

基于EAHP和免疫算法的野战军械仓库布局优化

卞光荣, 黄强, 张沿磊, 巢琥
(空军勤务学院, 徐州 221000)

摘要: **目的** 研究影响野战军械仓库布局的因素及仓库布局的优化方法。**方法** 融合运用专家打分法和层次分析法(EAHP), 对弹药保障点的重要度进行评价, 综合考虑弹药保障点重要度、弹药需求量、各弹药保障点之间的距离等因素, 建立野战军械仓库布局优化模型, 并利用免疫优化算法求解模型。**结果** Matlab 仿真结果表明, 运用免疫算法求解野战军械仓库最优布局时, 选择合适的原始参数是非常重要的, 因为它不仅会影响算法的收敛速度, 而且还影响最终的优化结果。**结论** 综合运用EAHP和免疫算法来优化野战军械仓库布局的方法取得了令人满意的优化结果。

关键词: 层次分析法; 免疫算法; 军械仓库; 布局优化

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0209-06

Field Ordnance Warehouse Layout Optimization Based on EAHP and Immune Algorithm

BIAN Guang-rong, HUANG Qiang, ZHANG Yan-lei, CHAO Hu
(Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: The work aims to study the factors influencing the layout of field ordnance warehouse and the optimization methods of warehouse layout. The importance of ammunition support site was evaluated in combination with expert scoring method and analytic hierarchy process (EAHP). Field ordnance warehouse layout optimization model was established by comprehensively considering importance of ammunition support site, quantity demanded for ammunition, distance between all the ammunition support sites and other factors. Moreover, the model was solved with immune optimization algorithm. Matlab simulation results showed that it was important to select appropriate original parameters when the immune algorithm was applied to solve the optimized layout of field ordnance warehouse, as such parameters not only affected the algorithm's convergence speed, but also affected the final optimization results. Satisfactory results of optimized layout of field ordnance warehouse are obtained by synthesizing the methods of EAHP and immune algorithm.

KEY WORDS: AHP; immune algorithm; ordnance warehouse; layout optimization

现代高技术信息化战争强度高、节奏快、消耗大, 传统的静态仓储保障模式已经很难满足部队的作战需求^[1]。野战军械仓库是军械物资供应的动态保障基地, 由于其机动灵活、建设成本低, 在战时军械物资保障中占有举足轻重的地位, 它既是后方军械仓库与前线作战部队之间的纽带, 又是军民融

合军械仓储保障体系的重要组成部分。

野战军械仓库是在战场环境下临时建立的弹药保障仓库, 其目的是实现全方位多功能的保障方式, 它是集弹药仓储、检测、维修、销毁、配送于一体的动态保障仓库。野战军械仓库布局优化是提高战时军械物资保障效率的有效举措, 只有仓库布

收稿日期: 2016-06-01

作者简介: 卞光荣 (1972—), 男, 江苏连云港人, 博士, 空军勤务学院讲师, 主要研究方向为航空弹药精确化保障、军用物联网和无线传感器网络。

局科学合理,弹药品种和储存数量精细准确,才能为作战部队提供及时可靠的军械物资保障^[2]。

1 野战军械仓库布局优化分析

野战军械仓库布局优化就是要对野战军械仓库进行科学选址、合理调配,使得仓库储备布局与重点作战方向相适应,与部队的作战任务相匹配。仓库布局优化必须依据详实的作战数据,进行精细化弹药消耗量预测,合理确定储备规模,科学优化储备布局,建成适应战场变化的军械物资动态调配与供应基地^[3]。根据战场实际情况,总结出影响野战军械仓库布局优化的因素主要有气候条件、地理环境、交通状况、通信条件、作战方向、作战规模、作战任务、作战持续时间、保障对象、仓库容量、伪装防护、敌我实力对比等。可以看出,在进行野战军械仓库布局优化时需要考虑的因素有很多,但在战时要优先考虑军事效益,保证弹药安全储存、及时连续供应;其次考虑经济效益,使弹药储量适

当,减少浪费^[4]。

野战军械仓库布局优化是一项精细而复杂的工作,要在广泛收集野战军械仓库信息资料的基础上,组织从事军械仓储领域的专家,根据具体的作战任务,制定详实的野战仓库部署规划,提出科学而合理的优化建议,然后运用智能算法仿真确定最佳的野战仓库布局优化方案^[5]。

