兵器装备工程学报
Journal of Ordnance Equipment Engineering
ISSN 2096-2304
CN50-1213/TJ
主管单位：中国兵器装备集团有限公司
主办单位：重庆市兵工学会
重庆理工大学

无人机协同下远程火箭炮作战效能评估

姜进晶， 汪民乐， 汪江鹏

引用本文:
姜进晶, 汪民乐, 汪江鹏. 无人机协同下远程火箭炮作战效能评估[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(7): 202–207.

您可能感兴趣的其他文章

1. 某型迫击炮射无人机应用研究

引用本文: 袁新波, 江多琨, 周前进, 等. 某型迫击炮射无人机应用研究[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(6): 105–109.

2. 空中协同作战模式及关键技术

引用本文: 孙盛智, 常会振, 郑卫娟, 等. 空中协同作战模式及关键技术[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(7): 177–181.

3. 多无人机协同工作流建模与分析

引用本文: 徐胜红, 曹文静. 多无人机协同工作流建模与分析[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(1): 109–112.

4. 基于试飞的察打一体无人机任务效能评估方法

引用本文: 杜梓冰, 段亚, 陈敬志, 等. 基于试飞的察打一体无人机任务效能评估方法[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(6): 39–42.

5. 无人机多传感器协同探测演示系统设计

引用本文: 刘宁波, 孙艳丽, 周伟. 无人机多传感器协同探测演示系统设计[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(12): 80–83.

【基础理论与应用研究】　　doi：10.11809/bqzbgcxb2020.07.040

无人机协同下远程火箭炮作战效能评估

姜进晶，汪民乐，汪江鹏

（火箭军工程大学，西安　710025）

摘要：采用“作战能力”+“作战适用性”的模式，构建了无人机协同下远程火箭炮作战效能评估指标体系。依据所建评估指标体系，确立了作战系统的可用性向量和可信性矩阵，提出了基于模糊层次分析法的作战能力计算模型。以某型无人机为例，运用仿真模型计算了该型无人机协同下远程火箭炮的作战效能。其评估结果对部队开展实战化训练和推动武器装备技术升级具有重要参考价值。

关键词：远程火箭炮；无人机；协同作战；效能；评估模型

本文引用格式：姜进晶，汪民乐，汪江鹏. 无人机协同下远程火箭炮作战效能评估[J]. 兵器装备工程学报，2020，41(07)：202－207.

Citation format：JIANG Jinjing，WANG Minle，WANG Jiangpeng. Operational Effectiveness Evaluation of Long-Range Rocket Launcher with UAV Cooperation[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering，2020，41(07)：202－207.

中图分类号：E271.4　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**2096－2304(2020)07－0202－06

Operational Effectiveness Evaluation of Long-Range Rocket Launcher with UAV Cooperation

JIANG Jinjing，WANG Minle，WANG Jiangpeng

（Rocket Military Engineering University，Xi’an 710025，China）

Abstract：Using the “combat capability”+“combat applicability” mode，the long-range rocket launching capability evaluation index system was constructed. According to the established evaluation index system，the availability vector and credibility matrix of the combat system were established，and the operational capability calculation model based on fuzzy analytic hierarchy process was proposed. Taking a certain type of drone as an example，the simulation model was used to calculate the combat effectiveness of the long-range rocket launcher. The evaluation results have important reference value for the actual combat training of the troops and the promotion of weapon equipment technology upgrade.

Key words：long-range rocket；UAV；cooperative combat；efficiency；evaluation model

无人机协同远程火箭炮作战是陆军远程火力打击的重要作战样式，探索两者协同作战的效能评估对推进炮兵新质力量融入联合作战体系、提高部队实战化训练水平以及完善武器装备作战效能评估理论体系都具有十分重要意义[1]。纵观已阅读的文献，从无人机协同炮兵作战的研究现状看，技术性能方面关于无人机和远程火箭炮两种武器装备的研究较多，成果丰硕，战术运用方面对无人机协同火炮作战的协同方法、协同流程、协同安全研究也比较多，但效能评估研究工作仍大都局限于单一武器系统层面，缺乏对两者协同作战的整体效能研究。因此，本文基于 ADC 效能评估模型，综合运用模糊综合评判和层次分析法，动态评估与静态评估相结合，对无人机协同下远程火箭炮作战效能进行评估。

