

【兵器与装备】

基于主成分分析法的复杂电磁环境下一体化火力打击方案*

康喜兵, 侠文强, 杨玉忠

(军械工程学院 基础部, 石家庄 050003)

摘要:通过研究复杂电磁环境对我军一体化打击的影响, 结合我军实际作战能力, 根据强电磁环境下作战的特点, 构建了一种评估指标体系, 并采用优化模型来选择打击方案。示例分析表明, 该研究对提高我军电磁环境下一体化火力打击能力有着积极的作用。

关键词:复杂电磁; 主成分分析; 一体化联合火力打击

中图分类号: E920

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2008)03-0009-03

复杂电磁环境是指一定的战场空间内对作战有影响的电磁活动和现象的总和, 由自然电磁环境和人力电磁环境组成, 属于信息化战场环境一个重要组成部分。复杂电磁环境形成的主要原因就是高密度电子设备所释放的电磁波对电磁频谱造成的严重污染, 这种对电磁频谱的污染会对电子设备产生强烈的电磁干扰作用, 从而对作战行动产生了巨大的影响。本文中重点研究了复杂电磁环境下选择合理的一体化火力打击方案, 进而提高一体化火力打击的能力。

1 复杂电磁环境对一体化联合火力打击的影响

构成复杂电磁环境的主要因素包括在敌、我双方的电子对抗中, 各种武器装备所释放的高密度、高强度、多频谱的电磁波, 以及民用电磁设备的辐射和自然界产生的电磁波等。目前, 从国外发生的几场高技术局部战争来看, 复杂电磁环境主要的特点有信号密度高, 信息流量大, 电磁信号范围广、辐射能量强, 电磁信号源多、种类繁多, 战场电磁领域互斥等。由此可以看出复杂电磁环境对一体化联合火力打击的影响。

1.1 获取目标信息的能力受限。以“非接触”作战为主要形式的一体化联合火力打击, 对战场目标信息保障具有很大的信赖性。没有高效的目标信息保障, 一体化联合火力打击就不能持续、高效的进行。加装有数字化通信设备、先进雷达、敌我识别装置和全球定位系统接收器的信息化武器装备, 通过捕捉电磁辐射信号来获取和掌握战场上的目标信息, 而这些武器装备主要是以电子技术为核心, 在遭敌干扰后会使得获取目标信息的能力受限。

1.2 指挥控制能力严重削弱。在复杂电磁环境下, 一体化联合火力持续指挥难以保证。一是复杂电磁环境下敌电磁干扰能力更加全域化, 严重影响指挥信息流程的稳定。敌方不仅能利用飞机临空对一体化联合火力信息系统进行干扰, 而且可以利用强力干扰机进行远程干扰破坏, 使电子干扰的距离变远, 范围变广, 频段变宽, 能更有效地对我方火力指挥信息系统实施干扰。由于我方火力指挥信息系统内部和外部电磁环境复杂, 个别部件电磁信号强度弱、抗干扰能力差, 在敌大面积、高强度的电子干扰下, 将无法正常工作, 势必影响指挥稳定。二是复杂电磁环境下敌方电子摧毁手段更加综合化, 极易造成指挥通信的中断。战时, 一体化联合火力指挥信息系统的各个环节都有可能遭受敌综合化的电子进攻, 使我方实施电子防御的范围广、难度大, 一旦某个环节被干扰破坏, 势必导致火力指挥信息不能及时、顺畅地传输到位。

1.3 火力打击效能降低。在复杂电磁环境下作战, 火炮、坦克、装甲车、导弹等联合作战的各武器发射平台, 以及一体化联合火力指挥信息系统的信息单元, 在一个狭小的空间内集成了大量的电子设备, 如果电磁兼容问题解决不好, 电磁频谱管理不严, 将出现信道拥挤、互相干扰、难以协调的状况, 极大地影响武器发射平台整体效能的正常发挥。同时, 带有高端的电气和电子设备为核心的武器弹药, 遭敌干扰后可能装备失效, 弹药失控, 导致打不成、打不快、打不准。

2 建立复杂电磁环境下一体化联合火力打击效能评估体系

通过分析复杂电磁环境对一体化联合火力打击的影

* 收稿日期: 2008-03-12

作者简介: 康喜兵(1975—), 男, 河北石家庄人, 讲师, 主要从事军事运筹学研究。

响,根据强电磁环境下作战的特点,结合我军作战能力的实际,构建了以整体作战效能为总目标层,以信息能力、火力、机动性、防护力和指挥能力5个战斗力要素为准则层,各个层面又以相应分为指标层为重点的指标体系(见表1),系统反映了复杂电磁环境下一体化联合火力,从而为合理选择作战方案提供依据。