文中预先设定 i 个待选弹药保障点,融合运用专家打分法和层次分析法(EAHP)对弹药保障点的重要度进行评价,即采用专家评价法确定准则层各评价指标的相对重要系数,运用层次分析法对弹药保障点进行评价,求得各保障点的重要度,最后结合各保障点的重要度、各弹药保障点之间的距离及运输费用等,建立野战军械仓库布局优化模型,并运用免疫算法求解模型,最终确定最优的军械仓库布局方案。结合专家打分法和层次分析法对影响野战军械仓库布局的因素进行归纳,建立了由目标层 A、准则层 B、方案层 C 组成的层次结构,见图 1^[6-9]。

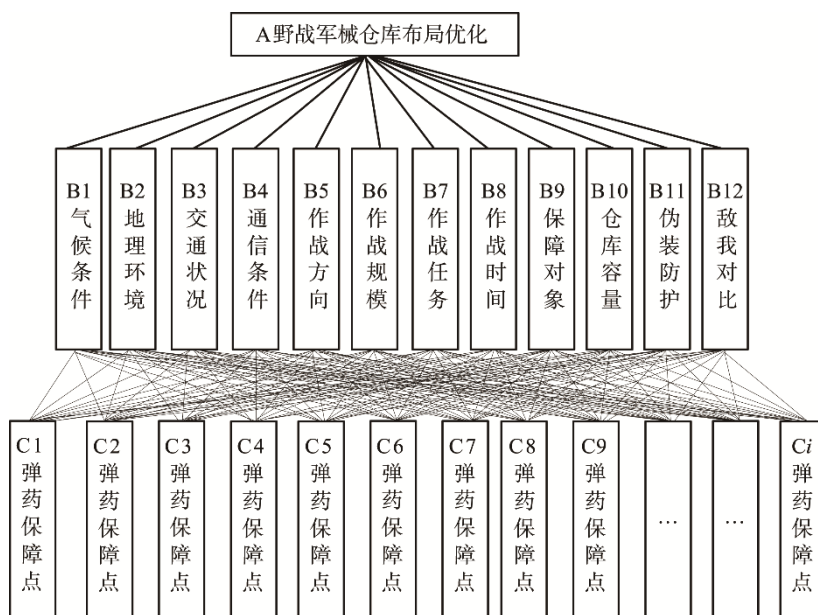


图 1 野战军械仓库布局优化层次结构

Fig.1 Hierarchy diagram of field ordnance warehouse layout optimization

融合运用专家打分法和层次分析法构造判断矩阵 A_B , A_B 表示目标层 A 对应准则层 B 的正负反矩阵,即采用专家打分法确定准则层各评价指标的相对重要系数,构造出判断矩阵 A_B ,再确定准则层各评价指标相应的权值 W_B ,并对权值 W_B 进行一致性检验。

$$A_B = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & 1 & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $n=12$ 。

构造判断矩阵 $B_M (M=1, 2, \dots, 12)$, B_M 为方案层

C 对应准则层 B 的每个准则的正互反矩阵, 分别求得准则层各评价指标影响下弹药保障点的权值 W_{CN} , 并对权值 W_{CN} 进行一致性检验。

$$B_M = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & \cdots & b_{1N} \\ b_{21} & 1 & \cdots & b_{2N} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ b_{N1} & b_{N2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $M=1, 2 \dots 12$; $N=i$ 。

求得综合考虑各评价指标影响因素时各个弹药保障点 C_i 的权值 W_C , 记为向量 W_{Ci} , 即各弹药保障点的重要度。

$$W_{Ci} = [W_1, W_2 \dots W_i] \quad (3)$$

2 建立野战军械仓库布局优化模型

野战军械仓库布局优化问题可归结为合理确定仓库布局使航空弹药保障效率最大。在野战军械仓库布局优化模型中, 作如下假设^[9-10]: 野战军械仓库的弹药储备规模及容量能够满足各作战部队的弹药需求, 并由其配送辐射范围内的需求量确定; 一个弹药保障点仅由一个野战军械仓库供应; 一个军械仓库可同时供应多个保障点; 不考虑后方军械仓库至野战军械仓库的运输费用^[11]。

基于以上假设, 建立野战军械仓库布局优化模型。模型的目标函数为^[12]:

$$Y_{\min} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in N_i} W_{Ci} Q_i d_{ij} W_{ij} \quad (4)$$