收稿日期：2019－08－27；**修回日期：**2019－09－20

作者简介：姜进晶(1987—)，硕士，主要从事军事指挥研究。

1 无人机协同下远程火箭炮作战军事概念描述

1.1 无人机协同远程火箭炮作战的需求性分析

远程火箭炮具有射程远、威力大、机动性强等特点,在战场上主要担负远距离火力打击任务。运用炮兵传统侦察手段保障远程火箭炮作战主要存在以下局限性:一是看不远,传统炮兵侦察手段侦察纵深比较有限,夜间侦察纵深更浅,昼间看不远、夜间看不见问题较为普遍,与远程火箭炮作战的大纵深侦察需求差距较大,需要构建空地一体、远近结合的侦察配系,打通侦察盲区。二是辨不清,远程火箭炮打击目标大都位于敌纵深内,传统炮兵侦察手段受侦察纵深地形、不良天候以及夜间等条件影响,导致战场透明度不高,目标辨识度不够,严重影响指挥员的战场判断和决策指挥,需要充分融合光学、雷达、红外等多种侦察方式减少制约因素,消除侦察死角。三是评不快,传统炮兵侦察手段难以实施有效的战场态势监视,尤其对视距外目标打击,毁伤评估不及时、不准确,需要整合优化情报处理力量,建立动态目标状态监控体系,实时获取目标状态,评估毁伤效果,提高远程火箭炮打击效能。战场需求决定作战手段运用。无人机作为陆军新型侦察装备具有看得远、辨得清、效得准等特点[2]。运用无人机协同远程火箭炮作战可以实现由无人机对作战地域进行大纵深、多方位、高精度、全天候的侦察监控,能有效解决远程火箭炮火力远程火力打击过程中目标搜索定位、战场态势观察、毁伤效果评估等现实难题。

1.2 无人机协同下远程火箭炮作战体系构成

构建无人机协同下的远程火箭炮作战体系实质是依托无人机系统构建“侦、控、打、评”闭合回路,整个作战体系主要由情报侦察、指挥控制、火力打击、整体防护、综合保障等分系统组成[3]。情报侦察分系统着眼保障远程火箭炮大纵深、全天候侦察任务的需求,构建以无人机系统为主体的“开放式”侦察评估要素,综合运用无人机、雷达、特种侦察,形成空地一体、远近结合的侦察配系,实现侦察的大范围、无死角。指挥控制分系统作为作战中枢神经系统,是进行作战指挥的大脑。无人机协同下远程火箭炮作战指挥控制系统基于指挥信息系统,重点突出与无人机系统战场信息的实时传输、分发及利用,构建“一键式”指挥控制要素,实现动中实时辅助科学筹划、战中快速精确组织协同、打中协调控制作战行动。火力打击分系统作为核心作战力量,是进行遂行火力打击任务的主体,主要由远程火箭炮以及配套的各类火箭弹组成。整体防护分系统的任务是采取有效措施手段,防敌侦察监视、火力打击、以及电磁攻击等破坏行动,达到保存自己的目的。综合保障分系统任务包括作战保障、装备保障和后勤保障,主要是提供及时有效的气象保障、测地保障、技术保障、维修保障以及物资保障、卫勤保障,保证战斗的连续性和持续性。

1.3 无人机协同下远程火箭炮作战流程分析

无人机分队配属给远程火箭炮分队后,远程火箭炮分队向其介绍有关敌我态势和火力打击任务,确定协同方式,随后区分技术阵地和发射阵地展开战斗准备。作战中,无人机飞抵目标区域上空并传输电视图像,当地面控制站发现打击目标后,立即向无人机发出指令,控制无人机在打击目标上空盘旋,对目标进行定位,将目标情报数据(坐标、特征、幅员等)传输上报作战指挥所,指挥所对目标信息进行分析处理,决定目标射击诸元,确定弹药消耗量及射击方法,并向下达远程火箭炮阵地下达射击命令。远程火箭炮发射后,无人机观察炸点,并将目标毁伤情况反馈给指挥所,指挥所根据无人机反馈信息,评估毁伤效果,确定是否对目标进行二次打击[4]。根据无人机协同条件下远程火箭炮作战任务和作战特点,其作战效能体现在实施远程火力突击的全过程中,协同作战主要事件和时间节点如图1所示。

