

城市消防救援站选址方案评估方法研究

韩云飞 李智

(滨海新区消防救援支队 天津 300450)

摘要:随着我国经济社会发展持续加速和城市化水平的不断提升,对城市公共消防基础设施建设水平提出了更高要求。其中,消防救援站站址的选择是城市公共消防基础设施建设面临的重要问题,选址方案应在确保消防救援站日常执勤和运行的同时,尽可能降低投入成本,提升响应效能,保障区域应急救援任务需求。本文全面分析了影响消防救援站选址的各种因素,建立消防救援站选址指标体系,并结合熵权法确定指标综合权重;应用物元分析理论,构建了消防救援站选址方案评估模型,对不同方案优劣进行量化对比,为消防救援站救援站选址方案的优化决策提供了分析方法和评估途径。

关键词:城市;消防救援站;选址方案;物元分析;评估

1 引言

近年来,我国城市公共消防基础设施建设,尤其是消防救援站建设取得了长足发展。但总体来看,其建设速度仍无法满足城市发展需求,因此城市消防救援站的增建与改建仍是今后城市公共消防基础设施建设的重要内容。消防救援站救援站选址方案的优化决策,直接关系到城市公共消防基础设施建设水平,对于提升消防救援队伍应急救援能力、保障人民生命财产安全具有重要的实践意义。因此,对消防救援站选址方案进行量化评估,为选址决策提供客观依据是十分必要的。

经过多年探索,相关学者提出了多种可行的选址模型:如应用多目标模糊优选理论,综合考虑消防救援站选址的定性和定量因素,提出了消防救援站选址多目标模糊优选模型^[1];提出综合利用层次分析和目标规划方法来解决应急系统选址规划问题^[2,3];利用城市地理信息系统解决消防救援站的选址问题。这些模型和方法为城市消防救援站选址的最优决策提供了可行的分析途径。为了寻求更为合理、实际的方法解决消防救援站选址决策问题,本文应用物元分析法建立模糊物元选址方案评估模型,协助决策者在现有的多个选址方案中找出最优方案。

2 城市消防救援站选址评估指标体系

2.1 城市消防救援站选址影响因素

2.1.1 经济因素

经济因素是评估消防救援站选址方案的需考虑的因素之一。在实际规划建设中,根据所属地区的财政预算进行消防救援站址的选择是必须考虑的因素。从某种角度来看,消防救援站建设同样也是一种投资决策,不仅要考虑“效率”,也要兼顾“效益”,作为城市整体规划的一部分,消防救援站作用的发挥不可避免的要受到当地经济因素影响。在有限的预算前提下,决策者在进行规划选址时要通过对消防救援站建设、运营投入的合理预测,对各选址方案进行评价。

2.1.2 时间因素

现代城市灾因复杂,各种灾害往往发生突然,毫无预兆,且发展迅速。例如普通建筑火灾,由初起阶段发展到猛烈阶段仅需15分钟左右^[4],这就要求消防队能要在火势初期阶段及时到场控制火势,因此时间因素是消防救援站布局的首要因素。我国规定,消防队应在15分钟内达到火场^[4],即“15分钟消防”,去掉相对固定的战斗展开时间、接警出动时间

等部分,途中行驶的4分钟时间就显得极为重要。因此,在消防救援站选址期间充分考虑时间因素,能极大保证后期消防救援站的灭火救援效率。

2.1.3 距离因素

火灾事故具有突发性,从初起到发展阶段蔓延极快,对消防救援力量的到场的时效性要求较高,而消防救援站位置与火灾发生地点的距离直接关系到消防力量到场的速度,因此必须将距离因素纳入消防救援站选址评价中。常见的画圆法、网格法往往单纯将其设置在几何中心,不仅过于简单,而且与实际情况存在一定差异,难以满足消防救援站出警对距离条件的要求。必须找出切合实际的衡量指标,通过科学计算使消防救援站距事故地点平均距离最短。

