

# 地学多源数据在重大公共卫生应急事件中 支撑应用的模拟研究

李京忠<sup>1,3</sup>, 肖 骁<sup>2,9</sup>, 赵冰玉<sup>2,9</sup>, 谢 潇<sup>2,3</sup>, 魏 冶<sup>4</sup>, 程叶青<sup>5</sup>,  
苏 芳<sup>6</sup>, 张子龙<sup>7</sup>, 王燕侠<sup>8</sup>, 薛 冰<sup>2,3\*</sup>

1. 许昌学院城市与环境学院, 许昌 461000;
2. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016;
3. 辽宁省环境计算与可持续发展重点实验室, 沈阳 110016;
4. 东北师范大学地理科学学院, 长春 130024;
5. 海南师范大学地理与环境科学学院, 海口 571158;
6. 陕西科技大学经济与管理学院, 西安 710021;
7. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000;
8. 甘肃省妇幼保健院科研中心, 兰州 730030;
9. 中国科学院大学, 北京 100049

**摘 要:** 感染对象数量与应急医疗设施预案规划是重大公共卫生应急事件防控的关键要素。利用地学多源数据, 对武汉市新冠病毒传染人员救治医院选址及医护人员住宿配套设施筛选进行了相关研究。基于迁徙指数的武汉市潜在感染人数比较接近实际发生数据, 显示了迁徙数据对于支撑公共卫生应急防控的重要意义; 基于地学空间选址, 有利于迅速识别应急医疗设施区位并开展科学布局及住宿宾馆等医疗后勤保障措施的综合配套。在重大公共卫生事件的应急防控上, 地学技术的参与及应用还相对薄弱, 在打通医学-地学的数据共享机制、储备应急技术方面依然需要进一步提升和加强, 这样才能在国家应急需要的时候做出实时贡献。

**关键词:** 新冠肺炎疫情; 医学地理; 地学大数据; 人地关系

**DOI:** 10.3974/geodp.2020.02.02

## 1 前言

2019年12月以来新冠肺炎在全国范围蔓延,2020年1月23日后全国各地相继启动重大突发公共卫生事件一级响应,新冠肺炎疫情成为我国传播速度最快、感染范围最广、防控难度最大的一次重大突发公共卫生事件<sup>[1]</sup>。在重大传染病疫情应急防控中,感染对象数量是规划布置医疗资源的关键基础<sup>[2]</sup>,而应急医疗设施的预案规划则是有效防控的核心措施<sup>[3]</sup>。例如,在此次新冠肺炎疫情发生过程中,武汉因为医疗资源短缺、缺少隔离床位等因素使得感染对象不能得到及时治疗或造成二次传染,在一定程度上导致了疫情加剧<sup>[4]</sup>,同时由于监测手段不完善或早期认识不足等问题使得武汉或湖北感染对象的准确数量一直处于“灰盒子”状态<sup>[5]</sup>,使得在应急医疗设施资源的配置与建设上缺少关键支撑,极易造成医疗资源的持续短缺或过度供给。

收稿日期: 2020-03-15; 修订日期: 2020-04-26; 出版日期: 2020-06-25

基金项目: 国家自然科学基金(41971166); 辽宁省自然科学基金(2019-MS-342); 中国科学院(2016181)

\*通讯作者: 薛冰 D-1830-2009, 中国科学院沈阳应用生态研究所, xuebing@iae.ac.cn

作者ID: 李京忠 S-3218-2018, 肖骁 S-3189-2018, 薛冰 D-1830-2009

引用格式: 李京忠, 肖骁, 赵冰玉等. 地学多源数据在重大公共卫生应急事件中支撑应用的模拟研究[J]. 全球变化数据学报, 2020, 4(2): 110-116. DOI: 10.3974/geodp.2020.02.02.

