

文章编号: 2095-4980(2018)03-0481-05

面向作战需求的战场电磁环境复杂度评估

白海涛, 杨文, 高慧敏

(中国洛阳电子装备试验中心, 河南 洛阳 471000)

摘要: 战场电磁环境是战场中的一个重要因素, 其复杂度对作战指挥人员的作战决策和作战运用具有重要的参考意义。本文以战场电磁环境复杂度在作战指挥中的应用为研究背景, 在分析作战指挥对战场电磁环境复杂度的作战需求的基础上, 研究建立了适合不同作战指挥层次应用的分层分类的战场电磁环境复杂度的评估方法, 并给出了电磁环境复杂度评估指标和相应的表征方法。

关键词: 作战指挥; 电磁环境; 复杂度; 评估

中图分类号: TN978

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201803.0481

Complexity evaluation of battlefield electromagnetic environment for combat

BAI Haitao, YANG Wen, GAO Huimin

(Test Center of Electronic Equipment, Luoyang Henan 471000, China)

Abstract: The battlefield electromagnetic environment is important for a battlefield, and its complexity plays an important role in operational decision and operational command for combat commander. A hierarchical classification evaluation method of battlefield electromagnetic environment complexity is established, which is suitable for different combat command levels based on the analysis of operational requirements of battlefield electromagnetic environment complexity. The evaluation index on electromagnetic environment complexity and corresponding characterization methods are put forward.

Keywords: combat command; electromagnetic environment; complexity; evaluation

信息化作战条件下, 战场电磁环境是影响作战效能生成的关键要素, 它已成为作战指挥必须考虑和关注的重要方面。科学、准确地掌握战场电磁环境特征, 对作战指挥人员的作战决策制定、战场频谱管理以及作战运用等具有重要的军事意义。对作战指挥人员来说, 在作战中对战场电磁环境最为关注的是其对作战效能的影响程度, 而战场电磁环境复杂度则是表征战场电磁环境对作战影响程度的核心要素。

当前国内领域专家对战场电磁环境复杂度评估进行了许多研究, 提出了很多研究成果: 采用时域、频域、能量域、空域等, 从宏观上对电磁环境整体特征进行描述和评估^[1-2]; 将复杂度分为一般性和特殊性进行评估^[3]等。但是从作战应用角度, 这些方法没有考虑各类作战指挥人员对电磁环境复杂度的评估需求, 还无法充分体现战场电磁环境各种域上的要素特征与作战要素间的关联关系, 难以满足不同作战指挥人员关注战场电磁环境复杂性对作战效能影响的应用需求。

本文依据战场电磁环境特征和作战指挥对战场电磁环境复杂度的需求, 在以时域、频域、能量域和空域的战场电磁环境复杂度的研究基础上, 以战场电磁环境对用频装备的作战效能影响出发, 区分不同作战层次, 探讨了基于不同作战层次的战场电磁环境复杂度评估方法, 可为不同层次作战指挥人员的作战决策、装备运用以及复杂电磁环境条件下用频装备训练提供一定的理论方法指导。

1 战场电磁环境复杂度及其评估方法

1.1 战场电磁环境复杂度

战场电磁环境是在一定的作战时空范围内, 各类自然电磁和人为电磁信号综合形成的一种战场环境^[4]。战场电磁环境包含的电磁信号种类繁多, 数量庞大, 分布不均且随时间而动态变化, 其对作战中的各类电子信息装备的作战效能构成了重要影响, 进而影响到作战指挥和作战行动, 这是战场电磁环境所呈现出的复杂性特征。战场电磁环境的复杂度就是对战场电磁环境所表现出的这些特征的复杂程度的表述, 它是表征电磁环境复杂性本质特征的重要指标^[5]。战场电磁环境的复杂度研究是战场电磁环境研究领域的核心内容。在信息化作战条件下, 战场电磁环境的复杂性特征对作战产生了重要的影响, 因此, 正确理解和掌握战场电磁环境的复杂度是深刻理解战场电磁环境本质特征, 是各级作战指挥人员进行装备部署、战术运用以及频率管控等作战决策和行动等一系列作战活动的基础, 对各级作战指挥人员应对复杂电磁环境下作战运用、发挥作战效能具有重要意义。

