doi:10.11887/j.cn.202205024 http://journal.nudt.edu.cn

装备预研管理数字化转型研究——数字孪生装备预研*

马 亮,陈立栋,刘思恺,赵 岩,王 原,徐小平
(国防科技大学 前沿交叉学科学院 第四学科交叉中心(北京),北京 100101)

摘 要:数字经济时代,装备预研管理应积极面对数字化转型趋势,构建与数字经济发展相适应的管理体系。结合数字经济的变革属性,借鉴民口科技计划管理数字化实践经验做法,总结和分析当前装备预研管理数字化面临的主要问题及紧迫需求,提出未来装备预研管理发展的一种新范式——数字孪生装备预研,即利用数字孪生助力装备预研管理的数字化转型,并从组成、理想特征和能力、关键技术以及发展路径四个方面对数字孪生装备预研的概念内涵进行了深化阐述,以期对当前装备预研管理的创新起到参考和促进作用。

关键词:数字化转型;装备预研管理;数字孪生;数字孪生装备预研
中图分类号:TP391.9 **文献标志码**:A **开放科学(资源服务)标识码(OSID)**:
文章编号:1001-2486(2022)05-220-11

听语音 与作者互动 聊科研

Study on the digital transformation of defense advanced-research management: digital twin defense advanced-research

MA Liang, CHEN Lidong, LIU Sikai, ZHAO Yan, WANG Yuan, XU Xiaoping
(Beijing Institute for Advanced Study, College of Advanced Interdisciplinary Studies, National University of Defense Technology, Beijing 100101, China)

Abstract: In the era of digital economy, defense advanced-research management should actively face the trend of digital transformation and build a management system that is compatible with the development of the digital economy. By studying the lessons learned from civil R & D plans as well as the transformation property of digital economy, the main difficulties and requirements faced by the digital transformation of defense advanced research management were summarized and analyzed. A new paradigm for improving defense advanced-research management-digital twin defense advanced-research was put forward, in which digital twin was employed to help the digital transformation of defense advanced-research management. Furthermore, the compositions, features, capabilities, key technologies and construction stages were elaborated explicitly, in order that digital twin defense advanced-research can play a reference and promotion role for innovating the defense advanced-research management.

Keywords: digital transformation; defense advanced-research management; digital twin; digital twin defense advanced-research

武器装备的全寿命期一般分为四个阶段:预研阶段、研制阶段、使用阶段、退役阶段[1]。装备预研是武器装备项目发展的第一阶段,是产品全面研制前的先行研究和先行研制工作的总称[1]。国务院、中央军委主管机关坚持将预研摆在战略地位,军事装备预研取得了巨大成就[2]。但是,装备预研管理存在的战略规划不足、管理体制僵化、管理层级偏多、创新动力不足、成果转化乏力等问题[2]依旧突出。

数字经济时代,各行业都在积极构建与数字经济发展相适应的行业变革体系,数字化转型已成为引领创新驱动的重要先导力量[3-4]。装备预研作为国防高新技术孵化和武器装备战斗力生成的重要传统领域,如何应对数字化转型,构建与数字经济发展相适应的管理体系,解决预研管理当前及未来发展存在的问题,助力预研管理体系和管理能力现代化,为构建武器装备现代管理体系[5]提供有力支撑,亟待深入研究。

杨晶等[6]从培养科研管理文化、推动管理组织架构变革、发挥信息技术和数字平台作用、科学数据共享与安全方面凝聚多方共识等方面提出了应对科研管理数字化转型的对策建议。我国民口科研管理数字化转型已在网络互连信息系统建设、数据资源管理、数据知识服务应用方面进行了有益的探索[7-10]。但是,装备预研管理数字化转型还处在萌芽阶段,存在信息系统建设分散、互联

* **收稿日期**:2022-04-29
基金项目:国家自然科学基金资助项目(72071207)
作者简介:马亮(1990—),男,河南周口人,讲师,博士,E-mail:maliang09a@foxmail.com;
徐小平(通信作者),男,正高级工程师,硕士,E-mail:xuxiaoping328@163.com

互通性差,数据积累机制不健全、数据要素概要、数据标准不一,重流程管理、轻反馈服务等突出问题[11-13],亟须利用云计算、物联网、大数据等新一代信息技术赋能装备预研管理数字化转型。

数字孪生是近些年备受工业界与学术界关注的新兴技术,与新一代信息技术深度融合,是数字经济发展及传统行业数字化转型的基础支撑[14]。随着大数据、物联网和人工智能等技术的不断发展,数字孪生的形态和概念不断扩展,并逐步提升为多维动态的管理模式和解决方案[15]。本文将数字孪生应用到装备预研管理领域,以提升装备预研全生命周期管理的精细化、科学化、智能化水平为应用目标,借鉴民口科技计划管理信息化相关研究与实践,提出数字孪生驱动的装备预研概念,以期为装备预研管理数字化转型提供有益参考和促进。

1　相关研究与实践

1.1　数字孪生概念内涵

数字孪生的概念最早由 Grieve[16] 教授在产品全生命周期管理课程上提出,并被定义为“与物理产品等价的虚拟数字化表达”,而后被应用于航天飞行器的健康维护问题中[17]。随着认知的深化,数字孪生概念从狭义的数字样机延伸到社会物理信息系统融合方面,应用领域从传统制造领域拓展到医疗健康、智慧城市及教育等领域,展现出巨大的应用潜力,形成了数字孪生医疗、数字孪生城市、数字孪生教育等一批具有发展活力和韧性的新业态[18-19]。目前,学术界和工业界普遍认为数字孪生是实现社会物理系统向信息空间数字化模型双向映射、动态交互、实时连接的关键技术,可将社会物理系统的属性、结构、状态、性能和行为映射到虚拟世界,形成高保真的动态多维、多尺度、多物理量模型,为观察、认识、理解、控制、改造社会物理系统提供一种有效手段[18-20]。

当前对数字孪生存在多种不同认识和理解,尚未形成统一共识的定义。陶飞等[19-20]提出数字孪生的五维模型,认为物理实体、虚拟模型、数据、连接、服务是数字孪生的核心要素,并探讨了数字孪生五维模型在装备研制、卫星通信、船舶、车辆等多个领域的应用思路与方案,为数字孪生在各行业的研究、实践及应用提供了较好的参考。

