

基于ArcGIS的避难场所规划课程改革与学生实践能力培养

刘 姝, 舒 才*, 黄 萧, 向 月, 李文杰, 章 俊

重庆科技大学安全科学与工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年8月4日; 录用日期: 2025年9月6日; 发布日期: 2025年9月15日

摘 要

本文针对传统应急避难场所规划课程重理论轻实践的问题, 构建了“理论 - 技术 - 应用”三层教学框架。通过将地理信息系统(Geographic Information System, GIS)技术与应急技术与管理知识有机结合, 设计了8阶段渐进式实践任务, 学生可根据用地适宜性、城市总体规划结构及次生灾害影响, 划分防灾分区, 估算应急避难人口需求, 并分析资源分布以确定避难场所选址。该课程设计融合了应急管理理论、GIS应用和灾害响应等内容, 建立了包含空间分析能力、规范应用、方案合理性和报告质量的量化评估体系; 同时, 通过理论教学与实践操作相结合, 提升学生在复杂应急环境下的规划能力、创新意识与实践能力, 激发学术兴趣, 为未来从事应急管理工作奠定基础。

关键词

应急技术与管理, 应急避难场所, ArcGIS, 教学设计, 实践能力

ArcGIS-Driven Course Reform in Emergency Shelter Planning and Fostering Student Practical Skills

Shu Liu, Cai Shu*, Xiao Huang, Yue Xiang, Wenjie Li, Jun Zhang

School of Safety Science and Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Aug. 4th, 2025; accepted: Sep. 6th, 2025; published: Sep. 15th, 2025

Abstract

This paper addresses the issue of traditional emergency shelter planning courses emphasizing

*通讯作者。

文章引用: 刘姝, 舒才, 黄萧, 向月, 李文杰, 章俊. 基于 ArcGIS 的避难场所规划课程改革与学生实践能力培养[J]. 教育进展, 2025, 15(9): 922-935. DOI: 10.12677/ae.2025.1591757

theory over practice by constructing a “Theory-Technology-Application” three-layer teaching framework. By organically integrating Geographic Information System (GIS) technology with emergency technology and management knowledge, an 8-stage progressive practical task module is designed. Through this module, students can delineate disaster prevention zones based on land suitability, urban master planning structure, and secondary disaster impacts; estimate population demand for emergency shelters; and analyze resource distribution to determine shelter locations. This course design integrates emergency management theory, GIS applications, and disaster response content, establishing a quantitative evaluation system that includes spatial analysis skills, regulation application, plan rationality, and report quality. Simultaneously, by combining theoretical instruction with practical operations, it enhances students’ planning capabilities, innovative awareness, and practical skills in complex emergency environments, stimulates academic interest, and lays a foundation for future careers in emergency management.

Keywords

Emergency Technology and Management, Emergency Shelters, ArcGIS, Course Design, Practical Skills

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

应急避难场所作为城市综合防灾减灾体系的重要组成部分，其规划设计直接影响到城市在地震、洪水、火灾等灾害发生时的应对能力[1] [2]。传统应急避难场所规划课程以理论教学为主，存在以下问题：① 学生对应急规划实际操作理解不足，难以将理论具体化；② 教学手段简单，二维设计图难以反映空间关系与灾害影响；③ 缺乏实际案例与场景演练，限制了实践能力培养。

为解决上述问题，本课程引入 ArcGIS 技术，构建以实际应急需求为导向的教学模式。以某城市区域为对象，整合灾害风险评估、应急救援技术和恢复规划知识，强化学生运用 ArcGIS 进行地理数据分析、灾害模拟和路径优化的能力。本文通过补充教学设计细节、明确课程定位、优化内容结构，以期满足教学改革需求。

2. 教学设计

为提升教学效果，本课程设计了详细的教学体系，涵盖教学大纲、课时安排、学生作品评估标准及教学成效分析，以培养学生在应急避难场所规划中的实践能力。

2.1. 教学大纲

Table 1. Main arrangement of the course

表 1. 课程教学大纲主要安排

阶段	课时	内容	产出	工具
理论讲授	8	规范解读/选址原则	知识框架图	PPT/案例库
技术实训	4	ArcGIS 缓冲区分析/服务区制图	危险源缓冲区图	ArcGIS
综合设计	20	避难人口估算/规划设计	避难场所规划方案	ArcGIS

本课程以应急避难场所规划为核心，教学采用理论讲授、案例分析与实践操作相结合的方式，结合 ArcGIS 技术，强调学生动手能力与创新思维。课程主要安排如表 1 所示。

2.2. 课时安排

课程为期 8 周，每周 4 学时，包括理论课与实践课，总计 32 学时。课程安排遵循“双轮驱动”教学模式：理论教学与 GIS 实践学时 1:2 配比，具体安排如表 2 所示。

