

文章编号: 1674-8190(2024)06-126-17

# 基于工程理论的美国防采办程序及其演进发展研究

王文萍<sup>1</sup>, 曹焱<sup>2</sup>, 夏旻<sup>3</sup>, 郑党党<sup>4</sup>

(1. 中国航空工业集团有限公司 项目管理中心, 北京 100028)

(2. 航空工业第一飞机设计研究院 综合管理部, 西安 710089)

(3. 航空工业第一飞机设计研究院 军机型号部, 西安 710089)

(4. 航空工业第一飞机设计研究院 科信部, 西安 710089)

**摘要:** 通过对美国国防部 5000 系列国防采办程序及其发展过程的介绍, 结合对国防采办情况和典型的重大国防采办项目研发情况的回顾, 根据系统科学、工程哲学、工程知识论等工程理论, 探讨重大国防采办项目的复杂性、知识性、系统性、集成性等基本特征, 分析其对美国国防采办研制管理程序演进发展变化的影响, 介绍在国防采办中运用以知识积累来应对风险的策略, 推动基于知识的装备研发采办方法的深入应用, 提出可供借鉴与思考的观点。

**关键词:** 国防采办; 国防采办管理; 国防采办程序; 工程知识论; 工程哲学; 系统科学; 基于知识的研发

中图分类号: V26

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2024.06.11

## Research on the American defense acquisition procedures and its evolution based on engineering theory

WANG Wenping<sup>1</sup>, CAO Yi<sup>2</sup>, XIA Min<sup>3</sup>, ZHENG Dangdang<sup>4</sup>

(1. Project Management Center, The Aviation Industry Corporation of China, Ltd. (AVIC), Beijing 100028, China)

(2. Department of Comprehensive Management, AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China)

(3. Department of Military Aircraft Management, AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China)

(4. Department of Technology and Information, AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** Through the introduction of 5000 series Defense Acquisition Procedures and its evolution and development process of the U.S. Department of Defense, combined with the review of the defense acquisition outcomes in general and the development of typical major defense acquisition programs, and according to the engineering theories such as systematology, Philosophy of engineering, theory of engineering knowledge, the characteristics of complexity, knowledgeability, systematicness and integration of major defense acquisition program are explored in this paper. The reasons for the evolution, development of the defense acquisition procedures in the United States are analyzed. The strategy of applying knowledge-based approach to deal with risks in defense acquisition is introduced and the in-depth application is promoted. Some perspectives which may be useful for reference and reflection are put forward.

**Key words:** defense acquisition; defense acquisition management; defense acquisition procedures; theory of engineering knowledge; philosophy of engineering; systematology; knowledge-based development

收稿日期: 2024-05-28; 修回日期: 2024-09-29

通信作者: 王文萍(1968-), 女, 硕士, 研究员级高级工程师(已退休)。E-mail: 13571969078@163.com

引用格式: 王文萍, 曹焱, 夏旻, 等. 基于工程理论的美国防采办程序及其演进发展研究[J]. 航空工程进展, 2024, 15(6): 126-142.

WANG Wenping, CAO Yi, XIA Min, et al. Research on the American defense acquisition procedures and its evolution based on engineering theory[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2024, 15(6): 126-142. (in Chinese)

## 0 引言

在霸权思想和巨额军费长期支撑下的国防采办(Defense Acquisition)历程中,美国形成了一套在国际上具有引领性和创新性的国防采办体系、制度、程序和方法。美军据此建立和维持高战备水平的作战力量,建立持久的军事优势,通过重大投资来推动技术创新,维持国防工业能力水平。这套国防采办体系及其运行方法已被美国其他领域和世界上很多国家借鉴并效仿。

国防采办属输出武器装备等的系统活动,指军方为了满足国防部军事任务或保障军事任务的需要,就武器和其他系统、物品或劳务(包括建造)提出方案、计划、设计、研制、试验、签订合同、生产、部署、后勤保障、改进及处置的过程;国防采办管理(Defense Acquisition Management)是围绕国防采办工作开展的领导、计划、组织和控制等活动,既包括宏观层次的决策与调控,又包括具体项目的组织与管理<sup>[1]</sup>。国防采办程序规定了采办对象全寿命过程的政策、原则、管理框架和程序,规范了武器装备全寿命周期的全部管理活动<sup>[1]</sup>,指导和整个采办体系中的各项工作。

20世纪70年代左右,随着大型复杂工程的发展,系统工程在全球范围各行各业得到广泛应用。美国国防部持续以标准和指南等推进系统工程在国防采办中的深入应用<sup>[1]</sup>。在中国,以钱学森为代表的中国系统科学和系统工程学派,基于中国的装备发展实践,总结提出了具有中国特色的系统科学、系统工程方法,其理论基础是思维科学,方法基础是系统科学与数学,技术基础是以计算机为主的现代信息技术,哲学基础是马克思主义实践论与认识论,实践基础是系统工程的实际应用<sup>[2]</sup>。

21世纪初,工程哲学在中国和西方同时迅速兴起,各有特色。就欧美国家和地区而言,主要的表现形式是“工程师个人”对工程哲学的兴趣和“哲学家个人”对工程的兴趣。在中国,以殷瑞钰、汪应洛、李伯聪、栾恩杰等为代表的工程哲学中国学派,是当代工程发展特别是中国工程建设和发展的产物。它从历史唯物主义的视野研究工程的发生、发展和演化的动力和机制,从知识理论角度揭示、归纳了工程知识的特征、内涵和规律<sup>[3]</sup>。

本文通过对美国国防采办管理体制、国防采办程序及其发展演进过程的阐述,结合历年装备采办总体情况及典型重大国防采办项目的实际发展历程,根据系统科学、工程哲学、工程知识论等工程理论,探究国防采办管理程序发展演进的基础理论依据,以期为我国国防装备研制走高质量发展之路提供借鉴。

## 1 美国国防采办管理体制

美国国防采办体制分为决策层、管理层和执行层三个层次,采取国防部集中统管与各军种分散实施相结合的采办管理模式<sup>[1]</sup>。

### 1.1 国防采办管理组织体制

总统、国会和联邦行政部门按职责开展国防采办工作的领导、决策与管理。总统是武装部队总司令,确定或认可重大军事决策。国会通过行使立法权等,按程序对国防预算进行授权、拨款,行使监督政府的权力,设立“政府问责办公室”(GAO)等审计机构,调查、监督国防经费的使用。

国防部(DoD)层面,主要由主管采办的副部长领导美军国防采办管理工作,国防部其他高层领导、国防科学委员会、成本评估与计划鉴定局、作战试验鉴定局及其他相关机构等按照职责与程序参与采办管理工作。

军种层面,一般由军种负责采办的助理部长牵头各军种的采办管理工作,实施专业化的组织管理体系。

国防采办项目一般采取“国防采办执行官—军种采办执行官—计划执行官—项目主任”四级管理模式<sup>[1]</sup>,各军种装备司令部/系统司令部设立计划执行官体系,并组建项目管理办公室负责项目的采办实施工作。

### 1.2 决策支持系统

美军从需求生成、规划计划预算、采办实施三个领域构建了“大采办”概念,建立了三套决策支持系统,既相互独立又相互制衡,既协调配合又相互作用,这种制度设计与分工,是美军装备采办管理的关键。

支撑需求生成的“联合能力集成与开发系统”

(Joint Capability and Development System, 简称 JCIDS) 提出军事需求, 采取“基于能力”的顶层设计方法, 加强国防部对军种需求的评估与审查, 是一套“自上而下”的需求生成机制<sup>[1]</sup>。

支撑规划计划与预算论证的“规划计划预算与执行系统”(Plan Program Budget and Execution System, 简称 PPBES) 将发展战略转化为中远期规划、发展计划以及配套的预算。把国防建设看作一个大系统, 强化国防部综合平衡<sup>[1]</sup>, 2003 年进行了重大升级, 2024 年拟再次进行改革, 建立全新的国防资源系统。

支撑国防采办运行实施的“国防采办系统”(Defense Acquisition System, 简称 DAS) 是美军规范采办全寿命过程的工作制度, 即美军所谓的“小采办”制度<sup>[1]</sup>。通过国防部第 5000.01 号指令和第 5000.02 号指示等系列规定实施管理。国防部第 5000.01 号指令规定了国防采办系统的政策和原则, 国防部第 5000.02 号指示规定了贯彻实施这些政策和原则的管理框架和采办程序。

## 2 国防采办程序发展沿革

美军在国防装备采办实践中, 根据国家利益, 从管理政策、原则、程序等方面, 自顶向下持续升级完善国防采办程序, 服务国家安全战略。

关于美军国防采办程序的发展历程, 《美国国采办管理概览》中划分为五大阶段<sup>[1]</sup>, 结合其他信息, 过程简述如下。

### 2.1 初步建立阶段(20世纪70年代)

重大国防装备的采办是国防采办的重点, 重大武器系统研发是国防采办管理的重点对象。

1971 年国防部发布首份文件——国防部第 5000.01 号指令《重大国防系统的采办》, 将国防采办程序划分为项目启动、全面研制、生产与部署三个阶段, 设置阶段审查点, 开始装备采办项目的程序化管理工作, 对武器装备实行分阶段管理、逐段推进的项目管理。

1977 年发布国防部第 5000.02 号指示《重大系统采办程序》, 将项目启动分为方案探索、验证与确认, 进一步强化采办前的方案论证工作, 以降低

风险, 避免反复。

### 2.2 全寿命管理阶段(20世纪八九十年代)

强调对重大武器装备“从生到死”的管理, 提出武器装备的综合保障必须从研制初期抓起, 关注战备完好率和持续作战能力, 把保障性要求与可靠性、维修性放在同等重要的位置。

1987 年修订 5000.02 号指示, 采办程序改为方案探索与定义、方案验证与确认、全面研制、生产与部署、使用与保障 5 个阶段, 设里程碑决策点 0、I、II、III、IV。

