

某型地面武器系统严寒地区保障问题 与对策研究

甄伟¹, 赵涛², 宗健¹, 魏长亮¹

(1. 92212 部队, 山东 青岛 266000; 2. 93688 部队, 天津 300000)

摘要:目的 破解特殊自然环境影响产生的某型地面武器系统保障难题。方法 根据历史故障情况,采用 FMEA (Failure Mode Effect Analysis, 故障模式影响分析) 进行低温影响分析,采用 Pearson 相关系数法分析低温与武器系统故障关系,应用回归分析进行严寒条件下装备故障情况预测。结合实际应用情况,全面系统总结该型地面武器系统在严寒条件下,使用和保障过程中可能出现的技术准备、性能指标、信息体系构建、伪装防护、维修保障相关问题。结果 得出某型地面武器系统低温情况下故障数量与温度负相关的结论,且预测在严寒条件下该型武器系统故障数量将大幅上升。通过总结保障经验,有针对性地提出了配置地域、物资筹措、安全运输、维护保障、维修训练等方面的对策措施。结论 根据作战任务的等级转换、机动输送、战前集结、战斗抗击和战后总结等环节,提出装备保障流程建议,以提高严寒地区某型地面武器系统保障效能。

关键词: 严寒地区; 装备保障; 故障; 环境温度; 预测

中图分类号: TJ81 文献标识码: A 文章编号: 1672-9242(2023)07-0017-07

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2023.07.003

Support Problems and Countermeasures of a Certain Ground Weapon System in Frosty Region

ZHEN Wei¹, ZHAO Tao², ZONG Jian¹, WEI Chang-liang¹

(1. 92212 Troop, Shandong Qingdao 266000, China; 2. 93688 Troop, Tianjin 300000, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the support problems of a certain ground weapon system caused by the special natural environment. FMEA (Failure Mode Effect Analysis) method was used to analyze the effect of low temperature according to history data. Pearson Related-Coefficient Method was adopted to analyze the relationship between low temperature and equipment system failure. Regression Analysis was used to forecast the number of equipment failures in frosty region. Based on actual applications, a comprehensive and systematic summary was conducted on the technical preparation, performance, information system construction, camouflage protection, and maintenance support problems which may occur during the operation and support process of the ground weapon system under severe cold conditions. The number of failure was positively correlative with temperature, and it was predicted that the number of weapon system failures increased greatly under severe cold conditions.

收稿日期: 2022-10-30; 修订日期: 2022-12-22

Received: 2022-10-30; Revised: 2022-12-22

作者简介: 甄伟 (1979—), 男, 硕士。

Biography: ZHEN Wei (1979 -), Male, Master.

引文格式: 甄伟, 赵涛, 宗健, 等. 某型地面武器系统严寒地区保障问题与对策研究[J]. 装备环境工程, 2023, 20(7): 017-023.

ZHEN Wei, ZHAO Tao, ZONG Jian, et al. Support Problems and Countermeasures of a Certain Ground Weapon System in Frosty Region[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(7): 017-023.

Through the summary on support experience, the countermeasures about deployment, material financing, safe transportation, maintenance support, maintenance training, civil-military integration were put forward. The equipment support process is proposed according to the operational task links about change of combat readiness condition, maneuver, assembly, combat, summary so as to improve the support efficiency of the ground weapon system in frosty region.

KEY WORDS: frosty region; equipment support; failure; environmental temperature; forecast

“严寒地区”定义为最冷月平均气温低于 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地区,包括终年严寒地区和季节性严寒地区^[1]。我国的东北大部、西北、华北部分地区等地属严寒地区^[2]。严寒地区战场环境特点为气温低、风雪大、积雪深、冻土层厚,气温最低达 $-35\sim-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。刮风后,路面易形成雪障,江河封冻,冻土层厚达2 m左右,且冻土坚硬。严寒地区居民点稀疏,车行道较少。某型地面武器系统在部队拓展的使命任务中,有可能听令机动部署至严寒地区开展作战行动,因而进行严寒条件下其装备保障问题研究,消除或减弱气候条件对装备运行及其保障活动的影响^[3],对于确保部队作战任务的圆满完成,有着十分重要的现实意义和军事价值。

1 严寒地区某型武器系统故障模式与影响分析

某型武器系统在设计时,具备在严寒条件下工作的能力。在实际使用中,搜集整理该型武器系统相关故障,对于典型的装备故障模式和保障影响,以FMEA的功能法^[4]进行分析。

