

doi: 10.7690/bgzd.2022.07.010

基于数据驱动的试验装备维修保障体系

赵黎兴^{1,2}, 侯兴明¹, 徐兆文¹, 贾超¹

(1. 航天工程大学航天保障系, 北京 102206; 2. 中国人民解放军 63850 部队, 吉林 白城 137001)

摘要: 针对新形势下试验装备特殊的地位作用和其维修保障体系存在的问题, 构建数据+模型、功能耦合的试验装备维修保障体系。结合数据工程技术的高速发展和大数据技术的广泛应用, 基于实现维修资源整合利用、维修力量优化应用、指挥管理快捷高效、法规标准智慧建设和提高试验装备维修保障效益, 阐述数据驱动模式下, 试验装备维修保障体系指挥、力量、资源、法规标准的优化过程和运行模式。结果表明: 该体系为维修保障体系功能的优化、要素价值发挥提供了方法和思路, 为试验装备维修保障的数字化、智能化发展提供了参考。

关键词: 数据驱动; 维修保障体系; 指挥管理; 维修资源; 维修力量; 法规标准

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Maintenance Support System of Test Equipment Based on Data-driven

Zhao Lixing^{1,2}, Hou Xingming¹, Xu Zhaowen¹, Jia Chao¹

(1. Department of Aerospace Support, Space Engineering University, Beijing 102206, China;

2. No. 63850 Unit of PLA, Baicheng 137001, China)

Abstract: Aiming at the special status and function of test equipment and the existing problems of test equipment maintenance support system under the new situation, the test equipment maintenance support system of data + model and function coupling is constructed. Combined with the rapid development of data engineering technology and the wide application of big data technology, based on the realization of the integration and utilization of maintenance resources, the optimization and application of maintenance forces, the fast and efficient command and management, the intelligent construction of regulations and standards, and the improvement of test equipment maintenance support efficiency, this paper expounds the data-driven mode. The optimization process and operation mode of command, force, resource, regulation and standard of test equipment maintenance support system. The results show that the system provides methods and ideas for optimizing the function of maintenance support system and exerting the value of elements, and provides a reference for the development of digital and intelligent maintenance support of test equipment.

Keywords: data-driven; maintenance support system; command management; maintenance resources; maintenance force; regulations and standards

0 引言

试验装备单台独套非标、可替代性弱, 试验任务高密度、高强度的开展对试验装备维修保障提出了更高要求, 快速、精准、高效维修是新时期试验装备维修保障的基本要求和显著特征^[1]。新体制下, 试验机构职能使命的转变, 试验模式转型发展和试验任务多维多域拓展, 给装备维修保障的转型发展带来了机遇和挑战。新形势下, 大数据和人工智能技术的快速发展和成熟应用, 给试验机构维修保障力量整合、维修资源优化、指挥管理模式转型和法规标准智慧建设带来了机遇和挑战^[2-3]。新机遇下, 试验装备维修保障指挥流程繁琐、指挥机关层层嵌套、维修时间跨度长、任务分工不明确、维修质量不托底、资源利用效率低, 以及法规标准数量多、

门类杂、针对性不强、使用难度大等一系列问题, 给试验装备维修保障的健康、快速发展带来了障碍, 严重影响了试验任务进度和质量, 表现出诸多难以适应新形势新体制和把握新机遇的突出问题, 急需开展相关研究, 建立适应新时期装备维修保障发展特点和要求的装备维修保障体系。

1 试验装备维修保障体系存在的问题

1.1 维修指挥管理流程繁琐, 时间跨度长

指挥流程繁琐和指挥机关层层嵌套是制约试验装备维修保障发展的重要因素^[3]。当前试验装备的大中修任务主要依靠装备的承研承制单位和资质企业的社会化招标, 维修需求一般根据装备年度建设计划统一上报, 从项目申报-上级批复-维修招标-合同签订-维修实施-验收评估, 需要各级机关层层

收稿日期: 2022-03-24; 修回日期: 2022-04-25

基金项目: 军事类研究生资助课题(JY2020C250)

