

陆相林, 赵佳娜, 陈景昭. 拥挤约束型城市应急物资储备库网络功能优化模型——以河北省石家庄市为例[J]. 灾害学, 2024, 39(1): 75–79. [LU Xianglin, ZHAO Jiana, CHEN Jingzhao. Functional Optimization Model of Urban Emergency Material Reserve Network Considering the Congestion Scenario——A Case Study of Shijiazhuang City in HeBei Province[J]. Journal of Catastrophology, 2024, 39(1): 75–79. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2024.01.013.]

拥挤约束型城市应急物资储备库网络功能优化模型^{*}

——以河北省石家庄市为例

陆相林, 赵佳娜, 陈景昭

(石家庄学院经济管理学院, 河北 石家庄 050035)

摘 要: 应急物资的合理储备和运输分配是应急管理中防灾减灾救灾的基础。重大风险处置过程中, 应急物资调配极易因拥挤而发生时间延迟, 故考虑其拥挤情景的约束极为必要。然而, 当前考虑拥挤约束以及结合区域加以实证的应急物资调配研究成果偏少, 其研究广度和深度有待加强。因此, 该文提出了拥挤约束型城市应急物资储备库网络功能优化问题。基于排队理论设计拥挤约束条件, 并从覆盖半径内需求满意距离递减、交通方式多样化、交通通达程度复杂化等视角, 对传统应急物资储备库功能优化模型加以改进, 构建了拥挤型单目标无容量限制设施选址模型, 并设计了求解的启发式算法。把所构建模型应用于河北省石家庄市应急物资储备库网络优化, 并从城市群、多影响以及等级优化视角提出拓展研究的方向。

关键词: 设施选址; 城市应急物资储备库网络; 拥挤系统; 功能优化模型; 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(2024)01–0075–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2024.01.013

科学有效的应急物资调配及优化供应可将风险事故损失降至原来损失的6%^[1]。拥挤(congested)情景在应对重大风险问题时经常出现。对于应急物资调配, 极易因拥挤而延迟, 故考虑应急物资调配中的拥挤情景极为必要。然而, 当前有关考虑拥挤约束下应急物资调配优化的成果极少。有关拥挤情景的描述, 学者习惯采用排队论加以定量描述分析。LARSON等^[2]首先引入排队论用之描述设施选址问题中的拥挤情景约束。SHAVAND等^[3]构建了拥挤约束模糊型最大覆盖选址模型。MARIANOV等^[4]把排队论中的M/Er/m/N模型应用于对设施选址拥挤问题的描述。BERMAN等^[5]对考虑拥挤情景的随机选址问题进行了综述。WANG等^[6]基于城市交通拥堵背景, 构建了用于医院优化配置的多目标空间优化模型, 并设计了NSGA–II算法加以求解。WANG等^[7]提出考虑拥挤和交通平衡问题的连续设施选址问题, 并设计了偏微分方程进行求解。

国内方面, 常玉林等^[8]提出了考虑拥挤情景的可变导向车道自适应模型, 并使用VISSIM及其VISVAP验证所构建模型的有效性。方志祥等^[9]设计了基于多源数据的等级拥挤区间探测方法。田思琪等^[10]对城轨交通站点局部拥堵风险等级评价问题展开研究, 设计了相关评价方法。常玉林

等^[11]基于排队论视角构建了拥挤型城市应急设施选址问题的M/G/1的模型。

同时, 学者对应急物资储备库网络优化问题也展开了大量研究。张磊^[12]构建了考虑时序变化拥挤情景的应急物资需求预测模型。陆相林等^[13]构建了考虑增建与公平特征的城市应急物资储备库网络优化模型, 并应用于石家庄市。王飞飞等^[14]构建了考虑道路风险和交通满意的应急物资储备库动态多重覆盖选址模型, 并以北京延庆为例加以实证。胡建华等^[15]综述了我国应急物资储备研究主要领域及趋势。张忠义等^[16]构建了考虑等级特征的防汛应急物资储备库公私协同模型。魏宇琪等^[17]探索了应急物资储备库联动方法。刘晋等^[18]构建了基于自适应遗传算法(AGA)的应急物资调配优化模型。张聆晔等^[19]构建了海上应急物资储备库选址模型。郝蒙浩等^[20]设计了变邻域算法并对应急救援物资储备设施选址方法进行求解。张聆晔^[18]构建了海上应急物资储备库选址模型。陆相林等^[21]提出了利用现有应急服务设施实现应急物资调配的规划模型, 并命名为“功能优化模型”, 并初步探讨了应急医疗服务中的拥挤问题^[22]。

