

某型装备载车系统维修性人机工程设计研究

邓博¹, 甄伟², 薛慧聪¹, 刘帼君¹

(1.青岛工学院 机电工程学院, 山东 青岛 266300; 2.92212 部队, 山东 青岛 266002)

摘要: **目的** 某型装备载车系统为依据机动使用要求设计的特种车辆, 为契合任务需要, 在一定程度上提高其使用可用度, 针对其维修性需求进行分析。**方法** 通过建立以维修性核心评价指标为中心的人机工程设计参数体系, 确定“简化及模块化设计、良好的可测试性及可达性、具有完善的防差错和识别标记的设计、保证维修的安全性”等人机工程设计原则, 并对常用系统建模方法, 如 PETRI 网、IDEF、UML 和 eEPC 等进行比较, 选用事件驱动过程链 (eEPC) 方法进行建模。**结论** 通过收集统计该型装备载车系统试验及试用阶段维修性相关数据, 运用 eEPC 的流程模型开展针对性的分析与讨论, 提出对其维修性人机工程设计改进的措施与建议, 实现缩短其预防性维修时间、修复性维修时间, 提高应急响应速度和装备任务可靠性。

关键词: 维修性; 人机工程; 事件驱动过程链

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)12-0111-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.12.011

Maintainability Ergonomic Design of a Certain Type Equipment Loaded Vehicle System

DENG Bo¹, ZHEN Wei², XUE Hui-cong¹, LIU Guo-jun¹

(1.Department of Mechanical Engineering, Qingdao Institute of Technology, Qingdao Shandong 266300, China; 2.Unit 92212, PLA, Qingdao Shandong 266002, China)

ABSTRACT: A certain type of equipment-loaded vehicle system is a special vehicle designed according to the operating requirements of motor vehicles. The work aims to meet the demand of missions and tasks, improve its availability to a certain extent, and analyze its maintainability requirements. An ergonomic design parameter system focusing on the core evaluation index of maintainability was established. Ergonomic design principles such as "simplified and modular design, good testability and accessibility, perfect error prevention and identification mark design, and ensuring the safety of maintenance" were determined. Common system modeling methods, such as Petri net, IDEF, UML and eEPC were compared. The event driven process chain (eEPC) method was selected for modeling. Collecting and counting the maintainability related data in the test and trial stage of this equipment-loaded vehicle system, deploying targeted analysis and discussion through the eEPC process model, and giving measures and suggestions for the improvement of its maintainability ergonomic design can shorten the preventive maintenance time and repair maintenance time, and speed up emergency response and improve mission reliability.

KEY WORDS: maintainability; ergonomics; event driven process chain (EPC)

装备的载车系统是保障快速反应、远程机动的基础, 对使用单位提高应急响应速度和装备任务可靠性有着至关重要的作用。区别于一般运输车辆保障, 装备载车系统有着与装备整体一体化设计、维修关联性

强、维修时限要求高等特点。因而开展装备载车系统维修性人机工程设计, 降低对维修保障人力、物资、环境需求, 提高故障维修速度、保证装备完好可用, 有着极其重要的现实意义。

收稿日期: 2023-01-17

作者简介: 邓博 (1984—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为工业设计。

国外在装备维修性人机工程学设计领域开展研究较早,并将相关要求以标准的形式予以明确规定,如美国国防部颁布的 MIL-STD-46855A《军事装备和设施的人机工程要求》、美国能源部颁布的 DOE-HDBK-1140《易于维修的人的因素和工效学设计手册》等,国内近年来也制定了相关标准,如 GJB 2873-1997《军事装备和设施的人机工程设计准则》、GJB 3207-1998《军事装备和设施的人机工程要求》和 GJB/Z 131-2002《军事装备和设施的人机工程设计手册》等^[1],并推进相关研究^[2-3]。吸收相关文献内容及要求,并针对特定目标,以装备维修性分析为基础开展相关研究。

