

城市地震应急避难场所适宜性评价 ——以天津市中心城区为例¹

苏建锋¹⁾ 张庆斌²⁾

1) 中国地震局第一监测中心, 天津 300180

2) 中晋环境科技有限公司, 山西 030002

摘要 地震应急避难场所是增强现代化城市防震减灾能力, 保障城市安全的一项重要举措, 对应急避难场所进行适宜性评价, 有利于更好地发挥应急避难服务功能, 提高避难成功率, 减轻灾害损失。本文利用熵值权重与灰色关联分析相结合的评价模型和 GIS 空间分析方法, 以构建的应急避难场所适宜性评价指标体系为研究基础, 对天津市中心城区地震应急避难场所进行适宜性评价。评价结果给出了各避难场所适宜等级, 检验了场所的避难服务功能, 为避难场所空间分布合理性提出建议, 对增强城市应急避难场所规划、建设合理性及提高应急处理能力具有一定指导意义。

关键词: 地震应急避难场所 适宜性评价 灰色关联分析

Suitability Evaluation of Urban Earthquake Emergency Shelter ——A Case Study of the Central City of Tianjin

Su Jianfeng¹⁾ and Zhang Qingbin²⁾

1) First Crust Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China

2) Zhongjin Environmental Technology Co.Ltd, Shanxi 030002, China

Abstract The earthquake emergency shelter is an important measure to enhance the ability of earthquake prevention and disaster reduction in modern cities to ensure the safety of cities. The suitability evaluation of the emergency shelter is conducive to better play the emergency shelter service function, improve the success rate of asylum and reduce disaster losses. In this paper, the evaluation model combining entropy weight with grey correlation analysis and GIS spatial analysis method are used to evaluate the suitability of the emergency shelter in the central city of Tianjin based on the constructed index system for the suitability evaluation of the emergency shelter. The evaluation results provide the suitability level of each shelter, test the shelter service function of the emergency shelter, put forward suggestions for the rationality of the space distribution of the shelter, and have certain guiding significance for enhancing the planning and construction of the urban emergency shelter and emergency handling capacity.

Key words: Earthquake emergency shelter; Suitability evaluation; Grey relational analysis

引言

地震应急避难场所是政府和社会为应对地震等突发公共事件, 经规划和建设的具有应急避难和紧急疏散功能的安全场所, 在提高城市综合防灾能力、减轻震灾损失、保障城市安全等方面发挥着重要作用。目前,

¹ 基金项目 中国地震局监测、预报、科研三结合课题(3JH-202001107); 中国地震局第一监测中心科技创新主任基金(FMC2016006)

[收稿日期] 2020-12-31

[作者简介] 苏建锋, 男, 生于1981年。工程师。主要从事地震应急与减灾研究。E-mail: su_qw@163.com

我国大多数城市出台了防震减灾法律法规和地震应急避难场所建设标准，并建成多个符合自身城市特点的地震应急避难场所。基于“平灾结合”原则，我国地震应急避难场所大多选择公园、绿地、广场、体育场馆和学校操场等现有空间作为场地，进行相应配套设施建设（杨爽等，2013；郭兴利等，2017）。依托这些场地建设的避难场所可能存在规划布局与建设安全性不合理等问题，需要对其进行适宜性评价，以检验其布局的合理性及避震疏散服务能力，了解城市应急避难现状，提高城市应急避难场所的防震减灾能力，为城市应急避难场所规划布局及合理性提供决策参考。

城市地震应急避难场所适宜性评价是需解决多目标、多准则的复杂决策问题。在有限资料的情况下，利用多个评估准则和指标数据评估各避难场所的适宜程度，进而得出合理建议，供政府及相关部门决策参考。随着科学技术的不断进步发展，应急避难场所适宜性评价理论研究和实践工作取得了一定成果，适宜性评价方法也在不断改进和完善中，选择合适的评价方法对适宜性评价成果的科学性、合理性至关重要。目前专家学者提出的避难场所适宜性评价方法主要包括以下几种：（1）层次分析法，如熊焰等（2014）利用层次分析法，构建了应急避难场所减灾能力评价体系，并以北京市朝阳区应急避难场所为例进行应用评价；（2）灰色关联法，如周玉科等（2018）基于安全性、可达性、有效性原则，建立了适宜性评价指标，并采用改进的灰色关联模型对福州市应急避难场所在不同地震烈度下的适宜性进行评价，取得了良好的效果；（3）基于加权 Voronoi 图法，如王女英（2017）采用加权 Voronoi 图法测算应急避难场所空间可达性，并划分其服务区范围，该研究方法在沈阳市得到了应用评估；（4）2SFCA 模型法，如叶明武等（2008）采用 2SFCA 模型法，以上海市中心城区公园为例，研究其应急避难服务与城市居民避难需求之间的平衡关系，并给出研究成果和建议。这些评价方法及采用的模型虽不相同，但通过对应急避难场所评价指标定性或定量的解析研究及相应的案例实证，已验证了其可行性和科学性。

