

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2022.04.13

装备计量保障与综合保障在标准体系中的融合研究

宋剑波, 强成虎, 吴轩

(中国人民解放军 92228 部队, 北京 100072)

摘 要: 结合装备准确性和可靠性综合保障要求, 深入剖析了传统标准规范中综合保障和计量保障的内涵和外延, 探讨了以测试性要求为纽带, 实现二者在装备保障标准规范体系中有机融合的方式, 提出了建立兼顾准确性和可靠性综合保障标准体系的思路, 可为建立包含准确性和可靠性要求的装备保障标准体系提供支撑。

关键词: 综合保障; 计量保障; 准确性; 可靠性; 融合

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2022)04-0089-08

Research on integration of materiel metrology support and integrated logistics support in standard system

SONG Jianbo, QIANG Chenghu, WU Xuan

(PLA Unit No. 92228, Beijing 100072, China)

Abstract: Based on the demands of accuracy and reliability integrated logistics support for materiel, the meanings of the materiel metrology support and integrated logistics support are deeply analyzed. With the testability demand as the link, the methods to integrate the two concepts in the standard specification system are discussed. The idea for constructing a new standard specification system giving consideration to both accuracy and reliability is put forward, which will help to establish the armament support standard system including the accuracy as well as the reliability requirements.

Key words: integrated logistics support; metrology support; accuracy; reliability; integration

0 引言

当今装备的复杂性和智能化水平越来越高, 为保证装备效能的有效发挥, 我国紧跟国外发达国家的步伐, 先后颁布实施了一系列装备保障方面的标准规范, 这对促进装备完好性起到了积极作用。

但是, 受国外相关标准思路和主观意识的影

响, 在国军标方面, 以往的装备综合保障要求仅仅着重关注满足可靠性要求, 装备综合保障活动仍然停留在以可靠性保障为焦点的层面上, 它仅仅把计量保障设备列为装备综合保障的一项资源, 并没有把计量保障活动放在与装备可靠性保障同等重要的地位。这种有失偏颇的方式已无法全面涵盖装备综合保障目标, 也与当前装备对计量保障的需求不相匹配, 在保障活动实施上, 实际上

收稿日期: 2022-07-30; 修回日期: 2022-08-31

引用格式: 宋剑波, 强成虎, 吴轩. 装备计量保障与综合保障在标准体系中的融合研究[J]. 计测技术, 2022, 42 (4): 89-96.

Citation: SONG J B, QIANG C H, WU X. Research on integration of materiel metrology support and integrated logistics support in standard system [J]. Metrology and measurement technology, 2022, 42 (4): 89-96.



已阻碍了装备综合保障工作的全面展开。

随着科学技术的迅猛发展,高新技术产品,特别是各类智能传感器和内嵌式仪表的引入,把计量保障从以往传统的后台保障延伸到对前端装备上一次仪表的靠前保障^[1],这样才能促进装备保障成效的提高,这已成为保障人员的共识。

因此,为更加有效地推进装备保障工作,需要在装备综合保障标准体系建设方面有所创新,在标准规范体系修订完善过程中,把计量保障和综合保障进行融合,使装备保障人员实施装备论证任务时,不但关注装备可靠性,而且关注装备准确性,使装备得到全面保障。

本文在剖析装备综合保障和计量保障内涵和外延的基础上,对二者进行对比分析,探讨以测试性要求为纽带,实现二者在标准规范体系中有有机融合的方式,提出了建立新的兼顾准确性和可靠性综合保障标准体系的思路。

1 装备综合保障与计量保障概念分析

1.1 装备综合保障概念剖析

据GJB 3872-1999《装备综合保障通用要求》中的定义,“综合保障”是在装备的寿命周期内,为满足系统战备完好性要求,降低寿命周期费用,综合考虑装备的保障问题,确定保障性要求,进行保障性设计,规划并研制保障资源,及时提供装备所需保障资源的一系列管理和技术活动^[2]。

综合保障涉及到装备的保障性,GJB 451A-2005《可靠性维修性保障性术语》中指出:保障性是指装备的设计特性和计划的保障资源满足平时战备完好性和战时利用率要求的能力^[3]。由该

