

急救站点布局合理性评价指标与实证研究^{*}

孙一璠

赵 明

刘泽彬 付林卉 张鲲翼 陈秉乾

(武汉大学资源与环境 (武汉急救中心 武汉 430022) (武汉大学资源与环境

科学学院 武汉 430072)

科学学院 武汉 430072)

〔摘要〕 采用文献法、专家咨询法、K-means 算法和实证分析法,分析急救站点布局的评价方法,探讨科学评价急救站点布局合理性的指标,利用武汉市 2015 年的急救相关数据进行可视化与实例计算,验证评价指标的合理性与可操作性,为统筹配置急救资源、合理布局急救站点提供参考。

〔关键词〕 急救站点;布局;合理性;指标

〔中图分类号〕 R-056 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2017.06.011

Evaluation Indexes and Empirical Research on the Rationality of Layout of First-aid Sites SUN Yi-fan, School of Resources and Environment Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China; ZHAO Ming, Emergency Center of Wuhan City, Wuhan 430022, China; LIU Ze-bin, FU Lin-hui, ZHANG Kun-yi, CHEN Bing-qian, School of Resources and Environment Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China

〔Abstract〕 Through literature method, expert consultation method, K-means algorithm and empirical analysis method, the paper analyzes the methods for evaluation on the layout of first-aid sites, discusses the indexes for scientific evaluation on the rationality of layout of first-aid sites, conducts visualized and practical calculation based on the first-aid related data of Wuhan city in 2015, verifies the rationality and operability of the evaluation indexes, and provides reference for overall allocation of first-aid resources and rational layout of first-aid sites.

〔Keywords〕 First aid sites; Layout; Rationality; Indicator

1 引言

合理布局急救站点是统筹配置急救资源、完善

医疗卫生应急体系的重要举措,是提高突发公共事件卫生应急快速反应和有效处置能力的必然要求。当前,在大力推进健康中国建设的时代背景下,社会公众对急救服务的需求呈现多样化特点,其空间分布不断变化,急救资源是否与急救需求相匹配关系到能否高效率地抢救各种急、危、重患者。因此,在急救车辆与急救人员可进行动态调配的情况下,合理的急救站点布局与建设在缩短急救时间、提高急救效率上具有重要意义。鉴于此,本文以急

〔修回日期〕 2017-03-26

〔作者简介〕 孙一璠,本科生,发表论文 1 篇。

〔基金项目〕 国家级大学生创新创业训练计划(项目编号:20150486044)。

救站点布局为研究对象,构建评价急救站点布局合理性的指标体系,探究其计算方法,利用武汉市 2015 年相关数据进行实证分析,以期对统筹配置急救资源、合理布局急救站点提供参考。

2 资料与方法

2.1 资料

本文所使用原始数据包括武汉市行政区划图、武汉市 2015 年急救事件记录和武汉市急救站点坐标。其中行政区划图由武汉大学地理信息科学系提供,武汉市 2015 年急救事件记录由武汉市急救中心提供,武汉市急救站点坐标通过百度坐标拾取器拾取并与武汉市急救中心工程师进行核对。

2.2 方法

2.2.1 文献法 在中国知网中以“AB = ‘布局’ * ‘急救’ not TI = ‘管理’ + ‘建议’ + ‘医疗’ + ‘设计’”为检索式进行检索,共检索到 70 篇相关期刊文献;在 Web of Science 中以“TI = [first - aid station or ambulance station or (emergency and optimize and site)]”为检索式进行检索共检索到 13 篇文献。以这些文献为基础,进行总结归纳。

2.2.2 K-means 算法 K-means 算法是常用的聚类算法之一,其基本思想是接受 k 个输入量后将 n 个数据对象划分为 k 个聚类,使得各个聚类满足同一聚类对象相似度较高,不同聚类中的对象相似度小。

2.2.3 实证分析法 获取武汉市 2015 年急救相关数据,对数据进行处理与可视化后,计算现有站点布局及两种新增站点方案下的评价指标,对计算结果进行分析,验证指标的有效性。