1.2　民口科技计划管理数字化实践

早期,不论是国家自然科学基金还是科技部主管的科技计划,数字化管理水平较低,管理流程上以人工报送相关数据为主,数据积累与服务共享机制薄弱。国家自然科学基金委和科技部分别建设了科学基金网络信息系统(internet-based science information system, ISIS)及国家科技管理信息系统公共服务平台,实现了需求征集、指南发布、项目申报、立项和预算安排、监督检查、验收结果等全过程的信息管理,并主动向社会公开非涉密信息,接受社会监督。随着 ISIS 系统及国家科技管理信息系统公共服务平台中科技项目管理流程信息化功能的不断完善,基于大数据分析的项目管理与决策得以顺利推行,有效促进了各科技计划及项目实施管理水平的提高[10]。例如,基于科学基金项目大数据,ISIS 系统辅助实现了评审专家智能指派、依托单位管理报告辅助填写、申请书和评议人智能画像等精细化管理手段。贾雷坡等[21]通过对自然科学基金依托单位2000—2019年发展情况进行分析,提出了提高依托单位准入标准等六条关于加强依托单位管理,进而提高科学基金项目申请质量的建议。

基于 ISIS 系统及国家科技管理信息系统公共服务平台,各科技计划数据不断汇聚融合。自然科学基金委先后发布了基础研究知识库系统及科学基金知识大数据服务管理平台,科技部建设完成了科技报告服务系统、国家科技成果转化项目库等信息系统,并依托这些信息系统向科研管理部门、科研机构、科研人员及公众提供包括资助项目、成果产出、成果转化、科技报告等知识共享和学术检索查阅服务。通过进一步完善以 ISIS 系统、国家科技管理信息系统公共服务平台、科学基金知识大数据服务管理平台、科技报告服务系统及国家科技成果转化项目库为代表的信息系统,国家自然科学基金委和科技部不断深化各科技计划项目的数字化管理实践,实现宏观科技管理、计划专项布局、专项组织实施、资金管理、评估评价等环节的统一规范管理。

2　装备预研发展现状

2.1　装备预研概况

装备预研是指为装备发展而先期进行的研究和发展活动[2],目的是为新型武器系统研制提供技术储备,突破武器装备发展过程中的关键技术,降低新型武器研制的技术风险,缩短研制周期,节省研制费用,同时,通过预研不断探索新技术、新方法,促进国防科学技术的发展,培养和造就高水平的科研队伍,提高武器装备的整体发展水

平[22]。如图 1 所示，装备预研项目包括应用基础研究、应用技术研究和先期技术开发三类。这三类项目的技术成熟度逐渐提高，成果形式的物化程度及可考核性逐步提高，前一阶段的研究为后面阶段的研究奠定了基础，反映了从探索基本自然现象（应用基础研究）到论证科学原理在军事应用上的技术可行性（应用技术研究），再到演示具体技术在国防项目系统上的实用性（先期技术演示）三个层次上的纵深配置[2]。

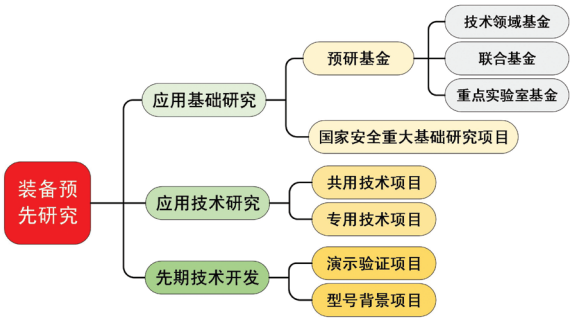


图 1 装备预研项目类别组成

Fig. 1 Classification and composition of the defense advanced-research project

2.2 装备预研计划及项目实施管理

装备预研设置了咨询系统、决策系统和执行系统三类职能管理机构[1, 23]。咨询系统由国防系统有关专家组组成，对预研发展的重大问题进行科学研究，为决策系统及执行系统提供军事需求、技术经济可行性、政策法规、项目实施全过程的技术咨询评审意见。决策系统构成以军委装备发展部、各军兵种装备管理相关部门以及相关基金管理部门为主。执行系统包含军地科研院所、军工集团、优势民营企业等承研单位。装备预研是遵照相关条令条例、流程规范进行的管理活动，以国民经济五年计划为一个管理周期，主要包含战略研究和规划编制、年度计划编制、年度计划执行、结题验收四个阶段，如图 2 所示[1, 23]。

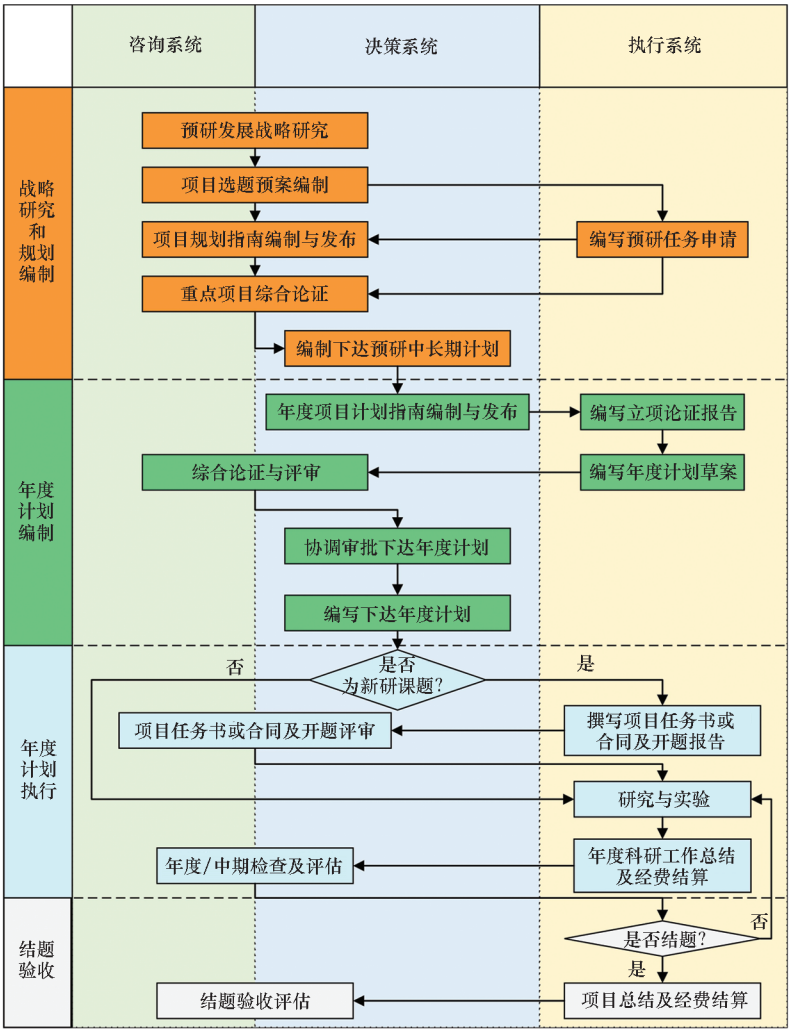


图 2 装备预研计划及项目实施管理过程

Fig. 2 Implementation and management process of defense advanced-research plan and project

