

# 装甲车辆沙漠戈壁地区环境适应性试验设计

吴昊阳, 赵文哲, 常颖

(解放军 63966 部队, 北京 100072)

**摘要:** 针对我军当前装甲车辆鉴定定型试验中, 沙漠戈壁地区适应性试验考核试验覆盖度较低、考核强度不足、试验标准老旧等问题, 导致作战效能大幅下降, 甚至无法满足作战使用要求。在参照当前传统的严寒、湿热、高原地区适应试验组织方法基础上, 结合当前复杂环境试验及边界条件考核要求, 分析了沙漠戈壁地区敏感环境因素, 提出了 2 种新型试验方法, 一是“基础+复杂”组合的沙漠戈壁地区适应性试验方法, 二是基于作战使用任务剖面循环的试验方法, 进一步提升试验考核强度及深度, 为装甲车辆沙漠戈壁地区适应性试验开展提供了设计新思路。

**关键词:** 装甲车辆; 沙漠; 戈壁; 复杂环境; 环境适应性; 试验设计

中图分类号: TJ811

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2023)12-0095-07

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2023.12.012

## Experimental Design of Environmental Adaptability of Armoured Vehicles in Desert Gobi Area

WU Hao-yang, ZHAO Wen-zhe, CHANG Ying

(Unit 63966 of PLA, Beijing 100072, China)

**ABSTRACT:** The work aims to analyze the problems of low coverage, insufficient assessment intensity and old test standards in the current armored vehicle identification and finalization test carried out by Chinese army, because these problems have greatly reduced the operation effectiveness and even caused the failure to meet the requirements in operation. Based on the current traditional organization method of adaptation test in cold, hot and humid areas and plateau areas and combined with the current requirements of complex environmental test and boundary condition assessment, the sensitive environmental factors in desert Gobi area were analyzed and two new test methods were proposed: one was the adaptability test method of "basic+complex" combination in desert Gobi area and the other was the test method based on the task section cycle in operation, further improving the test evaluation strength and depth, and providing the design new idea for the adaptability test of the armored vehicles in desert Gobi area.

**KEY WORDS:** armored vehicles; desert; Gobi; complex environment; environmental adaptability; experimental design

目前, 我国大量的装甲车辆运用于吉布提基地驻军以及非洲地区国际维和任务, 在沙漠戈壁环境下执行任务的情况大幅增加, 必须要求装甲车辆具备良好

的沙漠戈壁环境适应性。然而, 有大量的武器装备因沙漠戈壁环境适应性试验考核不充分, 导致作战效能大幅下降, 甚至无法满足作战使用要求。例如在海湾

收稿日期: 2023-08-25; 修订日期: 2023-11-27

Received: 2023-08-25; Revised: 2023-11-27

引文格式: 吴昊阳, 赵文哲, 常颖. 装甲车辆沙漠戈壁地区环境适应性试验设计[J]. 装备环境工程, 2023, 20(12): 95-101.

WU Hao-yang, ZHAO Wen-zhe, CHANG Ying. Experimental Design of Environmental Adaptability of Armoured Vehicles in Desert Gobi Area[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(12): 95-101.

战争中,美军坦克的瞄准系统偏差大,造成打不中目标;英军挑战者-2型主战坦克在沙漠环境中的持续工作时间仅为4 h<sup>[1]</sup>,我军某型坦克在戈壁地区持续行驶里程大幅下降,机动性能严重降低。因此,必须通过加强沙漠戈壁地区环境适应性考核,全面检验装甲车辆在沙漠戈壁的环境适应性,摸清装备性能底数,从而提升装甲车辆的沙漠戈壁环境适应性。

