

## 基于两阶段的广义最大覆盖战时装备仓库选址模型

王申坪, 李建华, 杜敏, 王强, 王秀华, 胡杰

引用本文:

王申坪, 李建华, 杜敏, 等. 基于两阶段的广义最大覆盖战时装备仓库选址模型[J]. [兵器装备工程学报](#), 2020, 41(3): 41-45.

---

## 您可能感兴趣的其他文章

### 1. [基于正态云关联度的军事后勤仓库选址评估](#)

引用本文: 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.

### 2. [基于多Agent的战时装备维修保障仿真研究](#)

引用本文: 张明亮, 张炜, 李建华. 基于多Agent的战时装备维修保障仿真研究[J]. [兵器装备工程学报](#), 2018, 39(11): 85-88.

### 3. [面向主题的装备保障数据仓库指标集设计](#)

引用本文: 谢峰, 孙江生, 代冬升, 等. 面向主题的装备保障数据仓库指标集设计[J]. [兵器装备工程学报](#), 2015, 36(1): 88-90.

### 4. [基于模糊综合评判的野战油库选址优化模型](#)

引用本文: 程飞, 丁国勤, 李宁, 等. 基于模糊综合评判的野战油库选址优化模型[J]. [兵器装备工程学报](#), 2015, 36(6): 53-57,73.

### 5. [基于排队论的维修保障装备数量确定研究](#)

引用本文: 吴同晗, 陈春良, 张仕新, 等. 基于排队论的维修保障装备数量确定研究[J]. [兵器装备工程学报](#), 2018, 39(11): 104-108.

# 基于两阶段的广义最大覆盖 战时装备仓库选址模型

王申坪<sup>1</sup>, 李建华<sup>1</sup>, 杜敏<sup>2</sup>, 王强<sup>2</sup>, 王秀华<sup>1</sup>, 胡杰<sup>1</sup>

(1. 国防大学 联合勤务学院, 北京 100089; 2. 陆军工程大学 石家庄校区, 石家庄 050003)

**摘要:**针对传统战时装备仓库选址时没有考虑装备分队的保障时效性、差异性要求的问题,提出了基于两阶段的广义最大覆盖战时装备仓库选址模型。该方法先建立B型关联的Topsis多属性备选点评估模型,后建立最大广义覆盖选址模型,求出最佳装备仓库选址方案。根据某次演习任务装备分队的备件供应需求,进行了仿真分析,结果表明:该方法可以确定战时装备仓库选址的最优方案。基于两阶段的广义最大覆盖的战时装备仓库选址模型能科学合理决策仓库选址,为装备分队提供及时高效的备件保障。

**关键词:**装备仓库;B型关联;两阶段;最大广义覆盖

**本文引用格式:**王申坪,李建华,杜敏,等.基于两阶段的广义最大覆盖战时装备仓库选址模型[J].兵器装备工程学报,2020,41(03):41-45.

**Citation format:**WANG Shenping, LI Jianhua, DU Min, et al. Location Model of Wartime Equipment Depot Based on Two-Stage Generalized Maximum Coverage[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2020, 41(03): 41-45.

中图分类号: E075

文献标识码: A

文章编号: 2096-2304(2020)03-0041-05

## Location Model of Wartime Equipment Depot Based on Two-Stage Generalized Maximum Coverage

WANG Shenping<sup>1</sup>, LI Jianhua<sup>1</sup>, DU Min<sup>2</sup>, WANG Qiang<sup>2</sup>, WANG Xiuhua<sup>1</sup>, HU Jie<sup>1</sup>

(1. Joint Service College, National Defense University, Beijing 100089, China;

2. Army Engineering University, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the traditional wartime equipment warehouse location does not consider the different requirements of the support effectiveness of the equipment units, a two-stage generalized maximum coverage wartime equipment warehouse location model was proposed. The B-type associated TOPSIS multi-attribute alternative point evaluation model was established, and then the location model with the largest generalized coverage was established to find the best location scheme of equipment warehouse. According to the spare parts supply demand of the equipment unit of a certain exercise mission, the simulation analysis was carried out. The results show that this method can determine the optimal scheme of wartime equipment warehouse location. The location model of wartime equipment warehouse based on two-stage generalized maximum coverage can make a scientific and reasonable decision on the location of the warehouse, and provide timely and efficient spare parts support for the equipment unit.

