

# 基于作战效能的战场电磁环境分级描述方法

刘 义<sup>1,2</sup>, 赵 晶<sup>1</sup>, 刘佳楠<sup>1,2</sup>, 冯德军<sup>1</sup>, 王国玉<sup>1</sup>

(1. 国防科学技术大学电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073;

2. 中国人民解放军 63880 部队, 河南 洛阳 471003)

**摘要:** 对电磁环境分类分级是对电磁环境的基本描述方法,是认识电磁环境的基础,因此建立一套对其描述的方法,对武器研制、部队训练具有重大意义。针对现有战场电磁环境分级描述方法的不足,提出了一种基于武器装备作战效能的战场环境分级描述方法,利用复杂环境下武器作战效能的变化对电磁环境进行分级描述,从武器对环境“感受”的角度描述电磁环境。首先对战场电磁环境的定义和内涵进行分析,接着介绍基于武器效能变化的战场电磁环境分级描述方法,最后给出详细的仿真算例。与现有描述方法的对比表明该方法可控性强,可以体现出战场电磁环境的相对性。

**关键词:** 复杂战场环境; 电磁环境描述分级方法; 武器装备作战效能; 指标聚合

**中图分类号:** V 44

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1001-506X.2011.05.20

## Novel battlefield electromagnetic environment classification method based on combat efficacy of weapon systems

LIU Yi<sup>1,2</sup>, ZHAO Jing<sup>1</sup>, LIU Jia-nan<sup>1,2</sup>, FENG De-jun<sup>1</sup>, WANG Guo-yu<sup>1</sup>

(1. College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China; 2. Unit 63880 of the PLA, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** As a basic description approach of electromagnetic environment (EME), EME classification is regarded as the foundation to understand it. Accordingly, the constitution of a practical description approach of EME could be an event of significance for weapon development and army training. A description approach of EME based on the combat efficacy of weapon systems (CEWS) is proposed to overcome the shortcomings of conventional EME classification methods. This novel approach could reveal the EME recognized by weapon itself under the classification on the basis of CEWS degrading. The definition and meaning of battlefield EME is analyzed first, the novel EME classification approach based on CEWS changing is then introduced, and a representative scenario is elaborated in comparison with conventional methods. Simulation shows that this novel method can adequately reveal the relativity and controllability of EME.

**Keywords:** complex battlefield environment; electromagnetic environment classification method; combat efficacy of weapon system; index aggregation

## 0 引言

未来的战争是信息化战争,而复杂电磁环境是信息化战争的舞台,是信息化战场的基本特征。复杂的自然与气象环境、多种样式的电子对抗、攻防对抗双方的动态博弈过程构成了复杂的战场环境,制约武器的作战效能。对战场电磁环境的内涵进行研究,对其因素进行梳理,进而形成一套分级描述方法,是开展武器适应战场电磁环境的能力研究、战场电磁环境下模拟训练的基础。

随着对战场电磁环境认识的不断深入,对战场电磁环境的分级描述方法的研究正渐进式地向前推进。从一开始对通信干扰等级、雷达干扰等级的分类,逐步向基于脉冲流、功率谱平均密度计算的环境分级描述方法发展<sup>[1-4]</sup>。这些分级描述方法,都是从宏观整体上对战场的的环境进行描述,给出电磁环境的总体描述。但是由于不同装备在战场环境中的“感受”各不相同,战场电磁环境的具有相对性和可控性,现有的分级方法无法体现出这些特性。

针对现有战场电磁环境分级描述方法的不足,本文提

收稿日期:2010-03-28; 修回日期:2010-12-27。

作者简介:刘义(1977-),男,工程师,博士研究生,主要研究方向为电子装备实验技术、电子仿真建模和武器装备性能评估。

E-mail: liuyi\_63880@sina.com

出一种基于武器装备作战效能的战场环境分级描述方法。从战场电磁环境的相对性和可控性分析问题,利用武器装备对电磁环境的不同“感受”,通过武器装备的作战效能变化,对战场电磁环境进行分级描述。本文首先对战场电磁环境的定义和内涵进行分析,接着介绍基于武器效能变化的战场电磁环境分级描述方法,最后给出详细的仿真算例,并与现有描述方法进行对比。仿真实验结果表明该方法可以体现出战场电磁环境的相对性和可控性的特点。

