

doi: 10.7690/bgzdh.2018.07.003

## 轻武器数字化协同研制模式

朱镜丽, 沙金龙, 赵婷婷, 卢欢

(中国兵器工业第二〇八研究所信息中心, 北京 102202)

**摘要:** 为缩短产品研制周期, 提出满足分布式协同研制需求的轻武器数字化并行协同研制新模式。利用网络和信息技术优势, 根据轻武器装备研制现状, 对传统的研制模式进行变革, 构建轻武器数字化协同研制模型, 实现各类资源的共享使用, 引入并行工程和成熟度的理念, 总结轻武器数字化协同研制模式的运行步骤, 提出轻武器并行协同研制新模式。应用结果表明: 该模式提高了产品研制效率, 为以 3 维设计为依据开展轻武器产品协同研制提供了参考依据。

**关键词:** 跨地域; 并行协同; 设计制造一体化; 数字样机

**中图分类号:** TJ202 **文献标志码:** A

## Digital Cooperative Development Mode of Small Arms

Zhu Jingli, Sha Jinlong, Zhao Tingting, Lu Huan

(Information Center, No. 208 Research Institute of China Ordnance Industries, Beijing 102202, China)

**Abstract:** In order to shorten the small arms products development period, a new model of digital parallel cooperative development of small arms is proposed to meet the needs of distributed collaborative development. Use the advantages of network and information technology, according to the current development situation of small arms, change the traditional development mode, and establish the small arms digital cooperative research model. Realize the resource sharing use, introduce the theory of parallel engineering and maturity, conclude the operation steps of small arm digital cooperative development mode, and put forward the new mode for small arm parallel cooperative development. The application results show that the mode can improve the product research efficiency, and provides reference for 3D design of small arms cooperative development.

**Keywords:** trans-regional; parallel cooperative; design and manufacturing integration; digital prototype

### 0 引言

协同是指企业内部不同部门、不同专业之间或者同一项目不同企业之间的协调和配合。基于网络开展产品的协同设计与制造, 可以缩短产品研制周期, 提高企业竞争力<sup>[1]</sup>。国内外优秀企业早已将产品开发工作由个体化、串行流程的产品研发模式, 转向了上下游多方协同的并行研发模式。波音公司在 20 世纪 90 年代初就在研制波音 777 时采用了全 3 维设计、并行设计等数字化技术, 率先实现了 100% 的数字化产品定义和 3 维数字化预装配, 并通过实施飞机构型定义与控制、制造资源管理等大型工程, 使波音 777 的研制周期比波音 767 几乎缩短了 50%, 设计更改和返工率减少 50%, 装配时出现的问题数量减少了 50%~80%。21 世纪, 波音公司又推出了全球协同研制环境 (global cooperative environment, GCE), 实现了对波音 787 协同研制的支持, 实现了产品研制的全寿命周期数字化协同

研制过程与系统的全面集成。在国内, 数字化协同研制技术应用起步较早的是航空航天领域, 如运-20 和 ARJ21 均采用全 3 维数字化设计和并行工程方法, 实现了大部段对接一次成功和飞机上天一次成功。CZ-7 火箭已经实现了全寿命周期数字化协同研制<sup>[2]</sup>。结合轻武器装备研制特点, 笔者对轻武器行业的产品跨地域协同、多厂所协作、既竞争又合作等特点进行分析与研究。

### 1 轻武器装备研制现状

经过几十年的发展, 轻武器装备研制工作已经形成了“以轻武器总体所牵头, 各专业厂配套设计和试制”的专业分工明确、单位分属异地的产业布局和工作模式。其中, 轻武器总体所主要负责总体设计与协调, 枪、弹、镜、通信等厂家作为专业厂, 主要负责相关产品试制, 并参与必要的产品设计。在轻武器产品研制过程中, 总体所与专业厂之间存在着密切的业务协作关系。

收稿日期: 2018-04-23; 修回日期: 2018-05-14

基金项目: 无人化作战平台机电协同设计技术 (JCKY2016209B001)

作者简介: 朱镜丽 (1979—), 女, 重庆人, 本科, 高级工程师, 从事信息化实施研究。

基于这种业务需求,轻武器行业结合自身特点,经过多年的摸索与实践,形成了一套与时代相适应的“画、加、打”研制模式,即产品设计过程中相应设计人员进行集中研讨与设计,以 2 维工程图的方式将设计结果进行固化,并作为产品试制加工的主要依据进行试制和装配。加工装配完成后,通过靶场试验对产品进行验证<sup>[3]</sup>。这套传统的研制模式对我国轻武器产品的研制起到了重要的支撑作用。