1 装备载车维修性需求分析

维修性是设计时即赋予产品的,表征其维修的方便、迅速和经济程度的重要固有特性,定义为:产品在规定的条件下和规定的时间内,按照规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复其规定状态的能力^[4]。某型装备载车系统由动力系统(包括发动机、燃油系、进气系、润滑系、起动系等)、传动系统(包括变速器、分动器、传动轴、驱动桥等)、行走系统(包括车轮、悬架、车架等)、转向系统、制动系统、驾驶室、电气系统、上装接口部分等组成。需完成上装的负载机动功能,保证指定的环境适应性(海拔、温湿度、电磁辐射、霉菌环境等),且具备规定的机动性。

相对于某型装备载车系统功能,其维修性要求规定的条件主要为:一是使用环境为野外环境,即为无专业厂房、修理车间的野外工作场所;二是携带备件数量有限,通常限制为车载工具箱携带;三是负责的保障人员专业技能有限,通常视为只具备一般换件修理能力。规定的时间确定为 60 min 完成相关检查准备或排除一般故障,影响任务执行的致命性故障排除时间不大于 30 min,需严格执行。规定的程序和方法则为按照装备使用维护说明书确定的故障维修方法,使用随车工具进行换件修理。规定的状态确定为:平时情况下,通过维护、维修达到保持或恢复原有功能和执行规定任务的技术状态;特殊情况下维修方式可采取非标替代维修、拆拼维修等方式提高效率 and 保证总体效能。进一步确定该型载车维修性定量参数指标要求^[5]。

1) 预防性维修实施。对载车系统通常情况下定期进行检查,根据工作任务安排,每日不超过 60 min,执行任务前检查也按照日维护项目进行,检查维护人员以非专业的人员和司机为主。

2) 修复性维修实施。在野外环境使用车载备件维修的条件下,以排除影响装备功能的致命性故障为核心任务,维修通常由伴随保障的相关修理人员进

行,为保证任务需要,抢修时间不超过 30 min。

2 装备载车维修性人机工程设计及其参数体系

人机工程又称为人因工程、人-机-环境系统工程学、人类工效学等。与维修性相结合时,狭义内涵是“以人为本”^[6],为维修操作者创造一个安全、方便、有效的维修条件^[7];进一步拓展,可得出其广义内涵:以维修性要求为目标,从产品初始阶段就进行设计和约束,确保对维修人员友好,便于维护和维修实施。本文以此内涵将维修性相关设计要素进行全面考虑,并进行其人机工程设计特性研究。

根据以上内涵定义和数据分析,得到较好的载车系统维修性人机工程设计,应尽可能简化系统的维护科目、缩短系统的维修时间、降低维修保障要求、减少供应保障需求,进而确定其维修性人机工程相关设计原则如下。

1) 简化及模块化设计。过于复杂的结构,不仅影响系统的可靠性,而且会增加维修保障人员的工作量,简化设计可使维修时易于排查、拆卸、复位,大幅地减少维修时间;采用模块化设计,可简化维修工作成为换件修理,特别是当采取速解接口时,可进一步降低对维修人力的要求,提高维修速度。

2) 良好的可测试性及可达性。指的是在进行系统维修时,通过设备自带的 BIT 或预留测试接口,使易于发现故障部件(部位),提高故障定位速度,且较易接近维修部件/部位,不需要拆卸或搬动其他部件。包含有视觉可达、实体可达和充足操作空间,相关设计需考虑特殊情况下的可达性,如冬季衣着较厚,或夏季避免接触高温部位,在相关研究中,可达性仿真工作已经有较多的成果^[8-10]。

3) 具有完善的防差错和识别标记的设计。其中包括了接口的区别及特殊部位的长期有效标记,减少在应急维修的情况下,人为错误的产生,提高人员在进行重点操作时的注意力。

4) 保证维修的安全性。防止维修时伤害有关人员、装备的设计,特别是区别于使用安全性要求,必须考虑故障时不完整状态的运转安全,部分故障后带电、带载操作可能导致的严重后果,需要在相关说明书中警示,并尽可能地保证设备故障后的自归零特性。

在野外使用条件下通常不具备贵重件修复条件,因而贵重件可修复性相关内容不列入维修性人机工程相关设计研究。提高标准化和互换性程度指标与人机工程关联不是十分紧密,也不列入本文探讨范围。

以维修性的核心评价指标 MTTR(平均修复时间)和 MPMT(预防性维修时间)^[11]作为维修性人机工程设计的评价指标,以相关设计原则转换的定性指标为设计要素,构建其参数体系,见图 1。