近年来,我军装备试验鉴定体制发生重大改革,明确要求性能鉴定试验不仅要考核装备性能的达标度,更要突出复杂环境和近似实战条件下的检验考核,充分摸清装备性能底数,武器装备试验逐步从标准或典型条件下性能达标度考核向实战化、复杂环境及边界条件下的性能底数考核迈进。当前,我军装甲车辆性能鉴定试验主要依据GJB 848—1990《装甲车辆设计定型试验规程》进行设计,随着装备技术进步以及作战使用需求发生变化,该标准已经难以支撑沙漠戈壁的环境适应性试验设计,导致当前沙漠戈壁环境适应性试验考核存在覆盖度较低,考核强度不足的问题<sup>[2-4]</sup>。本文在参照当前传统的严寒、湿热、高原地区适应性试验组织方法基础上<sup>[5-9]</sup>,结合实战化考核、复杂环境及边界条件试验要求,分析沙漠戈壁地区敏感环境因素,提出装甲车辆沙漠戈壁地区适应性试验设计思路及试验方法。

## 1 沙漠戈壁环境对装甲车辆性能影响分析

### 1.1 沙漠戈壁环境特点

沙漠和戈壁都是荒漠的类型,沙漠是指沙质荒漠,戈壁是指砾石质荒漠,其共同特征是气候干燥、降水极少、蒸发强烈,植被稀少、物理风化强烈、风力作用强劲,呈荒漠、半荒漠化地貌<sup>[10-12]</sup>。

夏季,沙漠戈壁的最高气温达40℃以上,湿度小于25%,最大日温差可达25~30℃,地表温度一般在50~60℃,最高可达80℃,最大地表温差可达60~80℃。年均太阳总辐射可达6 000~6 200 MJ/m<sup>2</sup>,比同纬度地区多10%以上<sup>[13]</sup>。另外,沙漠地区风沙大,尘土多,最大风速可达25 m/s,沙暴月最大平均风速可达18 m/s,平均沙尘浓度可达0.157 g/m<sup>3</sup><sup>[14]</sup>。

### 1.2 敏感环境因素分析

沙漠戈壁气候对装甲车辆机动性能、火力性能、通信性能、电气性能、保障性及可靠性等均造成较大影响<sup>[15-22]</sup>,具体表现为:干热条件下,容易导致发动机及其辅助系统热负荷增加,传动系统过热,持续机动能力和持续工作能力下降,高温引起电子设备及元器件材料或结构的劣化,造成电气设备绝缘性能下

降,过高的温度使零部件极易产生热变形甚至裂纹,从而降低装备的性能。由于不同材料的热膨胀系数不同,昼夜温差引起材料产生异常应力,导致结构件损坏,涂层开裂脱落,火炮身管受热不均弯曲变形、射击精度降低等问题。沙漠戈壁地区的沙尘微粒容易引起连接、运动部件的磨损、卡滞以及腐蚀等问题。由于装甲车辆具有材料种类多、结构复杂、运动及转动机构多、精密电子设备多、接触沙尘浓度高等特点,沙尘微粒以磨粒方式存在于元器件接触面之间,或进入气路、油路等以流体形式对零件表面进行冲刷,或因沉积造成油路气路等堵塞,导致发动机、离合器、空气滤清器等磨损或损坏。漂浮在空中的沙尘还会对观瞄产生遮挡,对电磁波产生衰减,造成观瞄性能、通信性能下降。强太阳辐射容易导致橡胶件膨胀、破裂、老化、脆化,绝缘失效、密封失效,车辆油液渗漏等问题。沙漠、沙丘等松软沙地对车辆机动性能、通过性能造成较大影响,容易导致动力传动系统过热,辅助系统负荷增大,持续行驶能力下降,平均燃油消耗量急剧增大,车辆转向困难,履带装甲车辆容易发生脱履带现象。沙漠戈壁环境对装甲车辆主要性能影响见表1。

