

某型导弹雷达车阵面调整系统战场损伤 分析技术与应用

黄自强^{1,2}, 石全¹, 宋明昌¹, 孙佳^{1,2}

(1.陆军工程大学石家庄校区, 石家庄 050000; 2.中国人民解放军 92207 部队, 石家庄 050000)

摘要: 综合运用现有的战场损伤分析方法, 分析了导弹雷达车阵面调整系统基本功能项目, 预测了战场上可能出现的损伤情况, 梳理了不同层次损伤影响的逻辑关系, 建立了有效定位损伤部位的流程, 为获取导弹雷达车战场抢修数据, 进一步开展战场抢修研究提供了理论方法参考。

关键词: 雷达车; 战场抢修; 损伤分析; 损伤模式; 损伤树; 损伤定位

中图分类号: TJ760.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-9242(2024)08-0069-07

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2024.08.009

Technology and Application of Battlefield Damage Analysis for Missile Radar Vehicle Array Adjustment System

HUANG Ziqiang^{1,2}, SHI Quan¹, SONG Mingchang¹, SUN Jia^{1,2}

(1. Shijiazhuang Campus of Army Engineering University, Shijiazhuang 050000, China;

2. Unit 92207, PLA, Shijiazhuang 050000, China)

ABSTRACT: This paper comprehensively uses existing battlefield damage analysis methods, analyzes the basic function items of the missile radar vehicle array adjustment system, predicts the possible damage situation on the battlefield, sorts out the logical relationship of damage effects at different levels, and establishes the process of effectively locating the damage site to obtain the battlefield repair data of missile radar vehicles, and provides a theoretical and methodological reference for further research on battlefield repair.

KEY WORDS: radar vehicle; battlefield repair; damage analysis; damage mode; damage tree; damage location

随着现代化武器装备和信息化手段应用不断增加, 战场环境越发瞬息万变, 战争推进的节奏也更加紧凑, 战场抢修的地位作用变得日益重要, 是战斗力经久续航的增压器。战场损伤分析是一种战场抢修分析技术, 是获取装备损伤数据的重要方法, 能够对战场上装备可能出现的损伤模式、损伤事件以及造成的影响进行分析预测, 为战场装备保障决策提供重要依据^[1]。精准高效的装备损伤分析是成功实施战场抢修

的关键, 将直接影响作战的整个过程^[2]。

国外在相关领域研究起步早, 实践经验丰富, 一直保持领先地位^[3]。文献[4-5]阐述了美军通过建立评估模型、模拟试验及收集战损数据等方法, 开展战场损伤分析评估的研究。英国空军(RAF)1978年开始进行飞机损伤评估与修复研究, 成立了BDAR机构, 用于开展抢修方法、抢修手册等研究^[6]。文献[7-13]阐述了美军采用FMEA进行战场损伤分析的研究方

收稿日期: 2024-04-10; 修订日期: 2024-07-01

Received: 2024-04-10; Revised: 2024-07-01

引文格式: 黄自强, 石全, 宋明昌, 等. 某型导弹雷达车阵面调整系统战场损伤分析技术与应用[J]. 装备环境工程, 2024, 21(8): 69-75.

HUANG Ziqiang, SHI Quan, SONG Mingchang, et al. Technology and Application of Battlefield Damage Analysis for Missile Radar Vehicle Array Adjustment System[J]. Equipment Environmental Engineering, 2024, 21(8): 69-75.

法。美联邦应急管理局开发了 ReadyII 损伤评估系统,可快速预测多种武器对装备群打击造成的后果^[14]。美陆军、空军制订了各自的《BDAR 纲要》和《ABDR 纲要》,详细规定了战场损伤评估工作的目标、程序及处理措施等^[15]。文献[16]描述了美空军开发 ABDAR 技术和演示系统的方法,展示了飞机战损自动化记录和修复概念,通过软件和数字化技术数据提高战损评估和修复过程的速度和准确性。文献[17]讨论了美陆军装甲车辆各种类型战损评估、修复、自救具体操作方法,在战时通过抢修恢复最基本功能,达到可用状态。文献[18]阐述了开发临时维修系统并将其整合到北约各军队的维修系统中的可能性,在临时维修中加入远程维护,优化备件库存和物流供应。

