



北京大学  
PEKING UNIVERSITY

## 基于 ArcGIS 的核酸检测点空间布局及资源分配 研究——以北京市为例

作者信息：王昊 1810303133 口腔医学院 18 级本

李君怡 1901213627 城环学院 19 级硕

杨泽平 1810306226 公卫学院 18 级本

时诗晴 1710303110 口腔医学院 18 级本

李明焰 1810303131 口腔医学院 18 级本

指导教师：郭琦 基础医学院副研究员

童昕 城市与环境学院副教授

北京大学第二十九届挑战杯系列赛事

# 基于 ArcGIS 的核酸检测点空间布局及资源分配研究

——以北京市为例

**Demand location setting and resource allocation of nucleic**

**acid detection points based on ArcGIS analysis**

——Taking Beijing as the example

**作者信息:** 王昊 1810303133 口腔医学院 18 级本

---

李君怡 1901213627 城环学院 19 级硕

---

杨泽平 1810306226 公卫学院 18 级本

---

时诗晴 1710303110 口腔医学院 18 级本

---

李明焰 1810303131 口腔医学院 18 级本

**指导教师:** 郭琦 基础医学院副研究员

---

童昕 城市与环境学院副教授

**二零二一年四月**

## 摘要

新型冠状病毒肺炎（以下简称“新冠肺炎”）目前仍然是全球的健康威胁，因其具有极强的传染力截止到 2021 年全球累计确诊人数已经突破 1 亿。新冠肺炎的早期诊断能够降低续发率和死亡率，减少与新冠肺炎治疗相关的成本，对于国家开展防疫工作具有重要作用。目前在临床诊疗过程中，检出 SARS-CoV-2 核酸仍是确诊新型冠状病毒肺炎的金标准，也是应用范围广、较容易获得的检测手段。核酸检测问题既是社会非常关注的一件事情，也是国家卫生健康委高度重视的一项工作。在疫情常态化下，为满足应检尽检和愿检尽检的需求，国家卫生健康委员会采取了一系列措施来提高各地的核酸检测能力，其中统筹好核酸检测的资源布局是重要的一环。

本文根据国家相关政策计算出北京市核酸检测点所需 PCR（DNA 聚合酶链式反应）仪的数量。然后通过使用 ArcGIS 系统以及北京市路网信息和人口密度等数据，处理和分析了北京市现有核酸检测点的空间分布特征，利用 ArcGIS 测算了北京市现有核酸检测点的空间可及性并对其进行评估和分析。结果显示核酸检测点的优势度以北京市中央位置的东城区和西城区为中心向四周大致呈递减趋势，并且大多数城区的周边位置的空间可及性较差，不利于居民获得方便优质的核酸检测服务。课题小组尝试构建核酸检测点分布优势度模型，为现有核酸检测点空间可及性的评估和布设策略提供一定的理论依据。

关键词：空间布局；新冠肺炎；核酸检测点；优势度模型；ArcGIS 系统

# 目 录

摘要.....	2
第一部分 引言.....	5
1.1 选题背景.....	5
1.2 研究意义.....	6
1.3 国内外相关研究分析.....	7
1.4 研究目标.....	8
1.5 研究内容.....	9
1.6 技术路线.....	10
第二部分 后疫情时代医生对核酸检测设备规划态度的质性研究.....	11
2.1 对象与方法.....	11
2.2 分析结果.....	13
2.3 总结.....	16
第三部分 核酸检测点位置的数据处理与特征分析.....	17
3.1 数据支撑.....	17
3.2 数据处理.....	18
3.3 数据空间特征分析.....	20
第四部分 核酸检测点位置可及性评估及检测设备数量计算模型的建立.....	25
4.1 应急医疗物资可及性评估的必要性分析.....	25
4.2 评估方法概述.....	25
4.3 评估模型搭建.....	28
第五部分 模型评估应用与可视化分析.....	30
5.1 行政区.....	30
5.2 网格化管理.....	31
5.3 优势度数值的计算.....	32
5.4 核酸检测机构优势度空间分布影响因素.....	46
第六部分 核酸检测设备的计算.....	47
6.1 相关标准.....	47
6.2 泰森多边形.....	48

6.3 网络分析核酸检测最佳分配.....	51
第七部分 总结与建议.....	56
7.1 总结.....	56
7.2 建议.....	57
参考文献.....	59
Abstract.....	61
致谢.....	62
附录.....	63

# 第一部分 引言

## 1.1 选题背景

近年来，重大传染病疫情时有发生，一方面已知传染病死灰复燃，另一方面新发传染病也不断出现。20世纪70年代以来，几乎每年都有新传染病被发现，30多年来全球约出现新发传染病40余种，已成为全球公共卫生中的重点和热点问题<sup>1</sup>。比如中国已经经历了SARS、H5N1禽流感、重症手足口病、人感染H7N9禽流感等一系列重大突发新发传染病疫情。

而目前的形势也很严峻，我们仍在经历SARS-CoV-2。全球六大洲、114个国家、领土和地区都受到新型冠状病毒肺炎疫情不同程度的影响，WHO也已宣布本次疫情构成“全球大流行”。作为一种传染性强，致死率较高的新发传染病，尽早将新发病例检测出来才是阻遏疫情的关键，一旦未能将病例检测出来及时隔离，就会造成更多人的感染。以美国为例，一度日新增感染病例超过10万人。

重大传染病不仅仅损害个体、家庭的健康与幸福，也对社会、国家产生严重影响。我们以此次的新冠疫情为例，中国作为疫情发生较早的国家，采取果断而严格的隔离策略，动员全国抗疫。这虽然对传染病的阻遏有很大的帮助，但是对于中国的经济发展是很不利的，各行各业的发展仿佛被按下了暂停键，全国失业人数增加，面临艰难处境。

其中最直接影响的是交通运输业。为控制疫情传播各国采取“闭关锁国”甚至上百个国家宣布步入战时状态。根据国际航空运输协会的估算，非典期间仅仅航空运输业蒙受的损失就超过100亿美元。在新冠疫情肆虐的2020年2月，作为国际航运景气指数的波罗的海干散货指数（BDI）下探到历史低位。受到新冠疫情冲击，国际国内航班下降70%以上，在复工复产后，为防疫情传播，返程火车与客车上座率控制在50%以下，也导致交通运输业一季度营收腰斩。还有汽车制造业、旅游业等行业。

综上所述，重大传染病不管是对我们个人还是国家的危害都极其巨大。而在应对突发、重大传染病时，最主要的就是要尽快检测出感染患者，才能及时采取

措施，防止更多的人被感染，所以针对检测点的数量和安置位置，我们必须严格对待，以期能够高效率地检测出感染者。

## 1.2 研究意义

防治重大传染病是人类永恒的课题<sup>2</sup>。我国对于传染病的态度主要是以预防为主，但是在目前防控新型冠状病毒肺炎传播工作多环节中，暴露出我国应对新发传染病准备的不足：其直接表现为我国的疾病防控仍然未实现“预防为主”<sup>3</sup>。传染病的流行必须具备传染源、传播途径和易感人群 3 个必要环节<sup>4</sup>。控制上述传染病传播的 3 个基本环节，即可控制传染病的传播。但是在面对急性高传染性的新发传染病时，传染源的确定和控制是非常重要的。

就拿新冠病毒为例，关于诊断病毒性肺炎目前推荐的检测共四种<sup>5</sup>，包括病毒分离培养、血清特异性抗体检测、病毒抗原检测和核酸检测。病毒分离培养非常困难，在临幊上一般都不用病毒分离培养作为临幊诊断的标准，一般只有在实验室进行研究时才进行的病毒分离培养。血清特异性抗体检测通常要有恢复期血清，对现症的诊断价值不大。所以实际在临幊应用的诊断病毒性肺炎的指标主要有两个，一个是病毒抗原检测方法，包括直接免疫荧光法（DFA）和胶体金法检测，使用胶体金法比较多，虽然胶体金法特异性比较好，但是敏感性并不高；另一个就是核酸检测。核酸检测的敏感性要远远高于刚才提到的其他实验室检测方法。其阳性也要比胸部 CT 出现改变更早；而且有核酸定量检测，这种定量检测可以动态监测病毒感染的程度，观察治疗效果。

对于此次新冠病毒来说，核酸检测是不可替代的确诊方法，而合理应用有限的医疗资源，及时救治病人非常重要，不能或缺一。目前新冠核酸检测的手段主要是逆转录-荧光 PCR 法<sup>6</sup>，按照《医疗机构发热门诊临床实验室能力建设专家共识(2020 版)》<sup>7</sup>说明：对于用于新冠病毒检测的 PCR 实验室(以下简称“PCR 实验室”)选址宜设置在发热门诊内，且建筑标准宜满足加强型医学 BSL-2 实验室标准。要建立高标准的实验室来进行核酸检测，那就要求国家要对实验室的设立统筹规划，这样才能达到公共卫生成本-效益的最优化<sup>8</sup>。

GIS 地理信息系统（GeographicInformationSystem）是计算机科学、地理学、测量学、地图学等多门学科综合的技术，是一门多学科综合的边缘学科。其优势