2.1.4 环境气象因素

为了确保消防救援站出警及自身安全,消防救援站选址方案还要考虑周围环境状况,是否能够满足消防救援站出警及日常训练、生活等活动。在国家相关规定中,对于消防救援站选址环境提出了基本性要求^[4],包括应设在辖区内适中位置和便于车辆迅速出动的临街地段,其用地应满足业务训练的需要;消防救援站的主体建筑距离医院、学校、幼儿园、托儿所等公共聚集场所的疏散出口保持不小于50m距离;有易燃易爆危化品单位的地区,属地消防救援站站址应设置在地区常年主导风向的上风或侧风处,并与其保持200m以上距离等。

2.1.5 社会因素

作为城市基础设施的重要部分,消防救援站的建设必然牵涉到种种社会影响^[5],如在已规划用作其他用途的土地资源上新建消防救援站,或者由于城市土地资源所限无法选择某位置建设消防救援站等,综合考虑多种社会影响因素,对消防救援站选址进行优化布局,具有实践和指导意义。

上述经济因素、时间因素、距离因素、环境气象因素及社会因素都是制约消防救援站选址的重要因素,这些因素之间既相对独立,又在某程度上相互制约,很难做到同时最优。所以消防救援站最终站址不一定都能够满足时间需求,只有全面考虑这些影响因素,才能为城市消防救援站选址决策提供可靠依据。

2.2 消防救援站选址方案评估指标体系

由城市消防救援站选址的影响因素进行分析,选址方案的评估指标包含定性和定量两类。考虑到定性指标标准的评

式中: 从优隶属度为 u_{ij} , $\max(x_{ij})$ 和 $\min(x_{ij})$ 为不同选址方案中各评价指标的最大值和最小值, 基于以上量值建立 \bar{R}_{mn} , 即从优隶属度模糊物元。

$$\bar{R}_{mn} = \begin{bmatrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ M_1 & u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ M_2 & u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_m & u_{m1} & u_{m2} & \dots & u_{mn} \end{bmatrix}$$

根据各评价指标从优隶属度的最大值或最小值, 确定标准模糊物元 R_m :

$$\Delta_{ij} = (u_{0j} - u_{ij})^2 (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (4.3)$$

模糊物元 R_m 与复合模糊物元 R_{mn} 中对应各项差的平方以 Δ_{ij} 表示, 建立差平方复合模糊物元 R_Δ :

$$R_\Delta = \begin{bmatrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ M_1 & \Delta_{11} & \Delta_{12} & \dots & \Delta_{1n} \\ M_2 & \Delta_{21} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{2n} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_m & \Delta_{m1} & \Delta_{m2} & \dots & \Delta_{mn} \end{bmatrix}$$

考虑到消防救援站选址方案的具体评价意义, 本文采用欧氏贴近度 ρ_H 作为评价, 构建复合模糊物元 R_{PH} :

$$R_{PH} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ PH_1 & PH_1 & PH_2 & \dots & PH_m \end{bmatrix}$$

其中:

表 4.1 某城市消防救援站选址方案指标数据

候选消防救援站地点	经济指标		距离指标		时间指标	
	固定费用(万元)	运行费用(万元)	最大行驶距离(千米)	平均行驶距离(千米)	最大通行时间(分钟)	平均通行时间(分钟)
D_1	840	260	24	18	20	18
D_2	1140	200	30	15.5	22	16
D_3	1200	180	28	16	24	15
D_4	1300	220	32	14.5	28	15
D_5	1000	230	25	20.5	22	17
D_6	850	240	24	20	20	18

根据各指标数据建立模糊物元 R_{mn} ($m=3, n=9$):

$$R = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ D_1 & 840 & 260 & 24 & 18 & 20 & 18 \\ D_2 & 1140 & 200 & 30 & 15.5 & 22 & 16 \\ D_3 & 1200 & 180 & 28 & 16 & 24 & 15 \\ D_4 & 1300 & 220 & 32 & 14.5 & 28 & 15 \\ D_5 & 1000 & 230 & 25 & 20.5 & 22 & 17 \\ D_6 & 850 & 240 & 24 & 20 & 20 & 18 \end{bmatrix}$$

