

孔江伟, 曾坚, 高梦溪. 基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划方法研究[J]. 灾害学, 2020, 35(3): 220 – 223. [KONG Jiangwei, ZENG Jian and GAO Mengxi. Research on Planning Method of Disaster Refuges in Unit – Dense Urban Districts of Xiamen City Based on Resilient Cities [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35 (3): 220 – 223. doi: 10.3969/j. issn. 1000 – 811X. 2020. 03. 040.]

基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害 避难所规划方法研究*

孔江伟, 曾 坚, 高梦溪

(天津大学 建筑学院, 天津 300072)

摘 要: 针对采用当前方法对单位密集城区灾害避难所规划存在选址模型精准度低、规划合理度低的问题, 提出基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划方法, 在韧性城市理念的基础上结合 p – 中值模型和最大覆盖模型构建多目标选址模型, 从环境因素、经济性、可达性、效率性、安全性和公平性出发, 选取规划灾害避难所的评价指标。同时结合灰色关联评价模型和直觉模糊 AHP 方法, 通过非隶属度降低偏差, 采用最优方案与各个避难所之间存在的关联度进行排序, 选择最优的灾害避难所规划方案, 实现厦门市单位密集城区灾害避难所的规划。

关键词: 韧性城市; 密集城区; 灾害避难所; 规划方法; 非隶属度

中图分类号: X928; X915.5; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 – 811X(2020)03 – 0220 – 04

doi: 10.3969/j. issn. 1000 – 811X. 2020. 03. 040

城市是科技信息、经济、文化和政治的中心, 当自然灾害袭击城市时, 会导致城市出现巨大的损失, 灾害性事件对城市造成的威胁程度随着城市化进程的加快不断加大^[1]。厦门市是一个人员密集的城区, 当发生自然灾害时, 所有居民无法在短时间内疏散到灾害避难所, 因此对灾害避难所进行规划是一项重要措施, 可以降低台风、水灾、火灾和地震等重大突然性灾害事件对城市造成的损失和伤亡。当前密集城区灾害避难所规划方法存在选址模型精准度低和规划合理度低的问题, 需要对密集城区灾害避难所规划方法进行研究。

城市与韧性结合产生了时间和空间维度的特征, 城市的功能和结构在城市发展内外部驱动力变化重组之后可以保持原始状态的能力是韧性城市的最初定义^[2-3]。城市可以吸收并消化外界的干扰, 保持原有关键功能、结构和主要特征的能力, 主要体现在四个方面, 分别是社会动力、管治构建、空间环境和能量代谢。调整城市管控制度框架和发展策略、优化城市运作效率和基础设施空间布局^[4]、改善城市空间环境品质是韧性城市的特征。为了解决当前密集城区灾害避难所规划方法中存在的问题, 引入韧性城市理念, 提出基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划

方法。

1 多目标选址模型

结合 p – 中值模型和最大覆盖模型在安全性原则、服务容量有限原则、平灾结合原则、可达性原则和均匀分布原则的基础上构建多目标灾害避难所选址模型^[5-6]。

设 $\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} y_j$ 为最小化的总疏散距离, 其中, j 是可利用的灾害避难所; i 是需求点; y_j 是二元变量, 当 y_j 的值为 1 时, 表明点 j 被设置为灾害避难所^[7]; t_{ij} 为灾害避难所 j 与需求点 i 之间存在的疏散距离; 设 $\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i x_{ij}$ 为覆盖范围内存在的最大需求量, 其中, x_{ij} 是二元变量, 当 x_{ij} 的值为 1 时, 表明灾害避难所 j 服务于需求点 i ; α_i 是需求点 i 内存在的人数; 设 $\max \sum_{j=1}^n A_j$ 为最大化灾害避难场所对应的覆盖范围^[8], 其中, A_j 为灾害避难所 j 对应的服务区域。

* 收稿日期: 2019 – 12 – 23 修回日期: 2020 – 03 – 25

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划项目(2016YFC0502903); 国家自然科学基金重点项目(51708387); 教育部人文社科基金(17YJCZH013)

第一作者简介: 孔江伟(1990 –), 男, 河北沧州人, 博士研究生, 研究方向为城市生态安全与综合防灾。

E-mail: shunzi284@126.com

通讯作者: 曾坚(1957 –), 男, 天津人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为生态城市与防灾减灾。

