

doi: 10.7690/bgzdh.2024.04.006

装备保障大数据建设与认知测试性设计

尹园威¹, 朱常安^{1,2}, 史林¹, 薛东方¹, 解辉¹

(1. 中国人民解放军陆军工程大学石家庄校区电子与光学工程系, 石家庄 050003;

2. 中国人民解放军 61035 部队, 北京 100094)

摘要: 为适应时代的发展与现代战争的需求, 以提高装备作战效能为目标, 构建一种基于认知测试性设计 (design for cognitive testability, DFCT) 的装备保障大数据建设理念。注重“信息”在装备保障中的作用, 认知测试性扩展传统测试性内涵。为评估认知测试性设计的水平, 提出以信息获取性能、故障诊断性能、预判决策性能为主的评价指标体系, 并阐述其具体含义。结果表明, 该设计可为装备保障数据库的建立提供设计支撑。

关键词: 装备保障; 大数据; 认知测试性; 指标体系

中图分类号: TJ06; E92 **文献标志码:** A

Equipment Support Big Data Construction and Cognitive Testability Design

Yin Yuanwei¹, Zhu Chang'an^{1,2}, Shi Lin¹, Xue Dongfang¹, Xie Hui¹

(1. Department of Electronic and Optical Engineering, Shijiazhuang Campus,

Army Engineering University of PLA, Shijiazhuang 050003, China;

2. No. 61035 Unit of PLA, Beijing 100094, China)

Abstracts: In order to adapt to the development of the times and the needs of modern warfare, and to improve the operational effectiveness of equipment, a concept of equipment support big data construction based on design for cognitive testability (DFCT) is constructed. Emphasizing the role of “information” in equipment support, cognitive testability extends the connotation of traditional testability. To evaluate the level of cognitive testability design, an evaluation index system is proposed that focuses on information acquisition performance, fault diagnosis performance, and predictive decision-making performance, and its specific meanings are explained. The results indicate that this design can provide design support for the establishment of equipment support databases.

Keywords: equipment support; big data; cognitive testability; index system

0 引言

大数据是支撑国家安全和军队转型发展的战略资源, 信息数据时代的国防与军队建设需先进的理论体系和战略思想指引^[1]。装备保障领域作为军事斗争的重要方面, 装备保障大数据的建设也势在必行。

现有装备保障数据较为单一且相互孤立, 如: 维修保障部门拥有装备的故障和维修数据, 使用部门有一些装备使用及性能数据, 而设计部门有一些设计参数以及相关的试验数据, 但这些数据并不能形成统一的数据库, 一旦出现故障便不能全面有效地分析故障原因; 因此, 需要建立装备保障的大数据平台, 融合设计、试验、使用、维修等各个阶段的数据, 为提升装备保障效率并进一步提升装备的作战效能提供数据支撑。

信息化战争呈现出“立体化、快节奏、高精度”的特点, 这对装备保障的精准性和实效性有了新的

要求, 需要转变保障模式。从装备保障的角度来讲, 亟需建立装备保障大数据, 在作战使用中发挥“数据”或“信息”的作用, 实时监控装备健康状态, 保证装备时刻处于良好战备状况, 并且可以完成装备在战备与作战使用中的维修决策, 提高任务可靠性与战斗力再生能力^[2]。

同时, 随着技术的进步, 大数据、人工智能及物联网等许多新技术与新理念应用于装备领域, 促使装备自身的设计更加信息化、智能化。随着国防军队改革的深入与编制体制调整, 装备保障领域也面临深入变革, 装备的维修体制与保障方式也在逐步发生变化, 主要表现在: 装备维修层级的变化、维修力量的改变、维修资源配置的更新、维修方式的变化等, 必将带来装备维修保障支援方式的革新; 此外, 装备的发展与保障方式的革新也牵动着工业部门对装备生产的改革, 如设计理念的改变、集成度与可靠性的提升、试验定型方法的革新等, 必将带来装备新的发展, 极大地提升了装备的使用

收稿日期: 2023-12-06; 修回日期: 2024-01-05

基金项目: 技术基础研究项目(202LJ31021)

第一作者: 尹园威(1984—), 男, 河南人, 博士。

性能^[3]；而且，装备作战应用方式的转变，如无人作战、空天预警、体系协同、复杂电磁环境、网电对抗等，带来了装备保障方式的变化。这些因素将会深刻影响装备的发展方向与保障模式；因此，笔者从装备保障大数据的建设入手，提升装备保障效率^[4]。