在于能将地理环境中的各种要素，包括它们的地理空间分布状况和所具有的属性数据，进行数字存储、处理和分析，建立有效数据管理系统。通过对多种要素的综合分析，方便快速地获取信息，满足各种不同的应用或科学的研究的需要，并以图形和数字的方式表示结果。GIS 系统的空间统计分析功能，在传染病研究及公共资源规划上发挥了巨大的作用。其常见方法为空间自相关分析，空间插值分析，空间回归分析。其中空间自相关分析包括全局空间自相关、局部空间自相关分析。GIS 系统在本次疫情防控过程中也起了巨大的作用，疫情地图的制作就是在 GIS 的基础上完成的。其为政府规划疫情防控战略、采取疫情防控行动，研究人员对疫情流行病情况分析，及公民人身安全都起到了非常大的作用。

本文主要使用 GIS 系统对北京市目前核酸检测点的位置可及性进行可视化的评估。第一，提升了国家面对重大传染病及突发公共卫生事件的能力，完善核酸检测点的统筹规划，增强控制传染源的能力。第二。通过 Arcgis 软件整理和分析北京市目前的核酸检测点位置数据，形成目前的北京市核酸检测点的布控图，为评价模型的建立提供数据支持。第三，对比常用的医疗设施可及性的评估方法，选择合适的评估方法和评估指标，得到核酸检测点可及性的评估模型。在评估模型中加入北京市的路网数据图，将交通作为主要的因素，量化的结果通过可视化的方式呈现出来，能够直观地比较出北京市各区域核酸检测点可及性的程度，从而进行更加合理地规划。

综上所述，本文主要基于 Arcgis 软件对核酸检测点可及性模型进行评估分析，此分析将会对国家进行核酸检测点进行合理的统筹规划有着重大的意义。

### 1.3 国内外相关研究分析

#### 1.3.1 地理信息系统在公共卫生设施中的应用

公共卫生设施所存在的地理环境的问题，使得近年来人们对医疗保健系统的地理和空间方面更加有兴趣，所以使得地理信息系统（GIS）和相关空间分析技术在健康相关研究中的广泛应用<sup>9</sup>。强大的 GIS 映射功能可以帮助以直观的方式可视化地理信息<sup>10</sup>。此外，空间数据分析技术还可以从地理角度探索健康数据，评估目前的空间格局，从而有助于后续的改进。

Desmond Kuupiel<sup>11</sup>对加纳东部地区结核检测点的公共卫生设施的空间地理可及性进行了分析，她们收集了在加纳东部地区提供结核病检测服务的所有 10 个医疗机构的详细空间数据，以及影响路程的地理景观特征。这些数据被用于其够建的地理空间模型中，以估计从人口居住区到提供结核病检测服务的医疗机构的实际距离和路程时间。显示距离值的地图是使用 ArcGIS Desktop v10.4 生成的。并且使用 ArcMap 10.4.1 中运行的空间自相关（Global Moran 指数）完成了卫生设施的空间分布。文章还通过卫星图像分析应用了遥感技术，以绘制出居民区和确定的位置，以便对其结核检测点的设置进行有针对性的改进。

JingYao<sup>12</sup>对莫桑比克农村农村艾滋病检测点的位置可及性进行了分析。该文章主要基于 GIS 的方法和多层回归分析应用于来自莫桑比克农村的独特的纵向三波调查数据，调查了莫桑比克南部农村地区从 2006 年到 2011 年近五年的艾滋病相关服务的扩大对当地居民获得和利用艾滋病检测的影响。

### 1.3.2 医疗服务空间可及性的衡量方法

目前使用的衡量方法有：供需比例法，即供需比例法利用比例指标来衡量可及性，也称之为传统方法；最佳距离法，即利用从居住地到最近医疗服务点的距离、时间或费用等数据来衡量空间可及性，通常采用直线距离或交通网络距离来表示；引力模型，其相对最佳距离法而言，既考虑了可及性随交通成本增加而衰减的情况，又考虑了医疗服务点的医疗服务供应能力<sup>13</sup>；胡夫模型(Huff model)<sup>14</sup>，最早应用于商业领域，是指在某一区域内存在多个商业点，居民利用其中一个商业点的概率。

## 1.4 研究目标

本文的研究目标是：以北京市内的核酸检测点位置坐标数据、核酸检测仪器 PCR 的数量需求数据以及北京市行政区划轮廓、北京市路网、北京市分辨率为 100m 人口密度的矢量数据等作为研究的数据基础，依据数据处理得到的核酸检测点之间的时空关系，通过优势度模型结合相关文献研究，来构建核酸检测点可及性的评估模型。通过 ArcGIS 将评估的结果以不同形式进行可视化展示，并分析其结果，并对北京市核酸检测点目前的设置进行评价以及提出相关改进建议。

在此基础上，也希望能将本文的研究模型推广，以期日后对重大传染病重大传染病及其他突发公共卫生事件检测点需求数量及位置安放模型起到一定的作用。

## 1.5 研究内容

本文的研究内容主要可以分为三个主要的方面，第一部分是北京市核酸检测 PCR 仪的需求数量的计算，主要是根据国家相关政策以及 PCR 仪的相关数据进行计算；第二部分是北京市核酸检测点位置的可及性模型的构建；第三部分是利用优势度模型，并且通过 ArcGIS 去测量其距离指数和频率指数进行评估和可视化分析。总共分为六章，具体如下：

第一部分引言。主要介绍论文的研究背景、研究意义、总结国内外的研究现状与发展趋势，提出本文的研究内容、研究意义以及技术路线。

第二部分疫情时代医生对核酸检测设备态度的质性研究。主要是通过采访北京市海淀医院与北大深圳医院的医生，了解他们对后疫情时代下对核酸检测设备规划的观点，该研究的主体部分为本次的研究提供了现实支撑。

第三部分核酸检测点位置的数据处理与特征分析。主要是介绍了本文所使用的数据支撑、数据的特征分析，以及数据的处理，为评估模型的建立提供参考。

第四部分核酸检测点位置可及性评估模型的建立。主要介绍了目前国内外对医疗卫生服务可及性的研究的评估方法，选择了合适的评估方法和评估指标，计算并建立了评估的模型。

第五部分模型评估应用与可视化分析。基于 Arcgis 系统，绘制评估结果的图形，并对评估结果进行可视化分析。

第六部分核酸检测设备的计算。主要是基于国家的相关政策以及人口密度，选取相应的核酸检测 PCR 仪器，计算出各区需要的 PCR 仪数量。

第七章总结与建议。本章总结全文的研究成果，对北京市目前核酸检测点的设置提出了改进与建议。还分析研究中存在的不足与问题，以及对本文的模型为日后的研究进行了展望。

## 1.6 技术路线

本文的主要技术路线为：评估数据处理—评估模型搭建—评估结果可视化—评估结果分析与建议。先由北京市路网矢量数据、北京市核酸检测点位置数据、分辨率 $100m$ 的北京市人口数据、全国区县级数据、全国乡镇街道级数据出发，搭建优势度评估模型，泰森多边形和空间网络分析模型，之后利用 ArcGIS 对评估模型进行评估和可视化分析并计算北京市核酸检测点所需的 pcr 仪数量，如图 1-1。