## 2 装甲车辆沙漠戈壁地区环境适应性试验设计

### 2.1 环境适应性试验现状分析

目前,装甲车辆的沙漠戈壁地区环境适应性试验主要依据GJB 848—1990开展。该标准中笼统地将装甲车辆试验地区分为常温、严寒、湿热、高原沙漠4类试验地区,存在环境区域不明确、试验条件模糊、考核项目不充分等问题<sup>[23-24]</sup>。如该标准中将高原、沙漠合成一类,在实际组织试验过程中,往往将这2个地区合二为一,以高原地域沙漠、戈壁滩环境的考核代替典型干热沙漠戈壁环境的考核,重点突出高原地区试验考核,弱化了沙漠戈壁地区的试验考核。标准中缺少对昼夜温差、高温、沙尘等特殊环境因素影响的考核。另外,在试验剖面及试验程序设计上,没有结合相应的作战任务剖面分析,实战化设计不足,难以充分考核装备任务可靠性、保障性等。

### 2.2 总体试验设计思路

装甲车辆沙漠戈壁试验项目采用“基础+复杂”组合的方式进行设计。“基础”指的是按照传统装甲车辆严寒、湿热、高原地区试验组织方式,相应组织开展沙漠戈壁地区适应性试验,其主要指在沙漠戈壁地区一般严酷自然环境条件(相对于常温地区)进行试验<sup>[25-27]</sup>。“复杂”指的是相对于一般严酷环境

表1 沙漠戈壁地区环境因素对装甲车辆影响分析  
Tab.1 Analysis of effect of environmental factors on armored vehicles in the desert Gobi area

敏感环境因素	环境特征参数	装甲车辆常见的性能下降问题或故障
干热	环境温度>40℃, 环境湿度<25%	动力传动系统过热, 辅助系统负荷增大, 润滑油性能下降, 液压、电气、通信、火控系统持续工作能力降低, 电气设备绝缘性能下降
日温差大	日温差可达 25~30℃	不同材料热膨胀系数不同产生异常应力, 导致结构件损坏, 涂层开裂脱落, 火炮身管受热不均弯曲变形、射击精度降低
风沙大	沙尘月浓度>0.157 g/m <sup>3</sup> (自然 环境) 沙尘浓度>2 g/m <sup>3</sup> (诱发环境)	发动机、变速箱等大部件机械磨损加剧, 运动关节异常磨损及机械卡滞, 空气滤性能降低及使用寿命减少, 电气、通信系统性能下降, 观瞄性能下降, 激光测距错误率升高, 射击精度下降, 卡弹、卡壳故障, 车体涂层、玻璃磨损加速
强太阳辐射	年均太阳总辐射>6 000 MJ/m <sup>2</sup>	橡胶件膨胀、破裂、老化、脆化, 绝缘失效、密封失效, 车辆油液渗漏
松软沙地	沙漠、沙丘	机动性能、通过性能下降, 动力传动系统过热, 辅助系统负荷增大, 持续行驶能力下降, 平均燃油消耗量急剧增大, 转向困难, 容易发生脱履带现象

条件更加恶劣环境条件下的试验考核, 更加突出复杂综合环境、极端严酷环境条件下的试验考核。“基础”试验主要考虑环境因素“均值”对装备性能的影响, 目的是确保到达规定的试验强度; “复杂”试验主要考虑环境因素的“极值”对装备性能的影响, 目的是确保达到一定的试验深度, 摸清装备的性能底数。

在“基础”试验和“复杂”试验项目设计的基础上, 按照实战化要求开展试验方案设计, 依据装甲车辆典型作战任务剖面设计相应的试验剖面, 将试验里程分配、各分系统可靠性工作时间、系统功能检查以及基本性能试验项目、复杂环境试验项目融合在试验剖面当中, 形成最终的试验方案。

### 2.3 试验环境设计

装甲车辆沙漠戈壁地区“基础”环境试验, 应在 GJB 848—1990 规定的常温、严寒、湿热、高原试验之外, 独立组织开展基本性能试验及通用质量特性试验<sup>[28-33]</sup>。试验地区应选取暖温性干旱极干旱戈壁地区, 如新疆吐鲁番、和田、哈密地区, 甘肃敦煌等地区的沙漠戈壁。另外, 格尔木塔里木盆地戈壁地区, 海拔为 2 600~3 000 m, 夏季气温可达 30℃以上, 具有高原、戈壁综合环境特征, 对动力系统散热性能的影响较大, 也可考虑作为一种特殊类型的沙漠戈壁试验地区。

