引文格式：尹磊,张磊,周银朋,等. 应急避难场所空间分布格局与收容能力分析[J]. 地理空间信息, 2025, 23(5): 50-55. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.05.010

应急避难场所空间分布格局与收容能力分析

尹　磊[1,2]，张　磊[1*]，周银朋[1]，汪炎林[3]，孙定钊[1]，杨凌云[4]
（1. 贵州省地质矿产勘查开发局测绘院，贵州 贵阳 550018；2. 中国地质大学（武汉） 地理与信息工程学院，湖北 武汉 430078；
3. 贵州地矿测绘院有限公司，贵州 贵阳 550018；4. 贵州省应急救援中心，贵州 贵阳 550004）

摘　要：为掌握应急避难场所收容能力，优化区域防灾减灾资源空间配置，运用GIS空间分析技术和计量统计方法，构建了应急避难场所空间分布格局与收容能力分析方法体系，并以贵州省黔东南州为例进行分析研究。结果表明：①应急避难场所呈现显著性的空间集聚和不均衡格局；②应急避难场所空间位置呈现“东南密、西北疏”、面积呈现“大分散、小集聚”的分布格局；③不同县级单元应急避难场所数量和面积空间分布呈现随机性，从江县为其数量空间分布的热点区，天柱县和锦屏县为其面积空间分布的热点区；④应急避难场所主要受河网密度、高程和耕地面积影响；⑤应急避难场所以学校和广场为主，收容能力明显不足；⑥全州不仅应扩大应急避难场所面积，还应在人口密集区域增设应急避难场所，优化应急避难场所的空间布局。

关键词：应急避难场所；空间分布；地理探测器；收容能力；黔东南州
中图分类号：TU982　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）05-0050-06

Spatial Distribution Pattern and Acceptable Capacity Analysis of Emergency Shelters

YIN Lei[1,2], ZHANG Lei[1], ZHOU Yinpeng[1], WANG Yanlin[3], SUN Dingzhao[1], YANG Lingyun[4]
(1. Institute of Surveying and Mapping & Guizhou Geology and Mineral Exploration Bureau, Guiyang 550018, China;
2. School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China;
3. Guizhou Geology and Mineral Surveying and Mapping Institute Co., Ltd., Guiyang 550018, China;
4. Guizhou Provincial Emergency Rescue Center, Guiyang 550004, China)

Abstract: In order to grasp the acceptable capacity of emergency shelters, optimize the spatial allocation of regional disaster prevention and reduction resources, we used GIS spatial analysis technology and econometric statistical methods to construct an analysis method system for the spatial distribution pattern and acceptable capacity of emergency shelters, and taking Qiandongnan in Guizhou Province for example, carried out analytical research. The research results indicate that ①the emergency shelters in Qiandongnan exhibit significant spatial clustering and uneven patterns. ②The spatial location of emergency shelters present a distribution pattern of “dense in the southeast and sparse in the northwest”, and the area of emergency shelters show “large dispersion and small agglomeration”. ③The spatial distributions of number and area of emergency shelters in different county-level units show randomness. Congjiang County is a hot spot in the spatial distribution of emergency shelter numbers, while Tianzhu County and Jinping County are hot spots in the spatial distribution of emergency shelter areas. ④The emergency shelters are mainly affected by factors such as river network density, elevation, and cultivated land area. ⑤The emergency shelters are mainly schools and squares, and the acceptable capacity of emergency shelters is significantly insufficient. ⑥The entire state not only needs to expand the emergency shelters, but also should add emergency shelters in densely populated areas to optimize the spatial layout of emergency shelters.