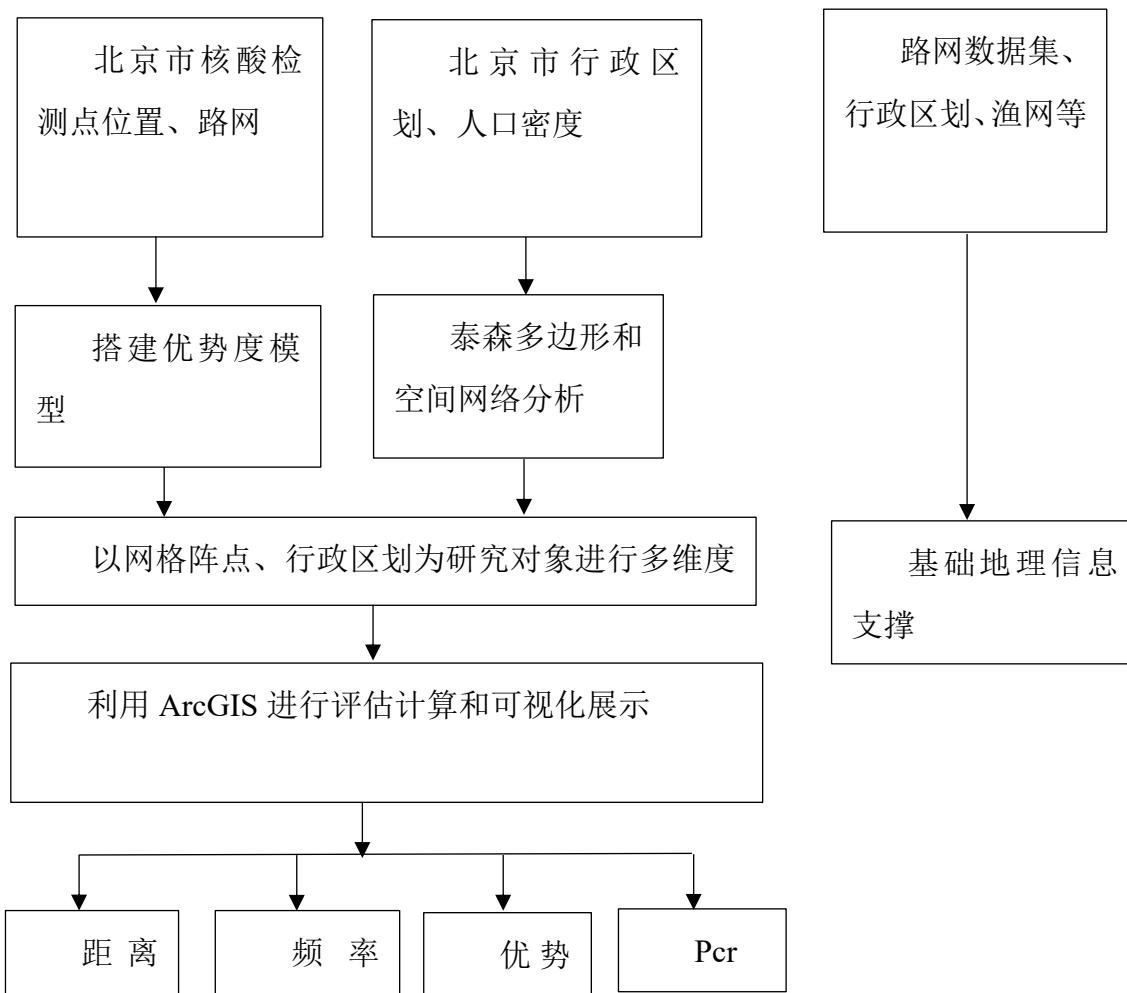


图 1-1 研究技术路线流程图

## 第二部分 后疫情时代医生对核酸检测设备规划态度的质性研究

### 2.1 对象与方法

#### 2.1.1 质性研究方法

本研究采用质性研究方法，它是以研究者本人作为研究工具、在自然情境下采用多种资料收集的方法对社会现象进行整体性探究、使用归纳法分析资料和形成理论、通过与研究对象互动对其行为和意义重建获得解释性理解的一种活动<sup>15</sup>。质性研究方法适合过程类、意义类的研究问题。

#### 2.1.2 研究工具

在质性研究中，研究者本人就是研究工具。此外也可运用软件进行辅助。如NVivo12即是以计算机辅助进行质性分析的软件，拥有强大的编码功能，能够对文章、访谈、调查结果、音频、视频、图片、网页或社交媒体等内容进行处理，并将与研究主题相关的信息点编码汇总。

#### 2.1.3 研究对象

研究在2021年3月至2021年4月间进行。本研究的参与者是3位来自北京大学深圳医院和北京市海淀医院的医生。其中有2位来自感染性疾病科，1位来自医学检验科。研究对象的基本信息详见表2-1。

表2-1 研究对象的基本信息

序号	姓名	科室	职称	所属医院
1	喻晶	医学检验科	主任技师	北京大学深圳医院
2	武敬	感染性疾病科	主任医师	北京大学深圳医院
3	董建平	感染性疾病科	主任医师	北京市海淀医院

#### 2.1.4 资料收集方法

本研究主要采用深度访谈法。在访谈之前，研究者准备录音笔、访谈知情同意书以及访谈提纲。

提纲主要问题如下：

1. 贵院目前在核酸检测设备上的总计投入是多少？检测能力如何？
2. 您认为在后疫情时代对核酸检测设备进行规划是否有必要？
3. 您认为本研究能否为贵院的核酸检测规划提供参考？
4. 您认为本研究对于未来类似事件的规划是否可以提供参考？

访谈提纲只是作为一种提示，具体访谈过程是自然地与访谈对象进行交流，获得访谈对象真实想法。本研究所进行访谈的基本情况如下（表 2-2）。

表 2-2 访谈情况

序号	姓名	访谈时间	地点	转录文本字数
1	喻 晶	47min	北京大学深圳医院	9303
2	武 敬	25min	北京大学深圳医院	5663
3	董建平	30min	北京市海淀医院	8567
转录总字数				23533

### 2.1.5 资料分析方法

在征得访谈对象的同意之后，对访谈过程全程录音。将录音资料逐字转录成文字，最终转录稿共约为 23533 字。对转录稿采用解释现象学（*Interpretative Phenomenological Analysis, IPA*）的分析方法，这是最近发展起来的一种心理学的质性研究取径。具体分析资料的过程和步骤如下：①形成第一级最开放的编码：要求研究者反复阅读文本并且做笔记。②形成概念性主题：研究者可以使用一些学术术语标定可以表示文本每一部分特征的主题。③思考所有主题之间的关系，列出主题的结构层次关系。④制作结构化主题一览表，并附上说明每个主题的引语（如图 2-1）。

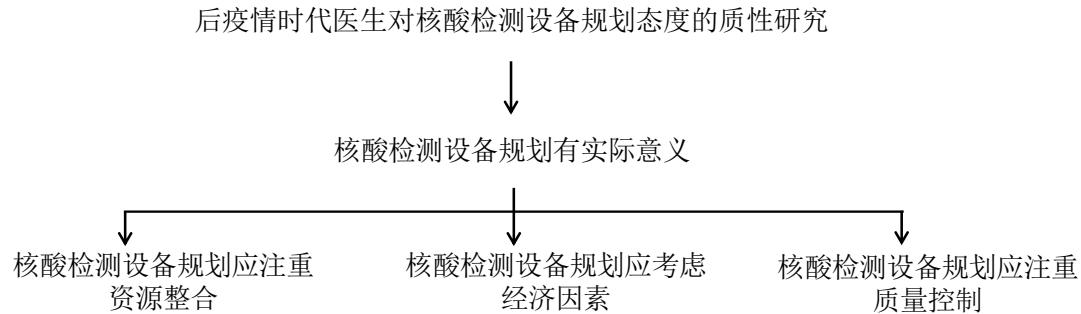


图 2-1 后疫情时代医生对核酸检测设备规划态度质性研究结果框架

## 2.2 分析结果

本研究发现，三名医生均认为在后疫情时代下对核酸检测设备进行规划有实际意义。在这一共识下，三名医生就核酸检测设备规划的观点主要包含以下三个方面：核酸检测设备规划应注重资源整合、核酸检测设备规划应考虑经济因素、核酸检测设备规划应注重质量控制。

### 2.2.1 核酸检测设备规划有实际意义

三名医生从不同侧面切入，但均认为在后疫情时代下对核酸检测设备进行规划有实际意义。

喻晶医生认为，后疫情时代下对核酸检测设备进行规划有助于减少医院感染，相关表述如下。

喻晶医生：为什么现在都要做核酸检测，就是由于其实医院的风险是很高的。因为你如果一个人他有阳性在医院里面，他有可能导致院感。

采访者：他那个片区可能核酸检测点很少，他就必须到比如说市中心这种地方才能做到核酸，所以我们就觉得它就是不容易获得这种核酸检测医疗资源，所以我们认为他那个地方就需要增设一些核酸检测点，你觉得我们这样的考虑可以吗？

喻晶医生：可以的。采样点下放到每个社区，就不用到医院去就做了采样，这样就会减少医院感染风险了。

武敬医生认为，后疫情时代下对核酸检测设备的规划研究，能够为政府提供一定参考，有助于政府进行资源调配。相关表述如下。

采访者：您认为本研究对以后类似这种高传染性疾病的爆发有积极意义吗？

武敬医生：在资源的调配上会有一些用。可以作为一个参考评估，让政府可以比较快地发现哪些地域核酸检测能力比较薄弱。这方面是有帮助的。

董建平医生认为，后疫情时代下对核酸检测设备进行规划，是贯彻常态防控和精准防控两大理念，对政治和经济乃至国计民生均有影响。相关表述如下。

采访者：从投入来看我觉得对核酸检测设备的规划是有一定必要的。

董建平医生：肯定是非常有必要。这是在下一步，就是咱们说常态精准防控的时候，可以考虑的。其实现在咱们越来越往这儿推了，常态和精准。因为你如果一旦要扩大的话，咱们医疗这方面一旦扩大，那影响的就是政治和经济，这就影响到国计民生了。

### 2.2.2 核酸检测设备规划应注重资源整合

基于后疫情时代下对核酸检测设备进行规划有实际意义这一共识，三名医生核酸检测设备规划应注重资源整合这一观点，提出了自己的看法。

喻晶医生认为，后疫情时代下对核酸检测设备进行资源整合，有助于减少院感风险，提高检测效率。相关表述如下。

喻晶医生：政府将核酸检测设备集中也减少污染的风险。样本都送到一个地方去统一检测，流程也算快。

董建平医生认为，后疫情时代下对核酸检测设备进行资源整合是下一步需要做的事情，并且提出了自己认为的两种核酸检测设备资源整合的方式。相关表述如下。

董建平医生：可能就是说他这个资源的利用的不足，那么下一步应该是整合。因为如果遇到了像我们这个新冠的防控，现在虽然说是常态化，但是我们现在都很难说会不会出现一个反弹，因为咱们国门还没打开。所以我我个人的理解是，在常态化的时候就像你们做的这个研究以后，应该是把核酸检测设备资源进行有效的一个利用。

董建平医生：它有两种形式。一个是咱们引导患者，比如说这个区域以海淀医院来说吧，就是海淀医院它有这个核酸检测能力。你就像旁边中关村医院咱们隔着一条马路。那你去看看中关村医院它的检测量有多少。如果它的量很少，它和海淀医院并在一块，海淀医院的方舱实验室完全能够承担。那我就举个例子，这俩就可以合。这种合呢一方面我们可以就近引导患者到一个集中的一个地儿来