E-mail: 13602058416@vip.163.com

$$S_u \sum_{j \in W_i} x_{ij} \geq 1, i \in V. \quad (1)$$

式(1)表示每个需求点只能接受一个灾害避难所的服务。

$$P_j \geq \sum_{i=1}^n a_i x_{ij}. \quad (2)$$

式(2)表示灾害避难所能够服务的人数需要低于设定的容量限制。

$$d_{ij} \leq t_{ij} \leq r_j. \quad (3)$$

式中: r_j 为灾害避难所 j 对应的最大服务范围; d_{ij} 为是灾害避难所 j 与服务需求点 i 之间存在的线性距离, 式(3)表示灾害避难所与需求点之间存在的距离需要小于最大服务范围。

$$\sum_{j=1}^n A_j \geq A_{all} \cdot \delta_{ratio}. \quad (4)$$

式中: δ_{ratio} 为规划区域与避难场所的覆盖率最小阈值; A_{all} 为规划区域面积。式(4)表示规划区域对应的覆盖率最小阈值要小于灾害避难场所对应的服务覆盖率。

2 密集城区灾害避难所规划方法

2.1 指标选取

与区域经济相对应, 在建设城市密集城区灾害避难所的过程中经济性指标是需要考虑的重要指标, 构建的城区灾害避难所经济有效、切实可靠性的前提是从经济的客观条件出发^[9-10]。经济性指标包括开发经费和设施数目。

效率性指标中包括两个, 分别是设施在一定距离内服务人数以及平均旅次长度。

在服务范围内居民受灾害避难所服务的覆盖程度可以通过公平性体现^[11-12]。公平性指标包括设施负荷标准差和覆盖率。

安全性包括两个指标, 分别是与危险源距离和坡度^[13]。在规划密集城区灾害避难所时, 需要对避难所所处位置的坡度进行考虑, 通常选择基础设施较好、坡度较好且相对较高的区域进行建设^[14], 同时需要对城市中存在的危险源进行考虑, 包括鞭炮厂、加油站、油漆厂和化工厂等。

物资调运和应急救援受可达性的直接影响, 可达性通常也描述通往灾害避难所的路径的通达情况, 一般情况下可以通过避难距离或避难疏散时间进行衡量^[15-17]。可达性中包括两个指标, 分别是步行可达性和交通便利性。

灾民为了躲避灾害在灾害避难所中需要居住短暂的时间, 居民身体的健康受灾害避难所环境影响较大。居民在灾害避难所中居住时会产生大量的污水和垃圾, 为了减少疾病传染, 保证良好的避难环境, 需要及时地对污水和垃圾进行清理, 因此将污水处理能力和垃圾处理方便性两个因素作为环境指标。

2.2 指标权重

根据指标对应的重要程度, 两两对比指标, 根据对比结果获得直觉模糊判断矩阵 A_1 , 其表达式为:

$$A_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{2j} \\ a_{31} & a_{31} & a_{33} & \cdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

式中: $a_{ij} = (\mu_{ij}, \gamma_{ij})$, μ_{ij} 为元素 d 在论域 D 中属于直觉模糊集 A 的隶属度函数。

通过上述过程获得二级直觉模糊判断矩阵 A_{21} 、 A_{22} 、 A_{23} 。

设 $(\tau)^T = [\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_p]$ 代表的是指标对应的权重, 其计算公式为:

$$(\tau)^T = [\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_p] = \left[\frac{\sum_{j=1}^p a_{1j}}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^p a_{2j}}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij}}, \dots, \frac{\sum_{j=1}^p a_{pj}}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij}} \right]. \quad (6)$$

定义得分函数 $H(\alpha)$, 通过 $H(\alpha)$ 确定权值大小, 其表达式为:

$$H(\alpha) = \frac{1-\gamma}{1+p}. \quad (7)$$

得分函数 $H(\alpha)$ 在区间 $[0, 1]$ 内取值。

通过下式标准归一化处理得分权重:

$$\omega_i = \frac{H(\tau_i)}{\sum_{j=1}^p H(\tau_j)}. \quad (8)$$

定义二级指标对于准则层的权重值与准则层对于目标层权重值的乘积与相对于评价体系二级指标的权重值相等, 获得评价指标对应的最终权重:

$$(\omega^*)^T = [\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_{10}^*]. \quad (9)$$

通过相容性对权重分配的合理性进行检验:

$$I(A, A^*) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |a_{ij} + a_{ji}^* - 1|}{n^2}. \quad (10)$$