国内近年装备建设发展迅速,针对损伤分析评估也做了大量研究。文献[19]提出了用故障/损伤原因影响及分析(FMEA/DMEA)和维修性分析(MA)技术进行 BDAR 分析的基本方法和步骤,得到各界的认同。文献[20-22]阐述了战场损伤评估与修复理论基础,从装备受损的源头出发,介绍了损伤模式与影响分析等方法。文献[23]以软件复杂性量化方法为基础,结合损伤定位的特点,提出了损伤定位流程的复杂性量化方法。文献[24]分析了装备威胁机理、战损模式及影响,研究了战场抢修辅助系统设计开发思路。文献[25-27]分别探讨了火炮、飞机等装备的战场损伤分析评估与修复,优化了战场损伤评估程序。目前国内战场损伤分析评估理论在军事装备中应用还不够广泛,关于导弹雷达车的战损分析评估研究较少,相关分析数据不够齐全,大多侧重损伤分析评估技术原理的应用,缺少对不同分析方法相互衔接关系的阐述,对数据采集标准、记录格式普遍缺少具体详细的规范。

本文通过综合运用战场损伤分析方法,以导弹雷

达车阵面调整系统为例,开展战场损伤分析,着重梳理损伤分析方法关键原则和衔接关系,改进规范数据采集标准和相关图表格式画法,为全面开展导弹雷达车战损分析评估和战场抢修决策提供有效的辅助方法。

1 基本功能项目分析

导弹雷达车阵面调整系统作为导弹雷达车系统功能的一部分,在执行作战任务中起着保证雷达实现方位调转和稳定跟踪的重要作用。在战场环境中,导弹雷达车的任何部位都有可能发生损伤,不同部件的损伤对导弹雷达车造成的影响是不同的。有一些部件功能是完成作战任务必不可少的,例如地盘系统的发动机、变速箱等;而另外一些并不是,例如保险杆、备胎等,那些必不可少的功能就称为基本功能,而实现基本功能所必备的部件称为基本功能项目。战场抢修的目标不是让装备恢复完好如初,而是在紧急情况下能够迅速实现基本作战或自救能力即可,就是针对基本功能和基本功能项目进行的。

基本功能项目分析(简称 BFIA),是在确定装备执行作战任务所需基本功能的基础上,按照层级逻辑关系列出必备的基本功能项目,建立基本功能项目结构图,从而明确最低约定层次的过程^[28-31]。目的是找出实现导弹雷达车阵面调整系统基本功能的所有项目,明确下一步开展损伤分析和战场抢修的对象。

确定基本功能项目,首先要明确导弹雷达车阵面调整系统的基本功能,找出完成基本功能对应的分系统或组成部分,再将这些基本功能按照装备的结构功能进一步分解,分析确定完成基本功能的机构和部件,这些机构和部件即为基本功能项目^[32-34]。导弹雷达车阵面调整系统基本功能项目分析见表 1。

表 1 导弹雷达车阵面调整系统基本功能项目分析
Tab.1 Analysis on basic function items of missile radar vehicle array adjustment system

基本功能	基本功能项目	编号	基本功能分解	基本功能项目	编码	基本功能	基本功能项目
调整 雷达 阵面	阵面调整系统	1	载车调平	调平系统	1	控制载车调平	调平控制组合
					2	载车调平支撑	调平支臂
					3	载车调平支撑	调平腿
		2	调转天线舱方位,稳定跟踪目标	方位基座	1	支撑天线舱方位旋转	基座主体
					2	阵面回转	大齿轮
					3	支撑阵面载荷	基座支架
					4	传输数据	电缆
					5	保证有效减速	减速器
		3	支撑天线,控制阵面起竖	阵面起竖装置	1	起竖装置组合	控制天线阵面起竖
					2	液压油箱	液压装置储油
					3	油缸	向起竖装置供油
					4	液压管路	传输液压油
					5	液压支撑杆	支撑天线

在战场抢修时, 只需考虑修复那些损伤后直接导致导弹雷达车无法执行作战任务(如阵面无法起竖、调转等)的基本功能项目, 其他导致导弹雷达车阵面调整系统性能蜕化或减弱(如降低运行速度、异响等)的项目、备用项目、冗余系统则暂时无需考虑^[30]。根据上述步骤和原则, 建立导弹雷达车阵面调整系统基本功能项目结构, 如图 1 所示。

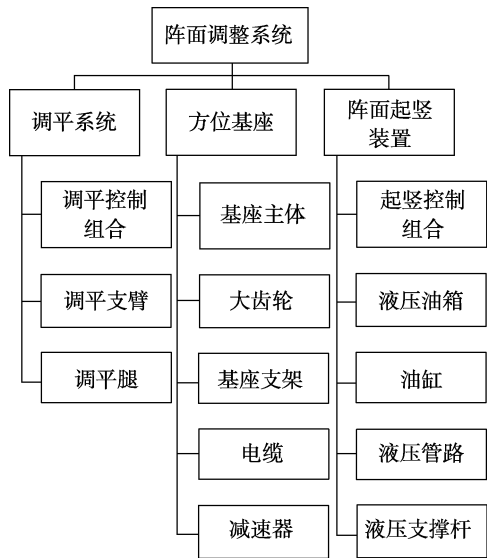


图 1 阵面调整系统基本功能项目结构
Fig.1 Basic function item structure of missile radar array adjustment system