Key words: emergency shelter, spatial distribution, GeoDetector, emergency shelter acceptable capacity, Qiandongnan

我国幅员辽阔、地形地貌复杂交错，自然灾害呈现点多面广、时空分布不均等特征。我国是世界上受自然灾害影响最严重的国家之一[1]。从大禹治水到姚崇治蝗，从唐山大地震到汶川大地震，防灾止损工作关系到国计民生，对国家经济发展和社会和谐稳定具有重大而深远的意义，自然灾害防治工作依然是亘古不变的话题[2]。时下全球气候变暖、地壳板块运动加剧，自然灾害导致的损失呈逐年上升趋势。应急避难

项目来源：贵州省科技计划资助项目（黔科合支撑[2023]一般169号）；贵州省地质矿产勘查开发局科研资助项目（黔地矿科合[2023]17号，黔地矿科合[2024]19号、20号、TD005号）；贵州地矿测绘院有限公司科研资助项目（黔地矿测科合[2022]04号）。
第一作者简介：尹磊（1992—），硕士，高级工程师，从事3S技术在生态修复和灾害防治方面的应用工作，E-mail：ylnewhome@163.com。
通信作者：张磊（1983—），硕士，正高级工程师，从事3S技术在自然资源调查、生态修复和地质灾害治理方面的应用工作，E-mail：250255667@qq.com。

场所能在临灾避险时提供临时居住和生活场所，能在一定程度上减轻灾害损失，是综合防灾减灾救灾系统重要的组成部分。随着社会各界对灾害应对和防灾止损工作的重视，针对应急避难场所的研究也越来越被学者们关注[3-7]。在常态减灾和非常态救灾相统一的机制背景下，陈明利等[8]对应急避难场所平灾结合理论进行了探讨研究。目前针对应急避难场的研究聚焦于适宜性评价、规划选址和平灾结合实践3个方面[9]，而针对其空间分布格局的研究较少。分析应急避难场所的空间分布格局，可掌握区域应急避难场所的分布特征以及各单元间分布的关联性；探究影响应急避难场所空间分布的主要因素，并分析其收容能力，能够了解制约应急避难场的主要因素和存在的短板。因此，本文利用GIS空间分析技术和计量统计方法，构建了应急避难场所空间分布格局与收容能力分析方法体系，对黔东南州应急避难场所空间分布格局和收容能力进行实例分析，旨在精准掌握区域防灾减灾资源空间配置状况，为优化应急避难场所空间布局、提升区域综合减灾能力提供参考。

1　研究区概况

黔东南州地处贵州省东南部，位于云贵高原向湘桂丘陵盆地过渡带，东邻湖南省、南接广西壮族自治区、西连黔南州、北抵遵义铜仁两市，下辖1市15县，地域总面积为30 282 km^2，占贵州省总面积的17.2%；常住人口为375.86万人，包含苗、侗、汉、布依等46个民族；2022年地区生产总值为1 293.1亿元；属亚热带湿润季风气候，森林资源丰富，森林火灾风险较高。黔东南州的主要自然灾害包括洪涝、干旱、低温冷冻、风雹、地质、地震和森林火灾等，2022年6月从江县等区域曾发生大范围、高强度的特大暴雨灾害事件，对当地生产、生活造成严重影响，截至2023年8月该区域共建成应急避难场所1 127处，总面积为310.738 2万m^2。

2　数据来源与研究方法

2.1　数据来源

本文以黔东南州应急避难场所为例，数据来源于贵州省政府数据开放平台（http://data.guizhou.gov.cn/home），并将地址信息导入奥维地图，通过坐标拾取功能获得应急避难场所的空间坐标与高程信息；行政区划、土地利用和地形数据来源于中国科学院地理空间数据云平台（http://www.gscloud.cn）；常住人口数据来源于《黔东南州第七次全国人口普查公报》和各县、市人口普查公报；GDP数据来源于《2022年黔东南州统计年鉴》；人口格网和GDP格网数据来源于资源环境科学数据注册与出版系统（http://www.resdc.cn/）。

2.2　研究方法

1）最近邻指数可判断区域应急避难场所空间分布类型（均匀、随机或集聚[10]），计算公式为：

$$R=\frac{r_F}{r_E}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}d_{\min}/\frac{1}{2\sqrt{n/A}} \tag{1}$$

式中，r_F为实际最近邻距离；r_E为理论最近邻距离；n为应急避难场所数量；$d_{\min}$为两个应急避难场所之间的实际最短距离；A为该区域面积；$R>1$表示随机分布，$R<1$表示集聚分布；$R=1$表示均匀分布。