1993 年修订 5000.02 号指示, 将重大武器装备采办程序(包括重大自动化信息系统)划分为方案探索、验证确认、工程与制造开发、生产与部署、使用保障 5 个阶段, 设里程碑决策点 0、I、II、III、IV。1993 年版国防采办程序如图 1 所示。

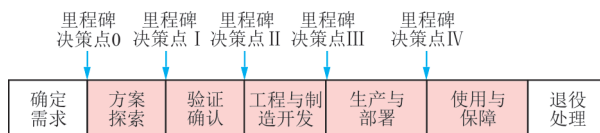


图1 美军1993年版国防采办程序简图

Fig. 1 Schematic diagram of defense program acquisition procedures for the U. S. Army in 1993

1996 年修订国防采办程序, 将采办程序仍分为方案探索, 确定计划与降低风险, 工程与制造开发, 生产、部署、使用与保障等 4 个阶段, 里程碑决策点减为 4 个, 取消了原来在生产部署后进行重大改进的里程碑决策点 IV。1996 年版国防采办程序如图 2 所示。

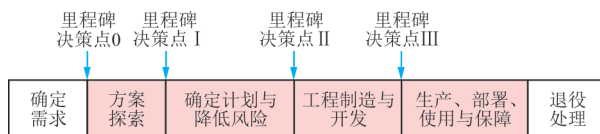


图2 美军1996年版国防采办程序简图

Fig. 2 Schematic diagram of defense program acquisition procedures for the U. S. Army in 1996

### 2.3 灵活快捷运行阶段(2001—2007年)

2001 年版国防采办程序分为方案与技术开发、系统开发与演示验证、生产与部署、使用与保障等 4 个阶段, 设 A、B、C 三个里程碑决策点, 全过程分为系统采办前期、系统采办、持续保障三类活动。2001 年版国防采办程序如图 3 所示。

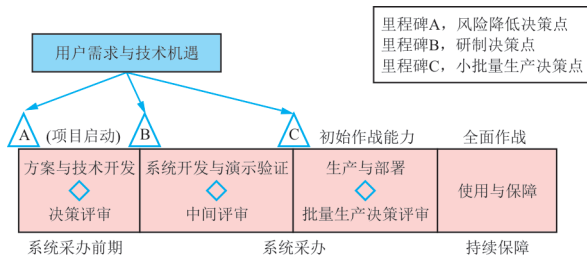


图 3 美军 2001 年版国防采办程序简图

Fig. 3 Schematic diagram of defense program acquisition procedures for the U. S. Army in 2001

2001 年版国防采办程序主要改变:①可以从里程碑决策点 A、B、C(或者在各阶段中间)进入采办程序,②可以选择性地采用渐进式采办或者一步到位的采办方式。

2003 年版国防采办程序中,为加强风险控制,努力在采办项目的早期阶段就能解决各种潜在的风险问题,5000.02 号指示将国防采办程序分为方案精选(方案论证)、技术开发、系统开发与演示验证、生产与部署、使用与保障 5 个阶段,并分别在第二、三、四阶段前设 A、B、C 三个里程碑决策点。2003 年版国防采办程序如图 4 所示。

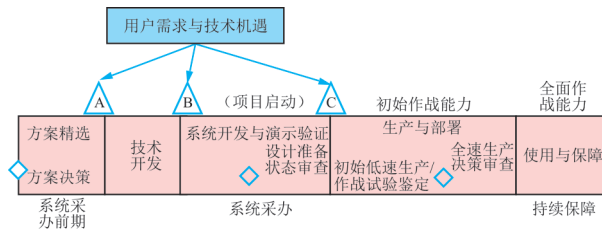


图 4 美军 2003 年版国防采办程序简图

Fig. 4 Schematic diagram of defense program acquisition procedures for the U. S. Army in 2003

2003 年版国防采办程序主要改变:①精简文件数量和内容,调整国防采办政策和原则;②调整了国防采办程序,强化方案论证工作;③充实了渐进式采办策略的内容;④“基于能力”的需求和采

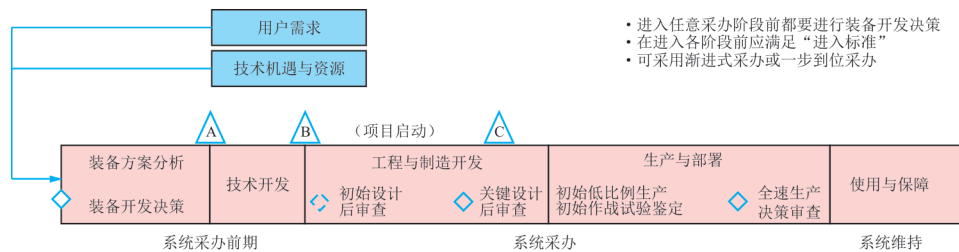
办模式,提出了联合一体化能力体系结构和能力文件等概念,并对采办各阶段和评审点的能力要求予以规定。

针对武器系统研制部署周期过长的难题,2001 年版国防采办程序提出了“渐进式采办”策略,2003 年版国防采办程序将“螺旋式发展”和“递增式发展”概念进一步纳入其下,使研制试验部门、鉴定部门、部署用户之间加强协调、沟通,综合利用研制验证鉴定试验、能力成熟、部队使用情况反馈与提升等不断完善作战能力。“螺旋式发展”指为实现逐步增强的能力而进行的反复迭代开发过程;“递增式发展”指通过逐次深入的“递增式”研制,分阶段地满足适应不同技术成熟度的作战能力需求。

2003 年版国防采办程序以“放权”和增强采办灵活性为主线,较好地调动了采办人员的积极性,但削弱了管控力度,加之采办需求变化较为频繁,技术管理和项目管理不够完善,且高新技术大量涌现并应用于装备研发,装备复杂度和采办风险不断提高,使得“拖降涨”状态加剧。

### 2.4 强化过程管制阶段(2008—2014 年)

国防部以收权和强化采办过程管控为主线,出台了 2008 年版 5000.02 号指示,以遏制“拖降涨”问题。新程序包括装备方案分析、技术开发、工程与制造开发、生产与部署、使用与保障 5 个阶段,在技术开发、工程与制造开发、生产与部署阶段前分别设 A、B、C 里程碑决策点,还设三个决策点:①里程碑 A 之前的装备开发决策点,②里程碑 B 和 C 之间的关键设计后审查,③生产与部署阶段中间的全速生产决策审查点。2008 年版国防采办程序如图 5 所示。



- 进入任意采办阶段前都要进行装备开发决策
- 在进入各阶段前应满足“进入标准”
- 可采用渐进式采办或一步到位采办

图 5 美军 2008 年版国防采办程序简图

Fig. 5 Schematic diagram of defense program acquisition procedures for the U. S. Army in 2008

2008年版国防采办程序主要变化:①调整了国防采办程序,将原“方案精选”阶段拓展为“装备方案分析”阶段,使采办与需求生成更加协调配合,加强“技术开发阶段”工作内容,加大经费投入,将样机研制前移到此阶段,提高技术成熟度和稳定性,“工程与制造开发”阶段主要任务转为完善样机设计方案,改进制造工艺,为进入小批量生产做好准备;②改进项目评审方式,严格实施项目立项评审,拓宽里程碑决策评审范围,增设里程碑节点以外的评审,提高阶段性审查决策的科学性,增加审查内容,强化对装备能力的审查要求;③优化装备需求和方案论证机制;④加强技术成熟度管理。

## 2.5 多样化管制阶段(2015年至今)

2015年版 5000.02号指示的变革较大:①将原来一种国防采办程序改为6种采办程序;②突出强调了装备经济可承受性分析,加强装备采办全寿命成本控制;③强调竞争、风险管控和知识产权保护策略,进一步加大竞争力度;④进一步强化和细化研制试验鉴定和作战试验管理;⑤强化网电安全策略,强调数据保护和保密要求,最大限度地降低信息和技术风险。

2015年版6种采办程序包括:

1) 通用型国防采办程序/硬件密集项目采办程序。主要适用于航母、飞机等武器系统和平台

的发展。分5个阶段:装备方案分析、技术成熟与风险降低(原技术开发)、工程与制造开发、生产与部署、使用与保障。设3个里程碑决策点A、B、C,设4个决策点,装备开发决策点、能力发展文件确认决策点、研制征求建议书发布决策点、全速生产决策点,如图6所示。

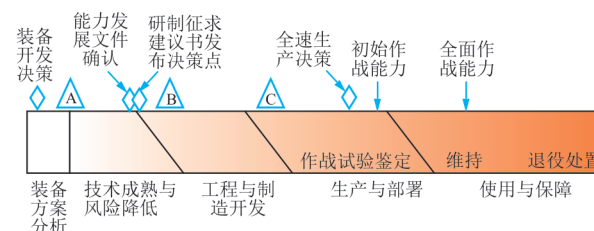


图6 美军2015年版硬件密集型采办程序简图

Fig. 6 Schematic diagram of hardware-intensive program acquisition procedures for the U. S. Army in 2015

主要变化:①突出强调技术成熟度管理和风险控制,原技术开发改为技术成熟与风险降低;②通过并行工程缩短采办周期,里程碑阶段划分由直线改为斜线,以提前开展下一阶段工作;③原关键设计后审查决策点改为能力发展文件确认决策点和研制征求建议书发布决策点,并前移到里程碑B之前,以提高技术成熟度,控制风险。

2) 国防专用软件密集项目采办程序。适用于军事专用指挥控制系统、战术飞机作战系统升级等软件为主的项目。分5个阶段:装备方案分析、技术成熟与风险降低、工程与制造开发、生产与部署、使用与保障,如图7所示。

