

基于ADC法的侦毒器效能评估

李 鹏, 吴国庆

陆军防化学院指挥系, 北京

收稿日期: 2023年2月8日; 录用日期: 2023年3月9日; 发布日期: 2023年3月16日

摘 要

侦毒器作为实施核生化侦察任务的核心装备, 其地位突出。目前侦毒器型号不一, 以04A型和04B型侦毒器为主, 本文通过建立侦毒器ADC模型, 对两型侦毒器的系统效能进行对比分析, 评价两型侦毒器各方面的性能对最终系统效能的影响, 为装备保障与管理提供依据。

关键词

侦毒器, 效能评估, ADC模型

Effectiveness Evaluation of Chemical Agent Detector Kit Based on ADC Method

Peng Li, Guoqing Wu

Command Department of the Army Chemical Defense Academy, Beijing

Received: Feb. 8th, 2023; accepted: Mar. 9th, 2023; published: Mar. 16th, 2023

Abstract

Chemical agent detector kit is the core equipment of NBC scout, has prominent position. There are different types of Chemical agent detector kit, mainly with 04A and 04B type position detector. In this paper, by establishing chemical agent detector kit ADC method, the system effectiveness of two kinds of position detector is compared and analyzed, and the impact of various aspects of its performance on the final system efficiency is evaluated, providing the basis for equipment support and management.

Keywords

Chemical Agent Detector Kit, Effectiveness Evaluation, ADC Method



1. 引言

ADC 法是美国工业界武器系统效能咨询委员会提出的用于武器系统评价的一种方法或模型, 其评估的三大要素是待评估系统的有效性(Availability)、可靠性(Dependability)与能力(Capacity), 通过组合这些要素, 得出装备系统的唯一效能度量。该方法抽象程度高, 系统考虑全面, 属于一种解析评估方法, 可广泛应用于信息系统、武器装备等复杂系统的效能评估[1]。

侦毒器是一种化学侦察器材。操作简单, 可以检测各种有毒气体、有毒液体, 用于发现空气、地面、装备和其他物体表面的毒剂, 查明毒剂种类, 并判定毒剂的概略浓度, 能在最短时间内探测出毒物的品性、名称。结构形式由侦毒管、抽气装置(气路、机筒、电机等)和辅助件三部分组成。侦毒时, 使染毒空气通过侦毒管, 毒剂与载体上的试剂进行化学反应, 根据反应的颜色判别毒剂的种类, 根据颜色的深浅判定毒剂的概略浓度。04A 型是采用电动和手动共用一条气路的装备, 04B 型是仅采用电动气路的装备。

系统效能分析是评价装备在作战过程中贡献率的有效手段。从最基础的武器装备单项作战性能的评估, 到武器装备在作战条件下的作战效能评估, 再到武器装备体系的整体作战效能评估, 经历了将近 80 年的时间。提出了多种评估分析方法。随着信息技术的发展, 系统效能评估理论也向着系统化、自动化、智能化方向发展, 为武器装备的系统效能分析提供了更丰富的方法[2]。

目前, 对于侦毒器系统效能分析的研究开展的还比较少。特别是量化分析还没有人开展过专门的研究。本文通过建立 04A 型和 04B 型侦毒器 ADC 模型, 对两型侦毒器的系统效能进行对比分析, 评价两型侦毒器各方面的性能对最终系统效能的影响。

2. ADC 模型构建

本文采用的 ADC 模型由美国工业界武器系统效能咨询委员会提出, 相较于其他系统效能分析模型而言, ADC 模型更加清晰、易懂, 能反映系统效能的物理本质, 与系统本身具有显著的物理拟合性[3]。该模型通过将武器装备的可用性矩阵、可信性矩阵和能力矩阵进行综合, 得到表示武器装备系统总效能的单一量度, 其表达式为

$$E = A \cdot D \cdot C \quad (1)$$

式中: E 为武器装备系统总效能; A 为可用性矩阵; D 为可信性矩阵; C 为能力矩阵。

3. 侦毒器作业能力评估

基于 ADC 模型原理, 本文立足于分析和评价侦毒器本身各方面的性能对系统效能的影响, 因此, 在对两型侦毒器进行实际性能测试时, 只针对单具侦毒器的性能进行分析, 不考虑多具侦毒器编组运用的情况, 而且两型侦毒器针对的任务目标、作业环境和使用者的能力素质一致。经过对两型侦毒器分别进行了 50 次实际侦毒测试, 得出如下结果: ① 两型侦毒器的抽气原理相同, 侦毒管辨别毒剂的概率相同; ② 两型侦毒器性能良好, 且在 50 次的侦毒过程中未发生故障。

