

# 美国数字工程战略实施途径

## US Digital Engineering Implementation Strategy

■ 崔艳林 王巍巍 王乐 / 中国航发涡轮院

近年来，随着外部环境和内部系统的复杂性和风险性增加，传统的分散系统、工具以及线性流程使得复杂系统的设计、交付和保障难以跟上快速变化的作战环境，并且阻碍业务模式变革及作战能力提升。为解决这一问题，美国国防部决定从2015年起实施数字工程（Digital Engineering）战略。

美国国防部于2018年正式发布《数字工程战略》(Digital Engineering Strategy)，将数字工程（Digital Engineering）正式定义为一种集成的数字方法，使用系统的权威模型和数据源，以在全生命周期内跨学科、跨领域地连续传递模型和数据，支撑系统从概念开发到报废处置的所有活动，将其融入超级计算、大数据分析、人工智能、机器学习等创新技术以提升工程能力，并最终建立一个完整的数字工程生态系统。该战略旨在将以往线性的、以文档为中心的采办流程转变为动态的、以数字模

型为中心的的数字工程生态系统，使美国军队完成以模型为中心的范式转型。美国国防部认为，数字工程转型战略将是实现敏捷采办、增加迭代、夯实工业基础、促进制造业变革的关键途径，也是美国实施“第三次抵消战略”（The Third Offset Strategy）和开启第四次工业革命大门的关键一环。在其战略规划里，数字工程战略实施途径主要包括以下几个方面：顶层牵引，联合推进；引入创新技术，革新系统工程；基础设施建设与先导验证齐头并进。同时，上述规划和举措得到了工业界积极响应，应用项目全面铺开。

### 顶层牵引，联合推进

为在数字工程转型战略的总体思路上达成共识，美国国防部和军方联合制订了顶层规划和面向全生命周期采办的综合解决方案；联合军政产学研各界力量，依托先导项目逐步推进；同时开展数字工程教育和培训，为这种工程范式的演变和革新培养新生力量；待达到一定成熟度（4~5级）后，发布统一的数字工程战略，最后在各个采办项目中全面应用，如图1所示。

在组织管理方面，美国的数字工程转型工作由国防部抓总，海陆空



图1 数字工程顶层规划及发展

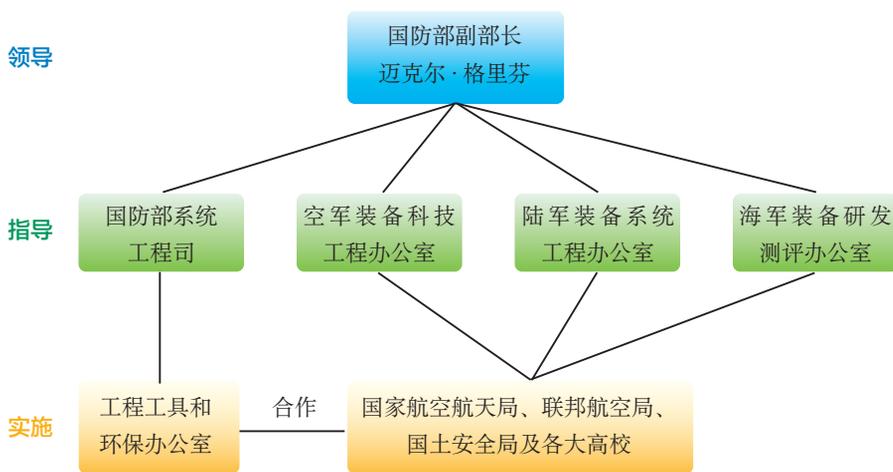


图2 美国数字工程管理部门

三军牵头实施，联合工业界和学术界优势力量开展研究和论证工作，并借助先导项目逐步验证和推广，最终实现全面应用。数字工程管理部门具体由美国国防部负责工程和研发的副部长迈克尔·格里芬（Michael D. Griffin）领导；由国防部系统工程司、空军装备科技工程办公室、陆军装

备系统工程办公室和海军装备研发测评办公室指导；由国防部系统工程司工程工具和环保办公室的菲洛米娜·齐墨尔曼团队负责实施。通过与美国国家航空航天局（NASA）、联邦航空局（FAA）、国土安全局，以及各大高校合作提供外部资源和服务，如图2所示。

