

# 基于ArcGIS的兰州市城关区紧急避难场所可达性分析

刘楷文

兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州

收稿日期: 2024年1月19日; 录用日期: 2024年2月10日; 发布日期: 2024年3月22日

## 摘要

紧急避难场所是应对紧急情况的重要抓手, 也是城市防灾减灾体系的重要组成部分。建设好紧急避难场所, 有利于防患于未然, 保障人民群众的生命和财产安全。本文基于ArcGIS平台, 应用网络分析法、缓冲区法, 对兰州市城关区紧急避难场所的可达性在500 m有效服务半径和6分钟合理避难时间这两种情况下进行了分析。结果表明, 黄河以南、兰山以北、天水路以西的城关区部分区域紧急避难场所建设较好, 但城关区紧急避难场所建设存在空间不均情况。本文通过可达性的分析判识出了兰州市城关区紧急避难设施建设不足的区域, 并对今后兰州市城关区紧急避难场所的空间布局规划提出了建议。

## 关键词

可达性, 人口密度, 路网, 紧急避难场所

## Accessibility Analysis of Emergency Shelters in Chengguan District of Lanzhou City Based on ArcGIS

Kaiwen Liu

College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou Gansu

Received: Jan. 19<sup>th</sup>, 2024; accepted: Feb. 10<sup>th</sup>, 2024; published: Mar. 22<sup>nd</sup>, 2024

## Abstract

Emergency shelters are an important tool for dealing with emergencies and an important part of

the urban disaster prevention and mitigation system. The construction of emergency shelters is conducive to preventing disasters before they occur and safeguarding the lives and properties of the people. Based on the ArcGIS platform, this paper applies the network analysis method and buffer zone method to analyze the accessibility of emergency shelters in Chengguan District of Lanzhou City, under two scenarios of a 500-m effective service radius and 6-minute reasonable refuge time. The results show that the construction of emergency shelters in some areas of Chengguan District south of the Yellow River, north of Lanshan and west of Tianshui Road is better, but there is a spatial unevenness in the construction of emergency shelters in Chengguan District. The analysis of accessibility in this paper identifies the areas in which the construction of emergency shelter facilities in Chengguan District of Lanzhou City is insufficient, and puts forward suggestions for the spatial layout planning of emergency shelters in Chengguan District of Lanzhou City in the future.

## Keywords

Accessibility, Population Density, Road Network, Emergency Shelters

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

### 1.1. 可达性概述

可达性又称通达性，是人们克服距离和时间等阻力到达特定场所的愿望和能力的定量表达[1]。可达性是评价公共服务设施配置合理性的重要指标，反映居民接近公共设施的机会大小，因其能直观地描绘公共设施空间分布的均衡性，从而被广泛用于公共服务设施配置研究[2]。目前对于设施空间可达性的测度主要有：缓冲区分析法、两步移动搜索法、引力模型法、最邻近法、核密度法等[3]。

最邻近法仅考虑距离因素，对于设施点的供给规模不作研究。核密度法实际上与重力模型法属于同一个框架，采用的距离为欧氏距离，不考虑实际交通网络的影响。与实际情况存在一定偏差，是理想状况下的理想假设。两步移动搜索法是运用最广泛的，它是重力模型法的一种特例，最早被用于医疗卫生设施的服务可达性测评中，后被广泛运用于公共服务设施配置公平性研究[4]。不同于重力模型强调所有供应点和需求点之间的关系，两步移动搜索法注重特定范围内的吸引力程度，即确定对应的服务范围建立有限的搜索区域[3]。

在进行紧急避难场所可达性分析时，由于紧急情况下城市设施难以利用，如灾难、战争等情况下，道路、公共交通等的运行情况难以预测，城市化水平、城市规划合理性、城市路网密集度等对于可达性的影响难以度量。专门针对于紧急避难所的可达性评价方法不多，目前对紧急避难所可达性分析的研究也相对较少，研究对象往往是某一个具体的城市，不同城市的防灾减灾规划不同、发展水平也不尽相同，所以已有的评价方法需要与具体的研究区域共同考虑[5]。

### 1.2. 紧急避难场所概述

避难是指当灾害发生或即将发生的时候，受灾人员或预受灾人员以最短的时间离开灾害现场抵达避难场所并安全地度过应急期的过程。对于城市应急避难场所，它是指自然灾害发生后或在应急状态下用

