

反导作战能力评估方法研究综述

韩朝超, 黄树彩, 张东洋

空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800

摘要 反导作战已成为未来防空作战的重要作战模式之一, 对反导武器系统作战能力的评估对武器装备的发展和部署具有重要意义。本文首先分析了武器系统的作战效能和作战能力的关系: 作战能力主要考查武器系统的性能和表现, 是一个静态的概念; 而作战效能侧重于度量武器系统完成任务的能力, 是一个动态的概念; 但如果在研究作战能力时, 引入作战过程, 则作战能力又是一个动态概念。其次, 在分析作战能力和作战效能的关系的基础上, 对传统的和新兴的作战能力评估方法进行了分析, 具体分析了传统方法的优缺点, 同时对新兴方法的基本思想和应用进行的分析, 为从事武器装备的作战能力评估的研究人员提供借鉴。

关键词 评估方法; 作战能力; 作战效能; 反导

中图分类号 N945

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)24-0076-05

Evaluation of Anti-tactical Ballistic Missile Operation

HAN Zhaochao, HUANG Shucai, ZHANG Dongyang

*Institute of Missile, Air Force Engineering University, Sanyuan
713800, Shaanxi Province, China*

Abstract Anti-Tactical Ballistic Missile (ATBM) operation is one of the important operational modes in future air defense. The evaluation of an ATBM system is essential for the development and deployment of relevant weapons and equipment. First, the relation between operational effectiveness and operational capability of a weapon system is analyzed. The operational capability refers to the performance of a weapon system, and is a static concept. The operational effectiveness refers to the capability of completing a mission, and is a dynamic concept. But if the operational capability includes the operational course, it is also a dynamic concept. Second, the traditional and newly developed operational capability evaluation methods are analyzed, including the advantages and disadvantages of the traditional methods. The basic idea and applications of the new methods are discussed.

Keywords evaluation method; operational capability; operational effectiveness; anti-tactical ballistic missile

随着弹道导弹技术的不断扩散, 世界上拥有或者有能力制造弹道导弹的国家越来越多。海湾战争中, 美军以导反导的成功案例促使世界各国竞相发展具有反导能力的地空导弹武器系统。对于所设计的具有反导能力的武器系统, 其作战能力是工业设计部门和部队作战单位共同关心的问题, 因此反导作战能力评估意义重大。早在 20 世纪 60 年代初期, 美、苏等国家就相继成立了专门的作战效能分析与评估研究机构。美国国防部表示: “新的武器装备没有效能指标, 不予立项”, 可见进行效能研究的重要性。中国较系统地进行作战效能分析与评估则要晚一些, 研究的方法一般是消化吸收外国的研究成果, 并进一步完善和发展。

1 作战能力与作战效能

很多学者认为作战能力和作战效能是一样的, 但实际上作战能力与作战效能的概念不同, 它们既有区别又相互联系。作战能力主要考查作战装备的性能和表现, 强调从武器装备自身的物理特性出发研究装备的固有能力, 而作战效能着重于以战果来度量完成任务的能力。因此武器系统作战效能是作战能力的最终体现。

武器系统的作战效能这一概念具有广泛的内涵: ① 与武器系统的组成、结构有关, 应指整个武器系统参与作战任务的能力; ② 与作战过程中系统各组成环节的状态有关, 指明武器系统能否满足作战要求, 能否完成既定的作战任务, 各环节在作战过程中的状态是否发生变化; ③ 与作战的时间、条件有关。

因此, 武器系统的作战效能是对武器系统完成预定作战

收稿日期: 2009-06-05

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2007AAX0X0212)

作者简介: 韩朝超, 博士研究生, 研究方向为防空反导作战效能评估, 电子信箱: aiantpp@yahoo.com.cn; 黄树彩(通信作者), 教授, 研究方向为智能信息处理与防空反导作战, 电子信箱: aiant_p@126.com