Table 2. Course schedule

表 2. 课程课时安排

周次	理论内容	实践内容	学时(理论 + 实践)
第 1 周	课程导论与应急管理基础	ArcGIS 软件基础操作	2 + 2 = 4 学时
第 2 周	人口估算方法	分析人口数据与估算避难人口	1 + 3 = 4 学时
第 3 周	空间数据处理	基于 ArcGIS 绘制人口密度图	1 + 3 = 4 学时
第 4 周	防灾分区划定与资源分析方法	划分防灾分区与资源分布分析	2 + 2 = 4 学时
第 5 周	避难场所选址设计与优化	绘制服务半径覆盖图与优化	1 + 3 = 4 学时
第 6 周	图纸绘制、输出方式	整合图纸	2 + 2 = 4 学时
第 7 周	报告结构与撰写方法	撰写规划设计报告	1 + 3 = 4 学时
第 8 周	成果展示与答辩	学生分组展示与答辩	1 + 3 = 4 学时
总计			32 学时

2.3. 成绩评估标准

学生成绩由以下部分组成，总分 100 分：

- (1) 课堂参与(20%)：出勤与讨论表现；
- (2) 实践作业(30%)：每周提交的图纸与报告，评分基于准确性与完整性；
- (3) 期末考核(50%)：包括设计报告及答辩表现，评分标准如下：
 - ① 设计科学性(20 分)：选址与布局合理性；
 - ② 数据分析(15 分)：ArcGIS 应用能力；
 - ③ 表达能力(15 分)：报告与答辩清晰度。

2.4. 教学成效分析

课程通过理论与实践结合，显著提升了学生技能、创新以及协作等三个方面能力。在技能提升方面，通过 ArcGIS 操作以及基于 ArcGIS 进行应急避难场所规划设计教学，使学生熟练掌握 ArcGIS 进行数据分析与规划设计；对于创新能力的培养，基于真实城市数据，每一组学生在规划设计中提出多样化解决方案，通过答辩以及规划报告中设计内容评估学生创新能力培养效果；在协作能力培养方面，该课程将某城市分为若干组团，学生分组完成某一组团应急避难场所规划，从而培养了学生团队合作完成复杂任务的能力。学生在对城市某组团进行规划时，平均覆盖 80% 以上避难需求，部分方案具实际应用潜力。教学反馈显示，90% 学生认为课程增强了对应急管理的理解与兴趣，为未来职业发展奠定了基础。

3. 规划设计基础

合理设计避难场所布局与资源配置是灾后响应的关键[3]-[5]。当前，随着应急技术与管理领域的不断

4.2. JS 组团应急避难人口需求估算

应急避难人口需求估算的目标是通过分析规划区域内的人口分布和密度，科学预测应急情况下的避难人口数量，为避难场所的容量设计、布局优化和资源配置提供数据支持[13] [14]。

避难场所容纳可宿住避难人数不宜小于规划范围内规划常住人口的 20%，容纳暂时避难人数不宜小于规划范围内规划常住人口的 100% [15]。该城市某区分为 26 个街道，根据该地区 2019~2023 年统计年鉴，计算近年人口增长率，从而推算 2030 年规划区内户籍人口。借助 ArcGIS 平台，得到该地区 2030 年各组团预测人数，如表 3 所示。以 JS 组团为例，为了便于规划暂时避难场所，将 JS 组团进一步划分为 25 个需求分区，如图 2 所示。根据 JS 组团内现有建筑物居住面积及层高等数据，将 JS 组团内人口分至每个分区的建筑物内，可估算 JS 组团内每个分区避难人口，如表 4 所示。