约束条件为:

$$\begin{cases} \sum_{j \in N_i} W_{ij} = 1 & i \in I \\ W_{ij} \leq k_j & i \in I, j \in N_i \\ \sum_{j \in N_i} k_j = S \\ W_{ij}, k_j \in \{0, 1\} & i \in I, j \in N_i \\ d_{ij} \leq d_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $I=\{1, 2 \dots n\}$, 它是所有弹药保障点的序号集合; N_i 为到弹药保障点 i 的距离小于 $d_{\max}$ 的备选野战军械仓库的集合, $i \in I, N_i \subseteq I$; W_{Ci} 为弹药保障点重要度; Q_i 为保障点的弹药需求量; d_{ij} 为从弹药保障点 i 到离它最近的野战军械仓库 j 的距离; W_{ij} 为 0-1 变量, 表示弹药保障点和野战军械仓库的服务需求分配关系, 当其为 1 时, 表示保障点 i 的弹药需求量由野战军械仓库 j 供应, 否则 $W_{ij}=0$; k_j 为 0-1 变量, 当其为 1 时, 表示点 j 被选为新设

野战军械仓库的地址; $d_{\max}$ 为新建野战军械仓库离它服务的保障点的距离上限^[13]。

第 1 个约束条件保证每个弹药保障点只能由 1 个野战军械仓库配送; 第 2 个约束条件确保弹药保障点的需求量只由野战军械仓库供应^[14]; 第 3 个约束条件规定了被选定为野战军械仓库的数量为 S ^[15]; 第 4 个约束条件表示变量 W_{ij} 和 k_j 是 0-1 变量; 第 5 个约束条件保证了弹药保障点在野战军械仓库可配送到的范围之内^[16]。

3 免疫优化算法求解野战军械仓库布局优化模型

3.1 免疫算法流程

免疫优化算法是模仿生物的免疫系统产生的一种新型的智能算法, 它具有良好的全局搜索能力和记忆功能。免疫算法流程见图 2。

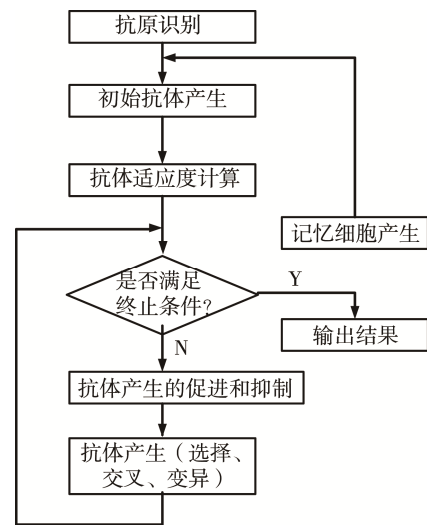


图 2 免疫算法流程

Fig.2 Flow diagram of immune algorithm

3.2 初始抗体群的产生

免疫算法中用抗原表示问题的目标函数, 这里对应野战军械仓库优化布局问题的目标函数。每个初始仓库布局方案可以看成是一个长度为 S 的抗体, 每个抗体代表被选为野战军械仓库的保障点的序列。例如, 考虑包括 31 个弹药保障点的问题, 1, 2...31 代表保障点的序号, 从中选取 8 个作为野战军械仓库。抗体 {4, 10, 14, 17, 19, 21, 23, 28} 代表一个可行解, 它表示 4, 10, 14, 17, 19, 21, 23, 28 被选为野战军械仓库, 初始抗体组成的集

合即为初始抗体群。

3.3 解的多样性评价

针对上述野战军械仓库优化布局模型,设计亲和力和函数 G_v :

$$G_v = \frac{1}{F_v} = \frac{1}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in N_i} W_{ci} Q_i d_{ij} W_{ij} - C \sum_{i \in I} \min \left[\left(\sum_{j \in N_i} W_{ij} \right) - 1, 0 \right]} \quad (6)$$

抗体之间的亲和力 O_{vs} 的计算公式为:

$$O_{vs} = \frac{L_{vs}}{K} \quad (7)$$

式中: L_{vs} 为抗体 v 与抗体 s 中相同的位数; K 为抗体的长度。

抗体的浓度 N_v 的计算公式为:

$$N_v = \frac{1}{U} \sum_{j \in U} O_{vs} \quad (8)$$

式中: U 为抗体总数; O_{vs} 为 0-1 变量, 当 $O_{vs} > P$ 时 $O_{vs} = 1$, 其他情况下 $O_{vs} = 0$, 其中 P 为预先设定的一个阈值。

期望繁殖概率 P 的计算公式为:

$$P = \alpha \frac{G_v}{\sum G_v} + (1 - \alpha) \frac{N_v}{\sum N_v} \quad (9)$$

