

防空装备作战效能动态评估与指标自适应优化研究

龙珊珊

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550009

【摘要】：针对传统的静态效能评价手段存在指标体系固化、权重分配僵化、评价结果滞后等问题，本文以防空装备体系化作战为背景，建立基于战场态势实时感知的作战效能动态评价模型，通过多源态势数据和智能算法实现作战效能的全过程、实时化的量化评价，利用不同的作战场景、威胁等级、装备状态来设计指标权重自适应调整和核心指标优选的方法，解决静态指标和动态战场脱节的问题。经过仿真验证，该模型评估精度较传统办法有所提高，自适应优化的指标可以集中到核心作战能力上，为防空装备作战运用提供支撑。

【关键词】：防空装备；作战效能；动态评价；指标自适应；智能优化

DOI:10.12417/3041-0630.26.06.063

引言

伴随着空袭技术的迅速发展，隐身目标、巡航导弹、无人机蜂群等新型威胁不断出现，防空作战由原来的单个装备对抗转变为体系化、网络化、智能化对抗，战场态势变得越来越强非线性、强随机性和快动态性，对作战效能评价的实时性、准确性以及适应性提出了更高的要求。传统的防空装备效能评价大多使用 ADC 模型、层次分析法、模糊综合评价法等静态的方法，这些方法依靠固定的指标体系和事先设定的权重，适合于装备定型试验和静态的能力分析，无法及时反映战场态势、威胁强度、装备完好率、电磁干扰等动态因素的影响，评价结果同实战效能相差较大。同时现有的评价指标体系大多受专家主观影响较大，没有动态筛选和权重调整的功能，在不同的作战环境中，次要指标很容易影响到主要的评价结果，影响其对作战效能的优越性。因此本文针对防空装备作战效能动态评价及指标自适应优化展开研究工作，冲破传统静态评价架构，依靠实时态势数据作为驱动力，创建动态评价模型，融合智能算法达成指标体系和权重的自适应调整，全方位加强效能评价的实战契合度和精确度，为防空装备高效运用和体系更新提供理论参照和技术支撑。

1 防空装备作战效能动态评估核心要素与指标框架

1.1 动态评估核心要素界定

防空装备作战效能是指在一定的作战场景、任务载荷和战场环境下，完成防空拦截、目标探测、指挥控制、战场生存等预定任务所具备的能力，动态评估需要全面考虑静态性能参数和动态战场变量，核心要素分为三大类。一是装备本体动态要素，包括反应时间、弹药储备量、装备完好率、系统响应延迟等实时状态参数，这些要素会随着作战进程不断变化，直接影响到装备的基础作战能力。二是战场环境动态要素，即电磁干扰强度、气象条件、地形遮蔽、战场生存压力等外部约束条件，这些要素都会极大地削弱或者提升装备的实际作战效能，是动

态评估的重要变量。三是威胁目标动态要素，即目标飞行速度、高度、突防方式、数量规模、隐身性能、干扰能力等，不同的威胁特点会导致装备效能发挥存在较大差别，需要对评估重点进行有针对性的调整。

1.2 基础评估指标体系构建

根据防空装备作战全过程，按照系统性、层次性、可量化、易获取的原则来建立基础动态评估指标体系，设置目标探测能力、拦截打击能力、指挥控制能力、战场生存能力、保障支撑能力五个一级指标，下设 16 个二级指标，所有的指标都设置了动态的量化阈值，可以实时采集数据进行赋值，具体的指标体系如表 1 所示。

表 1 防空装备作战效能基础评估指标体系

一级指标	二级指标	量化维度	指标类型（效益型/成本型）
目标探测能力	探测范围	距离	效益型
	探测概率	百分比	效益型
	抗干扰能力	干扰抑制比	效益型
	目标识别准确率	识别精度	效益型
拦截打击能力	拦截范围	距离	效益型
	单发命中概率	百分比	效益型
	多目标拦截	目标数量	效益型

