

引用格式:金安楠,李钢,王皎贝,等.深圳市新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情时空演化与防控对策[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2020,48(3):18-32.[JIN A N, LI G, WANG J B, et al. Spatio-temporal evolution and control strategies of COVID-19 epidemic in Shenzhen, China[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2020, 48(3): 18-32.] DOI: 10.15983/j.cnki.jsnu.2020.03.017

# 深圳市新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情 时空演化与防控对策

金安楠<sup>1</sup>, 李 钢<sup>1,2,3\*</sup>, 王皎贝<sup>1</sup>, 徐婷婷<sup>1</sup>, 于 悦<sup>1</sup>, 胡志恒<sup>1</sup>, 杨佳辰<sup>1</sup>

(1 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 陕西 西安 710127; 3 西北大学 地表系统与灾害研究院, 陕西 西安 710127)

**摘 要:** 开展个体人群水平的新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情时空扩散研究,有助于疫情防控 and 资源配置。以距离中国疫情始发地武汉较远但疫情高发的深圳市为研究区,基于官方公布的确 诊病例数据、人工判读采集的病例详情及城市内部相关 POI 数据等,综合运用文本分析、数理统 计、空间分析等方法,解析深圳市 COVID-19 确诊病例的流行病学特征和疫情的时空演化过程,综 合探索疫情防控对策。结果表明:(1)确诊病例总体覆盖全年龄段,主要集中于青壮年,多源于外地 感染和 2 代感染,以家庭集聚型传播居多,以跨省市的“线形”迁移扩散模式为主。(2)疫情时间演 变经历“低发期—增长期—减缓期—尾声期”4 个发展阶段;治愈病例数呈现“由缓增到快增”的演 变过程;确诊病例自发病至入院时间间隔多为 0~2 d,入院至确诊时间间隔集中为 1~3 d。(3)空 间分布上,确诊病例主要表现为“由湖北直达”与“经湖北停留”的空间迁移类型,出行目的以春节探 亲为主;疫情小区空间布局呈“东北-西南”走向,主要围绕“两核”集聚于西南片区。(4)市域风险总 体呈现“两核三片”分布,高风险地区位于南山区南部和福田区中心。最后结合疫情所处阶段特点、 复工复产需要和境外输入等新风险,提出了基于“实时、日常、常态”“社区、片区、市域”“个体、家庭、 社会”的“时-空-人”互反馈协同精准防控对策体系。

**关键词:** COVID-19; 重大疫情; 时空演化; 防控对策; 深圳市

**中图分类号:** R181.8; K901 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-4291(2020)03-0018-15

## Spatio-temporal evolution and control strategies of COVID-19 epidemic in Shenzhen, China

JIN Annan<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1,2,3\*</sup>, WANG Jiaobei<sup>1</sup>, XU Tingting<sup>1</sup>,  
YU Yue<sup>1</sup>, HU Zhiheng<sup>1</sup>, YANG Jiachen<sup>1</sup>

(1 College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, Shaanxi, China;

2 Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity,  
Xi'an 710127, Shaanxi, China;

3 Institute of Earth Surface System and Hazards, Northwest University, Xi'an 710127, Shaanxi, China)

**Abstract:** The outbreak of COVID-19 at the end of 2019 is spreading around the world, causing serious impact on socio-economic development and human health and safety. Clarification of the

收稿日期:2020-04-01

基金项目:西北大学防治新型冠状病毒肺炎紧急科研专项引导基金重点项目(2020);西北大学“仲英青年学者”支持计划 (2016);西北大学特色优势科研团队建设项目(2019)

\* 通信作者:李钢,男,教授,博士生导师,主要研究方向为人地关系与空间安全、灾害地理与犯罪地理。E-mail:lig@nwu.edu.cn

spatial-temporal spread of COVID-19 at individual and population levels is necessary for epidemic prevention and control as well as resource allocation. This study targeted on Shenzhen city which locates far away from the COVID-19 origin city of Wuhan but experienced high incidence of COVID-19. Based on the officially published and confirmed cases, manually collected case details and the related POI data of Shenzhen, the epidemiological characteristics, spatio-temporal evolution and prevention and control measures regarding COVID-19 in Shenzhen were analyzed through text analysis, mathematical statistics, spatial analysis and other methods. The results showed that: (1) the confirmed COVID-19 cases covered all age levels, mainly concentrated in the young adults. Most of them were the second generation of infection originating from the places out of Shenzhen, and they were mainly from family cluster transmission with “linear” migration and diffusion mode between cities. (2) The time evolution of epidemic experienced 4 stages: low incidence period, growing period, deceleration period and ending period. The number of cured cases presented the evolution process from slow growth to rapid growth. The time interval from onset to admission was mostly within 0 ~ 2 days, and the time interval from admission to diagnosis was about 1 ~ 3 days. (3) In terms of spatial distribution, the confirmed cases moved out mainly through two types: “directly from Hubei” and “stop by Hubei”, with the main purpose of visiting relatives during the Spring Festival. The spatial distribution of COVID-19 affected communities demonstrated “northeast to southwest” trend, mainly gathered in the southwest part around the “two cores”. (4) The overall risk distribution of the city was “two cores and three areas”. The high-risk areas were located in the south of Nanshan District and in the center of Futian District. Finally, combined with the situation of COVID-19, requirement of work recovery and the new risk from overseas, this study put forward an accurate prevention and control measure system based on the dimensions of “real-time, daily, normal”, “community, district, city” and “individual, family, society” from the perspective of “time-space-human” mutual feedback and integration.

**Keywords:** COVID-19; major epidemic disease; spatio-temporal evolution; control measures; Shenzhen

新型冠状病毒肺炎 (corona virus disease 2019, COVID-19) 为 2019 新型冠状病毒 (SARS-CoV-2) 感染导致的肺炎<sup>[1]</sup>。2019 年 12 月以来, COVID-19 疫情在国内外蔓延, 至今已波及全球 100 多个国家和地区。截至 2020 年 3 月 11 日, 我国累计确诊病例 80 958 例, 累计死亡病例 3 163 例; 国外累计确诊病例 327 78 例, 累计死亡病例 424 例。SARS-CoV-2 病毒传播途径主要为飞沫和密切接触传播, 我国 COVID-19 疫情暴发正值春节期间, 人口的大规模迁徙加快了疫情的传播速度并扩大了疫情的传播范围, 对人民健康安全和社会经济发展产生了巨大影响。截至 2020 年 3 月底, 我国疫情已得到有效控制, 但境外疫情仍处于扩散态势, 国内出现多起境外输入型确诊病例, 同时又面临疫情防控与复产复工的新挑战。

随着 COVID-19 的暴发, 学术界聚焦 SARS-CoV-2 病毒和 COVID-19 疫情开展了大量工作, 目前研究主要集中在病原学<sup>[2-4]</sup>、流行病学<sup>[5-9]</sup>、传播动力学<sup>[10-13]</sup>和防疫策略<sup>[14-17]</sup>等领域。病原学研究侧

重于 SARS-CoV-2 的病毒结构和疫苗研发等方面, 研究表明该病毒有包膜, 颗粒呈圆形或椭圆形, 常为多形性<sup>[18]</sup>; SARS-CoV-2 基因形态与 SARSr-CoV、MERSr-CoV 存在区别, 在原代人气道上皮细胞中更易生长, 对人有较强的感染能力<sup>[19]</sup>。流行病学基于确诊病例数据分析 COVID-19 传染源、传播途径与易感人群, 发现其传染源主要是有病毒感染的肺炎患者, 也可能包括无症状感染者; 呼吸道飞沫传播或密切接触传播为主要传播途径, 人群普遍易感; 临床特点多以发热起病, 主要为中、低热, 病情较重者为持续高热<sup>[18]</sup>。传播动力学大多基于流行病学资料 and 动力学模型, 预测疫情的规模与未来走向。如周涛等<sup>[20]</sup>利用 SEIR 仓室模型推测  $R_0$  介于 2.8 ~ 3.3 之间; 李承倬等<sup>[21]</sup>利用 SIR 模型预测浙江省疫情将在 70 d 附近到达峰值, 到 100 d 左右时疫情基本稳定。