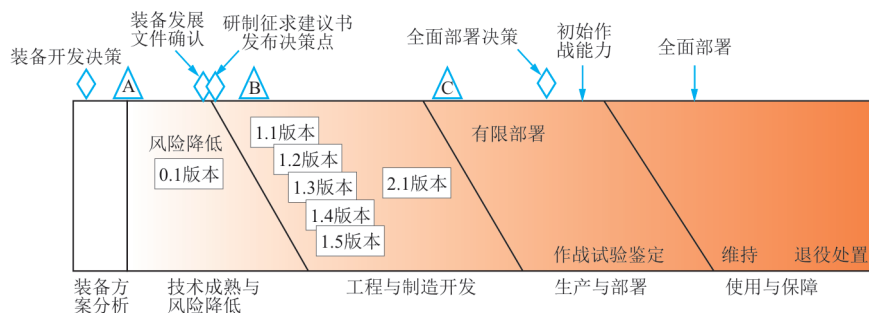


图7 美军2015年版国防专用软件密集型采办程序简图

Fig. 7 Schematic diagram of defense unique software-intensive program acquisition procedures for the U. S. Army in 2015

与通用型相比2015年版变化在于:①在工程与制造开发阶段,开发不断升级的多个软件版本;②在生产与部署阶段,主要开展有限部署工作,减少生产环节;③在生产与部署中间,设立全面部署

决策点,而不是全速生产决策点。

3) 渐进式部署软件密集项目采办程序。适用于软件货架项目,其采办策略由多个递增升级的小程序组成,如图8所示。

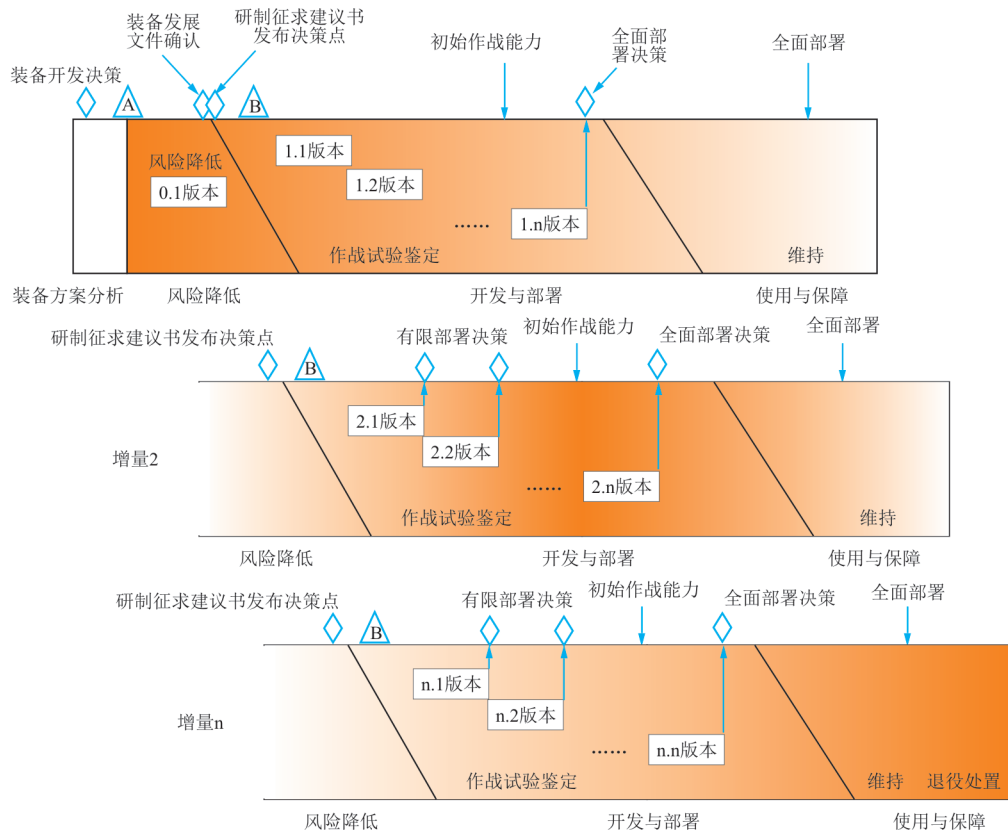


图 8 美军 2015 年版渐进式部署软件密集项目采办程序简图

Fig. 8 Schematic diagram of incrementally deployed software-intensive program acquisition procedures for the U. S. Army in 2015

4) 偏硬件混合型项目采办程序。适用于采办装备硬件为主,并行开发软件的项目。分 5 个阶段:装备方案分析、技术成熟与风险降低(原技术开发)、工程与制造开发、生产与部署、使用与保障,如图 9 所示。

运行中,在技术成熟与风险降低阶段研发软件 1.0 版本,在工程与制造开发阶段软件不断升级为多个更新的版本,在里程碑 B 和 C 决策时,对软件功能开发成熟度进行审查。

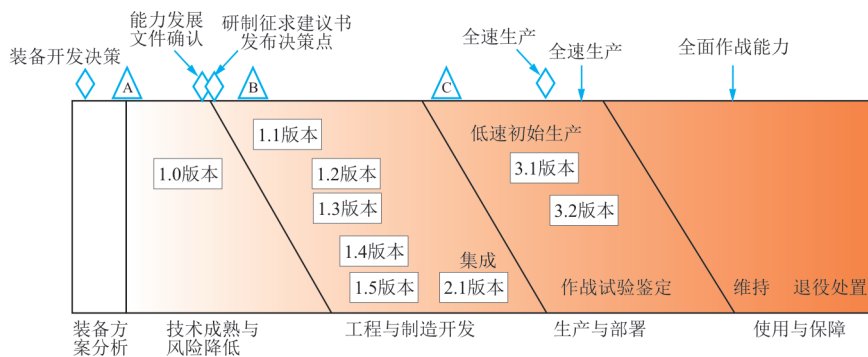


图 9 美军 2015 年版偏硬件混合型项目采办程序简图

Fig. 9 Schematic diagram of hardware dominant hybrid program acquisition procedures for the U. S. Army in 2015

5) 偏软件混合型项目采办程序。适应于软件开发为主、需要与硬件集成的项目,采用渐进式采办策略,由 2 个递增升级小程序组成,如图 10 所示。

6) 快速采办程序。适用于战时急需采办项目、对抗潜在对手技术突袭的高技术采办项目。分 4 个阶段:装备方案分析、并行技术成熟、风险降低与开发、并行生产与部署、使用与保障。设 2 个

里程碑决策点 A/B、C,还在 A/B 之前设装备开发决策点,如图 11 所示。

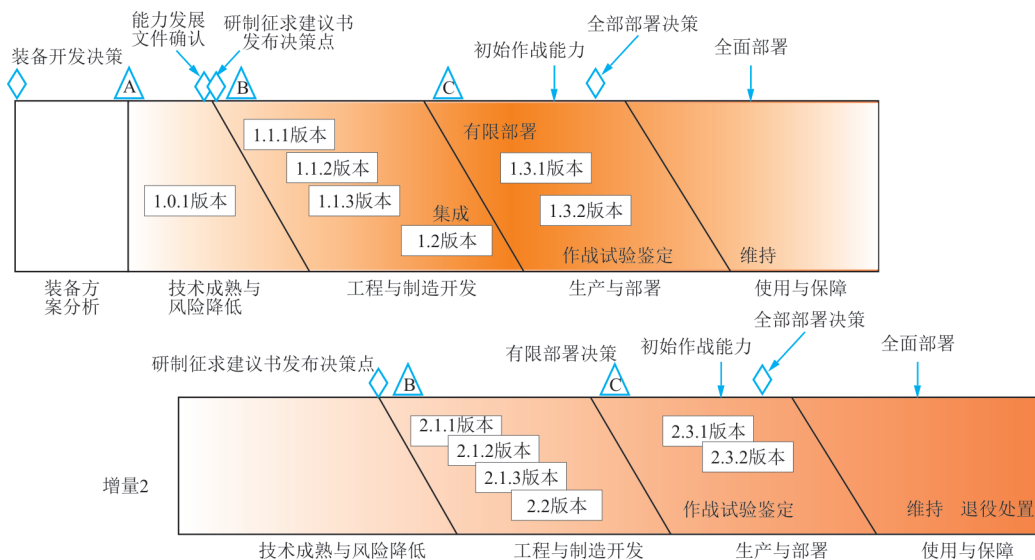


图 10 美军 2015 年版偏软件混合型项目采办程序简图

Fig. 10 Schematic diagram of software dominant hybrid program acquisition procedures for the U. S. Army in 2015

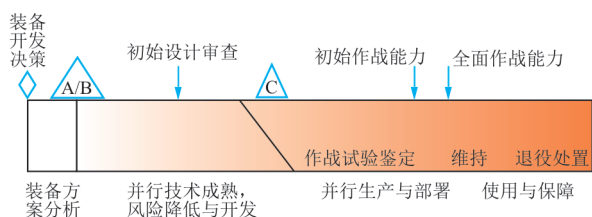


图 11 美军 2015 年版快速采办程序简图

Fig. 11 Schematic diagram of accelerated program acquisition procedures for the U. S. Army in 2015

运行过程中,里程碑 A 和 B 合并,技术成熟与风险降低阶段和工程与研制开发合并,同步进行生产部署。此外针对 4 种快速需求,采用 5 种快速开发方式,大幅缩短采办周期。

2017 年版 5000.02 指示《国防采办系统的运行》,由正文和 13 个附件构成。正文明确了国防采办宏观政策、各部门的职责以及项目管理权限,仍按原 6 种采办程序组织项目研发。13 个附件分别规范了项目管理、系统工程、试验鉴定、后勤保障、信息技术采办等方面内容<sup>[4]</sup>。是对 2015 年版文件的完善。

改变最为突出的是现在正在运行的 2020 年版 5000 系列文件。在国防战略牵引下,美国防部在总结采办改革实践经验教训的基础上,对 5000 系列采办政策进行重大调整,按照精简、灵活、快捷、安全的改革思路,发布了新版采办文件<sup>[4]</sup>。