2 损伤模式及影响分析

损伤模式及影响分析(简称 DMEA), 是用于分析确定装备受损的形式、程度和造成影响的技术方

法^[35-36]。导弹雷达车阵面调整系统的 DMEA 是在 BFIA 的基础上进行的, 分析对象是导弹雷达车阵面调整系统基本功能项目结构树上最低约定层次的基本功能项目。

在进行 DMEA 时, 应列出每个最低约定层次基本功能项目的数量、功能, 以及对应的所有可能出现的损伤模式、损伤原因, 分析损伤后对各层级(局部、高一层、最终)造成的影响, 并按照影响程度区分严酷度, 给出合适的抢修方法, 最后把所有分析数据填到规定格式的 DMEA 表格中^[37-38]。严酷度是表明装备损伤模式产生影响的严重程度, 一般分为致命(I 类)、严重(II 类)、较重(III 类)、临界(IV 类)、轻微(V 类)等 5 类^[39-40]。抢修方法也灵活多样的, 是一种特殊条件下的非常规修理, 以抢修时间为最高优先级, 对于不影响完成当前任务或安全的损伤, 可不必修理或只需简单处理继续使用, 使导弹雷达车迅速、就地恢复基本功能, 在相对较短的时间内重新投入作战^[41]。通过 DMEA 数据结果, 可以了解这些基本功能项目发生损伤后对导弹雷达车基本功能造成的影响及危害性。导弹雷达车阵面调整系统阵面起竖装置部分损伤模式及影响分析见表 2。

3 损伤树分析

损伤树是一种倒立树状逻辑图, 用来描述装备出现基本功能损伤后, 与之相关的各层级分系统(部件)的损伤模式之间相互影响的逻辑关系。损伤树分析(简称 DTA)是从所研究的损伤现象出发, 寻找产生这一损伤的根源, 是从果到因的分析过程。进行 DTA 前, 分析人员应首先熟悉装备的说明书、设计制造原理、操作维修规程、故障诊断和抢修等知识。

表 2 导弹雷达车阵面起竖装置 DMEA (部分)
Tab.2 DMEA of missile radar array erecting device (partial)

组成	基本功能项目	数量	功能	损伤模式	编码	损伤原因	损伤影响			严酷度	抢修方法
							局部影响	高一层影响	最终影响		
阵面起竖装置	起竖控制组合	1	控制天线阵面起竖	损坏	1	破片	无法控制阵面起竖	阵面无法起竖到指定倾角	战斗力丧失	Ⅲ	更换
				松动	2	冲击	无法控制阵面起竖	阵面无法起竖到指定倾角	战斗力丧失	Ⅲ	紧固
	液压油箱	1	液压装置储油	损坏	1	破片	无法提供液压油	阵面无法起竖到指定倾角	战斗力丧失	Ⅲ	更换
	油缸	1	向起竖装置提供动力	损坏	1	破片	无法支撑天线阵面	阵面无法起竖到指定倾角	战斗力丧失	Ⅱ	更换
	液压管路	1	提供液压油	损坏	1	破片	无法支撑相控阵天线	阵面无法起竖到指定倾角	战斗力丧失	Ⅲ	更换
	液压支撑杆	2	支撑相控阵天线	损坏	1	破片	无法支撑相控阵天线	阵面无法起竖到指定倾角	战斗力丧失	Ⅱ	更换

导弹雷达车阵面调整系统的损伤树分析是以损伤树为工具,在完成 BFIA 和 DMEA 的基础上,对导弹雷达车阵面调整系统在战场上基本功能损伤进行分析,将 DMEA 表中的某个最终影响作为顶事件,然后逐层分析,寻找判断导致损伤事件发生的所有直接原因(即下一级损伤事件),直到损伤事

件无法继续分解(即底事件),能够开展抢修为止,再用合适的逻辑门符号(或门、与门、表决门等)将各层级损伤事件连接起来,画出树状逻辑图(损伤树),并通过逻辑图确定各层级损伤模式之间的逻辑关系^[42-45]。导弹雷达车阵面调整系统故障损伤树如图 2 所示。

