

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.06.016

面向装备效能评估的步兵分队城市作战仿真系统

饶永红¹, 闫培新¹, 唐击², 张宏光¹

(1. 中国人民解放军 63936 部队, 北京 102202; 2. 国家电网重庆市南岸供电局配网管理中心, 重庆 400060)

摘要: 面向步兵分队武器装备城市作战效能评估的需求, 研制基于 HLA 的步兵分队城市作战仿真系统。建立仿真系统总体结构, 明确分系统组成及其功能, 提出步兵分队城市作战军事模型、城市地形量化模型、命中毁伤模型等关键技术并给出实现方法, 依据摩托化步兵连街区进攻战斗想定描述仿真系统应用流程。仿真评估结果表明, 该系统能实现红蓝双方分队规模的城市作战对抗仿真, 为城市作战装备效能评估提供有效的定量数据支撑。

关键词: 装备效能评估; 步兵分队; 城市作战仿真; 城市地形量化; 命中与毁伤

中图分类号: N945.13 **文献标识码:** A

Infantry Unit Urban Combat Simulation System Based on Equipment Effectiveness Evaluation

RAO Yong-hong¹, YAN Pei-xin¹, TANG Ji², ZHANG Hong-guang¹

(1. No. 63936 Unit of PLA, Beijing 102202, China; 2. Secondary Grid Manage Center of Chongqing Nan'an District Power Supply Branch of State Grid, Chongqing 400060, China)

Abstract: Aiming at the equipment effectiveness evaluation requirements of infantry unit urban combat simulation system, research the infantry unit urban combat simulation system based on HLA. Establish the simulation system gross structure, define the sub-system structure and function, and introduce the key technology and application method such as infantry unit urban combat simulation military model, urban landscape measurement model, firing and damaging model. According to the motorization infantry team block attack battle to decide and describe simulation process. The simulation result shows that the system can realize the urban confronting simulation between red and blue teams and provides effective ration data for urban combat equipment effectiveness evaluation.

Keywords: Equipment effectiveness evaluation; Infantry unit; Urban combat simulation; City terrain formatting; Firing and damaging

0 引言

城市作战一直是战争的一种重要形式, 在未来信息化战争条件下同样占有非常重要的地位。我军步兵武器装备未经过现代城市作战的使用经验, 必须检验其是否具备完成未来城市作战任务的能力。故根据步兵分队武器装备城市作战效能评估的需求, 研制基于 HLA 的步兵分队城市作战仿真系统。通过对仿真数据的统计处理和综合分析, 评估步兵分队武器装备城市作战效能。

1 步兵分队城市作战仿真系统总体结构

步兵分队城市作战仿真系统依据作战想定和典型战场环境, 实现红蓝双方分队级别的对抗仿真, 为步兵分队武器装备的城市作战效能评估提供定量数据。该系统主要由数据管理分系统、想定编辑分系统、城市地形量化分系统、作战模拟分系统、过程重演分系统和数据处理分系统组成。全系统的逻辑流程如图 1。

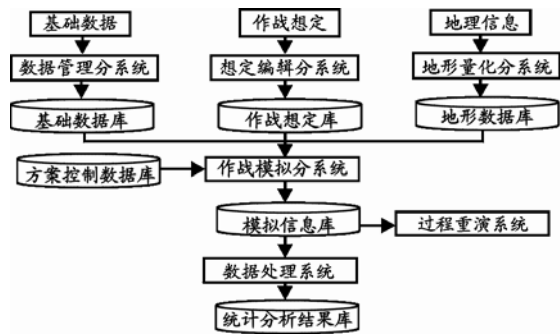


图 1 步兵分队城市作战仿真系统的逻辑流程

其中, 数据管理分系统主要用于管理系统的基础数据, 包括: 武器性能数据、观测器材数据、机动性数据、军事规则数据及模拟结果数据等。

作战模拟分系统用于对设定的作战想定方案进行仿真。该分系统基于 HLA 标准设计, 实质上是一个仿真联邦, 其包含的成员有: 控制与态势显示成员、指挥成员、炮兵防空兵成员、直升机成员、工程兵成员、步坦成员等。

