

地震灾害应急物流配送系统模型优化方法研究

滕红军¹, 舒志乐², 张鑫³, 罗家伦²

(1. 四川省消防救援总队训练与战勤保障支队, 四川 成都 610037;

2. 西华大学 应急管理学院, 四川 成都 610039;

3. 西华大学 建筑与土木工程学院, 四川 成都 610039)

摘要:为合理选择应急物流配送中心地址,提高应急管理能力,基于地震灾害风险评价数据,通过 ArcGIS 平台形成 Voronoi 图,可视化表达地震应急准备分区方案并进行应急物流中心预选址;在考虑需求权重情况下,构建应急物流配送中心优化选址模型,通过 LINGO 软件编程求解得出基于震灾应急准备分区的应急物流配送中心选址方案,并以 A 市为例,通过与传统行政区划建设方案进行对比,验证本文选址方案的有效性。研究结果表明:本文选址优化模型综合考虑各方面因素,使服务里程总量减少 31.39%,单位服务量提高 30.61%,验证选址方案的配送效率与公平性。

关键词:地震灾害;应急物流;选址研究;P-中值模型

中图分类号:X915.5

文献标志码:A

文章编号:1673-193X(2023)-04-0160-08

Study on model optimization method of emergency logistics distribution system in earthquake disaster

TENG Hongjun¹, SHU Zhile², ZHANG Xin³, LUO Jialun²

(1. Sichuan Provincial Fire and Rescue Corps Training and Combat Support Detachment, Chengdu Sichuan 610037, China;

2. School of Emergency Management, Xihua University, Chengdu Sichuan 610039, China;

3. School of Architecture and Civil Engineering, Xihua University, Chengdu Sichuan 610039, China)

Abstract: In order to reasonably select the address of emergency logistics distribution center and improve the ability of emergency management, Voronoi diagram was formed based on the seismic risk assessment data by ArcGIS platform, visualizing the zoning scheme of earthquake emergency preparation and pre-selecting the location of emergency logistics center, constructing the optimal location model of emergency logistics distribution center under the consideration of the weight of demand, based on the LINGO software, the location scheme of the emergency logistics distribution center based on the Earthquake Emergency Preparedness Subarea was obtained, and the A as an example was compared with the logistics facility scheme built by the traditional administrative territorial entity. The results show that the model can reduce the total service mileage by 31.39% and increase the unit service volume by 30.61%, and verify the efficiency and fairness of the location scheme.

Key words: earthquake disaster; emergency logistics; site selection research; P-Median model

0 引言

我国属于地震多发国家,据统计,世界上较为严重的地震约有 33% 发生在我国^[1]。应急物流配送中心作为应对地震灾害的基础设施,既能有效降低灾害损失,又能合理分配应急资源,提高应急管理能力。

应急服务设施优化选址得到国内外学者的广泛关

注。Toregas 等^[2]以城市消防站建设为例,提出应急服务设施选址问题,实现在限定时间内覆盖城市所有节点的消防服务需求;Patrick 等^[3]采用启发式算法对物流节点布局方面的问题进行优化求解;Yurimoto 等^[4]重点研究区域物流节点数量的确定方法和相应配送中心的布局方式;郜振华^[5]基于离散型选址布局技术,对配送中心的选址模型和算法展开定性与定量研究,并提出有效

选址方法;蒋慧^[6]结合宏观评价模型和微观层面2个阶段求解应急配送中心选址问题;Lu等^[7]构建鲁棒P-center模型,运用模拟退火启发式算法求解应急物流中心选址问题,对数据的不确定性进行评估;冯舰锐等^[8]基于运筹学求解多目标问题理论,以物资运输调度时效性与经济性建立优化模型,解决应急物资储备点选址问题;倪卫红等^[9]使用聚类重心法研究湖北省新冠疫情期间应急配送中心选址问题。

上述研究主要集中于应急物流定性研究,在定量研究上侧重于运输费用和运输时间的最小化,但针对地震灾害特性需要兼顾效率与公平等实际需求。鉴于此,本文基于地震灾害风险特性建立P-中值选址模型,并采用LINGO软件进行编程求解,以探讨该模型下物流服务设施的有效性和实用性,为应急物流设施选址提供参考。

1 选址模型

1.1 问题描述

地震灾害会使城市出现新的受灾点和物资需求,“黄金72h救援”对应急物资配送的时效性和覆盖面提出更高的要求^[10]。普通物流无法快速适应因地震灾害而产生的大量物流需求,尤其是地震灾害初期^[11]。因此,需要建设应急物流配送中心,以满足城市在该类突发情况下所产生的大量应急物流需求^[12]。