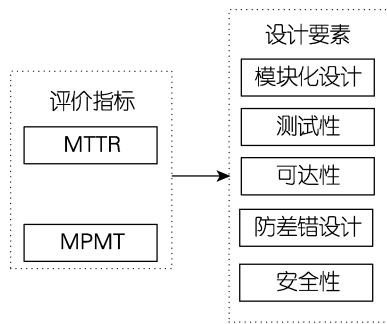


图 1 维修性人机工程设计参数体系
Fig.1 Parameter system of maintainability ergonomic design

3 维修性人机工程设计建模方法

维修性人机工程的设计与实施是一项复杂的系统工程, 在进行规划及实施过程中, 首先遇到的问题是如何描述系统, 即系统建模问题。为更全面把握本质, 避免由于考虑问题不全面而造成模型失真, 需选择一套全方位的系统分析框架和建模方法^[12]。目前, 国内外学者对建模理论已经进行了比较系统的研究, 主要应用的有如 PETRI 网方法、IDEF 方法、UML 方法和 eEPC 方法等。

1) PETRI 网方法。一种描述复杂系统动态行为的图形化、数学化建模工具, 采用一种被称为 Petri 网的模型来描述计算机系统事件之间的因果关系^[13], 兼顾了严格语义和图形语言两个方面, 可较好地描述复杂系统中常见的同步、并发、冲突、资源共享等现象^[14]。

2) IDEF 方法。最初的 IDEF 方法是在美国空军 ICAM 项目中建立的, 并随着信息系统的相继开发, 又开发出了方法族: 数据建模 (IDEF1X)^[15]、过程描述获取方法 (IDEF3)、面向对象的设计方法 (IDEF4)、实体描述获取方法 (IDEF5)、网络设计方法 (IDEF14) 等。以自然的方式记录状态和事件之间的优先和因果关系, 为表达一个系统、过程或组织如何工作提供一种结构化的方法^[16]。

3) UML 方法。是一种开发阶段编制系统蓝图的标准化语言, 可以对大型复杂系统 (软件密集系统) 进行各种成分说明、可视化, 并构造和书写系统模型^[17], 以及建立各种所需的文档, 也可应用于描述非软件领域的系统, 如处理复杂数据的信息系统、具有实时要求的工业系统或工业过程等。

4) eEPC 方法。即事件驱动过程链, 也称为扩展事件过程链, 是在由 SAP 公司资助的研究和开发项目中开发的, 基于随机网络与 PETRI 网的概念的扩展, 它目前已成为支持 SAP R/3 系统配置的一种主要模型。其面向过程、可理解性、支持动态、形式化、层次化等特点明显, 在应用中较易于掌握。

5) 典型过程建模方法的比较 (见表 1), 从比较

结果来看, eEPC 过程建模相对其他方法在多个方面具有一定的优势, 其既能全面表达维修性人机工程建模所需的各种元素和信息, 又便于理解和交流, 是一种比较全面的技术。

表 1 典型过程建模方法比较
Tab.1 Comparison of typical process modeling methods

评价指标	PETRI 网	IDEF	UML	eEPC
行为	较强	较强	较强	较强
组织	较弱	一般	较强	较强
结构	资源	一般	较强	较强
费用	较弱	一般	较弱	较强
数据	较弱	一般	一般	较弱
描述能力	一般	较强	较强	较强
定量分析	一般	一般	一般	较强
应用	软件支持	Tools for PNK、PNK2.1	Easy IDEF3、iGrafx	ROSE、Power designer、ARIS、Plant Simulation

6) 维修性人机工程模型框架 (见图 2), 以维修性人机工程设计实施目标为主线驱动建模, 即从设计需求、组织结构、设计流程、设计功能, 把 ARIS 的 5 个视图和方法有机地整合到各个环节。具体分布如图所示, 其实施过程分为 5 步: 确定设计指标、提出设计需求、描述设计组织结构、提取维修性数据、依流程开展设计。以事件触发活动、活动产生事件结果, 从而实现对流程的描述。

