

北京市应急避难场所的空间布局与服务效能评估*

魏本勇¹, 谭庆全², 李晓丽³

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 北京市地震局, 北京 100080;
3. 中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要: 基于 GIS 空间分析技术和实际调查数据, 通过构建避难场所综合服务效能指数, 对北京市应急避难场所的空间分布特征及其服务效能进行了评估。结果表明: 北京市应急避难场所分布具有明显的空间不均匀性, 其综合服务效能大体可以分为 4 个层级, 综合服务效能最低的地区主要集中于北京城市发展新区和生态涵养发展区。北京市避难场所总体分布与人口分布趋势基本一致, 但其总体设计容量远低于需求容量, 且区域间差异明显。北京市主城区基本都是避难场所服务配置缺口面积较高的区域。综合考虑多方面影响因素, 加强避难场所布局与人口避难需求之间的协调统一, 是提高应急避难场所服务效能的根本途径。

关键词: 避难场所; 疏散; 空间布局; 北京市

中图分类号: P315.953

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2019)02-0295-09

0 引言

避难疏散是减轻自然灾害影响与损失的重要措施, 规划建设城市应急避难场所对于国家防灾减灾救灾工作的开展具有重要的意义。科学合理地规划建设不同类型的城市应急避难场所, 已成为现代城市发展的内在要求。加强城市、特别是特大城市应急避难场所的规划建设, 用于应对突发性重大灾害事件, 是城市综合防灾减灾的重要措施之一(修济刚等, 2006)。

国外城市应急避难场所的建设起步较早, 其在公共设施规划建设等相关理论研究进展及实践方面也都有着丰富的经验积累, 如最优区位模型(Cooper, 1963)、区位理论研究(Teitz, 1968; Bigman, ReVelle, *et al*, 1978)、区位选择影响因素分析(Emily, 1997)、可达性研究(Talen, 2001; Naess, 2006)、规划决策支持系统研究(Ribeiro, Antunes, 2002; Huang, 2006)等。

我国自 1995 年开始相继出台多个相关的法律法规及部门规章, 以有效应对各种灾害及灾后救援与重建。2008 年中国地震局发布了《地震应急

避难场所场址及配套设施(GB21734—2008)》, 规定了地震应急避难场所的分类、场址选择及设施配置的要求。同时, 全国多省(市)、地区也相继出台了地方性的应急避难场所建设规划标准等政策法规, 各级政府对避难场所的建设工作有了更新的认识(李志强等, 2013)。理论研究方面, 目前, 国内专家学者在城市应急避难场所的规划建设(苏幼坡等, 2004a, b)、场所效能分析(黄典剑等, 2006; 史晓瑞等, 2016)、区位选择(陈志芬等, 2010a, b; 袁昀等, 2015)、空间布局(刘少丽, 2012; 徐礼鹏等, 2012; 施益军, 2015)及应急疏散策略(王海鹰, 2005; 黄静等, 2011)等领域也取得了一定进展。针对北京地区, 熊焰等(2014)采用层次分析法构建了一种应急避难场所减灾能力的评价指标体系, 并在北京市朝阳区进行了应用评估; 周爱华等(2016), 聂丽和王艳慧(2017)则利用 GIS 两步移动搜寻法对北京城区应急避难场所的可达性进行了分析; 高伟等(2018)则对北京丰台长辛庄社区级的地震应急避险场所分布进行了评估。

虽然我国已经初步建立了比较完整的防灾减灾法规和管理体系, 围绕城市应急避难场所的规

* 收稿日期: 2018-12-07.

基金项目: 大中城市地震灾害情景构建重点专项项目(2016QJGJ13, 2017QJGJ04)和国家自然科学基金项目(41601567)联合资助。

划建设,国内学者也进行了广泛探讨并取得了一定进展,但其理论基础与方法体系仍不够完善,各地实际规划建设中也暴露出诸多问题,仍亟需系统的理论基础与科学的方法体系来指导。随着城市现代化建设进程的加快,人民生活水平的不断提高,城市整体防震减灾功能仍远远落后于经济建设发展的问题日益突出。为了预防各种突发事件,减少灾害损失,就必须建立起有效的城市综合防灾减灾应急体系。城市应急避难场所,作为城市综合防灾体系建设的重要组成部分,其空间布局和规划建设对城市的正常运营和发展至关重要,也将直接影响其为社会公众提供服务的效果,因而建立科学的测度方法对其布局的合理性进行评价是十分必要的。本文通过构建一种城市应急避难场所综合服务效能的评估方法,结合 GIS 空间分析技术和实际调查数据,对北京市应急避难场所的空间分布特征及其服务效能进行了评估,并基于评估结果给出了北京市避难场所规划建设优化建议。

