

沈阳市消防站布局优化研究

张卉蕾

沈阳市规划设计研究院有限公司

摘要:消防工作是国家应急管理治理体系的重要组成部分,是防范化解重大安全风险的使命担当。消防设施布局对于有效控制扑救火灾、保卫国家和人身财产安全、实现城市经济社会发展目标起着至关重要的作用,是城市基础设施建设的重要组成部分。因此,本文开展的给予GIS分析的沈阳市消防站布局优化研究具有十分重要的现实意义。本文采用了数据整理、理论分析、模型模拟等方法,以前期调研、理论研究、工程应用三大阶段为技术路线对沈阳市消防站进行布局优化,实现消防救援水平大幅度增加的效果,验证了本文构建的消防站布局优化模型具有良好的效果和可行性,达到了论文研究的预期目的。

关键词:消防站;区域划分;优化布局;道路拓扑

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.12.116

一、绪论

《辽宁省“十四五”消防救援事业发展规划》提出了在“十四五”时期,加快构建与辽宁省经济社会发展水平相匹配、相适应的公共安全与消防救援体系,为了实现为辽宁省经济社会高质量发展和人民美好生活提供有力消防安全保障的总体目标,进一步完善消防站点布局方式和规划方案具有显著意义。

本文通过定向和定量的综合分析,生成设施点位布局模型,借用GIS等软件分析,可为消防站点的布局、责任片区的划分提供理论支撑,完善城市消防站布局的相关理论。同时,本文为沈阳市消防规划的编制,提供分析方法和布局策略,具有提高城市抵御火灾的能力,减少经济损失,保障人民生命财产安全的效果。通过对火灾风险的定量评估指导消防站布局,改善传统依据个人经验的定性方法对消防站进行布局的不足,从而合理地配置城市消防资源。

二、理论研究

(一) 影响消防站布局主要因素

分析影响城市消防站设计与布局的因素,一方面是在对火灾具有的风险程度R开展研究发现,对火灾出现时给社会及居民带来多种损失与后果所对应的关键因素^[35]。另一方面是对火灾带来的破坏性进行研究的过程中可以得到,基本围绕在出现火灾接到报警消防车开始从消防站发车到达出现火灾的现场所需要的时间T以及火灾可能带来的破坏程度等分析^{[1][2]}。

(二) 消防站布局与相关因素的联系

在评判消防站设计与布局以及火灾所带来的破坏程度之间的关系时,最先被考虑的就是消防站设计与布局所敲定的详细位置、不同责任负担区域对应的因素S、道路网络相关因素L带来的作用以及消防车辆在前进过程中所需要的时间长短因素T的具体关系^[37]。

三、消防站概况

(一) 数量情况

沈阳现状的消防站共计48个,有4个特勤消防站,25个处于普通水平的二级消防站,19个小型消防站。规划控制消防站共计118座,也就是在规划期末,沈阳市将形成118座消防站联合为城市服务。

(二) 数量因素校检

(1) 校检原则

《城市消防站建设标准》(建标152-2017)给出了消防站数量标准,城市建成区一级消防站责任区不超过7km²,二级消防站责任区不超过4km²,小型消防站责任区不超过2km²,设在近郊区的普通站不应大于15km²。设区域最小标准消防站数量M_{min},^[3]有

$$M_{\min} = \frac{S_0}{S'_{\max}}$$

式中: S₀—目标区域面积(km²);

S'_{max}—单个消防站责任区最大容许面积(km²)。

若现有消防站数量M₀,则判断M₀与M_{min}之间的关系,有

$$\delta_{\text{num}} = \begin{cases} 1, & M_0 \geq M_{\min} \\ 0, & M_0 < M_{\min} \end{cases}$$

式中: δ_{num}—消防站数量因素校检结果。

当结果为1时,则判断结果符合预期;当结果为0时,则判断结果不符合预期。

(2) 校检结果

已知沈阳市现状已建设用地总面积为S₀=563平方公里,计算得M_{min}=563km²/7km²≈80个。沈阳市现有消防站数量M₀为48个,M₀<M_{min}=80,判断结果δ_{num}=0,则判断校检结果为不符合预期。

