

doi: 10.7690/bgzdh.2015.07.015

指挥信息系统作战运用效能评估指导模式研究

刘 刚^{1,2}, 邹自力², 胡焰智^{1,2}, 张 霞¹

(1. 重庆通信学院, 重庆 400035; 2. 国防信息学院, 武汉 430010)

摘要: 针对指挥信息系统作战运用效能如何评估更加有效的问题, 提出由评估内涵、评估要素和评估流程构成的指挥信息系统作战运用效能评估指导模式。论述指挥信息系统作战运用效能评估指导模式, 给出基于群组 AHP 和模糊综合评判法进行作战运用效能评估的具体方案。实践结果表明: 该模式可行、实用, 可为总部和部队今后开展指挥信息系统作战运用效能评估提供借鉴。

关键词: 指挥信息系统; 作战运用; 效能评估; 指导模式; 群组 AHP; 模糊综合评判法

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Research on Effectiveness Evaluation Guidance Mode of Operational Application for Command Information System

Liu Gang^{1,2}, Zou Zili², Hu Yanzhi^{1,2}, Zhang Xia¹

(1. Chongqing Communication Institute, Chongqing 400035, China;

2. Academy of National Defense Information, Wuhan 430010, China)

Abstract: In order to improve the effect of operational effectiveness evaluation for command information system (CIS), the effectiveness evaluation guidance mode for CIS operational application is proposed, which includes evaluation connotation, evaluation factors, and evaluation process. The guidance mode is discussed, and a concrete scheme is given based on group-AHP and fuzzy comprehensive evaluation (FCE) for CIS operational application effectiveness evaluation. The practice indicates that the mode is feasible and effective, and it can provide reference for CIS operational application effectiveness evaluation of the headquarter and army in future.

Keywords: command information system (CIS); operational application; effectiveness evaluation; guidance mode; group-AHP; fuzzy comprehensive evaluation (FCE)

0 引言

效能评估是现代作战体系“侦控打评”闭环运行的关键环节, 对于指导系统完善发展、改进部队训练模式、促进战法优化创新和提升体系支撑能力具有重要的理论价值及现实意义。指挥信息系统作为信息化战争的物质基础和军队战斗力的“倍增器”^[1], 其作战运用效能直接影响军队基于信息系统体系作战能力的生成与提高。指挥信息系统作战运用效能如何评估更加有效, 是当前总部和部队关注的一个焦点。针对这一问题, 笔者通过构建指挥信息系统作战运用效能评估指导模式, 研究基于群组层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)确定评估指标权重和运用模糊综合评判法进行作战运用效能评估的关键方法与主要步骤, 为指挥信息系统作战运用效能评估提供具体实施方案和基本模式参考。

1 作战运用效能评估指导模式构建

模式是解决某一类问题的方法论, 是一种参照性指导方略^[2]。指导模式是模式的一种具体类型, 突出模式在解决实际问题中的指导性作用。良好的指导模式有助于高效高质量地完成工作。指挥信息系统作战运用效能“是什么”、“评什么”、“怎样评”, 是作战运用效能评估的核心问题。针对这些问题构建可参照、可依据的效能评估指导模式, 既为具体实施效能评估提供标准样式和方法指导, 又为部队今后开展系统作战运用效能评估提供参考。笔者从作战运用效能评估的内涵、要素和流程等方面, 建立系统作战运用效能评估的指导模式。

1.1 作战运用效能评估内涵

指挥信息系统作战运用效能不仅反映系统本身所具有的能力, 同时也反映了指挥员及其指挥机关与系统结合后产生的使用效能。与静态效能^[3]相比,

收稿日期: 2015-03-16; 修回日期: 2015-04-25

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(12GJ003-015)

作者简介: 刘 刚(1980—), 男, 安徽人, 博士研究生, 讲师, 从事指挥信息系统作战运用研究。

作战运用效能是一种受作战环境影响的动态效能，是任何武器装备的最终效能和根本质量特征^[4]。作战运用效能评估可以理解为合成指挥员及其指挥机关对指挥信息系统在特定的作战环境、约束条件下，执行规定任务所能达到程度的度量过程。

1.2 作战运用效能评估要素

关于武器装备效能评估要素的构成，目前具有代表性的提法是包括效能度量维、系统建模维和方法维^[3]。结合所研究的具体评估问题，笔者认为作战运用效能评估要素主要包括评估指标体系、评估方法和评估数据。