做，再有一种呢，比如说患者不方便或者说受医保限制，那我可以采取一个物流的手段。比如说它那每天只采不做，送到海淀医院来做。那么这个也是一个方法。

而武敬医生对于后疫情时代核酸检测设备的资源整合提出了相反观点。武敬医生认为使用物流系统进行资源整合并不现实，应考虑经济市场因素。相关表述如下。

武敬医生：医院的核酸检测设备在这边你这个机器不可能给它再安排做其它的这个使用是不可能的。因为这个现在本身就属于政治任务。所以检测能力有富余的就去留作其他用途是不可能的。

采访者：有的地域，他那边本来检测机构就比较少，然后那边的居民可能他们检测的话就没有那么容。所以我们想是就像深圳医院一样它的检测能力是有富余的，可不可以让一些人去那些地方去采样，拿回来做核酸检测？

武敬医生：这不现实。因为本身来说，做这个核酸检测医院是已经投入了大量的人力物力，说的不好听点现在是医院的力量也是捉襟见肘。因为大家有个平衡，那么你把别处的核酸提过来呢，医院的工作就要加重是不是。你这个人力成本就很大了，在考虑经济市场情况下，医院是不可能接受的。

### 2.2.3 核酸检测设备规划应考虑经济因素

基于武敬医生对于后疫情时代核酸检测设备的资源整合提出的观点，武敬医生着重强调了后疫情时代的核酸检测设备规划也应考虑经济因素。相关表述如下。

武敬医生：不同的单位，不同的科室之间他都还有一个人力成本核算，经济成本核算的这个问题。何况现在做核酸本身来说就是不挣钱甚至是倒赔钱，所以说你们要从任何东西如果你脱离了这个经济去谈你一定是一定是无意义的。那如果就是我们就考虑在疫情这种特殊背景的这种情况下，那可以啊，那去年本身就是这个样子，我们深圳市那个时候很多的东西就跟武汉一样。那个时候全国不计成本的资源倾斜向武汉，这个就属于这个政治任务，没有计算成本。但任何的东西一定是要有经济啊，一定是在经济里面。为什么我们国家这次能够解决疫情，那是国家花了多大的代价呀，就是因为我们国家有这个经济能力，你才能有这个代价出来。

### 2.2.4 核酸检测设备规划应注重质量控制

此外喻晶医生和董建平医生还提出后疫情时代下对核酸检测设备的规划应注重质量控制这一观点。

喻晶医生认为质量控制不当带来的假阳性问题是核酸检测中最大的问题。相关表述如下。

采访者：那老师您觉得在核酸检测步骤里面有出现过什么问题，就核酸检测遇到的最大的问题？

喻晶医生：其实是人员的培训要到位。因为人员培训不到位很容易引起假阳性。假阳性问题的出现，现在来说一般都是取血样人员的操作不当。

董建平医生认为，核酸检测的质量控制比设备设置更难，也是一线医生最为关注的问题。相关表述如下。

董建平医生：这个房子好建，这个东西好搭出来，但是你真正的同质化的这种医疗筛查，这个要想达到，远远比盖个房子就像咱们建这个实验室难多了。我们的目的是让实验室达到它开的目的，达到它这个筛查能够起到真的作用的目的。但是如果没有相应的人员的培训，还有不断的业务学习，那是很难达到。这个质控方面，其实我们作为一线大夫挺担心的就是这个。因为我们需要的是他们给我们最及时和精准的支持。

### 2.3 总结

通过对后疫情时代医生对核酸检测设备规划态度的质性研究，我们得出——在后疫情时代下对核酸检测设备进行规划有实际意义。此外，在进行核算检测设备规划时，应在注重资源整合的同时又考虑经济因素和质量控制。

以上述结论作为现实支撑，我们继续开展后续部分核酸检测点位置可及性评估模型的建立的相关研究。

## 第三部分 核酸检测点位置的数据处理与特征分析

### 3.1 数据支撑

本文以北京市道路路网数据、北京市核酸检测点位置数据、北京市分辨率为 100m 的人口密度数据等作为研究的数据基础。研究数据的基本情况如图 3-1 所示。

表 3-1 研究数据基本情况

数据类别	数据描述	数据格式	数据量
北京市路网矢量数据	包含北京市行政区划、城市各级路网等信息	Shp	77657 条
北京市核酸检测点位置数据	北京市现有核酸检测点的经纬度等信息	Excel	255 个
中国分辨率为 100m 的人口数据	人口密度信息	Tif	4.6 G
中国区县级数据	包含中国区县级数据等信息	Shp	102 kb
中国乡镇街道级数据	中国乡镇街道级数据	Shp	68 kb

#### (1) 北京市路网矢量数据

包括了北京市马道、自行车道、步行道、街区、高速公路、高速公路连接处、人行道、主干道、主干道连接处、居住区道路、次干道、次干道连接处、三级道路、三级道路连接处、轨道、支路、支路连接处等道路的路网代码、长度、名称和北京市行政区划信息。

#### (2) 北京市核酸检测点位置数据

包括北京由北京市卫生健康委员会官方发布的 252 家核酸检测机构的机构名称、经纬度坐标、机构地址。

#### (3) 北京市分辨率为 100m 的人口数据

从 WorldPop 上下载的中国 2020 年人口密度矢量图数据。其中该矢量图中每个网格单元为估计总人数，分辨率为 3 弧度（在赤道处约为 100m），单位是每像素的人口数，已调整国家总数以匹配联合国秘书处经济和社会事务部人口司编制的相应联合国正式人口估计数。

## 3.2 数据处理

### 3.2.1 数据预处理

本研究数据中存在一些问题，分别是数据属性缺失、数据中存在错误或异常、数据没有位置坐标、数据多格式。需要进行处理。数据处理主要分为下面四步：

第一步是通过人工操作来对数据进行查漏补缺，填补遗漏数据和消除异常数据。核酸检测点数据是从网络爬取获得，需要对爬取得到的结果进行再次确认。

第二步是统一数据格式，主要是将 excel 格式的文件转换成适合存入 Arcgis 文件地理数据库的格式。excel 格式数据，先转成 csv 格式，再在数据库创建表头来存储，然后通过软件中的解析工具利用表中的数据将其最终转化为点 shp 数据，其中核酸检测点数据就是按照这个步骤进行的转换。

第三步是数据裁减。由于要分析的是北京市相关数据，而通过各网站获取到的数据都是全国乃至整个亚洲的数据，所以需要对其进行处理。通过选择北京市边界，生成专属北京市边界图层，并利用 arcgis 分析工具中的提取分析工具中的裁减工具以北京市边界为边界进行裁减得到所要研究的北京市数据。

第四步是添加数据坐标，补充数据属性。例如将 table 中的核酸检测点通过 arcgis 中的解析工具转化为以经纬度表示的点坐标。路网距离计算，是通过计算路网中两交点间的距离实现的。通过查阅《公路工程技术标准》(JTGB01-2014) 对于不同分级公路进行速度赋值。并通过字段计算，完成时间属性的添加。

一些重要数据处理见下：

**边界数据：**在奥维地图上搜索北京市，将北京市的边界导出为 KML 格式，并在 GIS 中使用 KML To Layer 工具将其转成 shp 格式。使用 Project 工具对其进行投影，投影坐标系为 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_51N。

**北京市核酸检测点位置数据：**在网络上公布了北京市的 252 家发热门诊医疗机构名单，其中包含每家医疗机构的名称和地址。将其机构名称、地址、经纬坐标整理为 Excel 表格，将数据导出为 CSV 格式的数据并加载到 ArcGIS 中并将其转化为空间数据，然后将图层导出为 shp 格式，使用 Project 工具将其投影为 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_51N。

道路数据：下载北京市的道路数据后，其使用坐标也为 WGS\_1984 地理坐标系，使用 Project 并对其进行投影，投影坐标系选择 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_51N。利用 ArcGIS 建立新的文件地理数据库，并在其中新建北京市路网的网络数据集，在属性表中加入“speed”和“time”字段，其赋值根据 OpenStreetMap 对应的道路速度进行计算。

人口数据：在 WorldPop 上提供了精度大约为 100 米的人口数据，所使用的坐标为 WGS\_1984 地理坐标系，中国的人口数据大约 4.6G。需要的只是北京市部分的数据，故在 Environmentd 的设置中，将 SZ\_Border 设置为 Mask，输出的数据即为我们所需的分辨率为 100m 的北京市人口数据。

### 3.2.2 数据存储

本研究将所有数据都存储在文件地理数据库中，并根据需要对于各个数据库进行命名，各个数据库都有其名字及用途，具体见下表 3-2。

表 3-2 数据库名称及介绍

数据库名称	数据库介绍
地图汇总	绘制的地图数据汇总
路网完整版	路网数据整理储存
核酸	核酸检测点数据信息整理储存
核酸检测点评价	核酸检测点评价原始信息储存
数据特征	数据特征信息整理储存
距离指数计算	计算距离指数数据整理储存
频率指数图	计算频率指数数据整理储存
优势度分析	优势度分析数据整理储存
数据分析所需表格	数据分析过程中表格储存
泰森多边形	泰森多边形绘制数据储存
网络分析核酸分配	网络分析核酸分配数据储存

由于各数据库中属性文本通用，对于各属性进行基本说明。具体见下表 3-3。

表 3-3 数据属性及说明

属性名称	说明
OBJECTED	各乡镇对应编号
NAME	各乡镇名称
经度	各乡镇区域中心点所在经度
纬度	各乡镇区域中心点所在维度
FREQUENCY	各乡镇区域中心点被检测点覆盖的频数