“基础”环境试验重点考核干热、日温差、沙尘浓度、太阳辐射、松软沙地对装甲装备的影响, 而每年的 7 月至 9 月份, 正值夏季高温, 且高纬度地区日照长, 这几项环境因素在该时间段伴随出现的几率最大, 是最为理想的试验时间, 因此应在每年 7 月至 9 月份开展试验考核。

“复杂”环境试验, 重点考察装备在极端环境条

件下需要重点关注科目的性能情况, 应尽量在复杂、严酷的环境条件下开展。为提高试验考核强度, 充分暴露装备潜在问题缺陷, “复杂”环境试验的开展应结合试验区域环境因素历史数据、天气预报情况, 选择环境条件最为严酷的地区和时机来开展试验。“复杂”环境试验可以在“基础”环境试验开展期间穿插开展。当确实不具备“复杂”环境试验开展条件时, 可以组织相关专家进行论证后, 开展环境增强试验。

### 2.4 试验科目设计

“基础”和“复杂”主要是考虑环境因素对装甲车辆性能的影响。“基础”与“复杂”的试验科目之间并不设立严格的界限, “基础”环境试验包括基本性能试验及通用质量特性试验, “复杂”环境试验主要考核在极端气候环境下装备的性能表现, 相关试验科目可以小于或等于“基础”试验科目。鉴定试验实施单位可组织相关专家, 根据 GJB 59.30—1991《装甲车辆试验规程 沙漠地区适应性试验总则》、GJB 848—1990《装甲车辆设计定型试验规程》开展剪裁设计。

基本性能试验项目应参照 GJB 59.30—1991, 根据装备作战使命任务、战术技术指标要求以及沙漠戈壁环境因素对装甲车辆的影响程度进行有针对性的设置, 主要包括武器性能试验、指控通信性能试验、电气性能试验、三防装置性能试验、动力传动装置冷却试验、持续行驶试验、发动机燃油消耗量测定、平均速度测定等。

通用质量特性试验应参照 GJB 848—1990 规定要求分配一定的试验里程, 按设计定型试验总里程的 5%~10%把握, 使装甲车辆在沙漠戈壁环境下达到相当时长的暴露时间、系统工作时间及可靠性行驶里

程,使可靠性故障及作战使用问题能够得到充分的暴露,充分考核装甲车辆在沙漠戈壁环境下的可靠性、维修性、保障性、测试性及安全性。

复杂环境试验项目设计主要考虑以下几个方面:一是紧贴部队作战使用需求,对一线作战部队高度关注的、与作战使用密切相关的要优先列入环境试验项目体系;二是突出装甲车辆机动、火力、防护、指控通信等关重性能考核;三是与研制总要求规定的性能指标体系相适应,围绕性能指标体系,构建试验项目

及试验程序;四是依据环境因素对装备的影响机制和程度,把有对装备性能造成重要影响的纳入复杂环境试验及边界条件考核<sup>[34]</sup>。沙漠戈壁地区中的极端高温干热环境对车辆持续机动能力、各系统持续工作能力造成重要影响,极端沙尘环境对武器、通信等系统效能发挥造成较大影响,沙漠路面、沙漠纵坡会则影响车辆的通过性,因此重点针对以上复杂气象环境和复杂地理环境设置试验项目。典型的装甲车辆沙漠戈壁环境适应性试验项目体系构建如表2所示。

表2 沙漠戈壁地区环境试验项目体系  
Tab.2 Environmental test project system in the desert Gobi area

