

doi: 10.7690/bgzd.2020.06.021

军用地面机器人总体试验方法设计

谢 辉^{1,2}, 任国全¹, 李建中², 撒彦成²

(1. 陆军工程大学石家庄校区车辆与电子工程系, 石家庄 050003; 2. 中国华阴兵器试验中心, 陕西 华阴 714200)

摘要: 为解决当前国内军用地面机器人未能全面系统建立总体试验指标体系和试验方法的问题, 构建综合评价机器人作战效能和作战适用性的指标体系。按照地面机器人能力层级和实战考核的要求, 提出试验设计的总体思路, 基于武装型军用地面机器人典型任务剖面确定其典型试验剖面, 明确 11 类主要性能指标的试验项目和方法, 结合某型单兵携行地面机器人试验, 暴露出该装备在城市街区、建筑物内和山地模拟作战环境下的能力缺陷。结果表明, 该方法能较好地满足装备性能评定的需要。

关键词: 军用机器人; 性能指标; 试验方法

中图分类号: TP24 **文献标志码:** A

Design of Overall Test Method for Military Ground Robots

Xie Hui^{1,2}, Ren Guoquan¹, Li Jianzhong², Sa Yancheng²

(1. Department of Vehicle & Electronic Engineering, Shijiazhuang Campus of PLA University of Army Engineering, Shijiazhuang 050003, China; 2. Huayin Ordnance Test Center, Huayin 714200, China)

Abstract: In order to solve the problem that domestic military ground robots fail to establish the overall test index system and test method comprehensively, the index system for comprehensive evaluation of robot combat effectiveness and combat applicability is constructed. According to the requirements of the capability level and the actual combat assessment of the ground robot, the general idea of the test design is put forward. Based on the typical mission profile of the armed military ground robot, the typical test profile is determined, and the test items and methods of the 11 main performance indexes are defined. Combined with the test of a ground robot carried by a single soldier, the capability defects of the equipment under the simulated combat environment of urban block, building and mountain area are exposed. The results show that the method can meet the needs of equipment performance evaluation.

Keywords: military robot; performance index; test method

0 引言

陆军由以重装甲、强火力为特征的军事力量向更轻便、反应更迅速、更具高杀伤力与高生存性的目标部队转型的迫切需要, 使实用的地面无人作战系统的发展成为未来的急需^[1]。近年来, 美俄等军事强国已将军用地面机器人作为武器装备发展的重点方向, 美国陆军未来作战系统 (future combat systems, FCS) 中包含了武装型地面无人车、后勤补给地面无人车和便携式侦察机器人等项目^[2], 制定并持续更新美军《无人系统路线图》; 俄军相继发布了《2025年前未来军用机器人技术装备研发专项纲要》和《未来俄军用机器人应用构想》等顶层规划文件, 开展了“平台-M”履带式武装机器人和“暗语”轮式武装机器人等项目的研制试验与实战检验。

目前, 国内针对军用地面机器人的性能测试和试验评价工作还处于起步阶段, 且主要针对地面机器人的环境感知、任务规划和机动控制等关键性能

开展演示测试, 没有从未来作战需求的角度, 构建完善的系统评价指标体系和总体试验方法。笔者主要从采购方角度, 构建军用地面机器人的试验评估指标体系, 并根据典型作战任务剖面, 研究了系统总体试验设计方法, 为军用地面机器人的研制试验提供技术参考。

1 研究现状

随着军用地面机器人技术的快速发展与各方的广泛参与, 美俄等国均深刻意识到统一军用地面机器人评价准则与测试方法的重要性, 已积极开展相关的技术研究工作。DARPA 城市挑战赛^[3-4]、欧洲 eVALUE 项目^[5]开展了地面无人系统的安全性评估, 美国国家标准与技术研究院进行了城市搜索与营救机器人的性能评估^[6], 阿伯丁靶场则制定了《无人地面车辆系统试验》《机动式无人地面车辆系统安全操作试验》《武装无人地面车辆安全试验》《无人

收稿日期: 2020-04-20; 修回日期: 2020-05-06

作者简介: 谢 辉(1980—), 男, 湖北人, 学士, 高级工程师, 从事装备试验鉴定技术研究。E-mail: xhui011@163.com。

地面车辆系统视距与非视距试验》^[7]，对美陆军无人地面车辆试验的设备设施、条件、程序、测试数据和报告等进行规范，重点明确了无人地面车辆测试的安全防控和性能测试基本项目，其主要性能测试大部分参照现有有人车辆试验规程执行。