## 1 战场电磁环境的内涵

### 1.1 基本定义

**定义 1** 存在于给定场所的所有电磁现象的总和称之为电磁环境。给定场所指某物理空间(自然空间);所有电磁现象指所有的电场和磁场。

**定义 2** 在一定的时段和频段范围内,多种电磁信号密集、拥挤、交叠、强度动态变化,对抗特征突出,对电子信息系统、信息化装备和信息化作战产生显著影响的电磁环境,称之为复杂电磁环境。

战场电磁环境是由敌方用频装备、己方用频装备、民用用频设备、自然环境等因素构成的。给电磁环境冠以“复杂”,说明对它的认识是有难度的。

### 1.2 战场电磁环境的内涵

战场电磁环境具有客观现实性、复杂多样性、激烈对抗性、威胁广泛性和相对可控性等特征。战场电磁环境可以从宏观和微观两个层面两个视角来理解。

在宏观上,战场电磁环境在电磁信号在种类上呈现出多样性、在空间上呈现出交织性、在内容上呈现动态性等。现有电磁环境分级描述方法就是从这个角度来描述分析问题。

在微观上,对具体的电子信息装备而言,电磁环境又具有显著的相对性特点,战场电磁环境具有时空分布特性,也具有相对性和可控性,即同一种电磁环境对不同的对象所产生的作用是不同的。一方面,电子技术在不同的武器装备中有量的差别,导致不同作战力量受复杂电磁环境的影响不同;另一方面,电子技术在武器装备中亦有质的差别,会导致不同作战力量受复杂电磁环境的影响不同。本文提出的电磁环境分级方法就是从这个角度思考分析问题。

## 2 基于武器装备作战效能的战场电磁环境分级方法

针对现有描述只从宏观表征上对电磁环境进行描述,没有体现电磁环境相对性可控性等特点的局限性,本文提出基于武器作战效能的复杂电磁环境复杂度分级描述方法。通过武器作战效能不同环境下的不同,利用武器装备对环境的“感受”对电磁环境的复杂性进行分级和描述。

### 2.1 基本思想

当武器装备操作能力相同时,武器装备的作战效能与装备面临环境的复杂度有着密切的关联<sup>[5]</sup>。不同环境下武器装备由于受到复杂环境的影响,其作战效能也各不相同,

这时武器装备的作战效能变化就可以反映出武器装备对外界环境的感受。如果其复杂电磁效应显著,就是说其对外界环境“感受”显著,可以说外界环境相对于装备来说复杂度高;反之认为认为外界环境相对于装备复杂度低。

基于武器装备作战效能的装备面临电磁环境复杂度分级的依据:从复杂电磁环境对用频装备的影响效果入手,通过不同环境下武器装备的作战效能的变化,对复杂环境进行描述和分级。可以从微观上给复杂电磁环境一个表征,给出具体装备对复杂电磁环境感受的描述。

### 2.2 武器装备作战效能的评估指标体系

利用指标体系对装备的作战效能进行评估是效能评估的常用办法<sup>[6-9]</sup>。图 1 以防空导弹系统作战效能评估为例,给出指标体系的结构。如图 1 所示,分层的指标体系充分考虑人们思考解决问题的方法,将复杂的问题逐层分解,便于最终解决。

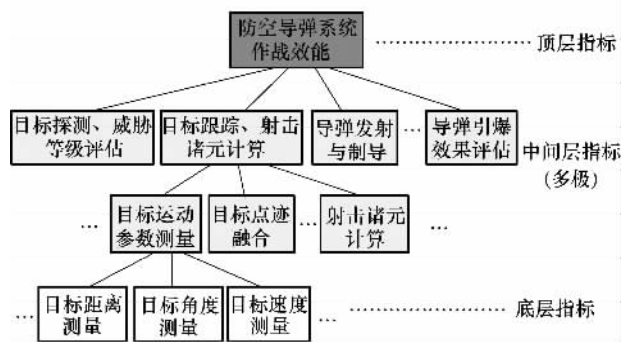


图 1 防空导弹系统作战效能评估指标体系

### 2.3 评分方法

针对定性指标与定量指标可以分别采用客观评分方法与主观评分方法。在评分时以在执行指定任务时,武器装备达到固有能力的多少作为评分的准则。

#### 2.3.1 客观评分法

客观评分方法针对定量指标,武器装备执行任务时获得的某一定量指标  $V_{mm}$  的实际数据为  $d_{mm}$ ,假设该指标的固有能力的  $d_{mmo}$ ,则该指标的评分为

$$r_{mm} = f(d_{mm}, d_{mmo}) \tag{1}$$

式中,  $f(\cdot)$  为归一化函数;  $r_{mm} \in [0, 1]$ 。

#### 2.3.2 主观评分方法

主观评分方法针对定性指标,由于定性指标无法给出具体的数值,一般是组织专家给出定性的评估意见。本文采用灰色理论的定性信息量化方法进行评估<sup>[10-12]</sup>。