随着时代的发展和技术的进步,这套模式的弊端逐步显现。如:产品研制过程中的协调主要是通过现场会议、纸质文件、机要等形式分配工作任务;在方案设计阶段,产品的各分系统之间需多次召开现场碰头会议来确定接口方案;在详细设计阶段,设计师系统需要集中在一起开展联合设计,并对设计尺寸和参数进行反复调整与优化。研制过程中出现的技术问题,一般情况都是抽调参研人员组成技术攻关小组进行技术攻关,集中时间少则一两周,多则半年。设计完成后,设计单位需要将图纸下达到工厂。在实际生产过程中,设计单位需要派驻大量的工程技术人员到试制现场全程跟踪,协调设计与加工工艺不一致的问题,协助完成试制加工工作(俗称“跟加工”)。试制过程中出现设计问题或设计更改,一般采用与总师进行电话沟通,最后通过纸质的技术协调单进行记录,工作效率很低。整个研制过程中的数据传递以 2 维图纸为依据,经过多个环节的传递与现场画改,数据的正确性和有效性难以保证,导致了设计单位与制造单位之间以及各环节之间的协调极其困难,严重影响了产品研制进度和质量。

## 2 新模式提出与模型建立

随着轻武器装备内涵的不断拓展,其复杂程度也越来越高,如单兵综合作战系统,其内容涵盖了枪械、弹药、瞄具、防护等领域,涉及到机械、光学、电子、信息等学科。这些特征使多厂所之间的业务协作越来越多,多学科领域之间的协调难度越来越大,产品的研制过程已不再是设计领域内孤立的技术问题,而是综合了产品各相关领域、相关过程、相关技术资源的组织、管理问题。另外,轻武器产品品种多、更新快、研制厂所多、竞争压力大,单位之间的设计工艺等核心技术保护要求强烈。在这种情况下,传统的人工协调、数据组织与管理方式等已难以满足产品的研制需求,探索新型的产品

研制模式,应用信息化技术构建快捷方便的跨地域协同工作环境,已经成为轻武器产品研制过程的重要一环。

目前,产品设计方式在不断变化,如 CAD/CAE/CAM 等软件已经在轻武器行业普及应用,设计工具正在从 2 维转变为 3 维,仿真分析正在逐步融入到设计过程。这种变化对产品的研制模式产生了巨大的影响<sup>[4]</sup>。为此,笔者综合采用先进的网络、3 维设计制造、数字样机等技术与理念,对传统的研制模式进行了变革,建立了轻武器数字化协同研制业务模型,如图 1 所示。

