

# 装备试验鉴定数字化转型需求分析

宋敬华, 周 焕, 陈 昱  
(陆军装甲兵学院, 北京 100072)

**摘要:** 随着世界军事变革日益剧烈, 武器装备试验鉴定环节在武器装备发展制造的过程中地位作用愈发关键, 在思维、方法和内容等方面都将不断展现出新特征, 做好适应新军事斗争形势的武器装备试验鉴定研究工作空前紧迫; 通过对试验鉴定、数字化、数字化转型等内涵的研究, 进一步加深了对装备试验鉴定数字化转型的理解; 从实战化、一体化、多样化、周期化 4 个装备试验鉴定特点角度出发, 分析了实现数字化试验鉴定所存在的不断提高实战化水平的需求、提高一体化试验鉴定程度的需求、遂行多样化试验任务的需求、全面试验场试验的需求, 并总结形成数字化试验能力、数字装备鉴定定型能力、试验鉴定数字化管理能力和构建数字试验场能力 4 种核心能力目标, 为试验鉴定数字化转型的方向提供了理论参考。

**关键词:** 武器装备; 试验鉴定; 数字化; 需求分析; 能力目标

## Review of Research on Digital Transformation Construction of Equipment Test and Appraisal

SONG Jinghua, ZHOU Huan, CHEN Yu  
(Arm Yarmored Force Academy, Beijing 100072, China)

**Abstract:** With the increasingly fierce military transformation in the world, the role of weapon equipment testing and appraisal in the process of weapon equipment development and manufacturing has become increasingly crucial. New features will continue to be displayed in terms of thinking, methods, and content. It is unprecedented and urgent to do a good job in weapon equipment testing and appraisal research to adapt to the new military struggle situation. Through the research on the connotation of test identification, digitalization, and Digital transformation, the understanding of Digital transformation of equipment test identification has been further deepened. Starting from the four characteristics of equipment testing and identification, namely practicality, integration, diversification, and periodization, this paper analyzes the needs for continuously improving the level of practicality, enhancing the degree of integration testing and identification, conducting diversified testing tasks, and conducting comprehensive testing on the test site to achieve digital testing and identification, and summarizes the formation of digital testing capabilities, digital equipment identification and finalization capabilities. The four core competence objectives of digital management capability of test appraisal and the ability to build a digital proving ground provide a theoretical reference for the direction of Digital transformation of test appraisal.

**Keywords:** digitaltransformation; equipmenttestandappraisal; demand analysis; capability objectives

### 0 引言

当今世界军事技术革命日新月异, 武器装备不断向信息化、无人化甚至智能化方向发展演变, 传统战争在信息网络条件下的全域联合作战形态面前毫无胜算。传统试验鉴定方法受成本和时间的影响, 无法对所有作战环境、人装编成与假想对手的可能组合进行满员实装试验。武器装备试验鉴定作为武器装备研制的重要阶段<sup>[1]</sup>, 迫切需要转型来突破运行时间、风险和成本等现实问题束缚, 以满足新形势下武器装备试验鉴定工作需求。通过采用数字技术手段为装备试验鉴定工作转型赋能, 有助于低成本、短周期展开各种环境下的跨领域、全体系、可重复、大样本的装备试验, 是推动武器装备试验鉴定创新发展、加快新装备作战能力形成的重要途径<sup>[2]</sup>。

美军一直在不断推进装备数字化转型, 美国防部在 2018 年 6 月发布了《数字工程战略》, 2019 年 7 月又发布了《国防部数字现代化战略》, 不断修正美军数字工程的建设目标和发展方向, 现其数字工程已贯穿武器装备系统全寿命周期, 是我军一直在追赶的方向。近年来, 我军也大刀阔斧进行军队体制调整改革, 中央军委组建了专职试验鉴定机构统筹规划全军武器装备试验鉴定工作, 各军兵种也成立了专门的试验鉴定机构, 新的装备试验鉴定体系逐步建立健全, 也进行了数字化的理论和实践研究<sup>[3]</sup>。但和世界先进水平相比, 在试验鉴定数字化转型方面, 还没有大量的理论研究, 缺少对需求分析的探讨分析。

本文主要对什么是装备试验鉴定数字化转型、有什么现实需求进行分析研究, 为下步深入研究数字化转型指出参考方向。

收稿日期: 2023-04-13; 修回日期: 2023-04-30。

作者简介: 宋敬华(1976-), 女, 博士, 副教授。

引用格式: 宋敬华, 周 焕, 陈 昱. 装备试验鉴定数字化转型需求分析[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(10): 312-316.