2）变异系数可反映区域应急避难场所的空间分布类型[11]，计算公式为：

$$CV=R/\bar{s} \tag{2}$$

式中，R、$\bar{s}$分别为应急避难场所泰森多边形面积的标准差和均值；$CV\geqslant64\%$表示空间集聚分布，$CV\leqslant33\%$表示空间均匀分布，其余表示空间随机分布。

3）地理集中指数可反映应急避难场所在县级单元尺度上的空间分布集中程度[12]，计算公式为：

$$G=100\times\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i}{T}\right)^2} \tag{3}$$

式中，x_i为县级单元i应急避难场所的数量或面积；n为县级单元数量；T为区域应急避难场所总数或总面积；G取值[0,100]，值越小表示空间分布越分散，反之则越集中。

4）不平衡指数可反映应急避难场所在县级单元尺度上空间分布的均衡程度[13]，计算公式为：

$$S=\frac{\sum_{i=1}^{n}Y_i-50(n+1)}{100n-50(n-1)} \tag{4}$$

式中，Y_i为各县级单元应急避难场所的数量或面积比重从大到小排序后，第i位的累计百分比值；S取值[0,1]，值越小表示空间分布越均衡，反之则越不均衡。

5）核密度分析可反映应急避难场所空间点位和面积分布的集聚状况[14]，计算公式为：

$$\hat{\lambda}_h(s)=\sum_{i=1}^{n}\frac{3}{\pi h^4}\left(1-\frac{(s-s_i)^2}{h^2}\right)^2 \tag{5}$$

式中，s 为待分析的应急避难场所的空间位置；s_i、n 分别为落在以 s 为圆心 h 为搜索半径范围的应急避难场所和总数；$\hat{\lambda}_h(s)$ 越大，应急避难场所分布就越密集。

6）全局莫兰指数可反映应急避难场所数量或面积在县级单元尺度上空间相关性的总体趋势和差异性[15]，计算公式为：

$$I=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{W}_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{W}_{ij}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \tag{6}$$

式中，x_i、x_j 分别为县级单元 i、j 中应急避难场所数量或面积；$\bar{x}$ 为 x_i 的均值；$\boldsymbol{W}_{ij}$ 为空间权重矩阵；$I<0$ 表示应急避难场所在县级单元存在空间自相关性，$I>0$ 表示存在空间相异性，$I=0$ 表示存在随机性。

7）局域关联指数可反映应急避难场所在县级单元尺度空间上的集聚程度，从而分析应急避难场所数量与面积冷、热点区的空间分布[16]，计算公式为：

$$G_i^*(d)=\frac{\sum_{j}^{n}\boldsymbol{W}_{ij}(d)X_j}{\sum_{j}^{n}X_j} \tag{7}$$

式中，$\boldsymbol{W}_{ij}(d)$ 为空间权重。

8）地理探测器可探测应急避难场所的空间分异性，通过统计学方法分析其背后驱动因子[17]，计算公式为：

$$q=1-\frac{1}{N\sigma^2}\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2 \tag{8}$$

式中，q 为驱动因子指数；L 为应急避难场所的分布区；N、N_h 分别为分布区单元数量和 h 分区；σ_h^2 为 h 分区的方差。

3 空间分布特征分析

3.1 空间分布类型

地理实体的空间分布聚集程度主要通过最近邻指数和变异系数测度[18]，本文利用这两个指标分析黔东南州应急避难场所的空间分布类型。结果表明，应急避难场所最近邻指数为0.389 2（<1），且检验参数 Z 值为-39.23，P 值为0，表明空间分布呈现集聚性[10]；CV 值为370.52%（>64%），表明呈空间集聚分布[11]。两个指标的计算结果均呈空间集聚分布，且通过了显著性检验，得到了相互验证，表明黔东南州应急避难场所在空间上呈现显著的集聚分布特征。