在选址时优先考虑应急物流配送中心的服务效率,以满足灾害初期紧急需求的同时,突出应急物流配送中心覆盖价值兼顾公平,保障偏远地区或物资需求量较低地区的需求。针对城市范围和公路运输的灵活性,在进行运输线路规划时只考虑公路运输1种方式。因此,该选址问题可描述为:共给定 n 个备选点,设每个备选点 i 的位置坐标为 (x_i, y_i) ,现需要建造 m 个应急物流配送中心,要求决策 m 个配送中心位置,并通过设立约束条件方式,使配送中心在满足约束条件情况下与需求点之间的加权距离最小,如图1所示。

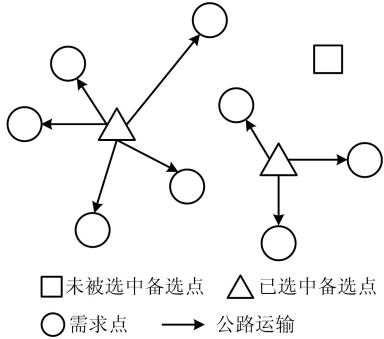


图1 应急物流配送中心选址示意

Fig.1 Schematic diagram of site selection of emergency logistics distribution center

1.2 P-中值选址模型条件假设

应急物流配送中心选址在现实情况中涉及因素较多,本文所建立的选址模型主要以选址基本要求与资源调度实效性高、覆盖面广等应急管理特性相结合,突出简便、实用以及利于求解的特性。模型作如下假设:

- 1) 模型首先考虑应急物流配送中心选址问题,以灾害初期救援时间和需求点资源需求量为参考要素进行建模。
- 2) 应急物流配送中心至少为1个需求点提供应急物流服务。
- 3) 不考虑车辆装卸货过程中消耗的时间。
- 4) 车辆运行速度已知,即运输时间与运输距离成正比。
- 5) 需求点资源需求量固定。
- 6) 需求点和应急物流配送中心位置固定且呈分散状态,2点间采用直线距离计算。
- 7) 应急物流配送中心建设数量受限制。

1.3 P-中值选址模型建立

目标函数如式(1)所示:

$$\min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n n_i d_{ij} t_{ij} \tag{1}$$

式中: z 为备选区域到各个需求点的总距离,km; n_i 为第 i 个需求点的资源需求量; d_{ij} 为需求点与备选点之间的直线距离矩阵; t_{ij} 为0~1变量。

约束条件如式(2)~(7)所示:

$$\sum_{j=1}^n s_j = p \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ij} = 1 \quad \forall i \in demand \tag{3}$$

$$d_{ij} t_{ij} \leq r \quad \forall i \in demand, \forall j \in serve \tag{4}$$

$$t_{ij} \leq s_j \quad \forall i \in demand, \forall j \in serve \tag{5}$$

$$s_j \in \{0,1\} \quad \forall i \in demand \tag{6}$$

$$t_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in demand, \forall j \in serve \tag{7}$$

式中: p 为要建立的设施数量; $demand = \{1, 2, \dots, m\}$,为所有需求点的集合; $serve = \{1, 2, \dots, n\}$,为所有备选点的集合; s_j 为0~1变量; r 为应急物流配送中心的最大服务范围半径,km。

各约束条件含义为:式(2)表示限定应急物流配送中心的建设数量;式(3)表示每个需求点的需求都可以得到保障;式(4)表示需求点 i 至应急物流配送中心 j 的距离在应急物流配送中心 j 的服务范围内;式(5)表示任意需求点 i 只能在固定的应急物流配送中心 j 获得服务。

2 模型求解

2.1 相关数据处理

- 1) 坐标转换。利用ArcGIS平台的地图投影功能,

将需求点及备选点投影至同一平面坐标系,以便于获取各点位的横纵坐标^[13],计算各点之间的直线距离,增强可视性。采用矢量数据工具,以 Beijing 1954 3 Degree GK CM 105E 为投影坐标系将各点位的经纬度进行坐标转换。

2)需求点需求量。一般不同需求点的物资资源需求量与灾害规模、人口规模、交通通达率等多个因素相关。本文基于震灾应急准备工作视角,假设地震灾害规模为一般且公路交通未遭受毁灭性损坏,仅以人口规模作为需求点需求量的计算标准,提取转化相关数据指标,并将其进行归一化处理消除量纲,以表征需求点对物资资源的需求量。