1.1 某型武器系统功能及故障严酷度

根据武器系统研制总要求及技术说明书,某型武器系统应具备如下主要功能:在一定范围内探测某型目标;在一定范围内打击某型目标;具备快速机动部署能力;可融入上级作战体系。

参照文献[5],依据相关故障后果损失程度,将故障严酷度分为4类:Ⅰ类为灾难性故障,可能造成人员伤亡或武器系统毁坏;Ⅱ类为严重的故障,可能使武器系统工作失效;Ⅲ类为一般性故障,可能使武器系统性能下降;Ⅳ类为轻度的故障,不影响武器系统工作,但需要维修。

1.2 严寒地区某型武器系统历史典型故障及影响

某型武器系统在温度降低时,底盘故障率受影响明显,且装载的装设备发生故障风险有所增加,常见故障及低层级影响有:

1) 当环境温度低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,车辆启动困难,易出现启动后自熄火,严寒条件下,部分车型启动预热器功能发挥不好,甚至无法启动。

2) 油液性能。低温使润滑油/脂黏度线性增大直至冻结,导致传递机构摩擦增大、转动困难^[6],机械部件更易磨损。燃油如选用标号不当,易发生析蜡现象,堵塞油路,燃油中添加抗凝剂剂量不易把握,且后续处理困难。液压油中的水分易凝结,导致液压阀卡死或滤油网堵塞。

3) 严寒条件下橡胶/塑料件收缩变硬发脆,密封效果变差,易产生漏气漏油断裂现象^[7]。

4) 部分装备车辆驾驶室车门锁舌僵硬,锁不上、打不开的情况频发。

5) 蓄电池性能下降。低温导致蓄电池内部的电解质不平衡,影响蓄电池的充放电能力、使用寿命等。在低温下,蓄电池容量下降甚至达30%^[8]。

6) 寒冷条件下导致装备部分裸露部位容易上冻,增加装备表面湿度,容易造成生锈^[9],从而影响装备动作顺畅性,造成卡滞。

7) 天线升降、旋转过程中,由于润滑效果降低,丝杠运转不顺畅,可能导致驱动电机电流增大,烧毁保险。

8) 沿海地域冬季急剧降温时易起雾,会导致装备内部湿度过高,在高低温作用下产生凝露,从而易导致高频设备管体过流、电子元件短路等故障。如不及时除湿去潮,在装备开机使用时存在安全隐患,频繁开关舱门也可能造成类似故障。

9) 低温可能引起电子元器件参数发生漂移^[10],导致装备参数不稳,或由于焊点脱焊,造成接触性问题。对指挥所自动化设备也有所影响,例如舱内未加温情况下液晶显示屏失效、通信设备接触器动作迟缓或不动作等问题发生^[11]。

10) 通信线路稳定差。线缆在严寒条件下变脆、易裂,抗拉断力大大下降,大风、固定少、放线过紧都易造成断线。

11) 空调排水口易结冻,堵塞管路,进而影响工作。

12) 低温与环境腐蚀共同作用,易导致在兵器发射过程冲击作用下管路开裂^[12-13]。

13) 金属部件的润滑脂遇冷变硬,导致润滑不到位,使得活动机件运动缓慢。金属受猛力撞击,容易由于变脆损坏机件。

根据武器系统主要功能和等级转换、机动输送、战前集结、战斗抗击和战后总结的作战任务剖面^[14-15],结合低温造成装备典型故障情况,建立系统级FMEA表,见表1。

表1 严寒地区某型武器系统 FMEA 表
Tab.1 FMEA of a certain weapon system in frosty region

层级	作战任务	功能及工作方式	故障	故障可能影响	严酷度
武器系统级	等级转换	装备撤收			
	机动输送	装备机动	(1)(2)(3)(4)(5)	机动可能延误	Ⅲ, Ⅳ
	战前集结	装备展开	(6)(7)(8)	展开时间延长	Ⅲ, Ⅳ
		信息体系构建	(9)(10)	与上级通联不畅	Ⅱ
	战斗抗击	探测目标	(7)(8)(11)	临战故障	Ⅱ, Ⅳ
		打击目标	(12)(13)	火力不延续	Ⅱ, Ⅳ
战后总结	装备撤收				