国内，熊光明等^[8]依托“视听觉信息的认知计算”项目开展了无人车辆智能行为测试的研究，提出一种智能行为的模糊-可拓层次分析评价法，并在“智能车未来挑战”比赛中进行了应用验证。史辉等^[9]研究了典型战场环境下地面无人平台的自主机动性及其关键技术评价方法，围绕环境感知、任务规划和机动控制自主性能 3 大关键能力提出了 33 项子指标，并建立了基于层次分析法的指标量化和评分方法。我军举办的“跨越险阻”陆上无人系统挑战赛主要基于技术演示验证需求，重点围绕野外自主机动、建筑物目标侦察和战场伴随支援等战术任务，评估地面无人平台任务规划、环境感知、机动避障、目标识别和人机交互等关键技术成熟度。

上述国内外研究成果中，虽然涉及地面无人平台关键性能测试与评估的技术方法，但未能全面系统建立军用地面机器人总体试验指标体系和试验方法。

2 评估指标体系

评估军用地面机器人作战性能需要一套完善的战术技术指标体系作为依据，该指标体系既要能表征机器人的技术先进性，又必须考虑其战场适应能力和作战使用要求。目前的评价体系主要集中在技术演示和验证择优阶段，仅注重于技术指标的先进性和可行性，对于如何评定其战场综合适应能力和完成作战使命能力关注较少，导致指标体系不够系统和完善，无法满足装备鉴定需要。

按照层次分析法的思想，产品能力是分层次的，其高层次的能力通常是由诸多低层次的能力聚合而成^[10]。从武器装备作战效能评估的需要原则考虑，军用地面机器人的作战能力可采用作战效能和作战适用性进行综合评价，通过能力分解逐层建立其指标体系，能够较好覆盖效能试验和性能试验的设计需求。其中，作战效能按照装备对象级别可分为单项效能、系统效能和体系效能；作战使用性又可分为作战环境适应性、作战使用适应性和作战保障适应性，具体结构层次如图 1 所示。

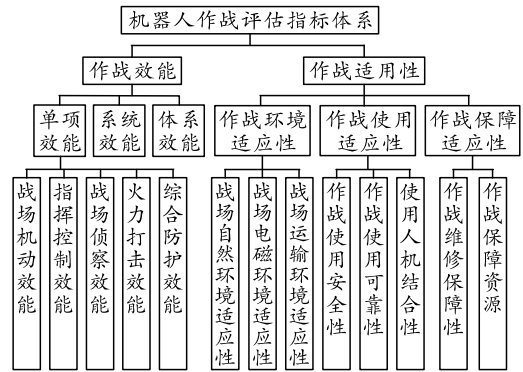


图 1 机器人作战能力评估指标体系

2.1 战场机动效能指标

战场机动效能是对机器人战场机动能力的度量，反映了机器人为保证完成任务迅速进入战场，克服各种自然和人为障碍进行迅速转移、快速行军及行战状态转换的能力。其效能指标体系如表 1。

表 1 战场机动效能指标

单项效能	能力类型	指标
战场 机动 效能	快速性	最大速度
		平均速度
	通过性	爬坡度
		越障能力
		涉水能力
	灵活性	软地面通过性(平均接地压力)
		加速时间
	续航能力	最小转向半径
		制动距离
	结构诸元	连续工作时间
最大行程		
	外廓尺寸	
	重量及质心	

2.2 指挥控制效能指标

指挥控制效能是对机器人指挥控制能力的度量。机器人的控制手段主要分为无线通信和有线通信 2 种，基本要求是生存能力强、时效性高、互联互通程度高、稳定性和保密性好、适应性强。对于机器人来说，由于其自主能力的不同，对通信的要求也存在差别，自主性越高，对人机通信要求的实时性越低^[11]。其效能指标体系如表 2 所示。

2.3 战场侦察效能指标

战场侦察效能是对机器人战场侦察能力的度量。侦察攻击机器人的主要作战使命是战场侦察，根据不同战术目的，通过配备白光、红外、激光、微光、雷达和声探测等不同组合的侦察单元，实现对战场的目标搜索、识别与监视等。其效能指标体系如表 3 所示。

表 2 指挥控制效能指标

单项效能	能力类型	指标
指挥控制效能	环境感知能力	感知扇形面积
		环境建模精度
		模型更新频率
	决策能力	规划与决策速度
		规划与决策正确率
		自身定位定向精度
		路径规划正确率
		路径更新频率
	执行能力	指令响应速度
		路径跟踪精度
	通信能力	遥控距离
		数据速率
		传输延时
	组网能力	传输误码率
		数据网在网率
人员依赖性	通信距离衰减率	
	控制方式	
	人员操控时间比例	
		人员操控平台数量