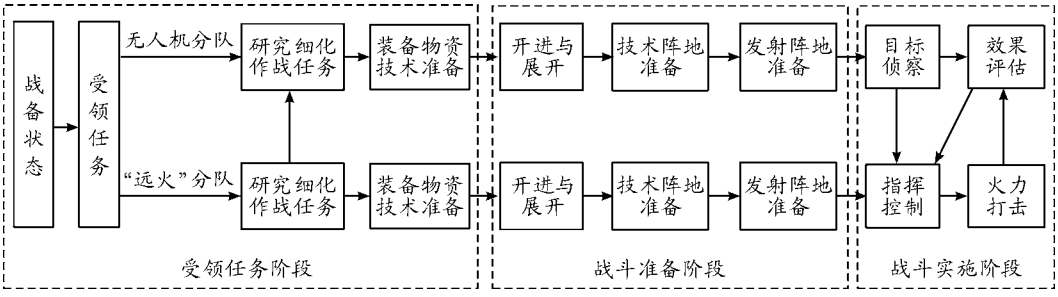

图1 无人机协同下远程火箭炮作战组织流程框图

2 无人机协同下远程火箭炮作战效能评估指标体系构建

影响武器系统作战效能主要包括:系统性能、作战适用性、固有能力、作战能力、作战效果等因素,在实际效能评估中,依据评估目标不同,可选用上述因素中的一个或几个因素组合来表示武器系统效能[5]。依据对无人机协同下远程火箭炮作战体系构成、作战流程的分析,考虑到全面评价武器系统作战效能的需求以及评估的可操作性,本文采取“作

战能力”+“作战适用性”的模式作为作战系统效能的综合指标[6]。首先通过对作战能力和作战适用性的分解得到初步的指标体系,然后通过专家咨询进一步优化指标体系,最终构建的评估指标体系,如图2所示。

从本质上看,这种指标体系构建的方法,充分借鉴了美国工业界武器系统效能咨询委员会WSEIAC提出的ADC(Availability,Dependability,Capability)效能评估计算模型。其中,作战能力就是C,作战适用性则包含了可用性A和可信性D。该模型综合考虑了作战系统的可用性、可信性和作战能力,把这三大要素有效组合成一个表示作战系统总效能的量度,将作战系统的效能评估与具体的作战任务结合起来,能够以定量指标反映完成既定作战任务的情况。

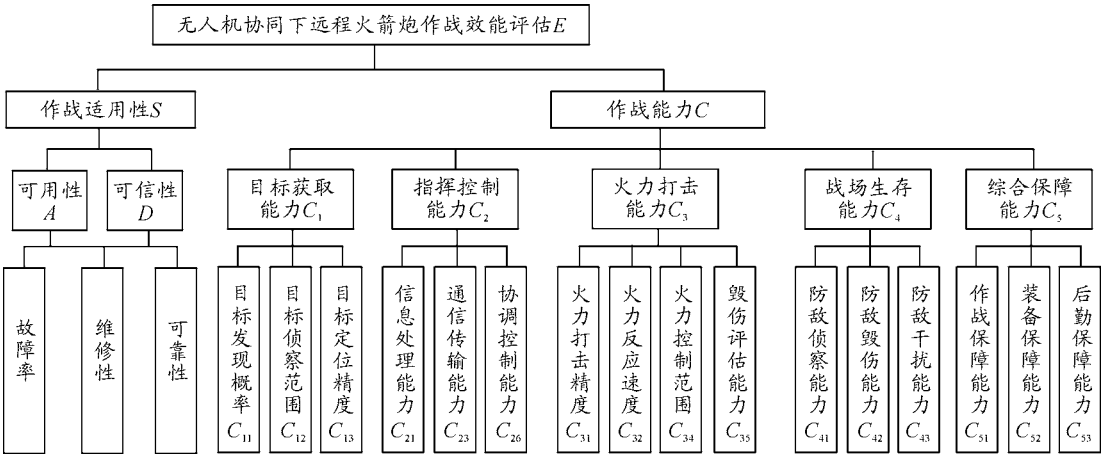

图2 无人机协同下远程火箭炮作战效能评估指标体系框图

3 无人机协同下远程火箭炮作战效能评估模型

3.1 作战系统的可用性模型

无人机协同远程火箭炮作战由多个分系统组成,每一个分系统又由多个武器单元构成,整个作战系统复杂而庞大。其中,情报侦察分系统、指挥控制分系统、火力打击分系统与武器系统作战效能“强相关”,即:在一般情况下,如果任一子系统不能工作,则整个系统就不能正常工作[7]。本文为了研究方便,在评估作战效能时,对系统组成结构进行简化,不考虑综合保障系统、防护系统的影响,将作战系统组成结构抽象为如图3所示。