1.2.1 评估指标体系

评估指标体系是开展作战运用效能评估的关键和起点。关于评估指标体系如何构建，文献[5]提出并分析比较了 5 种主要模式，其中“模式 5”研究系统性能、固有能力和作战能力、作战适宜性和作战效能之间的影响链路；文献[6]提出并分析比较了 4 种主要模式，其中第 3 种模式研究系统性能、固有能力和作战能力和作战效能之间的因果影响链路；文献[7]把综合电子信息系统评估领域内所有的指标都以价值度量(measures of merit, MOM)来描述，并将价值度量分为尺度参数、性能度量、效能度量和作战效能度量 4 大类。在研究参考上述文献的基础上，笔者认为作战运用效能描述了指挥信息系统在作战环境下通过人机结合实现其总体功能的情况，以及其性能、子功能与作战结果之间的因果影响关系。因此，评估作战运用效能必须从系统的性能、功能入手，并充分考虑人与环境对系统运用的影响。基于以上分析，笔者提出如图 1 所示的系统作战运用效能评估指标体系构建模式。

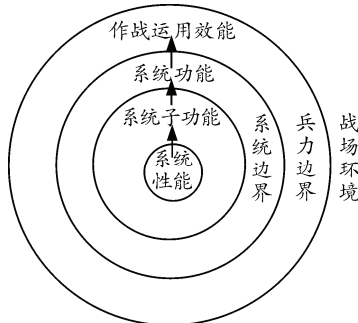


图 1 评估指标体系构建模式

该模式通过研究系统性能、系统子功能、系统功能和作战运用效能之间的影响链路，分析系统性能对系统子功能的影响、系统子功能对系统功能的

影响、系统功能对作战运用效能的影响。主要构建系统功能、系统子功能和系统性能 3 层指标体系。功能层指标度量指挥信息系统在作战环境中为实现预期目标应体现出的作用和能力。子功能层指标是对功能层指标的细化和分解，也属于功能的范畴。性能层指标是功能层指标的量化，度量的是系统单元自身的特性，是可测试、可计算或可定性评估的指标。

1.2.2 评估方法

效能评估有多种分类方法，按评估的主客观程度，可以将效能评估方法分为主观评估法、客观评估法和定性定量相结合评估法^[8]。主观评估法主要包括专家评估法、德尔菲咨询法和 AHP 等，其基本特征是人为因素影响大、指标之间的关系以线性为主。客观评估法主要包括加权分析法、理想点法、主成分分析法和因子分析法等，其基本特征是将指标融入战斗动态方程中，通过对调整改变各参量来分析系统整体效能的变化。定性定量相结合评估法主要包括模糊综合评判法、灰色关联分析法、聚类分析法、ADC 方法和 SEA 方法等，其基本特征是通过分析指标之间的相关性，定性与定量相结合地评估系统效能。这 3 种方法都有其适用范围和一定的局限性。

对指挥信息系统这种复杂的体系而言，其作战运用效能呈现出较为复杂的层次性结构，且包含众多定性与定量指标，某些高层次的指标与其下层指标之间虽有相互影响，但无确定的函数关系，只有通过通过对下层指标进行综合衡量后才能评估上层指标。笔者选择评估方法时主要考虑 2 个因素：一是评估方法成熟管用且经过实际验证；二是能够符合系统作战运用效能评估的要求^[9]。因此，在分析比较各种评估方法的基础上，笔者认为，当前较为成熟的群组层次分析法和模糊综合评判法更能满足指挥信息系统作战运用效能评估的需要。总的思路是运用群组层次分析法确定指标权重，运用模糊综合评判法对作战运用效能进行评估。

1.2.3 评估数据

由于功能层和子功能层评估指标数值可以通过性能指标求得，这里所指的评估数据是指性能指标的取值。笔者将性能评估指标分为量纲指标、概率指标和定性评估指标 3 类。其中，量纲指标具有确定值，可通过直接测试或仿真分析获得；概率指标

数值不能通过直接测试获得，但可以通过已有的经验值或抽样统计估算得出；定性指标数值不能通过直接测试或计算统计获得，只能用评估等级或评语表示。

考虑到我军的指挥信息系统没有经历过实战的检验，历史数据稀少，真实数据采集非常困难，笔者拟采用概率统计法、德尔斐咨询法和模拟仿真法来获取相关的性能指标数据。其中，概率统计法用于获取概率指标，如态势实时共享率、情报分发成功率和识别正确率等；德尔斐咨询法用于获取定性评估指标，如计划方案可行度、机动保障水平和密码强度等；模拟仿真法用于获取量纲指标，如话音平均建链时间和数据包传输平均时延等。

