

自然灾害避难所区位布局研究进展^{*}

徐 伟^{1,2}, 胡馥妤^{1,2}, 明晓东^{1,2}, 杜 鵬^{1,2}, 李 颖^{1,2}, 辜智慧³, 葛 怡⁴

(1. 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学民政部—教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 3. 深圳大学 建筑与城市规划学院, 广东 深圳 518060; 4. 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京大学环境学院, 江苏 南京 210093)

摘 要:规划建设灾害避难所是减轻灾后人员伤亡最积极而有效的途径之一, 灾害避难所的研究也越来越受到关注。从避难所区位布局原则和模型两个方面, 系统归纳了灾害避难所区位优化布局研究工作所取得的进展和存在的主要问题, 并对未来避难所研究进行了展望。分析表明: 目前的灾害避难所研究存在只针对城市地区、服务的灾种单一、适宜性评价指标系统庞大且操作困难、对灾害的不确定因素考虑不足等问题。加强乡村避难场所的研究、考虑多灾种综合的避难场所规划、简化适宜性评价指标体系、考虑灾害模型中的不确定性因素、提高模型的解算效率以及注重考虑人的避灾行为等, 是未来灾害避难所区位布局研究的重点。

关键词: 灾害避难所; 布局原则; 选址模型; 评价模型

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)04-0143-09

0 引言

随着经济的高速发展与城市化进程的加快, 自然灾害造成的损失也在日益增加^[1], 特别是在人口密集的危害频发区, 越来越多的人们遭受到各种自然灾害的影响^[2-3]。随着自然灾害与发展之间的密切联系被广泛认可^[4], 如日本^[5-6], 美国^[7-10], 中国^[11]等国纷纷将灾害避难所建设纳入到城市规划中, 把灾害避难所建设作为城市应急体系建设的一项重要内容。科学合理地规划和建设灾害避难所对城市防灾具有非常重大的意义。然而, 在实际的避难所规划以及减灾避难活动中, 还存在诸多问题。如规划的避难所距离过远或路径不畅通, 居民未能及时抵达^[12-13], 或没有实现合理规划而秩序混乱^[14]等问题。因此合理有效地规划灾害避难所, 特别是其区位, 使人们能更快速、安全地到达附近的灾害避难所, 对降低灾民的死亡率有着重要的作用。学术界也纷纷开展了灾害避难所的各项研究工作, 在实际中, 如何确定灾害避难所的位置与规模, 以及规划最佳的避

难路径和服务范围等一直是科学工作者面临的重大挑战, 也是防灾减灾人员面临的重大难题。特别是对处在避难所建设初步阶段、经验缺乏的我国, 这一项工作尤为迫切和重要。对灾害避难所的建设及其研究, 既是一项非常迫切的任务, 也具有非常大的挑战性。

为此, 本文在综述分析国内外自然灾害避难所区位布局工作的基础上, 总结当前灾害避难所区位布局研究工作的现状与进展情况, 以及存在的主要问题, 试图对灾害避难所的未来研究工作进行展望, 以期今后灾害避难所区位布局研究提供一些建议。

1 灾害避难所区位研究重点

尽管灾害避难所的研究历史较短, 但随着灾害问题的愈加严重和避难需求的增加, 灾害避难所研究得到了学者的广泛关注并取得了一些进展。总体说来灾害避难所的研究主要集中在两个方面: 其一是区位布局原则, 即对避难所规划的指标和实施标准进行研究; 其二是区位布局模型, 即通

^{*} 收稿日期: 2013-03-26 修回日期: 2013-05-10

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41201547); 国家重点基础研究发展计划课题(2012CB955404); 教育部-国家外国专家局高等学校创新引智计划项目(B08008); 国家科技支撑计划课题(2013BAK05B02)

作者简介: 徐伟(1979-), 男, 浙江诸暨人, 副教授, 主要从事自然灾害风险管理、社区安全研究. E-mail: xuwei@bnu.edu.cn

通讯作者: 葛怡(1978-), 女, 江苏吴江人, 博士, 主要从事灾害风险评估与管理研究. E-mail: geyi@nju.edu.cn

过构建模型对避难所区位的确定、责任区的划定和适宜性进行评价分析，这是灾害避难所研究工作的重点和核心。

图 1 中展示了灾害避难所区位布局研究中各个部分间的关系。其中，区位布局原则是灾害避难所的首要研究工作，直接指导区位布局模型指标的选取，为其奠定了理论基础。区位布局模型是灾害避难所的重要研究工作，主要包括适宜性评价模型、责任区划分模型和区位选择模型。区位选择模型的研究是通过量化灾害避难所的区位布局原则，主要包括安全性、可达性、容纳性等方面，并构建具有一定约束与目标函数的优化模型，从多个候选场址中选取若干个最优场址作为避难所；适宜性评价模型的研究是依据区位布局原则，构建一系列的评价指标，对已规划的灾害避难所或候选场址进行避难适宜性分析；责任区域划分模型的研究是对一定区域内的灾害避难所进行服务范围划分，主要依据避难所的容纳性、可达性与居民的避难意愿，科学合理地将区域内的每个居民分配到指定的灾害避难所。此三个研究方向虽侧重点有所不同，但其发展相辅相成。适宜性评价模型和责任区域划分模型能反馈区位选择模型的应用效果，促进选址结果的合理调整；区位选择模型结果的合理性直接影响着适宜性评价模型与责任区域划分模型结果的合理性；责任区域划分模型结果的合理性可由适宜性评价模型进行分析。