序号	试验类型	试验条件	试验项目	
1	基础试验	环境温度 30℃ 以上,相对湿度不高于 50%,一般沙尘条件	武器系统适应性试验	
2			电气设备性能试验	
3			通信设备性能试验	
4			观瞄装置性能试验	
5			发动机燃油润滑油消耗量测定及最大行程计算	
6			乘员、载员持续工作能力评定	
7			三防装置性能试验	
8			灭火抑爆装置性能试验	
9			动力传动装置冷却试验	
10			持续行驶试验	
11			发动机燃油消耗量测定	
12			平均速度测定	
13	复杂试验	极限高温干热(环境温度 40℃ 以上,相对湿度不高于 50%)	隐蔽性能试验	
14			持续行驶试验	
15			指控通信系统持续工作能力试验	
16			电气系统持续工作能力试验	
17			火控系统持续工作能力试验	
18			暴晒试验	
19			空气滤保障性试验	
20			极限沙尘条件(可见度小于 1 000 m,沙尘浓度大于 2 000 μg/m <sup>3</sup> )	沙尘条件下射击试验
21			沙尘条件下通信距离试验	
22			沙尘条件下观瞄性能试验	
23	沙漠路面	沙漠路面持续行驶试验		
	沙漠纵坡	沙漠纵坡通过性试验		

## 2.5 试验方案设计

试验方案设计重点是完成试验剖面设计,将作战任务剖面转化为试验剖面,综合考虑试验总体计划安排、试验周期、经费保障等问题,提出可靠性试验方案,对试验总里程及在各种路面上的分配比例,各分系统的工作时间分配进行设计,并将基础试验项目与复杂试验项目安排融入在试验剖面当中。

可将整个地区适应性试验划分为若干个试验循环,按一次作战行动的任务剖面设计单个试验循环,包含试验里程的分配,功能检查的内容与时机,维护保养的时机,基础性试验项目安排,复杂试验项目安

排等。综合考虑整体计划安排,将所有基础性试验项目均匀分散安排在各个试验循环中,复杂试验项目应根据预计出现复杂、极端试验条件的时机,穿插安排在各个试验循环中。例如,某型轮式装甲步兵战车在沙漠戈壁地区执行一次仓促防御作战任务,假定任务距离为 500 km,消耗弹药基数约 1.5 个,火控系统工作约 8 h,通信设备工作约 12 h,其沙漠戈壁地区空气滤保养周期为 500 km。该型装甲装备沙漠戈壁地区试验总里程为 4 000 km,可根据作战任务剖面设计分为 8 个试验循环,单个试验循环试验里程设置为 500 km,其中公路、戈壁路、沙漠路比例分配为 5:3:2,结合可靠性行驶过程,火控系统工作 8 h,指控通信

系统工作 12 h (见表 3)。500 km 行驶结束后,对整车火控系统、指控通信系统、三防装置、灭火抑爆装置、电气系统、观察装置以及其他系统设备进行功能检查,并按照维修保障方案开展维护保养工作,同时在第一、第二循环分别安排了三防装置性能试验、灭

火抑爆装置性能试验以及指控通信性能试验等,并根据气象情况预计在第二个循环中将出现极端高温干热天气,计划在此试验循环中安排持续行驶试验。武器系统射击试验因其试验消耗较大,可根据实际计划弹药数量安排在 1 个循环或少数几个循环内进行。

表 3 沙漠戈壁地区环境适应性试验方案设计案例(部分)

Tab.3 Design case of environmental adaptability test scheme in the desert Gobi area (partial)

日期	里程分配	系统工作时间	基础试验项目	复杂试验项目
第一循环	公路 250 km 戈壁路 150 km 沙漠路 100 km	火控系统 8 h; 信息系统 12 h	三防装置性能试验 灭火抑爆装置性能试验	沙漠纵坡通过性试验
第二循环	公路 250 km 戈壁路 150 km 沙漠路 100 km	火控系统 8 h; 信息系统 12 h	指控通信性能试验	预计出现极端高温干热环境, 计划开展持续行驶试验
...	...	...	...	...

