

应急避难所选择行为分析

杨昱泽¹ 杭虹利² 张小宁³

1. 桂林电子科技大学建筑与交通工程学院 广西壮族自治区桂林市 541004
2. 上海外国语大学国际金融贸易学院 200083
3. 同济大学经济与管理学院 上海市 200092

摘要：开展应急避难所选择模型研究具有重要的现实紧迫性和战略价值。通过构建科学的选择模型，可以综合考量灾害风险、避难所容量、路径通达性及物资储备等多维数据，利用空间分析与优化算法，实现避难场所的精准匹配与高效调度。本文综合考虑避难所交通可达性、安全性、生存资源充足性、救护设施及医疗服务水平这四项内容各项因素，构建模型分析应急避难所的选择概率。算例表明便捷的公交服务能有效覆盖老年人和青少年等无车群体，极大扩展了避难所的潜在服务人口范围，促进了公共服务的公平性与包容性。

关键词：应急避难所；选择概率；交通可达性；公共交通

1. 引言

进入新世纪，人类面临的自然灾害并没有减少。洪水、地震、疫情、战争等灾害频发，严重威胁人类的生存环境。灾害发生前进行周密、主动的应急避难准备，其重要性远超越灾时瞬间的逃生反应。在灾害威胁面前，及时准确的应急逃生为个人、家庭乃至整个社会构筑的一道主动、可靠的生命安全防线。

本世纪以来，一些学者研究了受灾者选择避难所的行为，有些还建立了复杂的科学模型进行计算分析。一些学者通过对飓风、地震、火灾等情况发生时人员疏散行为的研究的深入分析，系统总结了哪些因素显著影响人们的疏散决策和疏散路径及目的地的选择[1-4]。

我国灾害种类多、分布地域广，在突发灾害事件中，能否快速、科学地将受灾群众疏散到合适的避难所，直接关系到人民生命财产安全与社会秩序稳定。开展应急避难所选择模型研究具有重要的现实紧迫性和战略价值。本文综合考虑各项因素，构建模型分析应急避难所的选择概率。

2. 应急避难所影响因素及选择概率模型

当存在多个应急避难所可供选择时，人们选择应急避难所会考虑哪些因素？在灾难猝然降临的危急时刻，应急避难所如同惊涛骇浪中的生命方舟，其选址与设计的科学性直接关系到千万人的生死存亡。交通可达性、安全性、生存资源充足性、救护设施及医疗服务水平这四项内容，绝非简单

的条目罗列，而是构筑生命屏障不可或缺的四大支柱，它们共同编织了一张从灾厄中抢夺生命的安全网。

首先，交通可达性是生命通道的“第一公里”，决定了避难行为能否及时启动。灾难往往伴随着道路中断、通讯瘫痪的混乱局面。若避难所位置偏远或路径艰险，它便形同虚设。理想的避难所必须易于寻找、快速抵达，拥有多重畅通的疏散路线，能确保民众在黄金逃生时间内顺利抵达。

其次，安全性是避难所的立身之本，是其之所以称为避难所的核心要件。它必须自身坚固可靠，能够抵御次生灾害的连环冲击。这意味着选址需避开地震断裂带、洪水淹没区、山体滑坡隐患点以及危险品仓库等潜在威胁源。安全性是底线，是承载所有希望的基石，不容妥协。

再者，生存资源充足性是维系生命的“能量站”，保障避难基本尊严与秩序。灾难导致社会供给系统瞬间崩溃，避难所必须能独立支撑一段时间内的基本生存需求。充足的资源能抚慰心灵创伤，维护社会秩序，让人们保有重建家园的希望与力量。

最后，救护设施及医疗服务水平是减少伤亡的关键防线，直接应对灾难最直接的伤害。灾难必然伴随伤亡，避难所内人群密集，也易发公共卫生事件。医疗体系是降低死亡率的最后屏障，它的强弱代表着专业救援力量的水平高低。

综上所述，可达性确保人能“进得来”，安全性确保场所“靠得住”，生存资源确保进来后“活得下”，医疗服

务确保伤病“救得活”。因此，在规划与建设应急避难所时，必须将这四项内容作为不可动摇的基本准则。

根据上述分析，当存在 N 个可供选择的避难所时，居民会根据以上因素避难所。根据离散选择模型（周晨静等,2022）^[5]，居民选择第 i 个避难所的比例可表达为：

$$p_i = \frac{e^{u_i}}{\sum_{n=1}^N e^{u_n}}$$

这里 u_n 为第 n 个避难所的性能指标，由应急避难所交通可达性、安全性、生存资源充足性、救护设施及医疗服务水平等四项内容决定。

$$u_n = k_1 v_n^1 + k_2 v_n^2 + k_3 v_n^3 + k_4 v_n^4$$

v_n^1 表征应急避难所交通可达性、 v_n^2 表征应急避难所安全性、 v_n^3 表征应急避难所生存资源充足性、 v_n^4 表征应急避难所救护设施及医疗服务水平。 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 为这四项指标的系数。

这四个指标中，应急避难所的交通可达性是一个综合性的系统问题，它直接关系到避难所的使用效率和吸引力，影响着应急避难的覆盖率和应急响应速度。可达性影响因素主要可归纳为以下几个方面：

