

陆相林, 苗长虹. 小城镇应急物资储备库等级优化配置模型与实证——以北京市房山区为例[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 156–163. [Lu Xianglin and Miao Changhong. Hierarchical Allocation of Emergency Material Depository in Small Town Based on Facility Location Theory——A Case Study of Fangshan District in Beijing[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 156–163.]

小城镇应急物资储备库等级优化配置模型与实证

——以北京市房山区为例*

陆相林^{1,2}, 苗长虹¹

(1. 河南大学 黄河文明与可持续发展研究中心, 河南 开封 475001; 2. 石家庄学院 经济管理学院, 河北 石家庄 050035)

摘要:“小城镇, 大战略”背景下, 加强小城镇应急管理成为一项具有重大挑战性的研究课题。针对我国小城镇应急设施选址定量分析文献较少的现实, 结合小城镇应急物资储备库管理与物资调度实际, 对等级设施选址理论中的最大覆盖模型加以改进, 构建了考虑覆盖半径内需求满意差异性, 具有单流、嵌套性、同调性特征的小城镇应急物资储备库等级选址模型, 并利用蚁群算法进行求解。以北京房山区为例进行实证, 以整体应急服务满意度最大为目标, 实现了房山区8个区级应急物资储备库、25个乡镇级应急物资储备库的等级优化配置, 并绘出配置图, 给出房山区应急物资储备库优化配置的相关建议, 为我国小城镇应急管理工作的科学化提供一定的决策依据。

关键词: 设施选址; 应急物资储备库; 等级最大覆盖; 小城镇; 北京市房山区

中图分类号: X43; F224.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2016)02–0156–08

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2016.02.031

设施选址问题(facility location problem, FLP)是“选址”(location)研究的核心主题之一, 研究一系列设施(如应急设施、物流中心等)具体位置的选择^[1], 对消防、医疗、工商业等各方面而言都极为重要^[2–4]。国外有不少较经典的研究^[5–8]。等级选址问题(Hierarchical location problem)是设施选址研究的一个重要领域, 相关研究主要集中于模型构建、算法设计与空间决策支持三个方向, 主要应用于物流规划、应急设施选址等方面^[9–10]。

表1 小城镇应急公共服务设施系统等级结构

层次	需求点层	低设施点层(<i>l</i> 层)	高设施点层(<i>h</i> 层)
名称	第0层	第1层	第2层
代码	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>
实体	村庄	乡镇级的应急公共服务设施	区、县级应急公共服务设施
功能	产生应急服务需求	提供低等级应急服务, 用 <i>A</i> 代称	提供高等级应急服务。 (1) 嵌套性时, 除了 <i>A</i> 外, 还能够提供其它服务(<i>B</i> 用表示); (2) 非嵌套性时, 只提供高等级的服务 <i>B</i> 。

现实中, 无论是公共还是私营设施系统, 常常存在等级性, 如医疗系统、物资储备、物流配送系统等。小城镇应急公共服务设施也可以分为多个等级(表1)。等级设施系统中, 不同等级的设施提供不同水平的服务, 设施之间可通过物流、人流、信息、资金等形式密切联系。因此, 仅单独考虑某一等级的优化并不能实现整体最优。等级设施选址系统中一般有 k 个水平等级的设施, 最低等级的设施水平为1, 最高等级的设施水平为 k , 与之联系, 学者们习惯把需求点也看作一个等级, 水平定义为0。如表1所示, 显示了一个2等级的小城镇应急设施系统。

学者们常常从等级选址的流(flow)模式、服务可用性(service availability)、空间结构和目标四个属性维度对之进行研究: Narula^[11]最早提出等级设施选址问题的单流(single-flow)和多流(multi-flow)模式; Marianov和Serra^[12]根据设施的服务可用性(service availability)原则, 提出嵌套(nested)和非嵌套(non-nested)等级选址问题; Serra和ReVelle^[13]基于设施分布的空间特征, 提出等级设

* 收稿日期: 2015–08–31

修回日期: 2015–10–22

基金项目: 国家社会科学基金项目(13BGL130); 2014年河北省高等学校青年拔尖人才计划项目(BJ201409)

作者简介: 陆相林(1977–), 男, 河南台前人, 博士, 副教授, 研究方向为管理系统优化与物流管理, 区域旅游发展。

E-mail: luxianglin1@126.com

施选址同调性(coherent)和不同调性(non-coherent)问题; Sahin 和 Süral^[14]从中位(median)、覆盖(covering)和固定费用(fixed charge)三个目标角度确定等级设施选址问题的类别,并对1986年至2007年之间的等级设施选址研究成果进行分类综述。国内方面,陆相林等^[15]对国内外最新设施选址理论进行了概述,在此基础上提出了考虑覆盖半径内需求满意差异的选址问题。陈志宗等^[16]讨论了城市防灾减灾设施的等级选址问题及应用。

