

· 防灾减灾 ·

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

李海凌¹, 周极人¹, 刘克剑², 张 怀^{3,4}

(1. 西华大学建筑与土木工程学院, 四川 成都 610039; 2. 西华大学数学与计算机学院, 四川 成都 610039; 3. 中国科学院大学, 地球与行星科学学院计算地球动力学重点实验室, 北京 100049; 4. 中国科学院大学, 北京燕山地球
关键带国家野外科学观测研究站, 北京 101408)

摘 要: 首先, 以中国知网(CNKI)为检索数据库对应急避难场所的论文发表情况进行时序分布分析。其次, 从文献计量学视角, 综合运用多种统计分析软件对国内应急避难场所研究成果进行可视化分析。研究表明: 应急避难场所研究主要聚焦适宜性评价、规划选址、平灾结合实践三大研究主题; 国内应急避难场所研究经历了一个从理念推广到理论与方法系统探究且与实践应用并重的演变历程。最后, 指出国内应急避难场所未来研究的方向。

关键词: 应急避难场所; 知识图谱; 适宜性评价; 规划选址; 平灾结合

中图分类号: TU984 文献标志码: A 文章编号: 1673-159X(2023)06-0083-10

doi:10.12198/j.issn.1673-159X.4975

The Hot Spots and Trends Analysis of Emergency Shelters Research in China ——Based on the Perspective of Knowledge Graph

LI Hailing¹, ZHOU Jiren¹, LIU Kejian², ZHANG Huai^{3,4}

(1. School of Architecture and Civil Engineering of Xihua University, Chengdu 610039 China;

2. School of Computer and Software Engineering of Xihua University, Chengdu 610039 China;

3. Key Laboratory of Computational Geodynamics, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049 China;

4. Beijing Yanshan Earth Critical Zone National Research Station, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408 China)

Abstract: Firstly, CNKI was taken as the retrieval database to analyze the temporal distribution of papers published on emergency shelters. Then, based on bibliometrics analysis, this paper used a variety of statistical analysis software to make a visual analysis of the research results of domestic emergency shelters. The results show that suitability evaluation, planning and site selection, and practice of combining peace-making with disaster are the research topics of emergency shelters. And the research on emergency shelters in China has experienced an evolutionary process from the promotion of concepts to the emphasis both on

收稿日期: 2023-02-23

基金项目: 日本应急管理研究中心省部级学科平台西华大学开放课题(RBYJ2021-002); 国家杰出青年科学基金(41725017); 科技部国家重点研发计划重点项目(2020YFA0713400); 教育部“春晖计划”合作科研项目(HZKY20220579); 四川省哲学社会科学重点研究基地彝族文化研究中心资助项目(YZWH2308)。

第一作者: 李海凌(1976—), 女, 教授, 博士, 硕士研究生导师, 主要研究方向为技术经济与项目管理。

ORCID: 0009-0009-0033-6616 E-mail: lhl@mail.xhu.edu.cn

引用格式: 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.

LI Hailing, ZHOU Jiren, LIU Kejian, et al. The Hot Spots and Trends Analysis of Emergency Shelters Research in China ——Based on the Perspective of Knowledge Graph[J]. Journal of Xihua University(Natural Science Edition), 2023, 42(6): 83-92.

the systematic exploration of theories and methods and on the practical applications. Finally, this paper points out what we should further focus on emergency shelters in future.

Keywords: emergency shelter; knowledge graph; suitability evaluation; planning and site selection; combining peacemaking with disaster

应急避难场所(以下简称避难场所)是灾害发生时保护人民群众生命安全的重要设施,是体现“人民至上、生命至上”管理理念的重要载体^[1]。从第一个避难场所(北京元大都城垣遗址公园,2003年)的建设到现在近20年,中国的避难场所研究历经了空白—探索—快速发展阶段。特别在遭遇重大自然灾害(汶川大地震、台风“黑格比”、南方雪灾等)后,我国对避难场所的规划和建设有了新的审视和反思^[2]。避难场所的规划和建设已成为防灾减灾和公共安全建设的一项重要内容。

然而,作为城市、乡镇建设重要内容的避难场所,目前普遍存在分布不均、运营维护管理缺失等问题,难以有效满足我国城镇乡村安全治理的需求。随着公共安全建设的不断推进与强化,应急避难相关理论与实证研究逐渐成为国内学者关注的热点。目前国内有关避难场所的研究已有不少,包括避难场所的规划应对、设计、选址、适宜性评价