## 1 试验鉴定数字化转型内涵

### 1.1 试验鉴定

试验鉴定是采取相应策略和规范化的组织形式对装备的战术技术性能、作战效能和适用性等进行全面考核并独立作出评价结论的综合性活动<sup>[4]</sup>。它的主要目的是采取严谨周密规定范式动作,测试出装备的性能效能大数据,对照武器装备需求找出当前存在的问题缺陷并加以改进,找到适合该武器装备参与作战的方式,把装备建设不断推向新高度,严格把住列装定型的标准关,不断提升部队对武器装备的满意度以及装备对战斗力的贡献率。由此可知,试验鉴定技术是以提高试验活动效率、试验鉴定能力为目的,涵盖理论知识、方式方法和管理科学等多个方面形成的技术。换言之,即在试验鉴定活动中,为验证、测试、考核、评估装备整体表现所采取的方法统称。

试验鉴定是在长期的装备研制、发展中兴起的,同时能够通过试验活动来反馈出装备存在的问题和不足,在投产前越早发现缺陷,纠正改善就越简单方便,费用开销也会越节约省钱,因此试验鉴定是装备管理决策的基本依据,也是保证装备质量、提升装备综合性能的重要环节,在降低武器装备制造生产风险,缩短研发周期,提高战斗力转化效率等方面有重要作用。

### 1.2 数字化

数字化概念由来已久,传统理解上的数字化指仅仅用数字技术,对具体事务及环境的改造,关注的重点在于数字技术对业务直接产生的提升的费效比。现在的数字化不仅包括利用数字技术对党政机关、部队、军工企业等组织的业务进行变革,还包括使用数字技术对整个体系转型与重塑<sup>[5]</sup>。具体来说传统的数字化是通过计算机信息系统、传感器、机器视觉这些通讯手段,把自然界中客观存在的信息、知识和数据,转换成一长串二进制的代码,输入计算机系统里,利用计算机转化成能够被识别、计算、存储的数据信息,进而通过它们建立起有关数据模型,进行统一的处理、运算、分析和应用。最新的数字化则是使用互联网通讯、大数据、区块链、人工智能等新的技术手段,对党政机关、部队、军工企业等主体的行政框架、运行管理、生产营销等内容,进行整体性的、全方位的变革,强调的是数字化对整个组织的重塑,突出的是数字化赋能模式创新和业务突破的核心能力<sup>[6]</sup>。

数字化是未来多个行业领域转型的重要方向,是数字化转型的基础。这个判断是由技术发展趋势推断的,技术的发展是产业变革的底层逻辑,装备试验鉴定不可避免地要迎接数字化的到来,如5G网络大带宽、低延时的特点,可满足试验鉴定领域对装备设备实时数据传输、采集和掌握分析的需要。主动求变就可以占领先机,被动接受就已优势尽失,所以也可以说,数字化是技术,但其更是一种思维模式,随着数据技术的进步和普及,需求端的诉求更加清晰明确,全方位快速度满足需求,对传统试验鉴定方法是一种碾压式的降维打击。

### 1.3 数字化转型

数字化是把没数字化的、模拟的、实物的、手工的数字化。数字化转型则是围绕业务问题,使用如区块链、物联网、人工智能、虚拟现实、物联网等各类新发展的数字技术,为变革构思并提供新颖的、差异化的技术支持,解决问题。而实现数字化转型的组织,通常都会探索出新的业务、全新的业务流程模式<sup>[7]</sup>,从而实现生产力的进一步解放,从技术角度来说传统武器装备试验鉴定系统无法自我实现这种转型。可以说,数字化转型是系统性的变革,涉及到思路变革、能力升级、技术迭代、模式转变、管理重塑等方方面面的创新,是前后环环相扣、要素相互影响的复杂系统工程。机械化+自动化+IT化的协作方式,只能保证孤岛式运转,本质上还是手工到自动的过程。而数字化转型,是把“自动化+信息化+数据化”3个维度打通,业务产生数据,数据反馈指导业务,实现了数据和业务一体化<sup>[8]</sup>。数字化转型的核心是能力建设。即通过数字技术全面整合提升组织效能,重构系统生态环境,链接所有系统,将数据和业务整合,赋能业务加速创新转型,改造提升传统动能,实现快速适应新环境、取得新发展的能力。数字化转型的关键要素是数据。通过数字化转型推动基于数据模型的知识共享和技能赋能,可提升生态组织开放合作与协同创新能力,提高社会资源的综合开发潜能<sup>[9]</sup>。各类系统的运行数据,就是实时运行指标,紧盯指标对组织机构进行改造,基于统一的数据管理规则,确保形成规范、完整、有效的数据库,就是数字化转型的基础。

