

陆相林, 马飒, 杨莉虹, 等. 增建与公平情景下城市应急物资储备库网络优化模型[J]. 灾害学, 2023, 38(3): 168–172.
[LU Xianglin, MA Sa, YANG Lihong, et al. Network Optimization Model of Urban Emergency Material Reserve under the Scenario of Expansion and Equity [J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38 (3): 168 – 172. doi: 10.3969/j.issn.1000 – 811X.2023.03.026.]

增建与公平情景下城市应急物资储备库网络优化模型^{*}

陆相林, 马 飒, 杨莉虹, 赵佳娜

(石家庄学院 经济管理学院, 河北 石家庄 050035)

摘 要: 增建应急物资储备库以健全城市应急物资保障体系, 实现城市应急物资储备库网络优化的同时保持“空间正义”对于城市应急物资保障能力提升极为重要。该文以科学增建城市应急物资储备库和公平调度应急物资为目标, 构建了基于加权距离方差最小准则的公平设施选址模型, 设计了拉格朗日松弛启发式算法求解模型, 选取石家庄市为例实证了模型的有效性。

关键词: 城市; 应急物资; 储备库网络; 公平设施选址; 增建设施选址; 石家庄市

中图分类号: X45; X915.5; F259.27 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2023)03–0168–00

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2023.03.026

随着城市化进程的不断加快, 城市公共安全风险也在逐步累积, 城市突发事件的频度以及破坏程度也有增加趋势, 城市应急管理成为城市必备的功能之一^[1]。城市应急管理需要构建布局优化、救助及时、调度畅通、应变灵活的应急物资储备库网络。我国政府高度重视应急物资储备保障工作, 1998 年至今形成了中央—省—市—县—乡(镇)五级应急物资储备体系。然而, 持续 3 年多的新冠肺炎疫情表明, 应急物资储备不足仍是影响应急救援工作的核心要素。因此, 对于城市而言, 在充分发挥现有应急物资储备库作用的同时, 考虑其增建情景极为必要。

城市应急物资储备库网络优化属于应急公共服务设施选址问题研究的范畴。传统应急公共服务设施选址往往基于经验采用主观决策方法, 对复杂多变的实际环境条件和诸多影响因素考虑较少, 难以从科学、严谨角度做出理性判断^[2]。而设施选址理论则可以弥补上述缺陷。设施选址(facility location)研究多强调选址决策中的定量分析, 常常基于需求点、设施点、需求点与设施点距离、距离准则、优化准则等要素完成整数规划模型构建, 通常构建启发式算法完成模型求解。设施选址问题作为管理科学研究的重点领域之一, 效率往往是其考虑的核心问题; 然而, 在很多情况下, 特别是在公共设施选址问题中, 效率准则并不是唯一准则, 公平性准则也是一条非常重要的准则。公共资源的空间配置一直是效率与公平的折衷^[3]。如何在实现公共资源的优化配置的同时保持“空间正义”^[4–5]? 如何采用定量方法对公共服务设施的标准与布局进行研究? 如何满足不同地区居民对

基本应急公共服务的需求, 做到远近兼顾? 本研究将引入设施选址理论中的公平设施选址模型, 实现城市应急物资储备库配置的公平化目标。

公平和正义一直是国内外学者关注的热点问题^[4,6]。尽管公平是决策制定中的关键准则之一, 然而自从 WEBSTER 明确界定“公平(equity)”即指“正直、公正、正义(fairness, impartiality, justice)”以来, 有关“如何实现公平?”学者们仍仁者见仁, 智者见智。社会学家、法学家、经济学家、地理学家、公共管理人员和管理科学学者从不同视角, 对什么是公平和如何实现公平的问题进行了相关研究。一般认为, MUMPHREY 等^[7], MCALLISTER^[8]、SAVAS^[9]是设施选址中公平问题的最早研究者。但有关如何衡量设施选址中的公平性, 目前仍未达成统一的认识。