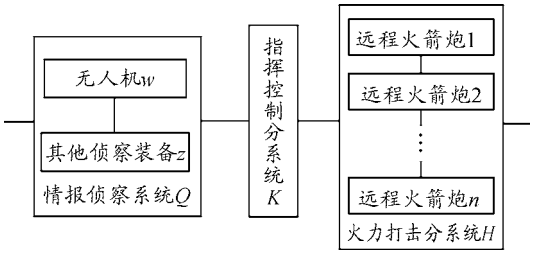

图3 作战系统组成结构框图

1)作战系统的初始状态分析

无人机协同远程火箭炮作战时,通常由1架无人机协同保障一个远程火箭炮群,图4作战系统结构包括无人机为主的情报侦察分系统,指挥控制分系统、以及n门远程火箭炮组成的火力打击分系统,整个结构中包含串联和并联两种模式。显然,除了结构精简优化是不够的,整个作系统的状态种类和评估计算数据依然很庞大,所以,在情况合理,且不影响评估科学性的前提下,作如下假设:

① 无人机系统不可用时,作战系统处于降级使用状态,即:整个作战过程中,至少有一种侦察手段始终能保障远程火箭炮射击;

② 至少有1门远程火箭炮可用,则火力打击分系统正常使用;

③ 假设各分系统及武器单元只有正常(Normal)和故障(Failure)两种情况[8]。

综上所述,本文将整个作战系统分为正常使用、降级使用和系统故障3种状态,根据可用性的定义,列出整个作战系统状态,如表1所示。

2)作战系统的可用性向量分析

当系统状态确定后,若分系统及各武器单元在开始执行任务时能得到及时维修,则可用性取决于武器系统的可靠性和维修性,因此,无人机的可用度 a_w、指挥控制系统可用度 a_k、远程火箭炮可用度 a_y,分别为:

$$a_w = \frac{MTBF_w}{MTBF_w + MTTR_w} = \frac{1/\lambda_w}{1/\lambda_w + 1/\mu_w} = \frac{\mu_w}{\lambda_w + \mu_w} \quad (1)$$

$$a_k = \frac{MTBF_k}{MTBF_k + MTTR_k} = \frac{1/\lambda_k}{1/\lambda_k + 1/\mu_k} = \frac{\mu_k}{\lambda_k + \mu_k} \quad (2)$$

$$a_y = \frac{MTBF_y}{MTBF_y + MTTR_y} = \frac{1/\lambda_y}{1/\lambda_y + 1/\mu_y} = \frac{\mu_y}{\lambda_y + \mu_y} \quad (3)$$

式中:$MTBF_i$ 为平均无故障工作的时间;$MTTR_i$ 为平均修复的时间;λ 为系统故障率;μ 为系统修复率。

表 1 无人协同下远程火箭炮作战系统状态

状态代号	无人机系统	指挥控制分系统	火力打击分系统	系统功能	系统可用度
X_1	N	N	N	正常使用	$a_w \cdot a_k \cdot [1-(1-a_y)^n]$
X_2	F	N	N	降级使用	$(1-a_w) \cdot a_k \cdot [1-(1-a_y)^n]$
X_3	N	F	N	系统故障	$a_w \cdot (1-a_k) \cdot [1-(1-a_y)^n]$
X_4	F	F	N	系统故障	$(1-a_w) \cdot (1-a_k) \cdot [1-(1-a_y)^n]$
X_5	N	N	F	系统故障	$a_w \cdot a_k \cdot (1-a_y)^n$
X_6	F	N	F	系统故障	$(1-a_w) \cdot a_k \cdot (1-a_y)^n$
X_7	N	F	F	系统故障	$a_w \cdot (1-a_k) \cdot (1-a_y)^n$
X_8	F	F	F	系统故障	$(1-a_w) \cdot (1-a_k) \cdot (1-a_y)^n$