来提供给居民避难的场所，它预先经科学划定并进行规范化管理，能提供基本生活保障，用于民众安全避难的场地[6]。

从规划的层次来看，应急避难场所规划是城市总体规划下的专项防灾规划的核心内容之一。从灾害过程来看，灾害可以被视为对城市系统的破坏性变量，而防灾空间系统是抵御、干扰、促进城市复原力的关键因素。作为一个重要的空间载体，城市应急避难场所体系是城市防灾空间体系的核心[7]。

目前，普遍认为应急避难场所是指经过科学规划与管理的公园、广场、学校操场及体育场等开敞空间，可以为居民提供安全避难和应急指挥救援，并提供基本生活保障[8]。

## 2. 研究区概况与数据方法

### 2.1. 研究区概况

兰州市中心区包括城关区、安宁区、七里河区、西固区、红古区。本文以兰州市城关区作为研究区域，截止 2020 年，城关区人口达 148 万人，本次纳入研究的居民小区点 1143 个，紧急避难场所 71 个，面积 208 平方千米。城关区是兰州市经济最发达、人口最稠密、基础设施建设最完善的区域，是兰州的政治、经济、文化、科技中心区，以这个区域作为研究中心，可以很好地反映现实情况，更加具有典型意义。

### 2.2. 数据来源

本文所用研究区数据为兰州市城关区行政区域矢量数据，来自国家基础地理信息库(2017 版)，包括城关区行政边界以及街道分区数据。

兰州市城关区道路数据，来自 OSM 开放数据网站，道路按照等级分布，不同等级的道路存在限速，道路数据经过筛选使用。

人口数据来自第七次全国人口普查，兰州市城关区卫生健康委员会公开数据，包含每个街道的人口数据；数据截至 2020 年 11 月 1 日零时。

紧急避难场所和小区位置数据来自高德地图 API 接口，通过 python 程序爬取，得到城关区范围内的 70 余个避难所位置信息，见图 1。

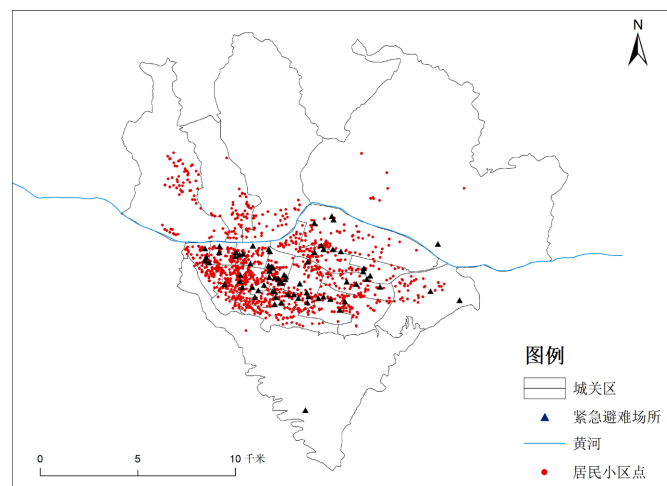


Figure 1. Spatial distribution of shelters and neighbourhoods in Chengguan District of Lanzhou City