应急物资调度、储备规划与建设是应急管理研究的热点领域之一。冉岚^[17]回顾了我国物资储备的历史状况,提出必须建设信息共享的储备系统,完善储备的布局。杨子健^[18]提出应构建社会储备与专业储备相结合、政府储备与商业储备相结合、实物储备与生产能力和生产技术储备相结合的“三结合”储备模式。张永领^[19]提出了我国应急物资储备体系完善的基本思路。定量研究中,郭子雪等^[20]研究了基于梯形模糊数的应急物资储备库最小加权距离选址模型。葛春景等^[21]基于轴辐理论,提出应对重大灾害的轴辐式应急物资储备网络体系构建思路。陆相林等^[10]基于设施选址理论构建了覆盖半径内需求满意存在差异的最大覆盖设施选址模型,并以北京房山区为例实证。

小城镇包括小型城市、建制镇以及乡集镇^[22]。“小城镇,大战略”背景下,加强我国小城镇的应急管理,构建科学的应急管理模式,具有重大现实意义^[23-24]。统计表明:有效的应急系统可将事故损失降低到无应急系统的60%^[25]。小城镇应急管理需要构建富有应变能力、及时畅通、科学有效的应急设施系统。北京市政府非常重视应急管理和应急物资储备库建设工作,其市一级的应急物资储备库已经建成,今后的建设重点是向街乡和社区延伸,计划两年内北京市16区县都将建成物资储备库。

综上所述,应急物资储备库相关问题的研究尚处于起步阶段,多以定性描述建设现状,提出相关对策建议为主。定量研究中对等级设施选址问题缺乏关注,较少联系国家、地区实际情况,定量探讨小城镇应急物资储备库配置合理性的文献则更少。因此,把等级设施选址理论应用于中国小城镇的应急物资储备库等级优化配置,为我国小城镇应急管理提供科学支撑极有必要。

基于上述考虑,本文将对文献[10]的研究加以拓展,综合考虑流模式、服务可用性、空间结构、目标四个维度,建立考虑覆盖半径内需求满

意差异的,具有单流、单目标、嵌套式、同调性的小城镇应急物资储备库等级优化配置模型,并以北京市房山区为例进行实证。

1 等级优化配置模型

小城镇应急物资储备库等级优化配置问题属于设施选址问题的范畴。设施选址问题涉及两类站点:一类为需求站点;另一类为服务站点,文章中统称为设施点。由于设施点要为需求点提供服务,因此,一般用距离或者时间来表示设施点与需求点之间的联系紧密程度,为了简化分析且不失一般性,本文仅以距离为例进行分析。

1.1 假设

①假设应急物资需求和应急物资储备库以点状产生,其中应急需求点实体形态为村庄。②假设应急物资储备库存在等级性,分为两个等级,低等级定义为第1等级,称为乡镇级应急物资储备库;高等级定义为第2等级,称为区级应急物资储备库;把应急物资需求点定义为第0等级。③任意应急物资储备库与需求点的距离可通过调查或者计算得到。④由于应急物资储备库建设与维护成本较高,故个数要有限制。⑤假设每一需求点最多只能由一个应急物资储备库服务。⑥假定应急物资储备库选址于各乡镇政府机关所在地,每一乡镇都建一处乡镇级应急物资储备库,负责本乡镇辖区内的应急物资储备、调度与分配,管理权属于本乡镇,同时接受上一级的区级应急物资储备库垂直管理、协调与监督。⑦为了实现应急物资的均衡布局,假设区级应急物资储备库在区内有多个分布。⑧假设居民应急救助满意度具有距离(时间)敏感性,即距离应急设施点越近,安全感越强,满意度越高。⑨假设应急物资储备库等级服务可用性表现为嵌套性,即高等级应急物资储备库的服务功能更强大,除了能够提供低等级可提供的服务外,还可提供其他服务。

1.2 符号定义

为了分析的方便,进行如下符号定义: i 代表应急需求点(实证中指村庄), I 表示应急需求点的全体,有 $i \in I$; j 代表第1等级的应急物资储备库(实证中指乡镇级应急物资储备库), J 表示第1等级应急物资储备库的全体,有 $j \in J$; k 代表第2等级应急物资储备库(实证中指区级应急物资储备库), K 表示第2等级应急物资储备库的全体,有