1.3 作战运用效能评估流程

指挥信息系统作战运用效能评估的基本流程主要包括4个环节，如图2所示。

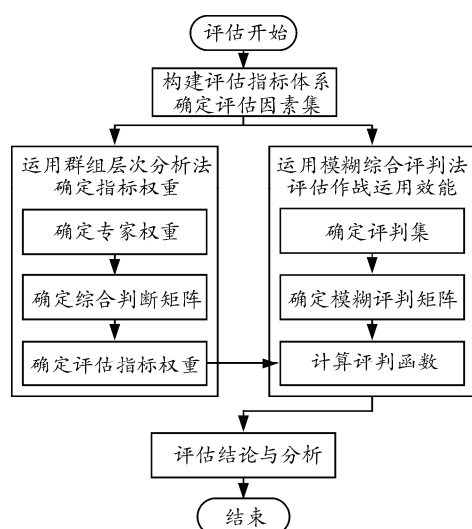


图2 作战运用效能评估流程

环节1是构建评估指标体系。运用自顶向下、调查试验等方法，按照评估对象确定、相关特征分析、关键特征描述、指标体系设计和指标实证分析等阶段，反复深入、逐步求精，力求构建科学合理、简单实用、体现本质的指标体系。环节2是确定评估指标权重。运用群组层次分析法，通过确定专家权重，构造综合判断矩阵，再确定各指标的权重。环节3是评估作战运用效能。运用模糊综合评判法，按照确定评判集、确定模糊评判矩阵和计算评判函数等步骤，求出作战运用效能评估结果。环节4是评估结论与分析。通过对评估结果以及各指标评价等级的分析，找出影响系统效能发挥的主要制约因

素，为下一步系统改进完善提供依据。

2 基于群组 AHP 的指标权重确定

AHP 是将定性与定量因素相结合的一种系统分析方法，适用于评价因素难以量化且结构复杂的评价问题^[10]。群组 AHP 对传统层次分析法进行了改进，针对某一决策问题，先由一定数量的领域专家运用层次分析法各自作出判断，然后按照某种方法综合分析各专家的判断信息，形成更为客观合理的群体决策结果。针对指挥信息系统作战运用效能评估指标权重确定这一多因素、多准则和多属性问题，单一的判断很难满足要求，群组 AHP 能相对较好地解决这一问题。

2.1 群组 AHP 关键问题及方法

2.1.1 专家权重确定方法

专家判断是层次分析法定量分析的基础。由于每个专家的立场、学识和偏好等存在差异，对同一问题可能会有差别的判断。因此，在运用群组 AHP 确定评估指标权重之前，很有必要先行确定专家的权重。为增强专家权重的可信度，笔者采用主客观权重与客观权重相综合的方法^[11]。具体方法如下：

假设参与评估的专家组 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ ，专家 s_k 的主观权重为 λ_k^a ，客观权重为 λ_k^b 和 λ_k^c ，则专家权重 λ_k 可用下式计算：

$$\lambda_k = t_1 \lambda_k^a + (1 - t_1) [t_2 \lambda_k^b + (1 - t_2) \lambda_k^c] \quad (1)$$

下面分别说明式中各元素的含义及计算方法。

1) 主观权重 λ_k^a 可由评估发起部门根据专家的学术威望、专业水平和对决策问题的熟悉程度等因素事先给定。

2) 客观权重 λ_k^b 反映的是专家 s_k 判断矩阵的一致性水平。一致性比例 (CR) 越小，判断矩阵的可信度越高，专家 s_k 的客观权重越大，反之则越小。

λ_k^b 计算公式如下：

$$\lambda_k^b = \frac{1/e^{CR_k}}{\sum_{i=1}^n 1/e^{CR_i}} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

3) 客观权重 λ_k^c 反映的是专家 s_k 与群体判断的偏差量。偏差量越小，表示专家 s_k 的判断受到群体普遍支持，其客观权重也就越大，反之则越小。 λ_k^c 计算公式如下：

$$\lambda_k^c = \frac{1 / \left(\sum_{i=1}^n \|A_k^r - A_i^r\|_F \right)}{\sum_{i=1}^m \left(1 / \left(\sum_{j=1}^n \|A_i^r - A_j^r\|_F \right) \right)} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中： A 是判断矩阵； A^r 为矩阵 A 的标度矩阵； $\|\bullet\|_F$ 是矩阵的 Frobenius 范数。