作者简介: 赵黎兴(1984—), 男, 甘肃人, 从事试验装备维修保障研究。E-mail: 454667353@qq.com。

申报、层层批复、层层把关。一般情况下，从项目申报-合同签订需要数月，有些甚至需要半年以上，从项目申报-验收评估短则半年以上，长则需要将近 1~2 年，严重制约了试验装备效能和价值的发挥，严重影响了试验任务进度和质量。

1.2 维修资源种类多分布广，利用效率低

试验装备维修保障资源具有种类杂、数量多、来源广、规模化存储和区域化配置特征不明显等特征。维修资源主要包括装备使用单位、承研承制单位、维修资质企业拥有物质资源、技术资源、信息资源等^[4]。在现行的装备维修管理体系下，资源“壁垒”、利益“鸿沟”和建制“圈子”严重制约了维修资源共享和整合利用，造成了资源“闲置”、价值“荒废”和供需“矛盾”。新形势下，试验装备维修保障集约、高效发展需要整合全域乃至所有试验机构的维修保障资源，进行集中配置、统一管理、统一调配，实现资源的全域统筹、整合利用和价值发挥的最大化。

1.3 维修力量来源广数量多，发挥效用低

承研承制单位、维修资质企业和部分科研院所是试验装备维修保障力量的主要来源，承修单位维修能力衡量缺乏科学、统一标准，给装备维修质量带来了隐患。社会化招标在一定程度上解决了装备保修人员维修能力欠缺的问题，但也存在维修不托底、质量缺保证、过程难管控、承修单位能力与任务“不匹配”，力量配备与维修需求“不协调”等一系列问题。新体制下，划定力量准入门限、规范能力按级编组、制定按绩竞争择优，实现需求与能力对接、任务与资质对接和供需与统筹对接机制，形成具有级别分明、按级匹配、健康有序的动态力量系统，是保证维修保障力量效能发挥最大化的重要途径^[5]。

1.4 法规标准数量多门类杂，使用难度高

试验装备维修保障法规标准涵盖内容多，涉及面广，既包括宏观层面的各种条例条令，又包括操作层面的各种制度规范和细则意见。装备维修保障活动涉及法规种类多、具体条目多，法规标准的“线下”查询、检索模式，给维修活动的实施带来了寻找相关依据难度大、参照相关依据不准确等一系列问题，导致法规标准的依据和准绳作用难以得到充分发挥。法规标准的制定和修改以经验总结、外部借鉴和定性分析为主，部分法规标准针对性不强、

更新不及时等，严重限制了法规标准的价值效用。

2 基于数据驱动的维修保障体系结构

数据驱动是基于启发式规则，通过对数据的知识发现寻找和建立内部特征之间的关系，将发现的定理或定律运用到业务活动中，实现业务效能的正向反馈的一种方法^[6]。基于数据驱动的试验装备维修保障体系是通过试验装备在维修保障过程中产生的多域多维异质数据的信息抽取和知识发现实现装备维修保障体系组成要素的优化、整合，使装备维修保障体系运行更加科学、高效。如图 1 所示，体系由原始数据层、数据处理层、数据存储与管理层、理论方法层、功能层、要素层 6 个层级构成^[7]。

2.1 原始数据层

原始数据是记录和表示试验装备维修保障活动未经加工的原始素材，是对装备维修保障活动最真实的反映，是开展维修保障数据应用研究的基础。试验装备维修保障原始数据主要来源于试验装备的研制方、使用方和承修方，主要包括基础数据、历史数据和实时数据，按生成路径可分为统计性数据、系统生成数据和描述性数据等^[8]。

2.2 数据处理层

数据处理主要是对原始数据层的数据进行数据抽取、数据质量和粒度筛选、数据标准化、数据清洗、数据变换、数据归约、数据漏洞筛查等操作，是从指定数据源抽取反映对象特征的数据信息，对数据质量和粒度筛选，按照指定格式和标准对数据进行转换，筛选冗余数据和补充缺失数据，并对数据进行清洗、去燥和整合，为数据挖掘提供具有一定信度和效度的数据。处理后的数据统一存储在相应的数据平台或数据仓库中，通过数据溯源技术加强数据的整理、分配、提取，实现数据的按级、按需和按权限存取，实时控制跟踪数据安全漏洞，修复数据采集过程中的薄弱环节，为数据共享和数据安全提供保障。