疫情在人群与地域 (重点是城市之间和城市内部) 的传播扩散是典型时空演化与人地互动的地理过程, 值得从地理学视角深入解析。与 2003 年

SARS 疫情相比, COVID-19 疫情的传播范围和影响层面更广, 从地理学视角开展的疫情时空演化、人群活动轨迹和地区风险预估等研究将对疫情现实防控起到积极作用。早期的疫情研究多从宏观趋势和地理环境<sup>[22-25]</sup>等方面展开, 为当前疫情研究提供了地理与历史多重维度视角。如李玉尚等<sup>[26]</sup>发现近代江南地区传染病特征与其特殊的地理环境尤其是独特的水环境息息相关; 龚胜生等<sup>[27]</sup>认为魏晋南北朝时期的疫灾周期具有波幅越来越小、波长越来越短的趋势, 疫灾重心由北向南迁移。随着 SARS、H1N1、埃博拉等疫情的出现, 对疫情扩散模式<sup>[28-29]</sup>方面的研究逐渐深入, Backer 等<sup>[30]</sup>利用时空分析方法对埃博拉病毒在西非地区的时空扩散规律进行研究, 认为研究区内 3 个国家的有效再生数量与时空扩散规律具有相似性, 从宏观尺度探究了疾病传播过程中的动力学机制; Hu 等<sup>[31]</sup>将时空序列与数学方法相结合, 比较了县级尺度下青海省与上海市手足口病的时空扩散模式, 发现青海省以远距离的迁移扩散为主, 而上海市以邻近县域间的流动传播为主, 进而探究了疾病的空间扩散模式、时序变化与驱动因素; 丁四保等<sup>[32]</sup>从疫病扩散中地理障碍的视角, 发现 SARS 在扩散过程中存在着地理距离、地理环境、产业特征等地理障碍; 胡碧松等<sup>[33]</sup>利用空间分析与网络分析方法研究了北京市外部输入-输出流的高风险时空热点以及网络结构, 揭示了 SARS 流行过程中的潜在时空演化规律及个体与区域之间的传播特性, 反映了疾病在宏观区域内的传播特点。当前关于 COVID-19 疫情的地理学研究正在逐步展开, 如徐小可等<sup>[34]</sup>基于人口流动数据, 对疫情暴发前期武汉市外流人口的去向进行分析, 探寻了离开武汉的人口对疫情传播的影响; 曹盛力等<sup>[35]</sup>利用修正的 SEIR 模型对湖北省疫情进行了评估与预测, 结果表明空间防控隔离和医学追踪隔离等措施对疫情大面积传播具有重要抑制作用; 刘逸等<sup>[36]</sup>通过广东省各地级市确诊病例数的变化趋势, 解析了疫情空间分布规律, 划分了疫情风险等级, 为疫情防控提供参考。

从全国来看, 在城市化与人口流动性加速的今天, 疫情在人群与地域传播的主要空间节点和焦点是城市。地理学因其长期对人地关系的聚焦以及学科交叉的优势, 在疫情传播扩散研究中已经发挥了重要作用。从地理学视角聚焦城市, 探究 COVID-19 疫情的时空演化特征与防控对策, 对当前城市乃至全国疫情的防控以及应对未来类似的挑战具有重

要意义。鉴于此, 选取距离中国 COVID-19 疫情始发地武汉较远但疫情高发(简称“远汉高发”)的深圳市为研究区, 基于官方通报的确诊病例数据、人工判读采集的病例详情和相关 POI 数据等资料, 综合运用文本分析、数理统计、空间分析等方法对 COVID-19 确诊病例的流行病学特征、疫情分布演化和防控对策展开分析, 以期对疫情的深入研究和科学防控提供参考。

# 1 研究区、数据来源及研究方法

## 1.1 研究区概况

深圳市地处我国华南地区、广东省南部、珠江口东岸, 是粤港澳大湾区 4 大中心城市之一, 也是我国首个经济特区和重要的金融中心, 2018 年末常住人口 1 300 万。深圳市距离中国疫情始发地武汉市 1 000 多公里, 截至 2020 年 3 月 11 日, 该市累计确诊 COVID-19 病例 420 例(图 1), 位于广东省地级市第一, 全国地级市第二(湖北省各市除外), 属于远汉高发市域, 是开展城市尺度疫情研究的典型案例地。

## 1.2 数据来源

研究数据包括来源于深圳市卫生健康委员会通报的确诊病例个案数量及详情、每日病例诊疗情况数据(1 302 条, 截至 2020 年 3 月 11 日), 以及利用 Python 从百度地图爬取的深圳市疫情小区、每日人群聚集地和定点医疗机构的 POI 数据, 分别建库。数据均经过人工逐一判读, 同时将网络爬取数据与确诊病例数据库比对校核。此外, 支撑数据包括深圳市研究区边界图和道路分布图, 来源于国家基础地理信息系统数据库。

## 1.3 研究方法

研究方法主要包括文本分析、数理统计和空间分析。其中文本分析旨在根据确诊病例个案文本进一步提取确诊病例的人口学特征、活动轨迹、感染地属性、感染代次以及感染原因等信息。空间分析方法包括标准差椭圆(standard deviation ellipse, SDE)、核密度估计(kernel density estimation, KDE)、平均中心点、网络分析等 4 种, 旨在分别从分布形态、集聚和演变特征等方面对深圳市 COVID-19 疫情的时空演化开展测度与探讨。

1.3.1 标准差椭圆 标准差椭圆(SDE)可以直观地反映各时期疫情小区的离散程度与方向性, 以揭示深圳市疫情小区的空间分布趋势。SDE 主要由转角、长轴、短轴组成, 椭圆的长轴为空间分布最



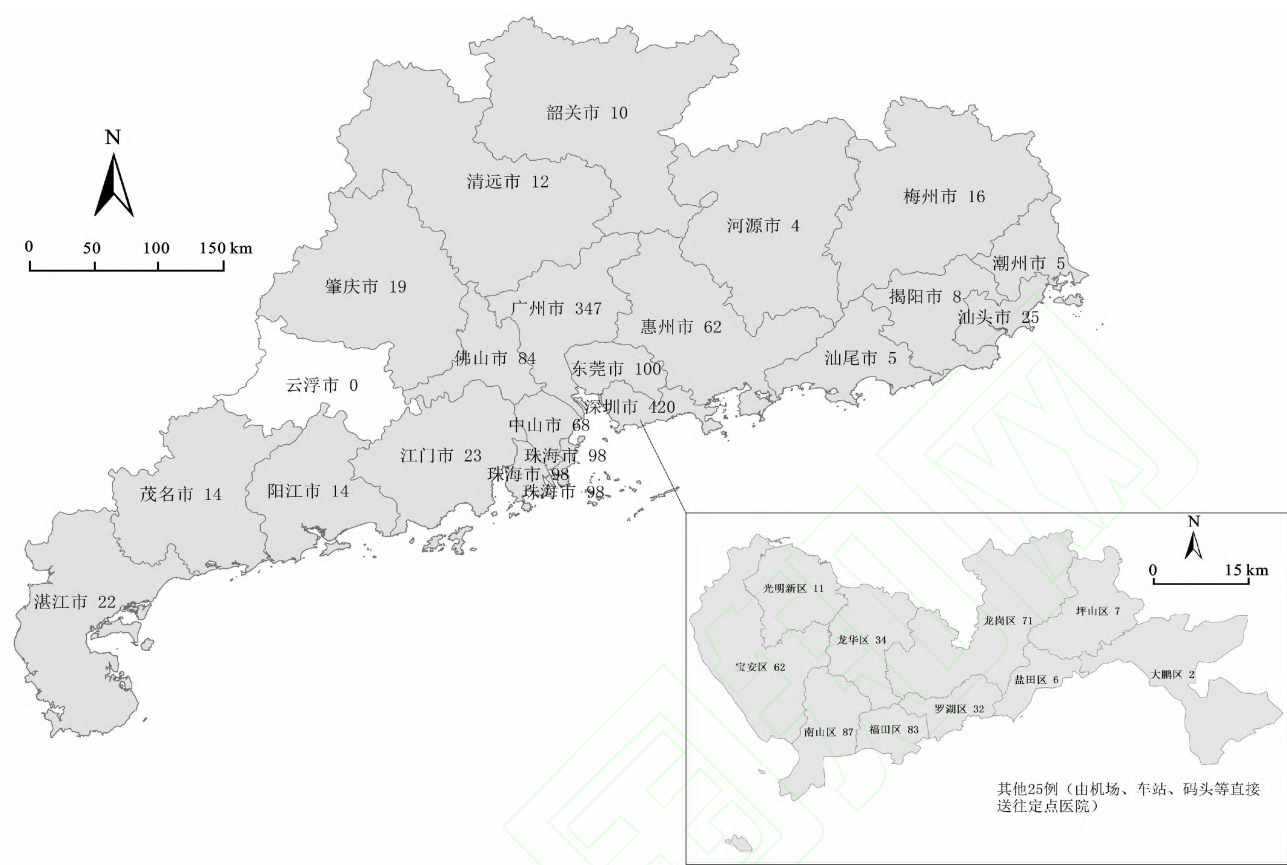


图 1 广东省及深圳市确诊病例分布图

Fig. 1 Spatial distribution of the confirmed COVID-19 cases in Guangdong province and Shenzhen city

多的方向,短轴为空间分布最少的方向<sup>[37]</sup>。标准差椭圆计算公式如下:

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}, \tag{1}$$

$$SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n}}. \tag{2}$$

其中: $x_i$  和  $y_i$  是疫情小区  $i$  的坐标,  $\{\bar{X}, \bar{Y}\}$  表示疫情小区的平均中心,  $n$  等于疫情小区总数。

1.3.2 核密度估计 核密度估计(KDE)方法认为区域内任意位置都有 1 个可测度的事件密度(也称强度),该位置的事件密度可以通过其周围单位面积区域内的事件点数量来估计。本文以核密度估计法来考察深圳市疫情小区的空间密度分布特征,具体计算公式为

$$f(x) = \frac{1}{nh_n} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h_n}\right). \tag{3}$$

其中: $n$  等于疫情小区总数; $h_n$  为带宽,即搜索半径; $k\left(\frac{x-x_i}{h_n}\right)$  为核函数。

1.3.3 平均中心点 平均中心点研究区域中所有要素的平均  $x$  坐标和  $y$  坐标,通过描述数据集中位置的统计量来反映一组数据的一般情况和平均水

平。本文利用平均中心点,对深圳市每 3 天的疫情小区中心点进行提取,从而追踪深圳市疫情小区的趋势性转移轨迹,具体计算公式如下:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \tag{4}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}. \tag{5}$$