了国内外部分学者提出的避难所区位布局原则。从表中可以看出，大多数学者认为安全性、可达性、容纳性和生活性是避难所区位布局时最应该关注的四个方面。安全性是指避难所场地的安全、建筑结构的安全和避难路径的安全等，避难所应设在灾害低危险区，场内的建筑应该具有良好的抗震、防风、防火等功能，避难路径选择时也应该避开灾害高危区。可达性是指避难路径的通达情况，通常可以用避难疏散时间或避难距离来衡量，一般避难时间以步行 10 min 之内为宜。容纳性也叫收容性，是指避难所需要具备一定的避难空间，一般以人均 1~2 m² 的标准来衡量，以满足避难人员的最低需求。安全性、可达性和容纳性是避难所必需具备的三大基本功能。生活性，是指避难场所是否具有适合灾民生活的设施，如饮食与饮用水的供应程度，生活排水便利性等，在设计中长期避难所时，往往需要考虑这一因素。除了这四个方面之外，连通性和熟知性也受到了一些学者的关注。连通性，是指避难所与外界资源之间的连通程度，较好的连通性有助于避难所中的灾民随时掌握灾情与救援动态，有助于救援人员和救援物资能够及时到达。熟知性，是指居民对避难所区位和避难路径的熟知程度，较高的熟知性，便于灾民能快速到达避难所，适应避难所的环境，这也是避难所布局时需要考虑的原则。此外，在避难所区位布局时，部分学者提出还应该考虑与区域可持续发展之间的协调关系，做到平灾结合、远近结合、综合减灾、持续发展。

1.2 灾害避难所的区位布局模型

按照灾害避难所建设的不同阶段，笔者将其区位布局的研究工作分为三大方面：对于已建设好灾害避难所的区域，学者往往是对避难所进行适宜性评价，以及对责任区划分（即 Allocation 问题）的研究；对于尚未确定避难所建设区位和数量的区域，学者则较为注重区位选择（即 Location 问题）的研究。下边着重从这三个方面，对灾害避难所的研究进展进行综述。

1.2.1 适宜性评价模型

对已规划的灾害避难所进行适宜性评价，可以检验其布局的合理性，提高政府避难所规划的执行，从而为调整避难所区位布局工作（包括增加新的灾害避难场所、扩展场所容量等）或区域整体规划提供科学依据。灾害避难所的适宜性评价一般分为两个步骤，首先选取一系列具有代表性并较为独立的指标，构建适宜性评价指标体系；然

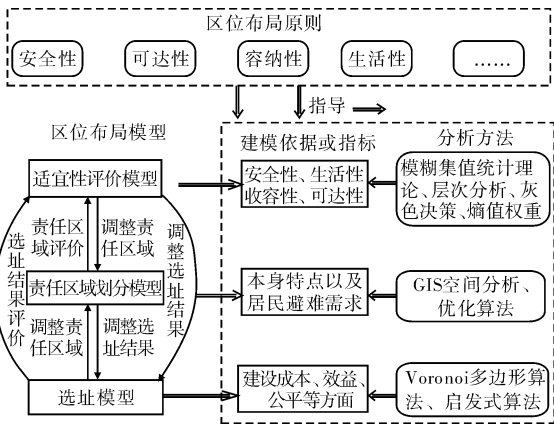


图 1 灾害避难场所区位优化布局分析框架

1.1 灾害避难所的区位布局原则

早期人们对灾害避难所的研究工作主要集中在确定规划建设的原则上，这为区位选择模型的目标函数与约束条件的选取、区位布局适宜性评价指标的确定提供了必要的理论依据。表 1 中列出

表 1		灾害避难所区位布局原则											
原则 大类	原则	FEMA ^[7]	ACOA – EMO ^[10]	杨文斌 等 ^[15]	Good 等 ^[16]	姚清林 ^[17] , UNHCR ^[18]	苏幼坡 等 ^[19]	初建宇 等 ^[20]	徐伟 等 ^[21]	魏博 等 ^[22]	戴慎志 等 ^[23]	Liu 等 ^[24]	顾小平 等 ^[25]
安全性	安全	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○
可达性	就近/快速 畅通/可达	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	步行 布置均匀						○	○			○	○	
容纳性	适用/容量	○	○		○	○	○		○				
生活性	生活支持/ 饮水供应		○		○	○			○	○		○	
连通性	利于救援		○				○		○	○			○
熟知性	家喻户 晓/熟知						○		○				
	灵活/动态						○	○					
区域可 持续性	平灾结合			○			○	○		○	○		○
	近期规划/ 长远规划			○	○					○			○
	防救结合			○									
	综合减灾							○				○	
其他原 则/标准	分区合理									○			
	照顾弱者		○					○					
	居民特性				○								
	抗干扰性		○								○		

