

doi: 10.7690/bgzdh.2025.10.012

基于改进层次分析法的地面分队作战效能动态评估应用方法

李佩针, 朱海鹏, 陈翠云

(成都西南信息控制研究院有限公司智能所, 成都 611730)

摘要: 针对传统作战效能评估中静态性、主观性强和实时适应性不足等问题, 提出一种基于改进层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)的地面分队作战效能动态评估应用方法。通过嵌入观察、判断、决策、行动(observation-orientation-decision-action, OODA)环, 构建“数据采集-模型重构-权重更新-反馈优化”闭环体系, 利用仿真推演实时采集多源数据, 依托战场态势动态调整判断矩阵与指标权重, 更新模型实现动态评估。在地面分队进攻场景下, 设置多元模拟战场环境开展对照实验, 采集多维度效能数据验证方法。结果表明: 该方法可有效量化复杂环境下作战效能, 有效解决传统静态评估的滞后性问题, 可为地面分队作战效能评估提供参考。

关键词: 作战效能评估; AHP; 地面分队; OODA; 仿真推演; 动态评估

中图分类号: E95 **文献标志码:** A

Application Method of Improved Analytic Hierarchy Process for Dynamic Assessment of Combat Effectiveness in Ground Units

Li Peizhen, Zhu Haipeng, Chen Cuiyun

(Intelligent Research Institute, Chengdu Southwest Information Control Research Institute Co., Ltd., Chengdu 611730, China)

Abstract: To address the issues of static nature, strong subjectivity, and insufficient real-time adaptability in traditional combat effectiveness evaluation, this paper proposes an improved analytic hierarchy process (AHP) based dynamic assessment method for ground unit combat effectiveness. By embedding the observation-orientation-decision-action (OODA) loop, construct a closed-loop system of ‘data collection-model reconstruction-weight update-feedback optimization’. Utilize simulation-based exercises to collect multi-source data in real-time, dynamically adjust judgment matrices and indicator weights based on battlefield situation changes, and update models for dynamic evaluation. In ground unit offensive scenarios, set up diverse simulated battlefield environments for control experiments, collect multi-dimensional effectiveness data to validate the methodology. The results demonstrate that this method can effectively quantify combat effectiveness in complex operational environments, addressing the latency issues of traditional static assessment approaches. It can provide a reference for evaluating combat effectiveness of ground units.

Keywords: combat effectiveness evaluation; AHP; ground unit; OODA; simulation exercise; dynamic evaluation

0 引言

在现代作战行动指挥体系中, 总结评估作为闭环管理的关键环节, 直接影响作战效能的提升与战略目标的达成, 是任何作战行动指挥过程中不可或缺的一环^[1]。其中, 作战效能评估通过量化分析作战能力、优化作战方案, 为指挥员提供科学决策依据, 在指挥决策优化、装备体系升级及战术战法验证等方面发挥着不可替代的作用。

传统作战效能评估方法多依赖专家经验判断, 在处理动态仿真环境下的非线性关系时暴露出显著缺陷, 存在主观性强、量化难度大等问题。相比之下, 层次分析法(AHP)凭借结构化分析框架, 将复杂问题分解为多层次指标体系, 实现定性与定量评估的有机融合, 在军事研究领域展现出独特优势:

1) 通过多维度指标综合评估, 有效弥补单一评估模型的精度短板; 2) 融合专家经验与定性数据, 突破实际作战数据匮乏的瓶颈; 3) 支持火力、机动、防护、指挥控制、后勤保障等多领域指标整合, 输出系统的全面评估结论; 4) 与人工智能技术深度融合后, 大幅提升大规模数据处理与复杂技术分析的自动化水平。

随着仿真技术的迭代升级, 作战仿真与层次分析法的协同应用成为军事领域研究热点。作战指挥决策是人工智能技术的重要应用领域, 也是智能化竞争最激烈的领域之一^[2]。目前, 国内研究聚焦作战方案优选与指挥决策支持, 例如在登陆作战仿真中, 通过构建 AHP 层次结构模型量化对比多方案优劣, 显著提升决策科学性; 在防空作战指挥中,