**Key words:** equipment depots; B-type association; two-stage; generalized maximum coverage

战时合成部队在执行协同作战任务时,须开设装备仓库以便战时对装备群组进行备件保障,装备仓库的选址合理与否直接影响着战时装备保障效能。目前,对选址问题研究方法主要分为多属性决策评估选址方法<sup>[1]</sup>和4类选址优化模型(集合覆盖模型,最大覆盖模型, $P$ 中值模型, $P$ 中心模型)<sup>[2-5]</sup>。优化选址模型广泛应用于消防站、医院、军事设施等<sup>[6-8]</sup>应急救援选址问题;战时给定装备仓库数目的选址问题常选用最大覆盖选址模型来解决。相比目前常用的最大覆盖模型,本文建立的两阶段最大广义覆盖模型借鉴了“部分覆盖”和“逐级覆盖”的理念,考虑了战时各个装备分队的最大保障延迟时间约束,以及装备仓库的容量限制条件,能较为精确地反映出“覆盖”的程度,有效弥补了常用的最大覆盖模型中根据距离进行二元划分的不足。

## 1 问题描述与假设

战斗准备阶段,合成部队装备指挥员需要对装备仓库进行布局选址,以便战时能够为装备提供备件保障。为了分析战时合成部队装备仓库的选址过程,本文限定研究对象为合成旅前进保障群的装备仓库,在战斗准备阶段,为装备指挥员提供合理的仓库开设位置。影响装备仓库的选址因素,主要是两方面因素:一是装备仓库开设必须根据作战区域的地理环境和仓库开展工作的要求,选择合适的开设区域;二是装备仓库还要结合装备的保障要求进行选址。装备仓库的开设是为了战时能够在规定的时间内实施装备备件保障任务,配合装备保障分队装备的性能快速恢复。

因此,可以将战时装备仓库选址问题分为两个阶段,第一个阶段根据装备仓库开设的客观要求,对选址区域建立多属性决策评估模型,初步筛选出符合开设仓库的区域。第二阶段主要依据战时各区域装备的保障要求,构建备件满意度函数,建立备件供应优化模型。

使总的备件保障满意度最大。由于战时装备作战环境复杂,为了便于针对装备仓库选址问题进行分析研究,特作以下合理假设:

- 1) 战时合成旅各装备分队的位置信息和装备数量,以及担负作战任务已知;
- 2) 根据合成旅作战任务可知,各装备分队所需的备件数量和各装备分队的最大延迟保障时间为已知量;
- 3) 装备指挥员已根据装备分队的编组情况,确定了装备仓库的开设数目;
- 4) 根据战时装备仓库开设的隐蔽性要求,需控制前进保障群装备仓库规模,各装备仓库具有容量限制,其库存量上限已由装备指挥员确定;
- 5) 备选区域的地形环境条件全部利用地理信息系统(GIS)等技术手段进行探测,其相关坐标信息数据已知;
- 6) 避免战时动用过多仓库点,战时保障指挥频繁调度,战时每个装备分队由一个装备仓库提供备件的供应保障<sup>[9-11]</sup>。