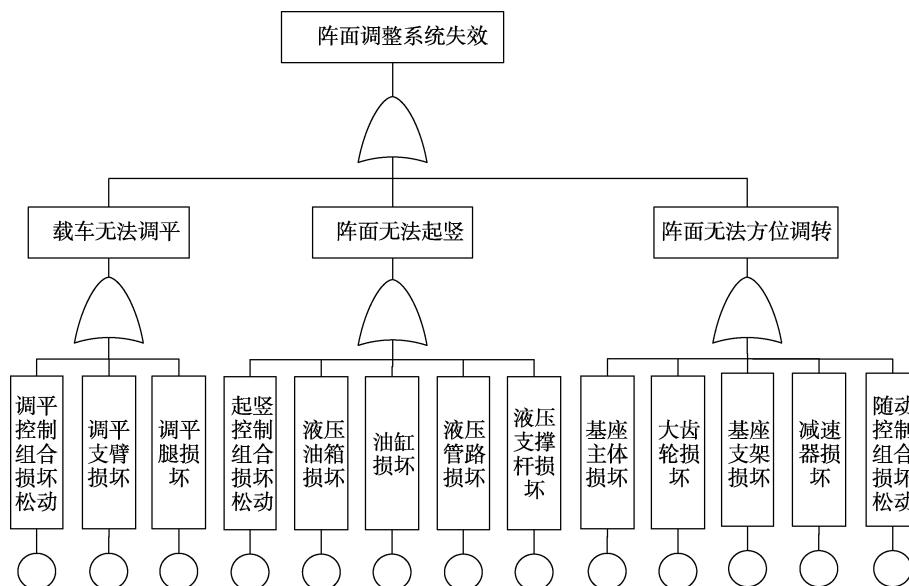


图 2 导弹雷达车阵面调整系统故障损伤树

Fig.2 Fault damage tree of missile radar vehicle array adjustment system

通过 DTA 可以清晰地表明导弹雷达车阵面调整系统故障损伤可能是由哪些子系统、组成或部件的损伤引起的,但损伤树中阵面调整系统损伤(顶事件)对应了较多的底层基本功能项目损伤(底事件),仅仅根据损伤树有时难以直接判断出导弹雷达车阵面调整系统故障的根本原因^[30]。这时就需要进行损伤定位分析,根据装备的技术特点,进一步提取信息,缩小判断损伤的范围,以便抢修人员快速找出受损部件,及时开展战场抢修。

4 损伤定位分析

损伤定位分析(简称 DLA)是在 DTA 的基础上,从顶层损伤事件开始,运用检查、检测等手段,按照层次关系由上而下分析,逐项查找判断造成装备系统功能损伤的底层损伤部件,从而确定损伤部位和根本原因,并建立损伤定位分析流程图的过程^[46-48]。

损伤定位分析流程图主要由节点和连接组成,节点分为开始、查看、检测、判断、结点 5 种,用带箭头的连接线连接。“开始”用圆角矩形框表示,代表上层事件;“查看”针对下层无需检测或检查,分析人员可直接确定的事件,用矩形框表示;“检测”表示判定下层事件的检查、检测等手段,用矩形框表示;“判断”是对“检测”结果提出判断条件,通过肯定

或否定连接线连接“检测”或“结点”,用菱形框表示;“结点”为造成“开始”节点的下层事件,用矩形框表示。常规的检查检测方法有观察法、使用操作法、性能检测、故障诊断分析等。导弹雷达车阵面起竖装置的基本功能项目结构相对简单,通过观察法和使用操作法即可有效检查判断损伤位置。

建立损伤定位分析流程图的原则主要有:

1) 对应损伤树原则。DLA 是按照某一损伤树的逻辑关系进行的,所建立的损伤定位流程图必须与此损伤树相对应,每一个损伤定位流程图只能对应一个损伤树或其中的一个分支,同一个定位流程图上不能出现多个损伤树或多个损伤树分支的下层事件。

2) 有始有终原则。从损伤树的某一上层事件开始,在损伤定位流程图上,最终要到达对应上层事件的所有下层事件,防止漏项和多余。

3) 通路唯一原则。损伤定位流程图中,由顶层损伤事件到各个底事件只能有一条通路,一条通路中的每个节点这只能出现一次,若有多条通路到达同一底事件或一个节点在一条通路上出现多次,就表明 DTA 或 DLA 过程中出现了逻辑错误。

4) 有先有后原则。在分析判断下层损伤情况时,应当以高效、准确为原则。一般按照先判断结构简单的,后判断结构复杂的;先判断损伤概率大的,后判断损伤概率小的;先判断影响大的,后判断影响小的