1.3 严寒地区对于某型武器系统作战使用其他影响

在进行驻地寒冷季节某型武器系统历史典型故障影响分析的基础上,针对该型装备作战使用的特殊性,进一步区分技术准备、作战性能、信息体系构建、伪装机动、维修保障等要素对该型武器系统使用保障进行分析。

1.3.1 技术准备

该型武器系统占领阵地展开过程中,除开机自检外,在前期的技术准备工作中还包括拆除护衣、接地连接、支撑调平、取力供电、设备加电等诸多工作。在严寒条件下时,由于人员动作受穿着、温度的影响,动作速度降低,且装备需加温,从而导致技术准备时间延长,影响武器系统战斗准备时间这一指标,该型装备性能说明中严寒条件下准备时间延长 50%以上。另外,该型地面武器系统接地电阻限制较严格,进行临时接地操作时,由于严寒地区冻土层的影响,接地桩入地困难,准备时间有一定延长。接地电阻受环境因素的影响也较大,根据文献[16]研究结论,温度是气象因素中对平均接地电阻影响回归模型中的重要因素。随着温度降低,接地电阻呈上升趋势,因而在严寒地区武器装备技术准备中,快速降低接地电阻问题将是作战技术准备需解决的重要难题。

1.3.2 作战性能

作战性能方面存在以下问题:

1) 侦察难度增加,严寒伴随雾霾及风雪天气增多,能见度降低。光电系统在风雪雨雾影响下,光学跟踪距离受到极大影响,激光测距仪也将难以正确测量目标,严重时甚至无法使用。

2) 测量设备精度受影响。低温天气对寻北仪、方向盘等测量设备性能有一定影响,影响标定、标校等精确作业的准确度。

3) 严寒条件下使用时,经记录数据分析,该型武器系统个别参数已接近使用指标上限。

1.3.3 信息体系构建

在进行现代作战信息体系构建中,需完成各信息终端的有效连接。信息通联达成易出现以下 3 类问题:

1) 速度慢。人员穿着较多,行走不便,撤收换盘接线慢。在正常气温下,架设线缆与在严寒下同样工作,时间指标差距接近 50%。

2) 需求高。光纤熔接机在环境温度低于 5℃时损耗大,低温时熔接温差大,易出现气泡或炸纤,低于-20℃时不工作,需在室内或常温下进行。

3) 无线通联时,雾霾、降雪天气均对通信质量有一定的影响。

以上问题导致信息体系构建速度慢、信息通联问题频出。

1.3.4 伪装机动

1) 隐蔽伪装方面。雪地行驶装备车辙比较明显,不便于隐蔽行动企图。车辆工作温度高,易被敌红外侦察手段发现。现有伪装网缺少适应相应地理环境的色彩,雪地伪装不易掌握,伪装效果不好。

2) 机动输送方面。冰雪路面防空装备行驶困难,机动速度慢,刹车距离延长。采取铁路输送方式时,严寒地区铁路货场通常空间较小,严重制约梯队卸载进度,且行军加固器咬合紧密,有冻结粘连现象,影响装备单车卸载时间^[17]。

1.3.5 维修保障

1) 维修可达性下降。人员着装增厚,行动不便,操作的速度和精度均受到一定影响。底盘维修时,由于着装影响,原可达部位可能受限制。登高维修时,严寒条件下金属表面结冰结霜现象增多^[18],容易发生人员坠落、设备仪表跌落等问题。

2) 平均修复时间上升。由于环境温度的影响,人员动作相对迟缓,戴手套操作工具不便,使得故障修复速度变慢。

3) 支援保障获取难度上升。由于严寒地区普遍经济不发达,人员密集度低,从而导致获取地方支援的水平大幅降低^[19],装备承制厂前出支援保障难度大,前送部件、支援人员到达时间大幅提高。

2 严寒地区某型武器系统故障情况预测

鉴于该型武器系统当前无严格意义“严寒条件

下”装备故障数据，搜集整理相关地区部分使用故障情况^[20]，采用统计分析和数据拟和方法，对严寒条件下装备故障情况进行预测。

2.1 某型地面武器系统故障与温度相关性分析

相关研究^[21-22]表明，环境温度对于装备故障有较大影响，各种环境要素引起的装备故障分布如图1所示。为针对性地分析低温对该型装备故障的影响情况，运用相关分析方法进行温度情况与故障数据之间关系判断。某地区各月份平均温度情况，如图2所示。

