

doi: 10.7690/bgzdh.2021.09.002

# 火控系统正向研制信息系统的设计与实现

王 伟, 王 平, 仲丽萍, 曲 葭

(中国兵器装备集团自动化研究所有限公司, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为提升火控系统正向研制能力, 设计其信息系统主要框架。以火控系统正向研制系统的总体架构为依据, 以火控系统正向研制信息系统主要框架为设计蓝本, 在企业现有的 PDM、SDM、TDM、ERP、MES 等信息系统基础上进行集成和开发, 以实现研制流程管理、工程师协同研发平台、数据管理中心、知识管理中心和信息系统的集成与扩展等功能, 从而提高火控系统研制效率、减少研制成本。

**关键词:** 火控系统; 正向研制; 信息系统

**中图分类号:** TJ30 **文献标志码:** A

## Design and Implementation of Information System for Fire Control System Forward Development

Wang Wei, Wang Ping, Zhong Liping, Qu Xia

(Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** In order to enhance the capability of the forward development of the fire control system, design its main frame of information system. Based on main frame of fire control system forward development, take the information system main frame of forward system as design blueprint. On the basis of existing information systems in our enterprise, such as PDM, SDM, TDM, ERP, MES, etc., through further integrated and developed these information systems to implement the integration and extension of development workflow management, the engineer-coordination development platform, data management center, knowledge management center, so as to promote efficiency and cost reduction of the development in the fire control system.

**Keywords:** fire control system; forward development; information system

### 0 引言

正向研制是指以系统工程理论、方法和过程模型为指导, 从客户需求出发, 以功能为中心自上而下地分解产品功能结构, 确定各级子系统、设备、部件/组件、零件/元器件功能、工作任务或工程方法及解决方案, 完成详细设计, 经仿真和试验验证, 确定产品技术状态, 形成可批量生产、稳定运行的产品, 并提供产品全生命周期的维护和支持<sup>[1-2]</sup>。正向研制过程可形象概括为“概念→模型(绘图或建模)→实物”的研制过程。正向研制不以仿制、抄袭为手段, 其目的在于提升企业自主创新能力和设计制造一体化能力。与正向研制过程相比, 逆向研制过程可形象概括为“实物(测绘)→模型(绘图或建模)→新产品”的研制过程。逆向研制可快速形成样机, 生产出产品, 大幅压缩研发周期和交付时间, 但极大限制了企业自主创新, 难以形成企业的核心竞争力。

火炮火控系统(以下简称火控系统)集机械、电

气、计算机软件于一体, 火控制系统的研制是包含了设计、制造和试验等多学科、多领域和多厂所协作的复杂系统工程。火控制系统的研制具有产品结构复杂、工艺繁琐、加工难度大、对设计和生产的产品质量、可靠性以及生产效率要求高等特点。在一些企业, 火控系统研制还呈现产品品种规格多、产量小等生产特点。

在某些火控系统研制过程中, 相关知识和经验没有进行系统的积累和管理; 研制流程较粗, 不易刚性约束; 设计和生产过程缺乏有效的仿真、试验等验证手段, 有时物理样机需反复试错, 设计和制造效率低, 质量难以保证; 研制和管理过程以线下为主, 信息化水平较低, 对技术状态控制不充分。

新形势下, 发展火控系统正向研制能力, 构建火控系统正向研制信息系统, 是提高火控系统产品性能、质量和研制效率, 促进火控系统从跟研、仿研到自主创新、领先发展的有效途径; 因此, 笔者设计一套火控系统正向研制信息系统。