过程重演分系统主要用于作战模拟过程的重现

收稿日期: 2010-01-19; 修回日期: 2010-03-01

作者简介: 饶永红 (1979-), 男, 安徽人, 工程师, 硕士, 从事武器装备论证与建模研究。

和分析。

模拟数据处理分系统用于处理作战模拟过程中记录的各种信息，为作战效能的定量评估提供输入数据。

2 关键技术

2.1 步兵分队城市作战军事概念模型

军事概念建模是作战仿真的基础和前提，也是作战仿真系统开发的依据。针对步兵分队城市作战任务，基于任务空间概念模型 (CMMS)，建立军事概念模型。

步兵分队城市作战军事概念模型包括想定描述、实体描述、战斗指挥描述、战斗行动描述和战斗动作描述等内容，为作战人员与仿真人员提供了可共同理解和交流的描述。其中，实体描述的分辨率达到了单个士兵和单个武器系统，战斗动作描述的最小粒度达到了单个士兵的单个动作，并针对城市作战条件下的特定战斗动作（例如室内射击、上下楼梯运动、沿建筑物运动、房间内观察搜索等等）进行了详细描述。

以室内射击为例，主要包括以下内容：

规则要素：射击时机的选择、选择射击目标的方法、射击方法、射击结果。

定义：射击，射手或操作人员利用发射装置，经过瞄准将射弹射向目标的过程。

规则描述：

1) 选择射击时机

当射手发现目标后，首先确定目标的位置、距离及防护状态，进一步判断目标的性质，寻找射击时机：(1) 当目标处于静止状态，且发射点与目标点之间可通视，可进行射击；(2) 当目标处于运动状态，且发射点与目标点之间可通视，可进行射击。

2) 选择射击目标的方法

当发现单个目标时，可直接对其进行射击；当同时发现多个目标时，首先对最近距离内的目标射击，然后对较远的目标射击，或同时对所有目标进行扫射。

3) 射击方法

当射手进入射击位置后，首先要不断地观察情况，利用墙角、门窗和大型家具隐蔽好，以卧、跪、立不同的姿势向敌射击，由于室内（走廊）空间小，射击时只需概略瞄准（武器指向目标即进行射击），主要以短停顿射击（射手在前进中实施的短停顿或不停顿的射击）、抵近射击消灭之（射击武器逼近目

标时进行的射击，如步兵面对敌人在数十米内进行的端枪射击）。

4) 射击结果

目标被消灭、被敌消灭、目标消灭、接到停止射击指令。

2.2 城市地形量化模型

城市地形量化工作结构图如图 2。

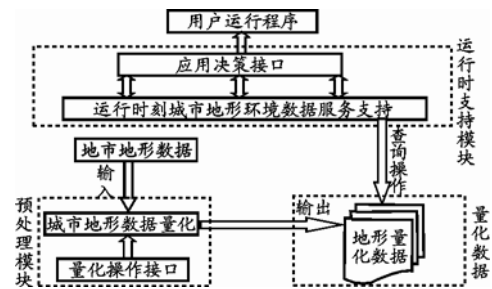


图 2 城市地形量化工作结构图

图 2 中，预处理模块的功能是将原始的城市地形数据，如街区地形图、建筑物结构图等通过一定的量化处理，成为一定格式的地形量化数据；量化数据模块的功能是实现格式化数据的组织、管理；运行时支持模块的功能是为作战仿真程序提供有关地形数据的查询、更新等计算支持。

城市地形量化模型的核心是地形数据的组织方法，对应于图 4 中的量化数据结构，包括用户视图数据结构和量化基础数据结构。

用户视图数据结构是在栅格模型的基础上，通过附加高精度信息实现城市街区地形和特征物信息的量化，其中栅格模型针对城市街区的特征物多样性，采用分层栅格数据表示，如图 3。

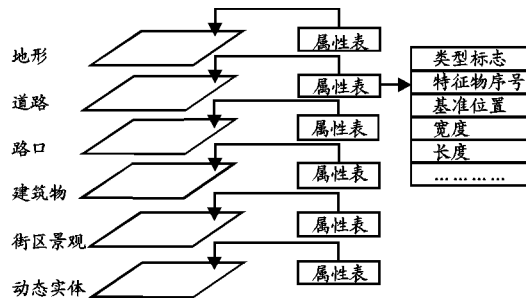


图 3 街区分图层栅格数据表示

建筑物图层中某一特定建筑可以室内漫游，街区的建筑物图层精度太粗，所以必须调度引用室内图层。街区分图层栅格表示中的建筑物图层中的特定建筑物可以指向楼层标号，楼层标号指向单一楼层栅格数据表示，如图 4。