定义可以看出,保障性是装备的一种综合特性,它包括装备自身的保障设计特性和保障系统的特性,强调装备要容易保障且能得到保障;而综合保障是围绕装备保障而开展的一系列管理和技术活动。因此,保障性目标的实现有赖于综合保障工作的开展。

由上述剖析结果,结合GJB 3872-1999中的各项条款,可以看出,综合保障内涵丰富,可概括如下:一是综合保障的目标是保证装备“满足系统战备完好性要求”,即保证装备“战备完好”,实际上就是要保证使用可靠;二是综合保障的工作重心是确定保障性要求,进行保障性设计,要在装备研制过程中提前设置保障条件,在装备需要保障时“能保障”;三是综合保障要综合考虑装备保障问题,相当于一个系统工程:要把与保障工作相关的可靠性、维修性、测试性和保障性等问题通盘考虑;四是要求以最小的代价,降低寿命周期费用,以最经济的方式进行保障;五是综合保障以装备及其保障系统为研究对象,是贯穿于装备整个寿命周期的一系列管理和技术活动。

GJB 3872-1999中还提出了对装备的保障性定量和定性要求。在4.4条款中指出,“装备的保障性设计主要是指可靠性、维修性(含测试性)、运输性等的设计,还包括将其他有关保障考虑纳入装备的设计”。由此可知,综合保障的外延很宽,涉及到装备的“六大”通用质量特性(即可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性和环境适应性)中的四性:可靠性、维修性、测试性和保障性,并涵盖与保障相关的装备运输性。表1为综合保障概念解析表。

表1 综合保障概念解析表

Tab1 Analyzing list of the concept of integrated logistics support

要素	内涵	外延	备注
保障目标	满足系统战备完好性要求		
工作内容	确定保障性要求,进行保障设计,规划、研制并提供保障资源		
工作重心	确定保障要求,进行保障设计	可靠性、保障性、维修性、测试性	装备使用维护及维修保障过程中的系列活动
工作重点	装备维修		
基础手段	测试		
工作性质	全寿命管理和技术活动		

1.2 装备计量保障概念剖析

在 GJB 2715A-2009 《军事计量通用术语》中，“装备计量保障”是为保证装备性能参数的量值准确一致，实现计量溯源性和检测过程受控，确保装备始终处于良好技术状态，具备随时准确执行预定任务的能力而进行的一系列管理和技术活动^[4]。

由上述定义，结合 GJB 5109-2004 《装备计量保障通用要求 检测和校准》中的各项条款，可以看出，计量保障的内涵如下：一是计量保障的目标是保证装备“具备随时准确执行预定任务的能力”，即“装备准确”；二是计量保障的工作重心是“保证装备性能参数的量值准确一致”，“实现计量溯源性和检测过程受控”，要求订购方在提出装备研制总要求或装备订货过程中一定要从管理和技术层面提出明确要求，使装备在使用阶段既具备被检测校准的条件，又具备检测校准的手段；三是计量保障的性质是“一系列管理和技术活动”，说明计量保障也是一个系统工程，从装备论证至装备使用各阶段，都要考虑计量保障工作，要把与计量保障相关的测试性问题通盘考虑，还要考虑可拆性、原位可校准性等一系列问题；四是计量保障活动涉及装备论证管理部门、研制机

构和装备使用保障部门，贯穿于装备整个寿命周期^[4]。

GJB 5109-2004 的 4.2 条款明确指出：“订购方应要求承制方在研制装备的同时，对组成装备的各系统、分系统和设备所需检测和校准的项目或参数及其技术指标做出明确规定”；在 5.1 条款中指出：“凡影响装备功能、性能的项目或参数都应进行检测或校准，以确保装备具有准确执行预定任务的能力”，这些规定都体现了对装备“准确性”的要求；4.3 条款中提出的“订购方应要求承制方在研制的装备中，对影响装备功能和性能的主要测量参数设置检测接口，满足装备测试性要求，并应具有明确的检测方法”，所体现的是对装备的“测试性”要求；5.2 条款中提出的“装备的检测应满足性能测量、状态监测和故障诊断等需求”体现的是对装备“可靠性”、“维修性”和“保障性”的要求；5.3 条款中规定的“装备的检测或校准应符合测量溯源性要求”，所体现的是对装备量值参数的“溯源性”要求。