式中: A 、 A^* 均是模糊判断矩阵。

2.3 灾害避难所规划方法

通过多目标选址模型获得 m 个灾害避难所, 选取了 n 个评价指标, 设数列 $D = (d_{11}, d_{12}, \dots, d_{in})$ 是由 i 个灾害避难所对应的第 n 个指标值组成的, 其中 $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$, 获得由 m 个灾害避难所组成的原始指标矩阵, 其表达式如下:

$$D = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

式中: d_{ij} 为第 i 灾害避难所对应的第 j 类属性的原始数据^[18-19]。

设 $D_0 = (d_{01}, d_{02}, \dots, d_{0n})$ 为最优指标集, 对于逆向指标 d_{0j} 和正向指标 d_{0j} 分别取最大值和最小值, 即:

$$d_{0j} = \begin{cases} \max(d_{1j}, d_{2j}, \dots, d_{mj}); \\ \min(d_{1j}, d_{2j}, \dots, d_{mj}). \end{cases} \quad (12)$$

通过 d_{0j} 建立矩阵 D^* :

$$D^* = \begin{bmatrix} D_0 \\ D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{01} & d_{02} & \cdots & d_{0n} \\ d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

对数据进行标准差交换变化, 方便数据的比较, 基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划方法通过极差变换和标准差变换对数据进行标准差变化。

(1) 标准差变换

$$d'_{ij} = \frac{d_{ij} - \bar{d}_{ij}}{S}; \quad (14)$$

$$\bar{d}_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_{ij}; \quad (15)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (d_{ij} - \bar{d}_{ij})^2}. \quad (16)$$

每个变量通过标准差变换后的标准差变为 1、均值变为零, 消除了计算受量纲的影响, 但获得的值在区间 $[0, 1]$ 上的概率较小, 需要对变量做极差变换^[20]。

(2) 极差变换

对于正向指标, 存在 $d'_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} \{d'_{ij}\}$, 对于逆向指标, 存在 $\max_{1 \leq i \leq m} \{d'_{ij}\} - d'_{ij}$, 即:

$$\begin{cases} d''_{ij} = \frac{d'_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} \{d'_{ij}\}}{\max_{1 \leq i \leq m} \{d'_{ij}\} - \min_{1 \leq i \leq m} \{d'_{ij}\}}; \\ d''_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} \{d'_{ij}\} - d'_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} \{d'_{ij}\} - \min_{1 \leq i \leq m} \{d'_{ij}\}}. \end{cases} \quad (17)$$

分析式(17)可知, 数据经过变换后存在 $0 \leq d''_{ij} \leq 1$, 数据此时直接可用, 没有数量级和量纲的影响, 变换后获得标准化矩阵 G , 其表达式为:

$$G = \begin{bmatrix} D''_0 \\ D''_1 \\ D''_2 \\ \vdots \\ D''_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d''_{01} & d''_{02} & \cdots & d''_{0n} \\ d''_{11} & d''_{12} & \cdots & d''_{1n} \\ d''_{21} & d''_{22} & \cdots & d''_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d''_{m1} & d''_{m2} & \cdots & d''_{mn} \end{bmatrix}. \quad (18)$$

设 ε_{ij} 代表的是第 i 个灾害避难所对应的第 j 个指标与其最优值之间存在的关联系数, 可通过灰色关联分析法计算得到, ε_{ij} 的计算公式为:

$$\varepsilon_{ij} = \min_{1 \leq i \leq m} \frac{\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} |d''_{ij} - d''_{0j}| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |d''_{ij} - d''_{0j}|}{|d''_{ij} - d''_{0j}| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |d''_{ij} - d''_{0j}|}. \quad (19)$$

通过关联系数 ε_{ij} 构建关联系数矩阵 E , 其表达式为:

$$E = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \cdots & \varepsilon_{1n} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \cdots & \varepsilon_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \varepsilon_{m1} & \varepsilon_{m2} & \cdots & \varepsilon_{mn} \end{bmatrix}. \quad (20)$$

设 R_i 代表的是各个最优指标集和应急避难所之间存在的关联度, 通过权重向量 $(\omega^*)^T$ 和关联系数行向量 E_i 计算得到, 其计算公式为:

$$R_i (i=1, 2, \cdots, m): R_i = E_i \times (\omega^*)^T = [\varepsilon_{i1} \quad \varepsilon_{i2} \quad \cdots \quad \varepsilon_{in}] \times \begin{bmatrix} \omega_1^* \\ \omega_2^* \\ \vdots \\ \omega_{10}^* \end{bmatrix}. \quad (21)$$