2020 年 1 月,5000.02 指示更名为国防部 5000.02 指示《适应性采办框架的运行》,明确国防

采办宏观政策、采办过程中各部门的职责以及项目管理权限,并在整合原 6 种采办程序和近年改革经验基础上,推行“适应性采办框架”,针对不同采办对象采用更新后的 6 种采办程序<sup>[4]</sup>,并且以此为基本,可进行裁减、组合和转换,以实现“量身定制”<sup>[5]</sup>,利用多种采办路径的组合或转换,来提供通过使用单一采办途径无法获得的装备能力。

2020 年 9 月,国防部发布 5000.01 指示《国防采办系统》,明确规定了 25 项采办管理政策,是结合自适应采办框架的运行,加以补充完善而形成的顶层政策文件<sup>[6]</sup>。

这套政策和程序的主要特点是,加快研发与采办进程,适应技术快速更新换代要求,提升采办程序的适用性和灵活性;实施政策制度试点试验,有效推动科研采办管理创新;进一步对项目主任放权;强调数据驱动在采办过程中的重要作用;注重风险管理和可持续发展。

其中,更新后的 6 种采办程序包括<sup>[4]</sup>:

a) 应急能力采办程序。沿袭前版 5000.02 指示的快速采办程序。

b) 中间层采办程序。美军敏捷快速采办程序,包括快速原型样机和快速部署两类。

c) 重大能力采办程序。即传统硬件密集型装备采办,沿袭前版 5000.02 指示的常规采办程序。

d) 软件采办程序。适用软件装备的采办,分为计划阶段和执行阶段。

e) 国防业务系统采办程序。适用业务管理信息系统的采办。

f) 国防服务采办程序。适用通信服务、产品

保障、医疗等服务类活动的采办。

美军 2020 年版采办程序如图 12 所示。

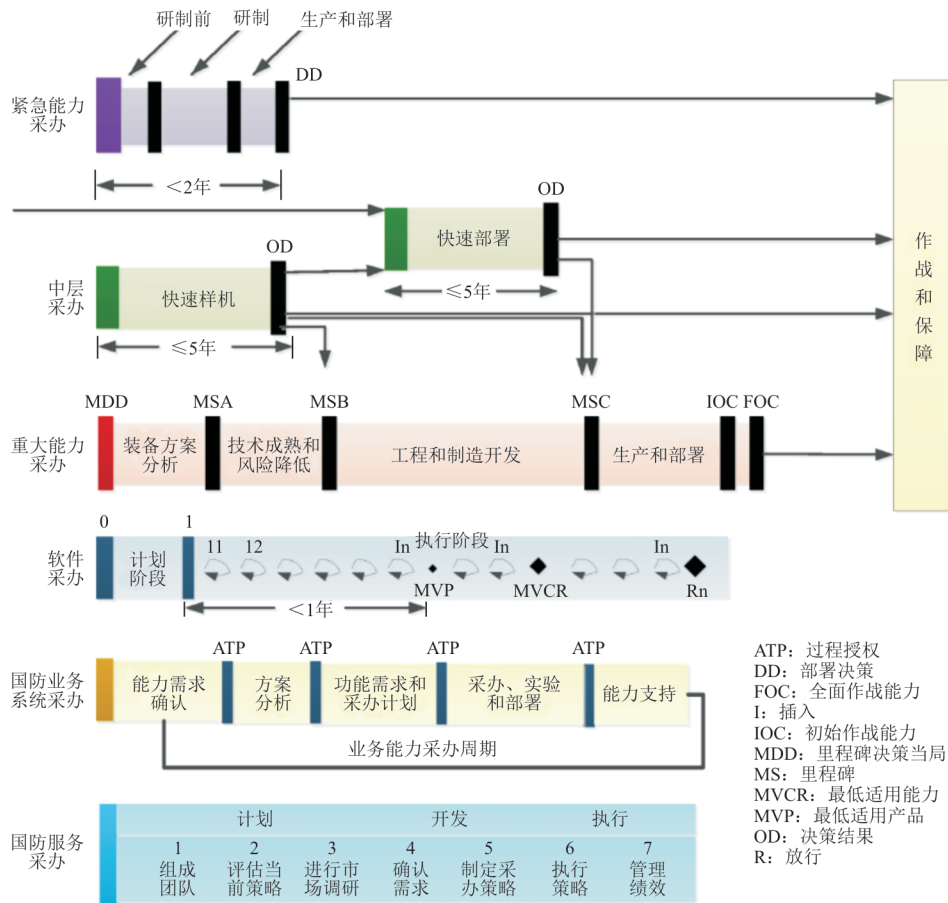


图 12 美军 2020 年版采办程序简图

Fig. 12 Schematic diagram of program acquisition procedures for the U. S. Army in 2020

关于应急能力需求采办,为了满足当前及即将发生的应急作战需求,采办周期 2 年。简化项目计划与实施策略,需求生成、方案论证、经费申请、采办实施等并行开展<sup>[7]</sup>。

关于中间层采办,为了满足常态化条件下的快速采办程序,采办周期 2—5 年。包括两个途径:快速样机途径下采办项目目标为样机部署,该样机可在作战环境中演示,并在 5 年内为已批准需求的开发提供剩余作战能力;快速部署途径下采办项目的目标是对已批准需求的开发,在 6 个月内开始生产,并在 5 年内完成部署<sup>[7]</sup>。

综上所述,美国自 20 世纪 70 年代以来共发布 11 版采办程序,前 30 年间共发布 5 版,后 20 年间共发布 6 版。其中,2015 年、2020 年调整变化幅度最大,国防采办政策进行了改革,采办程序扩展为更

具针对性的 6 种采办程序及其组合。

### 3 国防采办实施情况简要回顾

采办政策和程序的频繁换版影响范围广,耗费巨大。其原因可以从程序的实施效果与设定的目标之间的距离来分析,即武器装备采办的绩效来评估——武器装备项目是否达到了预定目标,国防采办管理的有效性如何。因此,通过对国防采办的输出——武器装备的研发情况的回顾来分析。

考虑到时间跨度较长、项目繁杂众多,本文采取“由面到点”方式,先从总体执行情况着眼说明,然后再聚焦于几个被国防采办程序发展演变过程全覆盖的典型重大国防采办项目的实践历程进行回顾。



### 3.1 总体执行情况回顾

多年来,美国国防部、政府问责办公室等持续开展国防采办执行情况评估,评估结果显示,虽然国防部持续不断地努力改革,创新采办政策、程序与采办策略,但从20世纪80年代开始,重大国防采办项目就一直处于政府问责办公室的高风险名单之中<sup>[8]</sup>,经费上涨,性能和进度也没有达到预期,尤其在20世纪末到21世纪初,采办项目“拖降涨”普遍严重。国防采办项目基本上都是在跨越性技术带来的先进装备的获得感与对“拖降涨”的质疑中艰难发展。

2007年,政府问责办公室指出,“美国国防部已将其在新武器系统上的投资翻倍,由2001年的7500亿美元增加到2007年约1.5万亿美元,在过去五年中,在研的重大国防采办项目由72项增加到85项,系统的相互依赖性和技术复杂性也越来越高,但很遗憾,国防采办结果基本上没有任何改进,虽然美国的武器系统是全世界最先进的,但其研发费用较早期的预计超过几亿、几十亿美元,导致装备采购数量减少,购买力下降。”<sup>[9]</sup>,飞机、系统、火箭、卫星和战车等重大国防采办项目的单位采购成本较原来预计所增加比例由32.8%到311.6%不等<sup>[9]</sup>。

2008年,政府问责办公室指出,与初次预计比较,研制费用增加量为2000年27%,2005年31%,2007年40%;总采购费用的增加量为2000年6%,2005年18%,2007年26%;平均初始能力交付拖期的情况是,2000年16个月,2005年17个月,2007年21个月<sup>[10]</sup>。

2013年,情况似乎有了转变,主要源于项目总数的缩减以及采购数量的调整,还评价通过基于知识点的研发等管理策略的推行,多数项目的单位采购成本降低使得购买力有所增加,还指出10项最昂贵的重大国防采办项目左右了国防预算65%以上的需求<sup>[11]</sup>。

近年来,美国政府问责办公室、国防部、兰德公司等各方面的分析评估报告显示,国防采办项目的进展情况有向好的迹象。美国国防部《2020财年国防采办系统绩效评估的选择性分析报告》认为中间层采办项目进度基本保持在基线控制范围,98个项目中仅1项进度预计延期;重大国防采

办项目成本超支问题显著改善,通过单位成本超支标准来衡量,1997—2009年年均违规次数为5.83,而2010—2020年降至2.9<sup>[12]</sup>。

但对于像重大国防采办、中间层采办、快速采办等是否充分释放了生产力并提高了作战能力交付,其效果还应进一步持续跟踪研究。

在这个过程中,美国国防体系自上而下采取了多项措施,试行了一系列改革,致力于改善重大国防项目“拖降涨”问题。其中,2009年出台了武器系统采办改革法,成立国防部采办绩效与原因分析办公室,自2013年开始发布绩效评估报告,既评估重大采办项目,又评估采办政策的有效性<sup>[1]</sup>。

### 3.2 重大国防采办项目研发回顾

重大国防采办项目从概念到实现的转变过程不仅是一次跨越式的先进技术革新的历程,更是美军维护国家安全战略和国防战略,赢得未来战争的根本保证。美军高度重视重大国防采办项目的研制管理,而这些项目也常是美军采办管理的堵点、难点,既有成功研发的经验,又有很多项目备受质疑甚至取消,教训深刻。

本文选定三个重大国防采办项目进行回顾,其研制过程与国防采办程序的发展演进时间段相同,是系列程序管理有效性的代表性体现。

#### 3.2.1 B-2A 隐形战略轰炸机(B-2A Stealth and Strategic Bomber)

20世纪70年代开展论证,1978年项目启动,1980年ATB方案征询书(RFP)发布,1981年空军授予诺斯洛普公司工程研制合同,启动全面研制,计划1987年达成初始作战能力(IOC),拟订购133架飞机。飞机于1989年首飞,1997年形成初始作战能力,到2002年共计交付21架BLOCK30状态飞机,总经费累计达445亿美元<sup>[13-18]</sup>。