实际上,对于公共卫生应急事件,特别是如新冠肺炎类的重大传染病疫情,因为感染对象的流动性、疫情区域的空间性、资源供需的时空性等特征,使其具有地理学研究对象的普遍属性<sup>[6]</sup>,在重大疫情暴发期组织高效的应急调度涉及大量的空间信息和属性信息<sup>[7]</sup>,将这些信息进行高效处理、提取、分析以及共享,离不开地理信息的综合运用<sup>[8]</sup>。例如,在2003年非典时期,中国科学院地理科学与资源研究所等单位综合运用地学统计分析技术,研制的“国家SARS疫情控制与预警地理信息系统”在SARS疫情信息的采集、管理、分析及其防控措施发布等方面发挥了重要作用<sup>[9]</sup>。因此,从地学视角开展疫情的回顾性研究与技术应用探索,对于持续积累疫情应急管理经验与技术,提升地理学在国家发展中的决策服务支撑作用,具有重要意义<sup>[10]</sup>。

系统回顾此次新冠肺炎的发展过程,特别是聚焦于武汉的疫情防控过程,发现有两个问题最为关键,分别为感染对象数量的预测和应急医疗设施的配置。回顾既有研究,虽然有学者从不同视角开展了感染对象预测研究<sup>[11-12]</sup>,但其主要基于流行病学或公共卫生视角方法,且因为模型中所依赖的早期通报数据的可信度低等问题,使得预测结果易于产生误差。在应急医疗设施资源再配置特别是隔离点征用过程中,由于没有充分考虑资源条件而引发某种程度的批评<sup>[13]</sup>。因此,本研究主要从地学多源数据应用与地学分析视角,尝试围绕上述两个问题开展探索研究:一是以迁徙指数构建感染对象数量预测模型,破解数据“灰盒子”问题;二是建立基于多源数据选址技术以支撑医疗资源设施配置。

## 2 研究思路与方法

在感染对象数量预测上,我们的前提假设是疫情主要发生地武汉的早期感染人数的数据不能完全支撑科学决策需要,而湖北省外的数据是值得信任的。这个假设的现实基础是在疫情发生初期,主要发生地武汉存在数据通报不及时或统计不完全等若干原因;而湖北省外的感染对象多为输入性且数量可控,在通报上更为真实和及时。在这个假设条件下,我们利用百度迁徙规模指数和武汉市出城人口估计数据,估算各城市由武汉返回的人数,并根据官方发布的新冠肺炎确诊人数,初步估算出城人口感染比例;最后利用出城人口感染比例结合武汉常住人口数据估算出武汉市新冠肺炎潜在感染人数。

应急医疗资源设施(特别是临时隔离点、临时医疗设施如方舱医院等)的确定,主要是根据传染病防治医院选址原则,综合武汉市自然要素与基础设施数据,运用叠加分析手段,确定出符合疫情救治应急医院;根据确定的疫情救治应急医院和酒店宾馆数据确定出满足疫情应对医护人员就近住宿休息场所。通过以上空间规划流程,为武汉潜在感染人员预估、疫情应对定点医院确定以及医护人员起居休息提供科学参考(图1)。

武汉市POI数据(兴趣点数据)来源于百度地图,共采集67万条POI数据,根据百度地图POI数据行业分类标准,清洗分离出酒店POI数据集和综合医院POI数据集,并将无效数据剔除,最后包含酒店POI数据10,731条,综合医院POI数据244条。百度迁徙规模指数来源于百度迁徙平台(<http://qianxi.baidu.com>),通过对比用户位置变化,统计8小时内智能终端位置发生变化的用户数,用来反映省级或城市间的迁入或迁出人口规模。选择武汉市1月10号至1月24号迁出人口规模作为武汉封城措施实施前流出人口的计算依据。道路网络数据来源于百度地图数据平台,主要包括武汉市域内的高速公路、城市快速