表1 复杂电磁环境下一体化联合火力打击效能评估体系

一级指标	二级指标	三级指标
复杂 电磁 环境 下 一 体 化 联 合 火 力 打 击 效 能 (A)	信息能力 (B1)	信息获取能力(C1)
		信息处理能力(C2)
		信息传输能力(C3)
		信息利用能力(C4)
	火力 (B2)	命中概率(C5)
		稳定性(C6)
		火力反映时间(C7)
	机动性 (B3)	分散机动能力(C8)
		一体机动能力(C9)
	防护力 (B4)	装备防护能力(C10)
		信息防护能力(C11)
		人员防护能力(C12)
	指挥能力 (B5)	指挥系统有效性(C13)
		指挥员素质(C14)

3 主成分分析评价方法

本研究采用多元统计分析中的主成分分析法,将维数较高的 n 个相关指标变量通过线性变换浓缩转化为维数较低的 p 个互不相关指标变量,亦即主成分变量,同时要求主成分变量所包含的指标信息量占原始指标信息量的85%以上(即主成分的累积贡献率达到85%以上).具体步骤为:

步骤1 运用 Z-Score 方法对指标数据 $x_{ij} (i=1,2,\dots, m; j=1,2,\dots, n)$ 进行标准化处理:

$$Z_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / \sigma_j \quad (1)$$

其中: $\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}$, $\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$, 得到标准化样本决策矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$.

步骤2 计算所有样本的指标相关矩阵 $R = (r_{jk})_{n \times n}$, 其中:

$$r_{jk} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m y_{ij} \cdot y_{ik}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

步骤3 求相关矩阵 R 的特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0$ 及相应的特征向量:

$$\alpha_j = [\alpha_{j1}, \alpha_{j2}, \dots, \alpha_{jn}]^T \quad (3)$$

步骤4 通过 λ_i 计算各分量的方差贡献率:

$$p_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

选取满足 $\sum_{i=1}^p \lambda_i / \sum_{j=1}^n \lambda_j \geq e$ (一般取 $e = 0.85$) 的前 p 个

主成分作为新析并重指标,从而得到低维指标的主成分决策矩阵 $Z = (z_{ij})_{m \times p} = [z_1, z_2, \dots, z_p]$.

根据主成分分析的结果,可得主成分指标权重:

$$\mu_j = \lambda_j / \sum_{k=1}^p \lambda_k, j = 1, 2, \dots, p \quad (5)$$

进而可构造主成分加权决策矩阵 $U = (u_{ij})_{m \times p} = [\mu_1 z_{11}, \mu_2 z_{12}, \dots, \mu_p z_{1p}]$.

4 建立优化决策模型

定义1 对主成分加权决策矩阵 $U = (u_{ij})_{m \times p}$ 的指标属性值,取 $u_i^+ = \max\{u_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\}$, $u_i^- = \min\{u_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\}$, 则称由 $A^+ = (u_1^+, u_2^+, \dots, u_p^+)$ 和 $A^- = (u_1^-, u_2^-, \dots, u_p^-)$ 构成的方案分别为主成分正理想方案和主成分负理想方案。

定义2 称

$$d_i^+ = \left[\sum_{j=1}^p (u_{ij} - u_j^+)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$d_i^- = \left[\sum_{j=1}^p (u_{ij} - u_j^-)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

为方案 A_i 对主成分正理想方案和主成分负理想方案的偏离度。

定义1中的主成分正理想方案和主成分负理想方案显然不存在,否则就无须决策,作此定义的宗旨是把它们作为衡量其它可行方案的准绳以权衡各方案的优劣,为此建立综合优化决策模型:

$$\max F(q_1, q_2, \dots, q_m) = \max \left\{ \sum_{i=1}^m (q_i d_i^+)^2 + [(1 - q_i) d_i^-]^2 \right\} = \quad (8)$$

$$\max \sum_{i=1}^m \left[q_i^2 \sum_{j=1}^p (u_{ij} - u_j^+)^2 + (1 - q_i)^2 \sum_{j=1}^p (u_{ij} - u_j^-)^2 \right]$$

令 $\frac{\partial F}{\partial q_i} = 0$, 得:

$$q_i = \frac{\sum_{j=1}^p (u_{ij} - u_j^-)^2}{\sum_{j=1}^p (u_{ij} - u_j^+)^2 + \sum_{j=1}^p (u_{ij} - u_j^-)^2} \quad (9)$$