国外学者有关设施选址公平性的研究, 主要围绕构建公平选址模型和求解算法两个主线展开^[10–11]。第一条主线讨论什么是公平, 公平准则具有哪些特征, 如: MAIMON^[12]提出了公平准则中的方差原则, MULLIGAN^[13], MANDELL^[14], BOZORGI-AMIRI 等^[15]提出了更多的公平准则, ERKUT^[16]则从公平的对立面——不公平(inequity)角度进行了相关研究^[17]; MARSH 等^[18], MESA 等^[19], BOZORGI-AMIRI 等^[15]则对不同公平准则下设施选址问题网络优化模型进行了综述; KARSU Ö 等^[20]把公平设施选址问题进一步划分为横向公平和纵向公平设施选址问题; BARBATI 等^[11]总结了不同公平准则下的离散设施选址模型特征, 并进

^{*} 收稿日期: 2022–09–17 修回日期: 2023–01–28

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目“京津冀城市群应急物资储备库网络协同发展研究”(D2019106020)

第一作者简介: 陆相林(1977–), 男, 汉族, 河南台前人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事应急设施选址研究。

E-mail: luxianglin1@126.com

行了对比分析。第二条主线是为公平准则下的设施选址问题提供有效的算法^[21-22], 较为典型的有: DREZNER T 等^[23]研究了带有公平性目标的平面上单个设施点选址问题, 并用“大三角小三角”(Big Triangle Small Triangle, 简称为 BTST)进行了求解。PUERTO 等^[24]则对公平准则下的面状服务设施选址(extensive facility location problems)问题进行了研究。SÁNCHEZ-ORO 等^[21]提出了多目标 K-均衡中心公平选址问题, 设计了策略振荡杂交路径重联算法加以求解。FILIPPI 等^[10]研究了考虑公平和成本目标的单源容量限制设施选址(Fair Single-Source Capacitated Facility Location, F-SS-CFL)问题, 设计了加权求和法和 bender 分解法算法。

国内学者方面, 首先较早关注了交通公平问题, 如: 陈方和戢晓峰^[25-26]分析了城市交通政策对交通公平的影响, 并综述了国内外城市交通公平研究进展; 杨庭^[27]实证了广州市交通表现为不公平特征; 汪丽等^[28]对西安市居民步行交通公平问题展开研究, 构建了可达性公平指数。其次, 部分学者关注了设施选址公平性的研究, 卢晓珊等^[29]构建了考虑公平约束的换乘停车场双目标规划模型; 许基伟等^[30]实证了武汉市城区公园绿地空间表现为公平特征; 张晓荣等^[31]研究了空间公平视角下社区公园布局问题; 黄经南等^[32]实证了武汉市公共服务设施布局表现为公平特征。

总结学者有关设施选址公平问题研究的特点为: ①多研究平面上的设施选址公平问题, 即假设需求点是离散的, 而设施点可在其所在可行平面内任一位置选取^[10,33], 设施点与需求点之间距离一般用欧氏距离表示。②公平选址有诸多原则^[34], 单设施选址公平问题中基尼系数最小准则较为有效^[33], 多设施选址公平问题中加权距离方差最小准则较为有效^[19], 多准则评价方法近年来也得到广泛探究^[18]。③模型的验证多用算例仿真, 较少结合城市实证, 考虑公平与增建情景, 构建多设施选址模型成果较少。

因此, 本研究考虑增建情景, 引入设施选址公平准则, 构建了加权距离方差最小的公平设施选址模型, 设计了拉格朗日松弛启发式算法, 选取石家庄市为例实证检验模型的有效性。

1 模型构建

1.1 假设与符号定义

①假设城市应急物资需求和城市应急物资储备库以点状产生, 有多个应急物资需求点 j , 用 I 表示其全体, m 表示其总数; 假设存在多个城市应急物资储备库(设施点) j , 用 J 表示其全体, n 表示其总数。②用 d_{ij} 表示应急物资储备库与需求点之间的距离, 其中: d_{ij}^{Pr} 指代已有应急物资储备库 i 至应急物资需求点 j 的距离; d_{ij}^{Ne} 指代新建应急物资储备库 i 至应急物资需求点 j 的距离。③在应急救助中, 出于人道主义, 全社会都会尽其全力进行救助, 故假设各个应急物资需求点都在覆盖(服务)半径之内, 应急物资储备库(设施点)覆盖半径用距离表示。④假设各应急物资需求点优先接受距其最近储备库(设施点)的覆盖, 且各储备库(设施点)服务能力强, 能较好满足该需求点的需求。