下面分别构建两型侦毒器的可用性矩阵和可信性矩阵, 在构建过程中假定侦毒器发生的故障不可现场修复。

3.1. 可用性矩阵

侦毒器可用性是指侦毒器在开始执行任务时的状态, 可以用侦毒器的可用度表示。侦毒器各部件发

生故障服从同一指数分布, 随着侦毒次数的增多, 其机械零部件随着使用的增多耗损越来越大。发生故障的概率也越来越高, 其可用度一般表示为

$$a = a_i = e^{-\lambda m} \quad (2)$$

式中: a_i 为第 i 个部件可用度; λ 为各部件的故障率(侦毒器内各部件故障概率服从同一指数分布); m 为侦毒器已使用的次数。

$$\lambda = \frac{1}{n_{MNBf}} \quad (3)$$

式中: n_{MNBf} 为侦毒器平均故障间隔次数。

3.1.1. 04A 型侦毒器的可用性矩阵

04A 型侦毒器为手自一体式, 各连接部件属串联结构。抽气活塞在两种工作方式下发生故障的概率相同, 如果电机、传动装置发生故障, 或电路的干路故障, 则整个自动抽气方式下侦毒器故障。其各部件逻辑关系如图 1:



Figure 1. Logic diagram of each component of 04A Chemical agent detector kit
图 1. 04A 型侦毒器各部件逻辑关系图

使用时可能有 3 种情况: 情况 1 为侦毒器良好, 侦毒器能够正常工作; 情况 2 为除抽气活塞外其余部件故障, 手动抽气方式下侦毒器正常工作; 情况 3 为抽气活塞故障, 侦毒器不能正常工作。当处于情况 1 时, 侦毒器的可用度为 $a_1 = a$; 当处于情况 2 时, 侦毒器的可用度为 $a_2 = a$; 当处于情况 3 时, 侦毒器的可用度为 $a_3 = 1 - a_1 - a_2$ 。火药式侦毒器的可用性矩阵为

$$A = [a_1, a_2, a_3] \quad (4)$$

根据实际使用过程, 在试验中各部件的故障率如表 1:

Table 1. Failure rate of each component of Chemical agent detector kit
表 1. 侦毒器各部件故障率

部件	电机	传动装置	电路	手动抽气	抽气活塞
故障率	0.22	0.26	0.15	0.28	0.25

$$\text{故 } a_1 = (1 - 0.22) * (1 - 0.26) * (1 - 0.15) * (1 - 0.25) = 0.368$$

$$a_2 = (1 - 0.28) * (1 - 0.25) = 0.540$$

$$a_3 = (1 - 0.368 - 0.540) = 0.092$$

$$\text{所以 } A = [0.368 \quad 0.540 \quad 0.092]$$

3.1.2. 04B 型侦毒器的可用性矩阵

04B 型侦毒器为自动抽气式, 各个部件之间采用串联结构, 任何一个零部件失效都会引起侦毒器故障。发生故障后, 后续工作将无法进行。其各部件逻辑关系如图 2:



Figure 2. Logic diagram of each component of 04B Chemical agent detector kit
图 2. 04A 型侦毒器各部件逻辑关系图

则 04B 型侦毒器在使用时可能有两种情况: 情况 1 为侦毒器良好, 能够正常工作; 情况 2 为侦毒器故障, 不能够正常工作。当处于情况 1 时, 侦毒器的可用度为 $a'_1 = a^4$; 当处于情况 2 时, 侦毒器的可用度为 $a'_2 = 1 - a'_1$ 。新型侦毒器的可用性矩阵为

$$A' = [a'_1 \quad a'_2] \quad (5)$$

04B 型侦毒器与 04A 各个部件性能相同, 但其采用串联结构, 故:

$$a'_1 = (1 - 0.22) * (1 - 0.26) * (1 - 0.15) * (1 - 0.25) = 0.368$$

$$a'_2 = 1 - 0.368 = 0.632$$

$$A' = [0.368 \quad 0.632]$$

3.2. 可信性矩阵

可信性反映了由于物理故障而导致的系统性能降低或失效的概率, 也反映了系统在使用过程中由一种状态转移到另一种状态的概率[3]。侦毒器的可信性是指侦毒器在使用过程中由一种状态转移到另一种状态的概率, 由于假设侦毒器在使用过程中不可修复, 故侦毒器的可信性矩阵只与侦毒器的故障率有关系。

3.2.1. 04A 型侦毒器的可信性矩阵

根据 04A 型侦毒器有 3 种状态, 其使用过程中可能发生的状态转移概率矩阵为

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ 0 & d_{22} & d_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & a & 1 - 2a \\ 0 & a & 1 - a \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: d_{ij} 为 04A 型侦毒器由状态 i 向状态 j 转移的概率。

$$\text{故 } D = \begin{bmatrix} a & a & 1 - 2a \\ 0 & a & 1 - a \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.368 & 0.540 & 0.092 \\ 0 & 0.632 & 0.460 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.2.2. 04B 型侦毒器的可信性矩阵

04B 型侦毒器在使用时有完好和故障两种状态, 侦毒器故障的时候在使用中仍保持故障状态。侦毒器完好的时候在使用中可能出现 2 种情况, 情况 1 是侦毒器完成工作; 情况 2 是侦毒器故障。由上可知, 使用过程中新型侦毒器可能发生的状态转移概率矩阵为

$$D' = \begin{bmatrix} a^4 & 1 - a^4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.368 & 0.632 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