在战略研究和规划编制阶段,装备发展部根据国家发展战略等大政方针,制定下一个五年计划周期的装备预研发展战略。以发展战略为基础,装备预研管理部门编制项目选题预案并发布项目规划指南,承研单位据此编写预研任务申请。装备预研管理部门针对重点项目,组织专家进行综合论证,并编写国防预研中长期发展规划,发布各年度项目计划指南。在年度计划编制阶段,执行系统依据年度项目计划指南要求,组织编写项目论证报告,形成本单位年度计划草案。年度计划草案经上级装备预研管理机关审核批准形成项目年度计划。在年度计划执行阶段,决策系统对新批复项目组织开题评审,对已立项未结题项目进行年度或中期检查与评估,并依据评估结果对项目做出适当调整,如提前终止或加大资源支持;执行系统对项目研究过程中人员组织、经费使用、外协开展等事务管理提供服务保障。在结题验收和成果鉴定阶段,项目若延期则按相关规定继续研究和实验,若已完成则由执行系统组织项目研究总结及经费结算,然后由决策系统完成结题验收。

2.3　预研管理数字化存在问题及需求分析

2.3.1　问题分析

数字经济及数字化转型中,数据是要素、网络是载体、融合转型是动力[24]。当前装备预研管理数字化在数据要素、网络载体方面的建设还较为薄弱,但在融合转型应用方面需求强劲。

装备预研管理在数据方面存在数据收集时效性不高,要素概要,结构化程度低等问题。首先,当前预研项目数据采集由决策系统指令确定,执行系统只在立项申请、开题评审及里程碑节点考核等有限环节被动提报项目数据。其次,提报的数据较为概要,结构化程度低,仅为决策系统单次的业务管理环节服务。提报的数据要素以项目研究进展类为主,数据形式上以非结构化或难以结构化数据抽取的开题报告、任务书等电子文档甚至相关纸质文档为主,少量结构化信息也仅仅包含项目基本情况(项目名称、编号、承研单位、摘要等)及计划层面的经费投向投量等少量统计信息。此外,提报的数据缺少其他与项目完成质量、综合评估等密切相关的数据要素,如经费使用制度、奖励激励制度等管理要素,成果产出、转化应用跟踪等后评估[25]数据。

网络载体基础设施方面,全军武器装备采购信息网初步建成,部分公开指南可以通过公用网络发布,涉密指南可通过查询点查阅。但是,大量预研项目承研单位并无可靠的网络化装备预研项目管理系统接入条件,使得预研项目数据传输以人工提报文档和离线数据包为主。

装备预研管理在融合转型应用方面需求强劲。在战略研究和规划编制阶段、年度计划编制阶段,决策系统期望充分挖掘不断积累的预研管理“大数据”,并能够充分考虑外部情报信息(其他装备科研、民口科研计划执行,重要技术领域发展情况数据等),实现数据驱动的预研中长期计划评估及年度计划评估,为下一阶段装备发展战略研究和规划编制及年度计划编制调整提供有针对性的支撑;执行系统期望在预研任务申请、立项申报时能够在预研项目申请、技术路线选择、成果转化应用及后续发展等方面得到预研管理“大数据”的知识服务支撑。在计划执行及结题验收阶段,决策系统期望实时掌握预研计划执行情况,从而对计划进行实时监测、预警与资源优化调配。咨询系统期望能够挖掘利用预研管理“大数据”为预研管理全生命周期各环节咨询评估结论的给出提供知识服务支撑。此外,决策系统还期望通过预研管理的数字化转型评估和改革装备预研管理政策,以通过管理体制机制创新提升装备预研科研计划的整体质效。

总的来说,装备预研管理数字化处于初步信息化阶段,相关管理政策制度不健全,信息系统建设缺乏跨部门、跨层级的统一设计,数据采集、交汇、存储,挖掘分析及创新应用未统筹考虑,面向预研管理的数据挖掘、分析应用能力严重匮乏,无法对决策系统、执行系统、咨询系统辅助决策形成有效支撑。

2.3.2　需求分析

未来装备预研管理应解决预研管理数字化在数据资源管理、网络联通及转型应用方面存在的问题,助力装备预研管理体系及管理能力科学化水平的不断提升。

1)预研大数据、知识的全生命周期管理。未来装备预研需要着眼于为决策系统业务管理提供辅助决策、为执行系统提供数据知识服务保障的现实需求,制定完备的预研数据采集标准,实现预研项目全生命周期数据随业务的自主生成、网络报送、自动积累,建立覆盖项目立项申请、开题评审、里程碑节点考核、后评估全生命周期的完备数据库,实现装备预研全生命周期的态势实时感知。此外,当前装备预研项目全生命周期管理以结题验收截止,缺乏对项目完成后相关成果产出及转化应用情况的持续跟踪,但预研项目具有的技术

先进性、基础性、探索性决定了预研对装备研制的牵引作用具有滞后性[26]，因此为客观评价预研项目，需将项目后评估纳入未来预研管理全生命周期。

2）预研大数据、知识的互联访问。未来装备预研需为预研决策系统、执行系统、咨询系统提供可靠的网络互联服务，使各利益相关方能够安全地访问装备预研大数据及大数据挖掘分析、知识发现推理功能与服务，从而为各方在预研计划制订、立项申请、里程碑节点考核评估及预研管理改革等活动中提供决策支持。此外，未来装备预研还应当安全引接外部情报数据（如，其他装备科研、民口科研计划，重要技术领域发展情况数据），形成装备预研数字化生态，为战略研究、规划计划拟制、考核评估、数据校验等提供针对性情报支撑。例如，在装备预研规划拟制中综合考虑其他装备科研计划及民口科研计划执行情况，提高装备预研规划计划与其他科研计划的衔接性与协调性。

3）大数据赋能的预研管理改革创新。①预研规划计划制订迭代演进。未来装备预研规划计划的拟制需要综合考虑历史预研规划计划实施效果的评估判断结果，以提高装备预研规划计划间的衔接性与协调性，满足国防科技高速竞争发展背景下的装备预研向装备研制转化的快速升级迭代要求。②预研计划实施过程可监测、可控制。当前预研管理仅在里程碑考核节点对项目执行情况组织评估，未来装备预研管理需对项目实施状态进行实时监测、评估及预警，并针对风险向项目管理部门、承研单位等提出相关意见建议，为风险处置提供决策支撑。③聚焦装备预研的领域专家智能推荐。当前，预研管理专家库中专家的遴选确定主要以基层提报推荐、机关审核批准的方式为主，专家所属细分领域往往根据专家自己提供的相关信息确定并作为专家推荐索引信息，存在专家库维护低效、专家推荐智能化不足的问题。因此，未来装备预研需能够根据预研大数据智能化发现领域专家，智能化辅助完成领域专家识别及专家库维护更新，并能够根据项目研究内容、考核环节等差异化因素智能推荐领域专家。④装备预研管理政策体制机制改革创新的数字化支撑。装备管理机关部门非常重视“向管理要效益”工作的落实[1]，即通过改革创新预研管理体制机制，提高科研计划执行效益。未来的装备预研应构建装备预研管理政策推演场景与模型，实现数据和知识混合驱动仿真推演，分析影响装备预研计划效益提高的关键管理政策因素，评估管理体制机制改革创新对装备预研计划执行效益的影响，并进一步给出提高装备预研效益的预研管理政策改革意见建议[27-28]。