1 装备保障大数据建设

为适应时代发展与现代战争的需求，提升装备保障的整体效能，装备保障大数据建设需要“数据”或“信息”的支撑，要求装备在设计时就能够提供装备保障所需的“数据”与“信息”，这是装备保障大数据的设计基础^[5]。笔者研究的内容为装备保障大数据建设构想以及装备保障大数据的设计

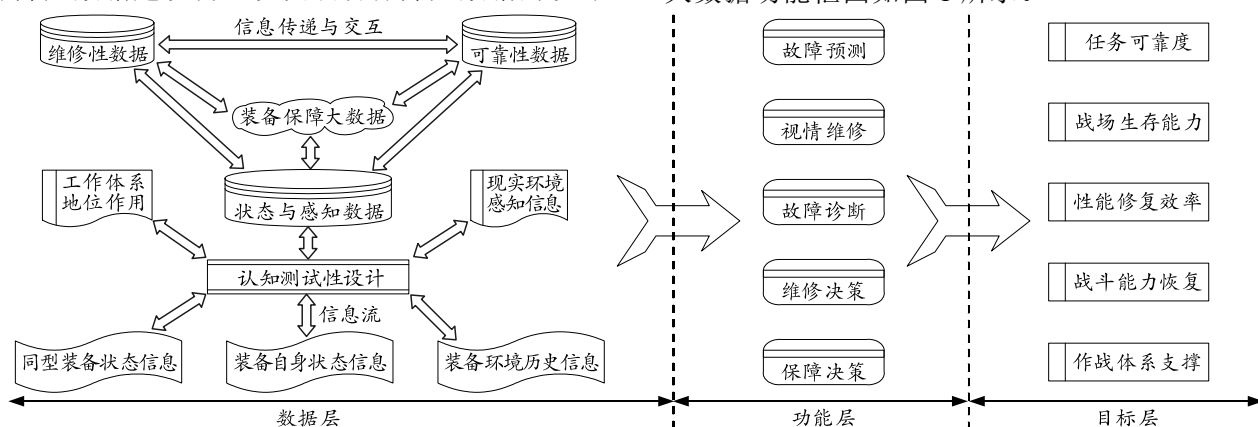


图1 认知测试性设计装备保障大数据功能

基于认知测试性设计的装备保障大数据从左至右划分为数据层、功能层与目标层3层。在装备保障大数据中，认知测试性的设计起到了关键作用，不仅能够获取自身信息和感知外部信息，而且可以与大数据中心进行信息交互与决策。

传统的测试性设计方法注重装备自身的设计特性、功能属性以及故障与测试的关联关系，但无法与装备的历史信息、环境信息甚至是维修信息进行关联，导致装备从设计层面无法进行智能化的应用和扩展；因此，基于认知测试性设计以装备大数据为基础，包含维修大数据、保障大数据、测试大数据，囊括了所有装备相关的信息，可以进行故障预测、智能诊断、视情维修、维修决策和保障决策等，最终实现任务可靠度、现实生存能力和作战能力的终极目标。

1.1 数据层

现代战争条件下，数据资源是进行精准保障和优化决策的基础，积累装备保障数据资源，建立并

基础——认知测试性设计(DFCT)理论。

随着认知测试性理论的诞生与发展，为装备保障大数据的建设提供设计基础与物理基础^[6-7]。认知测试性突出对装备的感知，能够准确区分装备劣化度，预测其性能变化趋势，并提供智能化决策。同时，更加注重装备保障在装备体系中的作用，能够在大数据的支援下以任务可靠性或作战效能为目标实现维修保障决策。在认知测试性理论中，“信息”起到关键作用，这些信息可以实现装备情况、任务环境、人员培训和后勤保障等信息的关联互通，以达到对整个系统优化管理的目的^[8]；因此，装备认知测试性设计技术的发展，必将为提升装备保障效率提供理论支撑。基于认知测试性设计的装备保障大数据功能框图如图1所示。