## 引入创新技术，革新系统工程

为彻底贯彻实施数字工程战略，美国国防部推出数字工程生态系统以支撑数字采办。该生态系统涵盖了系统工程的技术流程和管理流程，并在此基础上引入3项关键创新技术，即数字系统模型（Digital System Model）、数字主线（Digital Thread）和数字孪生（Digital Twin），以实现真正的全生命周期数字化表达，如图3所示。

作为数字工程生态系统的纽带，数字系统模型、数字主线和数字孪生提供了端到端集成、权威、系统的全生命周期的数字形式，实现了从产品设计、制造、试验到维修保障全过程的数字化，将产品创新、制造效率和有效性水平提升到一个新的高度。

数字系统模型聚焦在为武器系

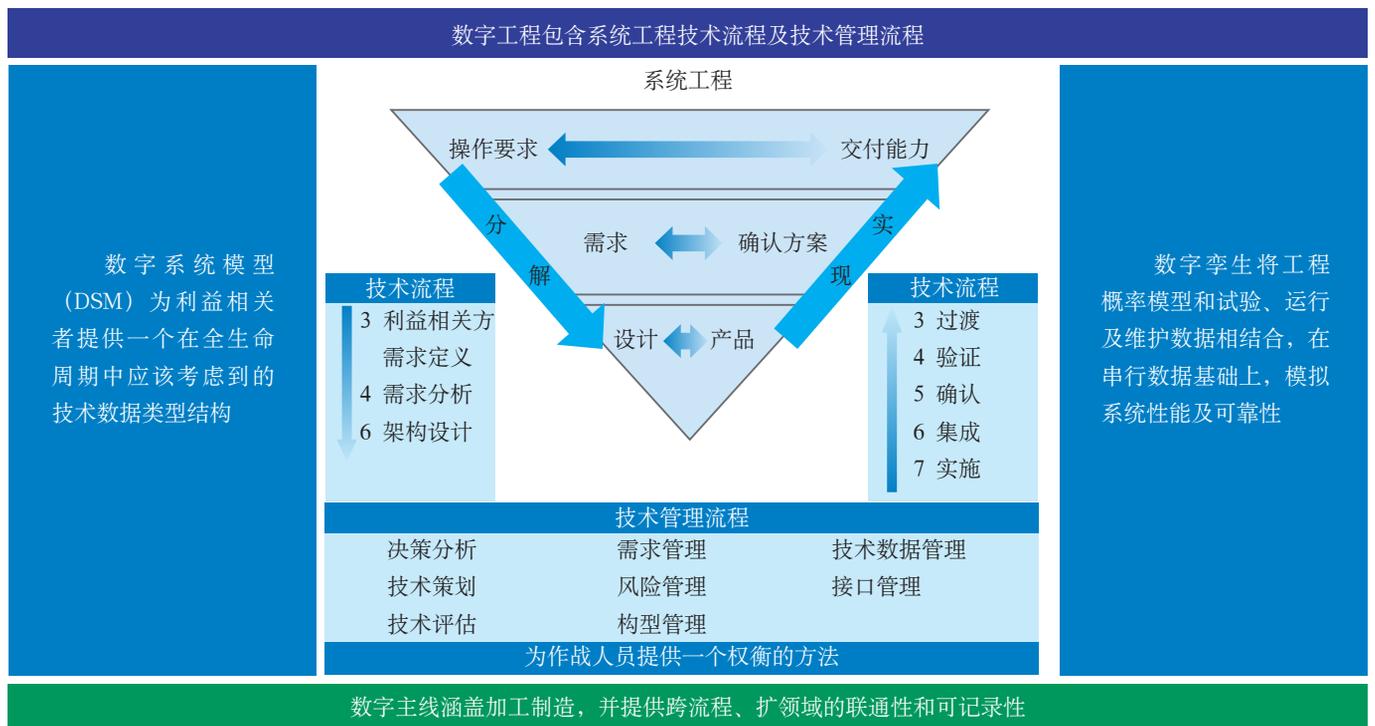


图3 数字工程与系统工程的关系

统实施数字化提供政策指南和结构框架，这也是目前国防部关注的重点，而数字主线和数字孪生则更多地关注开发基于模型的技术并以此创建数字化系统。当前，美国国防部数字系统模型的工作集中在对数字系统模型的数据分类，以提供一个模型，为定义权威真相源服务。与此同时，数字系统模型还通过建立一个集成的分类，为利益相关方提供一个在全生命周期内需要考到的技术数据类型的组织结构；建立一个可以被所有项目使用的公共词汇表。