### 3 结语

随着我军海外驻军、国际维和任务越来越频繁,急需加强装甲车辆沙漠戈壁地区的适应性考核,摸清装备在沙漠戈壁环境下的性能底数。本文提出了“基础+复杂”组合的沙漠戈壁地区适应性试验方法,以及基于作战使用任务剖面循环的试验方法,能够充分考核装甲车辆在沙漠戈壁环境下的功能性能和以基本可靠性、维修性为主的通用质量特性,同时能够充分考核任务可靠性、保障性等要求,能够有效解决当前沙漠戈壁环境试验强度不足、针对性较差的问题,提升试验考核强度及深度,为进一步提高装甲车辆沙漠戈壁地区环境适应性提供了技术支撑和保障。

#### 参考文献:

- [1] 文邦伟,胥泽奇. 外军装备环境适应性典型案例[J]. 装备环境工程, 2005, 2(3): 83-87.  
WEN B W, XU Z Q. The Typical Cases of Environmental Worthiness of Foreign Materiel[J]. Metal Forming Technology, 2005, 2(3): 83-87.
- [2] 梁山清,沈为群,张继华,等. 沙尘环境模拟测控平台的设计与研究[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(12): 3250-3252.  
LIANG S Q, SHEN W Q, ZHANG J H, et al. Design and Research of Sand and Dust Environmental Measurement and Control Platform[J]. Computer Measurement & Control, 2013, 21(12): 3250-3252.
- [3] 张纬华,韩志强,窦守健. 军用车辆自然环境区划研究[J]. 装备环境工程, 2005, 2(5): 26-32.  
ZHANG W H, HAN Z Q, DOU S J. Research on Zoning of Natural Environment for Military Vehicle[J]. Metal Forming Technology, 2005, 2(5): 26-32.
- [4] 吴小刚,张相刚,李兴江,等. 沙漠环境下军用轮式车辆的使用策略探讨[J]. 国防技术基础, 2008(5): 53-54.  
WU X G, ZHANG X G, LI X J, et al. Discussion on the Use Strategy of Military Wheeled Vehicles in Desert Environment[J]. Technology Foundation of National Defence, 2008(5): 53-54.
- [5] 赵继广,柯宏发,康丽华,等. 武器装备作战试验发展与研究现状分析[J]. 装备学院学报, 2015, 26(4): 113-119.  
ZHAO J G, KE H F, KANG L H, et al. Development and Current Researches of Weapon Equipment Operational Test[J]. Journal of Equipment Academy, 2015, 26(4): 113-119.
- [6] 李玉兰,董素荣,刘瑞林. 装甲车辆环境适应性研究体系[J]. 装备环境工程, 2017, 14(4): 82-86.  
LI Y L, DONG S R, LIU R L. Research System for Environmental Adaptability of Armoured Vehicles[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(4): 82-86.
- [7] 盛晟,赵亮亮,康文迪,等. 装备适用性全覆盖式指标体系构建方法[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(11): 88-96.  
SHENG S, ZHAO L L, KANG W D, et al. Construction Method Research on the Full Covering Index System of Equipment Suitability[J]. Fire Control & Command Control, 2022, 47(11): 88-96.
- [8] 史建峰,李世亮,黎明军. 环境条件对某型陆军导弹电子设备可靠性的影响[J]. 科技信息, 2008(32): 171.  
SHI J F, LI S L, LI M J. Influence of Environmental Conditions on the Reliability of Electronic Equipment of an Army Missile[J]. Science & Technology Information, 2008(32): 171.
- [9] 申元村,王秀红,程维明,等. 中国戈壁综合自然区划研究[J]. 地理科学进展, 2016, 35(1): 57-66.  
SHEN Y C, WANG X H, CHENG W M, et al. Integrated Physical Regionalization of Stony Deserts in China[J]. Progress in Geography, 2016, 35(1): 57-66.