因此，计量保障的外延同样涉及测试性、维修性和保障性要求，且具有独有的“准确性”和“溯源性”要求。表 2 为计量保障概念解析表。

表 2 计量保障概念解析表
Tab2 Analyzing list of the concept of metrology support

要素	内涵	外延	备注
保障目标	保证装备准确执行预定任务		
工作内容	保证装备性能参数量值准确一致，实现计量溯源性和检测过程受控		
工作重心	保证量值准确一致和检测过程受控	准确性、保障性、维修性、溯源性、测试性	装备正常使用中及维修后保障量值准确的活动
工作焦点	计量校准		
基础手段	测试		
工作性质	全寿命管理和技术活动		

1.3 装备综合保障与计量保障对比分析

综合上述分析，综合保障与计量保障的内涵，总体上都面向装备保障，均是囊括管理和技术的全寿命系统工程。但是，前者的目标主要是保障装备可靠^[5]，后者的目标，则是确保装备参数量值准确。

从外延上看，综合保障与计量保障都包含保

障性、维修性和测试性。但是，前者主要涉及装备保障性和维修性，焦点是“装备维护和维修”；后者主要涉及量值溯源性和准确性，焦点是“装备检测和校准”。

从保障要求上看，综合保障侧重于保证可靠性，计量保障则侧重于保证准确性。

从保障资源上看，GJB 3872-1999 中 3.10 条款

指出：“保障设备是使用与维修装备所需的设备，包括测试设备、维修设备、试验设备、计量与校准设备、搬运设备、拆装设备、工具等，是综合保障要素之一。”

这说明，从装备综合保障角度，计量与校准设备是装备维修中的保障设备之一。但是，从装备保障总体要求出发，计量保障不能仅作为装

备保障资源去看待，要把它与可靠性保障同等待待，为保障装备准确性提供必要的基础。

在保障工作的实施阶段，前者的维修保障工作和后者的计量检测工作都涉及到关键的装备测试性工程^[6]。

综合保障要求与计量保障要求的对比分析结果如表3所示。

表3 综合保障要求与计量保障要求对比分析

Tab3 Comparative analysis of demands of integrated logistics support and metrology support

要素	保障目标	工作内容	工作重心	工作焦点
综合保障	满足系统战备完好性要求	设置综合保障条件,提供综合保障要素	确定保障性要求,进行保障性设计	测试
计量保障	保证装备准确执行预定任务	设置计量保障条件,提供计量保障要素	保障量值准确一致和检测过程受控	测试

从表3可以看出，综合保障与计量保障在保障目标、工作重心和工作焦点上虽有所差异，但其工作焦点都是以测试手段展开的。因此，这两类保障工作最明显的交集就是测试性工程（如图1所示），它也是联系这两类保障工作的纽带^[7]。

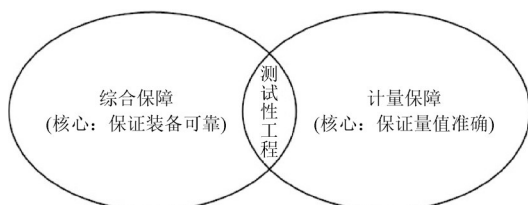


图1 测试性工程与综合保障及计量保障关联示意图

Fig1 Relevance diagram of testing engineering as to integrated logistics support and metrology support

2 计量保障与综合保障在装备保障标准体系中融合的必要性和可行性

从装备综合保障和装备计量保障的内涵和外延可以看出，两种保障体系都提到了“测试性”。装备的测试性工程在装备维修保障中发挥着重要作用。测试性工程最初是维修性工程的一个分支，在装备保障过程中，鉴于测试性工程的作用越来越突出，后来，它作为一门单独的工程技术从维修性工程中分离出来，成为一门与可靠性、维修性并列的独立学科^[8]。

GJB 451A-2005 中 2.1.4.6 条款指出：“测试性是指产品能及时并准确地确定其状态（可工作、

不可工作或性能下降），并隔离其内部故障的能力。”可见，测试性是产品容易测试的程度。其设计目标是使产品具有及时、准确判定其状态并检测、隔离故障的一种能力。在装备保障过程中，测试性工程与维修性工程保持着密切联系，二者互为补充。维修性工程保证系统出故障后便于修理，而装备良好的测试性设计又为装备良好的维修性提供关键技术支撑。图2表示了装备维修中的测试性工程与维修性工程之间的关系，它们与保障性工程和可靠性工程也存在相互递进的关系。