* 收稿日期: 2023–04–24

修回日期: 2023–07–20

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, 主要从事应急管理、管理工程研究。

E-mail: luxianglin1@126.com

综上所述,学者基于设施选址理论对应急物资储备网络优化的模型构建、算法设计等展开了大量研究,但在考虑拥挤约束,以及结合区域实证方面的成果偏少,综合拥挤约束条件和应急物资储备库网络功能优化的设施选址问题研究尚待进一步加强。因此,本文针对城市应急物资调配中可能存在的拥挤情况,构建了拥挤情景约束下混合整数规划模型,并以河北省石家庄市为例进行实证,以期成果能为我国城市应急管理工作的科学化提供理论支撑。

1 拥挤约束型城市应急物资储备库网络功能优化模型构建

考虑拥挤约束的城市应急物资储备库网络功能优化问题以应急物资调配过程中拥挤情景为约束,通过构建拥挤型设施选址模型和设计特定求解算法,实现城市内现有应急物资储备库对城市受灾点(应急物资需求点)服务的整体优化。

1.1 基本假设

1)假设城市区域灾害发生时,各应急物资储备库及受灾点表现为点状分布。

2)城市应急物资储备库对城市应急物资需求点的响应时效是实现城市应急物资储备库网络整体优化的基础,由于响应空间距离与响应时间二者可以相互转化,因此为了简化问题且保证分析的普适性,本文选取响应空间距离进行分析。

3)基于建设成本节约和维护成本高效原则,限定城市应急物资储备库总个数为 p 个。

4)假设城市应急物资需求存在时间间隔,时间间隔服从泊松分布规律;城市应急物资调配存在时间间隔,服从负指数分布规律。

5)假设城市应急物资储备库无容量限制,一个受灾点(应急物资需求点)最多只接受一个城市应急物资储备库服务即能满足需求。

1.2 符号定义

对拥挤型城市应急物资储备库网络功能优化模型作出如下符号定义:

i 、 J 分别指代受灾点(即应急物资需求点)及其全体; i 、 J 分别指代城市应急物资储备库及其全体; p 为城市拥有的具备现实应急物资供给功能的应急物资储备库总个数; v_i 表示城市受灾点 i 的受灾人口数量; k 指代应急物资调配所采用的交通类型, K 为应急物资调配所采用的交通类型的全集,有 $k \in K$; R_{ijk} 为从应急物资储备库 J 采用第 k 类交通类型运输应急物资时至受灾点 i 的距离; E_i 指代受灾点 i 接受应急物资支援的紧急程度,取值范围设定为 $[0, 1]$,越接近 1,需要得到应急物资支援的紧急程度越高,反之则低; SD_{ijk} 为采取第 k 种交通类型由受灾点 i 调配应急物资至城市应急物资储备库 j 时受灾点群众的满意程度参数,有

$$SD_{ijk} = 1 - \frac{R_{ijk} - \min\{R_{ijk}\}}{\max\{R_{ijk}\} - \min\{R_{ijk}\}} \quad (1)$$

$$= \frac{\max\{R_{ijk}\} - R_{ijk}}{\max\{R_{ijk}\} - \min\{R_{ijk}\}}$$

x_{ijk} 指代城市应急物资储备库网络功能优化中的需求指派决策变量,属 $0 \sim 1$ 整数变量,当城市应急物资储备库 j 采取第 k 种交通类型调配应急物资至受灾点 i 时,则取 1 值,否则,取 0 值; y_{jk} 指

代城市应急物资储备库网络功能优化中的应急物资储备库决策变量,对于功能优化模型而言,恒等于 1,意指各应急物资储备库已经存在,只需考虑现有应急物资储备库的功能优化,而无须考虑增建情景。