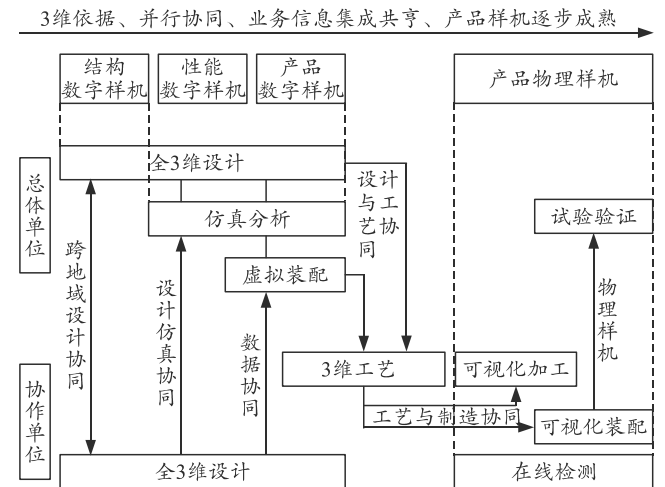


图 1 轻武器产品数字化协同研制业务模型

该模型以并行协同为核心,通过统一的 3 维模型,实现产品的 3 维设计、仿真分析、工艺设计、可视化加工、检验与装配等,并实现各类资源的共享使用。

在跨地域并行协同研制方面,引入并行工程和成熟度的理念,将仿真和工艺业务提前介入到设计环节,即:设计部门进行产品 3 维设计过程中,依据成熟度约定的时机,仿真和工艺部门适时参与进来,及时发现设计缺陷,减少设计错误,并在设计阶段就考虑产品加工装配和工艺等问题,并行开展工艺、工装、材料等的开发与准备,精简设计过程,提高设计一次成功的可能性,从而达到缩短产品研制周期,提高产品质量的目的<sup>[5]</sup>。为了满足异地数据安全传输需求,在厂所之间,采用“DMZ”技术构建协同中心,在此基础上,应用 PDM 等数字化支撑工具,建立统一的厂所协同工作环境(如图 2 所示),并建立相应的应用机制,使分属异地的设计人员能够基于网络,快速完成分系统之间接口协调、数据沟通交换、流程审签等协同工作,提高工作效率。

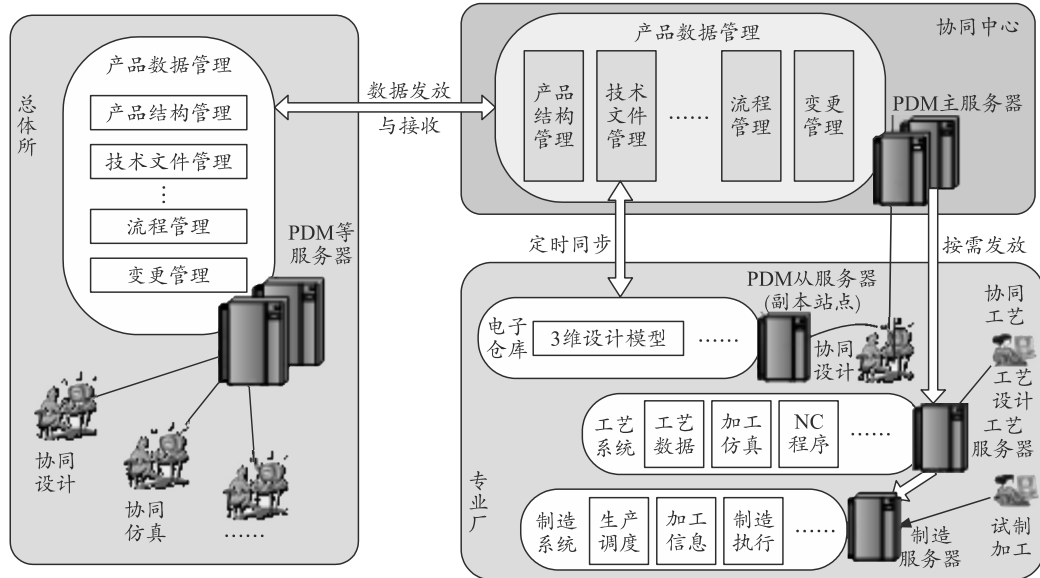
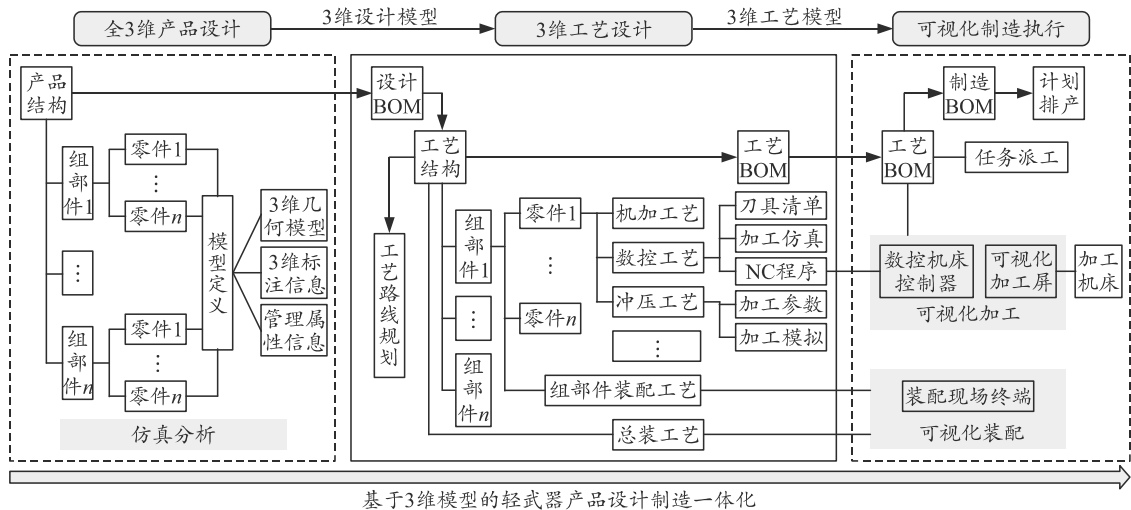