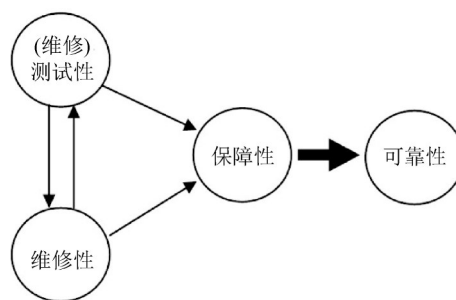


图2 (维修)测试性与可靠性递进关系示意图

Fig2 Progressive relationship diagram of maintaining testability and reliability

由图2可以看出，通常所说的测试性要求源于维修性要求，又直接服务于装备维修工作，二者共同服务于保障性工程，从而推动装备可靠性的提升^[9]。

由于这里所指的“测试性”源于维修性工程，故不妨称之为装备维修测试性。在 GJB 2547A-2012 中明确了装备维修测试性要求，它分为定性和定量要求^[10]，定性要求包括合理划分功能与结构的要求、对测试点的要求、对 BIT 的要求等；定量要求包括故障检测率、故障隔离率、严重故障隔离率、虚警率、故障检测时间、故障隔离时间等。由此看来，围绕装备综合保障工作，装备质量通用特性中所说的“测试性”并没有涵盖计量保障工作所指的“测试性”。

然而，在实际装备保障工作中，技术人员一提到测试性，经常把它与计量测试混为一谈，以为计量保障要求已在测试性工程中得到体现，其字面概念掩盖了二者实质上的不同，客观上就忽视了计量保障的具体要求。

GJB 5109-2004 中 4.3 条款明确了“订购方应要求承制方对影响装备功能和性能的主要测量参数设置检测接口，满足装备测试性要求，并应具有明确的检测方法。”以此为基础，在该标准 5.7 条款中指出，承制方应确保装备的检测能够实现，应使用标准测试端口或接口，选择合适的检测点，尽可能缩短检测时间和减少检测次数，检测点应在相关技术文件中予以明确，在装备上也应有相应的明显标识且容易识别，并能以对装备产生影响最小的方式检测。在该标准 6.8 条款中指出，研制或者生产的专用检测设备应有校准接口^[11]。GJB 5109-2004 中 8.3 条款明确要求“对被测装备或被校设备进行合格判定时，被测装备与其检测设备、检测设备与其校准设备的测试不确定度比一般不得低于 4:1”。

由此看出，计量保障中的测试性，在计量保障通用要求中并没有给出定义，但却“兼容性”提出了与装备综合保障中测试性设计的统一性问题，而且有明显的量化特征^[7]。它所提出的定性要求，主要集中在检测点的设置和检测方法的提供上，这与综合保障中所述测试性要求相仿；提出的定量要求则聚焦于检测过程中保障设备和保障对象准确度之间的关系。

所以，计量保障对测试性的要求，在定性要求上，主要是设置检测接口，明确检测方法；定量要求上，主要是提出准确度要求；在工程实现

上，要考虑被测装备或仪表预留检测接口，保证在工装原位的可检测性，同时，还要考虑仪表出现故障后不造成仪表人为损坏的可拆卸性。装备计量保障中的测试性工程（为使区别于与装备维修性工程中的测试性，以下不妨暂称为装备计量测试性），其理论概念需要深入阐释，工程应用需要进一步扩展和规范。装备计量校准的测试性工程与原位可检测性和可拆卸性之间的关系及其与保障性、准确性之间的依托关系如图 3 所示。

