

张孟怡, 李悦, 侯成栋. 特大城市中心城区防震减灾能力评估与等级划分——以天津市为例[J]. 华南地震, 2025, 45(2): 155–162. [ZHANG Mengyi, LI Yue, HOU Chengdong. Evaluation and Classification of Earthquake Prevention and Disaster Reduction Capacity in Central Urban Area of Megacities—A Case Study of Tianjin[J]. South China journal of seismology, 2025, 45(2): 155–162]

特大城市中心城区防震减灾能力评估与等级划分 ——以天津市为例

张孟怡¹, 李悦¹, 侯成栋²

(1. 天津市地震局, 天津 300201; 2. 天津市应急管理局, 天津 300074)

摘要: 基于第一次全国自然灾害综合风险普查成果, 在研究了不同学者针对不同尺度的防震减灾能力评估指标体系的基础上, 运用熵权-Topsis法综合评估算法模型, 提出了一套适用于特大城市中心城区的评价指标体系, 并以天津市中心城区为例进行应用。结果表明: 整体防震减灾能力平均水平依然偏弱, 达到较强水平的区只有1个, 较弱水平的区有3个, 其余区域为中等水平, 经济发展水平较好的区域, 地震灾害备灾能力越强, 但人员财富越密集, 经济损失风险越高, 在地震灾害救援能力方面存在“少数地区占据多数资源”的现象。提出的工作建议为提升特大城市中心城区的防震减灾能力、合理分配资源配置、发挥地震部门防震减灾行业指导作用方面提供了有益参考。

关键词: 防震减灾; 能力评价; 熵权-Topsis; 普查成果

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2025)02-0155-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2025.02.18

Evaluation and Classification of Earthquake Prevention and Disaster Reduction Capacity in Central Urban Area of Megacities—A Case Study of Tianjin

ZHANG Mengyi¹, LI Yue¹, HOU Chengdong²

(1. Tianjin Earthquake Agency, Tianjin 300201, China; 2. Bureau of Emergency Management of Tianjin, Tianjin 300074, China)

Abstract: Based on the results of the First National Census for Natural Disaster Risk, on the basis of studying the evaluation index system of earthquake prevention and disaster reduction ability of different scholars at different scales, an evaluation indicator system suitable for the central urban area of megacities is proposed by using the comprehensive evaluation algorithm model of entropy weight-Topsis method, and the central urban area of Tianjin was taken as an example for application. The results show that the overall earthquake prevention and disaster reduction capacity is still weak. Only one area has reached a strong level, three areas at a weak level, and the remaining areas at a medium level. In areas with higher economic development, the earthquake disaster

收稿日期: 2024-12-04

基金项目: 天津市地震局局内重点项目“基于TOPSIS的天津市行政区域防震减灾能力评估与等级划分”

作者简介: 张孟怡(1989-), 女, 高级工程师, 主要从事防震减灾公共服务研究。

通信作者: 李悦(1986-), 女, 高级工程师, 主要从事地震分析预报研究。

E-mail: houxian dai718@126.com

preparedness capacity is stronger, but the denser the wealth of personnel, the higher the risk of economic loss. There is also a phenomenon where “a few areas occupy most resources” in terms of earthquake disaster relief capacity. The proposed suggestions provide valuable references for enhancing earthquake disaster prevention and mitigation capabilities in central urban areas of megacities, ensuring rational resource allocation, and leveraging the guiding role of earthquake departments in disaster prevention and mitigation.

Keywords: Earthquake prevention and disaster reduction; Capability evaluation; Entropy weight-Topsis; Census result