后确定各项指标的权重, 并通过加权法得到每一灾害避难所的适宜性评价价值。

(1)评价指标

指标体系的构建是灾害避难所区位布局适宜性评价的首要工作, 评价指标选取的合理性直接反映评价模型的科学性。在实际工作中, 评价指标与布局原则紧密相联, 包括评价避难所的安全性、可达性、收容性、生活性、连通性等(表 1)。如吴宗之等^[26]强调了避难场所的生活性, 从避难所场所的规划设计、内部硬件设施、外部软件环境三个方面考虑, 建立了应急适应能力的综合评价模型, 但其评价指标体系较为庞大, 个别二级指标难以量化; 叶明武等^[27]强调了避难场所的安全性、收容性、可达性, 其构建的避难适宜性指标体系较为简洁且指标独立, 但忽略了避难场所自身应急设施的评价; Lee 等^[28]强调了避难场所与周边设施的连通性, 关注避难路径网络的情况, 对已有的地震避难场所区位进行评价; 刘少丽等^[29]对城市应急避难场所进行了空间布局合理性评价, 强调了避难场所的可达性; 辜智慧

等^[30-31]强调了避难场所的收容性, 结合了人口分布现状, 突出考虑了避难需求人口, 对灾害避难场所的容灾能力进行了评价。Ma 等^[32]对乡村的地震疏散能力构建了涉及组织与管理系统、地震避难场所、救济资源与应急设施四方面的评价体系。

(2)指标权重设定

科学地构建好评价指标体系后, 各项指标权重的设定同样重要, 合理的权重设定能正确地反映各项指标对评价结果的影响。黄典剑等^[33]认为避难所应急能力评价准则多、涉及的因素也多, 评价指标难以定量描述, 认为层次分析法是处理这类综合评价问题的有效模型。吴宗之等^[26]则认为城市应急避难所应急适应能力评价指标存在一定的模糊性和随机性, 很难对其进行精确的定量描述, 建议先通过专家对各项指标的权值进行某个区间内的打分, 然后采用模糊集值统计理论确定权重。一些学者则指出, 在灾害应急避难所适宜性评价指标的确定时, 应该从用户即社会居民的角度出发, 通过问卷、访谈、研讨等社会调查方法了解研究区内居民对避难场所规划的需求和

使用满足度,获取其对评价指标的重要性反馈^[34-36]。

为避免主观评价法中的个人偏好因素对结果的影响,更为客观地反映不同的指标对评价目标的贡献程度,叶明武等^[27]在实地调研的基础上,采用熵值权重法构建城市防灾公园的适宜性评价模型,并建立了城市防灾公园规划建设综合决策分析系统。当收集到的资料不完整时,可以采用灰色系统理论来解算信息不完备的决策问题,以灰色关联决策分析并结合熵值权重法对应急避难所进行适宜性评价是非常有效的^[37-38]。

1.2.2 责任区域划分模型

根据已规划的灾害避难场所区位、容量,以及居民分布情况,对避难所的责任区域进行科学的划分,有利于更合理地为居民配置避难服务,也有助于政府进行灾害应急管理,开展日常避难演习活动等,使居民了解为其服务的避难所位置以及对应的疏散路径,以便应对突发性灾害的发生。

(1)划分依据

灾害避难所责任区域划分一般是在避难所区位确定后进行的,是避难所服务功能的分配。灾害避难所责任区域划分的依据更多地强调了区位布局原则中的收容性和可达性,如分析避难场所本身的特征计算避难所的收容能力和可达程度^[39],尤其是要充分考虑连通性这一重要的约束,即保证相邻的居民区指定到同一避难所,尽量不要出现跨区域避难的情况,避免增加跨区域疏散带来的混乱^[40]。在划分避难所责任区的时候,除了要考虑避难所区位、容量和连通程度等特点外,同时也需要关注居民的分布特点^[41-42]和避难需求^[43]等,如避难选择偏好、疏散意图、脆弱性人群等。

(2)划分方法与模型

考虑到灾害避难所责任区域划分的连通性约束,当前划分的方法主要为 Voronoi 多边形算法与 GIS 空间分析技术相结合^[39,41-43]。Voronoi 多边形算法和 GIS 空间分析技术相结合能快速地在宏观尺度上确定避难场所的责任区,具有操作简单、对数据要求低的优势,但同时也存在着一些缺点,如避难场所覆盖半径是多种因素通过加权的形式计算得到,这削弱了其解算较为复杂与精细的责任区域划分模型的能力,而启发式算法能有效解决这一问题^[44]。

1.2.3 区位选择模型

合理的区位规划能有效地提高灾害避难所的

应用效果,同时节省其建设成本。因此,区位选择研究是灾害避难场所工作中的重点和难点。这部分将从建模依据、模型分析与模型解算三个方面,对现有的区位选择模型进行归纳与分析。