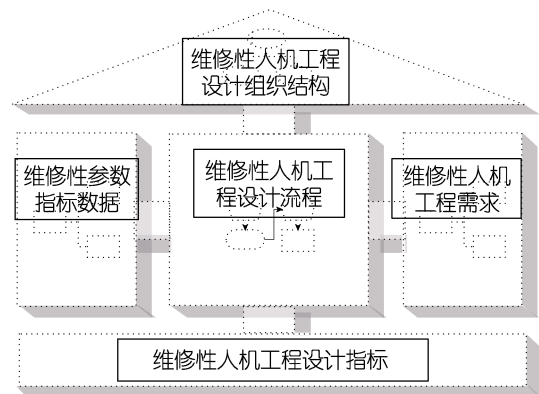


图 2 维修性人机工程设计的 ARIS 建模框架实现
Fig.2 Implementation of ARIS modeling framework for maintainability ergonomic design

4 某型装备载车维修性人机工程设计分析

以某型装备载车系统试验样机进行维修性人机工程设计分析, 在其 eEPC 过程模型下, 根据其研制总要求引入相关维修性参数指标为最终目标, 以日常维护工作、装备故障维修为事件触发, 并以简化设计、

可测试性设计、可达性、防差错、安全性等相关要求进行约束。

区别于一般车辆,该型装备载车由于大载重、高复杂,且由于其承载核心装备,为确保系统的完好可用,日常预防性维修检查需每日进行,为确保训练及其它工作时间,每日预防性维修检查时间不超过 60 min。另外,该型载车维修工具一般应为车载便捷机械类工具,在无外部气源、电源情况下亦可完成常见故障维修;维修人员为司机兼职修理人员,不具备专业修理技能;为满足该型载车大载重、有限高度的要求,采用高负荷全钢子午线真空胎,且胎压控制严格,高于一般车辆胎压;载车与装载设备为非快速解脱结合方式,野外维修时无法分离,易故障部位应外露或易达,为保证机动转移要求,平均故障维修时间不超过 30 min。

4.1 预防性维修实施要求

根据载车系统运行过程关键性部位情况,确定预防性维修检查项目及内容(活动),主要包括。

- 1) 外观检查:车门、后视镜、车窗、油箱、轮胎;
- 2) 动力系统检查:机油及发动机管路、起动熄火装置、冷却系统、动态工作情况;
- 3) 转向系统检查:方向盘、动态工作情况;
- 4) 传动系统检查:换挡工作情况、传动轴紧固情况;
- 5) 制动系统检查:气压、干燥筒、动态低速制动、动态高速制动;
- 6) 电气仪表检查:各仪表、喇叭、灯光、雨刮。

通过在试用阶段统计预防性维修检查项目平均实施时间:外观检查(10 min)、动力系统检查(15 min)、转向系统检查(10 min)、传动系统检查(10 min)、制动系统检查(20 min)、电气仪表系统检查(5 min),合计共需时间 70 min,高于维修性预防维修指标要求。油液、橡胶件及其他定期更换项目一般不在野外实施,行走系统检查通常结合跑车试验进行。

4.2 试验及试用期间修复性维修数据统计分析

汇总研制试验及试用保修期间装备载车常见故障维修数据,如表 2 所示,其中轮胎故障修理超出相关维修性要求的 30min 指标。其它常见故障均可在规定时间内完成,且更换部件相对外露易达,较便于修理人员操作。

4.3 修复性维修步骤

该型载车为满足大载重、有限装备总高度(通过性)的要求,选用专用高负荷全钢子午线真空轮胎(无内胎),在试用阶段,发现故障率相对较高,且维修更换时间超出维修性指标要求,以其更换流程及平均时间为修复性维修实施案例开展深入分析。区别于一

表 2 修复性维修情况统计
Tab.2 Statistical table of corrective maintenance

故障部位	故障描述	修理方式	平均修复时间/min
外观	轮胎损坏	换轮胎	40
	油封破损	换油封	30
	管路破损	换管路	20
动力系统	无法起动	换起动机	20
		换电瓶	10
	风扇皮带损坏	换风扇皮带	5
转向系统	档位不畅	换挡位球头	5
制动系统	刹车抱死	更换刹车制动气室	15
	刹车漏气	更换干燥筒	5