图 2 轻武器产品异地协同工作环境

协同工作环境的核心是“CAD+两级 PDM+工艺系统+制造系统”，其中两级 PDM 分别部署在总体所和协同中心，并建立数据发放与接收机制，使其形成一个有机整体，满足总体所和专业厂跨地域的协同设计需求。同时，在专业厂内部建立 PDM 从服务器，确保设计数据的存取速度。在此基础上，实现 PDM→工艺系统→制造系统的集成，实现设计制造 BOM 的有效传递与快速转换，满足信息在各环节流转需求。

构建模全部采用 3 维模式，即产品的零部件设计、仿真分析、工艺设计、试制加工、装配与检验等均均以统一的 3 维模型为依据开展工作，设计、工艺、加工等环节间通过 BOM 进行信息的转换与传递，且随着 BOM 信息的逐步演变，产品的设计蓝图逐步向产品实物逼近，直至试制加工出合格产品，从而达到设计制造一体化的目的<sup>[6]</sup>。这种方式摒弃了以往 3 维构思 2 维画图的模式，使设计人员有更多的精力专注于创新。设计制造信息转换模型如图 3 所示。

在产品的一体化研制方面，从方案设计到结



基于 3 维模型的轻武器产品设计制造一体化

图 3 轻武器产品设计制造信息转换过程

在产品的设计阶段，创建 3 维模型，并采用 3 维标注、属性定义等方式，建立维系产品设计、仿真、工艺、加工各环节相关模型及内部信息关联关系，实现产品研制各环节的关联与快速更改，确保产品全 3 维模型的数字化定义信息能够

同步更新。在工艺设计阶段，基于设计 BOM 完成工艺路线的规划，根据不同的工艺类型，形成不同的 3 维工艺模型，满足后续加工需求。在试制加工阶段，基于工艺 BOM，形成制造 BOM，为生产计划的制定提供依据，并基于 3 维工艺进行