2.3 数据存储与管理层

数据存储与管理层是实现数据在云端数据大融合、数据高品质和应用直通车的基础平台，是实现维修保障资源全资可视、维修保障过程动态管控、维修保障力量全域联动、维修保障需求实时感知、维修保障质量全程跟踪和维修保障效益多维评价的前提，更是统一数据标准、规范数据存取、设定访

问权限、保障数据安全、保证数据质量和实现供需对接的重要保证。数据存储与管理层按照统一的数据标准对结构化、非结构化和半结构化数据进行质量筛查、标准化处理和数据加密，处理后的数据按分布式文件存储在非关系型数据仓库和分布式数据

仓库中统一管理，设计冗余数据仓库做好数据备份，数据的供需方按照用户级别、数据标准和访问权限存取及使用数据。数据存储与管理层为体系功能的实现提供高信度、高质量、高效度、可靠和完整的数据支持。

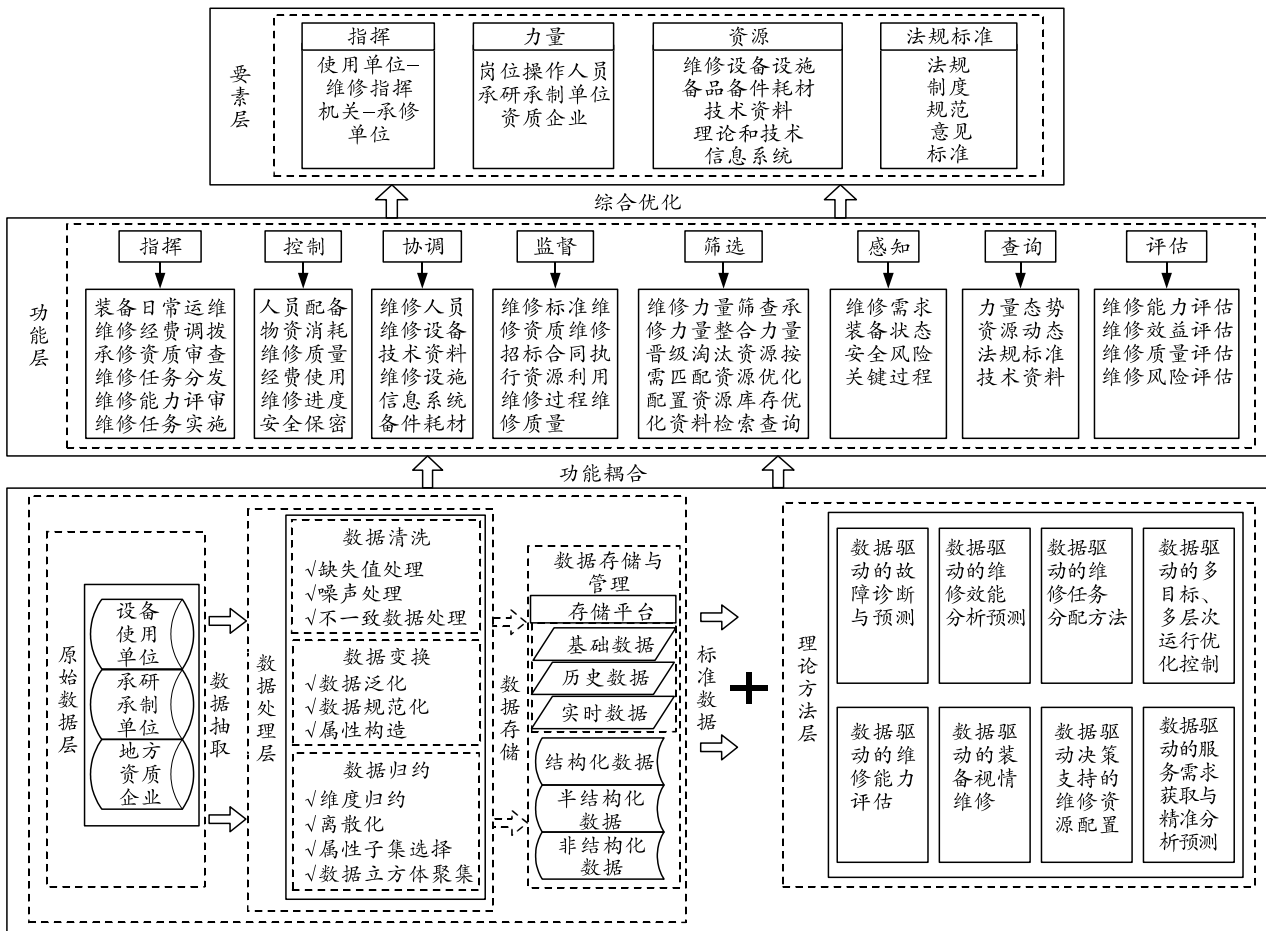


图 1 基于数据+模型、功能耦合的试验装备维修保障体系

2.4 理论方法层

理论方法层是数据驱动的具体实现过程，也是基于数据驱动的试验装备维修保障体系研究的核心内容。从数据处理层抽取经初始处理的数据，对数据的特征、结构进行分析，实现数据转换，根据试验装备维修保障目标和需要实现的功能，按数据+模型的模式，建立如图 2 所示的数据模型。通过输入数据对模型训练和验证，评估模型的准确性和适用性。在达到规范阈值或要求精度的前提下，对要实现的目标和预设的功能通过模型进行计算和验证。

基于数据驱动的试验装备维修保障方法主要包括数据驱动的故障诊断与预测方法、数据驱动的维修效能分析预测方法、数据驱动的维修任务分配方法、数据驱动的维修能力评估方法、数据驱动的装

