

# 地震应急物资中转站选址模型与算法

徐苒 潘郁\* (南京工业大学管理科学与工程学院, 江苏南京 210009)

**摘要** 根据地震应急物资配送特点, 建立了地震应急物资中转站选址的模型和优化算法。地震应急物资中转站选址存在时间的紧迫性和超额覆盖的问题。兼顾中转站库存的影响, 建立了适应地震应急特点的中转站选址的机会约束模型。通过对机会约束的化简, 采用遗传算法寻求最优应急调度方案。此外, 该研究为其他应急物资调度提供了方法和思路。

**关键词** 地震应急; 配送选址; 遗传算法

中图分类号 P65 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)30-13473-02

## Location Model and Algorithm of Transfer Station of Earthquake Emergency Material

XU Ran et al (College of Management Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing, Jiangsu 210009)

**Abstract** The location model and algorithm of transfer station of earthquake emergency material were established according to the characteristics of transfer station of earthquake. The problems of urgency and excessive coverage were existed in the location of transfer station of earthquake emergency material. And the effect of inventory was compromised in the paper. On the basis, the chance-constrained model adapting to the characteristics of earthquake was designed. With simplifying the chance constraint, the genetic algorithm was chosen to solve it. With calculation example, the algorithm was proved to be potentially implemented in practice case, and had better stringency and searching efficiency. The study offered clue to the solution of the other emergencies.

**Key words** Earthquake emergency; Distribution location; Genetic algorithm

我国是地震高发国之一, 有32.15%的国土、近50%的城市和67%的大城市位于烈度7°区之内<sup>[1]</sup>。有研究表明, 未来50年我国发生特大破坏性地震的可能性很大<sup>[2]</sup>。可见, 充分认识地震应急的重要性及其任务、方法, 增强应急意识, 提高应急能力, 最大限度的减轻地震灾害的损失, 已成为亟待解决的现实问题。在地震应急中, 应急物资是支撑条件, 是不可缺少的。物资需要通过中转站送往灾区, 因此地震应急物资中转站选址决策是地震应急救灾的重大决策之一。尤其是在2008年5月汶川地震中, 应急物资的中转是相当关键的环节。Fiedrich等集中讨论了地震后如何最小化人员伤亡, 但是没有讨论需用物资选址的问题<sup>[3]</sup>。聂高众等研究了地震实际情况和历史资料, 得出定量化快速确定地震灾区可能的应急救援需求的一系列关系式, 但是没有对应急物资中转站选址进行讨论<sup>[4-5]</sup>。对选址问题研究的学者较多, 其目的是在满足需求的基础上, 使设施费用、生产费用、运输与配送费用及库存费用最小化。这些都是对于一般性系统选址的研究, 没有讨论在大规模应急情况下, 特别是自然灾害(地震)发生情况下进行应急选址的问题。利用中转站分层转运和配送救援物资对于地震的应急抗灾减灾和后期建设恢复起着至关重要的作用。唐山地震后, 起初建立了4个物资中转站, 随着铁路的逐步恢复, 陆续在铁路沿线建立了10个物资中转站<sup>[6]</sup>。笔者主要研究在地震发生后, 地震应急物资中转站的选址模型及其算法。

### 1 地震应急中转站选址的特点

地震应急物资中转站选址属于应急范畴, 不同于普通配送中心的选址问题。在地震物资中转站选址之前, 应先对地区受损程度加以评价, 例如可使用如下风险指标为各个需求区域( $i=1, 2, \dots, I$ )进行分类。

$$r_i = r_i e_i M \quad (1)$$

式中,  $r_i$  为需求区域  $i$  面临重大地震的概率;  $e_i$  为需求区域  $i$  的经济重要性(取值0~1);  $M_i$  为需求区域  $i$  的人口数<sup>[7]</sup>。

不同地区进行分类分级考虑, 反映应急救援分类分级原则。评估各个地震需求点面临重大突发事件的风险, 据此进行应急救援设施的选址决策, 其目的是集中有限的资源来防备风险高的点, 有助于提高应急救援工作的绩效。

地震应急物资中转站的选址不同于普通选址问题的关键在于时间的紧迫性和救援的及时性。这就要求在进行救援时首先要考虑这些因素, 而不是以往问题中所注意的费用问题。重大突发事件一旦发生, 需要调动一系列救援设施的资源来消除和减轻灾害或事故的影响。这要求更多地、分散地设置应急救援设施, 以便在应急救援期间可动用更多的紧急救援资源。对不同的需求点, 根据分类, 需要指定不同数量的设施。在选址的过程中, 不能只考虑中转点一次覆盖需求点, 而是要考虑到多次覆盖需求点, 即超额覆盖。对于权重重大的地区给予更多次数的覆盖, 每个权重对应一定次数的覆盖。例如, 在供电系统中, 按照不同的地区进行差别供电服务, 对于医院等重要部门给予更多的覆盖线路。