下面将战时装备仓库的选址问题,分为两个阶段进行分析研究。

## 2 基于B型关联的Topsis选址评估模型

通过分析战时选址影响因素建立评估模型,从而实现对各备选区域的初步筛选,为下一步确定野战库提供数据支撑。战时装备仓库的开设与作战环境紧密相关,与平时仓库选址不同,战时选址还需结合考虑隐蔽性和构筑工事等战时装备保障任务和特点。根据装备指挥员的决策分析,影响选址决策的因素主要包括安全防护性、交通便捷性、通讯畅通性、易展开性、地质条件5个方面,本文主要根据影响装备仓库开设的5个方面因素来确定装备仓库选址的特征指标,具体特征指标如表1所示。

表1 战时装备仓库评估的特征指标

序号	备件分类指标	偏好	数据类型	备注
1	安全防护性	Gain	Ordinal	指所选区域具有一定的隐蔽条件可增加防御能力。
2	交通便捷性	Gain	Ordinal	指所选区域路网丰富通畅,路况良好,能够保障备件的有效运输。
3	通讯畅通性	Gain	Ordinal	指所选区域通讯畅通,能够及时接受后方指挥所的作战指令。
4	易展开性	Gain	Ordinal	指所选区域地势平坦,距离水源较近,易于维修设施的展开。
5	地质条件	Gain	Ordinal	指地质结构坚固,易于保障工作的有序开展。

表1中的指标数据均为序数型(Ordinal)。其中备件指标的偏好<sup>[12]</sup>是指数据的大小与指标优劣的关系。偏好Gain表示数据与备件分类指标呈正向关系,即随着数据的递增,指标越优。以上5个评估指标均为定性描述型指标,须利用专家对其进行打分评级。

传统的选址评估模型中,对于指标的权重确定一般由决策者确定,但往往由于决策者的主观因素可能会引起结果偏差造成评估失效的情况。为减少人为主观因素对评估结果的影响,提出利用基于B型关联的Topsis方法建立评估模型。B型关联度是通过建立原始数据曲线,比较数据曲线与理想数据曲线的相似程度来判断其关系的紧密程度。其相比较传统的Topsis方法,基于B型关联度的Topsis法利用曲

线上数据之间的位移量、速度和加速度等物理特性,比较客观全面地反映了数据变化规律,从而使得在比较计算数据曲线与理想数据曲线之间的关联度时,更加科学合理<sup>[13]</sup>。通过文献<sup>[14]</sup>研究可知,基于B型关联度的Topsis法对于评价结果偏差较小,方法具有一定的可行性,因此,本文利用该方法对选址问题进行评估决策,其方法步骤如下:

1) 根据装备仓库备选点评估指标类型,分别对备选点的指标值进行确定。由于评估指标类型均为定性描述型指标,属于序数型(Ordinal)。因此,利用专家打分法建立5级评分制,根据专家的等级,针对各项评估指标依次对各备选点进行打分,对每一项指标的专家评分计算其加权平均值,得出各项指标的初始指标值矩阵 $Z$ 。

2) 构建评估决策矩阵。设装备仓库备选点 $j(j=1,2,\dots,J)$ 的第 $k(k=1,2,\dots,5)$ 个评估指标值为 $z_{jk}$ ,建立初始评估矩阵 $Z$ ,并将各个评价指标数据进行标准化处理,得到标准化评估决策矩阵 $W=(w_{ij})_{J \times 5}$ 。其标准化转换公式为

$$w_{jk} = \frac{z_{jk}}{\max(z_k)} \quad (1)$$

式中, $\max(z_k)$ 表示评估矩阵 $Z$ 中,所有评价数据对应的第 $k$ 项评估指标值中的最大值。

3) 利用熵权法确定评估指标的权重,得到权重矩阵 $\Phi$ 。其信息熵及指标权重计算公式如下:

$$\begin{cases} E_k = -\frac{1}{\ln J} \sum_{j=1}^J w_{jk} \ln w_{jk} & k=1,2,\dots,5 \\ \varphi_k = \frac{1-E_k}{\sum_{k=1}^5 (1-E_k)} & k=1,2,\dots,5 \\ \Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_5) \end{cases} \quad (2)$$