⑤为了节约建设维护成本, 需要限制应急物资储备库个数, 用 p 指代由于成本约束, 实际可选择修建的城市应急物资储备库(设施点)总数, $p \leq n$ 数, 设其中已有应急物资储备库个数为 p^{Pr} , 新建应急物资储备库个数为 p^{Ne} 。⑥ a_i 表示应急物资需求点 i 的人口数量, x_{ij}^{Pr} 为 $0 \sim 1$ 变量, 已有应急物资储备运输时, 如果应急物资需求点 i 被应急物资储备库 j 提供服务, 则取 1 值, 否则, 取 0 值; x_{ij}^{Ne} 为 $0 \sim 1$ 变量, 新建应急物资储备运输时, 如果应急物资需求点 i 被应急物资储备库 j 提供服务, 则取 1 值, 否则, 取 0 值; y_j^{Pr} 指代已有应急物资储备库选取情况, 由于已有应急物资储备库已经存在, 故应该恒取 1 值; y_j^{Ne} 指 $0 \sim 1$ 变量, 当新建应急物资储备库 j 被选择进行设施建设, 则取 1 值, 否则, 取 0 值; \bar{d}_j 为设施点 j 至所有需求点 i 的权重平均距离, 有

$$\bar{d}_j = \frac{\sum_{i=1}^m a_i d_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_i} d_j \quad (1)$$

1.2 公平选址模型构建

(1)确定公平准则。应急公共服务是我国基本公共服务的内容之一, 其公平化意味着所涉及公众无地域、收入等身份差别而获得机会、结果大致均等的应急公共服务^[35]。据文献[9, 11, 12, 19, 23, 36]提出的公平准则, 特别是在文献[19]的基础上, 确定了加权距离方差最小的公平准则。

(2)计算或者测量得到各应急物资需求点至城市应急物资储备库(设施点)的最短距离, 用 d_{ij} 表示, 构建距离矩阵。这里的距离可以是欧氏距离, 也可以是行车距离、行车时间, 或者网络距离等。

(3)根据所得距离矩阵, 计算每一可选城市应急物资储备库(设施点)至各应急物资需求点的加权平均距离, 用 \bar{d}_j 表示。

(4)计算各应急物资需求点至城市应急物资储备库(设施点)之间的加权距离, 用 $a_i d_{ij}$ 表示; 并用之减去每一可选城市应急物资储备库(设施点)至各应急物资需求点的加权平均距离 \bar{d}_j , 得到每一需求点至设施点的离差, 取其平方, 即 $(a_i d_{ij} - \bar{d}_j)^2$; 构建关于各城市应急物资储备库(设施点)与应急物资需求点的加权离差平方的矩阵。

(5)基于加权离差平方矩阵, 构建实现加权距离方差最小的目标函数, 并结合实际设定相应的约束条件。所构建的模型如下:

$$\min \sum_{j=1}^{p^{Pr}} \sum_{i=1}^m a_i (d_{ij} - \bar{d}_j) x_{ij}^{Pr} + \sum_{j=p^{Pr}+1}^n \sum_{i=1}^m a_i (d_{ij} - \bar{d}_j) x_{ij}^{Ne}; \quad (2)$$

s. t. (subject to)

$$x_{ij}^{Pr} \leq y_j^{Pr}, \quad \forall i, j; \quad (3)$$

$$x_{ij}^{Ne} \leq y_j^{Ne}, \quad \forall i, j; \quad (4)$$

$$x_{ij}^{Pr} \leq 1, \quad \forall i; \quad (5)$$

$$x_{ij}^{Ne} \leq 1, \quad \forall i; \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{p^{Pr}} y_j^{Pr} + \sum_{j=p^{Pr}+1}^n y_j^{Ne} = p; \quad (7)$$

$$x_{ij}^{Pr} = 0, 1, \quad x_{ij}^{Ne} = 0, 1; \quad (8)$$

$$y_j^{Pr} = 1, \quad y_j^{Ne} = 0, 1, \quad \forall i, j. \quad (9)$$

上述模型中, 式(2)为目标函数, 遵从加权距离方差和最小原则, 可保证城市各应急物资储备库网络优化达到公平化目标。式(3)~式(9)为约束条件, 其中: 式(3)和式(4)保证只有应急物资