备视情维修方法、数据驱动决策支持的维修资源配置方法、数据驱动的服务需求获取与精准分析预测方法和数据驱动的多目标、多层次运行优化控制方法等。

需求获取与分析是通过通过对不同级别、不同内容、不同类别的装备维修保障需求的感知和响应，综合不同来源的维修保障需求的原始数据，根据维修保障需求和内容构建相应的数据模型，对维修需求进行分析、对响应策略进行设计、对计划安排进行部署。视情维修最早产生于美国，是近年来广泛研究的一种维修方法，是装备不拆解的情况下，利用装备重要参数和可靠性指标的监控和测试数据，通过建立装备的机理模型，对装备的故障机理进行分析，发现装备的“潜在故障”，并对相应部位进行调整、维修或更换，从而避免“功能故障”的发生。故障

诊断是一种了解和掌握机器在运行过程中的状态，确定其整体或局部正常或异常，早期发现故障及其原因，并能预报故障发展趋势的技术^[9]，油液检测、振动检测、噪声检测、性能趋势分析和无损探伤等为其主要的诊断技术方式。故障诊断的主要任务有故障检测、故障类型判断、故障定位及故障恢复等。维修效能评估是对装备维修结果或进程的质量好坏、作用大小、自身状态等效率指标的量化计算或结论性评价，是根据影响装备维修效能的主要因素，运用一般系统分析方法，在收集信息的基础上，确定分析目标，建立反映装备达到规定维修目标的能力测度算法，最终给出衡量装备维修效能的测度与评估^[10]。多目标决策是以决策主题为重心，以信息智能处理技术和自然语义处理技术为基础，构建与决策主题相关的模型，为决策主题提供决策支持和知识服务。运行优化控制是通过模型和算法对维修保障的运行过程进行动态优化控制，并对其性能进行分析^[11]。