$k \in K$; p_l 指需建设的低等级应急物资储备库的数目, p_h 指需建设的高等级应急物资储备库的数目; a_i 表示村庄 i 的人口数量; r_i 表示村庄受灾易损性 i 的参数; m_j 指第 j 个小城镇下辖的村庄个数; d_{ij} 是指村庄 i 乡镇级应急物资储备库 j 的距离, d_{jk} 是指乡镇级应急物资储备库 j 与区级应急物资储备库 k 之间的距离; g_{ij}° 为应急需求点 i 经由低等级应急物资储备库 j 至高等级应急物资储备库 k 的距离。 g_{ij}° 表示应急需求点 i 由低等级应急物资储备库 j 服务时的需求满意度, 有

$$g_{ij}^\circ = 1 - \frac{d_{ij} - \min\{d_{ij}\}}{\max\{d_{ij}\} - \min\{d_{ij}\}} = \frac{\max\{d_{ij}\} - d_{ij}}{\max\{d_{ij}\}}, \quad (1)$$

g_{jk}° 意指 k 高级应急物资储备库为第 j 个超级节点服务时, 第 j 个超级节点的需求满意度, 有

$$g_{jk}^\circ = 1 - \frac{d_{jk} - \min\{d_{jk}\}}{\max\{d_{jk}\} - \min\{d_{jk}\}} = \frac{\max\{d_{jk}\} - d_{jk}}{\max\{d_{jk}\}}, \quad (2)$$

g_{ijk}° 为应急需求点 i 由高等级应急物资储备库 k 下辖的低等级应急物资储备库 j 提供服务所带来的满意程度, 计算公式为:

$$g_{ijk}^\circ = 1 - \frac{d_{ijk} - \min\{d_{ijk}\}}{\max\{d_{ijk}\} - \min\{d_{ijk}\}} = \frac{\max\{d_{ijk}\} - d_{ijk}}{\max\{d_{ijk}\}}, \quad (3)$$

式中: x_{ijk} 为需求变量, 当需求点 i 被低等级设施 j 和高等级设施 k 服务时, 取值为 1, 否则为 0; y_{jk} 为设施配置变量, 当低等级设施点 j 受到高等级设施点 k 覆盖时, 取值为 1, 否则为 0; w_j 为设施配置变量, 低等级设点配置在 j 点时, 取值为 1, 否则为 0; z_k 为设施配置变量, 高等级设施点配置在 k 点时, 取值为 1, 否则为 0。

1.3 模型构建

依据假设, 对 Marianov, Serra^[12] 提出最大覆盖等级选址改进, 构建如下模型。

$$\max Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} a_i r_i g_{ijk}^\circ x_{ijk}, \quad (4)$$

s. t

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i, \quad (5)$$

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

$$y_{jk} \leq z_k, \quad \forall j, k, \quad (7)$$

$$y_{jk} \leq w_j, \quad \forall j, k, \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} y_{jk} \leq 1, \quad \forall j, \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} w_j = p_l, \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K} z_k = p_h, \quad (11)$$

$$x_{ijk}, w_j, z_k, y_{jk} = 0, 1, \quad \forall i, j, k. \quad (12)$$

目标函数式(4)努力实现居民应急救助整体满意度的最大化。约束条件中, 式(5)实现每一应急需求点仅由一设施点覆盖; 式(6)~式(8)保证应急需求点只有被一高级应急物资储备库及其下辖

的低级应急物资储备库覆盖时, 才能取值为 1; 式(9)意指某一低级应急物资储备库只能由一个高级应急物资储备库覆盖; 式(10)、(11)分别保证待建设设施点数目为预定数目; 式(12)为同调性约束; 式(13)保证 x_{ijk} , w_j , z_k , y_{jk} 为 0-1 变量。

1.4 模型简化

依据假设⑥可知, 表 1 中第 0 层的居民应急需求只能通过其上级乡镇级应急物资储备库得到满足, 因此各村庄居民点与其上一级(第 1 层)乡镇应急物资储备库可看作一个整体, 称之为超级节点(supernode)。对于第 j 个小城镇, 可代表第 j 个超级节点, 其总需求满意程度为: $\sum_{i=1}^{m_j} a_i r_i g_{ij}^\circ$ 。

因此, 原问题就转化为超级节点与第 2 层高级应急物资储备库的空间联系优化问题, 模型简化为:

$$\max \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left(\sum_{i=1}^{m_j} a_i r_i g_{ij}^\circ \right) \cdot g_{jk}^\circ \cdot y_{jk}, \quad (13)$$

s. t

$$\sum_{k \in K} y_{jk} \leq 1, \quad \forall j, \quad (14)$$

$$y_{jk} \leq z_k, \quad \forall j, k, \quad (15)$$

$$\sum_{k \in K} z_k = p_h, \quad (16)$$

$$y_{jk}, z_k = 0, 1, \quad \forall j, k. \quad (17)$$

需要说明的是, 考虑到第 2 层设施与第 1 层设施等级性的差异, 为了在 g_{jk}° 和 g_{ij}° 取值上得以体现,

取 $\frac{g_{jk}^\circ}{g_{ij}^\circ} = \frac{\max\{d_{jk}\}}{\max\{d_{ij}\}}$, 式中“=”意指“恒等”, 即