1 研究区概况

北京市包含 16 个区,总面积达 1.64 万 km^2 ,是我国大陆东部多地震的地区之一。北京地处华北平原地震带、山西地震带与张家口—渤海地震带的交汇区,地震构造背景复杂,活动断裂发育,历史上曾发生过多次强烈地震。除地震外,滑坡、崩塌等地质灾害,暴雨、火灾及化学泄露等突发灾害或突发公共安全事件也严重威胁着北京地区的公共安全。

北京市一直十分重视城市综合防灾减灾相关建设工作。2003 年,在北京市朝阳区元大都城垣遗址公园建成了我国第一个地震应急避难场所,为地震应急避难场所建设树立了示范。2004 年北京市出台了地方标准《地震应急避难场所标志 (DB11/224—2004)》,并将城市应急避难场所规划写入了《北京市城市总体规划 (2004—2020)》。然而,由于北京市尤其是城六区 (东城区、西城区、朝阳区、海淀区、丰台区和石景山区) 人口密集,建筑密度大且高层建筑多,一旦遭遇重大灾害或突发公共安全事件,实施应急避难及救援的任务更重,因此对应急避难场所的数量与空间布局要求更高。

2 数据与方法

2.1 数据资料

本文所用应急避难场所数据,主要是按照 2008 年中国地震局发布的《地震应急避难场所场址及配套设施 (GB21734—2008)》标准来统计。数据来源于北京市地震局的实际调查统计资料,截至 2016 年 12 月,北京市应急避难场所共有 120 个。

本文所用人口数据为由北京市 2010 年第六次全国人口普查主要数据公报中公里格网化 ($1 \times 1 \text{ km}$) 的 2010 年北京市人口格网数据。

2.2 避难场所服务半径的确定

国内外关于不同级别的应急避难场所服务半径的规划标准并不完全一致,一般规定紧急避难场所的服务半径为 500 ~ 1 500 m,步行 5 ~ 10 min 到达;固定避难场所为 2 000 ~ 5 000 m,步行 0.5 ~ 1.0 h 到达 (苏幼坡,刘瑞兴,2004b)。参考上述标准,笔者将中国地震局确定的 3 类不同级别的地震应急避难场所的服务半径分别定义为 3 000 m (I 类)、2 000 m (II 类) 和 500 m (III 类),并以此为依据进行避难场所服务范围面积的计算。

2.3 避难场所服务范围 and 人口覆盖度的确定

基于不同级别应急避难场所的服务半径,利用 ArcGIS 空间分析技术中的缓冲区分析,通过计算缓冲区面积来确定不同级别避难场所的服务范围。之后,结合 2010 年北京市公里格网的人口数据,再利用 ArcGIS 空间分析工具中“区域分析”来统计不同避难场所服务范围内的常住人口覆盖程度。

2.4 避难场所服务效能评估模型

城市应急避难场所不仅是民众用于躲避灾难的最重要的安全场所,也是一项城市公共服务设施,因而其规划建设除了考虑民众到达设施的便利性外,还应关注不同地点民众实际享有避难场所的公平性与合理性。在参考已有研究的基础上 (苏幼坡,刘瑞兴,2004b;刘少丽,2012;史晓瑞等,2016;周玉科等,2018),本文从可达性、公平性和效率性 3 个方面来评估北京市不同区 (县) 现有应急避难场所的服务效能。由于应急避难场所的主要服务对象为需要避难的人,因而在对避难场所服务效能的具体评价指标选择上均以服务区内的人口为基本设计参数。

应急避难场所的可达性 A ，以避难场所的服务人口比 P ，即应急避难场所服务范围所覆盖的人口数占研究区域总人口的比例来衡量。具体表达式为：

$$P = \frac{P_{TS}}{P_T} (d_{ij} \leq r) \quad (1)$$

式中： P_{TS} 为所有应急避难场所服务范围内的总人口数； P_T 为研究区域内的总人口数； r 为应急避难场所提供服务的最大半径。

应急避难场所空间分布的公平性 J ，以研究区域内人均可达的有效应急避难场所面积 (S_p) 来衡量。应急避难场所的有效面积指扣除房屋、设施、道路、水面及树木等面积后可用于应急安置的有效面积，具体表达式为：

$$S_p = \frac{S_T}{P_{TS}} (d_{ij} \leq r) \quad (2)$$

式中： S_T 为研究区域内所有应急避难场所的有效总面积； P_{TS} 为所有应急避难场所服务范围内的总人口数。

应急避难场所服务的效率性 E ，以避难场所的服务容量比 C ，即研究区域内所有应急避难场所设计容量之和与区域内人口总数的比值来衡量。具体表达式为：

$$C = \frac{P_{Td}}{P_T} \quad (3)$$

式中： P_{Td} 为研究区域内所有应急避难场所总设计人口容量， P_T 为研究区域内的总人口数。

同时，还构建了避难场所综合服务指数 S_1 ，来衡量不同区县地震应急避难场所的综合服务效能：

$$S_1 = w_1 A + w_2 J + w_3 E \quad (4)$$

式中： w 代表评估服务效能的不同方面的权重。

避难场所综合服务效能各权重的确定，采取的是专家打分法。评分范围是 0 ~ 1，分值越高，代表其对综合服务效能评估的重要性越高。通过专家对 3 个方面重要性的打分，可以得到其权重平均值分别为 $w_1 = 0.50$ ， $w_2 = 0.25$ ， $w_3 = 0.25$ 。相对于其他 2 个方面，避难场所的应急可达性，应是其综合服务效能中的首要保证环节。