表 3 战场侦察效能指标

单项效能	能力类型	指标
战场侦察效能	发现目标能力	目标发现距离
		目标测距精度
		目标测距频率
		目标定向精度
	发现目标效果	目标发现率
		目标虚警率

2.4 火力打击效能指标

火力打击效能是指在特定条件下机器人对目标摧毁效果的度量。侦察攻击机器人一般配备有一种或多种自动武器，如榴弹发射器、自动步枪、自动火炮、火箭发射器、导弹及非致命性武器等。这些武器除结构性能参数不同外，其他作战使用性能基本相同。其效能指标体系如表 4 所示。

表 4 火力打击效能指标

单项效能	能力类型	指标
火力打击效能	打击范围	方向射界
		高低射界
	打击距离	最大攻击距离
		最小攻击距离
	反应时间	系统反应时间
	打击精度	准确度
毁伤效果	毁伤率	

2.5 综合防护效能指标

综合防护效能是指对机器人整体各方面防护能力的度量。装备的防护方式分为被动防护、半主动防护和主动防护 3 种。通过加强机器人结构强度，降低自身声、光、电、热等目标特性，主动干扰对抗敌方来袭武器等手段，可有效提高防护能力。其效能指标体系如表 5 所示。

表 5 综合防护效能指标

单项效能	能力类型	指标
综合防护效能	防被发现能力	外形
		普通伪装迷彩
		电机热特征
	防干扰能力	防声振动探测
		干扰带宽
防被损伤	干扰距离	
		防弹能力

2.6 作战适用性指标

作战适用性是指机器人在作战使用过程中能够保持可用的程度，主要与可用性、兼容性、可运输性、互操作性、可靠性、维修性、安全性、人机环境、可保障性、文件与训练要求等因素有关。其效能指标体系如表 6 所示。

表 6 作战适用性指标

单项效能	能力类型	指标
作战环境适应性	战场自然环境适应性	可工作自然条件
	战场电磁环境适应性	自兼容性
	战场运输环境适应性	敏感度
作战使用适应性	作战使用安全性	可运输性
	作战使用可靠性	事故比例
	使用人机结合性	事故战损率
		平均故障间隔时间
		展开撤收时间
作战保障适应性	作战维修保障性	携行性能满意度
	作战保障资源	面板信息认读速度
		认读准确率
		面板布局满意度
		平均修复时间
	平均检测时间	
	检修正确率	
		备品备件满足率
		平均保障延误时间

以上基于武器装备采购方角度，明确了地面机器人的主要试验指标体系，在具体装备型号试验评估时，必须根据试验对象的作战使命、技术特点和试验能力确定具体的试验项目和流程。

3 总体试验方法

3.1 试验思路

军用地面机器人主要替代一线作战的士兵，直接遂行作战任务，是在有人武器平台技术基础上的无人化升级。对地面机器人的试验鉴定考核，也应该在有人作战平台考核方法的基础上突出无人化性能考核。目前，地面机器人正处于远程遥控向半自主化过渡的技术发展阶段，考核重点应突出战场机动性、感知灵敏性、控制自主性、链路稳定性、操控安全性和人机交互性等方面能力。在试验项目设置上，除按照地面机器人能力层级和实战化考核要

求,可依次按照“先静态、后动态,先单体、后系统,先室内、后野外,先单项、后整体”的原则,分系统性能检测、系统性能考核、使用性能考核和作战适用性考核 4 个层级组织实施。

3.1.1 分系统功能检测

按照系统组成分为移动平台分系统性能检测、任务载荷分系统性能检测、指挥控制分系统性能检测和配套分系统性能检测 4 大部分。

3.1.2 系统性能考核

主要考核系统的机动、环境感知、自主规划、系统反应、连续工作、目标定位与识别、平台定位导航和通信控制等能力。

3.1.3 使用性能考核

主要考核系统的携行性、运输性、安全性、可靠性、维修性、电磁兼容性、环境适应性、人机环设计和互换性等是否满足使用要求。

3.1.4 作战适用性考核

主要考核系统在模拟实战环境下的战场适应性能、抗复杂干扰性能和任务完成的可靠度。

3.2 典型任务剖面 and 总体试验剖面

军用地面机器人按照战术需要可以执行战场侦察监视、火力打击、目标指示、巡逻警戒、扫雷排爆、信息中继和伴随运输等多种作战任务,其中武装型地面无人装备具备机动、侦察、打击一体化作战能力,是该类型装备考核中比较复杂的武器系统,可作为地面机器人试验总体方法设计的典型代表。

