

孙忠, 运迎霞. 基于“三维空间面板”的避难场所规模均等性研究——以天津市中心城区为例[J]. 灾害学, 2021, 36(3): 195–202. [SUN Zhong and YUN Yingxia. Research on the Equality of Evacuation Area Scale Based on “Three-dimensional Space Panel”——Take Tianjin’s Downtown Area as an Example [J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(3): 195–202. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.03.034.]

基于“三维空间面板”的避难场所规模均等性研究^{*}

——以天津市中心城区为例

孙 忠, 运迎霞

(天津大学 建筑学院, 天津 300072)

摘 要: 防灾避难场所布局存在着场地规模不足、与居民分布不相协调, 各区域人均规模差别较大等问题, 在避难人口测算时主要根据常住人口, 使测算人口与实际需要避难人口之间存在一定差异。为保证居民均等避难, 提出防灾避难场所规模测算的“时间—空间—规模三维空间面板模型”。在规模测算时, 根据人口时空变化规律, 利用大数据技术对城市人口规模测算, 同时依据建筑综合抗灾能力和人均避难场所面积, 对各区域不同时段避难人数及不同等级避难场所测算, 保证各区域避难场地满足居民需求。“三维空间面板模型”构建不仅为天津市中心城区这种在各行政区均衡数量布局避难场所的城市提供布局优化基础, 也为其它城市避难场所布局优化提供避难疏散人口及避难场地规模测算新方法, 实现各区域居民避难规模均等性, 满足所有居民避难疏散需求。

关键词: 三维空间面板模型; 防灾避难场所; 规模测算; 均等性

中图分类号: X4; X915.5; TP751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2021)03-0195-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.03.034

部分城市在避难人口及场地规模测算时, 主要根据常住人口, 导致部分区域避难场地规模测算相对不合理, 避难人口规模均等性不足。为实现防灾避难场所合理布局, 许多学者采用不同方法并构建不同测算模型, 但测算避难场所与实际需求具有一定差异, 无法实现均等化防灾避难场所规模测算。马挺^[1]、陈红月^[2]、吕元^[3]、朱佩娟^[4]、李久刚^[5]等根据各区域常住人口, 仅对单一类型避难场所规模测算。一些城市在避难场所布局时, 尤其是郑州、南昌、上海、天津、广州、武汉等避难场地规模与实际需求差距较大, 避难场所无法满足需求, 避难服务规模均等性严重不足。为了对各区域人口规模合理测算, 近年来, 利用大数据对人口预测越来越多^[6], 杨皓斐^[7]、陈丽娜^[8]、钮心毅^[9]等利用手机信令数据对城市各区域人口预测, 利用手机定位及信号获取位置信息, 根据获取数量明确各区域人口, 准确了解人口真实分布^[10-12], 使人口预测更加方便且精准

性更高, 避免了人工统计中由于人口流动造成的重复统计, 也避免依靠公安机关人口统计中仅有户籍人口和已登记暂住人口, 与实际人口差异较大, 也避免人口普查间隔过长与实际人口不一致情况。利用手机信号获取人口数量是以 GPS 为核心, 目前避难场所人口测算主要针对单一类型避难场所, 部分城市尚未进行合理的防灾避难场所等级划分, 由于不同等级防灾避难场所服务人数、类型、服务范围及避难疏散过程中受限制性因素影响差别较大, 而在防灾避难场所规模测算时, 根据城市常住人口测算, 虽然保证了总体规模能够满足需求, 但由于不同区域人口类型、建筑抗灾能力差异等使防灾避难场所规模需求差别较大, 因此利用大数据技术根据人口时空变化对各区域不同时段人口规模测算, 建立“时间、空间、规模”三位一体的防灾避难场所规模均等性模型, 依据时间、空间变化对人口规模测算, 并根据人均避难场地进行避难场所规模测算, 实现规模均等的避难场所布局。

^{*} 收稿日期: 2020-11-10 修回日期: 2020-12-17

基金项目: 国家社科重大基金项目“基于智慧技术的滨海大城市安全策略与综合防灾措施研究”(13&ZD162)

第一作者简介: 孙忠(1986-), 男, 汉族, 河南项城人, 博士研究生, 工程师, 主要从事城市综合防灾研究。

E-mail: 420679099@qq.com

通讯作者: 运迎霞(1957-), 女, 汉族, 天津人, 教授, 博士生导师, 主要是从事城市综合防灾、土地利用规划研究。

E-mail: yunyx@126.com

1 规模均等性“三维空间面板模型”构建及预测方法

城市各区域人口流动性较大,不同时段避难人口数量及类型差别较大,为确保各区域避难场所规模均等,构建“时间、空间、规模”三位一体的规模测算模型,对灾害不同时段人口规模及不同等级避难场地规模测算。