3 数字孪生装备预研

本文将数字孪生应用于装备预研管理领域，并基于数字孪生五维模型[19]提出数字孪生装备预研概念。如图3所示，数字孪生装备预研是利用数字孪生技术对装备预研进行数字化重塑升级的新形态，由物理装备预研、数字装备预研、孪生数据、软件服务及连接交互五个部分组成，具有自感知、自学习、自决策、自优化等理想特征，能够通过虚实互动，实现装备预研管理全生命周期的实时感知、分析、评估与决策，变被动管理为主动管理，变粗放管理为精细管理，变开环管理为闭环管理，为装备预研战略研究、规划计划指南拟制，年度计划实施，项目成果转化等提供有力支撑。

3.1 数字孪生装备预研组成

3.1.1 物理装备预研：装备预研管理现实过程

物理装备预研即装备预研现实实施过程。当前装备预研计划拟制及项目实施管理过程如图2所示。由前述预研管理数字化改造存在问题及需求分析可知，当前装备预研的数字化水平还较低，数字资源的管理和应用水平仅维持在保障基本业务流程运转阶段。着眼于装备预研数字化转型目标，未来装备预研管理政策安排上要加强基于数据辅助决策的管理政策体制机制设计，以提高数据资源的管理和应用水平为具体路径，达到提升各利益相关方获得感之效果：①建立装备预研项目的后评估机制并将其纳入预研项目全生命周期管理过程；②建立预研项目全生命周期数据随业务自动生成、网络报送、自主积累的机制；③面向预研各利益相关方，开发大数据挖掘、知识发现推理功能及服务；④为各利益相关方提供可靠的网络互连服务，以安全稳定地访问预研大数据及相关数据挖掘、知识发现服务。

3.1.2 数字装备预研：装备预研管理数字孪生模型

数字装备预研即装备预研的数字孪生模型，对装备预研全生命周期过程在信息空间中建立模型，从而实现装备预研管理实时状态的多维感知、风险的监测预警、过程的仿真推演等功能。由图2可知，计划是项目的具体安排，可视为项目的聚合体，因此预研项目是装备预研管理的最小单元，其生命周期从计划批复立项开始直至结题验

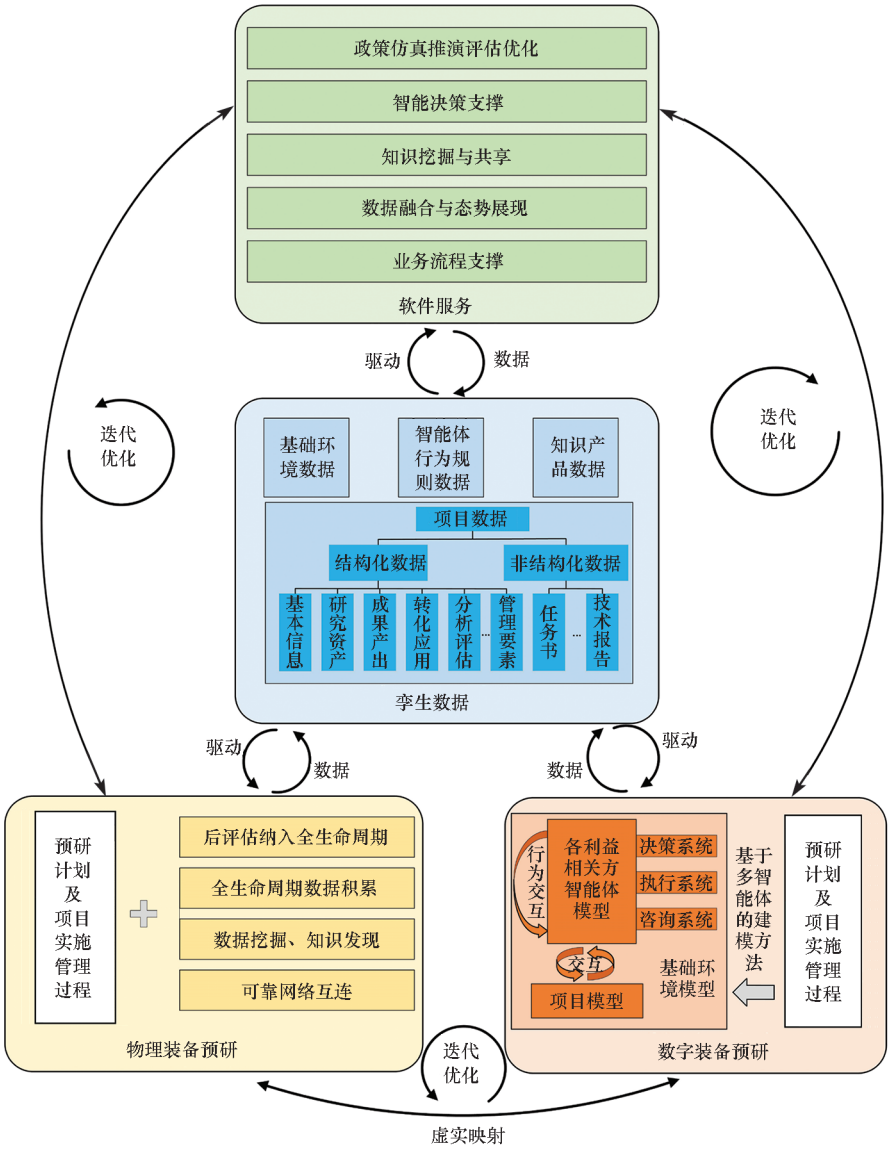


图 3　数字孪生装备预研组成

Fig. 3　Composition of digital twin defense advanced-research

收、后评估等终止阶段。预研各利益相关方共同协作,展开一系列管理活动,完成装备预研计划及项目实施管理过程。

基于上述分析,可使用基于多智能体的建模方法[29]建立装备预研管理模型。该多智能体模型由基础环境模型、项目模型及各利益相关方模型组成。基础环境模型包含装备预研管理业务流程及其他公共资源模型两类。其中,装备预研管理业务流程由装备预研管理相关条例法规规定,明确了各利益相关方在项目管理业务流程中所处的地位、作用及交互行为;其他公共资源包括国内外政治、经济、军事、技术发展等影响装备预研战略、规划、计划、项目制定、发布或评估的外部因素。项目模型是装备预研项目全生命周期过程的载体,从年度计划批复、项目立项开始,项目实体建立,拥有确定的研究目标、研究内容、技术路线、考核指标。执行系统按照批复计划及项目立项情况,实施项目研究,经若干里程碑节点考核,项目成果不断产出,项目智能体属性信息随时间增量积累,然后完成项目结题验收及后评估过程。各利益相关方智能体行为模型不仅包含适应当前装备预研管理业务各流程的过程模型,如规划计划拟制、项目指南发布、项目研究实施及里程碑节点考核评估,还包含贯穿装备预研全生命周期的实时评估决策模型,如计划执行态势评估、项目风险预测管控等。决策行为模型往往需要融合人的经验知识及基于装备预研管理大数据挖掘的特征规律知识,并不断积累学习更新,表现形式为知识图谱、统计机器学习模型、深度神经网络等。