路、国道、省道、县道、九级路等能够保证车辆顺畅通行的主要交通网络。新冠肺炎感染人数统计数据来源于国家及各个省市卫健委发布的公告数据。其他辅助数据（武汉市建筑轮廓数据、水域分布数据、居民小区分布数据以及行政区划数据）均来源于百度地图数据平台。

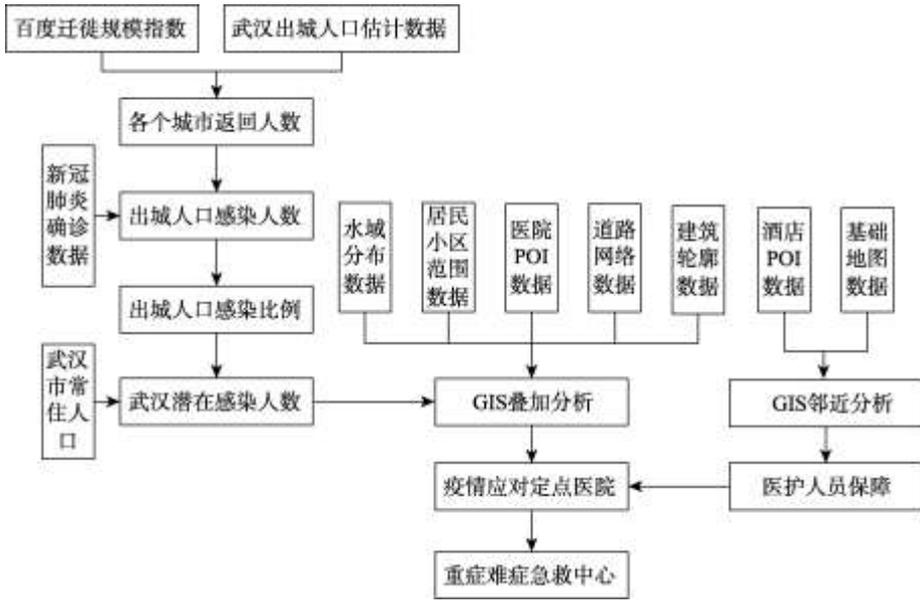


图1 研究思路流程图

### 3 结果与分析

#### 3.1 感染人数预测

根据武汉城市管控措施实施时间（1月23日）和湖北省外的全国每日确诊增加人数的顶峰时间（2月3日），选择1月10日至1月24日期间百度迁徙比例的前100位与相应城市2月3日累积确诊人数进行相关性分析，发现相关系数为0.935， $R^2$ 为0.874（图2），sig值为0.000显著相关。

根据官方给出武汉外迁人口500万的基数，利用1月10日至2月3日期间百度迁徙比例的前100个城市进行计算，这100个城市接纳了武汉返回人员458.2万。根据武汉迁向各城市的人口数和各城市确诊数，计算得到二者比例在0.08%–3.53%之间，平均值为0.51%，表明武汉迁出人口的平均感染率为0.51%。

根据平均感染率与武汉市908.35万的常住人口，推算得到武汉市新冠肺炎感染人口在4.6万以上。同时，截至2月25日武汉公布的医疗床位总计21,962张，再加上雷神山医

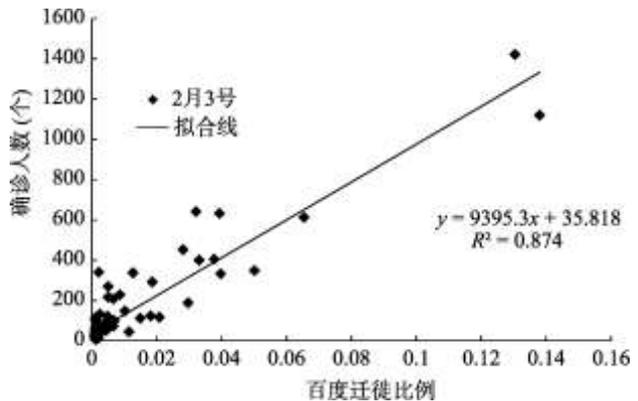


图2 确诊人数与迁徙规模比例关系图

院和火神山医院的医疗床位 2,416 张，总计仅有 24,378 张<sup>[14]</sup>。因此，就 4.6 万感染人数估算数据来看，武汉急需扩充医疗资源，且须防止选定的应急救治点成为二次传染源，所以需要遵循传染病医院的要求，谨慎科学有效的进行预案选择。