### 3.3 数据空间特征分析

#### 3.3.1 北京市人口密度矢量数据及特征

本数据是来源于 2020 年分辨率为 100m 的中国人口密度矢量数据。该数据包括北京市 16 个市辖区，分别是东城区、西城区、朝阳区、丰台区、石景山区、海淀区、顺义区、通州区、大兴区、房山区、门头沟区、昌平区、平谷区、密云区、怀柔区和延庆区。该图是将北京市地区按照行政区划分为 1KM\*1KM 的格子，以每个格子的平均人口密度作为颜色划分依据，形成的渔网图。其中将人口密度划分为五个不同的等级：0.000000-20.990000、20.990001-73.400000、73.400001-151.170000、151.170001-272.413795、272.413795-778.830000（下文称为 1 级、2 级、3 级、4 级、5 级），并分别赋予不同深浅的颜色。其中人口密度越大，颜色越深，反之则越浅。

由渔网图颜色分布可知，北京市中央区域的人口密度比较大，北京市周边区域与人口较为稀疏。其中东城区、西城区、丰台区、朝阳区、石景山区人口密度最大，普遍在 4 级及以上；海淀区大部分人口密度在 3 级以上，还有部分人口密度为 4 级以上；顺义区、昌平区、通州区、大兴区只有部分人口数量在 4 级以上，其余大部分区域的人口密度均为 1 级；房山区、平谷区、密云区、怀柔区及延庆区人口密度大部分为 1 级，只有有小部分地区为 3 级以上；门头沟区的人口密度普遍为 1 级。

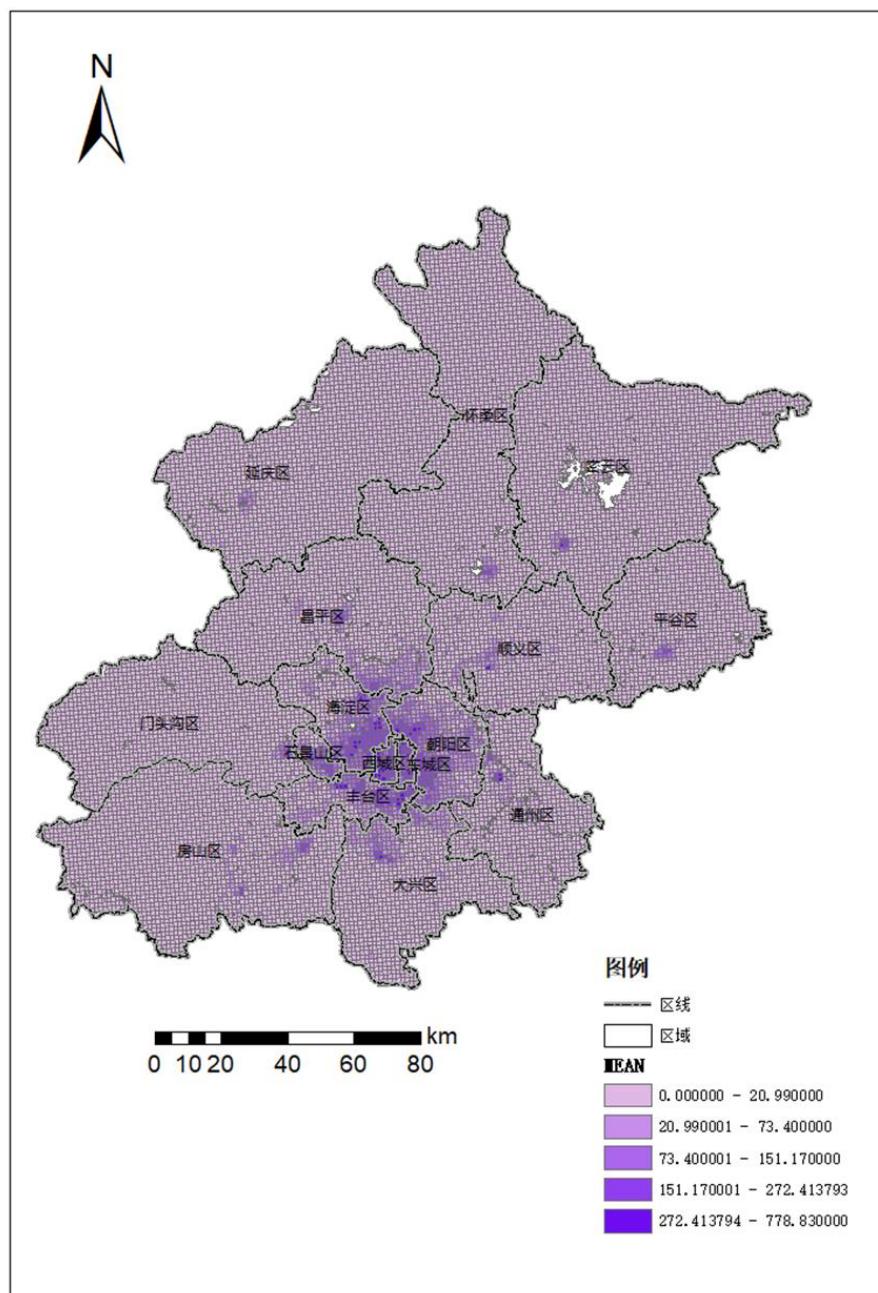


图 3-1 北京市人口密度渔网图

### 3.3.2 北京市核酸检测点位置分布图及其特征分析

将北京市 254 所核酸检测点的经纬度坐标导入到北京市的人口密度矢量图后可得到下图。其中按照北京市行政区划来分：东城区有 17 所，西城区有 24 所，海淀区有 39 所，朝阳区有 32 所，丰台区有 23 所，石景山区有 8 所，顺义区有

19所，通州区有9所，大兴区有13+14（经济技术开发区）所，房山区有11所、门头沟区有6所、昌平区有24所、平谷区有6所、密云区有3所、怀柔区有7所，延庆区有5所。

通过对下图的分析可得：北京市核酸检测点主要集中在人口密度比较大的区域，如：东城区、西城区；北京人口密度低的区域的核酸检测点比较稀疏，如：延庆区、门头沟区。

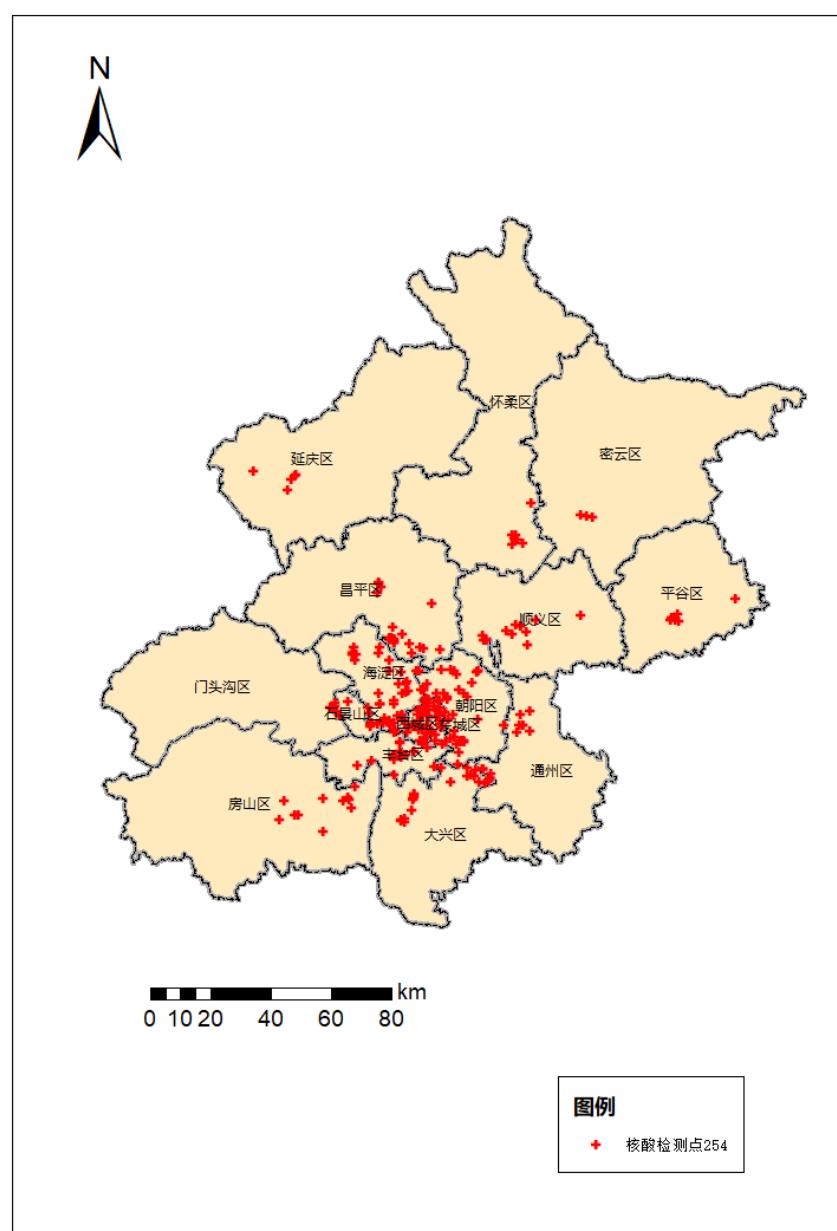


图 3-2 北京市核酸检测点位置分布图

### 3.3.3 北京市路网矢量数据及其特征

城市道路网是由在城市管辖的范围内的各种不同功能的主干道（如高速公路、城市快速路）和区域性道路所组成。通过对路网数据的研究，可以在计算核酸检测点可及性的过程中提供交通时间因素，这样能够为我们的核酸检测点的设置过程提供一定的参考。本文选取了北京市 2020 年的路网数据。

