

引用格式: 但文羽, 肖映辉, 胡周灵, 等. 基于高斯两步移动搜寻法的村镇避难场所可达性研究[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(10): 1412-1421.  
[ Dan W Y, Xiao Y H, Hu Z L, et al. Rural emergency shelter accessibility using Gaussian based 2-step floating catchment area method [J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(10): 1412-1421. ] DOI: 10.12082/dqxxkx.2018.180192

# 基于高斯两步移动搜寻法的村镇避难场所可达性研究

但文羽<sup>1,2</sup>, 肖映辉<sup>1,2\*</sup>, 胡周灵<sup>1,2</sup>, 詹庆明<sup>1,2</sup>

1. 武汉大学城市设计学院, 武汉 430072; 2. 武汉大学数字城市研究中心, 武汉 430072

## Rural Emergency Shelter Accessibility Using Gaussian Based 2-step Floating Catchment Area Method

DAN Wenyu<sup>1,2</sup>, XIAO Yinghui<sup>1,2\*</sup>, HU Zhouling<sup>1,2</sup> and ZHAN Qingming<sup>1,2</sup>

1. School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Research Center for Digital City, Wuhan University, Wuhan 430072, China

**Abstract:** China has a vast area and frequent disasters. Due to the special geographical environment and the imperfect disaster prevention and reduction system, the rural areas have made it more difficult for people to take refuge. Refugees can use effective evacuation guidance to reach the shelters in the shortest time, which will reduce unnecessary casualties and improve the efficiency of rescue evacuation. Therefore, the layout of emergency shelters should consider the timeliness. The emergency shelter accessibility refers to the accessibility between emergency shelters and refugees. That is to evaluate, when disasters occur, how difficult it is for refugees to reach emergency shelters through evacuation routes. The emergency shelter accessibility is an important measurement for its rationality in spatial layout. The Gaussian based two-step floating catchment area method (Ga2SFCA) fully considers the interaction between the demand points and the facilities, it also considers the fading relationship between attraction and distance of facilities. The network analysis is based on the actual road and the results obtained are real and objective. Combining the two methods can reduce the accessibility error caused by neglecting the interaction and actual distance between supply and demand in traditional research and effectively determine the spatial distribution of the emergency shelters. Taken Songbai town in Shennongjia as an example, this study combined the Ga2SFCA with the network analysis and took multiple evacuation times as catchment sizes to analyze the rural emergency shelter accessibility. Finally, from the perspective of the evacuation demand of refugees, we analyzed the accessibility of vulnerable people to shelters in the study area. The results show that: this method can be applied to the research on accessibility of emergency shelters in rural area, and by GIS, the differences in accessibility space distribution of emergency shelters in the study area can be revealed directly. At the same time, this method can also provide support for the formulation of scientific rural disaster prevention and mitigation planning. When planning an emergency shelter, not only the accessibility of the sites but also the scale of the facilities and the configuration of the emergency infrastructure must be fully considered. Meanwhile, the emergency marking system should play a guiding role to enhance the emergency

收稿日期: 2018-04-16; 修回日期: 2018-07-27.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAL05B07)。 [ **Foundation item:** National Science and Technology Support Program, No.2014BAL05B07. ]

作者简介: 但文羽(1993-), 女, 硕士生, 研究方向为数字城乡规划与管理。 E-mail: 2691604173@qq.com

\*通讯作者: 肖映辉(1963-), 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为数字城乡规划与管理、GIS及RS在城市规划与管理中的应用。 E-mail: 344019209@qq.com

shelter accessibility from the refugees' behavior and psychology.

**Key words:** Gaussian based 2-step floating catchment area method (Ga2SFCA); rural disaster prevention; emergency shelter; accessibility; GIS

**\*Corresponding author:** XIAO Yinghui, E-mail: 344019209@qq.com

**摘要:** 避难场所可达性是指避难场所与受灾居民之间的通达性,即灾害发生时,避难人员通过避难疏散通道到达避难场所的难易程度,是评价避难场所布局合理性的重要指标。本研究结合高斯两步移动搜寻法和网络分析法,从供需双向出发对村镇地区避难场所进行可达性分析。2种方法的结合,既充分考虑了需求点与设施点的相互作用,又充分考虑了设施点的吸引力随距离的衰减关系,并基于实际道路,以步行疏散时间作为搜索半径,降低了传统研究中因忽略供需间相互作用及实际距离而引起的可达性结果的误差。最后,以神农架松柏镇区为例,验证该方法的实际应用价值。结果表明,该方法能够有效测定村镇地区避难场所的空间可达性,同时,基于GIS软件可以直观地揭示研究区域内避难场所可达性空间分布差异。该方法可为制定科学的村镇防灾减灾规划提供方法支持。

**关键词:** 高斯两步移动搜寻法;村镇防灾;避难场所;可达性;GIS

## 1 引言

防灾避难场所是指配置应急保障基础设施、应急辅助设施以及应急保障设备和物资,用于因灾害产生的避难人员生活保障及集中救援的避难场地及避难建筑,简称避难场所<sup>[1]</sup>。中国幅员辽阔、灾害频发,村镇地区由于地理环境特殊且防灾减灾体系不健全,给避难和救灾增加了难度。灾害发生时通过有效的疏散引导以最短的时间到达避难场所,可以减少不必要的伤亡,提高救援疏散的效率,因此避难场所布局应考虑时效性。空间可达性可以评价在一定疏散时间内从受灾点到达避难场所的空间难易程度<sup>[2]</sup>,可达性值的大小本身不具有解释力,只有在特定的区域中,比较不同地点的可达性值,来衡量该位置在整个区域中所处的地位<sup>[3]</sup>,从而测定避难场所布局的合理性与公平性。