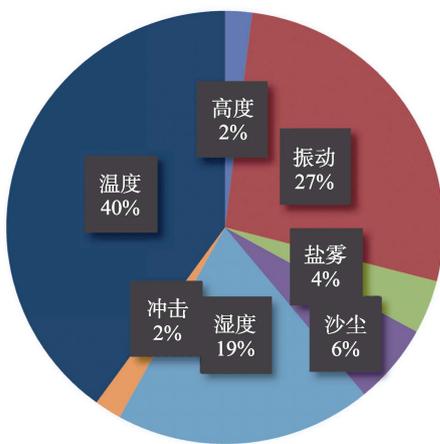


图1 环境引起的装备故障统计
Fig.1 Statistics of equipment failures caused by the environment

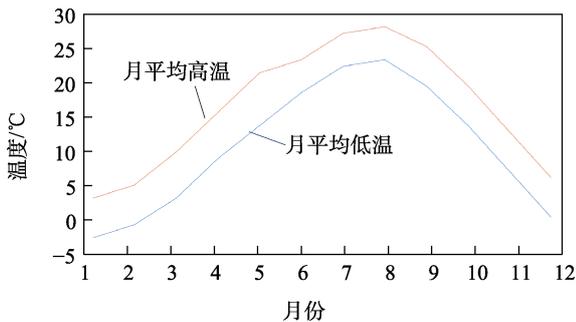


图2 相关地区各月份温湿度情况
Fig.2 Monthly temperature and humidity in relevant regions

根据历史装备故障情况，以散点图形式描述出历年内某型地面武器系统各型车辆不同月份平均累积故障数（相关数据经脱密处理）与温度分布如图3所示。

以平均气温低于 0 °C 为寒冷标准、平均气温超过 25 °C 为炎热标准，进行低温影响分析时，剔除高温月份故障数据，使用 SPSS 软件，Pearson 相关系数法^[23]进行简单相关分析：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

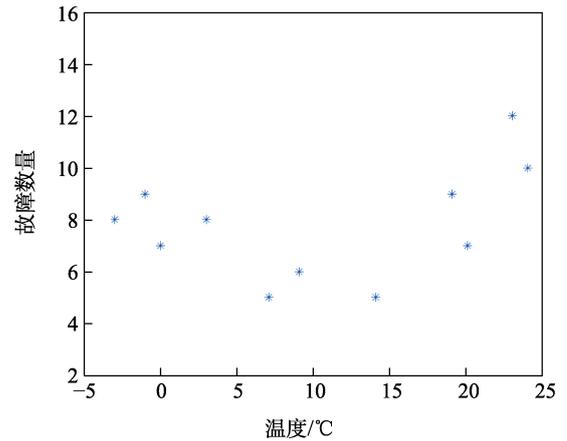


图3 不同环境温度下某型装备累积故障数量
Fig.3 Accumulated number of failures for a certain equipment under different environmental temperature

式中： r 为相关系数； X 、 Y 为需进行分析的变量，相关系数在+1~-1，+1 表示完全正相关，-1 表示完全负相关，0 表示无线性相关性。使用 SPSS 软件相关性分析时，若选择 Spearman 相关检验方法，勾选显著性检验“双尾检验”，可衡量相关性检验的置信度，但其相关性计算结果不直观，因而未选用。

相关性分析可得如下结论：该型武器系统在低温情况下的故障数量与温度负相关，在-1 至 1 区间取值的相关系数为-0.344，存在一定的相关性。

2.2 某型武器系统故障情况与温度回归分析

使用 SPSS 软件对该型武器系统的故障情况与温度进行回归分析，因温度存在零值和负值，无法应用逆模型、S 模型、对数模型等计算，因而使用二次模型进行拟合，如图4所示。

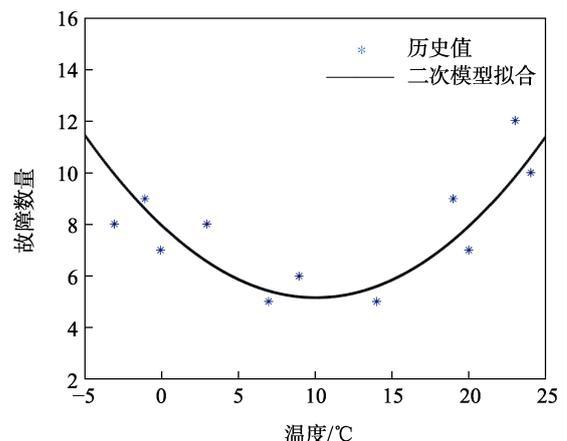


图4 某型武器系统故障与低环境温度二次回归模型
Fig.4 A quadratic regression model for failure and low environmental temperature of a certain weapon system