为保证计算标准的统一，在计算避难场所综合服务指数时，对其各评价指标进行了无量纲标准化，即以各指标的最大值为基值进行标准化处理，以消除指标量纲差异的影响。

2.5 城市避难场所服务缺口评估

为提供城市应急避难场所优化建议，本文还提出了城市避难场所服务面积缺口指标，即一定服务半径下，研究区避难人口所需避难场所面积与现有应急避难场所有效避难面积之间的差。其具体表达公式如下：

$$S_G = S_N - \sum S_T (d_{ij} \leq r) \quad (5)$$

式中： S_G 为避难场所服务配置缺口面积； S_N 为研究区域内避难人口所需避难场所面积； $\sum S_T$ 为现有应急避难场所有效避难面积总和； r 为应急避难场所的服务半径。当 $S_G > 0$ 时，表明该区域的避难场所存在服务人口配置缺口。

本文假定以研究区避难场所服务范围内的覆盖人口数为全部所需避难人口数。根据国内外避难场所的规划设计标准，一般人均有效避难面积设计为 1 ~ 3 m²，据此本文所用 3 类不同级别的地震应急避难场所的人均有效避难面积分别按 2 m² (Ⅰ类)、1.5 m² (Ⅱ类) 和 1 m² (Ⅲ类)，并以此为依据计算避难人口所需避难场所面积。依据避难场所服务配置缺口，结合城市人口分布和现有避难场所的空间布局，即可给出未来城市应急避难场所建设优化的参考建议。

3 研究结果

3.1 空间分布

《地震应急避难场所场址及配套设施 (GB21734—2008)》中，按照场所设施配置和可安置受助人员天数，将地震应急避难场所分为 3 类：Ⅰ类地震应急避难场所，具备综合设施配置，可安置受助人员 30 天以上；Ⅱ类地震应急避难场所，具备一般设施配置，可安置受助人员 10 ~ 30 天；Ⅲ类地震应急避难场所，具备基本设施配置，可安置受助人员 10 天以内。按此标准，截至 2016 年 12 月，北京市统计在案的应急避难场所共有 120 个，包括 Ⅰ类应急避难场所 11 个，Ⅱ类 47 个，Ⅲ类 62 个，总面积达 1 831.45 万 m² (图 1)。

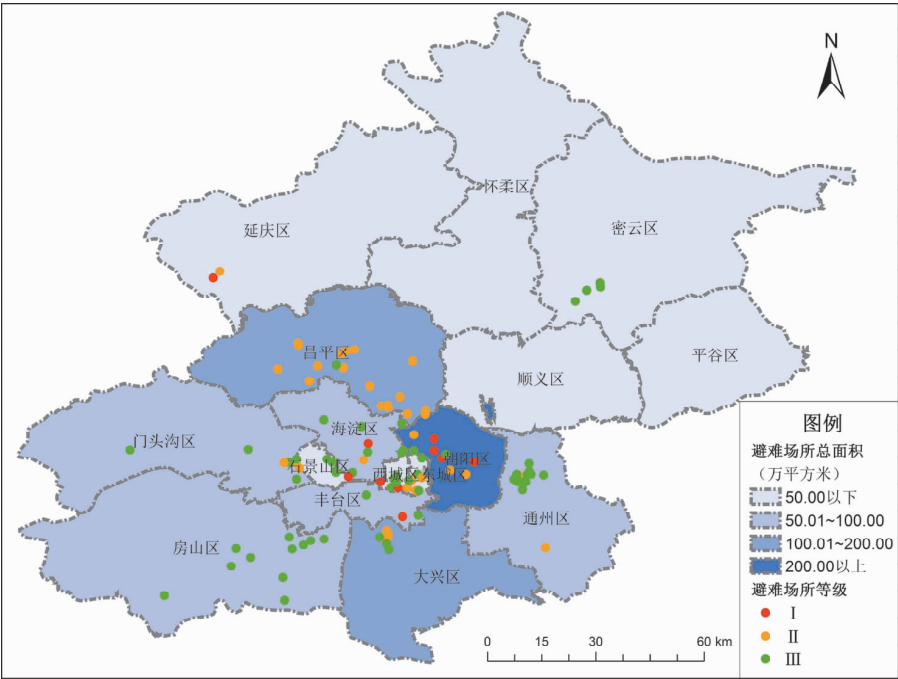


图 1 北京市应急避难场所空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of emergency shelters in Beijing