2.2.4 专家咨询法 从急救站点布局合理性评价指标选取的认同度和实证分析结果的符合度两大方面,设计包括 12 个具体认同度的咨询问卷。共向 27 位专家发放问卷咨询,回收有效问卷 27 份。在此基础上分别与武汉市急救中心、武汉大学资源与环境科学学院地理信息科学系相关人员进行了深度访谈。

2.2.5 软件 本文中数据相关操作涉及的软件有 ArcGIS 10.0 和 Matlab 2014a,二者均由武汉大学地

理信息科学系实验室提供。其中, ArcGIS 主要用于实现数据可视化, Matlab 用于数据处理和指标计算。

3 结果与分析

3.1 急救站点布局评价方法分析

影响急救体系运作的因素众多,其中人员素质、车辆数、站点分布具有决定性作用^[1]。考虑到急救人员急救与车辆可以根据急救站点的实际受理情况进行调度,因此学者们在探讨急救站点布局时,通常从地理位置的空间分布情况分析急救站点布局的合理性。从采用的方法看,大体分两大类:其一,采用 ArcGIS 等地理信息软件^[2]对站点布局的空间位置进行诸如缓冲区的空间分析,其可视化效果虽好但缺乏具体指标从而导致可比性弱,得到的结论一般为“某地区急救站点分布不均衡,存在中央城区多、边缘城区少的现象”,故采用此类方法难于全面评价不同地区急救站点的布局合理性;其二,建立急救站点布局优化的数学模型^[3],主要包括以总负荷距离最小为目标的“ p -中值模型”、以最大距离最小为目标的“ p -中心模型”及以需求点全覆盖为目标的“最大覆盖集模型”等,采用这些模型来优化急救站点布局的同时也在一种程度上评价了急救站点布局的合理性,其优化目标是急救站点布局评价的重要参考。事实上评价急救站点布局是否合理关键要看急救站点的设置是否与急救需求相一致,为此,有学者引入了急救需求点^[4]的概念。急救需求点是体现某一区域急救需求的量的抽象点,具有空间位置和急救需求量两个属性。有研究^[5]将居民点视为急救需求点,构建相关评价指标并实现可视化,但用居民点代替急救需求点的理论假设是急救需求量与居民点所包含的居民数量呈正比,且急救事件总是在居住地附件发生;然而居民点内的居民存在性别、年龄、健康程度等差异,且由某居民点居民产生的急救事件并不总是在居民点周围,如急救事件中的车祸,其发生往往与居民住所无关,因此利用居民点拟合急救需求点并不合理。

3.2 评价急救站点布局合理性的指标

3.2.1 评价指标的选取 科学评价急救站点布局是否合理，既需要考虑急救站点的功能属性，又需要考虑其产权属性和资源状况^[6-8]。这是因为，一方面，急救事件的发生具有时间和空间上的随机性，当急救需求产生时，急救请求者往往危在旦夕，院前急救服务抵达的时间长短关乎被急救者的生命安危；另一方面，急救站点属于公共设施，其分布应尽可能使得人人均能同等地享受到优质的急救服务。此外，在现实中还存在某一时间段某区域内出现大量急救事件的可能，面对这种高强度的急救事件群，可能发生无车可调的现象。因此，评价急救站点布局的合理性，需要从公平性、快速性和稳定性 3 个角度来统筹考虑。从这 3 个角度出发，以急救站点的空间位置、急救需求点地理坐标及二者空间距离为数学基础，可以构建出包括负荷距离均值、最大急救距离、需求点覆盖度和需求点保障度 4 个具体的评价指标，见图 1。其中负荷距离均值是指急救需求点与负责急救站点的距离的加权和对急救需求点数量的均值，其值越小则满足所有急救需求的总代价越小。最大急救距离是指急救站点到其负责的急救需求点的距离最大值，其值较小则一方面说明可以保证急救站点对于急救事件的响应足够迅速，另一方面说明最差的情况也可以被接受。需求点覆盖度是指在急救站点服务半径范围内的急救事件占全部急救事件的百分比。需求点保障度是指平均每个急救事件被急救站点服务半径范围覆盖的次数，其值越高则越不容易出现因为急救事件集中爆发而无车可调的现象。