其中: $x_i$  和  $y_i$  是疫情小区的坐标,  $n$  等于疫情小区总数。

1.3.4 网络分析 网络分析是指依据网络拓扑关系(结点与弧段拓扑、弧段的连通性),通过考察网络元素的空间及属性数据,以数学理论模型为基础,对网络的性能特征进行多方面研究的方法。本文利用 ArcGIS 中的网络分析对深圳市定点医疗机构的服务区可达性进行评估,旨在判断疫情小区居民就医的便捷性。

## 2 确诊病例的流行病学特征

### 2.1 人口学特征

将人口年龄分为少儿组(1~19 岁)、青年组(20~39 岁)、壮年组(40~59 岁)、实年组(60~79 岁)及老年组( $\geq 80$  岁)<sup>[38]</sup>,进而分析深圳市 420 例

确诊病例的年龄-性别结构(图 2)。结果表明确诊病例总体覆盖全年龄段,主要集中于壮年组(150 例)和青年组(127 例),多为务工人员、高校学生等,这与疫情暴发在春节期间,此类人群返乡探亲流动

性较大有关。实年组确诊病例(107 例)多见于 60~69 岁,此类人群抵抗力较弱,且部分患有基础疾病。确诊病例中女性(223 例)略多于男性(197 例),性别分布总体趋近平衡。

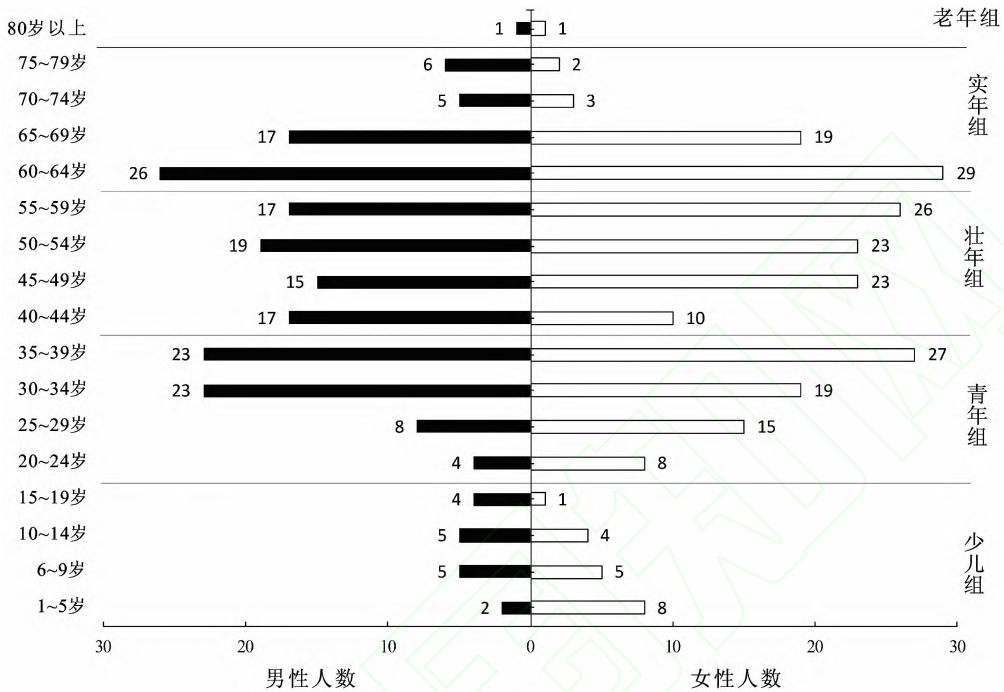


图 2 深圳市确诊病例的年龄-性别结构

Fig. 2 Age-gender structure of the confirmed COVID-19 cases in Shenzhen

## 2.2 感染特征

2.2.1 感染地属性 根据确诊病例的活动轨迹与感染原因,将确诊病例感染地分为外地感染和本地感染。共发现的 420 例确诊病例中,354 例为外地感染,66 例为本地感染,以外地感染为主。在 354 例外地感染确诊病例中,142 例常住于湖北省,197 例常住于深圳市,其中 162 例途经到访过湖北省,14 例有过外地与确诊病例接触史,21 例感染地不明;此外,还有 15 例居住于其他省份,其中 9 例途经到访湖北省,5 例在外地与确诊病例有过接触,1 例感染地不明。在 66 例本地感染确诊病例中,12 例与湖北人员有接触,25 例与已确诊患者有接触,29 例感染原因不明。

2.2.2 感染代次 感染代次用于描述病毒传播和感染原因的层级关系,是两者的综合体现。由于目前武汉乃至湖北暂无其确诊病例的详细感染经过和活动轨迹信息公布,因此本文简单地将湖北视为本次中国疫情的“黑箱始发区”,通过人工判读确诊病例的感染经过和活动轨迹,将其大致划分为 3 类感染代次:将长期在湖北生活工作的确诊病例界定为 1 代感染者,直接接触 1 代感染者或在疫情前后短

期前往湖北的确诊病例界定为 2 代感染者,不存在湖北旅居暴露史且不能认定为 2 代感染者的确诊病例界定为 3 代及以上感染者。由此结合深圳市 COVID-19 确诊病例的数据特点,将常住地为湖北的确诊病例记为 1 代;将常住地非湖北,但近期到访、途经湖北或与湖北人员密切接触的记为 2 代;将没有湖北旅居暴露史但与确诊病例密切接触的记为 3 代及以上。统计分析得出,1 代确诊病例 142 例,2 代确诊病例 201 例,3 代及以上确诊病例 76 例,分别占确诊病例总数的 33.89%、47.97%、18.13%,代次分布呈现出“2-1-3”结构,2 代确诊病例为深圳市疫情的主体。

2.2.3 社会网络关系 深圳市 420 例确诊病例中 236 例之间存在家庭、朋友或同事等社会网络关系,并可归类为 86 组案例(图 3)。其中,存在家庭关系的共有 83 组案例,包含确诊病例 230 例,占确诊病例总数的 55.2%;存在朋友关系的 1 组案例,包含 4 例确诊病例;存在同事关系的 1 组案例,包含 2 例确诊病例。此外,仍有 181 例确诊病例社会网络关系不明。由此可见,深圳市确诊病例之间以存在家庭关系为主,这是因为疫情暴发正值春节期间,返乡探亲、家人

团聚等家庭活动增加了人员流动性和病毒在家庭内部的传播;存在朋友和同事关系的发病案例极少,可

见疫情期间小区封闭管理、企业停工停产等一系列措施有效阻断了病毒在朋友、同事之间的传播途径。

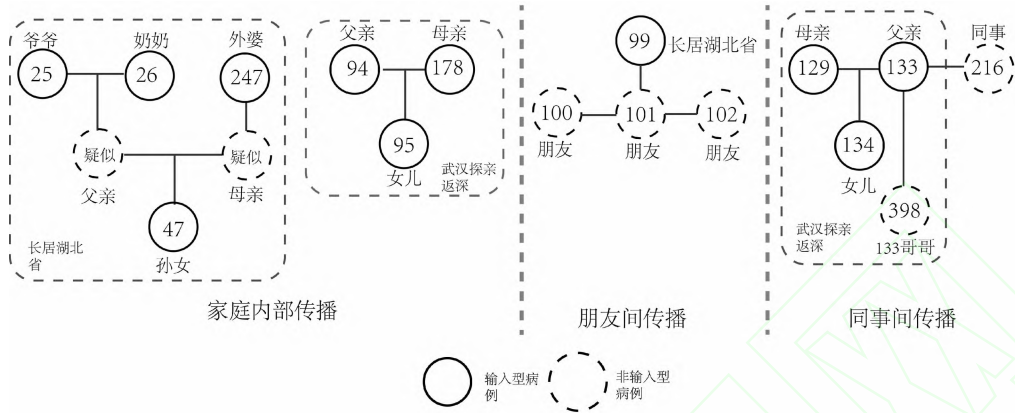


图 3 深圳市确诊病例主要社会网络关系类型

Fig. 3 Social relationship types of the confirmed COVID-19 cases in Shenzhen

注:数字为病例编号。

2.3 扩散模式

通过统计深圳市 COVID-19 确诊病例的活动轨迹,发现深圳市疫情的空间扩散模式以“线形”(直线或折线)迁移扩散为主,“伞状”传染扩散为辅(图 4)。“线形”迁移扩散指在疫情源区湖北感染后存在跨省市的输入性迁移活动,共计 354 例。其中,常住湖北直接到访深圳的迁移扩散为“直线形”,共计

142 例;途经湖北返回深圳的迁移扩散为“折线形”,共计 212 例。“伞状”传染扩散主要是深圳本地发生感染,在家庭关系、朋友关系和同事关系内部发生的放射状传播,共计 66 例。2 种扩散模式在深圳市的发生时间与深圳市采取的防控措施密切相关,疫情早期二者共存,中期主要以“伞状”传染扩散为主,后期二者均得到有效阻断。