以此模型进行预测，该型武器系统在严寒环境下，故障与低环境温度预测曲线如图5所示。在严寒条件，即-15 °C 严寒环境温度下，该型武器系统多型

车辆平均月累积故障数约 23 个,其他武器装备在应用中也有类似问题^[24]。吸取相关故障经验,应在平常备件基数基础上,对照某型武器系统典型故障模式,加大备件准备数量。由拟合模型可知,该型武器系统在 5~15 °C 时的装备故障率相对较低,因而选择作战地域时应有所侧重。在外部环境无法改变的情况下,应加强温度控制,保证舱内温度工作于适宜状态。相对温区地域作战,寒区作战时应减少舱门开关,以保证舱内温度和湿度。

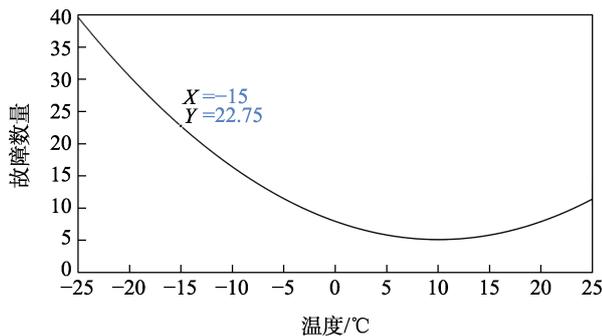


图5 某型武器系统故障与低环境温度预测曲线
Fig.5 Prediction curve of failure and low environmental temperature for a certain weapon system

3 严寒地区装备保障工作对策措施

由影响分析可以看出,温度因素影响该型武器系统的维修保障、作战使用等多个环节,导致装备完好率下降、作战准备时间延长、机动和信息体系构建难度加大。为有效应对,结合装备训练和保障工作实际,提出如下对策措施。

1) 正确选择装备保障力量配置地域。保障力量配置地点应选择向阳、避风、不易窝雪的适当地点,但要避开雪崩、雪陷。为便于防寒取暖,保障力量配置位置也可分散、隐蔽地利用小居民点和森林。机动装备保障力量需科学编组,合理选择配置地域,不断提高动态综合保障能力,着重加强战场装备保障物资筹措、前送的训练,以快供快修为根本,提高装备维修保障的针对性、时效性。

2) 做好防寒物资的筹措和供应。针对作战地域的温度情况,全面筹措各种机械、车辆、武器的冬用油料,防滑链、烤车用具、降阻剂等物资器材。特别是平时较少储备的寒区用油液,根据武器系统使用与维护说明书、《军用车辆润滑油系列及选用导则》^[25]等进行筹措。降低地阻可考虑使用钻孔机开挖坑洞,降阻剂选用凝胶型高效降阻剂,或使用地阻网进行降阻。携行备件方面,需携带装备受冻后易损的油管,对无法携行和采购的易冻损油管采取包裹保温层的方法减小损坏率;换装并携带低温蓄电池;携带部分高低压滤网、液压阀等部件;提高易损电子元件、橡

胶/塑料部件、开合部件等的携行数量,确保故障后可及时维修。

3) 克服冰雪障碍,保障安全运输。为保障运输畅通,在组织机动时,需注意运用原有道路,装配防滑器材,随车携带牵引绳和锹镐,克服路滑、雪障的影响,以便准时到达集结地点。在冰雪路面行进时,车辆时速通常限制在 25 km 以下,车辆间距应大于 50 m,且机动行军应采取多梯队小编队方式行进。进行铁路装卸载时,备用手持便携喷枪,当行军固定器冻结时,可短时加温以便于操作。