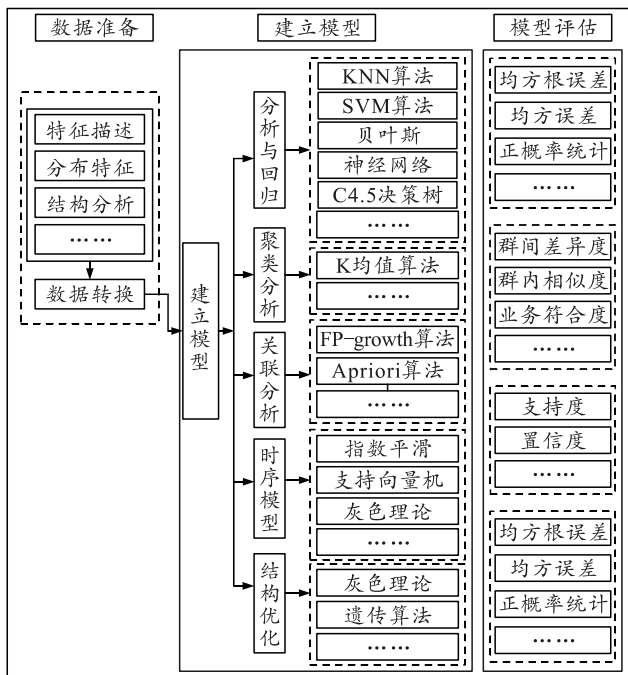


图 2 数据+模型模式基本架构

2.5 功能层

基于数据驱动的试验装备维修保障体系主要实现的功能包括指挥、控制、协调、监督、筛选、感知、查询和评估等^[2]。主要是按照装备维修保障要求，通过多域多维数据的特征提取和知识发现，使装备维修保障体系形成具有相关功能的模块，各模块按照不同的应用模式和要求，在各类数据的共同作用下实现模块功能的耦合。

2.6 要素层

数据驱动的试验装备维修保障体系以装备维修保障力量、维修保障资源、装备维修法规标准等体系要素的综合优化为核心，以实现高效、快捷、精准维修保障为主要目标，通过对各要素基础数据、历史数据和实时数据的数据挖掘和知识发现，发掘其在试验装备维修保障过程中的规律和要素间的内在关系，为维修保障流程的简化、力量优化整合、资源统筹应用和法规标准“查检改修”一体功能的实现提供数据和模型支撑。

3 数据驱动的维修保障体系运行方式

3.1 指挥管理：指挥流程重组，需求主动响应

数据驱动的指挥结构如图 3 所示。

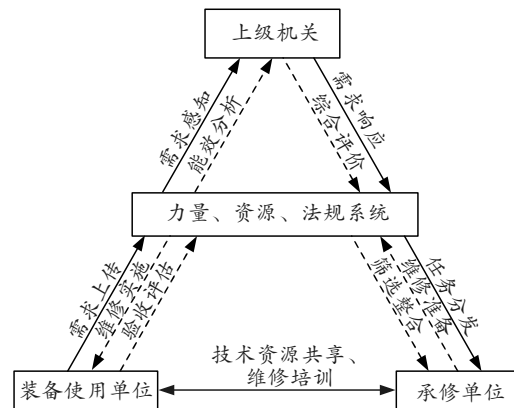


图 3 数据驱动的指挥结构

数据驱动的试验装备维修保障指挥管理通过基础数据的上传、集成、分析和知识发现，实现需求感知、需求分发、需求响应、需求实现的链路循环。将传统的装备维修需求的层层上报、需求响应的逐级审批和需求实现的循环往复转变为以机关数据汇集、流转、分发为主要职能，维修的实现以数据上传、分析、发现为主要依据，实现了装备使用单位-指挥机关-承修单位-装备使用单位的供需直接对接。简化了试验装备维修保障指挥流程，缩短了维修的指挥管理路径，节省了从维修发现-维修实现的时间消耗，保证了试验装备维修的精准和高效，保障了试验装备效能的发挥和试验任务的圆满完成。

3.2 维修力量：力量优化整合，按能筛选编组

试验装备维修保障力量主要包括装备使用单位操修人员、承研承制单位和地方资质企业维修人员。装备使用单位操修人员主要负责装备的日常使用、维护和简单故障的排除，比如换件修理等。试验装备维修主要依靠承研承制单位和地方资质企