图 1. 兰州市城关区避难所及居民小区空间分布

DEM 高程数据来自地理空间数据云网站，经过 ArcMap 拼接提取获得。

### 2.3. 数据处理

#### 1) 避难场所、小区点数据处理

建立点要素图层，将避难所、小区添加到图层的属性表中。

#### 2) 行政区数据处理

行政区点中心由各街道面质心来代替。同时，将街道面属性表与第七次人口普查数据连接，得到各个街道人口的插值，一定程度上反映了城关区人口分布情况，见图 2。

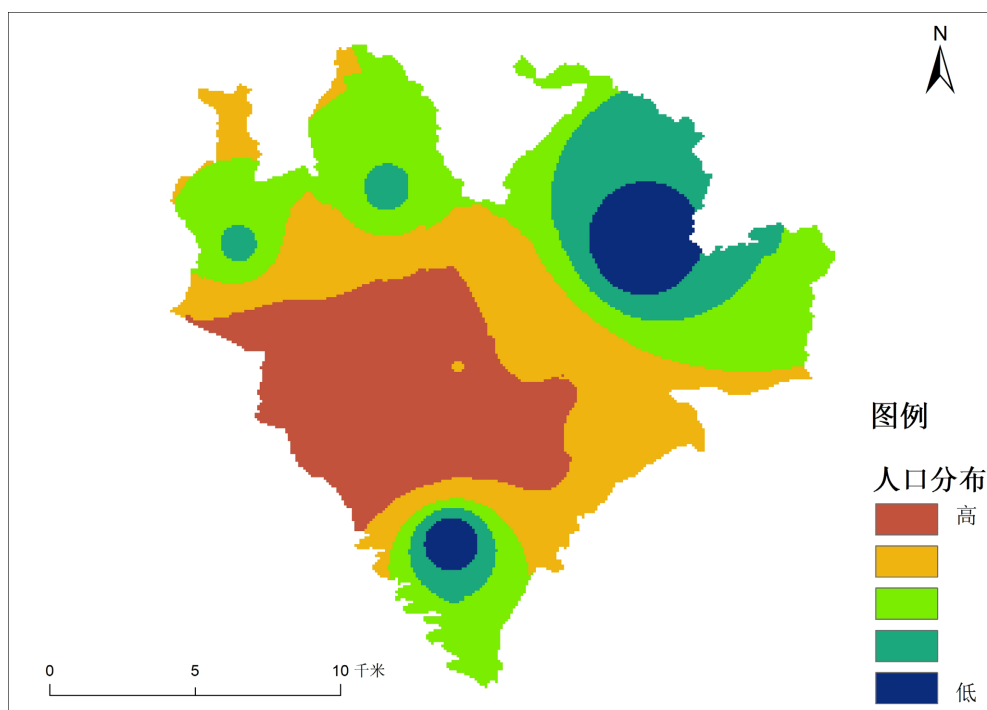


Figure 2. Interpolated spatial distribution of population in Chengguan District of Lanzhou City

图 2. 兰州市城关区人口插值空间分布

#### 3) 路网数据处理

OSM 网站上的城关区路网较为齐全，道路等级明确。研究情形是紧急情况下的避难行为，因此对于道路的通行属性不进行赋值，均认定为步行速度。同时，将黄河视作天然隔断，紧急情况下黄河两岸通行中断，由此构建统一的道路空间网络数据集。

### 2.4. 研究方法

传统的可达性研究通常采用缓冲区分析法，缓冲区分析法是建立服务中心，以最大服务距离为半径建立缓冲区，缓冲区内居民可在可达时间内到达服务中心。这种方法简单、直接，可以较为直观地看出紧急避难设施的服务范围，适用于初步判断和快速分析。但是缓冲区法考虑因素过少，采用过于理想化的模型，以直线衡量服务区半径，并没有考虑可达过程中的自然和人为障碍，不能反映空间可达性的内部差异，不适用于城市中复杂的实际状况，因此这种方法易高估其可达性[9]。

GIS 中的网络分析法是对现实中行进路径的模拟，能更好地表现可达性。在现实中，地理网络是由很多条线和点构成的，形成了一个网状结构，网络资源沿着这个线性网络流动。网络数据模型是真实世界中物体的抽象表示。构成网络的最基本元素是线实体和这些实体的连接交汇点，被称为网线、链和结

点。链可以代表道路、管线和河流等；结点可以表示交叉路口、中转站和河流交汇点等。在本研究中，对于道路的不同通行能力不作考虑，仅将其视作通行通道，同时考虑障碍因素，设置河流作为通行障碍[10]。不同于管道河流等要素的网络分析，交通网络分析是非定向的研究，最终采用了缓冲区分析和网络分析 2 种分析工具。

### 3. 前提与分析

#### 3.1. 前提假设

- 1) 发生重大突发性紧急情况，城市交通中断，避难者仅能以步行方式到达最近的避难场所[11]，所有的道路仅依照步行速度通行。
- 2) 为了追求最快到达避难所，避难者进行紧急避难时选择最近的避难场所。
- 3) 河流会阻断通往紧急避难场所的道路，导致黄河两岸的居民在紧急避难时无法到达对岸避难场所。
- 4) 紧急避难时，空白区域范围内的居民距应急避难场所的距离远、所需时间长，空白区域属于无法到达避难场所的区域。
- 5) 不考虑紧急避难场所的面积、等级、规模、形状等因素，假设避难场所可以容纳范围内的所有避难者。