等,但鲜有避难场所整体发展的研究综述,难以精准把握本领域研究主题及演变趋势。文献计量法在准确把握成果信息方面具有客观性、模型化等显著优势,可有效弥补传统综述描述性方法在面对大量文献时的不足,已获得广泛应用。为此,本文基于文献计量法结合文献阅读,对国内避难场所核心成果进行分析,提炼该领域研究主题及演变趋势,以为国内避难场所研究提供参考。

首先,本文进行论文发表时序分布及期刊分布的分析,对避难场所的研究论文做初步的整理筛选。然后,基于VOSviewer、SATI、SPSS、Citespace,依据高频关键词的共现网络图、谱系图、二维尺度分析和时区共现网络图谱,直观地分析避难场所理论与实践应用的宏观结构以及发展脉络,识别研究热点、角度、方法及切入点及前沿方向。具体的研究路径如图1所示。

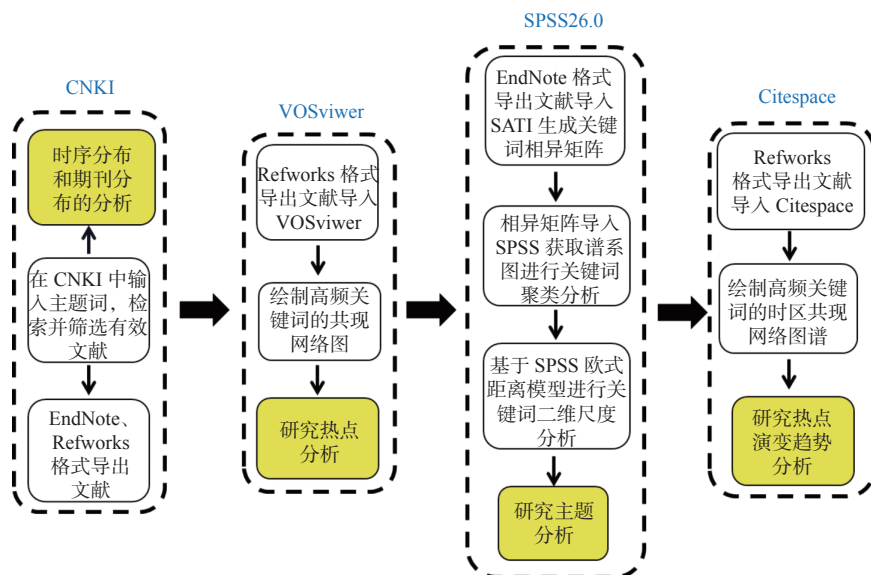


图1 研究路径

Fig. 1 Research path

1 论文发表时序分布

以中国知网(CNKI)为检索数据库,检索条件设置为:主题=(应急避难场所)or(应急避难所),

时间跨度=2000—2021。获得学术论文745篇,硕博论文154篇,检索时间为2022年8月29日。

对检索到的论文进行统计分析,如图2所示。避难场所的研究起步较晚(2003年)。2003—2007

年为萌芽期,主要是介绍国外规划选址方法及国内需求和评价,该阶段论文数量较少,共64篇,仅占论文发表总数的7.12%。2008年发文量陡增,概因汶川大地震引发了研究的急迫性,GB

21734—2008《地震应急避难场所 场址及配套设施》的颁布也为研究提供了依据。随着生态城市、韧性城市等概念的提出,2015年之后,避难场所研究进入平稳成熟科研阶段。

