

交通视角下防御单元的适应性规划策略 ——基于突发公共卫生安全事件的思考¹

周文竹 汪琦 王楠

【摘要】在此次新冠病毒引发的肺炎疫情中，社区作为疫情防控的基本单元发挥了重要作用。为了进一步完善我国基本防灾单元建设，并保障不同疫情传播阶段中各防疫单元居民生活、就医等出行需求，本文构建了突发公共卫生事件下社区防御单元的交通适应性管控策略。研究在借鉴国内外防灾单元建设经验基础上，从出行视角提出防疫单元划定方法，并提出了以防御单元为尺度组织分阶段交通优化方案，即潜伏初期的交通预警、快速传播期的交通禁行与交通专线组织、持续传播期的社区定制公交模式与开行方案、恢复结束期的预约公交运营方案与满载率控制标准等。本研究对提高城市防灾应急能力、构建城市防灾体系提供了理论与方法，具有一定的现实意义。

【关键词】突发公共卫生安全事件；社区；防御单元；交通适应性管控

1 引言

在新型冠状病毒在全世界蔓延爆发时期，中国各级政府在第一时间做出反应并制定了一系列政策抗击疫情，为全世界防疫工作提供了中国样本。其中，建立疫情防控的基本单元，通过封闭单元管理切断传播途径、对疫情的有效控制发挥了重要作用。

从医疗救护方面来看，防疫单元是防灾隔离的基础单元，通过封闭式管理，可有效阻隔社区内居民与外界感染者的接触，同时有助于各项防疫措施在基层切实地落实到每家每户；另一方面从生活服务、出行保障来看，以社区为主体构架防疫单元，有助于城市防灾系统的分级构建和交通出行的有序组织。尤其是在疫情传播的不同阶段，针对防疫单元尺度，构建一套满足不同阶段的出行需求（如疫情爆发期的就医出行需求，持续传播期复工单位的通勤出行需求和疫情潜伏期及结束恢复期的日常出行需求）等的交通优化方案，对保障居民的防疫与基本出行具有重要意义。

2 相关研究综述

防灾社区（Disaster Resistant Community）的概念于 1994 年被正式提出，在此前后，国内外已经对相关领域的理论和实践进行了大量探索，通过防灾空间单元的建立和相关配套项

¹ 本文获得国家自然科学基金（No.51678132）资助，在《城市规划》2020 年第二期，“应对 2020 新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈会”的“突发公共卫生安全事件下分阶段城市交通应急对策”基础上扩展研究而成。

目的实施提高社区自主抗灾能力^{[1][1][2][3][4]}。

早在 1980 年，日本为了防止在地震中发生市区大火，在“My Town”构想中首次提出了“防灾生活圈”的概念并制定《都市防灾设施基本规划》，提出通过“延烧阻隔带”将城市空间划分为防灾单元，作为安全城市的构建基础。日本的防灾生活圈从宏观到微观包含三个层级，分别为以全市为单位的全市生活圈，约由三个邻里单元构成半径 1500-1800m 之间的地区生活圈，以及以小学为单位、半径在 250-500m 之间的邻里生活圈，每一层级均有对应的防灾空间规划，包括救灾路线、避难路线、避难场所、防火区划等^{[5][6][7]}。

美国联邦紧急事务管理总署（FEMA）1995 年明确提出防灾社区的概念为“长期以社区为主体进行减灾工作，使社区在灾害来临前，做好灾害预防工作，以减小社区的易致灾性”名为“Project Impact”防灾计划，该计划主要包括四项内容：一是建立社区伙伴关系，将当地政府机构、企业团体、社区人员等多方面联合起来，组成社区规划委员会；二是对社区灾害进行评估鉴定，确认社区内可能发生灾害的区域并对其灾害发生的可能性和程度进行评估；三是制定社区减灾计划，制定社区管理计划、开放空间、交通运输等相关规划；四是成果推广，通过阶段性成果的分享提高居民的参与度，促进防灾社区可持续发展^{[8][9][10][11]}。

中国台湾地区也构建区域级、地区级和社区级三个层次的“防灾生活圈”，其中区域级以县市或乡镇为单位以小学为中心；地区级：服务半径 1500-1800m，而邻里为基础的防灾社区是基本的防灾空间单元，半径约 500-700m。提出的防灾社区概念为“具有防灾功能，并朝向永续发展的社区”。

表 1 国内外防灾空间单元与防灾建设项目案例

国家地区	美国	日本	中国台湾
基本单元	防灾社区 ^[8]	防灾生活圈 ^[5]	防灾社区
防灾单元性质	具有自主防灾能力的社区 ^[9]	既是具有防灾功能的空间单元，也是治安、消防、医疗与物资等防灾相关体系的基本功能单元 ^[5] 。	具有防灾能力，并阻断灾害向单元外蔓延的基本单元 ^[10] 。
防灾单元的层次与尺度	依据社区大小不一	全市生活圈：以全市为单位	区域级：县市或乡镇为单位
		地区生活圈：半径 1500-1800m，约三个邻里单元	地区级：服务半径 1500-1800m
		邻里生活圈：以小学为单位的邻里社区，半径 250-500m	社区级：以小学为中心，建立以邻里为基础的防灾单元，半径 500-700m

防灾建设项目	“Project Impact”计划	防灾福利社区事业计划	社区防救灾总体营造计划
提出年份	1996	1998	2002
主导机构	美国联邦紧急事务管理总署（FEMA）	市消防局	防灾会、水保局等
提出背景与事件	1990 年代初美国政府认为每年灾害损失花费及灾害防救预算增幅逐步提高，美国联邦紧急事务管理总署（FEMA）提出制定针对社区的“可持续减灾计划” ^[10] 。	1980 制定《都市防灾设施基本规划》，以“火不出，也不进”为基本观点，提出防灾生活圈；1995 年阪神大地震后推行为进一步加强社区自主防灾能力提出防灾福利社区事业计划 ^[5] 。	1999 年 9.21 大地震后，中国台湾更加注重社区防灾能力提升，各政府机构如 9.21 重建会、灾害防救委员会、台湾科技计划办公室以及农委会水保局等分别以社区为基础进行防灾建设 ^[10] 。
防灾建设主要内容	（1）建立社区合作伙伴关系； （2）鉴定社区灾害因子并进行风险评估； （3）确定防灾优先顺序并制定防灾计划 （4）政策落实及成果展示。	（1）建立完整的邻里级防灾空间体系； （2）建设平灾一体的基础设施，及延烧阻隔带等配套防灾硬件； （3）建立居民自主防灾组织，对居民进行防灾教育及培训； （4）建立灾害医疗救护体制。	（1）管理与储备紧急避难设备、救援物资、救援器械； （2）防灾设施布设，规划逃生路线与避难场所，建立防灾资料库 （3）制定社区防灾计划，标识潜在危险点； （4）组织训练社区防灾人员与组织。