2.2 选址模型的 LINGO 求解

LINGO 软件即“交互式的线性和通用优化求解器”,可以在优化模型中将整数作为决策变量,根据其提供的集合循环函数,通过简单的调用语句来操作集合内的所有元素,通过简单的方式描述大规模问题^[14]。本文模型属于 0-1 整数规划问题,选择采用 LINGO 进行编程求解,求解逻辑如图 2 所示。

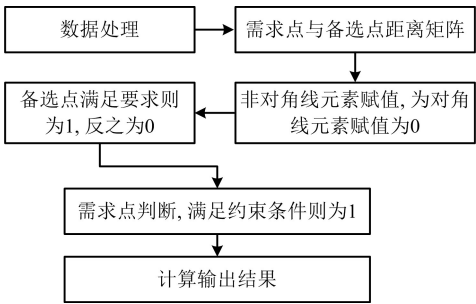


图 2 LINGO 求解逻辑示意

Fig.2 Schematic diagram of LINGO solution logic

应用 LINGO 软件对选址模型进行求解,须依照 LINGO 语言规则将待求解的选址模型转换成 LINGO 语言所构建的模型,程序为:编写集合段 (sets endsets)→编写数据段 (data enddata)→编写计算段 (calc endcalc)→编写初始段 (init endinit)→编写模型目标与约束→运行并得出结果。

3 实例分析

3.1 数据来源

1)地震灾害风险评价。根据 A 市地震监测中心的震情通报及 A 市 2021 统计年鉴中各区县基础数据,形成 A 市地震灾害风险等级评价结果,如表 1 所示。

2)地震灾害风险等级及空间分布。根据地震灾害风险等级评价数据,使用 ArcGIS 对 A 市地震灾害等级的空间分布情况进行可视化表达,如图 3 所示。综上可

表 1 A 市各区县地震灾害风险等级评价结果

Table 1 Evaluation results of earthquake disaster risk grade of each district and country in A

编号	总体评价	编号	总体评价
区 1	2.003 3	区 6	1.840 0
区 2	1.808 3	区 7	1.697 5
区 3	1.906 8	区 8	1.918 3
区 4	1.570 6	区 9	1.576 3
区 5	1.687 3	区 10	2.161 1

得 A 市各区县总体震灾风险等级排序为:区 10>区 1>区 8>区 3>区 6>区 2>区 7>区 5>区 9>区 4。

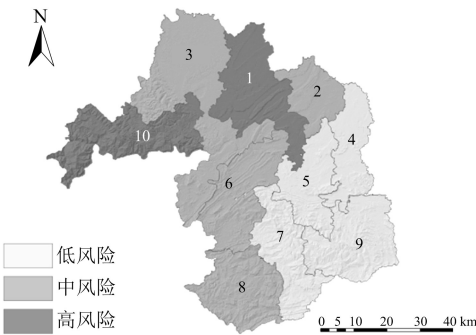


图 3 A 市地震灾害风险

Fig.3 Earthquake disaster risk of A

3.2 震灾应急准备分区

根据 A 市各区总体地震灾害风险等级评价结果,按照区县政府所在地,基于 ArcGIS 平台直接生成 Voronoi 图。从分区覆盖范围、救援响应时间、计划投入成本等方面考虑,将 A 市划分为 10-1 分区、10-1-8 分区、10-1-8-3 分区 3 个分区方案,通过对比各分区方案优劣,选出 A 市震灾应急准备分区方案。

1)10-1 分区

10-1 分区震灾应急准备分区如图 4 所示,东西半区覆盖点位不平衡,西半区仅覆盖区 10,3,而东半区涵盖其余 8 个区。该方案对东半区应急准备难度较大,如区 8 覆盖能力较差、配送时间长,可能会出现应急响应不及时的情况,故排除此方案。

2)10-1-8 分区

10-1-8 分区震灾应急准备如图 5 所示,将 A 市分为东部、西部和南部 3 个区块。其中,西部分区覆盖区 10 和区 3 大部分区域;东部分区覆盖区域 1,2,4 全域以及区 6 和区 5 大部分区域;南部分区覆盖区 8,7,9 全域以及区 3,5 少部分区域和区 6 约 1/2 区域。

