

## 乡镇公共应急物资协同储备及供应 ——以房山区水灾为例

魏占祥<sup>1</sup> 侯云先<sup>1\*</sup> 郭红莲<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学 经济管理学院, 北京 100083;

2. 北京物资学院 商学院, 北京 101149)

**摘要** 为实现公共应急资源共享、降低应急成本、提高应急效率,提升乡镇级政府的协同应急能力,采用库存-运输非线性混合规划模型,以储备量和调用量为决策变量对协同区乡镇公共应急物资储备量和运输总成本进行研究,并根据房山区58年的乡镇水灾数据分情景验证公共应急物资需求量。结果表明食品/水的保障率的应保持在0.3以上,总成本缓慢上升;药品与被装的保障率与总成本几乎成线性正相关,被装和药品与食品/水相比价格较高、惩罚成本较低、保障率要求不高。

**关键词** 公共应急物资; 协同; 储备; 供应; 房山区

**中图分类号** F252;F294;C931

**文章编号** 1007-4333(2019)05-0193-11

**文献标志码** A

## Collaborative storage and supply of public emergency supplies among towns: By the case of flood in Fangshan District

WEI Zhanxiang<sup>1</sup>, HOU Yunxian<sup>1\*</sup>, GUO Honglian<sup>2</sup>

(1. College of Economics & Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. School of Business, Beijing Wuzi University, Beijing 101149, China)

**Abstract** In order to improve the emergency response and rescue capability of township governments, realize emergency resource sharing, reduce emergency costs, improve emergency efficiency, this study adopts the inventory-transport nonlinear mixed planning model, with stores and transfer quantity as decision variables in township coordination areas. The amount of material reserves and the total cost of transportation are studied, and the demand for emergency materials under different flood patterns in the townships and villages in Fangshan District is verified. The results show that: The critical point of the food/water protection rate is above 0.3, and the total cost of the increase in the rate of protection increases slowly; Drug and the quilt rate of protection is almost linearly positively correlated with the total cost, compared with food/water and drugs. Its price is higher and the penalty cost is lower, so the guarantee rate is not high.

**Keywords** public emergency material; collaborate; storage; supply; Fangshan District

近年来,我国雨雪灾、洪水、地震等特大自然灾害的频繁发生,国家对重大突发公共事件应急管理的高度重视,加大了国家、省和地市层面的应急体制、体系的建设。然而,各种特大自然灾害发生后,

国家对农村地区的救助仍然十分困难。以2008年初南方地区暴发了罕见的冰冻灾害为例,广东、湖南、贵州、江西等省大面积森林被毁,当地路网、电网遭到严重破坏,造成人们出行困难,甚至边远的农村

收稿日期: 2018-05-03

基金项目: 国家社会科学基金资助(14BGL062);国家“十二五”科技支撑计划课题(2014BAL07B04,2014BAL07B05)

第一作者: 魏占祥,博士研究生,E-mail:09weilunwen@163.com

通讯作者: 侯云先,教授,主要从事管理科学与工程,城镇规划与管理研究,E-mail:hoyunxian@163.com

地区与外界的联系几乎完全被切断。同年发生的“5·12汶川地震”造成当地人员伤亡惨重,房屋大面积倒塌,基础设施严重损毁,次生灾害多发,人们正常生产生活秩序受到严重影响。而且,震后汶川灾区应急救助也十分困难,只能依靠外界有限的空投或少数救援人员地面运送。

乡镇是我国最基本的政府行政组织,对乡镇区域公共应急物资协同储备及供应问题进行研究,有利于因地制宜根据灾害特征采取针对性的防范措施。在农村发生灾害时,乡镇应急物资储备可以发挥当地地缘优势,实现区域资源共享、就地救援、降低救援成本、减缓道路堵塞风险和减轻通讯破坏负面影响等优势,发挥乡镇应急物资自救和乡镇间互救功能,争取应急救援的黄金时间,提高应急效率和效果。

房山区地处北京市西南部,位于北纬 $39^{\circ}30' \sim 39^{\circ}55'$ ,东经 $115^{\circ}25' \sim 116^{\circ}15'$ ,处华北平原与太行山交界地带,地势西高东低,西部和北部是山地、丘陵,东部和南部为平原。西部与门头沟接壤,主要山脉为太行山分支的大房山、大安山、三角山、百花山、西占山等,最高峰是百花山的百草畔,海拔2 035 m,最低处是东南部立教洼,海拔26 m。境内河流较多,有大小河流13条,拒马河、大石河回旋曲折,永定河、小清河穿境而过。地区降水主要集中在7、8月份,发生水灾频率较高。1949—2006年,房山区共有29年发生过水灾<sup>[1-2]</sup>。2012年7月21日,北京市特大暴雨引发房山区山洪暴发,造成38人死亡,经济损失约61亿元。因此,对房山区乡镇水灾应急救援物资协同储备和供应进行研究,具有典型代表性。

关于灾害应急的协同问题,学者们进行了广泛深入的研究。Farazmand<sup>[3]</sup>和Morris等<sup>[4]</sup>以卡特里娜飓风为例,分别探讨了美国上下级政府和同级政府之间、政府和军队之间以及政府和非营利组织之间在灾害应急时的协同问题。Palm等<sup>[5]</sup>讨论了瑞典5个城市之间的应急协同问题,提出协同运作具有资源共享,成本降低,应急管理质量高的等优点,因此实现起来相对比较容易;指出协同运作的制约因素可能来源于空间距离和地理因素、文化传统、互相理解程度、城市规模、分权意愿以及在灾害发生时城市之间由于规模差异引起的合作障碍。Adida等<sup>[6]</sup>设计了需求不确定情境下多个医院以降低成本、提高应急效率为目标的药品联合库存模型,可以实现发生灾难时药品在各医院间互相调用的互助效