0 引言

我国是世界上地震灾害最为严重的国家之一,一半以上的国土处在基本烈度7度及以上,3/4的超大城市、4/5的特大城市位于7度以上地震高风险区,并可能面临8度乃至9度以上的地震影响^[1]。加强各地防震减灾能力建设是保障国家安全、社会和经济协调发展的客观要求和紧迫任务^[2]。随着京津冀协同发展、雄安新区国家战略的深入推进和天津经济的集约化程度越来越高,城市地震灾害风险不断升级,灾害链不断延长,以灾后救助和减少灾害损失为主的非常态救灾传统方式已无法满足天津可持续发展的迫切需求。2018年11月,天津市出台了《天津市机构改革方案》,各行政区构建了由应急管理部门统筹负责地震、火灾、水灾、旱灾等各灾种应急抢险和灾害防治的体制机制,基本建立了以地震灾害防治和地震应急救援为职能主体的区级防震减灾工作机构。各行政区的防震减灾能力在防震减灾及减少灾害损失中发挥着不可替代的作用。天津位于河北平原地震带和张家口—海地震带的交汇部位,是全国地震重点监视防御区,也是新中国成立后唯一遭受过地震烈度Ⅷ度的特大城市。由于天津所处的特殊地理位置,以及其具备较为丰富的防震减灾和抗震救灾工作实践经验,在全国特大城市中具有较强的代表性和典型性^[3]。基于此,本文在前人已有的防震减灾能力评价体系的基础上,针对特大城市,利用第一次全国自然灾害综合风险普查数据,建立一套行政区域级别的防震减灾能力评估的指标体系和评估模型;以天津市为例,科学评估天津市中心城区各行政区域防震减灾能力的分布情况并进行等级划分。为各区基层地震机构提供资源配置建议,发挥地震部门防震减灾行业指导作用。

1 防震减灾能力评价体系现状

减灾能力是综合风险管理的重要组成部分,

科学评价减灾能力、摸清区域综合减灾能力底数、查明重点区域减灾能力是提升灾害风险管理能力的有效途径^[4]。美国在20世纪80年代起就着手建立社区、州、国家三个层级的综合防灾减灾能力建设指标体系,于1997—2000年间应用研发的政府、企业、社区、家庭联动的灾害应急能力评估程序在全国开展了实践评估。Cutter等提出了广泛应用于减灾能力定量评估的基于社会结构、经济条件、制度结构、基础设施和资本5个维度36项指标的减灾能力基线指标^[5-6]。

在单灾种减灾能力方面,Kunihiko等通过阪神地震震害分析认为,城市抵御地震的能力或城市地震易损性取决于该城市的多种影响因素,主要有:自然条件、空间结构、社会特性、救灾资源和风险管理能力等,并提出了一种综合性、定量评价城市抗御地震能力的方法,之后对日本13个大城市进行了定量评价和比较^[7]。国内学者也针对地震、干旱、火灾、泥石流、洪涝、风暴潮、气象等灾害开展了许多单灾种减灾能力方面的研究^[8-20]。具体到地震灾种,谢礼立等人把人员伤亡、经济损失和震后恢复时间3方面作为衡量城市防震减灾能力的准则;围绕这三个准则,从影响城市防震减灾能力的众多复杂因素中归纳出6大因素,并用一些简单、可测量的指标来代表这6大因素,建立起城市防震减灾能力指标体系^[9]。郎从等抽样部分典型省份的县级防震减灾工作主管部门,得到房屋抗震能力、应急救援能力和非工程性防御能力三个方面的防震减灾能力工作指标,进行主成分分析,得到基层防震减灾能力的指标体系^[21]。李曼等通过发放调查问卷的方法,构建北京市郊区乡镇防震减灾能力评价指标体系,并进行化简分析得到适用的指标体系和赋值权重^[22]。近年来,随着第一次自然灾害风险普查的开展,很多专家学者开始利用最新调查数据来补充研究区域防灾减灾能力、更新完善评估方法,例如丁建闯等以北京市延庆区“第一次全国自然灾害综合风险普查”基础调查数据为例,分别采用秩和

比法(RSR)、非整秩和比法(非整RSR)和TOPSIS法对该区18个乡镇的减灾能力进行量化评估^[23]。李政杰等根据全国第一次自然灾害综合风险普查指标体系,从乡镇(街道)和社区(行政村)两个层面评估了上海市金山区洪涝灾害乡镇(街道)和社区(行政村)减灾能力^[24]。