般车辆可依托修理厂进行维修,野外无辅助条件下(所需维修工具均包含于维修工具箱中),维修最低用时 31 min,平均维修时间约 40 min。

- 1) 定点千斤顶支撑(5 min);
- 2) 用三角垫木将车轮固定,并拉起手刹(3 min);
- 3) 用加力扳手拆卸车轮锁紧螺母(5 min);
- 4) 借助撬杠、大锤等工具卸下车轮(5~10 min);
- 5) 取下备用轮胎,检查拟替换车轮完好情况,用轮胎气压表检查安装好轮胎气压符合规定要求(5~10 min);
- 6) 借助撬杠将轮胎安装上车桥(3~5 min);
- 7) 用加力扳手对角将车轮锁紧螺母拧紧,安装车轮锁紧螺母时必须对角依次拧紧(3 min);
- 8) 用扭力扳手依次检查车轮锁紧螺母拧紧力矩,车轮锁紧螺母拧紧力矩为 500 Nm(1 min);
- 9) 确认正常后,将工具、三角垫木收拢(1 min)。

4.4 技术资料及保障设备、备件要求

在装备使用维护说明书中,需包含日常定期维护要求、开展工作的方法,维护所需设备应在随车附件中配备;需说明常见故障处置流程和方法,并配备满足试用保修期所需更换备件。对可能造成严重后果的人为操作失误,必须予以禁止。

5 维修性人机工程设计改进流程示例

围绕装备载车系统维修性人机工程改进,建立修复性维修 eEPC 模型,并进一步细化维修验证的过程模型,以某型载车部分预防性维修项目及特定故障维修为例,对照维修性人机工程设计原则提出改进建议。