在 120 个应急避难场所中, 包括 75 个公园、25 个学校操场、7 个城市广场、6 个绿地、6 个体育场和 1 个停车场。就避难场所数量的区域分布看, 昌平区、大兴区、通州区、房山区和朝阳区最多, 分别为 20, 15, 12, 11, 11 个; 平谷、延庆、顺义和怀柔区的应急避难场所数量较少。就面积分布 (图 1) 看, 朝阳区、昌平区和大兴区最高, 分别达

980.08 万 m², 171.85 万 m² 和 107.76 万 m²; 平谷区和怀柔区的应急避难场所面积最低, 分别只有 1.03 万 m² 和 10.86 万 m²。就不同等级的避难场所数量分布看, I 类避难场所主要在朝阳区, 共 5 个; II 类主要位于昌平区, 共 19 个; III 类避难场所主要位于房山区和通州区, 各有 11 个 (表 1)。北京市现有的应急避难场所分布具有明显的空间不均匀性。

表 1 北京市应急避难场所基本信息

Tab. 1 Basic informations of emergency shelters in Beijing

行政区	总数量	级别			类型						总面积 /万 m ²
		I	II	III	公园	绿地	体育场	广场	操场	停车场	
东城区	5	0	3	2	4	1	0	0	0	0	37.30
西城区	8	1	1	6	7	1	0	0	0	0	30.96
朝阳区	11	5	4	2	10	1	0	0	0	0	980.08
海淀区	9	1	1	7	7	1	1	0	0	0	78.50
丰台区	5	2	0	3	5	0	0	0	0	0	58.90
石景山	3	1	0	2	1	1	0	0	0	1	46.80
房山区	11	0	0	11	5	0	1	5	0	0	88.99
通州区	12	0	1	11	3	0	1	0	8	0	60.34
大兴区	15	0	12	3	10	0	0	1	4	0	107.76
门头沟	10	0	3	7	9	0	1	0	0	0	61.70
顺义区	2	0	0	2	1	0	0	1	0	0	29.55
昌平区	20	0	19	1	7	1	1		11	0	171.85
怀柔区	2	0	2	0	0	0	1	0	1	0	10.86
密云区	4	0	0	4	4	0	0	0	0	0	26.84
延庆区	2	1	1	0	2	0	0	0	0	0	40.00
平谷区	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1.03
总计	120	11	47	62	75	6	6	7	25	1	1 831.45

3.2 服务范围

图2表明,在限定的服务半径范围内,北京市现有应急避难场所的总服务面积为807.32 km²,占区域总面积的4.92%。就服务面积的绝对值看(表2),昌平区(185.14 km²)、朝阳区(165.24 km²)和大兴区(60.56 km²)避难场所总的服务

面积最大,这与其拥有的避难场所的总面积最高也基本一致。从服务面积(S_s)占区域总面积(S_A)的比例看,东城区(55.33%)、西城区(41.56%)和朝阳区(36.31%)的服务面积比例最高,也反映出这3个区避难场所的服务范围在区域内相对最广。