量化基础数据结构是在用户视图数据结构的基础上，对城市地形特征物的细粒度属性的描述。特

征物的粗粒度属性描述可以作为细节数据描述的索引, 在分图层的栅格表示中, 一个栅格内的存储值是对应图层某一具体特征物的基础数据引用。

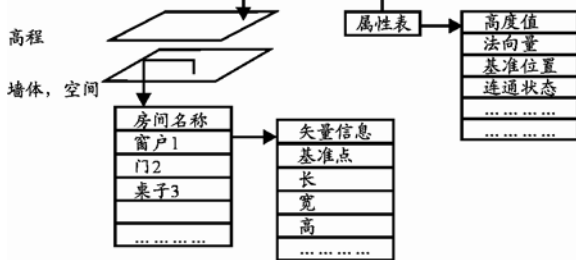


图 4 单一楼层栅格数据表示

以建筑物图层为例, 其量化基础数据包括以下属性 (部分):

- 1) 建筑物类型标志, 用来区别建筑与其它特征物的属性;
- 2) 建筑物特征物序号, 数字或字符串, 用来区分同类特征物的不同建筑, 类型标志和序号用来检索特定的建筑;
- 3) 位置基准点, 是用来计算建筑物内部各点位置的基准点。建筑物内部属性描述包括几何尺寸都是基于建筑本身的相对位置, 计算各点的实际坐标时需要将相对位置坐标进行转换;
- 4) 楼高;
- 5) 楼层高度;
- 6) 楼层数;
- 7) 楼层节点数组, 记录建筑物内部楼层特征节点数。

2.3 命中与毁伤模型

针对城市中建筑物密集的地形环境特点, 开展命中与毁伤模型研究, 在碰爆榴弹对建筑物及内部有生目标毁伤、空爆榴弹对建筑物及内部有生目标毁伤、单兵筒式武器对街垒工事毁伤、反坦克火箭筒俯射装甲车辆、反坦克导弹对建筑物毁伤、坦克炮对建筑物毁伤等方面建立了新的模型。

以碰爆榴弹对建筑物及内部有生目标毁伤为例, 其计算过程主要分为: 1) 判断榴弹是否命中窗户区域; 2) 确定榴弹炸点坐标和炸高; 3) 进行毁伤结果的计算。程序流程如图 5。

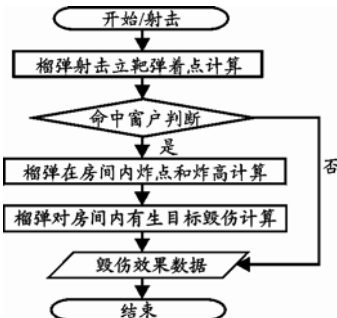


图 5 榴弹对房间内有生目标命中与毁伤程序流程

2.3.1 榴弹命中窗户区域的判断

图 6 为碰爆榴弹对建筑物的某一房间射击时, 榴弹命中情况的计算原理图。图 6 中, S 点为榴弹射击点, B 点为榴弹爆炸点, 长方体为某一房间, 长方形表示窗户所在区域。榴弹射击位置坐标、房间 (长方体) 中心坐标、房间的长、宽、高及窗户区域中心坐标和窗户长、宽都是已知的。

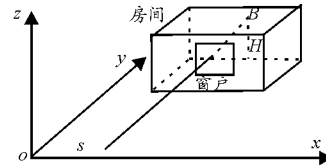


图 6 榴弹对建筑物房间命中情况计算原理图

以窗户在的面建立二维坐标系, 以窗户区域中心为坐标原点, 水平方向为横轴, 垂直方向为纵轴。以窗户区域中心为目标瞄准点, 利用榴弹立靶射击弹着点计算模型计算出一发榴弹射击弹着点坐标。

武器的射弹散布在高低和方向上基本服从正态分布且互相独立, 设弹着点基于瞄准点的散布坐标为 (x, y) , 对于榴弹武器, 根据其射弹散布的试验值和正态分布规律, 可拟合成公式:

$$x = \lambda_1 \times \sqrt{-2 \times \ln(r_1)} \times \cos(2 \times \pi \times r_2) \times B_z \tag{1}$$

$$y = \lambda_1 \times \sqrt{-2 \times \ln(r_1)} \times \sin(2 \times \pi \times r_2) \times B_y \tag{2}$$