当关联度 R_i 的值越大时, 表明最优集与避难所之间存在的差距越小, 在关联度的基础上排序灾害避难所, 实现择优选择, 完成厦门市单位密集城区灾害避难所的规划。

3 实验结果与分析

为了验证基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划方法的整体有效性, 在 MATLAB

平台中分别采用本文基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划方法、基于遗传算法的密集城区灾害避难所规划方法和基于模糊集值理论的密集城区灾害避难所规划方法进行测试, 对比三种不同方法构建的选址模型精准度, 测试结果如图 1 所示。由图 1 可知, 本文设计基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划方法在多次迭代中构建的模型精准度均在 90% 以上; 而基于遗传算法的密集城区灾害避难所规划方法在多次迭代中构建的模型精准度在 70% 附近波动; 基于模糊集值理论的密集城区灾害避难所规划方法在多次迭代中构建的模型精准度在 60% 附近波动。对比三种测试结果可知, 本文方法构建的选址模型精准度较高, 其原因是本文方法结合 p-中值模型和最大覆盖模型在安全性原则、服务容量有限原则、平灾结合原则、可达性原则和均匀分布原则的基础上构建选址模型, 可有效提高选址模型的精准度。

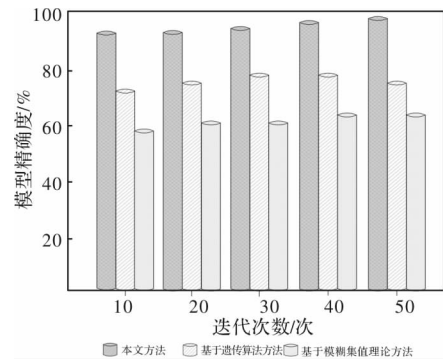


图1 三种方法的模型精准度对比结果

为了进一步验证所提方法的整体有效性, 分别采用本文方法、基于遗传算法的密集城区灾害避难所规划方法和基于模糊集值理论的密集城区灾害避难所规划方法进行测试, 对比三种不同方法的规划合理度, 测试结果如图 2 所示。分析图 2 可知, 在多次迭代中基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划方法的模型精准度均高于基于遗传算法的密集城区灾害避难所规划方法和基于模糊集值理论的密集城区灾害避难所规划方法, 因为本文方法结合灰色关联评价模型和直觉模糊 AHP 方法对密集城区灾害避难所进行规划, 提高了规划结果的合理度, 验证了基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划方法的整体有效性。

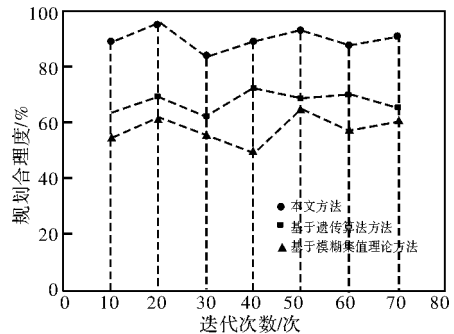


图2 三种方法的规划合理度对比结果

4 结束语

世界各国近年来的环境灾害、人为灾害和自然灾害频发, 严重威胁了社会发展和人类生存, 因此需要对密集城区灾害避难所规划方法进行研究, 当前密集城区灾害避难所规划方法存在模型精准度低和规划合理度低的问题, 提出基于韧性城市的厦门市单位密集城区灾害避难所规划方法, 在高精度选址模型的基础上结合灰色关联评价模型和直觉模糊 AHP 方法实现密集城区灾害避难所的规划, 解决了当前方法中存在的问题, 为密集城区灾害避难所的发展奠定了基础。

参考文献:

- [1] 刘昌明, 张永勇, 王中根, 等. 维护良性水循环的城镇化 LID 模式: 海绵城市规划方法与技术初步探讨[J]. 自然资源学报, 2016, 31(5): 719-731.
- [2] 任宏, 杜永杰, 陈永奇, 等. 距离测度视角下生态城市规划方案三维评价模型研究[J]. 科技进步与对策, 2016, 33(16): 81-85.
- [3] 张威涛, 运迎霞. 滨海港口城市长期避难场所布局与灾害危险适应问题探讨[J]. 景观设计, 2019, 5(2): 32-37.
- [4] 黄慧明, 陈嘉平, 陈晓明. 面向专项规划整合的空间规划方法探索——以广州市“多规合一”工作为例[J]. 规划师, 2017, 33(7): 61-66.
- [5] 张亚楠. 基于 ArcGIS 的多准则地震应急避难所选址规划研究[J]. 震灾防御技术, 2019, 14(2): 376-386.
- [6] 于波, 孙恒楠, 项添春, 等. 综合能源系统规划设计方法研究[J]. 电力建设, 2016, 37(2): 78-84.
- [7] 杨伟明, 刘子龙, 周玉文, 等. 基于 CADTableConvert 和雨水管网设计计算表的自动 SWMM 水力模型构建方法研究[J]. 给水排水, 2016, 42(4): 124-127.
- [8] 廖勇, 朱新平. 基于随机规划的机场选址模型研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(18): 294-298.
- [9] 钱洪伟. 城镇应急避难场所运营管理机制设计探讨[J]. 灾害学, 2014, 25(4): 143-149.
- [10] 李桢, 刘森. 基于 CLUE-S 模型的三江平原景观格局变化及模拟[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1805-1812.
- [11] Afona Chernet, Kerstin Kling, Véronique Sydow, et al. Accuracy of diagnostic tests for *Schistosoma mansoni* infection in asymptomatic Eritrean refugees: serology and POC-CCA against stool microscopy[J]. Clinical Infectious Diseases, 2017, 65(4): 36-40.
- [12] 何继新, 贾慧. 城市社区安全韧性的内涵特征、学理因由与基本原理[J]. 学习与实践, 2018, 12(9): 84-94.
- [13] Pavli A, Maltezou H. Health problems of newly arrived migrants and refugees in Europe[J]. Journal of Travel Medicine, 2017, 24(4): 25-30.
- [14] 周霞, 毕添宇, 丁锐, 等. 雄安新区韧性社区建设策略——基于复杂适应系统理论的研究[J]. 城市发展研究, 2019, 26(3): 108-115.
- [15] 熊萍. 主流媒体灾害事件传播及舆论引导的难点与策略[J]. 中国编辑, 2018, 12(1): 83-87.
- [16] Michela Nosè, Francesca Ballette, Irene Bighelli, 等. Psychosocial interventions for post-Traumatic stress disorder in refugees and asylum seekers resettled in high-income countries: Systematic review and meta-Analysis[J]. Plos One, 2017, 12(2): 17-30.
- [17] 於家, 温家洪, 陈芸, 等. 基于应急疏散智能体模型模拟的城市避难所空间配置——以上海市静安区为例[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(8): 69-72.
- [18] 程瑞希. 城市建筑密集区高层办公建筑绿色建筑技术指标体系研究[J]. 广东土木与建筑, 2018, 15(3): 76-78.
- [19] Dagnelie O, Mayda A M, Maystadt J F. The Labor Market Integration of Refugees to the United States: Do Entrepreneurs in the Network Help? [J]. Social Science Electronic Publishing, 2018, 25(26): 15-21.
- [20] 吴有晓. 城市密集居民区 4G LTE 网络协同覆盖解决方案[J]. 电脑与电信, 2017, 25(8): 39-42, 47.

Research on Planning Method of Disaster Refuges in Unit-Dense Urban Districts of Xiamen City Based on Resilient Cities

KONG Jiangwei, ZENG Jian and GAO Mengxi

(School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In view of the problems of low accuracy and rationality of location model in the planning of disaster shelters in unit intensive urban areas by using the current method, the planning method of disaster shelters in unit intensive urban areas in Xiamen based on the concept of resilient city is proposed. Based on the concept of resilient City, combining the p-median model and the maximum coverage model, a multi-objective location model is constructed, which is composed of environmental factors, economy Based on accessibility, efficiency, safety and fairness, the evaluation indexes of planned disaster shelters are selected. At the same time, combined with the grey correlation evaluation model and intuitionistic fuzzy AHP method, through reducing the deviation of non membership degree, the optimal scheme and the correlation degree between each shelter are used to rank, and the optimal planning scheme of disaster shelter is selected to realize the planning of disaster shelter in the dense urban area of Xiamen. The experimental results show that the proposed location model has high accuracy and good planning rationality.

Key words: resilient city; dense urban area; disaster shelter; planning method; non subordinate degree