1.2 战场电磁环境复杂度评估

战场电磁环境复杂度评估是对战场电磁环境复杂程度的定量描述。按照战场电磁环境的复杂性特征, 其复杂度评估一般可从客观性的复杂度和特定性复杂度进行。客观性复杂度是从环境本身角度, 对战场电磁环境本身所表现出的整体特征和状态进行评估, 其与战场上的感受体无关, 而特定性复杂度是从战场电磁环境在特定时段、特定地域对特定的感受体的作战效能的影响角度进行的评估^[2]。

当前, 相关文献研究了战场电磁环境复杂度的表征方法。对客观性的复杂度主要是从复杂电磁环境的“四域”(时域、空域、频域和能量域)出发, 通过对战场电磁环境时间、空间、信号频率以及信号强度的分布的描述^[6], 以战场电磁环境的物理属性为指标, 通过建立评估指标, 运用各类评估方法进行综合评估, 从宏观上对电磁环境的整体复杂性进行客观、定量的评估。对特定性复杂度的评估, 相关文献提出以电子装备、系统和部队综合作战效能受电磁环境影响的下降程度为评估指标, 从实际受影响的装备级出发, 运用层次分析方法逐级推至系统级、体系级以及作战行动所受影响, 从而得出战场电磁环境特定性复杂度^[3]。这些评估方法从不同角度可实现对战场电磁环境复杂度的科学评估, 在电磁环境对电子装备效能影响的理论分析和研究方面具有一定的意义。

2 面向作战应用的战场电磁环境复杂度评估

2.1 作战指挥中战场电磁环境复杂度评估的需求

战场电磁环境所表现出来的复杂性特征对作战效能产生重要的影响。因此, 在作战中, 对各级作战指挥人员, 掌握所面临的战场电磁环境的复杂度, 对于电子信息装备特别是用频装备的作战部署、作战运用以及制定应对措施具有十分迫切的需求。根据不同作战层次中的作战指挥特点, 作战指挥人员对战场电磁环境复杂度的评估具有以下应用需求。

2.1.1 复杂度评估应满足不同作战指挥层次人员的应用需求

战场电磁环境复杂度是作战指挥人员的重要参考要素。不同作战层次具有不同级的作战指挥人员, 各级作战指挥人员的作战任务不同, 对战场电磁环境复杂特征对的评估的关注点不同。根据作战层次的区分, 作战指挥人员可分为装备运用人员、战术指挥人员和联合作战指挥人员。各个层次的指挥人员对复杂度的评估的需求各有侧重。装备运用人员主要侧重于装备部署点处的电磁环境对影响, 战术指挥人员主要侧重于对作战行动区域复杂度评估, 联合作战指挥人员主要侧重于对作战地域电磁环境整体复杂度的了解和掌握, 为作战中的频率管控和作战协同等提供参考^[3]。各个层次的作战指挥人员具有不同的需求, 因此, 对战场电磁环境复杂度的评估应区分不同的对象和层次, 基于需求采用不同的表征方法进行评估, 以满足不同级别作战指挥人员的作战需求。

2.1.2 复杂度评估应满足对作战效能影响的预先评估需求

作战指挥中的战场电磁环境复杂度评估是为作战指挥人员所服务。在作战中, 战场电磁环境构成复杂, 信号种类繁多, 但并非所有的电磁信号对特定的用频装备或者战术行动构成威胁。因此, 作战指挥中的电磁环境复杂度评估主要应以对己方用频装备性能、作战行动可能构成影响的电磁信号特征作为复杂度的评估依据进行评估。此外, 作战指挥人员在进行作战筹划和作战部署时, 通常需要预先将战场电磁环境复杂度的结果作为一个基本参考要素, 制定作战计划和方案, 而不是在装备效能下降后根据装备效能下降程度进行复杂度评估, 进而才做出作战筹划和部署。因此, 在作战中战场电磁复杂度的评估应以对作战效能影响为基本原则进行预先评估。

2.2 面向作战应用的战场电磁环境复杂度评估

当前所提出的战场电磁环境复杂度评估方法在某一应用层面上具有一定的科学性和合理性,但根据作战应用对战场电磁环境复杂度评估的需求,其没有区分作战应用层次,针对性不强。客观性评估仅单纯地对战场电磁环境本身进行描述,没有以作战效能的影响对特定电子装备特别是用频装备进行评估,其关联度不高;依据作战效能下降对战场电磁环境复杂度的评估,不适合作战指挥人员对战场电磁环境复杂度进行作战预先评估的部署和运用需求。本文结合作战应用需求,运用“四域”的分析方法,提出一个适合作战应用的分层分类的战场电磁环境复杂度评估方法。该方法按照作战层次,将战场电磁环境复杂度分为3层,每层具有不同的颗粒度。第1层,是装备运用层;第2层,战术运用层;第3层,战役运用层。每一层所描述的内容、评估的方法也不同。面向作战应用的不同层次的战场电磁环境复杂度评估如表1所示。