g_{jk}° 恒为 g_{ij}° 的 $\frac{\max\{d_{jk}\}}{\max\{d_{ij}\}}$ 倍。

2 房山区应急物资储备库等级优化配置

基于所建模型, 对北京市房山区应急物资储备库进行等级优化配置。

2.1 配置依据

北京市房山区位于 115°25'~116°15'E、39°30'~39°55'N, 总面积 2 019 km², 是京郊大区。北京市将房山定位成未来西南的经济重心、现代农业和制造业的主要载体, 中心区产业、人口的重要疏散区域。房山区突发公共事件具有种类多、成因复杂、处置难等特点^[10], 应急管理任务艰巨。低温冷冻、大风、冰雹、冰雪等气象灾害以及地质灾害、地震灾害、生物灾害是房山区的主要自然灾害。安全生产事故、危险化学品事故、重特

大传染病疫情、重特大动物疫情、重特大群体性事件、重大危险源事故及爆炸事故等灾害是主要的人为致灾因素。房山区专业队伍力量较弱,设备不足,应急物资储备库建设极为必要。

截止到2013年底,房山区全区常住人口101万人。共辖28个乡、镇、街道办事处,其中,街道办事处8个、建制镇14个、建制乡6个,共有124个居委会、459个村委会。然而,据房山区统计惯例,常对城关街道、拱辰街道等25个乡镇级单位进行年度统计,结合假设⑥,本文确定房山区25个乡镇级应急物资储备库个数为25。根据假设⑦,房山区一些交通、区位条件优越,经济地位突出的乡镇需要配置区级应急物资储备库。

结合《国家突发事件应对法》的要求,所建模型适用《中华人民共和国国家突发公共事件总体应急预案》中Ⅲ级(较大)和Ⅳ级(一般)突发公共事件的应对,同时本配置也可对Ⅰ级(特别重大)、Ⅱ级(重大)突发公共事件起到协助配合作用。配置中的距离用公路行车距离表示,北京灵图软件技术有限公司致力于中国的LBS(定位信息服务)与数字城市(区域)建设,该公司的“我要地图网”网站与谷歌网站的地图功能相似,但设计上更贴合中国国情,可提供我国村级单位之间的测距,且结果较为准确。本文数据由“我要地图网”网站的测距功能测得,篇幅所限,具体数据略。

2.2 算法分析

本文所建模型属于NP-hard^[26]问题,对于大型的此类问题的求解,精确算法以及一般的商业优化软件无能为力,只能借助于启发式或近似算法来求得其近似解。由于上述模型与文献[10]模型类似,因此其求解思路也可用文献[10]提出的人工智能算法——蚁群算法求解。

2.3 配置结果

根据文献[10]的确定房山区区级应急物资储备库个数为8个,并利用其提出的人工智能算法——蚁群算法求解,求得如下等级优化配置结果(表2)。

由表2中第1列可知,考虑行政限制条件下的房山区应急物资储备库等级配置,房山区如果在25个乡镇、街道、办事处中选择8个建设区级应急物资储备库,选择的单位为:城关街道、拱辰街道、琉璃河镇、长沟镇、张坊镇、佛子庄乡、史家营乡、燕山地区。

由表2第2列可以得出各区级应急物资储备库

服务的乡镇、覆盖半径以及最远服务乡镇。例如,落在城关街道服务范围内的乡级单位为城关街道、周口店地区、石楼镇,覆盖半径为5.7 km,最远服务乡镇为石楼镇。其他区级应急物资储备库的服务情况详见表2,不再赘述。

由表2第3列显示房山区25个乡镇乡镇级应急物资储备库的配置情况。由表2第4列可以得出各乡镇级应急物资储备库服务的村庄、覆盖半径以及最远服务村庄。表2中覆盖半径为0 km,意指该储备库只为其自身所在乡镇级单位服务。

2.4 房山区应急物资储备库等级配置示意图

基于表2,结合原始数据和上述分析,得到房山区应急物资储备库等级优化配置示意图,见图1。

由图1可知,通过本文构建的优化配置模型,房山区8个区级应急物资储备库和25个乡镇级应急物资储备库,形成了层次分明、分布均衡的空间布局。以应急物资储备库为中心的服务区域结构较为紧凑,形成了以储备库为中心的乡镇、村庄组团结构。储备库的这种空间均衡配置有利于房山区应急资源的有效调度与合理配置,实证了本文所建模型的合理性。