如表 1 所示,在开始执行任务时,系统的 X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7、X_8 八种状态构成了整个武器系统所有可能的状态样本空间,即:$A=[e_1,e_2,e_3,e_4,e_5,e_6,e_7,e_8]$,将系统的在开始时的 8 种状态按照同类状态归并进行约减,则可用性向量为:$A=(a_1,a_2,a_3)$,式中 a_1、a_2、a_3 分别代表正常、降级、故障 3 种状态,且 $a_1=e_1, a_2=3_2, a_3=1-a_1-a_2$。

3.2 作战系统的可信性模型

为了研究方便,结合无人机协同下远程火箭炮作战运用的实际,对研究内容作如下假设:

1) 作战系统各分系统及武器单元的状态只区分为正常和故障,由于采用机动射击战术,系统出现故障后,在一定作战时间内无法修复;

2) 无人机侦察系统、指挥控制系统、火力打击系统故障概率密度函数均服从指数分布[9]。

无人机协同远程火箭炮作战时,作战系统状态可分为正常、降级、故障 3 种状态。无人机、指挥控制分系统、火力打击分系统 3 个分系统的故障概率密度函数服从指数分布,则各分系统在执行任务过程中的可靠度为:$R_w=e^{-\lambda_w T}$, $R_k=e^{-\lambda_k T}$, $R_h=1-(1-R_y)^n=1-(1-e^{-\lambda_y T})^n$,式中,$\lambda_w=\frac{1}{MTBF_w}$, $\lambda_k=\frac{1}{MTBF_w}$, $\lambda_h=1-(1-\frac{1}{MTBF_y})^n$, T 为作战任务持续的时间,则无人机协同下远程火箭炮作战系统可信性矩阵为:

$$D=\begin{array}{c} \\ \text{正常} \\ \text{降级} \\ \text{故障} \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} \text{正常} & \text{降级} & \text{故障} \end{array} \\ \begin{bmatrix} R_w \times R_k \times R_h & (1-R_w)R_k \times R_h & 1-R_k \times R_h \\ 0 & R_k \times R_h & 1-R_k \times R_h \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

3.3 作战系统的能力模型

作战能力是无人机协同下远程火箭炮作战效能评估的一项重要内容。纵观已阅文献,ADC 模型能力向量 C 在能力指标体系建立以及能力指标之间相关系用求积还是求和关系式表示没有给出一个比较规范、统一的模型,文献[10-13]利用层次分析法和模糊综合评判法构建了能力向量 C 的评价模型;文献[14]采用层次分析法加权求和的方式计算了能力向量 C。对于火炮武器系统在利用 ADC 模型进行效能评估时,通常建立发现概率模型、命中概率模型、毁伤概率模型,经过求积计算得到综合性能指标,这种方法的出发点是将火炮作战能力规定为对目标的火力打击能力[15-16]。本文研究的是无人机协同下远程火箭炮作战效能评估,如果系统作战能力向量 C 用传统概率求积方法计算,存在以下 3 点不足:一是由于系统的综合能力不仅包含火力打击能力,还包括生存能力、指挥控制能力、综合保障能力,因此用传统概率模型方法评价系统能力不够全面;二是计算结果不能充分反映无人机对远程火箭作战能力的影响,尤其是对侦、控、打、评、保等作战体系要素的影响;三是各项概率值的计算大都以一定条件设定作为前提,难以得到准确有效的数据作为支撑,所以计算结果缺乏广泛性和可用性。基于上述分析,本文对能力向量 C 建模的思路是:首先利用层次分析法,计算无人机协同下远程火箭炮作战能力评估指标体系各层指标相对权重,然后模糊综合评判相关理论,分别计算定量和定性指标的隶属度向量,最后选择合适的合成算子计算得出综合能力。关于层次分析法与模糊综合评判法的介绍文献资料比较多,在此不做赘述[17]。

4 无人机协同下远程火箭炮作战效能评估实践

假设某型无人机协同远程火箭炮群(12 门)作战,作战时间持续 4 h,各分系统及武器单元的 *MTBF* 和 *MTTR*,如表 2 所示[18]。

表 2 各分系统及武器单元的 *MTBF* 和 *MTTR*

参数 \ 分系统	无人机	指挥控制系统	远程火箭炮
MTBF	250	220	280
MTTR	2.5	3	2
$P_{ai}=\frac{MTBF_i}{MTBF_i+MTTR_i}$	0.990 0	0.986 5	0.992 9