针对此次疫情，我国在“健康社区”、“健康城市”、“韧性城市”已有一些研究成果，如孙晓乾等^[12]、唐源琦等^[13]从城市防灾、空间联动角度针对新冠疫情提出了韧性城市建设的思考与建议，肖婧，李松平，梁姗姗提出了韧性城市规划模型的构建方法与策略^[14]，梁浩，龚维科等在疫情防控背景下提出了韧性城市建设的建议^[15]，李晓宇，朱京海从韧性城市视角对新冠疫情进行解读并提出了相应措施^[16]。此外，学者们也提出构建“防御单元”来提高社区面对突发事件的抗风险能力。如段进院士提出“防御单元”是城市合理组织社会空间和城市空间的融合及阻断方式的空间单元，“应以防御单元为基础，构建城市组团，增加片区应对突发事件的可行性和城市安全性”^[17]。王兰提出应基于“15 分钟社区生活圈”划定“公共健康单元”^[18]。钱振澜等学者提出的“安全健康单元”营建体系是由相对明确的地理界面所限定的“人居空间单元”和“健康设施单元”相互叠合而成的综合系统^[19]。还有一些研究以社区作为防御单元，如张京祥^[20]从社区自治角度提出建立安全邻里空间，加强社区自组织能力，实现有韧性的基层治理，王承慧^[21]提出在社区营造中提升设区韧性以提升社区应对和适应灾害等风险的能力。

而在交通管制优化方面,学者针对医疗、物资保障通道,私人交通、公共交通管控,客运枢纽客流疏散等方面提出了疫情防控的交通应对策略,如杨东援提出在疫情防控过程中应急交通运输组织可划分为应急响应和有序恢复两阶段,分别进行空间流动管制和社会系统的恢复^[22];陈小鸿提出需要构建应急型交通以应对疫情这一城市与交通系统运行面对的特殊状况特别是对公共交通高度依赖的大城市与特大城市^[23];周文竹提出构建既能保障基本出行,又能阻断疫情传播的分阶段差异化交通响应对策^[24]。但学者们主要基于城市层面提出疫情期间的交通组织方案,缺少与防御单元相结合的交通应急方案。因此,面对疫情等公共突发事件,如何满足各个阶段居民差异化就医、通勤、弹性生活等出行需求,并基于各个防御单元对交通运输系统进行组织,亟待进一步开展研究。

3 防御单元的构成要素与划分方法

3.1 防御单元的构成要素

综上所述,基于我国街道社区管理的国情,“防御单元”宜建立以街道(对应于日本的地区)为层级的基本控制单元,便于城市面临不同突发事件和灾害程度的时弹性控制,尺度约在街道尺度的大小内,含有若干个居住小区构成,防御单元内部除了满足日常生活、教育、公共服务设施之外,应具有完整的医疗、物资、道路、消防等基础设施保障居民维持正常生活的基本需求。同时,也需配置物质储备、广播通讯、生活供应等防灾应急设施。医疗、生活服务设施的合理配置在满足居民日常生活需求的同时,也能作为灾害发生时的临时安置场所,并起到灾时救护、物资供给与防灾指挥的据点作用^[25]。其中,医疗设施作为突发公共卫生事件发生后居民进行医疗救治的中心,物资储备设施是突发事件后市民生活补给的来源保障,这两项应当是每个防御单元内必不可少的设施。同时,在各个防灾单元的主要出入口需要设置检疫通行站点,以便突发公共卫生事件下的通行检车与交通组织。(图1)

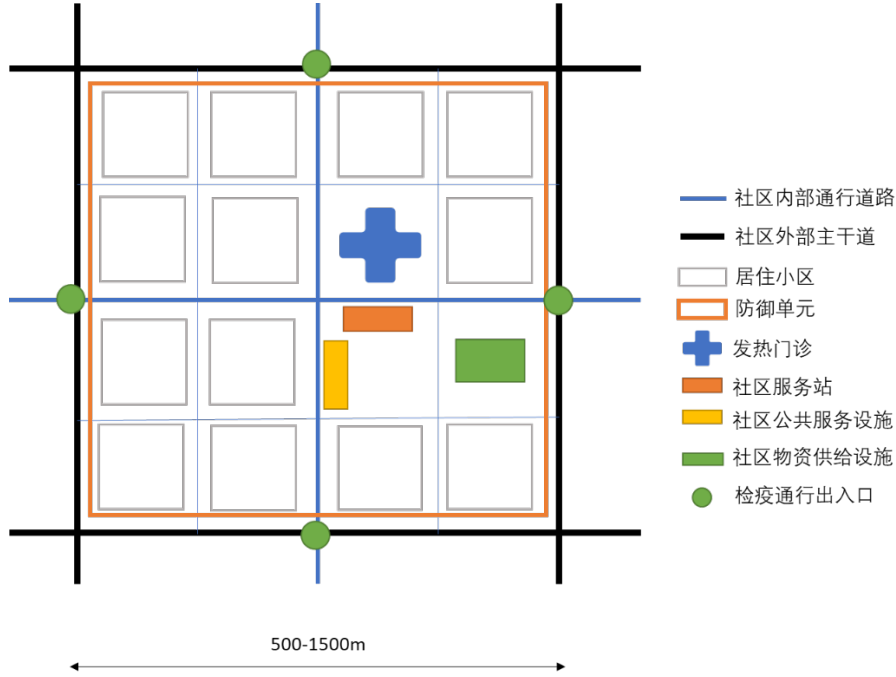


图 1 防御单元模式图

3.2 防御单元的划分方法

国内外“防灾生活圈”为借鉴，通常以消防机构、治安机构、医疗救护、物资供应等防灾机构的最基层设施服务域为大小划分^[26]。在突发公共卫生事件下，发热门诊是诊治病情的前哨，是居民早诊断早救治的核心，因此，可以以发热门诊的服务范围为依据进行规划布局及医疗防御单元划分。

可达性的概念可以定义为交通网络中的各个节点之间相互作用机会的大小^[27]，还可以是指在一定的交通系统中，到达某一地点的难易程度^[28]，或是指在合适的时间选择某种交通设施到达目的地的能力^[29]。目前对于医疗设施可达性研究主要集中于机会累积分析法和最近距离分析法。由于突发公共卫生事件下需要就近尽快就医，同时“防御单元”规模可以基于“15分钟社区生活圈”规模来进行构建^[30]，因此本文选取最近距离分析法，即利用 ArcGIS 计算发热门诊的 15min 步行范围来对其进行网络可达性分析，并在此基础上划分防御单元范围。在理论方面，国外学者基于网络可达性分析法，对医疗设施可达性特征及特定人群在交通网络上的流动不均衡性进行研究。^{[31][32]} 在实践方面张莉等学者利用网络可达性分析法，研究一二级医院等时圈来研究就医最短通过的路径^[33]；张纯等学者通过网络可达性分析法，对北京城市保障性住房居民的就医可达性进行了研究^[34]。然而，单纯的可达性计算在医院服务域的划分上缺乏规划管理上的明确边界，尤其是在突发公共卫生事件下，需要考虑以街道为单位的基层管理。因此，本文在以往学者研究基础上，通过剖析已有研究的共识和不足，提出

了一套基于网络分析法出发的，利用街道管辖范围、城市主干路网来修正的，防御单元综合划分方法。方法如下：

首先基于城市主干路网数据进行防御片区的初步识别划分。其次，基于现状发热门诊 POI 点数据，结合 ArcGIS 网络分析法综合考虑医院 15min 步行现实可达性情况，叠加分析并划分单个防御单元的理论范围。最后，叠加街道边界对防御单元进行规划管理上的划分并校核，分情形分析，最终确定每个防御单元的有效范围和边界。（图 2）具体处理步骤及技术路线下：