#### 3.2. 分析步骤

- 1) 在 ArcGIS 10.2 平台上建立研究区域道路路网、城关区紧急避难场所位置、城关区居民小区点，将这些数据导入自己新建的地理信息数据库。
- 2) 对避难所进行缓冲区分析，设置缓冲距离为 0.5 千米；考虑到灾难发生时，避难所考虑周边居民的避难需求。同时，居民寻求避难也会优先选择附近的避难设施。
- 3) 在道路的属性表中新增加步行时间等字段；紧急情况下，居民出行很难依靠自驾车、公共交通等方式抵达避难所，设置时间字段衡量设施点和需求点两者之间的距离，所用时间越少，避难所利用率越高。
- 4) 将研究需要的矢量数据导入要素类数据集中，同时建立拓扑关系；矢量数据主要是指道路等线性数据，道路是居民通行的线路，考虑到灾难发生，河流难以跨越，设置河流两侧为阻断区域。
- 5) 拓扑关系验证规则后，新建交通网络数据集；主要是检验道路的连通性，防止出现断头路、回头路等逻辑错误。
- 6) 准备网络数据集属性值，保证要素具有表示网络阻力值(距离和行程时间等)的字段。
- 7) 添加专网要素类，设置网络连通性，然后使用网络分析工具进行分析。

### 4. 可达性评价

#### 4.1. 基于缓冲区的可达性评价

有效服务半径是指人们只愿意使用在某个临界距离内的设施服务，对在临界距离之外的设施使用的可能性为零，这个临界距离即有效服务半径。对于不同的设施，其有效服务半径不同，不同人群能够接受的有效服务半径也存在差异[12]。

紧急避难场所是灾后 3~7 min 紧急避难和逃生的场所，当紧急情况发生时，综合道路中断、建筑倒塌等情形，无法使用交通工具，可将市民向应急避难场所逃生速度定为一般步行速度 5 km/h [13]。本文选择 6 min 内市民出逃距离(500 m)为服务半径，同时考虑黄河对于避难行为的阻断作用，生成在缓冲距离内，但是不能得到紧急避难服务的部分区域，得到图 3。

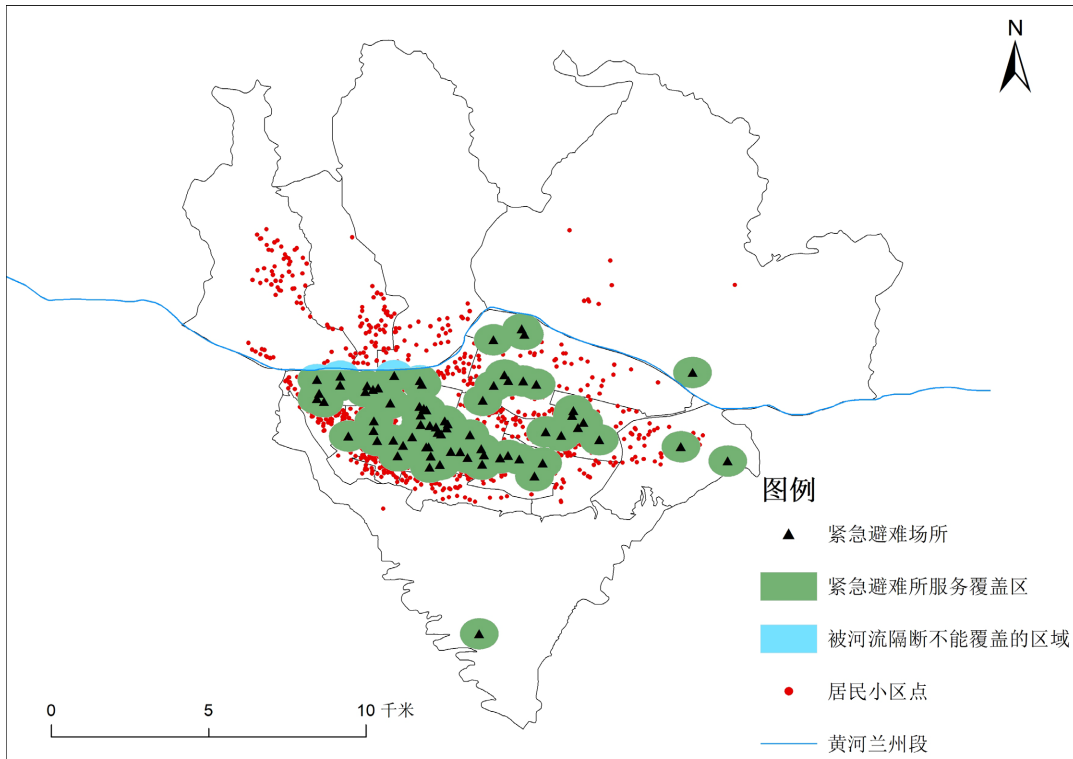


Figure 3. Schematic diagram of accessibility of refuge facilities based on effective service radius  
图 3. 基于有效服务半径的避难设施可达性示意图