目前,对于空间可达性的研究主要集中在教育<sup>[4]</sup>、医疗<sup>[5]</sup>、养老<sup>[6]</sup>、公园绿地<sup>[7-8]</sup>等公共服务设施。基于GIS的公共服务设施可达性研究方法主要有:缓冲区法<sup>[9]</sup>、最小邻近距离法<sup>[10]</sup>、网络分析法<sup>[11]</sup>、引力模型法<sup>[5]</sup>、两步移动搜寻法等<sup>[7-8,12-13]</sup>。其中,缓冲区法操作简单,但忽略了地理空间的实际距离,其结果往往夸大了设施服务水平;网络分析法基于现实道路,更能切合实际,但忽略了需求点和设施点间的相互作用。两步移动搜寻法以一定距离分别对需求点和设施点进行搜索,充分考虑了供应与需求关系,适合避难场所可达性研究。该方法最早由Radke等<sup>[14]</sup>提出,Luo等<sup>[15]</sup>进一步改进并命名为两步移动搜寻法,用于度量芝加哥十县地区就医的空间可达性研究,受到了广泛关注和应用,但这种方法

未考虑到搜索半径内可达性随距离衰减的规律<sup>[16]</sup>。基于此,Dai<sup>[17]</sup>于2011年将高斯函数作为两步移动搜寻法搜索半径内的距离衰减函数,运用到城市绿地的可达性评价研究中。该方法既充分考虑了需求点与设施点的相互作用,又充分考虑了设施点的吸引力随距离的衰减关系,国内已有学者将高斯两步移动搜寻法应用到绿地<sup>[8]</sup>、就业<sup>[18]</sup>和图书馆<sup>[19]</sup>等可达性的研究中。

国内对于村镇地区的避难场所可达性研究较少,主要集中在城市<sup>[12-13,20]</sup>,且未考虑到避难场所与居民点间的实际距离以及居民点避难时的距离衰减效应,得到的服务范围往往大于实际距离。因此,本研究将高斯两步移动搜寻法与网络分析OD成本矩阵相结合,考虑到避难的时效性,以步行疏散时间作为搜索半径,以神农架松柏镇区为例,对避难场所可达性进行评价,并根据评价结果对研究区域的避难场所布局提出优化建议。本研究介绍了如何将高斯两步移动搜寻法与网络分析结合,并通过实证探讨了新方法的应用价值,以期制定有效的村镇防灾减灾规划提供方法支持,为村镇地区公共服务设施可达性研究做出示范。

## 2 研究方法

### 2.1 高斯两步移动搜寻法

#### 2.1.1 模型概述

高斯两步移动搜寻法是一种基于机会累积思想的空间可达性度量方法,在传统的两步移动搜寻法的基础上引入距离衰减函数,考虑到避难需求点和避难设施点间的相互作用随距离的增加而减少

的关系,以一定的搜索半径移动搜索两次,比较搜索范围内避难需求点可以到达的避难设施点数量,数量越多,可达性越好<sup>[13]</sup>。

用高斯两步移动搜寻法进行避难场所空间可达性研究的技术路线如图1所示。主要分为2步<sup>[17]</sup>:

(1)将避难场所的出入口作为避难设施点,从设施点  $j$  出发,以居民疏散时间作为搜索半径,利用OD成本矩阵得到一个空间搜索域,计算落在搜索域中的人口数,根据设施点到达各需求点的时间阻抗,利用高斯方程对各需求点人口赋予权重,对加权后的人口进行求和,得到设施点服务人口数,再用设施点供给量除以设施点服务人口,得到设施点搜索域内的供需比。

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} [g(d_{kj}, d_0)P_k]} \quad (1)$$

式中:  $P_k$  表示位于避难设施点  $j$  空间搜索域 ( $d_{kj} \leq d_0$ ) 内的需求点  $k$  的人口数;  $d_{kj}$  表示需求点  $k$  到达设施点  $j$  所需要的疏散时间;  $S_j$  表示避难场所的供给量,本研究中以避难场所的有效面积和设施配套加权得到;  $d_0$  表示避难搜索阈值,本研究中以疏散时间表示;  $g(d_{kj}, d_0)$  表示在搜索半径  $d_0$  范围内的距离衰减函数,计算公式如式(2)所示。

$$g(d_{kj}, d_0) = \begin{cases} \frac{e^{-1/2(d_{kj}/d_0)^2} - e^{-1/2}}{1 - e^{-1/2}}, & d_{kj} \leq d_0 \\ 0, & d_{kj} > d_0 \end{cases} \quad (2)$$

(2)从避难需求点  $i$  出发,以上一步中同样的搜索阈值  $d_0$  得到另一个空间搜索域,将落在空间搜索域中的设施点的供需比  $R_l$  同样利用高斯方程赋予

权重,对这些设施点的加权供需比进行求和,得到各需求点到达避难场所的可达性  $A_i$ 。

$$A_i = \sum_{l \in \{d_{il} \leq d_0\}} [g(d_{il}, d_0)R_l] \quad (3)$$

式中:  $R_l$  表示位于避难需求点  $i$  空间搜索域 ( $d_{il} \leq d_0$ ) 内的设施点  $l$  的供需比,其他指标同式(1)。  $A_i$  值的大小可以表示为在一定疏散时间内某个需求点对于避难场所的人均占有量/(m<sup>2</sup>/人),值越大,可达性越好。