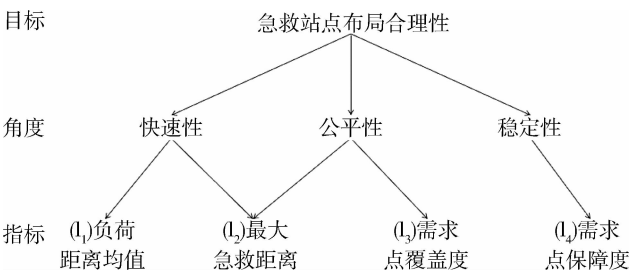


图 1 急救站点布局合理性评价指标体系

3.2.2 评价指标的计算方法 假设矩形 Z 为研究

区域，点 A 、 B 、 C 为急救站点，见图 2，则以急救站点为圆心、半径为 R 的圆形所覆盖的区域为该急救站点的服务半径范围。某急救站点的最近服务区为这样的区域，即其中任意一点到该急救中心的距离小于到其他急救中心的距离，图 2 中各最近服务区表示为黑边的不规则多边形。设图 2 中的空心小圆表示急救需求点，若急救需求点在某急救站点的服务半径范围内，则称该急救需求点被覆盖，否则不被覆盖，显然存在一个急救需求点在多个服务半径范围内，称此现象为重覆盖。

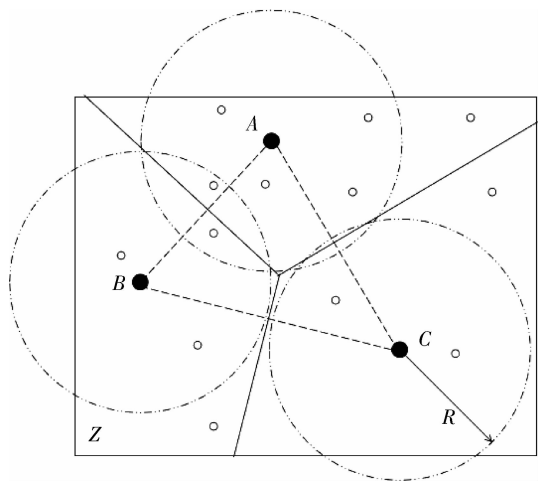


图 2 急救站点几何分布

设 I 表示急救需求点集合； J 表示急救站点集合； d_{ij} 表示需求点 i 与急救站点 j 之间的距离； w_i 表示需求点 i 的急救需求量； δ_{ij} 为 $0 \sim 1$ 变量，用于表示需求点 i 是否在急救站点 j 的最近服务区内； y_{ij} 为 $0 \sim 1$ 变量，用于表示需求点 i 是否在急救站点 j 的服务半径范围内； u_i 为 $0 \sim 1$ 变量，用于表示急救需求点 i 是否在任意急救站点服务半径范围内。负荷距离均值、最大急救距离、需求点覆盖度和需求点保障度的数学表述，见表 1。利用上述公式计算相关指标前，还需要明确急救需求点的选取及其急救需求量 w_i 的计算原则、急救站点与急救需求点之间的距离 d_{ij} 的具体计算方法。在急救事件具体发生地已知的情况下，以单个急救事件发生地为急救需求点，设其急救需求量为 1，则可获得某一状态下的精确计算结果。但急救事件发生地具备随机性，随时间变化，因此为使计算结果不受这种随机性的

影响，急救需求点应反映某一地域内的平均情况。可以通过聚类方式，对地域进行划分。相关研究成果^[3]表明，当聚类数为 150 ~ 200 时，聚类中心能较好地反映元素的整体分布趋势，故采用 K - means 聚类算法，取聚类数为 180，聚类中心坐标为急救需求点地理位置，类元素数为该急救需求点的急救需求量，则可反映急救需求点所在地域中存在的急救事件数量。