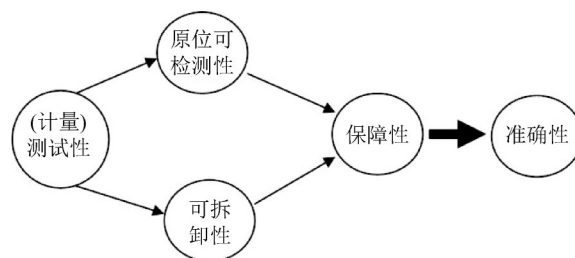


图 3 (计量)测试性与准确性递进关系示意图

Fig3 Progressive relationship diagram of calibrating testability and accuracy

由图 3 可以看出，装备计量测试性要求，涉及原位可检测性和可拆卸性，它也服务于装备保障性工程，从而推动装备准确性得到持续有效的保证。

因此，综合保障和计量保障标准体系中所涉及的装备测试性要求具备概念上的同一性和工程实现中的兼容性，完全能够以测试性工程为桥梁，将装备计量保障和综合保障要求进行融合，这样，既可兼顾装备的准确可靠性要求，又能使标准体系更加精炼，在实施装备保障时，也不会再产生歧义。

3 计量保障与综合保障的融合探讨

由以上分析可看出，计量保障与综合保障的融合不仅必要而且可行。而要形成兼顾准确性和可靠性的装备保障标准规范体系，考虑测试在两种保障体系中的纽带作用，先将测试性概念在综合保障中进行融合，以此为基础，在具体保障模式和保障要求上进行融合设计，从而对装备实现真正意义上的综合保障。下面探讨在综合保障中将二者进行融合时需要重点考虑的方面。

3.1 概念上融合

按照 GJB 2547A-2012《装备测试性工作通用要求》4.4条款的规定,“测试性工作应与可靠性、维修性、保障性、安全性等其他相关工作协调,并结合进行,减少重复。”由此推论,计量保障中对测试性的要求,要考虑与综合保障中的装备测试性要求相融合,以减少设计成本和保障成本,提高装备保障效率。

在当前装备信息化、智能化和高度集成化的大背景下^[12],在原有的标准体系框架内,需要扩充原综合保障的内涵,在保障装备可靠的基础上同步关注其准确性。在外延扩充时,要考虑以下几个因素:一是装备内部本身有用于健康诊断的BIT(即 Built-In Test,内置测试)设备^[8],涉及声、光、热、力传感器等多类一次仪表(即测量仪表),其准确与否关系到装备自测试结果的准确性;二是装备上用于自动控制的姿态、加速度、方位、温度等信息反馈的一次仪表,其准确与否关系到自动控制的正确性;三是用于显示一次仪表数据信息的二次仪表,其准确与否关系到后台指挥决策的科学性。

因此,需要对装备综合保障中的测试性给出新的定义,在内涵和外延上,要保证测试性工程不单单包含原有的维修测试性设计,而且要涵盖装备准确性保障中的测试性要求,体现出测试性是产品能及时并准确地确定其状态、隔离其内部故障,并便于实施计量检测或校准工作的能力。

3.2 保障模式上融合

计量保障中的测试,要求被测对象具备原位可检测性;维修中的测试,要求在对装备实施维修时,系统易于维修,此外,还要考虑保证离线状态下的量值溯源及更换维护而设置的可拆卸机械结构,以防因破拆造成装备系统或仪表受损。为实现保障模式上的融合,不妨将图2与图3进行整合,得到图4测试保障性模式示意图^[1],它包含服务于维修工作的测试性工程和服务于计量校准的测试性工程。

