

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. [CHEN Chen, CHENG Lin and XIU Chunliang. Progress and prospects of urban disaster shelters[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(4): 165–171. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.028.]

城市避难场所相关研究进展与展望^{*}

陈晨¹, 程林², 修春亮³

(1. 西安外国语大学 旅游学院·人文地理研究所, 陕西 西安 710128; 2. 陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710119; 3. 东北大学 江河建筑学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要: 在阅读大量国内外文献基础上, 对避难场所相关概念进行归纳总结, 梳理避难场所相关研究的脉络, 分析避难场所相关研究的演变与发展。重点对评价和选址两大研究主题进行深入探讨与归纳总结。已有研究成果较为丰富, 但仍存在不足之处。目前, 避难场所相关概念较多, 尚无共识。已有研究对象多局限于绿地, 而对城市中其他能够保障居民灾时安全的开敞空间挖掘不够。空间布局研究较为零散, 方法有待更新, 评价结果难以深入到城市内部空间结构, 且忽略了居民避难行为的影响力。未来应①着力探索高效、规范的识别方法, 明确城市中能真正保障居民灾时安全的避难空间; ②强化灾害行为学研究, 基于居民灾时行为特征进行避难空间评价与选址; ③探讨避难空间在大城市蔓延与土地利用系统变化过程中的空间布局、演变特征与驱动力。

关键词: 避难场所; 概念; 评价; 选址; 避难空间

中图分类号: K90; X43; X915.5; P315 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)04-0165-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.028

纵观城市发展史, 安全一直是城市建设的首位要求。城市化进程体现在环境与景观变化上为各类要素不断拥挤, 城区蔓延式扩展, 生态空间不断被吞噬挤压, 空间结构愈加复杂。城市人工要素集中和对自然空间的排斥, 带来众多安全问题, 使其成为巨大承灾体。城市安全研究的重要目标之一是构建一个有完善防灾减灾体系的城市环境。而避难场所担负火灾与疾病隔离、应急疏散与避难生活、医疗救护、物资转运存储、通风导流等多重功能, 是城市防灾减灾体系及城市安全的核心。

目前, 与城市避难场所相关的概念较多, 且互相包含、较为零散, 尚无统一标准或共识。已有研究对避难场所的界定标准与安全性评价仍需进一步探讨。研究对象多局限于绿地, 而对城市中其他能够保障居民灾时安全的开敞空间挖掘不够。空间布局研究较为零散, 方法有待更新, 评价结果难以深入到城市内部空间结构, 而且忽略了居民避难行为的影响力, 所以, 对避难场所乃至城市防灾减灾体系的规划启示作用仍显不足。

本文在阅读大量国内外文献基础上, 梳理避难场所相关概念, 阐述城市避难场所相关研究进展, 重点对评价和选址两大研究主题进行深入探讨与归纳总结。同时, 对未来城市避难场所研究进行了展望, 以期丰富和深化城市避难场所研究视角和内容, 为促进城市避难场所合理布局, 完

善城市防灾减灾体系, 提高居民应急避难效率, 促进城市安全发展提供科学依据。

1 相关概念

1.1 避难场所与避震疏散场所

《城市应急避难场所建设技术标准》指出避难场所是具有一定规模和避难生活的基础设施, 以及按避难需求加固或新建的建筑, 其用于灾害发生时与发生后居民的疏散和避难。苏幼坡等认为避难场所为具有应急救灾设施的用于居民避难生活和紧急救援的场地与建筑^[1]。避震疏散场所则为地震发生时, 居民疏散与避难的场地和建筑^[2]。丁琳等则在避难场所概念基础上, 提出具有多种灾种应对能力的“综合避难场所”^[3]。

1.2 防灾公园

1993年日本《城市公园法实施令》第一次将具有避难场所和疏散通道功能的城市公园称为防灾公园, 包括具有广域防灾据点, 临时避难或中转站, 疏散和救援通道功能的公园, 以及能够减缓或防止地震及其次生灾害蔓延的缓冲绿地。防灾公园是防灾机能较强的公园^[4]。

1.3 防灾空间

根据《东京都都市复兴说明(1997)》, 城市防

^{*} 收稿日期: 2019-05-17 修回日期: 2019-07-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471141)

第一作者简介: 陈晨(1987-), 女, 蒙古族, 内蒙古包头人, 博士, 讲师, 主要从事城市安全及GIS应用方面的研究。

E-mail: chenc703@126.com

灾空间应为以下救援活动提供场地：①物资的输送，②避难所的开设，③临时屋的搭建。李繁彦认为城市防灾空间由避难据点和救灾通道动线系统构成。其中，避难据点系统按等级由高到低依次为中长期收容所、临时收容所、临时避难场所、紧急避难场所。救灾通道动线系统按等级由低到高依次为紧急避难通道、消防通道、运输与救援通道、紧急通道^[5]。吕元等认为防灾空间由生活、建设、支撑、影响与管理5大空间构成。其中，生活空间用于居民避难生活；建设空间由应急救灾设施用地构成；支撑空间指的是防灾空间的生态环境；影响空间为灾害蔓延和救援活动扩展的范围；管理空间指的是行政和防灾区划^[6]。

1.4 防护绿地、避灾绿地、减灾绿地(或防灾绿地)