（1）数据采集与处理。发热门诊地图兴趣点 (POI) 数据采集自百度地图位置服务 API 接口，内容包括兴趣点经纬度坐标、名称、地址和类别等基本信息。城市路网数据采集自 OpenStreetMap 网站，包含了道路的类型以及部分道路的限速等信息。街道边界数据采集自政府网络，将数据矢量化处理。将数据统一进行坐标的纠偏为 WGS-84 坐标系后，转换为 GIS 平台的 Shapefile 文件进行存储。

（2）防御片区初步识别。导入城市主干路网数据，以城市路网数据边界对该区域进行第一次片区划分，导出初步划分后的防御片区。

（3）防御单元的细分。加载发热门诊 POI 矢量数据，城市道路数据，利用网络分析法，以 5km/h 为步行速度，构建以发热门诊为起始点的 15min 步行可达性范围。加载街道边界数据。将构建的各个发热门诊的步行可达范围、街道边界数据、初步划分的防御片区进行叠加分析。分情形进行防御单元细分。①若片区范围内无发热门诊、以该街道边界、城市主干道为防御单元的边界。②若单个片区范围内仅一个发热门诊，以该街道边界或主干道边界为防御单元的边界(主干道路及街道边界为优先级要素，步行可达性为次级要素)。③若单个街道范围内若干个发热门诊，以街道边界为基础，并综合考虑发热门诊最近就医距离细分防御单元。④若街道内有部分独立型居住区散布，不利于突发公共卫生事件后的规划管控，则考虑以居住区为单位设置防御单元。（图 3）

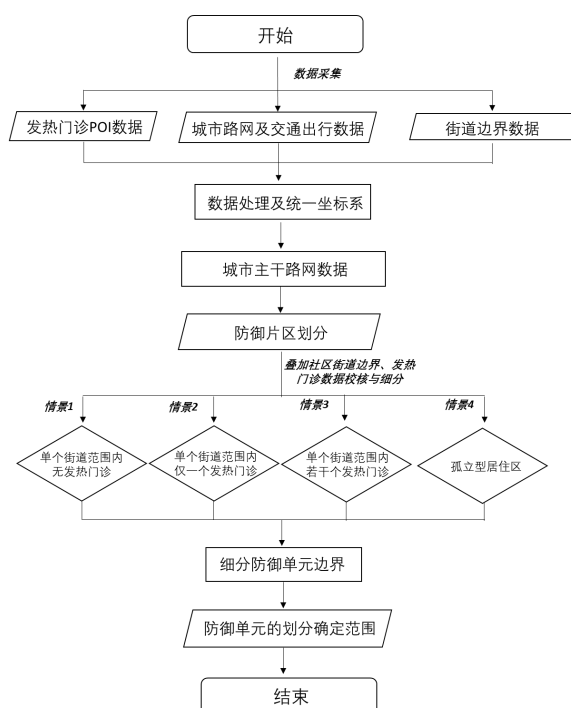


图 2 防御单元划分方法流程

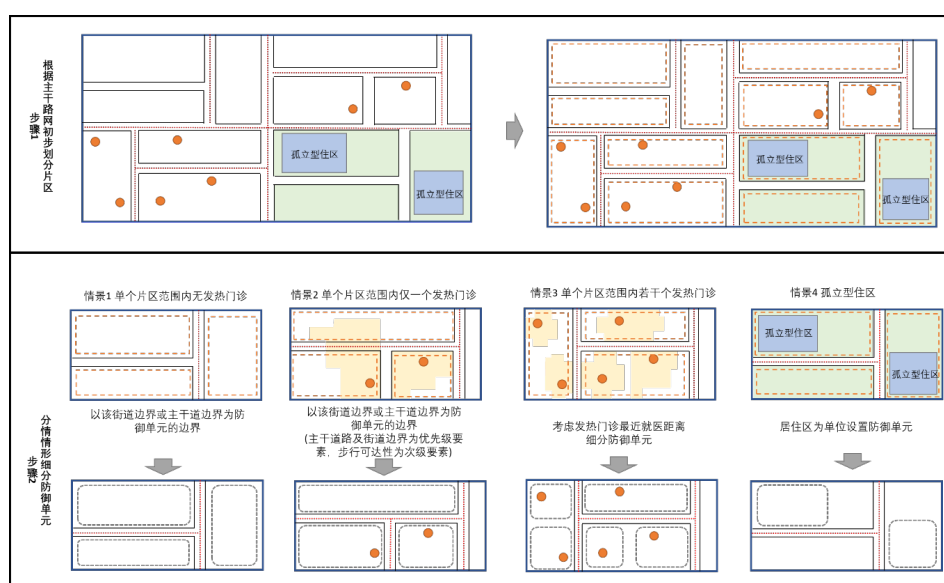


图 3 防御单元细分方法模式图

3.3 防御单元的划分及结果——以南京市秦淮区为例

秦淮区位于南京市中部，是南京主城八区之一，秦淮区下辖 12 个街道，总面积 49.11 平方公里，常住人口 103.2 万，辖区内共有 8 家发热门诊。本研究以南京秦淮区为例，划分“防御单元”并在此基础上提出社区交通适应性管控措施。如图叠加各分析要素后，按本研究提出的防御单元划分方法，共将秦淮区划分为 28 个防御单元，其中发热门诊可达性高的有 11 个单元，可达性低的有 17 个，以便在突发公共卫生事件下进行社区管理与交通管控。

(图 4、5)