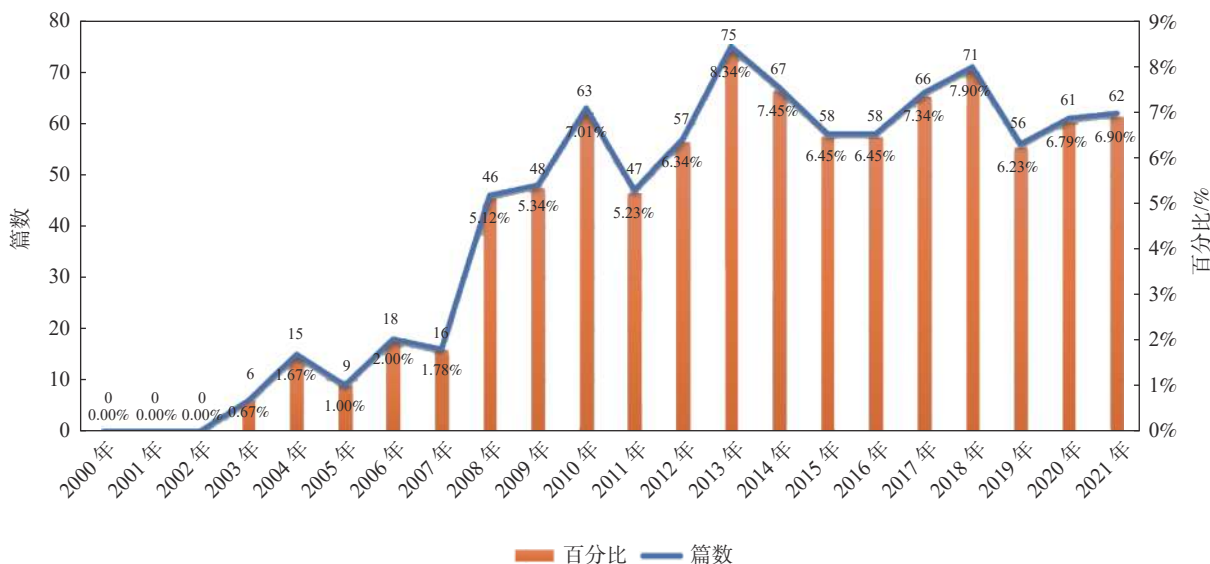


图2 避难场所研究论文的时序分布

Fig. 2 Temporal distribution of research papers on emergency shelters

2 高频关键词的共现网络分析

运用 VOSviewer 绘制的高频关键词共现网络图见图3。关键词的共现频次代表其研究的热点程度。用圆点的大小直观表现关键词的研究热度,圆点越大,研究热度越高。圆点之间连线的粗细代表关键词之间的关联强度,连线越粗,关联强度越大^[3]。

图3呈现出以“应急避难场所”(一级节点)为中心,地震应急避难场所、GIS、应急管理、空间布局为二级节点,适宜性评价、布局优化、选址、规划布局、可达性为三级节点的研究热点分布结构。网络图外围的应急服务设施、国土空间规划、应急避难场所体系、灾时运营等为本领域较少关注的方向。

3 高频关键词的多元统计分析

关键词之间的相互关系也是研究的重点。通过关键词聚类分析可以发现与研究热点关联密切的关键词,从而辨识出研究热点的研究角度、方法或切入点^[4]。利用 SATI 构建 47×47 的关键词相异矩阵,将相异矩阵导入 SPSS26.0 获取高频关键词的谱系图进行聚类分析(见图4),按亲疏程度将研究方向分为3个类群。

运用 SPSS26.0 的欧式距离模型对相异矩阵进行二维尺度分析:关联密切的关键词被聚集在一起,形成3个簇团(见图5)。其中,分布在中心点周围的关键词为研究领域较为关注的对象,反之则不然。

基于谱系图和二维尺度分析,对图4的3个类群和图5的3个簇团进行关键词关联性分析,见表1。关键词的相同度非常高。提取共同关键词的属性,可将国内避难场所的研究划分为3个主题:1)避难场所的适宜性评价;2)避难场所的规划选址;3)避难场所的平灾结合实践。

4 研究主题

4.1 避难场所的适宜性评价

我国已有很多城市通过建设避难场所来抵御各种灾害的威胁。避难场所适宜性评价是其疏散、容纳避难人群的功能实现是否适宜以及适宜程度的评定,是避难场所的空间分布及其服务效能的合理性评价。通过适宜性评价可以发现避难场所规划设置中存在的布局不合理或建设不安全等问题,检验其布局的合理性及应急疏散服务功能的实现程度,为区域避难场所规划布局及合理建设提