储备库 j 服务于应急物资需求点 i 时, 才有 $x_{ij} = 1$, 否则 $x_{ij} = 0$; 式(5)和式(6)限制需求点最多只能由一个应急物资储备库服务, 消除多点重复覆盖(服务)的可能; 式(7)限定已有和增建应急物资储备库总数量为 p ; 式(8)和式(9)限制各决策变量为 $0 \sim 1$ 整数变量。

1.3 算法设计

求解设施选址最小加权距离方差准则下的公平模型, 属于非线性整数规划问题, 是比 $NP - hard$ 问题^[37-39]更为复杂的问题, 求解极为困难。因此, 笔者提出, 模型求解过程中, 可以先求出(或测量出)应急物资需求点与城市应急物资储备库(设施点)之间的距离, 从而把原有的非线性整数规划问题转化为线性整数规划问题。尽管线性整数规划问题属 $NP - hard$, 难以求其精确解, 但可设计启发式算法求其近似解。拉格朗日松弛算法是求解 $NP - hard$ 问题的有效方法之一, 其求解质量可以通过拉格朗日松弛过程进行控制, 所以在设施选址问题中有广泛应用。本文模型采用了拉格朗日松弛算法求解。

第1步: 初始化各参数。设 k 为迭代次数, 有 $k \leftarrow 1$, 目标函数值上限 $UB \leftarrow +\infty$, 目标函数值下限 $LB \leftarrow -\infty$, 拉格朗日乘子初值 $\lambda_i^1 \leftarrow \bar{a} + \frac{1}{2}(a_i - \bar{a})$, $\forall i \in I$ (\bar{a} 为需求点人口平均值), 初次迭代步长参数 $\alpha^k \leftarrow 2$ 。

第2步: 求出 $a_i d_{ij}$ 、 \bar{d}_j , 并进而求得下式,

$$\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (a_i d_{ij} - \bar{d}_j)^2}{\sum_{i=1}^m a_i}, \forall i \in I, j \in J. \quad (10)$$

第3步: 求解拉格朗日松弛问题。寻找 p 个最小的

$$v_j^k \leftarrow \sum_{i \in I} \min \left(0, \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (a_i d_{ij} - \bar{d}_j)^2}{\sum_{i=1}^m a_i} - \lambda_i^k \right), \text{ 将与}$$

其标号相同的 y_j 值设为 1, 再通过下式,

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } y_j = 1, \text{ 并且 } \max_{j \in J^*} \left(\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (a_i d_{ij} - \bar{d}_j)^2}{\sum_{i=1}^m a_i} - \lambda_i^k \right), \forall i \in I, j \in J; \\ 0, & \end{cases} \quad (11)$$

求出 x_{ij}^k , 并计算上限值 Z_U^k 。

第4步: 通过下式,

$$\varphi_i = \max_{j \in J^*} \left(\frac{\sum_{j=1}^n (a_i d_{ij} - \bar{d}_j)^2}{\sum_{i=1}^m a_i} - \lambda_i^k \right), \forall i \in I, J^* = \{j | y_j = 1\}, j \in J. \quad (12)$$

找到加权距离方差公平选址问题的可行解, 计算 Z_L^k 。

第5步: 更新加权距离方差公平选址问题最优值的上下限 UB 和 LB 。 $UB \leftarrow \min(UB, Z_U^k)$; $LB \leftarrow \max(LB, Z_L^k)$ 。

第6步: 更新步长参数 α^k , 若 UB 连续 4 次迭代都没有改善, 则令 $\alpha^k \leftarrow \alpha^k / 2$ 。

第7步: 更新拉格朗日乘子。其中, 第 k 步长

t^k 公式为:

$$t^k = \frac{\alpha^k (Z_U^k - LB)}{\sum_{i \in I} (1 - \sum_{j \in J} x_{ij}^k)^2}. \quad (13)$$