任务、满足作战要求、达到作战目的之能力的综合描述,是武器系统作战能力的一个聚合描述。

从定义上看,武器系统的作战能力和作战效能既有区别又有联系。按照系统论的观点,系统的能力是指系统在运动中使用作用对象改变运动状态的本领;系统的效能是指系统在运动中使作用对象运动状态向预定状态转变的程度。因此,作战能力描述的是“本领”或“潜力”的问题,是一个静态的概念,是武器系统固有的属性,对于某项具体的能力,与作战过程无关。作战效能则描述了特定条件下,武器系统被用来执行特定作战任务所能达到预期目标的程度,是武器装备系统在作战过程中其作战能力发挥的效果。所以作战效能和作战过程相关,是一个动态的概念。但如果将武器装备各项具体的能力聚合到作战过程中,武器系统的作战能力又是一个动态概念,与作战过程相关。

综上所述,反导武器系统的作战能力是反导武器系统作战效能的具体化表现。因此,评价武器系统作战效能的方法可以用来评估某一反导武器系统的作战能力。

2 传统的作战能力评估方法

用于作战能力评估的传统评估方法主要有试验统计法、性能对比法、解析法、计算机模拟法、灰色评估法、模糊综合评判法、指数法、SEA法、信息熵法、影响图法、Petri网法、探索性和分析法等。

1) 试验统计法

所谓试验统计法,就是在现实或精确模拟的环境中,对武器系统的性能进行试验统计,从而得出武器系统作战能力的统计值。常用的统计评估方法有抽样调查、参数估计、假设检验、回归分析和相关分析等。统计法不但给出效能指标的评估值,还能显示武器系统性能、作战规则等影响因素对效能指标的影响,从而为改进武器系统性能和作战规则提供定量分析基础。这一方法是较为理想的作战能力评估方法,但这种方法有其固有的局限性,并不是对每种类型的武器系统均适用,特别是对一些大型武器系统,如对战略导弹武器系统而言,一个国家的试验场地往往受限制;对一些造价昂贵的消耗性武器系统,多次试验的成本代价太高。因此,这种方法尽管是最理想的能力评估方法,但工程实际中,这种方法的使用受到诸多因素的限制。

2) 性能对比法

选取某一典型武器系统的性能指标作为评估样本,将待评估武器系统的性能指标与之比较,判断待评估武器系统的性能相对优劣程度。这种方法只能粗略地评估一个系统的能力,且这种方法的评估与评估者主观喜好关系较大,因为待评估武器系统的某些性能指标可能比典型武器系统的性能指标高,而有些性能指标则比典型武器系统的性能指标低,此时,对武器系统能力的评估就取决于评估者的主观喜好。

3) 解析法

解析法^[1-2]是根据描述效能指标与给定条件之间函数关

系的解析表达式计算指标。这个解析表达式可以是直接根据军事运筹理论建立的,也可以是用数学方法求解所建立的效能方程得到的。例如,应用概率论可以建立不计对抗条件下射击效能的静态评估公式;应用排队论可以建立不计对抗条件下射击效能的动态评估公式;应用兰切斯特战斗理论可建立对抗条件下射击效能评估公式。解析法的优点是公式透明性好,易于理解,计算较简单,且能够进行变量间关系的分析,便于应用;缺点是考虑因素少,只在严格限定的假设条件下有效。因而比较适用于不考虑对抗条件下的武器系统效能评估和简化情况下的宏观作战效能评估。

4) 计算机模拟法

计算机模拟的实质是一种仿真分析法,以计算机模拟模型为实验手段,通过给定数值条件下运行模型进行仿真实验,由实验得到的关于作战进程和结果的数据可直接或经过统计处理后给出效能指标估值。这种方法具有不受场地限制和效费比高的优点。计算机模拟方法能较详细地考虑影响实际作战过程的诸因素,因而特别适合于作战方案的作战效能指标预测估计。