3)10-1-8-3 分区

10-1-8-3 分区震灾应急准备分区如图 6 所示,

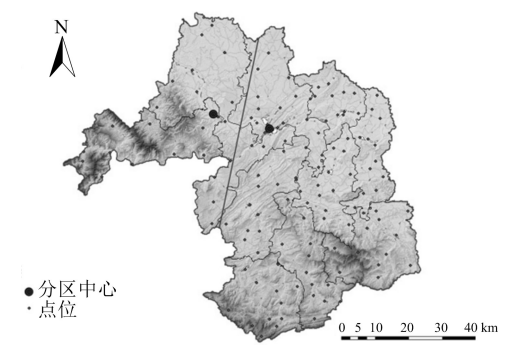


图4 10-1 分区震灾应急准备分区

Fig.4 Earthquake emergency preparedness zone partition of 10-1 subzone

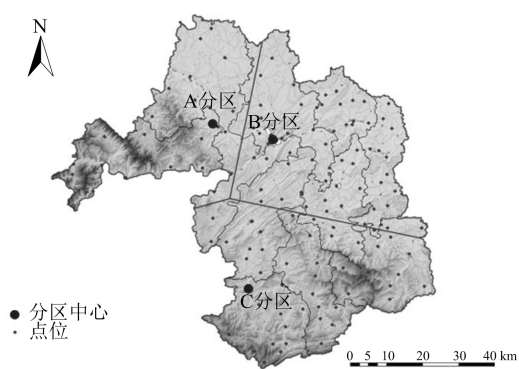


图5 10-1-8 分区震灾应急准备分区

Fig.5 Earthquake emergency preparedness zone partition of 10-1-8 subzone

将A市区分成不均等的4个部分,显然中部由区3与区6部分构成的分区较小且与A市主要区域间隔距离较近,易产生资源浪费。同时,东部以区1为中心划分的区域整体狭长,覆盖能力难以兼顾区9等地。此外,分区过多也增加总体建设成本,故此方案也排除。

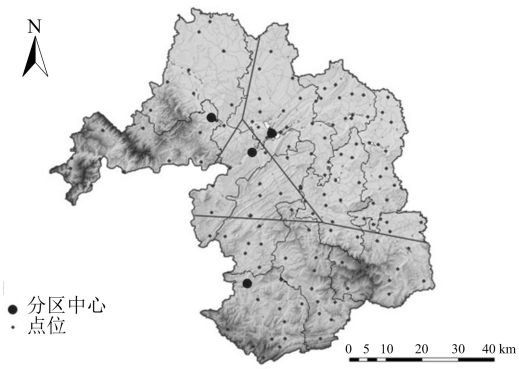


图6 10-1-8-3 分区震灾应急准备分区

Fig.6 Earthquake emergency preparedness zone partition of 10-1-8-3 subzone

分为东部、西部、南部3个区块,各区块分布均衡合理,覆盖面、响应时间及投入成本等相对合理,能够满足城市应急救援力量调度圈的相关要求。

3.3 预选址处理

现阶段针对应急物流配送中心建设没有相应的规范,本文参考《救灾物资储备库建设标准》(建标121—2009)^[15]和《应急物流仓储设施设备配置规范》(WB/T 1072—2018)^[16],基于研究区域各备选点的经济发展状况、地灾点密度、路网条件、河流缓冲区、与地震断裂带避让距离等条件因素,对应急物流配送中心进行预选址处理。

基于A市现实条件,本文以应急准备A分区(如图5所示)为例进行分析。为便于分析计算,对分区A的22个点位依次编号为A1~A22,并对各点位经纬度进行转换,如表2所示。对分区内22个点位进行筛选,最终将A1,A2,A5,A7,A8,A14,A15,A16,A17,A18共10个点位作为分区A应急物流配送中心备选点。

表2 分区A各乡镇点位坐标转换

Table 2 Point coordinate transformation of each village and town in A District				
点位	经度/(°)	纬度/(°)	X	Y
A1	103.945 7	28.610 4	396.884 7	3 166.594 7
A2	104.297 8	28.650 9	431.345 7	3 170.839 2
A3	104.150 3	28.654 9	416.933 8	3 171.373 1
A4	103.836 3	28.660 1	386.234 2	3 172.209 8
A5	104.292 2	28.770 7	430.874 3	3 184.113 7
A6	103.847 6	28.774 9	387.462 8	3 184.920 5
A7	104.030 3	28.784 8	405.315 0	3 185.856 1
A8	104.366 1	28.818 5	438.127 9	3 189.379 7
A9	104.237 0	29.021 2	425.665 6	3 211.911 0
A10	104.396 0	29.096 2	441.195 4	3 220.139 1
A11	104.284 1	29.172 4	430.353 4	3 228.644 5
A12	104.332 3	29.213 9	435.076 6	3 233.216 3
A13	104.348 5	28.555 4	436.244 6	3 160.219 3
A14	104.428 0	28.628 4	444.062 2	3 168.271 2
A15	104.399 6	28.797 6	441.380 7	3 187.044 2
A16	104.063 9	28.856 8	408.658 5	3 193.814 5
A17	104.433 9	28.882 0	444.774 8	3 196.380 2
A18	104.260 4	28.925 6	427.884 3	3 201.309 2
A19	103.797 6	28.553 8	382.331 4	3 160.463 2
A20	103.702 8	28.620 5	373.132 8	3 167.951 4
A21	103.708 2	28.662 3	373.711 2	3 172.583 3
A22	104.140 2	28.972 1	416.201 3	3 206.540 3