防护绿地用于平时对灾害的预防，如防风林、绿化隔离带等。而避灾绿地则是具有避灾、减灾功能的城市绿地，包括可以提供避难场地的公园绿地，具有救灾通道和应急疏散功能的道路绿地，能够减缓或防止灾害蔓延的防护绿地。避灾绿地突出的是灾害发生后，绿地在避灾、减灾与救灾方面的作用，是城市应急避难场所的重要构成。而减灾绿地(或防灾绿地)则体现绿地在平时防御与灾时救灾、避灾的综合功能^[7]。

2 城市避难场所研究内容

2.1 城市避难场所评价

对避难场所的全面评估能够有效地提高其应急救灾能力与居民应急疏散效率。目前，避难场所评价集中于应急能力、可达性、服务效率、布局合理性、安全性与适宜性几方面。

2.1.1 微观视角的城市避难场所评价

微观视角研究深入单个避难场所内部进行评价，以吴宗之、黄典剑与苏幼坡为代表。吴宗之与黄典剑等最早采用层次分析法，以避难场所的功能特点为基础，从规划设计、软件环境与硬件设施三方面出发，选取相应评价指标，构造避难所应急能力评价体系，并建立起具有代表性的综合评价模型(图1)^[8-9]。此后，许多学者均在该模型基础上对不同情境下城市避难场所应急能力进行评估^[10-14]。

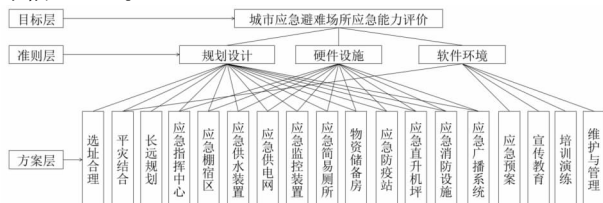


图1 避难场所应急能力评价体系

苏幼坡与马亚杰等的城市防灾公园安全性评价内容更加具体，除了硬件设施，还强调避难场所规模安全、环境安全与道路安全^[15]。此外，苏幼坡还在其城市防灾公园安全性评价体系基础上，给出各指标得分标准(图2)^[16]。朱丽娟等曾采用该评价体系及指标得分标准，对郑州市碧沙岗公

园进行安全性评价^[17]。王江波则综合吴宗之、黄典剑与苏幼坡等的研究，构建了“可达性、安全性、应急设施、规模容量和应急管理”五位一体的评价体系^[18]。

除了防灾公园等室外避难场所，作为避难场所重要组成的室内和地下避难场所也受学者们关注。相关研究成果集中于建筑学、工程学等领域，包括建筑技术与城市防灾减灾系统的关系^[19]，住宅类型与室内防灾策略^[20]，建筑环境和建筑组成^[21]，地下构筑主体与避难空间的设计模式^[22-23]，地上地下空间的综合建设模式^[24]，地铁站的结构和布局^[25]，体育场馆的顶盖结构和设施性能^[26]，以及图书馆的软硬件设施条件^[27]。

2.1.2 宏观视角的城市避难场所评价

避难场所应急能力(或安全性、适宜性等)的影响因素不仅包括自身的硬件设施、通道、规模与软件环境，还取决于区域(或城市)的自然与地质环境、人口分布、路网结构、建筑布局以及区域(或城市)的空间结构。季珏等深入城市内部空间要素，建立紧急避难场所识别模型，根据地质、地理等条件评价避难场所安全性，并以时间成本与人均避难面积衡量避难场所服务效率^[28]。此外，季珏还进一步深入探讨灾时居民心理和行为决策，结合地理环境(包括交通网络结构、居住区空间结构和人口密度，以及避难场所空间位置、面积容量、设施配备)，构建多主体模拟的疏散行为模型，评价避难场所服务效率^[29]。

总体上，现有研究多从区域(或城市)宏观视角，基于地理学空间分析方法，借助遥感与GIS技术，评价避难场所布局适宜性、可达性、服务覆盖率等。侧重空间、定量与案例研究，并以北京、上海、芝加哥、深圳等发达地区大城市为主要研究对象。

GIS栅格数据模型的运用。卡尔(Kar)等采用GIS栅格数据模型，综合洪灾影响区，危险源，与快速路、疏散通道和医疗卫生机构邻近度，以及人口分布状况等因素，评价南佛罗里达避难场所布局合理性^[30]。陈晨等认为城市人口、交通网络与避灾绿地三者的空间布局与匹配性是决定避灾绿地应急疏散效率的根本，因此，基于交通网络中心性，采用GIS栅格数据代数运算法，综合判断避灾绿地、交通网络与人口分布三者之间匹配性^[31]。

遥感与GIS的结合。这类研究以遥感技术为基础，提取道路、土地利用、居民地和住宅建筑、公园绿地和开敞空间等方面的地理数据，结合GIS网络分析、缓冲区、空间叠加等空间分析方法，通过有效面积或容量、通达性、覆盖范围等指标，来评价避难场所^[32-34]。此外，城市人口空间分布的昼夜差异所导致的避难场所救灾效率的昼夜差异也备受关注^[35]。有学者采用遥感影像提取的土地利用类型与人口普查数据，根据人口行为特征，分别评价白天与夜间避难场所满意度^[36]。辜智慧等则首次针对农村地区，运用数字高程模型、缓冲区与网络分析方法，综合评价避难场所安全性(地震、滑坡和泥石流，以及洪水危险性)、可达性(道路安全系数、距离成本)、面积与生活性(基础设施功能)^[37]。