1.1 规模均等性“时间—空间—规模三维空间面板”模型构建基础

为满足居民避难需求,在规模均等性模型构建时,首先对避难人员类型及数量随时间变化分析,明确灾害不同时段避难人员类型,并进行合理的避难人口及场地规模测算,保证所有居民享有均等的避难场地规模、均衡的避难场地数量和公平的避难服务机会。

1.1.1 灾害不同时段避难场所人员类型及数量随时间变化

日本多类型灾害高发,每次灾害发生后均对不同时段避难人数和人员类型详细研究,在避难人数及避难场地规模预测方面积累了丰富的经验。日本新潟中越 6.8 级地震 24 d 内避难场所人数变化较大,前期出现波动,后期逐渐下降,灾害发生当天全部人员紧急避难;第 2 d 部分人员被疏散,部分流动和常住人口进入临时避难场所;第 3 d 避难场所人数达到最高,随后降低;但第 6 d 常住人口出现波动,随后逐渐减少。

1.1.2 灾害不同时段避难人口类型

根据灾害时建筑及设施损毁、破坏情况,确定灾害不同时段避难人员类型。

(1)短期避难人员类型。灾害时,建筑遭到破坏,居民到避难场所避难,而部分建筑相对较好,未受破坏或破坏较轻居民,在确定没有灾害再次发生情况下,回到家中生活。但目前城市中高层建筑较多,灾害造成停水、停电、电梯停运等,居民生活困难,而灾害恐慌也使一些建筑较好居民进入避难场所。这些居民包括常住人口中房屋建筑待定和危险两类人员和因停水、停电、食物短缺、谣言恐慌等避难人员及外部流动人口、临时到来人员。

(2)中长期避难人员类型。随着距离灾害时间增加,城市自救和外部救援,生命线设施基本恢复,建筑较为安全居民回家生活。而建筑内部墙体、屋顶脱落,门窗和家中设施被破坏居民,仍需在避难场所避难,以待建筑修缮或重建^[13]。主要包括常住人口中房屋建筑待定和危险两类受房屋影响人口。

(3)长期避难人员类型。主要为房屋倒塌及损毁较为严重的无家可归人员,经应急评估和处置不适于居住的房屋影响人口,包括房屋建筑严重破坏和倒塌人口,居民需要在长期避难场所中等待房屋重建。

1.2 规模均等性“时间—空间—规模三维空间面板”模型构建

根据日本灾后避难经验,随着避难时间增加避难人数逐渐减少,且呈现明显曲线变化。灾害发生较短时期内,居民在其所在地周边避难,但随距灾害时间增加和城市救援开展,瞬时流动人口回到居住地避难,中长期和长期避难人口以常住人口为主。城市建筑综合防灾能力对避难人数影响较大,抗灾能力较强建筑,灾时受损较轻,经简单修理即可使用,进入避难场所居民数量相对较少,反之,则避难人数较多。灾害发生较短时期内,短期避难人均空间需求较小,但随着避难时间增加,居民衣食住行均需得到满足,不同时段居民对人均避难规模需求、避难场地内部各项设施需求差别较大,因此建立基于“时间—空间—规模”的“三维空间面板模型”,对不同时段各区域避难人数及不同等级避难场所规模预测。在模型构建时,以 X 轴表示避难人口, Y 轴表示人均避难场地规模, Z 轴表示建筑综合抗灾能力(图 1),根据各轴随时间变化,得出各区域防灾避难场所随时间变化情况,测算出各区域不同等级防灾避难场所规模,实现各区域避难场所规模均等性布局。

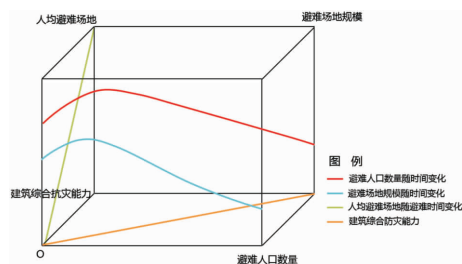


图1 “时间—空间—规模”三维空间面板模型

2 规模均等性“时间—空间—规模三维空间面板模型”算法

“时间—空间—规模三维空间面板模型”的确定,为不同等级避难场地规模测算提供了基础。利用模型测算时,仍需对不同时段避难人数测算,结合灾害影响下各区域建筑综合抗灾能力,将各指标控制在合理范围。

为了对城市内部不同时段避难人员数量及不同等级避难场地规模测算,根据“时间—空间—规模

三维空间面板模型”构建其算法,计算公式如下:

$$R_x = (P_{\text{常}} + P_{\text{流}}) \times Y; \quad (1)$$

$$M_x = R_x \times N_x. \quad (2)$$

式中: R_x 为不同时段避难人数, $P_{\text{常}}$ 为区域常住人口, $P_{\text{流}}$ 为区域内瞬时流动人数, Y 为不同建筑抗灾能力下不同时段避难人口占常住避难比重, M_x 为不同等级防灾避难场所需求规模, N_x 为不同等级避难场所人均避难场地规模。

