行了展望。

本书是针对复杂产品数字化设计需求,针对产品数字化设计过程中遇到的标准化问题,为促进产品模型质量、产品数据规范化管理、基于数字样机的研制以及数字化协同研制等要求,在总结多年来的研究成果和航空工业实践经验的基础上编制的。航空工业已基于本书提出的思路开展了数字化标准体系建设及相关标准制定等工作,内容力求贴近工程实际和具有可操作性,可为工程管理人员、工程设计人员、信息化人员以及标准化人员在开展数字化设计标准化工作提供有益参考。

本书由中国航空综合技术研究所郑朔昉主编,张岩涛副主编,洪都航空工业集团有限责任公司宋利康、西北工业大学王俊彪主审,王康、冯冰、吕翔、李学常、吴灿辉、汪森、赵辛雨、赵亮、姜佳俊、骆晶妍、夏晓理、曹平、蔡金辉等参与了本书的编写。在本书的编写过程中,得到了沈阳飞机设计研究所王鸿庆的帮助。

鉴于编者水平所限,书中不当之处恳请批评指正。

编者

2017年11月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 产品数字化设计发展趋势	2
1.2.1 全球制造和协同制造成为企业战略发展的方向	2
1.2.2 企业的业务模式与信息系统深度融合	6
1.2.3 基于仿真/知识的研制应用日益广泛	6
1.2.4 信息化系统建设、管理及标准化日益受到重视	9
1.2.5 智能制造技术研究与应用发展迅猛	11
1.2.6 装备制造业从面向产品研制向面向全寿命服务延伸	12
1.3 数字化标准体系	14
1.3.1 标准体系	14
1.3.2 数字化标准体系框架	14
1.3.3 数字化标准体系框架说明	15
1.4 国际数字化标准	22
1.5 国外企业数字化标准	26
第2章 数字化产品定义及标准化	34
2.1 数字化产品定义技术	34
2.1.1 产品建模技术	35
2.1.2 参数化设计技术	36
2.1.3 关联设计技术	37
2.1.4 基于模型的定义 (MBD) 技术	38
2.2 数字化产品定义标准化要求	41
2.3 通用要求	43
2.3.1 产品定义数据集	43
2.3.2 建模规则	45
2.3.3 坐标系	49
2.3.4 曲线与曲面	53
2.4 典型零件建模标准	67



2.4.1	机加件建模	67
2.4.2	管路系统建模	68
2.4.3	复合材料结构件建模	77
2.5	基于模型的定义 (MBD) 标准	79
2.5.1	模型完整性要求	80
2.5.2	基于模型的定义数据集组织	80
2.5.3	尺寸与公差三维标注	88
2.5.4	属性定义	95
2.6	面向制造的设计 (DFM) 标准	96
2.7	二维制图标准	100
2.8	模型质量检查标准	101
2.8.1	影响模型质量的因素	101
2.8.2	模型质量准则	102
2.8.3	模型自动化检查	107
第3章	数字样机及标准化	112
3.1	数字样机 (DMU) 的基本概念与发展	112
3.2	数字样机 (DMU) 的关键技术	116
3.2.1	技术维-环境	117
3.2.2	技术维-数字样机的组成元素	122
3.2.3	技术维-流程和组织	126
3.2.4	应用维-可视化和分布式参考	128
3.2.5	管理维-风险管理和复杂性管理	128
3.3	数字样机 (DMU) 标准化要求	129
3.3.1	数字样机通用要求	130
3.3.2	数字样机构建要求	132
3.3.3	数字样机检查与验证要求	138
第4章	数字化仿真及标准化	150
4.1	数字化仿真的基本概念与发展	150
4.1.1	结构有限元法 (FEA)	152
4.1.2	计算流体力学 (CFD)	155
4.1.3	多刚体/多体动力学和运动学仿真 (MDS)	162
4.1.4	多学科协同仿真 (MDO)	164
4.2	数字化仿真标准化分析	166
4.2.1	数字化仿真标准化发展	166
4.2.2	数字化仿真技术应用标准化需求	169