综上所述,在地震灾害领域,对于区域防震减灾能力的研究多是集中在“十五—十一五”时期,基础数据多是以各地区工程项目形式获得,调查的标准、尺度不尽相同,且研究对象以多震区为主。如何利用普查最新数据,快速、简便的评价特大城市中心城区防震减灾能力,有针对性地指导基层提升防震减灾综合能力,发挥地震部门的防震减灾行业指导作用是当前工作的重点。

2 评估模型建立

2.1 指标体系构建

本文提出的防震减灾能力评价指标参考谢礼立等人的研究,即根据地震灾害对一个城市造成破坏和损失的特点用以下三个方面来判断一个城市对地震的安全性:一次地震中人员伤亡的数量;一次地震中的经济损失的多少;震后为了恢复社会正常的生产和生活秩序所必需的恢复时间的长短^[9]。结合国务院第一次全国自然灾害综合风险普

查领导小组办公室对减灾能力的定义:灾害管理(应急预案、风险评估、资金投入)、防灾备灾(物资储备、医疗保障)、自救互救(专业和志愿者队伍、公众避险、转移安置)方面具备的各种能力。基于此,本研究将围绕行政区域的地震灾害恢复能力;备灾能力、地震灾害救援能力三个方面进行城市行政区域的防震减灾能力评价指标的构建。指标的选取参考了国内外其他灾种对于防灾能力的评价模型,以及天津市第一次全国自然灾害综合风险普查数据,考虑了区域本身的地震灾害属性:地震危险性、人员伤亡和经济损失情况以及体现震后恢复正常生产和生活秩序的因素。如表1所示。

2.2 熵权TOPSIS评价法

首先将标准化矩阵归一化处理,在此基础上应用熵权法构建加权规范矩阵,熵权法中的权重利用客观数据与实际的观测数据为为计算基础,有效降低了人为主观因素对权重结果的影响^[25]。然后计算加权规范矩阵中的各评价指标的正理想解和负理想解,即获得各评价对象与最优方案的相对接近程度,方案排序的规则是把各备选方案与理想解和负理想解做比较,若其中有一个方案最接近理想解,而同时又远离负理想解,则该方案是备选方案中最好的方案,以此作为评价优劣的依据^[23]。

表1 城市行政区域防震减灾能力评估指标

Table 1 Evaluation indicator for earthquake prevention and disaster reduction capacity of urban administrative regions		
一级指标	二级指标	二级指标数值解释
行政区域地震 灾害恢复能力	本区域地震危险性水平	地震危险性水平分级结果(数值:1~5)
	本区域人口死亡风险	地震灾害50年超越概率10%人口死亡风险等级(数值:1~5)
	本区域经济损失风险	地震灾害50年超越概率10%经济损失风险等级(数值:1~5)
行政区域地震 灾害备灾能力	队伍管理能力	区域内每万人灾害管理人员比例 各区域政府地震灾害管理人数/区域内总人数*10000
	物资储备能力	每万人物资储备率 储备物资、装备总金额(元)/区域内总人数*10000
	资金投入能力	每万人资金投入率 各区域上一年度防灾减灾救灾资金投入总金额/区域内总人数
	组织避险能力	居民参与演练培训百分率 各区域上一年度演练培训参与人次/区域内总人数

(转下表)

(接表1)

一级指标	二级指标	二级指标数值解释
行政区域地震 灾害救援能力	专业救援能力	每万人地震专业救援队伍人员比率 地震专业救援队人数/区域内总人数*10000
	医疗救助保障能力	每万人拥有床位数 区域内医院床位数/区域内总人口*10000
	转移安置能力	应急避难场所(地震灾害、综合灾害)容纳率 区域内避难所容纳人数/区域内总人数

(1)数据标准化处理。每个指标的量纲和单位是不同的,无法直接比较、计算,所以在各指标权重计算前,需将其标准化处理:

$$\begin{cases} x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} (\text{正向指标}) \\ x'_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} (\text{负向指标}) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, $x_j^{\max}$ 表示第 j 个指标的最大值, x_{ij} 表示原始数据中第 i 个样本第 j 个指标的数据, x'_{ij} 代表标准化数据中第 i 个样本第 j 个指标的数据。