图 2 为武装型地面机器人典型任务剖面示意图。

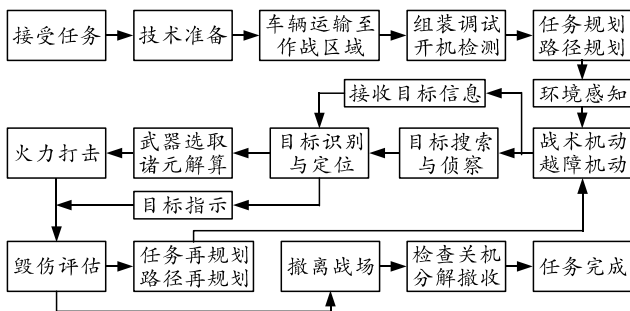


图 2 武装型地面机器人典型任务剖面

如图 3 所示,基于武器系统实战化考核的要求,按照武装型地面机器人典型任务剖面序贯,设计地面机器人的试验任务剖面为运输性能、展开撤收、任务规划能力、环境感知性能、越障机动性能、目标侦察性能、火力打击性能、链路性能和人机交互性能等试验。

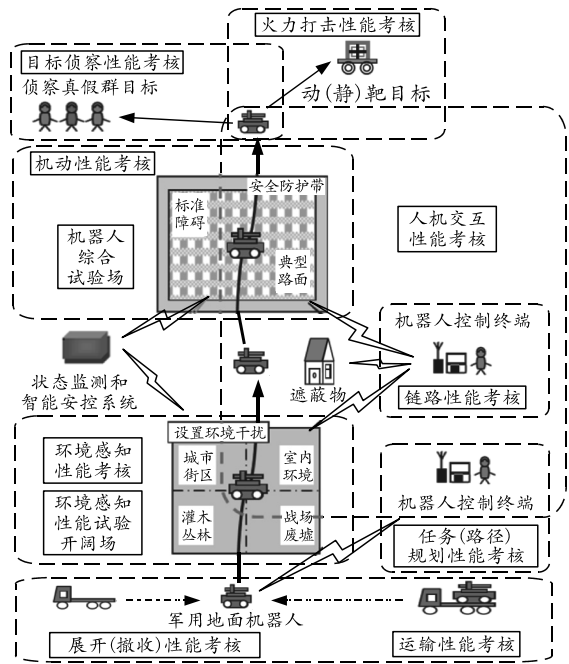


图 3 地面机器人典型试验剖面

3.3 主要测试项目及方法

3.3.1 静态测量检查

试验项目主要包含外观及齐套性检查、初始化和检测功能检查、机构动作检查、接口性能检测、质量和外观尺寸测量、载荷平台俯仰回转范围测量等。具体试验方法如下：

- 1) 通过目测检查被试装备包装箱、外观等是否符合相关规范要求,技术文件、图样资料、工具及备附件是否齐全,图物是否一致,使用说明书等配套技术文件的相关规定是否正确、合理、可行;
- 2) 通过开机操作被试装备系统初始化和检测功能是否正常,机构动作是否可靠;
- 3) 通过检测设备测试相关电源、信号和数据接口性能参数是否满足相关规定;
- 4) 利用称量设备及卷尺等测量机器人质量和外形尺寸,必要时测量移动平台(含任务载荷)在规定状态的质心(如行驶、射击或侦察等);
- 5) 利用倾斜仪测量机器人载荷平台的俯仰范围,利用专用测试平台测量机器人载荷平台的回转范围。

3.3.2 机动性能试验

机动性能试验主要包含最大行驶速度测试、制动距离测试、转弯半径测试、档位切换性能检查、越障能力(含平台、纵坡、横坡、沟壑、垂直障碍、连续台阶等)试验和路面通过能力试验等。

该类试验方法与有人车辆类似,基本测试方法

可参照有人车辆现有标准规范进行，但需要注意以下问题：

- 1) 机动性测试时应将移动平台配置到战斗全重状态，试前应充分预热，环境风速应不超过 3.3 m/s；
- 2) 机器人移动平台需在无人保障的条件下进行机动越障，在通过性的有效认定上应比有人车辆更加严格，需至少连续 3 次通过为有效；
- 3) 在障碍构设时，应突出机器人任务环境特点设置相应的台阶、涵洞和堆砌物等障碍；
- 4) 试验时场区应该设置安全防撞措施或留够充足的缓冲距离，保证人员和测试设备安全。