表1 不同建筑抗灾能力下避难人口占常住人口比重

不同避难时长人口	抗灾能力低的建(构)筑物面积比/%	避难人数占常住人口比例/%
短期避难人口	≥ 60	≥ 45
	40 ~ 60	≥ 35
	20 ~ 40	≥ 25
	< 20	≥ 20
中长期避难人口	≥ 60	25
	40 ~ 60	20
	20 ~ 40	15
	< 20	10

注:表中数据来源“城镇防灾避难场所设计规范”(征求意见稿)

“时间—空间—规模三维空间面板模型”的建立,保证了各区域不同时段居民避难规模的均等,提高了各区域避难场所服务能力和居民避难服务均等,形成了完整的防灾避难场所布局体系,从理论上实现了防灾避难场所规模均等性布局,满足了居民避难疏散空间需求。

3 “三维空间面板模型”在天津市中心城区避难场所布局优化应用

天津市中心城区人口流动性较大,不同时段各区域避难人数差别也较大,呈现动态分布特征,而各区域建筑抗灾能力差异较大,也要求根据建筑综合抗灾能力进行防灾避难场所布局,因此利用“时间—空间—规模三维空间面板模型”对场地规模测算。

3.1 天津市中心城区避难场所布局优化对“三维空间面板模型”需求

为了对天津市中心城区避难场所规模均等性测算,首先对防灾避难场所布局情况及失衡问题分析,主要集中在“人口数量、人口分布、场地数量、场地规模”等方面,因此利用“时间—空间—规模三维空间面板模型”对避难场所规模测算。

3.1.1 天津市中心城区避难场所布局规模失衡问题

(1)天津市中心城区避难场所布局情况。天津市中心城区依托现状公园、广场规划14个应急避

难场所,市内六区每区2处,周边的东丽区和北辰区各1处,津南区和西青区无避难场所,规划应急避难场所总面积353.8 hm²,总服务人口69.5万人,规划避难场所总面积仅占中心城区面积的0.95%,能够容纳总人口仅占中心城区人口的11%左右,避难场所容纳人口不能满足需求。各区规划避难场所服务人口和常住人口人均避难面积差距均较大。规划避难场所人均面积均在3.0 m²/人以上(除西青区和津南区),而和平区达到10.0 m²/人。常住人口人均避难场所面积均在0.1 m²以下,各区域差距较大,其中最高的红桥区0.97 m²/人,最低的北辰区0.07 m²/人。

(2)防灾避难场所布局规模失衡问题。目前,天津市中心城区避难场所数量较少,根据行政区划布局避难场所的模式,造成避难场所分布不均,也导致各区避难场地规模和人口规模之间存在较大差距,规划避难场所无法满足居民避难需求。而居民所在区域与避难场所距离多在2~3 km,且天津市中心城区河流、铁路、城市快速路较多,使部分区域居民无法进入避难场所。同时天津市中心城区规划避难场所与居民集中区相距较远,特别是红桥公园和西沽公园,由于临近河流,距人口集中区相对较远,使人们无法快速避难疏散。而和平区避难场所处于边缘,与人口数量较多的滨江道和五大道区域较远。河西区两处场地位于黑牛城道北部,而黑牛城道南部大量居住区和商业设施,却无避难场所。北辰区仅1处避难场所位于北运河东侧,周边多为老旧工业区,而北运河西侧建设大量住宅,由于河流阻隔无法使用避难场所。

3.1.2 天津市中心城区避难场所布局优化对规模均等性需求

天津市中心城区避难场所布局问题,给居民避难疏散带来较大困难,因此在防灾避难场所布局优化时,应以人的需求为出发点,根据人口流动性及需求多样性,利用规模均等性“时间—空间—规模三维空间面板模型”分析,为其布局优化提供避难人口规模支撑。

(1)人口区域强流动性对避难场所规模均等性布局需求。天津市中心城区快速发展及工业企业向滨海新区转移和滨海新区各项功能完善,天津市形成了“双心轴向”的城市群布局模式,中心城区和滨海新区互补发展。城市双核发展加剧人口昼夜流动,各时段避难人数变化较大。特别是随着滨海新区快速发展,提供大量就业岗位,同时城际铁路、地铁、高速公路、城市快速路等多类型快速交通建设,也加速了人口昼夜流动,因此在防灾避难场所布局时应注重人口昼夜变化,保