通过这一系统化、科学化的估算过程，培养了学生数据分析与可视化能力，同时为避难场所的科学规划提供了坚实的数据基础，保障应急响应精准性和有效性。

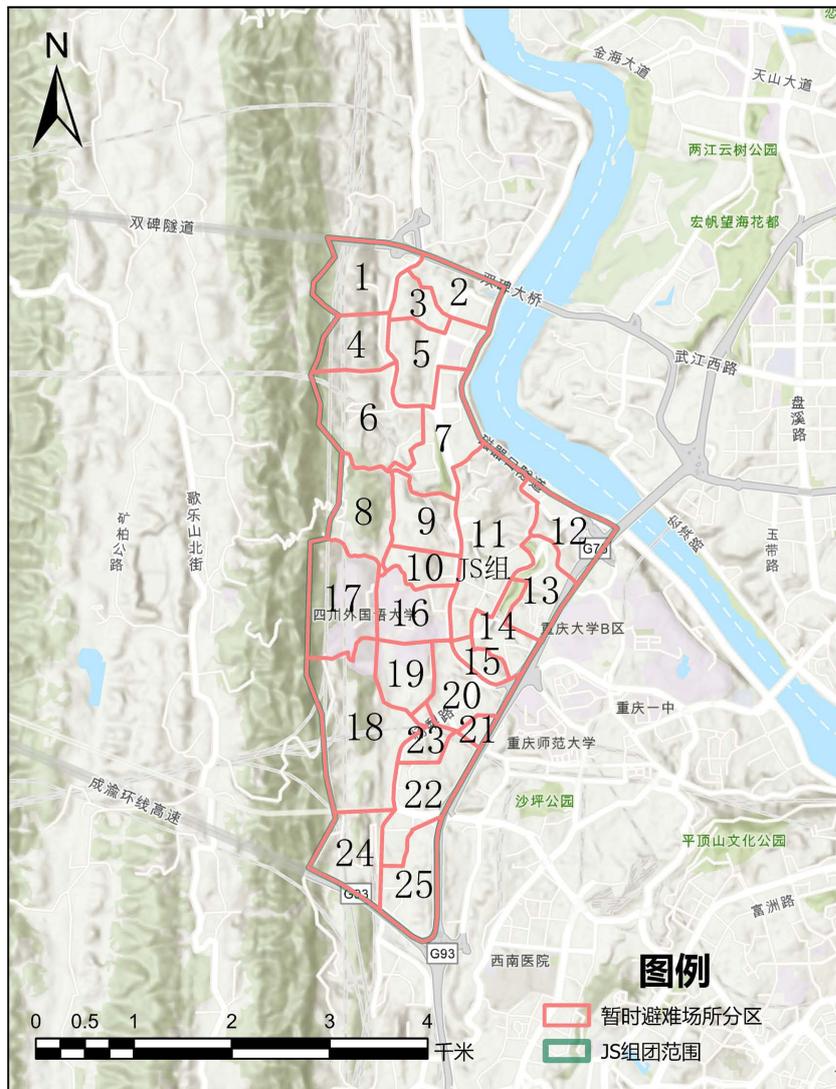


Figure 2. Requirement zone diagram of JS group
图 2. JS 组团需求分区图

Table 3. Predicted number of people in each group by 2030
表 3. 2030 年各组团预测人数

组团名	HLZ 组	JS 组	QMG 组	SZJ 组
人数	87,310	135,324	223,737	289,699

Table 4. Number of people in JS group
表 4. JS 组团分区人数

分区编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
人数	2551	4780	4266	1178	9074	5955	9335	1466	5233
分区编号	10	11	12	13	14	15	16	17	18
人数	2727	15,458	5656	5062	5545	2413	6427	3355	7244
分区编号	19	20	21	22	23	24	25		
人数	2984	11,165	1023	9570	1961	4230	4972		

4.3. JS 组团可利用应急避难场所资源分析

可利用避难场所为 JS 组团公园、绿地、学校、广场、体育场馆、政府机关和空地等[16] [17]。避开地质灾害高易发区或相关易发生次生灾害的区域，提取 JS 组团相关空间分布数据，获得绿地、体育用地和教育科研用地分布情况如图 3 所示。

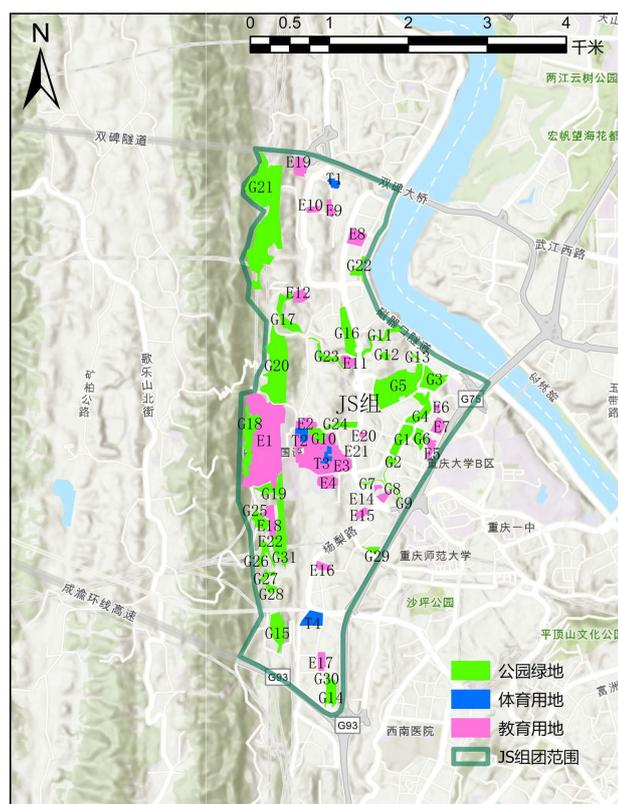


Figure 3. Green space distribution map of JS group
图 3. JS 组团绿地分布图

4.4. JS 组团危险范围划定

危险范围划定遵循《防灾避难场所设计规范》(GB51143-2015)、《城市抗震防灾规划标准》(GB50413-2007)等规范、标准的要求[10] [11], 确保划定结果的科学性和规范性。