其中, r_1 、 r_2 为 $(0, 1)$ 区间独立均匀分布随机数; B_z 为方向上的散布公算偏差; B_y 为高低上的散布公算偏差; λ_1 为弹道修正系数。

根据射弹散布试验值, 可拟合出弹着点的散布公算偏差与射击距离 (有效射距内) 的关系:

$$B_z = d_z \times X^{e_z} \tag{3}$$

$$B_y = d_y \times X^{e_y} \tag{4}$$

其中: d_z 为方向上的系数常数, 为输入参数; e_z 为方向上的指数系数常数, 为输入参数; d_y 为高低上的系数常数, 为输入参数; e_y 为高低上的指数系数常数, 为输入参数; X 为射击方到目标的距离。

根据以上公式计算出的弹着点坐标若不在窗户区域内, 则视为未命中, 不再进行以下的计算, 若命中窗户区域, 则进行下一步的计算。

2.3.2 榴弹炸点坐标和炸高的确定

在命中窗户区域的条件下, 进行榴弹房间内炸点位置和炸高 H 的确定。由图 6 可知, 射击点与命中窗户区域弹着点连线的延长线与房间内某一墙面的交点为炸点位置, 可利用相关立体几何公式计算

求出，这里不再赘述。

2.3.3 对房间内有生目标毁伤效果计算

将以上计算出的炸点坐标和炸高代入碰爆榴弹毁伤模型中，计算榴弹对房间内有生目标毁伤效果。

1) 确定人员目标在破片飞散方向的投影面积

房间内人员身体可分为 6 个部分，如图 7。人员姿势可分为立姿、卧姿、跪姿 3 种。

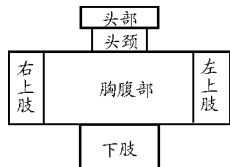


图 7 人员身体部位图

为简化计算，可把人员目标视为一个尺度为 $t \times h \times b$ (厚 \times 高 \times 宽) 的六面体，如图 8。

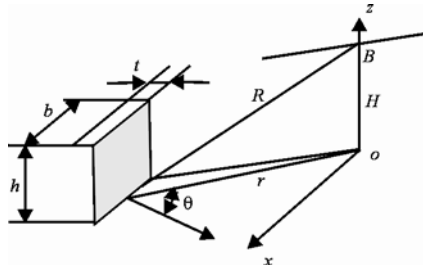


图 8 人员目标朝向与炸点示意图

对于立姿目标: $t \times h \times b = 0.2 \times 1.5 \times 0.5 \text{ m}^3$

对于卧姿目标: $t \times h \times b = 0.5 \times 0.2 \times 1.5 \text{ m}^3$

对于跪姿目标: $t \times h \times b = 0.2 \times 0.7 \times 0.5 \text{ m}^3$

人员目标朝向是随机的，设人员目标正面法线与目标和坐标原点的连线夹角为 θ ， θ 称为朝向角。

故人员目标在垂直弹目连线上的投影面积为：

$$S_n = r/R (b \cdot h \cos\theta + b \cdot t \sin\theta) + h \cdot t \cdot b / R \quad (5)$$

朝向角 θ 可以为在 $(0, \pi/2)$ 中服从均匀分布，

故人员目标受弹面积的平均值为：

$$\bar{S}_n = \frac{2r}{\pi R} (b \cdot h + t \cdot h) + \frac{h}{R} \cdot t \cdot b \quad (6)$$

2) 榴弹破片对人员目标命中概率计算

在以杀伤半径为半径的圆内，破片对人员的命中概率公式为：

$$P = \frac{\lambda}{A} \times S \times \exp^{-aR^2} \quad (7)$$

其中， a 、 λ 、 A ，为修正系数； S 为人员目标在垂直弹目连线上的投影面积。

用式 (7) 对房间中爆炸点杀伤半径内的人员目标进行命中概率计算，然后对每一个人抽取一个 $(0,$

1) 随机数，确定是否命中。

3) 命中条件下的毁伤概率

命中部位的确定：一发榴弹可能使房间内人员目标一处或多处中弹，为简化模型这里只考虑最严重的一处，可以采用多次战争的伤员伤部统计进行确定头部、颈部、胸腹部、左上肢、右上肢和下肢等各部位的命中概率（概率表略）。