证灾害不同时段居民具有足够避难空间。同时天津市中心城区周边分布有较多新城,特别是各区政府所在地,与周边新城联系加强,部分人员白天在中心城区工作,夜晚回到周边新城居住,因此也应注重这些人员昼夜所在地差别,提供满足需求的避难疏散空间。而天津市中心城区各项设施及就业岗位较多,公共交通系统较为发达,各区昼夜人口差别较大,工作日和周末人口昼夜变化较为明显,短期避难人口变化较大,特别是天津市中心城区内历史建筑较多,主要集中在和平区、河西区、河北区。新建居住建筑主要集中在外围,特别是东丽区、西青区和北辰区西部,居住人口较多,而这些区域就业岗位相对较少,也造成人口昼夜流动,因此在避难人员测算时应根据人口昼夜变化,选择最高时段人数作为短期避难人口测算依据。

(2)人口多元时空变化对避难场所规模均等性需求。由于中心城区与周边区域、滨海新区人口双向流动,同时中心城区不同区域人口的强流动性,需要根据人口昼夜分布,对避难场所数量和规模精准预测,因此随机选取任意一周工作日和周末夜间02:00、上午10:00和下午16:00人口数据,利用微信宜出行和python软件获取天津市中心城区实时人口数据,根据实时人口数据对人

口变化研究。

根据工作日三个时段人口热力数据对比,各区人口变化不大。人口热力度最高区域位于南开区,昼降夜升较为明显。昼夜人口差异较大区域为和平区、北辰区、西青区、津南区 and 河北区,而和平区白天人口数量达到夜间的2倍,而北辰区、西青区、津南区 and 河北区夜间人口明显高于白天。河东区 and 河西区昼夜人口数量基本持平,差别不大,具体人口对比情况见图2。

根据周末三个时段人口热力数据对比,和平区、南开区东北部、河东区西北部、河北区东南部和津南区东部人口热力度较高。根据02:00数据,夜间人口热力度较高区域主要集中在和平区、南开区东部 and 华苑区域、北辰区西南部区域、河北区南部 and 河东区北部及津南区东部。白天和夜间人口分布具有一定差异,红桥区、华苑区域、河东区、东丽区、河北区及西青区夜间人口明显高于白天,和平区白天人口高于夜间,而河西区基本持平,变化不大,具体变化情况见图3。

根据工作日和周末02:00数据对比,河东区 and 河北区工作日夜间人口高于周末,其它区域周末人数较多(图4),在夜间人口统计时,河东区、河北区以工作日为主,北辰区、红桥区、和平区、东丽区、河西区、津南区、西青区 and 南开区以周末