派工，完成可视化的加工，同步实现 NC 代码向数控机床的自动传输。

在产品研制信息共享方面，在产品研制过程中，数据信息共享主要体现在 2 个层面：一是产品研制

信息的共享，即设计与设计、设计与仿真、设计与工艺、工艺与加工之间中的信息共享；二是基础性的资源数据和经验性的知识数据共享。其数据信息模型如图 4 所示。

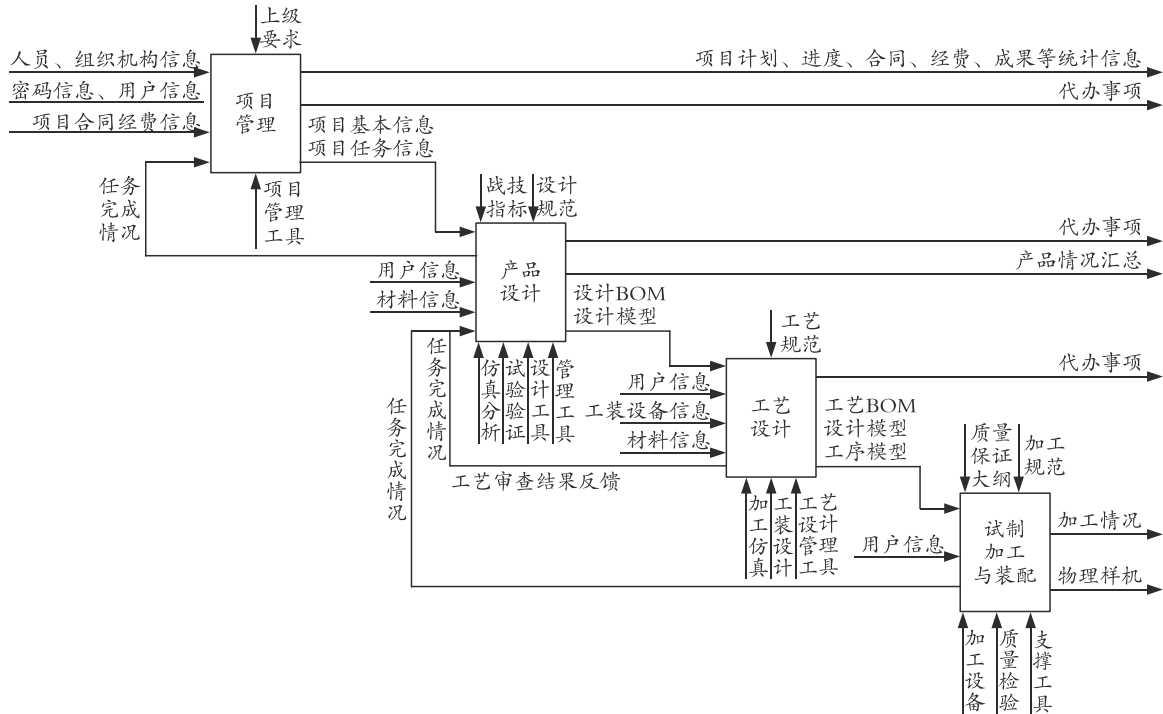


图 4 轻武器产品协同研制数据信息模型

该数据信息模型运行的基础是数据源头唯一，并通过编码的方式确保其共享应用的准确性及其在

各业务环节之间传递的一致性。轻武器产品研制业务的数据源头及其在各环节的使用情况如表 1。

表 1 协同研制主数据及其在各业务环节中产生和使用情况

序号	数据名称	产品研制业务及其信息产生和使用情况 (▲产生 △使用)								
		人力	项目	设计	仿真	工艺	加工	质量	试验	档案
1	人员信息	▲	△	△	△	△	△	△	△	△
2	项目信息		▲	△				△		△
3	设计模型			▲	△	△		△		△
4	设计文档			▲					△	△
5	设计 BOM			▲		△				
6	设计变更			▲						
7	仿真任务			▲	△					
8	仿真结果			△	▲					
9	工艺模型					▲	△	△		
10	工艺 BOM					▲	△			
11	加工任务			▲						
12	检验任务						▲	△		
13	检验结果						△	▲		
14	试验任务			▲					△	
15	试验报告			△						▲

新型的轻武器数字化协同研制模式的运行步骤如下。

1) 系统总体设计。总体所基于本地 PDM 系统进行系统总体设计，并将总体设计方案通过本地 PDM 发放到仿真部门，进行产品的系统级仿真工作，确定总体方案，建立一级产品结构，并将总体

方案(包括产品总体结构 3 维模型、接口要求)发放到协同 PDM<sup>[7]</sup>。

2) 分系统之间设计。总体所基于本地 PDM 进行功能模块划分和分系统设计，通过模型属性、文档等形式发放到协同 PDM，设计人员获取枪弹相关信息并设计计算，将结果反馈至本地 PDM，由枪械

设计人员分析是否满足枪械设计要求。该过程一般反复多次后完成。

3) 分系统内部详细设计。总体所设计人员在本地 PDM 完成所承担的产品零部件结构设计, 细化相关产品结构。专业厂设计人员在协同 PDM 中完成所承担的产品零部件结构设计, 细化相关产品结构。2 个 PDM 系统之间通过数据发放接收机制, 保持数据的共享使用, 最终在总体所形成完成的产品结构数据, 保持数据的唯一准确。

4) 工艺性检查。产品主要零部件设计完成后, 专业厂工艺人员从协同中心 PDM 系统中获取设计模型, 开始工艺工装设计和试制加工准备, 工艺设计过程中如发现问题通过 PDM 系统及时反馈到总体所, 进而实现了设计与工艺、制造的并行协同。

5) 设计审签。设计完成后, 总体所或专业厂的设计人员通过 PDM 启动审签流程, 可自动驱动到本地或异地的审签人员, 由其完成相关审签工作。

6) 数据正式发放。设计完成后, 在总体所的 PDM 中形成最终完整的产品设计 BOM, 通过协同中心, 将设计数据正式发放到专业厂。

7) 工艺设计。工艺人员从协同 PDM 中获取设计模型、设计 BOM 等信息, 在本地的工艺环境中进行工艺设计, 建立 3 维工序模型, 对于数控加工

的工序, 利用 CAM 系统进行数控加工仿真和 NC 编制, 将编制完成的 NC 程序及相关的加工资源作为工艺的一部分, 最终形成完整的工艺 BOM。

8) 产品加工装配。将工艺 BOM 和 3 维工序模型发放到制造系统进行统一排产。调度人员基于制造系统进行加工排产, 并将设计模型、加工仿真视频、NC 程序及 3 维工序模型驱动到加工现场, 完成可视化的加工与产品装配。