3.2 空间分布均衡性

1）县域分布特征。本文通过地理集中指数分析黔东南州应急避难场所在县级单元尺度上的空间分布集中程度[19]，得到黔东南州应急避难场所数量、面积在县级单元尺度的地理集中指数 G_1、G_2 分别为40.486 9和33.001。若黔东南州应急避难场所均匀分布，则地理集中指数 G' 为25；$G_1>G_2>G'$，表明黔东南州应急避难场所数量、面积在县级单元尺度均分布较集中，且数量比面积更集中。本文通过不平衡指数分析黔东南州应急避难场所数量、面积在县级单元尺度上空间分布的均衡程度，得到应急避难场所数量 S_1、面积 S_2 分别为0.66和0.46，表明黔东南州应急避难场所数量、面积在县级单元尺度空间分布均具有不均衡性，且数量比面积更不均衡[13]。由应急避难场所数据、面积在各县级单元分布的洛伦兹曲线（图1）可知，洛伦兹曲线呈现明显的上凸，进一步验证了黔东南州应急避难场所空间分布的非均衡态势[11]。

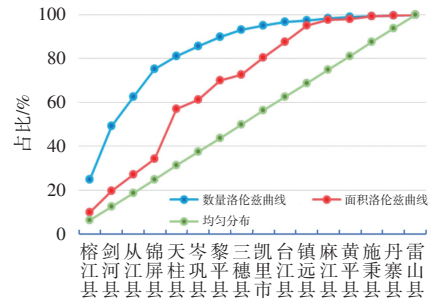


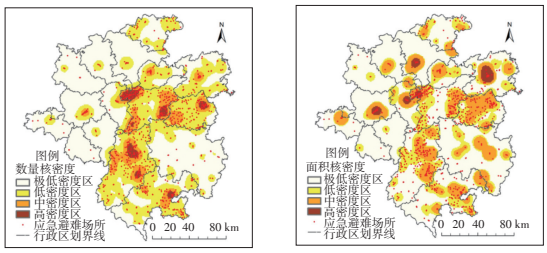
图1 黔东南州应急避难场所分布空间洛伦兹曲线

2）高程分布特征。黔东南州应急避难场所的最高海拔为1 128 m，最低海拔为176 m，均值为586.5 m，上四分位数为429 m，下四分位数为742 m，近50%的避难场所海拔位于470~770 m之间。高程较高的应急避难场所主要分布在黔东南州中部以及西部的剑河、锦屏榕江、麻江等区域，高程较低的应急避难场所主要分布在黔东南州南部以及东部的从江、榕江、天柱等区域。从上述统计结果来看，应急避难场所高程整体呈似正态分布特征，具有一定的正偏态特征，但存在较大偏度。本文将高程分为中高山区（>1 000 m）、

低山和丘陵区（500~1 000 m）、低丘区（＜500 m）3类，黔东南州有386个、169.05万m^2避难场所位于低丘区，占比为54.43%；723个、140.03万m^2避难场所位于低山和丘陵区，占比为45.15%；仅18个避难场所位于中高山区，占比为0.42%。

3.3　空间密度特征

利用GIS软件对黔东南州应急避难场所的空间位置和面积进行核密度分析，搜索半径设置为10 km，输出像元大小设置为1 km，结果见图2，可以看出，应急避难场所数量在空间上呈现“东南密、西北疏”的分布格局，在东西、南北向分布不均衡，其中最高核密度为0.41个/km^2，位于剑河县西北部城镇，中高密度区主要位于黔东南州的东部、南部以及中部的三穗县、天柱县、锦屏县、榕江县、从江县；应急避难场所面积在空间上呈现“大分散、小集聚”的分布格局，东西向分布不均衡，其中最高核密度为4 762.9 m^2/km^2，位于天柱县县城，黔东南州西南、西北部核密度较低，其余区域呈现“大分散”格局，但在凯里市、台江县、剑河县和镇远县城区出现少量高密度集聚分布格局。



a 数量　　b 面积

图2　黔东南州应急避难场所数量和面积分布核密度图

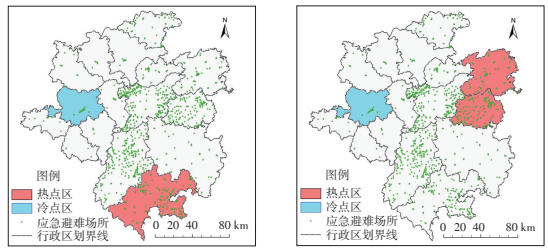
审图号：黔H(2020)0003号

3.4　空间关联特征分析

全局莫兰指数与局域关联指数是分析地理实体空间关联性的重要方法[20]，本文分别对黔东南州县级单元应急避难场所数量和面积进行统计，计算全局莫兰指数（Moran’s I）和局域关联指数（Getis-Ord Gi*），进一步分析黔东南州各县级单元应急避难场所数量和面积在空间上的关联特征。