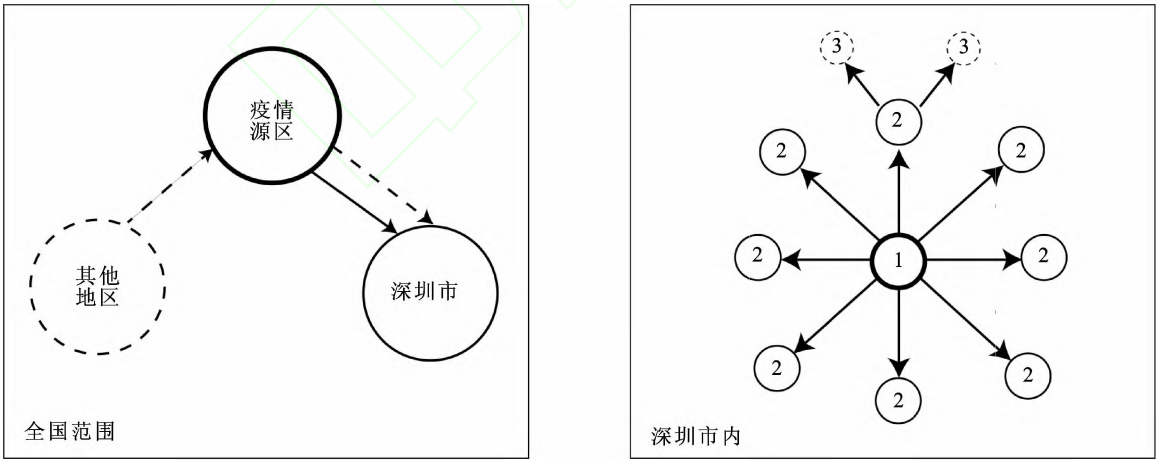


图 4 深圳市 COVID-19 疫情的主要空间扩散模式

Fig. 4 Spatial diffusion models of COVID-19 epidemic in Shenzhen

3 深圳市疫情时间演变过程

3.1 确诊病例时间演变特征

深圳市 COVID-19 确诊病例时间演变呈现“低发期—增长期—减缓期—尾声期”4 个阶段(图 5): (1)2020 年 1 月 19 日至 28 日为低发期。1 月 19 日深圳市出现首例 COVID-19 病例,至 1 月 28 日累计确

诊病例 61 例,日均新增 6 例,增速较缓。(2)2020 年 1 月 29 日至 2 月 6 日为增长期,确诊病例数迅速增加。1 月 30 日累计确诊病例突破 3 位数,1 月 31 日新增病例 60 例,累计确诊病例达 170 例,环比增长 54.54%;至 2 月 6 日累计确诊病例 334 例,增长期日均新增确诊病例 30 例。(3)2020 年 2 月 7 日至 2 月 15 日为减缓期,确诊病例数量呈下降趋势。2 月 15

日累计确诊病例 414 例,减缓期日均新增确诊病例 9 例,增速明显放缓。(4)2020 年 2 月 16 日至 26 日为

尾声期,连续数日出现确诊病例“零新增”,累计确诊病例稳定于 420 例,COVID-19 疫情基本得到控制。

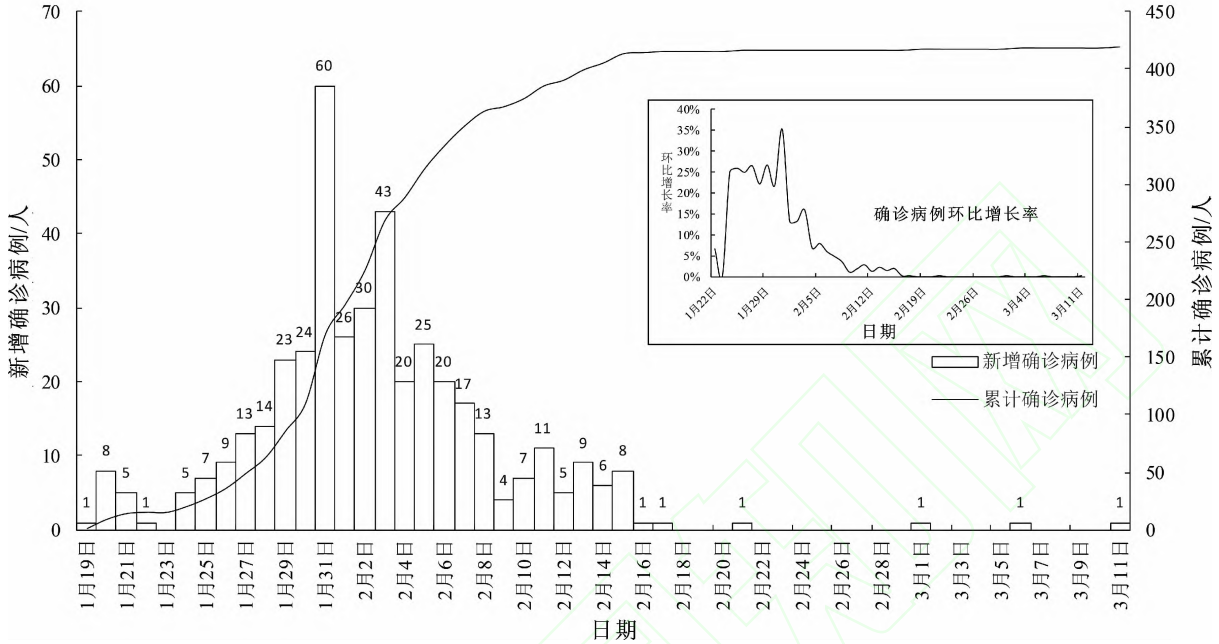


图 5 深圳市 COVID-19 确诊病例的时间演变过程

Fig. 5 Time evolution process of the confirmed COVID-19 cases in Shenzhen

3.2 治愈病例与死亡病例时间演变特征

由 COVID-19 治愈率和死亡率的时间演变图 (图 6)分析得出:深圳市治愈病例数呈现由缓增到快增的演变过程,2020 年 1 月 23 日至 2 月 2 日,治愈病例数增加缓慢,2 月 2 日累计治愈病例仅 5 例,可能与治疗方案处于探索阶段及确诊病例自身的免疫过程有关。从 2020 年 2 月 3 日开始,累计治愈病例数呈上升趋势,从 2 月 3 日累计治愈病例 10 例增加至 2 月 26 日的 271 例,治愈率从 3.7% 提高到 64.9%,累计治愈病例数总体呈现出稳定增长趋势。累计治愈病例数的增加和治愈率的提高,主要因为对 COVID-19 研究不断深入和临床治疗经验持续积

累,同时治愈病例以 20~60 岁人群为主,病情较为稳定且体质较好,在接受治疗后可较快恢复。确诊病例中有 109 例为 60 岁以上人群,占确诊病例总量的 25.9%,该群体身体恢复较慢、治愈难度较大。截至 3 月 11 日共 3 例死亡病例,死亡率维持在 0.7%;3 例死亡病例平均年龄 66 岁,均在疫情期间存在武汉旅行史或与武汉人员的密切接触史,其中 2 例患有高血压、支气管扩张、睡眠呼吸暂停综合征等基础疾病。

3.3 发病、入院、确诊时间演变特征

由确诊病例的发病、入院、确诊时间间隔分布图 (图 7)分析可知:确诊病例主要于发病当天(64 例)、次日(67 例)和隔日(60 例)入院,共占确诊病例总数的 46.59%;发病至入院时间间隔为 3~8 d 的共计 171 例,表明仍有一定比重患者在发病时未及时治疗入院隔离。入院至确诊时间间隔一般为 1 d (82 例)、2 d (96 例)和 3 d (90 例),占总确诊病例的 65.37%,表明病情确诊时间大多为 1~3 d;入院当天确诊的 38 例,入院至确诊时间间隔在 4~8 d 的 101 例,表明各病例的确诊时间存在较大差异。总体上,深圳市确诊病例自发病至入院时间间隔多为 0~2 d,而入院至确诊时间间隔集中于 1~3 d。

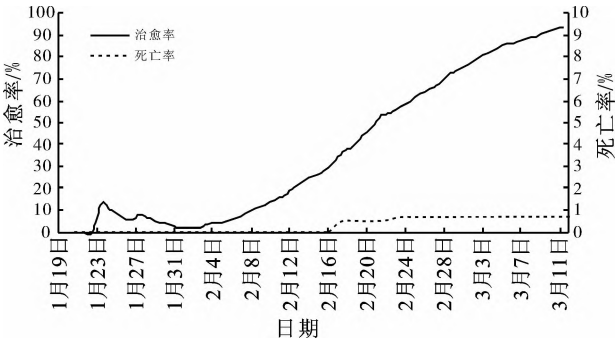


图 6 深圳市确诊病例治愈率、死亡率时间演变图

Fig. 6 Time evolution process of cured rate and mortality rate of the confirmed COVID-19 cases in Shenzhen



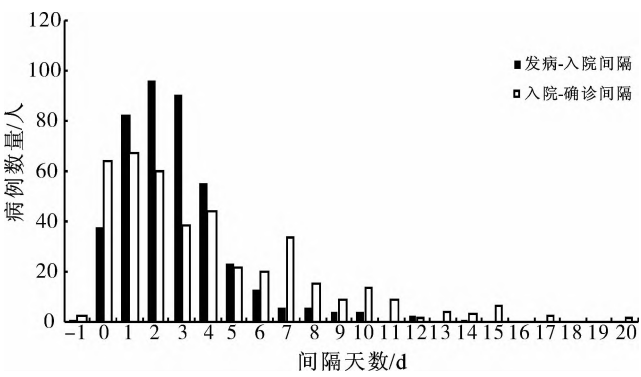


图 7 确诊病例发病-入院-确诊时间间隔分布图

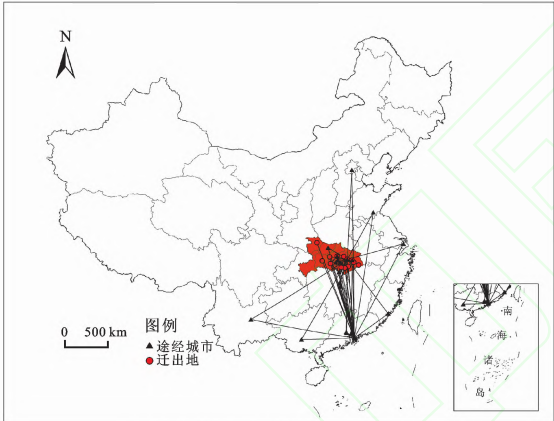
Fig. 7 Time interval of paroxysm-admission-diagnosis of the confirmed COVID-19 cases in Shenzhen