以上复合物元中均为成本型指标, 构建从优隶属度模糊物元 \bar{R}_{mn} 如下:

$$\bar{R}_{mn} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ D_1 & 1 & 0.692 & 1 & 0.806 & 1 & 0.833 \\ D_2 & 0.737 & 0.900 & 0.800 & 0.935 & 0.909 & 0.938 \\ D_3 & 0.700 & 1 & 0.857 & 0.906 & 0.833 & 1 \\ D_4 & 0.646 & 0.818 & 0.75 & 1 & 0.714 & 1 \\ D_5 & 0.840 & 0.783 & 0.96 & 0.707 & 0.909 & 0.882 \\ D_6 & 0.988 & 0.750 & 1 & 0.725 & 1 & 0.833 \end{bmatrix}$$

表 4.2 消防救援站选址指标体系权重值

权重	固定费用(万元)	运行费用(万元)	最大行驶距离(千米)	平均行驶距离(千米)	最大通行时间(分钟)	平均通行时间(分钟)
P	0.17	0.135	0.167	0.178	0.129	0.221
E	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
W	0.316	0.252	0.104	0.110	0.080	0.137

根据式(4.4)可以得到待选方案与最优方案之间的欧式

$$PH_i = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j \Delta_{ij}} (i=1, 2, \dots, m) \quad (4.4)$$

PH 直接反映最优方案之间与第 i 个待评价方案的接近程度, 其值越大, 表示两者越接近; 反之, 则相差越大。

最后, 根据 R_{PH} 对各个选址方案由优到劣进行排序, PH 值越大说明该方案越优, 其合理性越强, 故贴近度最大方案为最优选址方案。

4 应用举例

4.1 基本情况

为了满足城市快速发展需要, 改善城市灾害应急处置能力, 某城市规划部门根据本市地理位置特点及经济发展规划等因素, 遵照城市消防规划建设管理规定, 拟规划在原存在的五个消防救援站的基础上建立新的消防救援站。新消防救援站辖区位于城市开发新区, 其辖区面积已经确定, 约为 7km^2 。通过查阅资料 and 实际调查研究, 在征求决策部门领导及专家意见基础上, 提出了满足环境气象因素及社会因素的六个消防救援站的候选地点集 $\{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6\}$ 。为确保选址决策的合理, 决策部门决定, 科学论证各方案, 从中选择一合理地点建立消防救援站服务于该城市。表 5.1 列出了各选址方案经过预测的评价指标相关数据^[11]:

假设最优模糊物元为 $R_m=1$, 依照式(4.3)确定差平方复合模糊物元 R_Δ :

$$R_\Delta = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ D_1 & 0 & 0.095 & 0 & 0.038 & 0 & 0.028 \\ D_2 & 0.069 & 0.010 & 0.010 & 0.004 & 0.008 & 0.004 \\ D_3 & 0.090 & 0 & 0 & 0.009 & 0.028 & 0 \\ D_4 & 0.125 & 0.033 & 0.033 & 0 & 0.082 & 0 \\ D_5 & 0.026 & 0.047 & 0.047 & 0.086 & 0.008 & 0.014 \\ D_6 & 0 & 0.063 & 0.063 & 0.076 & 0 & 0.028 \end{bmatrix}$$

根据前文所述, 本文采用主观与客观相结合的方法确定实例的指标权重。依照式(3.6)确定综合权重 W :

价标准不一,不同城市需参考的影响因素各有不同,受决策者主观偏好影响较大。因此,本文在选取影响消防救援站选址的指标时,对定性指标不予考虑,只选取影响消防救援站选址的定量指标。通过查阅资料 and 实际调查研究,在分析了影响消防救援站选址的影响因素基础上,本文从时间、距离、经济三个一级指标中选取固定成本、年运行费用、消防车最大行驶距离、平均行驶距离、最大通行时间和平均通行时间六项作为城市消防救援站选址的指标^[7],建立城市消防救援站选址指标体系^[6](表 3.1)。