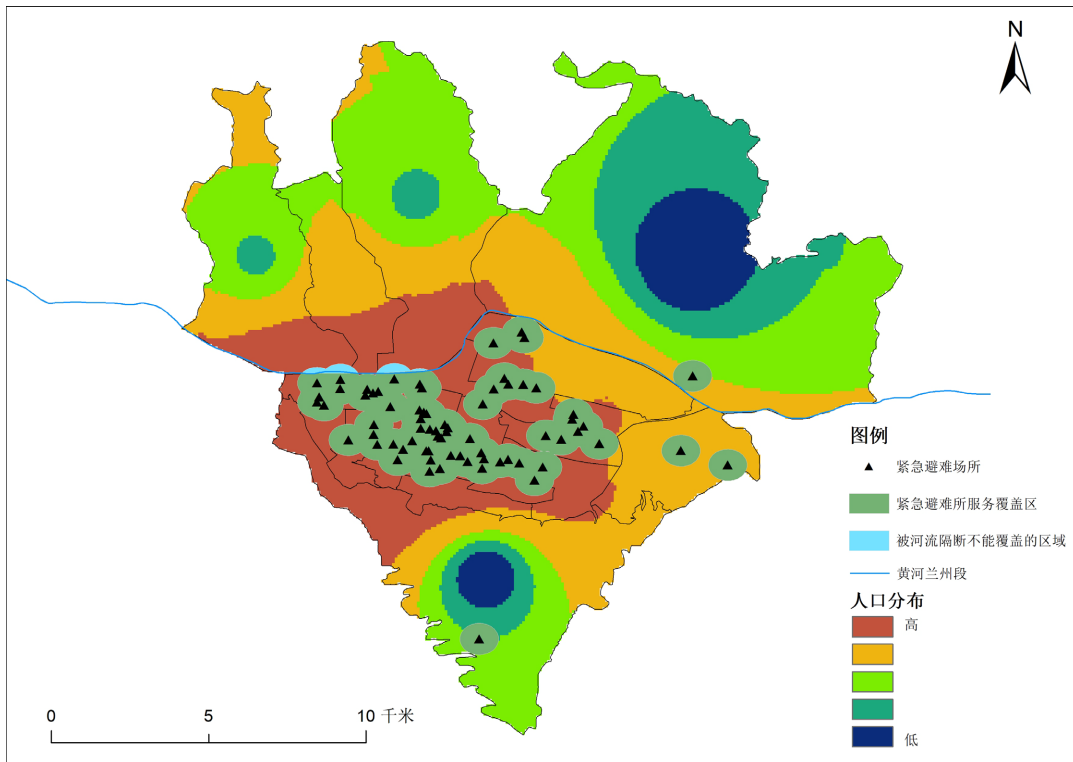


Figure 4. Schematic diagram of the service area of shelters superimposed on the population density  
图 4. 避难场所服务范围与人口密度叠加示意图

前文已经生成了兰州市城关区人口分布图，将紧急避难场所缓冲区图层叠加在人口分布图层上，由图 4 可以看出，人口密度较高的黄河以南紧急避难场所覆盖程度高，较为合理；城关区南部人口密度低、经济活动不频繁，避难所相应覆盖面小；而黄河以北的区域，出现了服务空白，在接近黄河南岸的地区，虽然也在紧急避难场所的缓冲区覆盖范围内，但是由于黄河河道天然障碍的阻隔，形成了无法抵达紧急避难场所的区域。