表 1 各指标的数学表述

指标	数学表述	角度
负荷距离均值 (I_1)	$I_1 = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} w_i \sigma_{ij}}{\sum_{i \in I} w_i}$	快速性
最大急救距离 (I_2)	$I_2 = \max(d_{ij} \sigma_{ij})$	快速性与公平性
需求点覆盖度 (I_3)	$I_3 = \frac{\sum_{i \in I} u_i w_i}{\sum_{i \in I} w_i} \times 100\%$	公平性
需求点保障度 (I_4)	$I_4 = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \gamma_{ij} w_i}{\sum_{i \in I} w_i}$	稳定性

度量两点之间的距离，常用欧式距离、地球表面距离和路网距离等，其中欧式距离指两点间的直线距离，适用于小尺度研究区域；地球表面距离则通过两点的经纬度坐标计算两点在地球椭球面上的距离，适用于较大尺度的研究；而路网距离是一种间接距离，表示从一点出发经道路交通网路到另一点的最短路径的距离，适用于各种尺度的研究。从研究尺度及实用性角度综合考虑，在研究急救站点布局合理性时，宜采用地球表面距离。设急救站点 i 与急救需求点的经纬度坐标分别为 $(\text{lon}_i, \text{lat}_i)$ 、 $(\text{lon}_j, \text{lat}_j)$ ，则采用地球表面距离时，二者距离 d_{ij} 的计算公式为：

$$d_{ij} = 111.199 [(\text{lat}_i - \text{lat}_j)^2 + (\text{lon}_i - \text{lon}_j)^2 \cos^2 \left(\frac{\text{lat}_i + \text{lat}_j}{2} \right)]^{\frac{1}{2}}$$

3.3 急救站点布局合理性评价的实证分析

3.3.1 数据处理与可视化 2015 年武汉市急救中心下辖的 40 个急救站点共处理急救事件 11 万余起。

急救事件地理位置信息以描述性记录形式存储，如“武汉大学南门口”。调用百度地理解析应用程序接口，获取各描述性记录对应的近似经纬度坐标，去除明显解析错误的的数据，获得武汉市 2015 年急救事件近似空间分布，见图 3，其中淡绿色小点表示单个急救事件。

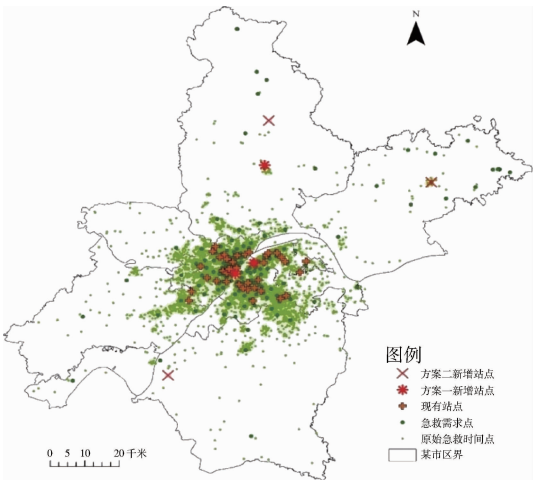


图 3 计算数据可视化地图

在 Matlab 环境下，利用 K - means 算法获得急救事件的 180 个聚类中心及其对应的急救事件数量。聚类中心，即急救需求点，在图 3 中用深绿色圆点标出。假设武汉市要新增 3 个急救站点，有两种方案可供选择：方案 1 为与已有的三级医院进行合作建设，新增站点在图 3 中用红色星状符号表示；方案 2 为在边远城区建设站点，新增站点在图 3 中用红色叉状符号表示。