收稿日期: 2024-10-09; 修回日期: 2024-11-15

第一作者: 李佩针(1980—), 女, 四川人, 硕士。

利用 AHP 实现多目标优化, 辅助指挥员快速锁定最佳拦截策略。国外应用则侧重作战系统性能评估、作战计划制定及训练效果优化, 如美军在新型战斗机性能评估中, 运用 AHP 确定指标权重并结合仿真数据输出科学结论; 北约联合军演通过 AHP 对多约束作战计划进行综合评估, 筛选最优行动方案; 美军训练系统借助 AHP 评估训练效果, 持续优化作战训练内容。

该技术融合已取得阶段性成果, 但仍存在局限性: 静态权重分配机制难以适配动态战场环境, 复杂指标体系构建过程中易出现要素覆盖不全等。

针对智能时代军事指挥控制系统对实时、精准评估的需求, 提出改进型层次分析法 AHP 用于作战效能动态评估。依托传统 AHP 框架, 构建多层次战术要素指标体系, 采用 1-9 标度法对火力、机动等核心要素两两比较, 经矩阵运算与一致性检验确定静态权重, 搭建基础评估模型; 进而嵌入 OODA 环思想, 通过仿真推演采集战场环境、装备状态等多源数据, 基于态势数据重构判断矩阵, 再次进行一致性检验后获取动态权重, 并反馈至评估模型, 动态更新模型适应态势变化。以地面分队进攻作战为场景, 基于军事仿真系统设置多元作战条件, 采集作战进程、资源消耗等多维度效能数据开展对照实验进行应用验证。

1 基于改进层次分析法的效能评估方法

1.1 评估指标体系构建

指标体系结构是关于效能指标体系组织关系的描述, 用于描述效能的基本概念, 是建立具体案例指标体系的基础^[3]。

构建评估指标体系是进行作战效能评估的首要前提。构建评估指标体系内容包括明确评估对象、定义评估指标与规定评估条件等^[4]。地面分队作战效能受多种因素影响, 需构建科学合理的指标体系。此处将指标体系分为目标层、准则层和指标层, 具体构建如下:

1) 目标层: 分队整体作战效能评估指标分解。

2) 准则层: OODA 环将整个指挥与控制过程视为 4 个分离而又不独立的阶段的循环^[5]。按 OODA 环从多个维度分解, 如分解为侦察感知能力、指挥控制能力、火力打击能力、机动生存能力等。

3) 指标层: 在每个准则下进一步细化具体指标, 如将侦察指挥能力分解为传感器覆盖率、目标识别准确率, 将指挥控制能力细化为信息传输延迟、

指令执行率, 将火力打击能力细化为武器命中率、火力响应时间, 将机动生存能力细化为地形通过性、伪装隐蔽指数等。

1.2 层次分析法实施

层次分析法的实施步骤方法如下:

1) 确定指标权重: 采用 1-9 标度法, 由军事专家对同级指标两两比较, 确定各层析指标的相对重要性。例如, 在地面分队作战中, 火力效能和机动效能的权重可能高于后勤保障效能。设置权重矩阵 $A=[a_{ij}]$, 其中 a_{ij} 表示准则 i 相对于准则 j 的重要性。具体设置方法参考如下:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) 计算权重向量: 对不同量纲的指标进行标准化处理, 使其具有可比性。例如, 将命中精度(百分比)和反应速度(秒)统一转换为无量纲的评分。按列归一化为:

$$a_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (2)$$

3) 综合评估计算: 根据权重和标准化数据, 计算各层次指标的加权得分, 最终得到作战效能的综合评估值。按行相加得到权重, 并对权重归一化为:

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (3)$$

4) 一致性检验: 计算一致性指标 CI 和随机一致性比率 CR, 评估判断矩阵的一致性, 确保评估过程的逻辑合理性。若一致性不满足要求, 需重新调整判断矩阵。

计算一致性指标 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, λ_{\max} 是判断矩阵的最大特征值。