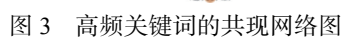


Fig. 3 Co-occurrence network diagram of high-frequency keywords



Fig. 4 The pedigree of high-frequency keywords

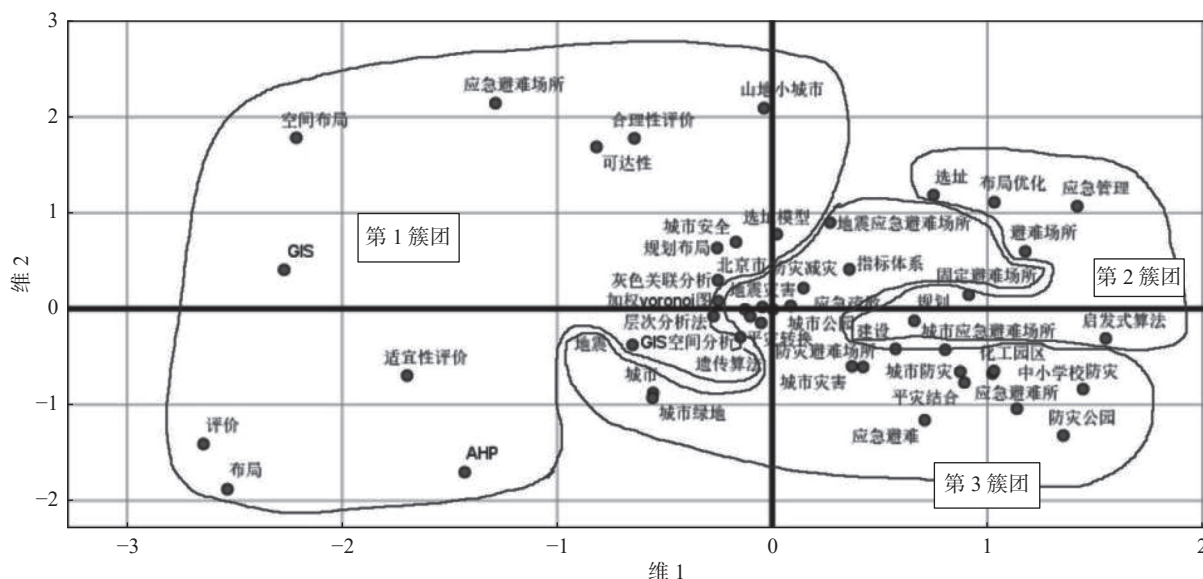


图5 高频关键词的二维尺度分析

Fig. 5 Two-dimensional scale analysis of high-frequency keywords

表1 基于谱系图和二维尺度分析的研究主题提炼

Tab. 1 Refinement of research topics based on genealogy and two-dimensional scale analysis

项目	关键词个数	相同的关键词	主题提炼
谱系图第1类群	17	评价、布局、AHP、空间布局、可达性、山地小城市、合理性评价、	避难场所的适宜性评价
二维尺度分析第1簇团	17	选址模型、北京市、GIS空间分析、层次分析法、灰色关联分析	
谱系图第2类群	12	建设、规划、应急管理、启发式算法、城市应急避难场所、避难场	避难场所的规划选址
二维尺度分析第2簇团	10	所、选址	
谱系图第3类群	18	指标体系、化工园区、应急疏散、防灾、平灾结合、中小学校、防灾	避难场所的平灾结合实践
二维尺度分析第3簇团	20	公园、城市防灾、应急避难、应急避难所、地震灾害、平灾转换、城 市安全、防灾减灾、城市灾害、城市公园、城市绿地、遗传算法	

供决策参考^[5]。

避难场所适宜性评价属于多目标、多准则的复杂系统问题^[5]。目前,主要基于两类原则构建多目标、多准则避难场所适宜性评价指标体系。文献[5-8]基于有效性、可达性、安全性原则分别构建了云南省嵩明县主城区、天津市中心城区、深圳市、福州市避难场所适宜性指标体系。所构建的指标体系具有共性指标(如避难场所出入口数、与医疗机构最近距离、与消防站点最近距离、重大危险源距离),同时也具有反映地域特点的特殊性指标(如避难场所坡度、活断层距离)。文献[9-11]基于自定义原则分别构建了南宁市城市公园、城市公园绿地、宁夏南部中小学作为避难场所的适宜性指标体系。之所以称之为自定义原则,是因为评价的对象不再是区域(城市和县城)内的避难场所群体,而是具体的某一类或某一个避难场所,因

此,采用自定义原则更能反映评价对象的特殊性。

在构建避难场所适宜性评价指标体系的基础上,指标权重的确定方法是多元化的。文献[6, 9-12]采用层次分析法确定指标权重;苏建锋等^[5]、王进等^[8]基于熵值权重法确定指标权重;周玉科等^[7]则采用了组合方式,在分类较少的准则层选择层次分析法确定权重,指标层则基于熵值法确定权重。方法的选择多为客观赋值法,主要是为减少主观赋值法一定程度上精确度及可信度的不足。

适宜性评价方法选择方面也呈现多元化趋势。文献[5-8]基于灰色关联分析法构建应急避难场所适宜性评价模型;陈鹏等^[6]利用综合评判物元可拓法进行适宜性评价;文献[9-12]采用综合指数进行适宜性评价。在构建适应性评价指标体系及确定指标权重的基础上,上述评价模型及评价方法均通过案例实证验证了其可行性和科学性^[5]。

