

·测试、试验与仿真·

## 激光侦察装备作战效能评估初探

高俊光, 韩新文, 赵 威, 车进喜, 杨宝庆

(63880 部队, 河南 洛阳 471003)

**摘 要:**根据激光侦察装备的工作原理,分析了影响其作战效能的主要因素,用系统分析的方法,通过对系统的可用度向量  $A$ 、可信度矩阵  $D$  和能力向量  $C$  的建模,建立了定量评价激光侦察装备综合作战效能的数学模型,并通过算例对模型进行了验证。

**关键词:**激光侦察;作战效能;模型

中图分类号:TN977

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2010)05-0074-03

## Study on the Evaluation of Combat Efficiency of Laser Reconnaissance Equipment

GAO Jun-guang, HAN Xin-wen, ZHAO wei, CHE Jin-xi, YANG Bao-qing

(63880 Army Unit, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** Based on the working mechanism of laser reconnaissance equipment, the main factors effecting combat efficiency were analyzed. According to the method of systems analysis, by modeling the availability vector  $A$ , reliability vector  $D$  and ability vector  $C$  of the system, the mathematic model to quantitatively evaluate the combat efficiency of laser reconnaissance equipment was established. Finally, the models was validated with an example.

**Key words:** laser reconnaissance; combat efficiency; model

系统效能<sup>[1]</sup>是系统达到其任务目标的度量,可用完成一个任务的概率来表示,或与系统任务目标有关的期望效果来表示,激光侦察装备的作战效能是对激光侦察装备本身所具有的、完成给定作战任务的能力进行分析和评估。

效能分析首先要确定目标,一般装备均具有多样的任务目标,同一装备完成不同任务目标的能力各不相同.效能目标的多样性决定了性能度量的多元性,不同角度对装备效能分析其内涵也有不同.战术技术指标可以从一个角度说明装备效能的大小.目前,在评估武器系统的效能时,最普遍采用的是美国工业界武器效能咨询委员会(WSEIAC)建立的一个效能模型,简称 WSEIAC 模型.文中通过分析影

响激光侦察装备作战效能的主要因素,用 WSEIAC 系统分析的方法,探索建立激光侦察装备系统作战效能数学模型。

### 1 WSEIAC 效能模型<sup>[2,3]</sup>

WSEIAC 模型有时也称为 ADC 模型,它是通过系统的可用性( $A$ )、可信性( $D$ )和能力( $C$ )这 3 个关键属性来评定总的系统效能( $E$ )。

系统完成特定任务的概率是系统效能最重要的指标,系统效能一般都是指该系统完成特定任务的概率,即  $E$  是单一的数值.其表达式为

收稿日期:2010-07-14

基金项目:国家部委研究基金资助

作者简介:高俊光(1978-),男,工程师,硕士,主要研究方向为光电工程。

$$E = \mathbf{A} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{C} = [a_1, a_2, \dots, a_n] \cdot \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,  $\mathbf{A}$  为可用性向量, 表示系统在开始执行任务时处于不同状态的概率, 它是武器系统可随时随地启用的性能;  $\mathbf{D}$  是可信性矩阵, 表示系统在执行任务过程中, 完成规定任务或具备规定性能的状态, 它是武器系统正常工作和运转的性能;  $\mathbf{C}$  是能力列向量, 表示系统在各种状态下完成作战任务的能力, 它是武器系统完成规定作战任务的性能。

## 2 激光侦察装备综合作战效能评估模型

激光侦察装备是一种用于截获、测量、识别激光威胁信号并实时告警的光电侦察设备<sup>[4,5]</sup>。它通常装载在飞机、舰船、坦克及单兵头盔上, 或安装在地面重点目标上, 对激光测距机、目标指示器、激光制导武器的激光信号进行实时探测、识别和告警。

激光侦察装备通常由激光光学接收系统、光电传感器、信号处理器、显示与告警装置等部分组成<sup>[6]</sup>, 用于测量激光辐射源的方位、波长、脉冲、重复频率等技术参数, 如图 1 所示。激光光学接收系统截获激光束、滤除大部分杂散光后将激光束汇聚到光电传感器上, 光电传感器将光信号转变为电信号后送至信号处理器, 经信号处理器处理后送至显示器, 显示器可显示出目标类型、威胁等级以及方位等有关信息, 并发出告警信号。