地震应急救援工作的特殊性, 要求后勤物资保障工作战备化、科学化。要达到这一目标, 需要对地震应急救援队现场物资需求进行量化分析。主要解决2个问题: 救灾队赴现场应急救援的基本物资需求是什么; 根据灾区情况, 通过设计数学概念模型, 将需求量化表达出来。地震应急的物资量可以根据公式进行定量分析。地震发生后应急物资需求为:

$$R = K_X C_X F_X Q_X - P_X \quad (2)$$

式中,  $R$  为救灾队物资最小需求量;  $K_X$  为灾区的地区系数;  $C_X$  为灾区的季节系数;  $F_X$  为根据震情统计得出的救援队某类救援物资的理论统计需求量, 且  $F_X = f(\quad) + f(\quad) + f(\quad) + f(\quad)$ ,  $\quad$  为现场指挥员人数,  $\quad$  为现场搜救队员人数,  $\quad$  为医疗队员人数,  $\quad$  代表其他;  $Q_X$  为灾区受灾群众的心理系数;  $P_X$  为灾区现有某类救援队可利用救援物资的实际数量;  $\quad$  为震后保全率<sup>[5]</sup>。

地震应急中, 要求物资量必须足量供应, 否则会产生产

基金项目 江苏省教育厅哲学社会科学基金资助项目(07SJD810003); 南京工业大学人文社科研究项目(重点); 南京工业大学优秀学术团队建设项目。

作者简介 徐苒(1983-), 女, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 研究方向: 决策科学与决策支持系统。\* 通讯作者。

重的后果。所以,地震应急中转站选址中应结合考虑中转站的库存。

## 2 问题描述和模型建立

针对地震应急中转站的特点,建立一个适用于地震应急物资中转站的模型。考虑需求点集为  $D$ , 候选中转站点集为  $E$ , 模型的决策变量  $v_i$  为需求点  $i$  被超额覆盖的次数,  $0-1$  变量  $z_j$  表示如果中转站  $j$  被设置, 则  $z_j = 1$ , 否则  $z_j = 0$ ;  $0-1$  变量  $y_{ij}$  表示如果中转站  $j$  服务需求点  $i$ , 则  $y_{ij} = 1$ , 否则  $y_{ij} = 0$ 。模型参数: 需求点  $i$  的权重为  $w_i$ , 需求点  $i$  到中转点  $j$  的距离为  $d_{ij}$ , 中转站的平均库存缺货量为  $ES_{w_j}$ ,  $c_j$  为中转站的中转能力,  $x_i$  为需求点  $i$  的需求量满足  $N(u_i, \sigma_i^2)$  且  $x_i$  之间相互独立, 则由需求点的分布函数可知中转站单位时间内需求量服从正态分布  $N(u_{w_j}, \sigma_{w_j}^2)$ 。

$$u_{w_j} = \sum_{i=1}^n y_{ij} u_i \quad (3)$$

$$\sigma_{w_j}^2 = \sum_{i=1}^n y_{ij} \sigma_i^2 \quad (4)$$

式中,  $i$  为需求点  $i$ ;  $w_j$  为中转站  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ )。

提前期内中转站的需求量服从正态分布  $N(Lu_{w_j}, L^2 \sigma_{w_j}^2)$ 。地震应急物资中转站的模型表述如下:

$$\min \sum_{i \in D} w_i d_{ij} y_{ij} + \sum_{j \in E} z_j + \sum_{j \in E} ES_{w_j} \quad (5)$$

$$s.t. \sum_{j \in E} y_{ij} = v_i + 1, \forall i \in D \quad (6)$$

$$y_{ij} - z_j = 0, \forall i \in D, j \in E \quad (7)$$

$$P(\sum_{i \in D} x_i y_{ij} - c_j z_j = 0) = 1 - \alpha, \forall j \in E \quad (8)$$

$$y_{ij} = 0, 1; z_j = 0, 1; v_i = 0 \quad (9)$$

$$ES_{w_j} = \sum_{w_j} (x_i - S_{w_j}) f(x_i) d_i = -k_{w_j} \sigma_{w_j} (1 - \Phi(k_{w_j})) + L_{w_j} \sigma_{w_j} \quad (10)$$

$$\sigma_{w_j}^2 = \sum_{i \in D} y_{ij} \sigma_i^2, \forall j \in E \quad (11)$$