综上所述,适宜性评价可以判断应急避难所的设计与建设是否达到预期目标,可以检验已规划布局的避难场所的合理性,并据此提出完善避难所区位规划布局的策略及方案,为区域应急整体规划提供科学依据。因此,避难场所的适宜性评价是值得关注的研究主题。避难场所适宜性评价的研究路径是非常清晰的,指标体系及评价方法的研究成果不断完善,既有区域内避难场所整体适宜性评价,也有特殊类型避难场所(公园、绿地、中小学等)的个体适宜性评价。在研究方法上,有学者^[7, 8, 10, 12-13]尝试引入 GIS 技术,利用其可视化观测和空间数据库的开发进行可达性、安全性量化分析,利用其缓冲分析将人口密度分布与避难场所分布进行适宜性匹配。GIS 技术的融入是避难场所适宜性评价值得深入探索及应用的方向。

4.2 避难场所的规划选址

地震、台风、海啸、山洪、泥石流、滑坡等自然灾害,火灾、疫情等非自然灾害,均有可能造成大量灾区群众需要集中安置,大量避难人员需要救助。灾害发生后,避难场所的应急功能实现及服务功能保障对应急救灾及灾后社会秩序的快速恢复至关重要。因此,在城乡建设与发展过程中,应进行避难场所的系统评估、规划与建设。

避难场所作为应急服务设施的一种,其区位选址被视作设施选址优化问题予以研究。P-中值模型、P-中心模型,集合覆盖模型和最大覆盖模型是避难场所选址采用的经典区位模型,后续发展应用的区位模型均为这 4 种经典模型的衍生与扩展。区位模型主要考虑避难场所间距、避难区域人口密度和避难人员步行速度等因素,以避难人员到达规划区范围内避难场所责任区所耗费的时间最短为目标确定选址地点^[14]。万福昆等^[15-17]以 P-中值和集合覆盖两个模型为基础,附加限制条件构建固定避难场所和中心应急避难场的区位模型,并通过 GIS 技术对所构建的区位模型进行求解。区位模型主要适用于新区的避难场所的规划选址。

无论上述何种区位模型,都无法解决选址过程中场所规模(容纳能力)与人口分布(空间需求)的问题。目前的解决方案是在空间布局、区位选定的基础上,通过避难场所覆盖范围划分与规模配置进行避难场所空间布局的二次优化^[18]。

避难场所覆盖范围划分与规模配置的研究主要集中于 3 种方法。1) 基于线性规划的选址—配置模型(location-allocation model, 简称 L-A 模型),将场所覆盖范围划分转化为运筹学数学规划问题,通过多目标的设定寻求最优或可行区位^[19-20]。L-A 模型与区位模型同为多目标最优化求解,均存在无法考虑场所规模的缺陷^[21]。2) 基于 GIS 空间分析划分覆盖范围^[22]。此方法的假设条件是人口的均匀分布,未能考虑人口密度问题,且同样无法考虑场所规模。3) 基于 Voronoi 图(Voronoi Diagram, 简称 VD)划分覆盖范围。VD 可以清晰表达 GIS 中的侧向邻近关系,较好地模拟现实中人们的邻近选择行为,兼具矢量和连续铺盖数据模型的基本特点,可以很好地分析空间覆盖范围和服务人口数的匹配度,克服了 L-A 模型和 GIS 空间分析未能考虑场所规模和人口密度的缺陷,是近年来使用较多的避难场所覆盖范围划分方法^[23]。

VD 有多种演变形式:有常规 VD(Ordinary VD, 简称 OVD)、加权 VD(Weighted VD, 简称 WVD)等。WVD 通过多影响因子的选取和权重的赋予,在确定每个场所责任区覆盖半径的基础上计算各场所的加权距离,从而确定责任区域。同时,依托 GIS 技术将场所责任区域与避难人员分布予以空间叠加,可视化地判断责任区域是否能够有效容纳区域范围内的避难人员^[18]。WVD 方法主要针对城市的建成区。在建成区,避难场所已完成了初步的规划与建设。但如果该建成区人口密集、避难场所数量少且分布不均、不同区域的人口密度与分布差异很大,已建避难场所不能完全满足局部区域避难人员的避难需求,采用区位模型进行全方位无障碍避难场所选址定位往往不太现实^[19],运用 WVD 方法则可以完成局部调整(新增或减少),避免重新规划^[14]。