(三) 消防站责任区情况

应用GIS软件,泰森多边形模型工具,进行模拟消防站责任区绘制,以保证某消防站责任区域内任意一点到达该消防站的距离都小于到达其他消防站的距离^[4]。根据沈阳市资料,以及消防站数量校验可知,现状消防站小于最优配置是的消防站数量。

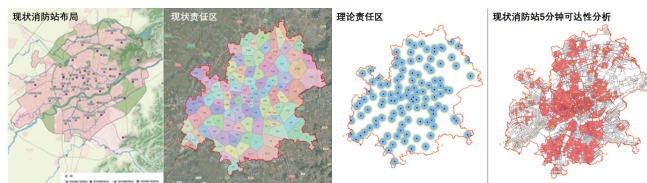


图1 原规划消防站分析图

对现有消防站理论覆盖范围进行校检,计算公式为:

$$R = \sqrt{S/\pi}$$

式中, R—消防站责任区半径(km)

S—消防站理想责任区面积（平方公里）。

代入 $S=7$ ，计算得 $R=1.49$ 。

将模拟消防站责任区落在各个消防站点位上，形成下图。

现状消防站可达性分析，应用Arcgis完成消防站派出人员的预估可达程度开展详细分析，涵盖普通消防站以及特勤中队消防站。

（四）现状消防站存在的问题

1. 消防站设计与布局存在疏漏区域

火灾出现的频率呈上升态势，然而所投入消防力量的匮乏，所设置的消防站稀少，时常带来无法快速及时扑救火灾的问题。这样一种消防站设计与布局存在疏漏位置的现象，造成很多地方所投入的消防力量非常紧缺^[5-7]。

2. 消防站少，负担责任区域面积较大

《城市消防站建设标准》中指出，一级消防站所管辖的区域面积不大于 7km^2 ，设在近郊区的普通站不应大于 15km^2 ，然而现状的消防站依然存在责任片区面积超过规定要求的情况，显然是一种潜在风险。

四、基于离散定位模型的消防站布局优化研究

（一）布局约束条件分析

1. 影响因素分析

制约消防站布局的三个重要的因素：时间约束因素T，责任区面积因素S和火灾风险因素R的约束。

2. 各因素间关系

1) 因素T限定责任区覆盖因素S。通过上章分析可知，因素T用于消防站责任区的可靠性判断。则有

$$P_{i_{\max}} \in \left\{ \frac{L_{1_{\max}}}{v_1}, \frac{L_{2_{\max}}}{v_2}, \dots, \frac{L_{i_{\max}}}{v_i} \right\} (i=1,2,\dots,n)$$

式中 $P_{i_{\max}}$ —满足条件点集合；

$L_{i_{\max}}$ —消防车在 T_{\max} 条件下到责任区的最远距离（km）；

v_i —消防车到i点的平均行驶速度（km/h）。

即消防车在限定时间内到达最远距离点集合，也称为责任区边线。

2) 因素R限定责任区覆盖因素S。因素R可用于消防站责任区可靠性的判断。因素R和因素T对因素S有共同的限定作用，任意一个条件不满足，均判断目标责任区不可靠。

3) 因素T、R限定消防站的选址。由于因素R和因素T对因素S起共同的限定作用，责任区的调整对消防站选址起反推作用。通过重新调整的责任区或者新设定的责任区，可以估算新责任区有效范围。假设消防站重新核定责任区 S' ，在 S' 边缘上取任意2点以上 P_1, P_2, \dots, P_n ，以选取的点为圆心画圆，设消防站选址集合为 M' ，则有

$$L_i = T_{\max} * V_i$$

$$M' = \{x | x = \pi L_1^2\} \cap \{x | x = \pi L_2^2\} \cap \dots \cap \{x | x = \pi L_n^2\} (i=1,2,3,\dots,n)$$