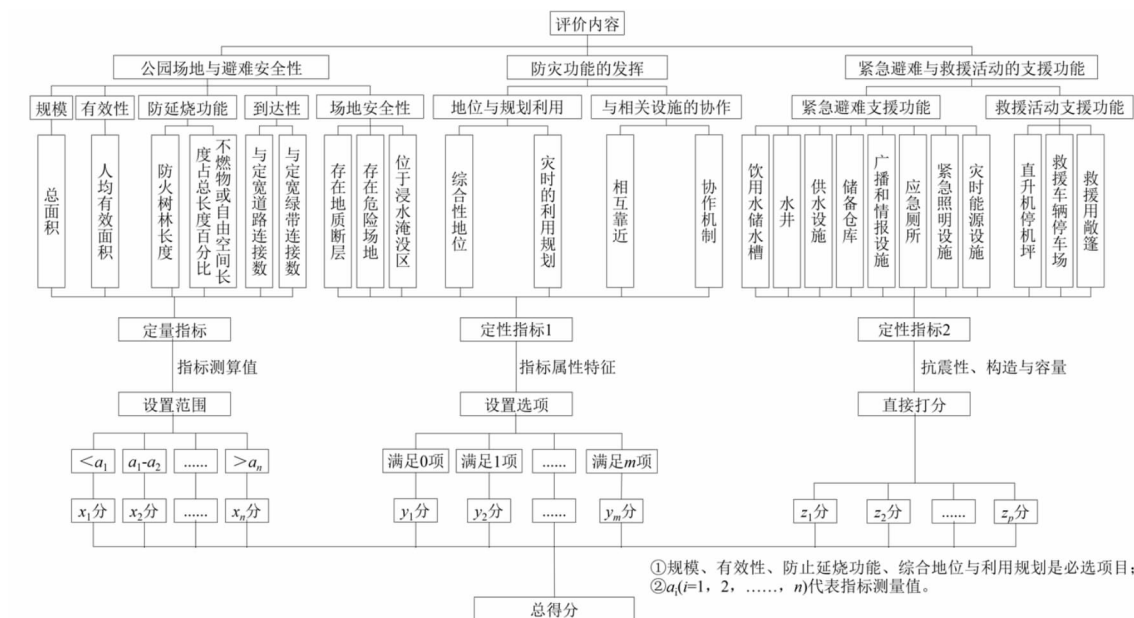


图2 防灾公园安全性评价模型

GIS 空间分析方法的运用。这类研究基于网络分析^[38-41]、泰森多边形^[42]与缓冲区分析法^[43-44], 结合城市人口分布与交通网络结构, 采用服务面积、服务人口与人均可达避难场所面积、服务重叠率与覆盖范围、人口配置缺口(避难人口总数与服务范围覆盖人口总数之差)等一系列指标定量评价避难场所应急能力(或适宜性、安全性等)。

可达性模型的运用。避难场所可达性研究多采用两步移动搜寻法(2SFCA)^[45-47]及其改进模型^[48-29]。其基本思想为: ①确定所有避难场所服务范围内的供需比, 用以衡量避难场所的应急救灾能力, ②搜索所有能为避难需求点提供应急避难服务的避难场所, 并将其供需比相加, 进而计算避难需求点的可达性^[50-51]。同时, 重力模型与空间句法也是测量避难场所可达性的重要方法^[52-53]。其中, 重力模型测量地理意义上的可达性, 而空间句法则测量几何意义上的可达性。此外, 还有学者运用服务人口比和服务面积比^[54], 服务范围和相应供需比^[55]等方法衡量避难场所可达性。对于强调应急救灾效率的避灾绿地而言, 多中心性评价模型可真实且直观地反映其可达性, 因此, 陈晨等采用交通网络中心性测度了避灾绿地的可达性^[56]。

2.2 城市避难场所选址

网络优化模型是避难场所选址模型的基础, 其可同时决定避难场所的位置与服务范围。

2.2.1 单目标选址模型

网络优化模型假设每个避难场所能无限满足需求点。而事实上, 当避难场所容纳人数超过其实际容量后, 就不再具有应急避难服务能力, 居民应按就近原则选择其他避难场所。因此, 有学者在避难场所选址问题中添加容量限制, 即最大容纳人口数约束条件^[57-59]。此外, 已有研究的前提是居民能有效到达给定避难场所。事实上, 人们往往限于信息不足而无法快速到达指定地点。因此, 周天颖等研究当避难场所无法使用、容量

超负荷或道路受阻时的紧急避难替代方案, 以便居民或决策者做出二次逃生的决定^[60]。网络优化模型中的避难场所与需求点相互重合, 即所有需求点均可作为避难场所, 而实际要计算的仅仅是需求点与避难场所结点间的距离。因此, 周晓猛等在其选址模型中分别定义了需求点与避难场所结点^[61]。

达拉勒(Dalal)等为节约投资, 将建设成本作为目标函数或约束条件更新了网络优化模型^[62-63]。周晓猛等则根据容量、距离、安全性、配套设施和疏散道路5个影响因素, 对以最小距离和为目标函数的选址模型进行加权^[61]。此外, 还有学者综合考虑避难场所的需求量以及与避难场所的距离, 构建了以最大准备度最大化为目标的选址模型。其中, 准备度为每个需求点被避难场所服务范围的覆盖程度^[64-65]。

多属性决策是避难场所选址的关键, 然而在实际过程中, 通常难以明确避难场所选址影响因素的权重。选址影响因素作用与度量方式不同, 有正向与负向作用, 也有定量与定性度量, 应分别加以考虑。同时, 在多数情况下, 避难场所选址影响因素权重设置的信息并不完善。因此, 初建宇等采用基于悲观准则的优化决策模型, 以每个方案接近负理想点或远离正理想点为目标, 求得各属性权重, 比较各方案的加权偏差值, 重构单目标选址模型, 以降低决策风险^[66]。