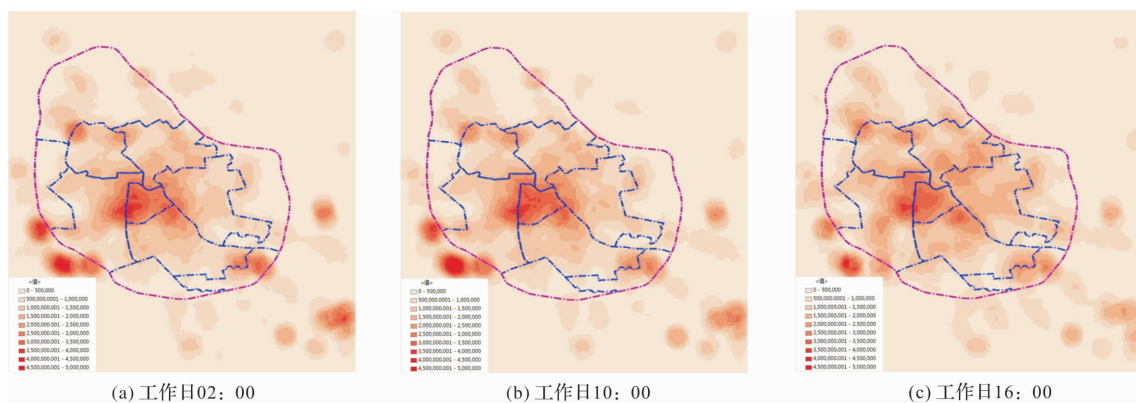


图2 工作日三个时段人口热点图

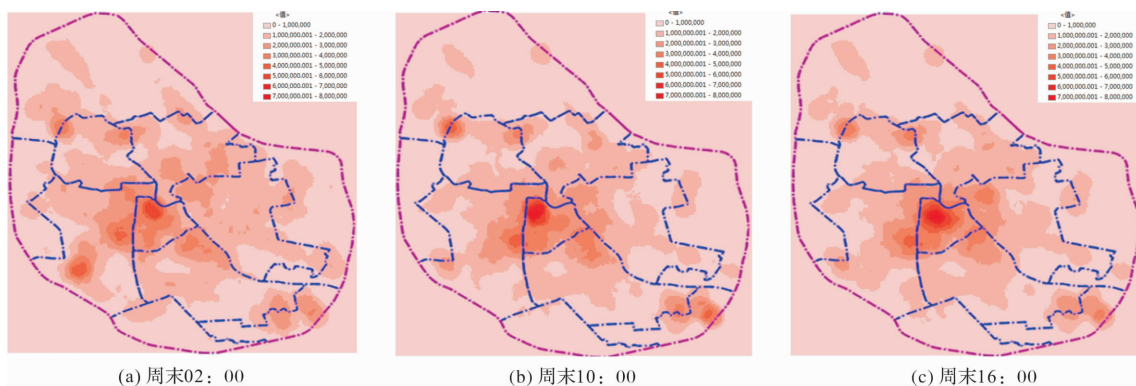


图3 周末三个时段人口热力图

为主。根据工作日和周末 10:00、16:00 四个数据对比, 南开区、和平区、河北区人口差别较大, 且周末 16:00 人数高于其它三个时间点; 西青区、红桥区、东丽区和津南区白天人口基本持平, 西青区工作日 16:00 人口最多, 红桥区、东丽区和津南区工作日上午 10:00 人口最多; 河西区周末上午 10:00 人口最多; 北辰区工作日人口高于周末, 工作日 16:00 人数最多; 河东区周末和工作日 16:00 人口数量均高于 10:00, 而周末 16:00 人数最多(图 5)。

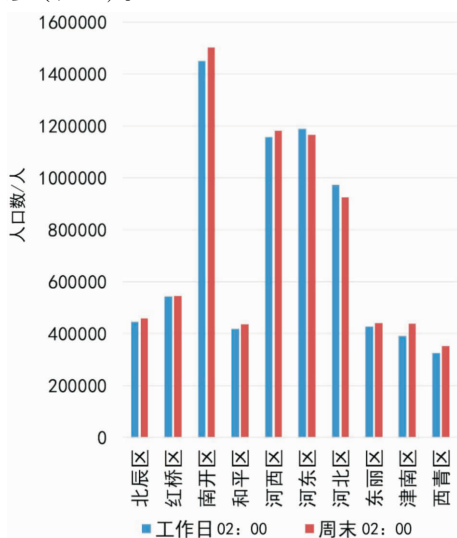


图4 周末和工作日 02:00 人口对比

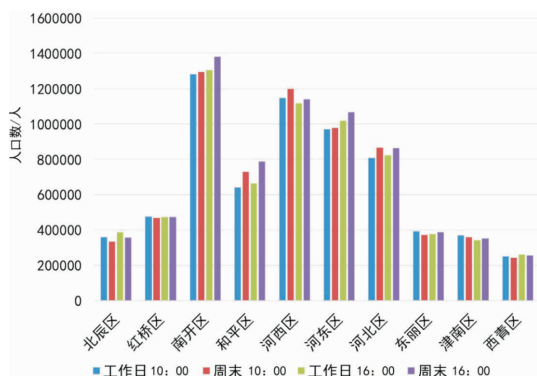


图5 周末、工作日 10:00 和 16:00 人口对比

(3) 不同时段避难人口需求多样性, 促进防灾避难场所布局优化。根据上面数据分析, 天津市中心城区可分为昼升夜降型、持平型和夜升昼降型三类。昼升夜降型区域多为一些商业、公共服务设施和就业岗位较为集中区域; 持平型区域为居住和商业混合区域, 白天和夜间人数基本持平, 以常住人口为主; 夜升昼降型区域多为居住集中区域, 各项设施和就业岗位较少, 人们“昼出晚归”^[14]。其中北辰区、红桥区、南开区、河东区、河北区、津南区和西青区为夜升昼降型区域; 东丽区和河西区为持平型区域; 和平区为昼升夜降型区域。根据六个数

据对比, 北辰区、红桥区、南开区、东丽区、津南区和西青区周末 02:00 人口最多; 和平区周末 16:00 人口最多; 河西区周末 10:00 人口最多; 河东区和河北区工作日 02:00 人口最多。

3.2 天津市中心城区避难场所布局优化人口规模测算

各区域人口昼夜差别较大, 不同时段人口分析为各区域避难人口测算提供了基础。而各区域建筑综合抗灾能力差异与避难人口的协同性, 要求利用“时间—空间—规模三维空间面板”模型对不同时段避难人口及不同等级防灾避难场所规模测算。

3.2.1 天津市中心城区各区建筑综合抗灾能力情况

在对避难人口测算时, 根据建筑建设年代、结构、类型及性质等对所有建筑分类, 并对其面积测算, 根据抗灾能力较低建(构)筑面积所占比例为避难人口测算提供基础, 各行政区建(构)筑物抗灾能力低建筑所占比例如表 2 所示。