图2为高斯两步移动搜寻法的示意图,在图2(a)中,从避难场所b出发,经过一定的疏散时间  $d_0$  得到空间搜索域,根据避难场所b到落在其空间搜索域内的各居民点(3、4、6、7、8、9、10、12)间的疏散时间,利用式(2)建立相应的高斯方程,已知居民点的人口和避难场所的供给量,根据式(1)得到避难场所b的供需比  $R_b$ ;在图2(b)中,从居民点3出发,经过相同的疏散时间  $d_0$  得到居民点3的空间搜索域,由上一步已知落在其空间搜索域内的各避难场所(b、d)的供需比,根据式(3)可以得到居民点3的避难场所可达性  $A_3$ 。

### 2.1.2 场所供给量

避难场所的主要功能是为避难人员提供基本生活条件和安全保障,村镇避难场所规划应满足“平灾结合”、综合防灾、就近避难、选址安全和应急保障原则<sup>[21]</sup>。应急设施的配置是影响避难场所服务能力的一个重要因素,在同等距离条件下,避难场所面积越大、距离应急设施越近,对避难人口的吸引力越强。因此,本次研究从避难场所的供给出发,考虑避难场所的有效面积及应急设施配置情

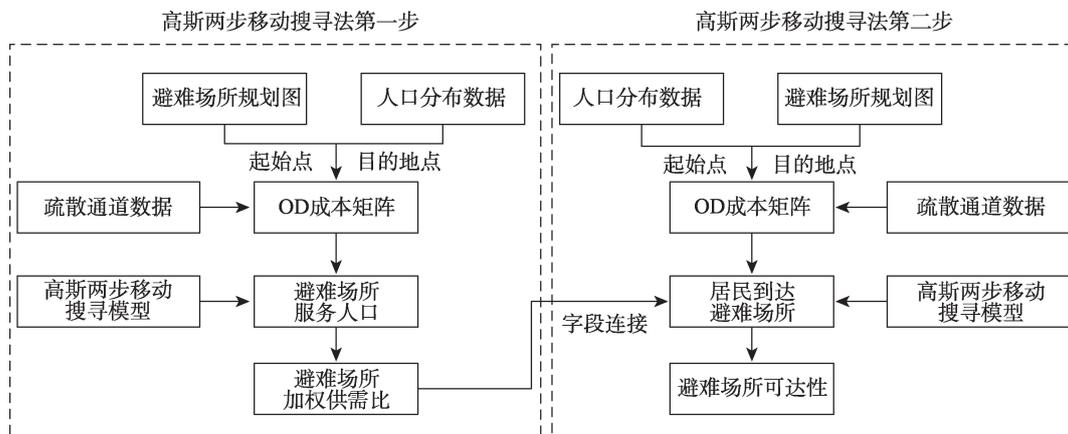


图1 高斯两步移动搜寻法技术路线

Fig. 1 Technology roadmap for Gaussian based 2-step floating catchment area method

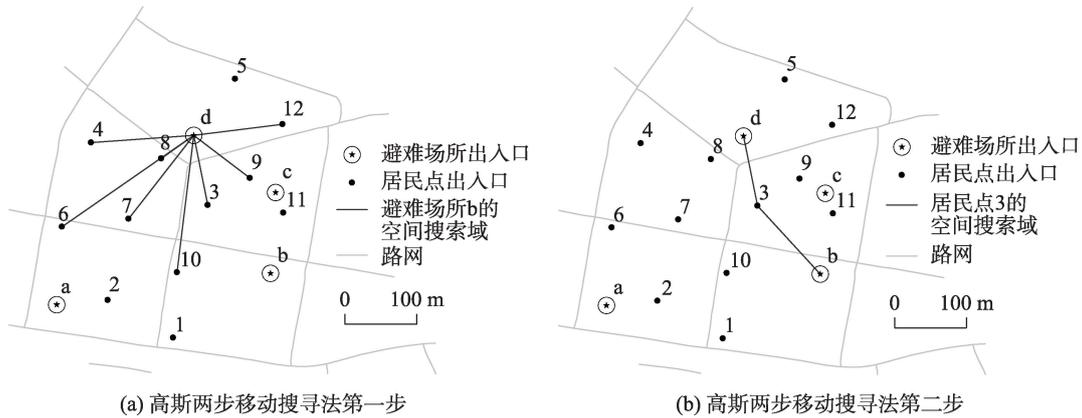


图2 高斯两步移动搜寻法示意图

Fig. 2 Gaussian based 2-step floating catchment area method

况,综合评价避难场所的供给量<sup>[12]</sup>。避难场所自身有效面积仍作为决定性因素,而配套的应急设施将提高其服务能力,作为辅助性因素,对避难场所容量进行加权评分,得到避难场所的供给量。

### 2.1.3 避难搜索域

传统的两步移动搜寻法在确定空间搜索域时常以缓冲区的形式,得到需求点与设施点间的直线距离,对于地形复杂多变的村镇地区,采用传统缓冲区的方法得到的搜索域往往远大于基于路网得到的实际距离。因此,本次研究中利用ArcGIS 10.2网络分析中的新建OD成本矩阵功能得到空间搜索域。OD成本矩阵用于查找和测量道路网络中从多个起始点到多个目的地的最小成本路径,配置OD成本矩阵分析时,可以通过指定搜索的最大距离来查找目的地数,储存在属性中的值反映的是网络距离而不是直线距离。避难场所疏散应充分考虑时效性,尽量靠近人口密集区,灾害发生时,受灾居民多以步行的方式避难,受灾人员避难疏散时间不应超过15 min<sup>[21]</sup>,考虑到受灾程度的差异以及受灾人群的不同,在本次研究中,以5 min为间隔,将避难疏散时间分为4级,分别为5、10、15和20 min,作为避难搜索阈值。