计算机模拟对于防空部队作战行动效能的评价具有不可替代的重要作用。武器系统的作战效能评估要求考虑对抗条件和作战对象,考虑各种武器装备的协同作用、武器系统的作战效能诸属性在作战全过程的体现以及在不同规模作战中效能的差别。简言之在对抗条件下,以具体作战环境和一定的兵力编成为背景来评估部队作战行动的效能。计算机模拟提供了这种条件和背景的基本手段。

5) 灰色评估法

灰色评估法^[3-4]是基于灰色系统理论提出的一种评估方法。灰色理论由中国学者邓聚龙在1982年创立的,理论以“部分信息已知,部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定系统为研究对象,主要通过“部分”已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控。

对复杂的大系统进行效能评估时,会存在信息不完备、不全面、不充分的情况。而灰色理论的相关原理和方法正适用于信息不完全、不充分的问题,而且灰色理论的方法对样本量及样本分布规律都没有要求,因此,可以使用灰色白化权函数聚类法对复杂大系统的效能进行评估。灰色白化权函数聚类法已广泛应用于环境、农业、军事和资源等领域并取得了很多有针对性的成果。所谓灰色白化权函数聚类法,就是根据灰数的白化权函数将一些观测指标或对象聚集成若干个可以定义的类别,将系统归入某灰类的过程,用于检测对象是否属于事先设定的不同类别,以便区别对待。灰色白化权函数聚类法计算方法简单,综合能力较强,准确度较高,可决定对象所属的设定类别。其评价结果是一个向量,描述了聚类对象属于各个灰类的强度。根据向量对聚类结果进行再分析,提供比其他方法丰富的评判信息。对于评判等级领域属于灰类的问题都可以应用这种方法,可用于多因素多指

标的综合评价。此方法弥补了其他方法的不足,同时也克服了传统单一值评价多指标多因素的弊病。

6) 模糊综合评判法

模糊综合评判法^[5]是一种模糊数学的具体应用方法,最早由中国学者江培庄提出,已在多个领域的评估中获得广泛应用。它主要运用模糊变换原理和最大隶属度原则,考虑与被评价事物相关的各个因素,对评估对象作综合评价。其优点是:数学模型简单,容易掌握,对多因素、多层次的复杂问题评判效果比较好。在系统效能评估过程中,存在许多定性评价的指标,对这些定性指标的评价均具有一定的模糊性,并非完全准确。模糊综合评判恰好能够考虑影响所评判事物的模糊因素。模糊综合评判主要是依据模糊数学中模糊变换的概念进行评判的。

该评估方法的主要思想是:首先定义一组评语(评价等级)集合,如{优,良,中,一般,差}等,然后通过多位专家打分,获取所有评价指标的评价矩阵,然后利用一组设定的隶属函数将所有指标的评价值转化为隶属度、隶属度权重,最终生成相应隶属度权重矩阵,最后通过引入指标权重向量,经过模糊变换运算最终得到一个具体的评估结果。

围绕指标权重向量确定方法的研究,模糊综合评判法又产生了许多改进的模糊综合评判法。

7) 指数法

指数法^[6]是武器装备作战效能分析中的经典方法,它根据武器装备的战技指标值和实战经验对每一种武器装备进行评分,用指数值作为武器装备作战效能的度量,有效地解决了战技指标量纲的问题。由于作战能力仅与装备战技指标有关,与作战运用无关,因而如果在评分时不考虑实战影响的因素,指数法对作战能力评估也有效。作战能力指数法属于定性和定量相结合的方法,其主要优点是快速简便、概括抽象、易于理解,定性与定量综合集成;主要缺点是理论基础不够、对定性知识的处理方法不多、定性与定量综合集成具体方法研究不够。作战能力指数法主要用于:评价国家与国家作战能力对比;研究兵力结构以得到最佳兵力结构方案;宏观高层大系统论证;定量对比兵力作战能力,为决策服务;武器作战效果/费用分析等。