2.2.2 多目标选址模型

单目标选址模型仅能满足某一单项目标, 缺乏对避难场所选址影响因素的综合考虑。鉴于此, 有学者针对避难场所选址的不同影响因素, 构建多目标选址模型。艾达阿尔梅达(Alçada-Almeida)等较早引入多目标选址模型, 从规划决策者视角提出避难场所选址综合目标, 即总距离和最小、最优路径无法通过的风险最小、避难场所火灾风险最小、必要时将居民从其避难场所转移到其他避难场所时的总用时最小, 据此构建基于 p-中位

数的多目标选址模型^[67]。纳皮(Nappi)等通过总结临时避难场所的 10 个选址标准,构建了相应的选址标准等级体系^[68]。周亚飞等的多目标避难场所选址模型包括①服务域范围最大加权距离最小化,②避难场所被相应服务域内居民选择,③服务域内的居民被相应避难场所服务范围所覆盖三大目标^[69]。马丹祥、初建宇等则进一步给出避难场所选址影响因素(图 3),结合层次分析与信息熵,分别构建了基于场所责任区划分的多目标评价模型^[70]、多目标灰色评价模型^[71]和基于 TOPSIS 的多目标评价模型^[72]。马运佳通过探讨以最小化总疏散距离和最小化总面积为目标的 earthquake 灾害避难所选址多目标模型,并解释了距离约束和容量约束的意义和作用^[73]。

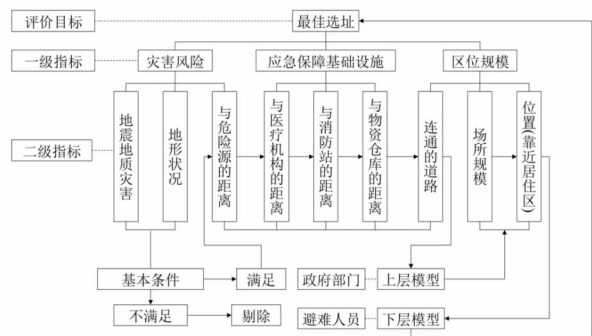


图3 避难场所选址评价模型

2.2.3 层级选址模型

城市避难场所选址中,有一类层级选址(Hierarchical Allocation)模型,即在不同等级空间体系或设施体系,以及不同区域范围内,确定避难场所的最佳位置和数量。其选址立足于对避难场所类型、层次体系和结构等的充分认识,根据避难需求层次性,形成有层次的功能定位。

孔萨克萨库尔(Kongsomsaksakul)、马丹祥、陈志宗等较早关注避难场所层级选址问题。孔萨克萨库尔(Kongsomsaksakul)基于博弈论构建了双层选址模型^[74],上层为决策层,以居民应急疏散时间最短为目标函数构建选址模型;下层采用综合交通分配模型,探讨居民如何在上层给定的避难场所中选择逃生路径与目的地。马丹祥等也曾构建了类似的双层选址模型,但其上层选址模型综合考虑了疏散距离、避难场所选址适宜性与建设成本^[75]。陈志宗等则基于高级和低级设施的相互从属与独立关系,给出两个阶段的避难场所层级选址模型:①在涵盖所有需求点的情况下,采用集合覆盖模型,计算最少的低级避难场所数量和位置;②高等级独立型避难场所层级选址使用最大覆盖准则,从属型避难场所层级选址则使用极小和准则^[76]。

徐波等构建了市、区、社区 3 级防灾空间优化模型:①基于高一级防灾空间到低一级防灾空间距离加权和最小,构建基于距离和最小的单目标选址模型;②基于高一级防灾空间覆盖价值总和最大,构建最大覆盖人口单目标选址模型^[77]。陈志芬等根据规划性选址、老城新选址、补充性选址的特点,分别构建选址模型。规划性选址以距

离加权和最小为目标。老城新选址是在备选点确定、数量和容量均有限的条件下进行的,所以加入最大容量约束条件。补充性选址的前提是备选点确定、数量和容量有限、保留已有设施,根据已有设施层次不变和升级两种情况,加入设施升级成本约束条件^[78]。

2.2.4 基于 GIS 的选址模型

GIS 以地理数据库为基础,具有强大的空间分析功能,可增强避难场所选址模型建立的实时性、准确性和高效性。其专题地图功能则可提高数据与结果的直观性和可视性。此外,GIS 数据参照同一空间坐标系,利于集成化解决不同领域共享数据和结果的问题。

高木-关野避难场所选址决策系统(Takagi-Sugeno decision-making, TSDMK)是高木-关野模糊选址模型和 GIS 技术结合的典型代表。该系统能处理精度不高、模糊和具有不确定性的 GIS 数据,并集成了多数图层管理技术^[79]。艾达阿尔梅达(Alçada-Almeida)等开发了基于 GIS 的多目标避难场所选址决策系统。该系统能确定火灾情况下避难场所的位置和数量,居民的逃生线路,以及疏散线路受阻或避难场所无法使用时的备选路径与避难场所^[67]。吴健宏等结合图层叠加、网络分析、泰森多边形 3 大 GIS 技术和基于带强制距离限制的最大覆盖的多目标优化模型^[80]来优化城市避难场所数量、选址和服务区。然而,已有避难场所选址需多种模型与工具配合,操作步骤繁琐、计算量大。据此,张浩等以 ArcGIS Engine 和 Matlab 为技术平台,开发了 GIS 与选址模型的集成系统(图 4)^[81]。近年来,於家等基于 GIS 构建了政府智能体、避难所智能体和居民智能体三类应急疏散智能体,并根据模拟结果进行应急避难所的空间配置和选址^[82]。