表1 面向作战应用的不同层次的战场电磁环境复杂度评估

Table3 Complexity evaluation of battlefield electromagnetic environment based on different levels of combat application

evaluation level	evaluation factor	function
equipment application level	characteristics of time domain, frequency domain and energy domain of electromagnetic signals that may affect the performance of specific equipment	to master the electromagnetic environment in a certain geographical location and provide the basis for the deployment and application of equipment
tactical application level	the characteristics of time domain, frequency domain and energy domain of electromagnetic signals which may affect the effectiveness of multiple specific equipment in combat area	to master the electromagnetic environment in the combat area, and provide support for the use of frequency planning and tactical application
campaign application level	general characteristics of time domain, frequency domain, airspace and energy domain of electromagnetic signals affecting equipment efficiency in combat area	to master the overall electromagnetic environment of the combat area, and provide auxiliary support for frequency control and combat coordination

2.2.1 装备运用层

装备运用层是基于装备运用人员在装备部署和运用对战场电磁环境复杂度的评估。装备运用人员在进行用频装备部署时,需要考虑部署点处的战场电磁环境对用频装备作战效能所产生的影响。在复杂度的评估时,主要以所部署装备的地理位置点为参考,通过对该点处电磁环境特征与用频装备性能的交互分析,以电磁环境对用频装备的威胁度^[7]来进行复杂性评估。依据电磁环境的特征,装备运用层电磁环境复杂度评估可通过对该点处在用频装备工作时间、工作频率范围内且信号强度大于用频装备最小接收门限的电磁信号的时域、频域、功率域特征进行评估。通过评估,可为装备运用人员开展装备的部署和运用提供支撑。因此,装备运用层复杂度评估指标可分为用频装备工作时间范围(设为 (t_1, t_2))、频率范围(设为 (f_1, f_2)),该点处电磁信号功率密度谱设为 $S(t, f)$,用频装备工作门限设为 S_0 ,则装备运用层战场电磁环境的评估可通过用频装备所预部署的地理位置的电磁环境的时域、频域、功率域特征来反映,其可分为时间占用度、频率重合度、信号功率谱密度3个指标:

1) 时间占用度,该点处于用频装备工作时间范围、频率范围内且功率密度谱大于用频装备接收机门限的电磁信号时间长度与用频装备工作的时间长度比值,占用度越大,则可用时间越短。用 T_d 表示时间占用度,则时间占用度为:

$$T_d = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} U \left[\int_{f_1}^{f_2} S(t, f) df - S_0 \right] dt \quad (1)$$

式中 $U(x)$ 为单位阶跃函数。

2) 频率重合度,该点处于用频装备工作时间范围、频率范围内且功率密度谱大于用频装备接收机门限的电磁信号的用频宽度与用频装备的用频范围之间的比值。用 F_d 表示频率重合度,则频率重合度为:

$$F_d = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} U \left[\int_{t_1}^{t_2} S(t, f) dt - S_0 \right] df \quad (2)$$

3) 信号功率谱密度,该点处于用频装备工作时间范围、频率范围内且功率密度谱大于用频装备接收门限的信号功率谱密度。用 S 表示信号功率谱密度,则信号功率谱密度为:

$$S = \int_{f_1}^{f_2} \int_{t_1}^{t_2} U \left[S(t, f) - S_0 \right] dt df \quad (3)$$

2.2.2 战术运用层

战术运用层是基于战术指挥人员在作战运用中对战场电磁环境复杂度的作战需求。战术指挥人员在作战运用时,必须考虑用频装备在作战地域内作战运用中受地域内电磁环境的影响程度。因此,在复杂度评估时,要以战术作战地域中的电磁环境特征与所有用频装备性能的交互为基础,通过对用频装备构成影响的电磁环境的综合特征来进行复杂性评估。基于电磁环境的特征和用频装备性能,战术运用层的战场电磁环境复杂度评估应对战术运