人员目标装备防弹衣、防弹头盔后会影响到破片命中后的杀伤效果，主要防护状态可以分为无头盔无防弹衣 State0、有头盔无防弹衣 State1、无头盔有防弹衣 State2、有头盔有防弹衣 State3。

由于目标人员部位特征和装备防护情况不同，可根据多次战争伤亡结果进行统计分析，得到命中各部位条件下的伤情概率表（略）。

对该发榴弹杀伤半径内的房间中每一个人员目标用上面的方法确定命中与否及伤情，然后进行累计可得该发榴弹的杀伤人员数量。

4 城市作战效能评估实例

1) 评估指标体系

采用 Delphi 法建立步兵分队武器装备编配方案城市作战效能评估指标体系，如图 9。

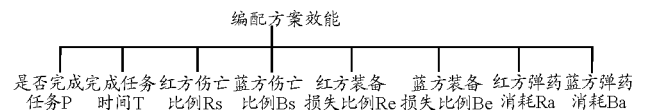


图 9 城市作战效能评估指标体系

采用层次分析法确定各指标权重为 $W=(0.31, 0.07, 0.12, 0.20, 0.10, 0.13, 0.03, 0.04)$ 。

2) 评估对象

根据城市作战研究的需要，对 4 种步兵分队武器装备编配方案进行效能评估，包括现役机步分队和摩步分队、换装某单兵数字化装备的机步分队和摩步分队。详细编配方案略。

3) 进行仿真

针对 4 种编配方案，分别进行 30 次仿真。

4) 编配方案效能计算

依据图 9 评估指标体系，可设：C1 为是否完成任务 $P \in (0,1)$ ；C2 为完成任务时间 T (分钟)；C3 为红方伤亡比例 R_s ；C4 为蓝方伤亡比例 B_s ；C5 为红方装备损失比例 R_e ；C6 为蓝方装备损失比例 B_e ；C7 为红方消耗弹药量 R_a ；C8 为蓝方消耗弹药量 B_a 。

针对 4 种编配方案，分别对其 30 次仿真结果数据进行预处理，得到各个指标的平均量化数据。从而得到 4 种编配方案 (A_1, A_2, A_3, A_4) 的评估矩阵为：

$$Y = \begin{bmatrix} C1 & C2 & C3 & C4 & C5 & C6 & C7 & C8 \\ 0.51 & 40 & 0.85 & 0.45 & 0.80 & 0.45 & 12300 & 20650 \\ 0.55 & 35 & 0.7 & 0.48 & 0.68 & 0.49 & 15211 & 22200 \\ 0.76 & 26 & 0.64 & 0.65 & 0.62 & 0.66 & 12650 & 19870 \\ 0.82 & 30 & 0.41 & 0.71 & 0.40 & 0.70 & 18300 & 17680 \end{bmatrix} \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix}$$

采用基于正负理想点的距离评估方法进行编配方案的效能评估。确定评估系数如下:

- CA1=0.056 5
- CA2=0.158 0
- CA3=0.632 3
- CA4=0.920 2

可见, CA4> CA3> CA2> CA1, A4 与正理想点最接近, 即方案 4 较其他方案优。也就是换装单兵数字化装备的机械化步兵分队编配方案较其它方案更有利于城市作战。

5 结束语

(上接第 46 页)

参考文献:

- [1] 王瑞龙, 吴晓锋, 冷画屏. 对敌战场意图识别的若干问题[J]. 舰船电子工程, 2004, 24(6): 4-6.
- [2] 冷画屏, 吴晓锋, 余永权. 对抗意图识别技术研究现状及突破途径[J]. 电光与控制, 2008, 15(4): 54-58.
- [3] 胡剑光, 吴晓锋, 冷画屏. 海战场对敌战术意图识别技术研究[J]. 舰船电子工程, 2007, 27(3): 8-12.
- [4] 殷卫斌. 对敌水面舰艇作战意图识别研究[D]. 广州: 海军广州舰艇学院, 2002.
- [5] 庄晋林. 一个体现战术意图的博弈树搜索算法[J]. 华北水利水电学院学报, 1997, 18(3): 60-64.
- [6] 袁再江, 许国志, 邓述慧. 序贯博弈作战意图预测模型[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 18(7): 70-76.
- [7] 冷画屏, 吴晓锋. 对敌舰艇作战意图的识别技术[J]. 人工智能与模式识别, 2004, 24(3): 55-57.
- [8] 张少艳. 信息熵在教学质量分析中的应用[J]. 红河学院学报, 2007, 5(2): 77.