在资源或服务总量有限且空间分布不均的情况下,空间可达性是避难场所布局优化的关键。叶明武等^[24]基于可达性理论,集成 2SFCA 算法和 ArcGIS 工具,研究城市公园的有效避难空间与居民的避难需求空间之间的平衡。王女英等^[25]基于 WVD 测算空间可达性,分析避难场所空间分布与人口分布的匹配性。魏本勇等^[26]基于 GIS 空间分析技术,从可达性、公平性和效率性 3 个方面

现“城市”“城市绿地”“城市应急”“建设”等,说明在此时期学者们主要通过对城市防灾减灾的关注和相关政策、标准的解读来证明系统规划和建设城市避难场所的必要性。2010年前后热点词汇中出现“应急管理”“空间布局”“应急避难”“可达性”“城市灾害”“应急疏散”“地震”“规划”“优化配置”等,说明在此时期学者们开始探究避难场所空间布局的理论和方法。2014年之后的热点词汇中出现“平灾结合”“公共安全”“仿真”“设计原理”“人员疏散”“拥挤度”“云存储”“云检索”等,说明避难场所研究进入更深入的探究阶段,同时引入信息化、大数据技术展开实践应用研究。

综上所述,国内避难场所研究经历了一个从理念推广到理论与方法系统探究且与实践应用并重的演变历程。

5 结论及展望

基于知识图谱的视角,对中国知网(CNKI)数据库中避难场所的相关学术论文(包括硕博论文)进行提炼,概括出我国避难场所的研究热点及主题,并分析研究主题的演变,得出以下结论。

1)国内避难场所研究经历了一个从理念推广到理论与方法系统探究且与实践应用并重的演变历程。

2)国内避难场所研究的主题及方向逐渐明朗与聚焦,适宜性评价、规划选址、平灾结合实践3个方面共同构成避难场所研究的主题及方向。同时,研究的视角、方法和内容等不断丰富和多元化。平灾结合、可达性等理念均有较成熟的方法予以实践,为指导应急避难场所规划设计与建设实践发挥了积极作用。

建议未来从以下几方面开展进一步研究:1)信息化、大数据技术的融合应用;2)基于“情景—应对”理论、场景仿真的动态选址研究;3)乡村、风景区应急避难系统的规划与建设;4)室内避难场所的评估及设置;5)灾时避难场所的运营环境、技术体系;6)避难场所区位决策支持系统的构建。

参 考 文 献

[1] 王丹丹,张孝奎,高玉坤.“适合就是最优解”,探

索我国应急避难场所发展路径——美、日两国应急避难场所发展现状分析[J].中国减灾,2022(7):50-53.

WANG D D, ZHANG X K, GAO Y K. "Fit is the best solution", explore the development path of emergency refuge in China - Analysis of the development status of emergency refuge in the United States and Japan[J]. Disaster Reduction in China, 2022(7): 50-53.

[2] 唐波,丘飞鹏,黄嘉颖.韧性城市视角下中国应急避难场所研究进展[J].现代城市研究,2017,32(9):26-31.

TANG B, QIU F P, HUANG J Y. Research progress of emergency shelter in China from the perspective of resilient city[J]. Modern Urban Research, 2017, 32(9): 26-31.

[3] 张学众,白羽彤.政府公共应急管理的大数据之“翼”——基于1563篇文献的VOSviewer计量分析[J].内蒙古财经大学学报,2021,19(4):99-103.

ZHANG X Z, BAI Y T. "wings" of big data in government public emergency management—VOSviewer metrological analysis based on 1563 documents[J]. Journal of Inner Mongolia University of Finance and Economics, 2021, 19(4): 99-103.

[4] 刘凤豹,朱喜钢,黄琴诗,等.基于文献计量的国内养老设施研究进展及趋势[J].现代城市研究,2020,35(6):33-40.

LIU F B, ZHU X G, HUANG Q S, et al. Progress of facilities for the elderly research and its evolution in china based on bibliometrics analysis[J]. Modern Urban Research, 2020, 35(6): 33-40.

[5] 苏建锋,张庆斌.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[J].震灾防御技术,2021,16(2):414-420.

SU J F, ZHANG Q B. Suitability evaluation of urban earthquake emergency shelter—A case study of the central city of Tianjin[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2021, 16(2): 414-420.

[6] 陈鹏,张继权,张立峰,等.城市地震应急避难所适宜性综合评判物元可拓模型及实证研究[J].环境工程,2016,36(S):1132-1136.