(1)建模依据

在宏观层面上,避难所区位选择模型中的约束与目标函数的选取由布局原则指导,主要考虑避难所的安全性、可达性、收容性和连通性等方面,另外避难所规划需要政府投入成本,因此还需考虑节约建设成本。在微观层面上,将布局原则细化与量化,避难所区位选择模型构建能为研究区域提供具体可行的规划方案。不同的地区存在着不同的灾害种类,针对不同的灾种,避难场所在减轻其带来的灾害产生不同的效果,一般主要关注影响较大的地震避难场所^[45-48]、飓风(台风)避难所^[49-52]和洪水避难所^[53-54]。布局原则对应的指标在不同类型的避难所中呈现出一定的差异性,如考虑安全性时,地震避难所规划需要考虑倒房率、飓风(台风)避难场所要考虑飓风(台风)的影响范围、洪水避难所规划则需考虑实时淹没水平。

(2)模型分类

灾害避难所区位选择模型很多,按照目标类型,可以分为单目标模型和多目标模型。在灾害避难所选址模型研究初期,为了简化问题,很多学者采用单目标模型来构建选址模型^[46,49,55-56],灾害避难场所的建设成本最小化或建设个数最小化是单目标选址模型中的最主要优化目标,另外考虑到其它现实问题的,单目标选址模型一般包含了一些约束条件,如最大距离约束和容量约束条件。由于灾害避难场所选址问题的复杂性,学者们已不再满足于构建单目标优化模型,他们考虑到避难所建设成本、效益、公平、安全性风险等实践需求的多个方面,构建了多目标的优化选址模型^[51,54,57-59]。与单目标选址模型不同,多目标选址模型的解往往是多个目标的平衡结果,而且其解的个数通常不只一个。表2中展示了多个分别属于单目标模型或多目标模型的避难所选址模型的约束条件和目标函数。

根据灾害避难场所的内在特征、分类以及对应的功能,一些学者尝试构建层次模型并进行解算。如陈志芬等^[60-61]研究了应急避难场所的层次结构在空间上表现出的单一流、嵌套和非空间一致性的特点,建立了城市应急避难场所的三级层次选址模型。Ye 等^[47]基于研究社区内已有的避难

表 2

多约束条件和目标函数的灾害避难所选址模型

		Sorensen 等 ^[57]	Saadatseresht 等 ^[58]	吴健宏 等 ^[59]	Ng 等 ^[51] ; Kongsomsaksakul 等 ^[54]	周天颖等 ^[46] ; 黄河潮等 ^[56]	Hu 等 ^[48] ; Dalal 等 ^[49] ; Shima 等 ^[55]
约束 条件	最大距离约束		○				○
	容量约束	○	○				○
目标 函数	最小化总疏散距离			○	○	○	
	最大化人员分配平衡			○			
	最小化灾害风险	○					
	最小化建设成本	○		○			○
	最小化个体疏散时间				○		

场所布局和居民不同时段的疏散需求, 提出了针对该社区基于多个情景分析的社区级疏散规划方法。

随机模型可以看作是多个情景模型以概率的形式进行综合得到, 有少数学者通过构建随机规划模型将灾害风险融入选址模型中, 将灾害引起的潜在风险作为其中一个优化目标, 因此考虑了灾害发生引起的不确定性因素, 加强了选址模型的鲁棒性。如 Luis 等^[62]构建的选址模型中考虑到了疏散道路火灾风险最小化和避难场所内火灾风险最小化, Karl 等^[50]将最小化飓风风险作为飓风易灾区公共设施区位模型的规划准则之一。Li 等^[44]采用了两阶段的随机规划模型同时对自然灾害备灾与响应中的避难场所网络规划和运作进行了研究, 并采用了 L 形算法进行把问题分解为多个情景层次的线性规划。

灾害避难所选址模型发生了从简单到复杂, 从只考虑单因素到考虑多种因素, 从宏观层面到微观层面的转变, 这些转变使得灾害避难所选址工作变得细致, 这为实际工作提供了更为可行的理论依据。结合灾害风险不确定因素的灾害避难场所选址模型, 尽管相对工作较少, 但是避难场所选址优化工作的发展趋势。

(3)模型解算

针对灾害避难所选址模型的特点, 目前主要

利用 GIS 空间分析技术和优化算法进行模型求解, 表 3 中列出了不同解算方法的优缺点以及一点典型的研究算例。

灾害避难所选址属于地理优化问题, GIS 能为其提供地理数据存储与处理技术, GIS 空间分析技术包括叠加分析、缓冲区分析、网络分析和空间建模等方法能够快速有效地求解简单的灾害避难场所选址模型^[53, 62-63]。通过 GIS 空间分析技术和优化算法来实现, 其中采用 GIS 空间分析技术, 计算方法简单, 这种方法适合灾后快速地实现宏观上灾害避难所选址与人口的紧急配置。