表 3-4 北京市路网数据类型

路网代码	类别	类型	道路速度 (km/h)
5111	高速公路	motorway	50
5112	城市快速路	trunk	50
5113	主干道	primary	40
5114	次干道	secondary	30
5115	普通街道	tertiary	10
5121	未分类道路	unclassified	20
5122	住宅区道路	residential	5
5123	街道	living_street	5
5124	行人专用街道	pedestrian	5
5131	通往高速公路/快速公路的道路/出入口	motorway_link	50
5132	主干道路与其他主干道路或较低级道路的连接路	trunk_link	50
5133	主要道路与其他主要道路或较低级道路的连接路	primary_link	40
5134	次要道路与其他次要道路或较低级道路的连接路	secondary_link	30
5135	其他次要道路或较低级道路的连接路	tertiary_link	10
5141	服务道路	service	10
5142	小径	track	5

5143	一级小径	track_grade1	5
5144	二级小径	track_grade2	5
5145	三级小径	track_grade3	5
5146	四级小径	track_grade4	5
5151	马道	bridleway	10
5152	自行车专用道路	cycleway	15
5153	行人专用道路	footway	5
5154	非特定路径	path	5
5155	阶梯	steps	5
5199	其他类型	unknown	20

北京市的路网结构为“环加放射”，即城区道路以环路为主干道，次干道将各条环状主干道交叉连接，高速公路和国道并呈现放射状并向市郊延伸。北京市共有 31 条高速公路，总里程超过 900 公里。其中，国家高速 7 条，国道高速路段 7 条和省级高速 15 条。环状快速路六条。

北京市地区的道路结构图如图 3-3 所示。北京市地区的道路结构图如下图所示。北京市的路网是一种混合型的路网，其包括大的高速公路，也包括小的普通街道，是中国大多数城市路网的风格。其路网特点可从下图明显看出：北京中心地区的城市快速道呈现出棋盘方格样的特点，外围的高速路网呈环形并向外放射。道路越往中心，越平直；道路越往外，道路越崎岖曲折，主要跟其地势走向有关。

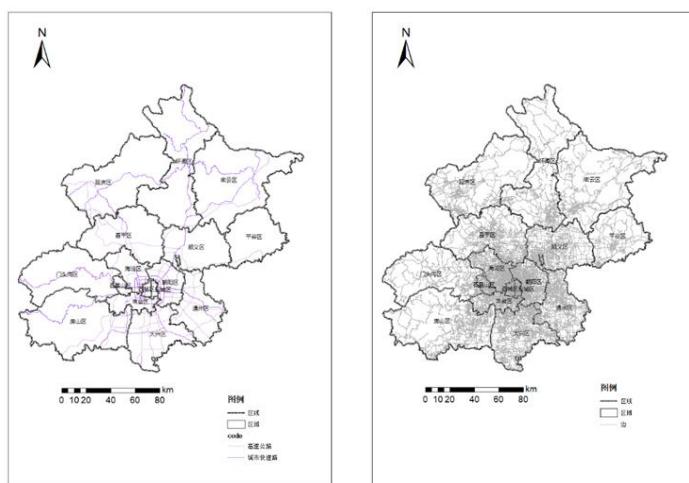


图 3-3 北京市路网分布图

## 第四部分 核酸检测点位置可及性评估及检测设备数量计算模型 的建立

### 4.1 应急医疗物资可及性评估的必要性分析

医疗卫生服务可及性是评估社会健康发展水平的重要指标。在医疗物资总量一定的情况下，提高现有资源的使用效率，进而增加其可及性，才能保证让更多的居民有相等的机会享受到医疗卫生服务<sup>16</sup>。

在应对突发公共卫生事件的过程中所用到的物资都可以称为应急物资。2019年末，新型冠状病毒肺炎突然爆发，在后续的应急应对过程中，尤其是防疫物资的短缺成为一大问题。当突发公共卫生事件导致病人激增时，基层医疗机构的应急物资会出现明显短缺<sup>17</sup>，因此，应急医疗物资的储备和分配问题是疫情这场大考之后我们需要思考并改善的重要问题<sup>18</sup>。

### 4.2 评估方法概述

根据目前国内外对医疗卫生服务可及性的研究，将对可及性的评估方法分为以下四种：

(1) 构建数学模型对医疗卫生服务的可及性进行评估。例如，DGarth.Taylor利用“symptoms-responseratio”(病症回应率)来反映医疗服务的可及性。王振振，雍岚等利用需求供给差、变异系数法、量表赋权法等评估了社区养老服务的可及性。

(2) 构建指标体系对医疗卫生服务的可及性进行评估。如专家咨询法、层次分析法。GoldM 曾指出公共卫生服务测度指标的筛选有几点重要原则：选用历时性和稳定性强的指标；不能忽视顾客关心的信息等等。DavidH.Peters 等使用世界卫生组织 2007 年的统计数据，采用“每一千人的医院床位数”、“每一千人的医生数量”、“每一千人的护士数量”三个核心指标，对全球 6 大地区中 4 类不同收入群体展开医疗服务可及性的评估。沈玉卿，白灵瑶等基于综合指标体系，通

过增强两步移动搜寻法（E2SFCA 法）评价北京市二、三级医院住院服务的空间可及性。

（3）通过问卷调查来评估居民的可及性感知水平。Klaus.JRoghmann 通过可达性、可获得性和服务品质三个维度测量医疗卫生服务的可及性。问卷内容包括：预约服务与到达医疗场所的困难程度、等待医生的时间、就诊时间是否充足、被重视/在意的程度、医生治疗的细致/严谨程度、医生倾听你描述病情的愿望是否强烈、医生是否给予充足信息等。

（4）运用地理信息系统和空间可视化工具测量并评估医疗卫生服务的可及性。Joseph&Philips、Parker&Campbell 等通过 GIS 技术和空间数据设施来测量人口地理位置与医疗卫生服务设施之间的地理距离、交通时间和地面网络信息，据此反映人口与服务机构地理位置间的“适配度”<sup>19</sup>。

#### 4.2.1 增强两步移动搜寻法（E2SFCA 法）

国际上利用地理信息系统（GIS）进行医疗资源可及性评价已形成一套系统的研究理论方法。两步移动搜寻法将搜索区域细分：第 1 步，以每个医疗机构  $j$  为中心，搜索一定道路交通时间（阈值）范围 ( $d_0$ ) 内的居民区  $k$ ，计算供需比  $R_j$ ，以  $D_k$  表示  $k$  居民区居民的需求， $S_j$  表示  $j$  医疗机构的服务能力（ $S$  值），那么；第 2 步，以每个居民区  $i$  为中心，搜索在阈值范围 ( $d_0$ ) 内的所有医疗机构  $j$ ，将这些医疗机构的  $R_j$  汇总，即得到  $i$  点的可及性值，记为  $A_{ij}^F$ 。

对于医疗机构能够服务的范围阈值，取值区间并没有严格的限制。有的研究将医疗机构的有效服务阈值确定为 20 分钟~90 分钟不等的道路交通时间，其中选择 60 分钟作为阈值的研究较多。

增强两步移动搜寻法在上述基础上引入距离衰减函数（幂函数  $\beta$ ），改善原始两步移动搜寻法对阈值范围内外医疗机构选择“0”或“1”的缺陷，更贴近患者实际就医行为。总结前人的研究，发现  $\beta$  取值的区间范围集中于 0.9~2.29 之间。在医疗机构可达性的研究中， $\beta$  取值 1 和 2 的情况都有。有研究对  $\beta$  取值 1 和 2 的两种情况进行敏感性分析，对比这两种情况，认为在医疗设施可达性的研究中  $\beta$  取值 2 更为合理<sup>20</sup>。

#### 4.2.2 引力模型

如果有  $i$  和  $j$  两个区域, 区域  $i$  对区域  $j$  的某种特定活动的潜能与区域  $j$  的活动规模成正比, 与两个区域之间的分割函数成正比。可以用数学公式表示为  $A_{ij} = \propto E_j \cdot A_{ij} \propto 1/f(t_{ij})$ , 由此可得:  $A_{ij} = E_j / t_{ij}^b$ 。

其中:  $A_{ij}$ —区域  $i$  关于区域  $j$  的某种特定活动的潜能,  $E_j$ —区域  $j$  的活动规模,  $t_{ij}$ —区域  $i$  和  $j$  之间的通勤时间或者距离,  $b$ —指数。

那么区域  $I$  的总潜能为:  $A_i = \sum A_{ij} = \sum E_j / t_{ij}^b \quad j=1, 2, \dots, n$

有  $n$  个区域, 就有  $n$  个潜能值。如果我们把该潜能公式应用于医疗机构对某区域人口的潜能, 则把  $E_j$  作为医院的技术人员数即可。对于患者来讲, 越是附近的医院医生比较远的医院医生的可达性要好, 权重也就越大。但是这个简单模型中, 只考虑了医院这个“供”方所产生的潜能, 而没有考虑到“需求”方的因素。很多学者在此基础上提出了改进模型, 公式如下:

$$A_i^G = \sum_{i=1}^n \frac{E_j t_{ij}^{-\beta}}{V_j}$$

其中  $V_j$ —,  $A_i^G$  是可达性指数,  $n$  和  $m$  分别表示医院和居民点的数量。  $A_i^G$  值越大, 表示可达性越好<sup>21</sup>。