## 基础建设与先导验证齐头并进

截至目前，国防部经过近10年的基础支撑技术建设，如工程弹性系统（ERS）、计算研究与工程采办工具和环境（CREATE）以及数字系统模型（DSM）计划和先导项目验证的试点应用，数字工程已经获得美国航空航天界的战略共识，并不断推广数字工程的应用，拟从概念研究发展成为具备颠覆功能的优势能力。

美国空军的T-7A“红鹰”教练机是最典型的数字工程应用先导项目，它从一开始便采用了数字工程的理念和方法。该型机所采用的数字工程流程、敏捷软件开发和开放式架构任务系统，能更快速地集成新的概念和能力，并通过虚拟测试、快速迭代、便捷升级等实现更好的经济可承受性。基于模型的工程和三维设计工具，使“红鹰”在36个月内从概念设计过渡到首次飞行，首轮产品工程质量提升75%，装配时间减少80%，软件开发时间减少

一半。2020年，“红鹰”教练机成为第一种获得“e”系列称号的飞机，即eT-7A。美空军用“e”来标明采用数字工程流程在制造样机之前使用计算机设计、建模和测试的武器装备。随着eT-7A“红鹰”先导项目的成功实施，美国多个国防项目先后宣布采用数字工程策略，其中美国第六代战斗机研制计划“下一代空中主宰”（NGAD）相应地转型为采用数字化系列创新研制模式。

## 工业界积极响应，应用项目全面铺开

为抓住数字工程转型机遇，洛克希德-马丁（洛马）公司、雷神技术公司、GE公司等国防承包商积极响应，将自身的数字工程工具与军方层面和国防部层面的平台形成跨阶段、跨流程覆盖的数字工程系统，全面支持未来优势武器装备的快速、低成本研发。美国空军研究实验室弹药局在虚拟战争弹药模拟器上演示了埃格林武器数字组织体“一号武器”（WeaponONE, W1）示范项目，成功演示了数字工程对作战人员和产品开发的价值；洛马公司推出验证数字工程流程的“竞速者”（Speed Racer）无人航空器研发项目，旨在验证StartDrive数字工程工具集。通过在完全集成的数字工作环境中运行所需的文化、流程和工具，以在较短时间内满足所有的开发需求来加速开发过程；雷神技术公司正在利用数字工程技术，快速开发下一代战斗机各种新型系统部件，通过一个公共参数库来完成产品设计、制造、维护和交付等整个生产流程，从而改变产品的研发方式、员工的工作方式和公

司的运行方式。

截至2020年，美国空军已经有30多个采办项目正在落实数字工程战略。种种迹象表明，美国所实施的数字工程已不再是所谓的“试点计划”，而是已经在采办项目中的部分阶段、部分领域，甚至全生命周期大规模铺开，并向着飞行员训练、软件开发、基地运行、事物工作等各个领域全面推进。

## 结束语

美国一直将数字化转型视为关系国计民生的头等大事，从总统、国防部等国家最顶层出发，发布面向整个经济和社会领域的数字工程转型规划，明确未来的发展方向和总体目标。然后，各行业各领域根据自身行业发现现状和特点，细化顶层规划的要求，制定分步实施路线图。因为数字化转型是近几年才提出的新型发展战略，融合了大量创新技术，其成熟度和可行性还有待验证，不能立刻大规模推行。因此，美国选择首先在航空航天领域开展试点，然后根据技术成熟情况逐步推广。试点项目进行先期验证，以期在验证的过程中发现问题、解决问题。待整个实施方案和方法全部打通，新兴技术得到验证，具有一定的技术成熟度后，才会大规模推广至其他行业和项目。同时，创新技术是加快数字化转型的重要“催化剂”，美国通过成立国家级的创新技术研究和发展中心，划拨资金进行专项技术攻关，不断提升创新技术的可用性和成熟度。

航空动力

（崔艳林，中国航发涡轮院，工程师，主要从事航空发动机情报研究）