- [10] 张轩, 丁文捷. 沙漠地区现代技术装备应用条件分析[J]. 宁夏工程技术, 2013, 12(1): 1-4.  
ZHANG X, DING W J. The Analysis for Application of Modern and Equipment in Desert Areas[J]. Ningxia Engineering Technology, 2013, 12(1): 1-4.
- [11] 吕卫民, 李永强. 电子功能部件环境适应性试验优化设计[J]. 系统工程与电子技术, 2020, 42(7): 1630-1636.  
LYU W M, LI Y Q. Electronic Functional Equipment Environmental Adaptability Test Optimal Design[J]. Systems Engineering and Electronics, 2020, 42(7): 1630-1636.
- [12] 刘帅, 王瑞, 张宏江, 等. 装甲装备在沙漠环境下的适用性评估技术[J]. 火力与指挥控制, 2021, 46(10): 164-169.  
LIU S, WANG R, ZHANG H J, et al. Study on Applicability Evaluation Technology of Armored Equipment in Desert Environment[J]. Fire Control & Command Control, 2021, 46(10): 164-169.
- [13] 刘奎芳. 干热沙漠环境机电仪产品环境技术要求[J]. 环境技术, 1997, 15(1): 9-12.  
LIU K F. Demand Form Environment Engineering in Mechanical and Electric Apparatus Used in Dry and Hot Desert[J]. Environmental Technology, 1997, 15(1): 9-12.
- [14] 全浩. 关于中国西北地区沙尘暴及其黄沙气溶胶高空传输路线的探讨[J]. 环境科学, 1993, 14(5): 60-64.  
QUAN H. The Study on the Sand-Dust Storms in Northwest China Region and the High-Altitude Transportation Path of the Kosa Aerosol[J]. Environmental Science, 1993, 14(5): 60-64.
- [15] 李彰培, 张铮. 电子装备常用材料沙漠自然环境试验技术研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2005, 23(S1): 21-24.  
LI Z P, ZHANG Z. Research on Desert Natural Environment Test Technology of Common Materials for Electronic Equipment[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2005, 23(S1): 21-24.
- [16] 王克运, 何志刚, 关涛. 装甲车辆模块化实验平台总体研究[J]. 机械工程师, 2015(8): 133-135.  
WANG K Y, HE Z G, GUAN T. Overall Research on the Modular Experiment Platform of Armored Vehicles[J]. Mechanical Engineer, 2015(8): 133-135.
- [17] 柳泓蛰, 黄瑞颜, 戴志远, 等. 特种车辆试验测试模拟信号采集系统设计[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(9): 57-63.  
LIU H Z, HUANG R Y, DAI Z Y, et al. Design of Analog Signal Acquisition System for Special Vehicle Test[J]. Automation & Instrumentation, 2022, 37(9): 57-63.
- [18] 运伟国, 余高翔, 叶连生, 等. 车辆试验用环境舱迎面风速优化研究[J]. 汽车科技, 2022(1): 119-123.  
YUN W G, SHE G X, YE L S, et al. Headwind Speed Optimization Study of Vehicle Experimental Environment Cabin[J]. Auto Sci-Tech, 2022(1): 119-123.
- [19] 刘玉. 沙漠环境特点及其对工程装备的影响[J]. 装备环境工程, 2012, 9(6): 67-71.  
LIU Y. Characteristics of Desert Environment and Its Influence on Engineering Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(6): 67-71.
- [20] 许翔, 张众杰, 凤蕴, 等. 汽车环境适应性试验综述[J]. 装备环境工程, 2013, 10(1): 61-65.  
XU X, ZHANG Z J, FENG Y, et al. Review of Automobile Environmental Worthiness Test[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(1): 61-65.
- [21] 王正青. 面向实战摸清底数——谈复杂环境与边界条件下的武器装备试验鉴定[J]. 现代防御技术, 2019, 47(5): 1-7.  
WANG Z Q. Combat Oriented Base Performance Testing: Testing Identification of Weapon System in Complex Scenes and Boundary Conditions[J]. Modern Defence Technology, 2019, 47(5): 1-7.
- [22] 郑宁歌, 何文卿, 刘国亮, 等. 装备极限边界条件试验考核现状及对策研究[J]. 现代防御技术, 2018, 46(4): 133-138.  
ZHENG N G, HE W Q, LIU G L, et al. Status Quo of Limit and Boundary Condition Acceptance Test of Equipment and Countermeasures[J]. Modern Defence Technology, 2018, 46(4): 133-138.
- [23] GJB 848—1990, 装甲车辆设计定型试验规程[S].  
GJB 848-1990, Test Procedure for Final Design of Armoured Vehicles[S].
- [24] GJB 59.30—1991, 装甲车辆试验规程 沙漠地区适应性试验总则[S].  
GJB 59.30—1991, Test Operations Procedure for Armoured Vehicles General Rules for Desert Area Adaptability Test[S].
- [25] 刘中晖, 王凯, 樊延平. 基于作战视图的新型坦克作战试验任务剖面设计[J]. 装甲兵工程学院学报, 2017, 31(6): 30-33.  
LIU Z X, WANG K, FAN Y P. A New Type of Tank Operational Test Task Profile Design Based on Operational View[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2017, 31(6): 30-33.
- [26] 汪江鹏, 汪民乐, 邓力源, 等. 轻型合成营高原山地进攻作战环境适应能力评估[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(7): 78-83.  
WANG J P, WANG M L, DENG L Y, et al. Evaluation of the Adaptability of the Light Synthetic Battalion's Plateau and Mountainous Offensive Combat Environment[J]. Fire Control & Command Control, 2022, 47(7): 78-83.
- [27] 卢进军, 谢东升, 王建东, 等. 某重型车辆空气滤清器在沙漠地区的试验研究[J]. 车辆与动力技术, 2016(3): 16-20.  
LU J J, XIE D S, WANG J D, et al. Experimental Research on Air Filter of a HDV in Desert Area[J]. Vehicle & Power Technology, 2016(3): 16-20.
- [28] 郑晓亚, 周博, 郭文涛, 等. 军贸车辆试验测试标准体系研究[J]. 测试技术学报, 2021, 35(6): 529-532.