8) SEA 法

20 世纪 70 年代末至 80 年代中期,美国麻省理工学院信息与决策系统实验室(LIDS)A. H. Levis 等^[7]提出一种系统效能分析方法(System Effectiveness Analysis, SEA)。该方法的实质是将系统的运行与系统要完成的使命联系起来,观察系统的运行轨迹与使命所要求的轨迹相符合的程度,系统的运行轨迹与使命轨迹相重率高,则系统的效能高。由于这一方法有较强的分析能力,适用范围广,因此很快在许多系统中得到应用。

SEA 法的基本思想是:当系统在一定环境下运行时,系统运行状态可以由一组系统原始参数的表现值描述。对于一个实际系统,由于系统运行不确定因素的影响,系统运行状

态可能有多个(甚至无数个)。那么,在这些状态组成的集合中,如果某一状态所呈现的系统完成预定任务的情况满足使命要求,就可以说系统在这一状态下能完成预定任务。由于系统在运行时落入何种状态是随机的,因此,在系统运行状态集中,系统落入可完成预定任务的状态的概率就反映了系统完成预定任务的可能性,即系统效能。而为了能对系统在任一状态下完成预定任务的情况与使命要求进行比较,必须把它们放在同一空间内,这一空间恰好可采用性能量度空间{MOP}(Measure of Performance)。

9) 信息熵法

信息熵法实际上是一种不确定性度量法^[8]。1948 年,Shannon 将熵的概念引入信息论,将熵作为一个随机变量的不确定性或信息量的度量,从而奠定了现代信息论的科学基础。

信息熵法的基本思想是:假设某节点有 n 个影响因素,针对某一作战任务,完全满足任务时的隶属度为 1,完全不能满足任务时的隶属度为 0。若节点的各影响因素的隶属度为 $R_1, R_2, \dots, R_n$, 权重分别为 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$, 将熵函数改造变形,得到此节点的加权自信息量,记为 I_s , 有

$$I_s = - \sum_{i=1}^n \omega_i \ln R_i$$

因为信息具有可加性,故整个作战过程的各节点带来的不确定性自信息量之和为

$$I = \sum_{j=1}^m I_{sj}$$

其中, I_{sj} 为第 j 个节点的自信息量, m 为作战系统中含有的节点数。如果假设系统的作战系统为 p ($0 < p < 1$), 则作战效能 p 中含有的不确定性为系统的总不确定性,即

$$I = -\ln p$$

作战效能为

$$p = \exp(-I) = \exp\left(-\sum_{j=1}^m I_{sj}\right)$$

当几个节点信息是备份信息时,备份信息之间可以相互补充、核实,所以合成后的不确定性不是简单的两不确定性之和,应该比合成前任何一条不确定性小,这相当于是并联,而不是串联,因此合成后的不确定性自信息量应该用并联公式求解。

10) 影响图法

影响图法^[9]是基于系统动力学的面向系统微分方程模型的一种建模分析方法。这种方法通过分析所研究的复杂系统,找出表征系统运行过程所必须的系统参量,分析各参量之间的相互影响关系画出系统影响图,根据影响图与系统参量的实际物理意义,运用一定的建模算法,得出综合系统和作战过程的系统微分方程,由系统的微分方程模型考查系统各尺度参数和性能参量对作战结果的影响,从而可以评价系统的作战效能。它的不足是:① 有些系统的微分方程模型很难建立;② 建立的微分方程有时难以求解;③ 系统规模大

时,影响图复杂,不利于分析。

11) Petri 网法

Petri 网为研究具有并行、异步、分布式和随机性等特征的信息加工系统提供了强有力的手段^[10-11]。采用 Petri 网法对作战能力进行评估主要是用 Petri 网或者改进 Petri 网建立系统的模型,进而研究系统的性能参数对系统的影响。文献[12]利用着色 Petri 网描述逻辑层模型,利用排队论描述物理层模型。以导弹防空系统为例,将逻辑层模型、物理层模型、作战效能模型结合起来建立了雷达电子战作战效能评估模型。