2.5 房山区应急物资储备库建设相关建议

①要重视房山区应急物资储备库建设中的等级特征,实现区级应急物资储备库重点布局,乡镇级应急物资储备库普及布局(响应北京市政府号召,争取每一乡镇布局1处)。②要均衡布局房山区区级应急物资储备库,实现其等级布局建设的合理性。既要在房山区的较大社区等人口集中的区域建设(如城关街道、拱辰街道、燕山区等),也要在应急救助区位优势明显的乡镇(如琉璃河地区、长沟镇、张坊镇、佛子庄乡、史家营乡等)加快建设,做到突发公共事件的有备无患,将房山区可能的灾害损失降到最低。③结合房山区发展规划,要加强与房山区应急物质储备库相关的配套设施建设与活动开展。应保证区、县及以上等级公路设施与房山区应急物质储备库相通。以房山区应急物质储备库为中心,建立乡镇、村级应急物资储备体系,并开展体系内的交流、协作活动。④要注意应急物资储备库建设的协调性。要使房山区应急物质储备库融入居民的实际生产生活,与房山区发展规划相协调;融入北京市应急管理体系,与北京市的建设相协调。⑤房山区应急物资配置中,应坚持“平战结合、因地制宜”原则。要

考虑平时物资储备与战时(突发事件下)物资储备的合理比例,并对储备物资按规定时间及时更新。要综合考虑房山区各地区、街道、乡、镇的灾害

风险程度、自然环境条件、实际人口密度等,对储备物资进行科学配置,达到资源的有效利用和灾害的有效防范。

表 2 房山区应急物资储备库的等级配置结果

第 2 层级(区级储备库)		第 1 层级(乡镇级储备库)	
区级储备库选择	服务下级单位/覆盖半径/最远服务单位	服务下级单位/覆盖半径/最远服务单位	服务需求点/覆盖半径/最远服务单位
城关街道区级储备库	城关街道、周口店地区、石楼镇/5.7 km/石楼镇	城关街道乡镇级储备库	顾册村、北市村、东坟村、定府辛庄村、东瓜地村、田各庄村、瓜市村、马各庄村、饶乐府村、丁家洼村、羊头岗村、八十亩地村、前朱各庄村、后朱各庄村、洪寺村、塔湾村、迎风坡村、东街村、南街村、南关村、西街村、北关村/9.9 km/八十亩地村
		周口店地区乡镇级储备库	南韩继村、瓦井村、新街村、大韩继村、辛庄村、周口村、云峰寺村、周口店村、娄子水村、拴马庄村、黄院村、龙宝峪村、黄山店村、黄元寺村、涑沥水村、泗马沟村、北下寺村、葫芦棚村、长流水村、山口村、官地村、良各庄村、周口店镇西庄村、车厂村/17.7 km/涑沥水村
		石楼镇乡镇级储备库	石楼村、吉羊村、二站村、双孝村、支楼村、杨驸马庄村、襄驸马庄村、大次洛村、坨头村、双柳树村、梨园店村、夏村/6.3 km/夏村
拱辰街道区级储备库	拱辰街道、西潞街道、良乡地区、阎村镇、长阳镇、青龙湖镇、新镇街道/9.7 km/长阳镇	拱辰街道乡镇级储备库	二街村、四街村、五街村、南关村、东关村、后店村、吴店村、黄辛庄村、渔儿沟村、大南关村、纸房村、常庄村、徐庄村、梨村、于管营村、东羊庄村、梅花庄村、辛瓜地村、小西庄村、南广阳城村/6.7 km/梨村
		西潞街道乡镇级储备库	詹庄村、安庄村、固村、太平庄村、南上岗村、东阎村、苏庄村/4.3 km/安庄村
		良乡地区乡镇级储备库	南刘庄村、西石羊村、后石羊村、东石羊村、张谢村、江村、侯庄村、下禅房村、刘丈村、南庄子村、邢家坞村、官道村、小营村、鲁村、黑古台村、富庄村/10.1 km/南庄子村
		阎村镇乡镇级储备库	大紫草坞村、小紫草坞村、前沿村、后沿村、张庄村、公主坟村、北坊村、南坊村、吴庄村、焦庄村、大董村、小董村、西坟村、开古庄村、南梨园村、二合庄村、大十三里村、小十三里村分、后十三里村、肖庄村、元武屯村、炒米店村/12.7 km/肖庄村
		长阳镇乡镇级储备库	长阳第一村、长阳第二村、篱笆房第一村、篱笆房第二村、黄管屯村分、哑叭河村、北广阳城村、水碾屯第一村、水碾屯第二村、军留庄村、张家场村、牛家场村、保合庄村、杨庄子村、长营村、马厂村、高岭村、稻田第一村、稻田第二村、稻田第三村、稻田第四村、稻田第五村、高佃第一村、高佃第二村、高佃第三村、高佃第四村、大宁村、温庄子村、独义村、朱岗子村、闫仙堡村、葫芦堡村、夏场村、佛满村、赵庄村、公议庄村、西场村/14.2 km/西场村
		青龙湖镇乡镇级储备库	晓幼营村、西石府村、常乐寺村、北四位村、南四位村、焦各庄村、小苑上村、青龙头村、崇各庄村、豆各庄村、庙耳岗村、崇辛庄村、芦上坟村、大苑村、北刘庄村、大马村、小马村、果各庄村、西庄户村、岗上村、坨里村、上万村、北车营村、辛开口村、漫水河村、南观村、口头村、沙窝村、大苑上村、马家沟村、下水峪村、石梯村/12.4 km/南观村
		新镇街道乡镇级储备库	新镇街道/0 km/新镇街道