计算一致性比率 $CR=CI/RI$, 其中 n 为矩阵的阶数。RI 为随机一致性指标, 常用的 RI 值如表 1 所示。

表 1 随机一致性指标 RI 表

矩阵阶数	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

当 $CR < 0.1$ 认为通过一致性检验, 否则应该对判断矩阵进行适当修正。

1.3 嵌入 OODA 环动态评估

要评价一个作战方案的优劣, 就要严格按作战方案的时序步骤, 向前动态推演直至得出结果, 通

过结果的数据来评价作战方案的优劣^[4]；因此，需要仿真推演模拟真实作战环境，生成大量作战数据。

想定的仿真设计，构建仿真环境，建立指标-仿真推演数据映射表，从指标类别、具体数据来源等方面建表。例如，指标的火力响应时间；数据来源的武器系统响应记录。然后进行动态权重修正，基于实时数据进行权重更新。

由于传统 AHP 静态权重无法适应战场态势变化，采用嵌入 OODA 环的改进方法来实现：

观察 (Observe) 阶段：从仿真推演系统中实时采集作战任务、敌我位置、装备状态、战场环境、人员等相关数据。

调整 (Orient) 阶段：分析作战效能随人员、装备武器等因素的变化趋势，根据战场态势调整准则层各指标的权重，重构判断矩阵，如将装甲单位权重从 0.6 动态调整为 0.4。

决策 (Decide) 阶段：根据构建的指标体系，采用特征值法进行一致性检验后计算新权重。

行动 (Act) 阶段：将更新后的权重反馈至评估模型。评估的结果既有战损战果的定量数据，也有针对不同行动的军事分析研判^[6]。评估结论，主要是武器的突防概率、命中概率，目标的毁伤程度或毁伤概率等量化毁伤数据^[7]。

2 验证实验及结果

在某地面分队进攻战斗的背景下，以根据态势需求、动态调整装备编配方案为例，运用笔者提出的方法进行作战效能动态评估实验验证。

2.1 仿真实定设计

方案推演评估的关键问题在于真实对抗环境的模拟上，只有在这样的环境下开展方案推演评估，才具有对实际作战的指导意义^[1]。仿真实定为红蓝对抗，该地面分队为红方，部队编成由步战车、突击车、火力连等组成，作战任务为进攻，同时构建了包含作战区域地图的作战场景，综合 30 次仿真推演中各指标数据样本。

进攻任务包括歼灭敌军兵力，夺取敌军重要地域或目标。这需要地面分队能够迅速突破敌军的防线，并占领有利地形。同时，指挥员还应适时指挥机降突击部队、秘密特种作战力量的具体行动，并视情况适时指挥快速突击力量做好准备。

充分的作战准备是打赢战争的重要前提。高效快捷指挥控制能力成为打赢战争的重要支撑^[8]；因此，重点考察地面分队进攻的侦察情报能力、指挥

控制能力以及火力打击能力。

2.2 评估指标体系构建

对地面分队进攻能力评估指标体系进行梳理，其部分指标体系示例如表 2 所示。

表 2 地面分队进攻主要能力评估指标体系

序号	一级指标	二级指标	三级指标
1	侦察情报能力	空中侦察能力	发现率
2			识别率
3		地面侦察能力	发现率
4			识别率
5		情报处理能力	目标处理时间
6			态势完整度
7	指挥控制能力	任务规划能力	规划时间
8			规划数量
9		计划推演评估能力	推演评估时间
10	火力打击能力	火力打击能力	射击准备时间
11			摧毁目标数量
12		命中率	装备命中率
14			武器命中率