12) 探索性分析法

探索性分析法^[13]是美国兰德公司在研究国防规划与武器装备论证问题时提出的一种方法,它与“情境空间分析”、“探索性建模”关系密切。其基本思路是考查大量不确定性条件下各种方案的不同结果,以追求方案的灵活性、适应性和稳健性。为实现对多维不确定性空间的有效探索,一般采用必要的实验设计技术来减少对空间的采样点。兰德公司的“恐怖的海峡”^[14]和“信息时代海军的作战效能评估:网络中心战队作战效果的影响”^[15]等研究报告采用的就是探索性分析法。探索性分析允许在深入细节之前,先获得宏观、总体的认识,从而可以很好地进行辅助方案的开发和选择。此外,它可以探讨在什么样的条件或假设下,一种给定的能力才是充分和有效的,从而服务于“基于能力的规划”。探索性分析的不足是要求建模人员对问题有深入的理解,建模要具有高度的艺术性;运行次数随变量增长而急剧增长,要求计算资源巨大。因此,该方法一般适用于解决宏观范围内的能力评估问题。

这些不同的传统评估方法间的交叉综合,又形成了众多的改进评估方法。诸如将 D-S 证据理论与专家打分法结合,用 D-S 证据推理规则来增加专家打分的可信度。文献[16]将信息熵法与灰色评估法相结合用于评估水下航行系统的效能等。

3 新兴的评估方法

随着智能理论的发展和不同学科的融合交叉,近些年来,一些新兴的智能计算的方法和经济学的方法等也被相继应用于武器系统的作战能力和作战效能评估,例如神经网络评估法、博弈论法、控制论法和价值中心法。

1) 神经网络评估法

神经网络评估方法^[17-19]是利用模拟人脑智能化处理工程的技术,通过智能算法(如 BP 算法),学习或训练获取知识,并存储在神经元的权值中,通过联想把相关信息复现,能够“揣摩、提炼”评价对象本身的客观规律,对相同属性评价对象进行评价。

神经网络算法要求所有的输入均为数值型变量,这就给定类型数据带来了问题,一种很自然的做法是用数字赋值,但会引入原始数据中并不存在的一种伪排序,从而误导学习算法。大多数算法,如判别分析、Logistic 回归、神经网络以及最近出现的支持向量机等均要求输入必须是数值型的;决策

树则不能对数据进行代数运算,它要求对数值型数据分组或者直接视其为定序型数据。因此如何合理地编码各种类型的数据本身就是一个需要认真研究的问题。

2) 博弈论法

1944 年 Von Neumann 和 Oskar Morgenstern 合著的经典著作“Theory of Games and Economic Behavior”的出版,标志着博弈论的诞生。博弈论是研究在参与人策略相互影响的条件下,参与人的决策行为以及决策均衡问题的一种理论。博弈论从诞生起,就得到了迅速的发展,特别是在经济学中得到了广泛的应用。到了 20 世纪 70 年代,博弈论不仅在经济学中的应用更为广泛,还与其他理论相结合,呈现出多元化发展的趋势,涌现出许多博弈论的重要分支。侯光明于 2006 年首次提出博弈链理论^[20],文献[21]将博弈链理论用于坦克作战效能的评估。文献[22]将雷达干扰效果作为博弈盈利函数,从时间、空间、频率和能量 4 个方面对干扰效果进行定量描述,给出了雷达干扰能力的评估算法。

