

# 美国数字工程人才培养模式分析

## Analysis of the Training Model for Digital Engineering Talents in USA

■ 王乐 / 中国航发四川燃气涡轮研究院

当前，美国仍是世界武器装备研制的领头羊，是其他国家追赶的对象。但近年来，随着科学技术的发展、知识和技术的扩散，以及他国军事领域研发投入的加大，为维持领先地位、解决现实问题、提升效率，美国开展了数字工程战略。

在全球军事竞争激烈化的大背景下，美国认为其在装备研制领域的竞争优势正在不断削弱，武器装备采办中存在的超支严重、采购周期过长和采购成本过高等问题也越来越尖锐，上述弊端所带来的不确定性日益凸显。针对这些问题，美国国防部在2018年6月推出了数字工程战略，旨在通过权威的数据和模型横向打通产品全生命周期各研制环节，纵向贯通采办全流程，促进产品的高质量敏捷研发，推动落实全新的武器装备数字化采办模式。数字工程战略有模型、数据、创新技术、基础条件、文化转型和人才建设五大核心目标，如图1所示。其中，人才培养与建设是核心目标实现的基础。

### 数字工程人才培养需求

从数字工程战略的核心目标可以看出，人才是实施数字化的基础，是实现数字化采办的核心要素。数字工程作为武器装备领域的重大创举，通过建立涵盖所有利益相关方的数字工程生态，畅通产品采办、工程、使用维护的整个链路。系统融合了基于模型的技术、数字化实践和计算基础设施，通过权威真相源和数字工件连接人员、流程、工具、数

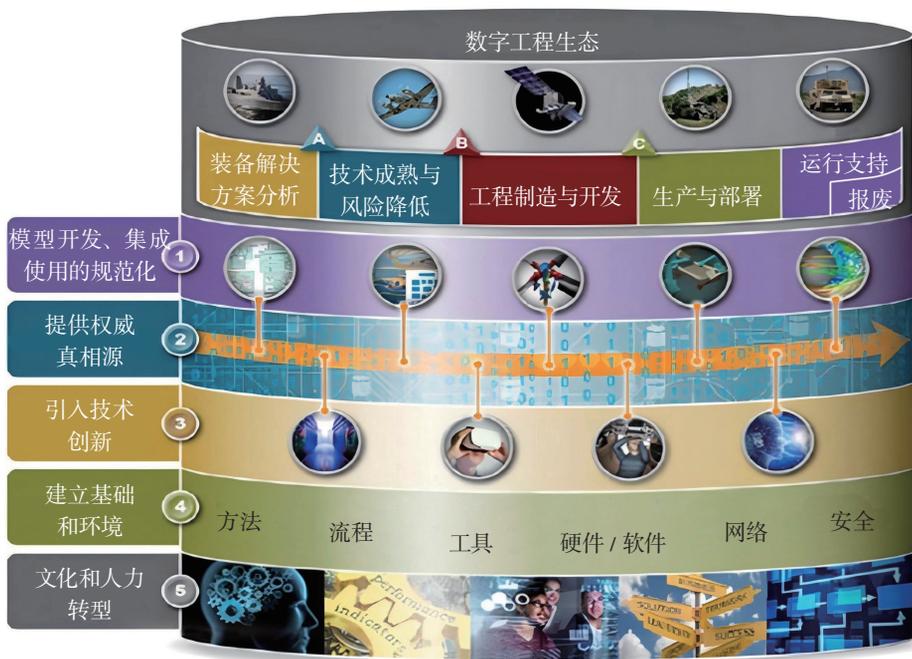


图1 数字工程战略的五大核心目标

据和能力，改进技术、合同和业务实践。数字工程是创新的工程，不仅采用了基于模型的系统工程思维，还融合了多学科、多技术、多要素和多工具，将为工业界带来研发模式的新思潮，也将为工业人员带来数字化的系统工程思维，是一场认知上的革命。因此，人才的培养成为了数字工程战略的基石。