基于上述研究，本文以天津市中心城区为例，通过地震应急避难场所数据和实地调研成果，从有效性、可达性、安全性 3 个方面构建了适宜性评价指标体系，运用熵值权重结合灰色关联分析模型和 GIS 空间分析，对天津市中心城区地震应急避难场所进行适宜性评价，就应急避难场所空间分布的合理性给出建议，用于指导城市应急避难场所规划建设及应急管理。

1 评价指标选取

评价指标选取是衡量城市地震应急避难场所适宜性的主要依据，直接影响评价模型的科学性和评价结果。由于指标本身特性，不同指标对避难场所适宜性的影响不同。呈正相关的指标，其评估值越高，避难场所适宜性越好；呈负相关的指标，其评估值越低，避难场所适宜性越好（周玉科等，2018；张佳瑜等，2019；宋英华等，2019）。因此综合国内外防震避难研究成果及《地震应急避难场所场址及配套设施》（GB 21734—2008）（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等，2008）和相关文件要求，本文从有效性、可达性、安全性 3 个方面选取可容纳人数、距医疗机构距离、活断层距离等 10 个指标构建城市地震应急避难场所适宜性评价指标体系（表 1）。

表 1 评价指标体系

Table 1 Evaluation index system

准则层	指标层	指标解释	目标向量
有效性	出入口个数	避难场所出入口数量	正
	可容纳人数	场所有效面积与人均避难最小需求面积之比	正
	有效面积比	避难场所有效面积与场所占地面积之比	正
可达性	疏散道路评分	场所周围道路等级越高，通达性越好，评分越高	正
	医疗机构距离	避难场所与医疗机构最近距离	负
	消防据点距离	避难场所与消防据点最近距离	负
	公安机关距离	避难场所与公安机关最近距离	负
安全性	活断层距离	避难场所与海河断裂最近距离	负
	周边建筑物高度	避难场所周边建筑物高度	负
	重大危险源距离	避难场所与加油站最近距离	负

(1) 有效性指发生地震灾害时避难场所供给能力的强弱。避难场所出入口个数越多, 灾时越能快速地将居民疏散到场所内进行避难; 避难场所可容纳人数、有效面积比越高, 则避难场所开放空间越大, 供给能力越强, 有效性越好。

(2) 可达性指避难场所与居民点及各服务设施点互相通达的难易程度。与医疗机构、消防据点、公安机关等服务设施距离越近, 灾时救援效率越高。根据道路等级对避难场所周边疏散道路进行赋值, 道路等级越高, 居民到达避难场所时间越短, 则评分越高, 可达性越好。

(3) 安全性指避难场所本身及周边环境在地震灾害发生时受到次生灾害的影响最小、危险性最低, 以有效保护有避难需求的居民不受到二次伤害。与活断层、重大危险源和周边建筑物这些隐患点距离越远, 建筑物高度越低, 危险系数越低, 安全性越好。活断层指海河断裂带, 重大危险源指城区广泛分布的加油站, 周边建筑物指避难场所周边 200 m 以内的建筑物。

GIS 空间分析方法在应急避难场所评价指标计算分析等方面起着非常重要的作用。GIS 技术可对收集到的不同数据要素进行配准、整合, 构建评价指标属性数据库; GIS 网络分析法最佳路径搜寻技术可获得救援服务设施与避难场所的最短距离数据; GIS 服务区范围技术可获得避难场所服务范围分布情况; GIS 缓冲区分析法可以获得重大危险源危险程度范围等 (苏建锋等, 2017; 魏本勇等, 2019; 姜连艳, 2019)。

2 适宜性评价模型构建

熵值权重法是以指标熵值计算各评价指标权重算法, 数值差异越大其权重越重, 在指标体系中的重要性越大。灰色关联分析法是多目标决策分析过程, 能够给出各避难场所之间关联程度, 是经典的评价分析方法 (熊焰等, 2014; 杜亚男等, 2020)。本文采用熵值权重与灰色关联分析相结合的模型对地震应急避难场所进行适宜性评价, 根据模型的计算结果进行排序, 得出各避难场所适宜性优劣情况和评价结果, 评价步骤如下:

(1) 评价指标数据处理

首先确定参考序列, 列出各评价指标数据序列为 $X_i = \{X_i(k) | k = 1, 2, 3, \dots, n\} (i = 1, 2, 3, \dots, m)$ (m 为应急避难场所个数), 从各评价指标属性中选择最优值确定为参考序列 X_0 。由于各评价指标统计量纲不同, 需要对初始指标数据序列进行无量纲化处理, 根据评价指标性质, 数据处理形式可分为上限效果测度和下限效果测度, 其中正向指标可用上限效果测度:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\max(X_{ij})} \quad (1)$$

负向指标可用下限效果测度:

$$r_{ij} = \frac{\min(X_{ij}, X_0)}{X_{ij}} \quad (2)$$

式中, r_{ij} 为第 i 个避难场所第 j 个指标属性值, 由式 (1)、(2) 可生成灰色序列表。

(2) 熵值权重 W_j 的计算

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j} \quad (3)$$

式中, 指标信息熵冗余度 $D_j = 1 - E_j$, 信息熵 $E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij})$, 指标贡献度 $P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}}$, 常数 $k = \frac{1}{\ln(P_{ij})}$ 。

(3) 灰色关联系数加权计算

$$r((x_0(k), x_i(k))) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \varepsilon \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \varepsilon \max_i \max_k \Delta_i(k)} \quad (4)$$

式中, r 为灰色关联系数; $\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|$ 是 $\{x_i(k)\}$ 与 $\{x_0(k)\}$ 在第 i 点第 k 项的绝对差; 根据已有研究经验, 本文分辨系数 ε 取值为 0.5。

适宜性评价结果 R_i 计算如下：

$$R_i = \sum_{j=1}^n r(x_0(k), x_i(k))W_j \quad (5)$$

R_i 是灰色关联系数结合熵值权重加权的计算成果灰色关联度，即适宜性评价结果的评价值，评价结果 R_i 值越大，则表明该评价目标的适宜性越好，对 R_i 值进行排序，可获得评价目标的适宜等级。

3 实例应用

3.1 研究区概况

天津市地处华北平原东北部，东临渤海、北依燕山，经济发展迅速，城市人口稠密，是中国北方最大的沿海开放城市、环渤海地区经济中心和国际性综合交通枢纽，素有“河海要冲”和“畿辅门户”之称，是京津冀一体化中重要的一级。天津市地处华北地震带和高烈度区，辖区活断层分布复杂，其中海河断裂带直接穿过中心城区，地震灾害威胁较严重。

中心城区是天津市核心地带和发祥地，下辖 6 个区，面积约 173 km²，常住人口密度高达 25 104 人/km²，是全市人口分布最密集的地区，人口和规模的空前膨胀给城市应对突发公共事件的能力带来严峻考验，而应急避难场所将成为保障城市安全和防震减灾的重要设施。天津市作为首都圈地震重点监视防御区，非常重视应急避难场所的建设。天津市中心城区已建成配套设施并投入使用的应急避难场所共 12 处，总避难面积约 350.1 万 m²，避难人口约 68.5 万（刘瑞瑞等，2015），具体情况如表 2 所示。

表 2 天津市中心城区应急避难场所基本信息

Table 2 Basic information table of emergency shelters of the central city of Tianjin

名称	面积/万m ²	容纳人数/万	位置
中心公园	1.6	0.3	和平区辽宁路
睦南公园	1.4	0.2	和平区睦南道
银河广场	19.9	5.0	河西区友谊路
人民公园	14.2	3.6	河西区广东路
河东公园	10.0	3.0	河东区成林道
中山门公园	2.4	0.4	河东区中山门中心西道
水上公园	164.6	20.0	南开区水上公园西路
长虹公园	32.2	10.0	南开区红旗路
北宁公园	57.0	13.0	河北区北站北侧
王串场公园	7.8	2.0	河北区王串场三号路
西沽公园	35.0	10.0	红桥区光荣道
红桥公园	4.0	1.0	红桥区纪念馆路