- ZHENG X Y, ZHOU B, GUO W T, et al. Research on the Test Standard System of Armoured Vehicle in Military Trade[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2021, 35(6): 529-532.
- [29] 丁凯, 王洪炜. 科威特“沙漠变色龙”新型装甲运输车[J]. 坦克装甲车辆, 2018(5): 9-11.  
DING K, WANG H W. Kuwait “Desert Chameleon” New Armored Transport Vehicle[J]. Tank & Armoured Vehicle, 2018(5): 9-11.
- [30] 卢莉萍, 张晓倩, 李翰山. 破片对地面装甲车毁伤评估计算方法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2021, 41(5): 19-23.  
LU L P, ZHANG X Q, LI H S. Research on the Damage Evaluation Calculation Method of Warhead Fragment to Ground Armored Vehicle[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2021, 41(5): 19-23.
- [31] 赵其进, 魏曙光, 廖自力, 等. 装甲车用轮毂电机转矩观测及无位置传感器改进控制[J]. 机械工程学报, 2021, 57(18): 252-263.  
ZHAO Q J, WEI S G, LIAO Z L, et al. Torque Observation and Improved Sensorless Control of Hub Motor for Armored Vehicles[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2021, 57(18): 252-263.
- [32] 卢莉萍, 张晓倩, 李翰山. 地面装甲车毁伤概率计算方法[J]. 南京理工大学学报, 2021, 45(4): 497-503.  
LU L P, ZHANG X Q, LI H S. Damage Probability Calculation Method of Ground Armored Vehicle[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2021, 45(4): 497-503.
- [33] 孙福治. 美国陆军的沙漠环境试验中心——尤马试验场[J]. 现代兵器, 1989(12): 38-39.  
SUN F Z. Yuma Proving Ground, the Desert Environment Test Center of the US Army[J]. Modern Weaponry, 1989(12): 38-39.
- [34] 卢进军, 谢东升, 王建东, 等. 某重型车辆空气滤清器在沙漠地区的试验研究[J]. 车辆与动力技术, 2016(3): 16-20.  
LU J J, XIE D S, WANG J D, et al. Experimental Research on Air Filter of a HDV in Desert Area[J]. Vehicle & Power Technology, 2016(3): 16-20.

责任编辑: 刘世忠