3.3.2 计算与分析 根据上述计算方法，取急救站点服务半径 R 为 8 公里，在 Matlab 环境下编程求解武汉市原始站点布局和两种新布局的相关指标，计算结果，见表 2。由表 2 可知，原始站点布局的负荷距离均值约为 2 公里，说明武汉市多数居民需要急救服务时，最近的急救站点与其地理距离在 2 公里上下波动。考虑到城市道路的曲折性，取道路曲折系数为 1.5，则多数居民接受急救服务的实际平均距离约为 3 公里，由此不难看出武汉市的院前急救服务可达性整体较优。两个新增站点方案在负荷距离均值上差别较小，且相对于原始方案仅有 100 米左右的提升，这说明新

增站点后能提高急救服务的快速反应能力，但增强幅度较小，已有的站点布局和急救需求契合度较高。

表 2 指标计算结果

相关指标	原始布局	方案 1 布局	方案 2 布局
负荷距离均值/公里	2. 026	1. 918	1. 916
最大急救距离/公里	35. 135	25. 069	20. 204
需求点覆盖度（%）	72. 78	73. 33	75. 12
需求点保障度（%）	14. 221	14. 845	14. 223

从最大急救距离来看，原始站点布局的最大急救距离约为 35 公里，按两种新方案分别新增站点后，该指标减至 25 公里和 20 公里。显然，武汉市急救站点对于部分边远区域的急救能力弱，难以快速抵达。通过在边远城区加设急救站点能快速提升武汉市急救站点的相对公平性，但在加设急救站点时对各方案应当仔细评估，不同方案对公平性提升程度的影响较大。3 种布局的需求点覆盖度有所不同，但均未超过 80%，一方面从侧面佐证上述结论，另一方面说明武汉市急救服务存在较大的公平性欠缺。3 种布局的急救需求点保障度均在 14% 以上，这说明武汉市急救需求量较高的区域周边有大量急救站点，而急救站点一般配车多量，因此发生突发事件时可以向该地快速调遣大量急救资源。方案 1 的需求点保障度稍高于方案 2，其原因为方案 1 在中心城区加设两个站点，而方案 2 中加设站点均位于中心城区外。在现有站点布局基础上加设中心

城区站点对于急救服务的稳定性有所提高，而在边远城区加设急救站点则对整体稳定性影响极小。就文中所提及的两种站点加设方案而言，方案 2 要明显优于方案 1。

3. 4 专家咨询结果

咨询内容主要涉及评价角度、指标选择的合理性、实证分析结果的可信度 3 大方面，每 1 项问项均实行 5 级评分制，其中选项角度合理性指专家对从快速性、公平性、稳定性 3 个角度考虑站点布局合理性的认可程度， I_1 - 快速即指标 I_1 （负荷距离均值）从快速性角度体现布局合理性的程度， I_i 值接受度即指标 I_i 在实证研究中的计算值与实际情况的符合程度，分析可信度指基于 3 种布局下分析的指标值与武汉市实际情况的符合程度。统计结果，见表 3，咨询专家一致认为从快速性、公平性和稳定性 3 个角度出发来考虑急救站点的布局能全面评价其合理性。在评价指标方面，负荷距离均值指标集中反映了急救的快速性并兼顾一定的稳定性；最大急救距离指标不仅能反映出快速性，也能体现公平性，但强度稍弱，接受度偏低；需求点覆盖度指标主要体现出急救资源配置的公平性，同时能在一定程度上反映快速性；需求点保障度指标则主要体现急救的稳定性。在实证分析结果方面，咨询专家一致认为分析结果与实际情况吻合度高，应用所选取的指标能客观评价急救站点布局的合理性。