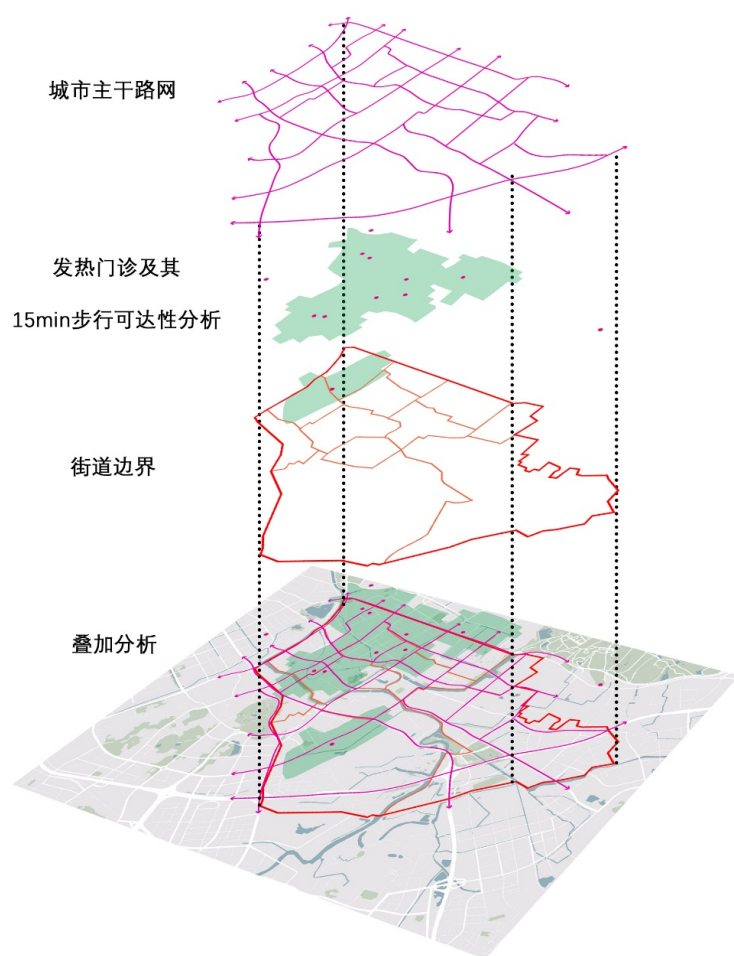


图 4 秦淮区防御单元分析要素叠加分析图

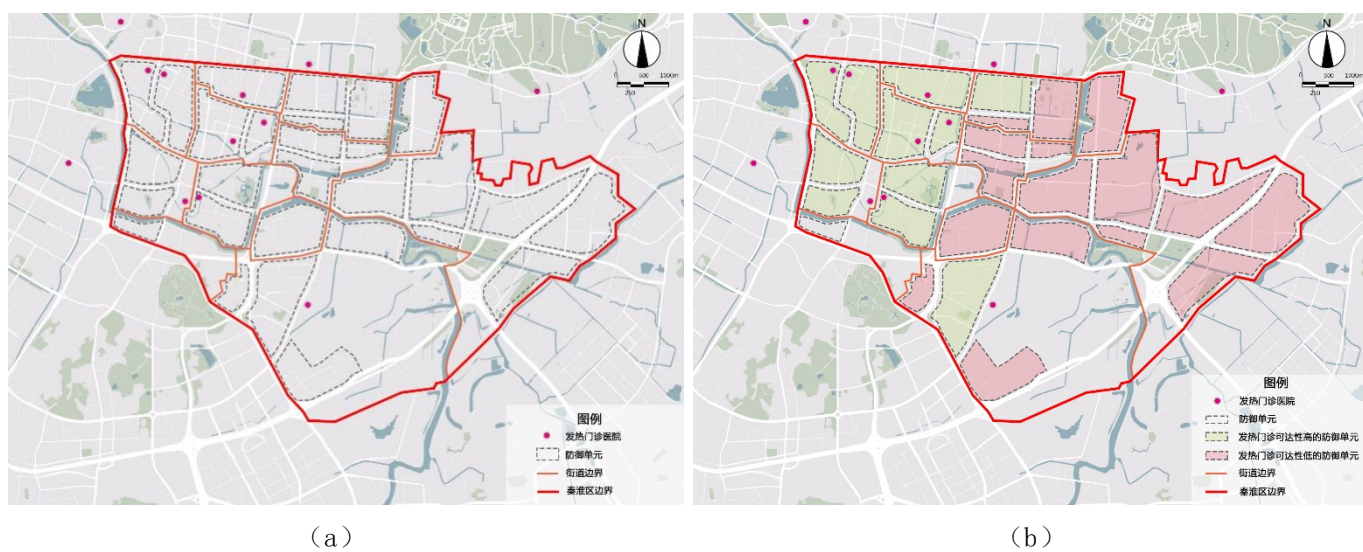


图 5 秦淮区防御单元划分结果 (a) 及分类 (b) 图

4 社区防御单元的交通适应性管控

4.1 潜伏初期的交通预警

对于潜伏初期阶段应以“监控为主，管控为辅”为原则采取较为保守的交通防控预警措施。城市管理部门应主动加强与卫生部门的信息沟通，及时反馈各防御单元的感染人数，做好各个单元的管控，禁止感染人群的公共活动以及限制防御单元外人员的进入。另外，还应积极通过手机信令等大数据监控居民出行分布情况，对于出行密集度高的防御单元进行早发现、早预警，并限制公共交通等大运量交通工具单次的乘车人数及密度；适当放宽城市私人机动车限行措施，允许更多私人机动车上路，鼓励出租车、共享汽车等方式的交通出行，避免大量人群采用公共交通与潜在病例接触。

4.2 快速传播期的交通禁行及应急交通保障

快速传播期是病毒的传播高峰，应以“严格禁行，强制阻断，统一安排，提供保障”为原则，对各个交通系统采取禁行措施，并开通一系列保障专线。以防御单元为单位，形成各自的封闭管理单元，可以有效提供疫情期间的预防、隔离、治疗和援助，也可以提升片区应对突发事件的可行性和城市整体的安全性。保障方面，统筹规划应急交通线路，以确保医疗出行、物资配送等紧急畅通。在阻断方面，应采取公共交通以及非必需的机动车禁行，各个防御单元仅保留应急交通线路畅通，关闭各个防御单元的支路出入口，阻断传播路径。以防御单元的禁行和应急交通保障模式图如下图所示。（图6）

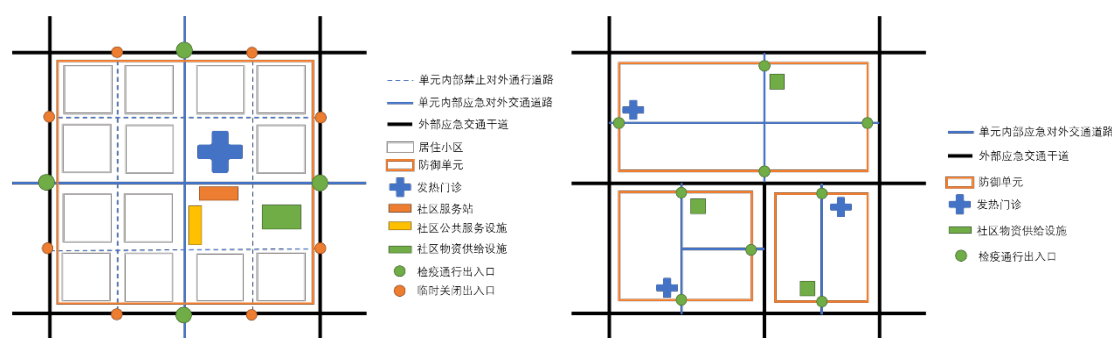


图6 防御单元的禁行和应急交通保障模式图

本研究以南京市秦淮区为例，按秦淮区发热门诊以及本研究划分的防御单元为基础，选取各防御单元内大于 5000m^2 的超市、菜场等作为公共卫生事件下物资配送点，综合考虑医疗、物资的应急交通通达性，从而推导出的应急交通路线。应急通道的规划遵循了城市突发公共卫生事件下，就医及物资的通行空间能够得到保证原则，选取以新城区路宽为30米及以上、老城区20米及以上的城市主干路为应急交通通道，辅以15-20米的城市次干道作为

交通路线的补充，确保每个发热门诊医院及物资配送点的可达性和便利性。在快速传播期，应急交通路线应当保障医疗及物资运送的车辆优先通行，封闭各防御单元内部的城市支路，对于个体机动车非必要出行采取限行禁行措施。（图 7）