4) 责任区覆盖因素S限定消防站的数量；对于一个

对象区域C，有

$$\sum_{i=1}^n S_i \leq S_c (i=1,2,3,\dots,n)$$

式中 S_c —目标区域总面积（平方公里）；

n —消防站个数。

（二）消防站布局优化模型

1. 离散定位模型

（1）最短路径的定义及算法

消防站到达火灾地点的距离是影响火灾救援的重要因素，需要计算消防站与重大火灾风险点之间的最优路径。本文基于最短路径方法来计算风险点与消防站之间的距离，来确定最短路径矩阵。

给定一个无向连续网络 $G=\{V, E\}$ ，其中 $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 为G的点集， $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 为连接G中各点间的弧集，为弧 B_i 的长度。如果弧 e_i 连接点 v_p 和 v_q ，那么弧 e_i 可以表示成 $e_i=(v_p, v_q)$ ， $b(e_i)$ 可以表示 $b(e_i)=b(v_p, v_q)$ 。G中的任何两个点 $x, y, d(x, y)$ 代表连接x点和y点的最短路径。

（2）集合覆盖模型

针对集合覆盖模型，能对覆盖所有需求点所需的最小供应点数量问题进行解决。在对消防站布局优化设计的过程中，借助此模型可对消防救援需要的最少消防站数量进行计算。消防站优化布局分析流程分为以下几个步骤：子区域划分、道路网络拓扑确定、最短路径矩阵计算、优化布局求解。

2. 子区域划分

所谓子区域划分原则，具体应该考虑以下五个方面：

（1）在划分子区域的过程中应该与市域城镇规划体系相持平。当前大部分城市采用的都是市域城镇规划的模式，而划分子区域的过程中应该以这些城区划分来进行标准；

（2）子区域划分应该考虑到街道办事处、居民委员会等边界来作为划分的标准；

（3）子区域的划分应该与城镇体系规划相匹配，并且还应该以街巷来作为界限；

（4）在划分子区域的过程中，应该对地形特征进行考虑；

（5）由于本课题是消防站优化布局，因此应该避免火灾事故发生概率较高的路线。

3. 道路网络拓扑确定

在确定道路网络拓扑的过程中，需要遵循的原则主要包含以下四点：（1）道路网络拓扑基于实际道路交通网络进行创建、分析、优化。（2）在优化道路网络拓扑过程中，综合考虑消防路线。（3）应该尽可能的来对节点数目进行降低；（4）在拓扑中，应该用行车时间来代表节点间路径。基于以上原则进行分析优化，分析子区域中心点、非道路交叉口作为消防站节点。在路径的选择与设定过程中，节点间连接的时间路径和各个节点与该节点所代表区域节点的抽象路径构成的。

4. 最短路径计算

通过借助于FLOYD最短路径计算模型来计算最短路径矩阵,有助于确定节点与节点之间的最短路径。如果最短路径计算工作量大时,考虑借助遗传算法辅助进行最短路径确定。

5. 优化布局模型

(1) 借助集合覆盖模型来确定消防站数量,根据消防站布局的设定,给出第一个消防站布局优化解决方案。

(2) 将P值设定为NFS-1,借助于最大覆盖模型来确定第二个消防站位置,以此类推其他消防站布局最优解决方案。

(3) 通过以上步骤来对消防站的布局进行优化设置,在不同方案中寻求最优解,给出最优解决方案。

五、沈阳市消防站布局优化设计

(一) 规划消防站布局优化设计

1. 离散定位模型计算

构建最短路径模型时,在网络图上规划的最短长度就是极其简易的路线。

2. 确定规划消防站布局

通过Arc GIS软件中提供的定位—配给模型来进行最优站址的选择,由集合区域内所涵盖的模型(LSCP)能够获取最小程度上的消防站个数,沈阳各辖区内所涉及的消防站设计与布局取得的详细结果如图3所示。

(二) 规划消防站布局安全性校验

1. 对城市所有区域的五分钟可达性校验

通过gis计算布置的消防救援车辆在各个时间段内能够实现的最远距离,来进一步详细判断其建设的内在逻辑与合理性。

2. 对火灾风险点的覆盖情况校验

通常加油站以及加气站比较出现火灾风险,所有在设计消防站的时候就得深思熟虑,这就要求我们依托于最短距离这个大的前提,继续调整不同设施点位占据的权重,最终敲定最科学合理的设计与布局。