将计算得出的权重矩阵 $\Phi$ 与评价矩阵 $W$ 进行相乘,得到决策矩阵 $R=(r_{ij})_{J \times k}$ ,其中, $r_{ij} = \varphi_j \cdot w_{jk}$ 。

4) 根据评估指标数据,设定正负理想解。

$$\begin{cases} R^+ = \{R_1^+, R_2^+, \dots, R_5^+\} & R_k^+ = \max_j R_{jk} \\ R^- = \{R_1^-, R_2^-, \dots, R_5^-\} & R_k^- = \min_j R_{jk} \end{cases} \quad (3)$$

5) 计算B型关联度。

$$\begin{cases} q_{j1}^+ = \sum_{k=1}^5 |R_k^+ - R_{jk}^+| \\ q_{j2}^+ = \sum_{k=1}^4 |R_{k+1}^+ - R_{j,k+1}^+ - (R_k^+ - R_{jk}^+)| \\ q_{j3}^+ = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=2}^4 |R_{k+1}^+ - R_{j,k+1}^+ - 2 \cdot (R_k^+ - R_{jk}^+) + (R_{k-1}^+ - R_{j,k-1}^+)| \\ C_j^+ = \frac{1}{1 + \frac{1}{J} \cdot q_{j1}^+ + \frac{1}{J-1} \cdot q_{j2}^+ + \frac{1}{J-2} \cdot q_{j3}^+} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $q_{j1}^+$ 为备选仓库 $j$ 的评估指标值与正理想解的位移差; $q_{j2}^+$ 为备选仓库 $j$ 的评估指标值与正理想解的速度差; $q_{j3}^+$ 为备选仓库 $j$ 的评估指标值与正理想解的加速度差; $C_j^+$ 为备选

仓库 $j$ 与正理想解的B型关联度。

同理,可以按照以上方法求出备选仓库 $j$ 的评估指标值与负理想解的位移差( $q_{j1}^-$ ),速度差( $q_{j2}^-$ ),加速度差( $q_{j3}^-$ ),以及与负理想解的B型关联度( $C_j^-$ )。

6) 计算装备仓库与理想解之间的相对贴近度。其计算公式如下:

$$u_j = \frac{C_j^+}{C_j^+ + C_j^-} \quad (5)$$

根据各个备选仓库的贴近度,初步筛选出适合开设装备仓库的备选点空间,为下一步建立最大覆盖选址模型提供自变量取值范围。

### 3 建立广义最大覆盖选址模型

根据上文初步筛选的装备野战库选址空间,在其基础上进一步考虑战时备件供应要求建立选址模型。传统的最大覆盖模型是在仓库数量给定的情况下,以最小备件到达时间为目标,确保仓库到各用装分队的总时间最小,但是忽略了战时各个用装分队具有最大保障延迟时间约束。此外,在建立选址模型时还需考虑野战库的容量约束条件。文中提出备件需求服务满意度函数,用来描述各用装分队对备件供应保障时间的满意程度。并借鉴部分覆盖的思想,从各用装分队对备件需求服务的角度出发,考虑仓库的容量约束,建立基于备件需求服务满意度的最大广义覆盖模型,使得各用装分队在规定的保障时限内,能够得到尽可能好的备件保障服务质量。

#### 3.1 备件需求服务满意度函数

构建各装备分队的备件需求服务满意度函数 $F_i(t_{ij})$ ,如图1所示,反应了有效覆盖的装备分队 $i(i=1,2,\dots,I)$ 对备选装备仓库 $j(j=1,2,\dots,J)$ 进行备件需求响应的满意程度,有 $F_i(t_{ij}) \in [0,1]$ ,备件需求服务满意度曲线,如图2所示。备件需求服务满意度函数是关于时间的递减函数,当装备仓库到装备分队之间的时间超过最大备件保障延迟时间时,则装备分队的备件需求服务满意度变为0。

$$F_i(t_{ij}) = \begin{cases} (1 - \frac{t_{ij}}{T_i})^{\alpha_i} & 0 \leq t_{ij} \leq T_i \\ 0 & t_{ij} > T_i \end{cases} \quad (6) \quad (0 < \alpha_i < 1)$$