拉格朗日乘子公式为:

$$\lambda_i^{k+1} = \max \{0, \lambda_i^k - t(1 - \sum_{j \in J} x_{ij}^k)\}, \forall i \in I. \quad (14)$$

通过式(13)和式(14)更新拉格朗日乘子。

第8步: 判定终止条件。当以下 4 个条件之一得以满足时, 终止运算,

$$\sum_{j \in J} x_{ij}^k = 1, \forall i \in I; \quad (15)$$

$$UB - LB \leq 0.3; \quad (16)$$

$$t^k \leq 0.0001; \quad (17)$$

$$k = 400. \quad (18)$$

第9步: 更新迭代次数。 $k \leftarrow k + 1$, 转到第 3 步。

2 实证研究

2.1 实证区域概况

石家庄市位于 $113^\circ 30' \sim 115^\circ 20' E$, $37^\circ 27' \sim 38^\circ 47' N$, 辖 8 区 13 县(市), 总面积 1.35 万 km^2 , 2021 年末常住人口 1 020.47 万, 其中市区面积 $2 206 \text{ km}^2$, 人口 796.52 万。共有 119 个镇, 82 个乡, 60 个办事处, 3 943 个行政村, 731 个居委会。目前, 石家庄市建设有国家粮食和物资储备局一三三处、一三五处、一五零处共三个国家物资储备库。除此这外, 响应国家政策要求, 石家庄市已经在各区县设立了各自的粮食和物资储备单位, 如表 1 所示。

2.2 增建城市应急物资储备库个数确定

结合所调查应急设施选址数据, 利用 Matlab 2014 进行仿真估测, 并向应急管理专家、应急行业(产业)从业、管理人士等咨询, 得到石家庄市应急物资储备库建设总数设定为 6 个较为合适, 包括 3 个已有和 3 个新建应急物资储备库。

2.3 应急物资储备库网络优化结果

基于所建数学模型和所设计的拉格朗日松弛算法, 在 Matlab 2014 上编程运行得选址结果(表 2)。由表 2 可知: ①石家庄市需增建 3 个市级应急物资储备库, 分别为: 行唐、高邑、深泽应急物资储备库, 以实现应急物资需求公平化目标。②考虑增建和公平情景基于公平设施选址模型优化, 石家庄市可形成国储一三三处、国储一三五处、国储一五零处、行唐、高邑、深泽 6 大应急物资储备库网络。具体而言: 国储一三三处应急物资储备库网络仅由鹿泉区构成, 服务半径(范围)为鹿泉区; 国储一三五处应急物资储备库网络由长安区、桥西区、新华区、裕华区构成, 服务半径为 6.6 km , 对应区(县)为裕华区; 国储一五零处应急物资储备库网络由井陉矿区、井陉县、平山县构成, 服务半径为 33.8 km , 对应区(县)为平山县; 行唐应急物资储备库网络由正定县、行唐县、灵寿县、新乐市构成, 服务半径为 44.2 km , 对应区(县)为正定县; 高邑应急物资储备库网络由井陉矿区、井陉县、平山县构成, 服务半径为 46.5 km , 对应区(县)为栾城区; 深泽应急物资储备库网络由深泽县、无极县、辛集市、藁城区、晋州市构成, 服务半径为 44.6 km , 对应区(县)为藁城区。