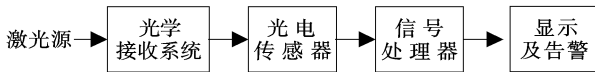


图 1 激光侦察装备组成示意图

### 2.1 系统可用性向量的确定

系统开始执行任务时, 可能处于各种不同的状态, 如果只考虑 2 个最有意义的状态: 执行任务时系统处于正常工作状态或者处于故障状态, 并且用平均故障间隔时间 ( $MTBF$ ) 来表示系统处于正常工作状态的数量特征, 用平均修复时间 ( $MTTR$ ) 来表示系统处于故障的数量特征。那么系统的可用性向量表示为

$$\mathbf{A} = (a_1, a_2)$$

$$a_1 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}, a_2 = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} \quad (2)$$

### 2.2 可信性矩阵的确定

可信性是系统在执行任务过程中所处的状态的量度。任务开始的任一状态, 在执行任务过程中会因为系统的变化和维护修理, 都可能转化到其他状态。可信性矩阵就是由所有状态转化的概率组成的, 主要与各分系统的任务可靠度有关。

假设激光侦察装备在执行任务过程中不能修复, 则有

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中,  $d_{11}$  表示系统开始执行任务时处于正常工作状态, 而在执行任务过程中仍处于正常工作状态的概率, 主要与各分系统的可靠度有关, 激光侦察装备主要包括告警分系统和数据处理分系统;  $d_{12}$  表示系统开始执行任务时处于正常工作状态, 而在执行任务过程却发生故障的概率, 显然, 除了正常状态, 系统处于故障状态的概率  $d_{12} = 1 - d_{11}$ ;  $d_{21}$  表示系统开始执行任务时处于故障状态, 而在执行任务过程中却处于正常工作状态的概率;  $d_{22}$  表示系统开始执行任务时处于故障状态, 而在执行任务过程中仍处于故障状态的概率。

### 2.3 能力向量的确定

装备系统的能力是指系统最终完成特定任务的程度, 与系统在执行任务过程中所处的状态密切相关。系统能力的量化指标是能力度。能力度是以概率表示装备系统在各种状态下完成不同作战要求的能力, 它说明了设计能力与作战环境所要求的系统能力之间的符合程度。对于装备系统来说, 正常工作只是完成特定任务的必要条件, 而非充分条件。这是因为, 在正常工作条件下, 系统能否完成任务存在随机性, 它与系统多种性能有关, 因此系统能力向量中的元素常常是多个概率的乘积。

激光侦察装备的能力矩阵选用对其作战效能影响最大的 2 个因素即信号截获能力和信号分析处理能力作为作战效能指标

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_{11} + C_{12} \\ C_{21} + C_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中,  $C_{11}$  表示系统处于正常状态的信号截获能力;

$C_{12}$ 表示系统处于故障状态的信号截获能力; $C_{21}$ 表示系统处于正常状态的信号分析处理能力; $C_{22}$ 表示系统处于故障状态的信号分析处理能力.

信号截获能力  $C_{11}$ 用侦察相对覆盖系数和截获概率的乘积表示

$$C_{11} = \frac{\theta_I}{\theta_{I0}} \cdot \frac{L_I}{L_{I0}} \cdot \frac{R_I}{R_{I0}} \cdot P_I \quad (5)$$

式中,  $\theta_I$  表示实际达到的侦察覆盖范围;  $\theta_{I0}$  表示期望的或作战任务规定的覆盖范围;  $L_I$  表示实际达到的侦察距离;  $L_{I0}$  表示期望的或作战任务规定的侦察距离;  $R_I$  表示实际达到的告警散射截获半径;  $R_{I0}$  表示期望的或作战任务规定的告警散射截获半径;  $P_I$  表示系统的截获概率.