果。Nolte等<sup>[7]</sup>研究了2010年海地地震期间政府公共部门和非营利组织合作关系,通过案例研究表明沟通、信任和经验是最重要的合作伙伴关系保障。赵林度等<sup>[8-9]</sup>研究了城市间协同应急决策模式和协同应急决策机制。李周清等<sup>[10]</sup>总结了我国应急物资的多部门分散管理与储备的特征,基于区域应急物资储备体系构建了应急物资储备库协同选址优化模型。王新平等<sup>[11]</sup>针对突发公共卫生事件中应急物资需求的不确定性和连续性,结合应急救援过程中多疫区的灾害并发性和多周期性,提出了多疫区多周期应急物资协同优化调度方案。

对于应急物资的储备及供应问题,梁志杰等<sup>[12]</sup>通过对我国物资储备制度问题分析,提出以中央救灾物资储备为主,以企业救灾物资储备制度为辅,社会化救灾物资筹集为补充的救灾物资储备体系。王亮等<sup>[13]</sup>构建了两级应急物资库存系统协同预先配置的随机混合整数规划模型,利用历史数据解决了潜在灾害的不确定性问题,求得了突发自然灾害前2级应急物资储备仓库选址及选定应急物资储备库存水平的最优解决方案。王铮等<sup>[14]</sup>基于p-中心的混合模型设计了层次型应急设施布局模型,并将其应用于上海市某区的医疗设施布局。肖俊华等<sup>[15]</sup>基于多级覆盖和覆盖衰减思想,考虑设施选址的公平性、效率性及成本等因素,构建了多目标多级覆盖设施选址模型,将其应用于北京市昌平区救灾物资储备库优化配置。Haghani等<sup>[16]</sup>、Sheu<sup>[17]</sup>和Lee等<sup>[18]</sup>在假设灾害事件的特征、物资需求、物资储备、运输网络状况都已知的情景下,研究了灾后的物资调度问题。Rawls等<sup>[19]</sup>以总期望成本(包括建库成本、采购和持有成本、运输成本和物资需求未被满足时的惩罚成本)最小为目标,构建了1个两阶段随机规划模型来确定应急物资库存地点、库容量和不同地区发生灾害时各储备点的配送量。而后,Rawls等<sup>[20]</sup>继续发展了Rawls等<sup>[19]</sup>早期研究的模型,在上述模型中增加了不确定需求下的应急服务质量约束,包括反映应急物资供应量满足需求量的可靠性和运输距离约束,并以美国飓风灾害为例探讨了额外的约束对应急物资库存及供应策略的影响。

本研究在以上学者的研究基础之上,特别借鉴Rawls等<sup>[19-20]</sup>模型中应急物资需求量的确定方法,将其运用于北京市房山区乡镇水灾公共应急物资协同储备与供应策略研究。本研究旨在灾害应急的协同基础上讨论应急物资储备及供应问题。

## 1 应急物资协同储备及供应模型设计

本研究与 Rawls 等<sup>[19-20]</sup>的区别在于:1)后者研究对象为美国州(省)际之间组织和资源的协同,本研究探讨的是我国的区(县)的乡镇之间协同的问题。区(县)的乡镇是我国基层政府组织,当灾害发生时,通过区(县)-乡镇-村的等级链可以及时协调指挥。如果乡镇间形成了长效协同机制,则乡镇之间直接沟通协调更加节约救援成本。因此,本模型设想在灾害发生时将决策权下沉到更接近事态的管理者手中,提高应急效率。2)本研究模型中没有考虑储备库选址问题、库容大小的决策变量及运输距离约束。由于我国乡镇区域大多地处偏僻、人口较少,受经济条件制约在短期内不可能建成设施完整的专门储备库体系。本研究的设想是,每个乡镇因地制宜利用现有商店、医院、生产企业等主体的库存资源,做到“平灾结合、储物于民”,政府可以使用资金补贴、监督检查等激励约束机制来保证其总库存不低于应急所需的水平。因此减少了储备库选址、库容大小设计等这些决策变量。而实际上本模型设计也体现了部分选址结果,如计算结果是某乡镇库存量为零(本例中的石楼镇),则意味着该地不用建应急库。另外,由于协同区域中乡镇间距离身较近时且需求量相对较少,即使灾害发生时交通被破坏造成大型运输车辆受阻,则运用农用车、人力车甚至人工步行携带等简易方式也能很快实现应急物资供应,因此取消这一约束是合理的。