3.2.2 短期避难人数及临时避难场地规模测算

为保证灾害时所有需要避难人员均能快速、安全避难, 因此根据人口变化情况对短期避难人口测算。在昼升夜降型区域以总人数为基数测算; 在持平型区域, 如果测算最高人口高于常住人口以测算人口为基数, 若测算人口低于常住人口或差别较小, 以常住人口为基数; 夜升昼降型区域以夜间人口为基数。

(1) 各区不同类型人口数量。在对短期避难人口测算时, 不仅需要分析各区最高时段人数, 也需要将最高时段人口和常住人口对比, 测算出合理的短期流动避难人口。各区人口类型数量情况如表 3 所示。

(2) 短期避难人口及临时避难场地规模。根据各行政区抗灾能力低建(构)筑物面积所占比例, 并根据抗灾能力低建(构)筑物所占比例与短期避难人口占常住人口比例关系, 对各区域短期避难人数测算。同时根据短期避难人数对临时防灾避难场所面积测算, 短期避难人数及临时避难场所面积如表 4 所示。

短期避难总人口为 177.53 万人, 临时防灾避难场所面积为 177.53 ~ 355.06 hm²。

3.2.3 中长期避难人数及固定避难场地规模测算

天津市中心城区规模较大, 为便于管理, 以各区范围进行中长期避难人口测算。根据各区常住人口和抗灾能力低的建(构)筑物面积所占比例对各区中长期避难人数计算。根据各区中长期避难人数及人均面积标准对固定防灾避难场所测算, 满足基本的生活和坐卧、行走等需求, 中长期避难人数及固定避难场所面积如表 5 所示。

表 2 各区建(构)筑物抗灾能力低建筑所占比例

所在区	抗灾能力低建(构)筑物					总建筑面 积/10 ⁴ m ²	抗灾能力低建 (构)筑物面积所占比例/%
	简单建筑 /10 ⁴ m ²	棚房 /10 ⁴ m ²	砖石结构建 筑/10 ⁴ m ²	建筑架空 /10 ⁴ m ²	工业建筑及构 筑物/10 ⁴ m ²		
北辰区	27.40	78.46	833.73	13.45	67.03	2 579.32	39.54
红桥区	15.47	21.79	281.78	13.07	0.31	1 632.42	20.36
南开区	19.23	37.10	525.28	26.74	5.55	4 375.59	14.03
和平区	2.82	6.95	273.51	104.79	0.03	1 538.74	25.22
河西区	18.17	34.71	491.76	79.40	11.51	3 555.11	17.88
河东区	16.61	44.30	497.87	6.95	15.93	3 354.05	17.34
河北区	15.23	27.57	416.29	37.38	6.48	2 053.98	19.67
东丽区	16.70	36.05	501.00	15.20	4.91	1 396.02	41.11
津南区	6.73	8.25	137.03	4.24	2.15	64.99	24.36
西青区	12.81	24.10	350.74	10.27	324.56	2 091.99	34.54

表 3 各区人口类型数量

所在区	最高人数/万人	常住人口/万人	流动人数/万人	所在区	最高人数/万人	常住人口/万人	流动人数/万人
北辰区	45.92	38.13	7.79	河东区	118.72	96.69	22.03
红桥区	54.57	56.15	0	河北区	97.14	88.51	8.63
南开区	150.14	113.57	36.57	东丽区	44.12	40.47	3.65
和平区	78.84	34.90	43.94	津南区	43.72	24.33	19.39
河西区	119.76	98.30	21.46	西青区	35.12	17.93	17.19

表 4 各区短期避难人数及临时避难场地规模

所在区	常住人口 /万人	流动人数 /万人	短期避 难人口 比例/%	短期避难 人口 /万人	人均避难场 地/(m ² /人)		所在区	常住人口 /万人	流动人数 /万人	短期避 难人口 比例/%	短期避 难人口 /万人	人均避难场 地/(m ² /人)	
					1.0	2.0						1.0	2.0
北辰区	38.13	7.79	25	11.48	11.48	22.96	河东区	96.69	22.03	20	23.74	23.74	23.74
红桥区	56.15		25	14.04	14.04	28.08	河北区	88.51	8.63	20	19.43	19.43	38.86
南开区	113.57	36.57	20	30.02	30.02	60.05	东丽区	40.47	3.65	35	15.44	15.44	30.88
和平区	34.9	43.94	25	19.72	19.72	39.43	津南区	24.33	19.39	25	10.93	10.93	21.86
河西区	98.3	21.46	20	23.95	23.95	47.90	西青区	17.93	17.19	25	8.78	8.78	17.56
合计											177.53	177.53	355.06