5.1 修复性维修设计改进流程

使用 ARIS express 软件建立由验证需求至维修设计定型的事件驱动过程模型,见图 3。

进一步细化维修验证流程模型,相关模型与实际维修流程相吻合,见图 4。

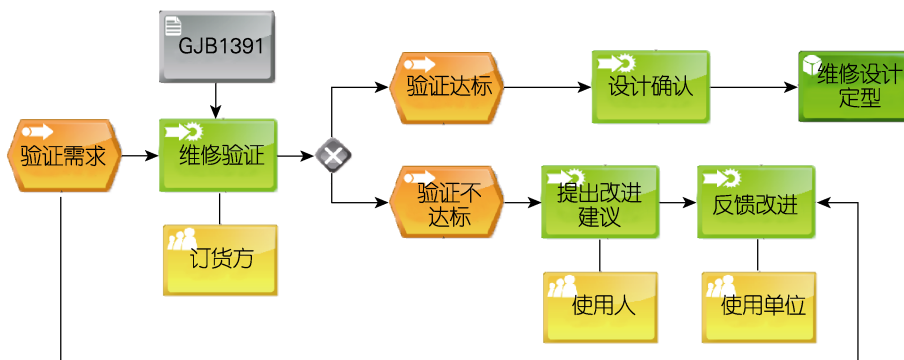


图 3 eEPC 模型
Fig.3 eEPC model

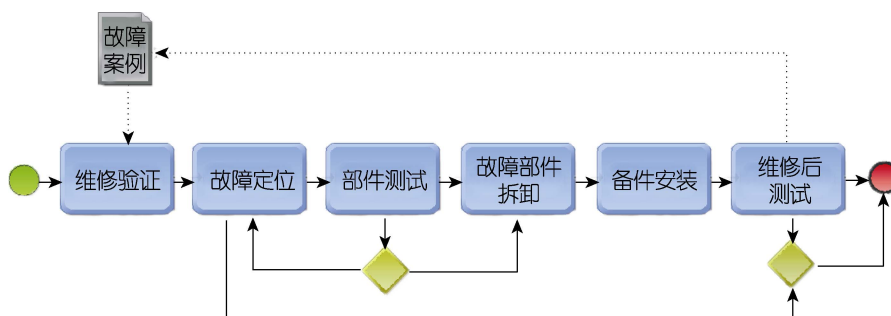


图 4 工作流模型
Fig.4 Workflow model

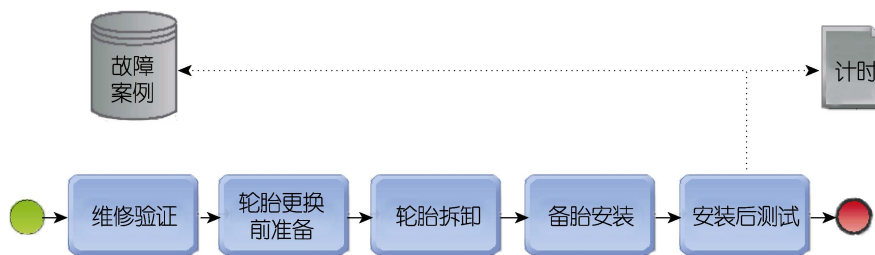


图 5 维修案例 BPMN
Fig.5 BPMN of maintenance case

应用于特种轮胎更换修复性维修案例，构建 BPMN（业务流程建模与标注）见图 5。

因论文相关性及内容要求，组织图与功能树模型未在文中列出。

5.2 预防性维修改进措施

对照 GJB 1909A-2009、GJB 1391-2006、GJBZ 57-94 等标准，进行用时模拟，查找可改进环节，引入自动测试设备、高可靠性部件或定期更换部件，针对该载车系统预防性维修改进提出如下措施。

- 1) 加装胎压传感器，可减少轮胎压力监测时间 5 min。
- 2) 电瓶换装免维护电瓶，之后每 2 年定期更换，可取消启动熄火装置专项检查，减少 3 min。
- 3) 更换高可靠性刹车制动气室，可取消动态低速制动测试项目，减少维修时间 10 min。
- 4) 更换高可靠性风扇皮带，之后每年定期更换，

可取消冷却系统风扇皮带检查，减少维修时间 3 min。

统计改进后相关流程时间：外观检查（5 min）、动力系统检查（12 min）、转向系统检查（10 min）、传动系统检查（10 min）、制动系统检查（10 min）、电气仪表系统检查（5 min），合计总体用时为 52 min，达到预防性维修指标要求。

5.3 维修性维修改进措施

运用模型进行用时模拟，查找可改进环节，以轮胎更换为故障维修实施案例提出如下人机工程改进措施。

- 1) 简化及模块化设计：改进锁紧螺母锁定方式，减少锁紧螺母个数，可缩减故障部位拆卸时间 1 min；
- 2) 良好的测试性与可达性：加装胎压传感器，可缩减备胎气压测试时间 1 min；
- 3) 防差错和识别标记设计：设计锁紧螺母拧紧位置标记，可减少维修后扭力扳手检查测试时间

1 min。

统计改进后相关流程时间,合计减少用时 3 min,轮胎更换最少总用时 28 min,达到修复性维修需求,且无高难度技术需学习,一般兼职人员通过训练可完成。

6 结语

维修性人机工程设计应贯穿产品研制、生产、使用的整个过程,建立起系统的设计与评价体系,在研制阶段即将其定性与定量指标进行考虑与分配,将可起到更为良好的效果。在设计中应充分考虑装备使用保障条件,并通过试验验证与评价,将可有效的提高保障能力,改善设计脱离使用的相关问题。相关研究可进一步扩展应用于其他相似装备设备,促进装备维修性能指标的提升。

参考文献:

- [1] 安凯, 苗冲冲, 丁霖, 等. 装备维修人机工程设计要求标准设想[J]. 航空标准化与质量, 2021(1): 3-5, 9.
AN Kai, MIAO Chong-chong, DING Lin, et al. Assumptions on the Standards of Human Engineering Design Requirements for Equipment Maintenance[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2021(1): 3-5, 9.
- [2] 吴晓莉, 方泽茜, 刘潇, 等. 工业系统的智能交互模式及人因工效研究综述[J]. 包装工程, 2022, 43(4): 12-26, 44, 15, 13.
WU Xiao-li, FANG Ze-xi, LIU Xiao, et al. Review of Intelligent Interaction Mode and Human Factors in Industrial System[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(4): 12-26, 44, 15, 13.
- [3] HAN Su, WANG Teng-fei, CHEN Jia-qi, et al. Towards the Human-Machine Interaction: Strategies, Design, and Human Reliability Assessment of Crews' Response to Daily Cargo Ship Navigation Tasks[J]. Sustainability, 2021, 13(15): 8173.
- [4] 可靠性维修性保障性术语: GJB 5730-2006[S].
Terms of Reliability, Maintainability and Supportability: GJB 5730—2006[S]
- [5] 康锐. 可靠性维修性保障性工程基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 25-42.
KANG Rui. Reliability, Maintainability and Supportability Engineering Foundation[M]. Beijing: Arms industry Press, 2011: 25-42.
- [6] PACAUX-LEMOINE M P, TRENTESAUX D, REY G Z, et al. Designing Intelligent Manufacturing Systems through Human-Machine Cooperation Principles: A Human-Centered Approach[J]. Computers & Industrial Engineering, 2017, 111: 581-595.
- [7] 吴当时, 盛菊芳, 童和钦. 以人为本的维修: 人类工效学在维修中的应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
WU Dang-shi, SHENG Ju-fang, TONG He-qin. People-oriented Maintenance: Application of Ergonomics in Maintenance[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [8] 白仲航, 宋现显, 李美, 等. 基于虚拟仿真与 TRIZ 的产品人机工程问题解决方法研究[J]. 工程设计学报, 2020, 27(5): 541-551.
BAI Zhong-hang, SONG Xian-xian, LI Mei, et al. Research on Solving Method of Product Ergonomics Problem Based on Virtual Simulation and TRIZ[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2020, 27(5): 541-551.
- [9] 茅益花, 范宏誉, 田保珍. 基于人机工程学装载机驾驶室设计研究[J]. 工程机械, 2021, 52(11): 48-53.
MAO Yi-hua, FAN Hong-yu, TIAN Bao-zhen. Research on Design of Loader Cab Based on Ergonomics[J]. Construction Machinery and Equipment, 2021, 52(11): 48-53.
- [10] 刘楚玉, 王海林, 陈荣, 等. 基于感性工学的产品设计与评价方法[J]. 包装工程, 2012, 33(10): 90-94.
LIU Chuyu, WANG Hailin, CHEN Rong, et al. Product Design Based on Perceptual Engineering Calculation and Evaluation Methods[J]. Packaging Engineering, 2012, 33 (10): 90-94.
- [11] 张馨予, 胡冰, 张逸楠, 等. 基于改进 Grey-AHP 的雷达装备维修性评估方法[J]. 现代防御技术, 2021, 49(5): 78-87, 117.
ZHANG Xin-yu, HU Bing, ZHANG Yi-nan, et al. Maintainability Evaluation Method of Radar Equipment Based on Improved Grey-AHP[J]. Modern Defence Technology, 2021, 49(5): 78-87, 117.
- [12] 王健, 古平, 卜昭锋, 等. 装备保障数据需求分析方法与建模[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(7): 136-140.
WANG Jian, GU Ping, BU Zhao-feng, et al. Data Requirement Analysis Method and Modeling of Equipment Support[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2018, 39(7): 136-140.
- [13] 高颖杰, 曹继平, 杨阅兵, 等. 基于改进 Petri 网的装备维修资源需求预测[J]. 兵工自动化, 2021, 40(2): 81-84.
GAO Ying-jie, CAO Ji-ping, YANG Yue-bing, et al. Forecast of Equipment Maintenance Resource Demand Based on Improved Petri Net[J]. Ordnance Industry Automation, 2021, 40(2): 81-84.
- [14] 张静, 常宁, 杨杨. 基于 Petri 网的产品设计功能建模方法研究[J]. 机械研究与应用, 2021, 34(2): 18-22.
ZHANG Jing, CHANG Ning, YANG Yang. A Method of Function Modeling Based on Petri-Nets[J]. Mechanical Research & Application, 2021, 34(2): 18-22.
- [15] 王伊婧心, 李传广, 刘宇, 等. 基于 IDEF1X 的装备保障方案评价数据建模[J]. 舰船电子工程, 2020, 40(2): 117-124.
WANG Y, LI Chuan-guang, LIU Yu, et al. Data Modeling of Equipment Support Concept Evaluating Based on IDEF1X[J]. Ship Electronic Engineering, 2020, 40(2): 117-124.