表 1 石家庄市应急物资储备相关单位全览

序号	名称	位置
1	河北省救灾物资储备中心	鹿泉开发区石柏南大街 169 号
2	国家粮食和物资储备局一三三处	鹿泉区龙泉路 56 号
3	国家粮食和物资储备局一三五处	平安南大街东平路 8 号
4	国家粮食和物资储备局一五零处	井陘县
5	行唐县粮食和物资储备局	玉城西大街 22 号
6	晋州市粮食和物资储备局	中兴路 420 号
7	无极县粮食和物资储备局	建设东路 12 正东方向 70 m
8	辛集市粮食和物资储备局	西华北路 122 号附近
9	元氏县粮食和物资储备局	常山路 102 号
10	井陘县粮食和物资储备局	建设南路 8 号
11	平山县粮食和物资储备局	冶河西路 95 号
12	深泽县粮食和物资储备局	南苑路 79 号
13	正定粮食和物资储备局	常山西路 1 号
14	赞皇县粮食和物资储备局	太行西路 288 号
15	井陘矿区粮食和物资储备局	矿市镇矿市北街 35 号
16	赵县粮食和物资储备局	柏林大街 22 号
17	高邑县粮食和物资储备局	府前路 151 号
18	灵寿县粮食和物资储备局	人民东路 88 号

资料来源: 政府网站

表 2 考虑增建和公平情景的石家庄市应急物资储备库网络优化结果

建设状态	储备库名称	服务区(县)	服务半径/对应区县	服务人口/万人
已有	国储一三三处	鹿泉区	0 km/鹿泉区	58.8
已有	国储一三五处	长安区、桥西区、新华区、裕华区	7.6 km/裕华区	397.3
已有	国储一五零处	矿区、井陘县、平山县	33.8 km/平山县	75.1
增建	行唐储备库	正定县、行唐县、灵寿县、新乐市	42.2 km/正定县	171.4
增建	高邑储备库	高邑县、栾城区、赞皇县、元氏县、赵县	46.5 km/栾城区	170.0
增建	深泽储备库	深泽县、无极县、辛集市、藁城区、晋州市	44.6 km/藁城区	251.1

注: 服务人口数据来源于石家庄市 2020 年底的各区(县)常住人口数据。

2.4 应急物资储备库网络建设建议

基于上述实证结果和分析结论, 提出如下建设建议:

(1) 石家庄市需增建 3 个远离市区的大型应急物资储备库。当前, 石家庄市现有的 3 个应急物资储备库皆位于市区或者毗连市区, 致使其应急物资服务功能不能较好服务于各偏远区县。经过公平选址模型的优化后, 3 个已有储备库的最大服务半径为 33.8 km, 3 个增建储备库的最大服务半径为 46.5 km, 6 个应急物资储备网络的最大服务半径皆限制于 50 km 之内, 较好的实现了公平化目标。因此, 石家庄市在已有的 3 个应急物资储备库基础上, 增建行唐、高邑和深泽 3 个大型应急物资储备库具有较强的合理性。

(2) 进一步加强对国储一三五处、行唐、高邑、深泽 4 个应急物资储备库网络的重点建设。由表 2 可知, 4 个储备库网络由多个区(县)构成, 服务人口数量大, 如: 国储一三五处服务人口高达 397.3 万人, 其次为深泽服务人口为 251.1 万人, 行唐、高邑服务人口也高达 170 万人以上。当重大突发事件发生时, 此 4 个储备库网络有可能面临应急物资调度任务过于繁重, 乃至应急物资短缺的困境, 因此今后需重点强化建设。

(3) 需要加强 6 大应急物资储备库网络内部的关键交通基础设施及相关配套设施建设。以 6 大应急物资储备库为中心, 加强应急物资调度关键交通基础设施建设, 扩大应急储备数量及种类, 构建区(县)一乡(镇、街道)一村(社区)应急物资储备共享体系, 形成高效互助协作机制。

(4) 提升应急物资储备库网络多元协同治理能力。实现应急物资储备库网络储存调配方案共制、信息技术共通、设施共建共享, 同时建立责任风险共担、多方利益诉求表达、监督约束和仲裁等运作机制, 以保障多元参与主体的功能协调和耦合。

(5) 推进应急物资调配信息化现建设。依托大数据、区块链等先进信息技术构建基于预测分析、跨部门多元融合、上下联动的一体化应急指挥信息平台, 快速提高数据采集能力, 高效调度应急物资, 合理规划运输路线, 实现应急物资快速匹配和快速调拨, 确保及时、有效、合理地防控和应对突发事件。