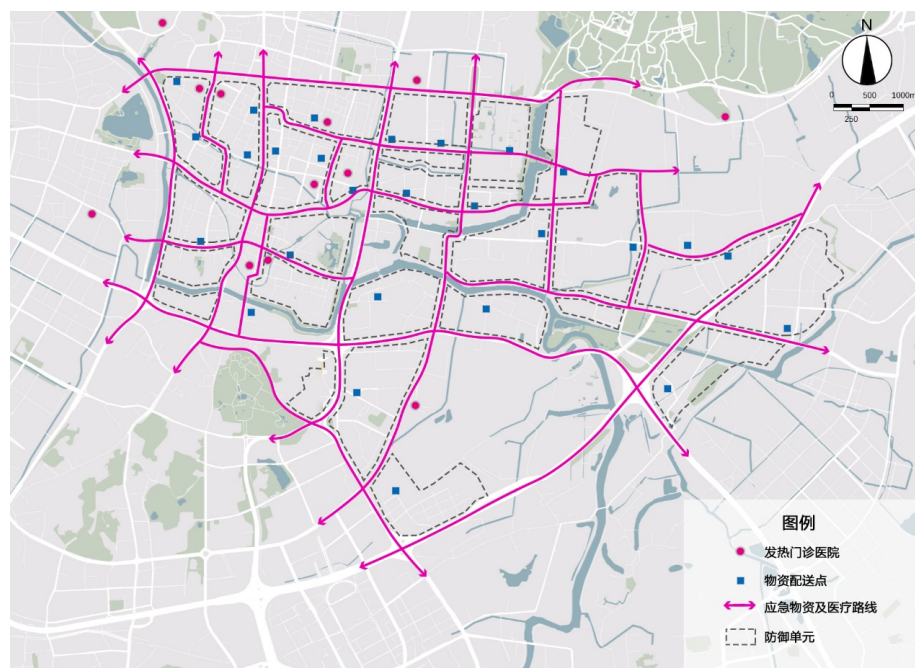


图 7 秦淮区防御单元及应急交通图

4.3 持续传播期的交通限行

4.3.1 定制公交下沉社区服务模式

定制公交是一种基于个体出行需求，对具有相似出行起讫点、出行时间的人群整合在一起提供点对点服务的公共交通模式，该模式介于出租车和常规公交之间，采用一站一座、一站直达的服务方式，具有“定点、定线、定车、定时、定价、定人”等特点，一方面可以有效控制人员流动和乘客密度，有利于对乘客进行体温监测，实名乘车并对乘客进行出行路径追踪，另一方面，定制公交符合通勤交通流的特点，可以满足大多消费群体的消费水平。目前定制公交一般由企业或者个人进行定制，通过 APP 线上方式或电话方式收集乘客的出行地点、目的地点、出行时间等信息，为具有相似出行起讫点和出行时间的一类人群开通线路，提供相应的“点对点，一站式”的定制公交服务。

尽管定制公交在疫情持续传播期具有较大的优势，然而传统的定制公交模式在特殊时期也呈现出了一些弊端。传统的定制公交站点设置基于公交站点服务半径，将相似的出行起讫点根据乘客可接受的步行距离阈值进行聚类，确定上下车站点，难以满足社区封闭单元的隔离需求，安全性有所欠缺；单个上车点处的出行需求个数往往也难以积累达到发车的乘客规

模下限，开通的线路数量较少，单车运营成本较高；另外，疫情持续传播期，由于常规公交服务暂停，选择定制公交的乘客出行需求更加多元化，点对点提供的完全个性化定制服务难以满足该时期多元且大量定制出行需求^[35]。因此，本文在传统定制公交运营模式的基础上提出一种将定制公交服务下沉社区的新模式，通过对一定社区区域范围内居民出行需求的聚类定制公交线路，形成定制公交网络。在满足大量通勤出行需求的同时，可以满足乘客出行的个性化需求，有效控制疫情期间人口流动，是一种介于常规公交和定制公交线路规划之间的定制公交服务模式。定制公交服务模式图和系统运行流程分别如下图所示。

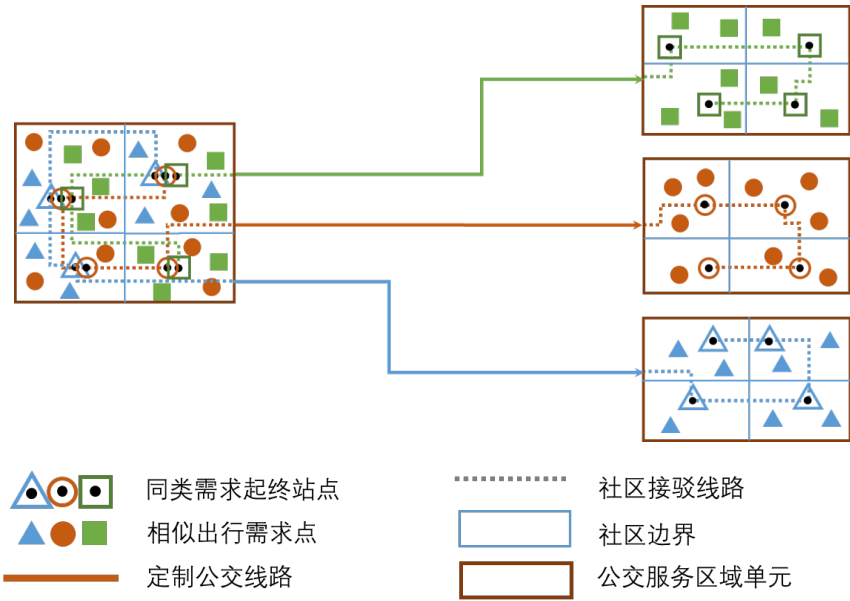


图 8 定制公交下沉社区模式图

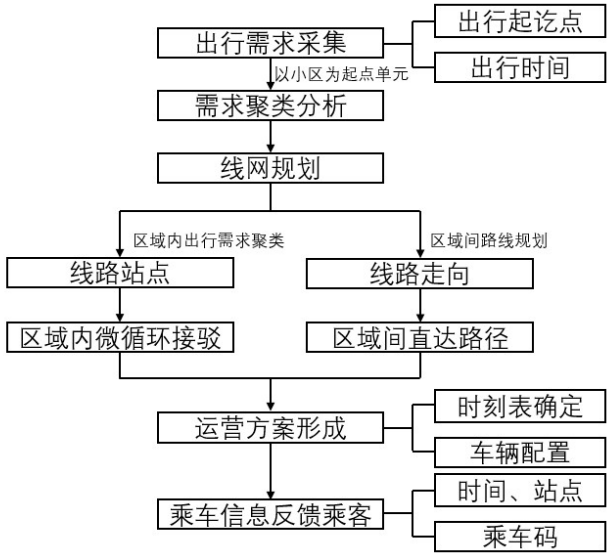


图 9 定制公交流程图

4.3.2 社区定制公交线路规划方案——以南京市五老村街道为例

以南京市五老村街道构成的防御单元为例,将其作为起点服务区域拟定社区定制公交开行方案。五老村街道位于秦淮区的北部,东至龙蟠中路,与瑞金路街道相接;南至常府街、户部街,与洪武路街道相接,北到中山东路、汉中路,与鼓楼、玄武两区相邻;西至莫愁路。街道面积约 1.6 平方公里,常住人口 8 万人,下辖五老村、三条巷、树德里、淮海路、新街口商业街 5 个社区居委会,包含有福家苑、淮海新村、游府新村、祠堂里小区、科巷新寓、东白菜园小区、红花地小区、仁义里小区、三条巷小区、中山东路小区等居住小区。

根据 2015 年居民出行调查数据模拟定制公交需求,调查于 2015 年某工作日在南京市主城区范围内,采取抽样调查方式展开,总共调查了 1999 户,共计 6041 人,抽样率为千分之 0.7,并得到出行记录 17568 条。以五老村街道早高峰为例,筛选得到出行起点位于五老村街道、出发时间在 7 点至 9 点之间的出行记录 127 条,以出行记录形成的 127 个出行 OD 点对作为收集得到的公交出行需求设计定制公交线路。