完善“大数据”系统，是提升装备保障质量效能的重要措施^[9]。装备的数据层主要包括可靠性数据、维修性数据、状态与感知数据。其中可靠性数据与维修性数据，在装备设计之后基本可以固定下来，是装备的固有属性数据，可以作为装备状态预测的依据。而装备的状态与感知数据，则是依靠装备的认知测试性设计，包含了装备自身状态信息、同型装备状态信息、装备环境历史信息等；同时，还包括单体装备在装备体系中的地位作用，以及感知到的现实环境信息等。以上所有数据组成了装备保障大数据，并与大数据中心进行交互，并且可以依据大数据中心的决策进行反馈和调整^[10]。装备保障大数据的建立可以对故障预测和诊断、维修保障和决策提供数据支撑，有利于提升装备性能和战斗能力的恢复效率，进而提高战场生存能力和任务可靠度。

1.2 功能层

功能层是基于数据层实现的装备保障功能，主

要包括故障预测、视情维修、故障诊断、维修决策和保障决策等。这些功能均是在大数据分析的基础上进行,从大数据中进行信息提取与状态特征分析,评估装备当前状态,依据决策模型采取相应的保障措施,提升装备的保障效率。所以,在认知测试性设计的基础上,不仅能够确定装备自身的实时状况,而且能够综合分析获取的感知信息,进行融合决策,完成作战目标。

同时,装备信息的提取与决策可以分为 2 方面:

1) 装备根据获取的信息开展自主学习,通过感知自身实时状态,根据自身的保障需求得到决策信息;

2) 通过大数据保障中心整合装备自身数据、环境履历数据和其他同型装备数据,经过数据挖掘、机器学习等进行数据分析,得到维修决策信息,并反馈给装备保障系统,进行保障的优化调整。

1.3 目标层

服务装备全寿命周期的保障需求,提高武器装备的作战效能,是建立装备保障大数据的最终目标;因此,以作战效能为主的目标层包含了装备的任务可靠度、战场生存能力、性能修复效率、战斗能力恢复和作战体系支撑等方面。以往的保障模式更关注于费效比目标,在于降低全寿命周期的保障费用,节约成本。然而,随着社会经济发展以及军事斗争准备需要,基于状态的故障预测、预防性视情维修将会更加贴合现代战争中装备保障的需求,关注点也转移到了满足装备作战效能目标上^[11]。

2 认知测试性理论

2.1 认知测试性概念

认知指人们认识周围环境的有意识的心理活动,感觉、思考、推理、判断、记忆都属于认知的行为^[7]。现代电子装备朝着智能化、自动化的趋势发展,也具备了一定的认知特性。如认知雷达概念的提出,代表了智能电子装备的发展趋势。认知雷达应具备以下能力:1) 感知周围环境和分析自身状态;2) 收集和处理的信号;3) 存储记录认知信息;4) 信息闭环反馈。

认知雷达是一个与周围环境持续交互信息,从而理解并适应环境的闭环系统。

通过对认知雷达的概念拓展,可定义认知电子装备的概念,即具有自主认知能力的电子装置或系统,电子装备和生物认知特性的对应关系如表 1

所示^[7-11]。

表 1 电子装备和生物认知特性对应关系

生物认知特性	认知电子装备等价特性
感觉	感知
思考、推理、 判断、问题解答	专家系统、基于规则的推理、 自适应算法和计算
记忆	存储器、环境数据数据库及先验知识

随着认知电子装备理念的产生与即将工程化的趋势,认知电子装备通用质量特性的设计与评估工作并未得到相应的展开。尤其是在装备保障大数据的情况下,需要加强认知电子装备的认知测试性设计工作,为装备状态的提取、环境的感知、保障决策、维修预测提供设计支撑。

测试性是装备的重要质量特性之一,反映了装备的综合保障效能。传统测试性的概念为:产品或装备能够准确、及时地确定自身状态并隔离内部故障的特性^[12]。随着装备保障理念的革新,电子装备越来越趋于集成化、智能化和信息化,测试性的概念也赋予新的内涵。笔者着眼新时期装备保障大数据的需求,提出认知测试性这一概念,旨在从装备设计的角度出发,在装备的设计属性上实现装备状态数据的测试与获取,为装备保障提供数据支撑,并且采用内嵌式或者与大数据中心交互的方式实现数据分析与决策,满足装备保障与作战效能需求。

在原有测试性概念基础上,认知测试性定义为:装备或者产品可以准确及时地感知自身状态,预测故障概率和变化趋势,并能够给出相应策略建议的一种能力特性^[8]。

DFCT 更加重视“信息”和“体系”,更有利于装备状态的实时监测,更有利于装备的环境履历信息、监测信息的传递、存储和交换,更有利于后方保障系统获取和处理信息、提供决策支援^[13]。