## 2.2 反距离权重法空间插值

### 2.2.1 标准化处理

本研究以多段疏散时间作为搜索范围,为了消除量纲的影响,增强不同疏散时间可达性结果的可比性,需要对计算得到的可达性值进行标准化处理。相对可达性能很好地体现需求点的可达性变化趋势,是对原始数据的线性变换,使结果值映射

到[0,1]之间。相对可达性可表示为式(4)<sup>[22]</sup>。

$$RC_i = \frac{A_i - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} \quad (4)$$

式中:  $RC_i$  为避难需求点  $i$  的相对可达性值;  $A_i$  表示需求点  $i$  的可达性值;  $A_{\max}$  为所有疏散时间内路网中需求点可达性的最大值;  $A_{\min}$  为所有疏散时间内路网中需求点可达性的最小值。

### 2.2.2 反距离权重法

由于可达性易受距离影响,所以本次研究中采用反距离权重法对可达性结果进行空间插值。反距离权重法(Inverse Distance Weighted, IDW)以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大,适用于对距离敏感的插值。幂指数对IDW的插值结果有很大影响,幂指数越大,较远的点对于输入的影响越小,即幂指数越高,其局部影响程度越高,本次研究中幂指数采用ArcGIS 10.2中默认值取2。

## 3 案例研究

### 3.1 研究区域与数据源

#### 3.1.1 研究区概况

神农架林区位于湖北省西部,松柏镇区位于神农架林区北部,常住人口21 210人,从2005-2015年共计灾害点18处,主要受到滑坡、泥石流、崩塌灾害的影响。根据松柏镇避难场所规划,设置固定和紧急避难场所各3个,可覆盖99.06%的避难人口。本次研究将镇区4个规模相对较大的商场和商店,4个卫生院和1个消防站作为应急保障基础设施。根据用地性质,可将研究区域分为5个功能区:保障性

住房区、老镇中心区、文化体育区、行政办公区和人口门户区。根据DOM影像的建筑分布和居民点建设现状,估计每栋建筑的人口,用1个点代表10人,最终得到松柏镇区人口分布图。

神农架松柏镇区避难场所和人口分布如图3所示,人口密度较大的区域主要有保障性住房区西部和中部、老镇中心区南部和东部、文化体育区、行政办公区中部以北以及人口门户区的西北部。该区避难场所布局较为均匀,面积较大的场所分布在保障性住房区的西部和人口门户区的北部,与人口分布互相协调。但文化体育区和行政办公区避难场所出现空缺,从供求的角度而言,人口分布和避难场所布局不匹配,且没有发挥应急保障基础设施的邻近优势。

3.1.2 镇区避难场所供给量

按照避难场所的面积大小,将松柏镇区避难场所分为5级,面积越大,得分越高。同时,用缓冲区法,得到避难场所与医疗设施的距离、与消防站的距离和与物资储备库的距离,距离越近,得分越高,

对3种应急保障基础设施分别赋以权重,得到应急设施的加权评分,对其进行重分类,分为5级,按照避难场所面积评价占70%,应急保障基础设施配置评价占30%的比重进行加权总和,得到避难场所的加权面积,以此作为避难场所的供给量,评价结果如表1所示。

3.1.3 基础数据说明

本次研究所用的数据主要包括基础地理信息数据、规划基础信息数据和建设规划数据(表2)。基础地理信息数据包括:镇区建筑信息、崩滑流易发性、地震易发性及0.2 m分辨率数字正射影像图(Digital Orthophoto Map, DOM)等;镇区规划基础信息包括:居民点建设现状、交通建设现状及避难场所规划等;镇区建设数据包括:镇区规划(2013-2030)的文本和说明书。

3.2 避难场所可达性分析

首先根据人口分布数据,对研究区域以多段疏散时间进行避难场所可达性评价。将避难场所的

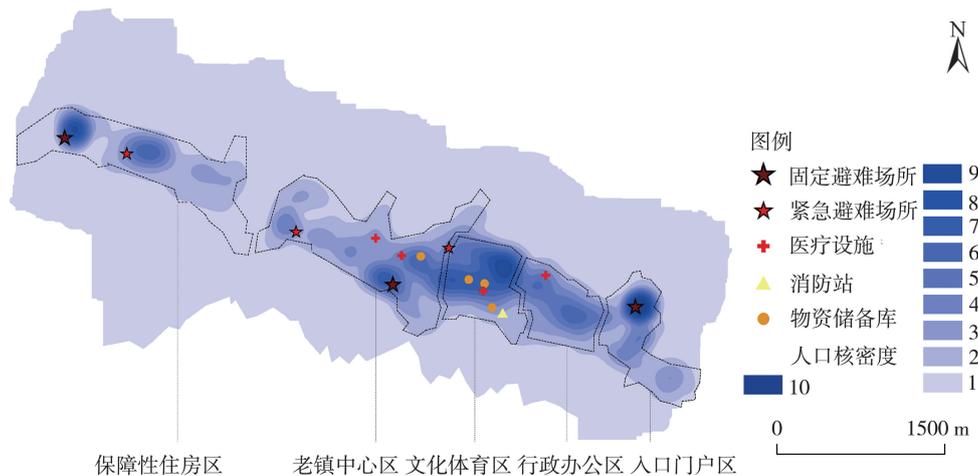


图3 神农架松柏镇区避难场所和人口分布图

Fig. 3 Distribution of emergency shelters and population in Songbai town, Shennongjia