促进新一代信息技术与试验鉴定深度融合,推动数字化转型实现新旧动能转换,可以助力装备发展领域实现转型升级,作为装备工作重要环节,试验鉴定必须积极响应国家需要,顺应数字时代经济发展趋势,推动数字化转型。

综合来说,武器装备试验鉴定数字化转型是在物联网、虚拟现实、互联网、人工智能等数字技术支撑下,以数据为基础,能力建设为核心,对发展模式、组织管理、工作流程、反馈机制等进行系统性变革的过程<sup>[10]</sup>。为了推动装备试验鉴定数字化转型,保证转型不做无用功,不浪费国家资源,有必要先进行需求分析得出数字化转型建设的能力目标。

## 2 试验鉴定数字化转型需求分析

我军高度重视武器装备试验鉴定在研制过程中的“指挥棒”作用<sup>[11]</sup>。随着近年军事斗争准备不断推进,为避免装备交付部队后出现的“水土不服”现象以及部队对装备使用产生“高分低能”感受,试验鉴定对实战化考核愈发重视。数字化转型需要采用新型试验鉴定理念,构建新型试验鉴定组织,推行试验鉴定数字化转型,主要从实战化、一体化、多样化、周期化4个方面进行需求分析(如图1所示)。

### 2.1 实战化能力提高的需求

实战化能力是武器装备的试验鉴定的根本出发点是“能打仗、打胜仗”的战斗力标准,这是装备试验鉴定的最高标准,也是唯一标准<sup>[12]</sup>,其内涵有四点(如图2所示)。

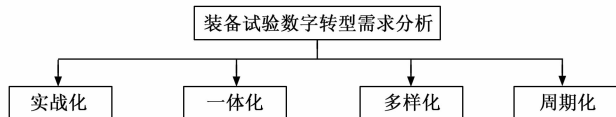


图 1 需求分析为“四化”

装备试验鉴定数字化转型同样需要把实战化作为出发点和落脚点，形成经得起实战检验的试验能力。

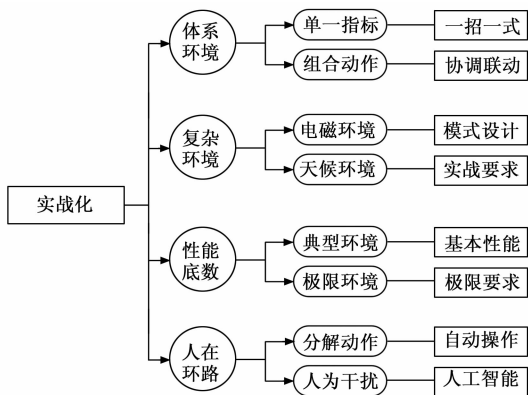


图 2 实战化四点内涵

体系环境的需要：未来作战必定是体系作战，武器装备的作战效能和适用性也只有体系中才能得以检验，因此试验鉴定活动必须具备体系试验条件，当前部队演习训练周期不同，各军种担负任务不同，组织一次成规模的实战体系试验成本过高、难度较大、周期较长，数据收集有限且难以排除偶然性，还容易影响部队训练任务，数字化转型应注重体系环境建设和体系试验能力，可以进一步加强试验鉴定结果的可信度，满足体系环境下的实战化要求<sup>[13]</sup>。复杂环境的需求：真实的地形、地貌、气象、气候、水文等自然环境，掩体工事、人文宗教等战场人工环境，尤其是复杂的电磁环境，对武器装备试验鉴定活动过程会造成较大影响，在实战中时刻影响战况，甚至改变战争结果。但在现实世界中难以存在如此全面的试验场，也难以在多种复杂环境下多次试验，达不到全域全时的要求，数字化转型应能实现在数字空间中对实装试验进行复杂环境模拟，得以符合试验鉴定结果在复杂环境下的实战化要求。武器装备性能参数在设计和考评中的标准要求往往是超出常规使用环境的，对于常规的环境和典型的目标，在现实世界中可以找到或设置合适试验的条件，但是对于非常条件下试验评价装备的最大、最小能力和潜力，即性能的边界极限，现实世界不如数字世界更具有优势，如远程火箭炮超出设计实弹射程的超限用例等，现实世界难以找到这么远的靶场。数字化转型应在数字世界中把装备性能底数摸清摸透，以满足装备性能实战要求。人在环路的需要：随着科学技术的进步，武器装备的自动化程度也愈来愈高，在测试装备单项性能指标时，对其自动化处理能力和科技水平能力尤为重视。但在真实战场上，人才是驾驭装备的主体，也是其中最活跃的因素。在传统试验过程中在役考核环节以前，都缺少充分的人装结合试验数据样本，通过