业维修为主，尤其是对一些复杂故障和重大故障的排除，承研承制单位和地方资质企业维修力量的地位作用显得更为重要和突出。随着试验装备信息化、智能化发展和维修需求的日益增多，装备维修军民融合深度、广度进一步升级，维修保障力量来源多元，维修能力参差不齐，社会化招标缺乏“入围”标准，力量应用缺乏统一筹划，维修力量长期合作机制尚未形成、奖惩机制尚不健全等一系列现实问题，急需建立具有筛选、整合、淘汰、竞争功能的试验装备维修力量“库”（系统），实现装备维修保障力量的竞争择优和动态更新^[12]。数据驱动方法支撑下的装备维修力量系统根据不同的维修内容、维修级别、维修方式、力量分布和维修地域对维修力量进行模块化编组，建立维修需求与力量模块的匹配路径，形成组内标准统一、组间差异明显、能力阶梯进阶的阶梯状的竞争遴选机制。在力量整合应用的过程中，按照应用需求、维修内容和维修级别进行维修力量模块化“匹配”和区域化“整合”，使需求的分发和需求的响应更加精准、高效，需求的实现更有针对性和时效性。通过力量的整合为力量筛选和力量重构提供基础数据，淘汰“产能”低的维修力量，提升“能效”高的维修力量级别，并根据“产能”对承修方的维修任务量、维修任务级别和维修领域范围进行调整，形成良好的竞争和激励机制，形成既有制度约束，又有机制激励；既有区块匹配，又有全域整合；既有“推陈纳新”，又有“能级跃迁”的维修保障力量动态优化系统。数据驱动的试验装备维修保障力量应用如图 4 所示。

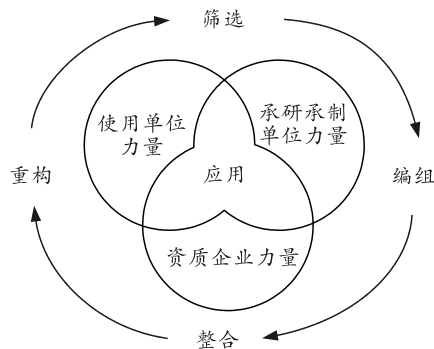


图 4 数据驱动的维修力量应用

3.3 维修资源：资源全域统筹，供需无缝衔接

维修资源“供需”结构如图 5 所示。

构建以供需为牵引，需求库和供应库对接的维修资源系统，是实现维修保障资源数据驱动发展的先决条件。维修保障需求库以装备使用单位的装备运维数据和状态数据为依据，在数据集成分析、知

识发现的基础上，形成装备运行状态监测和维修需求实时上报，根据维修需求预警将维修需求传递至机关维修的分发端，自动与供应库进行匹配，供应库根据已有的资源数据，对维修资源按维修需求级别、内容和地域等进行匹配，遍历维修资源库，按不同的维修需求检索模型库中的合适模型，形成装备维修的最佳资源配置方式，实现资源供需的自动匹配、资源的按需调配、应用的全域统筹、供需的无缝衔接^[13]。在此基础上，通过可视化技术、数字孪生(digital twin, DT)技术等，实现资源底数的实时感知、过程的实时管控和全资全域可视，促进维修保障资源利用精准、高效和资源价值发挥的最大化。

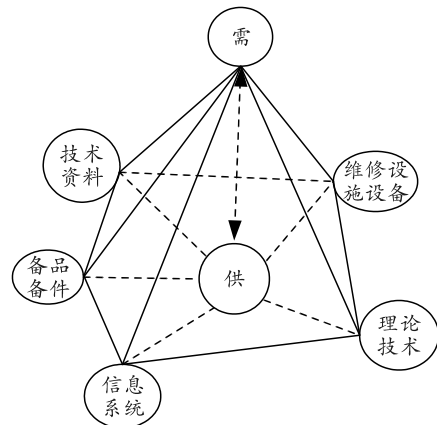


图 5 维修资源“供需”结构

3.4 法规标准：查检改修一体，自动分类匹配

数据驱动的法规标准建设主要借鉴数据驱动方法在数字化图书馆建设的成功经验^[14]，以法规标准的检索、查询、分类、匹配为主要内容，根据法规标准自身的数据特性和数据在法规制定、修改完善中的作用，形成在数据驱动下的试验装备维修保障法规标准系统建设的方法和思路如图 6 所示。