针对实际灾害避难所工作的需要, 其选址模型往往需要考虑多个因素, 包括避难场所的最大服务范围、与周边设施的连通问题、建设成本等, 需要构建多目标模型、层次模型和随机规划模型等, 此时 GIS 空间分析技术不能实现这些复杂模型的求解, 而优化算法则为这个问题提供了一个可行的求解方向。优化算法分为两类, 精确算法与近似算法。当灾害避难所选址模型为基于多项式函数的单目标优化问题或可通过目标加权法、目标规划法和功效系数法等能转换成单目标函数的多目标优化问题, 采用精确算法能得到准确的最优解, 如分支定界法^[61]、单纯形法、拉格朗日松弛法^[44]等, 这些算法借助优化软件如 LINGO, CPLEX 实现。当灾害避难所选址模型为 NP 问题或

表 3

灾害避难所选址模型的不同解算方法及其优缺点

解算方法		优点	缺点	典型算例
优化 算法	GIS 空间分析技术	能快速求解宏观简单的模型	难以求解复杂的模型	Sanyal ^[53] ; Luis 等 ^[62] ; Melanie ^[63] ; 施小斌 ^[64]
	精确算法	能找到最优解	难以解决数据量大的优化问题或 NP 问题	Li ^[44] ; 陈志芬等 ^[60-61]
	近似算法	在合理的时间内能找到的近似最优化	很多时候找不到最优解	Li 等 ^[40] ; Dalal 等 ^[49] ; Karl 等 ^[50] ; Ng 等 ^[51] ; Kongsomsaksakul 等 ^[54] ; 黄河潮等 ^[56] ; Saadatseresht 等 ^[58]

其数学模型描述得比较模糊时,可采用近似算法进行求解。近似算法包括进化算法、群智能算法和启发式算法,能在合理的运行时间内找到较好的近似最优解。从表 3 也可以看出,大多数复杂的选址模型都是通过近似智能算法求解的,如遗传算法^[56]、迭代聚类算法^[49]、PSO 算法^[48]、NSGA-II 算法^[50,58]、模拟退火算法^[51]。优化算法的设计灵活多样,独立于问题。目前优化算法与优化软件都发展得十分成熟,这为灾害避难所选址规划提供了更为广阔的建模解算环境。

2 灾害避难所区位布局研究的主要问题

通过上述对灾害避难所布局原则与模型的研究现状与发展动态情况的分析,我们得出目前的灾害避难所区位布局研究,还存在以下几个薄弱环节:

(1)灾害避难所规划的原则研究基本上是针对城市社区制定的,研究中的实证案例,也大部分都是针对城市的灾害应急避难所,只有极少数研究是专门针对农村地区的。

(2)目前的灾害避难所研究工作主要针对单一灾种,而且主要针对地震和飓风(台风),较少针对洪水或多个灾种的情况。由于资源整合等需求,区域在进行灾害避难所的建设中,往往会考虑到区域多灾种的需求。

(3)避难所区位适宜性指标评价体系较为庞大,而且体系中的多个指标存在着相交、重复、包含等现象,且有些指标比较含糊,难以赋值量化。

(4)大多数灾害避难所选址模型都忽略灾害不确定性因素的考虑,而且选址模型中对避难主体人的考虑尚且很少。

3 灾害避难所区位布局研究的展望

综合上述分析,我们认为在未来的灾害避难场所建设和研究工作中,需要关注以下几个核心问题:

(1)加强对农村避难场所规划的研究
农村地区因其设防能力水平普遍较低,特别是对于资源贫乏的偏远山区,更易遭受自然灾害的打击。城市避难场所规划原则并不完全适用于农村地区,对于农村地区而言,当灾害发生时,

避难场所的可达性及其与周边设施的连通性显得更为重要。目前大多城市避难场所规划原则主要是针对地震和飓风(台风)灾害,较少涉及洪水等其它灾害。我国很多农村都属于山洪、滑坡易发区,这些地区的灾害避难所建设,不能完全照搬城市地区地震灾害避难所的建设模式。《国家综合防灾减灾规划(2011-2015 年)》明确指出“…新建或改扩建乡村应急避难场所。”^[65],为此迫切 need 开展专门针对农村地区特点的灾害避难所研究工作,以期为建设农村灾害应急避难所提供科学依据。

(2)考虑应对多灾种的避难所规划

由于土地等资源的限制,尤其是在人口与财富高度密集的城市,用地资源更为紧张。在规划避难场所之前,应该先对研究区域的灾害风险进行识别和评估,分析区域面临的主要灾害风险。在对避难所规划设计的时候,不仅要考虑到风险最大的灾种,也要考虑对区域有影响的其他主要灾害类型,综合地进行规划设计,使其能应对该区域的多种灾害,既能达到区域安全的目的,同时也能充分整合并高效利用有限资源。

(3)简化适宜性评价指标体系

针对避难所区位适宜性指标评价体系庞大的问题,如何建立简单、独立的指标评价体系将是研究适宜性评价工作的趋势。同时,结合区位特征和选址模型,发展一套快速的避难场所选址、评价模型,也极为重要。