4 深圳市疫情空间分布格局

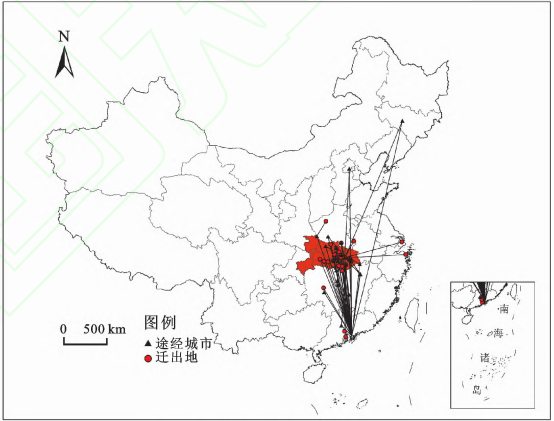
4.1 确诊病例空间迁移特征

疫情暴发正值春节期间，加之京九高铁与武深

高速等便捷的跨地域交通网络，促进了疫情的跨地域扩散。深圳属于远汉高发市域，84.28% 确诊病例存在迁出地，多以湖北和深圳为迁出地（合计占比 72.38%），主要表现为“由湖北直达”与“经湖北停留”的空间迁移类型。由确诊病例空间流向图（图 8，不包括国际及无法确定的流动信息）可知，确诊病例从迁出地最终到达深圳市的流动过程与湖北省密切相关。162 例从深圳市前往湖北省探亲访友，短期停留或接触 1 代而感染，返回深圳确诊（图 8a）；142 例从湖北出发前往深圳探亲，出发前已处于疫源环境而感染，到达深圳后确诊（图 8b）；9 例从其他省市（非湖北省或广东省）到访，途经湖北，最终到达深圳后确诊。3 种主要迁移情形均存在长期或短期的湖北暴露史，印证了深圳市疫情主要源于春节期间家庭亲属关系内的跨省市传播扩散。



a. 湖北籍确诊病例空间流向



b. 深圳籍确诊病例空间流向

图 8 深圳市确诊病例空间流向格局

Fig. 8 Spatial flow pattern of the confirmed COVID-19 cases in Shenzhen

注：此图由国家测绘地理信息局标准地图（审图号为 GS(2016)1595 号）制作而成，底图无改动。

4.2 疫情小区空间分布特征

4.2.1 疫情小区空间分布格局 根据确诊病例的居住地址信息绘制成深圳市疫情小区分布图（图 9），可以看出，疫情小区在空间上总体呈现东北—西南走向，主要集聚于西南片区，在福田区和南山区南部形成“两核”。形成上述格局的原因包括：① 城市形态因素，深圳市整体呈“东—西”走向的城市形态，西部宽阔，东部狭长。② 住宅小区分布因素，西南片区邻近海岸线，地势平缓，建有连通香港与澳门的多个口岸，住宅小区集中分布于此（图 10）。③ 道路密度因素，西南片区道路密度大，连通性好，人流密集度高，COVID-19 扩散风险大（图 11）。④ 片区吸引力因素，福田区为深圳市行政、金融、文化、商贸和国际交往“五大中心”，南山区为深圳市科研、教育、

体育中心，相互毗邻的二者是深圳市最具吸引力的片区。

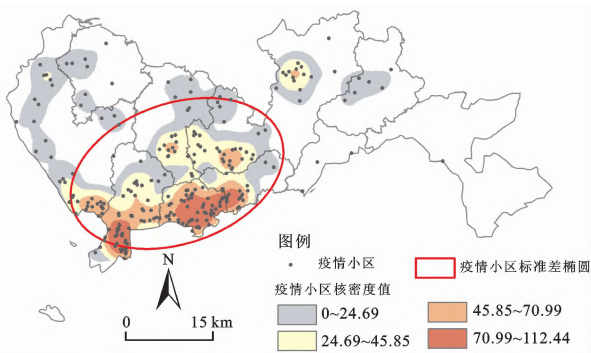


图 9 深圳市疫情小区空间分布

Fig. 9 Spatial distribution of the COVID-19 affected communities in Shenzhen



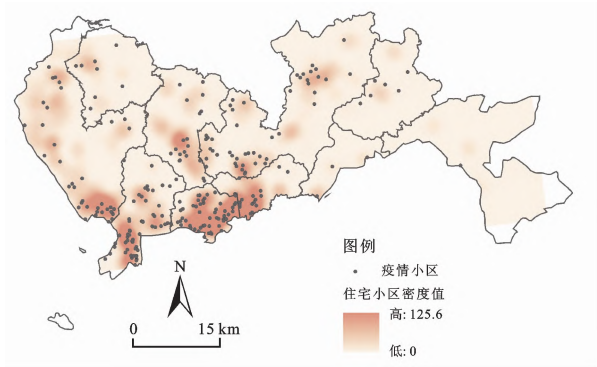


图 10 深圳市住宅小区核密度分布

Fig. 10 Kernel density distribution map of residential communities in Shenzhen

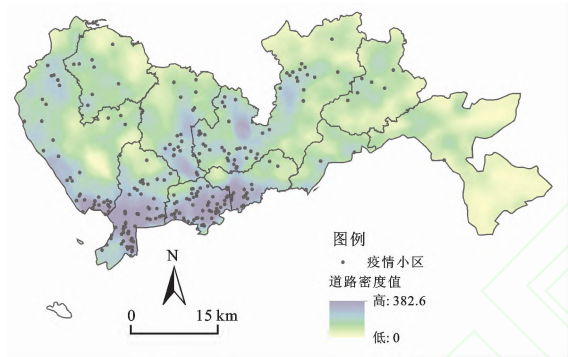


图 11 深圳市道路密度分布

Fig. 11 Road density distribution map of Shenzhen

4.2.2 疫情小区平均中心点演变 根据 2020 年 1 月 31 日至 2 月 22 日公布的深圳市疫情小区位置信息,以 3 d 为 1 个时间单位,划分出 5 个时段,绘制疫情小区平均中心点时间演变轨迹图(图 12)。由图可以看出,疫情小区平均中心点均在西南区域位移,具体分布于龙华区、南山区、福田区的交界地带。

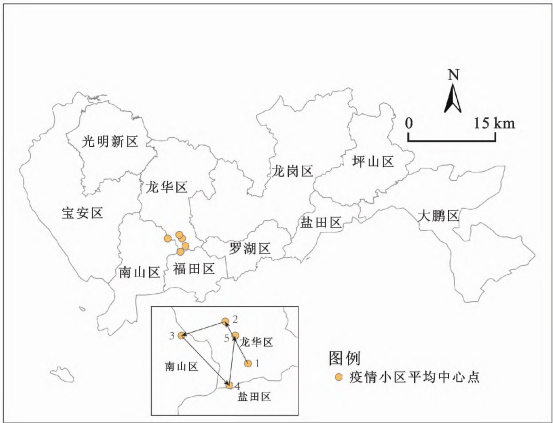


图 12 深圳市疫情小区平均中心点时间演变轨迹

Fig. 12 Evolution track map of the average center points of COVID-19 affected communities in Shenzhen

疫情小区平均中心点随时间呈逆时针移动,1 月 31 日—2 月 1 日中心点位置相对偏东,2 月 2 日—4 日中心点向北偏东移动,2 月 5 日—7 日中心点向西移动,2 月 8 日—10 日中心点向东南移动,2 月 11 日—22 日中心点向北移动,临近 2 月 2 日—4 日的中心点位置。2020 年 1 月 31 日—2 月 22 日深圳市疫情小区的平均中心点在西南片区波动,反映了深圳市疫情的总体演化特征,同时也指示了深圳市疫情防控的重点方向。

4.2.3 疫情小区与定点医疗机构的空间关系 COVID-19 疫情期间定点医疗机构分布的充分性和服务范围的便达性,是影响感染病例是否能够及时就医检测、接受治疗和治愈康复的重要因素。2020 年 1 月 22 日,深圳市公布了 49 家 COVID-19 定点医院,其中,深圳市第三人民医院为配备 1 000 张病床的集中接收全市确诊病例的应急医院,位于龙岗区,处于深圳市中心地带,具有集中收治来自全市病例的交通区位优势。由定点医院服务区(3 km 与 6 km)与疫情小区分布图(图 13)可知,定点医院与疫情小区整体布局较为匹配,主要分布于西南区域,而东部区域和西北区域分布较少,这主要与深圳市的人口分布和区域发展有关。多数疫情小区分布在定点医院 6 km 服务区范围以内,可在 30 min 内到达,便达性较好。仅有 10 个疫情小区处于定点医院 6 km 服务区范围以外,便达性相对较低,应充分发挥此区域周边社区医院的病情初检与病例转诊功能,降低确诊病例因就医而造成交叉感染的风险。