### 2.4 评估指标的聚合方法<sup>[13]</sup>

为了通过一个归一化得综合评估值对武器装备作战效能给出综合评价,需要根据指标体系,将下层指标逐级向上层指标聚合。根据下层指标之间以及下层指标与上层指标之间的逻辑关系,指标聚合可以采用下面两种方法:“或”关系,加权求和;“与”关系,加权积。

#### 2.4.1 “或”关系

如图 2 所示,目标参数的测量包含目标距离测量、目标角

度测量、目标速度测量 3 个子指标。3 个子指标之间为“或”关系,向上聚合时根据相应权重以加权和的形式向上一层指标聚合,这里的权重值表示子指标在父指标中所占的重要性。

$$r_i = \sum_{j=1}^n \omega_{ij} r_{ij} \quad (2)$$

式中,  $r_i$  为上层指标;  $r_{ij}$  为从属  $r_i$  的下层指标;  $\omega_{ij}$  为对应  $r_{ij}$  的权重。

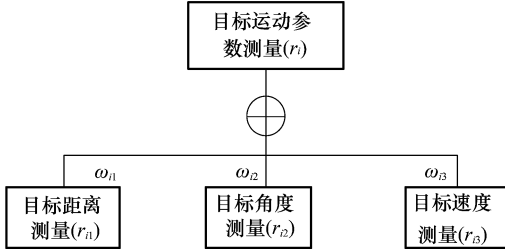


图2 “或”关系的指标聚合

2.4.2 “与”关系

如图3所示,防空导弹系统的作战效能由目标探测与威胁等级评估、目标跟踪与射击诸元计算、导弹发射与制导、导弹引爆效果 4 个子指标聚合而来。4 个子指标之间为“与”关系,如果一个下层指标为零,聚合得到的上层指标也为零。向上聚合时根据相应权重以加权积的形式向上一层指标聚合,这里的权重表示子指标的变化对父指标的影响大小,权重越大表示子指标的变化对父指标的影响越大。

$$r_i = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{\omega_{ij}} \quad (3)$$

式中,  $r_i$  为上层指标;  $r_{ij}$  为从属  $r_i$  的下层指标;  $\omega_{ij}$  为对应  $r_{ij}$  的权重。

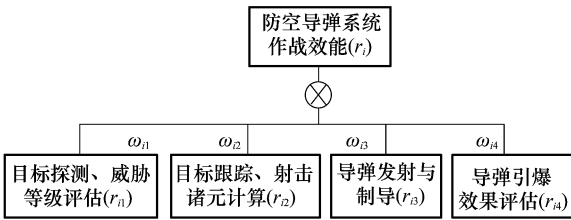


图3 “与”关系的指标聚合

2.5 定义装备面临环境复杂度评估类

根据装备在环境中的作战效能,对装备面临的环境复杂度进行分类,定义环境复杂度评估类,如表1所示。

表1 环境复杂度评估类

战场电磁环境复杂度分级	复杂度评价
I级(简单电磁环境)	$0\% \leq \Delta V \leq 25\%$
II级(轻度复杂电磁环境)	$25\% < \Delta V \leq 50\%$
III级(中度复杂电磁环境)	$50\% < \Delta V \leq 75\%$
IV级(重度复杂电磁环境)	$75\% < \Delta V \leq 100\%$

2.6 特定战情下的环境复杂度分级

若要求评估多个电子系统群共同感受到的电磁环境的特定复杂性,关键是要对群中所有个体的特定感受进行聚

合<sup>[3]</sup>。可以根据第2.4节介绍的办法,将各个单独装备的作战效能变化指标,聚合到武器系统上,再将多个武器系统的作战效能变化指标进一步聚合得到特定战情下的环境对武器效能影响的评估指标上,根据环境复杂度评估类给出特定战情下的环境复杂度评定结果。

3 仿真实验

假设两种工作频段相同的制导雷达,雷达A没有采用抗干扰措施,雷达B采用了旁瓣对消、前沿跟踪等抗干扰措施。战场上存在远距离支援干扰、距离拖引干扰等多种干扰。分别采用以下两种方法进行描述。