3) 控制论法

受控制论^[23]的启发,认为在存在大量不确定性的前提下,要对被评价武器系统进行全面、深刻的洞察,需站在体系对抗的高度上,在体系互联的框架下,直接、显式地将攻防双方探测器、控制器的评估包含在武器系统效能评估的框架之中。按照控制论的观点,作战体系是一类特殊的(部分)可控系统。作战体系的基本目的在于:通过己方作战力量的运用,影响和控制战场的作战态势,进而促成最终有利于己方的作战结果。基于控制论的武器系统作战能力评估法,要求围绕作为评估对象的武器系统,分别进行作战双方探测器、控制器作战效能/功能评估与武器作战潜能的评估,在此基础上利用一定的综合评估模型获得武器(系统)的作战能力指标,并将效能指标经一定的运算法则计算得到系统的能力。

4) 价值中心法

价值中心法(Value-Focused Thinking)是一种用定性与定量相结合的手段进行系统分析的综合集成方法。这个方法在分析系统时突出了系统的功能,即将系统的功能作为分析评价系统核心价值中心,最早在 1994 年美国“2020 空间飞行器”研究工作中使用。目前此方法成为美国军方专家一致推荐的分析评估系统方法。它用统一的指标评价尺度表现各种度量类型的指标实现程度。价值中心法的核心是建立底层指标的评价函数曲线,美国兰德公司在“空军 2005”报告中就大量使用了这种方法建立评估曲线。因此,可以使用此方法建立表征广义作战效能评估中系统间相互影响程度的条件影响函数。

4 结论与展望

尽管作战能力评估方法较多,但每种评估方法都有其自身的特殊性,在作战能力评估是应根据评估的目的和评估系统的特性合理选择一种方法。在具体的应用过程中,可以采用不同的方法进行评估比较,以便得出客观公正的结论。选择不同的评估方法得到的评估结果可能不同,但这并不是说

某种评估方法无效,出现这种情况是由于不同评估方法的评估视角不同所致。当然,随着不同学科的融合和各种新兴技术的不断发展,作战能力评估方法也必将获得较快的发展,不同的评估方法将不断涌现。

参考文献 (References)