#### 4.2.3 优势度模型

对基本医疗服务分布优势度模型包括距离指数  $\alpha$ 、等级指数  $\beta$ 、频率指数  $\lambda$ , 由这 3 项指标加权构成。模型如下:  $n = \frac{3}{6}\alpha + \frac{2}{6}\beta + \frac{1}{6}\lambda$ ,  $\alpha$ —(最近三级医院距离赋值+最近二级医院距离赋值)/2,  $\beta$ =3\*3 级医院覆盖次数+2\*2 级医院覆盖次数,  $\lambda$ =(3 级医院覆盖次数+2 级医院覆盖次数)/医院总数,  $n$  为就医优势度指数, 用于综合评价就医的难易程度<sup>22 23 24</sup>。

$\alpha$  为距离指数, 通过居民点与各级最邻近医院的直线距离加权计算而来, 是对医疗服务空间可达性的衡量, 体现就医的距离优势。  $\beta$  为等级指数, 即各级医院覆盖次数的总和。反映居民点周围不同等级医院提供的服务总量和质量情况, 被覆盖医院数量越多、等级越高, 则提供的服务总量就越多, 质量越高。  $\lambda$  为频率指数, 是居民点被不同等级医院覆盖的加权次数, 反映居民选择就医医院自由度的度量, 加权次数越多, 则选择自由度就越大。

#### 4.2.4 泰森多边形

泰森多边形又叫冯洛诺伊图（Voronoi Diagram），是对空间平面进行剖分的一种结果。泰森多边形是一组由连接两邻点线段的垂直平分线组成的连续多边形组成，一个泰森多边形内的任一点到构成该多边形的控制点的距离小于到其他多边形控制点的距离。泰森多边形可以用于分析邻接、接近度、可达性空间分析，也可用于最近点、最小封闭圆等问题的解决。

#### 4.2.5 空间网络分析

空间网络分析是 GIS 空间分析的重要组成部分。网络是一个由点、线的二元关系构成的系统，通常是用来描述某种资源或物质在空间上的运动。GIS 的网络分析是依据网络的拓扑关系，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的一种分析计算。

除了上述方法之外，还有比例法、最近距离法中的空间最近邻、机会累计模型等。本文中对核酸检测点的空间可及性分析是基于 ArcGIS 去测量其距离指数和频率指数进行评估<sup>25</sup>，因此，本文利用的是优势度模型去完成对核酸检测点空间可及性评估的模型构建，利用泰森多边形以及空间网络分析对北京市各核酸检测点所需 pcr 仪数目进行计算和分析。

### 4.3 评估模型搭建

#### 4.3.1 优势度模型的搭建

近年来，我国有许多专家做过对医院布局模型的研究，并得出了大量优秀的结果。其中华南师范大学胡瑞娴，陈忠暖发表于《云南地理环境研究》的《广州市中心城区基本医疗服务空间分布研究》中所采用的基本医疗服务分布优势度模型尤为各专家所认可。本文拟构建的核酸检测点空间可达性评估模型即参考此模型的主要方法得到。

为了了解北京市核酸检测点的空间分布态势和可及性，本研究引入了优势度模型，计算各个检测点距离指数  $\alpha$  和频率指数  $\beta$ 。因为本文的研究对象仅为核酸检测点而非医院机构本身，因此不考虑等级指数。

核酸检测点与有需求人群离得越近，那么这个检测点的可达性就越好。因此，距离指数是衡量其空间可达性的重要指标<sup>26</sup>。以北京市路网数据为基础，利用 ArcGIS 搭建路网的网络数据集，然后利用 Network Analyst 工具对核酸检测点分

别设定 15min、30min、60min、90min 的服务范围, 即根据路网计算, 能在 15min、30min、60min、90min 内到达核酸检测点的最大距离, 求解后得到距离指数图。

频率指数指一个社区被核酸检测点覆盖的次数, 是对居民选择核酸检测点自由度的度量。我们<sup>27</sup>假设每个核酸检测点的服务范围相差不大, 都为从社区出发在一小时内到达核酸检测机构的范围, 以此来计算每个社区被核酸检测点覆盖的频数。用被覆盖的次数除以北京市核酸检测点总数得到频率总数, 求解后得到频率指数分布图。

经过对优势度模型的改善, 本文中核酸检测点优势度 $=\frac{2}{3}\alpha+\frac{1}{3}\beta$ , 得出距离指数图和频率指数图之后, 在 ArcGIS 中对两个指标图层进行上式运算, 得到北京市核酸检测点优势度分布图。

#### 4.3.2 泰森多边形和空间网络分析模型的搭建

泰森多边形中只考虑空间直线距离的影响, 而不考虑道路的因素。在空间网络分析中, 涉及到道路的影响, 计算的结果更具有代表性。首先要基于道路而建立网络, 包括考虑道路的可通行性, 如高速公路与一些次要道路之间不具备互通性。另外, 一些互通道路没有在路口打断, 不能进行网络之间的互通, 也会对数据的计算产生影响。

## 第五部分 模型评估应用与可视化分析

### 5.1 行政区

研究数据为北京市 2018 年统计的行政区划边界，如图 4-5 所示，包括 16 个市辖区，分别是东城区、西城区、朝阳区、丰台区、石景山区、海淀区、顺义区、通州区、大兴区、房山区、门头沟区、昌平区、平谷区、密云区、怀柔区和延庆区，在图中以不同颜色进行区分。包括 88 个街道、143 个镇、33 个乡、5 个民族乡，合计 269 个乡级区划。北京市的交通应急管理是市-区-乡镇三级城市治理体系，所以以乡镇为单位来评估各乡镇街道的接受核酸检测服务的水平尤为重要。

在本研究中，通过计算北京市每个乡镇单位的几何中心，并将其转换为坐标，以该点坐标指代该区域。通过对于各点的分析研究，探索各街道享受的医疗机构提供的核酸检测水平。

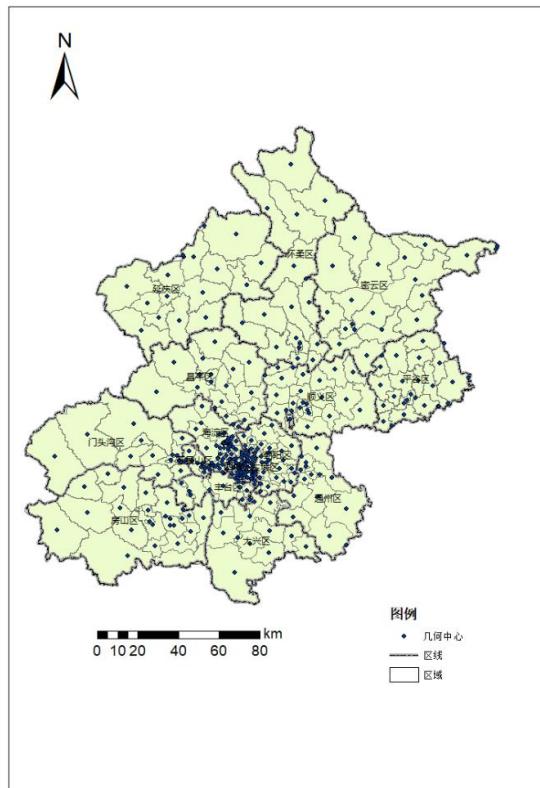


图 5-1 北京市各乡镇的几何中心图

## 5.2 网格化管理

城市网格化管理是一种革命和创新。城市网格化管理是综合运用地理信息技术、互联网计算、计算机计算，依据街道、社区将研究区域划分为网格，将各网格内应急事件作为研究内容，各网格设定一个责任人进行巡检管理，通过城市信息化管理平台，进行区域管理、信息共享的一种新型城市管理方法。

网格化管理依托统一的地理信息化平台，把研究区域根据街道、社区等类别分成若干个具有自我管理能力的基本单元。网格管理者只需要将任务分解发放到各基本单元负责人并通过平台监督其执行反馈。通过加强对单元内的突发事件巡查和处置，建立一种监督和处置互相分离的新形式。《十八届三中全会关于全面深化改革若干重大问题的决定》中提出，要改进社会治理方式，创新社会治理体制，以网格化管理、社会化服务为方向，健全基层综合服务管理平台。

网格化管理相比其他管理模式有许多优势。首先，其他模式是被动地处理突发事件，而网格化管理是主动巡查和防微杜渐；其次，网络化管理通过信息化平台共享信息，管理手段更高效精准，事故责任便于追溯；再次，网格化管理属于闭环式的管理手段，网格内突发事件处理流程按巡查、上报、处置、评估形成一个闭环，每一个步骤都有具体的规范标准，有利于提高城市的管理水平。正是因为这些优势，网格化管理可以将过去被动、传统、分散的管理，转变为今天主动、现代、系统的管理。

本文将研究区域划分精度为 1km 的正方形网格，研究区域整个北京市宽 160 公里，长 176 公里，面积 16427.2 平方公里。共分为 17004 个网格，分别取每个网格中心点作为特征点进行区域内医院核酸检测水平评估。