数字工程的落地实施，一方面需要提升所有利益相关方的认知能力、更新与完善原有的知识体系、

重构适用于数字工程的知识库；另一方面需要创建数字工程团队、培养数字工程实施所需要的人才，大力引导企业、产品和项目等向数字化转型。鉴于数字化背景下人才培养的重要性，美国国防部利用专门制订人才能力提升计划、开发工程技术管理(ETM)能力模型、开展线上/线下培训、强化人才组织管理等手段，布局数字工程生态系统。海陆空各军种也在数字工程战略的框架下制定了适应自身发展的数字

工程人才培养规划。

## 数字工程人才培养模式 制定发展规划“回归本源”

美国国防部认为，人才是最重要的资产，也是生成竞争优势的关键。目前，美国国防部员工管理框架涉及的需求过多，并且缺少应对复杂和动态环境的灵活性，无法应对多样化和不断变化的需求。因此，国防部应改进采办人才职能域架构，并将其作为优先发展方向；此外，还应为国防采办人员提供一定的培训资源、创建学习的环境和文化。2021年2月，国防部开始实施国防采办队伍现代化长期计划——“回归本源”（BtB）计划。该计划以降本增效为宗旨，通过引入新理念、新方法、新工具，革新现有人才培养模式，其中就包括提高数字工程技能。这一新的、现代化的培训和认证方式有助于促进认证需求的合理化，提高员工获得相应文凭的机会，为员工提供了持续学习的可能，从而改变了传统的“一刀切”

模式，通过培养终身学习文化，使采办人员能够根据个人需求进行定制化发展。BtB计划具有普适性，所有国防部和工业企业员工均可参与课程学习。为了支持这种新的认证方式，国防采办大学大幅增加了学员参与学习的机会，并组织了大量的线上、线下专业研讨会。

### 开展工程技术管理认证和培训

人才培养中，职业技能的认证不可或缺，美国国防部对从事包括软件开发、科学研究、质量监督等岗位的人员开展ETM方面的技能培训，培训比例约占国防采办从业人员的40%，涉及7万多名员工。在数字化背景下，为满足数字化人才的需求，国防部加快了ETM的认证和培训，专门组建了一个由国防部、军队和防务生态系统技术负责人组成的工作小组，通过开发ETM能力模型和开展线上、线下培训/认证两个方面，促进采办队伍的ETM能力提升。

人才能力模型是ETM培训和认证中人才能力成熟度的重要指标。

ETM工作小组从各个渠道采集了100多项能力，并将其分解为9大核心能力和36项专业能力，构建了ETM能力模型，以支持ETM功能域的认证和培训。其中，核心能力（2级）是认证和培训的基础，获得专业能力（3级）后可取得ETM文凭。图2为ETM能力模型（2级和3级），其中，数字工程相关能力（红色部分）共涉及5项，2级能力1项，3级能力4项。数字素养（2级）是指开展数字化行为和实践，支持数字理念的实现（如IT、网络安全和数字工程）；架构设计（3级）是指使用可以满足硬件、软件和人力要素文档需求的数字模型创建系统或任务架构、使用流程和相关的内部和外部接口。架构中，数字模型和数字表征相互关联，以便管理其内容和活动，实现企业的组织目标；数字环境开发（3级）是指开发一个集成了数字开发框架的数字企业环境；数字环境的运维（3级）是指数字企业环境内部的运行和支持；建模仿真和分析（3级）是指创建和分析物理模型的数



图2 工程技术管理能力模型

字原型，以预测其在现实世界中的性能。模型和仿真用于辅助系统设计师和工程师了解系统组件是否会、在什么条件下以及在何种情况下可能会发生故障，通过分析确定其可以承受的载荷。

数字技术在国防采办中的渗透，要求生态系统人员具有相应的技能，并在项目的应用过程中不断提升。为了支撑国防采办的数字化转型，国防部在国防采办队伍改进法的框架下改进了培训流程和方法，主要包括面向国防部用户的数字工程培训和工程技术管理培训。