数字世界模拟使用评估，可明确人在各种条件下如何使用设备，能达到什么水平，同时单台设备必须能与系统内其他设备联动协调，必须充分覆盖网络信息系统支持的联合作战和全域作战中可能的设备组合。4 个方面实战化能力提高的需求催生新时代装备试验鉴定进行数字化转型，形成数字试验能力。

### 2.2 一体化试验鉴定的需求

武器装备需要从多个维度试验测试，通过实装数据进行全方位校核才能进行列装定型。那么加强多个维度各个部分的联系，突出重要要素之间的互补和各类资源的科学配置组合，进行一体化的试验鉴定模式，无疑是降低试验成本、缩短试验周期的科学方法。从时间维度，通常安排性能试验和作战试验两大类，研制试验先于作战试验<sup>[14]</sup>。如果将两类试验并行组织，研制试验方和作战试验方就试验目标及结果进行通力协作，加强沟通协调，共享数据信息，无疑可以大大减少修正次数、提升试验效果。从空间使用维度看，部分地空装备的飞行试验需要用到地面试验设备进行测评，包括可靠性、环境适应性、电磁兼容性和软件测试等，而在飞行试验以外的地面条件下很难进行验证。在飞行和地面试验中，时间线通常是顺序的，但对于部分严格的试验项目（如同质量特性的连续振动试验）和不需要空中条件进行的试验内容也能够陆地上同时间展开。武器装备试验鉴定一体化的特点可通过数字化转型进一步优化满足，将试验要素、试验单装、试验系统科学组合关联，模拟现实世界客观规律实施运行，形成多个多维一体的试验空间，是整合试验资源、解决实装试验难题的好途径。其中，与实物装备对应的数字装备在数字空间试验可将装备性能问题尽早暴露，因为涉及到测试每个阶段的总体部署，在早期解决需求适应风险有利于降低成本、提高效率<sup>[15]</sup>。性能试验是装备战术技术指标的单一验证，作战试验是装备作战能力的综合验证。如果单纯按时间顺序进行实物验证，考虑到越往后装备的技术状态暴露出问题需要改动变化的可能性越大，其次是周期会大大拉长。加上以实物为主的开发测试操作对装备的不断改动修补会增加装备复杂性，如果试验活动全部是串联实施，过于依靠每一阶段的实物进行试验，将大大增加和需求不符的风险，且降低效率。因此一体化试验鉴定需要数字化转型，通过在统一的数字环境下重复多项试验内容的并行试验校核能力，进一步密切试验鉴定各环节的前后连接，增加评估和状态管理，从而增强装备鉴定的定型能力。

### 2.3 多样化试验任务的需求

装备试验鉴定方法有计算、仿真、地面半实物、实物验证、全实物地面验证以及飞行验证（对于空基装备）等多种方式，而强化建模与仿真在装备实物试验鉴定中的应用，则是装备试验鉴定多样化的最主要特征<sup>[16]</sup>。现代化战争涉及武器装备众多，武器装备之间组合作战更多，作战环境复杂多样，试验战法战术灵活多变，试验鉴定想要面向实战化，就必须充分满足多样化试验任务。装备试验鉴