方法1 基于频域、空域、时域占有度描述方法<sup>[13]</sup>

由于战场上同时存在大量干扰,制导雷达面临环境的频域、空域、时域占有度(覆盖度)较高。由于雷达A和雷达B面临的信号环境相同,通过计算频域、空域、时域占有度得到的电磁环境等级相同。这里只给出计算结果,其面临的电磁环境等级为

雷达A

$$\sqrt[3]{FO \times SO \times TO} = 90\% \quad (4)$$

雷达B

$$\sqrt[3]{FO \times SO \times TO} = 90\% \quad (5)$$

式中,FO为频域占有度;SO为空域占有度;TO为时域占有度。可以认为雷达A和雷达B均面临着重度复杂电磁环境。

可以看出传统的基于频域、空域、时域占有度计算的电磁环境分级方法,无法体现装备之间的相对性,无法反映装备对电磁环境的“切身感受”。

方法2 基于武器作战效能的描述方法

雷达A受影响较大,而雷达B采用了抗干扰措施,虽然频域、空域、时域占有度(覆盖度)较高,但对跟踪制导性能影响不大。下面详细给出基于武器作战效能描述方法的计算过程。

图4为雷达作战效能的评估指标体系,“⊕”表示下层指标以“和”的方式向上聚合,“⊗”表示下层指标以“积”的方式向上聚合。

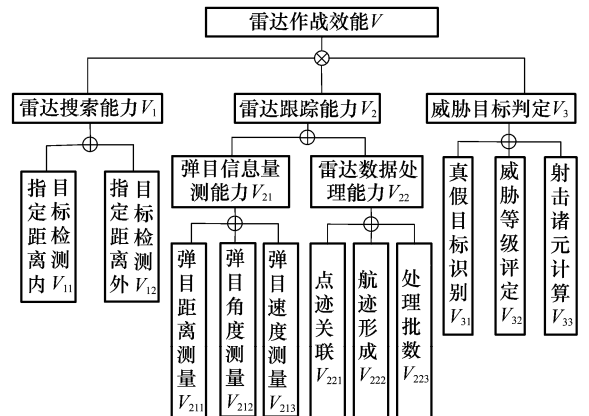


图4 雷达作战效能指标体系

首先确定各指标权重,组织4名专家对各指标的权重确定表2所示。

表 2 指标权重初值

	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_{11}$	$V_{12}$	$V_{21}$	$V_{22}$	$V_{31}$	$V_{32}$	$V_{33}$	$V_{211}$	$V_{212}$	$V_{213}$	$V_{221}$	$V_{222}$	$V_{223}$	$V_{222}$
1	0.3	0.3	0.4	0.8	0.2	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3
2	0.4	0.3	0.3	0.9	0.1	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3
3	0.35	0.35	0.3	0.8	0.2	0.5	0.5	0.35	0.35	0.3	0.35	0.35	0.3	0.35	0.35	0.3	0.35
4	0.3	0.4	0.3	0.9	0.1	0.6	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4

通过计算得到的指标权重如表 3 所示。

表 3 计算后的指标权重

$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_{11}$	$V_{12}$	$V_{21}$	$V_{22}$	$V_{31}$
0.338 3	0.338 3	0.323 4	0.814 4	0.185 6	0.549 5	0.450 5	0.338 3
$V_{32}$	$V_{33}$	$V_{211}$	$V_{212}$	$V_{213}$	$V_{221}$	$V_{222}$	$V_{223}$
0.338 3	0.323 4	0.338 3	0.338 3	0.323 4	0.338 3	0.338 3	0.323 4

通过第 2.3 节的评分方法,分别求得雷达 A 和雷达 B 的各底层指标值如表 4 所示。

表 4 原始得分

	$V_{11}$	$V_{12}$	$V_{211}$	$V_{212}$	$V_{213}$	$V_{221}$	$V_{222}$	$V_{223}$	$V_{31}$	$V_{32}$	$V_{33}$
A	0.1	0.05	0.12	0.14	0.1	0.5	0.8	0.9	0.1	0.1	0.9
B	0.9	0.5	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9

通过本文介绍方法,指标逐级向上聚合,聚合结果如表 5 所示。

表 5 逐级聚合结果

	$V_{21}$	$V_{22}$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V$
A	0.120 3	0.730 9	0.090 7	0.395 4	0.358 7	0.232 8
B	0.8	0.866 2	0.742 2	0.83	0.9	0.820 4