3.1.3 孪生数据:装备预研管理数字孪生数据

装备预研管理全生命周期都需要数据的深度参与,而装备预研规划计划态势的全维监测、项目效益的跟踪分析评估等活动都是数据驱动的辅助分析决策过程,因此需要将蕴含在装备预研管理全生命周期物理现实数据、仿真虚拟数据及虚实融合数据进行有效管理,形成数字孪生数据,用于对装备预研管理进行多层次、全面、完整、统一的描述和解释,结合装备预研管理数字孪生模型实现装备预研管理态势的清晰感知、主动管控及政策评估优化等功能服务。装备预研管理数字孪生数据包含基础环境数据、项目数据、各利益相关方智能体行为规则数据及知识产品数据。

基础环境数据包含装备预研管理业务流程数据及影响装备预研管理的国内外政治、经济、军事、技术发展等开源情报数据。知识产品数据指通过装备预研管理大数据的挖掘分析,面向各利益相关方的不同关切,形成的主题特征鲜明的知识产品数据,如相关技术领域发展知识图谱、技术合作关系网络等。智能体行为规则数据指各利益相关方对装备预研计划、项目管理规律认知的特征数据、知识数据、经验数据,用于支撑各利益相关方对装备预研计划、项目的风险预测、预警与主动调控。

项目数据包含项目基本信息数据、研究资产数据、成果产出数据、转化应用数据、分析评估数据、综合管理要素等结构化数据及立项报告、任务书文档等非结构化数据,随项目全生命周期管理过程不断积累。其中,基本信息数据指项目编号、名称、立项或结题时间等;研究资产数据指研究基础、研究目标、研究内容、技术路线、研究团队情况等;成果产出数据指论文、专利、技术、标准、原型系统等多种形态的物质成果产出、获奖以及人才培养情况等;转化应用数据指项目成果应用于装备型号、工程项目并获得相关收益情况,以及相关研究方向受到其他科研计划延续资助发展情况等;分析评估数据指项目实施全生命周期各里程碑节点对项目总体实施效果的评估,技术成熟度评估以及体系贡献率评估等;综合管理要素数据指管理业务流程对项目施加作用的数据,如承研方遴选方式、里程碑节点考核方式、外协单位确立方式、奖励激励方式、经费管理制度及其他综合科研保障条件。项目数据经汇聚融合,可以得到相应年度计划的执行情况。

3.1.4 软件服务:装备预研管理软件服务系统

软件服务即装备预研管理软件服务系统,通过整合物理世界和虚拟世界的装备预研管理及孪生数据,面向各利益相关方不同的业务需求,提供端到端的人机交互友好、运行维护高效、辅助决策智能的可重构差异化优质服务。

装备预研管理软件服务分五层:业务流程支撑层,数据融合与态势展现层,知识挖掘与共享层,智能决策支撑层,政策仿真推演评估优化层。①业务流程支撑层为装备预研全生命周期的业务运行提供基础的信息系统支撑,具体包括预研计划的数字化管理,项目指南的网络化发布,项目立项、年度或中期考核、结题验收、后评估过程的数据填报、审核,项目全生命周期数据的综合管理等。②数据融合与态势展现层对项目全生命周期数据进行汇聚融合,不仅能对单个项目的实施过程进行可视化展现,还能对不断累计的项目数据进行多维度的态势展现,如项目基本信息分布、成果产出情况、转化应用情况等。③知识挖掘与共享层在数据融合与态势展现层基础上加强对项目数据及知识的发掘,能为各利益相关方提供主题特色鲜明的知识查询与推送服务,如给出项目研究关联网络、关键技术领域研究发展情况等,为装备预研管理部门掌握技术攻关情况、遴选优势攻关团队;为项目申请人了解技术发展现状、寻找合作途径;为咨询专家给出专业评估结论等提供知识服务保障。④智能决策支撑层基于经验知识、预研大数据及数据挖掘知识,对装备预研规划计划执行、项目实施状态进行实时评估与风险预测,以对规划计划拟制、项目实施做出科学调整,如对技术路线不符合最新技术发展的项目即时叫停,对经费支持不足但先期成果突出的项目即时给予拨款,对经费支出不合理的单位即时监督整改。⑤仿真推演评估优化层利用智能决策层获得的融合知识,建立和完善预研政策推演仿真环境和模型,支持对预研管理政策改革创新的推演评估及仿真优化。

3.1.5 连接交互:装备预研管理中数据传输与人机交互

连接交互是物理装备预研、数字装备预研、孪生数据和软件服务间数据传输及人机交互的媒介,由网络通信设施、人机交互软件等构成。物理装备预研通过连接交互同步数字装备预研管理的运行状态;数字装备预研通过连接交互获取物理装备预研的实时状态,驱动数字孪生装备预研模型的校验,以及通过连接交互接收软件服务下达的知识查询、仿真控制等指令,实现知识推荐、仿真推演等功能;软件服务通过连接交互获取物理装备预研的实时状态数据及数字装备预研的仿真

推演数据,实现相应服务功能;孪生数据通过连接交互不断获取、汇聚融合装备预研各类数据,为装备预研管理知识挖掘和风险预警等提供支持。对于非公开的装备预研研究内容,其计划、项目数据的传输与人机交互受保密安全制度制约,是网络连接受限与人员权限受限的,需要在保密安全前提下利用网络安全等技术对连接交互的便捷性和效率进行提升。

3.2　数字孪生装备预研理想特征和能力

根据数字孪生装备预研的组成结构,数字孪生装备预研管理具备自感知、自学习、自决策、自优化四个理想特征,如图 4 所示。首先,数字孪生装备预研管理不仅掌握现实中装备预研管理业务流程数据,还掌握计划、项目全生命周期的状态数据,经数据融合和可视化可实现对装备预研计划执行、项目实施状态、趋势的自动感知;其次,随着装备预研年度计划的滚动实施及各项目研究工作的开展,数字孪生装备预研积累大量计划、项目的原始数据,能够通过对历史数据的回顾利用与自主学习,挖掘分析发现新知识,认识新规律,实现装备预研管理的自学习;再次,基于上述状态的感知,新知识、新规律的学习,数字孪生装备预研能够对装备预研规划、计划、项目进行客观评估,对规划、计划、项目的科学拟制或调整给出针对性意见建议,即实现自主决策;最后,数字装备预研在感知、学习、决策的闭环迭代中不断积累装备预研管理经验,并将经验固化到数字孪生数据、模型及软件服务当中,从而可以基于装备预研数字孪生模型进行快速仿真推演,并基于仿真推演对装备预研管理政策进行评估与优化。