用区域内处于各用频装备工作时间、工作频率范围内且信号强度大于各用频装备接收门限的各个电磁信号的时域、频域、功率域特征进行综合评估。通过评估,可为战术指挥人员掌握作战地域内的电磁环境,制定用频计划和战术运用提供支撑。设作战地域内的用频装备用 E_n 表示, $E_n=(E_1, E_2, \dots, E_n)$, 工作时间范围为 (t_{n1}, t_{n2}) , 频率范围为 (f_{n1}, f_{n2}) , 该地域内电磁信号功率密度谱为 $S(t, f)$, 用频装备工作门限为 S_{n0} , 则该地域内电磁环境复杂评估指标可分为时间占用度、频率重合度、空域覆盖率、信号功率谱密度几个指标:

1) 时间占用度, 战术行动区域内分别处于各用频装备工作时间范围、频率范围内且电磁信号功率密度谱大于对应用频装备接收机门限的各个电磁信号的平均时间长度。时间占用度为:

$$T_d = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{t_{k2} - t_{k1}} \int_{t_{k1}}^{t_{k2}} U \left[\int_{f_{k1}}^{f_{k2}} S(t, f) df - S_{k0} \right] dt \quad (4)$$

2) 频率重合度, 战术行动区域内分别处于各用频装备工作时间范围、频率范围内且电磁信号功率密度谱大于对应用频装备接收机门限的电磁信号用频宽度与各用频装备的用频范围间比值的平均值。频率重合度为:

$$F_d = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{f_{k2} - f_{k1}} \int_{f_{k1}}^{f_{k2}} U \left[\int_{t_{k1}}^{t_{k2}} S(t, f) dt - S_{k0} \right] df \quad (5)$$

3) 空域覆盖率, 作战区域内处于用频装备最大工作时间范围和频率范围且大于所有用频装备中最小接收门限的电磁信号所占空间与作战空间的比值。用 S_0 表示空域覆盖率, 则空域覆盖率为:

$$S_0 = \frac{1}{V_\Omega} \int_\Omega U \left[\frac{1}{f_2 - f_1} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \int_{f_1}^{f_2} S(t, f, r) df dr - S_{\min} \right] d\Omega \quad (6)$$

4) 信号功率谱密度, 战术行动区域内分别处于各用频装备工作时间范围、频率范围内且电磁信号功率密度谱大于对应用频装备接收机门限的电磁信号的平均功率谱密度。信号功率谱密度为:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \int_{f_{k1}}^{f_{k2}} \int_{t_{k1}}^{t_{k2}} U [S(t, f) - S_0] dt df \quad (7)$$

2.2.3 战役运用层

战役运用层是基于战役指挥人员对战场电磁环境复杂度的作战需求。战役作战指挥人员通常需要关注于作战地域内电磁环境态势整体的复杂程度,以宏观地了解 and 掌控作战地域内的电磁环境态势,而不关注于某个具体点或者某个地域的电磁环境对某类装备的影响。因此,对战役指挥人员而言,战役运用层的战场电磁环境复杂度分析应是以作战区域内对任意用频装备性能构成影响的电磁信号为对象,通过分析其总体特征来反映复杂程度。因此,战场电磁环境复杂度评估同样是以电磁环境“四域”为基础,对作战区域内处于用频装备工作时间、工作频率范围内且信号强度大于用频装备最小接收门限的电磁信号的时域、频域、功率域特征进行综合评估。通过评估,可为战役指挥人员掌握作战区域内的电磁环境整体态势,为频率管控和作战协同提供辅助支持。设作战区域内的用频装备用 E_n 表示, $E_n=(E_1, E_2, \dots, E_n)$, 作战区域设为 Ω , 用频装备中工作时间范围最大为 (t_1, t_2) , 频率范围最大为 (f_1, f_2) , 该区域内电磁信号功率密度谱为 $S(t, f, r)$, 用频装备中最小接收门限为 S_{\min} , 则该区域内电磁环境复杂评估指标可分为时间占用度、频率重合度、空域覆盖率、信号功率谱密度4个指标。

1) 时间占用度, 作战区域内处于用频装备最大工作时间范围和频率范围且大于所有用频装备中最小接收门限的电磁信号的时间与作战时间的比值。时间占用度为:

$$T_d = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} U \left[\frac{1}{(f_2 - f_1)V_\Omega} \int_{f_1}^{f_2} \int_{t_1}^{t_2} s(t, f, r) df dr - s_{\min} \right] dt \quad (8)$$