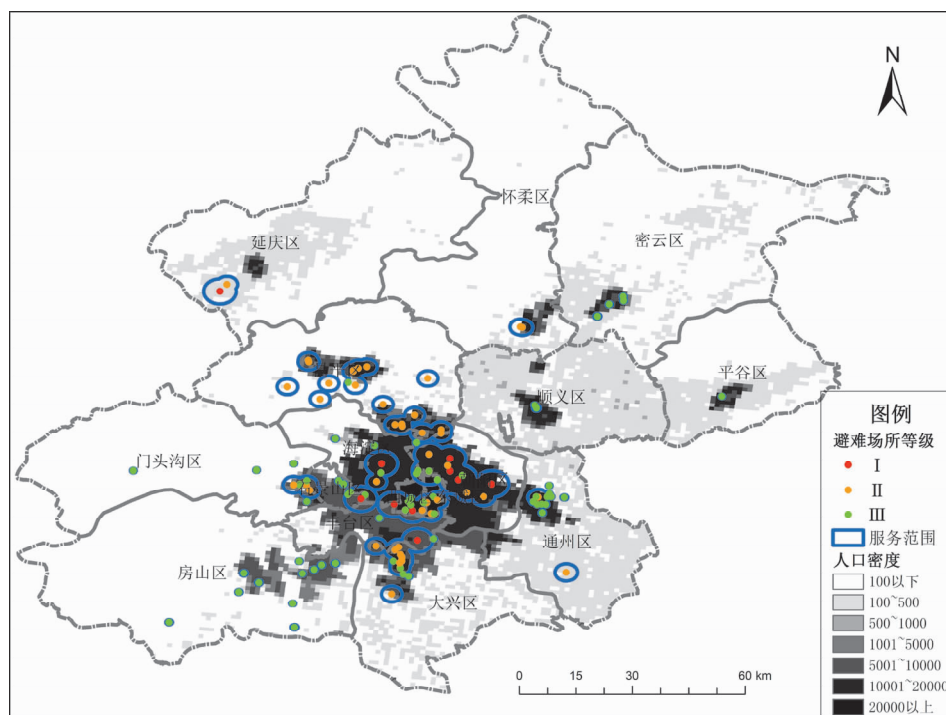


图2 北京市应急避难场所服务范围与人口分布

Fig. 2 Service range of emergency shelter and population distribution in Beijing

从图2可见,北京市人口分布也具有显著的空间不均匀性。2016年北京市常住人口密度平均为1 324人/km²。作为首都功能核心区的西城区(2.49万人/km²)和东城区(2.10万人/km²)区域人口密度最高;城市功能扩展区的朝阳区、海淀区、石景山区和丰台区,平均人口密度也在0.81万人/km²;而其他区域的人口密度则均在0.17万人/km²以下;人口密度最低的延庆区和怀柔区,分别只有164人/km²和185人/km²。

从区域人口覆盖度(表2)看,在限定的服务半径范围内,北京市现有应急避难场所服务面积所覆盖人口总数为634.44万人,单位服务面积所覆盖的平均人口数为0.79人/m²。朝阳区(191.86万)、昌平区(100.66万)、海淀区

(84.24万)避难场所服务范围所覆盖的总人口数最高;而延庆区(0.56万)、顺义区(3.34万)和房山区(4.47万)避难场所服务范围所覆盖的总人口数最低。但从单位服务面积所覆盖的人口(P_{TS}/S_s)看,西城区(2.83人/m²)、东城区(1.97人/m²)和海淀区(1.58人/m²)是避难场所服务范围覆盖人口密度最高的区域;而延庆区(0.01人/m²)、房山区(0.30人/m²)和门头沟区(0.43人/m²)则是最低的区域。

3.3 各区(县)避难场所的服务效能分析

从综合服务效能指数(图3a)看,以指数分布自然断裂点0.2,0.4和0.6为分界点,北京市16个区的地震应急避难场所综合服务效能大体可以分为4个层级:昌平和门头沟区地震应急避难场所的综合服务效能最高,其综合服务指数

表2 北京市应急避难场所服务面积与人口覆盖度

Tab.2 Service scope of emergency shelters and population coverage in Beijing

行政区	区域面积 S_A/km^2	服务面积 S_S/km^2	覆盖人口 $P_{TS}/\text{万人}$	S_S/S_A (%)	P_{TS}/S_S /(人· m^{-2})
东城区	41.86	23.16	45.67	55.33	1.97
西城区	50.53	21.00	59.51	41.56	2.83
朝阳区	455.09	165.24	191.86	36.31	1.16
海淀区	430.71	53.48	84.24	12.42	1.58
丰台区	305.80	41.32	40.14	13.51	0.97
石景山	84.32	13.64	12.94	16.18	0.95
房山区	1 989.11	14.89	4.47	0.75	0.30
通州区	906.09	21.54	19.29	2.38	0.90
大兴区	1 036.09	60.56	46.74	5.85	0.77
门头沟	1 453.27	27.34	11.81	1.88	0.43
顺义区	1 019.92	2.74	3.34	0.27	1.22
昌平区	1 343.58	185.14	100.66	13.78	0.54
怀柔区	2 124.32	16.03	7.28	0.75	0.45
密云区	2 225.81	5.11	4.98	0.23	0.97
延庆区	1 993.90	38.72	0.56	1.94	0.01
平谷区	950.00	0.98	0.95	0.10	0.97
总计	16 410.42	807.32	634.44	4.92	0.79

分别达到 0.65 和 0.60；朝阳、东城、西城和延庆综合服务效能次之；大兴、石景山、海淀和怀柔区的综合指数较低（0.2~0.4）；通州、丰台、房山、密云、顺义和平谷区应急避难场所的综合服务效能指数最低，均低于 0.2。

从服务效能评估的可达性来看，延庆区、房山区和门头沟区的人均可达有效避难场所的面积最高，其中，延庆区人均达到 55.36 m^2 ，房山区和门头沟区人均也分别达到 6.80 m^2 和 2.92 m^2 ；人均可达有效避难场所面积最低的地区分别是丰台区、海淀区和西城区，其人均面积分别为 0.19 m^2 ，0.33 m^2 和 0.40 m^2 （图 3b）。

由避难场所服务人口比（图 3c）可见，昌平区（0.61）、朝阳区（0.54）和东城区（0.50）应急避难场所服务范围所覆盖的人数均达到了其区域总人口数的 50% 及以上，其服务人口比例最高；而延庆区（0.02）、平谷区（0.02）和顺义区

（0.04）应急避难场所的服务人口比最低，均未超过其区域总人口的 5%。

从现有应急避难场所的服务容量看（图 3d），门头沟区、延庆区和昌平区应急避难场所设计的避难容量占区域人口总数的比例最高，分别达到 60%，41% 和 35%；而平谷区（0.01）、顺义区（0.02）和丰台区（0.02）避难场所的服务容量比最低，即相对于其区域人口总数，区域内应急避难场所设计的避难容量最低。