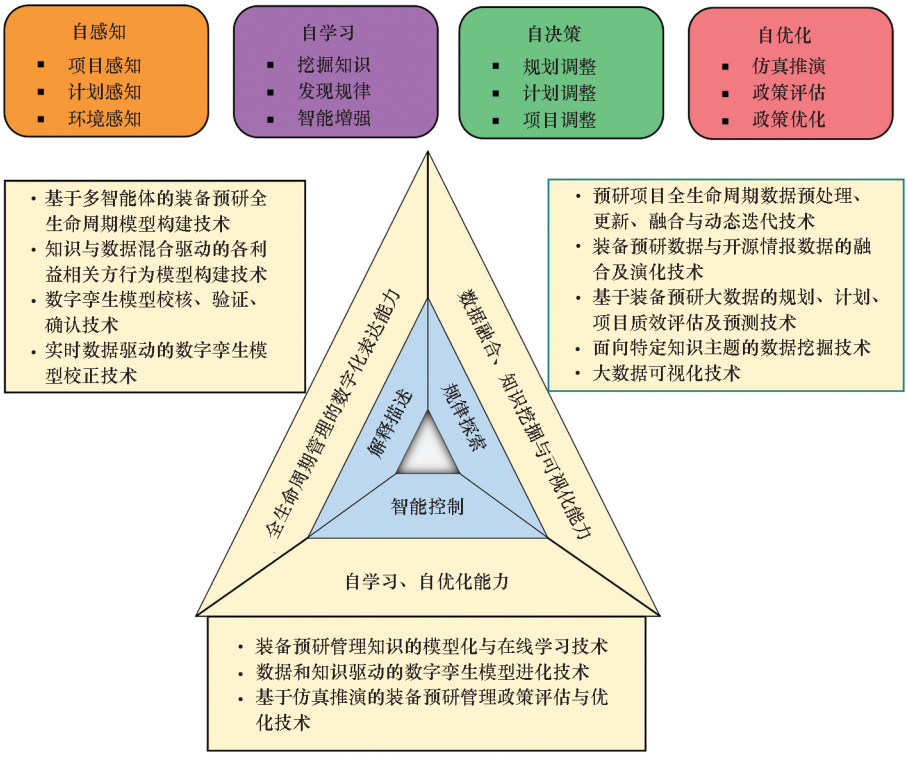


图 4　数字孪生装备预研理想特征、能力及关键技术

Fig. 4　Promising features, capabilities and key technologies of digital twin defense advanced-research

数字孪生装备预研理想能力包括全生命周期管理的数字化表达能力,数据融合、知识挖掘与可视化能力及自学习、自优化能力。

1）全生命周期管理的数字化表达能力。数字孪生装备预研对物理空间的装备预研进行多层级、多视角、多粒度的数字化、语义化描述,能够在信息空间构建装备预研全生命周期管理模型,包含从宏观的业务流程、装备预研所处环境到微观的各利益相关方、预研项目的建模描述。数字孪生装备预研管理提供的连接交互及软件服务能提供规范化的数据传输接口,使数字孪生数据能够随管理业务流程自动生成、网络传输并自主积累。在上述感知数据的实时驱动下,装备预研数字孪生模型得以建立完善并持续校正,使数字孪生装备预研能够实时精确反映装备预研管理实际。

2）数据融合、知识挖掘与可视化能力。数字孪生装备预研管理能够感知、汇聚装备预研管理全生命周期数据,通过数据融合、数据可视化等手

段,将装备预研管理业务流程、预研规划计划执行、项目研究实施等层次叠加、结构复杂、状态不清的对象变得透明,辅助装备管理部门全面深入了解装备预研需求分布、业务动态、项目进展等历程、现状及趋势,支撑装备预研状态及成果效益的监测、预警及相关问题的溯源、诊断。更进一步,对上述融合数据进行深入挖掘,主动为装备预研管理部门、承研单位及课题组提供主题化知识推荐服务,为装备预研规划计划评估、技术领域追踪、优势单位推荐等服务提供支撑,使各利益相关方既负有数字孪生装备预研管理、监督、实施、提供数据等职责,又能够享受到相应的功能服务,形成正向激励,提升各利益相关方的参与感和获得感,促进装备预研数字孪生生态的形成。

3) 自学习、自优化能力。数字孪生装备预研基于积累的预研大数据以及预研软件服务系统,实现计划与项目实施状态感知与管控、知识挖掘与推理、仿真推演分析与评估等功能。在支撑辅助决策过程中,数字孪生装备预研不断在线学习相关规律和知识,将规律和知识模型化,装备预研数字孪生模型得以更新和进化,实现数字孪生装备预研智能增强。更进一步,数字孪生装备预研还能够充分利用数字空间装备预研数字孪生模型仿真推演的便捷性、低成本性与可重复性,在装备预研管理相关政策施行前对其进行持续评估与优化。

3.3 数字孪生装备预研关键技术

为实现上述数字孪生装备预研管理的理想特征与理想能力,分析数字孪生装备预研管理所需的关键技术,如图 4 所示,可分为三类:全生命周期管理的数字化表达能力相关技术;数据融合、知识挖掘与可视化能力相关技术;自学习、自优化能力相关技术。

1)全生命周期管理的数字化表达相关技术主要包括:①基于多智能体的装备预研全生命周期模型构建技术;②知识与数据混合驱动的各利益相关方行为模型构建技术;③数字孪生模型校核、验证、确认技术;④实时数据驱动的数字孪生模型校正技术。

2)数据融合、知识挖掘与可视化相关技术主要包括:①预研项目全生命周期数据预处理、更新、融合与动态迭代技术;②装备预研数据与开源情报数据的融合及演化技术;③基于装备预研大数据的规划、计划、项目效益评估及预测技术;④面向特定知识主题的数据挖掘技术;⑤大数据可视化技术。

3)自学习、自优化相关技术主要包括:①装备预研管理知识的模型化与在线学习技术;②数据和知识驱动的数字孪生模型进化技术;③基于仿真推演的装备预研管理政策评估与优化技术。

3.4 数字孪生装备预研发展阶段展望

数字孪生装备预研是装备预研在数字孪生视角下的理想化升级改造,受装备预研管理现实的制约,其发展不可能一蹴而就。结合装备预研发展现状及外部环境制约,提出渐进式的数字孪生装备预研发展阶段,如图 5 所示,其中初级阶段和中级阶段应在一个五年计划期内完成。