## 2 乡镇公共应急物资协同储备及供应模型

假设  $N$  个乡镇组成一个互助协同联盟,储备物资包括食品和水、被装、药品 3 种。物资集合为  $K$ , 每种物资  $k \in K$ 。乡镇集合为  $I$ , 物资储备地点  $i \in I$ 。我们假定每个乡镇平时都要储存一定数量的物资,当灾害发生时, $i$  地对物资  $k$  的需求数量  $v_i^k$  的不确定性由离散的危害模式集合  $S$  决定且  $s \in S$ , 在灾害模式  $s$  下  $i$  地对物资  $k$  的需求量为  $v_i^{ks}$ ,  $s$  灾害模式发生的概率为  $P^s$ 。物资  $k$  在  $i$  地储存的数量为  $r_i^k$ , 物资  $k$  在  $i$  地的单位价格为  $q_i^k$ , 单位库存持有成本为  $h_i^k$ , 在  $s$  模式灾害下  $i$  地库存物资  $k$  会损坏一部分,能够使用的剩余物资比例为  $\rho_i^{ks}$ 。当灾害发生时,如果当地库存不能满足需求,则物资将从协同区内其他乡镇配送过来。假设  $x_{ji}^{ks}$  为从  $j$  地运到  $i$  地的物

资  $k$  的数量,运输单位成本为  $c_{ji}^{ks}$ 。一般情况下,运输网络集合是整个节点网络的子集。假设运输网络集合为  $A$ , 则连接  $(i, j)$  是集合的  $A$  一个要素,  $i \in N, j \in N, d_{ij}$  为连接  $(i, j)$  之间的距离。如果协同区内物资调用来后仍然有  $w_i^{ks}$  单位物资不能满足需求,则假定有一个单位惩罚成本  $p_i^k$ , 要求系统可靠性为  $\alpha_i^s$ , 即必须满足  $\alpha_i^s$  比例的需求。

模型的总目标是在所有灾害模式下协同区域内总成本最小,包括采购成本,运输成本,库存持有成本,缺货时的惩罚成本。

即:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} (q_i^k + h_i^k) r_i^k + \sum_{s \in S} P^s \left[ \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} c_{ij}^{ks} x_{ij}^{ks} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} p_i^k w_i^{ks} \right] \quad (1)$$

s. t.

物流平衡方程

$$\sum_{j \neq i \in N} x_{ji}^{ks} + \rho_i^{ks} r_i^k = \sum_{j \neq i \in N} x_{ij}^{ks} + v_i^{ks} - w_i^{ks} \quad \forall i \in N, k \in K, s \in S \quad (2)$$

需求满足可靠性约束

$$w_i^{ks} \leq v_i^{ks} (1 - \alpha_i^s) \quad \forall i \in N, k \in K, s \in S \quad (3)$$

非负约束

$$\begin{aligned} r_i^k &\geq 0 & \forall i \in I, k \in K \\ x_{ij}^{ks} &\geq 0 & \forall (i, j) \in A, k \in K, s \in S \\ w_i^{ks} &\geq 0 & \forall i \in I, k \in K, s \in S \\ \alpha_i^s &\in (0, 1) & \forall s \in S \end{aligned} \quad (4)$$

约束(2)表明当灾害发生时,运输到  $i$  地的物资  $k$  的数量加上  $i$  地储存的物资  $k$  中未损坏的部分正好等于  $i$  地对物资  $k$  的需求量加上从  $i$  地运出的物资  $k$  的数量再减去该地物资  $k$  的未满足部分。约束(3)表明灾害发生时物资短缺量不能超过  $w_i^{ks}$ , 即服务保障率要大于  $\alpha_i^s$ 。约束(4)是非负约束,表明  $i$  地物资  $k$  的存储量、调拨到  $j$  地的配送量、短缺量都不得为负,各种灾害模式下的保障率都介于  $0 \sim 1$ 。

本模型求解过程是从应急物资的供应链管理角度出发,以协同区域内总成本最小为目标,以物流平衡和可靠性为约束,并通过政府的行政调节为实现惩罚成本的约束,求解不同约束条件下最优物资储备量和供应策略。