定需要通过数字化转型实现多样化任务的原因有三个: 1) 试验要素组合的多样性。对全部可能存在的战斗场景、作战编成、战术策略与战场环境, 逐一进行组合试验是不现实的, 尤其是在军兵种联合作战、装备迅猛发展与全时全域作战背景下, 试验要素组合只会越来越多、越来越复杂, 走传统试验道路会带来沉重的军费负担也没有任何进步意义, 相当多的场景、策略与环境只有通过数字化管理组合才能实现; 2) 数字技术应用的可行性。二是数字技术的可应用性。受技术能力限制, 过去有的武器装备或作业内容难以实现仿真模拟或只能实现低水平仿真, 导致“仿真百遍不如实际操作一遍”的观点长期占据试验鉴定主流思想, 随着数学建模和仿真技术越来越成熟现在已可以突破原来瓶颈, 实现高度仿真。另一个重要考量因素是, 仿真无法充分有效考虑到细微环境和突发情况对装备试验活动产生的影响, 且无法支撑“定型数据信息‘入流’装备作战运用, 以及装备部队使用数据‘回流’装备改进升级”的双向信息循环的能力, 当前数字技术发展速度空前快速、科技难题不断突破、设备基础不断夯实, 提供了良好的技术支撑<sup>[17]</sup>; 3) 支撑数据处理的高效性。多样化的试验鉴定任务会产生海量的数据, 不同的性能指标在不同时间、空间、特定的场景、策略与环境下测试评估都会产生的数据, 巨量的数据靠人工录入、分析研判是不现实的。即使通过配置实际作战兵力编成完成一次实战化试验考核, 其剖面仍会与真实作战环境存在偏差, 因为环境的实时变化导致偶然性的存在, 与实战仍有差距, 难以完全满足多样化试验要求。在新时期武器装备试验鉴定实践中, 任何科学技术的进步都需要大量人力物力的投入, 数字试验技术攻关也不例外, 应加大试验数字技术经费投入以调动从事单位及人员的积极性, 使得数据挖掘处理能力逐步提升以满足多样化试验鉴定任务的需要。

### 2.4 试验场试验能力需求

进入新时期, 试验鉴定增加了“在役考核”这一新内容, 着重强调了装备试验鉴定活动的全寿命周期特征, 标志着武器装备试验鉴定理念的重要改变<sup>[18]</sup>。由于部队对装备使用时间更久, 训练演习经历的环境更复杂, 操作人员的个体差异以及对装备操作的掌握程度, 都会引发新的问题, 这在交付前试验活动中难以充分发现, 因此装备终身在役考核对于改良精进有不可忽视的作用。但是在此阶段, 因涉及使用单位极多, 所产生的数据信息量极大, 如果想将这些数据集中起来处理分析, 整个过程实现起来会有难度大、错情多、成本高的问题。一是因为庞大的数据依靠网络传输, 将占据大量的军事网络资源, 难以完全实现; 二是数据采集、传输、分析等功能需要大量配套硬件设施, 且因数据保密要求不能实现军地通用, 建设成本高, 将消耗本就不宽裕的军费; 三是信息多地采集集中分析时间较长, 难以及时反馈, 而异地同步计算问题目前在技术上还不好解决。因此建设数字试验场, 成为检验装备能力和发现问题的重要场所, 提供装备/蓝军、试验规则、试验资

源、试验知识等数据模型服务, 可实现在线实时采集数据, 构建平行战场, 数字装备在试验场进行全寿命周期试验, 加快全程闭环时间进程, 有助于提高对装备的全面检验效率, 有助于提升对试验鉴定客观规律的认知。依靠在在役考核过程中长时间累积的大量数据, 可以挖掘交付前试验没有暴露的各类问题, 进一步开展装备排障和失效原因研究, 找到设计缺陷, 不断改进提升装备发展水平<sup>[19]</sup>。因此, 数字化试验场需具备高性能、高速率、长寿命、低成本、大容量的特点, 具备实现储存、传输、交换、全域协同计算、场景构建的功能, 对试验状态、故障历史、运行日志、实时位置等海量数据可进行挖掘分析, 判断试验活动可能出现缺陷的时间和位置, 发布修正调整信息, 避免片面错误试验, 从而节省人力物力, 保障试验活动效率, 有效评估试验活动水平, 实现预测性维护。通过数字试验场全寿命周期试验, 运用数字技术, 加强试验场要素管理, 意味着不同试验鉴定阶段暴露的问题, 都能被统一掌握、同等对待和及时响应, 能进一步提高改进和验证效率, 从而真正形成并加速“需求—设计—改进—验证”的全程闭环<sup>[20]</sup>。