定制公交驶过的起终点信息分别记为:

$$\bar{O} = \{(O_i, n_i, t_i)\} \forall i = 0, 1, 2, \dots, j$$

$$\bar{D} = \{(D_i, t_i)\} \forall i = 0, 1, 2, \dots, k$$

其中, O_i 、 D_i 分别为第 i 个出行起点和终点编号, n_i 为第 i 个出行起点乘车人数, t_i 为定制公交到达 i 站时刻。将具有相近起终点的出行需求按照下式进行聚类:

$$d(O_i, O_{i+1}) \leq D \cdot \delta, \forall i = 0, 1, 2, 3, \dots, j \quad (5)$$

$$d(D_i, D_{i+1}) \leq D \cdot \delta, \forall i = 0, 1, 2, 3, \dots, k \quad (6)$$

其中, $d(m, n)$ 表示站点 m 到站点 n 的距离,该值不能超过线路总长度 D 乘以倍数 δ ,线路总长度 D 的计算方式如下:

$$D = \sum_{i=0}^{j-1} d(O_i, O_{i+1}) + \sum_{i=0}^{k-1} d(D_i, D_{i+1}) + d(O_j, D_0)$$

按照公交最大载客量为 30 人,五老村社区早高峰期间拟合得到定制公交线路六条(表),分别与南京主城区不同方向联系(图)。其中,线路一 8:00 发车,接驳乘客 19 人,起始接驳站点为东白菜园小区、红花地小区、游府新村、有福家苑四个居住小区,线路沿中山东路、汉中路,向西行驶,终点站为万达广场和联创科技大厦;线路二 7:40 发车,接驳乘客 25 人,起始接驳站点为小杨村、红花地小区和游府新村,线路通往西南侧建邺区,终点站为南京金融城和南京儿童医院;线路三 7:20 发车,接驳乘客 29 人,起始接驳站点为祠堂里小区、科巷新寓、东白菜园小区、小杨村,线路南部蔓延,途径雨花台区并通往百家湖地区,终点

站为国资大厦和苏豪国际大厦；线路四 7:45 发车，接驳乘客 16 人，起始接驳站点为淮海新村、红花地小区、三条巷小区、中山东路小区四个居住小区，线路向东南部贯通，终点站为星展大厦和南工大科技园；线路五 8:00 发车，接驳乘客 20 人，起始接驳站点为祠堂里小区、科巷新寓、仁义里小区、三条巷小区，线路途径玄武区并向北延伸，终点站为御湖国际大厦和南京站；线路六 7:40 发车，接驳乘客 18 人，起始接驳站点为红花地小区、游府新村、淮海新村，线路经过鼓楼区并沿西北方向与浦口区连通，终点站为泰山街道房管所和江苏省食品集团。

表 2 五老村街道定制公交线路信息

线路编号	起点社区站点	目的地站点	发车时间	人数
1	东白菜园小区-红花地小区-游府新村-有福家苑	万达广场-联创科技大厦	8:00	19
2	小杨村-红花地小区-游府新村	南京金融城-南京儿童医院	7:40	25
3	祠堂里小区-科巷新寓-东白菜园小区-小杨村	国资大厦-苏豪国际大厦	7:20	29
4	淮海新村-红花地小区-三条巷小区-中山东路小区	星展大厦-南工大科技园	7:45	16
5	祠堂里小区-科巷新寓-仁义里小区-三条巷小区	御湖国际大厦-南京站	8:00	20
6	红花地小区-游府新村-淮海新村	泰山街道房管所-江苏省食品集团	7:40	18

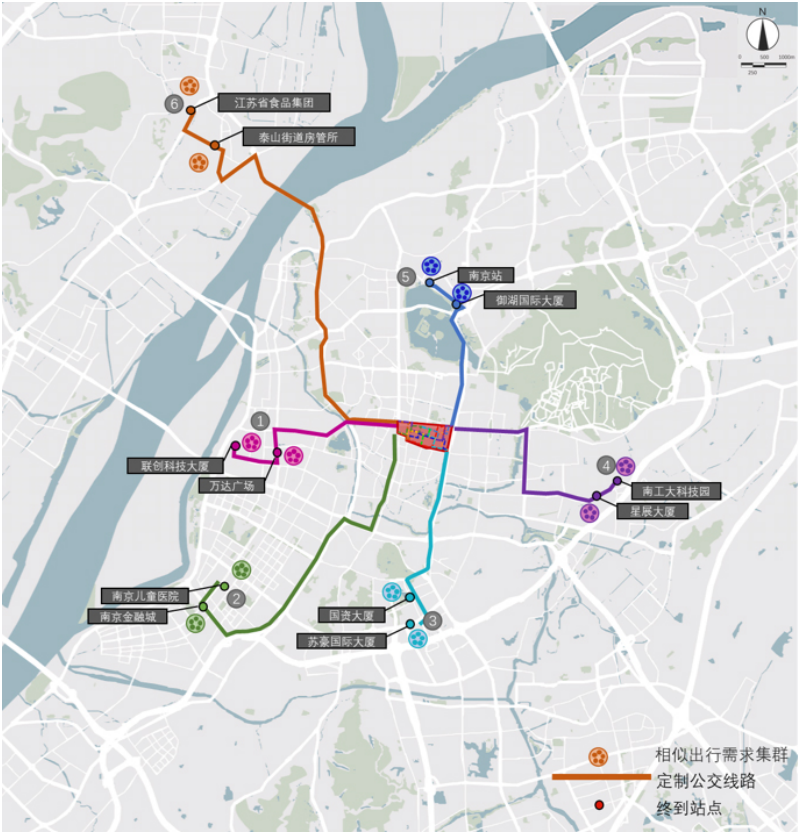


图 10 定制公交线路图



图 11 防御单元内部定制公交接驳线路

4.4 恢复结束期的交通疏解——人口密度管控 “预约公交”

4.4.1 预约公交服务模式的公交车辆动态调度

灵活公交系统于 1976 年被首次提出，是介于常规公交和定制公交之间的一种辅助式公交服务模式，在固定公交站点和线路的基础上为各个区域提供灵活预约服务，在已经设定好的线路及站点基础上按照实际预约请求产生的出行需求对行车计划进行实时调整，可以在各个时段满足出行需求的同时有效控制车厢内的乘客人数，控制车辆满载率满足防疫需求。

乘客可根据出行需求提前在线上选择所要乘坐的公交线路、上车站点、下车站点、预期上车时间，系统根据统计到的出行需求在原固定发车计划的基础上进行实时调整，保障车辆在行驶全程车厢内的满载率控制可以满足防疫所需的安全距离。