表1 松柏镇区避难场所供给量

Tab. 1 Supply of emergency shelters in Songbai town

避难场所名称	避难场所类型	避难场所面积/m <sup>2</sup>	综合评分	避难场所供给量/m <sup>2</sup>
社会福利中心空地	紧急避难场所	2247.04	1	449.41
道路运输管理局空地	紧急避难场所	2751.66	1	550.33
停车场	紧急避难场所	6131.26	3	3678.76
小区绿地	固定避难场所	6900.63	3	4140.38
神农架高中操场	固定避难场所	8257.63	4	6606.10
实验初级中学运动场	固定避难场所	19 248.20	4	15 398.56

表2 基础数据信息表  
Tab. 2 Basic data information list

数据类型	数据名称	数据格式	数据成果
基础地理信息数据	镇区建筑信息	CAD	应急保障基础设施分布
	镇区建筑信息	Shapefile	承灾体脆弱性评价
	滑坡易发性	TIFF	地质灾害强度评价
	泥石流易发性	TIFF	
	崩塌易发性	TIFF	
	地震易发性	TIFF	
规划基础信息数据	0.2 m分辨率数字正射影像图	TIFF	人口分布
	居民点建设现状	CAD	
	交通建设现状	CAD	避难疏散通道
	避难场所规划	Shapefile	避难场所分布及供给量
建设规划数据	镇区规划(2013-2030)的文本和说明书	Word	分区

出入口作为起始点,沿疏散通道,利用网络分析OD成本矩阵,分别从避难场所和居民点出发,运用高斯型两步移动搜寻法模型得到避难场所可达性,通过反距离权重法对标准化后的可达性值进行空间插值得到避难场所可达性评价图,用于分析研究区域避难场所空间布局的均衡性和可达性。

在此基础上,考虑研究区域的主要灾害易发性,以及不同位置的人口受灾害威胁程度不同的特点,分析位于危险地段的人口的避难场所可达性。将主要灾害易发性进行加权叠加得到地质灾害强度评价,根据建筑的结构类型和维护情况得到承灾体脆弱性评价,用GIS空间分析工具将承灾体脆弱性评价、地质灾害强度评价和人口分布图进行叠加,得到承灾体易损性评价图。将结果与避难场所可达性评价进行叠加,分析基于灾害影响的避难需求人口对于避难场所的可达性,如图4所示。

### 3.3 结果分析

#### 3.3.1 松柏镇区避难场所可达性评价

为了直接比较同一地区不同疏散时间的可达性变化情况,本次研究以相同的间隔为不同疏散时间得到的反距离权重法空间插值结果进行重分类,并将重分类结果分为5级:不可达、低可达、一般可达、较高可达和较高可达,如图5所示。不同疏散时间内覆盖的人口如图6、表3所示。

由图5、表3可得到,随着疏散时间的增加,松柏镇区避难场所不可达人口逐渐下降,但大部分人口集中在低可达区域。当疏散时间为5 min时,松柏镇区大部分区域不可达,避难场所可达区域主要集中在距避难场所较近的地区,可达人数仅占总人

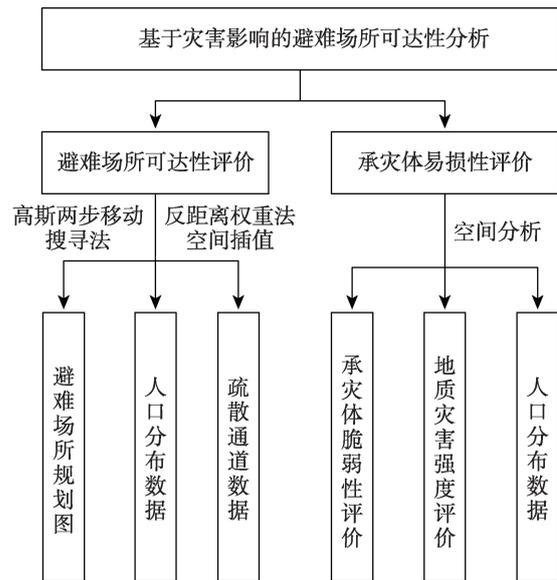


图4 松柏镇区避难场所可达性研究技术路线  
Fig. 4 Technology roadmap for emergency shelters accessibility research in Songbai town

口的33.90%。受避难场所面积和应急设施配置情况的影响,较高可达性和高可达性的区域集中在保障性住房区的西部,老镇中心区南部、文化体育区西北部以及人口门户区西北部有少量较高可达区域。当疏散时间为10 min时,可达范围明显增加,可达人口占总人口的67.66%,比5 min时增加了1倍,行政办公区由于路网密度较低,其大部分区域仍不可达。当疏散时间为15 min时,全区大部分区域都可达,可达人数为19 210人,占总人口的90.57%,高可达性区域仍集中在保障性住房区西部。当疏散时间为20 min时,不可达人口为500人,主要分布在文化体育区和行政办公区交界处以南