3 结论与讨论

本文以实现城市应急物资储备库科学增建和应急物资公平调度为目标, 构建了考虑增建和公平情景、加权距离方差最小的设施选址规划模型, 设计了拉格朗日松弛启发式算法求解模型, 选取石家庄市为例实证了模型的有效性。本研究可为城市应急物资调度科学化、应急公共服务设施布局公平化、城市公共安全规划空间正义化提供重要循证决策依据。需要讨论之处: 公平作为几千年来人类关注的核心问题之一, 本文只是选取了公平选址理论中代表性的加权平均原则构建了数学模型并加以实证, 未来可进一步考虑纵向公平原则、多准则评价公平原则等展开相关研究。

参考文献:

- [1] 巩宜萱, 史益豪, 刘润泽. 大安全观: 超大型城市应急管理的理论构建——来自深圳的应急管理实践[J]. 公共管理学报, 2022, 19(3): 46–57, 168.
- [2] 皮骏, 吉亚铭, 齐福强. 超大城市航空应急救援场点布局优化[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(6): 140–146.
- [3] 田玲玲, 张晋, 王法辉, 等. 公平与效率导向下农村公共医疗资源的空间优化研究——以湖北省仙桃市为例[J]. 地理科学, 2019, 39(9): 1455–1463.
- [4] 靳文辉. 空间正义实现的公共规制[J]. 中国社会科学, 2021(9): 92–113, 206–207.
- [5] 陈洪连, 李慧玲. 我国城市空间治理的现实困境与逻辑进路——基于都市马克思主义学派空间正义理论的分析[J]. 东岳论丛, 2022, 43(3): 174–181.
- [6] 朱莉, 曹杰, 顾珏, 等. 公平缓解灾民创伤下的应急物资动态调配研究[J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40(9): 2427–2437.
- [7] MUMPHREY A J, SELEY J E, WOLPERT J. A decision model for locating controversial facilities[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1971, 37(6): 397–402.
- [8] MCALLISTER D M. Equity and efficiency in public facility location[J]. Geographical Analysis, 1976, 8(1): 47–63.
- [9] SAVAS E S. On equity in providing public services[J]. Management Science, 1978, 24(8): 800–808.
- [10] FILIPPI C, GUASTAROLA G, SPERANZA M G. On single – source capacitated facility location with cost and fairness objectives[J]. European Journal of Operational Research, 2021, 289(3): 959–974.
- [11] BARBATI M, BRUNO G. Exploring similarities in discrete facility location models with equality measures[J]. Geographical Analysis, 2018, 50(4): 378–396.
- [12] MAIMON O. The variance equity measure in locational decision theory[J]. Annals of Operations Research, 1986, 6(5): 147–60.
- [13] MULLIGAN G F. Equality measures and facility location[J]. Papers in Regional Science, 1991, 70(4): 548–561.
- [14] MANDELL M B. Modelling effectiveness – Equity trade – offs in public service delivery systems[J]. Management Science, 1991, 37(4): 467–482.
- [15] BOZORGI – AMIRI A, HOSSEINZADEH A. Equitable multi objective model for public facility location using RLTP technique[J]. Journal of Industrial and Systems Engineering, 2018, 11(2): 101–113.
- [16] ERKUT E. Inequality measures for location problems[J]. Location Science, 1993, 1(3): 199–217.
- [17] TAO Z, WANG Q. Facility or Transport Inequality? Decomposing healthcare accessibility inequality in Shenzhen, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(11): 6897.
- [18] MARSH M T, SCHILLING D. Equity measurement in facility location analysis: a review and framework[J]. European Journal of Operational Research, 1994, 74(1): 1–17.
- [19] MESA J A, PUERTO J, TAMIR A. Improved algorithms for several network location problems with equality measures[J]. Discrete Applied Mathematics, 2003, 130(3): 437–448.
- [20] KARSU Ö, MORTON A. Inequity averse optimization in operational research[J]. European journal of operational research, 2015, 245(2): 343–359.
- [21] SÁNCHEZ – ORO J, LÓPEZ – SÁNCHEZ A D, MARTÍNEZ – GAVARA A, et al. A hybrid strategic oscillation with path relinking algorithm for the multiobjective k – balanced center location problem[J]. Mathematics, 2021, 9(8): 853–874.
- [22] FILIPPI C, GUASTAROLA G, HUERTA – MUÑOZ D L, et al. A kernel search heuristic for a fair facility location problem[J]. Computers & Operations Research, 2021, 132(8): 105292.