(4)考虑灾害模型中的不确定性因素

灾害避难所的选址受区域自然地理、灾害风险和人文因素等影响。由于灾害发生地点和强度等的不确定性,对建筑物、避难道路的破坏程度也会有所不同,导致避难需求人数与可达性也会不确定,对避难所容量的需求也会不一。目前,极大多数灾害避难所选址模型的构建都是基于常态下的情景,并没有考虑到灾害发生时的特殊性。为合理配置资源,使灾害避难所在灾害时能发挥最大的作用,在进行在避难所的选址规划和建模研究中,需要充分考虑这些不确定性因素。

(5)提高模型的解算效率

灾害避难所需要 在灾时或灾后极短时间内为灾民提供临时庇护服务。为此,在灾害发生后,需要根据道路破坏程度和避难需求居民特征等,快速计算出最佳的避难所区位及相应的避难路径,以期 为灾害应急提供决策支持。目前的各种灾害避难所选址模型往往有较多的参数,计算过程比

较复杂,尤其数据量较大时,耗时长且效果不是十分理想。提高数据处理与模型解算效率,已成为灾害避难所规划所要考虑的最重要问题之一。为此可考虑引入人工智能优化算法能有效地提高模型的求解速度,并结合 3S 技术,增加避难所规划所需要的数据源,提高数据更新速度,同时加强数据处理能力。建立灾害避难所实时信息查询系统及应急疏散系统,为灾后应急疏散与救援工作提供一个快速而有效的可视化平台。

(6) 注重考虑人的避难行为

灾害避难所是灾后为人们服务的应急设施,人是避难活动的主体,其避灾行为对灾害避难所的规划效果有很大的影响。同一区域,不同时段人口分布是不一致的,尤其是人口流动大的城市地区,在测算避难需求人口数时,需要充分考虑不同时间段的人口分布情况。此外,灾后人们受政府灾害避难警示程度、对信息的相信程度或者是风险感知程度、媒体报道和周边人们行为的影响,其避难意愿是不一致的^[66],他们不一定愿意选择政府事先指定的避难所,有些人们还会自发地根据个人偏好选择避难所,如投奔亲人或在自家附近就地安置。把人的这种复杂活动和避难心理考虑到模型中将会有很大的实用价值,采用多主体模型并结合仿真技术,是解决这一问题的有效途径。

参考文献:

- [1] EM-DAT. The OFDA/CRED International Disaster Database, UniversiteCatonique de Louvain-Brussels-Belgium [EB/OL]. (2012 - 01 - 03) [2013 - 03 - 05]. <http://www.em-dat.net>.
- [2] Haines A, Kovats RS, Campbell-Lendrum D, et al. Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health[J]. Public Health, 2006, 120(7): 585 - 596.
- [3] Srinivasa H, Nakagawa Y. Environmental implications for disaster preparedness: Lessons Learnt from the Indian Ocean Tsunami[J]. Journal of Environmental Management, 2008, 89(1): 4 - 13.
- [4] DFID. Disaster risk reduction: a development concern[R]. London: Department for International Development, 2005.
- [5] 苏群,钱新强,杨朝辉. GIS 技术在城市避难场所规划空间配置中的应用[J]. 北京规划建设, 2008(4): 42 - 44.
- [6] Animal Navigation in Case of Emergency (ANICE). Disaster shelters in Japan[EB/OL]. (2005 - 09 - 10) [2013 - 01 - 05]. <http://www.animal-navi.com/navi/map/map.html>.
- [7] FEMA (Federal Emergency Management Agency). FEMA 361: Design and construction guidance for community shelters [Z]. 2000.
- [8] Federal Emergency Management Agency (FEMA). FEMA 320: Taking shelter from the stoma-building a safe loom inside your house[Z]. 1998.
- [9] American Red Cross (ARC). Standards for hurricane evacuation shelter selection, ARC 4496[Z]. Revised in January 2002.
- [10] Alameda County Operational Area Emergency Management Organization (ACOAEMO). A guide for local jurisdictions in care and shelter planning[Z]. 2003.
- [11] 北京市城市规划设计研究院. 北京市中心城地震及应急避难场所(室外)规划纲要[Z]. 2006.
- [12] FEMA (Federal Emergency Management Agency). FEMA 342: Oklahoma and Kansas, midwest tornadoes of May 3, 1999: Observations, Recommendations, and Technical Guidance [Z]. 1999.
- [13] Typhoon Disaster Committee, Kyoto Prefecture. Report of Typhoon Disaster Committee [R]. Kyoto Prefecture (in Japanese), 2005.
- [14] 叶娜,邓云兰,夏宜平. 汶川地震对城市公园绿地防灾减灾的启示[J]. 城市发展研究, 2009(5): 55 - 59.
- [15] 杨文斌,韩世文,张敬军,等. 地震应急避难场所的规划建设与城市防灾[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(1): 126 - 131.
- [16] Good J, Nordberg R, Mechat C, et al. Site Selection, Planning and Shelters. The First International Emergency Settlement Conference, April 14 - 19, 1996[C]//New Approaches to New Realities, 1996. University of Wisconsin, 1996.
- [17] 姚清林. 关于优选城市地震避难场地的某些问题[J]. 地震研究, 1997, 20(2): 244 - 248.
- [18] The United Nations Refugee Organization (UNHCR). UNHCR Handbook for Emergencies-Second Edition[Z], 1999.
- [19] 苏幼坡,刘瑞兴. 城市地震避难所的规划原则与要点[J]. 灾害学, 2004, 19(1): 87 - 91.
- [20] 初建宇,苏幼坡. 城市地震避难疏散场所的规划原则与要求[J]. 世界地震工程, 2006, 22(4): 80 - 83.
- [21] 徐伟,冈田宪夫,徐小黎,等. 基于营养系统的灾害避难所规划的概念模型[J], 灾害学, 2008, 23(4): 59 - 65.
- [22] 魏博,刘敏,张浩,等. 城市应急避难场所规划布局初探[J]. 西北大学学报: 自然科学版. 2010, 40(6): 1069 - 1074.
- [23] 戴慎志,赫磊. 城镇防灾避难场所规划研究[J]. 灾害学, 2010, 25(Sup 1): 50 - 54.
- [24] Liu Q, Ruan X, Shi P. Selection of emergency shelter sites for seismic disasters in mountainous regions: Lessons from the 2008 Wenchuan Ms 8. 0 Earthquake, China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 40(4): 926 - 934.
- [25] 顾小平,裴友法,乔鹏. 城市避难场所的规划建设和管理[J]. 灾害学, 2010, 25(10): 55 - 57.
- [26] 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): 100 - 103.
- [27] 叶明武,王军,陈振楼,等. 城市防灾公园规划建设的综合决策分析[J]. 地理与地理信息科学[J], 2009, 25(2): 89 - 98.