收稿日期: 2021-07-19; 修回日期: 2021-08-13

作者简介: 王 伟(1965—), 男, 江苏人, 研究员级高级工程师, 从事光电火控研究。E-mail: wangwei58suo@163.com。

### 1 V<sup>2</sup>型火控系统正向研制系统的总体架构

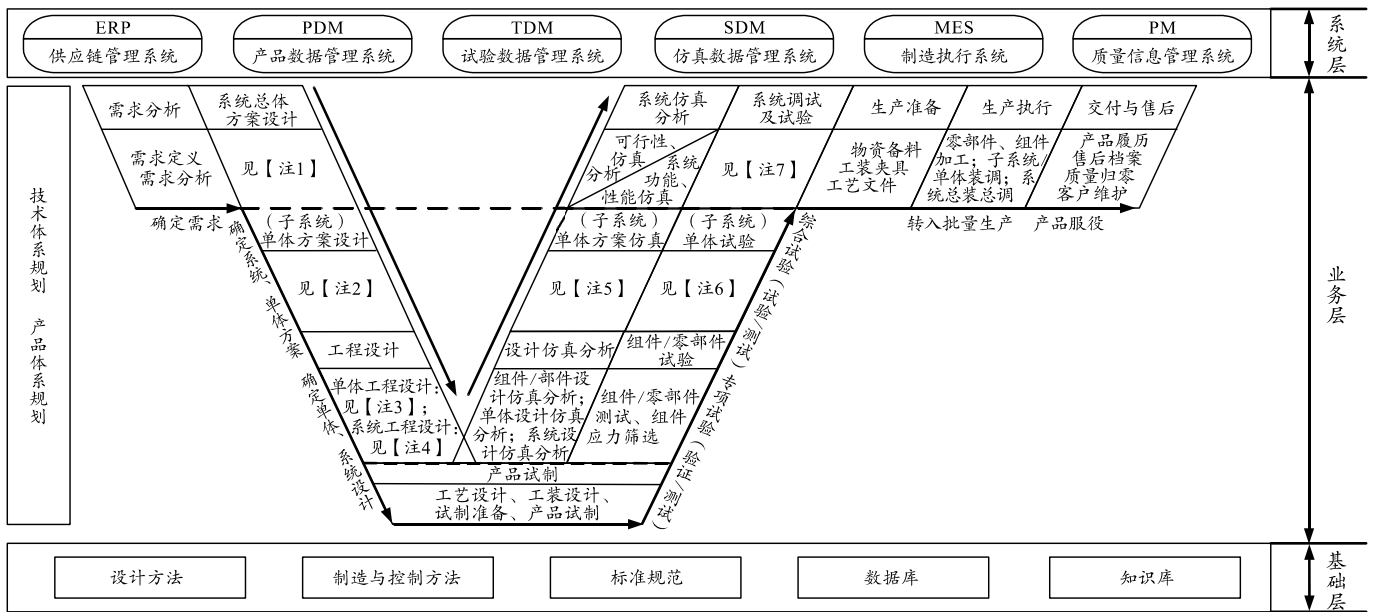
如图 1 所示，V<sup>2</sup>型火控系统正向研制系统的总体架构由基础层、业务层和系统层 3 个层级构成。

1) 基础层建立了火控系统研制过程中需要的基本方法、基础数据和遵循的标准规范。具体包括设计方法、制造与控制方法、标准规范、数据库、知识库等。

2) 业务层是火控系统正向研制系统的核心层。以技术体系、产品体系规划为牵引，以需求为导向，围绕系统的功能分析和分解，开展系统总体方案设计、子系统/单体设计、详细设计、试制加工等研制过程。研制过程中，需通过数字仿真、半实物仿真等手段对方案、设计的功能、性能和可行性、正确性、合理性进行分析、评估和确认，对方案、设计进行修正、完善，实现研制过程的第一次 V 型循环迭代。如在图 1 中，在“单体方案设计”过程中，需采用仿真计算手段，对单体的功能任务指标可达性进行确认，对单体通信/交互架构设计、单体电源系统设计等方案进行仿真、计算确认。再通过对试验验证系统(装置)或生产的样机、样品进行试验，对系统、子系统/单体、组件/部件的方案和设计进

行试验验证和确认，对方案、设计进一步修正、完善，实现研制过程的再次 V 型循环迭代。如在图 1 中，在“单体方案设计”过程中，可通过试验装置，对单体通信/交互架构设计、单体电源系统设计等方案进行试验验证和确认。在研制的系统产品技术状态稳定、确认后，执行产品生产、交付和售后服务。业务层贯穿了从需求分析、方案论证、工程设计及仿真、样机制造和试验验证、产品生产、交付和售后服务的火控系统研制全寿命周期，集中体现了 V<sup>2</sup>型循环迭代的系统工程理念。