标度矩阵定义：设 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 是 n 阶判断矩阵，则称 $A^r = (b_{ij})_{n \times n}$ 为矩阵 A 的标度矩阵，式中：

$$b_{ij} = \begin{cases} a_{ij} - 1, a_{ij} \geq 1 \\ (a_{ij} - 1) / a_{ij}, a_{ij} < 1 \end{cases} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

4) t_1, t_2 为调节系数，满足 $0 \leq t_1, t_2 \leq 1$ 。 t_1 越小，表示越重视专家在评估过程中的实际表现； t_2 越小，表示越重视群体意见的一致性。

2.1.2 综合判断矩阵确定方法

设专家 s_k 的权重为 λ_k ，且满足 $\lambda_k \geq 0$ ， $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ ，其给出的正互反判断矩阵为

$$A_k = (a_{ij}^{(k)})_{m \times m} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

令 $\bar{A} = (\bar{a}_{ij})_{m \times m}$ ，其中：

$$\bar{a}_{ij} = \prod_{k=1}^n (a_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \quad (i, j = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

则称 \bar{A} 为判断矩阵 A_1, A_2, \dots, A_n 的加权几何平均综合判断矩阵(即 Hadamard 凸组合)，简称综合判断矩阵。

2.1.3 综合判断矩阵一致性分析方法

关于综合判断矩阵的一致性分析，文献[10]经过严格的证明，给出如下定理：

若判断矩阵 A_1, A_2, \dots, A_n 均为一致性可接受，则 A_1, A_2, \dots, A_n 的 Hadamard 凸组合 \bar{A} 也是一致性可接受的。

笔者采用上述定理，对综合判断矩阵进行一致性分析。

对 n 阶矩阵 A 的一致性检验方法如下：

- 1) 计算 n 阶矩阵 A 的最大特征根 λ_{\max} ；
- 2) 计算一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ ；
- 3) 选择平均随机一致性指标 $RI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ ；
- 4) 计算一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI}$ 。当 $CR < 0.10$

时，任务判断矩阵 A 是可以接受的，否则应对矩阵进行适当调整。

2.2 指标权重确定具体步骤

步骤 1：成立专家评估小组，确定专家主观权重。笔者邀请了陆军部队一线指战员及指挥信息系统研究领域的专家组成了 6 人专家评估小组，其中 2 名师指挥员(专家 1、2)、1 名师信息通联科领导(专家 3)、1 名师通信营指挥员(专家 4)、1 名院校专家(专家 5)和 1 名研究所专家(专家 6)。根据 6 名专家的工作性质、专业水平、学术威望以及对该效能评估的熟悉程度，分别确定 6 位专家的主观权重 λ_k^a 。

步骤 2：按照评估指标体系，专家构造判断矩阵。根据评估指标体系，请 6 位专家分别构造各层指标的判断矩阵，并对判断矩阵进行一致性检验。如果某判断矩阵 $CR > 0.10$ ，则请给出该矩阵的专家进行调整修正，直至该判断矩阵通过一致性检验。

步骤 3：依据专家判断矩阵，计算确定专家权重。依据每位专家给出的判断矩阵，利用公式 (2)、(3) 求出专家客观权重，并结合已给出的专家主观权重，通过公式 (1) 计算确定 6 位专家权重。

步骤 4：确定综合判断矩阵，计算评估指标权重。利用 Hadamard 凸组合，通过公式 (6)，对每一层专家给出的判断矩阵进行集结，得出综合判断矩阵，并采用特征根法求出该层评估指标的权重向量。

3 基于模糊综合评判法的作战运用效能评估

模糊综合评判法^[12]对于一些传统精确数学难以解决的复杂问题，表现出很大的优越性。对指挥信息系统作战运用效能评估这种包含因素众多且难以量化的问题，模糊综合评判法能较好地满足评估需求。模糊综合评判法一般按照确定指标集、评判集、权重集、模糊评判矩阵以及计算评判函数等步骤实施。

3.1 确定指标集

根据评估指导模式，以边境联合反击作战为背景，建立 3 层结构的评估指标体系，这里只给出用符号表示的指标集。假设一级指标集 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_i\}$ ，二级指标集 $C_i = \{C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{ij}\}$ ，三级指标集 $C_{ij} = \{C_{ij1}, C_{ij2}, \dots, C_{ijk}\}$ 。