信号分析处理能力由激光告警角度分辨率、激光告警多目标处理能力、编码识别能力和信号识别反映时间决定, 信号分析处理能力  $C_{21}$  可表示为

$$C_{21} = \frac{\varphi_{I0}}{\varphi_I} \cdot \frac{N_I}{N_{I0}} \cdot \frac{PN_I}{PN_{I0}} \cdot \frac{T_{I0}}{T_I} \quad (6)$$

式中,  $\varphi_I$  表示实际达到的角度分辨率;  $\varphi_{I0}$  表示期望的或作战任务规定的角度分辨率;  $N_I$  表示实际达到的多目标处理能力;  $N_{I0}$  表示期望的或作战任务规定的多目标处理能力;  $PN_I$  表示实际达到的编码识别能力;  $PN_{I0}$  表示期望的或作战任务规定的编码识别能力;  $T_I$  表示系统实际达到的信号识别反映时间;  $T_{I0}$  表示期望的或作战任务规定的信号识别反映时间.

在故障状态下,  $C_{12} = 0, C_{22} = 0$ .

## 2.4 作战效能

根据上述分析, 在一次执行任务时间  $T$  内, 激光侦察装备作战效能简化为

$$E = \mathbf{A} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{C} = (a_1, a_2) \cdot \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{11} \\ c_{21} \end{bmatrix} \quad (7)$$

为说明问题, 给出以下假想的算例, 假设某激光侦察装备的  $MTBF = 300$  h,  $MTTR = 1$  h, 各分系统的任务可靠度分别为  $P_{\text{告警分系统}} = 0.99$ ,  $P_{\text{数据处理分系统}} = 0.97$ , 在执行任务过程中故障不能修复; 信号截获能力中  $\theta_I/\theta_{I0} = 0.99$ ,  $L_I/L_{I0} = 0.95$ ,  $R_I/R_{I0} = 1.05$ ,  $P_I = 0.98$ ; 信号分析处理能力中

$\varphi_{I0}/\varphi_I = 1.1$ ,  $N_I/N_{I0} = 0.95$ ,  $PN_I/PN_{I0} = 0.90$ ,  $T_{I0}/T_I = 0.85$ .

计算该系统的作战效能过程如下:

可用度 ( $\mathbf{A}$ ) 矩阵元素

$$a_1 = 300/(300 + 1) = 0.997$$

$$a_2 = 1 - a_1 = 0.003$$

可信度 ( $\mathbf{D}$ ) 矩阵元素

$$d_{11} = 0.99 \times 0.97 = 0.96$$

$$d_{12} = 1 - d_{11} = 0.04$$

$$d_{21} = 0$$

$$d_{22} = 1$$

能力 ( $\mathbf{C}$ ) 矩阵元素

$$c_{11} = 0.99 \times 0.95 \times 1.05 \times 0.98 = 0.967$$

$$c_{21} = 1.1 \times 0.95 \times 0.90 \times 0.85 = 0.799$$

因此, 该激光侦察装备的综合作战效能为

$$E = \mathbf{A} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{C} = [0.997 \quad 0.003] \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.96 & 0.04 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.967 \\ 0.799 \end{bmatrix} = 0.958$$

## 3 结束语

文中给出的激光侦察装备作战效能评估模型为定量评价其性能提供了一个简洁、实用的方法. 模型中所涉及的参数符合实用性、可测性和概率性原则. 当然能力矩阵中的能力向量, 可以根据具体情况作适当的增减, 以便更准确地评价系统作战效能.

### 参考文献

- [1] 郭齐胜, 邳志刚. 装备效能评估概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 杨松林. 工程模糊论方法及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [3] 刘普寅, 吴孟达. 模糊理论及其应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1998.
- [4] Pan hui, Ai yong, Jianghai-li. Application and analysis of sensors technologies based on laser threat warning[J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34(2): 132-135.
- [5] 王喜焱, 张洁. 激光告警设备的发展过程及现状[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2002(6): 22-29.
- [6] 张洁. 激光告警设备的组成和工作原理[J]. 航天电子对抗, 2002(2): 42-47.