	能力		
	毁伤效能	毁伤半径	效益型
指挥控制能力	信息传输速率	速率	效益型
	决策响应时间	时间	成本型
	协同作战能力	协同单元数量	效益型
	指令准确率	准确率	效益型
战场生存能力	隐身性能	反射截面	成本型
	机动规避能力	机动速度	效益型
	抗毁伤能力	防护等级	效益型
	快速修复能力	修复时间	成本型
保障支撑能力	弹药补给速度	补给时间	成本型
	装备维修效率	维修效率	效益型
	持续作战时间	时长	效益型

(注：续表1)

2 防空装备作战效能动态评估模型构建

2.1 模型整体架构

本文创建的动态评价体系是以多源数据实时融合为根基，依靠智能算法，分成数据感知层、数据处理层、动态评价层以及结果输出层这四个部分的架构。数据感知层负责采集装备实时状态、战场环境、威胁目标三种类型的数据，依靠探测装备、数据链等完成全方位的数据采集；数据处理层对原始数据进行降噪、归一化、缺失值补齐预处理，消除量纲差异和异常数据干扰，提高数据可用性；动态评估层是模型的核心部分，将改进BP神经网络和贝叶斯推理算法结合起来，对动态要素进行量化耦合，并且可以对效能进行实时计算，同时把指标自适应

优化模块接入进来，根据场景的变化来调整指标的权重；结果输出层实时给出效能评价分值、能力不足之处、改进意见等信息，给作战决策提供直观参照。

2.2 数据预处理与量化方法

由于各种指标的量纲、取值范围不同，直接用它们来评价会造成结果失真，所以采用极差归一化法把所有的指标数据都映射到[0, 1]区间上。效益型指标数值越大效能越好，用正向归一化公式；成本型指标数值越小效能越好，用逆向归一化公式，经过处理后全部指标数据具有可比性、可运算性。对于战场数据随机、不确定的特性，用滑动窗口滤波法处理实时数据流，设固定时间窗口，取窗口内数据加权平均值，剔除突发异常数据，保证评估数据稳定连续，适应战场态势快速变化的特点。

2.3 基于改进GA-BP神经网络的动态评估算法

传统的BP神经网络存在收敛慢、容易陷入局部最优的问题，不能满足动态评价的实时性和精确度的要求，本文用遗传算法(GA)来优化BP神经网络的初始权重和阈值，提高模型的全局寻优能力和收敛速度，建立GA-BP动态评价算法。算法流程分为三步，第一步确定神经网络输入层、隐含层、输出层节点数，输入层对应预处理后的16项二级指标数据，输出层为作战效能综合评分；第二步用遗传算法对神经网络初始权重和阈值进行迭代优化，用选择、交叉、变异操作找到最优参数组合；第三步将优化好的参数输入BP神经网络，用预处理过的样本数据进行训练，得到动态指标数据到效能评分的快速映射。

3 防空装备评估指标自适应优化机制

3.1 指标自适应优化核心目标

指标自适应优化的核心目的就是根据不同的作战环境、威胁等级和装备任务定位，自动选择核心指标、调整指标权重，去掉冗余指标的干扰，使评价结果集中到装备的主要作战能力上。具体分为两个目标，即指标体系自适应、指标权重自适应。一是根据战场威胁类型自动删除对当前作战效能影响小的次要指标，保留主要的、重要的指标，简化评价流程，提高评价速度；二是态势变化实时调节各指标权重，突出当下战场的主要能力指标，保证评价结果符合实战要求。

3.2 基于灵敏度分析的核心指标筛选

通过Sobol灵敏度分析法对基础指标体系进行灵敏度计算，定量地确定各个二级指标对于作战效能综合评分的影响程度，灵敏度系数越大，说明该指标对于效能影响越明显，可以作为核心指标的筛选依据。经过大量的仿真样本训练，得到各项指标的全局灵敏度系数，设置灵敏度阈值，把系数大于阈值