研制时,美军为了尽快拿到装备,采用了并行工程策略,在飞机设计、试验设施建设、制造、试飞、改进升级、部署上多方面并行推进,反复迭代,屡次返工,持续通过研制攻关释放技术风险。

部署时,美军为了能够尽早形成作战能力,探索了能力状态提升的工程发展策略,飞机状态分为BLOCK10训练型、BLOCK20具备部分武器能力的中间状态、BLOCK30具备战略战术武器能力

的最终型三种状态,逐架机逐状态部署,部署训练与能力状态升级交叉完善<sup>[19]</sup>。

B-2 飞机生产、试验和状态升级的并行加速计划如图 13 所示。

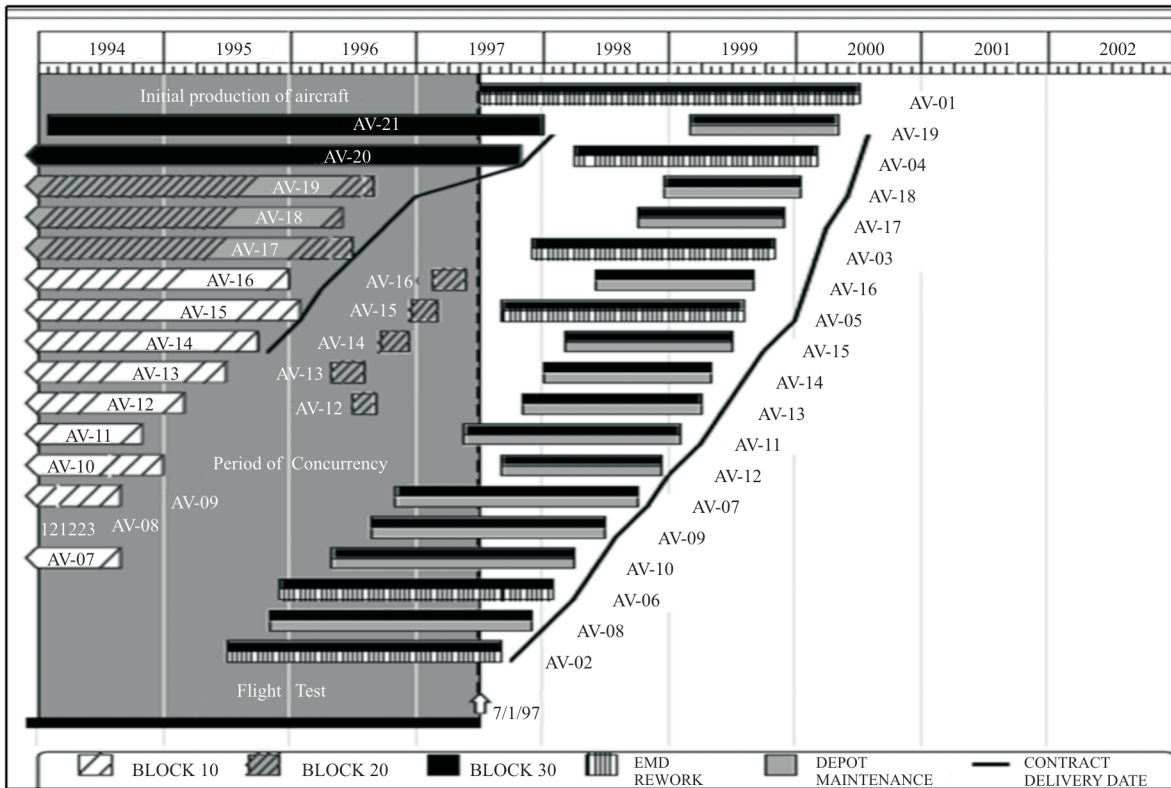


图 13 B-2 飞机生产、试验和状态升级的并行加速计划图<sup>[17]</sup>。

Fig. 13 Concurrency in air force accelerated schedule for B-2 production, test, and modification<sup>[17]</sup>

在 20 多年的研制生产过程中,经历了研制需求重大调整带来的设计反复,复合材料、隐身涂料、软件等各种关键技术挑战带来的风险,研制费用严重超支、进度大幅拖延,过程中持续多年受到审查和质疑,采购数量大幅消减。甚至在 1999 年形成全面作战能力评估时,政府问责办公室还指出地面任务规划系统缺陷、机组态势感知能力受限、因低可探测材料引起的可靠性/维修性不足、主基地以外的部署地点无法有效部署和运用装备等缺陷,指出其 19 项使用需求中有 7 项尚未完全满足。

### 3.2.2 F-22“猛禽”战斗机(Raptor)

20 世纪 80 年代启动了隐身战斗机项目论证,开展飞机概念研究。1981 年美国空军发布了研制招标书(RFI),洛克希德公司(YF-22)和诺斯罗普·格鲁曼公司(YF-23)被选定于 1986 年 10 月开始进行 50 个月的演示验证并试飞竞争。1991 年洛克希德公司获得研制合同,进入工程与制造研制阶段(EMD),1997 年 YF-22 首飞,2001 年进入初

始小批量生产,2004 年开始初始作战试验与评价,2005 年形成初始作战能力,进入全速生产阶段。

F-22 项目经历了漫长的研制过程,作为世界上第一型第五代战斗机,为了降低研制风险,在方案验证与确认阶段开展了演示验证试飞竞争。研制中采用了基于能力采办策略,能力渐进式提升,飞机性能先进,但成本居高不下,使用维护费用昂贵。地缘政治格局的不断变化、冲突形式的巨大变化和经济衰退带来的财政压力最后导致装备采购数量由 750 架降低到 187 架飞机。

### 3.2.3 F-35 多用途战斗机

20 世纪 80 年代启动论证,随后不断调整,1995 年 JSF 项目正式启动,1996 年发布了研制招标书(RFI),洛克希德公司团队(X-32)和诺斯洛普公司团队(X-35)获得概念验证合同,开展 51 个月的概念验证及试飞竞争。2001 年洛克希德公司获得工程研制合同,2006 年 F-35A 首飞,2008 年 F-35B 首飞,2010 年 F-35C 首飞,2016 年 F-35A 形成初始作战能力,2019 年 F-35C 形成初始作战能力,

2024年F-35形成全面作战能力<sup>[20-23]</sup>。

这是截至目前世界航空史上规模最大、总费用最高的战斗机研发项目。考虑政治、经济、军事等方面因素,美国联合英国等其他8个国家,施行“一机多型”,依据多国、多军种需求并行研制。采用渐进式能力提升、国际联合研发等工程发展策略。在20多年的全面研制过程中,遭遇了比较严重的“拖降涨”问题。经历了漫长的低谷期和故障排除期后,2024年里程碑C决策获批,进入全速生产(FRP)阶段,虽然飞机软件版本等关键问题尚未彻底解决。

#### 4 国防采办程序演进发展原因分析

国防采办程序经过多年的运行,在发挥其正面积作用的同时,也不断暴露出了问题与不足。

美军持续从采办项目的经验教训中寻求突破,国防部、政府问责办公室、智库机构等进行了持续的评估与分析。例如,兰德公司认为应借鉴F-117项目的卓越管理灵活性和决策反应模式,将系统规范作为目标而不是刚性需求指标开展研发<sup>[24]</sup>,提出项目稳定性概念并构建了项目稳定性指标体系<sup>[25]</sup>;美国政府问责办公室指出F-35关键软件试飞验证的延迟将迟滞军事部门期望的作战能力的交付,还可能导致试飞验证与飞机采购的高度并行,使得成本增长加剧<sup>[26]</sup>,认为国防部经常低估项目发展成本——部分源于知识不足以及对需求和关键技术的乐观假设,而基于知识的采办方法能够提升武器装备系统项目的研发效果<sup>[27]</sup>。

从工程哲学的角度来看,工程是人类有目的、有计划、有组织地运用知识,有效地配置各类资源,通过优化选择和动态的、有效的集成,构建并运行一个“人工实在”的物质性实践过程,即物化劳动过程<sup>[28]</sup>。显然国防采办项目是属于这种实践过程,它体现了工程的基本特征和各种属性,能够以工程理论为基础进行分析研究。

据此,本文抛开各个项目的个体特性,结合工程哲学、工程知识论、系统工程等方面理论,采用由点到面的方法,首先分析采办程序的对象——采办项目,尤其是重大国防采办项目的一般基本特性,然后再从整体的角度分析,寻求国防采办程序演进发展的理论依据。

#### 4.1 重大国防采办项目的基本特性及对采办程序演进发展的影响分析

根据上述介绍,三型典型的重大国防采办项目都经历了20余年的漫长过程,其中从首飞到部署,到形成全面作战能力的时间甚至达10多年。这类采办项目的共同表象特点是:规模大、投入高、影响大、风险大,具有跨学科、跨领域、跨层次、内外关联关系复杂的特点。

需要从工程理论层面理解这类采办项目的内在基本特性。

##### 1) 复杂性

系统结构、系统环境和系统功能是系统的三个重要基本概念。系统结构是指系统内部,包括系统组成部分及其关联关系;系统环境是指系统外部;系统整体性的外在表现就是系统功能。国外关于复杂性的研究,实质上是协同涌现性研究,也是系统科学方面的探索。根据系统的复杂性,钱学森将系统分为简单系统、简单巨系统、复杂系统、复杂巨系统和特殊复杂巨系统<sup>[2]</sup>。