2.2 认知测试性内涵

装备在设计之初应将认知测试性与其他功能设计等一起进行考虑,与装备的功能属性一样,认知测试性也是装备能力的一种体现,其能力水平可以通过认知测试性指标进行衡量。

在装备认知测试性设计中,信息数据是基础资源。既要收集内部数据、实时信息,又要获取外部信息和经验数据,强调信息流在装备保障中的作用,并加以融合分析^[14],从信息获取与挖掘的角度可以将认知测试性视为一种信息的积累与再利用过程。

认知测试性可以通过装备自带的软件、硬件开展测试与诊断,充分利用大数据、物联网和云计算

等方法构建后端的云处理中心，为认知测试性中各功能的实现提供数据支撑，实现判断装备当前健康状态，感知健康状态发展趋势的功能。

要实现认知测试性的功能离不开装备的先验知识。装备多源信息的获取、利用过程也是装备先验知识的积累过程，这样不但可以提高对多源信息的整合利用能力，而且提高了认知测试性的通用性，为将不同装备整合进一个应用系统提供了可能性。

在装备或产品的全寿命周期中，认知测试性的设计可以利用多源信息对装备当前的健康状态进行评估，实时判断装备状态是否满足当前任务要求，避免突发故障引发的安全问题，影响任务的完成。同时，在数据层海量基础数据的支撑下，利用现代成熟的智能算法对装备进行故障诊断，及时定位故障，为装备的智能维修决策提供信息支持。最终为指战员对战场态势的把握和装备的供应保障与维修提供重要依据。

认知测试性是在传统测试性以及故障预测与健康管理 (prognostic and health management, PHM) 的

基础上发展而来的，是将 PHM 的原理，拓展到了产品的设计阶段；但是，认知测试性方面的理论研究还是近年来比较新的概念，需要进一步的完善充实并在实践中进行验证与深入。

3 认知测试性指标

3.1 认知测试性指标体系

根据装备产品的研发设计、操作使以及维修保养等情况，构建认知测试性指标体系。认知测试性指标的建立应当遵循以下原则：

1) 认知测试性应当能够反映测试获取信息的方法步骤；

2) 指标体系能够符合装备或产品的全寿命周期要求；

3) 突出了数据信息在装备或产品设计中发挥的作用。

通过查阅相关文献，并参考国军标的内容，区分一二三级指标和总目标层，建立如表 2 所示的认知测试性指标体系。

表 2 认知测试性指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	总目标层
认知测试性 指标体系	故障诊断能力	故障检测能力	故障检测率/故障检测覆盖率 平均故障检测时间 虚警率
		故障隔离能力	综合故障隔离覆盖率 平均故障隔离时间
	信息获取能力	历史信息完备度	同型装备状态监测历史信息获取完备率 同型装备故障与维修历史信息获取完备率 同型装备使用环境历史信息获取完备率
		装备自身信息完备度	装备履历信息获取完备率 装备使用环境信息获取完备率
		信息融合能力	信息相关度 信息充分率
	智能预测与决策能力	故障预测能力	关键故障预测率 预测虚警率 故障前置时间
		智能决策能力	故障预测决策准确率 故障应对决策响应时间
	战场生存能力	性能恢复能力	性能恢复时间 性能恢复程度 战斗力恢复程度
		任务可靠度	任务完成能力 体系作战支撑能力

3.2 认知测试性指标含义

在表 2 所示的认知测试性指标体系二级指标里，第 1 项故障诊断能力包含了故障检测和故障隔离能力，在传统的测试性指标研究中已经十分成熟，不作过多分析；第 4 项是关于战场生存能力的描述，也较为容易理解。以下重点介绍第 2 项信息获取能

力和第 3 项智能预测与决策能力指标。

3.2.1 历史信息完备度

同型装备的历史信息主要包括能够反映各项性能参数的状态监测历史信息，记录各类故障数据和维修情况的故障与维修信息，反映装备的操作使用和贮存情况的环境信息。

历史信息的完备度能够反映装备的生产研发、操作使用、维护保养、报废销毁等整个过程的信息记录,对提升装备使用效率,改善故障预测精度有重要作用^[15]。

3.2.2 自身信息完备度

同样,被测装备的自身信息也包括状态监测数据、装备履历情况和使用环境信息 3 方面。通过收集分析同类型其他装备的历史信息数据,可以总结出其使用规律和故障趋势。在此基础上,再融合装备完备的自身信息,能够对装备故障进行有效预测和判断。