### 3 新模式的应用

轻武器数字化协同研制新模式研究建立之后, 已经在轻武器行业 10 余个产品中进行了应用, 满足了产品跨地域协同研制需求。如“十三五”重点型号项目——某步枪系统, 研制单位是北京、重庆、成都三地的 1 所 2 厂, 应用新型的异地协同研制模式, 开展了异地在线协同设计。方案阶段 5 个产品 7 个方案、初样机阶段 4 个产品 6 个方案全部上线, 并完成了数据异地发放、异地签审、基于数字样机的仿真分析等工作。2 个协作厂通过协同平台接收设计数据, 有效保证了数据的一致性; 基于 3 维模型组织完成了自制机加件的 3 维工艺设计和可视化加工, 有效保障了加工质量和进度。具体应用流程如图 5 所示。

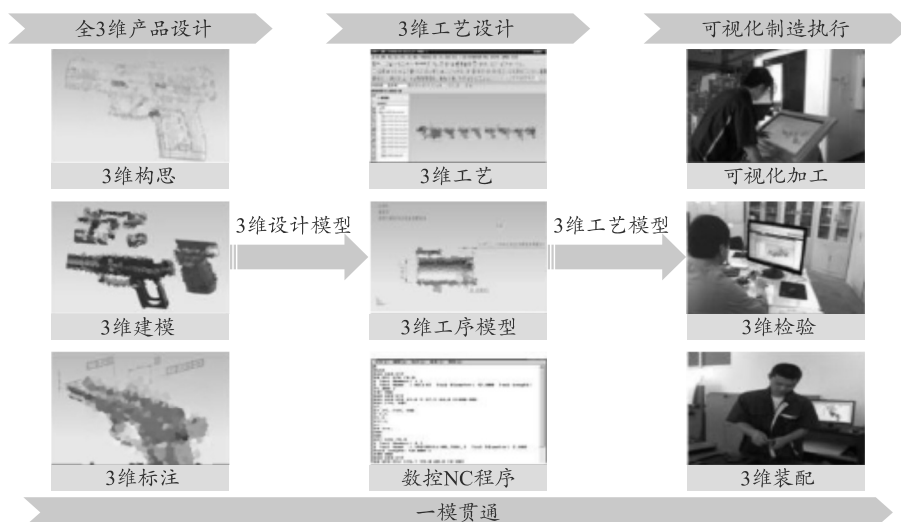


图 5 轻武器产品应用新模式开展工作的流程

经统计: 方案阶段 7 个方案, 初样阶段 6 个方案, 均实现了所有厂数据源唯一和过程一致性; 设计审签由原来的 3 d 缩短为 3 h; 基于数字样机进行了多轮优化设计, 改善了其动力特性, 提高了可靠性和零件寿命; 工艺师提前介入, 初样机 2 轮次工艺预审查, 反馈 22 项工艺意见, 减少返工, 并使工

艺审查和工艺准备时间提前了约 20 d; 设计数据发放到制造单位由原来的 12 h 缩短到 10 min 等。由于这些因素的影响, 设计更改次数明显减少, 一轮样机优化设计、试制、试验最快 2 个月即可完成, 且产品质量得到大幅提升。

ASD/AIA/ATA, 2016.

[9] 薛庆文. 虚拟现实 VRML 程序设计与实例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012: 186-202.

[10] 谢文达. 采用 X3D/VRML 建构虚拟校园的研究[J]. 福建电脑, 2013, 29(2): 139-140.

[11] ARMY R L, ADELPHI M D. Computational and Information Sciences Directorate. Dynamically Generated Nodes and Links for a Dynamic Network Structure Using X3D[R]. America: US government work report, 2009: 278-279.

[12] 朱兴动, 黄葵, 王正. 交互式 3D 仿真技术与 IETM 的集成[C]. 合肥: 中国系统仿真技术与应用会议, 2007: 575-578.