### 3 试验鉴定数字化转型 4 种核心能力

试验鉴定数字化实现数实空间交叉映射, 支撑数字装备鉴定定型, 为装备数字化建设动态赋能, 需要形成以下 4 种核心能力 (如图 3 所示)。

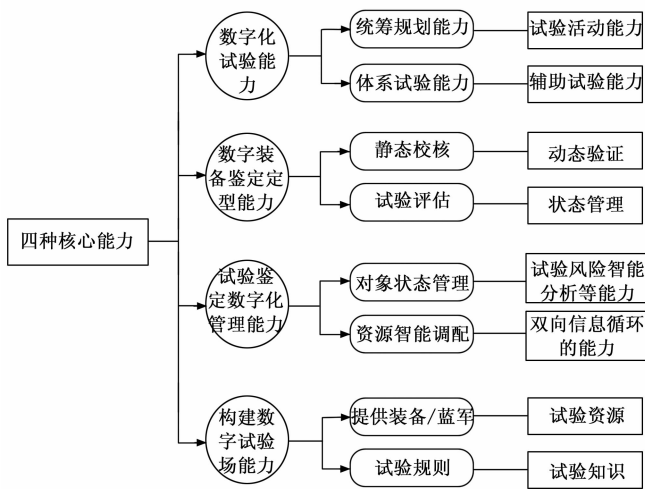


图 3 试验鉴定数字化转型 4 种核心能力

1) 数字化试验能力。主要包括: 基于实战化背景条件和在数字化试验机理规律下, 实现在数字、物理空间融合开展装备试验任务体系级统筹规划能力和展开试验能力, 同时具备在数字平行战场中对实装试验进行平行仿真和复盘分析的能力; 在数字空间中将试验场搬移至实际作战地域开展装备试验活动的的能力以及在数字平行战场中对实装试验进行平行仿真和复盘分析的能力; 基于网信体系支撑, 对试验全过程组织、管理、指挥控制、环境构建和协调保障等能力, 以及智能辅助的试验评估能力等。

2) 数字装备鉴定定型能力。主要包括: 在统一技术体

制和可信网信的数字装备运行支撑环境下,具备满足数字装备的特殊属性和鉴定定型要求的模型构建能力,具备装备试验内容、指标体系、能力需求、样机模型等要素在数字化特点下的描述能力,形成数字装备多项试验内容并行的静态校核、动态验证、试验评估、状态管理的能力,以及通过实装数据进行在线校核能力、为数字装备定型技术持续开发进步的支撑能力等。

3) 试验鉴定数字化管理能力。主要包括:具备对装备试验鉴定设计的大量数据进行系统性采集,建立试验鉴定管理基础数据库和管理评估模型,融合治理、分析挖掘数据,并运用管理试验活动的的能力;支撑利用数字技术开展试验鉴定规划计划制定、试验大纲和试验总案审查、鉴定定型审查、装备技术状态变更等管理活动的的能力;推动试验鉴定管理活动和审查决策活动由依靠文档经验型向数智驱动型转变,提高各项试验鉴定管理工作质量效益的能力;支撑“定型数据信息‘入流’装备作战运用,以及装备部队使用数据‘回流’装备改进升级”的双向信息循环的能力。

4) 构建数字试验场能力。主要包括:具备提供装备/蓝军、试验规则、试验资源、试验知识等数据模型的能力;支撑异构仿真试验平台集成应用、靶场试验资源数字孪生和动态接入,支撑数据储存、传输、交换、全域协同计算,实现数实空间实时、高效、智能信息交互的能力;以及构建基于数字平行战场不同作战样式下的装备试验场景,为开展数字试验和数实结合试验提供支撑服务的能力,具备靶场资源的需求论证、统筹规划、调配使用、故障诊断和运维管理等工作的建设管理能力。

## 4 结束语

试验鉴定数字化转型是提升武器装备试验鉴定效率、提升装备研制能力的有效途径。本文对试验鉴定转型涉及的要素内涵进行了阐述,区分提高实战化水平需求、一体化试验鉴定需求、多样化试验任务需求、试验场试验需求等 4 个方面进行了分析,并总结形成数字化试验能力、数字装备鉴定定型能力、试验鉴定数字化管理能力和构建数字试验场能力 4 种核心能力目标,为试验鉴定数字化转型的研究方向提供了理论参考。