式中: α 为常数。由式(9)可知, 个体适应度越高, 则期望繁殖率越大; 个体浓度越大, 则期望繁殖概率越小。这样既鼓励了适应度高的个体, 同时又抑制了浓度高的个体, 从而确保了个体的多样性。

4 野战军械仓库布局优化模型的仿真结果

假设弹药保障点的数量为 31 个, 其位置坐标 (X_i, Y_i) 分别为: (1304, 2312); (3639, 1315); (4177, 2244); (3712, 1399); (3488, 1535); (3326, 1556); (3238, 1229); (4196, 1044); (4312, 790); (4386, 570); (3007, 1970); (2562, 1756); (2788, 1491); (2381, 1676); (1332, 695); (3715, 1678); (3918, 2179); (4061, 2370); (3780, 2212); (3676, 2578); (4029, 2838); (4263, 2931); (3429, 1908); (3507, 2376); (3394, 2643); (3439, 3201); (2935, 3240);

(3140, 3550); (2545, 2357); (2778, 2826); (2370, 2975)。各弹药保障点的弹药需求量 Q_i 分别为: 20, 40, 50, 80, 40, 60, 45, 55, 60, 80, 90, 65, 70, 40, 60, 80, 60, 50, 55, 65, 30, 70, 60, 80, 90, 100, 110, 90, 80, 50, 60。

这里的弹药需求量是经过规范化处理后的数值, 并不代表实际值。从中选择 8 个作为野战军械仓库的地址。根据野战军械仓库布局优化模型, 按照免疫算法步骤对模型进行求解。

1) 在运用免疫算法对模型求解之前, 需要对初始测试参数进行选取, 主要的初始测试参数包括种群规模、记忆库容量、迭代次数、交叉概率、变异概率、多样性评价参数等^[17]。初始测试参数选取的评价指标主要包括 2 个: 选取的参数应该使得所运输的总费用为最低; 所选取的参数应该有较快的收敛速率。

2) 算法的初始测试参数: 种群规模为 50, 记忆库容量为 20, 迭代次数为 100, 交叉概率为 0.5, 变异概率为 0.4, 多样性评价参数设为 0.97。求得野战军械仓库布局优化的方案为[8, 28, 12, 25, 29, 5, 17, 21]。免疫算法的收敛曲线见图 3a, 不难发现算法在满 100 次后收敛, 最优适应度稳定在 47 000 附近。野战军械仓库布局优化见图 3b, 圆点表示 31 个弹药保障点, 带方框的 8 个点表示野战军械仓库布局的优化选择结果。如果点之间有连线表示该弹药保障点的弹药由连接的野战军械仓库供应, 由图 3b 可以看出免疫优化算法计算出的最优方案为[8, 28, 12, 25, 29, 5, 17, 21], 即将编号为[8, 28, 12, 25, 29, 5, 17, 21]的弹药保障点建设为野战军械仓库时, 能得到最优解。

3) 多样性评价参数改变为 0.95, 其他原始参数不变, 求得野战军械仓库布局优化的方案为[30, 5, 28, 22, 12, 25, 9, 17]。免疫算法的收敛曲线见图 4a, 可以发现, 改变多样性评价参数后算法收敛速度加快。野战军械仓库布局优化方案的改变见图 4b。

4) 多样性评价参数改为 0.95, 交叉概率改为 0.6, 其他原始参数不变, 求得野战军械仓库布局优化的方案为[22, 28, 9, 12, 17, 29, 5, 25]。免疫算法的收敛曲线见图 5a, 可以发现, 同时改变多样性评价参数和交叉概率后算法收敛速度减缓。野战军械仓库布局优化方案的改变见图 5b。

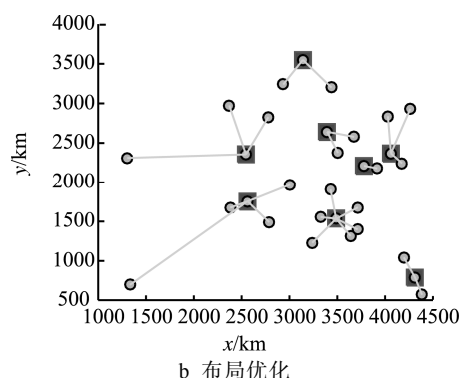
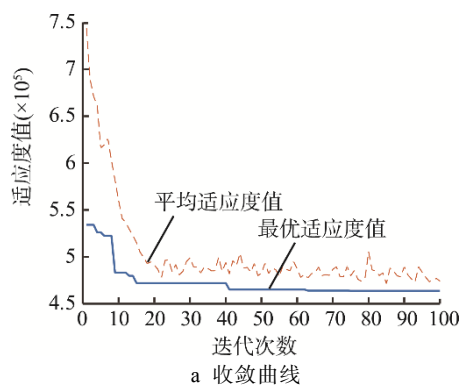