3) 系统层主要以企业信息化系统为依托，开展火控系统产品研发的主数据研究以及基于企业服务总线(ESB)的数据及应用的集成平台研发。集成优化供应链管理系统(ERP)、产品数据管理系统(PDM)、仿真数据管理系统(SDM)、试验数据管理系统(TDM)、制造执行系统(MES)和质量信息管理系统(PM)等，打通现有信息化系统接口，实现火控系统科研、生产、管理等各领域异构系统之间的应用集成，以及跨领域数据安全共享、公共服务、应用协同和流程整合，构建统一、规范的火控系统研制数字化融合平台，提升信息化资产价值。



- 【注1】：
  - 功能任务分解；
  - 体系构架设计；
  - 指标分配；
  - 系统信息流设计；
  - 软件系统分析设计；
  - 电源系统设计；
  - 系统布局设计；
  - 系统“六性”方案设计。
- 【注2】：
  - 功能任务指标确认；
  - 单体组成方案设计；
  - 单体通信/交互架构设计；
  - 单体软件分析设计；
  - 单体电源系统设计；
  - 单体电子结构概略设计；
  - 单体“六性”设计。
- 【注3】：
  - 单体机械零件和部件设计；
  - 单体电子器件和组件设计；
  - 单体软件概要、详细设计；
  - 单体部件/组件适配；
  - 单体可靠性预计；
  - 单体 EMC 设计及评估；
  - 单体“六性”设计。
- 【注4】：
  - 系统布局及安装设计；
  - 系统电缆设计；
  - 系统“六性”设计及评估；
  - 系统 EMC 设计及评估。
- 【注5】：
  - 功能、性能仿真；
  - EMC 仿真；
  - 热设计仿真；
  - 可装配性仿真；
  - 机械运动仿真。
- 【注6】：
  - 单体应力筛选；
  - 功能、性能试验；
  - 环境适应性试验；
  - EMC 试验；
  - “六性”试验；
  - 用户体验。
- 【注7】：
  - 台架调试；
  - 系统调试；
  - 系统性能验证试验；
  - 系统性能鉴定试验；
  - 系统状态鉴定。

图 1 V<sup>2</sup>型火控系统正向研制系统的总体架构

## 2 正向研制信息系统主要框架的设计

如图 2 所示，火控系统正向研制信息系统主要框架由统一门户、研制流程管理、工程师协同研发平台、数据管理中心、知识管理中心、信息系统集成与扩展等模块组成。

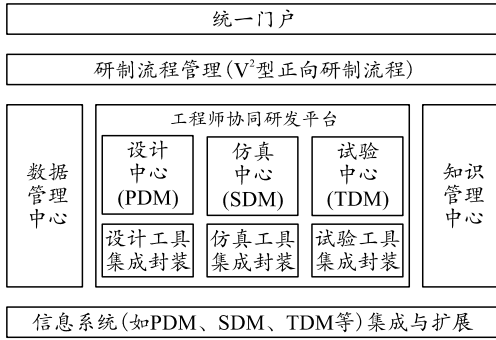


图 2 火控系统正向研制信息系统主要框架

1) 统一门户是正向研制信息系统入口，用于相关项目登录，可显示项目的待办任务列表、执行状态、任务甘特图、系统通知、消息提醒和系统内热点知识列表等。

2) 研制流程管理模块是 V<sup>2</sup> 型正向研制流程理念体现的核心模块。主要根据研制项目的类型、阶段、过程和任务进行研制项目的流程管理，实现研制项目的创建、属性配置、成员管理、操作权限控制、结构树管理、进度和状态统计等功能。支持项目属性和计划等信息与 ERP、PDM、TDM、SDM、MES 信息系统实现交互。