4.3 数字化仿真流程标准	174
4.3.1 结构有限元分析流程	174
4.3.2 计算流体力学仿真流程	177
4.3.3 多体动力学仿真应用流程 (MBS)	178
4.3.4 数字化仿真应用通用流程	178
4.4 仿真模型建模标准	179
4.4.1 有限元建模流程	179
4.4.2 几何建模 (导入) 及质量检查	180
4.4.3 网格划分及质量检查	182
4.4.4 单元特性定义	191
4.4.5 边界及载荷条件施加	192
4.5 数字化仿真要求标准	193
4.5.1 仿真项目和程序	193
4.5.2 数字化仿真结果评估	195
4.6 仿真数据管理标准	196
4.6.1 仿真数据组织与分类	197
4.6.2 数据重用性	200
4.6.3 数据构型	200
4.7 数字化仿真集成标准	201
4.7.1 仿真数据管理系统 (SDM) 标准	201
4.7.2 数字化仿真软件之间的集成标准	204
4.7.3 数字化仿真软件与数据管理系统集成标准	206
第5章 产品数据管理 (PDM) 及标准化	210
5.1 产品数据管理的基本概念与发展	210
5.1.1 产品数据管理的定义	210
5.1.2 产品数据管理的必要性	212
5.2 PDM 应用标准化要求	215
5.2.1 产品数据管理标准化原则	215
5.2.2 产品数据管理标准化	215
5.3 基础标准	216
5.3.1 术语和定义标准	216
5.3.2 数据元定义标准	217
5.3.3 信息分类与编码标准	218
5.4 文档管理标准	222
5.5 产品结构与管理标准	229



5.5.1 产品结构管理标准	229
5.5.2 EBOM 标准	231
5.5.3 构型管理标准	234
5.6 工作流和过程管理标准	247
5.7 数字化协同研制管理标准	250
5.7.1 数字化协同研制的特点	251
5.7.2 数字化协同研制管理标准化	253
5.8 数据交换与系统集成标准	260
5.8.1 1PDM 体系结构标准	260
5.8.2 数字化产品数据交换标准	262
5.9 系统实施与维护	263
第 6 章 数字化标准贯彻实施	268
6.1 标准数字化贯彻实施概述	268
6.1.1 标准数据库技术	268
6.1.2 标准规则库技术	270
6.1.3 标准模板技术	270
6.1.4 标准导航技术	271
6.2 波音公司标准数字化实践	271
6.2.1 波音公司标准数字化的目标	271
6.2.2 波音标准数字化实施方案	273
6.3 航空工业标准数字化实践——MBD 标准贯彻实施	281
6.3.1 MBD 建模模板	282
6.3.2 材料库及材料信息标注	283
6.3.3 技术注释数据库	285
6.3.4 标准件库	286
6.3.5 模型质量检查工具	288
6.3.6 典型机加件基于模型定义示例	294
编后语	299
参考文献	300

图目录

图 1-1	波音公司并行协同模式的发展	3
图 1-2	波音的 DCAC/MRM 系统向 GCE 平台发展	4
图 1-3	波音公司全球协同环境 (GCE)	4
图 1-4	波音公司信息系统支撑下的价值流	5
图 1-5	空客公司“供应链和交付”模型	5
图 1-6	空客公司协同平台统一化进展	6
图 1-7	空客公司研制模式的转变	7
图 1-8	FIPER 项目	7
图 1-9	产品控制结构 (PCS)	8
图 1-10	面向设计和制造的基于主模型的特征建模	9
图 1-11	空客公司 IT 架构标准化流程	10
图 1-12	GE 未来工业互联网	13
图 1-13	波音数字航空信息系统架构	13
图 1-14	波音数字航空体系规划	14
图 1-15	数字化标准体系框架	16
图 1-16	空客公司基于数字样机的数字化标准体系	33
图 2-1	数字化产品定义技术发展	35
图 2-2	产品建模技术的发展过程	36
图 2-3	空客公司 A350 梁的参数化设计	37
图 2-4	关联设计流程	38
图 2-5	CATIA 实施 MBD 技术的数据集组织	39
图 2-6	基于模型的研制过程	39
图 2-7	战神飞行器 MBD 技术应用	40
图 2-8	标题栏视图	41
图 2-9	数字化产品定义标准	42
图 2-10	产品定义数据集的组成	43
图 2-11	模型内容	44
图 2-12	坐标系的定义	50