CHEN P, ZHANG J Q, ZHANG L F, et al. Analysis of the suitability of urban earthquake emergency refuge suitability comprehensive evaluation model and its empirical research[J]. Environmental Engineering, 2016, 36(S): 1132-1136.

[7] 周玉科,刘建文,梁娟珠.基于改进灰色关联的福州市避难所适宜性综合评价[J].地理与地理信息科学,2018,34(6):63-70.

- ZHOU Y K, LIU J W, LIANG J Z. Comprehensive suitability evaluation for emergency shelter based on improved grey relational analysis method in Fuzhou[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2018, 34(6): 63 – 70.
- [8] 王进, 吴亮, 郭亚容, 等. 嵩明主城区地震灾害应急避难场所适宜性评价[J]. *西南林业大学学报(社会科学版)*, 2020, 4(5): 73 – 79.
- WANG J, WU L, GUO Y R, et al. Evaluation of suitability of earthquake disaster emergency shelter in the main urban area of songming county[J]. *Journal of Southwest Forestry University(Social Sciences)*, 2020, 4(5): 73 – 79.
- [9] 侯吉龙. 城市公园绿地防灾避险功能评价与规划研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2014.
- HOU J L. Research on function assessment and planning of park green space with disaster prevention and danger avoidance in Dezhou City[D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2014.
- [10] 朱雅姿. 南宁市城市公园避震减灾适宜性评价[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- ZHU Y Z. Evaluation on the suitability of shock absorbers and disaster mitigation in Nanning City Park[D]. Nanning: Guangxi University, 2019.
- [11] 李自芮, 马帅之, 李国斌, 等. 基于 AHP 法的宁夏南部中小学地震应急避难场所减灾能力评估研究[J]. *震灾防御技术*, 2020, 15(3): 537 – 547.
- LI Z R, MA C Z, LI G B, et al. Evaluation of disaster reduction capability of earthquake emergency shelters in middle and primary schools in southern ningxia based on AHP[J]. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 2020, 15(3): 537 – 547.
- [12] 黄雍华. 基于 GIS 的上海市都市功能优化区应急避难场所适宜性评价与分析[D]. 上海: 上海师范大学, 2018.
- HUANG Y H. Evaluation and analysis on suitability of emergency shelter in Shanghai urban function optimization area based on GIS[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2018.
- [13] 刘建文. 面向地震灾害的福州市应急避难场所适宜性评价及布局优化[D]. 福州: 福州大学, 2018.
- LIU J W. Suitability evaluation and layout optimization of earthquake emergency shelters in Fuzhou city[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2018.
- [14] 李刚, 马东辉, 苏经宇, 等. 城市地震应急避难场所规划方法研究[J]. *北京工业大学学报*, 2006, 32(10): 901 – 906.
- LI G, MA D H, SU J Y, et al. Study of urban earthquake emergency shelters planning[J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2006, 32(10): 901 – 906.
- [15] 万福昆. 基于数学模型的社区避震疏散区划方法及应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2017.
- WAN F K. Study on the zoning method and application of community earthquake prevention and evacuation based on mathematical model[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017.
- [16] 李翔. 基于 GIS 的地震应急避难场所布局分析与优化研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.
- LI X. GIS-based layout analysis and optimization of earthquake emergency shelter—a case study of xi'an city[D]. Xian: Xi'an University of Architecture and Technology, 2016.
- [17] 张皓弛. 包头市主城区应急避难场所布局优化设计研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2021.
- ZHANG H C. Study on optimal layout design of emergency shelter in Baotou city[D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science & Technology, 2021.
- [18] 施益军, 王培茗, 刀认. 山地小城市应急避难场所布局优化研究——以云南剑川为例[J]. *现代城市研究*, 2016(5): 92 – 99.
- SHI Y J, WANG P M, DAO R. Research on the layout optimization of emergency shelters in small mountainous cities: a case study of Yunnan Jianchuan[J]. *Modern Urban Research*, 2016(5): 92 – 99.
- [19] 蒋蓉, 邱建, 邓瑞. 汶川地震前成都市避难场所应急能力评估[J]. *中国安全科学学报*, 2011, 21(10): 170 – 176.
- JIANG R, QIU J, DENG R. Emergency capacity assessment of earthquake emergency shelters in Chengdu city before Wenchuan earthquake[J]. *China Safety Science Journal*, 2011, 21(10): 170 – 176.
- [20] 张培, 张靖岩, 王佳, 等. 城市社区应急避难场所区位配置模型研究[J]. *中国安全科学学报*, 2015, 25(6): 172 – 176.
- ZHANG P, ZHANG J Y, WANG J, et al. Research on urban community emergency shelter location-allocation model[J]. *China Safety Science Journal*, 2015, 25(6): 172 – 176.
- [21] 赖文波, 谢瑞英, 黄永. 城市公园绿地应急避难场所规划利用综述[J]. *中国应急管理科学*, 2022(1): 44 – 55.
- LAI W B, XIE R Y, HUANG Y. A review on the planning and utilization of emergency refuge sites in urban parks and green spaces[J]. *China Emergency Management*

Science, 2022(1): 44 – 55.