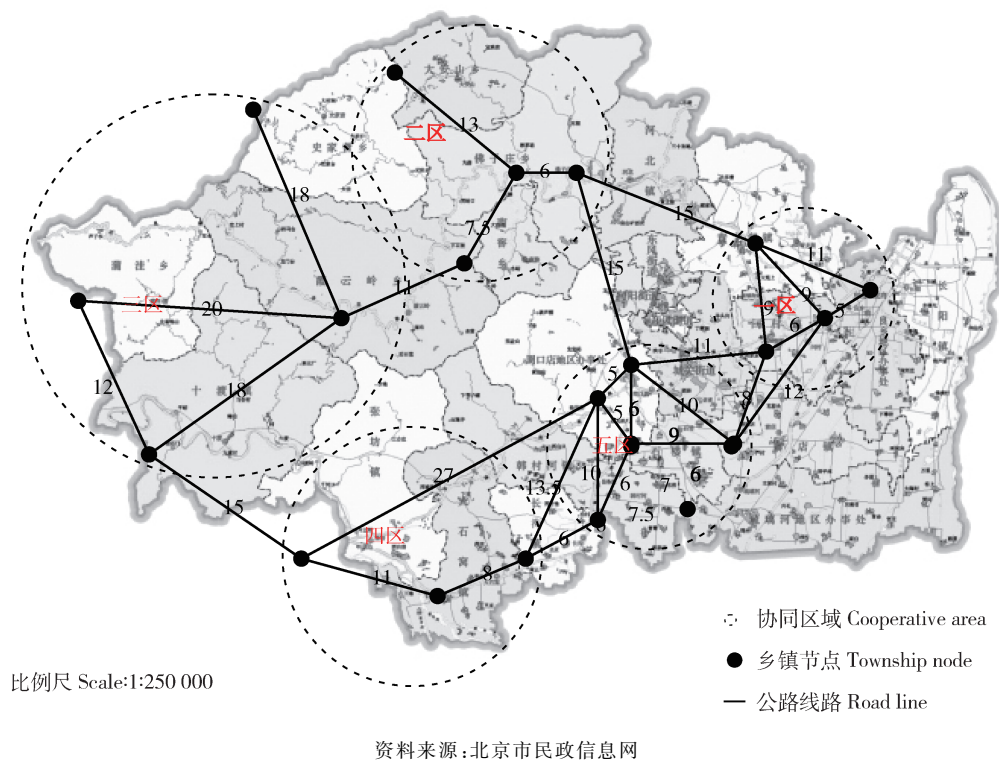
## 3 实例

### 3.1 协同区域的确定

截止 2017 年 12 月,房山区下辖 8 个街道,14

个镇,4个地区,6个乡(见图1)。本研究为能够方便地使用已经获取的数据,结合房山区行政区划历史沿革,将其行政区划分为5个协作区,一区:青龙湖镇、长阳镇、阎村镇、良乡地区;二区:佛子庄乡、大安山乡、南窖乡、河北镇;三区:霞云岭乡、史家营乡、蒲洼乡、十渡镇;四区:长沟镇、大石窝镇、张坊镇;五

区:窦店镇、石楼镇、韩村河镇、城关地区(燕山地区)、周口店地区、琉璃河地区。把乡镇简化为位于政府所在地的节点,乡镇之间的交通网络及距离就简化为政府所在地之间的网络和距离。图1中黑线表示2个乡镇间有畅通公路,上方的数字表示距离,km。



资料来源:北京市民政信息网  
Source: Beijing Civil Affairs Information Network  
图1 房山区乡镇协同区域划分及交通网络图

Fig. 1 The coordination area division and traffic network map of Fangshan District

### 3.2 参数的确定

1) 水灾模式的确定。根据1949—2006年共58年的统计资料,本研究将房山区乡镇水灾模式分为2种:单一发生模式和共同发生模式。单一发生模式即在协同区内,只有某一乡镇发生了水灾;共同发生模式为在协同区内,同时有2个(或以上)乡镇发生水灾。协同区内各乡镇2种(或以上)水灾模式发生的概率按58年间分别发生的次数除以58得出,见表1。

2) 物资需求量的确定。当灾害发生时,乡镇对应急物资的需求量取决于灾害的严重程度和当地人口数量。当乡镇处于单一发生灾害模式时,根据每次灾害的损失情况记录估算出各乡镇灾害的人均损失,然后将灾害严重程度划分为5个等级(表2),由此估计各乡镇应急物资的需求量;对于有2种(或以

上)发生灾害模式的乡镇,则单独发生灾害时按比平均损失小1个等级来算,与其他乡镇同时发生灾害时按比平均损失大1个等级来计算,然后再根据需求系数和各乡镇人数,求得不同模式下各乡镇对应急物资的需求(见表3)。另外不同应急物资的需求也有区别,如对食品、水等生活物资要求能满足受灾人口3d的需求;对药品的需求为受灾人数的10%;被装的需求则与受灾人口数量相等,即每个受灾人口需要1套被装。

3) 其他参数的确定。假设各乡镇对应急物资单位采购价格、单位里程运输成本、库存成本、短缺物资的惩罚成本都相同。其中采购价格为:食品、水2元/份,药品10元/份,被装100元/套;运输成本:1元/(份·km);库存持有成本为各自采购价格的10%,食品、水和药品的惩罚成本为各自采购价格的

表1 协同区内各乡镇发生不同模式水灾的概率

Table 1 The probability of different types of floods occurring in various towns and townships in the coordination area

| 协同区<br>Cooperative<br>area | 模式一(单独发生水灾)<br>Mode 1 (Flooding alone) |                   | 模式二(同时发生水灾)<br>Mode 2 (Simultaneous flooding) |                   |
|----------------------------|--|-------------------|---|-------------------|
|                            | 乡镇<br>Township                         | 概率<br>Probability | 乡镇<br>Township                                | 概率<br>Probability |
| 一区<br>Zone 1               | 青龙湖镇<br>Qinglonghu                     | 0.017 2           |   |                   |
|                            | 阎村镇<br>Yancun                          | 0.017 2           |   |                   |
|                            | 良乡地区<br>Liangxiang area                | 0.086 2           |   |                   |
|                            | 长阳镇<br>Changyang                       | 0.103 4           |   |                   |
| 二区<br>Zone 2               | 大安山乡 Da'anshan                         | 0.034 5           |   |                   |
|                            | 南窖乡 Nanjiao                            | 0.069 0           | 大安山乡,佛子庄乡                                     | 0.017 2           |
|                            | 佛子庄乡 Fozizhuang                        | 0.069 0           | Da'anshan & Fouzizhuang                       |                   |
|                            | 河北镇 Hebei                              | 0.034 5           |   |                   |
| 三区<br>Zone 3               | 史家营乡 Shijiaying                        | 0.086 2           |   |                   |
|                            | 蒲洼乡 Puwa                               | 0.034 5           | 十渡镇,霞云岭乡                                      | 0.034 5           |
|                            | 十渡镇 Shidu                              | 0.137 9           | Shidu & Xiayunling                            |                   |
|                            | 霞云岭乡 Xiayunling                        | 0.103 4           |   |                   |
| 四区<br>Zone 4               | 房山城关 Fangshanchengguan                 | 0.051 7           | 琉璃河地区,石楼镇                                     | 0.017 2           |
|                            | 石楼镇 Shilou                             | 0.069 0           | Liulihe area & Shilou                         |                   |
|                            | 琉璃河地区 Liulihe area                     | 0.155 2           |   |                   |
|                            | 韩村河镇 Hancunhe                          | 0.034 5           | 韩村河镇,周口店地区                                    | 0.017 2           |
|                            | 周口店地区 Zhoukoudian area                 | 0.051 7           | Hancunhe & Zhoukoudian area                   |                   |
|                            | 窦店镇 Doudian                            | 0.086 2           |   |                   |
| 五区<br>Zone 5               | 张坊镇 Zhangfang                          | 0.086 2           | 张坊镇,大石窝镇                                      | 0.017 2           |
|                            | 大石窝镇 Dashiwo                           | 0.051 7           | Zhangfang & Dashiwo                           |                   |
|                            | 长沟镇 Changgou                           | 0.034 5           |   |                   |