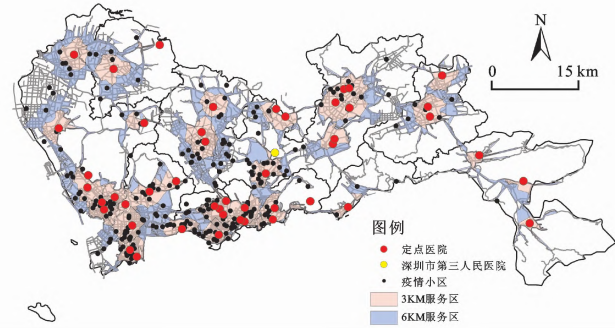


图 13 深圳市定点医院服务区与疫情小区的空间关系图

Fig. 13 Spatia relation map of the designated hospital service area and COVID-19 affected communities in Shenzhen

## 5 深圳市疫情风险地理画像与精准防控对策

### 5.1 市域疫情风险地理画像

在 500 m×500 m 的网格上将疫情小区密度、

道路密度及人群集聚地密度进行叠加赋值,对深圳市域疫情风险进行地理画像(图 14),分析发现:市域风险总体呈现“两核三片”格局,高风险区集中于前述的福田区和南山区南部;次高风险区位于龙华区与龙岗区交接南部及龙岗区东北部,这里集中了

富士康园区、华为园区、龙岗工业园区、深圳物流园区等众多工业园区,也是外来务工人员住宅区的聚集地,流动人口基数大,人群移动活跃度高。在 COVID-19 疫情市域内部稳定但境外持续蔓延期间,复工复产复学正有序进行,以上片区仍需提高警惕。

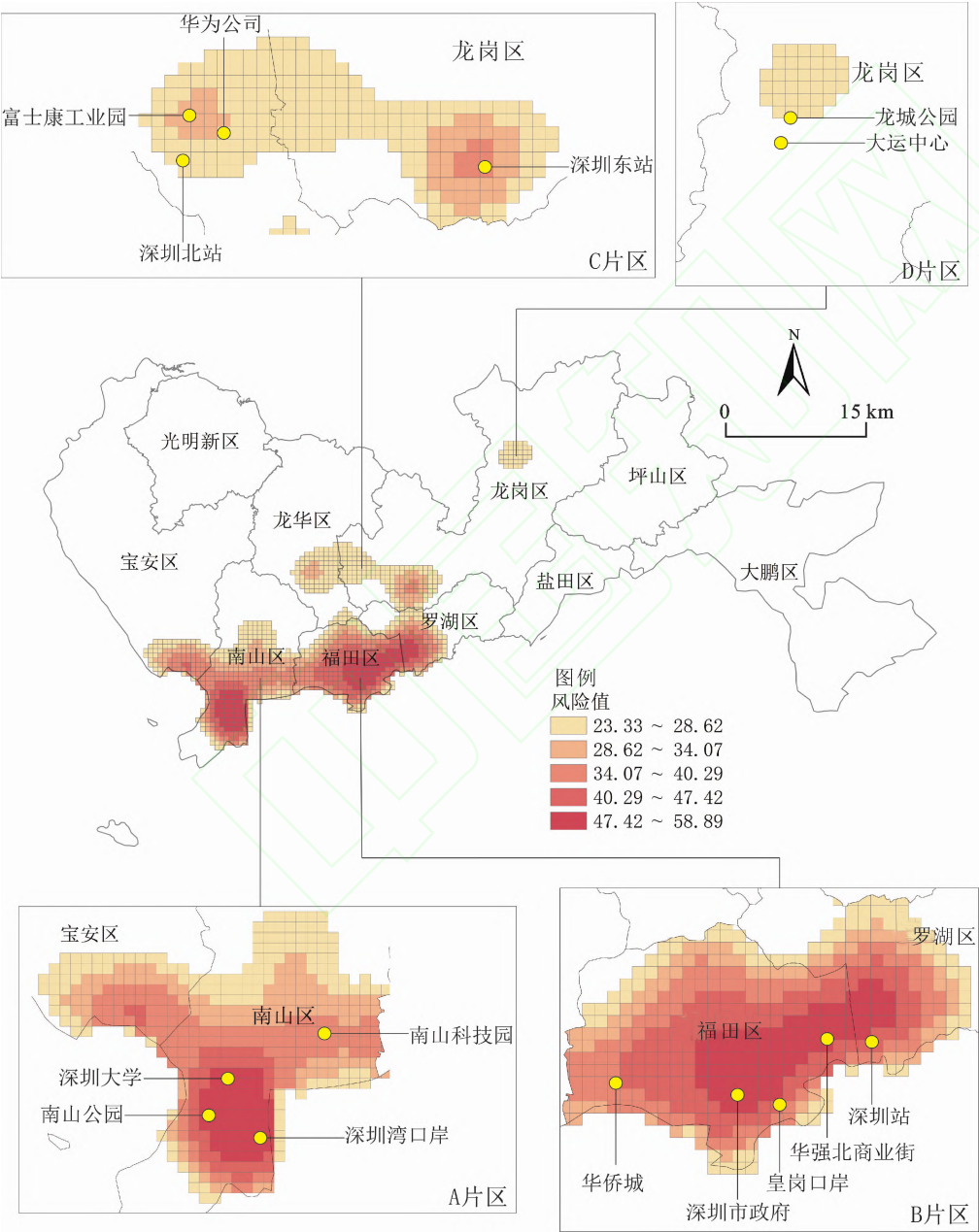


图 14 深圳市 COVID-19 疫情风险地理画像  
Fig. 14 Geographic profiling of COVID-19 epidemic risk in Shenzhen

5.2 疫情防控对策

随着 COVID-19 疫情“低发期—增长期—减缓期—尾声期”的阶段性的发展,深圳市的疫情防控路径也经历了“全面布局—精细管控—各行助力—复产复工”的阶段性的响应。在疫情低发期,深圳市的防控

路径主要围绕物业服务、文化旅游、公共教育、基建工程、政府工作等多个领域全面布局,但防疫措施力度不强,例如要求物业服务企业加强物业管理区域的环境卫生消杀工作,管制酒店、宾馆举办的群众活动,做好延迟开学、在线教学等教育工作等。在

疫情增长期,防疫措施针对隔离观察、医疗保障、社区街道、农贸活动、防疫物资、餐饮业等细分领域做出精细管控,措施力度明显增强,例如密切接触者送到指定集中隔离场所实施 14 d 隔离,疑似和确诊患者使用的药品和医疗服务项目全部临时纳入医保基金支付范围等。在疫情减缓期,深圳市相关部门集中各行各业助力保障,例如科技创新委员会提出适度减免园区企业租金,发布《深圳市抗击新型冠状病毒感染的肺炎疫情相关药品、医疗器械生产企业名单》,为战胜疫病提供科技支撑;人力资源和社会保障局要求人力资源服务机构尽量线上形式开展各类招聘业务等。在疫情尾声期,深圳市防控措施聚焦复产复工和疫情防控的协调统一,先后发布《深圳市安全管理委员会办公室关于做好节后复产复工时期疫情防控和安全生产工作的紧急通知》《深圳市企业复工及新型冠状病毒感染的肺炎预防控指引》《关于落实分区分级防控措施科学有序推进企业复工复产工作的通知》等重要文件,通过企业互助、社区联动的方式为企业筹备防疫物资,为企业复工复产提供条件。多部门参与优化线上办公效率,落实多方面的惠企政策,缓解中小企业复工复产过程中的融资需求与成本负担。对企业员工实施日常化的健康检查、分区就餐、返岗直通车等健康防控政策。此外,深圳市还对返深的湖北务工人员与深圳滞鄂人员采取湖北健康码互通、专车返深与“点对点、一站式”等的健康管理措施,保障务工人员的精准输送及深圳滞鄂人员的安全有序返乡。

随着各种防控政策和措施的施行,当前 COVID-19 疫情在湖北以外的省、市、区已经得到有效控制,深圳市内部连续多日无新增确诊病例。随着复工人员陆续返深和各种生产活动的逐步恢复,城市内部疫情防控压力依然不小。同时,COVID-19 疫情正在全球多地快速蔓延,深圳已出现多起境外输入病例。面对国内国际疫情局势的“跷跷板”变化,结合本文分析结果,为当前疫情防控及未来迎接类似挑战提出如下建议(图 15)。

5.2.1 从实时、日常到常态的时间尺度 实时以小时为单位,对疑似传染源或流动性较大的人群聚集地进行实时监测与防控。当前复工复产正有序进行,对小区、单位进出人员健康状况和活动信息应当实时登记与更新;同时为避免境外输入病例引起国内疫情扩散,应当追踪境外输入人员的时空轨迹、健康情况、疫源地暴露史及人员密切接触史等信息。日常以每日为单位,关注各个空间单元内每日的人

员流动与健康状况,同时对治愈患者、居家隔离人员提供必要的生活帮助等。常态以周或月为单位,以政府为主体,重点关注和预判各片区诊疗情况、资源配置等的变化,根据疫情发展阶段对防控政策与措施做出优化调整。