3.2 确定评判集

根据专家的综合意见，结合系统的实际，笔者确定的评判集由评价等级及其对应的评价值构成。

评判等级 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{\text{差}, \text{较差}, \text{一般}, \text{较好}, \text{好}\}$ 。

设评判集对应的评价值：

$$G(V) = \{g(v_1), g(v_2), g(v_3), g(v_4), g(v_5)\} = \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$$

3.3 确定权重集

每个评估指标的权重均可采用上文给出的群组 AHP 法求出，这里不再赘述。

3.4 确定模糊评判矩阵

运用模糊综合评判法进行评估，是由最底层指标开始逐层向上综合评判的过程。指挥信息系统作战运用效能评估实质是一个三级模糊综合评判问题。由三级模糊综合评判的原理可知，确定总目标的模糊评判矩阵，先要确定第三级性能指标 C_{ij} 对评判集的隶属度矩阵。因性能指标有量纲指标、概率指标和定性评估指标 3 类，其隶属度算法又各有不同，所以笔者针对每一个性能指标求出相应的隶属度，再确定模糊评判矩阵。

3.4.1 量纲指标隶属度算法

量纲指标的数值可以通过直接测试或模拟仿真获取，其隶属度可以通过隶属函数直接求得。笔者采用梯形分布的隶属函数 f_q ，如图 3 所示。

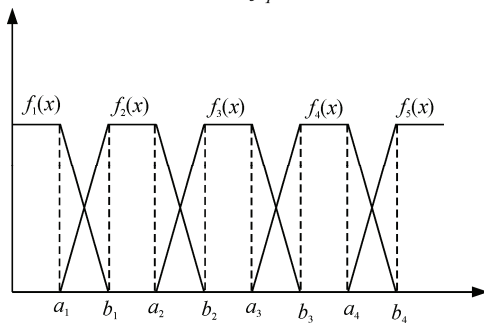


图 3 隶属函数

基于该隶属函数计算指标的隶属度时，当指标为正相关时，函数采用“越大越好型”，反之采用“越小越好型”。其计算公式如下：

$$f_q(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a_1 \\ \frac{b_1 - x}{b_1 - a_1}, & a_1 < x < b_1 \\ 0, & x \geq b_1 \end{cases} \quad (q = 1) \quad (7)$$

$$f_q(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_{q-1} \\ \frac{x - a_{q-1}}{b_{q-1} - a_{q-1}}, & a_{q-1} < x < b_{q-1} \\ 1, & b_{q-1} \leq x \leq a_q \\ \frac{b_q - x}{b_q - a_q}, & a_q < x < b_q \\ 0, & x \geq b_q \end{cases} \quad (q = 2, 3, 4) \quad (8)$$

$$f_q(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a_4 \\ \frac{x - a_4}{b_5 - a_4}, & a_4 < x < b_4 \\ 1, & x \geq b_4 \end{cases} \quad (q = 5) \quad (9)$$

式中隶属函数的参数 $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3, b_4$ ，由专家根据指标的数据变化范围给出。

若第 k 个性能指标为量纲指标，通过直接测试或模拟仿真获取其数值为 x ，由公式 (7)~(9) 以及专家给出的隶属函数参数，可求出第 k 个指标属于第 q 个评价等级的隶属度为

$$r_{kq} = f_q(x) \quad (10)$$

3.4.2 概率指标隶属度算法

概率指标隶属度算法与量纲指标基本相同，只是指标数值 x 为百分比，其余步骤相同。

3.4.3 定性评估指标隶属度算法

定性评估指标数值由专家打分给出，求其隶属度需要先对专家打分情况进行评判。若第 k 个性能指标为定性评估指标，参与打分的专家有 s 个，设第 k 个性能指标的评价值向量为 D ，其中 $D_k = (d_{mk}), i = 1, 2, \dots, s$ 。 d_{mk} 表示第 m 个专家对第 k 个指标的评价分数。

设第 k 个指标属于第 q 个评价等级的隶属度函数为 f_q ，则隶属度为

$$r_{kq} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s f_q(d_{mk}) \quad (11)$$

式中 f_q 同量纲指标隶属度函数。

3.4.4 模糊评判矩阵表达式

设某个二级指标包含 k 个三级指标，按照上述步骤求出每一个三级指标的隶属度，则由隶属度构成的模糊评判矩阵 R_{ij} 表示为：

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & r_{k5} \end{bmatrix} \quad (12)$$