3.3.3 控制性能试验

控制性能试验主要包括控制方式检查、控制安全性检查、遥控动作响应延时和自主控制性能试验等。具体试验方法如下：

- 1) 机器人在有效控制距离内，分别按照设计规定的不同控制方式(有线控制、无线遥控、预编程控制等)工作，检查系统功能是否正常；
- 2) 机器人以不同的控制方式正常工作时，断开控制信号，检查机器人有无异常动作；再次接通控制信号，检查机器人控制功能是否恢复正常；
- 3) 机器人系统开机，操作指挥控制站使机器人以不同的控制方式进行机动、侦察、测距，检查移动平台状态、测控链路、导航环境、目标侦察、危险告警和错误提示等信息的显示是否要素全面、数据准确、图像稳定、布局合理，操作指挥控制站进行显示界面切换和目标信息处理，检查其功能是否正常、响应是否及时、操作是否便捷；
- 4) 在阳光直射条件下，分别以有无遮光措施的方式操作指挥控制站，检查其屏幕画面显示是否清晰，操作是否方便；
- 5) 操作人员穿戴机器人配套的触控手套(无配套时，穿戴部队制式防寒手套)，对机器人指挥控制站(或便携式指挥控制终端)进行操作，检查其开关、按钮、摇杆操控是否方便、无干涉，对触摸面板的点击和滑动操作指令响应是否及时、准确；
- 6) 在有效控制距离内，遥控机器人各功能单元进行机动、侦察和打击等动作，利用时统设备记录并判读从指令发出至机器人执行机构响应为止的时间，作为机器人动作响应延时。

3.3.4 链路性能试验

链路性能试验主要包括测控链路的工作频率、数据传输速率、误码率、传输延时和最大作用距离

测试等试验。

机器人通信链路的主要指标和无人机比较类似，如工作频率、数据传输速率、误码率和传输延时等指标测试，可参考无人机或通信类装备的测试方法进行。对于链路最大作用距离，由于机器人和操控端天线低矮，无线链路近地传播时通信质量受环境影响显著，特别是测试其极限通信能力时，测试结果对环境条件十分敏感，需在测试时予以充分考虑。

3.3.5 安全性能试验

安全性能试验包括武器搭载机构的打击控制安全性、操作使用安全性、人员防护安全性、行驶稳定性、射击稳定性、系统安全连锁功能、安全告警功能、应急防撞保护功能、信息加密自毁功能和抗冲击跌落强度等试验。具体试验方法如下：

- 1) 操作安全性：检查机器人关键开关、按钮、摇杆是否有防误操作设计，关键操作流程是否有警告提示和连锁设计，重要电缆、连接器和插接口是否有安全警示标识和防错插设计；
- 2) 人员安全性：检查机器人系统中的危险设备是否有危险告警标识，移动平台搭载的武器系统是否有防误击发设计，配套的使用维护说明书中是否对涉及人员安全的重要操作事项作出禁止和警示性说明；
- 3) 机动安全性：检查机器人移动平台是否有环境探测和障碍物告警设计，是否有防碰撞和防倾覆措施，主遥控链路异常时是否有应急控制措施和紧急停车功能。

安全性试验包含安全保护功能检查和极限安全能力考核，其中安全保护功能由设计决定，一般按照工作可靠、方便操作、警示醒目和防错有效等原则进行操作性检查，而极限安全能力考核的是被试装备在使用过程中发生的低概率事件，常常带有破坏性，在确保其安全性设计留有余量的前提下，一般安排在试验后期或备用样机上验证。

3.3.6 侦察性能试验

侦察性能试验主要包括各类侦察传感器的目标探测距离及范围、识别距离及范围，探测、识别及测距精度，定位定向精度等试验。

机器人侦察载荷一般是对技术成熟的侦察单体的集成，主要涉及可见光、红外、微光、激光和雷达等各传感器为核心部件的侦察装备，其工作原理和现有的小型或单兵侦察装备相似，只是在结构上