[13] NAVAL P S, MONTEREY C A. Modeling Virtual

Environments and Simulation. Finding the Sweet Spot: Bridging X3D, S1000D, and SCORM for Embedded Performance[R]. America: US government work report, 2010: 1372-1375.

[14] FONG J, CHEUNG S K, SHIU H. The XML Tree Model-toward an XML Conceptual schema reversed from XML Schema Definition[J]. Data Knowledge Engineering, 2008, 64(3): 624-661.

[15] ZHANG J, ZHANG J, ZHAO H Y. IETM Database Design Based on Native XML Database Technology[J]. Advanced Materials Research, 2014: 1624-1627.

[16] 李青, 孔冲. 下一代 SCORM 标准的新动向: ADL TLA 和 Experience API 解读[J]. 电化教育研究, 2013, 33(8): 61-67.

\*\*\*\*\*

(上接第 10 页)

[4] 车延连, 闫耀祖. 火力筹划论[M]. 北京: 军事科学出版社, 2009: 56-60.

[5] 高美峰, 周为远, 叶玉丹. 基于信息系统联合作战指挥流程优化的着眼点[J]. 指挥学报, 2015(4): 97-100.

[6] 张志伟. 陆军火力战[M]. 北京: 军事科学出版社, 2009: 75-76.

[7] 江龙. 基于信息系统联合作战决策流程问题研究[J]. 国防大学学报, 2015(8): 77-78.

[8] 秦永刚. 指挥工程化: 从信息到手段再到模式的整体嬗变[M]. 北京: 国防大学出版社, 2010: 59-60.

[9] 曹彦, 李雄. 基于 UML 的陆军信息火力战概念建模[J]. 兵工自动化, 2016, 35(1): 79-82.

\*\*\*\*\*

(上接第 15 页)

#### 4 结束语

应用结果表明: 轻武器产品新型的研制模式已经基本成型, 并在逐步替代原有模式, 在产品研制中发挥着重要作用。

#### 参考文献:

[1] 李飞, 章乐平, 王志勇, 等. 航天器数字化协同设计技术研究[J]. 导弹与航天运载技术, 2013, 324(1): 71-74.

[2] 秦红强, 王猛, 杨亚龙, 等. 液体火箭发动机 3 维数字化协同设计研究[J]. 火箭推进, 2016, 42(3): 76-80.

[3] 王秋雨, 孙家利, 董庆文, 等. 武器装备型号研制中标准化工作[J]. 兵工自动化, 2017, 36(7): 58-59.

[4] 付广磊, 王仲奇, 吴建军, 等. 飞机设计制造协同流程的研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(4): 24-30.

[5] 亓江文. 基于 MBD 技术的设计制造并行协同新模式探索与实践[J]. 航天制造技术, 2016(5): 99-104.

[6] 吴宏超, 刘治红, 吴跃. 面向军工装备制造企业的生产现场数据采集与智能监控系统[J]. 兵工自动化, 2017, 36(1): 22-27.

[7] 魏志芳, 王芳, 李晓光, 等. 枪\_弹等多领域协同设计系统构建[J]. 南京理工大学学报, 2016, 40(2): 156-164.

\*\*\*\*\*

(上接第 32 页)

[10] 屠善楹. 卫星姿态动力学与控制(2)[M]. 北京: 国宇航出版社, 2005: 172-176.

[11] 唐超颖, 沈春林. 滑模变结构控制在航天器姿态控制系统中的应用[J]. 兵工自动化, 2004, 23(1): 1-3.

[12] 王松艳, 杨明, 史小平. 空间拦截器姿态控制系统变结构控制规律研究[J]. 航天控制, 2002, 20(1): 41-46.

[13] 钱杏芳. 导弹飞行力学[M]. 北京: 北京理工大学出版

社, 2006: 110-113.

[14] PHILLIPS C, MALYEVAC S. Pulse Motor Optimization Via Mission Charts for an Exo-atmospheric Interceptor[C]. AIAA-97-3687, 1997.

[15] 刘世勇, 吴瑞林, 周伯昭. 大气层外拦截器单轴定向姿态控制律[J]. 飞行力学, 2005, 23(3): 70-74.

[16] 王亮, 周剑波, 李璞, 等. 战术导弹内部分支结构动力学建模[J]. 兵器装备工程学报, 2017(5): 18-21.