3.5 计算评判函数

按照三级模糊综合评判的步骤，逐层计算评判函数，最终得到评估值。

3.5.1 计算二级指标 C_{ij} 的模糊综合评估向量

设二级指标的权重向量 $W_{ij} = \{\omega_{ij1}, \omega_{ij2}, \dots, \omega_{ijk}\}$ ，则二级指标 C_{ij} 的模糊综合评估向量为

$$E_{ij} = W_{ij} \circ R_{ij} = (e_{ij1}, e_{ij2}, e_{ij3}, e_{ij4}, e_{ij5}) \quad (13)$$

式中： e_{ijq} 表示二级指标 C_{ij} 对第 q 个评价等级的隶属度。“ \circ ”为变换算子，文中选取的是加权平均 $M(\bullet, +)$ 型算子，即

$$e_{ijq} = \sum_{y=1}^k \omega_{ijy} r_{yq} \quad (14)$$

3.5.2 计算一级指标 C_i 的模糊综合评估向量

将二级指标的模糊综合评估向量 E_{ij} 作为一级指标 C_i 的单因素评判，则一级指标 C_i 的模糊评判矩阵为

$$R_i = \begin{bmatrix} E_{i1} \\ E_{i2} \\ \vdots \\ E_{ij} \end{bmatrix} \quad (15)$$

设一级指标的权重向量 $W_i = \{\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{ij}\}$ ，则一级指标 C_i 的模糊综合评估向量为

$$E_i = W_i \circ R_i = (e_{i1}, e_{i2}, e_{i3}, e_{i4}, e_{i5}) \quad (16)$$

3.5.3 计算总目标 C 的模糊综合评估向量

将一级指标模糊综合评估向量 E_i 作为总目标 C 的单因素评判，则总目标 C 的模糊评判矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_i \end{bmatrix} \quad (17)$$

设总目标的权重向量 $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i\}$ ，则总目标 C 的模糊综合评估向量为

$$E = W \circ R = (e_1, e_2, e_3, e_4, e_5) \quad (18)$$

3.5.4 计算总目标 C 的具体评估值

令

$$U = E \times [G(V)]^T = \sum_{q=1}^5 e_q g(v_q) \quad (19)$$

式中： $G(V)$ 为评价等级对应的评价值； U 为计算总目标 C 的具体评估值，即评估结果。

4 结束语

依据笔者给出的评估指导模式，运用群组 AHP 和模糊综合评判法，对边境联合反击作战样式下的陆军战术级指挥信息系统作战运用效能进行评估，既得到了总体评估值和评估等级，又得到了每一个具体指标的评价结果，较好地反映了系统整体效能发挥情况和具体指标的对作战运用效能的影响程度。该效能评估指导模式，具有可行性和指导作用，可以为总部和部队今后开展指挥信息系统作战运用效能评估提供借鉴。

参考文献：

- [1] 曹雷, 鲍广宇, 陈国友, 等. 指挥信息系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 19.
- [2] 百度百科. 模式(汉语词汇)[EB/OL]. (2014-9-30) <http://baike.baidu.com/subview/37878/12538847.htm>.
- [3] 童志鹏, 刘兴. 综合电子信息系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 559-560.
- [4] 胡晓惠, 蓝国兴, 申之明, 等. 武器装备效能分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 93.
- [5] 王满玉, 蔺美青, 高玉良. 基于算子的武器装备作战效能评估柔性建模方法与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 48-49.
- [6] 杨峰, 王维平. 武器装备作战效能仿真与评估[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 156-157.
- [7] Duff J B, Konwin K C, Kroening D W, et al. Command, Control, Communication, Electronic Warfare Measure of Effectiveness (C3IEW MOE) Workgroup[R]. Alexandria, Virginia: Military Operation Research Society, 1992.
- [8] 郭齐胜, 张磊. 武器装备系统效能评估方法研究综述[J]. 计算机仿真, 2013, 30(8): 1-4.
- [9] 杨荣芳. 新型靶场指挥信息系统的软件体系架构研究[J]. 四川兵工学报, 2014(8): 105-107.
- [10] Sharma M J, Moon I, Base H. Analytic hierarchy process to assess and optimize distribution network[J]. Applied Mathematics and Computation, 2008, 202(1): 256-265.
- [11] 张忠, 方可, 杨明. 基于群组 AHP 的复杂仿真系统可信度评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(11): 2569-2570.
- [12] Miroslav C, Jelena I, Stojan B. Uniform fuzzy relations and fuzzy functions[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2009, 160(8): 1054-1081.