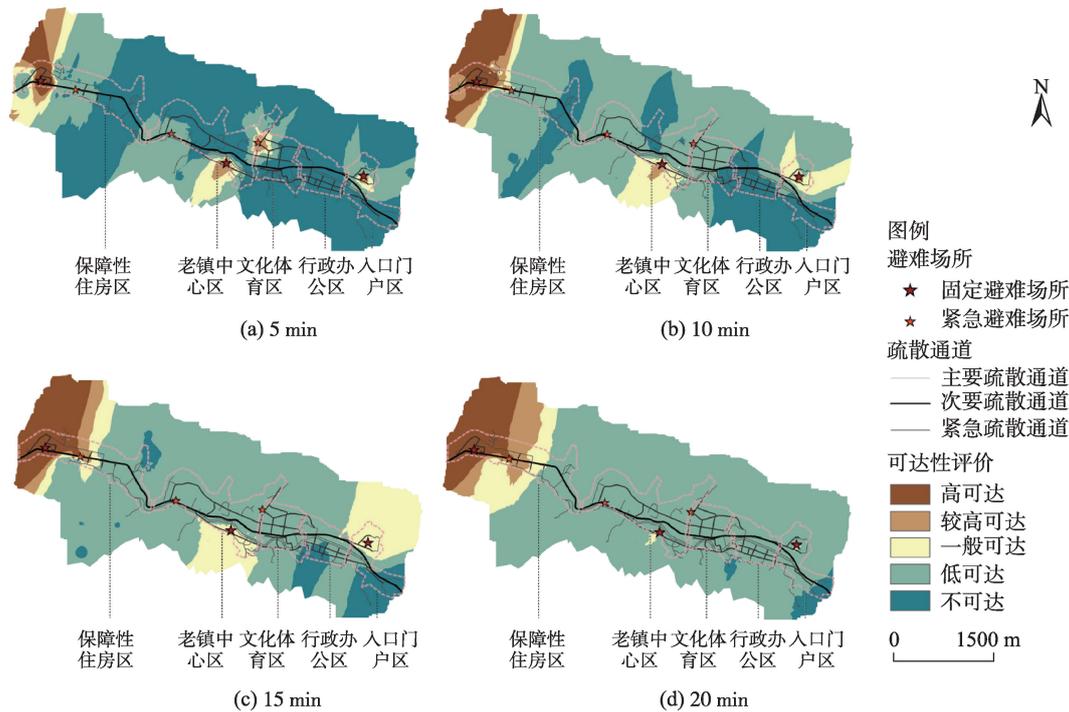


图5 松柏镇区避难场所不同疏散时间内可达性评价图

Fig. 5 Evaluation of emergency shelters accessibility during different evacuation times in Songbai town

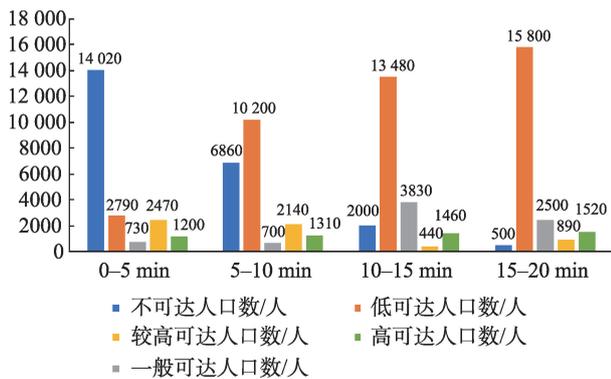


图6 松柏镇区避难场所不同疏散时间覆盖人口数

Fig. 6 Population covered by emergency shelters during different evacuation times in Songbai town

的小部分区域及入口门户区东部,可达人口占总人口的97.64%,但人口主要集中在低可达区域,一般可达、较高可达和高可达区域主要集中在中部和西

部,并依次向西部偏移。

从图6可看出,随着疏散时间的不断增加,避难场所可达范围在不断增大,覆盖的人口数量也在不断增加。由于疏散时间的增加,落在避难搜索域中的人口增多,在避难场所供给量较小的情况下,避难场所供需比降低,从而导致避难场所的可达性降低。在疏散时间增加到15 min时,入口门户区西北部的一般可达性范围增加明显,而在疏散时间增加到20 min时,一般可达性主要分布在保障性住房区西部,入口门户区西北部和老镇中心区南部的可达性降低,原因在于位于保障性住房区西部的松柏镇实验初级中学运动场,作为松柏镇区固定避难场所,面积为15 398.56 m<sup>2</sup>。由于避难场所加权供给量较大,能覆盖更多的人口,因此高可达主要分布在该区域,并随着疏散时间的增加而不断增加。

表3 松柏镇区避难场所不同疏散时间覆盖人口数

Tab. 3 Population covered by emergency shelters during different evacuation times in Songbai town

	不可达人口数/人	低可达人口数/人	一般可达人口数/人	较高可达人口数/人	高可达人口数/人	可达人数占比/%
0-5 min	14 020	2 790	730	2 470	1 200	33.90
5-10 min	6 860	10 200	700	2 140	1 310	67.66
10-15 min	2 000	13 480	3 830	440	1 460	90.57
15-20 min	500	15 800	2 500	890	1 520	97.64

### 3.3.2 松柏镇区承灾体易损性评价

地质灾害承灾体易损性是地质灾害强度与承灾体脆弱性共同作用的结果。选取地质灾害强度和承灾体脆弱性2个评价指标共6个因子对松柏镇区承灾体易损性进行评价。根据松柏镇区滑坡、泥石流、崩塌、地震的易发性评价按权重进行叠加,得到地质灾害强度评价;根据建筑数据,将不同的建筑结构类型和维护状态分为4级并进行打分,对评价结果进行叠加得到承灾体脆弱性评价。最后,将地质灾害强度与承灾体脆弱性进行加权叠加得到

承灾体易损性评价,评价结果如图7所示。将承灾体易损性评价图中的中易损性及以上的区域与松柏镇区人口分布图相叠加,得到位于危险区域的人口,即避难需求人口,共12 520人。

### 3.3.3 基于灾害影响的避难场所可达性分析

根据研究区域主要灾害类型(滑坡、泥石流、崩塌和地震)得到位于危险区域的易受灾人群,将避难需求人口与疏散时间为15 min的避难场所可达性评价图进行叠加,分析基于灾害影响的避难场所可达性,如图8、表4所示。