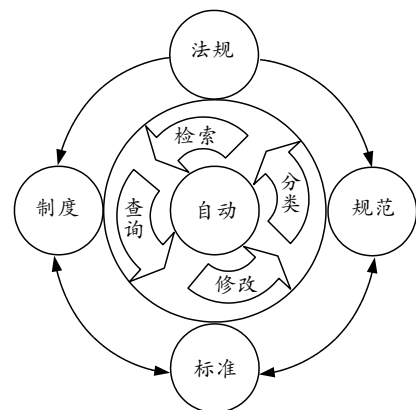


图 6 数据驱动的法规标准动态优化

试验装备维修保障法规门类繁多、数量庞大，

维修保障标准缺乏统一规范,部分规范缺乏有效依据,给试验装备维修保障的实施带来了法规标准的应用困扰,导致各项制度落实不够彻底,装备维修缺乏有效法规标准支撑的现象。传统法规标准的制定主要以经验总结、外部借鉴和定性分析为主,数据支撑下的试验装备维修保障法规制度建设,更加关注对维修保障历史数据的梳理和分析,从数据的知识发现中,发现装备维修保障规律和不同类型装备的维修保障特点,制定具有针对性和差异化的装备维修保障法规制度。维修保障法规的查询和检索利用自然语义搜索的相关理论和方法,建立维修保障法规标准数据库,形成具有查询、检索和自动匹配功能的数据应用平台^[15],并根据装备发展变化的特性,对淘汰、退役装备的法规标准自动删除,对新建装备根据研制、生产、验收数据等的知识发现及时增加相关法规标准,并通过后续运维数据的分析和挖掘进行更新和完善,使试验装备维修保障的法规标准系统具有检索-查询-分类-匹配-修改-增删功能的完整动态系统。

4 结束语

笔者从新形势下试验装备维修保障的特点和诉求出发,分析现行试验装备维修保障体系存在的突出问题,在剖析新体制、新形势下试验任务新变化和职能使命新转变的基础上,结合数据在试验装备维修保障中的重要地位和作用,利用维修保障数据+模型、功能耦合的方式构建基于数据驱动的试验装备维修保障体系,实现体系功能和要素的整合利用,发挥了体系在装备维修保障发展中的支柱作用。下一步,在实现单要素建设的基础上,通过进一步完善模型方法研究和加强维修保障数据库建设,实现数字化、智能化的试验装备维修保障。

参考文献:

- [1] 赵黎兴,侯兴明. 试验装备维修保障数智化转型发展研究[J]. 设备管理与维修, 2021(11): 22-24.
- [2] 王蕾,林涛. 新时期下装备维修保障模式研究[J]. 现代防御技术, 2020, 48(5): 86-91, 104.
- [3] 王芳潇,严浩,蒋国权. 试验装备保障大数据管理体系研究[J]. 中华医学图书情报杂志, 2018, 27(4): 13-17.
- [4] 舒正平,李忠光,张永东,等. 试验装备维修规范化管理运行机制研究[J]. 装备学院学报, 2015, 26(2): 110-114.
- [5] 王楠,种煜. 航空装备基地级维修军民融合发展的思考[J]. 科技与创新, 2020(7): 95-96, 98.
- [6] 周亚男,袁田,王昊. 新型复杂装备维修保障模式及启示分析[J]. 设备管理与维修, 2020(18): 8-9.
- [7] 李浩,王昊琪,程颖,等. 数据驱动的复杂产品智能服务技术与应用[J]. 中国机械工程, 2020, 31(7): 757-772.
- [8] 藏义明. 设备管理新模式——数据驱动决策[J]. 设备管理与维修, 2018(3): 9-10.
- [9] 郭建,徐宗昌,张文俊. 基于状态的装备故障预测技术综述[J]. 火炮发射与控制学报, 2019, 40(2): 103-108.
- [10] 韩中,程林,熊金泉,等. 大数据结构化与数据驱动的复杂系统维修决策[J]. 自动化学报, 2020, 46(2): 385-396.
- [11] 王海峰,王宏亮,阳纯波. 航空装备保障智能化发展认识与探讨[J]. 测控技术, 2020, 39(12): 1-9, 27.
- [12] 李锋,许伟. “数据驱动+”模式在人员调度中的应用研究[J]. 华南理工大学学报(社会科学版), 2020, 22(6): 34-44.
- [13] 张昇,刘建国,李望伟. 基于数据驱动决策支持的维修器材管理[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(5): 53-54.
- [14] 田杰. 数据驱动下高校图书馆用户移动视觉搜索模型研究[J]. 情报科学, 2020, 38(11): 28-32.
- [15] 胡勇祥. 基于大数据驱动的智慧图书馆推送系统设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43(20): 102-104, 108.