- [28] Lee Y L, Ishii H, Tai C A. Earthquake shelter location evaluation considering road structure [C]//IEEE The Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. Kaohsiung: IEEE, 2008, 1: 495–497.
- [29] 刘少丽, 陆玉麒, 裴友法, 等. 城市应急避难所空间布局合理性研究[J]. 城市发展研究, 2012(3): 113–117, 120.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Ma DX, Chu JY, Liu XN, Zhao SY. Study on evaluation of earthquake evacuation capacity in village based on multi-level Grey evaluation[J]. Procedia systems engineering, 2011, 1: 85–92.
- [33] 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): 52–28.
- [34] Tai C A, Lee Y L, Lin C Y. Earthquake disaster prevention area planning considering residents' demand [C]//Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference on. IEEE, 2010, 1: 381–385.
- [35] Xu W. Development of a Methodology for Participatory Evacuation Planning and Management: Case Study of Nagata, Kobe [D]. Kyoto University, 2007.
- [36] Mayunga J. Assessment of Public Shelter Users' Satisfaction; Lessons Learned from South-Central Texas Flood[J]. Natural Hazards Review, 2012, 13(1): 82–87.
- [37] 戴晴, 高振记, 杨鹄平. 城市应急避难场所研究方法综述[J]. 科技资讯, 2010(6): 250–251.
- [38] 戴晴. 基于 GIS 的应急避难场所适宜性评价——以深圳市地震应急避难场所为例[D]. 中国地质大学(北京), 2010.
- [39] 李刚, 马东辉, 苏经宇. 基于加权 Voronoi 图的城市地震应急避难场所责任区的划分[J]. 建筑科学, 2006, 22(3): 55–59.
- [40] Li X, Claramunt C, Kung HT, et al. A decentralized and continuity-based algorithm for delineating capacitated shelters' service areas[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2008, 35, 593–608.
- [41] 朱佩娟, 张洁, 肖洪, 等. 城市公共绿地的应急避难功能——基于 GIS 的格局优化研究[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(4): 34–42.
- [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(4): 41–44.
- [43] Tai C A, Lee Y L, Lin C Y. Urban disaster prevention shelter location and evacuation behavior analysis[J]. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2010, 9(1): 215–220.
- [44] Li L, Jin M, Zhang L. Sheltering network planning and management with a case in the Gulf Coast region[J]. International Journal of Production Economics, 2011, 131(2): 431–440.
- [45] Kashiwabara S, Ueno M, and Morita T. Hanshin-Awaji daishin-sainiokeruhinanjyo no kenkyu (Research on the shelters in Hanshin-Awaji great earthquake disaster) [M]. Osaka University Press (in Japanese), 1998.
- [46] 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.
- [47] Ye M, Wang J, Huang J, et al. Methodology and its application for community-scale evacuation planning against earthquake disaster[J]. Natural hazards, 2012, 61(3): 881–892.
- [48] 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.
- [49] Dalal J, Mohapatra P K J, Mitra G C. Locating cyclone shelters: a case[J]. Disaster Prevention and Management, 2007, 16(2): 235–244.
- [50] Karl FD, Walter JG, Pamela CN. Multi-criteria location planning for public facilities in tsunami-prone coastal areas [J]. OR Spectrum, 2009, 31(3): 651–678.
- [51] Ng M W, Park J, Waller ST. A hybrid bilevel model for the optimal shelter assignment in emergency evacuations [J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2010, 25: 547–556.
- [52] Pine J C, Marx B D, and Levitan M L, et al. Comprehensive assessment of hurricane shelters: lessons from Hurricane Georges [J]. Natural Hazards Review, November, 2003, 4(4): 197–205.
- [53] Sanyal J. and Lu XX. Ideal location for flood shelter: a geographic information system approach[J]. Journal of Flood Risk Management, 2009, 2(4): 262–271.
- [54] Kongsomsaksakul S, Chen A, and Yang C. Shelter location-allocation model for flood evacuation planning [J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005(6): 4237–4252.
- [55] Shima K, Inoue M, Takeuchi K. Study of the optimal shelter location and evacuation route [C]// Abstract for technical research workshop. Shikoku Branch, Japan Society of Civil Engineers, 2002: 341–342.
- [56] 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(5): 62–66.
- [57] Sorensen J H, Shumpert B L, Vogt B M. Planning for protective action decision making: evacuate or shelter-in-place[J]. Journal of Hazardous Materials, 2004, 109(1): 1–11.
- [58] Saadatseresht M, Mansourian A, Taleai M. Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 198: 305–314.
- [59] 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.
- [60] 陈志芬, 顾林生, 陈晋, 等. 城市应急避难场所层次布局研究(Ⅰ)——层次性分析[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(3): 151–155.
- [61] 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.