(2)计算熵值与权重。为消除负值进行平移处理,利用比重法对数据进行无量纲化

$$x'_{ij} = 0.01 + x'_{ij} \quad (2)$$

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}} \quad (3)$$

式(2)、(3)中, x'_{ij} 表示平移后数据中第 i 个样本第 j 个指标的数据。其中 y_{ij} 表示无量纲化数据中第 i 个样本第 j 个指标的数据。

根据式(4)计算第 j 个指标的熵值和第 j 个指标的差异系数:

$$\begin{cases} e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \ln y_{ij} \\ g_j = 1 - e_j \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, $j = 1, 2, \dots, p$

则第 j 个指标的权重为:

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^p g_j} \quad (5)$$

式(5)中, $j = 1, 2, \dots, p$

(3)建立 topsis 模型。首先根据式(6)进行指标数据的向量规范化处理,然后用权重乘以规范化

矩阵得到加权规范化矩阵如式(7)

$$b_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x'^2_{ij}}} \quad (6)$$

$$c_{ij} = \omega_j b_{ij} \quad (7)$$

式(6)、(7)中, b_{ij} 代表规范化数据中第 i 个样本第 j 个指标的数据, ω_j 代表第 j 个指标的权重, c_{ij} 代表加权规范化数据中第 i 个样本第 j 个指标的数据。

然后,确定正、负理想解及欧氏距离。这一步计算的目的是对不同的指标进行定义,指标向量值到正理想解的距离越近,则评价对象指标越好,即该指标方案最优,反之则越差。

设正理想解 C^* 的第 j 个属性值为 c_j^* , 负理想解 C^0 的第 j 个属性值为 c_j^0 , 则

$$\begin{cases} c_j^* = \max_i c_{ij} & j = 1, 2, \dots, n \\ c_j^0 = \min_i c_{ij} & j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (8)$$

$$d_i^* = \left[\sum_{j=1}^n (c_{ij} - \max_i \{c_{ij}\})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$d_i^0 = \left[\sum_{j=1}^n (c_{ij} - \min_i \{c_{ij}\})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

分别用式(9)、式(10)求各行政区域的防震减灾能力到正理想解的距离 d_i^* 和负理想解的距离 d_i^0 , 然后对每个评价对象 i , 分别计算综合评价指数 C_i 值。

$$C_i = \frac{d_i^0}{d_i^0 + d_i^*} \quad (11)$$

最后依据式(11)求得各区域防震减灾能力相对贴近度 C_i , 该值越大, 结果越好。根据其他灾种减灾能力等级划分情况将防震减灾能力指数分为5个等级, 如表2所示:

表2 行政区域防震减灾能力等级划分

Table 2 Classification of earthquake prevention and disaster reduction capacity in administrative regions					
指数得分	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1
指数等级	弱	较弱	中等	较强	强

3 实证分析

3.1 研究区概况

天津地处华北地块与燕山地块旋扭错断形成的边界破碎带上,华北4条主要地震带有2条贯穿并交汇于天津。有记载以来,华北北部最大的2次地震,即1679年三河—平谷8级地震和1976年唐山7.8级地震。城市地质构造复杂,分布较大规模隐伏断裂19条,其中4条穿过中心城区,天津2/3的国土面积属于Ⅷ高烈度设防区,1/3属于Ⅶ度强烈度设防区^[26]。本文的研究范围为天津市中心城区,涉及和平区、河西区、南开区、河东区、河北区、红桥区,面积总数为193.73 km²,下设街道共计64个,2023年GDP总计约3662.37亿元。

3.2 数据来源

以天津市“第一次全国自然灾害综合风险普查”数据为基础,本研究用到的数据主要有包括:

研究区的地震灾害评估与区划数据、地震危险性分析数据、灾害管理人员总数、上一年度组织的应急培训和演练参与人次、上一年度防灾减灾救灾资金投入总金额、现有储备物资、装备折合金额、应急避难场所容纳人数、实有住院床位数、地震专业救援队伍人数等数据。后续评估指标与权重数据均是在此类调查数据基础上产生的。