表 3 专家咨询结果

选项/分值	5	4	3	2	1	均分	选项/分值	5	4	3	2	1	均分
角度合理性	20	5	1	0	0	4. 56	I_3 - 稳定	2	2	7	8	7	2. 30
I_1 - 快速	22	3	2	0	0	4. 74	I_4 - 快速	6	10	7	4	0	3. 67
I_1 - 公平	0	0	6	9	12	1. 78	I_4 - 公平	1	2	10	11	3	2. 52
I_1 - 稳定	6	9	8	2	2	3. 56	I_4 - 稳定	21	6	0	0	0	4. 78
I_2 - 快速	8	10	8	1	0	3. 93	I_1 值接受度	22	5	0	0	0	4. 81
I_2 - 公平	5	8	12	1	1	3. 56	I_2 值接受度	5	6	12	3	1	3. 41
I_2 - 稳定	1	3	5	12	6	2. 30	I_3 值接受度	17	5	5	0	0	4. 44
I_3 - 快速	9	11	2	3	2	3. 81	I_4 值接受度	12	13	1	1	0	4. 33
I_3 - 公平	17	8	2	0	0	4. 56	分析可信度	19	8	0	0	0	4. 70

4 结论

4.1 选取指标的合理性

从快速性、公平性和稳定性 3 个角度考察急救站点布局科学合理, 选取负荷距离均值、最大急救距离、需求点覆盖度和需求点保障度 4 个指标, 不仅能保证评价具备客观性、可操作性和可比性, 而且能全面评价急救站点布局的合理性。实证分析和专家咨询结果表明应用所选取的指标能真实反映武汉市急救站点布局合理性, 因此本文选取的 4 个指标可以作为评价急救站点布局合理性的工具。

4.2 实证结果

实证分析结果表明现阶段武汉市急救站点的布局基本与急救需求相契合, 能在发生突发性事件时迅速调配急救资源为居民提供急救服务, 但是城乡结合处及边远城区居民能享受到的急救服务水平与武汉市平均水平有较大差距。今后为进一步提高武汉市急救站点布局的合理性, 应通过在边远城区增设急救站点来体现急救服务的公平性。从实证计算的结果来看, 负荷距离均值、需求点覆盖度和需求点保障度 3 个指标的数据与实际情况的符合度较高, 但最大急救距离指标计算结果较实际情况有一定偏差, 其原因是该指标对于极端情况敏感且急救事件发生地点的坐标解析存在一定量的错误。为提高计算精度, 可采用急救事件的经纬度坐标或通过急救事件发生地的文字描述进行手动坐标解析, 在距离计算方面也采用路网距离以提高和实际情况的契合度。

5 结语

布局急救站点是一项系统性工程, 特别是在急救资源有限的条件下, 如何保证布局的合理性, 不仅需要运用本文所设计的指标进行工具性分析, 还需要统筹考虑人员数量与素质、急救车辆数量与调配等因素, 全面评价急救站点合理性的指标体系还有待进一步完善。

参考文献

- 1 Inakawa K, Furuta T, Suzuki A. Effect of Ambulance Station Locations and Number of Ambulances to the Quality of the Emergency Service [J]. *Operations Research and Its Applications*, 2010, (12): 340-347.
- 2 向珍君, 范达, 雷燕妮, 等. 基于地理信息系统 (GIS) 的急救站设置研究 [J]. *医学信息学杂志*, 2013, 34 (1): 25-29.
- 3 万波. 公共服务设施选址问题研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- 4 First Aid Stations Location Problem and an Impact of the Set of Candidates on the Recourse of a Patient [C]. *Proceedings of the 10th International Symposium on Operational Research SOR 09*, 2009: 357-360.
- 5 陈海乐, 朱勤忠, 李婉莹, 等. 院前急救服务地理可及性指标计算与可视化表达研究 [J]. *中国医院管理*, 2013, 33 (2): 31-33.
- 6 于海玲, 关金保, 王亚东. 北京市城区院前急救网络合理布局方法的研究 [J]. *中国全科医学*, 2011, 14 (12c): 4214-4216.
- 7 周奕男, 陆璇, 戴臻, 等. 急救站点规划方法及实证研究 [J]. *中国卫生政策研究*, 2016, 9 (3): 69-73.
- 8 李光明. 距离和时间指标在院前急救中的应用 [J]. *青岛大学医学院学报*, 2013, 49 (2): 179-180.