2.3 部分指标权重列表

权重在综合评判过程中至关重要，它反映了各因素在评判和决策过程中的地位和作用^[1]。下面给出了部分指标权重。

一级指标权重示例如表 3 所示。

表 3 一级指标权重

地面分队进攻	侦察情报	指挥控制	火力打击
侦察情报	1	1	1/2
指挥控制	1	1	2
火力打击	2	1/2	1

侦察情报能力的二级指标权重示例如表 4-6 所示。

表 4 空中侦察权重

空中侦察	发现率	识别率
发现率	1	2
识别率	1/2	1

表 5 地面侦察权重

地面侦察	发现率	识别率
发现率	1	3
识别率	1/3	1

表 6 情报处理权重

情报处理	目标处理时间	态势完整度
目标处理时间	1	1/3
态势完整度	3	1

指挥控制权重示例如表 7 所示。

表 7 指挥控制权重

指挥控制	任务规划	计划推演评估
任务规划	1	3
计划推演评估	1/3	1

火力打击能力的二级指标权重示例如表 8-9 所示。

表 8 火力打击权重

火力打击	射击准备时间	摧毁目标数量
射击准备时间	1	1/4
摧毁目标数量	4	1

表 9 命中率权重

命中率	装备命中率	武器命中率
装备命中	1	3
武器命中率	1/3	1

2.4 验证实施分析

1) 将仿真想定设计下的突击车全部设置为有人，该设置下的地面分队具备在临机判断决策、人际交互、自主调整战术方面的优势，以及人类体能和反应速度的劣势。在此设定下做推演仿真，基于改进层次分析法进行作战效能评估，以期得到指挥控制能力更突出、火力打击能力较弱的评估结果。推演数据采集如表 10 所示。

表 10 方案 1 推演结果数据

序号	三级指标	数值
1	发现率	0.297 0
2	识别率	0.712 0
3	发现率	0.297 0
4	识别率	0.712 0
5	目标处理时间/s	80.005 0
6	态势完整度	0.712 0
7	规划时间/s	16.988 0
8	规划数量	3.000 0
9	推演评估时间/min	16.988 0
10	射击准备时间/min	12.975 0
11	摧毁目标数量	28.000 0
12	装备命中率	0.211 1
13	武器命中率	0.209 0

效能评估过程得到的二级指标能力综合对比如图 1 所示。指挥控制能力最强，火力打击能力最弱，这与预期吻合，评估有效。

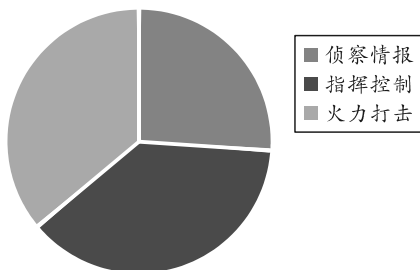


图 1 地面分队进攻方案 1

根据仿真反馈结果，结合进攻作战的态势需求，动态调整突击车中无人装备数量占比为 25%，以期得到更大火力打击能力和情报侦察能力，并通过仿真推演验证改进效果。推演数据采集如表 11 所示。

表 11 方案 2 推演结果数据

序号	三级指标	数值
1	发现率	0.410
2	识别率	0.899
3	发现率	0.410
4	识别率	0.899
5	目标处理时间/s	102.888
6	态势完整度	0.958
7	规划时间/s	23.085
8	规划数量	5.000
9	推演评估时间/min	23.085
10	射击准备时间/min	16.998
11	摧毁目标数量	33.000
12	装备命中率	0.232
13	武器命中率	0.303

调整后的二级指标综合对比如图 2 所示。侦察情报能力和火力打击能力均有所提升，与预期吻合。

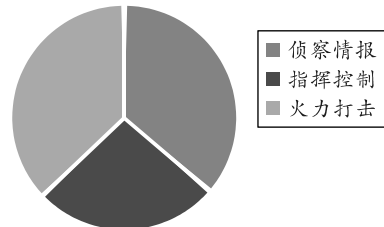


图 2 地面分队进攻方案 2

3 结束语

笔者通过传统 AHP 理论权重与地面分队进攻背景下的仿真推演数据深度融合，嵌入 OODA 环思想构建闭环反馈的效能优化机制，依据进攻作战的态势需求动态更新编配模型，实施评估。实验结果表明：该方法能客观且有效地进行^[9]作战效能的动态评估，并可通过评估结果制定作战装备编配的优化方案，提升战场态势感知与资源调配能力。

综上所述，笔者基于改进层次分析法的作战效能动态评估方法，将经典评估方法与现代作战理论、仿真技术有机融合，实现了评估范式从“事后静态分析”到“事中动态调控”的转变，可有效提升 AHP 在作战效能评估中的应用效果，更好地支持军事决策和作战规划。下一步，将继续探索与现有指挥控制系统的深度集成，推动 OODA 环的智能化升级。

参考文献：

[1] 蓝雨石, 毛永庆, 黄强, 等. 联合作战指挥控制系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2022.
 [2] 朱江, 沈寿林. 智能时代的指挥决策: 指挥控制的科学原理与时代发展[M]. 北京: 电子工业出版社, 2023.
 [3] 凌云翔, 马满好, 袁卫东, 等. 作战模型与模拟[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2018.