注：相关数据来源于《天津统计年鉴》

3.2 适宜性评价分析

本文对天津市中心城区 12 处应急避难场所适宜性进行评价，评价模型中的指标权重可衡量该指标对综合评价的影响程度，可为应急避难场所适宜性评价提供重要依据。将收集到的天津市中心城区应急避难场所数据进行分析整理与计算，可获得各评价指标数据序列（表 3），根据指标的最优值确定参考序列，运用式（1）、（2）、（3）对评价指标数据进行处理与计算，得到的指标权重结果如表 4 所示；运用式（4）、（5）计算灰色关联系数并与熵值权重进行加权运算，得到适宜性评价结果（表 5），并对其进行评价分析。

由表 4 可知避难场所的可容纳人数对避难场所适宜性评价结果贡献最大，其次为活断层距离、重大危险源距离、医疗机构距离、公安机关距离，这些评价指标在适宜性评价中的重要程度较大。

根据适宜性评价结果 R_i 分布情况，结合相关学者研究成果经验，适宜性评价成果等级划分为：适宜（ $R_i \geq 0.55$ ）、较适宜（ $0.50 \leq R_i < 0.55$ ）、较不适宜（ $R_i < 0.50$ ）。

表 3 天津市中心城区地震应急避难场所适宜性评价指标数据

Table 3 The index data of earthquake emergency shelter suitability evaluation of the central city of Tianjin

名称	有效面积比/ %	可容纳人数/ 万	出入口个数/ 个	疏散道路 评分	医疗 机构距离/km	消防 据点距离/km	公安 机关距离/km	活断层 距离/km	周边建筑物 高度/km	重大危险源 距离/km
中心公园	0.7500	0.3	4	6	0.22	1.2	0.21	2.17	0.033	0.90
睦南公园	0.6429	0.2	3	6	0.84	1.4	0.64	0.56	0.021	1.50
银河广场	0.6834	5.0	10	9	1.40	1.5	1.40	0.28	0.055	0.85
人民公园	0.7676	3.6	6	8	0.67	2.3	0.41	1.38	0.031	0.42
河东公园	0.6850	3.0	4	8	1.20	2.6	0.21	5.80	0.095	1.50
中山门公园	0.7917	0.4	2	7	1.70	3.6	0.10	4.88	0.028	0.48
水上公园	0.4769	20.0	6	10	1.80	3.2	0.60	2.68	0.105	0.66
长虹公园	0.6894	10.0	6	10	0.90	1.2	1.00	0.33	0.095	0.26
北宁公园	0.6842	13.0	4	7	0.80	1.5	1.10	6.30	0.080	0.75
王串场公园	0.7949	2.0	3	6	0.30	1.8	0.62	5.55	0.025	0.35
西沽公园	0.8086	10.0	5	8	0.90	1.6	0.70	3.94	0.035	0.08
红桥公园	0.8000	1.0	10	7	0.20	1.7	1.10	2.07	0.030	0.62

表 4 指标权重结果

Table 4 Index weight value

准则层	评价指标	权重
有效性	有效面积比	0.0050
	可容纳人数	0.3094
	出入口个数	0.0602
可达性	疏散道路评分	0.0092
	医疗机构距离	0.1000
	消防据点距离	0.0398
	公安机关距离	0.1069
安全性	活断层距离	0.1665
	周边建筑物高度	0.0929
	重大危险源距离	0.1100

表 5 天津市中心城区地震应急避难场所适宜性评价结果

Table 5 The earthquake emergency shelter suitability assessment of the central city of Tianjin

名称	评价结果 R_i	适宜等级
中心公园	0.5025	较适宜
睦南公园	0.5081	较适宜
银河广场	0.4537	较不适宜
人民公园	0.4305	较不适宜
河东公园	0.5493	较适宜
中山门公园	0.5197	较适宜
水上公园	0.6121	适宜
长虹公园	0.4514	较不适宜
北宁公园	0.5824	适宜
王串场公园	0.5155	较适宜
西沽公园	0.4839	较不适宜
红桥公园	0.5184	较适宜

水上公园和北宁公园属于适宜等级,这类应急避难场所有效性、可达性和安全性整体较好,空间位置合理,避难空间较大,可容纳人数和交通通达度较高,且接近公共救援服务设施,灾后能尽快开展应急救援工作;中心公园、睦南公园、河东公园、中山门公园、王串场公园和红桥公园属于较适宜等级,这类应急避难场所适宜性较好,空间位置相对合理,但避难空间较小,可容纳人数较少;银河广场、人民公园、长虹公园和西沽公园属于较不适宜等级,这类应急避难场所共同点是安全性较差,距活断层和危险源距离较近,部分地区距医疗机构、消防据点、公安关也相对较远。