国防部用户要想申请数字工程培训，首先需获取数字工程证书。目前，面向国防部用户的数字工程证书CENG 001已投入使用。获取证书后，用户可以学习建模仿真和数字工程（CLE084）及基于模型的系统工程（MBSE）两门课程：学习数字工程重要信息和观点；了解建模仿真和数字工程对系统全生命周期的支撑作用；理解MBSE的作用和系统工程流程；掌握数字工件相关标准的需求、特定数字工件的定义、

装配数字工件结构开发。此外，证书还可用于访问国防部采办全生命周期的数字工程、国防部的数字工程基础、战略目标和政策。探索的方案包括但不限于国防部在数字工程战略、国防部数字工程基础和顶层国防采办文件DODI5000.02的指导下向基于仿真建模和数字工程的采办环境转型认证。

国防部工程技术管理认证和培训工作组将国防采办队伍改进法中传统的三级认证简化为两级：ETM基础认证和从业者认证，并通过模块化设计，将9个核心竞争力课程嵌入两类认证中，并通过不同成熟度表征，最终形成了由基础课和实践课组成的18门课程。这种模块化设计具有可扩展性，可以持续改进和更新。图3为ETM的课程设计，其中红色突出显示的两门数字工程相关课程就是根据国防部数字工程战略推行需求新增的培训内容。

ETM 1070数字素养基础：在线培训课程，介绍了数字素养的概念和策略。学员通过了解数字行为和实践，支持数字理念的实施；学习

数字方法，使用权威系统跨学科连续数据和模型，支持产品从概念到报废全生命周期的活动。学习完成后，可以获得基础级技能，了解数字环境中识别、交流和存储信息的重要性。

ETM 2070V从业者的数字素养：数字素养基础课程学习结束后，才可以参与在线培训课程学习。本课程主要学习应用数字工程行为和实来支持数字理论实施的方法；整合使用权威系统跨学科连续的数据和模型，支持从概念到报废全生命周期活动的数字方法。

### 各军种数字工程人才培养措施

为全力承接国防部的数字工程转型目标，海军、陆军、空军及导弹防御局制定了数字工程转型战略，并将数字工程人才培养作为五大战略目标之一，多渠道促进数字工程理论的传播及数字工程专业人才的培养。其中，海军在推进数字工程人才建设方面的举措最全面，也具有借鉴意义。

ETM 基础认证课程		ETM 实践认证课程	
课程代号	课程名称	课程代号	课程名称
ACQ 1010	数字采办管理基础	ETM 2010V	从业者引领转型
ETM 1010	引领转型基础	ETM 2020V	从业者的任务和系统思维
ETM 1020	任务和系统思维基础	ETM 2030V	从业者的需求定义和分析
ETM 1030	采办定义和分析基础	ETM 2040V	从业者的技术管理
ETM 1040	技术管理基础	ETM 2050V	从业者的设计思考
ETM 1050	设计思考基础	ETM 2060V	从业者的产品实现
ETM 1060	产品实现基础	ETM 2070V	从业者的数字素养
ETM 1070	数字素养基础	ETM 2080V	从业者的软件素养
ETM 1080	软件素养基础	ETM 2090V	从业者的采办合同技术愿景
ETM 1090	采办合同技术愿景基础	备注：数字工程相关课程用红色标注	

图3 ETM的培训课程

### 海军数字工程人才培养举措

2020年,美国海军及海军陆战队发布了数字系统工程转型战略,通过建立培养数字化人才的长效政策机制和打造专业技术过硬、兼备活力与创新精神的数字化人才队伍,多管齐下,学以致用,培养数字化技术人才,提升员工数字实战能力。