1）可用性向量 A 的计算

无人机协同下远程火箭炮作战，系统在开始执行任务时共有正常、降级、故障 3 种状态，其可用性向量表示为：$A=(a_1,a_2,a_3)$。根据表 2 各分系统及武器单元的平均故障时间和平均修复时间，由式(1)～式(3)，可得作战系统可用性向量为：

$$A=(a_1,a_2,a_3)=(0.976\,6,\ 0.009\,9,\ 0.135)$$

2）可信性矩阵 $\boldsymbol{D}$ 的计算

无人机分系统的可靠度：$R_w-e^{-\lambda_w T}=e^{-\frac{1}{250}\times 4}=0.984\,1$；指挥控制分系统可靠度：$R_k-e^{-\lambda_k T}=e^{-\frac{1}{220}\times 4}=0.981\,9$；火力打击分系统可靠度：$R_h=1-(1-e^{-\lambda_\gamma T})^{12}=1-(1-e^{-\frac{1}{280}\times 4})^{12}=0.999\,9$。作战系统的可信性矩阵为：

$$\boldsymbol{D}=\begin{bmatrix}0.966\,1 & 0.015\,7 & 0.018\,2\\ 0 & 0.981\,8 & 0.018\,2\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

3）作战能力向量 C 的计算

为了保证评估结果的科学性和准确性，本文邀请 10 名专家进行咨询，他们分别为炮兵旅指挥员 3 名、机关作训参谋 2 名、作战分队指挥员 3 名、院校及科研单位专家 2 名。

① 层次分析法计算权重

利用层次分析法，对作战能力评估准则层和指标层各组成因素的进行权重计算，整理得出指标体系权重如表 3 所示。

表 3 指标体系各指标权重

准则层	权重	指标层	权重
目标获取能力	0.255 7	目标发现概率	0.494 3
		目标侦察范围	0.310 8
		目标定位精度	0.195 8
指挥控制能力	0.193 3	信息处理能力	0.163 4
		通信传输能力	0.539 6
		协同控制能力	0.297 0
火力打击能力	0.338 3	火力打击精度	0.168 9
		火力反应速度	0.260 9
		火力控制范围	0.451 2
		毁伤评估能力	0.119 0
战场防护能力	0.133 2	防敌侦察能力	0.230 4
		防敌毁伤能力	0.509 6
		防敌干扰能力	0.260 0
综合保障能力	0.079 4	作战保障能力	0.400 0
		装备保障能力	0.400 0
		后勤保障能力	0.200 0

② 作战能力模糊综合评估

根据系统 3 种状态，作战能力 C 为 3×1 的矩阵，即：$C=[C_1,C_2,C_3]^{\mathrm{T}}$。其中，$C_1$ 为作战系统正常时的作战能力；C_2 为无人机故障，作战系统处于降级使用时的作战能力；C_3 为系统故障时的作战能力，且 $C_3=0$。因此，只需分别求解系统正常使用和降级使用时的综合能力。由表 1 可知，正常使用和降级使用的区别在于无人机是否正常工作，即：只需区分无人机协同和无人机系统故障两种情况，对远程火箭炮作战能力进行评价。

本文采用算子 $M(\cdot,\oplus)$ 进行模糊算法的复合运算，评语等级量化向量为 $V=(0.95,0.85,0.75,0.65,0.3)$。利用模糊层次分析法得出作战能力各分能力和综合能力分别为：

1）作战能力各分能力得分值，如表 4 所示。

表 4 作战能力各分能力得分值

准则层能力	正常使用（无人机协同）	降级使用（无人机故障）
目标获取能力	0.856 0	0.710 0
指挥控制能力	0.808 5	0.819 5
火力打击能力	0.861 0	0.759 0
战场防护能力	0.795 5	0.768 0
综合保障能力	0.812 0	0.829 0

通过对比系统作战各分能力数据，可以得到图 4。

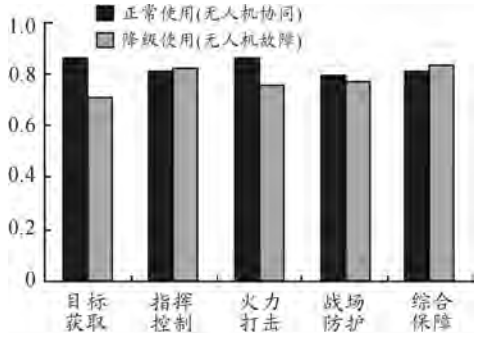

图 4 系统作战能力各分能力

2）当系统处于正常使用状态时，系统作战能力为：

$$C_1=A\cdot V^T=(0.37,0.39,0.15,0.06,0.03)\cdot\begin{bmatrix}0.95\\0.85\\0.75\\0.65\\0.30\end{bmatrix}=0.843\,5$$