5.2.2 从社区、片区到市域的空间尺度 每个空间尺度都应该结合以上 3 个时间尺度做好疫情防控部署与灵活调整。社区空间尺度上,应对进出人员和居家隔离人员的健康状况做好日常登记与更新;对社区居民与易感人群的生活需求、健康状况做好每日汇总,并对社区环境进行必要的日常清洁与消毒;建立常态化的居民健康档案,为治愈患者提供必要的愈后人文关怀与心理疏导。超市、商场等公共场所应对进入场所人员的健康状况与接待数量做到实时监控,减少人员密集空间的形成;根据每日场所运营情况与人流量情况,结合市、区政策及时调整运营时间与方式,线上线下结合为居民提供安全多元的消费服务。片区空间尺度以基层单位为主体,应加强与各大交通节点的信息互通,对高风险地区或境外返回人员做到信息实时汇报,行踪实时追踪,必要时采取集中隔离;对复工企业、商铺、市场做好日常检查工作;形成常态化的防控机制,及时向上传递片区防疫信息,向下传递最新防疫政策。市域空间尺度以政府为主体,应密切关注人口流动性较大的片区,对各部门汇总的数据进行评判与分析,实时掌握城市疫情动态,统筹安排社会资源;根据城市各片区患者的诊疗情况、确诊疑似病例数量、人口流动逐日变化,及时优化调整各片区的防疫策略和强度;建立和优化城市公共卫生安全应急体系,对不同时空尺度的防控实践做常态化的管控协调。

5.2.3 从个体、家庭到社会的人本尺度 病毒传播与疫情扩散的核心载体是人,消灭病毒与防控疫情的核心力量也是人,因此疫情防控须以人为核心,以人为根本,具体可从个体、家庭、社会 3 个层面展开。

规范个体层面的行为活动:确诊病例在城市间与城市内部的行为活动造成了病毒的传播与疫情的扩散,因此规范个人行为活动仍是疫情防控中最基础和关键的一环,居民个人行为的规范取决于个人防疫意识的强化与社会各部门的有效监督。新媒体平台可以通过图片、视频、网络直播等大众易于接受的方式对疫情动态与防疫政策等信息进行传播,强化信息与政策的渗透性。科技创新企业则可以基于社交平台和虚拟现实技术开发虚拟生活圈等线上交



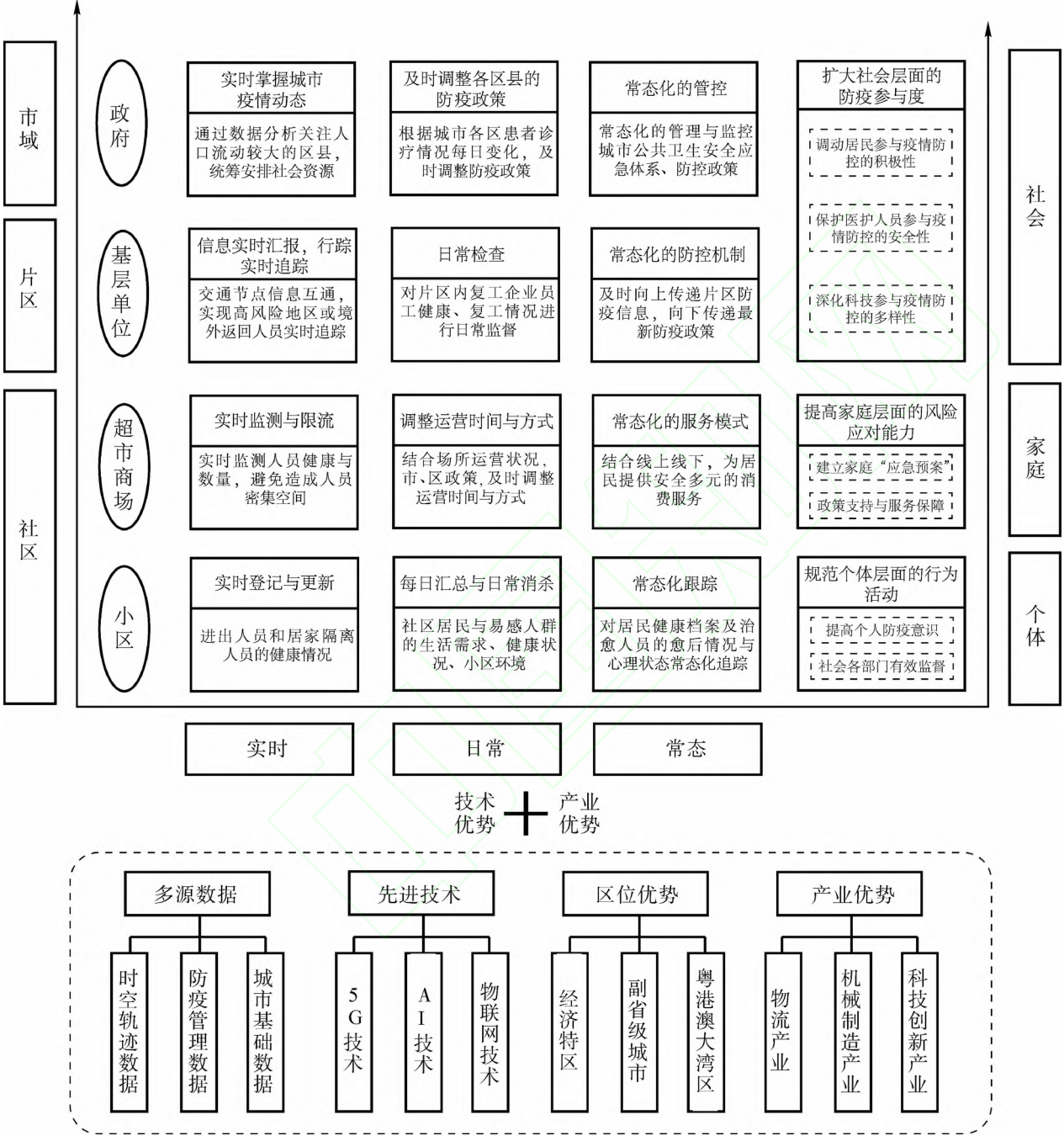


图 15 “时-空-人”互反馈协同下的深圳市疫情精准防控对策体系

Fig. 15 COVID-19 epidemic prevention and control system with the integration of human, time and space in Shenzhen

互软件,使居民以视频打卡、线上交流的形式学习个人防疫知识,提高个体在疫情防控中的参与度和规范性。社会各部门则可以借助多元大数据对个人行为进行监督,实现精准化防控。在保护个人隐私的前提下,未来可以通过手机定位、可穿戴设备等方式获取确诊病例完整的时空轨迹,基于数据算法测算确诊病例与居民轨迹的时空临近关系,实现动态监

测预报。

提高家庭层面的风险应对能力:家庭是最小的社会单位,正确的疫情认知和态度可以有效避免集体性传染,家庭的相互支持也是成员度过封闭期的重要保障,更是确诊病例战胜病毒的强心剂。家庭成员应以理性、主动的态度建立家庭“应急预案”,认清突发事件本身及其可能带来的负面影响,掌握必

要的应对知识和方法。同时,政府与社会服务部门也应家庭提供必要的政策支持与服务保障。

扩大社会层面的防疫参与度:政府应积极发挥能动作用,利用多媒体话语手段传播疫情动态与正能量抗疫信息,保障居民知情权的同时,调动居民参与疫情防控的积极性。深圳市作为科技创新之城,可以联合“港澳”与本地的优势科研力量,利用 5G、AI、大数据等新技术开发智能防疫设施,如无感测温设备、机器人消杀、智能化监测评估防疫系统等,降低防疫过程中工作人员的感染风险,保护医护人员安全。此外,整合电信、网络、公安、交通运输等部门关于个体与人群多源时空大小数据,建立高规格的城市应急管理机制和技术支持系统。实现医疗物资及时调配,为长期患病居民提供疫情期间与“后疫情”时期的医疗帮助。制定统一的数据收集规范,消除不同部门间的“信息孤岛”,真正释放数据价值和潜力,实现基于多源数据和先进技术的“时-空-人”互馈协同疫情精准防控目标。

## 6 结论与展望

### 6.1 结论

本文从地理学视角聚焦远汉高发市域深圳,综合运用文本分析、数理统计与空间分析等方法,解析深圳市 COVID-19 确诊病例的流行病学特征和疫情时空演化过程,探索疫情防控对策。

(1)流行病学特征:确诊病例性别分布趋于均衡,总体覆盖全年龄段,主要集中在 20~59 岁,以流动性较大的青壮年居多;确诊病例以外地感染为主,代次分布呈现“2-1-3”结构,2 代确诊病例为主体人群;确诊病例社会关系以家庭关系为主,扩散模式以输入性的“线形”迁移扩散为主,城市本地“伞状”传染扩散次之。

(2)时间演变特征:每日新增病例前期增长迅速,后期增速减缓;治愈病例数经历由缓增到快增的演变过程,疫情整体呈现“低发期—增长期—减缓期—尾声期”4 个发展阶段;确诊病例自发病至入院时间间隔多为 0~2 d,入院至确诊时间间隔集中于 1~3 d。

(3)空间演变特征:确诊病例主要表现为“由湖北直达”与“经湖北停留”的空间迁移类型,出行目的以春节探亲为主;疫情小区空间分布呈“东北—西

南”走向,围绕“两核”集聚于西南片区,与深圳市住宅小区、道路密度的分布大体一致;疫情小区与定点医院布局匹配度较高,多数分布在定点医院 6 km 服务区范围内,可达性较好。

(4)疫情风险地理画像:市域疫情风险总体呈现“两核三片”格局,高风险区集中于金融、商业、旅游业较为集中的福田区和南山区南部,次高风险区位于拥有大量工业园区的龙华区与龙岗区交界南部及龙岗区东北部。