根据系统科学理论,系统 $S$ 是系统状态与相互之间关系的函数: $S=\{A,R\}$ 。系统 $S$ 是由元素集合 $A$ 及关系集合 $R$ 共同决定的,在 $A,R$ 之间存在诸多状态的随机性、表述的模糊性、信息的失稳、不可预测的混沌(Chaos)以及分岔点上的突变(Sudden Change)。特别在工程系统中,系统的突变往往是灾难性的<sup>[3]</sup>。由此可知,复杂性与不确定性是系统的基本特性。在国防采办项目中,一般来说,国际政治、军事环境变化导致的军事需求的改变属于混沌,重大关键技术突破受阻、样机发生事故/事件等属于突变。由此可知,复杂性与不确定性是系统的基本特性。

从系统结构来看,工程发展是从简单构建—复杂构建—集成构建—系统构建—复杂巨系统构建的一个发展脉络。随着人类社会进入以信息技术为代表的新一轮技术革命,现代大规模复杂工程系统的结构出现了从简单结构到复杂结构、从层次结构向网络结构、从静态结构向动态结构、从显性结构向隐形结构发展而使复杂性加速增加的演进趋势,如其中的软件形态从附属于硬件发展到独立的产品,再到“云”和泛在的软件服务。重大国防采办项目中鲜明地体现了工程结构的这种

发展特性,如F-35的软件行数约为800万条,是F-22的4倍。

从系统环境来看,工程系统环境是工程系统内、外影响工程化进程中各核心活动的各类要素的集合,具有广泛性、多样性、不确定性等特点,工程环境变异是引起现代工程系统复杂性的重要根源<sup>[28]</sup>,有时候环境变化带来的不确定性甚至会导致项目无法推进。

从动态变化来看,系统复杂性更为深刻体现在系统的动态发展方面。随着时间的变化,外部环境、需求和政策的变化,系统内部的组成要素,包括技术水平、设施能力、管理方法,尤其很大程度上构成系统复杂性的重要因素——人的因素,都会出现变化,也就是随着系统内部状态和外部环境的不断发展变化,系统的复杂性持续加剧,系统功能的涌现受系统复杂性的强烈影响。

综上,复杂性是国防采办项目的一种基本属性。按照系统复杂性层次,国防采办项目应归于开放的有人参与的复杂系统、复杂巨系统和特殊复杂巨系统等,是非结构化问题,需要采用逐次逼近、迭代循环的发展方式。

复杂性作用于项目研发的全过程,所带来的首要问题是,在项目论证时对装备及项目的定义所带来的挑战,即项目基线确定的问题。重大装备研发周期越长,复杂性带来的困难就越多。

## 2) 知识性

现代国防武器装备所涉及的知识是各领域最新知识的集成,通常由新军事需求牵引出来的高新技术装备研制引领了诸多领域科学技术的发展和 innovation,本身就具有技术密集、知识密集、创新引领的基本特征,是一种大规模科学技术工程。

根据工程知识论,工程活动就是工程目标牵引下的工程知识集成(包括技术知识、科学知识、工程知识、产业知识、社会知识、经济知识等)。一个工程,从其能力架构而言,是由各层次的“一系列能力”集成而实现的。实现每种能力所需的知识、所属行业和领域、学科和专业都有所差异,大多是跨领域、跨学科和跨专业的知识集成,其涉及的知识关系将呈现链式反应式的扩展<sup>[3]</sup>。

根据工程知识论,工程活动所涉及的知识分为模块化知识(单元性知识,针对某一方面具体工程技术问题)和集成性知识(工程主体将各类知识、各个模块知识融会贯通,选择、集成、建构成知识系统而形成的知识)<sup>[3]</sup>。从知识性质(属性)来

看,分为工程技术知识、工程经济知识、工程文化知识、工程社会知识、工程政治知识、工程伦理知识等<sup>[3]</sup>。

工程活动涉及到实践对象、实践主体、决策主体三个领域,工程过程是自然科学技术知识、社会科学知识与人文科学知识的集成,每个领域的知识积累都是工程推进的必要条件,缺一不可。

无疑,典型重大装备本身及其研发过程都呈现出鲜明的知识性基本特征。针对知识性,需要在实践中不断积累,持续提升,通过各种形式的实践,从经验和教训中形成积累。

## 3) 系统性

“系统”即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体,而且这个“系统”本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分<sup>[29]</sup>。

从装备本身来看,现代国防装备本身就是一个大系统,它又属于国防装备体系,而这个体系又属于军事系统,显示出极强的系统性。系统的不同层次之间,系统与环境之间也有着复杂的关联关系,相互联系、相互作用、相互影响,装备系统与系统还有物质、能量和信息的交换,属于开放的系统<sup>[2]</sup>。

从装备研发工程过程来看,现代国防装备发展是以发展飞机、导弹、卫星等高科技为代表的大规模科学技术工程,既有科学层次上的理论问题要研究解决,又有技术层次上的高新技术要开发,同时还要把这些理论与技术应用到工程实践中,研制出装备,投入军事实践。有效地把各个领域各种机构、各方人员组织起来,以较少的资源,在较短的时间内,研制出满足军事需求预期的装备,这个研制、管理体系,就是一个开放的特殊复杂巨系统。

系统性中包涵着集成与解析的辩证统一,是“还原论”方法尽其精微与以整体性尽其“广大”的有机结合<sup>[28]</sup>。这种系统性带来了系统工程在国际范围内的全面应用。大力推行系统工程是源于现代工程的规模和复杂度大幅提升,同时纠正形而上学看问题以及分割各部分的习惯,强调照顾全局、辩证统一的观点<sup>[29]</sup>。工程的范式是权衡,权衡的核心是从总体层面考虑,需要正确处理多目标结构,处理总目标和具体目标之间复杂的甚至是矛盾的相互关系,这就需要运用从定性到定量的综合集成方法(Mata-synthesis)<sup>[2]</sup>来解决问题。

#### 4) 集成性

系统性中包括集成与解析。系统的集成性不但表现为“简单系统”,更表现为“大系统”和“超大系统”,重大国防装备具有这类大系统、超大系统属性。出现的形形色色的性质不能解决由于子系统解析而来的“涌现”现象,这就使得工程活动和工程知识的系统集成变得更加复杂、更加困难<sup>[3]</sup>。现代工程知识的集成本质上是理论和实践的集成、经验知识与抽象知识的集成、自然科学知识与社会科学知识的集成<sup>[30]</sup>。

根据工程哲学理论,从根本上讲,工程可以理解为利用各种资源与相关的基本经济要素构建一个新的人工存在物的集成建造过程、集成建造方式和集成建造模式的总和<sup>[28]</sup>。工程中所集成的技术因素和非技术因素是复杂的,不仅需要集成多种技术系统和技术要素,还需要有资源、资本、土地、劳动力、市场、环境等非技术因素作为边界条件进行综合考虑<sup>[28]</sup>。

在装备研发过程中,依据工作分解结构组织开展工程设计,着重于解析、还原方面的关键技术突破可以在一个相对封闭的环境中充分验证。而集成知识的积累过程是伴随着产品的成熟过程而发展的,是一个从试验品知识—样品知识—展品知识—产品知识的发展过程<sup>[3]</sup>,是在系统层面的大循环、大迭代中不断发展的。

武器装备的验证是通过试验鉴定的方式为工程师和决策者提供相应的知识,以协助其管理风险,衡量技术进展和说明作战效能、适用性和生存性<sup>[31]</sup>。对于集成性相关的验证,尤其是装备系统总体层面“涌现”的,包括对现代武器系统最终整体性能具有至关重要作用的,诸如安全性、可靠性、维修性、寿命、人机兼容性、电磁兼容性、可维护性、可保障性等综合能力的验证,是一个逐层迭代、逐级验证、逐步使用、逐渐成熟的大循环过程。其验证的对象是产品及内在的知识集成,其支撑是试验验证环境建设与试验验证知识的积累,是更大系统层面的集成活动,这需要一个集成的体系能力的支撑,任何一个方面的条件和知识的不足都会迟滞考核验证活动,这使得研发工程活动后期的难度和复杂度大幅增加、风险加大,需要高度重视这一特征。

#### 5) 对重大装备采办程序演进发展的影响分析

通过上述分析可知,随着科学技术的发展,重大国防采办项目的复杂性、知识性、系统性、集成

性等基础特性也越来越显著,这些内在基础特性综合作用于每个项目的研发过程中,使得国防采办的风险性远高于其他项目,成为风险管理的重要对象。

自 20 世纪 70 年代发布的第一版采办程序开始,美军对重大系统采办程序持续换版完善,主要针对这些基本工程特性而采取相应的工程对策。针对复杂性形成了迭代发展、逐次逼近的研发模式,在采办程序中明确分阶段研制,逐段推进,通过联合一体化军事需求分析与方案论证来进行项目定义、应对混沌、并行工程、加大前期经费投入,提前开展下一阶段工作等都是为了以良好的技术进展来化解复杂性、缩短采办周期、降低风险。针对知识性,明确了尽早进行各种关键技术验证,一直到竞争性样机试飞验证等,突出强调技术成熟度管理和风险控制,以知识积累来化解风险。针对系统性,强调装备的综合保障必须从研制初期抓起,开展系统工程研制、数字化研制等;渐进式采办既是为了解决研制周期过长,使部署部队尽早拿到装备,更是集成性验证所必须的,能够形成大系统层面的验证的体系和条件,促进装备从研制状态达到成熟状态。针对这些基本特性还提炼出一系列的管理策略、规范和方法。经过不断的演进发展,这个程序构成了国防采办的基本框架和基本程序,到现在仍然是美军国防采办组织管理的核心。

同时也必须认识到,各种工程方法在针对性解决问题的同时,也会引起其他方面的连锁反应,这也是系统性的体现,工程活动主体对此应有清晰的理解,在相关方面协调施策、统筹应用。例如,渐进式采办策略具有缩短初始批次研制周期、增强对外部环境变化的快速反应能力等优点,但也带来了开放式的体系结构难以准确估算和控制费用的问题,系统早期批次的性能不良或者系统的失败将极大地影响作战部门对于该系统的信心等问题<sup>[1]</sup>。