3) 工程师协同研发平台由设计中心、仿真中心和试验中心等组成。在设计中心，以产品数据管理平台为基础，集成封装了用于设计的各种通用、专用的机械、电子、电气 CAD 软件工具；在仿真中心，以仿真数据管理平台为基础，集成封装了电磁兼容、电子热分析、机械疲劳分析等多种计算机数字仿真 CAE 软件工具。需要时可通过计算机网络与相关实物/半实物仿真试验平台连通，在线开展实物/半实物仿真试验；在试验中心，以试验数据管理功能为基础，集成封装了多种振动、冲击图谱数据和计算机试验分析软件。通过计算机网络与实际试验平台(设施)相连。在线下达试验指令和数据，并在线采集、收集试验过程数据，对试验过程和结果进行评估。在工程师协同研发平台上，一方面，不同专业、不同分工的工程师在研制流程管理模块协调下通过计算机网络，能够协同开展设计、验证工作，实现研发过程数据和信息共享；另一方面，可以在同一平台环境下，完成工程设计、仿真分析、试验

验证及分析等循环迭代研发过程。并且，工程师协同研发平台是开放式架构，可以根据产品研发需要和技术发展，完善其设计、仿真、试验软件工具和硬件设施、平台。

4) 数据管理中心面向结构化数据信息资源，主要将火控系统研制过程中产生的标准件、通用件、外购件和模块化部件/组件、元器件等用于设计的参数、数据进行分类建库，统一管理，并能够对数据进行检索、浏览和共享，用于产品设计、仿真和试验分析，解决数据分散、孤立和利用率低等问题。

5) 知识管理中心面向非结构化数据信息资源，主要将火控系统在方案设计、工程设计、产品生产等过程中分散、孤立的知识进行结构化的组织和管理，实现知识的不断积累，持续增强知识的储备。

6) 信息系统集成与扩展模块通过计算机信息系统集成，进一步实现火控系统科研、生产、管理中 PDM、SDM、TDM、ERP、MES 等异构系统之间的数据信息互通、共享。

## 3 正向研制信息系统在企业的实现

近年来，企业信息化建设如火如荼。笔者所在公司(以下简称我司)也先期开展了 PDM、SDM、TDM、ERP、MES 等信息系统的建设。新形势下，相对数字化、信息化技术的飞速发展和企业对自主创新的迫切需求，企业信息化建设还有一定滞后，缺乏从需求分析、方案论证、工程设计、样机试制、产品生产到售后服务的全寿命周期、全流程的产品研制信息化系统；缺乏集设计、仿真、试验于一体的循环迭代正向协同研发平台；信息系统间存在“信息断点”“信息孤岛”现象，互通性、融合性、共享性还不理想，较难实现线上正向研发协同。

笔者以火控系统正向研制信息系统主要框架为蓝本，结合我司信息化建设目前的实际情况，构建了火控系统正向研制信息系统。如图 3 所示，系统主要由统一门户、研制流程管理、信息系统集成与扩展、知识管理中心等功能模块组成。

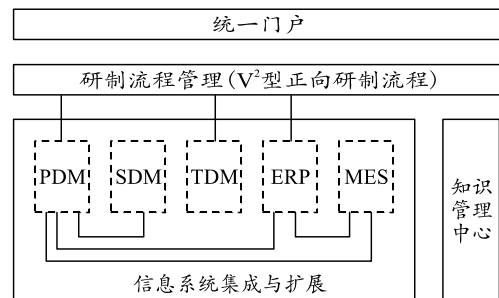


图 3 火控系统正向研制信息系统

### 3.1 研制流程管理功能的实现

火控系统正向研制信息系统的研制流程管理为贯穿火控系统研制过程的主线，用研制流程对研制过程中的研制行为进行要求、引导、约束和管控。按照研制流程管理模块分配的任务和流程的要求，协同运用 PDM、SDM、TDM 等信息系统作为工程师协同研发平台，综合协调使用数据管理功能、知识管理中心相关信息资源，实现火控系统设计、仿真、试验等过程反复循环迭代的产品研制流程管理功能。