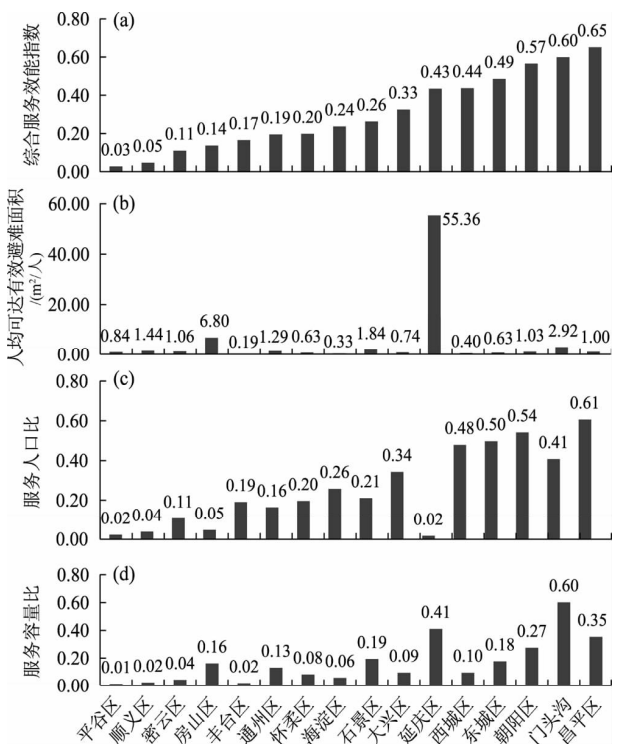


图3 北京市应急避难场所服务效能

Fig.3 Service efficacy of emergency shelter in Beijing

从图 3 可以看出，城市避难场所的服务效能受多方面因素影响：有效避难场所面积、避难场所服务人口数量、区域人口总数等。如延庆区，如果单看其人均有效可达避难场所面积，其值最高，反映出其人均有效可利用的避难场所面积最大；但其服务人口，只占区域总人口的 2%。出现这种现象的原因是其区域内地震应急避难场所的有效面积不低（31 万 m^2 ），但其场所位置相对偏僻，与区域内人口密度的分布并不一致，导致其避难场所在服务半径范围内所能覆盖的人口数只有 0.56 万人，为全市最低，也就产生了人均有效可

达避难场所面积高而实际服务人口比低的现象。因而,在对城市应急避难场所布局进行合理性评估时,必须综合考虑多方面的因素,不能单纯以绝对面积和数量作为唯一衡量标准。

3.4 服务配置缺口及优化建议

对北京市不同区(县)应急避难场所服务配置缺口进行评估发现,总体上北京市应急避难场所有效避难面积只能满足 47.28% 的避难需求。由图 4 可见,北京市应急避难场所服务配置缺口大致可以分为 4 个层级:朝阳区为第一层级,属于服务配置缺口面积最高的区,为 192.44 万 m^2 ;海淀、西城、大兴、丰台、昌平和东城区为第二层级,属于服务配置缺口面积次高区,其缺口面积为 50 ~ 100 万 m^2 ;密云、怀柔、通州、顺义、石景山和平谷区为第三层级,属于服务配置面积与需求面积相差不大区,其缺口面积为 0.5 ~ 10 万 m^2 ;门头沟、房山和延庆区为第四层级,属于服务配置面积无缺口区,即服务配置面积能够满足服务范围所覆盖人口的需求面积。

避难场所的规划与区域人口分布的统一,是发挥避难场所避灾与安置功能的基础。虽然图 2 中北京市避难场所分布与人口分布趋势基本吻合,避难场所基本集中于人口密集区,但其总体设计容量远低于需求容量,且区域间差异明显。从图 4 中可以看出,首都功能核心区和城市功能扩展区,基本都是避难场所服务配置缺口面积较高的区域,因为这些地区人口密度最高,其对避难场所服务配置的需求也最高。这些区域除了可以适当增加和开发利用新的应急避难场所(如绿地、公园和广场外),还可以通过城市部分功能外迁的方式,疏散一部分人口,以降低区域人口密度。对于城市发展新区和生态涵养发展区,由于人口密度总体较低,其对避难场所服务配置的需求也相对较低,因而这些区域避难场所的服务配置缺口面积相对较小,也有个别地区(如延庆区、房山区等)现有的避难场所服务配置面积已基本满足区域服务覆盖人口的避难需求。对于这些地区,除了充分利用现有避难场所空间,提高其综合服务效能外,也需要继续适当增加和开发利用新的避难场所点,以承接首都功能核心区的人口外溢,适应未来区域人口的变化。