续表 2

第 2 层级(区级储备库)			第 1 层级(乡镇级储备库)
区级储备库选择	服务下级单位/覆盖半径/最远服务单位	乡镇级储备库选择	服务需求点/覆盖半径/最远服务单位
琉璃河地区区级储备库	琉璃河地区、窦店镇、韩村河镇/6.8 km/韩村河镇	琉璃河镇乡镇级储备库	琉璃河镇二街村、琉璃河三街村、李庄村、白庄村、扬户屯村、周庄村、福兴村、平各庄村、北洛村、南洛村、古庄村、祖 村、北章村、兴礼村、庄头村、立教村、董家林村、刘李店村、泗城村、黄土坡村、东南召村、西南召村、东南吕村、西南吕村、保兴庄村、路村、南白村、北白村、八间房村、薛庄村、石 村、常舍村、西地村、务滋村、赵营村、任营村、万里村、肖场村、窑上村、大陶村、小陶村、官庄村、贾河村、鲍庄村、辛立庄村、五间房村、韩营村/30.3 km/肖场村
		窦店镇乡镇级储备库	窦店村、白草洼村、芦 村、板桥村、西安村、田家园村、瓦窑头村、苏 村、于庄村、下坡店村、七里店村、望楚村、交道一街村、交道二街村、交道三街村、交道后街村、小高舍村、大高舍村、丁各庄村、刘平庄村、袁庄村、六股道村、普安屯村、兴隆庄村、辛庄户村、两间房村、前柳子村、陈家房村、北柳子村、河口村/13.5 km/北柳子村
		韩村河镇乡镇级储备库	东营村、赵各庄村、西营村、小次洛村、韩村河村、西东村、曹章村、七贤村、潘家庄村、郑庄村、崇义村、五侯村、岳各庄村、尤家坟村、东南章村、西南章村、龙门口村、二龙岗村、皇后台村、天开村、东周各庄村、西周各庄村、上中院村、下中院村、孤山口村、圣水峪村、罗家峪村/19.1 km/圣水峪村
长沟镇区级储备库	长沟镇、大石窝镇/7.7 km/大石窝镇	长沟镇乡镇级储备库	南正村、北正村、双磨村、南良各庄村、北良各庄村、东良各庄村、东长沟村、西长沟村、太和庄村、沿 村、坟庄村、东甘池村、南甘池村、北甘池村、西甘池村、六甲房村、三座庵村、黄元井村/6.7 km/三座庵村
		大石窝镇乡镇级储备库	王家磨村、蔡庄村、下滩村、郑家磨村、土堤村、镇江营村、塔照村、南尚乐村、北尚乐村、南河村、惠南庄村、广润庄村、大石窝镇辛庄村、石窝村、半壁店村、独树村、岩上村、下营村、高庄村、前石门村、后石门村、下庄村、三岔村、水头村/11.1 km/三岔村
张坊镇区级储备库	张坊镇、十渡镇、蒲洼乡/38.1 km/蒲洼乡	张坊镇乡镇级储备库	大峪沟村、北白岱村、蔡家口村、东关上村、三合庄村、瓦沟村、千河口村、穆家口村、广禄庄村、南白岱村、西白岱村、史各庄村、张坊村、片上村、下寺村/14.7 km/东关上村
		十渡镇乡镇级储备库	平峪村、北石门村、西石门村、前头港村、西河村、西庄村、九渡村、八渡村、十渡村、马安村、卧龙村、六合村、东太平村、西太平村、新 村、西关上村、六渡村、七渡村、五合村、栗元厂村、王老铺村/11.3 km/王老铺村
		蒲洼乡乡镇级储备库	鱼斗泉村、芦子水村、东村村、宝水村、蒲洼村、富合村、森水村、议合村/30.3 km/鱼斗泉村
佛子庄乡区级储备库	河北镇、霞云岭乡、南窖乡、佛子庄乡、大安山乡/34 km/霞云岭乡	河北镇乡镇级储备库	磁家务村、万佛堂村、半壁店村、黄土坡村、三福村、河东村、东庄子村、檀木港村、三十亩地村、东港村、李各庄村、河北村、河南村、北辛庄村、南道村、杏园村、口儿村、他窖村、南车营村/9.7 km/南车营村
		霞云岭乡乡镇级储备库	堂上村、大地港村、四马台村、龙门台村、庄户台村、王家台村、石板台村、四合村、霞云岭村、三流水村、大草岭村、上石堡村、北直河村、下石堡村、银水村/24 km/堂上村
		南窖乡乡镇级储备库	花港村、中窖村、大西沟村、水峪村、南窖村、北安村、南安村、三合村/5.8 km/三合村
		佛子庄乡乡镇级储备库	陈家台村、东班各庄村、西班各庄村、陈家坟村、北峪村、黑龙关村、佛子庄村、红煤厂村、北窖村、下英水村、中英水村、上英水村、西安村、查儿村、长操村、山川村、贾峪口村、石板房村/21.5 km/石板房村
		大安山乡乡镇级储备库	大安山村、西苑村、寺尚村、赵亩地村、宝地洼村、瞧煤涧村、中山村、上水峪村/7.7 km/上水峪村