(1) 危险源类型识别

收集并整理涉及次生灾害的各类资料, 包括加油站、中高压燃气管线、储配气站、危险化学品分布、化学药品、易燃易爆品仓储用地等危险源数据, 以及易发生地震、泥石流、滑坡、洪水泛滥等自然灾害的风险区域信息。

(2) JS 组团危险影响范围评价

利用 ArcGIS 对危险源位置及其影响范围进行矢量化处理, 并结合缓冲区分析技术, 根据设计规划中的安全距离要求生成风险缓冲区[18]-[20]。如图 4 所示, 加油站缓冲距离为 30 m, 地质灾害点缓冲距离为 50 m, 中高压燃气管线缓冲距离为 50 m。在后续进行避难场所的选址设计过程中, 需要避开图中所展示出的各类缓冲区域。



Figure 4. Hazard buffer zone in JS group
图 4. JS 组团危险源缓冲区

5. 结果与讨论

5.1. 中长期避难场所选址结果

应急避难场所的初步筛选工作首先需识别潜在候选区域，同步排除存在地质灾害风险、环境污染或建构筑物安全隐患的场地[1]。表 5 所示为某市应急避难场所名称及规划技术指标要求。

Table 5. Names and planning technical indicators of emergency shelters in a certain city

表 5. 某市应急避难场所名称及规划技术指标

应急避难场所类型	对应《防灾避难场所设计规范》	服务半径(Km)	占地面积要求(hm ²)	服务建设用地规模(Km ²)	避难期限(天)	服务人口(万)	进出口通道要求
中长期避难场所	中心避难场所	5~10	>10	<50	>30	<50	4
短期避难场所	固定避难场所	0.5~2.5	>2	<20	3~30	<20	>2
暂时避难场所	紧急避难场所	0~0.5	0.1 (城市抗震防灾规划标)	-	临时 (1~3)	-	-

结合备选场所的区位条件、配套设施、地形条件、灾害风险等，确定 JS 组团中长期应急避难场所 1 处。地块等数据如表 6 所示，中长期应急避难场所位置及其服务范围如图 5 所示。根据某市应急避难场所规划导则[5]，应急避难场所有效避难用地面积 = 地块总用地面积 × 折算系数，其中，公园绿地折算系数为 0.2；教育科研设计用地为 0.4；广场用地为 0.6；高尔夫球场为 0.6；体育用地为 0.6，可计算出该避难场所有效避难面积为 12.98 hm²。根据规划导则规定的人均避难毛占地面积要求[5]：中长期避难人均毛占地面积按不小于 4.5 平方米计算；短期避难人均毛占地面积按不小于 3 平方米计算；暂时避难人均毛占地面积按不小于 1.5 平方米计算，可计算出该场所可容纳 2.8844 万人进行中长期避难。

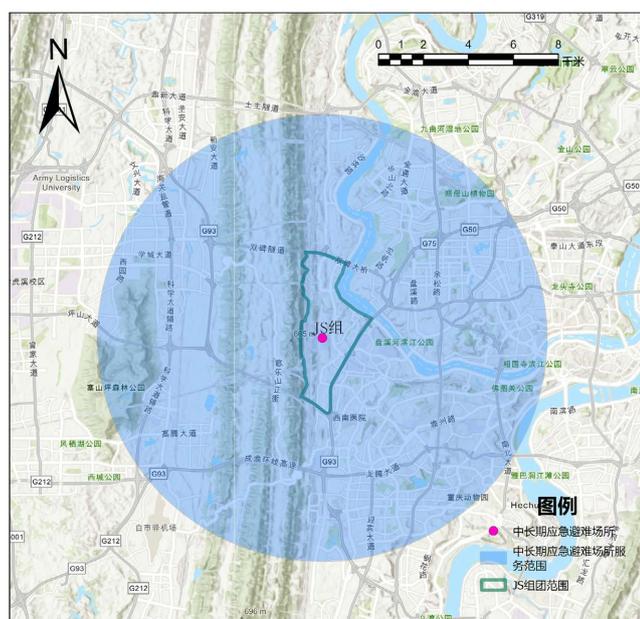


Figure 5. Location and service scope of the long-term emergency shelter in JS group
图 5. JS 组团中长期应急避难场所位置及服务范围