### 3.2 定点医院选址

#### 3.2.1 空间选址限制条件

根据国家《传染病医院建设标准》的选址要求，应避开人口密集区，交通便利、地形规整、地质稳定，远离水源地、有害气体生产存储场所、食品及饲料加工企业等<sup>[15]</sup>，并充分考虑当前疫情发展态势，为快速应急救治感染人员，充分利用当前武汉市现有综合医院以及大型室内建筑设施，进行符合应急救治医院及临时隔离救治点要求的选址分析。基于上述原则，设定定点医院空间选址的限制条件。其中（1）水平面限制条件包括：选址范围在武汉市城乡、工矿、居民用地之内；与居民小区距离>200 m；与主要交通道路距离<500 m；与水域距离>500 m。（2）垂直限制条件是指为了减少应急救治医院可能通过气溶胶扩散模式的二次潜在传染，尤其是小范围内 100 m 以上的高层建筑不利于污染物扩散加剧病毒传染<sup>[16]</sup>，应满足：定点医院与高层建筑距离>100 m；在定点医院与高层建筑之间 100–200 m 范围内，高层建筑物不超过 4 栋。

#### 3.2.2 选址结果：潜在定点医院

满足水平限制条件的防治传染病医院位置的区域如图 3 所示，将同时满足水平和垂直限制条件的选址区域与武汉市 244 个综合医院空间分布图进行空间对比分析，确定出符合应急救治条件的医院有武汉市金银潭医院、武汉大学中南医院、武汉亚心医院、中国人民解放军中部战区总医院等 58 家（图 4），占到武汉市综合医院的 23.78% 的比例，其所有床位数估计在 1.3 万左右，但是还不能满足潜在感染病人的隔离救治需要。根据武汉市人口分布密度，利用泰森多边形法则将应急救治医院及临时隔离救治点承接区域进行划定，对于在空间上缺少应急救治医院及临时隔离点的区域，选择符合选址条件的区域，应该补充隔离救治传染病医院。可以在大型仓储、体育馆建立紧急救治中心，或在符合条件区域的大型露天停车场和体育馆建立野战医院，以便能够满足病人救治需要。

#### 3.2.3 医院选址结果验证

为了进一步验证应急救治医院空间选址方法的合理性，将武汉市实际选定进行救治的医院与应急救治医院适宜区进行对比发现，截至 2 月 25 日，武汉市 16 家方舱医院都位于本文选定的救治医院适宜区内，同时全市共有 20 家定点医院在救治医院适宜区范围内，占到全市定点医院的 41.67%，说明潜在应急救治医院候选分布与实际最后选定的医院的匹配度较高，但也存在定点医院位于救治医院适宜区以外的情况。究其原因，诸如湖北省中西医结合医院和武汉市第一医院等由于医院规模达到三级甲等，且床位数充裕（分别为 950 张和 1,000 张），因此为了最大程度满足大量感染病患的就医需求，被选为本次疫情的定点医院，未来在医疗设施进一步完善的前提下，定点医院的选址应考虑床位以外的其他社会、环境、交通等因素，减少应对重大突发事件的被动性和盲目性。

### 3.3 定点酒店选址

疫情控制人员、医护人员是疫情控制的关键，做好他们的后勤保障，特别是能够就近休息住宿是其战斗力恢复的根本<sup>[17]</sup>。将确定的应急救治医院与酒店 POI 数据进行邻域分析，