首先，应急避难所接入道路网络的便捷性是影响其交通可达性的关键因素。便捷的道路接入是疏散人群实现安全转移的生命通道。其次，避难所的公共交通覆盖程度是其交通可达性的重要影响因素，核心在于它确保了应急疏散的社会公平性、秩序性与广泛性，弥补了单纯依赖私人交通工具的固有缺陷。第三，避难所周边停车设施容量是其交通可达性的重要影响因素，它直接决定了以私家车为主要疏散方式的交通流的最终消化能力，并深刻影响着避难所周边路网的运行效率。第四，避难所能源供应是其交通可达性的重要影响因素。能源供应通过保障交通指挥系统、赋能交通工具、维持通信导航，全方位地支撑着动态交通网络的活力与韧性。

综合考虑上述四项因素，应急避难所交通可达性计算公式可以表达为：

$$v_n^1 = p_1 w_n^1 + p_2 w_n^2 + p_3 w_n^3 + p_4 w_n^4$$

w_n^1 表征避难所接入道路网络的便捷性、 w_n^2 表征避难所的公共交通覆盖程度、 w_n^3 表征避难所周边停车设施容量、 w_n^4 表征避难所的能源供应。 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 分别表示以上影响因素的权重。

3. 算例

一个居民区可以选择三个应急避难所。每个避难所接入道路网络的便捷性、公共交通覆盖程度、周边停车设施容量、能源供应等指标，及相应的权重如表 1 所示：

表 1. 应急避难所各项交通可达性指标

	避难所 1	避难所 2	避难所 3
接入道路网络的便捷性	60	87	72
公共交通覆盖程度	74	72	69
周边停车设施容量	80	77	71
能源供应	72	71	66
权重	0.3	0.3	0.3
权重	0.3	0.3	0.3
权重	0.2	0.2	0.2
权重	0.2	0.2	0.2
交通可达性	70.6	77.3	69.7

每个避难所的交通可达性、安全性、生存资源充足性、救护设施及医疗服务水平等指标，及相应的权重如表 2 所示：

表 2. 应急避难所分项属性

	避难所 1	避难所 2	避难所 3
交通可达性	70.6	77.3	69.7
安全性	77	74	68
生存资源充足性	76	75	67
救护设施及医疗服务水平	75	72	65
权重	0.03	0.03	0.03
权重	0.03	0.03	0.03
权重	0.02	0.02	0.02
权重	0.02	0.02	0.02
避难所性能指标	7.448	7.479	6.771

表 2 中各项指标的权重主要用于表达各项指标对于居民选择避难所的重要性。根据选择概率公式计算，应急避难所 1、2、3 的选择概率分别是 39.4%、40.6% 和 20%。从两张表中可以看出，除了接入道路网络的便捷性这项指标外，避难所 1 的各项指标均优于避难所 2。然而，避难所 1 的选择概率依然小于避难所 2，这说明避难所接入道路网络的便捷性对于避难所的吸引力非常重要。

避难所 1 为了增强自身的吸引力，持续改善该点的公交服务能力，其公共交通覆盖程度从 75 增加到 77 时，避难所 1 的选择概率就反超了避难所 2。这说明接入道路网络的便捷性不佳，往往意味着其位于交通不便、可达性差的地区，这为居民前往避难构成了障碍。改善公交服务能力能显著提升其吸引力，从根本上优化了避难所的服务效能，从而吸引更广泛的人群前来避难。

4. 结语

紧急避难是应急管理中的一项关键策略，其核心目的在于优化资源配置、提升服务可及性、增强应急能力并最终

构建更强大的群体避难能力。在灾难猝然降临的危急时刻，应急避难所如同惊涛骇浪中的生命方舟，其选址与设计的科学性直接关系到千万人的生死存亡。交通可达性、安全性、生存资源充足性、救护设施及医疗服务水平这四项内容。本文综合考虑各项因素，构建模型分析应急避难所的选择概率。算例表明便捷的公交服务能极大扩展避难所的潜在服务人口范围，促进了公共服务的公平性与包容性，优化了避难所的服务效能，从而吸引更广泛的人群前来避难。

参考文献：

- [1] 张钊、林菁 (2013). 离散选择模型. 中国安全科学学报. 2013, 23 (09), 15–19.
- [2] 李红梅, 邓洁, 罗太波, 齐捧虎. 就近原则下新增应急避难点的鲁棒选址策略研究 [J]. 管理工程学报, 2022, 36(04): 218 – 229.
- [3] 李建光, 赵寒青. 考虑不确定需求的应急避难场所选址研究 [J]. 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版), 2019, 41(6): 555 – 559, 591.
- [4] 宋英华, 汪雅馨, 马亚萍, 吕伟. 考虑灾民类型多模式协同应急疏散调度研究 [J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(11): 135 – 140.
- [5] 周晨静、聂欣月、戴冀峰、冉越 (2022) 基于混合选择模型的绿色就医出行方式. 北京工业大学学报. 48 (05), 533–542.

基金项目：国家自然科学基金项目“面向疫情防控的人力资源、物流、场地共享和协同管理” (72274125)。