1）Moran’s I指数。本文测算黔东南州应急避难场所的Moran’s I，并进行显著性检验。结果表明，应急避难场所数量、面积的Moran’s I分别为0.224 5、0.088 1（＞0），正态统计量Z值分别为1.479 9、0.868 5（＜1.96），P值分别为0.138 9、0.385 1，说明黔东南州不同县级单元应急避难场所数量和面积的空间分布呈随机性，均不存在较强的空间关联；无论是应急避难场所分布较多还是较少的地区，空间上均呈分布不均衡态势[15]。

2）Getis-Ord Gi*指数。本文计算得到黔东南州各县级单元应急避难场所的Getis-Ord Gi*，并通过最佳自然断裂法进行分类，得到黔东南州应急避难场所空间分布的局部特征和冷热点区，生成黔东南州应急避难场所数量、面积空间分布热点图（图3），进一步分析黔东南州县级单元之间应急避难场所空间分布的关联关系。结果表明，黔东南州应急避难场所数量和面积在县级单元尺度上均呈现显著的地域差异性，凯里市应急避难场所数量和面积均为冷点区，占比为6.25%；从江县应急避难场所数量为热点区，占比为6.25%；天柱县和锦屏县应急避难场所面积为热点区，占比为12.5%。从冷、热点区空间分布总体格局来看，黔东南州应急避难场所在县级单元尺度上表现为明显的东西、南北差异空间分布格局。



a 数量　　b 面积

图3　黔东南州应急避难场所数量和面积的分布热点图

审图号：黔H(2020)0003号

3.5　地理影响因素

应急避难场所规划建设不仅需要考虑区域地形地貌、植被水系等自然因素，还需要综合考虑灾害与人类活动强度等因素，建设规模与标准也需充分结合区域经济情况确定[3,21-22]。结合应急避难场所建设影响因素及其数据的可获取性，本文分别从应急避难场所地形因素、社会因素、经济因素和灾害因素4个方面选取驱动因子，对黔东南州应急避难场所数量和面积开展地理探测器分析。地形因素选择高程（X_1）、坡度（X_2）和河网密度（X_3）；社会因素选择耕地面积（X_4）、路网密度（X_5）和人口密度（X_6）；经济因素选择GDP（X_7）和2020年防灾经费投入（X_8）；灾害因素选择2011—2020年灾害损失（X_9）因子。基于3 km×3 km格网研究尺度，利用地理探测器因子探测功能分析黔东南州应急避难场所数量和面积空间分异的主导因子，结果见表1，可以看出，黔东南州

表1 地理探测器因子探测分析结果

驱动因子	地形因素			社会因素			经济因素		灾害因素
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
数量 q 值	0.963 2	0.166 8	0.978 9	0.956 8	0.765 3	0.296 3	0.888 3	0.131 3	0.131 3
面积 q 值	0.969 2	0.207 7	0.997 2	0.997 9	0.986 8	0.690 9	0.913 0	0.182 7	0.182 7

应急避难场所主要受 X_3 、 X_1 、 X_5 和 X_4 影响，其中数量主要受 X_3 、 X_1 和 X_4 影响；面积主要受 X_3 、 X_4 、 X_5 影响。结合现场调研情况发现，主要原因为研究区属亚热带湿润季风气候，雨水充沛且河网稠密，在河网附近形成了较多的自然灾害隐患，为应对灾害隐患近年来建设了一定数量的应急避难场所；研究区地形高差较大，人口分布与人类活动随高程增加而减少，耕地主要分布于中低海拔区域，导致应急避难场所的服务对象以及可用于建设的场地受高程和耕地面积影响较大；应急避难场所建设在很大程度上依赖于交通路网，人群疏散时也需充分考虑交通情况，因此受路网规模的影响较大。