进行了适配性调整,其试验条件、测试方法和结果评定均可参照现有侦察装备试验方法进行。

3.3.7 动力性能试验

试验项目主要包括电池最大容量、输出电压、充电时间、循环寿命、贮存性能、过充性能、持续放电、低温放电性能,发动机功率、极限负载、满油续航时间、低温启动性能等。

电池性能试验一般在专业试验室进行,具体试验方法比较成熟。小型机器人的能源一般都靠电池提供,电池性能对系统连续工作能力、环境适应能力、机动能力等都有直接关联;因此,在考核机器人性能时,应分析电池性能对试验结果的影响,明确电池条件要求。特别在高低温等环境试验中,应充分检查电池工作的适配性。

3.3.8 射击性能试验

射击性能试验主要包括射程、单/连发射击精度及瞄准线的稳定性、静/动对动射击精度、极限姿态下射击时的平台稳定性等试验。

射击性能试验方法与一般的轻武器试验方法类似,由于机器人搭载的武器类型无法统一,试验时应根据发射弹药种类和打击目标类型确定靶面形状(如胸靶)、尺寸和运动状态。对自动步枪而言,应在水泥和砂石地面分别进行单发和点射射击 100 m 靶标各 3 组,单发每组 10 发,点射每组次数不超过 6 次,点射长为 3~5 发,单发或点射射击间隔小于 3.5 s,射击间隔可通过武器遥杆调整瞄准点。在白昼条件下,应进行前向、左侧、右侧 80°~90°范围内 3 种状态下的精度射击,夜间应进行前向精度射击。由于射击瞄准通过观瞄装置遥控实现,因此,在试验中,除按照轻武器射击试验方法实施外,还应记录操作手遥控控制瞄准线的过程,便于进行射击误差源分析。

3.3.9 连续工作能力试验

连续工作能力试验主要包括对平台分系统、载荷分系统独立工作的连续工作时间测试。该试验应选用合格的满电电源(或满油箱)进行测试,选择适合各种机动要求的场地,在连续工作时应按照其任务剖面对各耗能设备设置合理的工作频率。

3.3.10 隐蔽性能试验

隐蔽性能试验主要包括运动噪声、红外特性和侦察辅助照明装置隐蔽距离等试验。该试验需采用专用测试设备记录探测被试对象工作时的声、光、

波等特种信号,重点考核其在最易暴露工作状态下的隐蔽能力。具体试验方法如下:

1) 在场地背景噪声低于实测噪声至少 10 dBA 的条件下,操控机器人以规定的速度(或档位)在不同路面上匀速行驶,在规定距离处测试其行驶噪声,必要时测试机器人启动后原地怠速时规定距离处的噪声;

2) 在背景温差稳定的条件下,操控机器人高速行驶至系统红外特征信号稳定,在规定的距离上,利用红外热像从不同方位对机器人进行探测,记录机器人与背景的最大温差及其与探测设备的相对方位;

3) 在无月星光条件下,操控机器人开启辅助照明装置,观测人员从不同方位由远及近靠近机器人,直至能利用机器人自身照明装置发现机器人为止,记录观测人员与机器人的距离及相对方位。

3.3.11 勤务性能试验

勤务性能试验包括单兵携行试验、车辆运输试验、展开和撤收时间测试、功能组件的互换性、配套包装箱及携行背囊性能等试验。实施时应按照被试装备使用维护说明书的程序进行操作。同时,考虑作战使用的安全、便捷、可靠等定性要求,应尽量按照作战流程和实际使用方式设置试验条件,对于试验过程中暴露出的问题,部分可通过修改被试装备配套的相关技术文件进行优化完善。

具体方法如下:

1) 按照使用说明书规定的装箱(包)要求,将机器人放置于运输车辆的规定位置,根据实际使用要求确定是否对机器人进行捆绑固定;驾驶运输车辆在运输道路上行驶 500 km(在铺面路、砂石路和乡村土路上行驶里程按 4:3:3 分配),每行驶 100 km 进行外观和功能检查。

2) 将机器人按使用要求装入单兵携行背囊后,由测试人员按照相关技术文件规定的携行分工背负机器人,以 3~5 km/h 的行进速度完成 3~5 km 越野。携行结束后,检查机器人损伤情况,并记录携行人员背负行军的感受。

3) 分别在白天和黑夜条件下,由测试人员将装有机器人的携行背囊(或运输箱)从身(车)上卸下,按照使用说明书规定的程序将其组装成工作状态,并完成开机自检。记录所用时间作为机器人展开时间,测试 3 次,取算术平均值;按照逆向程序操作并测试机器人撤收时间。