表 5 中长期避难人数及固定避难场地规模

所在区	常住 人口 /万人	抗灾能力 低建(构)筑 物面积所 占比例/%	中长期 避难人 口比例 /%	中长期 避难人 数/万人	固定防灾避难 场所面积/hm ²		所在区	常住 人口 /万人	抗灾能力 低建(构)筑 物面积所 占比例/%	中长期 避难人 口比例 /%	中长期 避难人 数/万人	固定防灾避难 场所面积/hm ²	
					2.0 m ² /人	4.0 m ² /人						2.0 m ² /人	4.0 m ² /人
北辰区	38.13	39.54	15	5.72	11.44	22.88	河东区	96.69	17.34	10	9.67	19.34	38.68
红桥区	56.15	20.36	15	8.42	16.84	33.68	河北区	88.51	19.67	10	8.85	17.7	35.4
南开区	113.57	14.03	10	11.36	22.72	45.44	东丽区	40.47	41.11	20	8.09	16.18	32.36
和平区	34.9	25.22	15	5.24	10.48	20.96	津南区	24.33	24.36	15	3.65	7.3	14.6
河西区	98.3	17.88	10	9.83	19.66	39.32	西青区	17.93	34.54	15	2.69	5.38	10.76
合计	73.52	147.04	294.08										

中长期避难总人口为 73.52 万人,固定防灾避难场所面积 147.04 ~ 294.08 hm²。

3.2.4 长期避难人数及中心避难场所规模测算

长期避难人员为房屋建筑严重破坏和毁坏,无法继续使用的人群。据相关研究,长期避难人数测算时采用尹之潜等提出的基于建筑毁坏面积

的预测方法^[15],根据灾害严重程度,粗略地计算出房屋建筑损毁面积。在长期避难人员预测时,通过被毁坏和倒塌住宅建筑面积、严重破坏和中等破坏住宅面积三部分综合测算。采用以下公式:

$$M = \frac{1}{a} (\frac{2}{3} A_1 + A_2 + \frac{1}{2} A_3)。$$
 (3)

表 6 长期避难人数及中心避难场地规模

	毁坏和倒塌 居住建筑 面积/ 10^4 m^2	严重破坏居 住建筑面积 / 10^4 m^2	中等破坏居 住建筑面积 / 10^4 m^2	人均居住 面积/ $(\text{m}^2/\text{人})$	长期避难 人数/人	人均避难场 所面积/ $(\text{m}^2/\text{人})$	中心防灾避 难场所规模 / hm^2
北辰区	99.06	116.17	122.56	36.6	66 530	4.5	29.94
红桥区	32.54	20.30	34.97		16 251		7.31
南开区	59.95	41.67	72.83		32 253		14.51
和平区	28.74	27.13	62.26		21 154		9.52
河西区	56.12	82.45	212.94		61 840		27.83
河东区	58.67	90.10	284.36		74 147		33.37
河北区	47.14	64.50	197.12		53 139		23.91
东丽区	57.31	48.28	67.95		32 912		14.81
津南区	15.35	20.83	24.94		11 895		5.35
西青区	39.89	37.35	47.87		24 011		10.80
合计					394 132		177.35

式中: M 表示预测长期避难人数; A_1 表示毁坏和倒塌居住建筑面积; A_2 表示严重破坏居住建筑面积; A_3 中等破坏居住建筑面积; a 表示人均居住面积^[16-17]。

根据第五代《中国地震动参数区划图(GB18306-2015)》^[18], 天津市中心城区地震烈度为Ⅵ度。《天津市防震减灾条例(2011)》^[19]要求房屋建筑至少提高一档设防, 因此在长期防灾避难人口计算时, 根据发生烈度为Ⅶ度地震时, 毁坏和倒塌、中等破坏和严重破坏建筑情况测算。

由于天津市中心城区建筑类型、结构及建设年代具有差距, 灾害造成毁坏和倒塌、中等破坏和严重破坏建筑数量也有差别, 在长期避难人口测算时, 根据灾害时各区建筑实际受损和破坏情况进行各类建筑面积测算, 同时根据天津市统计年鉴中心城区人均居住面积 36.6 m^2 标准对长期避难人口测算, 各类建筑破坏情况及长期避难人数如表 6 所示。

长期避难人员数量为 39.41 万人, 中心防灾避难场所实际可利用面积需求量为 177.35 hm^2 。

4 结论

根据目前城市人口测算方法及存在问题研究, 同时明确防灾规模均等性对防灾避难场所布局系统形成的重要作用, 为了实现合理的防灾避难疏散人员测算, 根据城市人员的流动性特征, 提出利用大数据技术对不同时段城市避难人口规模测算, 同时根据各区域建筑综合抗灾能力, 对不同建筑抗灾能力下避难疏散人员占城市人口比例情况, 同时依据各等级避难场所的人均规模用地, 提出“时间——空间——规模三维空间面板模型”,