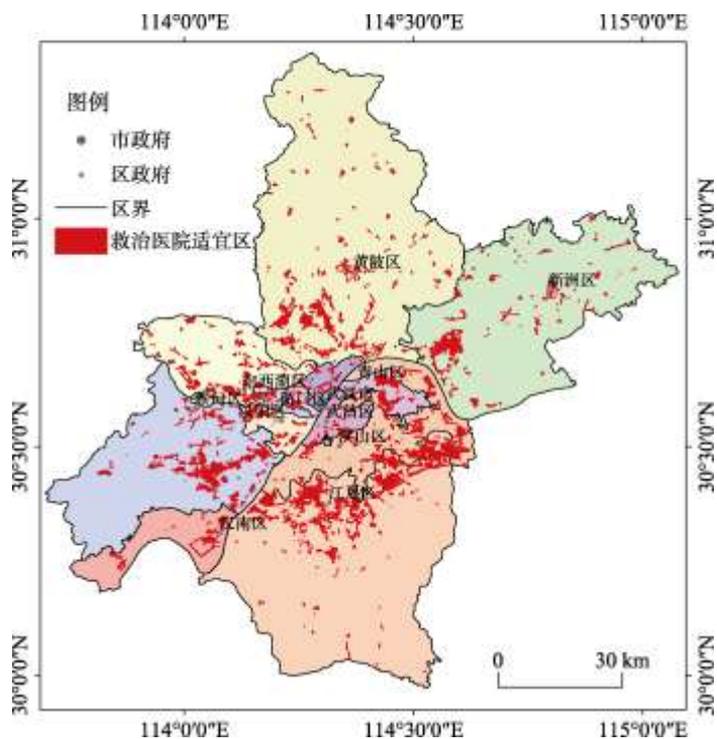


图3 武汉市救治医院适宜区分布图

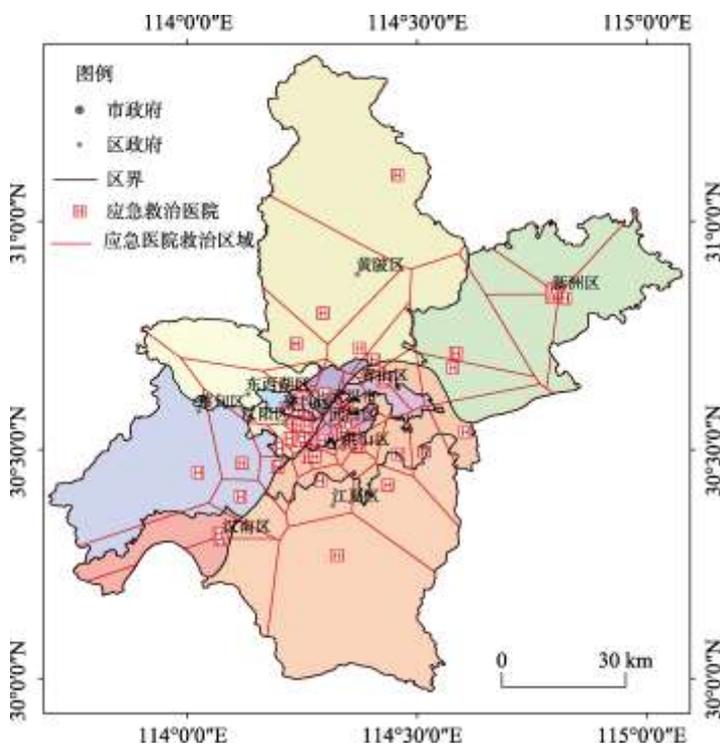


图4 武汉市潜在应急救治医院候选分布

将紧急救治医院 500 m 附近的酒店宾馆作为该医院医护人员的后勤保障配套设施，与紧急救治医院进行叠加分析，发现能够满足其条件的酒店宾馆总计 902 家（图 5），占到全市酒店宾馆的 8.41%。由于实际选定的应急服务酒店信息尚难获取，通过查阅武汉交通发展战略研究院与美团摩拜联合发布的《武汉战役骑行报告》，可以发现疫情期间共享单车的主要骑行围绕着医院区域重点聚集，1 月 24 日至 3 月 12 日累积服务医疗医护相关工作人员 4.3 万人次，平均骑行距离 1.42 km，侧面说明医护人员通常选择距离医院较近的宾馆酒店住宿休息。因此，利用 POI 大数据与空间分析方法形成的配套设施选址方案与选址结果，可以为抗疫期间医院及其医护人员选择休息场所提供及时有效的决策支持。