Table 6. Information on medium and long-term emergency shelter sites in planning
表 6. 规划中长期应急避难场所信息表

编号	地块编号	单位	地块类型	占地面积(hm ²)	有效避难面积(hm ²)	可容纳避难人数
1	E3	某大学	教育科研用地	32.46	12.98	28,844

5.2. 短期避难场所选址结果

根据该市应急避难场所规划导则，短期避难场所服务半径最大以 2.5 km 为宜。结合需求分区及某用地规划，选取占地面积大于 2 hm² 的公园绿地、学校、体育场馆，剔除位于高压走廊范围、烟花爆竹批发企业仓库及中转库、燃气管线影响范围、燃气储配站影响范围和地质灾害高发区内的和已选为中长期应急避难场所的区域，考虑服务范围，规划 2 处短期应急避难场所，其分布位置、服务范围以及基本数据如图 6 和表 7 所示。所选短期应急避难场所有效避难面积分别为 16.79、8.65 hm²，由此可计算出所选短期应急避难场所可容纳避难人数分别为 5.5966、2.8833 万人。

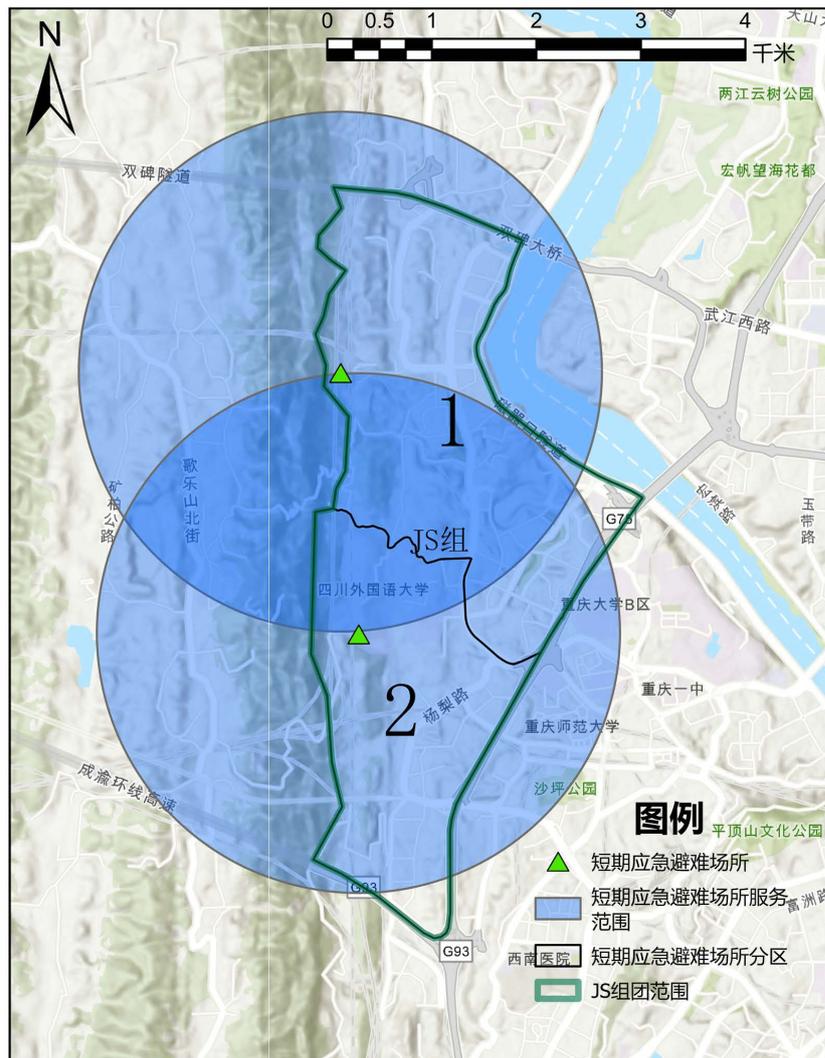


Figure 6. Location and service scope of short-term emergency shelters for JS group
图 6. JS 组团短期应急避难场所位置及服务范围

Table 7. Information on short-term emergency shelters for JS group
表 7. JS 组团短期应急避难场所信息表

编号	地块编号	地块类型	占地面积(hm ²)	有效避难面积(hm ²)	可容纳避难人数
1	E1	教育科研用地	41.96	16.79	55,966
2	G21	公园绿地	43.26	8.65	28,833

5.3. 暂时避难场所选址结果

根据应急避难场所的选址要求,结合 JS 组团基本数据,筛选出符合技术指标要求、规划为暂时应急避难场所地块 27 个,如图 7 所示,基本数据如表 8 所示。有效避难面积合计 60.51 hm²,可容纳 40.3391 万人紧急避难。