对城市内部不同时段避难疏散人数及各等级避难场所场地规模测算, 实现灾害不同时段防灾避难场所的均衡、合理布局, 保证所有区域居民享有规模均等性的防灾避难场地, 确保居民避难疏散的安全, 提高各区域居民的避难疏散能力。同时利用“时间——空间——规模三维空间面板模型”对天津市中心城区避难场所规模均等性测算, 不仅保证了天津市中心城区防灾避难场所的合理布局和各区域人均避难场地规模的均等, 也实现了防灾避难场所布局与人口分布、时空变化及建筑综合抗灾能力等的协调一致, 也为其它城市防灾避难场所的测算提供基础和支撑, 保证各城市居民避难服务的公平及享有避难服务机会的均等。

参考文献:

- [1] 马挺. 城市应急避难场所选址问题研究[D]. 上海: 上海大学, 2013.
- [2] 陈红月. 避难场所选址优化方法研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2017.
- [3] 吕元, 颜冬. 城市防灾空间系统规划初探[J]. 郑州大学学报, 2004, 25(4): 34-36.
- [4] 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.
- [5] 李久刚. 城市应急避难场所服务区决策模型及选址优化方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2011.
- [6] 运行监测协调局. 2015 年通信运营统计公报[EB/OL]. (2016-01-21)[2017-12-29]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146402/n1146455/c4611243/content.html>.
- [7] 杨皓斐, 曹仲, 李付琛. 基于手机大数据的动态人口感知[J]. 计算机系统应用, 2018, 27(5): 73-79.
- [8] 陈丽娜, 吴升, 陈洁, 等. 基于手机定位数据的城市人口分布近实时预测[J]. 地球信息科学, 2018, 20(4): 523-531.
- [9] 钮心毅, 丁亮. 利用手机数据分析上海市域的职住空间关系——若干结论和讨论[J]. 上海城市规划, 2015(2): 39

- 43.
- [10] PEI T, SOBOLEVSKY S, RATTI C, et al. A new insight into land use classification based on aggregated mobile phone data[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(9): 1988–2007.
- [11] 钮心毅, 丁亮, 宋小冬. 基于手机数据识别上海中心城的城市空间结构[J]. *城市规划学刊*, 2014(6): 61–67.
- [12] 毛晓汶. 基于手机信令技术的区域交通出行特征研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- [13] 于欣彤. 白城市防灾避难场所系统规划研究[D]. 长春: 吉林建筑大学, 2015.
- [14] 赵军来, 王珂, 汪建. 城市应急避难场所规划建设理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2014(3): 96–105.
- [15] 尹之潜. 地震灾害损失预测研究[J]. *地震工程与工程振动*, 1991(4): 87–96.
- [16] 孙振凯, 赵凤新, 尹之潜. 分省的建筑物地震损失率估计[C]//中国地震学会第八次会议论文集, 2000: 272.
- [17] 尹之潜. 现有建筑抗震能力评估[J]. *地震工程与工程振动*, 2010, 30(1): 36–45.
- [18] GB18306–2015 中国地震动参数区划图[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [19] 天津市防震减灾条例[Z]. 天津市人民代表大会常务委员会公报, 2011(5): 7–13.

Research on the Equality of Evacuation Area Scale Based on “Three-dimensional Space Panel” ——Take Tianjin’s Downtown Area as an Example

SUN Zhong and YUN Yingxia

(School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: There are insufficient site scale, inconsistent with the distribution of residents, and large differences to the layout of disaster prevention and refuge places in the per capita scale of each region, there is a certain difference between the estimated population and the actual population that needs to evacuate because it is mainly based on the permanent population to the evacuation population. In order to ensure equal evacuation needs of residents, it is proposed to the “time-space-scale three-dimensional spatial panel model” for the scale of disaster prevention shelters. When calculating the scale, according to the law of population time and space changes, it is used to calculate the urban population size to the big data technology. At the same time, according to the comprehensive disaster resistance of the building and the per capita area of shelters, the number of evacuees are calculated in different periods and the scale of different levels of shelters in each region to ensure that each Regional refuge sites meet the needs of residents. The construction of the “three-dimensional panel model” not only provides a basis for layout optimization for a city that has a balanced number of refuge places in various administrative districts such as the central city of Tianjin, but also provides a new method for evacuation population and refuge site scale calculation for the optimization of the layout of refuge places in other cities. Achieve the equalization of the evacuation scale of residents in all regions, and meet the evacuation needs of all residents.

Key words: three-dimensional space panel model; disaster prevention and refuge site; scale calculation; equality; Tianjin