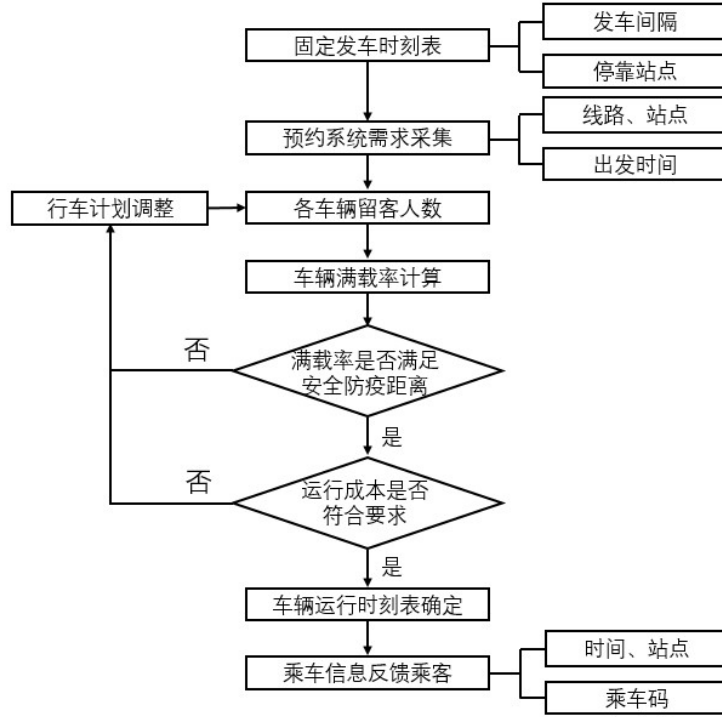


图 12 预约公交流程图

4.4.2 公交满载率控制标准

常规公共交通出行过程中,人群集中在车厢这一相对有限的空间内,人员接触频率增加,传播风险加大,应通过控制车辆满载率保障乘客可以保持安全的防疫距离。公交满载率是指公交车厢内实际乘车人数与车型额定载客量之比,通常用来反映常规公交拥挤程度、衡量公交线路运行效益,是公交线网规划、车辆调度、服务评价的重要指标,一般选取早晚高峰时段平均满载率作为考核指标,然而疫情期间结束期,客流量尚处于不稳定状态,可通过下式测算各个时段车辆的实时满载率:

$$M_i = Q_i / C$$

$$Q_i = \sum_{j=0}^i (q_j^O - q_j^D)$$

其中, M_i 为公交车辆在第 i 站点的满载率, Q_i 为第 i 站点车厢内留客人数, C 为该车型额定载客量, q_j^O 和 q_j^D 分别为在 j 站点公交车的上客和下客人数。

一般来说,公交车额定载荷人数按照 6 人/ m^2 进行控制,此时公交车满载率和乘客可保持的安全距离之间的关系为:

$$M_i = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{l}$$

$$Q_i = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{l} \cdot c$$

其中， l 为乘客之间可维持的安全距离，通过车厢内乘客平均占正方形方格边长距离表示，据此，车厢内公交满载率与乘客间可维持的安全距离如下图所示。

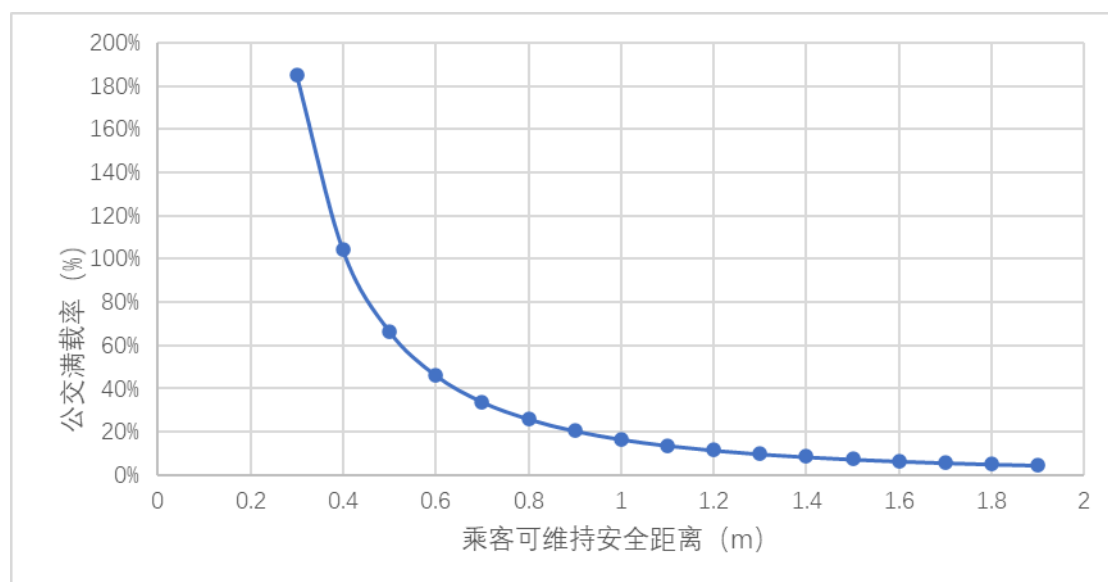


图 13 公交满载率与乘客间可维持的安全距离关系图

已有研究表明，人在正常讲话、咳嗽时喷溅的飞沫可在 1m 内短距离移动，导致交叉感染，打喷嚏产生飞沫甚至可以喷射到 6m 以外^[36]。可见，满载情况下乘客之间可以保持 0.41m 的安全距离；若要达到人均间隔 1m，满载率需要控制在 16.7%。在疫情结束期，具体满载率控制指标应根据防控要求、实际客流需求和运力来匹配，根据可接受的安全距离确定公交满载率指标，结合实际乘车人数确定发车频率与发车间隔。

5 总结与展望

本研究首先在借鉴国内外防灾单元建设的基础上，总结了各地防灾空间单元的性质、尺度及主要建设内容等，为本次研究的防御单元的规模与尺度提供了借鉴。借鉴于此，综合考虑发热门诊的理论服务范围以及街道社区边界，构建了适用于我国基层管控的防灾基本单元，并针对疫情的潜伏初期、快速传播期、持续传播期和恢复结束期提出了突发公共卫生安全事件下以防御单元为主体的交通适应性管控策略与方案。（表 3）

表 3 突发公共卫生事件下防御单元分阶段响应对策

阶段	响应对策	管控原则	管控重点	管控策略
潜伏初期	交通预警	监控为主，管控为辅，避免聚集，及时疏散	日常出行需求	人群密度检测与预警；限制公交乘客密度
快速传播期	交通禁行	严格禁行，强制阻断，统一安排，提供保障	医疗出行需求与物资运输组织	防御单元交通封闭管理；医疗出行、物资运输交通线路规划
持续传播期	交通限行	个体出行，个性定制，错峰出行，减少聚集	通勤出行等刚性出行需求	定制公交下沉社区
恢复结束期	交通疏解	按需调控、密度管理，因势利导，逐步恢复	日常出行需求	预约公交模式；控制公交满载率

潜伏初期以“监控为主，管控为辅”，提出了基于社区防御单元的交通预警方案，应用大数据方法识别出行密集度高的地区，并在各防御单元进行预警，限制公共交通的乘车人数及密度。

快速传播期以“严格禁行，强制阻断，统一安排，提供保障”为原则，以防御单位为单元，形成各自的封闭管理单元，以此提供疫情期间的预防、隔离、治疗和援助。并在此基础上综合规划了应急交通线路，以确保医疗出行、物资配送等紧急畅通。

持续传播期针对防疫基本单元内的通勤出行，在传统定制公交服务模式基础上，提出了定制公交下沉社区的方案，以防御单元为服务的基本单元，为居民提供个性化的出行服务，并以服务乘客最多，运营成本最小为目标，构建了定制公交运营调度模型。

恢复结束期居民的出行与活动增加，为满足出行需求的同时保障防疫安全，该阶段提出了预约公交的服务模式，并根据安全防疫距离提出了对公交满载率控制标准，若要达到人均间隔 1m，满载率需要控制在 16.7%。