2) 频率重合度, 作战区域内处于用频装备最大工作时间和频率范围且大于所有用频装备中最小接收门限的电磁信号宽度与用频装备工作频段间的比值。频率重合度为:

$$F_d = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} U \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)V_\Omega} \int_{t_1}^{t_2} \int_{f_1}^{f_2} s(t, f, r) df dr - s_{\min} \right] df \quad (9)$$

3) 空域覆盖率, 作战区域内处于用频装备最大工作时间范围和频率范围且大于所有用频装备中最小接收门限的电磁信号所占空间与作战空间的比值。用 S_0 表示空域覆盖率, 则空域覆盖率为:

$$S_0 = \frac{1}{V_\Omega} \int_\Omega U \left[\frac{1}{f_2 - f_1} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \int_{f_1}^{f_2} s(t, f, r) df dr - s_{\min} \right] d\Omega \quad (10)$$

4) 信号功率谱密度, 作战区域内处于用频装备最大工作时间和频率范围且大于所有用频装备中最小接收门限的电磁信号平均功率谱密度。信号功率谱密度为:

$$S = \frac{\iint_{f_1}^{f_2} \int_{t_1}^{t_2} U[s(t, f, r) - s_{\min}] dt df dr}{(t_2 - t_1)(f_2 - f_1)V_{\Omega}} \quad (11)$$

3 结论

战场电磁环境已成为现代战争的一个重要因素,其复杂度对于作战指挥人员作战决策和作战运用具有重要意义。本文从作战指挥角度出发,以不同层次的作战指挥对战场电磁环境复杂度的作战需求为背景,初步探讨了战场电磁环境复杂度的表征和评估方法,可为不同作战层次的作战指挥人员作战决策和作战运用提供支持,也可为复杂电磁环境训练中的电磁环境设计提供方法指导。

参考文献:

- [1] 邵国培,刘雅奇,何俊,等. 战场电磁环境的定量描述与模拟构建及复杂性评估[J]. 军事运筹与系统工程, 2007,21(4): 17-20. (SHAO Guopei, LIU Yaqi, HE Jun, et al. Quantitative description and simulation construction of battlefield electromagnetic environment and complexity evaluation[J]. Military Operations and Systems Engineering, 2007,21(4): 17-20.)
- [2] 李修和. 战场电磁环境建模与仿真[M]. 北京:国防工业出版社, 2014. (LI Xiuhe. Modeling and simulation of battlefield electromagnetic environment[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2014.)
- [3] 高小玲,郭效芝,苏伟,等. 靶场通信系统电磁环境态势评价方法研究[J]. 装备学院学报, 2014(3):111-115. (GAO Xiaoling, GUO Xiaozhi, SU Wei, et al. Research on the electromagnetic environment situation evaluation method of the range communication system[J]. Journal of Equipment College, 2014(3):111-115.)
- [4] 尹成友. 战场电磁环境分类与分级方法[S]. 北京:国家军用出版社, 2008. (YIN Chengyou. Classification and grading method of electromagnetic environment in battlefield[S]. Beijing: National Military Publishing House, 2008.)
- [5] 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 Hepeng, SU Donglin. Study on the method of quantitative analysis of electromagnetic environment complexity[J]. Journal of Microwaves, 2009,25(3):25-27.)
- [6] 洪丽娜,韩慧,许雄,等. 复杂电磁环境表征方法[J]. 航天电子对抗, 2013,29(5):37-40. (HONG Lina, HAN Hui, XU Xiong, et al. A method for characterizing complex electromagnetic environment[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2013,29(5): 37-40.)
- [7] 腾人顺,姚春青. 信息作战指挥研究[M]. 北京:军事科学出版社, 2009. (TENG Renshun, YAO Chunqing. Research on information warfare command[M]. Beijing: Military Science Press, 2009.)

作者简介:



白海涛(1977-),男,陕西省商洛市人,博士,主要从事电子对抗作战试验、训练领域的研究与实践,email:18068843533@189.cn.

杨文(1972-),男,湖南省岳阳市人,硕士,高级工程师,主要从事雷达及雷达对抗的相关研究.

高慧敏(1982-),男,河南省洛阳市人,硕士,工程师,主要从事通信对抗相关研究.