表 3.1 城市消防救援站选址指标体系

一级指标	二级指标
经济指标	消防救援站建设固定成本
	消防救援站年总运行费用
时间指标	消防车到达管辖区内火灾地点的最大通行时间
	消防车到达管辖区内火灾地点的平均通行时间
距离指标	消防车的最大行驶距离
	消防车的平均行驶距离

2.3 选址指标综合权重的确定

建立选址评估指标体系后,首先需要结合消防站选址方案的实际需求确定其权重。当前,对于指标权重的计算主要包括主观赋权法和客观赋权法。着重突出某项指标的重要性时需要主观赋权法确定权重,主观随意性较大。客观赋权法主要通过数据量化所提供的客观信息确定权重,评价结果与决策者的主观意愿的关联较小。常用的两种赋权法包括:层次分析法^[7]即 AHP 法,是一种典型的主观赋权方法,通过分解问题的各种因素及相互关系,建立多层次的分解结构模型,逐个层次要素进行比较,进而计算出各层要素的组合权重,从而得到不同方案的权值,为选择最优方案提供依据。熵权法^[8]是一种典型的客观赋权法,通过由评价指标值构成的判断矩阵来确定指标权重,通过建立指标特征值矩阵并进行归一化处理,能够消除主观因素造成的结果偏差。

(1) 假设建立包括 m 个决策方案的决策集,以及包含 n 个指标的指标集,以此得到各项指标的特征值矩阵为:

$$R=(x_{ij})_{mn}, (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

(2) 将矩阵进行归一化处理:

为消除各项指标不同度量单位具有的不可公度性,对其归一化处理,具体计算公式为:

a. 对效益型指标, 它的属性度公式为:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{imin}}{x_{imax} - x_{imin}} \quad (3.1)$$

b. 成本型指标属性度公式为:

$$r_{ij} = \frac{x_{imax} - x_{ij}}{x_{imax} - x_{imin}} \quad (3.2)$$

方案 j 中, 指标 i 中 x_{imax} 为最大特征值, 指标 i 为最小特征值。归一化处理, 建立相对优属度矩阵 R :

$$R=(r_{ij}), (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

(3) 根据熵的定义, m 个评价事物 n 个评价指标的熵 H_i 为:

$$H_i = -\frac{\sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}}{\ln m}, (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

$$m) \quad (3.3)$$

其中 $f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^m b_{ij}}$ 。显然, 当 $f_{ij} = 0$ 时, $\ln f_{ij}$ 无意义。

因此对 $f_{ij} = 0$ 的计算加以修正, 将其定义为:

$$f_{ij} = \frac{1+b_{ij}}{\sum_{j=1}^m [1+b_{ij}]} \quad (3.4)$$

(4) 计算评价指标的熵权 p_i 和权重 P :

$$P=(p_1, p_2, \dots, p_n)$$

$$p_i = \frac{1-H_i}{n-\sum_{i=1}^n H_i}, \text{ 且 } \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (3.5)$$

对于城市消防救援站不同选址方案进行决策, 在确定权重时不仅要依据指标的数值构成, 而且要考虑决策者的经验判断。因此以熵权法确定权重系数为基础, 融合主观、客观因素确定综合权重 λ_i ^[11], 使评价结果更加具有实践性和可操作性。

主观指标权重由评估专家给出 $E=(e_1, e_2, \dots, e_n)$, 客观指标权重由上述熵权法公式(3.1)~(3.5)得出 $P=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 。结合指标熵权, 对各项指标的主观权重进行修正:

$$w_i = \frac{p_i e_i}{\sum_{i=1}^n p_i e_i} \quad (3.6)$$

则综合权重为: $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

3 基于模糊物元分析的城市消防救援站选址模型

3.1 物元分析基本概念

物元分析^[9]是我国学者、广东工学院蔡文副教授所创立的学科, 该方法通过系统物元变换, 将不相容问题转换为相容问题, 使问题得到合理解决。在物元分析理论中, 事物的名称、特征和量值称为物元三要素, 即事物 M 、特征量 C 、量值 x , 共同组成物元 R 。消防救援站选址作为多目标决策问题, 第 j 个消防救援站选址方案以 M_j 表示, 选址方案的第 i 项评价指标以 C_i 表示, 各项指标量值用 $x_{ij}(i=1, \dots, m; j=1, \dots, n)$ 表示。即构成 m 个选址方案的 n 维复合物元 R_{mn} 。由于模型中的量值 x_{ij} 具有模糊性, 故称 R_{mn} 为 n 维复合模糊物元。由此, 复合模糊物元可表示为:

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ M_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ M_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_m & x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

3.2 物元分析评估模型

在基本明确物元分析理论中基本概念后, 根据消防救援站选址指标体系及各方案指标值构建复合模糊物元 R_{mn} , 以此作为模糊物元消防救援站选址模型的基础。

针对不同选址方案, 有的指标越大越优, 有的指标越小越优, 分别采用不同的计算公式, 得出从优隶属度:

对于越大越优型:

$$u_{ij} = x_{ij} / \max(x_{ij}) \quad (4.1)$$

对于越小越优型:

$$u_{ij} = \min(x_{ij}) / x_{ij} \quad (4.2)$$

贴进度复合模糊物元 $R_{\rho_{H}}$:

$$R_{\rho_{H}} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ \rho_{H_1} & 0.820 & 0.826 & 0.816 & 0.753 & 0.821 & 0.817 \end{bmatrix}$$

经过排序后得:

$$R_{\rho_{H_1}} = \begin{bmatrix} M_2 & M_5 & M_1 & M_6 & M_3 & M_4 \\ \rho_{H_1} & 0.826 & 0.821 & 0.820 & 0.817 & 0.816 & 0.753 \end{bmatrix}$$

依照最大贴进度原则将各选址方案由优到劣排序为:

$M_2 > M_5 > M_1 > M_6 > M_3 > M_4$, 故 M_2 为该市消防救援站选址的最优方案。

5 结论

消防救援站选址是一个受时间、经济和环境气象等众多因素影响的综合决策问题。本文在科学分析影响消防救援站选址各种因素的基础上, 忽略不确定的定量指标, 提出了以经济、时间、距离三个一级指标为基础的消防救援站选址方案评估指标体系, 并采用主观与客观方法将结合确定指标权重, 使权重更为客观合理; 应用模糊物元理论, 建立消防救援站选址模糊物元优选模型, 避免了消防救援站选址依靠经验或只考虑单一条件进行。随后将该模型应用于某市消防救援站选址评估进行计算, 对 6 个选址方案进行优化排序, 得到了较理想的结果, 从理论上初步验证了该模型应用于实际的可行性, 为消防救援站选址方案评估提供了可行的决策途径。

参考文献:

- [1] 徐志胜, 龚啸. 基于多目标模糊优选理论的城市消防救援站选址研究[J]. 中国公共安全, 2007(8):59-61.
- [2] 方磊, 何建敏. 综合 AHP 和目标规划方法的应急系统选址规划模型[J]. 系统工程理论与实践, 2003(12):116-120.
- [3] 何建敏, 刘春林等. 应急管理 with 应急系统一选址、调度与算法[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [4] 建标[2006]42 号.《城市消防救援站建设标准(修订)》[S]. 北京:中华人民共和国公安部, 2006.
- [5] 商靠定, 洪航等. 层次分析法在消防部队灭火救援战斗力评估中的应用[J]. 安全与环境工程, 2009, 16(3):70-74.
- [6] 方磊. 基于偏好 DEA 的应急系统选址模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, (8):116-121.
- [7] 高扬, 牟德一. 航空安全评估中的层次分析法—AHP. 中国安全科学学报[J]. 2000(3):38-41.
- [8] 惠彦涛, 李瑞. 熵权在建筑设计方案模糊优选中的应用[J]. 山西建筑, 2007, 33(13): 116-121.
- [9] 蔡文. 物元分析[B]. 广州:广东高等教育出版社,1987.