3.3 数据分析

出于数据保密性,文中不展示原始数据。本文计算工具为Matlab2016,根据熵权—Topsis的计算过程,首先,为消除指标性质的差异影响评价结果的准确性,对10个二级指标数据进行标准化处理;根据标准化处理结果,结合式(2)~(5)进行各指标熵值、差异系数及权重等计算,得到表3,应用式(6)~式(11)计算各指标相对贴进度,即表4中的相对贴进度,它代表了各行政区域一级指标的能力高低,表5中的综合排名为即为各个行政区域综合评价指数 C_i 值。

表3 各指标熵权赋值结果

Table 3 Entropy weight assignment results for each indicator						
一级指标	权重	二级指标	熵值	权重	正理想解	负理想解
区域地震灾害恢复能力	0.1943	区域地震危险性水平	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		区域人口死亡风险	0.9044	0.0558	0.0249	0.0000
		区域经济损失风险	0.7626	0.1385	0.0876	0.0000
区域地震灾害备灾能力	0.4718	队伍管理能力	0.8502	0.0874	0.0600	0.0000
		物资储备能力	0.6660	0.1949	0.1774	0.0000
		资金投入能力	0.7946	0.1199	0.0862	0.0000
		组织避险能力	0.8808	0.0695	0.0431	0.0000
区域地震灾害救援能力	0.3339	专业救援能力	0.8237	0.1029	0.0866	0.0000
		医疗保障能力	0.7402	0.1516	0.1154	0.0000
		转移安置能力	0.8638	0.0795	0.0487	0.0000

表 4 各一级指标贴近度
Table 4 Closeness of each first-level indicator

区域 名称	区域地震灾害恢复能力			区域地震灾害备灾能力			区域地震灾害救援能力		
	到正理想解的距离	到负理想解的距离	相对贴近度	到正理想解的距离	到负理想解的距离	相对贴近度	到正理想解的距离	到负理想解的距离	相对贴近度
河东区	0.0000	0.4688	1.0000	0.4321	0.0712	0.1415	0.3762	0.1152	0.2344
河北区	0.2255	0.2594	0.5350	0.3796	0.1613	0.2982	0.4027	0.0913	0.1848
和平区	0.4688	0.0000	0.0000	0.0501	0.4334	0.8964	0.3456	0.2974	0.4625
南开区	0.2255	0.2594	0.5350	0.3863	0.1014	0.2079	0.2847	0.2060	0.4198
河西区	0.4509	0.1284	0.2216	0.2648	0.2168	0.4502	0.2072	0.3616	0.6357
红桥区	0.0000	0.4688	1.0000	0.3386	0.1231	0.2666	0.2018	0.2727	0.5747

表 5 各区域整体贴近度
Table 5 Overall closeness of each region

区域名称	到正理想解的距离	到负理想解的距离	综合评价	排名
和平区	0.1489	0.2273	0.6042	1
河西区	0.1675	0.1602	0.4888	2
红桥区	0.1734	0.1413	0.4490	3
南开区	0.2101	0.0978	0.3175	4
河东区	0.2395	0.1044	0.3037	5
河北区	0.2282	0.0962	0.2966	6

4 结果与讨论

根据本文所提出的评价指标体系和计算方法，计算得出天津市中心城区 6 个行政区域防震减灾能力的各项分值，分值情况见表 5，不同区域各一级指标指数对比分布如图所示。总体分析来看，平均水平依然较弱，防震减灾能力主要分布在较弱、中等、较强等级：达到较强水平的区只有 1 个，较弱水平的区有 3 个，其余区域为中等水平。

(1)区域地震灾害恢复能力指标与该区域的地震灾害评估与区划结果即“地震灾害 50 年超越概率 10% 人口死亡风险等级”与“地震灾害 50 年超越概率 10% 经济损失风险等级”相关，中心城区总体面积不大，各行政区域连接紧密地震危险性等级趋于一致，由于各区域经济水平存在差异，经济发展水平较好的区域，人员财富越密集，经济损失风险越高，例如“和平区”，该区域的 2022 年人均 GDP 水平在中心城区中排位第一，资源汇