4 避难场所收容能力分析

4.1 避难场所类型分析

黔东南州应急避难场所类型主要包括学校、广场、球场、公园、绿地、停车场、体育馆、空地、车站、人防地下室、救助管理站、厂房等，其中数量和面积最多的为学校和广场，共计814个237.28万 m^2，占比分别为72.23%和76.58%；数量和面积最少的分别为厂房和空地，占比均不足1%。

4.2 县域收容能力分析

《防灾避难场所设计规范》[22]对不同避难期应急避难场所人均有效避难面积做出了明确规定：紧急避难期人均有效避难面积应不低于0.5 m^2/人，临时避难期人均有效避难面积应不低于1 m^2/人。结合黔东南州各县《黔东南州第七次全国人口普查公报》公布的常住人口信息，黔东南州凯里市、黄平县、施秉县、丹寨县和雷山县应急避难场所面积低于人均有效避难面积的最低标准，超过全州县级单元总数的30%；仅榕江县、剑河县、锦屏县、天柱县、台江县和镇远县满足临时避难期标准，不足全州县级单元总数的40%；大部分县级行政区应急避难场所的收容能力不足，其中凯里市缺口最大，以0.5 m^2/人为标准，需至少建设11.35万 m^2应急避难场所；以1 m^2/人为标准，则至少建设46.8万 m^2应急避难场所。

4.3 区域收容能力分析

《黔东南州第七次全国人口普查公报》公布的常住人口为375.86万人，截至2023年8月共建设应急避难场所310.738 2万 m^2，人均有效避难面积为0.83 m^2/人，总量满足紧急避难期建设要求，与临时避难期建设要求存在一定差距；但全州应急避难场所存在空间分布的不均衡性，仅榕江县、剑河县、锦屏县、天柱县、台江县和镇远县应急避难场所人均有效避难面积满足临时避难期标准。总体来说，黔东南州应急避难场所收容能力存在明显不足，与紧急避难期建设标准的差距为35.37万 m^2，与临时避难期建设标准的差距为205.72万 m^2。

5 结 语

本文从空间分布类型、空间分布均衡性、空间密度特征、空间关联特征、地理影响因素、类型分析、县域收容能力和区域收容能力8个方面，通过18个分析指标构建了应急避难场所空间分布格局与收容能力分析方法体系。以贵州省黔东南州为例，基于黔东南州应急避难场所名单，利用GIS空间分析技术和计量统计方法，揭示了黔东南州应急避难场所空间分布格局，分析了避难场所收容能力，并采用地理探测器对应急避难场所空间分布影响因素进行了探究。

1）黔东南州应急避难场所呈现显著的空间集聚分布特征。在县级单元尺度上，黔东南州应急避难场所的分布较集中，但呈现不均衡态势，且应急避难场所数量比面积的空间分布更集中和不均衡。黔东南州应急避难场所高程整体呈似正态分布，主要位于低丘区、低山和丘陵区，极少位于中高山区。

2）核密度分析结果显示，黔东南州应急避难场所的空间位置分布呈现“东南密、西北疏”的分布格局，面积呈现“大分散、小集聚”的分布格局，高密度区主要分布于东部、南部和中部区域。

3）Moran’s I指数表明黔东南州不同县级单元应急避难场所数量和面积在空间分布上均呈现随机性。Getis-Ord Gi*指数表明从江县为黔东南州应急避难场

所数量空间分布的热点区，天柱县和锦屏县为黔东南州应急避难场所面积空间分布的热点区。

4）黔东南州应急避难场所数量主要受河网密度、高程和耕地面积因素影响，应急避难场所面积主要受耕地面积、河网密度和路网密度因素影响，灾害损失和防灾经费投入对其空间分布影响不大。

5）黔东南州应急避难场所以学校和广场为主，收容能力明显不足，全州超过30%的县低于人均有效避难面积的最低标准，不足40%的县满足临时避难期标准，全州应急避难场所面积与紧急避难期建设标准的差距为35.37万m^2，与临时避难期建设标准的差距达205.72万m^2。