### 参考文献:

- [1] 李希民, 闫耀东, 郭齐胜, 等. 数字化部队武器装备系统整体 (上接第 311 页)
- [23] TRAN M N, KIM Y. Named data networking based disaster response support system over edge computing infrastructure [J]. *Electronics*, 2021, 23 (3): 335-335.
- [24] ALJULAYFI A F, DJEMAME K. Towards elastic edge computing environments: an investigation of adaptive approaches [C] // *International Conference on Autonomic and Autonomous Systems*, 2021.
- [25] YANG G, HOU L, CHENG H, et al. Computation offloading time optimisation via Q-learning in opportunistic edge computing

- 性能试验评估指标体系构建方法研究 [J]. *装备指挥技术学院学报*, 2010, 21 (6): 119-123.
- [2] 李 崖, 洛 刚, 申伟强. 关于数字化装备试验问题的探讨 [J]. *装备制造技术*, 2011, 196 (4): 134-137.
- [3] 薛 卫, 谢伟朋, 郑 超. 装备试验鉴定技术需求生成理论研究 [J]. *中国电子科学研究院学报*, 2021 (8): 839-843.
- [4] 张 鹏, 曹 晨. 新时期武器装备试验鉴定特点分析与启示 [J]. *中国电子科学研究院学报*, 2021 (1): 87-92.
- [5] 王永攀, 苏建新, 万 钧, 等. 雷达装备全功能操作的内涵及需求分析 [J]. *舰船电子对抗*, 2022 (3): 24-30, 70.
- [6] 刘志华, 马增辉. 重型装备数字化转型中智能操作系统的构建方法分析 [J]. *智能制造*, 2022 (4): 28-32.
- [7] 李俊锋, 端木京顺, 程 斌. 数字化装备保障的概念及途径 [J]. *空军工程大学学报 (综合版)*, 2002 (1): 43-45, 48.
- [8] 吴 红, 黎 潇, 王天忠. 面向装备试验鉴定的作战实验数字化流水线 [J]. *科技导报*, 2019, 37 (5): 57-65.
- [9] 朱海洋. 基于自贸试验区战略的大宗商品交易数字化转型研究 [J]. *未来与发展*, 2020, 44 (5): 92-98, 91.
- [10] 赵继广, 柯宏发, 康丽华, 等. 武器装备作战试验发展与研究现状分析 [J]. *装备学院学报*, 2015 (4): 116-122.
- [11] 孙 杰. 三问数字化转型——什么是数字化? 转什么? 塑什么型? [J]. *信息化建设*, 2020 (4): 52-55.
- [12] 石 实, 曹裕华. 美军武器装备体系试验鉴定发展现状及启示 [J]. *军事运筹与系统工程*, 2015, 29 (3): 46-51.
- [13] 祝冀鲁, 柯宏发. 航天装备作战试验与评估的几点认识 [C] // *OSEC 首届兵器工程大会论文集*, 2017 (4): 795-797.
- [14] 赵 勋, 古先光. 装备试验鉴定现代化的内在驱动与未来趋向 [J]. *军事文摘*, 2021 (15): 7-11.
- [15] 洛 刚, 康丽华, 吕 威. 关于我军开展武器装备作战试验的思考 [J]. *装备学院学报*, 2014, 25 (3): 103-106.
- [16] 秦金柱. 对装备作战试验的认识与思考 [J]. *价值工程*, 2018, 37 (20): 242-244.
- [17] 郑 超, 张 冰. 美军装备互操作性试验鉴定机制与流程分析 [J]. *中国电子科学研究院学报*, 2021, 16 (8): 827-833.
- [18] 姚鹏飞. 装备试验大数据应用架构研究 [J]. *舰船电子工程*, 2019, 39 (1): 10-13.
- [19] 柯宏发, 杜红梅, 陈永光. 电子信息装备体系问题的灰色系统理论解决方法研究 [C] // *第 25 届全国灰色系统会议论文集*, 2014: 396-399.
- [20] 白洪波, 李雄伟, 张旭光. 开展多靶场联合试验的思考 [J]. *装备学院学报*, 2016, 27 (3): 125-128.
- [21] 白洪波, 李雄伟, 张旭光. 开展多靶场联合试验的思考 [J]. *IET Communications*, 2021, 14 (5): 765-769.
- [22] LIU D, CHEN X, ZHOU Z, et al. HierTrain: fast hierarchical edge AI learning with hybrid parallelism in mobile-edge-cloud computing [J]. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2020, 31 (6): 634-645.
- [23] CHENG S, XU Z, LI X, et al. Task offloading for automatic speech recognition in edge-cloud computing based mobile networks [C] // *2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. IEEE, 2020.