4) 将多套机器人按照使用说明书要求进行拆卸,对拆卸后的各单体或组件进行随机编组,再按照使用要求进行组装调试,开机检查机器人工作是否正常。

3.3.12 作战适用性试验

根据被试对象作战使命要求,确定其需要考核的典型任务剖面,设计总体试验方案时,可依据典型特种作战任务剖面,模拟构建街区、室内、丛林、山地、洞穴等作战环境,设置相应的机动路径、地表障碍、任务目标和光电干扰等,考核装备在实战条件下的机动、侦察、打击、通信控制、环境适应和抗干扰等能力,检验被试对象机动运输、单兵携行、迅速展开、隐蔽推进、环境侦察、目标定位、定点打击和快速撤离等战术动作的适应性。通过任务完成度、目标获取率、目标侦察精度、火力打击精度等定量评定和操作使用定性分析,全面评估武器系统的作战适用性。

4 试验验证

4.1 验证试验的总体思路

针对某型单兵携行地面机器人样机试验鉴定需求,依照军用地面机器人提出的试验方法,确定总体试验思路:以研制任务书功能指标要求为基本依据、移动平台为关注中心、多样化环境构建为保障重点、系统实时状态监测为主要测试手段,全面考核战技指标和使用要求,充分暴露系统设计缺陷。在覆盖指标体系考核的基础上,结合使用要求,增加被试装备稳定性、互换性、运输等性能的考核;结合使用要求,构建城市街区、建筑物内、模拟山地等典型环境任务剖面,重点对被试装备在规定任务剖面下机动、侦察、通信控制等能力的考核,通

过模拟环境下的验证,充分暴露装备能力短板。

4.2 作战适用性考核方案设计

在被试装备单项指标考核的基础上,依据被试装备的典型任务剖面和使用环境,设计 3 种作战模拟环境:

1) 城市街区。

试验用城市街区为 4 幢连排建筑物,路面由水泥路面、碎石路面、土路和草丛等构成,在街区内设置了 30°斜坡、直径 15 cm 的圆管、宽度 20~30 cm 的水沟,设置了目标人员、强光干扰。被试装备以全装模式,由操控人员遥控其进入指定模拟城市街区,对目标进行侦察,目标人员对其进行监听,监测试验现场电磁环境。

2) 建筑物内。

操控人员遥控机器人进入多层建筑物开展目标侦察,楼层通过连续拐角楼梯连接,路面由光滑地板砖构成,在中间层楼梯拐角处监测试验环境噪声值,目标人员在中间层关门房间内进行监听,对目标房间进行抵近音频侦听。行动结束后,返回撤收。

3) 山地。

试验用模拟山地,由起伏土路、草地、砂石路面和坡道构成,设置了目标人员。被试装备以全装模式,由操控人员遥控其进入指定山地区域,对目标进行侦察,目标人员对其进行监听,检测非通视条件下的通信情况,监测试验现场电磁环境。

4.3 试验结果

通过对某型地面机器人样机的试验,在单项指标考核合格的情况下,通过作战适应性考核,暴露出存在夜间视频导航功能严重下降,单侧履带过障碍时易脱落等较严重的功能缺陷,详见表 7。

表 7 某型机器人作战适应性考核结果

典型环境	试验结果	暴露问题
城市街区	1) 白天机器人能正常机动实施侦察搜索任务; 2) 低速档行驶时在碎石路面、草丛时,目标人员靠听觉发现机器人的距离分别为 35、10 m。	夜晚,使用导航灯补偿照明和车灯干扰条件下,在水泥路面、土路、草丛等路面均无法正常机动
建筑物内	1) 机器人能正常通过连续楼梯上下楼; 2) 对开门房间内的音频侦听效果较好。	1) 运动噪声达到 70 dB(A),易被发现; 2) 夜间通过光洁地面时,因补偿灯光线反射不足,导航相机图像质量差; 3) 对掩闭房间内的音频侦听效果较差。
山坡	1) 机器人能正常机动实施侦察,非通视条件下遥控距离为 150 m; 2) 夜晚、碎石路面,使用导航灯补偿照明,机器人可正常机动。	单侧履带通过垂直障碍时,容易发生履带故障

5 结束语

笔者从武器装备采购方的角度对军用地面机器人的试验指标体系和总体试验方法进行研究。通过

在某型样机鉴定中的应用表明,该方法能较好地满足装备性能评定需要。由于在技战术层面上,国内军用地面机器人缺乏实战验证,与美军相关试验规

程对比,该方法在具体操作上还不够精细,仍存在较大的优化空间,特别是对试验条件中的敏感因子确定与控制、自主性能关键影响因素分析与实战环境构建、作战试验定量评估方法、试验数据有效样本量选取等方面还需深入研究。

参考文献:

[1] 美国国家科学院国家研究理事会. 军用无人地面车辆技术的发展[M]. 付梦印, 王美玲, 译. 北京: 国防工业出版社, 2009: 1.