其中, 式(5)为目标函数。目标函数第1项表示按照分类分级响应和快速及时响应的原则, 所有中转点和需求点的加权距离和最短即  $p$  中值选址; 目标函数第2项为中转点的个数最小化, 体现了应急服务资源利用的效率性; 目标函数最后1项为缺货量最小, 最大程度地满足地震灾区的需要。

$\alpha, \beta$  为2个权重系数, 使得3个目标相匹配。式(6)~(11)为约束条件。式(6)保证设置的应急救援设施数目不低于需求区域  $i$  要求的设施数  $q_i$ , 超出的数目  $\sum_{j \in E} y_{ij} - 1$  即为需求区域  $i$  超额覆盖的次数  $v_i$ ; 式(7)如果中转站为需求点提供服务, 中转站一定要被选中; 式(8)中转站中转物资的数量要满足中转站能力的约束; 式(9)决策变量的取值; 式(10)、(11)为缺货量的表达式。以上模型是一个混合整数非线性机会约束

的规划问题。其中, 式(8)可通过化简得  $\sum_{i \in D} x_i y_{ij}$  服从  $N(\sum_{i=1}^k u_i, \sum_{i=1}^k \sigma_i^2)$ 。

## 3 遗传算法设计

该模型考虑的是混合整数规划的问题, 在求解上存在一定的困难。通常解决这些问题, 可以采用分支定界法、启发式算法和现代智能算法。现代智能算法中的遗传算法可以提供求解复杂优化问题的通用框架。它不依赖于问题的具体领域, 对问题的种类有很强的鲁棒性。因此, 该文用遗传算法来求解上述地震应急物资中转站选址问题。根据文献设计的遗传算法, 步骤如下: 基因编码, 该文采用二进制编码, 染色体长度为  $n \times m$ , 即所有中转站和需求点的乘积, 通过染色体的表达可以将每个需求点对应的中转站的序号求出, 即最终的最优化方案; 生成初始种群按设定的群体规模  $N$ , 随机生成满足约束条件(8)的  $N$  个染色体; 计算个体适应度, 其基本思想是在由个体基因型到个体表现型的变换中, 增加使其满足约束条件的处理过程, 即寻找出一种个体基因型和个体表现型之间的多对一的变换关系, 使进化过程中所产生的个体总能够通过这个变换而转化成解空间中满足约束条件的一个可行解, 如果达到设定的最大迭代次数, 转向步骤; 采用轮盘赌选择法; 采用单点交叉算子; 采用二进制变异, 染色体的每位按变异率  $P_m$  选择是否翻转; 按照设定比例将父代种群中优势个体替换掉子代种群中劣势个体, 以保留优势种群, 转步骤; 输出计算结果。

## 4 结论

该文对地震应急物资选址的特性进行了研究, 建立了在突发应急情况下地震物资中转站选址的模型。与普通的物流选址模型存在不同, 主要表现在时间的紧迫性和超额覆盖上。依据该特殊性, 建立了相应的地震应急物资选址的模型。在建立模型的基础上, 用遗传算法进行求解。该文的研究对象为地震应急物资选址的优化算法问题, 其他的应急物资选址在实际中也存在, 甚至更加复杂。对于这些更加复杂的应急物资选址计算, 应将遗传算法和模拟退火算法结合起来, 作为进一步研究的方向。

## 参考文献

- [1] 国家科委国家计委国家经贸委自然灾害综合研究组. 中国自然灾害区划研究进展[M]. 北京: 海洋出版社, 1998: 13-14.
- [2] 聂高众, 高建国. 21世纪中国的自然灾害发展趋势——以地震和旱涝为例[J]. 第四纪研究, 2001, 21(3): 249-261.
- [3] HEDRICH F, GEHBAUER F, RICKERS U. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters[J]. Safety Science, 2000, 35: 41-57.
- [4] 李磊. 地震应急救援现场需求分析及物资保障[J]. 防灾科技学院学报, 2006, 8(3): 15-18.
- [5] 聂高众, 高建国, 苏桂武, 等. 地震应急救援需求的模型化处理——来自地震震例的经验分析[J]. 资源科学, 2001, 23(1): 69-76.
- [6] 徐德诗, 黄建发. 我国地震与应急救援发展的思考[J]. 国际地震动态, 2006, 33(10): 1-8.
- [7] 陈志宗, 尤建新. 重大突发事件应急救援设施选址的多目标决策模型[J]. 管理科学, 2006, 19(4): 10-14.