综上,本文选择10-1-8分区方案,该方案主要划

3.4 需求量计算

本文以人口规模作为需求点需求量的计算标准,提取转化相关数据并进行归一化处理,得到需求点的需求权重如表 3 和图 7 所示。

表 3 需求点需求量权重值

Table 3 Demand normalization of demand points

点位	权重值	点位	权重值
A1	0.131 8	A12	0.179 5
A2	0.157 6	A13	0.386 1
A3	0.227 0	A14	0.135 8
A4	0.134 8	A15	0.252 8
A5	0.094 1	A16	0.158 2
A6	0.263 2	A17	0.527 8
A7	0.156 0	A18	0.494 1
A8	0.536 0	A19	0.022 7
A9	0.238 9	A20	0.019 2
A10	0.734 8	A21	0.024 0
A11	0.316 8	A22	0.038 2

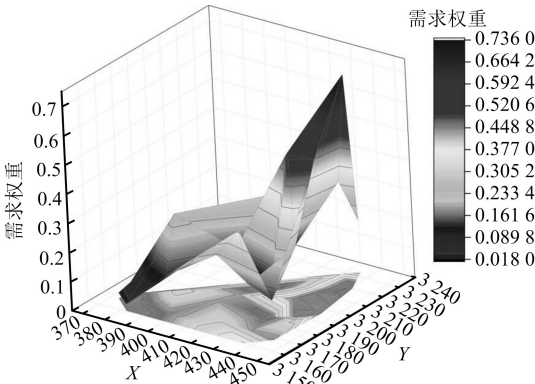


图 7 需求点需求权重

Fig. 7 Demand weights of demand points

3.5 选址模型 LINGO 求解

结合上文分析,将分区 A 相关数据写入 LINGO12.0 软件并进行编程求解。通过计算段得出各备选点和需求点之间的直线距离矩阵,如表 4 所示。基于约束条件求解目标函数得到模型的解,如表 5 所示。

基于表 5,在震灾应急准备分区 A 中选取 A7,A8 建

表 4 各备选点和需求点之间的距离矩阵

Table 4 Distance matrix between alternative sites and demand points

km

需求点	备选点									
	A1	A2	A5	A7	A8	A14	A15	A16	A17	A18
A1	0.000 0	34.721 4	38.238 8	21.025 5	47.118 6	47.207 3	48.970 2	29.657 0	56.397 1	46.541 1
A2	34.721 4	0.000 0	13.282 9	30.051 7	19.742 0	12.973 2	19.060 5	32.288 9	28.856 3	30.666 0
A3	20.610 7	14.421 8	18.885 5	18.567 5	27.810 6	27.305 2	29.038 5	23.918 5	37.422 9	31.876 1
A4	12.040 0	45.132 3	46.200 0	23.458 4	54.660 4	57.962 0	57.106 9	31.138 6	63.334 1	50.808 5
A5	38.238 8	13.282 9	0.000 0	25.618 6	8.963 6	20.613 2	10.907 4	24.241 4	18.538 9	17.453 5
A6	20.606 0	46.086 8	43.419 0	17.876 7	50.861 0	58.997 4	53.959 7	22.986 1	58.446 5	43.617 5
A7	21.025 5	30.051 7	25.618 6	0.000 0	33.001 5	42.550 8	36.085 3	8.632 2	40.839 1	27.352 7
A8	47.118 6	19.742 0	8.963 6	33.001 5	0.000 0	21.926 8	4.004 4	29.801 2	9.653 4	15.724 0
A9	53.683 4	41.462 7	28.281 1	33.060 6	25.748 2	47.358 9	29.416 4	24.833 9	24.624 5	10.831 5
A10	69.501 4	50.274 2	37.474 7	49.625 9	30.912 0	51.947 1	33.095 4	41.852 5	24.027 0	23.059 7
A11	70.500 6	57.813 8	44.533 8	49.575 9	40.027 1	61.910 1	43.037 0	41.034 1	35.340 7	27.446 6
A12	76.792 3	62.488 6	49.282 1	55.935 2	43.942 7	65.563 8	46.600 5	47.438 6	38.091 4	32.707 7
A13	39.872 9	11.695 4	24.490 5	40.173 2	29.221 2	11.222 7	27.312 2	43.469 9	37.153 4	41.931 8
A14	47.207 3	12.973 2	20.613 2	42.550 8	21.926 8	0.000 0	18.963 5	43.656 4	28.118 0	36.786 3
A15	48.970 2	19.060 5	10.907 4	36.085 3	4.004 4	18.963 5	0.000 0	33.415 3	9.933 8	19.637 8
A16	29.657 0	32.288 9	24.241 4	8.632 2	29.801 2	43.656 4	33.415 3	0.000 0	36.207 3	20.635 0
A17	56.397 1	28.856 3	18.538 9	40.839 1	9.653 4	28.118 0	9.933 8	36.207 3	0.000 0	17.595 0
A18	46.541 1	30.666 0	17.453 5	27.352 7	15.724 0	36.786 3	19.637 8	20.635 0	17.595 0	0.000 0
A19	15.792 2	50.100 5	53.997 8	34.249 7	62.844 4	62.222 6	64.756 2	42.490 3	72.036 2	61.183 8
A20	23.790 6	58.284 5	59.960 8	36.827 6	68.436 4	70.930 1	70.868 3	43.942 9	77.076 4	64.112 9
A21	23.934 8	57.660 9	58.314 4	34.277 8	66.570 5	70.483 0	69.197 4	40.891 0	74.942 2	61.318 0
A22	44.371 0	38.780 4	26.800 2	23.374 1	27.843 5	47.336 6	31.844 9	14.793 2	30.326 1	12.800 7

