

单兵光电侦察装备作战效能试验技术研究

史圣兵, 秦少刚, 陈振兴, 张俊生, 宋宏伟

(63863 部队, 吉林 白城 137001)

摘要: 随着战争模式和作战样式的变化, 要求传统的性能试验要向作战试验转型, 以考核武器装备在接近真实作战环境下的能力。当前, 作战效能评估方法已被广泛研究, 但如何进行作战效能试验缺少探讨。针对单兵光电侦察装备的使命特点, 在作战环境构建、指标体系构建和试验项目实施 3 个方面给出了开展作战效能试验的方案设计思路, 并采用 ADC 评估模型进行效能评估。通过两类单兵光电侦察装备作战效能试验, 证明了该试验技术的可行性和科学性, 对其他类武器装备作战效能评估提供了借鉴意义。

关键词: 兵器科学与技术; 单兵光电侦察装备; 作战效能; 试验技术

中图分类号: TJ06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1093(2015)03-0566-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1093.2015.03.027

Test Technology for Operational Effectiveness of Portable Electro-optical Reconnaissance Equipment

SHI Sheng-bing, QIN Shao-gang, CHEN Zhen-xing, ZHANG Jun-sheng, SONG Hong-wei

(No. 63863 Unit of PLA, Baicheng 137001, Jilin, China)

Abstract: With the changes in war mode and battle style, the traditional performance test is changed to operational test for assessing the capacity of weapon system under the near real combat environment. The evaluation method of operational effectiveness has been widely studied, but little research on operational effectiveness test has been done. For the portable electro-optical reconnaissance equipment, the scheme design ideas of operational effectiveness test are presented based on war environment, index system and test implementation. The operational effectiveness is evaluated with ADC method. The test method is proved to be feasible through operational effectiveness test of two kinds of portable electro-optical reconnaissance equipment, and can be used for operational effectiveness evaluation of other weapon system.

Key words: ordnance science and technology; portable electro-optical reconnaissance equipment; operational effectiveness; test technology

0 引言

武器装备已进入信息化时代, 随着战争模式和作战样式的变化, 在实际训练和作战过程中, 受到自然环境、相互干扰、可靠性、安全性等不可控因素影响较大。这些因素的影响, 往往使其作战能力难以

达到传统试验方式评价出的性能, 而为保证武器装备战时发挥真正作用, 必须在接近实战的环境下评价武器装备。

作战试验包括作战效能试验和作战适用性试验。效能试验, 指的是围绕武器装备的军事应用, 对装备对象完成军事任务的能力及其发挥水平所进行

的一系列科学测量与评测活动^[1]。

当前有关作战效能的研究着重两方面内容:一是顶层设计研究,即对作战效能流程从框架上予以论述^[1];二是评估方法应用研究,即将现有评估模型应用到具体实例上^[2-5]。上述研究对于开展武器装备作战效能试验具有借鉴意义,但指导性和可操作性不强。

本文针对单兵光电侦察装备特点,重点研究了试验方案设计和效能评估,从而将作战效能试验流程完整化和具体化,使得武器装备作战效能试验更加科学、可行。

1 作战效能试验基本思路

1.1 效能试验与性能试验区别

当前,性能试验主要是考核装备性能是否满足战术技术指标要求,目的是评价装备是否满足设计要求,其试验条件都是标准化。

效能试验更多要求是在接近实战的条件下开展各种性能试验,其试验条件具有典型化和一般化结合的特点,充分考虑战场环境和各地域的自然环境,给出的试验结果能够评价真实作战能力,从而为部队使用提供更多参考。

效能试验与性能试验相比,具有以下特点:

1)环境复杂化。充分考虑武器装备使用过程中可能出现的地表环境、气象环境及对抗环境等。

2)目标多样化。根据试验目的,设置多种类、多特性的目标,考核武器装备全面能力。

3)任务合理化。以敌方的武器装备作为试验目标,按照部队的战术要求开展各项试验。

1.2 作战效能试验初步构想

从作战效能试验定义可知,开展作战效能试验要依据两个任务剖面,即训练任务剖面和作战任务剖面。作战效能试验最终目的,就是在实战之前得到武器装备在战场上的作战能力。因此,开展作战效能试验主要应是依据作战任务剖面,设置一系列试验项目,全面评价武器装备作战能力。

单兵光电侦察装备典型作战任务剖面及各阶段相关操作或任务如图1所示。

在整个作战任务过程中,单兵光电侦察装备都处在自然环境和战场环境交融的复杂作战环境中,受自身可靠性、维修性、安全性、战士心理及目标种类、特性等因素的持续影响,其整体作战性能必然较设计性能有一定差距,这个差距到底有多少正是作战效能试验所关心的。