(上接第 48 页)

2.5 求列归一化矩阵

由式 (3) 计算列归一化矩阵:

$$\bar{R} = \begin{bmatrix} 0.316 3 & 0.268 1 & 0.206 3 & 0.156 3 \\ 0.167 8 & 0.256 1 & 0.373 3 & 0.176 5 \\ 0.206 3 & 0.280 7 & 0.243 6 & 0.254 7 \\ 0.226 8 & 0.073 0 & 0.112 0 & 0.196 9 \\ 0.236 4 & 0.122 1 & 0.064 8 & 0.215 6 \end{bmatrix}$$

2.6 计算属性的信息熵和权重向量

根据式 (5) 计算属性的信息熵: $E_1 = 0.992 9$,

$$E_2 = 0.935 8, E_3 = 0.907 1, E_4 = 0.991 2。$$

该系统实现了红蓝双方步兵分队在城市作战条件下的对抗仿真, 在陆军装备城市作战能力分析、单兵综合装备城市作战效能评估、城市作战步兵分队编配方案对比等方面发挥了一定的作用。

参考文献:

- [1] 陈志诚, 杨克巍, 岑凯辉, 等. 基于效能评估的坦克作战联邦设计与实现[J]. 计算机仿真, 2005, 22(10): 250-253.
- [2] 郭齐胜, 郭志刚, 杨瑞平, 等. 装备效能评估概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [3] 邵卓, 邱晓刚. 基于 HLA 的战场攻防仿真系统设计研究[J]. 计算机仿真, 2005, 22(10): 246-249.
- [4] 焦逊, 陈永光, 李修和. 基于 HLA 的星载 SAR 电子干扰效能评估仿真系统设计[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 349-352.

根据式 (6) 计算属性权重向量: $\omega_1 = 0.041 0$, $\omega_2 = 0.371 1$, $\omega_3 = 0.537 0$, $\omega_4 = 0.050 9$ 。

利用 $\tilde{z}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{r}_{ij} \omega_j$ 计算方案 x_i 的模糊效用值 \tilde{z}_i ,

并由式 (4) 计算 $E[\tilde{z}_i](i=1, 2, 3, 4, 5)$: $E[\tilde{z}_1]=0.647 0$, $E[\tilde{z}_2]=0.865 4$, $E[\tilde{z}_3]=0.735 9$, $E[\tilde{z}_4]=0.306 8$, $E[\tilde{z}_5]=0.304 4$ 。从而得到作战方案的优劣排序为: $x_2 \succ x_3 \succ x_1 \succ x_4 \succ x_5$ 。即最优作战方案为 x_2 。

3 结束语

该方法利用信息熵求出各属性权重, 进而基于加权法则和期望值算子^[6], 获得了方案的排序及优选。实例表明, 基于信息熵的模糊多属性决策方法科学有效、计算简便, 为解决模糊多属性决策问题提供了一种新思路。

参考文献:

- [1] 陈培彬. 炮兵指挥决策中优选作战方案的神经网络模型[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(2): 78-80.
- [2] 王超, 王西田, 张道延. 基于 D-S 证据理论的炮兵作战方案优选[J]. 兵工自动化, 2008, 27(6): 32-37.
- [3] 李勇, 杨光, 尤志锋. 大区域防空条件下防空兵作战方案的优选[J]. 现代防御技术, 2005, 33(5): 1-4.
- [4] 安静, 孟祥劝, 郭栋, 等. DEA 方法在防空作战方案优选中的应用[J]. 指挥控制与仿真, 2006, 28(3): 68-71.
- [5] Hwang C L, Yoon K S. Multiple attribute decision making and application [M]. New York: Springer Verlag, 1981.
- [6] Liu B. Theory and practice of uncertain programming[M]. Heidelberg: Physcia-Vdrlag, 2002.