注:资料来源,房山区档案馆局.1949—2006年房山区自然灾害纪实与分析.2009,经作者加工整理。

Note:Source,Beijing FangshanDistrictArchives Bureau,Record and Analysis of Natural Disasters in Fangshan District from 1949 to 2006.2009;Processed by the author.

表2 应急物资需求系数估计表

Table 2 Emergency supplies demand coefficient estimate table

| 需求系数<br>Demand coefficient                        | 灾害损失/(元/人) Disasterloss |         |         |          |        |
|---|-------------------------|---------|---------|----------|--------|
|   | 0~200                   | 201~400 | 401~900 | 901~1500 | >1 500 |
| 受灾人数系数<br>Coefficient of number of victims        | 0.1                     | 0.15    | 0.2     | 0.25     | 0.3    |
| 食品、水的需求系数<br>Coefficient of food and water demand | 0.9                     | 1.35    | 1.8     | 2.25     | 2.7    |
| 药品需求系数<br>Coefficient of drug demand              | 0.01                    | 0.015   | 0.02    | 0.025    | 0.03   |
| 被装需求系数<br>Coefficient of the quilt's demand       | 0.1                     | 0.15    | 0.2     | 0.25     | 0.3    |

表3 不同模式灾害下各乡镇对应急物资的需求

Table 3 Demand for emergency supplies in towns and villages under disasters of different modes

| 协同区<br>Cooperative area | 乡镇<br>Township          | 人口/万人<br>Population | 平均灾害<br>人均损失/<br>元<br>Average<br>disaster<br>per capita<br>loss | 模式一(单独发生水灾)<br>Mode 1 (Flooding alone) |                   |                    | 模式二(同时发生水灾)<br>Mode 2 (Simultaneous flooding) |                   |                    |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|---|--|-------------------|--------------------|---|-------------------|--------------------|
|                         |                         |                     |   | 食品、水/<br>万份<br>Food and<br>water       | 药品/<br>万份<br>Drug | 被装/<br>万套<br>Quilt | 食品、水/<br>万份<br>Food and<br>water              | 药品/<br>万份<br>Drug | 被装/<br>万套<br>Quilt |
| 一区<br>Zone 1            | 青龙湖镇<br>Qinglonghu      | 4.3                 | 0   | 3.87                                   | 0.403 0           | 0.430              |   |                   |                    |
|                         | 阎村镇<br>Yancun           | 4.3                 | 0   | 3.87                                   | 0.403 0           | 0.430              |   |                   |                    |
|                         | 良乡地区<br>Linagxiang area | 19.3                | 114   | 17.37                                  | 1.737 0           | 1.930              |   |                   |                    |
|                         | 长阳镇<br>Changyang        | 4.7                 | 326   | 6.345                                  | 0.070 5           | 0.705              |   |                   |                    |
| 二区<br>Zone 2            | 大安山乡<br>Da'anshan       | 0.9                 | 1 334   | 1.62                                   | 0.018 0           | 0.180              | 2.430   | 0.027 0           | 0.270              |
|                         | 南窖乡<br>Nanjiao          | 0.6                 | 1 595   | 1.62                                   | 0.018 0           | 0.180              |   |                   |                    |
|                         | 佛子庄乡<br>Fozizhuang      | 1.5                 | 1 000   | 2.70                                   | 0.030 0           | 0.300              | 4.050   | 0.045 0           | 0.450              |
|                         | 河北镇<br>Hebei            | 2.3                 | 350   | 3.105                                  | 0.034 5           | 0.345              |   |                   |                    |

表3(续)