由图4看出,通过兼顾装备维修中的测试性工程和计量校准中的测试性工程,把两种测试性工程融合于综合保障标准体系中,为保证装备准确可靠发挥效能提供基础依据。

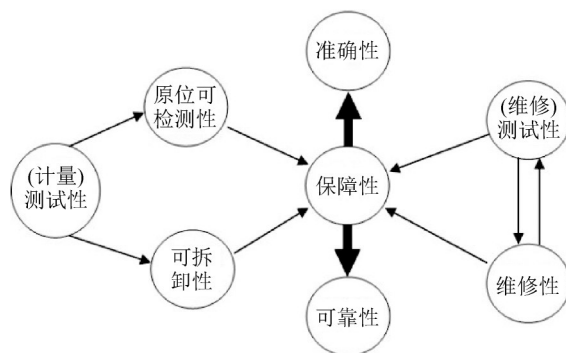


图4 测试保障模式示意图

Fig4 Schematic diagram of testing support mode

3.3 指标要求上融合

3.3.1 定性要求上融合

从前文的研究分析可以看出,主要服务于装备维修的测试性设计是保障装备战备完好性和任务成功性的重要质量保证。同时,服务于装备校准的测试性设计是保证装备准确发挥效能的重要计量保障,必须将二者置于同等重要的位置。对于装备综合保障和计量保障而言,测试性设计是其中的关键环节。而测试性设计,不管是出于维修工作需要,还是出于校准工作需要,二者在本质上应该是相通的。因此,本着集约化高效保障的理念,在定性要求上,不管是内部测试还是外部测试,可以在测试接口设计、测试条件设置等方面,从宏观上定性要求保证兼顾传统的维修测试性要求和计量保障中的测试性要求。而在后期保障手段建设上,对于直接面向装备的保障工作,可以考虑研制集维修、检测和计量校准功能于一体的综合性现场保障设备,并加入智能化、信息化保障手段,为装备准确可靠发挥效能提供多维度快速综合保障技术支持。

3.3.2 定量要求上融合

在定量要求上,由于原有的测试性要求,其出发点主要是维修过程中的故障测试,已对故障判断和维修给出了指标要求:如故障检测率、故障覆盖率、故障隔离率、虚警率、虚警间隔时间、故障检测时间、故障隔离时间、平均BIT运行时间等^[13],但是,这些指标体系缺少计量保障中的测试性定量指标规定,所以,对新的测试性指标要求,要重点考虑增加与计量测试相关的定量指标,笔者考虑可增加的定量指标有:

1) 计量保障率:在规定时间内,用规定的方法检测或检定、校准的装备上设备和/或仪表数量与装备上的待保障设备和仪表总数之比;

2) 可原位检测率:按系统设计要求,可在原位检定的仪表数量与装备仪表总数之比;

3) 现场计量检测间隔时间:按系统设计要求,从开始计量检测到计量检测工作执行完毕所经历时间的平均值;

4) 仪表拆装成功率:在规定时间内,将受检仪表从装备中成功拆卸下来并在完成检定后成功安装复位的仪表(或换装其它同规格合格仪表)数量与被拆仪表总数之比;

5) 仪表拆卸送检间隔时间:把仪表拆卸下来完成送检,再返装到装备上的平均时间间隔;

6) 仪表平均调校时间:对经计量检测示值超差或功能失常的仪表进行调修或调校的平均有效时间。

当然,上述与计量测试相关的指标要求仅是笔者的初步思考,对其更为精确的定义,还需要标准规范修订专家深入研究和订正。

另外,对有些可共用的定量指标,如误拆率、重测合格率等,应对其含义进行再定义,使其包含计量测试要素。

3.4 实现测试性要求融合后对装备保障的影响

在标准体系中实现维修测试和计量测试的融合以后,兼顾了装备准确可靠两大方面的要求,会使装备保障更为全面,特别是把计量保障提高到了应有的地位,会对发挥计量工作在装备综合保障中的作用起到积极推动作用。但是,也要认识到任何事情都是一分为二的,在原有维修测试性设计的基础上,加入计量测试接口设计等一系列要素^[14],也会对装备的总体可靠性带来一定影响,这需要在装备可靠性要求上对相关要求和设计指标进行平衡,以保持装备通用质量特性指标的协调一致性。

不过,将计量保障与综合保障进行有机融合,毕竟是利大于弊。所以,在修订新的标准体系时,对传统意义上的测试性要求,把计量保障工作的原位可检测性设计和可拆卸性设计纳入到测试性工程中,进一步丰富内涵、扩大外延,形成所谓对装备的立体多维度保障思路,保证装备准确可

靠,实现真正意义上的“综合”保障,一定会促进装备保障效能的进一步提高。

4 结论

当前,计量保障已逐步作为相对独立的装备保障要素发挥着无法替代的重要作用,为解决目前装备保障中存在的现实性问题,本文通过分析综合保障和计量保障概念,剖析了二者之间的区别与联系,提出以它们共有的测试性工程设计为纽带,将二者进行融合,为建立包含准确性和可靠性要求的装备保障标准体系提供支撑。受笔者能力所限,文中不免有疏漏之处,敬请专家批评指正。