(三) 规划消防站优化效果

1. 现状消防站责任区修正

通常依据泰森多边形原理来开展责任范围的详细划定,从而最大程度上实现随意挑选一个点位离消防站的实际距离都比剩下的点位距离短很多,通过在模型中详细计算能够得到,现状有76个不同的消防站满足了相关要求,其所负责任范围内的合格程度增加了约20%,极大程度上验证了此次优化布局行动内在的科学性与合理性。

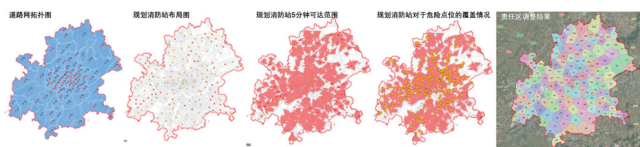


图2 优化后规划消防站分析图

表1 沈阳市消防站优化后辖区情况统计表

责任区类别	责任区数量	符合数量	不符合数量	符合率
现状责任区	118	26	92	22.4%
规划责任区	178	101	77	56.5%

2. 优化结果分析

(1) 原规划已控制的118座消防站无法满足全城90%区域用户5分钟可达的系统情况,在城市各辖区内存在消防薄弱点的位置新建了43个消防站,已达到符合5分钟响应时间的明确标准。(2) 通过对消防站责任片区予以调整,现状消防站负担责任范围是118个,然而仅26个能够达到面积要求,剩余92个无法满足,达标率仅为22.4%,通过采取相关措施,提升后责任片区达标率涨至56.5%,较之前有明显增加。

结论

(1) 用定量手段核实了整个范围内布置的消防站具体个数、所负担区域范围大小以及接到报警后的响应反馈时间等多种问题加以研判,最终得到沈阳目前所建设的消防站设计与布局尚且存在数量匮乏、责任区划过大的安全隐患。(2) 提出了在消防站设计与布局过程中最重要的三大指标:一是时间约束因素T;二是责任范围因素S;三是火灾风险因素R,充分评估了这几个不同要素的具体关系,并形成离散定位模型。(3) 以沈阳市为研究对象,进一步完善消防站的布局,明确采取优化措施后在消防站具体个数、整体覆盖程度、平均派车周期以及责任覆盖范围内具体的风险数值加以分析,印证了本文所提出的优化模型能够在一定程度上确保实施效果。

结合上述分析,本文所构建的离散定位信息模型能够有效用于消防站布局提升和优化中,达到了设定的目标。充分验证了这个优化模型所具有的操作可行性,为今后的研究奠定了更加深厚的基础。

参考文献

[1] 李瑛琦. 浅谈GIS系统在消防实际工作中的应用[J]. 今日消防, 2021, 6(08): 37-39.

[2] 王玥, 李保杰, 毛越. 基于GIS的徐州市区消防站空间分布特征与可达性研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(08): 59-63+67.

[3] 张松. 基于GIS的城市社区火灾风险评估和应急救援决策[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(08): 96-98+100.

[4] 郭惠. 基于指标体系的城市地震火灾风险评估方法与软件设计[J]. 现代职业安全, 2021(08): 93-96.

[5] 张卉蕾, 王媛媛, 李菁. GIS系统在消防站布局中的应用[J]. 住宅与房地产, 2021(22): 121-122.

[6] 宋仁豪. 基于火灾风险评估的中小型城市消防站布局优化研究[D]. 江西师范大学, 2021.

[7] 冯佳莹, 方磊, 王立幼. 基于GIS+BIM技术的智慧消防管理平台设计与实现[J]. 中国建设信息化, 2021(06): 82-83.

[8] Hai Xiao, Xiao Hai, Zhou Yao, Zhang Hongtao. GIS-based Fire Risk Assessment and Fire Station Site Selection—Taking Dujiangyan City as An Example[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 608(1).

[9] 林明昊. 基于“gis数据分析”的防火及灭火救援体系构建——以福州市中心城区及福州新区消防专项规划为例[J]. 福建建筑, 2020(11): 126-131+138.