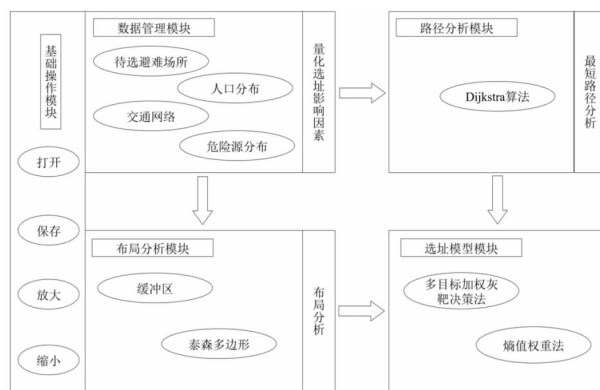


图4 避难场所选址系统结构

3 研究评述与展望

目前,避难场所评价与选址研究成果较为丰富,但仍存在不足之处。首先,已有研究所面对的避难场所通常经规划而建,属于政府行为。在以追求经济发展的大规模高密度城市中,避难场所规划建设力度通常较小,甚至让位于经济建设,不能满足城市日益增长的人口需求,特别是在高

度密集化的城市中心区, 与之匹配的避难场所往往较少, 避难场所供不应求现象更为突出。一些学者曾依据植被遥感监测技术识别有绿化覆盖的地块, 并将面积在 1000m^2 以上的绿地斑块作为有效避难场所^[28], 从而在很大程度上扩大了避难场所的范围。而事实上, 城市中仍然有许多能够保障居民灾时安全的避难空间有待挖掘, 避难空间判断标准和评价体系仍需探讨。其次, 避难场所评价和选址研究要紧密结合居民避难行为特征, 以加强研究结果的启示作用。最后, 应深入城市内部空间结构, 加强避难空间在大城市蔓延与土地利用系统变化过程中的空间布局、演变特征与驱动力。具体应从以下几方面加以深入研究。

3.1 探索高效、规范的避难空间识别方法

随着高分辨率遥感影像与测绘数据的获取性增强、土地利用的规范化以及 GIS 技术的发展, 城市空间环境信息的提取与整合愈加高效。因此, 未来应进一步基于遥感与现代信息技术, 挖掘城市中能够真正保障居民灾时安全的避难空间, 进一步扩展避难场所范畴, 保障居民避难需求, 将具有一定学术价值和现实意义。具体可借助遥感影像处理技术, 提取并排除城市中无法避难的空间要素(包括建筑物、道路和水域等), 将剩余空间作为候选避难空间, 通常为城市的各类开敞空间。然后, 在已有评价指标体系基础上, 进一步量化评价指标, 构建有效性与安全性评价体系, 对候选避难空间展开评价, 进而获取避难空间。其中, 有效性评价应保障避难空间地势开阔平坦, 且达到一定有效面积与适宜坡度; 安全性评价应根据城市致灾因子波及范围和可能的受灾程度来判断候选避难空间是否处于安全区域。

此外, 仍需借助实地调查法, 针对基于遥感影像无法确认的避难空间予以确认或排除。并对避难空间有效性和安全性进行实地抽样调查, 验证避难空间识别与评价方法的可靠性。

3.2 强化灾害行为学的研究

灾害发生时最难预测与控制的便是居民的避难行为。居民灾时的心理特征、从众行为、对周边环境的认识、避难路径的选择、对安全避难知识的掌握程度等主观因素, 均在不同程度上影响居民实际的目的地选择和逃难距离或范围, 进而影响了避难场所实际的需求量、服务域与可达性, 以及避难场所的服务效率与应急能力等。一些学者针对理性与非理性避难者行为特征研究实际避难需求, 进而衡量避难场所服务效率^[29, 83], 以更精细化的尺度评价避难场所服务质量, 为改进传统评价方法提供支撑, 评价结果更加贴近实际。但其研究通过模型模拟避难者避难场所的选择、奔跑、安置等关键疏散行为过程, 在居民主观因素数据无法获取的情况下, 难以普及。因此, 未来应在强化灾害行为学研究基础上, 加大居民灾时行为调查力度(问卷调查和访谈), 结合居民灾时行为特征进行避难场所评价与选址, 使研究结论更加科学且切合实际, 提高避难场所配置效率。

3.3 探讨避难空间演变特征及驱动力

探讨大城市蔓延与土地利用系统变化过程中

避难空间的空间布局、演变特征与驱动力, 将丰富避难场所相关的研究视角与内容, 并为城市防灾减灾体系建设提供依据。

(1) 避难空间规模与空间演变特征。随着城市用地结构与规模演变, 避难空间规模与空间分布特征也会随之变化。一方面, 城市建设用地扩张与城市建设活动不断吞噬和挤压避难空间, 使之破碎化与边缘化; 另一方面, 城市各类用地又会因公园、广场、绿地等的建设成为新的避难空间, 使避难空间得以扩张。未来可结合遥感与 GIS 技术, 实现: ①避难空间矢量化与几何量算, 测得避难空间数量、面积、密度等的变化幅度; ②多年份避难空间数据的叠加, 分析避难空间演变的空间特征。