本研究提出了突发公共卫生事件下社区防御单元的分阶段交通应急策略，并针对出行需求与防疫安全的主要矛盾提出了交通组织方案，但在出行方式的考虑和多种出行方式配合方面具有局限性。城市防灾体系的构建需要多层级防御系统共同配合，本研究提出的分阶段交通应急策略主要基于社区防控单元，交通未来还需要从城市层面，考虑对外交通、个体机动车等交通子系统，构建更全面、更系统的城市防灾交通预案。

参考文献

- [1] 金磊. 中国安全社区建设模式与综合减灾规划研究. 城市规划, 2006, 30(10).
- [2] Nisha D Botchwey, Matthew Trowbridge, Tom Fisher. Green Health: Urban Planning and the Development of Healthy and Sustainable Neighborhoods and Schools[J]. Journal of Planning Education and Research, 2014(2): 113-122.
- [3] Petter . Urban Form, Sustainability and Health[J]. European Planning Studies, 2014(7): 524-543.
- [4] Gail, Hansen. Design for Healthy Communities: The Potential of Form- Based Codes to Create Walkable Urban Streets[J]. Journal of Urban Design, 2014(2): 151-170.
- [5] BIRD E, IGE J, BURGESS-ALLEN J, et al. Healthy People Healthy Places Evidence Tool: Evidence and Practical Linkage for Design, Planning and Health[R]. UK: Centre for Public Health and Wellbeing, 2017.
- [6] Norris T, Pittman M. The healthy communities movement and the coalition for healthier cities and communities[J]. Public Health Reports, 2000, 115(2-3):118-124.
- [7] Wilcox R, Knapp A. Building communities that create health[J]. Public Health Reports, 2000, 115(2-3):139-143.
- [8] Mileti D. Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States[M]. Washington D.C: Joseph Henry Press, 1999.
- [9] Geis.D.E. By Design: The Disaster Resistant and Quality of Life Community, Natural Hazards Review, 2000(1), 151-161.
- [10] Zeynep, Toker, Henrik, et al. Good Cities and Healthy Communities in the USA[J]. Urban Design and Planning, 2012(3): 137-145.
- [11] Burby.R.J. Unleashing the Power of Planning to Create Disaster-Resistant Communities. Journal of the American Planning Association, 1999, 65, 247-258.
- [12] 孙晓乾, 陈敏扬, 余红霞, 庄宏曦, 张祺. 从城市防灾到城市韧性——“新冠肺炎疫情”下对建设韧性城市的思考[J]. 城乡建设, 2020(07): 21-26.
- [13] 唐源琦, 赵红红. 空间联动发展和城市“升维”规划管治研究——对城市突发公共卫生事件的规划思考与应对[J]. 规划师, 2020, 36(06): 44-49.
- [14] 肖婧, 李松平, 梁姗. 健康的韧性城市规划模型构建与策略[J]. 规划师, 2020, 36(06): 61-64.
- [15] 梁浩, 龚维科, 杨洋, 杨倬, 申林. 疫情防控背景下关于韧性城市建设相关问题的思考与建议[J]. 建

设科技, 2020(06): 31-34.

[16] 李晓宇, 朱京海. 韧性城市视角下的新型冠状病毒肺炎疫情解读与响应研究[J]. 规划师, 2020, 36(06): 65-68.

[17] 段进. 建立空间规划体系中的“防御单元”——应对 2020 新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈会[J/OL]. 城市规划: 1[2020-05-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2378.TU.20200220.1353.002.html>.

[18] 王兰. 建构“公共健康单元”为核心的健康城市治理系统——应对 2020 新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈会[J/OL]. 城市规划: 1[2020-05-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2378.TU.20200214.1746.038.html>.

[19] 钱振澜, 王竹, 裘知, 王焯瑶, 郑媛. 城乡“安全健康单元”营建体系与应对策略——基于对疫情与灾害“防-适-用”响应机制的思考[J]. 城市规划, 2020, 44(03): 25-30.

[20] 张京祥. 以共同缔造重启社区自组织功能——应对 2020 新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈会[J/OL]. 城市规划: 1[2020-05-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2378.TU.20200212.1135.012.html>.

[21] 王承慧. 通过社区参与规划提升社区韧性——应对 2020 新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈会[J/OL]. 城市规划: 1[2020-05-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2378.TU.20200212.1135.010.html>.

[22] 杨东援. 科学应急管控反城期间空间流动[J/OL]. 大交通: [2020-02-04]. <https://mp.weixin.qq.com/s/tHqv-0ZpRLmlz00e8G30Kw>

[23] 陈小鸿. 自助、互助与公助: 应急交通与交通系统的应急[J]. 交通与港航. 2020(01).

[24] 周文竹. 突发公共卫生安全事件下分阶段城市交通应急对策——应对 2020 新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈会[J/OL]. 城市规划: [2020-02-18]. <https://mp.weixin.qq.com/s/KgOvaZ535CPio0zSaujR1A>

[25] 赵怡婷. 社区防灾空间单元规划探讨[C]. 中国城市规划学会. 城乡治理与规划改革——2014 中国城市规划年会论文集(01 城市安全与防灾规划). 中国城市规划学会: 中国城市规划学会, 2014: 111-119.

[26] 赵怡婷. 防灾社区规划与建设方法探索[D]. 清华大学, 2013.

[27] Hansen Walter G. How Accessibility Shapes Land Use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25(2): 73-76.

[28] Koenig J G. Indicators of urban accessibility: theory and application. Transportation, 1980, 9: 145-172.

[29] Geertman S C, Ritsema Van Eck J R. GIS and models of accessibility potential: an

application in planning[J]. International journal of geographical information systems.1995, 9(1): 67-80.

[30] 王兰,李潇天,杨晓明.健康融入 15 分钟社区生活圈:突发公共卫生事件下的社区应对[J].规划师,2020,36(06):102-106+120.

[31] TIMOTHY L. HAWTHORNE,MEI-PO KWAN. Using GIS and perceived distance to understand the unequal geographies of healthcare in lower-income urban neighbourhoods[J]. The Geographical Journal,2012,178(1).

[32] Duck-Hye Yang,Robert Goerge,Ross Mullner. Comparing GIS-Based Methods of Measuring Spatial Accessibility to Health Services[J]. Journal of Medical Systems,2006,30(1).

[33] 张莉,陆玉麒,赵元正.医院可达性评价与规划——以江苏省仪征市为例[J].人文地理,2008(02):60-66.

[34] 张纯,李晓宁,满燕云.北京城市保障性住房居民的就医可达性研究——基于 GIS 网络分析方法[J].人文地理,2017,32(02):59-64.

[35] 关士托,彭庆艳.基于新型冠状病毒肺炎疫情防控的城市交通对策[J/OL].
<https://mp.weixin.qq.com/s/N3k8Ymj5tyW3qt3VWDjuXg>,2020-2-21.

[36] 曾栋鸿,冉林娜.防疫期间交通管理应对措施对常态交通管理工作的启示[J/OL].
<https://mp.weixin.qq.com/s/e38gkAnxQ-rbuWF2KTZIYw>,2020-2-24.

作者简介

周文竹,女,博士,东南大学建筑学院,副教授。电子信箱:zwz-1234567@163.com

汪琦,男,硕士,东南大学建筑学院。电子信箱:1529907148@qq.com

王楠,女,硕士,东南大学建筑学院。电子信箱:534165068@qq.com