- [16] 范永欣, 潘兴, 王可, 等. 复杂装备体系 RMS 要求论证与评价技术研究[J]. 现代防御技术, 2020, 48(1): 80-88.
FAN Yong-xin, PAN Xing, WANG Ke, et al. RMS Requirements Demonstration and Evaluation Technology of Complex Equipment System[J]. Modern Defence Technology, 2020, 48(1): 80-88.
- [17] 樊辉锦, 欧阳中辉, 陈青华, 等. 面向特种车辆状态监控和故障诊断的数据库索引结构构建[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(7): 178-184.
FAN Hui-jin, OUYANG Zhong-hui, CHEN Qing-hua, et al. Database System for Special Vehicle Condition Monitoring and Fault Diagnosis[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2021, 42(7): 178-184.

责任编辑: 陈作

(上接第 15 页)

- [97] 刘媛霞, 殷俊. 基于文化转译的桃花坞木版年画数字文创设计[J]. 包装工程, 2022, 43(10): 326-334.
LIU Yuan-xia, YIN Jun. Digital Cultural Creative Design of Taohuawu New Year Woodblock Printings Based on Cultural Translation[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(10): 326-334.
- [98] 汤晓颖, 李婉莹. 萌系审美视阈下民俗博物馆数字文创设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(24): 306-315, 323.
TANG Xiao-ying, LI Wan-ying. Digital Cultural Creative Design of Folk Museum from the Aesthetic Perspective of MOE[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(24): 306-315, 323.
- [99] 钱肖羽, 刚强. 数字时代文创产品的符号化传播——以甘肃省博物馆文创产品为例[J]. 新闻与写作, 2021(8): 101-103.
QIAN Xiao-yu, GANG Qiang. Symbolic Communication of Wenchuang Products in the Digital Age—Taking Wenchuang Products of Gansu Provincial Museum as an Example[J]. News and Writing, 2021(8): 101-103.

责任编辑: 马梦遥

(上接第 28 页)

- [41] 何立民. 人工智能系统智能生成机理探索之六: 从弱人工智能、强人工智能到超人工智能[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20(8): 87-89.
HE Li-min. From Weak Artificial Intelligence, Strong Artificial Intelligence to Super Artificial Intelligence[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2020, 20(8): 87-89.
- [42] HOU Hong-xia. On the Three Constraints of the Development of Artificial Intelligence: Value, Liberation and Responsibility[J]. Cultures of Science, 2021, 4(3): 159-168.
- [43] 张恒. 人工智能技术驱动下的智能产品应用探析[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(4): 256-257.
ZHANG Heng. Application of Intelligent Products Driven by Artificial Intelligence Technology[J]. Computer Knowledge and Technology, 2021, 17(4): 256-257.
- [44] YU Lei, FENG Xin, WANG Jing-ya, et al. Research on the Mechanism of Emotional Design in Chinese Cultural and Creative Products[J]. Heritage Science, 2022, 10: 1-18.

责任编辑: 马梦遥

(上接第 38 页)

- [57] SEO T, SITTI M. Tank-Like Module-Based Climbing Robot Using Passive Compliant Joints[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2013, 18(1): 397-408.
- [58] 付宜利, 李志海. 爬壁机器人的研究进展[J]. 机械设计, 2008, 25(4): 1-5.
FU Yi-li, LI Zhi-hai. Researching Headway of Wall-Climbing Robots[J]. Journal of Machine Design, 2008, 25(4): 1-5.
- [59] 孙玲, 弓永军, 王祖温, 等. 船用壁面作业机器人综述[J]. 液压与气动, 2014(10): 21-25.
SUN Ling, GONG Yong-jun, WANG Zu-wen, et al. Review of Marine Wall Climbing Robot[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2014(10): 21-25.
- [60] 黄龙, 张卫华, 陈今茂, 等. 爬壁机器人的研究现状与发展趋势[J]. 机械工程与技术, 2021(3): 345-363.
HUANG Long, ZHANG Wei-hua, CHEN Jin-mao, et al. A Review and Trend of Wall-Climbing Robots[J]. Mechanical Engineering and Technology, 2021(3): 345-363.

责任编辑: 马梦遥