由此,则可以求出雷达 A 和雷达 B 面临的电磁环境为  
雷达 A

$$\Delta V = 76.72\% \quad (6)$$

雷达 B

$$\Delta V = 17.96\% \quad (7)$$

根据定义,雷达 A 面临着重度复杂电磁环境,雷达 B 面临着简单电磁环境。

通过仿真实验,可以看出对于相同的环境,由于武器自身“质”的不同,其自身感受到的环境是不同的。用基于武器效能的电磁环境描述方法可以反映出武器的自身感受,可以充分体现出复杂电磁环境的相对性。

### 4 结束语

对电磁环境分类分级是对电磁环境的基本描述方法,是认识电磁环境的基础,建立一套对其描述的方法,对武器研制、部队训练具有重大意义。本文提出的方法,从战场电磁环境的相对性和可控性分析问题,利用武器装备对电磁环境的不同“感受”,通过武器装备的作战效能变化,对战场电磁环境进行分级描述,可以充分反应出电磁环境的相对性,弥补现有电磁环境描述方法的不足,具有很强的实用价值。

### 参考文献:

[1] Brockel K H, Cofield D, DeAllaume W, et al. Electromagnetic environment effects compendium [R]. Research and Develop-

ment Technical Report, CECOM-TR-93-5,1993;1-20

[2] Giri D V, Tesche F M. Classification of intentional electromagnetic environments[J]. *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*,2004,46(3):322-327.

[3] Boord P R, Martin N M. Simulation of an electromagnetic environment for performance analysis of radar receivers[C]// *Proc. of the Fourth International Symposium on Signal Processing and Its Applications*,1996:129-130.

[4] 代合鹏,苏东林. 电磁环境复杂度定量分析方法研究[J]. *微波学报*,2009,25(3):25-27. (Dai H P, Su D L. Study of the complexity evaluation on electromagnetism environment [J]. *Journal of Microwaves*,2009,25(3):25-27.)

[5] 罗鹏程,傅攀峰,周经伦. 武器装备体系作战能力评估框架[J]. *系统工程与电子技术*,2005,27(1):72-75. (Luo P C, Fu P F, Zhou J L. Framework to evaluate the combat capability of weapons SoS[J]. *Systems Engineering and Electronics*,2005,27(1):72-75.)

[6] Yoon H. *Multiple attribute decision making-method and application*[M]. Berlin: Springer-Verlag Publishers,1981.

[7] Yeh C H, Deng H, Chang Y H. Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies[J]. *European Journal of Operational Research*,2000,126(3):459-473.

[8] Liang G S, Wang M J. A fuzzy multi-criteria decision making method for facility site selection[J]. *International Journal of Production Research*,2001,29(11):2313-2330.

[9] Dias L C, Climaco J N. Dealing with imprecise information in group multi-criteria decisions: a methodology and a GDSS architecture[J]. *European Journal of Operational Research*,2003,148(2):14-27.

[10] 柯宏发,陈永光,夏斌,等. 一种基于逼近于理想灰关联投影的多目标决策算法[J]. *电子学报*,2007,35(9):1757-1761. (Ke H F, Chen Y G, Xia B, et al. An algorithm of multiple criteria decision-making based on similarity to ideal grey relational projection[J]. *Acta Electronica Sinica*,2007,35(9):1757-1761.)

[11] 柯宏发,陈永光,夏斌. 电子战装备作战效能灰色评估模型和算法[J]. *系统仿真学报*,2005,17(3):760-763. (Ke H F, Chen Y G, Xia B. Grey evaluation model and algorithm of combat effectiveness of EW equipment[J]. *Journal of System Simulation*,2005,17(3):760-763.)

[12] 王坚强. 一种新的多指标多水平决策方法及应用[J]. *系统工程与电子技术*,2001,23(11):119-123. (Wang J Q. New decision-making method of the multiple attribute and multi-level system and its application[J]. *Systems Engineering and Electronics*,2001,23(11):119-123.)

[13] 刘义,王国玉,冯德军,等. 基于装备作战效能的复杂电磁环境下训练效果评估[J]. *系统仿真学报*,2009,21(17):5375-5379. (Liu Y, Wang G Y, Feng D J, et al. Evaluation of training in complex electromagnetic environment based on combat effectiveness of equipment[J]. *Journal of System Simulation*,2009,21(17):5375-5379.)