续表 2

第 2 层级(区级储备库)			第 1 层级(乡镇级储备库)
区级储备库选择	服务下级单位/覆盖半径/最远服务单位	乡镇级储备库选择	服务需求点/覆盖半径/最远服务单位
史家营乡区级储备库	史家营乡/0 km/史家营乡	史家营乡乡镇级储备库	鸳鸯水村、柳林水村、杨林水村、青林台村、秋林铺村、莲花庵村、曹家坊村、史家营村、大村涧村、西岳台村、青土涧村、金鸡台村/14.1 km/鸳鸯水村
燕山地区区级储备库	燕山地区/0 km/燕山地区	燕山地区乡镇级储备库	燕山地区注: 由于假设需求点和设施点都在乡镇级政府机关所在地选取, 表中覆盖半径为 0 指该储备库只为其自身所在乡镇级单位服务。

3 结论与研究展望

3.1 结论

提出了小城镇应急物资储备库等级选址问题并构建模型,厘清了小城镇应急物资储备库等级配置的三级优化思路。结合房山区的需要,完成了房山区 8 个区级应急物资储备库的优化选址,并实现 8 个区级应急物资储备库与 25 个乡镇应急物资储备库的空间联系优化,绘出了优化配置图(图 1),提出相关建议。成果对我国小城镇应急设施优化选址与配置,乃至小城镇的防灾规划有一定的指导意义,可为其提供定量分析思路与方法,增加了相关工作的科学性。此外,小城镇应急公共设施中,除了应急物资储备库外,消防设施、急救中心、避难场所建设也是当前政府和学者关注的焦点,本文成果也能为之提供一定的借鉴依据。

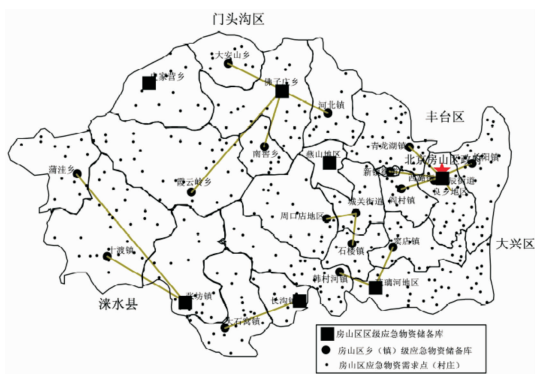


图1 房山区应急物资储备库等级优化配置示意图

3.2 研究展望

首先,本文仅考虑应急物资储备库存在等级情景下的优化配置问题,缺乏不考虑等级和考虑等级两种情景下的优化效果对比,此方面可以作进一步的研究。其次,本文仅考虑了效率准则下(最大覆盖等级设施选址准则下)的小城镇应急物资储备库等级优化配置问题,因此,拓展的另一思路就是考虑公平准则下的(如最小方差、基尼系

数最小、权重距离方差最小原则等)的小城镇应急物资储备库等级优化配置问题。最后,等级选址问题的算法求解问题一直是激发学者研究兴趣的重要领域,对超级节点算法的合理性及其进一步优化的探讨也值得期待。

参考文献:

[1] ReVelle C S, Eiselt H A, Daskin M S. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 184 (3): 817-848.

[2] ReVelle C S, Eiselt H A. Location analysis: a synthesis and survey[J]. European Journal of Operational Research, 2005, 165 (1): 1-19.

[3] Eiselt H A, Sandblom C L. Decision analysis, location models, and scheduling problems[M]. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 2004.

[4] Arabani A B, Farahani R Z. Facility location dynamics: An overview of classifications and applications[J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 62(1): 408-420.