[62] Luis AA, Lino T, Luis S, et al. A multiobjective approach to locate emergency shelters and identify evacuation routes in urban areas [J]. Geographical Analysis, 2009, 41: 9–29.

[63] Melanie G. Where to go? Strategic modeling of access to emergency shelters in Mozambique [J]. Disasters, 2004, 28(1): 82–97.

[64] 施小斌. 城市防灾空间效能分析及优化选址研究[D]. 西安, 西安建筑科技大学, 2006.

[65] 国务院办公厅. 国办发[2011]55号: 国家综合防灾减灾规划(2011–2015年)[Z]. 2011.

[66] Dombroski M, Fischhoff B, and Fischbeck P. Predicting Emergency Evacuation and Sheltering Behavior: A Structured Analytical Approach[J]. Risk Analysis, 2006, 26(6): 1675–1688.

A Review on Natural Disaster Shelter Location Research

Xu Wei^{1, 2}, Hu Fuyu^{1, 2}, Ming Xiaodong^{1, 2}, Du Juan^{1, 2}, Ying Li^{1, 2}, Gu Zhihui³ and Ge Yi⁴
(1. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. College of Architecture and Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 4. State Key Laboratory of Pollution Control & Resource Re-use, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: More and more attentions have been paid on shelter planning because it is proved to be one of the most effective countermeasures to reduce the causalities in a disaster. The progresses and main problems on disaster shelter location research have been summarized by analyzing the principles and models of shelter location, and the future work on shelter location has been discussed. Results show that: the current works on disaster shelter mainly focus on urban area with a certain kind of hazard, the evacuation system is extremely complex due to the large number of indicators and criteria, and the uncertain of the potential damage is often ignored in the simulation. Enhancing the study at rural area, considering the multi-hazard purpose, simplifying the evaluation index, considering the uncertainty in the disaster model, improving calculation efficiency of the model as well as focusing on the evacuation preference of local residents, would be the main focuses of the disaster shelter research in the future.

Key words: disaster shelter; layout principle; location optimization model; evaluation model

《灾害学》杂志 2014 年征订启事

作为被北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览 2011 版》收录, 2013–2014 年度中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊及 2013–2014 年度 RCCSE 中国权威学术期刊的《灾害学》杂志是在知名学者和社会名流(钱学森、于光远等)的关注下, 把灾害问题作为一门科学的我国最早(1986 年)创办的灾害类科技期刊。《灾害学》杂志旨在对各种灾害(自然灾害和人文灾害)进行综合系统地探讨研究; 通过对各种灾害事件的分析讨论, 总结经验, 吸取教训; 广泛交流灾害科学的学术思想、研究方法、研究成果; 报导国内外关于灾害问题的研究动态和防灾抗灾对策; 揭示和探索各种灾害发生演化的客观规律; 目的是提高人类抗御灾害的科技水平和能力, 最大限度地减少灾害损失。

2014 年《灾害学》杂志仍为季刊, 每季初月 20 日出版, 铜版纸印刷, 大 16 开, 220 页码, 彩色插页, 国内统一刊号: CN 61–1097/P。

《灾害学》杂志 2014 年定价每期 50 元, 全年 200 元(含邮费)。另外, 编辑部还存有少量 2005–2013 年的精装合订本, 每册定价 150 元。

《灾害学》杂志编辑部热忱欢迎广大读者和作者订阅本刊。订阅方式有:

(1)通过邮局直接汇款至编辑部, 即: 西安市碑林区边家村水文巷 4 号《灾害学》编辑部, 邮编: 710068, 联系电话(传真): 029 88465341。

(2)通过银行转账, 单位: 《灾害学》编辑部; 帐号: 3700023109014486285; 开户行: 工行西安市含光路支行。

(3)也可通过全国非邮发报刊联合征订服务部征订。地址: 天津市大寺泉集北里别墅 17 号; 邮编: 300385; 订阅代号: 9875。