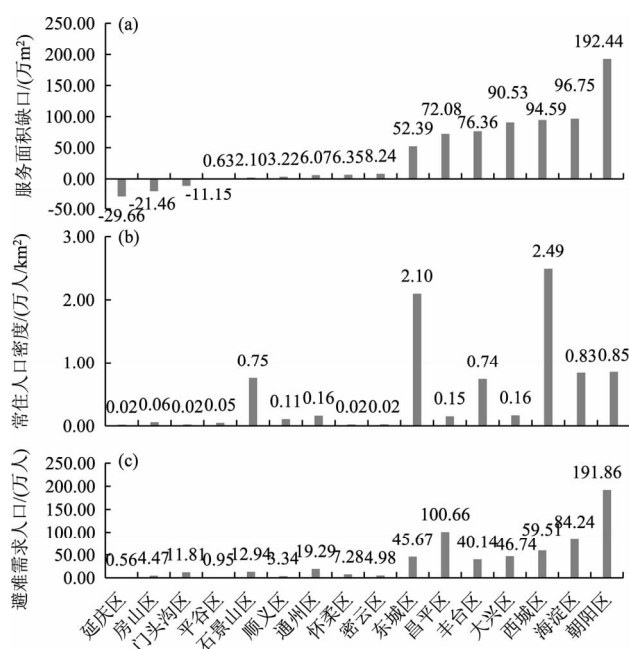


图 4 北京市应急避难场所服务配置缺口

Fig. 4 Service configuration gap of emergency shelter service in Beijing

同时,城市避难场所的服务效能受多方面因素的影响,应该全面考虑其空间布局的公平性、可达性和效率性。另外,可用作避难场所规划设计的空敞地空间冗余度、区域地形地貌条件、备用避难场所的安全性等,也都是制约应急避难场所规划布局的客观因素,在避难场所规划建设时都应该加以考虑。总之,在进行城市避难场所的规划布局时,应该以城市人口分布为基本依据,以基本避难需求为导向,以避难场所的可达性为基本保障,兼顾布局的公平性和效率性,以最低的投入成本,获得最高的利用效率,满足最广的需求。

4 结论与讨论

本文基于调查数据对北京市现有应急避难场所的空间分布进行了分析,并通过构建综合服务效能指数来评估北京市不同区县应急避难场所的服务效能,给出了优化建议。

总体上,北京市应急避难场所的分布与人口分布趋势基本吻合,但其总体设计容量远低于需求容量,且区域间差异明显。就综合服务效能指

数看,北京市 16 个区的地震应急避难场所综合服务效能大体可以分为 4 个层级,其中,综合服务效能最低的地区主要集中于北京城市发展新区(如顺义、房山、通州区等)和生态涵养发展区(如平谷、密云区)。就服务配置缺口看,北京市各区(县)避难场所的服务配置缺口面积大致也可以分为 4 个层级。首都功能核心区和城市功能扩展区,基本都是避难场所服务配置缺口面积较高的区域,因为这些地区人口密度最高,其对避难场所服务配置的需求也最高。而城市发展新区和生态涵养发展区,由于人口密度总体较低,其对避难场所服务配置的需求也相对较低,因而这些区域避难场所的服务配置缺口面积相对较小,甚至个别地区避难场所的服务配置面积已基本满足区域服务覆盖人口的避难需求。城市应急避难场所的合理性布局必须考虑多方面的影响。综合规划,按区域施行,加强避难场所布局与人口避难需求之间的协调统一,是提高城市避难场所服务效能的根本途径。

本文基于北京市避难场所和人口分布,对其空间布局和服务效能进行整体评估,因而不可避免地存在一些不足和需要继续深入研究的问题。首先,对于避难场所服务区的确是基于缓冲区分析,而缓冲区是基于居民与场所之间的直线距离进行的评价,其结果往往会夸大避难场所的实际服务水平。发展基于实际道路网络数据来计算的服务面积,会更接近于客观实际的服务水平。其次,由于避难场所都是不规则面积,因而矢量化的避难场所空间形态对于提高避难场所实际服务水平的评估也有影响。另外,本文在计算人口需求时,没有区分城镇人口和农村人口,是因为首先对于北京地区而言,农村人口只占其总人口的 13.50%,且主要分布于北京市的生态涵养发展区,这些地区的人口密度较低,其避难场所的服务配置基本能够满足当前需要;其次,由于北京特殊的区位和功能,面对突发事件或者灾害时,其应急处置措施基本是一致的。因而,本文将北京市总人口作为一个整体加以分析。最后,本文对于避难场所的服务配置缺口的计算,是以避难场所服务范围所覆盖的人口为基本避难需求进行的求解。严格来说,这并不是真实意义上的避难

需求,因而今后增加基于特定突发事件或灾害(如地震事件)情景设计的应急避难需求分析,对于增强城市灾害应急管理,提高社会的应急响应行动,更具现实意义和参考意义。

参考文献:

- 陈志芬,顾林生,陈晋,等. 2010a. 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,19(3):151-155.
- 陈志芬,李强,陈晋. 2010b. 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,19(5):13-19.
- 高伟,程家莹,何宏林,等. 2018. 社区级地震应急避难场所分布的时空差异性评价——以北京丰台区长辛店地区为例[J]. 震灾防御技术,13(2):447-459.
- 黄典剑,吴宗之,蔡嗣经,等. 2006. 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,15(1):52-58.
- 黄静,叶明武,王军,等. 2011. 基于 GIS 的社区居民避震疏散区划方法及应用研究[J]. 地理科学,31(2):204-210.
- 李志强,杨国宾,李晓丽. 2013. 我国地震应急避难场所的现状与思考[J]. 中国应急救援, (4):36-42.
- 刘少丽. 2012. 城市应急避难场所区位选择与空间布局——以南京市为例[D]. 南京:南京师范大学.
- 聂丽,王艳慧. 2017. 基于两步移动搜寻法的居民应急避难场所可达性分析——以北京西部城区为例[J]. 地理信息世界,24(6):98-101.
- 施益军. 2015. 山地小城市应急避难场所的空间布局优化研究——以云南剑川为例[D]. 昆明:云南大学.
- 史晓瑞,商彦蕊,胡佳,等. 2016. 石家庄市应急避难场所适应性评价. 震灾防御技术,11(3):656-666.
- 苏幼坡,刘瑞兴. 2004a. 防灾公园的减灾功能[J]. 防灾减灾工程学报,24(2):232-235.
- 苏幼坡,刘瑞兴. 2004b. 城市地震避难所的规划原则与要点[J]. 灾害学,19(1):87-91.
- 王海鹰. 2005. 城市地震应急避难场地、道路选择合理性初探——以福清市为例[D]. 北京:中国地震局地质研究所.
- 熊焰,梁芳,乔永军,等. 2014. 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,9(4):921-931.
- 修济刚,胡平,杨国宾. 2006. 地震应急避难场所的规划建设与城市防灾[J]. 防灾技术高等专科学校学报,8(1):1-5.
- 徐礼鹏,刘启蒙,孙娇娇. 2012. 基于 GIS 的安庆市应急避难场所空间布局特征分析与优化[J]. 测绘与空间地理信息,35(2):151-155.
- 袁昉,刘杨,朱思洪,等. 2015. 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,24(2):8-14.
- 周爱华,张景秋,张远索,等. 2016. GIS 下的北京城区应急避难场所空间布局与可达性[J]. 测绘通报, (1):111-114.
- 周玉科,刘建文,梁娟珠. 2018. 基于改进灰色关联的福州市避难所适应性综合评价[J]. 地理与地理信息科学,34(6):63-70.

- Bigman D, ReVelle C. 1978. The theory of welfare considerations in public facility location problems [J]. *Geographical Analysis*, 10 (3): 229 – 240.
- Cooper L. 1963. Location – allocation problems [J]. *Operations Research*, 11 (3): 331 – 343.
- Emily T. 1997. The social equity of urban service distribution: an exploration of park access in Pueblo, Colorado, and Macon, Georgia [J]. *Urban Geography*, 18 (6): 521 – 541.
- Huang R B. 2006. Network location problems with multiple types of facilities [M]. Toronto: University of Toronto.
- Naess P. 2006. Accessibility, activity participation and location of activities: exploring the links between residential location and travel behavior [J]. *Urban Studies*, 43 (3): 627 – 652.
- Ribeiro A, Antunes A. 2002. A GIS – based decision – support tool for public facility planning [J]. *Environment & Planning*, 29 (4): 553 – 569.
- Talen E. 2001. School, community, and spatial equity: an empirical investigation of access to elementary schools in West Virginia [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 91 (3): 465 – 486.
- Teitz M B. 1968. Toward a theory of public facility location [J]. *Papers of the Regional Science Association*, 21 (1): 35 – 51.
- DB11/224—2004, 地震应急避难场所标志 [S].
- GB21734—2008, 地震应急避难场所场址及配套设施 [S].

Assessment on Spatial Distribution and Service Efficiency of Emergency Shelters in Beijing

WEI Benyong¹, TAN Qingquan², LI Xiaoli³

(1. *Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*)

(2. *Beijing Earthquake Agency, Beijing 100080, China*)

(3. *China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China*)

Abstract

Based on GIS spatial analysis technique and investigation data, we assessed the spatial distribution and service efficiency of emergency shelters in Beijing by constructing a complex service index. The results showed that the distribution of emergency shelters has obvious spatial heterogeneity in Beijing. The service efficiency of different administrative districts could be divided into 4 levels in Beijing, the lowest level of which mainly located in the new urban development zone and the ecological conservation development zone. The overall distribution of shelters is basically consistent with the trend of population distribution, but the overall design capacity of shelters is much lower than the demand capacity in Beijing. The main urban areas of Beijing are basically areas with high service allocation gap in shelters. Considering various factors comprehensively, strengthening the coordination and unification between the distribution of emergency shelters and the population is the fundamental way to improve the service efficiency of emergency shelters.

Keywords: emergency shelters; evacuation; spatial distribution; Beijing City