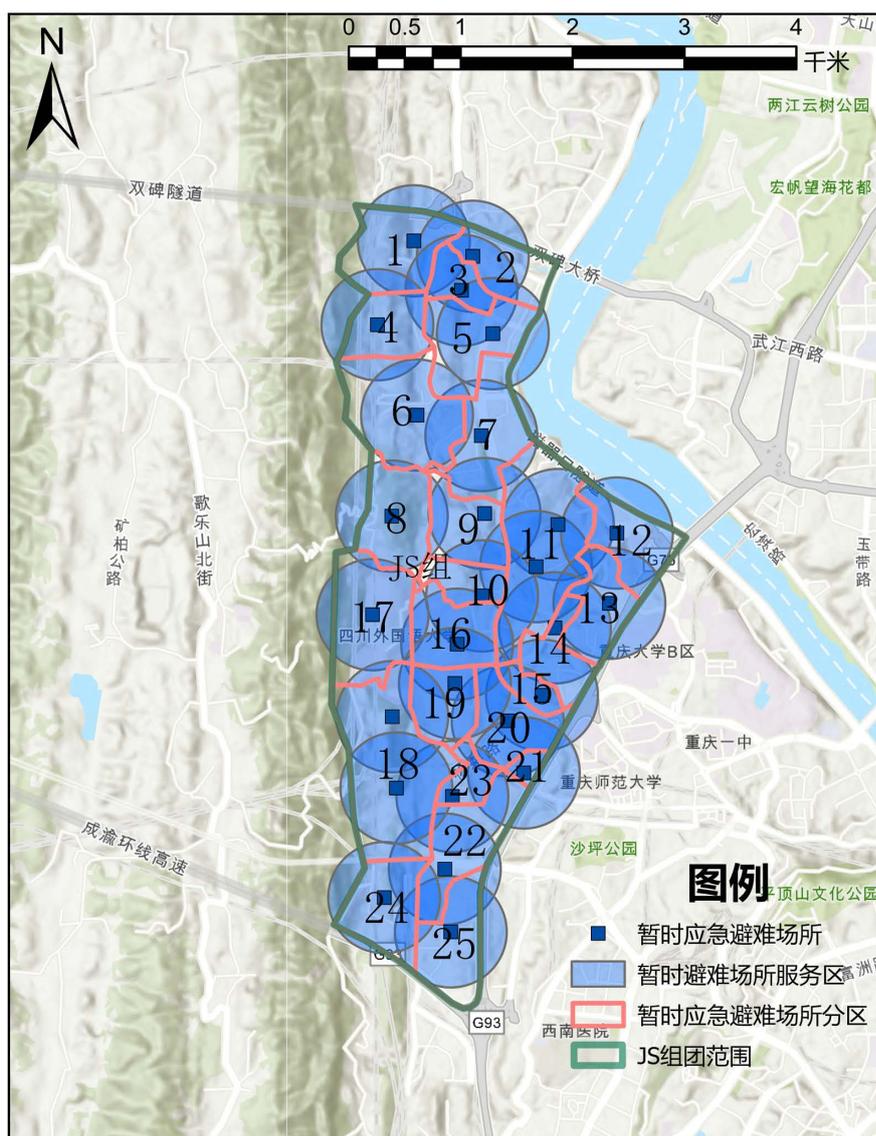


Figure 7. Location and service scope of temporary emergency shelters for JS group
图 7. JS 组团暂时应急避难场所位置及服务范围

Table 8. Information on temporary emergency shelter sites for JS group
表 8. JS 组团暂时应急避难场所信息表

编号	地块编号	地块类型	占地面积(hm ²)	有效避难面积(hm ²)	可容纳避难人数
1	G1	公园绿地	5.10	1.02	6800
2	G3	公园绿地	6.13	1.23	8200
3	G5	公园绿地	19.79	3.96	26,400
4	G15	公园绿地	6.47	1.29	8600
5	G16	公园绿地	7.09	1.42	9466
6	G19	公园绿地	9.59	2.85	19,000
7	G20	公园绿地	21.55	4.31	28,733
8	G21	公园绿地	43.26	8.65	57,666
9	G24	公园绿地	2.63	0.53	3533
10	G29	公园绿地	1.08	0.22	1466
11	G31	公园绿地	4.66	2.85	19,000
12	T1	体育用地	1.49	0.89	5933
13	T3	体育用地	1.77	1.06	7066
14	T4	体育用地	4.36	2.61	17,400
15	E1	教育科研用地	41.96	16.79	111,933
16	E4	教育科研用地	3.73	1.49	9933
17	E7	教育科研用地	2.57	1.03	6866
18	E8	教育科研用地	3.97	1.59	10,600
19	E9	教育科研用地	1.77	0.71	4733
20	E11	教育科研用地	2.27	0.91	6066
21	E12	教育科研用地	2.50	1.00	6666
22	E13	教育科研用地	1.36	0.55	3666
23	E15	教育科研用地	1.62	0.65	4333
24	E16	教育科研用地	1.69	0.68	4533
25	E17	教育科研用地	2.19	0.88	5866
26	E19	教育科研用地	3.34	1.34	8933
合计				60.51	403,391