由式(9)可得到在主成分分析和理想点基础上的各方案总体优化决策排序向量 $q = (q_1, q_2, \dots, q_m)$, 决策者可据此结果进行决策。

5 示例分析

设某部队在执行渡海登岛任务前,充分考虑了复杂电磁环境的影响,制定了6套进攻方案,并对该6套方案针对以上14个分指标所产生的效能进行了预测,采用归一化处理,其结果如表2所示。

表2 各方案评价指标预测

指标	方案					
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
C1	0.81	0.64	0.69	0.75	0.59	0.80
C2	0.68	0.72	0.84	0.80	0.69	0.71
C3	0.75	0.81	0.68	0.47	0.73	0.58
C4	0.67	0.73	0.72	0.80	0.81	0.83
C5	0.64	0.81	0.63	0.69	0.71	0.76
C6	0.84	0.87	0.86	0.87	0.89	0.91
C7	0.91	0.90	0.89	0.76	0.58	0.64
C8	0.68	0.69	0.72	0.76	0.84	0.62
C9	0.63	0.85	0.47	0.67	0.66	0.58
C10	0.71	0.76	0.81	0.80	0.69	0.84
C11	0.69	0.63	0.78	0.90	0.92	0.89
C12	0.84	0.80	0.78	0.75	0.76	0.79
C13	0.79	0.78	0.73	0.70	0.73	0.71
C14	0.68	0.67	0.69	0.70	0.65	0.66

表2中各方案 A_i 对 C_j 的样本属性值为 x_{ij} , 从而可构造原始样本决策矩阵 $X = (x_{ij})_{6 \times 14}$, 由式(1)得标准化样本决策矩阵 $Y = (y_{ij})_{6 \times 14}$, 再由式(2)得样本的指标相关矩阵 $R = (r_{jk})_{14 \times 14}$, 并可计算出 R 的特征值和贡献率(见表3).

由表3可得, $\sum_{i=1}^4 \lambda_i / \sum_{j=1}^{14} \lambda_j = 94.55\% \geq 85\%$, 因此取前4项主成分即可达到决策分析的要求.

选取前4个主成分指标: $Z_j = Y \cdot \alpha_j$, 从而得主成分决策矩阵 $Z = (z_{ij})_{6 \times 4} = [Z_1, Z_2, Z_3, Z_4]$, 再由式(5)算出主成分指标权重 $(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4) = (0.4304, 0.2839, 0.1735, 0.1122)$, 进而可构造主成分加权决策矩阵 $U = (u_{ij})_{6 \times 4}$, 并得到主成分正、负理想方案分别为: $A^+ = (1.3738, 0.6602, 0.3135, 0.1867)$ 和 $A^- = (-1.0655, -0.7557, -0.4393, -0.1914)$, 由优化决策模型式(8)及式(9), 得到各方案总体优化决策排序(见表4).

表3 R的特征值和贡献率

特征值	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	$\lambda_7, \dots, \lambda_{14}$
	5.6977	3.7582	2.2965	1.4848	0.7628	0
贡献率	0.4070	0.2684	0.1640	0.1061	0.0545	0
累积贡献率	0.4070	0.6754	0.8394	0.9455	1	1

表4 进攻方案综合评价排序

方案	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
排序值 q_i	0.9496	0.6540	0.6454	0.2496	0.0917	0.0774
排序	1	2	3	4	5	6

由表4可以得出, 方案 A_1 排序第一. 通过分析发现, 该指标对部队的信息传输能力和火力反应时间较为敏感, 说明在复杂电磁环境中, 提高部队的信息传输能力以达到互联、互通、互操作, 以此来缩短火力反应时间, 将是复杂电磁下一体化联合火力作战的重点.

参考文献:

- [1] 刘家学, 陈世国. 基于主成分分析的投资决策[J]. 运筹与管理, 2006, 15(2): 77-80.
- [2] 谭跃进. 定量分析方法[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2002.
- [3] 叶云, 屈洋, 罗顺武, 等. 基于多层次灰色理论的信息化部队作战效能评估[J]. 军事运筹与系统工程, 2004(1): 46-50.
- [4] 赵百全, 沈达坤. 复杂电磁环境对一体化火力打击的影响及对策[C]//复杂电磁环境下作战与训练问题研究(论文集). 石家庄: [出版者不详], 2007: 199-201.