[22] 刘伟, 孙蔚, 邢燕. 基于 GIS 网络分析的老城区教育设施服务区划分及规模核定——以天津滨海新区塘沽老城区小学为例[J]. 规划师, 2012, 28(1): 82 – 85.

LIU W, SUN W, XING Y. GIS network analysis based old city educational facilities service area zoning and scale calculation: Tianjin binhai new district old city primary school example[J]. Planner, 2012, 28(1): 82 – 85.

[23] 杨霞, 李大军. Voronoi 图的研究现状及发展趋势[J]. 中国西部科技, 2009, 30(8): 6 – 8.

YANG X, LI D J. Research status and development trend of voronoi diagram[J]. Science and Technology of West China, 2009, 30(8): 6 – 8.

[24] 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 – 103.

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 – 103.

[25] 王女英, 修春亮, 魏冶. 沈阳城市应急避难场所的识别、空间格局与服务功能[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(5): 75 – 79.

WANG N Y, XIU C L, WEI Z. Identification, spatial pattern and service function of emergency shelters in Shenyang city[J]. Areal Research and Development, 2017, 36(5): 75 – 79.

[26] 魏本勇, 谭庆全, 李晓丽. 北京市应急避难场所的空间布局与服务效能评估[J]. 地震研究, 2019, 42(2): 295 – 303.

WEI B Y, TAN Q Q, LI X L. Assessment on spatial distribution and service efficiency of emergency shelters in Beijing[J]. Journal of Seismological Research, 2019, 42(2): 295 – 303.

[27] 鲍小南. 北京市城区绿地防灾避险功能的研究[D]. 北京: 北方工业大学, 2018.

BAO X N. Study on the disaster prevention and risk avoidance function of urban greenland in Beijing[D]. Beijing: North China University of Technology, 2018.

[28] 孟城玉, 王健. 基于空间句法的城市绿地防灾避险功能布局研究——以北京市海淀区为例 [C]//中国风景园林学会 2018 年会. 贵阳: 中国风景园林学会, 2018: 686.

MENG C Y, WANG J. Research on layout of disaster prevention and avoidance function of urban green space based on space syntax -- Haidian district, Beijing as an example[C]// Proceedings of the Annual Meeting of the Chinese Society of Landscape Architecture. Guiyang: China Society of Landscape Architecture, 2018: 686.

[29] 张倩, 吴若晖, 邓捷铭, 等. 基于“高效空间”理念的城市应急避难场所规划设计——以三明市城市文化广场为例[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2019, 40(1): 80 – 89.

ZHANG Q, WU R H, DENG J M, et al. Planning and design of urban emergency shelter based on "high efficient space"-taking Sanming city cultural square as an example[J]. Journal of Ningxia University(Natural Science Edition), 2019, 40(1): 80 – 89.

[30] 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.

CHEN M L, CHEN C N. Research on the development and function of gymnasium as emergency refuge site[J]. Journal of Wuhan University of Technology(Information & Management Engineering), 2021, 43(1): 9 – 14.

[31] 曾雪松. 体育场馆兼作避难场所的设计探讨[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.

ZENG X S. The Design strategy of gymnasiums & stadiums as emergency shelters[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.

[32] 林子琳, 唐波. 基于 GIS 的学校型应急避难场所空间布局与优化——以汕头市濠江区为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(6): 37 – 40.

LIN Z L, TANG B. Spatial layout and optimization of school emergency shelter based on GIS: a case study of haojiang district of Shantou[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2018, 41(6): 37 – 40.

[33] 姜连艳. “平灾结合”推进室内地震应急避难场所建设的策略研究[J]. 震灾防御技术, 2019, 14(4): 838 – 845.

JIANG L Y. Research on promotion strategy of indoor emergency earthquake shelters based on integration for normal time and disaster time[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2019, 14(4): 838 – 845.

(编校: 叶超)