6. 规划目标达成度分析

6.1. 中长期避难场所选址达成度

如表 3 所示, JS 组团至 2030 年预期常住人口为 13.5324 万人。根据本地区规划导则, 中长期避难场

所需容纳宿住人口不低于总人数 20%，即 JS 组团中长期避难场所需要容纳人数为 2.7065 万人。如表 6 所示，规划中长期避难场所可容纳宿住人数为 2.8844 万人，满足 JS 组团人口避难需求。

6.2. 短期避难场所选址达成度

JS 组团设置两个(1 和 2)短期应急避难场所分区，两个分区中分别规划一个短期避难场所。至 2030 年，1 分区预测常住人口为 8.0699 万人，宿住避难人口为 1.6139 万人；2 分区预测常住人口为 5.2931 万人，宿住避难人口 1.0586 万人。根据表 7 所示，1 分区短期应急避难场所可容纳 5.5966 万人，2 分区可容纳宿住人口 2.8833 万人，满足避难需求。

6.3. 暂时避难场所选址达成度

JS 组团共设置避难分区 25 处，每个分区内常住人口数见表 4 所示。暂时应急避难场所共规划 27 处，可容纳人数如表 8 所示。如表 9 所示，JS 组团内绝大多数分区中暂时应急避难场所均能满足避难需求；但 20 分区内暂时应急避难场所可容纳人数为 4315 人，该分区规划人口数达 11165 人，不满足避难要求。

Table 9. Population estimation for temporary refuge in requirement zone of JS group

表 9. 暂时责任分区避难人口估算表

编号	地块编号	暂时避难人口	可容纳人数	是否满足避难要求
1	E19	2551	8904	是
2	T1	4780	5953	是
3	E9	4266	4721	是
4	G21	1178	57,681	是
5	E8	9074	10,579	是
6	E12/G21	5955	6664	是
7	G16	9335	9448	是
8	G20	1466	28,736	是
9	E11	5233	6052	是
10	G24	2727	3513	是
11	G5	15,458	26,387	是
12	G3	5656	8180	是
13	E7	5062	6861	是
14	G1	5545	6800	是
15	E13	2413	3633	是
16	T3	6427	7070	是
17	E1	3355	111,905	是
18	G19/G31	7244	18,995	是
19	E4	2984	9951	是
20	E15	11,165	4315	否

续表

21	G29	1023	1437	是
22	T4	9570	17,423	是
23	E16	1961	4512	是
24	G15	4230	8628	是
25	E17	4972	5837	是

7. 结语

本课程通过将 ArcGIS 技术与应急管理理论深度融合,以某城市 JS 组团为实践对象,系统性地完成了应急避难场所的三级规划。这一实践过程不仅对学生空间分析能力、规范应用能力和方案解决能力等进行了培养、验证了“理论-技术-应用”教学框架的有效性,更重要的是,以城市真实数据作为基础,强化了学生的创新思维与动手能力,使他们能够将所学的理论知识应用到实际工程问题中;同时,该案例研究揭示了城市应急避难场所规划中若干关键问题,引导学生进行思考:

(1) 老旧城区避难能力不足的根源与对策

JS 组团中 25 个分区清晰地暴露了老旧城区在应急避难场所规划上面临的严峻挑战——历史遗留的高密度建设、开敞空间稀缺以及早期规划对避难需求的忽视。针对此问题,提出解决思路:① 政策倾斜与土地更新:在旧城改造和城市更新中,强制预留或配建应急避难设施用地,探索地下空间、屋顶平台等立体化利用可能;② 邻近区域协同与资源调剂:当本分区确实无法满足需求时,必须通过优化疏散路径、强化邻近分区避难场所的可达性与容量,建立跨分区的协同避难机制。

(2) 静态规划的局限性与动态响应的必要性

本研究基于规划人口和现状条件进行的“静态”选址优化,是规划的基础工作,但也存在明显局限。它难以充分模拟灾害发生时,如跨区避难、交通中断导致的路径变更等人口的动态流动,以及次生灾害的连锁效应以及实时资源消耗。未来的研究与实践应更紧密地结合:① 多情景动态模拟:利用 GIS 的空间分析与其他动态模拟软件结合,模拟不同灾害强度、不同时间点下的人口疏散路径与避难场所压力;② 实时数据融合:探索将手机信令、交通监控等实时数据接入规划与响应系统,提升资源调配的动态适应性。