评价结果表明,天津市中心城区现有 12 处地震应急避难场所中有 2 处达到了适宜等级,6 处达到了较适宜等级,其他 4 处均为较不适宜等级,地震应急避难场所适宜性等级分布如图 1 所示。天津市中心城区大部分应急避难场所适宜性较好,应急避难场所可容纳人数较少,可达性和安全性较差是导致部分应急避难场所适宜性水平偏低的主要原因。

本文运用 GIS 技术缓冲区分析法结合城区人口密度分布情况,对天津市中心城区应急避难场所分布情况进行研究,结果表明中心城区应急避难场所分布较集中,虽然每个行政区均分布 2 个应急避难场所,但避难场所服务范围覆盖率与场所周边居民避震疏散需求量相比仍有较大差距。由图 1 可知城区中部和东南部是避难场所服务范围缺口面积较大的区域,而城区中南部避难场所服务重叠率偏高,不利于避难场所的高效率利用,加上城区人口高度集中,常住人口密度高达 $25\ 104\ \text{人}/\text{km}^2$,使得实际人均有效避难面积严重偏低,仅 $0.81\ \text{m}^2$,远低于国家最低标准 $1.5\ \text{m}^2$ 。结合适宜性评价结果发现,由于避难场所可容纳人数的限制及应急管理信息化建设的滞后,导致城市居民的实际避难需求仍得不到满足且有较大差距。因此,应急避难场所可容纳人数亟需提高,重点是提高应急避难场所的数量供给和适宜性,加强应急避难场所空间布局与居民避震疏散需求的协调统一,促进应急管理业务信息化、现代化,以满足城市居民对紧急疏散空间的迫切需求,从而增强城市整体防灾减灾能力,这对促进防震减灾业务信息化、现代化具有重要的现实意义。

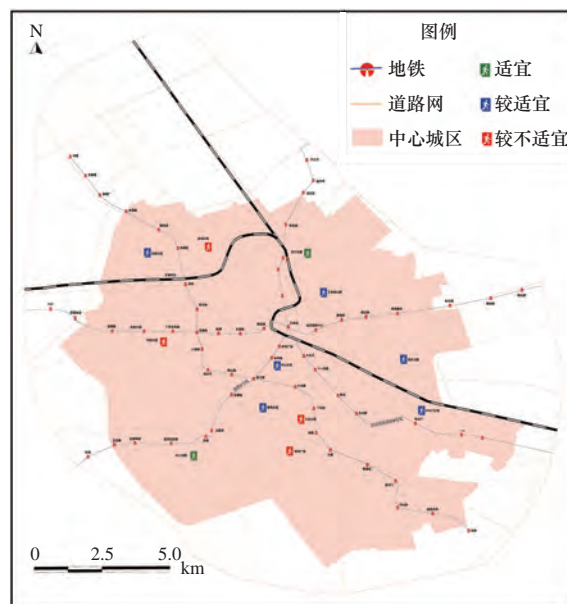


图 1 天津中心城区地震应急避难场所适宜性分布图

Fig. 1 Suitability distribution of the earthquake emergency shelter in the central city of Tianjin

4 结论

城市地震应急避难场所是保障城市安全的重要公共服务设施,对其适宜性进行评价是城市防震减灾体系的重要组成部分。本文基于 GIS 空间分析技术,从有效性、可达性和安全性 3 个方面构建了评价指标体系,采用熵值权重与灰色关联分析法相结合的评价模型对天津市中心城区现有 12 处地震应急避难场所进行适宜性评价。评价结果给出了天津市中心城区地震应急避难场所适宜程度及应急避难场所的综合情况和应急避难能力现状,有利于提高城市应急避难场所规划建设的合理性和应急管理水平,更好地发挥应急避难服务功能,更好地服务人民。