顺序进行。

根据上述原则,以直接导致“阵面调整系统失效”的原因之一“阵面起竖装置无动作”为例,建立损伤定位分析流程图,如图 3 和图 4 所示。

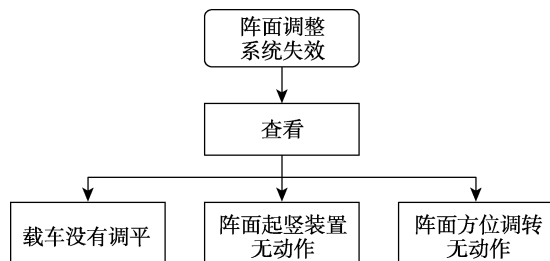


图 3 阵面调整系统失效定位分析流程
Fig.3 Failure location analysis flow chart of array adjustment system

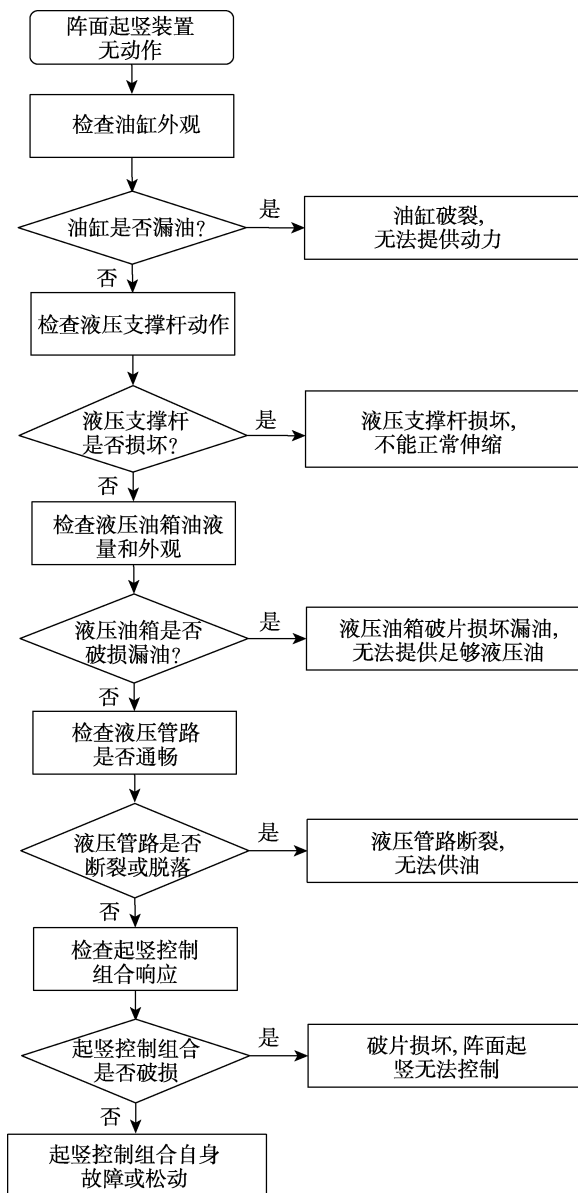


图 4 阵面起竖装置无动作定位分析流程
Fig.4 Analysis flow chart of no-action positioning of array erecting device

同理,调平系统、方位基座的损伤定位分析也可以依照上述方法进行,从而能够逻辑清晰且无漏项的定位阵面调整系统的损伤部位及原因。还可利用贝叶斯网络对损伤定位流程的先后次序进行优化,进一步实现快速损伤定位^[49]。

综上所述,在做好损伤分析的基础上,实施战场损伤评估时,评估人员根据损伤造成的功能影响,可在损伤树上搜索出损伤报告的事件,依据损伤定位流程图快速查询定位损伤部位及原因,并依据 DMEA 分析结果和战场实际情况进行决策及处理,以便及时开展战场抢修,迅速恢复导弹雷达车战斗力。

5 结语

随着现代战争的形式和外部环境越来越复杂,战场抢修越来越受到重视,装备战场损伤分析是战场抢修决策的前提,是开展战场抢修的首要环节。本文系统阐述了 BFIA、DMEA、DTA 及 DLA 的技术原理、关键原则以及相互衔接关系,进一步细致规范了相关数据分析记录表、损伤树、损伤定位流程图的格式和画法,并综合运用了上述分析方法,对导弹雷达车阵面调整系统开展了战场损伤分析,为高效地实施导弹雷达车阵面调整系统的战场抢修提供了基本思路方法。同理,也可将此法全面应用于导弹雷达车,进一步完善战场抢修数据,为开展战损评估提供数据支撑。