表5 LINGO 运算结果
Table 5 Results of LINGO calculation

需求点	选址点		需求点	选址点	
	A7	A8		A7	A8
A1	1	0	A12	0	1
A2	0	1	A13	0	1
A3	1	0	A14	0	1
A4	1	0	A15	0	1
A5	0	1	A16	1	0
A6	1	0	A17	0	1
A7	1	0	A18	0	1
A8	0	1	A19	1	0
A9	0	1	A20	1	0
A10	0	1	A21	1	0
A11	0	1	A22	1	0

立应急物流配送中心,保证对分区 A 22 个需求点的全覆盖。其中,A7 主要覆盖 A1,A3,A4,A6,A16,A19,A20,A21,A22;A8 主要覆盖 A2,A5,A9,A10,A11,A12,A13,A14,A15,A17,A18。在该选址方案中,约超过 1/2 的需求点到对应应急物流配送中心之间的配送服务距离小于 30 km,通过车辆运输速度固定进行判断可知,该方案整体服务效率较高。此外,相较于 A7 的横向服务覆盖跨度,A8 的纵向服务覆盖跨度更大,主要因为震灾应急分区 A 中北部的 A9,A14 与南部的 A5 需求权重相对较低,在运算过程中优先满足距离更近、服务需求更大的点位。该选址方案整体而言,符合城市应急救援力量调度圈中有关应急物资资源调度时间的要求,既能满足需求点的应急物流需求,也节约了城市建设用地和投入成本,避免资源浪费。使用 ArcGIS 对 A7,A8 覆盖范

围进行可视化表达,如图 8 所示,克服了 LINGO 在视觉表达上的劣势。

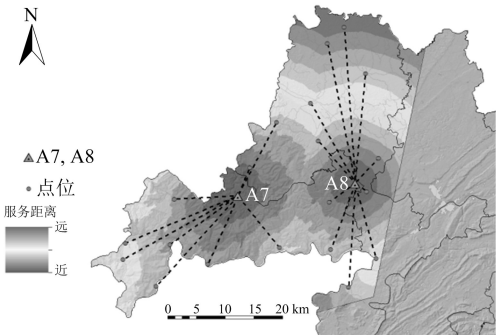


图8 分区 A 应急物流配送中心选址
Fig.8 Site selection of emergency logistics distribution centers in A subzone

4 运算结果分析

4.1 应急物流配送中心选址方案

通过对选址模型的编程求解,得出分区 A 的应急物流配送中心选址方案。采用相同计算方式,分别对分区 B 和分区 C 进行求解,得到其基于地震灾害应急准备分区的应急物流配送中心选址方案,确定在 B3,B11,B17,B40,C12,C18,C28,C34 建立应急物流配送中心,结合前文分析形成 A 市整体应急物流配送中心选址方案。A 市应急物流配送中心的服务覆盖范围如表 6 所示,使用 ArcGIS 对该结果进行可视化表达如图 9 所示。