式中: $t_{ij}$ 为备选装备仓库 $j$ 到达装备分队 $i$ 所需要的时间; $T_i$ 是装备分队最大保障延迟时间, $\alpha_i$ 为装备分队 $i$ 对时间的敏感度<sup>[15]</sup>。

根据上式,装备系统总的备件需求服务满意度为

$$Z_1 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \omega_i d_i F_i(t_{ij}) x_{ij}^1 \quad (7)$$

式中: $\omega_i$ 为装备分队的重要度权重; $d_i$ 为各装备分队的备件需求量大小, $F_i(t_{ij})$ 为各装备分队的备件需求服务满意度函数, $x_{ij}^1$ 表示装备仓库 $j$ 能够对装备分队 $i$ 提供备件供应服务的决策变量,满足:

$$x_{ij}^1 = \begin{cases} 1 & \text{野战仓库备选点 } j \text{ 为装备分队 } i \text{ 提供有效覆盖} \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (8)$$

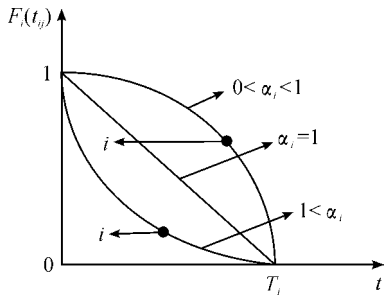


图1 战时合成部队备件需求服务满意度曲线

### 3.2 基于多目标约束的最大广义覆盖选址模型

建立多目标约束的广义最大覆盖选址模型:

$$\max Z_1 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \omega_i d_i F_i(t_{ij}) x_{ij}^1 \quad (9)$$

Subject to:

$$\sum_{j \in J} y_j = p \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1; \sum_{j \in J} x_{ij}^2 = 1 \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_i x_{ij} \leq S_j \quad (12)$$

$$t_{ij} = \frac{L_{ij}}{a} \quad (13)$$

$$x_{ij}^1 \in \{0, 1\}, x_{ij}^2 \in \{0, 1\} \quad (14)$$

$$\forall i \in I, j \in J, \forall i' \in I'$$

$$y_j \in \{0, 1\}, j \in J \quad (15)$$

在选址模型  $P_1$  中,目标函数式(9)为最大化所有装备分队的备件需求服务满意度;约束式(10)中,  $y_j$  表示备选点  $j$  确定为装备仓库,并保证选中的装备仓库的总数量为  $p$ ;约束式(11)是保证每个装备分队由一个装备仓库进行备件供应;约束式(12)确保各装备仓库供应量不超过其仓库容量  $S_j$ ;约束式(13)表示备件的运输时间,其中  $L_{ij}$  为备选点  $j$  与装备分队  $i$  之间的距离,  $a$  为运输的速度;约束式(14)表示装备分队仅由 1 个装备仓库进行供应保障,约束式(15)表示备选点  $j$  是否被选中确定为装备仓库选址位置。

## 4 仿真分析

某次演习任务战斗准备阶段,接上级通知某合成旅须在指定地域按照战斗编组情况,合理规划和开设装备仓库,以保障战时装备分队的备件供应需求。根据战斗编组情况,5 个装备分队的部署位置,装备需求和作战任务已知,由北斗卫星定位信息系统可收集选址区域的地理信息,现根据装备指挥员的保障决心,须在选址区域开设 3 个装备仓库来保障前进保障群各装备分队,具体部署情况如图 2 所示。