(2) 避难空间等级结构演变特征。在理想的均质地表情况下, 最优避难空间等级体系应符合中心地体系。其中, ①中心避难空间等级高, 规模大, 处于中心位置, 服务较大区域; 紧急避难空间等级低, 规模小, 属于一级避难据点, 灾害发生后居民第一时间就能够到达, 通常为居住小区级, 服务范围较小; 固定避难空间是中心避难空间与紧急避难空间之间的过渡。②紧急避难空间仅需满足居民短时间基本站立空间需求, 而固定与中心避难空间不仅要为居民提供中长期避难生活场所, 还需提供紧急避难服务。然而, 受土地供给与需求、建设用地规模扩张、土地利用结构变化、人口密度增加等因素影响, 大规模高等级避难空间碎化为小规模低等级避难空间, 或由于占地面积大而被排斥到人口稀疏的城市外围, 而人口密集的城市中心只能保留规模较小的低等级避难空间, 甚至没有避难空间^[31, 56]。此时, 避难空间等级体系不完全符合中心地体系, 而发生了偏移。那么, 避难空间等级体系发生了怎样的偏移? 偏移后呈现什么特征? 什么样的等级体系趋于最优? 需要论证。

(3) 避难空间演变驱动力分析。影响城市避难空间演变的因素众多, 各因素之间相互作用与博弈, 而不是简单的线性关系。因此, 分析避难空间演变的影响因素, 建立合理的演变驱动力模型, 明确主导性驱动力, 将有助于了解避难空间演变规律与复杂性。

参考文献:

- [1] 苏幼坡, 王兴国. 城镇防灾避难场所规划设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] 中华人民共和国建设部. 城市抗震防灾规划标准(GB 50413-2007)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 丁琳, 翟国方, 李莎莎, 等. 多灾种应对的城市综合避难场所规划研究[J]. 城市规划, 2015, 39(9): 107-112.
- [4] 苏幼坡, 马亚杰, 刘瑞兴. 日本防灾公园的类型、作用与配置原则[J]. 世界地震工程, 2004, 20(4): 27-29.
- [5] 李繁彦. 台北市防灾空间规划[J]. 城市发展研究, 2001, 8(6): 1-8.
- [6] 吕元, 胡斌. 城市防灾空间理念解析[J]. 低温建筑技术, 2004(5): 36-37.
- [7] 徐波, 郭竹梅. 城市绿地的避灾功能及其规划设计研究[J]. 中国园林, 2008, 24(12): 56-59.
- [8] 吴宗之, 黄典剑, 蔡嗣经, 等. 基于模糊集值理论的城市应急