从整个市域角度来看,方案充分考虑各需求点的需求量,配送服务距离适中,满足效率的同时兼顾公平。方案不仅满足针对地震灾害的防范应对,而且对其他紧急状况也具有应用价值,能较好地保障突发紧急情况下 A 市全域的应急物流服务需求,从而降低灾害对人民生

表6 A 市应急物流配送中心服务范围
Table 6 Service coverage of emergency logistics distribution centers in A country

应急物流配送中心	覆盖需求点
A7	A1,A,A4,A6,A16,A19,A20,A21,A22
A8	A2,A5,A9,A10,A11,A12,A13,A14,A15,A17,A18
B3	B1,B2,B4,B5,B6,B7,B12,B13,B14,B15,B16,B20,B21,B22,B23,B24,B25,B26,B35,B58,B61,B62
B11	B8,B9,B10,B19,B27,B28,B29,B30,B31,B32,B33,B34,B44,B45,B46,B47,B48
B17	B18,B49,B50,B51,B52,B53,B54,B55,B56,B59,B60,B63
B40	B36,B37,B38,B39,B41,B42,B43,B57,B64,B65
C12	C1,C5,C8,C9,C10,C11,C13,C22,C23,C37
C18	C3,C4,C14,C15,C16,C17,C20,C21,C31,C32,C38,C39,C40,C45
C28	C7,C19,C24,C25,C26,C27,C29,C30,C41,C42,C43,C44
C34	C2,C6,C33,C35,C36,C46,C47,C48,C49

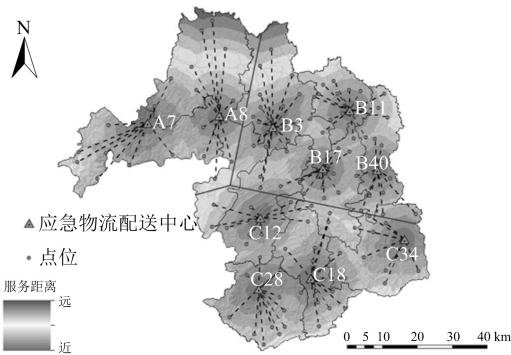


图 9 A 市应急物流配送中心选址

Fig.9 Site selection of emergency logistics distribution centers in A country

命财产的威胁。

4.2 传统选址方案对比分析

将传统行政区划建设的物流设施方案匹配到 Arc-GIS 图中,如图 10 所示。

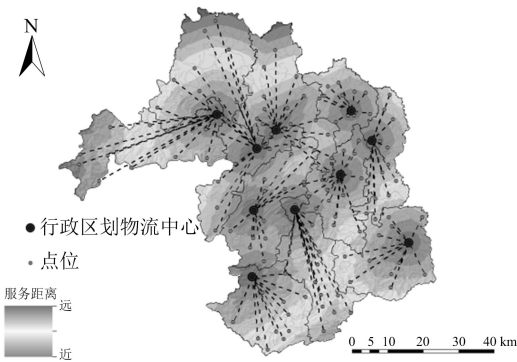


图 10 传统建设物流设施服务范围

Fig.10 Service coverage of traditional constructed logistics facilities

对比图 9 和图 10 可知,传统建设方案对稍偏远地区的覆盖能力差,部分地点配送服务需要由较远的物流设施负责,甚至出现配送服务距离几乎等于区域最长跨度的情况,且存在较多配送服务路线交叉情况;同时,受城市虹吸效应影响,以传统行政区划建设的物流设施方案无法充分发挥其优势,易造成资源浪费。而由本文构建的选址方案,在整体服务的可达性方面设置更为合理,即便是对相对偏远点位的服务效率也依然处于良好的水准。

将本文所构建的应急物流配送中心方案与传统行政区划建设方案进行比较分析,结果见表 7。

由表 7 可知,本文应急物流配送中心选址方案不仅在服务里程总量方面相较传统行政区划建设方案减少 31.39%,在单位服务量方面提高 30.61%。结果充分体现应急物流的高效性和以地震灾害应急准备分区为基

表 7 2 种建设方案的服务能效对比
Table 7 Comparison on service efficiency of two construction schemes

对比项	本文选址方案	传统行政区划建设方案
服务里程总量/km	2 003.276 4	2 919.941 2
单位服务量	3.703 6	2.835 6

础建设应急物流配送中心方案的可行性。

5 结论

1) 基于 A 市各区县地震灾害风险特性数据,基于 ArcGIS 平台生成 Voronoi 图,经过对比分析,以区 10,1,8 为中心的各点分布较为均衡,以此划分地震灾害应急准备分区,有利于直观展示地震灾害风险特性。