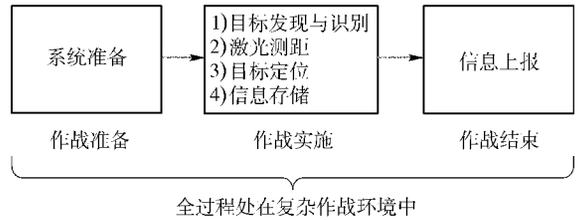


图1 单兵光电侦察装备典型作战任务剖面

Fig. 1 Typical battle mission profile of electro-optical reconnaissance equipment

2 作战效能试验方案设计

从作战效能试验基本思路可以看出,开展作战效能试验重点是进行三方面工作:作战环境构建、指标体系构建和试验方法确定。

2.1 作战环境构建

作战环境包括地表环境、气象条件、对抗环境、作战时间等,单兵光电侦察装备由于作战使命和任务要求,其面临的作战环境是复杂多样的,根据以往的试验经验抽取典型因素,其作战环境典型因素见表1。

表1 作战环境典型因素

Tab. 1 Typical factors of battle environment

类别	编号		
	1	2	3
地表环境	树林	草原	山地
气象条件	晴	雾霾	雨雪
对抗环境	无	电磁干扰	复合干扰
作战时间	白昼	夜晚	晨昏

针对典型因素开展效能试验,那么构建的作战环境有81种,理论上可以实施,但实际操作上要耗费巨大的人力、物力、财力,代价太大。因此,需要采用某种试验设计方法,对作战环境数量进行处理。

正交设计法是解决多因子试验问题的有效方法之一,通过正交设计,可以大大降低试验数量。表1中,类别可看作试验中的因子,编号1~3代表了每个因子的3个水平,若进行完全正交设计,可采用正交表 $L_9(3^4)$,即将81种作战环境降低至9种,具体方案见表2。

对于多种因素的作战环境构建,都可采用多因子试验设计方法,既保证试验质量,又提高试验效率,同时大大降低试验消耗。

2.2 指标体系构建

试验方案设计的核心是构建指标体系。指标不

表 2 基于正交设计的作战环境方案

Tab.2 Scheme of battle environment with orthogonal design

组合号	地表环境	气象条件	对抗环境	作战时间
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

是越多越好,应从众多性能指标中选取那些主要的、对装备作战任务影响较大的指标,通过对这些指标考核,获得的试验结果能反映某方面能力,从而更好的评估装备效能。

单兵光电侦察装备作战使命就是对特定战术目标进行侦察定位,一般情况由侦察子系统、测距子系统、定位子系统、定向子系统等组成,分别实现可见光/红外侦察、激光测距、GPS/北斗定位和定向等功能,每个子系统都有众多的性能指标,从重要性、相关性等方面进行分析,构建的单兵光电侦察装备作战效能试验评估指标体系见图 2 所示。

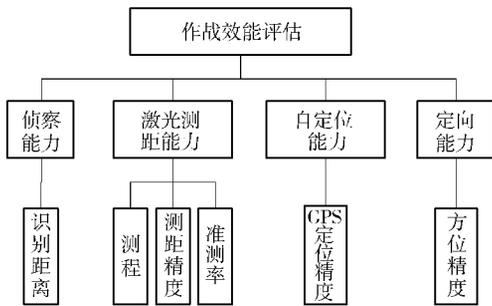


图 2 单兵光电侦察装备作战效能评估指标体系

Fig.2 Index system of operational effectiveness evaluation

从图 2 中可以看出,通过对单兵光电侦察装备识别距离、测程等性能测试,统计分析出侦察、激光测距、自定位及定向 4 个方面的能力,就可以采用某种评估方法进行作战效能评估。

2.3 试验方法确定

试验方法就是获取指标能力的具体实施,主要包括试验条件、试验要求、试验实施、数据处理 4 个方面。

试验条件就是规定试验环境、靶标等,试验要求

就是规定试验时间、战术动作等,试验实施就是规定试验具体执行过程,数据处理就是对试验数据采用统计方法来获取需要的信息。

下面就以识别距离试验进行表述:

1) 试验条件。作战环境采用表 2 中的组合号 1,靶标为坦克、自行火炮、步兵战车、单兵(3 人,分为直立、直立携装备、直立运动 3 种姿态)。

2) 试验要求。观测人员以隐蔽姿态观测,每次对每组靶标观测时间不超过 30 s。

3) 试验实施。观测人员为 4 名(含)以上,试验指挥 1 名。将坦克、自行火炮、步兵战车目标编为 A 组,单兵编为 B 组。试验时,在最大距离上将两组目标按照试验指挥要求排列,观测人员按照战术要求进行目标观察,人员之间无交流,将观察结果记录在试验表格上,此为 1 次试验。试验指挥调整每组目标的排列顺序,按上述要求再次进行观测。9 次后,则停止试验。若观测人员对每次试验中的目标顺序全部观测正确,则判定该人员能够识别该组目标。