4) 加强装备日常维护保养。对官兵开展使用和维修武器、车辆、装备器材的常识教育,配合部队采取有效措施。武器及时擦拭,清除油垢,薄涂冬用油。光学器材避免放在过热的地方,防止生霉起雾、破坏密封。雷达、仪器、油机要有保暖措施。车辆停放在掩体内或避风雪处,注意检查保养,严格防冻措施,防止冻坏。为确保可随时机动或作战使用,每 2~3 h 发动车辆 1 次。降雪后,应及时清除车厢顶棚上的积雪。抽拉组合和检验维护电缆时,不要过分弯曲和扭转电缆,防止损伤。对于包装好的器材,开封时需要预防温差导致的凝露。

5) 针对性进行维修训练准备。强化装备保障分队建设,从人员、装备、设备、器材等方面提前配齐配强,并组织装备保障分队在低温条件下突出“供、救、修”等专业训练,在保证防人员冻伤前提下,逐步加长训练时间,强化室外耐寒维修作业的适应性,提升严寒条件下装备应急维修保障水平。

6) 充分利用地方资源开展保障。在开展阵地勘察时,将地方保障资源一并纳入勘察内容,提前与作战地域周边地方车辆修理厂、高速救援力量进行协调,了解相关地域常见故障、所需备件,以便于在严寒地域突发故障时,沟通前送相关通用保障物资。与装备承制厂、军内修理厂、友邻部队建立可靠联系,在装备保障方面实现通装统保、同装互保。

4 结语

武器系统设计时,适用环境温度通常都经过严格的论证和试验^[26],但是在实际使用时,由于自然和地理环境的影响,存在着一定的具体问题与困难。论文通过历史数据分析得出某型装备与温度负相关的结论,并预测出平均月累积故障数,需加强维修备件的储备。此外,严寒地区环境特点将在该型武器系统技术准备、作战性能、信息体系构建、伪装机动等方面产生一定影响,相关对策可在一定程度上给部队赴严寒地区执行任务提供参考。

在前文分析和提出的对策措施基础上,为避免部队接到任务忙乱情况出现,根据作战任务剖面,进一步提出相关流程建议如下。

1) 等级转换阶段。受领任务后, 结合严寒地区气候特点, 提出保障建议, 拟制严寒地区装备调整补充及维修保障方案。按严寒地区要求, 组织装备检修、维护保养。积极向上级请领制式防寒器材, 就地就便采购通用防寒物资。认真开展严寒地区装备操作使用注意事项教育, 开展临战训练。

2) 机动输送阶段。根据作战任务, 加强装备防寒防滑加固处理, 做好易冻、易损设备的防寒包扎, 定时检查裸露部分, 防止积雪结冰。认真组织道路现地勘察, 制作“路书”, 对于重点地段进行标注或在现地设置醒目标志。严密组织机动行军, 特殊地理及气候环境下, 加强现场指挥, 及时处置车辆故障和突发情况。

3) 战前集结阶段。合理选择集结地域, 确保满足隐蔽、便于伪装和机动转移等要求。加强装备检查与维护, 组织开设野战临时修理点, 派出技术保障分队进行巡回检查, 周密安排装备维护保养, 检查装备除霜擦拭、烘干除湿等工作落实。

4) 战斗抗击阶段。及时掌握装备展开部署位置, 了解装(设)备、器材物资损耗情况, 拟制并执行调整补充计划。严密监控装备运行状态, 定期清理装备外露部分的积雪结冰, 经常检查线缆连接情况, 做好装备应急抢修, 及时向上级报告装备战损、故障情况, 加大装备技术保障力量对装备巡回检查频率, 综合利用换件、拆拼等方法, 对战损、故障装备进行应急抢修。

5) 战后总结阶段。梳理总结装备作战情况, 上报装备战损, 及时请领补充消耗的物资器材, 后送无法修复装备。严密组织装备维护保养, 认真进行装备性能检测、除尘驱潮等工作。如转入室内存放, 应及时擦除装(设)备表面凝水, 防止受潮锈蚀。结合下一阶段作战任务, 科学评估装备器材现状, 及时提出装备器材调整补充计划。

参考文献:

- [1] 全军军事术语管理委员会, 军事科学院. 中国人民解放军军语[M]. 北京: 军事科学出版社, 2011.
Military Terminology Management Committee, Military Academy of Sciences. PLA Military Terms[M]. Beijing: Military Science Press, 2011.
- [2] 杨森, 张凯, 乔英峰, 等. 严寒环境对军用飞机的影响及预防措施[J]. 装备制造技术, 2012(10): 267-268.
YANG Sen, ZHANG Kai, QIAO Ying-feng, et al. The Influence and Precautionary Measures of Frosty Natural Environment on Military Aircraft[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2012(10): 267-268.
- [3] 张大鹏, 王凤忠, 谢鑫鹏. 严寒条件下装备保障问题研究[J]. 物流技术, 2023, 42(2): 135-137.
ZHANG Da-peng, WANG Feng-zhong, XIE Xin-peng. Research on Equipment Support in Severe Cold Condi-
- [4] 宋庭新, 韩国晨. 基于预防性维修的舰船装备等级修理决策系统研究[J]. 中国机械工程, 2022, 33(4): 496-503.
SONG Ting-xin, HAN Guo-chen. Research and Development for Preventive Maintenance-Based Ship Grade Repair Decision-Making Systems[J]. China Mechanical Engineering, 2022, 33(4): 496-503.
- [5] 夏亮, 杨江平, 刘泽峰, 等. 大型相控阵雷达安全性设计研究[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(4): 40-46.
XIA Liang, YANG Jiang-ping, LIU Ze-feng, et al. Safety Design of Large Phased Array Radar[J]. Fire Control & Command Control, 2020, 45(4): 40-46.
- [6] 张磊, 赵焱明, 慕连好, 等. 低温条件下大功率分动器润滑系统改进设计与试验研究[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(9): 7-11.
ZHANG Lei, ZHAO Yan-ming, MU Lian-hao, et al. Improved Design and Experimental Study of High Power Transfer Case Lubrication System under Low Temperature[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2018, 39(9): 7-11.
- [7] 潘锋, 彭立群, 林达文, 等. 低温和频率对橡胶弹性元件刚度性能的影响[J]. 橡胶工业, 2020, 67(5): 323-329.
PAN Feng, PENG Li-qun, LIN Da-wen, et al. Influence of Low Temperature and Frequency on Stiffness of Rubber Elastic Components[J]. China Rubber Industry, 2020, 67(5): 323-329.
- [8] 刘亨杰, 白文斌, 石靖. 高原低温环境对电站蓄电池的性能影响及对策研究[J]. 移动电源与车辆, 2021, 52(3): 40-42.
LIU Heng-jie, BAI Wen-bin, SHI Jing. Study on the Influence of Plateau Low Temperature Environment on the Performance of Power Station Battery and Its Countermeasures[J]. Movable Power Station & Vehicle, 2021, 52(3): 40-42.
- [9] GB/T 19292.1—2018, 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第1部分: 分类、测定和评估[S].
GB/T 19292.1—2018, Corrosion of Metals and Alloys—Corrosivity of Atmospheres—Part 1: Classification, Determination and Estimation[S].
- [10] 雷芸, 邱云峰. 基于温度变化的电子元器件参数响应研究[J]. 计算机与数字工程, 2015, 43(1): 155-158.
LEI Yun, QIU Yun-feng. Parameter Changes of Electron Components Based on Temperature Variation[J]. Computer & Digital Engineering, 2015, 43(1): 155-158.
- [11] 孙青. 电子元器件可靠性工程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
SUN Qing. Reliability Engineering of Electronic Components[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.
- [12] 杨波, 俞少行, 井建鑫, 等. 滨海发射场低温管路法兰连接螺栓环境腐蚀断裂失效机理[J]. 装备环境工程, 2021, 18(9): 86-92.
YANG Bo, YU Shao-xing, JING Jian-xin, et al. Failure Mechanism of Environmental Corrosion and Fracture of