[5] Francis R L, McGinnis L F, White A. Location analysis[J]. European Journal of Operational Research, 1983, 12 (3): 220-252.

[6] Brandeau M L. An overview of representative problems in location research[J]. Management Science, 1989, 35(6): 645-674.

[7] Drezner Z, Hamacher H W. Facility location: applications and theory[M]. Berlin: Springer, 2002.

[8] Farahani R Z, Hekmatfar M. Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies [M]. Berlin: Physica-Verlag, 2009.

[9] 陆相林,侯云先,林文,等. 基于设施选址理论的小城镇应急医疗服务中心功能优化[J]. 经济地理, 2011, 31(7): 1119-1123.

[10] 陆相林,侯云先,林文,等. 基于选址理论的小城镇应急物资储备库优化配置——以北京房山区为例[J]. 地理研究, 2011, 30(6): 1091-1099.

[11] Narula S C. Hierarchical location-allocation problems: a classification scheme[J]. European Journal of Operational Research, 1984, 15(1): 93-99.

[12] Marianov V, Serra D. Hierarchical location-allocation models for congested systems [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 135(1): 195-208.

- [13] Serra D, ReVelle C. The pq-median problem: location and districting of hierarchical facilities[J]. *Location Science*, 1993, 1(4): 299–312.
- [14] Sahin G, Süral H. A review of hierarchical facility location models[J]. *Computers & Operations Research*, 2007, 34(8): 2310–2331.
- [15] 陆相林, 侯云先. 基于设施选址理论的中国国家级应急物资储备库优化配置[J]. *经济地理*, 2010, 30(7): 1091–1095.
- [16] 陈志宗, 尤建新. 城市防灾减灾设施的层级选址问题建模[J]. *自然灾害学报*. 2005, 14(2): 131–135.
- [17] 冉岚. 从汶川地震看国家物资储备建设[J]. *宏观经济管理*, 2008(9): 60–62.
- [18] 杨子健. 建设国家战略物资储备基地建议[J]. *宏观经济管理*, 2011, (1): 37–38.
- [19] 张永领. 我国应急物资储备体系完善研究[J]. *管理学报*, 2010, 23(6): 54–57.
- [20] 郭子雪, 齐美然, 张强. 应急物资储备库最小加权距离选址模型[J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(34): 195–198.
- [21] 郭子雪, 齐美然, 张玉芬. 提高河北省突发事件应急处置能力的对策[J]. *保定学院学报*, 2011, 24(2): 903–910.
- [22] 冯凯, 徐志胜, 冯春莹, 等. 小城镇突发公共事件应急决策系统的研究[J]. *灾害学*, 2005, 20(2): 6–10.
- [23] 卓力格图, 王罡. 新型城镇化建设背景下的防震减灾创新发展研究初探[J]. *灾害学*, 2015, 30(3): 183–185.
- [24] 孙明, 王绍玉, 闫建新. 村镇公共安全评价体系研究——以河北省沧州市南大港一分区为例[J]. *灾害学*, 2015, 30(1): 115–119.
- [25] 吴宗之, 刘茂. 重大事故应急救援系统及预案导论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [26] Kariv O, Hakimi S. An algorithm approach to network location problem[J]. *SIAM Journal of Applied Mathematics*, 1979, 37(4): 513–560.

Hierarchical Allocation of Emergency Material Depository in Small Town Based on Facility Location Theory

——A Case Study of Fangshan District in Beijing

Lu Xianglin^{1, 2} and Miao Changhong¹

(1. *Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development & College of Environment & Planning, Henan University, Kaifeng 475001, China*; 2. *Department of Economics and Management of Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China*)

Abstract: According to the deployment of “Small town, grand strategy”, urbanization of China has entered a key stage. However, it is confronted with a great challenge for China to strengthen emergency management of small town. Emergency management for small town needs a resource allocation system with flexibility, fluency, punctuality, rationality and effectiveness. Based on the plan of Beijing government, every town in Beijing will establish one emergency material depository before 2020. There are few documents analyzing the allocation of small-town emergency material depository of China with quantitative methods. Also, the traditional facility location problems think little of the satisfaction difference between demand points in the covering radius of facility. In the light of this situation, we present a hierarchical maximal covering location problem considering the demand satisfaction difference between demand points in the domain of facility covering radius and formulate a maximal covering model as an integer programming under the goal of maximizing the total satisfaction of demand points. After investigating the characteristics of the model formulated, we introduce super-node algorithm to solve the considered problems. Then, we get the allocation result of emergency material depository of Fangshan District in Beijing. The computational result have shown that the model we proposed generate facility location solutions in a more effective manner. Finally, we also propose extensions to our research.

Key words: facility location; emergency material depository; hierarchical maximal covering; small town; Fangshan District of Beijing