1.3 模型

本研究将对文献[21]构建的优化模型从目标函数和约束条件两个方面加以改进,从而得到考虑拥挤约束的城市应急物资储备库网络优化模型。

1.3.1 城市应急物资储备库网络优化模型目标函数改进

本研究在文献[21]的基础上,进一步考虑了受灾点所在区域的交通通达状况对优化结果的影响,在目标函数引入参数 t_i , t_i 是用于描述受灾点 i 交通通达状况的参数,取值为 $[0, 1]$, c_i 是受灾点 i 的平均拥堵延时指数, t_i 计算公式如下,

$$t_i = 1 - \frac{c_i}{\max\{c_i\}} = \frac{\max\{c_i\} - c_i}{\max\{c_i\}} \quad (2)$$

故城市应急物资储备库网络优化模型目标函数为:

$$Z = \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} VA_i \cdot E_i \cdot t_i \cdot SD_{ijk} \cdot x_{ijk} \quad (3)$$

1.3.2 城市应急物资储备库网络优化模型增加拥挤约束条件

当考虑应急物资调配中存在拥挤约束时,上述模型需加入新的约束条件,即

$$P(W_j^q \leq T) \geq \alpha, \forall j. \quad (4)$$

式(4)保证了应急物资调配中每一受灾点的等待时长不超过 T 的概率大于等于 α 。其中, W_j^q 指拥挤约束下应急物资储备库 j 在应急物资调配中平均所需时间的期望值, T 为 W_j^q 的一个临界常数。

根据 MARIANOV 和 SERRA(1998)的证明,以及文献[22]的做法,式(4)可进一步转变为:

$$\sum_{i \in I} f_i x_{ij} \leq \mu_j + \frac{1}{T} \ln(1 - \alpha), \forall j. \quad (5)$$

这里 f_i 指的是受灾点 i 需求时间间隔遵从泊松分布条件下的服务需求率(demand rate for service); μ_j 指应急物资储备库 j 应急物资调配的总服务效率,应急物资调配耗时分布遵从负指数分布。

1.3.3 拥挤型城市应急物资储备库网络功能优化模型

综上所述,得到考虑拥挤约束的城市应急物资储备库网络优化模型如下:

$$Z = \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} VA_i \cdot E_i \cdot t_i \cdot SD_{ijk} \cdot x_{ijk}; \quad (3)$$

s. t. (subject to)

$$\sum_{i \in I} f_i x_{ij} \leq \mu_j + \frac{1}{T} \ln(1 - \alpha), \forall j; \quad (5)$$

$$x_{ijk} \leq 1, \forall i, j, k; \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijk} \leq 1, \forall i; \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} y_{jk} = p, \forall k; \quad (8)$$

$$x_{ijk} = 0, 1, y_{jk} = 1, \forall i, j, k. \quad (9)$$

式中:目标函数式(3)保证受灾点受灾群众接受应急物资供给服务后总满意程度最大化;约束条件式(5)是拥挤型约束条件约束;约束条件式(6)意指应急物资储备库 j 采用第 k 种交通类型调配应急物资至受灾点 i 时,才有 $x_{ijk} = 1$,否则, $x_{ijk} = 0$;约束条件式(7)保证各应急物资储备库在无容量限

制条件下高效提供服务, 一个受灾点最多只接受一个应急物资储备库的服务即可满足需求; 约束条件式(8)限定现有应急物资储备库总数为 p ; 约束条件式(9)限定 x_{ijk} 为 0-1 整数变量, y_{jk} 则恒等于 1。

1.4 算法分析

本文所建模型属于混合线性整数规划模型, 大型的此类模型的求解属于 $NP-hard$ 难题^[23-24], 采用一般的商业计算软件或者传统精确算法不能求得精确解, 需要设计人工智能或者启发式算法等求其近似解。