参考文献

- [1] 何旋,吴霞,周自力.对计量内涵及其发展重点的思考[J].计测技术,2022,42(3):79-85.
HE X, WU X, ZHOU Z L. Understanding of metrology connotation and thoughts on development focus [J]. Metrology and measurement technology, 2022, 42(3): 79-85. (in Chinese)
- [2] 赵华,戴树良.基于AHP的装备靠前保障模式效能评估[J].价值工程,2011,30(2):321-322.
ZHAO H, DAI S L. Efficiency evaluation of approaching equipments security pattern base on AHP [J]. Value engineering, 2011, 30(2): 321-322. (in Chinese)
- [3] 李能鹏,王薇,张晓鹏.引进舰船装备的综合保障工作探讨[J].装备环境工程,2014,11(3):61-64.
LI N P, WANG W, ZHANG X P. Discussion on integrated logistic support in import ship equipment [J]. Equipment environmental engineering, 2014, 11(3): 61-64. (in Chinese)
- [4] 蒋薇.装备可计量性的相关性模型研究[D].长沙:国防科技大学研究生院,2012.
JIANG W. Research on dependency model of equipment measurability [D]. Changsha: Graduate School of National University of Defense Technology, 2012. (in Chinese)
- [5] 李军亮,祝华远,王利明.综合保障理论之海军航空装备保障发展[J].国防科技,2019,40(3):78-84.
LI J L, ZHU H Y, WANG L M. Research on the development of integrated logistics support theory in naval aeronautical equipment support [J]. National defense technology, 2019, 40(3): 78-84. (in Chinese)
- [6] 王恺,黎云轩,郑觉醒.装备综合保障管理体系建设

- 研究[J]. 设备管理与维修, 2022 (2): 12-13.
- WANG K, LI Y X, ZHENG J X. Research on construction of equipment comprehensive support management system[J]. Plant maintenance engineering, 2022 (2): 12-13. (in Chinese)
- [7] 潘德祥, 王瑞宝. 岛礁装备计量保障模式探讨[J]. 国防科技, 2022, 43 (2): 92-96.
- PAN D X, WANG R B. Discussion on metrological island and reef equipment support modes[J]. National defense technology, 2022, 43(2): 92-96. (in Chinese)
- [8] 张磊, 王保青, 李军. 舰船通用质量特性设计分析研究[J]. 船舶, 2019, 30 (5): 96-104.
- ZHANG L, WANG B Q, LI J. Design and analysis of ship common quality characteristics [J]. Ship & Boat, 2019, 30(5): 96-104. (in Chinese)
- [9] 丁刚, 张林, 崔利杰, 等. 装备体系保障性研究综述[J]. 火力与指挥控制, 2021, 46 (12): 1-8, 14.
- DING G, ZHANG L, CUI L J, et al. Overview on equipment SoS supportability research[J]. Fire control & command control, 2021, 46(12): 1-8, 14. (in Chinese)
- [10] 牛云波. 武器装备的保障性分析[J]. 国防技术基础, 2009 (3): 16-21.
- NIU Y B. Analysis of the weapon equipment[J]. Technology foundation of national defence, 2009(3): 16-21. (in Chinese)
- [11] 李靖, 张峰, 孟春雷, 等. 对装备可计量性的思考[J]. 国防科技, 2020 (1): 21-23.
- LI J, ZHANG F, MENG C L, et al. Thinking on the measurability of weapon equipment[J]. National defense technology, 2020(1): 21-23. (in Chinese)
- [12] 于德润, 褚雷阳, 张松. 新型传感器技术在武器系统中的应用[J]. 传感器与微系统, 2013, 32 (8): 1-5.
- YU D R, CHU L Y, ZHANG S. Application of new type sensor technology in weapons system[J]. Transducer and microsystem technologies, 2013, 32 (8): 1-5. (in Chinese)
- [13] 石君友, 田仲, 侯文魁, 等. 测试性设计分析与验证[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- SHI J Y, TIAN Z, HOU W K, et al. Testability design analysis and verification [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [14] 袁慧秀, 王俊博, 陈申, 等. 直升机可计量性设计流程分析及参考模型构建[J]. 宇航计测技术, 2022, 42 (1): 85-90.
- YUAN H X, WANG J B, CHEN S, et al. Analysis on helicopter measurability design process and reference model construction[J]. Journal of astronautic metrology and measurement. 2022, 42(1): 85-90. (in Chinese)

(本文编辑:田艳玲)



作者简介: 宋剑波 (1972—), 男, 正高级工程师, 硕士, 主要研究方向为计量测试及自动检测。