2) 基于路网密度、地灾点密度、河流缓冲区、断裂带避让距离等因素,形成 A 市应急物流配送中心预选址方案,结合需求点的需求权重,设计基于地震灾害应急准备分区的应急物流配送中心 P-中值选址模型,确保覆盖每个需求点,便于显现应急物流的高效性和公平性。

3) 采用 LINGO 软件对 P-中值选址模型进行编程求解,得出 A 市应急物流配送中心选址方案,与传统行政区划建设的物流设施方案进行比较分析,在服务里程总量和单位服务量上体现其具体优势,验证选址方案的高效性与公平性,为灾害城市建立应急物流配送中心提供决策依据。

参考文献

[1] 孙江玉,刘创,欧阳敏,等.地震灾害下电网性能研究综述—以弹性视角为主[J].自然灾害学报,2018,27(2):14-23.
SUN Jiangyu, LIU Chuang, OUYANG Min, et al. Summary of research on power grid performance under earthquake disaster from the elastic perspective [J]. Journal of Natural Disasters, 2018, 27(2): 14-23.

[2] TOREGAS C, TOREGASSWAIN R, REVELLE C, et al. The location of emergency service facilities[J]. Operations Research, 1971, 19(6):1363-1373.

[3] PATRICK K, JAILLET H. Airline network design and hub location problems[J]. Location Science, 1996, 4(3):195-212.

[4] YURIMOTO S, KATAYAMA N. A model for the optimal number and locations of public distribution centers and its application to the Tokyo metropolitan area [J]. International Journal of Industrial Engineering, 2002, 9(4):363-371.

[5] 邵振华. 配送中心选址模型与算法研究[D]. 南京:东南大学, 2006.

[6] 蒋慧. 应急物流配送中心选址研究[D]. 成都:西华大学, 2010.

[7] LU C C, SHEU J B. Robust vertex P-center model for locating urgent relief distribution centers[J]. Computers and Operations Research,

- 2013,40(8):2128-2137.
- [8] 冯舰锐,盖文妹. 应急物资储备点选址多目标优化模型及算法研究[J]. 中国安全生产科学技术,2018,14(6):64-69.
- FENG Jianrui, GAI Wenmei. Research on multi-objective optimization model and algorithm for site selection of emergency material reserve sites [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14 (6):64-69.
- [9] 倪卫红,陈太. 基于聚类-重心法的应急物流配送中心选址[J]. 南京工业大学学报(自然科学版),2021,43(2):255-263.
- NI Weihong, CHEN Tai. Location of emergency logistics distribution center based on cluster-gravity method [J]. Journal of Nanjing University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 43 (2): 255-263.
- [10] 朱丽兰. 黄金时间内救灾物资多阶段调配问题求解[J]. 现代交通技术,2022,19(4):55-61.
- ZHU Lilan. Solve the problem of multi-stage deployment of disaster relief materials in the prime time [J]. Modern Transportation Technology, 2022, 19 (4): 55-61.
- [11] 唐林霞. 地震灾害应急救援物资配置的全过程机理研究[J]. 中国行政管理,2015(2):125-128.
- TANG Linxia. Study on the mechanism of the whole process of emergency relief materials allocation for earthquake disasters [J]. Administration of China, 2015 (2): 125-128.
- [12] 张琳. 大规模地震灾害应急物流网络优化分析[J]. 物流工程与管理,2015,37(5):150-152.
- ZHANG Lin. Analysis of large-scale earthquake disaster emergency logistics network optimization [J]. Logistics Engineering and Management, 2015, 37 (5): 150-152.
- [13] 王艳,彭忠益,陈群. 基于动态多时段停车需求的公共停车场布局优化[J]. 系统管理学报,2019,28(2):347-353.
- WANG Yan, PENG Zhongyi, CHEN Qun. Optimization of public parking lot layout based on dynamic multi-period parking demand [J]. Journal of System Management, 2019, 28 (2): 347-353.
- [14] 张浩,赵云胜,桂俊. 基于 Arcgis engine 和 Matlab 的避难场所选址系统开发及应用[J]. 中国安全生产科学技术,2015,11(7):62-67.
- ZHANG Hao, ZHAO Yunsheng, GUI Jun. Development and application of the refuge location system based on Arcgis engine and Matlab [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11 (7): 62-67.
- [15] 中华人民共和国民政部. 救灾物资储备库建设标准: 建标 121—2009[S]. 北京:中国计划出版社,2009.
- [16] 全国物流标准化委员会. 应急物流仓储设施设备配置规范: WB/T 1072—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018.

(责任编辑:张伟丽)