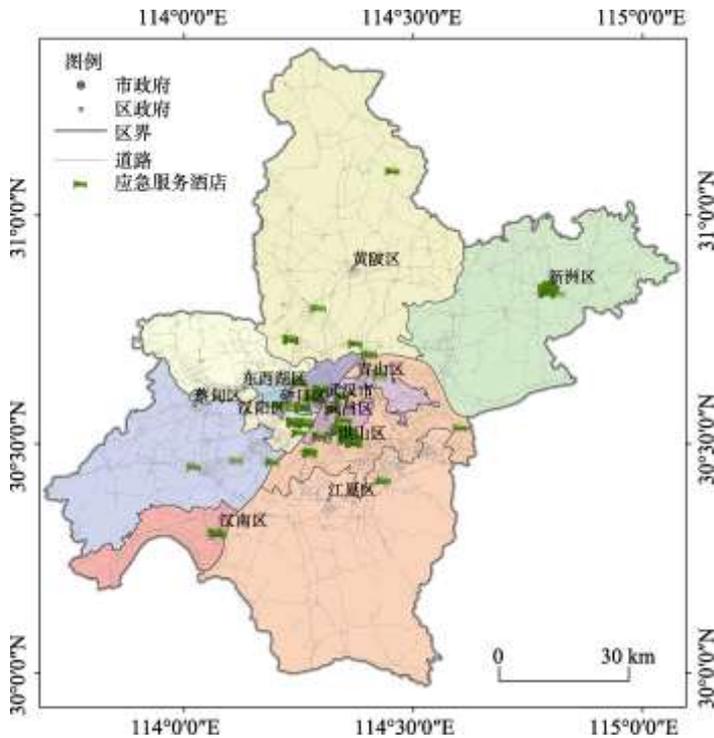


图 5 武汉市符合选址条件的应急服务酒店空间分布图

#### 4 讨论与结论

在公共卫生体系空间配置与应急方面，由于医疗资源紧缺所导致未能及时救治患者，往往成为二次传播的暴露传染源。新冠肺炎疫情在武汉地区的发展和就医危机，充分反映城市不同管理单元内分层级、分级别布局公共卫生体系的必要性。利用多源空间数据，对武汉市新冠病毒传染人员救治医院选址及医护人员住宿配套设施筛选进行了相关研究，主要得出以下结论：

(1) 基于迁徙指数的武汉市潜在感染人数比较接近实际发生数据，由于迁徙指数大数据具有高效、低成本、粒度精细等优势，显示了对于支撑公共卫生应急防控的重要意义，但百度迁徙数据由于在样本量上具有一定有偏性，在传染人数预测的准确性方面存在潜在误差，若进一步结合手机信令数据模拟潜在传染人数并与百度迁徙指数进行相互验证，将会大大提高疫情扩散风险研判的精准程度。

(2)借助 POI 大数据的居民小区位置信息,结合水域、交通道路等基础地理信息数据,并与人口密度等社会调查统计数据补充应用,弥补了传统传染病医院选址研究数据类型单一且获取困难等问题,在地学空间选址技术支持下,能够探明应急医疗设施适宜区,其结果与实际选定医院的位置吻合度较高(方舱医院吻合度达到 100%,定点医院吻合度达到 41.67%),有利于迅速识别应急医疗设施区位并开展科学布局。