- Flange Connection Bolts of Low-Temperature Pipelines in Coastal Launch Site[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2021, 18(9): 86-92.
- [13] 明卫平, 张怡悦, 王传志, 等. 不锈钢截止阀波纹管组件腐蚀开裂失效分析[J]. *表面技术*, 2016, 45(2): 28-33. MING Wei-ping, ZHANG Yi-yue, WANG Chuan-zhi, et al. Failure Analysis of Corrosion Cracking of Bellows Subassembly in Stainless Steel Sealed Valves[J]. *Surface Technology*, 2016, 45(2): 28-33.
- [14] 鲁斌. 严寒条件下地面电子对抗装备的使用管理[J]. *设备管理与维修*, 2020(6): 5-6. LU Bin. Use and Management of Ground Electronic Countermeasures Equipment under Severe Cold Conditions[J]. *Plant Maintenance Engineering*, 2020(6): 5-6.
- [15] 杨清熙, 宣兆龙, 李天鹏, 等. 舰载航空弹药贮存环境分析[J]. *兵器装备工程学报*, 2021, 42(10): 137-143. YANG Qing-xi, XUAN Zhao-long, LI Tian-peng, et al. Analysis for Carrier-Based Aerial Ammunition Storage Environment[J]. *Journal of Ordnance Equipment Engineering*, 2021, 42(10): 137-143.
- [16] 黄强. 野外条件下装备接地电阻分析及降低方法[J]. *现代信息科技*, 2023, 7(5): 64-67. HUANG Qiang. Resistance Analysis and Reducing Method of Equipment Ground in Field Conditions[J]. *Modern Information Technology*, 2023, 7(5): 64-67.
- [17] 刘利国. 严寒条件下车辆装备铁路输送的快速卸载[J]. *科技创新导报*, 2018, 15(12): 67-68. LIU Li-guo. Rapid Unloading of Railway Transportation of Vehicle Equipment under Severe Cold Conditions[J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2018, 15(12): 67-68.
- [18] 田静, 朱汗青, 裴超毅, 等. 某型舟桥装备驾驶室采暖除霜改进[J]. *装备环境工程*, 2019, 16(9): 105-108. TIAN Jing, ZHU Han-qing, PEI Chao-yi, et al. Improvements of a Certain Pontoon Bridge Cab's Frosting and Heating System[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2019, 16(9): 105-108.
- [19] 刘增勇, 刘建华, 刘俊杰, 等. 高原高寒边境地区装备保障战场建设[J]. *军事交通学院学报*, 2015, 17(10): 18-21. LIU Zeng-yong, LIU Jian-hua, LIU Jun-jie, et al. Equipment Support Battlefield Construction in Plateau Cold Border Areas[J]. *Journal of Military Transportation University*, 2015, 17(10): 18-21.
- [20] 刘威, 薛雪东, 王品. 高原高寒战场环境下某型导弹武器系统保障研究[J]. *科技风*, 2018(8): 191-193. LIU Wei, XUE Xue-dong, WANG Pin. Research on the Support of a Missile Weapon System in Plateau Cold Battlefield Environment[J]. *Technology Wind*, 2018(8): 191-193.
- [21] 王威, 张多林. 温度因素对地空导弹武器装备的影响与相关防护研究[J]. *装备环境工程*, 2006, 3(6): 41-44. WANG Wei, ZHANG Duo-lin. Effect of Temperature on the Anti-Air Missile Weapon System and the Shielding Technology[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2006, 3(6): 41-44.
- [22] 程鹏斌, 卢阳, 马英. 加速寿命试验在弹载电子设备寿命试验中研究及应用[J]. *环境技术*, 2018, 36(3): 7-10. CHENG Peng-bin, LU Yang, MA Ying. Study and Application of Accelerated Life Test in Life Test of Missile Electronic Equipment[J]. *Environmental Technology*, 2018, 36(3): 7-10.
- [23] 薛薇. 统计分析与 SPSS 的应用[M]. 4 版. 北京: 中国人民大学出版社, 2014. XUE Wei. *Statistical Analysis and SPSS Application*[M]. 4th ed. Beijing: China Renmin University Press, 2014.
- [24] 刘学斌, 丁光雨, 郑兴帅, 等. 武器装备典型故障和环境效应统计分析[J]. *装备环境工程*, 2022, 19(4): 46-53. LIU Xue-bin, DING Guang-yu, ZHENG Xing-shuai, et al. Statistical Analysis of Typical Faults and Environmental Effects of Weapons and Equipment[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2022, 19(4): 46-53.
- [25] 粟斌, 陈德友, 黄书琴, 等. 军用车辆润滑油脂系列标准简介[J]. *润滑油*, 2000, 15(1): 56-59. SU Bin, CHEN De-you, HUANG Shu-qin, et al. Brief Introduction of Series Standard of Military Automobile Lubricant Grease[J]. *Lubricating Oil*, 2000, 15(1): 56-59.
- [26] 张晶, 郭定, 杨国光. 武器装备发展战略概述[J]. *火力与指挥控制*, 2009, 34(9): 1-5. ZHANG Jing, GUO Ding, YANG Guo-guang. A Brief Account of our Army Weapon Equipment Development Strategy[J]. *Fire Control and Command Control*, 2009, 34(9): 1-5.

责任编辑: 刘世忠