损伤分析是战场抢修中一项基础的环节,是战场上实施高效抢修的重要前提,需要花费大量时间、精力收集分析装备系统数据,此项工作宜与装备研发、制造阶段同步开展,降低后期战场抢修研究难度。对于大型且结构功能复杂的装备平台,损伤分析数据较为庞大,运用战场损伤评估信息系统,代替人工开展战损评估,从而更加便捷、快速、高效地开展战场抢修^[50]。

参考文献:

- [1] 李建平, 石全. 装备战场抢修理论与应用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2000.
LI J P, SHI Q. Theory and Application of Equipment Battlefield Emergency Repair[M]. Beijing: The Publishing House of Ordnance Industry, 2000.
- [2] 陈精卫, 汪伦根, 曹银, 等. 武器装备战场损伤评估[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(4): 16-18.
CHEN J W, WANG L G, CAO Y, et al. Battlefield Damage Assessment of Weapons and Equipment[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2010, 31(4): 16-18.
- [3] 陈希林, 肖明清, 王学奇. 国内外战场抢修研究的现状和发展[J]. 兵工自动化, 2006, 25(9): 14-17.
CHEN X L, XIAO M Q, WANG X Q. Status and De-

- velopment of Research on BDAR both in China and Abroad[J]. Ordnance Industry Automation, 2006, 25(9): 14-17.
- [4] LEFTWICH J, GRAFTON A P. Aircraft Battle Damage Assessment and Repair (ABDAR) Evaluation[R]. United States: United States Air Force Research Laboratory, 2003.
- [5] WELBURN S, REED S. Battle Damage Repair Techniques[M]. Cambridgeshire: Headquarters Logistics Command RAF Wyton, 1996.
- [6] DOLCE F. Battle Damage Modeling[R]. Italian: Italian Air Force, 2010.
- [7] WILLIAM P. Foster II Air Battle Damage Repair (ABDR) 2000: Will ABDR Become The Logistics Center Of Gravity By the Year 2000[R]. [s. l.]: Air War College, Air University, 1989.
- [8] REES K, SHAMESS J, HORN R, et al. Current Procedures for Assessment of BDR in Helicopters[R]. [s. l.]: Aviation Engineering Directorate (AED), 2010.
- [9] GREENWELL T A. Current Procedures for Assessment of Battle-Damage Repair of Fixed-Wing Aircraft[R]. [s. l.]: USAF Academy, 2010.
- [10] Anonymous. Recovery and Battle Damage Assessment and Repair (BDAR)[R]. Washington D C: Headquarters, Department of the Army, 2014.
- [11] SVASTA A. Possibilities of Implementation of the System of Temporary Repairs into the Maintenance System in NATO Armies[C]// 2023 International Conference on Military Technologies (ICMT). Brno: Czech Republic, 2023.
- [12] DOLCE F. Role of NDI in ABDR Assessment, Equipment & Logistics[R]. Italian: Italian Air Force Flight Test Center, 2010.
- [13] BANKOWSKI E, MEITZLER T, LANE K. Remote Battle Damage Assessment Using Sensor Fusion and 3D Imaging[R]. U.S: Army TACOM, 2004.
- [14] OSEGUEDA R A, FERREGUT C M. Large Area Inspection of Aircraft Structures Using Vibrational Nondestructive Evaluation Methods[R]. [s. l.]: FAST Center for Structural Integrity of Aerospace Systems, 2002.
- [15] Soldier's Manual and Trainer's Guide, MOS 63B, Wheeled Vehicle Mechanic, Skill Levels 1, 2, and 3[R]. Washington D C: Department of The Army, 2005.
- [16] 甘茂治. 论战场损伤评估与修复分析方法[J]. 军械工程学院学报, 1995(2): 11-14.