- [1] 程岚. 解析法在电子装备效能评估中的应用[J]. 桂林电子工业学院学报, 2003, 23(3): 89-92.
Cheng Lan. *Journal of Guilin University of Electronic Technology*, 2003, 23(3): 89-92.
- [2] McEver J, Davis P K, Bigelow J. Exhalt: An interdiction model for exploring halt capabilities in a large scenario space [R]. ADA381658, Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2000.
- [3] Tang Hong, Zhang Jie, Su Kai. On evaluation model of military information network based on multilevel gray evaluation method [C]// Proceedings of the 27th Chinese Control Conference. 16-18, July, 2008, Kunming, China, 2008: 113-116.
- [4] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.
Deng Julong. *Grey system basic method*[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1996.
- [5] Guneri A F, Cengiz M, Seker S. A fuzzy ANP approach to shipyard location selection[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36: 7992-7999.
- [6] 刘晓荷, 朱汉东, 赵虹. 利用指数法评估作战飞机的作战效能[J]. 军事运筹与系统工程, 2004, 18(2): 59-66.
Liu Xiaohu, Zhu Handong, Zhao Hong. *Military Operations Research and System Engineering*, 2004, 18(2): 59-66.
- [7] Houpt P K, Andreadakis S K, Levis A H. Effectiveness analysis of automotive systems[R]. LIDS-P-1383, 1984.
- [8] 王剑飞, 武文军, 李红星, 等. 基于信息熵的美军 C4ISR 系统效能评估[J]. 电光与控制, 2006, 13(2): 24-29.
Wang Jianfei, Wu Wenjun, Li Hongxing, et al. *Electronic Optics & Control*, 2006, 13(2): 24-29.
- [9] 张荣, 管清波, 罗小明. 利用影响图方法进行卫星应用效能评估[J]. 装备指挥技术学院学报, 2002, 13(2): 36-41.
Zhang Rong, Guan Qingbo, Luo Xiaoming. *Journal of Institute of Command and Technology of Equipment*, 2002, 13(2): 36-41.
- [10] Tan R, Guan S. A dynamic petri net model for iterative and interactive distributed multimedia presentation [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2005, 7(5): 869-879.
- [11] 李强. 基于对象 petri 网的雷达组网系统应用效能研究 [J]. 现代防御技术, 2004, 32(6): 61-65.
Li Qiang. *Modern Defence Technology*, 2004, 32(6): 61-65.
- [12] Li Zhisheng, Li Junshan, Liu Shuai, et al. Method of operation effectiveness evaluation of radar EW system based on petri net [C]// Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. June 21-23, 2006, Dalian, China.
- [13] Davis P K, Bigelow J H, McEver J. Exploratory analysis enabled by multi-resolution, multi-perspective modeling [C]//Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference. 2000: 293-302.
- [14] Shlapak D. Dire strait? Military aspects of the China-Taiwan confrontation and options for US Policy [R/OL]. RAND Corporation. <http://www.rand.org>.
- [15] Perry W C, Button R W, Bracken J, et al. Measures of effectiveness for the information-age navy: The effects of network centric operations on combat outcomes[R/OL]. RAND Corporation. <http://www.rand.org>.
- [16] 胡方, 黄建国, 张群飞. 基于信息熵的水下航行器灰色评估方法研究[J]. 西北工业大学学报, 2007, 25(4): 47-52.
Hu Fang, Huang Jianguo, Zhang Qunfei. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2007, 25(4): 47-52.
- [17] 张素梅, 黄天辰, 彭灏. 基于神经网络模型的武器装备作战效能评估[J]. 军事运筹与系统工程, 2006, 20(4): 40-43.
Zhang Sumei, Huang Tianchen, Peng Hao. *Military Operations Research and System Engineering*, 2006, 20(4): 40-43.
- [18] 周燕, 陈良中, 李为民. 基于 BP 神经网络的弹炮结合系统作战效能评估[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(1): 84-87.
Zhou Yan, Chen Liangzhong, Li Weimin. *System Engineering and Electronics*, 2005, 27(1): 84-87.
- [19] Neil M, Fenton N, Forey S, et al. Using bayesian belief networks to predict the reliability of military vehicles [J]. *Computing and Control Engineering Journal*, 2001, 12(1): 11-20.
- [20] 侯光明. 加强国防科技组织创新研究的探讨[J]. 中国科学基金, 2007, 21(3): 3-6.
Hou Guangming. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2007, 21(3): 3-6.
- [21] 刘博联. 基于博弈链的作战 agent 决策模型研究 [D]. 北京: 北京理工大学数学系, 2008.
Liu Bolian. Research on combat-agent decision-making model based on game-chain [D]. Beijing: Department of Mathematics, Beijing Institute of Technology, 2008.
- [22] 黄玉川, 饶妮妮, 刘永红, 等. 博弈论应用于干扰效果动态评估的研究[J]. 电子科技大学学报, 2007, 36(5): 816-879.
Huang Yuchuan, Rao Nini, Liu Yonghong, et al. *Journal of University of Electronic Science and Technology*, 2007, 36(5): 816-879.
- [23] 杨峰, 李群, 孔德培, 等. 基于控制论的 SCA 武器系统效能评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(12): 56-58.
Yang Feng, Li Qun, Kong Depei, et al. *System Engineering and Electronics*, 2002, 24(12): 56-58.

(责任编辑 代丽)

《科技导报》“科技纵横捭阖”栏目征稿

“科技纵横捭阖”栏目由上海交通大学人文学院关增建教授主持,为评论体文章。欢迎读者就国内外重大科技事件、科技人物、科技话题进行评论,发表自己独立的见解和观点。每篇文章约 2 000 字,要求行文深入浅出、言简意赅、逻辑清晰、有理有据、观点鲜明、切中要害,可读性强,并附必要的参考文献(不多于 3 条)。栏目责任编辑:王芷;投稿邮箱:wangzhi@cast.org.cn。