参考文献

- 杜亚男, 杨文伟, 王炳亮, 2020. 银川市西夏区地震应急避难场所优化布局研究. 安全与环境工程, **27** (1): 47—54.
- Du Y. N., Yang W. W., Wang B. L., 2020. Study on the optimal layout of earthquake emergency shelters in Xixia district of Yinchuan. Safety and Environmental Engineering, **27**(1): 47—54. (in Chinese)
- 郭兴利, 郭雪琦, 卓海涵, 2017. 城市地震避难所空间选址适宜性评价方法研究——以台中市西屯区为例. 防灾科技学院学报, **19** (4): 71—79.
- Guo X. L., Guo X. Q., Zhou H. H., 2017. Research on suitability evaluation method of site selection of urban earthquake shelters: a case of Xitun district in Taichung City. Journal of Institute of Disaster Prevention, **19**(4): 71—79. (in Chinese)
- 姜连艳, 2019. “平灾结合”推进室内地震应急避难场所建设的策略研究. 震灾防御技术, **14** (4): 838—845.
- Jiang L. Y., 2019. Research on promotion strategy of indoor emergency earthquake shelters based on integration for normal time and disaster time. Technology for Earthquake Disaster Prevention, **14**(4): 838—845. (in Chinese)
- 刘瑞瑞, 宁普颖, 刘建利等, 2015. 从“大应急理念”来看天津市地震应急避难场所规划建设发展. 中国应急救援, (4): 40—42.
- 宋英华, 赵相成, 吕伟等, 2019. 考虑多因素影响的避难场所服务范围划分方法. 中国安全科学学报, **29** (5): 138—144.
- Song Y. H., Zhao X. C., Lyu W., et al, 2019. Method for service scope division of emergency shelters considering multi-factors. China Safety Science Journal, **29**(5): 138—144. (in Chinese)

- 苏建锋, 薄万举, 2017. 城市地震应急避难场所展示系统的设计与实现. *震灾防御技术*, **12** (2): 392—398.
- Su J. F., Bo W. J., 2017. Design and realization of display system of urban earthquake emergency shelters. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, **12**(2): 392—398. (in Chinese)
- 王女英, 修春亮, 魏冶, 2017. 沈阳城市应急避难场所的识别、空间格局与服务功能. *地域研究与开发*, **36** (5): 75—79, 86.
- Wang N. Y., Xiu C. L., Wei Y., 2017. Identification, spatial pattern and service function of emergency shelters in Shenyang city. *Areal Research and Development*, **36**(5): 75—79, 86. (in Chinese)
- 魏本勇, 谭庆全, 李晓丽, 2019. 北京市应急避难场所的空间布局与服务效能评估. *地震研究*, **42** (2): 295—303.
- Wei B. Y., Tan Q. Q., Li X. L., 2019. Assessment on spatial distribution and service efficiency of emergency shelters in Beijing. *Journal of Seismological Research*, **42**(2): 295—303. (in Chinese)
- 熊焰, 梁芳, 乔永军等, 2014. 北京市地震应急避难场所减灾能力评价体系的研究. *震灾防御技术*, **9** (4): 921—931.
- Xiong Y., Liang F., Qiao Y. J., et al, 2014. Mitigation capabilities evaluation system of Beijing earthquake emergency shelters. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, **9**(4): 921—931. (in Chinese)
- 杨爽, 张楠, 赵士达等, 2013. 天津市地震应急避难场所试点建设. *防灾减灾学报*, **29** (4): 79—82.
- Yang S., Zhang N., Zhao S. D., et al, 2013. The earthquake emergency shelters pilot construction of Tianjin. *Journal of Disaster Prevention and Reduction*, **29**(4): 79—82. (in Chinese)
- 叶明武, 王军, 刘耀龙等, 2008. 基于 GIS 的上海中心城区公园避难可达性研究. *地理与地理信息科学*, **24** (2): 96—98, 103.
- Ye M. W., Wang J., Liu Y. L., et al, 2008. Study on refuge accessibility of park in inner-city of Shanghai based on GIS technique. *Geography and Geo-Information Science*, **24**(2): 96—98, 103. (in Chinese)
- 张佳瑜, 白林波, 杨文伟, 2019. 基于 GIS 的社区地震应急避难场所配置模型构建——以银川市育林巷社区为例. *地震工程学报*, **41** (6): 1650—1658.
- Zhang J. Y., Bai L. B., Yang W. W., 2019. Construction of an earthquake emergency shelter allocation model for a community based on GIS: a case study of the Yulin lane community in Yinchuan city. *China Earthquake Engineering Journal*, **41**(6): 1650—1658. (in Chinese)
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2008. GB 21734—2008 地震应急避难场所场址及配套设施. 北京: 中国标准出版社.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China, 2008. GB 21734—2008 Emergency shelter for earthquake disasters—Site and its facilities. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 周玉科, 刘建文, 梁娟珠, 2018. 基于改进灰色关联的福州市避难所适宜性综合评价. *地理与地理信息科学*, **34** (6): 63—70.
- Zhou Y. K., Liu J. W., Liang J. Z., 2018. Comprehensive suitability evaluation for emergency shelters based on improved gray relational analysis method in Fuzhou. *Geography and Geo-Information Science*, **34**(6): 63—70. (in Chinese)