| 协同区<br>Cooperative<br>area | 乡镇<br>Township                | 人口/万人<br>Population | 平均灾害<br>人均损失/<br>元<br>Average<br>disaster<br>per capita<br>loss | 模式一(单独发生水灾)<br>Mode 1 (Flooding alone) |                   |                    | 模式二(同时发生水灾)<br>Mode 2 (Simultaneous flooding) |                   |                    |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------|---|--|-------------------|--------------------|---|-------------------|--------------------|
|                            |                               |                     |   | 食品、水/<br>万份<br>Food and<br>water       | 药品/<br>万份<br>Drug | 被装/<br>万套<br>Quilt | 食品、水/<br>万份<br>Food and<br>water              | 药品/<br>万份<br>Drug | 被装/<br>万套<br>Quilt |
| 三区<br>Zone 3               | 史家营乡<br>Shijiaying            | 1.2                 | 423   | 2.16                                   | 0.024 0           | 0.240              |   |                   |                    |
|                            | 蒲洼乡<br>Puwa                   | 0.4                 | 850   | 0.72                                   | 0.008 0           | 0.080              |   |                   |                    |
|                            | 十渡镇<br>Shidu                  | 1.1                 | 2 000   | 2.475                                  | 0.027 5           | 0.275              | 3.465   | 0.038 5           | 0.385              |
|                            | 霞云岭乡<br>Xiayunling            | 1.1                 | 779   | 1.485                                  | 0.016 5           | 0.165              | 2.475   | 0.027 5           | 0.275              |
| 四区<br>Zone 4               | 房山城关<br>Fangshan<br>chengguan | 7.1                 | 83  | 6.39                                   | 0.071 0           | 0.710              |   |                   |                    |
|                            | 窦店镇<br>Doudian                | 4.5                 | 420   | 8.1                                    | 0.090 0           | 0.900              |   |                   |                    |
|                            | 琉璃河地区<br>Liulihe area         | 5.9                 | 241   | 5.31                                   | 0.059 0           | 0.590              | 10.620  | 1.062 0           | 1.180              |
|                            | 韩村河镇<br>Hancunhe              | 4.1                 | 115   | 1.845                                  | 0.020 5           | 0.205              | 5.535   | 0.061 5           | 0.615              |
|                            | 周口店地区<br>Zhoukoudian<br>area  | 3.7                 | 815   | 4.995                                  | 0.055 5           | 0.555              | 8.325   | 0.092 5           | 0.925              |
| 五区<br>Zone 5               | 石楼镇<br>Shilou                 | 3.0                 | 258   | 2.7                                    | 0.030 0           | 0.300              | 5.400   | 0.060 0           | 0.600              |
|                            | 张坊镇<br>Zhangfang              | 2.2                 | 1 384   | 3.96                                   | 0.044 0           | 0.440              | 5.940   | 0.660 0           | 0.660              |
|                            | 大石窝镇<br>Dashiwu               | 3.8                 | 1 269   | 6.84                                   | 0.076 0           | 0.760              | 10.260  | 0.114 0           | 1.140              |
|                            | 长沟镇<br>Changgou               | 2.7                 | 1 302   | 6.075                                  | 0.067 5           | 0.675              |   |                   |                    |

注：资料来源为北京市房山区2016年统计年鉴<sup>[21]</sup>、房山区档案馆局1949—2006年房山区自然灾害纪实与分析，经作者加工整理。

Note: Data resource is Beijing Fangshan District Statistical Yearbook 2016, Beijing Fangshan District Archives Bureau, Record and Analysis of Natural Disasters in Fangshan District from 1949 to 2006. The data is processed by the author.





区发生水灾后公共应急物资储备和运输成本相应较高。其次,协同区受到不同灾害模式影响,除一区没有同时发生水灾,其他 4 个协同区都同时发生过水灾,说明考虑不同灾害模式的协同应急有重要的现实意义,建议政府编制应急预案时充分考虑协同区共生灾害模式对协同区应急物资需求的影响,保证应急物资储备量的充足,也要注重对协同区交通网络的建设和维护,以保证在发生水灾时协同区的应急物资有效供给。

#### 4 成本与系统保障率的关系分析

图 3~5 分别表示了食品/水、被装、药品的总成本与保障率之间的关系。由图 3~5 看出,食品/水和药品的保障率在 0.3 以下时,总成本变化不明显;随着保障率的提高总成本开始上升,食品/水上升明显,药品上升缓慢,意味着食品/水、药品的保障率分别保证在 0.3 以上较经济。被装的保障率与总成本几乎成线性正相关,这与被装与食品/水和药品相比