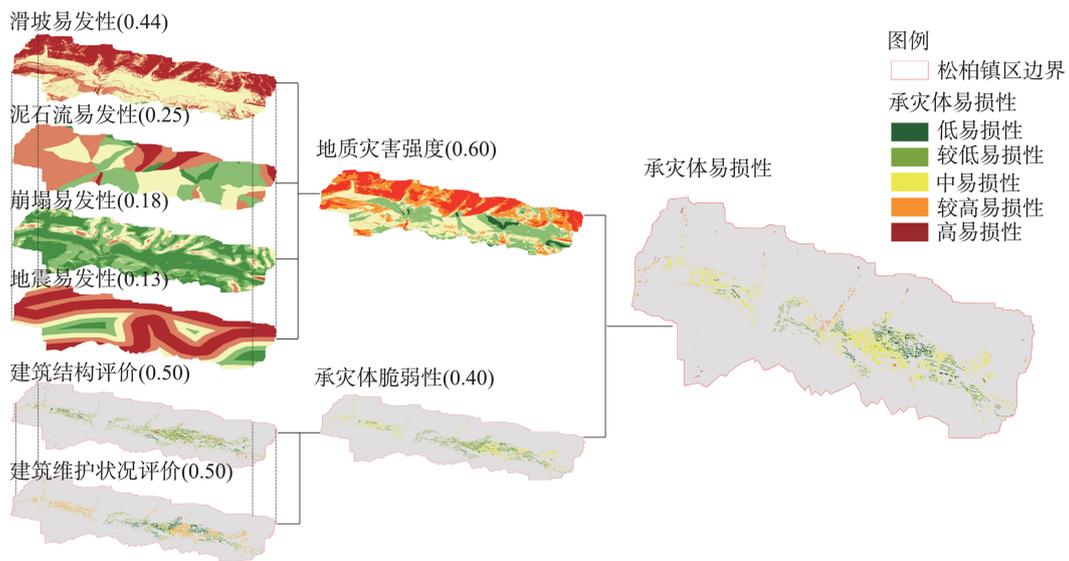


图7 松柏镇区承灾体易损性评价图

Fig. 7 Evaluation of disaster bearing receptors vulnerability in Songbai town



图8 松柏镇区基于灾害影响的避难场所可达性分析

Fig. 8 Analysis of emergency shelters accessibility based on disaster impact in Songbai town

表4 松柏镇区避难场所15 min覆盖的避难需求人口

Tab. 4 Refugees covered by a 15 minutes refuge in Songbai town

	不可达	低可达	一般可达	较高可达	高可达	可达人口
避难人口/人	790	6870	2950	460	1450	11 730
避难人口占比/%	6.31	54.87	23.56	3.67	11.58	93.69

松柏镇区避难需求人口主要集中在保障性住房区中部和西部、老镇中心区东部和东南部、文化体育区西部以及入口门户区西北部。可达人口占避难需求总人口的93.69%，大部分人口位于低可达区域，证明该区避难场所分布较为合理，但大部分场所供给量较小，配套设施不完备。不可达人口共790人，主要分布在行政办公区西南部及其与文化体育区东南部相交的区域、入口门户区东部和南部，对于这2个区域的避难需求人口，应考虑在中间地段增设避难场所，并保证场所有足够的容量。保障性住房区东北部和南部也有一部分人口不可达，对于这部分避难需求人口，由于分布较为分散且所处地段灾害易发性较强，所以建议对其进行搬迁。对于低可达区域，在条件允许的情况下，应在原有避难场所的基础上对场所进行扩建，或在附近增设新的避难场所，从而达到分担避难需求人口的目的。

## 4 结语

本研究阐述了高斯两步移动搜寻法的由来并探索了该方法与网络分析OD成本矩阵的结合使用，最后通过实证探讨了基于高斯两步移动搜寻法的评价方法在村镇避难场所可达性分析中的应用。创新点在于：2种方法的结合使用，在方法上充分考虑了避难场所与居民点间的相互作用随距离的衰减关系，在实践中基于实际道路，以步行疏散时间作为搜索半径，降低了传统研究中因忽略供需间相互作用及实际距离而引起的可达性结果的误差，有效的测定了研究区域避难场所空间分布的差异性。研究结果可以为制定科学的村镇防灾减灾规划提供方法支持，同时也适用于其他公共服务设施的可达性研究。结论如下：

避难场所的可达性主要受场所供给量及居民点和场所间的距离的影响，可达性值实际上等价于加权后的人均避难面积。因此，在对避难场所进行布局规划时，应从避难疏散的角度划定场所的责任区，并充分考虑场所规模和应急基础保障设施的配

置情况，以更好地发挥避难场所的防灾应急作用。由于村镇开阔场地较多，在实际疏散中，村民可能会慌不择路而错过避难场所，因此，在居民日常生活中，应加强防灾知识的宣传与普及，并充分发挥应急标识的作用，加强避难场所的可识别性，从避难行为和避难心理2个方面加强避难场所可达性，减少由于慌乱造成的二次伤害。

本次研究基于GIS软件，将高斯两步移动搜寻法与网络分析相结合，分析村镇地区避难场所的可达性，在下一步研究中应利用GIS软件的二次开发功能，将避难场所规划布局、可达性分析与GIS功能相结合，集成为一个操作简便的一体化系统，进一步加强分析结果的可视化，使其能在村镇防灾减灾规划中得以推广应用，提高规划决策的科学性。