- 避难所应急适应能力评价方法研究[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(6): 102-105.
- [9] 黄典剑, 吴宗之, 蔡嗣经, 等. 城市应急避难所的应急适应能力: 基于层次分析法的评价方法[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(1): 52-58.
- [10] 潘安平. 沿海农村台风“避难所”的配置合理性评价模型[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(1): 10-18.
- [11] 张晓峰, 杨芳, 程春娥, 等. 城市应急避难场所安全评价方法研究[C]//中国消防协会. 中国消防协会科学技术年会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 2011.
- [12] 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.
- [13] 钱洪伟, 尹香菊, 佟艳. 基于制约因素的城市应急避难场所运行能力评价指标体系构建: 以汶川地震时某城市应急避难场所为例[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(6): 158-164.
- [14] 熊焰, 梁芳, 乔永军, 等. 北京市地震应急避难场所减灾能力评价体系的研究[J]. 震灾防御技术, 2014, 9(4): 921-931.
- [15] 马亚杰, 苏幼坡, 刘瑞兴. 城市防灾公园的安全评价[J]. 安全与环境工程, 2005, 12(1): 50-52.
- [16] 苏幼坡. 避难所的安全评价[J]. 现代职业安全, 2009(1): 84-86.
- [17] 朱丽娟, 苏阳. 防灾公园的安全性评价: 以碧沙岗公园为例[J]. 中国农学通报, 2013, 29(7): 191-196.
- [18] 王江波, 戴慎志, 苟爱萍. 城市避难场所应急服务能力评价方法与规划应对[J]. 规划师, 2014(10): 104-109.
- [19] 张菡. 灾后重建的建筑学应答: 以都江堰市灾后重建实际项目为例[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013.
- [20] 徐梦一. 建筑学视角下我国城市(城镇)集合住宅地震防灾对策之研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [21] 冯磊. 基于抗震策略的建筑设计研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [22] 谢金容, 吴涛, 陈志龙. 地下空间防火避难空间设计初探[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(7): 1204-1207.
- [23] 闫鹏, 王泓, 王颖华. 地下建筑避难空间设计探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(1): 12-15.
- [24] 王海阔, 陈志龙. 城市避难场所与地下空间复合开发模式探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(4): 631-634.
- [25] 陈咏锋, 罗莉, 肖津. 基于计算机建模的地下空间应急避难研究: 以南京新街口地铁站为例[C]//中国灾害防御协会风险分析专业委员会. 中国灾害防御协会风险分析专业委员会年会, 南京: 中国科学出版社, 2012.
- [26] 武陈. 体育场馆作为救灾的避难场所的功能和作用研究[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 175-179.
- [27] 罗继. 图书馆作为灾害紧急避难所的可行性分析与研究[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 181-186.
- [28] 季珏, 高晓路. 紧急避难场所震灾服务效率的评价方法及实证: 以北京市海淀区为例[J]. 地理研究, 2014, 33(11): 2105-2114.
- [29] 季珏, 高晓路, 徐匆匆, 等. 基于疏散行为的震灾避难场所服务效率评价[J]. 地理科学进展, 2017, 36(8): 965-973.
- [30] KAR B, HODGSON M E. A GIS-based model to determine site suitability of emergency evacuation shelters[J]. Transactions in GIS, 2008, 12(2): 227-248.
- [31] 陈晨, 修春亮, 程林. 基于多中心性评价模型的大城市避灾绿地-交通网络-人口匹配性空间分异: 以沈阳市中心城区为例[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 219-225.
- [32] 叶明武, 王军, 陈振楼, 等. 基于3S的城市绿地公园防震避难适宜性评价[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(5): 156-163.
- [33] 辜智慧, 庄苏玲, 陈达写. 城市开敞空间的避难容灾能力评价研究: 以深圳市南山区为例[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(3): 150-155.
- [34] 高晓路, 王坤鹏, 季珏. 城市防灾避难空间安全性的评价: 以北京市紧急避难场所为例[J]. 人文地理, 2013, 28(6): 49-54.
- [35] 戚伟, 李颖, 刘盛和, 等. 城市昼夜人口空间分布的估算及其特征: 以北京市海淀区为例[J]. 地理学报, 2013, 68(10): 1344-1356.
- [36] YU J, WEN J. Multi-criteria satisfaction assessment of the spatial distribution of urban emergency shelters based on high-precision population estimation[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2016, 7(4): 413-429.
- [37] 辜智慧, 徐伟, 袁艺, 等. 农村灾害避难场所布局规划评价研究: 以四川省小鱼洞镇为例[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 115-119.
- [38] LEE Y L, ISHII H, TAI C A. Earthquake Shelter Location Evaluation Considering Road Structure[C]//Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, Kaohsiung, Taiwan: IEEE, 2008: 495-497.
- [39] 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.
- [40] 刘少丽, 陆玉麒, 顾小平, 等. 城市应急避难场所空间布局合理性研究[J]. 城市发展研究, 2012, 19(3): 113-117.
- [41] 李阳力, 王培茗, 程思. 基于网络分析法的绵阳市固定应急避难场所布局评价研究[J]. 世界地震工程, 2015, 31(4): 243-249.
- [42] 武文杰, 朱思源, 张文忠. 北京应急避难场所的区位优势配置分析[J]. 人文地理, 2010, 25(4): 41-44.
- [43] 张灿强, 张彪, 李文华, 等. 北京城区绿地防灾避险功能评估[J]. 地理研究, 2012, 31(12): 2301-2309.
- [44] 周爱华, 张景秋, 付晓. 北京城区长期避难场所空间布局研究[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(3): 151-156.
- [45] 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): 96-98.
- [46] 周爱华, 付晓. 基于两步移动搜寻法的北京城区应急避难场所可达性研究[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(6): 250-253.
- [47] 周爱华, 张景秋, 张远索, 等. GIS下的北京城区应急避难场所空间布局与可达性研究[J]. 测绘通报, 2016(1): 111-114.
- [48] 杨晓春, 周晓露, 万超. 城市公共开放空间可达性综合评价的研究框架[C]//中国城市规划协会. 中国城市规划年会论文集, 青岛, 2013.
- [49] 周爱华, 张景秋, 杜姗姗, 等. 一种北京城区避难场所可达性评价方法[J]. 测绘科学, 2017, 42(1): 88-92.
- [50] LUO W, Wang F. Measures of Spatial Accessibility to Health Care in A GIS Environment: Synthesis and A Case Study in the Chicago Region[J]. Environment and Planning B: Planning & Design, 2003, 30(6): 865-884.
- [51] WANG F. Quantitative Methods and Socio-Economic Application in GIS[M]. London, UK: CRC Press, 2015.
- [52] DOU K, Zhan Q. Accessibility analysis of urban emergency shelters: Comparing gravity model and space syntax[C]//International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China: IEEE, 2011.
- [53] JIANG B, CLARAMUNT C, BATTY M. Geometric accessibility and geographic information: Extending desktop GIS to space Syntax[J]. Computers Environment & Urban Systems, 1999, 23(2): 127-146.
- [54] 刘少丽, 顾小平, 裴友法, 等. 徐州市避震疏散场所的可达性与公平性[J]. 经济地理, 2012, 32(3): 69-74.
- [55] UNAL M, USLU C. GIS-Based accessibility analysis of urban emergency shelters: the case of Adana city[J]. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 2016, XLII-2/W1: 95-101.
- [56] 陈晨, 修春亮. 基于交通网络介数中心性的沈阳市避灾绿地可达性[J]. 中国园林, 2016, 32(3): 122-127.
- [57] 黄河潮, 林鹏, 卢兆明. P-中位数法在城市应急避难所规划中的应用[J]. 应用基础与工程科学学报, 2004(12): 62-66.
- [58] 李久刚, 唐新明, 刘正军, 等. 基于行程距离最优及容量受限的避难所分配算法研究[J]. 测绘学报, 2011, 40(4): 489-494.
- [59] Kılçı F, KARA B Y, BOZKAYA B. Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey[J]. European Journal of Operational Research, 2015, 243(1): 323-332.
- [60] 周天颖, 简甫任. 紧急避难场所区位决策支持系统建立之研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(1): 17-24.
- [61] 周晓猛, 刘茂, 王阳. 紧急避难场所优化布局理论研究[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(7): 118-121.
- [62] DALAL J, MOHAPATRA P K J, MITRA G C. Locating cyclone