- GAN M Z. Analysis Methods of Battlefield Damage Assessment and Repair[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 1995(2): 11-14.
- [17] 赵汉武, 张涛, 郝明, 等. 军用飞机电气线路系统战伤模式与抢修技术[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2020, 21(5): 106-111.
- ZHAO H W, ZHANG T, HAO M, et al. Research on Damage Assessment and Rush Repair in Battlefield for Electrical Wiring System Damage Mode of Military Aircraft[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2020, 21(5): 106-111.
- [18] 姚武文, 秦宇飞, 蔡开龙. 航空发动机战伤模式及影响分析[J]. 航空维修与工程, 2009(1): 44-45.
- YAO W W, QIN Y F, CAI K L. The Analysis for the Battle Damage Mode and Influence of Aeroengine[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2009(1): 44-45.
- [19] 田冕, 黎红. 装备战场损伤评估与修复分析[J]. 机械管理开发, 2009, 24(5): 120-122.
- TIAN M, LI H. On Battlefield Damage Assessment and Repair[J]. Mechanical Management and Development, 2009, 24(5): 120-122.
- [20] 尤志锋, 石全, 刘天斌. 基于复杂性的战场损伤定位流程评价模型研究[J]. 军械工程学院学报, 2013, 25(4): 5-9.
- YOU Z F, SHI Q, LIU T B. Research on Assessment Model for Battle Damage Location Process Based on Complexity[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2013, 25(4): 5-9.
- [21] 陶贵明, 李洪儒. 导弹发射车便携式战场抢修辅助系统设计[J]. 兵工自动化, 2005, 24(2): 9-11.
- TAO G M, LI H R. Design of Portable Aid System of Battlefield Maintenance for Missile Launch Vehicle[J]. Ordnance Industry Automation, 2005, 24(2): 9-11.
- [22] 甘茂治. 战场损伤评估与修复分析及应用[C]// 中国造船工程学会修船技术学术委员会论文集. 北京: 中国船舶工程学会, 1997.
- GAN M Z. Analysis and Application of Battlefield Damage Evaluation and Repair[C]// Proceedings of the Ship Repair Technology Academic Committee of the China Shipbuilding Engineering Society. Beijing: China Shipbuilding Engineering Society, 1997.
- [23] 李田科, 于仕财, 于乐, 等. 导弹发射车战场抢修研究[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(7): 27-31.
- LI T K, YU S C, YU L, et al. Research on Battlefield Repair for Missile Launch Vehicle[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2011, 32(7): 27-31.
- [24] 赵静, 王小双. 电源装备战场抢修研究[J]. 移动电源与车辆, 2014, 45(1): 26-29.
- ZHAO J, WANG X S. Study on Battlefield Damage Assessment and Repair of Power Equipment[J]. Movable Power Station & Vehicle, 2014, 45(1): 26-29.
- [25] 张琳, 李彦彬, 邓建军. 某型导弹装填车液压系统战场损伤分析过程及应用[J]. 液压与气动, 2006, 30(10): 49-51.
- ZHANG L, LI Y B, DENG J J. Study and Application of Hydraulic System Battlefield Damage Analysis Process for One Type Missile Loader Vehicle[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2006, 30(10): 49-51.
- [26] 杨培源, 王虹旋. 舰载垂直发射装置战损分析方法研究[J]. 舰船电子工程, 2018, 38(5): 119-121.
- YANG P Y, WANG H X. Study of Battle Damage Analysis Method on Vertical Launching System on Shipborne[J]. Ship Electronic Engineering, 2018, 38(5): 119-121.
- [27] 陈常明, 丁飞, 江伟. 某车载雷达结构总体设计[J].