1) 初级阶段:管理业务流程数字化改造,实现数据自主积累与应用示范。初级阶段的主要任务是对装备预研管理业务流程进行数字化改造,并通过典型应用示范展现建设效益,周期约为两个年度计划执行期。装备预研管理业务流程数字化改造,即研发互联互通的信息系统,提供数据分发与提报人机交互信息系统,使各级装备预研管理部门机关、课题承研方等利益相关方能够安全、便捷地完成计划管理、指南发布、项目申请、中期或年度检查、结题验收、后评估等管理业务流程及相关数据提报与积累。首先,顶层装备预研管理机构应加强装备预研管理全生命周期的数据管理体制机制建设,提高装备预研数据资产积累的意识,明确各层级装备预研管理机构、承研单位等利益相关方的职责与考核奖惩机制。然后,制定各管理业务流程的数据收集标准规范,建设业务支撑顺畅、人机交互友好、网络连接可靠的信息系统。最后,在各年度计划执行期,以项目管理全生命周期态势感知、年度计划评估等典型应用为试

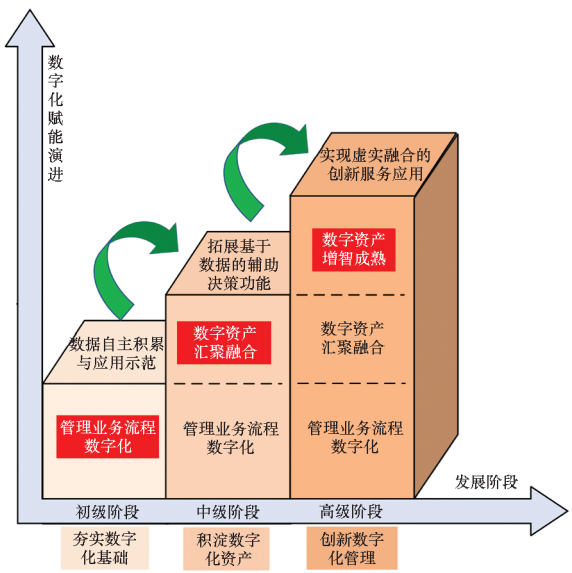


图 5 数字孪生装备预研发展阶段展望

Fig. 5 Perspective on the development stage of digital twin defense advanced-research

点,启动相应数据库、模型库、算法库、知识库的建设,在发挥应用示范中逐步完善系统相关功能的设计与实现。

2)中级阶段:数据、模型、知识汇聚融合,拓展基于数据的辅助决策功能。经初级阶段发展,装备预研数据逐步汇聚,典型应用示范效应初现,应进一步加强数据、模型、知识等数字资源的建设,拓展系统的辅助决策功能,周期约为三个年度计划执行期。首先,进一步完善孪生数据库建设,将开源情报等数据纳入孪生数据库,预留与其他装备科研计划数据的交互接口,为更加全面的装备预研态势掌握与精准的辅助决策提供数据支撑。其次,建立并完善数据库、模型库、知识库管理规范,实现装备预研全生命周期数字资产的汇聚融合与管理。再次,建立通用算法库,为装备预研管理的数据处理和融合、态势分析评估、知识挖掘和表示提供支撑。最后,在拓展辅助决策功能方面,进一步加强对预研计划及单个项目实施过程的监测及风险预警功能的完善,并为项目实施及年度计划执行情况的分析评估及调控提供有力支撑。

3)高级阶段:数字资产规模增智成熟,实现虚实融合的创新服务应用。经初级和中级阶段的发展,装备预研管理数据库、模型库、知识库初具规模、基本完善,亟须对积累的数据资产深入挖掘与融合应用,支撑虚实结合的装备预研管理创新。首先,基于五年计划周期的装备预研管理数据,开发装备预研知识发现与共享服务平台,为各利益相关方在装备战略研究、规划计划拟制、年度计划执行评估、结题验收等各阶段提供更有深度和针对性的辅助决策支撑信息,助力从数据提报汇聚到知识辅助决策正环反馈生态的形成。然后,将五年计划周期内人机结合决策过程中的数据、模型、知识不断更新到数据库、模型库、知识库中,不断提升装备预研管理孪生模型成熟度,提高数字孪生装备预研模型对实际管理过程的拟真程度。最后,基于高可信的装备预研管理数字孪生模型,利用仿真推演对装备预研规划、计划乃至管理政策在正式实施前进行评估与优化,为中长期装备预研规划计划的制订、管理政策的改革创新提供有力支撑,实现虚实互动的装备预研管理新业态。

4　结论

装备预研的数字化转型与智能化升级是提升装备预研管理科学化水平的必由之路,能为装备科研管理改革提供有益探索,对加强装备科研战略管理能力建设具有重要意义。本文通过分析当前装备预研管理存在的现实问题,总结了装备预研管理的数字化转型与智能化升级的紧迫需求,提出了数字孪生装备预研管理概念。本文对数字孪生装备预研的组成、理想特征与理想能力、关键技术及未来发展阶段进行了初步探讨,希望能够为未来装备预研管理的发展提供一种典型范式,并对当前装备预研管理的改革创新起到参考作用。下一步,将结合装备预研管理发展的现实需求,进一步完善数字孪生装备预研管理的技术体系、数据体系、模型体系及标准体系,为提升装备预研管理科学化水平提供有力支撑。

参考文献(References)

[1] 沈建明, 夏明. 现代国防项目管理(上册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
SHEN J M, XIA M. The modern defense project management[M]. Beijing: China Machine Press, 2017. (in Chinese)

[2] 游光荣. 广泛吸纳全社会创新资源, 加快军事装备预研改革步伐[J]. 情报工程, 2017, 3(4): 15 – 22.
YOU G R. Admitting the whole society's innovative resources and speeding up the reform of military equipment R & D[J]. Technology Intelligence Engineering, 2017, 3(4): 15 – 22. (in Chinese)

[3] 陈堂, 陈光, 陈鹏羽. 中国数字化转型:发展历程、运行机制与展望[J]. 中国科技论坛, 2022(1): 139 – 149.
CHEN T, CHEN G, CHEN P Y. Digital transformation in China: development history, operation mechanism and prospect[J]. Forum on Science and Technology in China, 2022(1): 139 – 149. (in Chinese)

[4] 严子淳, 李欣, 王伟楠. 数字化转型研究: 演化和未来展望[J]. 科研管理, 2021, 42(4): 21 – 34.
YAN Z C, LI X, WANG W N. A research on digital transformation: its evolution and future prospects[J]. Science Research Management, 2021, 42(4): 21 – 34. (in Chinese)

[5] 国防部. 国防部: 在新的起点上推动我军武器装备建设再上一个大台阶[J]. 中国军转民, 2021(23): 6 – 7.
Ministry of National Defense. Ministry of National Defense: make weaponry and equipment modernization big strides from the new starting point [J]. Defence Industry Conversion in China, 2021(23): 6 – 7. (in Chinese)