3.2.3 信息融合能力

主要包括信息的相关度和信息的充分率 2 项指标。同型装备的历史信息与自身状态信息相关性越强,信息量越大越全,对现役装备故障规律和维修情况的评判越精准、越可靠。

3.2.4 故障预测能力

主要包括关键故障预测率、预测虚警率和故障前置时间 3 个底层指标。关键故障预测率是指在装备的使用测试期间,能够准确预测的关键故障个数与产生的所有故障数量的比率。虚警率是指在装备使用测试期间,错报故障的数目与故障预测总数的比值。故障前置时间是指被测装备的性能由接近理想的情况到劣化为低于最低使用要求的情况所用时间。前置时间越充裕,对装备的保障和维修越有利。

3.2.5 智能决策能力

包括故障的预测和决策准确率指标和应对决策相应时间指标。其中决策准确率是指被测装备使用期间,在准确预测出故障之后,能够精准实施维修保障决策的次数与维修保障的决策总次数的比值。决策响应时间是指从预测到装备的故障信息开始,直到完成维修保障决策所经过的时间。前者反映装备保障工作的精确度,后者强调决策实施的及时性。

4 结束语

笔者着眼新时代装备发展与现代战争需求,以提高装备作战效能为目标,从装备保障的角度阐述装备保障大数据建设的目的、意义及作用,引出装备保障大数据的设计基础,即关于认知测试性的基

本理论,构建并描绘基于认知测试性设计的电子装备保障大数据框架。认知测试性是对传统测试性的拓展,是赋予智能化装备的一种设计属性,为装备保障大数据的建设提供了一种获取“信息”的设计基础。同时,分析认知测试性的相关概念,构建其指标体系,并阐述各个指标要素的具体含义。认知测试性的发展将会为装备保障大数据的建设提供新的理论与方法,对新时代国防建设和后装保障产生积极影响。

参考文献:

- [1] 何友,朱扬勇,赵鹏,等.国防大数据概论[J].系统工程与电子技术,2016,38(6):1300-1305.
- [2] 李黎明,古平,王巍,等.基于 IDEF5 陆军部队级装备维修保障业务流程建模研究[J].科技创新与应用,2021,11(21):80-82.
- [3] 尹园威,马俊涛,姚智刚,等.电子装备测试性融合评估方法[J].计算机测量与控制,2020,28(4):237-240.
- [4] 刘艳军,张海.装备保障系统数据建设构想[J].中国管理信息化,2015,18(23):174-176.
- [5] 袁清波,杜晓明,马合林.指挥控制保障领域知识抽取系统框架研究[J].现代电子技术,2022,45(5):117-121.
- [6] 马彦恒,李刚,尹园威,等.电子设备测试装置的通用测试工装及其测试方法:ZL 2016 10510265.5[P].2018-12-25.
- [7] 马彦恒,刘新海,李刚.认知测试性的概念及指标分析[J].军械工程学院学报,2016,28(4):62-65.
- [8] 马彦恒,宗子健,刘新海.认知测试性—维修保障理论的新发展[J].现代防御技术,2018,46(4):127-133.
- [9] 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.
- [10] 何丽,彭黎丽.多故障的电子设备系统诊断设计方法研究[J].计算机测量与控制,2021,29(8):7-12.
- [11] 刘丽亚,杜舒明,闫俊锋,等.基于改进粒子群算法的雷达装备测试性设计优化技术[J].计算机测量与控制,2020,28(8):160-164.
- [12] 石君友.测试性设计分析与验证[M].北京:国防工业出版社,2015:332.
- [13] 王力,贾春宇.基于可测试性技术的测试矩阵优化研究[J].现代电子技术,2020,43(21):137-142.
- [14] 袁剑平,李近,孙寒冰.基于数字孪生的测试性验证技术[J].计算机测量与控制,2020,28(8):256-259.
- [15] 欧爱辉,张昌卫,胡旻.基于雷达的测试性设计优化方法应用研究[J].计算机测量与控制,2019,27(2):110-113,128.