图 3 免疫算法收敛曲线和野战军械仓库布局优化
Fig.3 The convergent curve of immune algorithm and the diagram of field ordnance warehouse layout optimization

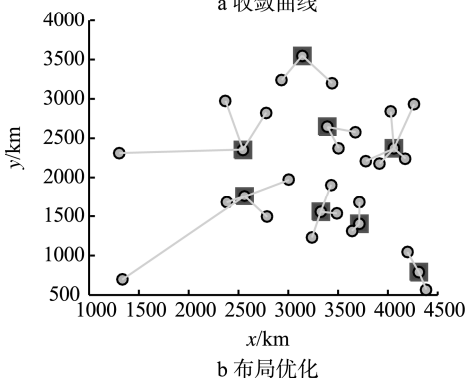
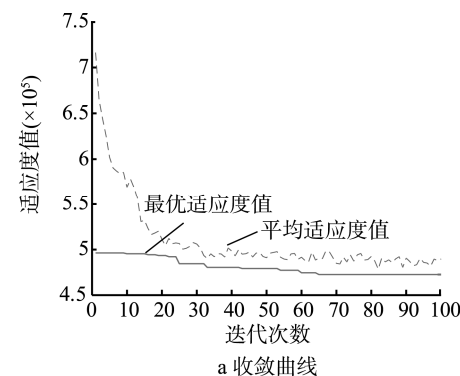


图 4 改变多样性评价参数后的免疫算法收敛曲线和野战军械仓库布局优化

Fig.4 The convergent curve of immune algorithm and the diagram of field ordnance warehouse layout optimization after altering diversity evaluation parameters

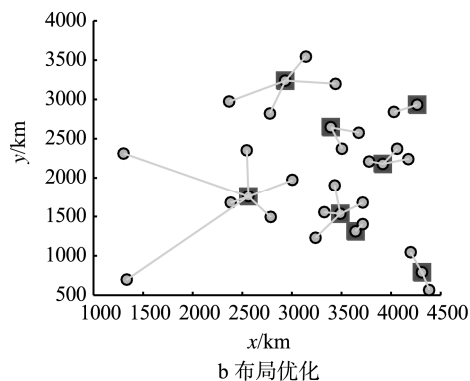
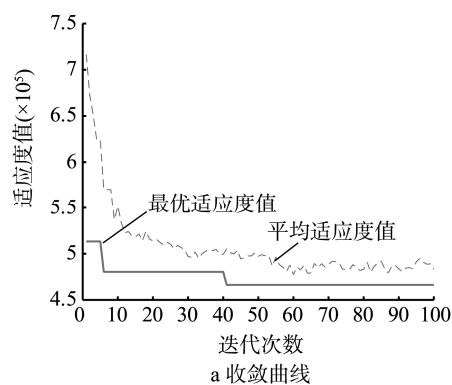


图 5 改变多样性评价参数和交叉概率后的免疫算法收敛曲线和野战军械仓库布局优化

Fig.5 The convergent curve of immune algorithm and the diagram of field ordnance warehouse layout optimization after altering diversity evaluation parameters and crossover probability parameters

5 结语

这里研究了影响野战军械仓库布局的因素及仓库布局优化方法,结合专家打分法和层次分析法对弹药保障点重要度进行了评价,综合考虑弹药保障点重要度、弹药需求量、各弹药保障点之间的距离等因素,建立了野战军械仓库布局优化模型,并运用免疫算法求解了仓库布局优化模型。仿真结果表明,改变免疫算法的某些原始参数,不仅算法的收敛曲线会发生变化,而且最终的优化结果也会随之改变,因此运用免疫算法求解野战军械仓库最优布局时,选择合适的原始参数是非常重要的,因为它不仅会影响算法的收敛速度,而且还影响最终的优化结果。研究表明,综合运用 EAHP 和免疫算法来优化野战军械仓库布局的方法取得了令人满意的优化结果。

参考文献:

- [1] 孙晓梅. 基于物联网的军械仓库信息管理可视化技

- 术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
SUN Xiao-mei. Things of the Ordnance Warehouse Information Management Research Based on Visualization Technology[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2013.
- [2] 李雪. 基于 RFID 技术的军械仓库管理系统[J]. 四川兵工学报, 2014, 35(2): 74—77.
LI Xue. Equipment Depot Management System Based on RFID[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2014, 35(2): 74—77.
- [3] 兰福松. 基于 RFID 技术的野战仓库管理系统设计与实现[D]. 长沙: 中南大学, 2011.
LAN Fu-song. Design and Implementation of Ordnance Warehouse Management System Based on RFID Technology[D]. Changsha: Central South University, 2011.
- [4] 柴嘉奇, 诸德放. 后方军械仓库安全风险评估建模分析[J]. 物流技术, 2015, 37(7): 111—112.
CHAI Jia-qi, ZHU De-fang. Analysis of Ordnance Depots Safety Risk Assessment Model[J]. Logistics Technology, 2015, 37(7): 111—112.
- [5] 杨彪, 周亦鹏. 基于混合整数规划的仓库选址研究[J]. 物流科技, 2015(4): 118—120.
YANG Biao, ZHOU Yi-peng. A Study on the Location of Warehouse Based on Mixed-integer Programming[J]. Logistics Sci-Tech, 2015(4): 118—120.
- [6] 王辛岩, 楚彭子, 徐东升, 等. 基于 AHP 和人工免疫算法的物流中心选址问题研究[J]. 公路, 2014(2): 134—138.
WANG Xin-yan, CHU Peng-zi, XU Dong-sheng, et al. A Study of Logistics Center Location Based on AHP and Artificial Immune Algorithm[J]. Highway, 2014(2): 134—138.
- [7] 邵帅, 戴明强, 张肖. 基于正态云关联度的军事后勤仓库选址评估[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(2): 65—68.
SHAO Shuai, DAI Ming-qiang, ZHANG Xiao. Evaluation Method for Military Logistics Storehouse Site Selection Based on Cloud Model[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016, 37(2): 65—68.
- [8] 刘先, 赵星起, 张亮. 一类新的广义非线性变分不等式系统的预解算子算法[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2015, 32(5): 1—5.
LIU Xian, ZHAO Xing-qi, ZHANG Liang. Resolvent Operator Algorithm for a Class of New System of General Nonlinear Variational Inequalities [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2015, 32(5): 1—5.
- [9] SURMELI G. A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Approach for Choosing a Logistics Center Location in Turkey[C]// Istanbul: 6th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization, 2015.
- [10] YU Y, LIU X L. Study on the Logistics Center Location Problem Based on CURE[J]. International Journal of Hybrid Information Technology, 2015, 8(3): 387—394.
- [11] BOZORGI-AMIRI A, ASVADI S. A Prioritization Model for Locating Relief Logistic Centers Using Analytic Hierarchy Process with Interval Comparison Matrix[J]. Knowledge-Based Systems, 2015(6): 173—181.
- [12] ACAR A Z, ONDEN I. Evaluating the Location Of Regional Return Centers in Reverse Logistics through Integration of GIS, AHP and Integer Programming[J]. International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice, 2015, 22(4): 399—411.
- [13] RAO C, GOH M, ZHAO Y, et al. Location Selection of City Logistics Centers under Sustainability [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2015(6): 29—44.
- [14] YUAN J, XU F, JIANG C. Location Selection of a Great Sports Event Logistics Distribution Center Based on GIS and a Genetic Algorithm[C]// Dalian: Proceedings of the 5th International Conference on Transportation Engineering, 2015.
- [15] XING W, JIANG Q S. The Hierarchical Analysis Model of Logistics Center Location and Its Simulation Analysis: Take the South Xinjiang Corps for Example[C]// Kos Island: 1st International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization, 2014.
- [16] JIN G, YAN Y, JIN G, et al. Shanghai Agricultural Products Logistics Distribution Center Location Based on Fuzzy AHP[C]// Shenyang: International Conference on Logistics, Engineering, Management and Computer Science, 2014.
- [17] 淦艳, 魏延, 杨有. 免疫算法在带权值的物流配送中心选址中的应用[J]. (重庆师范大学学报, 2015, 32(5): 107—113.)
GAN Yan, WEI Yan, YANG You. The Application of Weighted Logistics Distribution Center Location Based Immune Algorithm[J]. Journal of Chongqing Normal University, 2015, 32(5): 107—113.