聚、财富集中，一旦发生地震，经济损失和人员伤亡风险较大，“和平区”在综合评价中排名为首位，但此一级指标排序为第 6 位，但由于权重较小对整体结果影响不大；

(2)区域地震灾害备灾能力最强的为和平区，评估指标涉及救灾物资储备与资金投入，明显与区位优势有关，该项指标排名最高的和平区总分接近于排名最低的区分值 6 倍，区域差异性差距较大。排名后两位的分别为“南开区”和“河东区”，主要原因是“南开区”和“河东区”为天津市中心城区中人口最多的两个区，那么该项指标中，区域内每万人灾害管理人员比例、以及居民参与灾害演练比率相对较低，居民的数量导致了比例的降低；

(3)区域地震灾害救援能力最强的为河西区，该项指标与本区域的实有床位数、应急避难场所容纳率有关，排名前两位的区域的分值接近中心城区 6 个区域的一半，存在较为明显的“少数地区占据多数资源”的现象。

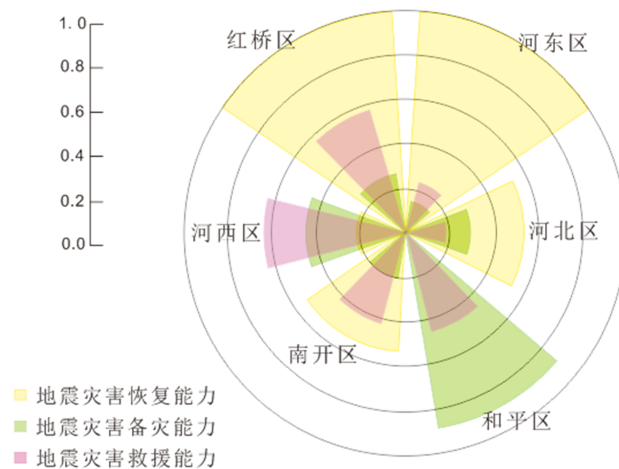


图1 天津市中心城区防震减灾能力指数

Fig.1 Earthquake prevention and disaster reduction capacity indicators of central urban area in Tianjin

5 对策建议

(1)强化城市基层地震机构灾害管理人员队伍建设。自2018年各区成立区级应急管理部门之后,各区基本建立了以地震灾害防治和地震应急救援为职能主体的基层防震减灾工作机构,较之前人员配备更加充足,但工作人员大多为原有部门的转置人员,没有防震减灾工作经历和经验,基于此,建议招录地震相关专业人员,同时探索基层灾害管理人员和辖区内地震监测中心站的业务共建模式,开展专业技能训练和管理培训,提升基层灾害管理人员专业能力素养。人员队伍的配备应适当考虑,区域的居民人数规模。

(2)平衡城市各区域资源保障配置。平衡各区域防灾减灾经费保障,明确在公共财政中的占比,确保防灾减灾资金的投入同政府财政收入保持一致;本文筛选的应急避难场所数据为“地震灾害类”和“综合灾害类”,中心城区的应急避难场所数量多余其他区域,但从供需角度来看,中心城区仍然是未来数量以及能力需要提升的区域。经济发展水平较好的区域应注重调配资源应对地震灾害的“叠加效应”,探索“社会”、“市场”、“居民”共同参与的灾害管理模式。

(3)提升城市房屋设施抗震性能。房屋建筑数据地震灾害风险评估与区划的重要因素,是决定区域内灾害恢复能力的客观条件,针对人员密集区域、老旧小区推进地震易发区房屋设施加固工程建设,有计划有步骤地采取抗震加固措施,切实提升抗震能力。新建、改建和扩建建设工程必

须到达抗震设防要求。

(4)开展特大城市地震灾害风险情景构建,尤其针对财富人口相对密集的区域,通过“动态”演变,不仅能够展示地震灾害发生后的风险高低,更能够从成灾过程、致灾链条、致灾机理分析地震成灾的内在逻辑与成灾关键要素,帮助政府部门对不同受灾程度的地区进行应急工作的优先级调配,为提升特大城市应急准备能力提供信息支持。