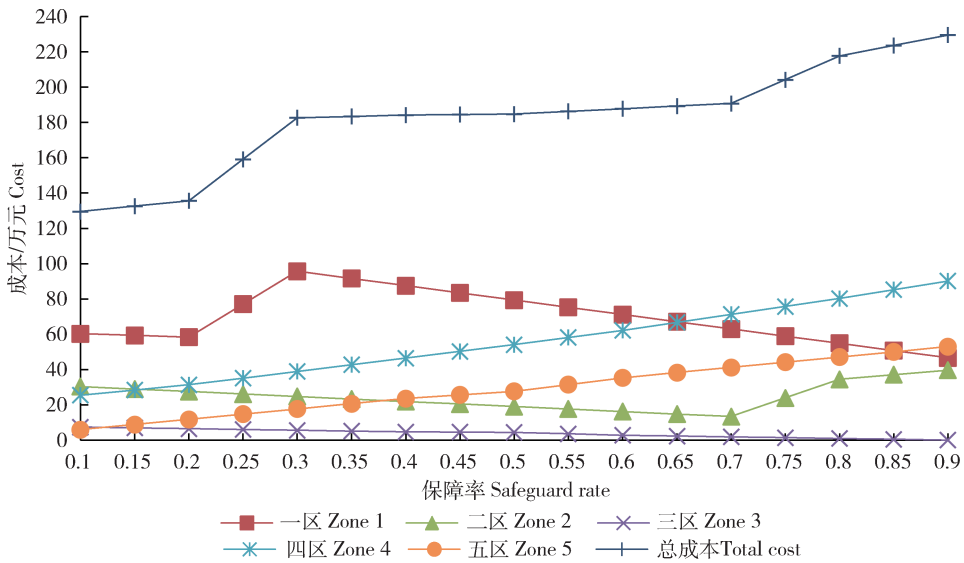


图 3 食品/水的成本与保障率之间的关系

Fig. 3 Relationship between food/water cost and guarantee rate

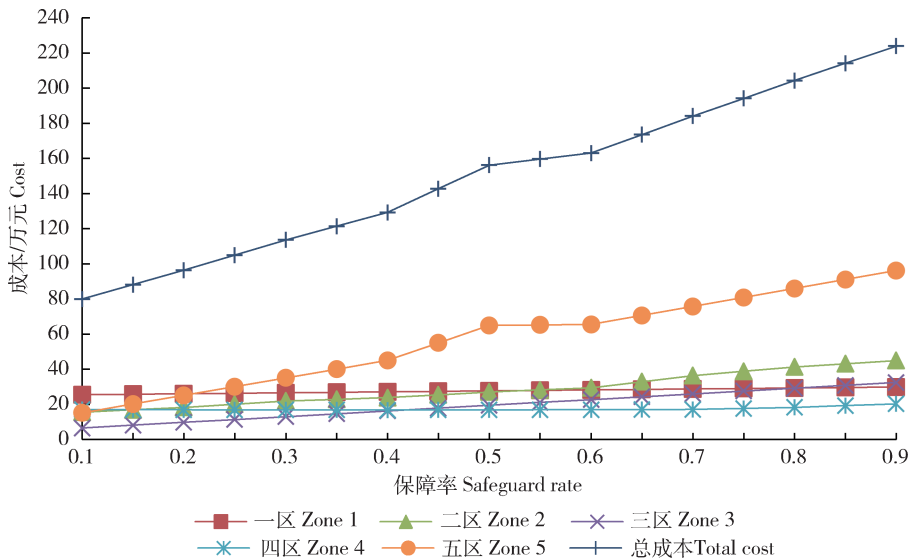


图 4 药品的成本与保障率之间的关系

Fig. 4 Relationship between the cost of medicines and the guarantee rate

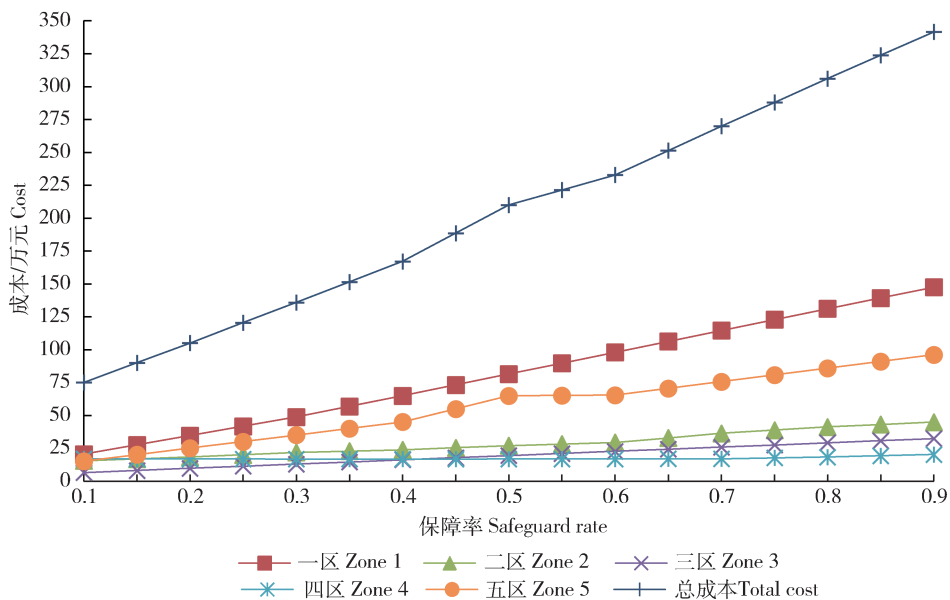


图5 被装的成本与保障率之间的关系

Fig. 5 Relationship between the installed cost and the guaranteed rate

价格较大、惩罚成本较低、保障率要求不高有关。对于实际中管理者的决策,则要依据各乡镇具体的财政状况、管理者偏好等决定。

## 5 结论与讨论

本研究基于房山区 58 年的水灾历史记录,在对行政区内乡镇划分协同区的前提下,应用非线性混合规划模型对乡镇主要公共应急物资储备量、供应策略进行了探讨。结论如下:

1) 利用乡镇现有商店、医院、生产企业等主体的库存资源,设计单一水灾模式和共发水灾模型 2 种情景,通过构建库存-运输非线性混合规划模型,求解得到各协同区及全区的应急物资储备和运输总成本及供给策略。

2) 食品/水的保障率一定要保证在 0.3 以上才经济。药品和被装的保障率与总成本几乎成线性正相关,被装、药品与食品/水的需求特征明显不同。

3) 对行政区内的乡镇根据地理条件、历史沿革划分协同区,分区测算应急物资储备及运输总成本的方法,便于统筹协调协同区内的应急公共物资储备需求,为当地政府因地制宜选择应急公共物资储备方案提供理论参考。