3）当系统处于降级使用状态时，即无人机故障，系统作战能力为：

$$C_2 = A \cdot V^T = (0.22, 0.36, 0.34, 0.05, 0.03) \cdot \begin{bmatrix} 0.95 \\ 0.85 \\ 0.75 \\ 0.65 \\ 0.30 \end{bmatrix} = 0.761\ 5$$

综上所述,作战系统能力向量 $C = [C_1, C_2, C_3] = [0.843\ 5, 0.761\ 5, 0]$

5 结论

1) 无人机协同,作战系统处于正常工作状态时,作战能力值为 0.843 5,处于良好水平;当无人机系统故障,作战系统处于降级使用状态时,作战能力值为 0.761 5,处于一般水平,前者比后者综合作战能力提高了约 10.7%,说明无人机协同下,远程火箭炮综合作战能力得到显著提升。

2) 无人机协同条件下,作战系统目标获取能力、火力打击能力、战场防护能力有了明显提升;但同时增加了作战系统指挥控制与综合保障的难度。

3) 无人机协同时,在考虑到整个作战系统的可用性和可信性之后,当作战系统连续工作 4 h,无人机协同下远程火箭炮作战效能为 0.815,处于良好水平。

4) 无人机协同远程火箭炮作战是目前战役炮兵现有装备的最佳组合,能够最大限度地发挥两种武器系统的作战效能。

参考文献:

[1] 丁仕夫. 远程火箭炮分队与无人机系统协同作战研究[J]. 陆军军官学院学报,2015,25(2):40-42.

[2] 肖晓维,张晓光. 无人机保障远程火箭炮射击方法探要[J]. 炮学杂志,2013,46(6):8-10.

[3] 林志应. "远火系统"侦控打评体系集成训练的组织与实施[J]. 射击学报,2010,31(3):73-75.

[4] 刘航,凌冲. 远程火箭炮与无人机协同作战仿真研究[J]. 陆军军官学报,2015,51(6):20-22.

[5] 朱子薇,侯磊. 武器装备效能评估指标体系分析研究[J]. 火力与指挥控制,2016,21(11):197-200.

[6] 高桂清,鞠全鑫,李承兴. 机动发射导弹分队独立发射能力指标体系[J]. 兵器装备工程学报,2018,39(03):6-10.

[7] 杨满喜. 体系作战能力评估[M]. 北京:国防大学出版社,2016.

[8] 刘利民,史洪勇. 某型远程火箭炮战斗编组应把握的几个问题[J]. 炮学杂志,2012,23(7):11-14.

[9] 马亚龙,邵秋峰,孙明,等. 评估理论和方法及其军事应用[M]. 北京:国防工业出版社,2013.

[10] 杨冬波. 地空导弹武器系统效能评估[D]. 南京:南京理工大学,2013.

[11] 罗宇防空导弹武器系统效能评估[D]. 西安:西北工业大学,2016.

[12] 董晨. 集成驾驶系统效能评估方法及应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2015.

[13] 夏维,刘新学. ADC 改进模型评估导弹武器系统效能[J]. 现代防御技术,2017,45(2):30-38.

[14] 王明旭. 数据链支持下的多机协同作战效能评估[D]. 郑州:郑州大学,2013.

[15] 周金,曲玉琨. 远程火箭炮武器系统效能分析研究[C]//火力与指挥控制研究会学术年会论文集,火力与指挥控制研究会,青岛:2011.

[16] 焦敬义. 国产新型远程多管火箭炮武器系统作战能力分析[D]. 合肥:解放军炮兵学院,2003.

[17] 郭柳,顾雪峰,刘旺锁. 舰载主炮武器系统在航阶段技术状态效能评估[J]. 兵器装备工程学报,2018,39(05):70-74.

[18] 钱立志,汪卫华. 无人机作战运用[M]. 北京:解放军出版社,2003.

科学编辑 孙盛智 博士(武警海警学院)
责任编辑 唐定国