工程管理过程是一个风险减缓的过程,而预判、减缓、化解风险的根本方法在于以知识来解决问题,以知识来应对风险。

“基于知识的研发”能够提升国防采办项目的绩效<sup>[27]</sup>。近年来,美国提倡基于知识的采办理念,通过政策规定、最佳实践以及对项目知识积累情况的评估等,大力推进基于知识的采办政策在国防采办中的应用<sup>[8-11,27]</sup>,这种做法符合我国工程哲

学、工程知识论等相关工程理论。尤其在重大采办项目上,需要所需的工程知识架构完整、理论透彻、原理清晰、运用得当,需要走一条用工程技术知识积累的进步来开展风险减缓的项目研发道路。

美国政府问责办公室认为,积极的采办结果需要采用基于知识的方法,领先的商业公司和成功的国防项目都遵循了这种采办方法。需要在关键节点展示出必须的知识积累,并确定了三个关键知识点——启动全面发展(KP1)、关键设计评审(KP2)、开始批量生产(KP3)——在此点需要展示出相应的关键知识水平<sup>[27]</sup>,如图14所示。

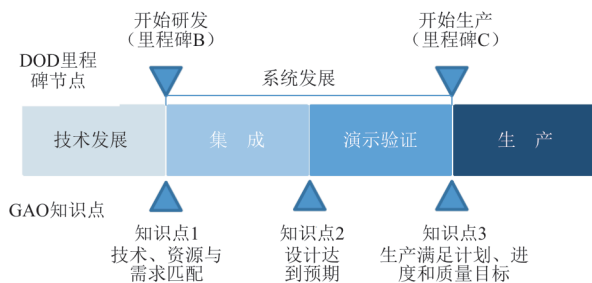


图14 DOD项目发展里程碑与GAO知识点关系对应图<sup>[27]</sup>  
Fig. 14 Relationship between DOD program development milestones and GAO knowledge points<sup>[27]</sup>

进一步来看,工程师是工程知识的主要创造者,一个工程活动主体的工程知识积累是工程的根本基础和必要条件。在这一点上,波音公司是一个典型案例,在其发展历程中,飞机型号成功与工程师团队、工程师文化、工程知识积累相得益彰,共获辉煌,而一旦背离了这条道路,当今的困境也是一种必然。2020年调整中,5000.01指令基本政策中专门增加了通过开展工业基础评估来判断是否有足够的工业基础能力来保证采办项目的生产开发<sup>[32]</sup>,从根本上推进国防工业基础能力的积累和建设。

## 4.2 从工程理论来分析美军国防采办程序的演进发展情况

按照工程哲学理论,工程本身是有结构性的、有层次的,是可分类、具有专业性、行业性的。工程活动——特别是具体工程项目——具有当时当地性特点<sup>[28]</sup>。从工程方法论的角度来看,基于工程复杂系统的集成、建构过程,应该有符合工程事物本质的程序。其一般程序往往是理念—决策—规划—设计—建造—运行—管理—评价。程序化

是一种具有共性意义的方法<sup>[33]</sup>。

武器装备具有鲜明的时代技术特征。20世纪80年代,进入了以信息技术为代表的新技术革命时期,由此催生了波及全球的新军事革命。21世纪,数字化、网络化、智能化技术快速发展,高新技术快速更新换代,装备谱系极大扩展,装备的系统结构与系统功能极具差异性。

根据工程的分类分层、专业性、行业性以及程序化等特征,考虑装备谱系及系统结构特点分别构建适应性的研发程序,进行针对性的分类分层管理。根据工程的当时当地性特征以及时代科学技术的快速更新迭代,对相关指令文件加速完善、持续换代,出台适用于时代技术特征的采办程序和采办策略,满足时代技术动态发展所带来的采办组织管理的需要。这种做法是符合工程哲学、工程方法论相关理论的。

2015年以前,美军主要根据项目重要性/费用及国防采办项目/自动化信息系统进行采办类别分级管理,使用同一采办管理程序。2015年和2020年的两次重大调整中,针对重大国防采办项目的基本特性与工程挑战,沿袭了已发展了几十年的常规采办程序;根据装备的技术特性,突出了软件定义类装备的针对性管理程序;根据装备的急迫性需求,明确了应急能力采购的程序和灵活性;提出中间层采办概念,兼顾了新技术的发展成熟客观逻辑与急迫军事需求之间的辩证统一。而6类程序之间的灵活组合,既是对采办周期过长导致项目风险增加的应对,又体现了具体问题具体分析哲学观点。

现代武器装备采办项目的复杂性、知识性、系统性和集成性等基本特性,不仅在重大国防采办项目上,也在其他各类采办项目上各具特色地展现出来。因此,以知识积累来应对项目风险的措施,适用于所有国防采办项目。

总之,通过对5000系列文件长期不断地换版和创新,美军努力适应时代科学技术加速发展以及国际环境变化使得军事需求上对武器装备采办的新要求,竭力保证相关政策、法规、程序的完整性、针对性与有效性。其运行效果整体上显示出国防采办项目发展总体上具有规律性、可控性。但随着装备技术复杂度的提升,典型重大装备的研发上,工程项目的复杂性、艰巨性挑战依然存在,项目研发风险仍然较高;新提出的采办程序评价较佳,但仍需在实践中持续检验、进一步完善和

发展。

当今世界正经历百年未有之大变局,多极化加速发展,未来战争的对抗形式更多更广,军事需求将更具多样性,更远/更近、更大/更小等矛盾性需求将进一步突出。而随着人工智能、量子力学、新材料等技术的发展,数字化、网络化、智能化技术等装备上的深度应用,将会深刻改变装备研发流程以及验证考核的体系。这使得采办程序上分类分级方面的调整还会进一步深化,采办程序的变化还将有加速趋势,采办的具体手段和方法上也将有较大的发展,还会将继续坚持运用基于知识的研发策略,持续强化国防工业基础能力,应对未来的挑战。

## 5 思考与启迪

美军国防采办程序是在其国家政体、管理体制、社会环境和科技工业基础中成长发展而来的,具有鲜明的时代性和针对性。在研究借鉴时需要做到“知其然,知其所以然”,明了背后的工程问题,理解其工程理论依据,进行有针对性的完善和发展,才会有较好的效果。

1) 充分认识研制程序的动态发展特征,科学构建适应时代技术特点的当代国防装备研发程序

根据社会环境和时代技术发展的趋势,科学构建适宜的国防装备研发程序和组织管理方法。

积极的应对策略是把握新技术趋势的发展规律和发展特点,有针对性筹划相关的工具、条件和知识能力的储备,前瞻性规划、试验试点形成适应时代技术特点的装备研发程序与研制策略。这也是马克思主义关于生产力和生产关系思想的一种体现。

基于程序而非唯于程序,使程序方法具有柔性、灵活性,可剪裁,能发展,能够在工程实践中不断完善、规范并提升。

2) 深刻理解国防装备研发的复杂性特性,以技术进步来保证工程的稳健发展

重大武器装备研制发展的复杂性是其客观属性,对此既不能简单乐观,也不能踟躇犹豫。在研制全过程,尤其到了研制后期,更要坚守初心,坚持不懈。

工程上的方案循环迭代、分阶段研制、逐级验证等做法,都是针对复杂性的,这是武器装备发展成熟的主要工程方法,是实践论思想的体现,还要持续探索、提升发展。一方面要认识到工程过程

是一个动态发展的过程,在技术上通过循环迭代发展成熟,组织管理也需要同步循环迭代发展。另一方面从前期规划、论证开始,就以扎实全面的技术知识能力来应对风险,以知识积累保证工程稳健发展,避免潜在的突变;以现代科学技术的精确性方法来应对模糊、浑沌,通过系统控制、系统管理和系统干预(Intervention)来应对系统环境的变化<sup>[2]</sup>,保证系统功能的实现。

3) 深刻认识国防装备研发的知识性特性,推动“基于知识的研发”的全面应用

工程研制主体需要全面加强工程知识积累,将“以程序来保证”的思想进一步深化为“以知识来保证”的意识,将工程项目节点审查的基本理念由“被审查”转变为“自保证”,转变为工程研制主体的知识积累和信心建立。还要认识到任何方面落下的知识积累都必须补齐,缺少哪一项工程都走不稳也走不快。

一切技术的建立和迅速发展都需要一定的历史条件,既要有必要,又要有可能,工程活动主体的知识积累应是持续的、稳定的、长期的。典型重大装备的研制发展基础既依托于工程活动主体的知识积累,又会因研制过程形成的知识贡献和创新而提升它们的知识积累,要认识到这些工程活动主体知识积累的重要性和长期性,通过政策引导、持续发力,使工程活动主体知识积累长久不懈。

4) 高度重视国防装备研发的系统性特性,以中国系统科学理论指导工程的顺利发展

当前,系统工程理论方法、实践经验和程序都得到了长足的发展,有各种可用的模型、知识库和软件,形成了手册、指南和方法,还引进了美军系统工程管理的成套做法,按照系统工程“V型”流程开展工作。

需要高度重视钱学森系统工程思想体系,尤其要认识到系统观、系统学等理论与总体设计、从定性到定量综合集成方法等的重要意义,切忌完全照搬西方的有关理论方法。美军对钱学森系统工程进行了长期跟踪和深入的研究,认为他远超西方国家对系统的认识,表示中国的战略对手应学习吸纳其贡献,避免政策和方法上的孤立、狭隘和分离<sup>[34]</sup>。

需要根据中国的实际情况,运用适合中国工程体系特点的系统思维和系统工程管理方法,而不宜过早被具体手段如建模方法技术等束缚,从

而影响整体情况的构建以及主要问题的解决;否则容易陷入“只见树木、不见森林”和“水土不服”的困局<sup>[35]</sup>。

5) 充分理解装备研制的集成性特性,实现关联领域创新能力的整体发展提升

工程活动是技术因素、经济因素、管理因素、社会因素和文化因素等的集成。需要综合各方面政策、资源、知识、方法以及人的因素等统筹推进,除了要重视自然科学技术的系统集成之外,还需要考虑社会科学与人文科学等方面的因素,研究和解决系统实践和工程的组织管理问题,做到“君臣佐使,四象平衡”。