- shelters: A case[J]. *Disaster Prevention & Management An International Journal*, 2007, 16(2): 235–244.
- [63] HU F, XU W, LI, X. A Modified particle swarm optimization algorithm for optimal allocation of earthquake emergency shelters[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(9): 1643–1666.
- [64] WEI L, LI W, LI K, et al. Decision Support for Urban Shelter Locations Based on Covering Model[J]. *Procedia Engineering*, 2012, 43: 59–64.
- [65] 袁昉, 刘杨, 朱思洪, 等. 应急避难场所选址最大准备度覆盖模型及其算法[J]. *自然灾害学报*, 2015, 24(2): 8–14.
- [66] 初建宇, 马丹祥, 苏幼坡. 基于理想点的已知部分属性权重信息中心避难场所选址方法研究[J]. *自然灾害学报*, 2012, 21(4): 28–32.
- [67] Alcada – Almeida L, Tralhão L, Santos L, et al. A Multi – objective approach to locate emergency shelters and identify evacuation routes in Urban Areas[J]. *Geographical Analysis*, 2009, 41(1): 9–29.
- [68] NAPPI M M L, SOUZA J C. Disaster management: Hierarchical structuring criteria for selection and location of temporary shelters[J]. *Natural Hazards*, 2015, 75(3): 2421–2436.
- [69] 周亚飞, 刘茂, 王丽. 基于多目标规划的城市避难场所选址研究[J]. *安全与环境学报*, 2010, 10(3): 205–209.
- [70] 马丹祥, 初建宇, 王政, 等. 基于多目标规划的防灾避难场所选址模型研究[J]. *自然灾害学报*, 2015, 24(2): 1–7.
- [71] MA D, CHU J, LIU X, et al. Study on evaluation of earthquake evacuation capacity in village based on multi – level grey evaluation[J]. *Systems Engineering Procedia*, 2011, 1(1): 85–92.
- [72] CHU J, SU Y. The application of TOPSIS method in selecting fixed seismic shelter for evacuation in Cities[J]. *Systems Engineering Procedia*, 2012, 3: 391–397.
- [73] 马运佳, 赵秀娟, 秦连杰, 等. 多约束多目标的灾害避难所选址优化研究——以海南省文昌市为例[J]. *灾害学*, 2018, 33(1): 218–224.
- [74] KONGSOMSAKSUKUL S, YANG C, CHEN A. Shelter location – allocation model for flood evacuation planning[J]. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2005, 6: 4237–4252.
- [75] 马丹祥, 苏幼坡, 初建宇, 等. 基于双层规划的避难场所选址与责任区划分模型[J]. *世界地震工程*, 2015, 31(4): 139–145.
- [76] 陈志宗, 尤建新. 城市防灾减灾设施的层级选址问题建模[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(2): 131–135.
- [77] 徐波, 关贤军, 尤建新. 城市防灾避难空间优化模型[J]. *土木工程学报*, 2008, 41(1): 93–98.
- [78] 陈志芬, 李强, 陈晋. 城市应急避难场所层次布局研究(Ⅱ): 三级层次选址模型[J]. *自然灾害学报*, 2010, 19(5): 13–19.
- [79] TSAI C, CHEN C, CHIANG W, et al. Application of geographic information system to the allocation of disaster shelters via fuzzy models[J]. *Engineering Computations*, 2008, 25(1): 86–100.
- [80] 吴健宏, 翁文国. 应急避难场所的选址决策支持系统[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2011, 51(5): 632–636.
- [81] 张浩, 赵云胜, 桂俊. 基于 Arcgis engine 和 Matlab 的避难场所选址系统开发及应用[J]. *中国安全生产科学技术*, 2015, 11(7): 62–67.
- [82] 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): 1458–1475.
- [83] MANLEY M, KIM Y S. Modeling emergency evacuation of individuals with disabilities (Exitus): An agent – based public decision support system [J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(9): 8300–8311.

Research Progress and Prospect of Urban Shelters

CHEN Chen¹, CHENG Lin² and XIU Chunliang³

(1. *School of Tourism & Research Institute of Human Geography, Xi'an International Studies University, Xi'an 710128, China*; 2. *School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China*; 3. *Jangho School of Architecture, Northeastern University, Shenyang 110819, China*)

Abstract: On the basis of a large number of domestic and foreign literature, the relevant concepts of refuge are summarized and combed, and the evolution and development of relevant research on refuge are analyzed. Emphasis is laid on the in-depth discussion and summary of the two major research topics of evaluation and site selection. Research results are abundant, but shortcomings are still existed here and there. At present, there are many concepts related to shelters, and there is no consensus. Most of the existing research objects are limited to green space, but there is not enough excavation of other open space in cities to ensure the safety of residents during disasters. The research on spatial layout is scattered, and the methods need to be updated. The evaluation results are difficult to penetrate into the urban internal spatial structure, and the influence of residents' refuge behavior is neglected. In the future, efforts should be made to explore efficient and standardized identification methods to clarify the shelter space that can truly guarantee the safety of residents in disaster situations; to strengthen the study of disaster behavior, to evaluate and locate the shelter space based on the behavior characteristics of residents in disaster situations; and to explore the process of the spread of shelter space in large cities and the change of land use system. Spatial layout, evolution characteristics and driving forces.

Key words: shelter; concept; evaluation; location; shelter space