## 4.2. 基于网络分析的可达性评价

中心代表紧急避难场所，在图层上表现为点要素，连接为道路网络，节点为道路交点，阻抗代表在道路上移动所花费的时间[14]。

### 4.2.1. 新建服务区分析

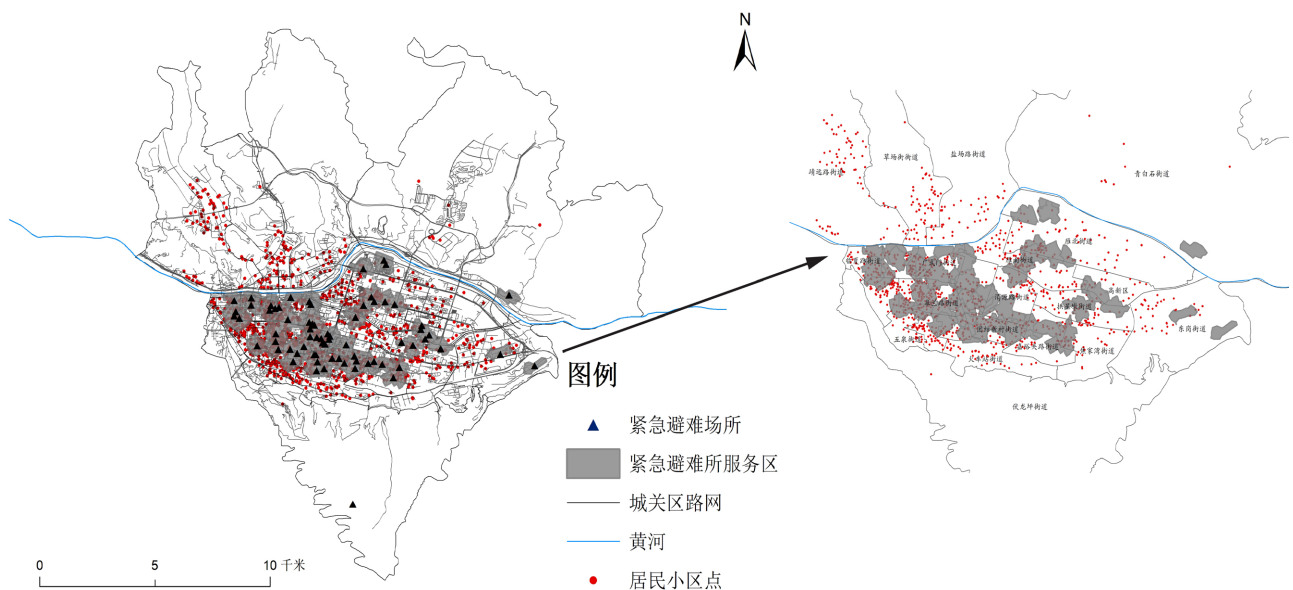


Figure 5. Schematic diagram of accessibility of refuge facilities based on the service area approach

图 5. 基于服务区方法的避难设施可达性示意图

建立网络数据集，进行网络分析，选择新建服务区，分析设置中，阻抗设置为时间，6 分钟。生成基于道路路网和阻碍的服务区，相较于缓冲区分析得到的服务范围更加贴近实际，由图 5 可以看出，皋兰路街道、渭源路街道、东岗西路街道等城关区人口密集、发展状况好的街道，大部分处于紧急避难设施服务区覆盖范围之内，而最南边的伏龙坪街道大片处于空白区；黄河北岸相对发达的草场街街道、靖远路街道同样是紧急避难设施服务区覆盖范围之外。

### 4.2.2. 最短路径分析

选择最短路径分析，通过几何计算得到道路长度，预先设定步行速度为 5 km/h。因此，可以得到步行时间字段。每个事件点仅选择一个最近的设施点，新生成的路径图层中有每一条路径的花费时间，筛选花费时间在 6 分钟以下的路径，得到图 6 [15]。

可以看出，和缓冲区及服务分析一致，黄河南岸西北部分，可行路径密度最大，但仍不能覆盖所有小区。黄河北岸西侧虽然小区点密度较高，但是不存在可行路径，紧急避难设施建设存在不足。