[2] 刘克俭. 美国未来作战系统[M]. 北京: 解放军出版社, 2009: 38-52.

[3] DARPA. DARPA Grand Challenge[EB/OL]. [2014-09-11]. http://en.wikipedia.org/wiki/DARPA_Grand_Challenge.

[4] KROTKOV E, FISH S. The DARPA PerceptOR evaluation experiments[J]. Auto Robot, 2007, 22(1): 19-35.

[5] LESEMANN M. Testing and evaluation methods for ICT-based safety systems[EB/OL]. [2008-01-01].

(上接第 78 页)

[11] 郑万里, 佃松宜. Buck 变换器的变积分离散时间建模[J]. 计算机仿真, 2015, 32(1): 287-291.

[12] SHORTT D J, LEE F C. Improved switching converter model using averaging and discrete techniques[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1983, 19(2): 190-202.

[13] LIN C, QIU B, CHEN Q. Comparison of current input equivalent circuit models of electrical vehicle battery[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(12): 76-81.

[14] KHARE N, GOVIL R. Modeling automotive battery diagnostics[J]. Power Electronics Technology, 2008, 34(3): 36-41.

(上接第 81 页)

5 结论

笔者以提升火工品压药生产安全性和压药精度为目标,对传统使用气液增压药控制方式进行改进,通过采用带 PN 总线功能的伺服驱动系统,实现实时监控和限制压药力矩。实验结果表明,使用基于 PN 总线技术的伺服压药控制系统能够极大提升压药精度和压药过程的安全性。该技术可广泛应用在各类药剂感度较高的火工品药柱压制生产上。

参考文献:

[1] 叶迎华. 火工品技术[M]. 北京: 国防工业出版社,

<http://www.evaluate-project.eu/pdf/evaluate-080402-d11-v14-final.pdf>.

[6] ADAM J, ELENA M. Test arenas and performance metrics for urban search and rescue robots[C]//Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Las Vegas, NV: IEEE, 2003: 3396-3403.

[7] 李胜编译. 美国陆军无人作战系统试验规程[M]. 北京: 航空工业出版社, 2017: 174-271.

[8] 熊光明, 高利, 吴绍斌, 等. 无人驾驶车辆智能行为及其测试与评价[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2015: 188-198.

[9] 史辉, 刘向前. 地面无人平台在典型战场环境中的自主机动性能评价研究[J]. 兵工学报, 2014, 35(增 1): 17-23.

[10] 王凯. 武器装备作战系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 66-72.

[11] 苏治宝, 王宏明, 杨甜甜, 等. 地面无人作战平台性能评价指标体系[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(3): 562-565.

[15] TANI A, CAMARA M B, DAKYO B, et al. DC/DC and DC/AC converters control for hybrid electric vehicles energy management-ultracapacitors and fuel cell[J]. Industrial Informatics, 2013, 9(2): 686-696.

[16] 高建平, 葛坚, 赵金宝, 等. 复合电源系统功率分配策略研究[J]. 西安交通大学学报, 2015, 49(7): 17-24.

[17] 陈方. 基于超级电容的双向 DC/DC 变换器研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.

[18] 余泉. 基于混杂自动机模型的 DC/DC 变换器的控制方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.

[19] 段翔兮, 佃松宜, 郑万里. 基于离散演化映射的 DC/DC 变换器混合逻辑动态建模[J]. 电测与仪表, 2017, 54(3): 7-13.

2014: 1-3.

[2] 夏建才, 刘丽梅. 火工品制造[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009: 32-36.

[3] 徐文文, 毕雪芹, 陈超波. 基于 Volterra 级数对火工品起爆过程的辨识[J]. 兵工自动化, 2019, 38(8): 62-65.

[4] 樊学良, 赵凤歧, 向方容, 等. 气液增力技术在火工品生产中的应用[J]. 四川兵工学报, 2006, 6(5): 45-47.

[5] 阮毅, 陈伯时. 电力拖动自动控制系统—运动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 25-29.

[6] 刘国海. 现场总线 PROFINET[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 13-15.

[7] 上海英威腾工业技术有限公司. 英威腾技术指南[Z]. 上海: 上海英威腾工业技术有限公司, 2018.