参考文献

- [1] 王东明,陈华静,陈敬一,等. 国家地震灾害风险防治业务平台功能设计与展望[J]. 自然灾害学报,2021,30(2): 60-70.
- [2] 邓砚,苏桂武,仵焕杰,等. 中国区域防震减灾能力的综合评估[J]. 地震地质,2013,35(3):584-592.
- [3] 王萍,张孟怡,郭文超,等. 新体制下我国基层防震减灾工作研究——以天津市为例[J]. 中国安全生产科学技术,2020,16(1):118-122.
- [4] 张继权,冈田宪夫,多多纳裕一. 综合自然灾害风险管理:全面整合的模式与中国的战略选择[J]. 自然灾害学报,2006,15(1):29-37.
- [5] Cutter S L, Ash K D, Emrich C T. The geographies of community disaster resilience[J]. Global Environmental Change,2014(29):65-77.
- [6] Cutter S L, Burton C G, Emrich C T. Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions[J]. Journal of Homeland Security and Emergency Management, 2010, 7(1):1-22.
- [7] 侯林锋,周新民,陈涛,等. 基于指标体系的市县防震减灾能力评估研究[J]. 华南地震,2019,39(4):10-18.
- [8] 张风华,谢礼立. 城市防震减灾能力评估研究[J]. 自然灾害

- 学报, 2001, 10(4): 57-64.
- [9] 谢礼立. 城市防震减灾能力的定义及评估方法[J]. 地震工程与工程振动, 2006, 26(3): 1-10.
- [10] 熊国锋. 基于 GIS 的上海市防震减灾能力评价方法研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [11] 王威, 田杰, 马东辉, 等. 基于云模型的城市防震减灾能力综合评估方法[J]. 北京工业大学学报, 2010, 36(6): 764-770.
- [12] 顾颖, 倪深海, 王会容. 中国农业抗旱能力综合评价[J]. 水科学展, 2005, 16(5): 700-704.
- [13] 闫宏. 城市防火减灾能力评估研究及应用[D]. 西安: 西安科技大学, 2006.
- [14] 宋超, 刘长礼, 叶浩. 泥石流防灾减灾能力评价方法初探[J]. 南水北调与水利科技, 2007, 5(5): 117-120.
- [15] 胡俊锋, 杨佩国, 杨月巧, 等. 防洪减灾能力评价指标体系和评价方法研究[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(3): 82-87.
- [16] 黄大鹏, 郑伟, 张人禾, 等. 安徽淮河流域洪涝灾害防灾减灾能力评估[J]. 地理研究, 2011, 30(3): 523-530.
- [17] 孙鸿鹄, 程先富, 倪玲, 等. 基于云模型和熵权法的巢湖流域防洪减灾能力评估[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 222-227.
- [18] 王一新. 超大城市洪涝灾害情景评估及其在太湖流域应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2016.
- [19] 李莉, 沈琼. 风暴潮灾害防灾减灾能力评价: 以山东省沿海城市为例[J]. 中国渔业经济, 2011, 29(6): 98-106.
- [20] 孔锋. 三论灾害防御能力的基本定义与特征[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 69-75.
- [21] 郎从, 高孟潭, 伍国春, 等. 典型地区县级防震减灾能力评价指标体系及其比较研究[J]. 地震工程与工程振动, 2014, 34(S1): 1046-1053.
- [22] 李曼. 北京市郊区乡镇防震减灾能力评价指标体系的化简分析[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2012.
- [23] 丁建闯, 钟海仁, 许礼林, 等. 三种方法的乡镇减灾能力评估结果比较—以北京市延庆区 18 个乡镇为例[J]. 灾害学, 2024, 39(1).
- [24] 李政杰. 基于 TOPSIS 和机器学习的上海市金山区减灾能力评估与区域灾害特征分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2023.
- [25] 郑茂. 基于系统动力学地震灾害防灾减灾能力评价与仿真研究: 以四川省为例[D]. 成都: 西华大学, 2021.
- [26] 姚新强, 王东明, 曹井泉, 等. 天津地震灾害风险防治业务体系研究[J]. 地震工程学报, 2022, 44(6): 1429-1440