- 机械与电子, 2018, 36(9): 56-59.
- CHEN C M, DING F, JIANG W. System Structure Design of a Vehicle-Borne Radar[J]. Machinery & Electronics, 2018, 36(9): 56-59.
- [28] 汪君, 李正琦. 某四点支撑液压自动调平系统设计[J]. 信息系统工程, 2018(3): 38.
- WANG J, LI Z Q. Design of Hydraulic Automatic Leveling System for a Four-Point Support[J]. China CIO News, 2018(3): 38.
- [29] 褚新峰. 车载雷达自动调平与举升系统初步研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- CHU X F. Preliminary Study on Automatic Leveling and Lifting System of Vehicle-Borne Radar[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007.
- [30] 张洋铭, 韩固勇, 罗广旭, 等. 基于 DMEA 的航空地面电源车战场损伤研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(4): 126-129.
- ZHANG Y M, HAN G Y, LUO G X, et al. Battlefield Damage Research of Aerial Power Supply Vehicle Based on DMEA[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(4): 126-129.
- [31] 翟腾飞. 引入面向对象思想的 DMEA 模型研究[J]. 电子制作, 2013, 21(16): 53-54.
- ZHAI T F. Research on DMEA Model with Object-Oriented Idea[J]. Practical Electronics, 2013, 21(16): 53-54.
- [32] 姚武文, 周平, 秦宇飞, 等. 飞机系统损伤模式及其影响分析研究[J]. 机电产品开发与创新, 2012, 25(2): 24-25.
- YAO W W, ZHOU P, QIN Y F, et al. Study on DMEA of Airplane System[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2012, 25(2): 24-25.
- [33] 陈海松, 陈俊, 钟冠, 等. 工程装备战场损伤模式及抢修新技术[J]. 四川兵工学报, 2009, 30(12): 27-30.
- CHEN H S, CHEN J, ZHONG G, et al. Battlefield Damage Mode of Engineering Equipment and New Repair Technology[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2009, 30(12): 27-30.
- [34] 唐后栋, 马振利. 油料装备战场损伤等级评定[J]. 舰船电子工程, 2018, 38(8): 133-136.
- TANG H D, MA Z L. Evaluation of Battlefield Damage Grade for Petroleum Oil and Lubricant Equipment[J]. Ship Electronic Engineering, 2018, 38(8): 133-136.
- [35] 曾拥华, 严骏, 冯柯, 等. 装备战场损伤等级评定系统分析与设计[J]. 兵工学报, 2005, 26(4): 531-534.
- ZENG Y H, YAN J, FENG K, et al. Analysis and Design of Assessment System for Damage Degree of Equipment on Battlefield[J]. Acta Armamentarii, 2005, 26(4): 531-534.
- [36] 李传梁. 装备的战场抢修[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(4): 102-103.
- LI C L. Battlefield Repair of Equipment[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2008, 29(4): 102-103.
- [37] 吕茂庭, 车建国, 丁琳宁. 基于损伤树的装备战场损伤评估研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2011, 29(5): 26-29.
- LV M T, CHE J G, DING L N. Study of Battlefield Damage Assessment of Equipment Based on Damage Tree[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2011, 29(5): 26-29.
- [38] 王润生, 贾希胜. 基于损伤树模型的战场损伤评估研究[J]. 兵工学报, 2005, 26(1): 72-76.
- WANG R S, JIA X S. Damage Tree Model Based Battlefield Damage Assessment[J]. Acta Armamentarii, 2005, 26(1): 72-76.
- [39] 兰国辉, 金良安, 刘文正. 舰船损管系统的损伤树分析原理与评估方法[C]// 2009 航海技术理论研究论文集. 上海: 中国航海学会, 2009.
- LAN G H, JIN L A, LIU W Z. Damage Tree Analysis Principle and Evaluation Method of Ship damage control system [C]// 2009 Proceedings of Navigation Technology Theory Research. Shanghai: China Institute of Navigation, 2009.
- [40] 王润生, 贾希胜, 刘利. 战场损伤评估中的广义损伤树知识表示方法[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(11): 1377-1380.
- WANG R S, JIA X S, LIU L. Generalized Damage Tree Knowledge Representation Method for the Intelligent Damage Assessment[J]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25(11): 1377-1380.
- [41] 刘建军, 朱元景. 某型火箭炮插拔机构战场损伤分析技术[J]. 舰船电子工程, 2012, 32(7): 107-109.
- LIU J J, ZHU Y J. Technology of Battlefield Damage Analysis of Insert-Draw Mechanism in a Certain Type of Long-Range Rocket Launcher[J]. Ship Electronic Engineering, 2012, 32(7): 107-109.
- [42] 左浩, 马亮, 刘博. 鱼雷发射装置空发系统战损分析[J]. 鱼雷技术, 2006, 14(5): 51-53.
- ZUO H, MA L, LIU B. Battlefield Damage Analysis of Air Launching System of Submarine Torpedo Launcher[J]. Torpedo Technology, 2006, 14(5): 51-53.
- [43] 周建平, 张鹏飞, 曹银. 简易控制火箭子母弹战场损伤分析技术[J]. 兵工自动化, 2010, 29(10): 32-34.
- ZHOU J P, ZHANG P F, CAO Y. Battlefield Damage Analytical Technique of Rocket Cargo Projectile[J]. Ordnance Industry Automation, 2010, 29(10): 32-34.
- [44] 王广彦, 胡起伟, 杨云光. 损伤树分析方法中的关键问题研究[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(10): 2547-2552.
- WANG G Y, HU Q W, YANG Y G. Research on Key Problems in Damage Tree Analysis[J]. Systems Engineering and Electronics, 2009, 31(10): 2547-2552.
- [45] 郑晓亚, 陈彦, 陈京生, 等. 导弹装备战场抢修交互式电子技术手册的制定[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(8): 161-163.
- ZHENG X Y, CHEN Y, CHEN J S, et al. Enactment of Interactive Electronic Technical Manual on Missile Equipment Battlefield First-Aid Repair[J]. Fire Control & Command Control, 2017, 42(8): 161-163.