火控系统正向研制信息系统的研制流程管理模块的总流程，主要根据研制任务来源和要求确定研制项目所属类型；根据项目类型对应不同的研发场景和研制流程，确定需执行的对应研制阶段；根据研制阶段确定需执行的研制过程；研制过程由相关研制任务构成，研制任务中相对独立的工作内容构成工作任务分解结构 (work breakdown structure, WBS) 包，使研制流程管理按照从项目、类型、阶段、过程、任务到 WBS 包逐层展开，实现研制工作任务的分解、分配和协调。其中，项目类型可包括型号类、预研类、军贸类、基金类等；研制阶段可包括需求分析、工程研制、列装定型、批量生产、售后服务等；以工程研制阶段为例，研制过程可包括方案设计、工程设计、产品试制、性能验证试验、性能鉴定试验、状态鉴定等；以工程设计过程为例，研制任务可包括单体设计、系统总体设计等；WBS 包为研制流程管理模块中的基本管理环节，也是火控系统正向研制信息系统的基本单元。每个 WBS 包定义有输入、输出，明确了 WBS 包的责任部门、责任人，并能标注交付物、关联设计工具和仿真软件等。

### 3.2 工程师协同研发平台功能的实现

在企业先期开展的 PDM、SDM、TDM 等信息系统建设和应用的基础上，火控系统正向研制信息系统中，仍然使用 PDM 系统作为产品在研制过程中数据管理和设计的主要手段，使用集成封装的 CAD 工具开展设计工作。在设计过程中或设计完成后，使用 SDM 系统及其集成封装的计算机仿真软件工具，或使用通过计算机网络与火控系统正向研制信息系统相连接的半实物仿真平台，对火控系统的系统、单体、组件等开展设计仿真验证。在生产加工完成后，使用 TDM 系统及其集成封装的计算

机试验软件工具，对生产的样机或样件等开展试验验证。

通过实现 PDM、SDM、TDM 的数据贯通、共享与融合，在研制流程管理模块的协调、控制下，实现工程师从设计、仿真到试验的无缝、有机、统一的协同研发，构建成工程师协同研发平台。

### 3.3 数据管理中心功能的实现

从适应方便工程师协同设计出发，火控系统正向研制信息系统数据管理中心以现有的产品数据管理 PDM 系统中的设计资源数据库为基本架构进行构建，实施管理。并且，可根据火控系统研制的具体需求和特点，不断丰富和完善数据库包含的种类和内容，如目前已开发完成了材料库、标准件库、外购件库、电子元器件库等设计资源数据库。

### 3.4 知识管理中心功能的实现

火控系统正向研制信息系统的知识体系主要从火控系统研制的业务过程和火控系统研制的技术领域两个维度进行组织和构建。

1) 从业务过程的维度，主要结合企业自主创新体系的建设内容，从研制流程框架、先进设计方法、先进制造与控制方法、先进试验与检测方法、标准和规范以及科技文献、科技报告、相关专利、相关科技信息、相关产品信息等方面对知识进行多类型的组织和构建。

2) 从技术领域的维度，主要从与火控技术领域相关的技术方向、技术专题和子专题组织构建多层次知识体系，如技术方向可包括火控建模与解算技术、伺服/随动控制技术、图像处理和识别技术、光电探测技术、信息处理平台技术、信息通信传输技术、人工智能与无人化和智能化技术等。如在火控建模与解算技术方向中可包括空中目标航迹滤波、解命中及诸元解算、毁伤评估等技术专题。

知识管理中心还具有对知识及知识库的管理和维护功能，具有知识检索、知识浏览、知识统计等应用功能。

### 3.5 信息系统的集成与扩展功能的实现

企业信息化系统实施只有建立在业务入口统一、信息源头唯一的基础上，才能真正实现高效运转，充分发挥各信息化系统的优势地位<sup>[3]</sup>。通过火控系统研制信息化管理系统集成，进一步实现火控系统科研、生产、管理中 PDM、SDM、TDM、ERP、MES 等异构系统之间的数据、信息的互通、共享。

具体开展以下方面信息系统的集成与扩展：

- 1) 构建数字化融合平台，实现火控系统科研、生产、管理的 ERP、PDM、TDM、MES 等异构系统之间的应用集成和资源共享；
- 2) 以火控系统正向研制信息系统为主线，贯穿信息化管理系统集成研究全流程；
- 3) 以 PDM 系统为依托的数字化协同研发体系，实现多学科协同研发；
- 4) 深化 CAE 工具应用，构建多学科协同仿真平台；
- 5) 实现与 ERP 集成，实现研制项目采购、生产及成本管理，推进业财融合；
- 6) 实现与档案管理系统集成，全面推进项目资料数字化归档；
- 7) 实现与门户系统集成，实现单点登录和统一代办；
- 8) PDM 与 ERP 的集成，实现从研发到采购、