由于石家庄市域内公路交通为主要交通方式, 故有模型中 $k=1$; 而且, 为了体现应急物资储备库调配服务的公平性, 设定石家庄市各受灾点接受应急物资支援的紧急程度无差异, 即有 $E_i=1$ 。受灾点 i 的平均拥堵延时指数 c_i 由高德地图城市交通中城市详情予以查询得到, 然后利用式(2)计算得到受灾点 i 交通通达状况指数 t_i 值。设定各应急物资储备库已经现实存在(即有 $y_{jk}=1$), 模型求解的任务是确定 x_{ijk} 的值。

考察模型特点, 设计如下启发式算法步骤:

1): 对 v_i 、 E_i 、 t_i 赋值, 利用式(1)求得 SD_{ijk}^0 值;

2): 对任一受灾点 i , 计算该受灾点 i 接受应急物资支援时的 $v_i E_i t_i SD_{ijk}^0$ 值, 并对所得各 $v_i E_i t_i SD_{ijk}^0$ 值由大到小进行排序, 优先选取 $v_i E_i t_i SD_{ijk}^0$ 值最大者, 设定其所接受应急物资支援的储备库编号为 j , 并验证约束条件中(5)式是否成立, 如(5)式条件成立, 则设定此时的 $x_{ijk}=1$, 如不成立, 则选取 $v_i E_i t_i SD_{ijk}^0$ 值中排名为第二最大者, 设定其所接受应急物资支援的储备库编号为 j' , 再次验证约束条件中(5)式是否成立, 如(5)式条件成立, 则设定此时的 $x_{ijk}=1$, 以此类推, 其他 $x_{ijk}=0$;

3): 由第 2 步操作所得 x_{ijk} 值, 确定各应急物资储备库对受灾点的应急支援服务联系以及服务半径。

2 实证分析

2.1 实证区概况

石家庄市所处地理位置为 $113^{\circ}30' \sim 115^{\circ}20'E$, $37^{\circ}27' \sim 38^{\circ}47'N$, 总面积约 $13\ 500\text{ km}^2$, 2021 年

末常住人口约 1 120.47 万, 辖 8 个区、13 个县(市)。同时, 考虑到辛集市历史上属于石家庄市, 且当前石家庄市数据仍习惯于把其统计在内, 故本研究把辛集市作为实证对象的一部分。目前, 石家庄市辖区内现有一三三处、一三五处、国储一五零处三个市级以上的应急物资储备库, 现正努力打造市级—县级—社区(乡、镇、街道)三级救灾物资储备体系。

2.2 拥挤参数值确定

即确定式(5)中的 f_i 和 μ_j 的值。其中, f_i 指的是受灾点 i 需求时间间隔遵从泊松分布条件下的服务需求率, 指重大突发事件发生时, 各受灾点平均每天需接受应急物资支援的出车次数(次/d)。 μ_j 指应急物资储备库 j 调配应急物资的总供给效率, 调配应急物资耗时分布遵从负指数分布(次/d)。

确定 μ_j 有乐观、悲观和折衷三个准则, 不同准则对应 μ_j 值有所不同。本研究基于乐观准则确定 μ_j 值, 即有

$$\mu_j = \max_i \{\mu_{ij}\}, \quad \forall i. \quad (9)$$

式中: μ_{ij} 指应急物资储备库 j 为需求点 i 服务的效率, 据高德地图发布的《2021 年度中国城市交通出行报告》^[25], 石家庄市平均车速为 0.51 km/min , 对于应急救助车速显然要大于上述调查的平均车速, 而平均出车时间则取陆相林等^[22]研究中的平均值 1.5 min , 因此有

$$\mu_j = (24 \times 60) / (2 \times d_j / 0.51 + 1.5). \quad (10)$$

由于石家庄市应急物资需求和应急物资储备库出车统计尚无有记载的历史记录可查, 笔者利用 Matlab2014 随机生成程序仿真石家庄市应急物资需求率统计情况(表 1)。

2.3 优化配置依据

高德地图隶属阿里巴巴公司, 拥有甲级测绘资质, 活跃用户稳居地图导航第一。故本研究把石家庄市各区县抽象为受灾点, 采用“高德地图”网站的测距功能测得应急物资储备库与受灾点之间的公路交通距离。