(3)根据距离救治医院 500 m 以内的地学选址原则,可以确定供医护人员休息的酒店宾馆,不仅为医护人员就近休息提供科学支持,而且能够减少医护人员与其他区域人员的接触,有助于疫情控制和病人救治。

我们也必须注意到,在重大公共卫生事件的应急防控上,地学技术的参与及应用还相对薄弱,其中一个原因在于病例空间数据共享机制尚不健全,在打通医学-地学的数据共享机制上还有太多的工作需要开展和完善。同时,我们也呼吁,地学工作者特别是空间经济地理及空间规划等领域的学者,在日常研究中也要注意应急技术的积累与储备,并在国家应急需要的时候能够做出应用上的实时贡献。

## 参考文献

- [1] 习近平. 在统筹推进新冠肺炎疫情防控和经济社会发展工作部署会议上的讲话[N]. 人民日报, 2020-02-24(02).
- [2] 贾静. 突发公共卫生事件的应急医疗设施选址问题研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [3] 丁曙光, 宗宏军, 张士侠. 关于建设传染病医院选址的几点思考[J]. 医院管理论坛, 2003(11): 63-64.
- [4] 新土地规划人. 城市新型病毒防疫, 规划建筑师能做什么? [EB/OL]. [https://www.sohu.com/a/370635795\\_275005](https://www.sohu.com/a/370635795_275005). 2020-02-04/2020-03-1.
- [5] Cao, Z. D., Zhang, Q. P., Lu, X., et al. Incorporating human movement data to improve epidemiological estimates for 2019-nCoV [OL]. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.02.07.20021071v1>, 2020-02-09/2020-02-20.
- [6] 周成虎, 裴韬, 杜云艳等. 新冠肺炎疫情大数据分析与区域防控政策建议[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(2): 200-203.
- [7] 林富明. GIS 在城市突发公共事件应急指挥系统的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2009, 32(3): 31-33, 38.
- [8] 张斌, 黄全义, 张松波. GIS 在城市应急救援中的应用[J]. 地理空间信息, 2007, 5(1): 105-107.
- [9] 中国科学院. “国家 SARS 控制与预警地理信息系统应急研制”取得进展[OL]. [http://www.cas.cn/zt/kjzt/fdgx/cs/200305/t20030528\\_1710585.shtml](http://www.cas.cn/zt/kjzt/fdgx/cs/200305/t20030528_1710585.shtml). 2003-05-28/2020-02-26.
- [10] 周素红. 安全与健康空间规划与治理——应对 2020 新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈[J/OL]. 城市规划, 2020.2.19. <https://kns-cnki-net.webvpn.las.ac.cn/kcms/detail/11.2378.TU.20200214.1747.040.html>.
- [11] Gu, C. L., Zhu, J., Sun, Y. F., et al. The inflection point about COVID-19 may have passed [J]. *Science Bulletin*, 2020, 65: 865-867.
- [12] 刘勇, 杨东阳, 董冠鹏等. 河南省新冠肺炎疫情时空扩散特征与人口流动风险评估——基于 1243 例病例报告的分析策[J]. 经济地理, 2020, 40(3): 24-32.
- [13] 人民日报. 大学宿舍被征用成隔离点,要免除学生的后顾之忧[OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1658247003608454125&wfr=spider&for=pc>. 2020-02-11/2020-02-21.
- [14] 武汉市卫生健康委员会. 2018 年武汉市综合医院一览表[OL]. <http://wjw.wuhan.gov.cn/front/web/showDetail/2019040207173>.
- [15] 建标[2016]131 号. 传染病医院建设标准[S]. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 北京, 2016.
- [16] 吕颖鑫. 街区尺度高层建筑群风环境模拟分析及优化策略研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- [17] 新民晚报. 国家卫健委: 医务人员是医疗救治控制疫情蔓延主力军七方面进一步加强医务人员防护工作[OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1658960586443322209&wfr=spider&for=pc>, 2020-02-19/2020-02-23.