### 参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB51143-2015 防灾避难场所设计规划[S].北京:中国建筑工业出版社, 2015. [ Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB51143-2015 Code for design of disasters mitigation emergency congregate shelter[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015. ]
- [2] Koenig J G. Indicators of urban accessibility: Theory and application[J]. Transportation, 1980,9(2):145-172.
- [3] Harris B. Accessibility: Concepts and applications[J]. Journal of Transportation & Statistics, 2001,4(2):15-30.
- [4] 任若菡,王艳慧,何政伟,等.基于改进的两步移动搜寻法的贫困区小学教育资源空间可达性分析——以重庆市黔江区为例[J].地理信息世界,2014(2):22-28. [ Ren R H, Wang Y H, He Z W, et al. Research on spatial accessibility of primary school education resources in poverty area based on modified two-step floating catchment area method: A case study of Qianjiang[J]. Geomatics World, 2014 (2):22-28. ]
- [5] 宋正娜,陈雯.基于潜能模型的医疗设施空间可达性评价方法[J].地理科学进展,2009,28(6):848-854. [ Song Z N, Chen W. Measuring spatial accessibility to health care facilities based on potential model[J]. Progress in Geography, 2009,28(6):848-854. ]

- [6] 陶卓霖,程杨,戴特奇.北京市养老设施空间可达性评价[J].地理科学进展,2014,33(5):616-624. [ Tao Z L, Chen Y, Dai T Q. Measuring spatial accessibility to residential care facilities in Beijing[J]. Progress in Geography, 2014, 33(5):616-624. ]
- [7] 叶明武,王军,刘耀龙,等.基于GIS的上海中心城区公园避难可达性研究[J].地理与地理信息科学,2008,24(2):96-98. [ Ye M W, Wang J, Liu Y L, et al. Study on refuge accessibility of park in inner-city of Shanghai based on GIS technique[J]. Geography and Geo-information Science, 2008,24(2):96-98. ]
- [8] 魏冶,修春亮,高端,等.基于高斯两步移动搜索法的沈阳市绿地可达性评价[J].地理科学进展,2014,33(4):479-487. [ Wei Z, Xiu C L, Gao R, et al. Evaluation of green space accessibility of Shenyang using Gaussian based two-step floating catchment area method[J]. Progress in Geography, 2014,33(4):479-487. ]
- [9] 李明玉,李春玉,张晓东,延吉市城市开敞空间可达性研究[J].河南科技大学学报(自然科学版),2010,31(6):90-94. [ Li M Y, Li C Y, Zhang X D. Accessibility of urban open space in Yanji city[J]. Journal of Henan University of Science & Technology (Natural Science), 2010,31(6):90-94. ]
- [10] 尹海伟,徐建刚.上海公园空间可达性与公平性分析[J].城市发展研究,2009,16(6):71-76. [ Yin H W, Xu J G. Spatial accessibility and equity of parks in Shanghai[J]. Urban Studies, 2009,16(6):71-76. ]
- [11] Iacono M, Krizek K J, El-Geneidy A. Measuring non-motorized accessibility: Issues, alternatives, and execution [J]. Journal of Transport Geography, 2010,18(1):133-140.
- [12] 高颖玲.紧急避难场所空间可达性分析——以杭州市上城区为例[J].中山大学研究生学刊(社会科学版),2014(4):68-79. [ Gao Y L. Measuring spatial accessibility of emergency shelter: A case study in Shangcheng district, Hangzhou[J]. Journal of the Graduates Sun Yat-Sen University(Social Sciences), 2014(4):68-79. ]
- [13] 周爱华,张景秋,张远索,等.GIS下的北京城区应急避难场所空间布局与可达性研究[J].测绘通报,2016(1):111-114. [ Zhou A H, Zhang J Q, Zhang Y S, et al. Study on the emergency shelter accessibility and distribution in Beijing based on the GIS[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2016(1):111-114. ]
- [14] Radke J, Mu L. Spatial decompositions, modeling and mapping service regions to predict access to social programs[J]. Geographic Information Sciences, 2000,6(2):105-112.
- [15] Luo W, Wang F. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: Synthesis and a case study in the Chicago region[J]. Environment & Planning B Planning & Design 2003,30(6):865-884.
- [16] 陶卓霖,程杨.两步移动搜寻法及其扩展形式研究进展[J].地理科学进展,2016,35(5):589-599. [ Tao Z L, Cheng Y. Research progress of the two-step floating catchment area method and extensions[J]. Progress in Geography, 2016,35(5):589-599. ]
- [17] Dai D. Racial/ethnic and socioeconomic disparities in urban green space accessibility: Where to intervene?[J]. Landscape and Urban Planning, 2011,102(4):234-244.
- [18] 王绮,修春亮,魏冶,等.基于高斯两步移动搜索法的沈阳市就业可达性评价[J].人文地理,2015(2):78-82. [ Wang Q, Xiu C L, Wei Z, et al. Evaluation of job accessibility of Shenyang using Gaussian based two-step floating catchment area method[J]. Human Geography, 2015(2):78-82. ]
- [19] 潘勇卓,周廷刚,沈敬伟.Ga2SFCA下的公共图书馆可达性评价——以重庆主城区为例[J].图书馆论坛,2017(1):86-92. [ Pan Y Z, Zhou T G, Shen J W. Analysis of accessibility of public library based on Gaussian two-step floating catchment area method: A case study of the nine main districts of Chongqing[J]. Library Tribune, 2017(1):86-92. ]
- [20] 胡强.山地城市避难场所可达性研究[D].重庆:重庆大学,2010. [ Hu Q. Mountainous city shelter accessibility research[D]. Chongqing: Chongqing University, 2010. ]
- [21] 初建宇.防灾避难场所规划方法及其应用研究[D].天津:天津大学,2014. [ Chu J Y. Research on the methods for planning of emergency shelter and its application[D]. Tianjing: Tianjing University, 2014. ]
- [22] 阚吉.基于GIS的空间可达性评价方法研究[D].南京:东南大学,2015. [ Kan J. Spatial accessibility evaluation methods based on GIS[D]. Nanjing: Southeast University, 2015. ]