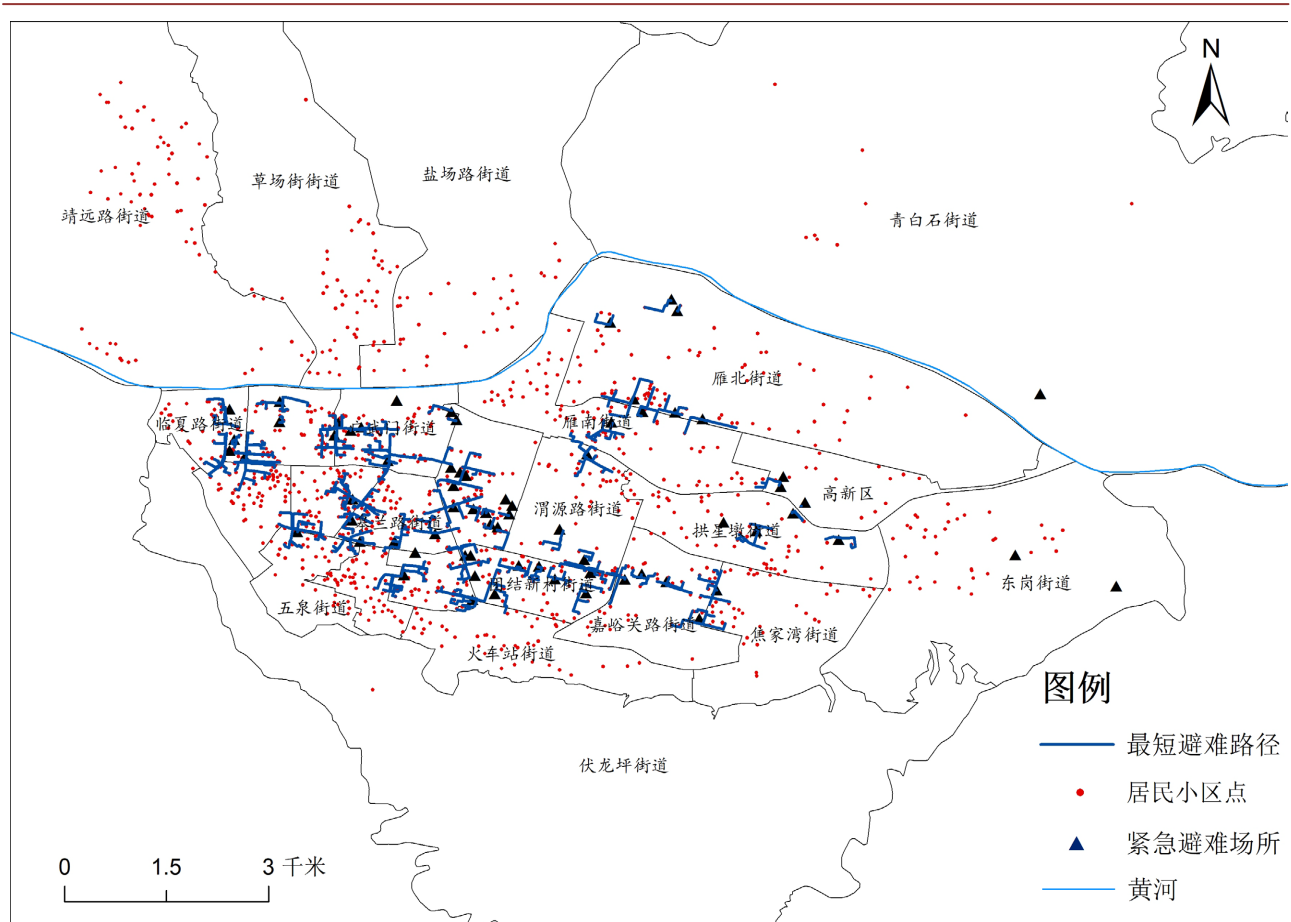


Figure 6. Schematic diagram of the accessibility of refuge facilities based on the shortest path approach  
图 6. 基于最短路径方法的避难设施可达性示意图

## 5. 结论与不足

### 5.1. 结论

① 从不同区域视角分析，黄河以北应该增加避难所数量，靖远路街道缺乏紧急避难场所建设。继续扩大黄河以南避难所服务覆盖总面积，黄河以南紧急避难场所分布相对集中，但是通过缓冲区分析、最短路径分析，发现仍有服务空白区域，需要继续加强建设。黄河以北和兰山以南是山地地形，经济建设和人口分布都相对较少，交通路网也相对稀疏，因此紧急避难场所建设也相对薄弱。过去的研究多处于平坦地面，没有将地形因素纳入考虑，实际上，地形不光影响避难所的分布，也会对通行时间造成影响。

② 紧急避难场所的分布存在不平均、不公平、不平衡的情况，紧急避难场所高度集中分布在黄河南岸，东岗街道、青白石街道、盐场堡街道、靖远路街道紧急避难场所分布严重不足。车宇杰在太原市防灾避难绿地选址研究中也发现，太原市的避难设施空间分布不均，这主要是由于人口分布差异[16]。城关区紧急避难场所体系建设存在进一步完善之处，避难所的密度与人口分布密度不完全对应，这主要是由于兰州市处于河流盆地，建设面积受限，且地质条件存在空间差异。根据“平灾结合”的理念，应该将其他空旷场地，如广场、绿色等纳入临时避难体系，为设立临时救灾场所提供条件，以补充紧急避难场所的不足。