根据装备指挥员初步筛选,确定出备选区域适合作为仓库备选点的 20 个仓库备选点,利用基于 B 型关联的 Topsis 评估方法,对仓库备选点进行评估优选,仓库备选点的评估

指标初始值如表 2 所示。

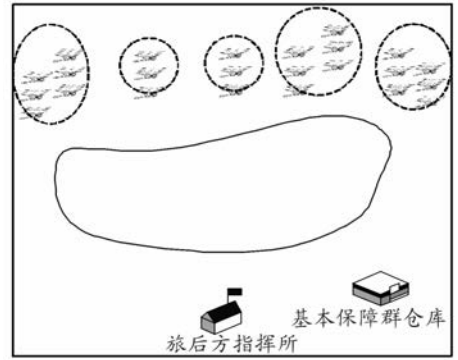


图2 战时合成部队装备仓库选址区域示意图

表2 备选仓库点的评估指标初始值

备选仓库序号	安全防护性	交通便利性	通讯畅通性	易展性	地质条件
1	0.56	0.79	0.89	0.82	0.68
2	0.89	0.76	0.65	0.79	0.68
3	0.75	0.76	0.45	0.79	0.89
4	0.56	0.89	0.79	0.59	0.75
5	0.83	0.89	0.85	0.89	0.89
6	0.89	0.75	0.82	0.56	0.46
7	0.75	0.89	0.89	0.75	0.46
8	0.56	0.68	0.59	0.75	0.75
9	0.87	0.89	0.85	0.86	0.86
10	0.83	0.86	0.89	0.82	0.85
11	0.46	0.79	0.45	0.82	0.75
12	0.89	0.82	0.84	0.82	0.86
13	0.86	0.86	0.89	0.86	0.89
14	0.68	0.56	0.79	0.46	0.75
15	0.87	0.88	0.82	0.85	0.89
16	0.89	0.89	0.85	0.89	0.86
17	0.25	0.45	0.68	0.89	0.89
18	0.58	0.59	0.76	0.79	0.86
19	0.76	0.39	0.76	0.56	0.46
20	0.92	0.59	0.25	0.68	0.59

根据装备指挥员和专家的分析决策,利用层次分析法(AHP)对 5 个评估指标确定权重,利用式(1)和式(2)求出 5 个评价指标的权重值,如表 3 所示。

表3 评估指标的权重值

	安全防护性	交通便利性	通讯畅通性	易展性	地质条件
权重值	0.170 7	0.223 0	0.178 1	0.217 7	0.210 5

利用 B 型关联的 Topsis 方法,根据式(3)和式(4)计算出 20 个备选装备仓库的贴近度,如下:

$u_j = (0.32, 0.41, 0.32, 0.28, 0.66, 0.43, 0.43, 0.42, 0.49, 0.49, 0.44, 0.63, 0.64, 0.21, 0.58, 0.79, 0.47, 0.58, 0.65, 0.34, 0.48, 0.28, 0.41)$ 。

设定筛选标准为贴适度不小于0.4,则初始备选装备仓

库点为:备选仓库点5,备选仓库点9,备选仓库点10,备选仓库点12,备选仓库点13,备选仓库点15,备选仓库点16。

由GIS地理信息系统可得,7个初始备选装备仓库与装备分队的位置信息,如表4所示。

表4 初始野战库备选点备件供应时间及相关参数

	用装分队1	用装分队2	用装分队3	用装分队4	用装分队5	后方仓库	野战库容量 $S_j$
野战库备选点5	3	2.5	3	3	2.5	8	40
野战库备选点9	4	5.5	4	2.5	2	20	45
野战库备选点10	2	2.5	3	5.5	1.5	10	50
野战库备选点12	5	4	3.5	2	6	18	40
野战库备选点13	2.5	3.5	4	1.5	4	8	50
野战库备选点15	6.5	3.5	2	2.5	2	12	50
野战库备选点16	1.5	1.5	3.5	2.5	3.5	10	40
备件需求量	25	25	15	30	20	—	—
最大延迟时间	4	3.5	3.5	3	3	—	—
重要程度	0.18	0.25	0.1	0.15	0.32	—	—
参数 $\alpha_i$	0.6	0.75	0.3	0.5	0.9	—	—