6）全州不仅应扩大应急避难场所的面积，还应对应急避难场所的空间布局进行合理调整，在人口密集区域适当增设应急避难场所，优化应急避难场所的空间布局，使其满足区域总体和各单元临灾避险安置的需求。

本文构建的分析方法体系主要从宏观层面对应急避难场所的空间分布格局及其收容能力进行分析，可为优化区域防灾减灾资源配置、科学规划应急避难场所的空间布局、提升区域自然灾害综合减灾能力提供决策支撑。受数据和政策因素约束，以县级为研究单元仍存在一定局限性，后续可将研究单元细化至避难场所单体，进行更深层次的研究。

参考文献

[1] 潘东华,贾慧聪,贺原惠子. 自然灾害风险制图研究进展与展望[J]. 地理空间信息,2019,17(7):6-10

[2] 李钢,秦佩瑶,董志鸾,等. 地震与洪水作用下结构风险分析与设计研究进展[J]. 防灾减灾工程学报,2022,42(2):237-250

[3] 陈安,陈樱花. 应急避难场所规划建设的国际经验及启示[J]. 中国应急管理,2024(2):36-39

[4] Anhorn J, Kha Z B. Open Space Suitability Analysis for Emergency Shelter After an Earthquake[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences,2015,15(4):789-803

[5] 冯远滔,唐波. 城市商圈应急避难场所适宜性评价:以广州北京路为例[J]. 防灾科技学院学报,2020,22(1):60-66

[6] A Multi-objective Approach to Locate Emergency Shelters and Identify Evacuation Routes in Urban Areas[J]. Geographical Analysis,2009,41(1):9-29

[7] 於家,温家洪,陈芸,等. 基于应急疏散智能体模型模拟的城市避难所空间配置:以上海市静安区为例[J]. 地理学报,2017,72(8):1 458-1 475

[8] 陈明利,陈川南. 体育馆作为应急避难场所的发展及功能研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2021,43(1):9-14

[9] 李海凌,周极人,刘克剑,等. 国内应急避难场所研究热点及趋势分析:基于知识图谱的视角[J]. 西华大学学报(自然科学版),2023,42(6):83-92

[10] 车旭航,李锦宏. 贵州省传统村落旅游目的地空间分布与影响因素研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2024,42(2):62-71

[11] 李魁明,姚罗兰,张达,等. 京津冀地区综合减灾示范社区的空间格局及其影响因素[J]. 自然灾害学报,2022,31(5):24-30

[12] 岳菊,戴湘毅. 京津冀文化遗产时空格局及其影响因素:以文物保护单位为例[J]. 经济地理,2020,40(12):221-230

[13] 吴必虎,唐子颖. 旅游吸引物空间结构分析:以中国首批国家4A级旅游区(点)为例[J]. 人文地理,2003,18(1):1-5

[14] 王兆峰,刘庆芳. 中国国家级特色小镇空间分布及影响因素[J]. 地理科学,2020,40(3):419-427

[15] Zaaboubi S, Khiari L, Abdesselam S, et al. Particle Size Imbalance Index from Compositional Analysis to Evaluate Cereal Sustainability for Arid Soils in Eastern Algeria[J]. Agriculture,2020,10(7):1-10

[16] Manap N, Borhan M N, Yazid M R M, et al. Determining Spatial Patterns of Road Accidents at Expressway by Applying Getis-Ord Gi* Spatial Statistic[J]. International Journal of Recent Technology and Engineering,2019,12(9):345-350

[17] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134

[18] 李博,杨波,陶前辉,等. 湖南省传统村落空间格局及其影响因素研究[J]. 测绘科学,2021,46(4):150-157

[19] Lessmann C, Seidel A. Regional Inequality, Convergence, and Its Determinants: A View from Outer Space[J]. European Economic Review,2017,92(1):110-132

[20] 刘大均,胡静,陈君子,等. 中国传统村落的空间分布格局研究[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(4):157-162

[21] 陈晨,程林,修春亮. 城市避难场所相关研究进展与展望[J]. 灾害学,2019,34(4):165-171

[22] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 防灾避难场所设计规范:GB 51143-2015[S].