[6] 杨晶, 韩军徽, 李哲. 促进科研管理数字化转型的对策[J]. 科技导报, 2021, 39(21): 80 – 86.
YANG J, HAN J H, LI Z. Research on promoting digital transformation scientific research management[J]. Science & Technology Review, 2021, 39(21): 80 – 86. (in Chinese)

[7] 李东, 于笑丰, 杜一, 等. 国家自然科学基金资助成果开放共享平台: 现状与展望[J]. 中国科学基金, 2021, 35(5): 808 – 814.
LI D, YU X F, DU Y, et al. Status and prospects of the open sharing platform of the national natural science foundation of China[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2021, 35(5): 808 – 814. (in Chinese)

[8] 赵秋红, 李元睿, 邓修权, 等. 科学基金资助机构视角下的科学数据管理研究[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(12): 1456 – 1462.
ZHAO Q H, LI Y R, DENG X Q, et al. Scientific data

management from perspective of scientific funding agencies[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(12): 1456 – 1462. (in Chinese)

[9] 李正超. 国内科学数据共享平台建设现状及发展策略研究[J]. 图书馆理论与实践, 2018(8): 108 – 112.
LI Z C. Study on the current situation and development strategy of domestic scientific data sharing platform [J]. Library Theory and Practice, 2018(8): 108 – 112. (in Chinese)

[10] 刘益宏, 高阵雨, 李铭禄, 等. 新时代国家自然科学基金资源配置机制优化研究[J]. 中国科学基金, 2021, 35(4): 552 – 557.
LIU Y H, GAO Z Y, LI M L, et al. Research on optimization of resource allocation of national natural science foundation of China[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2021, 35(4): 552 – 557. (in Chinese)

[11] 陈国琳, 吴鹏炜, 冷文军. 国防装备预先研究管理初探[J]. 舰船科学技术, 2007, 29(6): 180 – 183.
CHEN G L, WU P W, LENG W J. Primary discussion of national defence science and technology pre-research management [J]. Ship Science and Technology, 2007, 29(6): 180 – 183. (in Chinese)

[12] 陈伟, 唐金国, 赵路华. 加强顶层设计, 促进我军装备管理信息化建设又好又快发展[J]. 装甲兵工程学院学报, 2007, 21(4): 1 – 5.
CHEN W, TANG J G, ZHAO L H. Strengthen top-level design, accelerate good and quick development of our army's weaponry informationization construction [J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2007, 21(4): 1 – 5. (in Chinese)

[13] 张雪胭, 吴志新, 白华东. 装备管理信息化建设思考[J]. 价值工程, 2020, 39(3): 70 – 72.
ZHANG X Y, WU Z X, BAI H D. Thinking on equipment management informationization development [J]. Value Engineering, 2020, 39(3): 70 – 72. (in Chinese)

[14] 郭沙, 赵勇, 谷瑞翔. 数字孪生: 数字经济的基础支撑[M]. 北京: 中国财富出版社, 2021.
GUO S, ZHAO Y, GU R X. Digital twin: the foundation of the digital economy [M]. Beijing: China Fortune Press, 2021. (in Chinese)

[15] 张枝实. 数字孪生技术的教育应用研究[J]. 成人教育, 2021, 41(5): 27 – 32.
ZHANG Z S. Research on educational application of digital twin technology[J]. Adult Education, 2021, 41(5): 27 – 32. (in Chinese)

[16] GRIEVES M W. Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises[J]. International Journal of Product Development, 2005, 2(1/2): 71 – 84.

[17] GRIEVES M, VICKERS J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems [M]// Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, Springer, 2017: 85 – 113.

[18] 陶飞, 刘蔚然, 刘检华, 等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(1): 1 – 18.
TAO F, LIU W R, LIU J H, et al. Digital twin and its potential application exploration [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(1): 1 – 18. (in Chinese)

[19] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1): 1 – 18.
TAO F, LIU W R, ZHANG M, et al. Five-dimension digital twin model and its ten applications[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(1): 1 – 18. (in Chinese)

[20] 陶飞, 张辰源, 张贺, 等. 未来装备探索: 数字孪生装备[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(1): 1 – 16.
TAO F, ZHANG C Y, ZHANG H, et al. Future equipment exploration: digital twin equipment[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2022, 28(1): 1 – 16. (in Chinese)

[21] 贾雷坡, 张丽萍, 王长锐. 国家自然科学基金依托单位2000—2019年发展情况分析: 对加强依托单位管理的探讨[J]. 中国科学基金, 2021, 35(4): 581 – 588.
JIA L P, ZHANG L P, WANG C R. Analysis on the development of grantees of national natural science foundation of China from year 2000 to 2019: discussion on strengthening the management of NSFC grantees[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2021, 35(4): 581 – 588. (in Chinese)

[22] 张俊科, 贺明. 关于加强装备预研管理的探讨[J]. 国防技术基础, 2005(5): 5 – 6.
ZHANG J K, HE M. Discussion on strengthening defense advanced-research management [J]. Technology Foundation of National Defence, 2005(5): 5 – 6. (in Chinese)

[23] 范少杰. 国防高技术预研项目管理模式研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2011.
FAN S J. The study of defense high-tech pre-research project management[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2011. (in Chinese)

[24] 罗贞礼. 我国数字经济发展的三个基本属性[J]. 人民论坛·学术前沿, 2020(17): 6 – 12.
LUO Z L. Three basic attributes of the development of digital economy in China [J]. Frontiers, 2020(17): 6 – 12. (in Chinese)

[25] 罗超, 亢冬春, 岳巧, 等. 科技项目后评估现状与对策研究[J]. 中国造船, 2019, 60(增刊1): 493 – 498.
LUO C, KANG D C, YUE Q, et al. Status and countermeasure of research on post evaluation of R & D project[J]. Shipbuilding of China, 2019, 60(Suppl 1): 493 – 498. (in Chinese)

[26] 张丽叶, 苏玉朋. 装备预研项目风险管理研究[J]. 装备制造技术, 2010(6): 127 – 128.
ZHANG L Y, SU Y P. The research on the risk management of the equipment preliminary R & D project[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2010(6): 127 – 128. (in Chinese)

[27] 曾大军, 霍红, 陈国青, 等. 政策信息学与政策智能研究中的关键科学问题[J]. 中国科学基金, 2021, 35(5): 719 – 725.
ZENG D J, HUO H, CHEN G Q, et al. Key scientific questions in policy informatics and policy intelligence [J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2021, 35(5): 719 – 725. (in Chinese)

[28] 李永立, 刘超, 张涵钧, 等. 面向政策信息学与政策智能的网络分析技术[J]. 中国科学基金, 2021, 35(5): 726 – 741.
LI Y L, LIU C, ZHANG H J, et al. Network analysis technologies for policy informatics and policy intelligence[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2021, 35(5): 726 – 741. (in Chinese)

[29] BONABEAU E. Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002, 99(Suppl 3): 7280 – 7287.