本研究对各乡镇物资需求测算主要考虑了水灾的发生概率和人口基数对应应急物资需求的不确定性影响,对道路、交通和运输条件的不确定性研究还有

待进一步细化。其次,对受灾人数、物资需求系数和采购成本等参数情景考虑不足,下一步将深入讨论不同参数变化下模型求解结果,这些将是今后进一步努力研究的方向。

## 参考文献 References

- [1] 北京市房山区水资源局. 房山水旱灾害[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003  
Beijing Fangshan Water Resources Bureau. *Fangshan District's Floods and Droughts*[M]. Beijing, China Water Conservancy and Hydropower Press, 2003 (in Chinese)
- [2] 北京市房山区档案局. 1949-2006 年房山区自然灾害纪实与分析[M]. 北京:北京市房山区档案局,2009  
Beijing Fangshan District Archives Bureau. *Record and Analysis of Natural Disasters in Fangshan District from 1949 to 2006*[M]. Beijing: Beijing Fangshan District Archives Bureau Beijing Fangshan District Archives Bureau, 2009 (in Chinese)
- [3] Farazmand A. Learning from the Katrina crisis: A global and international perspective with implications for future crisis management[J]. *Public Administration Review*, 2007, 67(s1): 149-159
- [4] Morris J C, Morris E D, Jones D M. Reaching for the philosopher's stone: Contingent coordination and the military's response to hurricane Katrina[J]. *Public Administration Review*, 2007, 67(s1): 94-106
- [5] Palm J, Ramsell E. Developing local emergency management by co-ordination between municipalities in policy networks;

- Experiences from Sweden [J]. *Journal of Contingencies & Crisis Management*, 2007, 15(4): 173-182
- [6] Adida E, Delaurentis P C, Lawley M A. Hospital stockpiling for disaster planning [J]. *Iie Transactions*, 2011, 43(5): 348-362
- [7] Nolte I M, Boenigk S. Public-nonprofit partnership performance in a disaster context: The case of Haiti [J]. *Public Administration*, 2011, 89(4): 1385-1402
- [8] 赵林度. 城市群协同应急决策生成理论研究 [J]. 东南大学学报: 哲学社会科学版, 2009, 11(1): 49-55  
Zhao L D. Research on generation theory of coordinated emergency decision making for urban agglomeration [J]. *Journal of Southeast University: Philoposhy and Social Science*, 2009, 11(1): 49-55 (in Chinese)
- [9] 赵林度, 孔强. 基于知识管理的城际应急管理协同机制研究 [J]. 软科学, 2009, 23(6): 33-37  
Zhao L D, Kong Q. The inter-city emergency synergistic management based on knowledge management [J]. *Soft Science*, 2009, 23(6): 33-37 (in Chinese)
- [10] 李周清, 马祖军. 区域性应急物资储备级库间的协同选址模型研究 [J]. 自然灾害学报, 2012(2): 57-62  
Li Z Q, Ma Z J. Coordinate location model for regional hierarchical reserve depots of emergency materials [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2012(2): 57-62 (in Chinese)
- [11] 王新平, 王海燕. 多疫区多周期应急物资协同优化调度 [J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(2): 283-291  
Wang X P, Wang H Y. Optimal multi-period collaborative scheduling of emergency materials for multiple evidence areas [J]. *Systems Engineering Theory & Practice*, 2012, 32(2): 283-291 (in Chinese)
- [12] 梁志杰, 韩文佳. 应急救灾物资储备制度的创新研究 [J]. 管理世界, 2010(6): 175-176  
Liang Z J, Han W J. Innovation research on emergency rescue material reserve system [J]. *Management World*, 2010(6): 175-176 (in Chinese)
- [13] 王亮, 邱玉琢. 两级应急物资储备协同预先配置优化决策研究 [J]. 软科学, 2015, 29(12): 117-120  
Wang L, Qiu Y Z. Coordinative pre-positioning decision optimization of two-echelon emergency materials system [J]. *Soft Science*, 2015, 29(12): 117-120 (in Chinese)
- [14] 王铮, 廖悲雨, 隋文娟. 层次型应急设施布局模型及其应用 [J]. 中国管理科学, 2011, 19(6): 88-91  
Wang Z, Liao B Y, Sui W J. Hierarchical emergency facility location model and its application [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2011, 19(6): 88-91 (in Chinese)
- [15] 肖俊华, 侯云先. 区域救灾物资储备库布局优化的实证研究: 以北京市昌平区为例 [J]. 经济地理, 2013, 33(2): 135-140  
Xiao J H, Hou Y X. Empirical study on the layout optimization of regional emergency material depository: A case study of Changping District, Beijing [J]. *Economic Geography*, 2013, 33(2): 135-140 (in Chinese)
- [16] Haghani A, Oh S C. Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations [J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 1996, 30(3): 231-250
- [17] Sheu J B. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters [J]. *Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review*, 2007, 43(6): 687-709
- [18] Lee Y M, Ghosh S, Ettl M. Simulating distribution of emergency relief supplies for disaster response operations [C]. In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC). Austin: IEEE, 2009(12): 2797-2808
- [19] Rawls C G, Turnquist M A. Pre-positioning of emergency supplies for disaster response [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2010, 44(4): 521-534
- [20] Rawls C G, Turnquist M A. Pre-positioning planning for emergency response with service quality constraints [J]. *Or Spectrum*, 2011, 33(3): 481-498
- [21] 北京市房山区 2016 年统计年鉴编辑委员会. 北京市房山区 2016 年统计年鉴 [M]. 北京: 房山区统计局, 2016  
Beijing Fangshan District 2016 Statistical Yearbook Editorial Committee. *Beijing Fangshan District Statistical Yearbook 2016* [M]. Beijing: Fangshan District Statistics Bureau, 2016 (in Chinese)

责任编辑: 王岩