4) 数据处理。统计能够识别的组数与总组数之比,则为识别概率。

通过完成单项指标效能试验,得到影响单兵光电侦察装备作战效能的侦察能力、激光测距能力、自定位能力及定向能力,为下一步进行效能评估奠定基础。

3 作战效能评估

效能评估方法很多,ADC 法、层次分析法、模糊综合法、神经网络以及这些方法的综合评估^[2-6]。近年来,一些新方法也涌现出来,如刘义等提出的一种基于非线性指标聚合的反辐射武器作战效能评估模型^[7],很好地解决了反辐射武器效能评估问题。上述方法都有各自优缺点,因此进行效能评估时应具体事件具体分析。ADC 法目前应用较为广泛,下面就 ADC 法建立单兵光电侦察装备作战效能评估模型。

ADC 法是由美国武器系统效能工业咨询委员会(WSEIAC)提出的,该方法认为:系统效能是预期一个系统满足一组特定任务要求的程度度量,是系统可用性、可信性与固有能力的函数,该方法模型为

$$E = ADC, \quad (1)$$

式中: E 为系统效能; A 为可用性向量, $A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ 表示系统在开始执行任务时系统状态的量度, $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为系统开始执行任务时处于状

态 i 的概率, n 为系统在开始执行任务时的状态数目; D 为可信性矩阵, 表示系统在执行任务期间的随机状态, $D = (d_{ij})_{n \times n}$, 其中 d_{ij} 为系统开始执行任务时处于状态 i , 执行任务期间处于状态 j 的概率; C 为能力向量或矩阵, $C = [c_1, c_2, \dots, c_n]$ 或 $C = (c_{ij})_{n \times n}$, $C = [c_1, c_2, \dots, c_n]$ 强调了对系统完成任务最有影响的是最终状态, $C = (c_{ij})_{n \times n}$ 认为初始状态和最终系统完成任务时所处的状态是相关的, 对系统完成任务都有影响, 要根据实际状况对完成任务的最终影响确定 C 的形式。

3.1 可用性向量 A

从作战使用角度看, 最有意义、最直接的两个状态就是正常状态和故障状态, 因此, 可用性向量表达式为

$$A = [a_1, a_2], \quad (2)$$

式中: a_1 表示装备开始执行任务时处于正常工作状态的概率; a_2 表示装备开始执行任务时处于故障状态的概率。依据可靠性理论, 则有:

$$a_1 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1/\lambda}{1/\lambda + 1/\mu}, \quad (3)$$

$$a_2 = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} = \frac{1/\mu}{1/\lambda + 1/\mu} = 1 - a_1, \quad (4)$$

式中: $MTBF$ 为手持式光电侦察装备平均故障间隔时间; $MTTR$ 为手持式光电侦察装备平均修复时间; λ 为故障率; μ 为修复率。

因此, 可用性向量表达式为

$$A = \left[\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}, \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} \right] = \left[\frac{1/\lambda}{1/\lambda + 1/\mu}, \frac{1/\mu}{1/\lambda + 1/\mu} \right]. \quad (5)$$

3.2 可信性矩阵 D

手持式光电侦察装备在执行任务过程中, 仍然有两个状态: 正常状态和故障状态, 因此可信性矩阵表示为

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

由于手持式光电侦察装备大都为电子设备, 其故障率、修复率服从指数分布, 则有:

$$D = \begin{bmatrix} e^{-\lambda t} & 1 - e^{-\lambda t} \\ 1 - e^{-\mu t} & e^{-\mu t} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

在执行任务过程中, 一旦装备出现故障, 操作人员无法依靠现场工具进行维修, 所以可信性矩阵简化为

$$D = \begin{bmatrix} e^{-\lambda t} & 1 - e^{-\lambda t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

3.3 能力向量 C

系统的能力与在执行任务时所处的状态密切相关, 同一系统, 由于所处的状态不同, 其完成任务的能力也不同。对于单兵光电侦察装备来讲, 其完成任务的能力与转移的最终状态有关, 在此情况下, C 为能力向量, 即:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

由图 2 可知, 单兵光电侦察装备作战能力可由下面 4 个方面描述:

- 1) 侦察能力, 由识别概率 P_d 表征;
- 2) 激光测距能力, 由测距成功率 P_l 表征;
- 3) 自定位能力, 由自定位成功率 P_s 表征;
- 4) 定向能力, 由定向成功率 P_o 表征。