(5)疫情防控措施:深圳市防控对策经历了“全面布局—精细管控—各行助力—复产复工”的响应阶段;当前疫情处于尾声期,防控措施需聚焦疫情防控与复产复工的新挑战,严防境外输入病例;结合深圳市自身区位与科技优势,建立“时-空-人”互馈协同下的城市应急管理机制和技术支持系统,实现疫情精准防控。

### 6.2 展望

疫情时空演化过程与规律的研究涉及地理学、流行病学、社会学等多种学科。早年学者基于地理学视角研究了 SARS、H1N1、埃博拉等疫情,推动了人们对疫情时空演化与扩散规律的认识,促进了公共卫生安全体系的发展与进步。2019 年末 COVID-19 疫情蔓延全球,严重影响我国公共卫生安全。学者们从病原学、流行病学、传播动力学等方面积极开展研究,但在城市化快速发展的背景下,对疫情在城市间与城市内部的传播扩散模式、基于疫情时空演化规律与城市自身优势如何建立应急管理机制仍缺乏充分的认识。本文从地理学视角聚焦市域尺度,探究深圳市 COVID-19 疫情的时空演化特征,并提出“时-空-人”互馈协同下的疫情防控措施体系,是对远汉高发市域疫情研究的一次积极尝试,以期在城市卫生公共安全和疫情应急管理机制的建立提供参考。此外,本文还存在需要改进、优化的方面和未来深入研究的方向:(1)确诊病例的活动轨迹、就诊信息等数据较为零散、不够详尽,未来仍需借助更加精细的多源时空大小数据,深入对中、微观尺度人群活动与传播风险的研究。(2)在此次疫情防控中,各地采取了不同类型与强度的防控措施,涉及医疗救援、交通管控、社区隔离等多层面的协作,未来须整合研制构建城市应急管理机制和技术支持系统,为城市应对未来类似挑战做足准备。(3)从城市建设

与规划角度,如何基于现代健康城市与韧性城市理念,针对城市国土空间,合理布局配置城市功能单元、卫生与应急资源,也是未来值得探讨的重要问题。(4)随着疫情在全球的蔓延,在全球化时代背景和构建人类命运共同体的理念下,还须探索重大疫情在海外的传播扩散规律及其地缘关系,为世界卫生组织和各国政府科学决策、国际社会协同治理提供参考。

参考文献：

[1] 国家卫生健康委员会关于修订新型冠状病毒肺炎英文名称事宜的通知[EB/OL]. [2020-02-22]. <http://www.nhc.gov.cn/zyygj/s7653p/202002/33393aa53d984ccdb1053a52b6bef810.shtml>.

[2] XU Z, LI S, TIAN S, et al. Full spectrum of COVID-19 severity still being depicted[J]. The Lancet, 2020, 395(10228): 947-948.

[3] HUANG C, WANG Y, LI X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China[J]. The Lancet, 2020, 395(10223): 497-506.

[4] CHEN N, ZHOU M, DONG X, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study[J]. The Lancet, 2020, 395(10223): 507-513.

[5] HU Z L, SONG C, XU C J, et al. Clinical characteristics of 24 asymptomatic infections with COVID-19 screened among close contacts in Nanjing, China [J/OL]. Science China Life Science. DOI: 10. 1007/s11427-020-1661-4.

[6] ZHU N, ZHANG D, WANG W, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019[J]. New England Journal of Medicine, 2020, 382: 727-733.

[7] 宋倩倩, 赵涵, 方立群, 等. 新型冠状病毒肺炎的早期传染病流行病学参数估计研究[J]. 中华流行病学杂志, 2020, 41(4): 461-465.

[8] 余佳桐, 刘文君. 儿童新型冠状病毒肺炎的流行病学特征与防控措施[J]. 热带医学杂志, 2020, 20(2): 153-155, 172.

[9] 凌锋, 刘社兰, 倪朝荣, 等. 浙江省首例新型冠状病毒肺炎报告病例流行病学调查[J]. 预防医学, 2020, 32(2): 109-112.

[10] 耿辉, 徐安定, 王晓艳, 等. 基于 SEIR 模型分析相关干预措施在新型冠状病毒肺炎疫情中的作用[J/OL]. 暨南大学学报(自然科学与医学版). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1282.n.20200214.1318.002.html>.

ml.

[11] 李倩, 唐彪, WU J H, 等. 缓疫策略执行力与依从性对 COVID-19 后期疫情及复工影响的模型研究[J/OL]. 陕西师范大学学报(自然科学版). <https://doi.org/10.15983/j.cnki.jsnu.2020.01.018>.

[12] 喻孜, 张贵清, 刘庆珍, 等. 基于时变参数-SIR 模型的 2019-nCoV 疫情评估和预测[J/OL]. 电子科技大学学报. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.t.20200207.1546.002.html>.

[13] 魏永越, 卢珍珍, 杜志成, 等. 基于改进的 SEIR+CAQ 传染病动力学模型进行新型冠状病毒肺炎疫情趋势分析[J]. 中华流行病学杂志, 2020, 41(4): 470-475.

[14] WU J T, LEUNG K, LEUNG G M. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study[J]. The Lancet, 2020, 395(10225): 689-697.

[15] YUE X G, SHAO X F, LI R Y M, et al. Risk management analysis for novel coronavirus in Wuhan, China[J]. Journal of Risk and Financial Management, 2020, 13(2): 22.

[16] 黄丽红, 沈思鹏, 余平, 等. 基于动态基本再生数的新型冠状病毒肺炎疫情防控现状评估[J]. 中华流行病学杂志, 2020, 41(4): 466-469.

[17] 杨政, 原子霞, 贾祖瑶. 基于迁徙数据估计武汉感染新型冠状病毒的人员数量[J/OL]. 电子科技大学学报. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.t.20200222.1023.002.html>.

[18] 国家卫生健康委办公厅《关于印发新型冠状病毒感染肺炎诊疗方案(试行第五版)的通知》[EB/OL]. [2020-02-05]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/gfxwj/list.shtml>.

[19] ZHOU P, YANG X L, WANG X G, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin[J]. Nature, 2020, 579: 270-273.

[20] 周涛, 刘权辉, 杨紫陌, 等. 新型冠状病毒肺炎基本再生数的初步预测[J]. 中国循证医学杂志, 2020, 20(3): 359-364.

[21] 李承倬, 武文韬, 潘振宇, 等. 基于 SIR 模型和基本再生数的浙江省新型冠状病毒肺炎防控效果分析[J]. 浙江医学, 2020, 42(4): 311-314.

[22] 程杨, 李海蓉, 杨林生. 中国明清时期疫病时空分布规律的定量研究[J]. 地理研究, 2009, 28(4): 1059-1068.



- [23] 龚胜生. 中国疫灾的时空分布变迁规律[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 870-878.
- [24] 李海蓉, 杨林生, 王五一, 等. 150 年来中国鼠疫的医学地理评估[J]. 地理科学进展, 2001, 20(1): 73-80.
- [25] 尹娜. 两宋时期江南的瘟疫与社会控制[D]. 上海: 上海师范大学, 2005.
- [26] 李玉尚. 地理环境与近代江南地区的传染病[J]. 社会科学研究, 2005, 6: 133-140.
- [27] 龚胜生, 叶护平. 魏晋南北朝时期疫灾时空分布规律研究[J]. 中国历史地理论丛, 2007, 22(3): 5-20.
- [28] 曹志冬, 王劲峰, 高一鸽, 等. 广州 SARS 流行的空间风险因子与空间相关性特征[J]. 地理学报, 2008, 63(9): 981-993.
- [29] 武继磊, 王劲峰, 孟斌, 等. 2003 年北京市 SARS 疫情空间相关性分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005, 31(1): 97-101.
- [30] BACKER J A, WALLINGA J. Spatiotemporal analysis of the 2014 Ebola epidemic in West Africa[J]. PLOS Computational Biology, 2016, 12(12): e1005210.
- [31] HU Y, XU L, PAN H, et al. Transmission center and driving factors of hand, foot, and mouth disease in China: a combined analysis[J]. PLOS Neglected Tropical Diseases, 2020, 14(3): e0008070.
- [32] 丁四保, 赵伟, 相伟. 分析 SARS: 在我国的地理扩散和地理障碍[J]. 人文地理, 2004, 19(2): 74-78.
- [33] 胡碧松, 龚建华, 周洁萍, 等. 疾病传播输入输出流的时空特征分析: 以北京 SARS 流行为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(9): 1499-1517.
- [34] 许小可, 文成, 张光耀, 等. 新冠肺炎爆发前期武汉外流人口的地理去向分布及影响[J/OL]. 电子科技大学学报. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.T.20200213.2002.002.html>.
- [35] 曹盛力, 冯沛华, 时朋朋. 修正 SEIR 传染病动力学模型应用于湖北省 2019 冠状病毒病(COVID-19)疫情预测和评估[J/OL]. 浙江大学学报(医学版). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1248.R.20200303.1722.004.html>.
- [36] 刘逸, 李源, 黎卓灵, 等. 新冠肺炎疫情在广东省的扩散特征[J/OL]. 热带地理. <https://doi.org/10.13284/j.cnki.rddl.003217>.
- [37] 罗淳. 关于人口年龄组的重新划分及其蕴意[J]. 人口研究, 2017, 41(5): 16-25.
- [38] 方叶林, 黄震方, 陈文娣, 等. 2001—2010 年安徽省县域经济空间演化[J]. 地理科学进展, 2013, 32(5): 831-839.

〔责任编辑 焦 阳〕