(3) GIS 技术驱动的标准化评估框架价值

本研究实践表明,基于 ArcGIS 平台构建的“危险源识别-缓冲区分析-人口需求估算-资源评估-选址优化-服务覆盖分析-目标达成度评价”规划设计流程,为应急避难场所规划提供了一套可量化、可比较、可复制的标准化评估框架。这套框架的核心价值在于:① 系统性:整合了地理环境、人口分布、灾害风险、规范标准等多维要素;② 空间显性化:将规划逻辑与结果直观地呈现于空间地图上,极大提升了规划的科学性与沟通效率。这套方法论框架具有普适性,为学生针对国内外其他城市进行应急避难场所规划以及相关工作提供重要的技术参考。

基金项目

重庆科技大学本科教育教学改革研究项目(202391);重庆市高等教育教学改革研究项目(253236);重庆科技大学本科教育教学改革研究项目(202350)。

参考文献

- [1] 苏幼坡. 城市灾害避难与避难疏散场所[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2006.

- [2] 唐彦东, 曹帅, 于汐, 等. 河北省应急避难场所空间分布特征及影响因素分析[J]. 自然灾害学报, 2024, 33(2): 29-36.
- [3] 任锐. 拉萨应急避难场所适宜性评价及选址改善研究[D]: [硕士学位论文]. 拉萨: 西藏大学, 2024.
- [4] 郑家军, 熊玮, 范军, 等. 潍坊市奎文区地震应急避难场所分布适宜性评价[J]. 防灾减灾学报, 2025, 41(1): 74-81.
- [5] 耿劭卿. 震后恢复阶段短期避难场所选址与物资分配优化[J]. 物流技术, 2025, 44(2): 73-84.
- [6] 徐骋, 邵琦. 浙江: 关于推进避灾安置场所建设的若干思考[J]. 中国减灾, 2023(15): 36-37.
- [7] 吕伟, 李承旭, 马亚萍. 基于 GIS 位置分配的城市应急避难场所责任区划分[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(6): 1102-1109.
- [8] 张小莹, 江惠华, 吕伟, 等. 基于 GIS 的城市应急避难场所空间区划——以成都市主城区为例[J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(2): 153-160.
- [9] 李旭阳, 王利, 杜鹏. 基于 GIS 的应急避难场所空间布局及可达性规划[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(16): 110-117.
- [10] 周锡元, 马东辉, 冯启民, 等. GB50413-2007 城市抗震防灾规划标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [11] 高玉坤, 高玉峰, 周倩, 等. GB/T44013-2024 应急避难场所分级及分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [12] Dehnavi Eelagh, M. and Ali Abbaspour, R. (2024) A Location-Allocation Optimization Model for Post-Earthquake Emergency Shelters Using Network-Based Multi-Criteria Decision-Making. *Decision Analytics Journal*, **10**, Article ID: 100430. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100430>
- [13] 韩业凡, 吕伟, 周雯楠, 等. 考虑公众选择偏好的应急避难安置双阶段选址-分配模型[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(3): 20-26.
- [14] 王海飙, 陈海超, 李蕊, 等. 城市应急避难场所管理体系构建与应用[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(12): 153-159.
- [15] 杨蜀光, 余颖, 冉杨, 等. 构建城市生命屏障——《重庆市主城区突发公共事件防灾应急避难场所规划》简析[J]. 城市规划, 2010, 34(7): 92-96.
- [16] Bayram, V. and Yaman, H. (2024) A Joint Demand and Supply Management Approach to Large Scale Urban Evacuation Planning: Evacuate or Shelter-in-Place, Staging and Dynamic Resource Allocation. *European Journal of Operational Research*, **313**, 171-191. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.07.033>
- [17] 王威, 庄园园, 张略淼, 等. 复合灾害情景下城市应急避难场所优化布局研究[J]. 北京工业大学学报, 2025, 51(4): 375-385.
- [18] 苏幼坡, 马东辉, 王志涛, 等. GB51143-2015 防灾避难场所设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
- [19] 张孝奎, 高玉峰, 李湖生, 等. GB/T44012-2024 应急避难场所术语[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [20] Chen, W., Zhai, G., Fan, C., Jin, W. and Xie, Y. (2016) A Planning Framework Based on System Theory and GIS for Urban Emergency Shelter System: A Case of Guangzhou, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, **23**, 441-456. <https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1185692>