- [23] DREZNER T, DREZNER Z. Equity models in planar location[J]. Computational Management Science, 2007, 4(1): 1–16.
- [24] PUERTO J, RICCA F, SCOZZARI A. Extensive facility location problems on networks with equity measures[J]. Discrete Applied Mathematics, 2009, 157(5): 1069–1085.
- [25] 陈方, 耿晓峰. 城市交通政策对交通公平的影响分析[J]. 昆明理工大学学报(社会科学版), 2011, 11(2): 7–10.
- [26] 陈方, 耿晓峰, 张宏达. 城市化进程中交通公平的研究进展[J]. 人文地理, 2014, 29(6): 10–17.
- [27] 杨庭. 广州市交通出行公平研究——公共交通与私人交通的比较[D]. 广州: 广州大学, 2012: 26–39.
- [28] 汪丽, 任晓慧, 孙海文, 等. 西安市不同类型社区居民日常活动步行交通公平研究[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(5): 64–71.
- [29] 卢晓珊, 黄海军. 带有空间公平性约束的换乘停车场布局双目标规划模型[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(9): 2379–2385.
- [30] 许基伟, 方世明, 刘春燕. 基于 G2SFCA 的武汉市中心城区公园绿地空间公平性分析[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 430–440.
- [31] 张晓荣, 杨辉. 空间公平视角下黄土沟壑区县城社区公园布局研究——以延安市子长县为例[J]. 华中建筑, 2019(4): 67–70.
- [32] 黄经南, 朱恺易. 基于 POI 数据的武汉市公共服务设施布局社会公平绩效评价[J]. 现代城市研究, 2021 36(6): 24–30.
- [33] DREZNER T, DREZNER Z, GUYSE J. Equitable service by a facility: Minimizing the Gini coefficient[J]. Computers and Operations Research, 2009, 36(12): 3240–3246.
- [34] ENAYATI S, MAYORGA M E, TORO – DIAZ H, et al. Identifying trade – offs in equity and efficiency for simultaneously optimizing location and multipriority dispatch of ambulances[J]. International Transactions in Operational Research, 2019, 26(2): 415–438.
- [35] 李金泽, 唐芃, 龙灏. 基于多源数据的城市公共应急服务设施选址模型研究[J]. 建筑科学, 2021, 37(12): 62–70, 168.
- [36] BERMAN O, KAPLAN E H. Equity maximizing facility location schemes[J]. Transportation Science, 1990, 24(2): 137–144.
- [37] KARIV O, HAKIMI S. An algorithmic approach to network location problem[J]. SIAM Journal of Applied Mathematics, 1979, 37(3): 513–560.
- [38] MEGIDDO N, ZEMEL E, HAKIMI S L. The maximum coverage location problem[J]. SIAM Journal on Algebraic and Discrete Methods, 1983, 4(2): 253–261.
- [39] OWEN S H, DASKIN M S. Strategic facility location: A review[J]. European Journal of Operational Research, 1998, 111(3): 423–447.

Network Optimization Model of Urban Emergency Material Reserve under the Scenario of Expansion and Equity

LU Xianglin, MA Sa, YANG Lihong, ZHAO Jiana

(School of Economics and Management, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China)

Abstract: As far as the improvement of the urban emergency material support capacity is concerned, it is extremely important for building additional emergency material reserves to improve their emergency material support system and for realizing the optimization of the urban emergency material reserves network while maintaining “spatial justice”. This study aims at the scientific construction of urban emergency materials reserve network and the fair dispatch of emergency material to formulate the optimization model of urban emergency materials reserve network considering the expansion construction and fair situation. The Lagrange relaxation algorithm is used to solve the model, and an empirical study is carried out by taking Shijiazhuang City of Hebei Province as an example.

Keywords: city; emergency materials; depository; equitable facility location; location for expansion facilities; Shijiazhuang City