3.3. 能力矩阵

侦毒器的效能主要靠放置好侦毒管的侦毒器持续抽气的条件下, 通过侦毒管的显色反应判别毒剂种类, 其效能效果与战场环境、目标特性、干扰源等因素都有关系, 分析起来比较复杂。本文重点考察侦毒器本身固有能, 淡化战场环境、受染目标对侦毒效果的影响, 着重考察侦毒器抽气效率和侦毒管辨

别毒剂种类的概率。因此, 侦毒器单次侦毒的能力可表示为:

$$c = p_1 p_2 \quad (8)$$

式中: p_1 为侦毒器抽气效率; p_2 为侦毒管辨别毒剂的概率。

(根据试验结果显示: $p_1 = 0.82$; $p_2 = 0.64$)

侦毒器最终的能力矩阵由侦毒器一次侦毒后对同一目标持续无故障侦检后毒剂被确认的概率表示。

3.3.1. 04A 型侦毒器的能力矩阵

在使用过程中, 04A 型侦毒器主要有 3 种状态: 当处于状态 1 时, 侦毒器能够连续工作两次, 那么其单次侦毒的能力为 $c_1 = 1 - (1 - p_1 p_2)^2$; 当处于状态 2 时, 侦毒器仅能侦毒一次, 其单次侦毒的能力为 $c_2 = p_1 p_2$; 当处于状态 3 时, 侦毒器无法工作, 其单次侦毒的能力为 $c_3 = 0$ 。则 04A 型侦毒器的能力矩阵为

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - (1 - p_1 p_2)^2 \\ p_1 p_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中 $c_1 = 1 - (1 - p_1 p_2)^2 = 1 - (1 - 0.82 * 0.64)^2 = 0.7742$ 。

$$c_2 = p_1 p_2 = 0.82 * 0.64 = 0.5248$$

$$\text{故 } C = \begin{bmatrix} 0.7742 \\ 0.5248 \\ 0 \end{bmatrix}。$$

3.3.2. 04B 型侦毒器的能力矩阵

04A 型侦毒器主要有 2 种状态: 当处于状态 1 时, 侦毒器能够连续工作一次, 那么其单次侦毒的能力 c'_1 为 $p_1 p_2$; 当处于状态 2 时, 侦毒器无法工作, 其单次侦毒的能力为 $c'_2 = 0$;

$$C' = \theta \cdot \begin{bmatrix} c'_1 \\ c'_2 \end{bmatrix} = \theta \cdot \begin{bmatrix} p_1 p_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中: θ 为该型侦毒器在加热与计时方面与 04A 型侦毒器的比值, 其值约为 1.2。

$$\text{故 } C' = 0.12 \cdot \begin{bmatrix} 0.5248 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6298 \\ 0 \end{bmatrix}。$$

3.4. 评估效能

利用两型侦毒器的可用性矩阵、可信性矩阵、能力矩阵向量, 代入效能计算公式 $E = ADC$, 得出两型侦毒器的系统效能为:

$$\begin{aligned} E &= ADC = [0.368 \quad 0.540 \quad 0.092] \\ &* \begin{bmatrix} 0.368 & 0.540 & 0.092 \\ 0 & 0.632 & 0.460 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.7742 \\ 0.5248 \\ 0 \end{bmatrix} = 0.388 \\ E' &= A'D'C' = [0.368 \quad 0.632] \\ &* \begin{bmatrix} 0.368 & 0.632 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6298 \\ 0 \end{bmatrix} = 0.630 \end{aligned}$$

4. 结论

针对两型侦毒器的技术特点, 在形同技术条件和作战背景下, 本文采用 ADC 模型分析方法实现了两型侦毒器系统效能分析模型的构建, 对两型侦毒器系统效能分析模型进行比较。结果表明, 04B 型侦毒器的整体系统效能提高了约 24.2%, 侦毒器 ADC 模型的构建, 不仅使两型装备的作业效能实现了量化评估, 也为两型侦毒器的装备保障与管理提供依据[4]。

参考文献

- [1] 吴昱, 毕鹏禹, 金青君, 任秀娟, 姚伟召. 喷火器系统效能分析与评价[J]. 北京理工大学学报, 2019, 39(8): 876-880.
- [2] 温广杰, 钟京立, 谢健. 基于 ADC 和层次分析法的指挥所信装备效能评估模型构建[J]. 现代电子技术, 2015, 38(19): 37-39.
- [3] 雷宁, 曹继平, 王赛, 高颖杰, 王清晓. 基于 AHP 和模糊综合评价法的装备维修保障效能评估[J]. 兵工自动化, 2019, 38(10): 76-79.
- [4] 宋星, 贾红丽, 赵汝东. 基于 ADC 和模糊综合评判法的合成旅装备保障效能评估[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(8): 126-129.