只有当这些能力同时具备时, 单兵光电侦察装备作战能力才能体现, 因此可看作串联系统, 即单兵光电侦察装备作战能力可表示为

$$C_1 = P_d P_l P_s P_o. \quad (10)$$

能力向量 C 表示为

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_d P_l P_s P_o \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

将(5)式~(11)式代入(1)式, 即可得到单兵光电侦察装备作战效能:

$$E = ADC = \begin{bmatrix} \frac{1/\lambda}{1/\lambda + 1/\mu}, \frac{1/\mu}{1/\lambda + 1/\mu} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e^{-\lambda t} & 1 - e^{-\lambda t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_d P_l P_s P_o \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

用两类性能有差异的单兵光电侦察装备(编号为 1 和 2)分别进行作战效能试验, 试验数据见表 3。

表 3 两类装备作战效能试验结果

Tab. 3 Test results of operational effectiveness

性能	装备	
	1 号	2 号
平均故障间隔时间 $MTBF/h$	1 000	1 000
平均修复时间 $MTTR/min$	20	30
识别概率 P_d	0. 833	0. 978
激光测距能力 P_l	0. 992	0. 996
自定位能力 P_s	0. 974	0. 988
定向能力 P_o	0. 956	0. 971

通过对两类装备试验数据处理, 得出的作战效能与实际使用是相符的。

若执行任务时间为 4 h, 则由(12)式计算可得作战效能分别为 $E_1 = 0. 766$, $E_2 = 0. 930$ 。

4 结论

本文对单兵光电侦察装备如何开展作战效能试验提出了基本思路和试验方案,并采用 ADC 法进行了效能评估,通过两类装备作战效能试验比较,证明了整个作战效能试验是可行的。当然,要形成一个完善的作战效能试验体系,还需在指标体系构建、指标关联性分析与处理、无量纲化处理、固有能力分析与建模、作战环境复杂性、评价准则等几方面进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] 王凯,赵定海,闫耀东,等. 武器装备作战试验[M]. 北京:国防工业出版社,2012.
WANG Kai, ZHAO Ding-hai, YAN Yao-dong, et al. Operational test of weapon and equipment[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012. (in Chinese)
- [2] 潘高田,周电杰,王远立,等. 系统效能评估 ADC 模型研究和应用[J]. 装甲兵工程学院学报,2007,21(2):5-7.
PAN Gao-tian, ZHOU Dian-jie, WANG Yuan-li, et al. Research and application of the system effectiveness evaluation ADC model [J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2007, 21(2):5-7. (in Chinese)
- [3] 贾跃,赵学涛,林贤杰,等. 基于 BP 神经网络的鱼雷作战效能模糊综合评价模型及其仿真[J]. 兵工学报,2009,30(9):1232-1235.
JIA Yue, ZHAO Xue-tao, LIN Xian-jie, et al. Fuzzy multifactorial evaluation model of torpedo operational effectiveness based on BP neural network and its simulation [J]. Acta Armamentarii, 2009, 30(9): 1232-1235. (in Chinese)
- [4] 陈兆兵,郭劲,王兵,等. 车载高架式光电探测系统的作战效能评估[J]. 光学精密工程,2013,21(1):77-86.
CHEN Zhao-bing, GUO Jin, WANG Bing, et al. Operational efficiency evaluation of vehicle carrying and high supporting optoelectronic detecting system[J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(1):77-86. (in Chinese)
- [5] 包悦,张志峰,刘力. 基于改进 ADC 模型的反导弹弹战斗部作战效能评估[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2012,13(6):30-34.
BAO Yue, ZHANG Zhi-feng, LIU Li. Evaluation operational effectiveness of missile defense warhead based on the modified ADC model [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2012, 13(6):30-34. (in Chinese)
- [6] 张超,马存宝,胡云兰,等. 基于多指标决策的武器装备作战效能综合评估[J]. 兵工学报,2006,27(6):1081-1085.
ZHANG Chao, MA Cun-bao, HU Yun-lan, et al. Composite evaluation of operational effectiveness for weapon equipment based on multiple criterion decision making [J]. Acta Armamentarii, 2006, 27(6):1081-1085. (in Chinese)
- [7] 刘义,赵春娜,王雪松,等. 一种反辐射武器作战效能评估方法[J]. 兵工学报,2011,32(3):321-326.
LIU Yi, ZHAO Chun-na, WANG Xue-song, et al. Evaluation approach for anti-radiation weapon's effectiveness [J]. Acta Armamentarii, 2011, 32(3):321-326. (in Chinese)