根据作战方案可知野战库数量  $p=3$ ,专家和指挥员根据用装分队的重要程度,对各用装分队的时敏度参数取值见表3,备件供应延误惩罚因子  $\gamma=1$ 。

根据式(6)~式(15),利用遗传算法仿真计算,得出最大广义覆盖选址模型的最优方案为:仓库10,仓库13,仓库16。

## 5 结论

本文将选址问题分为两个阶段:第一阶段根据备选区域的作战环境以及装备仓库开设要求,初步评估筛选出装备仓库备选点;第二阶段考虑各装备分队的备件保障时效性约束和仓库容量约束,构建备件服务满意度函数,建立多目标的广义最大覆盖选址模型,计算得出最优选址方案。本文提出的方法能够解决战时多约束条件下的装备仓库选址问题。下一步可以针对供应时间不确定条件下的选址问题进行研究。

## 参考文献:

- [1] 李佳洋,王丹,刘洲,等. 低碳视角下混合多属性决策的物流园区选址方法[J]. 沈阳大学学报,2018,30(2):40-45.
- [2] 李文杰,陈静锋,郭崇慧,等. 基于AP聚类和集合覆盖模型的农电营业区域电费缴纳点选址研究[J]. 数学的实践与认识,2018,48(7):102-110.
- [3] SUDTACHAT K, MAYORGA M E, MCLAY L A. A Nested-Compliance Table Policy for Emergency Medical Service Systems under Relocation[J]. Omega, 2016, 58(6):154-168.
- [4] 卢媛媛,郭志坚,王宝玲,等. 趋近理想灰关联多约束的交通救援中心中值选址模型[J]. 公路交通科技,2018,35(7):118-123.

- [5] 朱晓静,冯雪松,郑琰,等. 应急服务设施选址优化研究[J]. 大连交通大学学报,2019,40(1):10-15.
- [6] 陈志芬,俊伟,卢方欣,等. 城市消防站选址布局优化及对雄安新区的启示[J]. 中国安全生产科学技术,2018,14(9):14-19.
- [7] 陈金. 战时战术级军械装备供应保障决策研究[D]. 石家庄:陆军工程大学,2016.
- [8] 宋艳,滕辰妹,姜金贵,等. 基于改进NSGA-II算法的多级服务设施备用覆盖选址决策模型[J]. 运筹与管理,2019,28(1):75-82.
- [9] 万艳春,陈秋岑. 基于采购违约风险的电力备件服务窗口选址研究[J]. 物流工程与管理,2018,40(3):114-119.
- [10] 刘永. 基于消防响应时间满意度的消防站布局优化研究[J]. 2014,30(10):23-26.
- [11] 肖俊华,侯云先. 带容量限制约束的应急设施双目标多级覆盖选址模型及算法[J]. 计算机应用研究,2015,32(12):3618-3621.
- [12] STOLL J, KOPF R, SCHNEIDER J, et al. Criticality Analysis of Spare Parts Management: A Multi-Criteria Classification Regarding a Cross-Plant Central Depot Strategy[J]. Production Engineering, 2015, 9(2):225-235.
- [13] 刘思峰,蔡华,杨英杰,等. 灰色关联分析模型研究进展[J]. 系统工程理论与实践,2013,33(8):2041-2046.
- [14] 孙昌玖,裴虹,刘丹,等. 考虑横向转运的震后应急物资协同调度研究[J]. 武汉理工大学学报,2018,40(4):389-395.
- [15] 李会鸽,韩跃平,郭静. 基于灰色简化B型关联度的图像边缘检测[J]. 红外技术,2017,39(2):163-167.