一是建立培养数字化人才的长效政策机制。美国海军主要通过4种途径招募和培养人才:从源头“优选定制”部队军官和技术人员,与地方专业院校签订培养协议,保证技术人才即来即用;以非传统方式高薪选拔社会优质数字化人才,对其放宽性别、民族等条件,给予高出企业的待遇,甚至不做服役要求,创造有利条件鼓励技术创新输出;“增益”现有人员,系统提升飞行员和各级人员技术能力,将“数字基因”注入到从业务技能及思维模式;培养人员对新兴数字技术的文化认同,通过“数字战役”“数字战役虚拟工业交流”等倡议与活动,加强与行业和地方学术伙伴的合作与交流。

二是打造专业技术过硬并具备活力与创新精神的数字化人才队伍。通过改进政策支持、文化导向与保障机制,“多通道、全过程、立体化”提升数字化人才水平。加大培训力度,提高作战人员数字实战能力。一方面,海军制定了详细的数字工程培训课程,教授初级和中级SysML语言、MBSE、系统工程转型知识,开设系统建模预科班,提高人才的数字化理论水平;另一方面,引入虚拟现实技术和训练模拟器,提高飞行员的标准化飞行技能及不同作

战场景下的反应能力。例如,海军开发了基于虚拟现实技术的舰载飞行模拟系统,客户端软件可以精准模拟甲板上的各个区域、飞机的动力、气流的运动等情况,学员可以多次反复训练不同类型的飞行任务,包括起降、紧急情况处理和武器投放等。

### 其他军种数字工程人才培养举措

其他军种也在国防部数字工程战略的指导下,积极推进数字工程人才队伍的建设,采取的措施包括由专门的机构负责人力资源发展规划、定制化培训和开设数字扫盲班等。

空军方面。2019年后,美国空军先后发布了数字采办指南、数字工程指南和数字空军白皮书指导数字采办模式的形成,并为此专门成立了数字化转型办公室(DTO)和空军技术研究所(AFIT),管理数字工程的推进事宜,其中也包括数字人才培养。DTO将培训作为数字化转型计划的五大优先事项之一,计划通过提供高质量的教育资源,保障员工之间的沟通和熟练地使用全套工具,包括功能从业者(如工程、项目经理和商务专家等)参与的重点培训的追溯;AFIT正在将数字扫盲纳入其研究生课程、继续教育课程、短期课程和研讨会,讨论的主题包括基于模型的工程、基于模型的系统工程、多学科设计分析和优化,以及基于模型的仿真和分析。

陆军方面。与空军一样,陆军也成立了DTO,并通过采用综合全面的引入、发展、雇用和再培训军队数字人才方法来提高人才的数字技能。此外,为了保证培训满足技术要求,陆军职能部门负责人已从采办职业管理主任调任陆军首席系

统工程师。

导弹防御局方面。导弹防御局针对不同业务对象开展定制化培训。项目组织和领导人员主要学习审查、批准和使用技术数据,做出规划、技术和支持决策;工程师、构型管理专家、分析师和保障人员等工程开发人员主要学习在系统研发全生命周期内执行技术流程;信息技术人员学习开发和维护集成数字开发环境。学习内容又可分为两类:重要方法和重要工具。重要方法是提供形成特定综合技能所需的技术;重要工具是为已经掌握基本技术技能的员工提供使用特定软件工具所需的知识。

### 结束语

以数字工程战略为代表的系列数字化转型战略的提出,对美国武器装备采办系统人才队伍的能力提出了新的需求。为此,美国国防部专门制订了BiB计划,在国防采办队伍改进法的框架下重新调整了培训方向,强调数字工程专业人才的培养及终身学习。通过开发模块化的工程技术管理能力模型、在模型中增加数字工程能力要求及开设面向不同需求用户的理论与实践相结合的定制化学习课程,使员工在快速提升数字工程能力和技能的同时,还可以为未来的发展规划做好储备。此外,各军种也将数字工程人才培养作为未来重要战略发展方向,通过建机制、重保障、促实践等方式,将数字文化、理念和行为贯穿至整个采办生态系统。

**航空动力**

(王乐,中国航发四川燃气涡轮研究院,工程师,主要从事航空发动机科技情报工作)