生产数据贯通。

### 4 结束语

笔者结合我司信息化建设当前的实际情况，以现有的 PDM、SDM、TDM、ERP、MES 等信息系统为基础，设计实现了火控系统正向研制信息系统的主要功能。对现有信息化系统没有推倒重来、另起炉灶，避免了研制工作中“两张皮”“不同步”现象。结果表明：该系统既提高了开发效率，又减少了开发成本。

### 参考文献：

- [1] 田彬. 飞机复杂系统基于功能的正向设计过程[J]. 工业技术, 2015(29): 73, 75.
- [2] 安世亚太. 精益研发 2.0: 促进基于正向设计的自主创新[J]. 舰船科学技术, 2015(12): 184-185.
- [3] 于冬梅, 阙玉红, 郭施. 产品研制流程执行监控系统[J]. 兵工自动化, 2020(4): 45-49, 78.
- [4] 田彬. 飞机复杂系统基于功能的正向设计过程[J]. 工业技术, 2017(4): 99-109.
- [9] LIU K, XU H W, CHEN M X. Radar Emitter Recognition Based on Radar Parameter Pattern[J]. Electronic Information Warfare Technology, 2015, 30(1): 43-47.
- [10] 陈锡明, 祝正威, 卢显良. 新型雷达辐射源识别专家系统的研究与实现[J]. 系统工程与电子技术, 2000(8): 58-62.
- [11] 吴振强, 张国毅, 常硕, 等. 基于神经网络与信息融合的雷达辐射源识别[J]. 电子信息对抗技术, 2015, 30(6): 1-4.
- [12] DENG C W, HUANG G B, XU J, et al. Extreme learning machines: new trends and applications[J]. Science China(Information Sciences), 2015, 58(2): 5-20.
- [13] 杨倩, 孙双林. 基于粒子群优化算法的雷达辐射源识别[J]. 激光杂志, 2018, 39(2): 118-121.
- [14] 孙毓富, 柴恒, 吴扬. 基于粒子群优化的神经网络算法在辐射源特征聚类中的应用[J]. 舰船电子对抗, 2010, 33(3): 66-68.
- [15] FENG Y T, WANG G L, LIU Z P, et al. An Unknown Radar Emitter Identification Method Based on Semi-Supervised and Transfer Learning[J]. Algorithms, 2019, 12(12): 271.

(上接第 5 页)

- [2] 关欣, 张玉虎, 凌寒羽. 电子扫描雷达信号主干工作模式的提取[J]. 电光与控制, 2018, 25(11): 88-92.
- [3] WANG X, HUANG G, ZHOU Z, et al. Radar Emitter Recognition Based on the Energy Cumulant of Short Time Fourier Transform and Reinforced Deep Belief Network[J]. Sensors, 2018, 18(9): 3103-3103.
- [4] YANG Z T, QIU W, SUN H J, et al. Robust Radar Emitter Recognition Based on the Three-Dimensional Distribution Feature and Transfer Learning[J]. Sensors, 2016, 16(3): 289.
- [5] ZHANG X Y, WAN J, ZHAO Y N, et al. Recognition of radar emitter signals based on SVD and AF main ridge slice[J]. Journal of Communications & Networks, 2015, 17(5): 491-498.
- [6] 孟凡杰, 唐宏, 王义哲, 等. 基于时频图像纹理特征的雷达辐射源信号识别[J]. 弹箭与制导学报, 2017, 37(3): 152-156.
- [7] 李楠. 基于对角切片特征提取和深度学习的辐射源识别[J]. 电讯技术, 2019, 59(1): 5-10.
- [8] 韩洁, 张涛, 王欢欢, 等. 基于 3D-Hibert 能量谱和多尺度分形特征的通信辐射源个体识别[J]. 通信学报,