2.4 优化结果

根据收集的受灾点人口、公路交通通达状况等数据, 编写算法的 MATLAB 程序, 求得优化结果(表 2)。由表 2 可得: 石家庄市基于现有的一三三处、一三五处、国储一五零处三个应急物资储备库可构建 3 个应急物资调配网络(图 1)。

表 1 石家庄市下辖各区(县、市)县需出车次数

区县	平均每天需出车次数 f_i /(次/d)	区县	平均每天需出车次数 f_i /(次/d)
长安区	15.19	深泽县	6.00
桥西区	17.82	赞皇县	9.10
新华区	18.84	无极县	7.78
裕华区	14.58	平山县	14.83
矿区	13.88	元氏县	11.06
井陉县	16.82	赵县	8.41
正定县	13.53	辛集市	6.30
栾城区	11.08	藁城区	9.44
行唐县	9.20	晋州市	7.72
灵寿县	12.94	新乐市	9.12
高邑县	7.89	鹿泉区	29.43

注: 数据来源于 Matlab2014 随机生成程序仿真

表 2 考虑拥挤约束的石家庄市应急物资储备库网络优化结果

现有储备库名录	位置	优化后服务区 (县、市)	服务半径/对应区 (县、市)	服务人口/万人
一三三处储备库	鹿泉区龙泉路 56 号	鹿泉区、灵寿县、平山县	30.4 km/灵寿县	132.07
一三五处储备库	桥西区平安 南大街东平 路 8 号	桥西区、长安区、新华区、裕华区、 正定县、栾城区、行唐县、高邑 县、深泽县、赞皇县、无极县、元 氏县、赵县、辛集市、藁城区、晋 州市、新乐市	74.8 km/深泽县	958.64
一五零处储备库	井陉县	井陉县、井陉矿区	11.1 km/井陉矿区	32.80

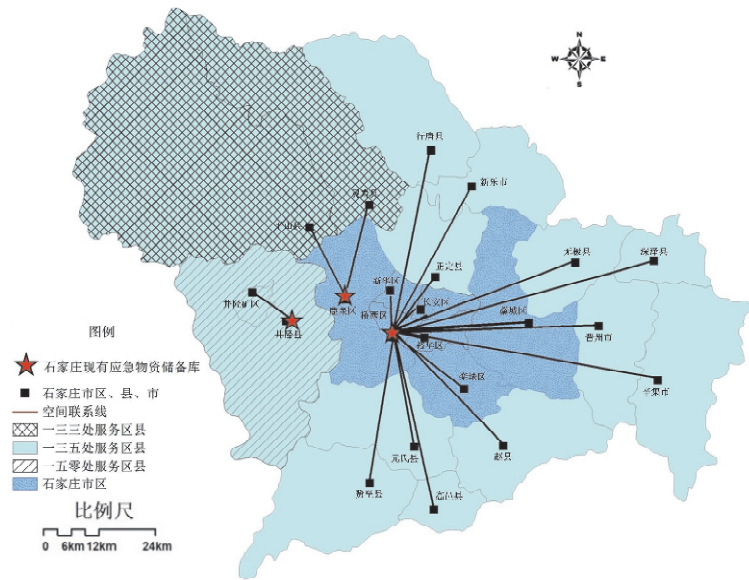


图 1 考虑拥挤约束的石家庄市应急物资储备库网络优化图

(注：底图基于自然资源部标准地图服务系统下载的审图号为 GS(2020)4619 号的标准地图制作，边界无修改)

2.5 优化建议

基于上述优化结果，结合石家庄市应急物资调配需要，提出优化建议：

1)石家庄市进一步加强对一三五处应急物资调配网络的重点建设。由表 2 可知，一三五处应急物资调配网络服务于石家庄市 17 个区(县、市)，占比石家庄(县、市)总数(共 22 个)的 77%，服务人口高达 958.64 万人。当重大突发事件发生时，一三五处应急物资调配网络有可能面临调配任务过于繁重，乃至应急物资短缺的情况，因此建议需进一步重点建设。

2)石家庄市需要加强 3 大应急物资调配网络内部的基础交通设施及配套设施建设。以 3 个应急物资调配网络为中心，加强交通基础设施及配套建设，扩大应急储备数量及种类，构建区(县、市)一乡(镇、街道)一村(社区)应急物资共享共建体系，打造高效互助协作机制。