图 2-13	曲线的多项式次数 (阶数)	54
图 2-14	曲线间隙示例	54
图 2-15	切矢方向误差示例	54
图 2-16	曲率连续示例	55
图 2-17	曲线段数示例	55
图 2-18	曲线段的最小长度示例	56
图 2-19	复合曲线的方向示例	56
图 2-20	平面曲线的波动示例	56
图 2-21	曲线自相交示例	57
图 2-22	通过控制多边形检查问题区域示例	57
图 2-23	3D 曲线投影到两个平面示例	57
图 2-24	曲面多项式次数示例	58
图 2-25	曲面位置连续示例	59
图 2-26	曲面切矢连续示例	59
图 2-27	曲面切矢连续示例	59
图 2-28	曲面片数量示例	60
图 2-29	微小曲面片示例	60
图 2-30	曲面片分布示例	61
图 2-31	曲面法向示例	61
图 2-32	三角面片分解为四边形面片示例	62
图 2-33	曲面片尖角示例	62
图 2-34	曲面的波动示例	63
图 2-35	曲面自相交示例	63
图 2-36	多曲面相交示例	63
图 2-37	曲面反射分析	64
图 2-38	曲率半径分析	65
图 2-39	高斯分析	65
图 2-40	曲面片结构分析	66
图 2-41	曲面片分布不佳	66
图 2-42	机加件结构特征及加工要求	68
图 2-43	模型的组成	81
图 2-44	基于 CATIA 的 MBD 数据集分类与拓扑关系	81
图 2-45	UG NX 实施基于模型的定义的数据组织	88
图 2-46	标注与模型几何的关联性	89
图 2-47	辅助几何-辅助线	90

图 2-48	辅助几何-辅助面	90
图 2-49	标注平面	90
图 2-50	指引线的类型	91
图 2-51	模型的制造可用性问题分析	97
图 2-52	型腔深度	98
图 2-53	修复时间成本随着数据集成熟度的提高而累积	107
图 2-54	缺陷模型	108
图 2-55	Q-Checker 主界面	109
图 2-56	PDQC 主界面	110
图 2-57	VCI-DMC 数字模型检测系统	110
图 3-1	空客公司数字样机组成	113
图 3-2	空客公司数字样机的应用	113
图 3-3	空客公司数字样机应用发展	114
图 3-4	空客公司基于数字样机的关联设计	115
图 3-5	基于数字样机的仿真验证	116
图 3-6	数字样机的维度	117
图 3-7	空客 A330/340 飞机机翼装配的物理样机	118
图 3-8	DMU 在 VPD 中的应用	120
图 3-9	襟翼的设计视图和工艺视图对比	123
图 3-10	数字样机的属性元数据	124
图 3-11	空客 A400M 军用运输机驾驶舱的空间分配模型 (SAM) 和定义模型对比	125
图 3-12	有效性管理所需的构型属性	126
图 3-13	数据交换的类型	126
图 3-14	DMU 检查和评审流程和要求	127
图 3-15	基于数字样机的可视化评审	128
图 3-16	数字样机标准化	129
图 3-17	波音公司 DPA 过程	137
图 3-18	成熟度控制下数字样机装配检查工作流程	139
图 3-19	数字样机装配检查工作三个层面	140
图 3-20	数字样机装配检查的主要操作步骤	142
图 3-21	数字样机装配检查的主要操作步骤	149
图 4-1	空客公司 A380 结构设计优化	152
图 4-2	多领域协同仿真的总体规范框架	165
图 4-3	仿真标准框架	166