③ 紧急避难场所分布密度与人口分布密度高度重合，经过人口密度和避难场所分布密度叠置分析，



发现人口稠密区域正好是紧急避难场所大量分布的区域，人口与紧急避难场所的分布存在空间正相关。人口稠密区城市建设相对完善，因此紧急避难场所的分布也相对密集。

## 5.2. 研究不足

在兰州市城市总体规划(2011~2020)防灾减灾规划部分中，第 4.9.1 条规定：应急避难场所规划三类应急避难场所：中心避难场所、街区避难场所、小区避难场所[17]。这说明兰州市对紧急避难场所作了等级、面积、规模等方面的要求，但是由于数据的局限，在本文的研究中，对紧急避难场所没有进行体系分级，不同等级的避难所能容纳的避难人数应该是不一样的，同时越高等级的避难所应当拥有更大的服务半径。本文对紧急避难场所本身采取了抽象措施，将其抽象为一个点，实际上紧急避难场所的面积、形状都会对研究产生一定的影响。此外，数据并非来源于官方，紧急避难场所可能并不齐全，因此对研究结论也会产生重大影响。

另外，研究所作的假设处于理想状态，灾害具有不定时、不确定性，次生灾害，如地震引发的城市内涝、山体滑坡等未被考虑，未来可以更进一步细分。同时，居民的避难需求也存在差异，这一点可以继续深化。

## 参考文献

- [1] 全德, 孙裔煜, 谢苗苗. 基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价[J]. 地理科学进展, 2021, 40(7): 1113-1126.
- [2] 程敏, 黄维维. 基于高斯两步移动搜索法的上海市养老设施空间可达性评价[J]. 复旦学报(自然科学版), 2020, 59(2): 129-136.
- [3] 杨雯丽, 陈能, 王慧敏, 等. 基于改进 2SFCA 上海中心城区医疗设施可达性研究[J]. 地理信息世界, 2020, 27(6): 75-79.
- [4] 宗恒康, 龙凤鸣, 孙成苗, 等. 医疗设施可达性及其空间格局分析——以青岛市主城区为例[J]. 地理信息世界, 2021, 28(1): 55-60.
- [5] 陈周, 王东旭, 费鲜芸, 等. 基于人口和路网的上海紧急避难所可达性分析[J]. 地理空间信息, 2021, 19(7): 20-23+6.
- [6] 李久刚. 城市应急避难场所服务区决策模型及选址优化方法研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2011.
- [7] 王晓雯. 韧性理念下的泉州市综合应急避难场所体系规划研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2019.
- [8] 戴晴, 高振记, 杨鹤平. 城市应急避难场所研究方法综述[J]. 科技资讯, 2010(6): 250-251.
- [9] 李岚, 董成林. 基于 GIS 技术的南京主城区公园布局与可达性研究[J]. 园林, 2019(12): 69-75.
- [10] 苏浩然. 基于 GIS 的城市应急避难场所空间布局评价方法研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 中国地震局兰州地震研究所, 2021.
- [11] 尹志军, 李丽慧, 王雪芳, 等. 基于 GIS 的天津市应急避难场所选址评价[J]. 震灾防御技术, 2020, 15(3): 571-580.
- [12] 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.
- [13] 樊良新, 佟艳, 刘昌华. 城市社区应急避难所评价——以焦作市为例[J]. 人文地理, 2013, 28(3): 107-113.
- [14] 邓丽, 邵景安, 郭跃, 等. 基于改进的两步移动搜索法的山区医疗服务空间可达性——以重庆市石柱县为例[J]. 地理科学进展, 2015, 34(6): 716-725.
- [15] 徐丰, 张琦, 牛继强, 等. 基于可达性的郑州市医疗资源空间均等化研究[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(5): 37-43.
- [16] 车宇杰. 基于 GIS 技术的太原市防灾避难绿地选址研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2022.
- [17] 兰州市自然资源局. 兰州市第四版城市总体规划(2011-2020 年) [EB/OL]. [https://zrzyj.lanzhou.gov.cn/art/2022/3/16/art\\_10425\\_554643.html](https://zrzyj.lanzhou.gov.cn/art/2022/3/16/art_10425_554643.html), 2012-03-16.