3)石家庄市应增建若干个服务于僻远县(市)的大型应急物资储备库。石家庄市现有 3 个应急物资储备库皆位于市区(或者毗连市区)，致使其应急物资调配不能较好地服务于各偏远区县，增建若干个服务于僻远县(市)的大型应急物资储备库极为必要。结合图 1，以及原始数据，建议在元氏县、晋州市新增建 2 个市级应急物资储备库，以减少一三五处储备库的应急物资调配压力，实现石家庄市应急物资调配功能的整体均衡。

3 结论与讨论

本研究提出了拥挤约束型城市应急物资储备库网络功能优化问题，基于排队理论设计了拥挤约束条件，并从覆盖半径内需求满意距离递减、交通方式多样化、交通通达程度复杂化等视角，对传统应急物资储备库功能优化模型的目标函数和约束条件加以改进，构建了拥挤型单目标无容量限制设施选址模型，并设计了求解的启发式算法。选取河北省石家庄市验证模型的合理性和有效性，建议：河北省石家庄市应急物资储备库可划分为 3 个调配网络；石家庄市进一步加强对一三五处应急物资调配网络的重点建设；石家庄市需要加强 3 大应急物资调配网络内部的基础交通设施及配套设施建设；石家庄市可以考虑在元氏县、晋州市增建 2 个服务于僻远县(市)的市级以上的应急物资储备库。本研究通过构建拥挤型设施选址模型，实证了用于应急物资储备库优化方案的有效、合理性，对于城市应急物资储备库网络优化决策具有一定的指导意义，可为城市应急物资储备库网络建设与功能提升提供合理建议。此外，城市消防设施、避难场所网络优化与建设对于城市群高质量发展也极为重要，本研究所构建拥挤型设施选址模型可为之提供决策创新思路。

通过本次工作研究, 还有以下几点思考。一是, 本研究只考虑了拥挤约束下的单目标最大覆盖设施选址问题, 对应急物资储备库建设成本、容量限制未加以考虑, 因此, 今后可以进一步构建拥挤约束、容量限制等更复杂因素影响下的多目标设施选址模型构建以及算法设计。其次, 模型实证过程中, 本研究选取的是市域尺度下的应急物资储备库网络优化实践问题, 未来可以选取京津冀、长三角等典型城市群应急物资储备库网络优化作为实证研究对象; 第三, 考虑拥挤约束的等级性(hierarchical)、重构性(Restructuring)的设施选址问题, 以及应急物资储备库网络优化问题也值得关注, 拥挤约束情景下等级型设施选址模型构建及算法设计、拥挤约束情景下重构型设施选址模型构建以及算法设计等问题值得学者们进一步展开研究。

参考文献:

- [1] 吴宗之, 刘茂. 重大事故应急救援系统及预案导论. 北京: 冶金工业出版社, 2003. 1.
- [2] LARSON R. A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services[J]. computers & Operations Research, 1974, 1(1): 67-95.
- [3] SHAVANDI H, MAHLOOJI H. A fuzzy queuing location model with a genetic algorithm for congested systems[J]. Applied Mathematics and Computation, 2006, 181(1): 440-456.
- [4] MARIANOV V, BOFFEY T B, GALVÃO R D. Optimal location of multi-server congestible facilities operating as M/Er/m/N queues[J]. Journal of the Operational Research Society, 2009, 60(5): 674-684.
- [5] BERMAN O, KRASS D. Stochastic location models with congestion[M]//Location science. Cham: Springer International Publishing, 2019: 477-535.
- [6] WANG Y, TONG D, LI W, et al. Optimizing the spatial relocation of hospitals to reduce urban traffic congestion: A case study of Beijing[J]. Transactions in GIS, 2019, 23(2): 365-386.
- [7] WANG Z, OUYANG Y, SHE R. On solving a class of continuous traffic equilibrium problems and planning facility location under congestion[J]. Operations Research, 2022, 70(3): 1465-1484.
- [8] 常玉林, 赵超, 张鹏, 等. 拥堵条件下考虑相邻路口的可变导向车道自适应控制[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2020, 34(5): 17-24.
- [9] 方志祥, 黄守倩, 苏荣祥, 等. 高速公路多源数据融合下的层次拥堵区间探测方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(5): 682-690.
- [10] 田思琪, 黄肇红, 罗冬梅, 等. 城市轨道交通车站局部空间拥堵风险等级评价方法研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(3): 31-35.
- [11] 常玉林, 王炜. 城市紧急服务系统优化选址模型[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(2): 104-107, 117.
- [12] 张磊. 面向地震灾情时序变化的应急救援物资需求动态预测研究[J]. 灾害学, 2018, 33(3): 161-164.
- [13] 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.
- [14] 王飞飞, 侯云先, 李士森. 城镇应急物资储备库动态多重覆盖模型[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2019, 32(1): 57-64.
- [15] 胡建华, 陈慧娟. 基于 CiteSpace 分析我国应急物资储备研究热点与演进[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2022, 44(2): 292-299.
- [16] 张忠义, 宋英华, 王喆, 等. 多层次防汛应急物资储备库公私协同 LAP 模型[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(5): 177-183.
- [17] 魏宇琪, 杨敏, 梁樑. 基于需求预测和模块化的应急物资库库联动方法研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(6): 123-135.
- [18] 刘晋, 邹瑞, 韩琦, 王文, 等. 基于自适应遗传算法的应急物资储备库选址及物资调配优化研究[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(1): 295-302.
- [19] 张聆晔, 吕靖. 风险不确定的海上应急物资储备库选址[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(9): 173-180.
- [20] 郝蒙浩, 赵秋红, 王凤京, 等. 基于区域自然灾害风险区划的应急救援物资储备设施选址方法与应用[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(1): 177-182.
- [21] 陆相林, 高树芳, 刘春玲, 等. 城市已有应急物资储备库功能优化模型与实证研究——以石家庄市为例[J]. 石家庄学院学报, 2013, 15(2): 46-50, 83.
- [22] 陆相林, 刘春玲, 赵宁, 等. 考虑拥挤情景的小城镇已有应急公共服务设施功能优化问题——以山东省滕州市为例[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(3): 838-840, 843.
- [23] HAKIMI S L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph[J]. Operations Research, 1964, 12(3): 450-459.
- [24] HAKIMI S L. Optimum distribution of switching centers on a communications network and some related graph theoretic problems[J]. Operations Research, 1965, 13(3): 462-475.
- [25] 高德地图《2021 年度中国主要城市交通分析报告》[EB/OL]. (2022-01-19) [2022-07-20]. <https://report.amap.com/share.do?id=a184d9c2842bdc3401842bdccec270001>.

Functional Optimization Model of Urban Emergency Material Reserve Network Considering the Congestion Scenario ——A Case Study of Shijiazhuang City in HeBei Province

LU Xianglin, ZHAO Jiana, CHEN Jingzhao

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

Abstract: The reasonable reserve, transportation and distribution of emergency materials are the basis of disaster prevention, mitigation and relief in emergency management. In the process of major risk disposal, the deployment of emergency material is easy to delay due to congestion. So, it is extremely necessary to consider the constraints of congestion situation. However, the current research on emergency material reserve allocation considering congested constraints and combining with the regional facts needs to be strengthened both in breadth and depth. Therefore, the optimization problem of urban emergency material reserve network with constraints of congested scenario is put forward. Based on the queuing theory and traditional function optimization model of emergency material reserve, the congested constraint conditions are designed, and the objective function of the traditional emergency facility location model is improved from the perspectives of decreasing demand satisfaction degree along with distance within the coverage radius, diversification of transportation modes, and complexity of traffic access degree. The single-objective facility location model with incapacity and congested constraint is constructed, and the heuristic algorithm is designed to solve the problem. The model is applied to the optimization of the emergency material reserve network in Shijiazhuang, Hebei Province, and the direction of further research is proposed from the perspectives of urban agglomeration, multi-impact and hierarchical optimization.

Keywords: facility location; network of urban emergency material reserve; congested system; functional optimization model; Shijiazhuang City