装备研发过程不仅在于装备本身的建设,还是装备体系、研制体系、技术基础、验证试验鉴定、组织管理等多方面知识积累和能力建设的集成。从方案论证开始,就需要在相关领域之间统筹规划,使得研究发展与集成验证能力协调配套,工程需求与资源保障能力协调配套,硬件条件与知识积累协调配套,通过工程研制的成功,达到相关领域能力集群式发展,自主创新能力整体提升。

### 参考文献

- [1] 刘林山. 美国国防采办管理概览[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017.  
LIU Linshan. Overview of defense acquisition management of the United States[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2017. (in Chinese)
- [2] 钱学森. 创建系统学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2023.  
QIAN Xuesen. Creating systematics[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2023. (in Chinese)
- [3] 段瑞, 李伯聪, 栾恩杰, 等. 工程知识论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020.  
DUAN Rui, LI Bocong, LUAN Enjie, et al. Theory of engineering knowledge[M]. Beijing: Higher Education Press, 2020. (in Chinese)
- [4] 李宇华, 张代平, 魏俊峰, 等. 美国国防部 5000 系列采办政策发生重大变革[EB/OL]. (2020-02-21)[2024-05-28]. [https://www.sohu.com/a/374721698\\_635792](https://www.sohu.com/a/374721698_635792).  
LI Yuhua, ZHANG Daiping, WEI Junfeng, et al. Major changes have occurred in the US Department of Defense's 5000 series procurement policy [EB/OL]. (2020-02-21) [2024-05-28]. [https://www.sohu.com/a/374721698\\_635792](https://www.sohu.com/a/374721698_635792). (in Chinese)
- [5] 于晓伟. 美军 25 项采办新政策解读之一: “量身定制”采办路径[EB/OL]. (2021-02-08)[2024-04-15]. [https://www.sohu.com/a/449413445\\_635792](https://www.sohu.com/a/449413445_635792).  
YU Xiaowei. Interpretation of the US Military's 25 new procurement policies: 'tailored' procurement path [EB/OL]. (2021-02-08)[2024-04-15]. [https://www.sohu.com/a/449413445\\_635792](https://www.sohu.com/a/449413445_635792). (in Chinese)
- [6] 于晓伟. 美国国防部发布 5000.01 指令, 明确规定 25 项采办政策[EB/OL]. (2020-11-01)[2024-04-15]. [https://www.sohu.com/a/428850039\\_613206](https://www.sohu.com/a/428850039_613206).  
YU Xiaowei. The US Department of Defense has issued Directive 5000.01, which specifies 25 procurement policies [EB/OL]. (2020-11-01)[2024-04-15]. [https://www.sohu.com/a/428850039\\_613206](https://www.sohu.com/a/428850039_613206). (in Chinese)
- [7] 王磊, 董正强, 郭江民, 等. 美军科研与采办政策制度实施重大改革——国防部新版 5000 系列文件述评[EB/OL]. (2020-10-13)[2024-04-15]. [https://www.sohu.com/a/424308147\\_635792](https://www.sohu.com/a/424308147_635792).  
WANG Lei, DONG Zhengqiang, GUO Jiangmin, et al. Major reforms in the implementation of US military research and acquisition policy system: a review of the new 5000 series documents by the Ministry of National Defense [EB/OL]. (2020-10-13)[2024-04-15]. [https://www.sohu.com/a/424308147\\_635792](https://www.sohu.com/a/424308147_635792). (in Chinese)
- [8] United States Government Accountability Office. Defense acquisitions assessments of major weapon programs; GAO-09-326SP[R]. New York: United States Government Accountability Office, 2009.
- [9] United States Government Accountability Office. Defense acquisitions assessments of selected weapon programs; GAO-07-406SP[R]. New York: United States Government Accountability Office, 2007.
- [10] United States Government Accountability Office. Defense acquisitions assessments of selected weapon programs; GAO-08-467SP[R]. New York: United States Government Accountability Office, 2008.
- [11] United States Government Accountability Office. Assessments of selected weapon programs; GAO-13-294SP[R]. New York: United States Government Accountability Office, 2013.
- [12] 张海涛, 隋子扬, 刘邓欢. 2021 年以来美军装备经济性管理进展综述[EB/OL]. (2022-04-10)[2024-04-15]. <https://www.163.com/dy/article/H4JTD2AN0511DV4H.html>.  
ZHANG Haitao, SUI Ziyang, LIU Denghuan. Overview of the progress in economic management of US Military equipment since 2021 [EB/OL]. (2022-04-10)[2024-04-15]. <https://www.163.com/dy/article/H4JTD2AN0511DV4H.html>. (in Chinese)
- [13] United States Government Accountability Office. Status of the B-2 bomber program; GAO/T-NSIAD-90-16[R]. New York: United States Government Accountability Office, 1990.
- [14] United States Government Accountability Office. B-2 bomber facilities; GAO/NSIAD-94-45R[R]. New York: United States Government Accountability Office, 1994.
- [15] United States Government Accountability Office. B-2 bomber status of efforts to acquire 21 operational aircraft; GAO/NSIAD-97-11[R]. New York: United States Government Accountability Office, 1996.
- [16] United States Government Accountability Office. B-2 bomb-



- er cost and operational issues: GAO/NSIAD-97-189 [R]. New York: United States Government Accountability Office, 1997.
- [17] United States Government Accountability Office. B-2 bomber additional costs to correct deficiencies and make improvements: GAO/NSIAD-98-152 [R]. New York: United States Government Accountability Office, 1998.
- [18] United States Government Accountability Office. Defense acquisitions achieving B-2A bomber operational requirements: GAO/NSIAD-99-97 [R]. New York: United States Government Accountability Office, 1999.
- [19] 《世界飞机手册》编写组. 世界飞机手册 2011 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2011.  
Edit Group of *World Aircraft Handbook*. World aircraft handbook 2011 [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [20] United States Government Accountability Office. Defense acquisitions analysis of costs for the joint strike fighter engine program: GAO-07-656T [R]. New York: United States Government Accountability Office, 2007.
- [21] United States Government Accountability Office. Joint strike fighter strong risk management essential as program enters most challenging phase: GAO-09-711T [R]. New York: United States Government Accountability Office, 2009.
- [22] United States Government Accountability Office. Joint strike fighter significant challenges and decisions ahead: GAO-10-478T [R]. New York: United States Government Accountability Office, 2010.
- [23] United States Government Accountability Office. F-35 joint strike fighter restructuring has improved the program, but affordability challenges and other risks remain: GAO-13-690T [R]. New York: United States Government Accountability Office, 2013.
- [24] RAND's Project Air Force. Acquisition lessons of the stealth fighter: how was the stealth program different? [R]. US: RAND's Project Air Force, 1996.
- [25] BODILLY S, CAMM F, PEI R. Analysis of air force aircraft multiyear procurements with implications for the B-2 [M]. US: RAND National Defense Research Institute, 1991.
- [26] United States Government Accountability Office. F-35 joint strike fighter problems completing software testing may hinder delivery of expected war fighting capabilities: GAO-14-322 [R]. New York: United States Government Accountability Office, 2014.
- [27] United States Government Accountability Office. Defense acquisitions a knowledge-based funding approach could improve major weapon system program outcomes: GAO-08-619 [R]. New York: United States Government Accountability Office, 2008.
- [28] 殷瑞钰, 李伯聪, 汪应洛, 等. 工程哲学 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2022.  
YIN Ruiyu, LI Bocong, WANG Yingluo, et al. Philosophy of engineering [M] 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2022. (in Chinese)
- [29] 钱学森. 论系统工程 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.  
QIAN Xuesen. On system engineering [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2007. (in Chinese)
- [30] 栾恩杰. 关于现代工程知识的辩证思考 [J]. 工程研究—跨学科视野中的工程, 2019, 11(3): 272-280.  
LUAN Enjie. Dialectical reflection on the modern engineering knowledge [J]. Journal of Engineering Studies, 2019, 11(3): 272-280. (in Chinese)
- [31] 刘映国. 外军装备试验鉴定 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2022.  
LIU Yingguo. Foreign military equipment testing and appraisal [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2022. (in Chinese)
- [32] 彭驰, 于晓伟. 解读美军新版采办文件之三:《国防采办系统》[EB/OL]. (2022-11-14)[2024-04-15]. [http://www.360doc.com/content/22/1124/14/77055692\\_1057360241.shtml](http://www.360doc.com/content/22/1124/14/77055692_1057360241.shtml).  
PENG Chi, YU Xiaowei. Interpretation of the new version of the US military procurement document III: "defense acquisition system" [EB/OL]. (2022-11-14) [2024-04-15]. [http://www.360doc.com/content/22/1124/14/77055692\\_1057360241.shtml](http://www.360doc.com/content/22/1124/14/77055692_1057360241.shtml). (in Chinese)
- [33] 殷瑞钰, 傅志寰, 李伯聪. 工程哲学新进展: 工程方法论研究 [J]. 工程研究, 2016, 8(5): 455-471.  
YIN Ruiyu, FU Zhihuan, LI Bocong. Advances in engineering philosophy: research on engineering methodology [J]. Journal of Engineering Studies, 2016, 8(5): 455-471. (in Chinese)
- [34] ALEX S. A complex systems engineering undertaking: the QIAN Xuesen School of Systems Engineering [R]. Beijing: China Aerospace Studies Institute, 2024.
- [35] 郑新华, 曲晓东. 钱学森系统工程思想发展历程 [J]. 科技导报, 2018, 36(20): 6-9.  
ZHENG Xinhua, QU Xiaodong. Development process of Qian Xuesen's thought on systems engineering [J]. Science & Technology Review, 2018, 36(20): 6-9. (in Chinese)

(编辑:丛艳娟)