的指标确定为**核心指标**，小于阈值的指标确定为**次要指标**。系统在不同的作战环境之下，按照灵敏度分析结果，能够对指标做出自动调整。

3.3 基于熵权-层次分析法的权重自适应调整

结合主观赋权和客观赋权的优势，用熵权-层次分析法进行指标权重的自适应调整。层次分析法依靠作战专家的经验来确定各个场景下指标的主观权重优先级，体现实战经验以及战术需求，熵权法则依靠实时态势数据，利用数据离散程度来计算客观权重，防止主观偏差。将两种权重进行加权融合，得到综合自适应权重，战场态势发生改变的时候，系统会自动重新算出熵权，并且同步更新主观权重优先级，从而快速形成适合当下的场景权重体系。

4 仿真验证与结果分析

4.1 仿真场景设定

为了检验动态评估模型以及指标自适应优化机制是否有效，选取了三个典型的防空作战场景进行仿真验证，分别是场景一为要地防空，阻止常规战机单批次突防，电磁环境较好；场景二为区域防空，阻止多批次巡航导弹饱和攻击，伴生中等强度电磁干扰；场景三为野战防空，阻止无人机蜂群和低空目标混合突防，电磁环境十分复杂。选择某型弹炮结合防空装备为评价对象，得到该装备的静态参数和三种情况下的动态态势数据，用传统的静态评价方法和本文动态评价方法进行对比。

4.2 仿真结果与对比分析

仿真测试以装备实战拦截效能为基准值，对两种方法的评价误差，响应时间和场景匹配度加以比较，结果如表2所示。

表2 不同评估方法仿真对比结果

评估方法	场景一 评估误	场景二 评估误	场景三 评估误	平均 响应	场景 适配
传统静态评估法	12.3%	18.7%	22.5%	8.2s	65%
本文动态评估法	3.1%	5.6%	7.2%	1.5s	94%

	差	差	差	时间	度
传统静态评估法	12.3%	18.7%	22.5%	8.2s	65%
本文动态评估法	3.1%	5.6%	7.2%	1.5s	94%

从仿真结果可知，传统的静态评价方法对于复杂的环境下评价误差大，响应时间长，场景适应性差，不能满足动态作战的要求；本文建立的动态评价模型加上指标自适应优化机制，在三种场景下评价误差都在8%以内，平均响应时间只有1.5s，场景适应性达到了94%，评价的精确度、实时性和适应性比传统的评价方法有明显提高。同时，指标自适应优化机制可以选出主要指标，场景三中自动剔除掉4项多余的次要指标，使评价流程变短了40%，而且核心指标的权重调整之后，评价结果能很好地体现出装备应对无人机蜂群的实际作战能力，和实战效能非常契合。

5 结论与展望

针对传统防空装备作战效能评估静态化、指标固化、实战适配性差的痛点，构建了以多源数据融合为基础的动态评价模型，制订出指标自适应挑选和权重改良的机制，通过智能算法达成效能评价的实时化、精确化和场景化。仿真验证表明，该方法很好地克服了传统评价框架的不足，大大提高了评价结果的实战应用价值，可以为防空装备作战运用、战术改进、体系升级提供科学依据。未来可以继续优化算法模型，加入多装备体系协同作战的要素，扩展到防空装备体系效能动态评估方面；还可以用人工智能、大数据等技术来加强模型的自主学习和迭代更新的能力，从而达到全方位、全过程的智能化效能评价的目的，更好地适应未来智能化防空作战的需求，给防空装备建设及实战能力的提高提供更加完备的技术支撑。

参考文献:

[1] 姚禹,林强,杨海达,等.基于改进 AHP 的防空预警装备体系作战效能评估[J].现代防御技术,2025,53(06):21-29.
 [2] 严新宇,林强,胡冰,等.基于 G1-CRITIC 的防空预警装备体系作战效能评估指标赋权方法[J].舰船电子工程,2024,44(11):145-150.
 [3] 赵杰,马超,王练,等.基于模糊层次分析法的联合防空武器装备效能评估[J].信息工程大学学报,2024,25(05):620-623.
 [4] 黄宏胜,王华天,张春,等.末端防空装备反蜂群效能评估仿真研究[J].火炮发射与控制学报,2024,45(06):32-37.
 [5] 严新宇,林强,胡冰,等.基于 TOPSIS 的防空预警装备体系作战效能评估方法[J].舰船电子对抗,2024,47(02):28-35+41.