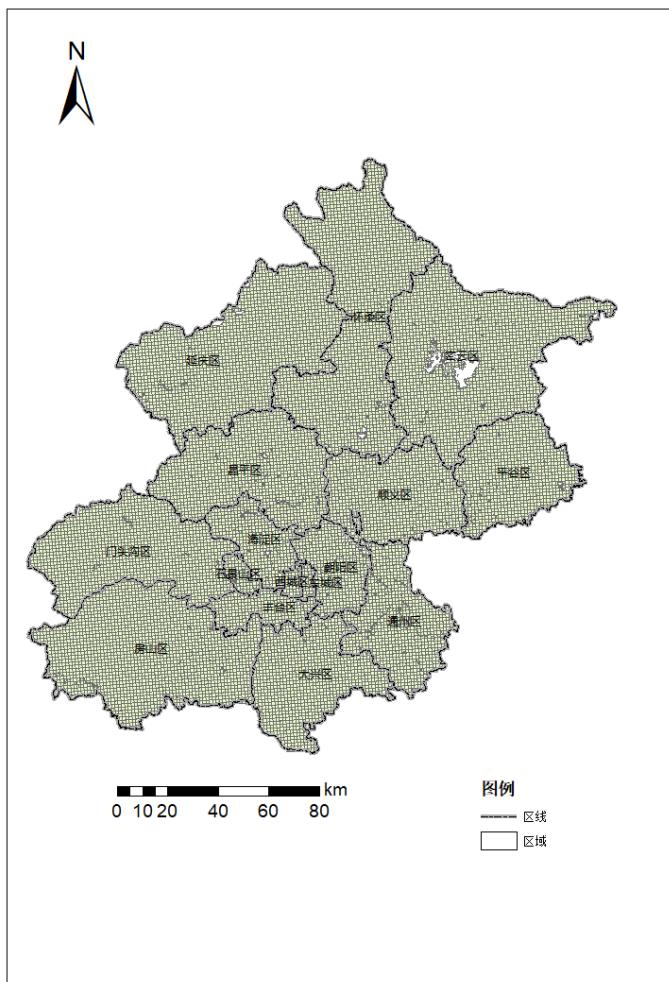


图 4-2 北京市 1km\*1km 的正方形网格图

### 5.3 优势度数值的计算

#### 5.3.1 距离指数图

医院是提供给病人及时救助的场所,因此距离医院的远近对于居民至关重要。距离指数是衡量医院通达性的重要指标。根据北京市道路网,利用 ARCMAP 中的 Network Analyst 工具,以医院所在地为中心,设定半径为 15min, 30min, 60min, 90min 的服务范围(如图 2 所示),对落在服务区范围为 < 15min、15~30 min、30~60 min、60~90 min、>90 min 的部分,分别赋值 5、4、3、2、1,作为不同的距离指数等级。得出距离指数图。

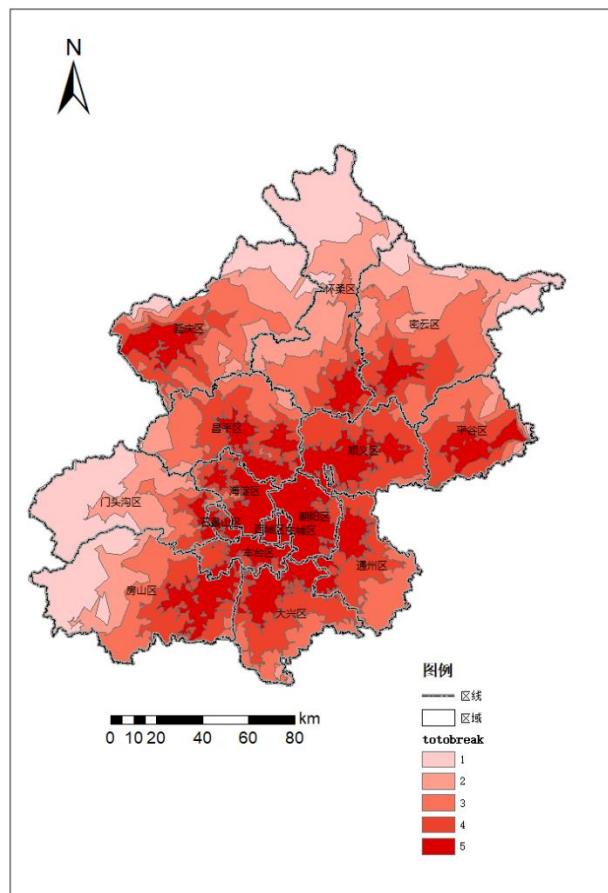


图 5-3 北京市核酸检测点距离指数图

通过将各街道级行政区域几何中心作为研究对象，在上图的基础上，利用 ArcGIS 中的空间连接工具计算得到各几何中心所对应的距离指数等级，从而得到各街道级行政区划对应的距离指数等级，生成有关于各街道级行政区域的距离指数图。

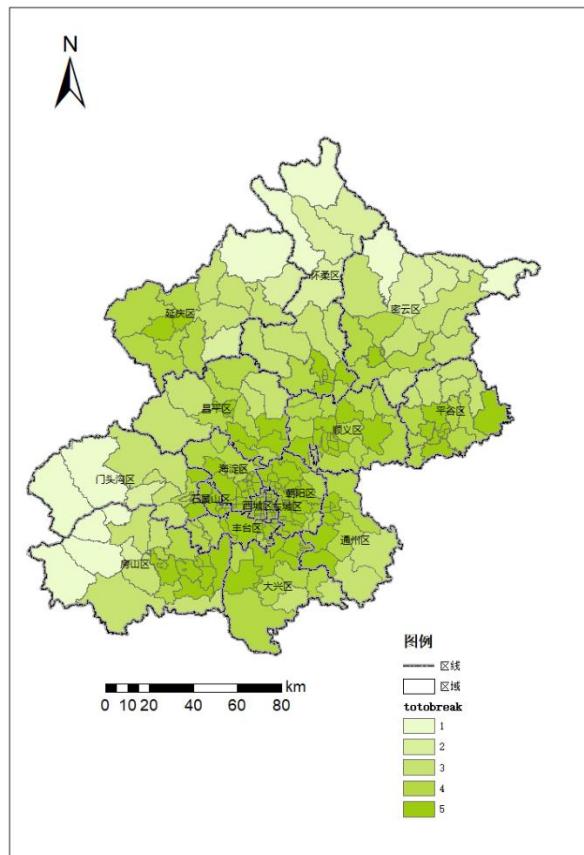


图 5-4 各街道行政区域的距离指数图

从图 5-4 可以看出, 16 个区域中, 以东城区和西城区为中心, 距离指数向四周呈辐射状减小。东城区、西城区、海淀区、朝阳区、丰台区、石景山区位于最中心, 他们的距离指数最高, 颜色最深; 周围是昌平区、顺义区、通州区、大兴区, 他们的距离指数次之, 颜色稍浅; 而最外围的房山区、门头沟区、延庆区、怀柔区、密云区、平谷区, 他们的中心部位距离指数较高, 颜色深, 但他们的周边部分距离指数最低, 颜色最浅。总的来说, 每个区的中心距离指数都较高, 周边距离指数较低, 但位于北京市中心的城区无论是区中心还是区的周边, 其距离指数都较高。这是因为市中心的路网复杂繁多, 交通极其方便, 所以市中心的距离指数高。区中心同理。

利用 SPSS 对各乡镇街道级距离指数数据进行频数统计, 得到评级频数图。

表 5-1 乡镇级距离指数频数图

乡镇级距离指数频数表					
	频数	百分比	有效百分比	累积百分比	
有效	1	14	4.0	4.0	4.0
	2	12	3.4	3.4	7.3
	3	40	11.3	11.3	18.6
	4	67	18.9	18.9	37.6
	5	221	62.4	62.4	100.0
总计		354	100.0	100.0	

从表中可以看出，在北京市 354 个乡镇级单位中，有 221 个乡镇的距离指数为 5，这代表这些乡镇的居民到核酸检测点的路程在 15 分钟以内；有 81.3% 的乡镇居民能在 30 分钟内到达核酸检测点；有 92.7% 的乡镇居民能在 60 分钟内到达核酸检测点；只有 7.3% 的乡镇居民要花超过一小时的时间才能到达核酸检测点。总的来说，乡镇级距离指数频数分布呈集中趋势，核酸检测点的分布能够满足大部分居民的需求。

利用 SPSS 对城区内各乡镇街道级距离指数数据进行频数统计，得到区级距离指数交叉表和频数图：

表 5-2 区级距离指数交叉表

区级距离指数 交叉表

计数

		距离指数						总计
		0	1	2	3	4	5	
北京市区	昌平区	0	0	0	4	5	9	18
	朝阳区	0	0	0	0	4	26	30
	大兴区	0	0	0	2	5	5	12
	东城区	0	0	0	0	0	19	19
	房山区	0	4	1	4	5	10	24
	丰台区	0	0	0	0	4	15	19
	海淀区	0	0	0	0	3	51	54
	怀柔区	0	2	3	5	2	5	17
	门头沟区	0	2	1	4	2	5	14
	密云区	0	4	3	6	4	3	20
	平谷区	1	0	2	7	11	8	29
	石景山区	0	0	0	0	0	15	15
	顺义区	0	0	0	0	13	11	24
	通州区	0	0	0	2	4	8	14

西城区	0	0	0	0	0	29	29
延庆区	0	2	2	5	5	2	16
总计	1	14	12	39	67	221	354

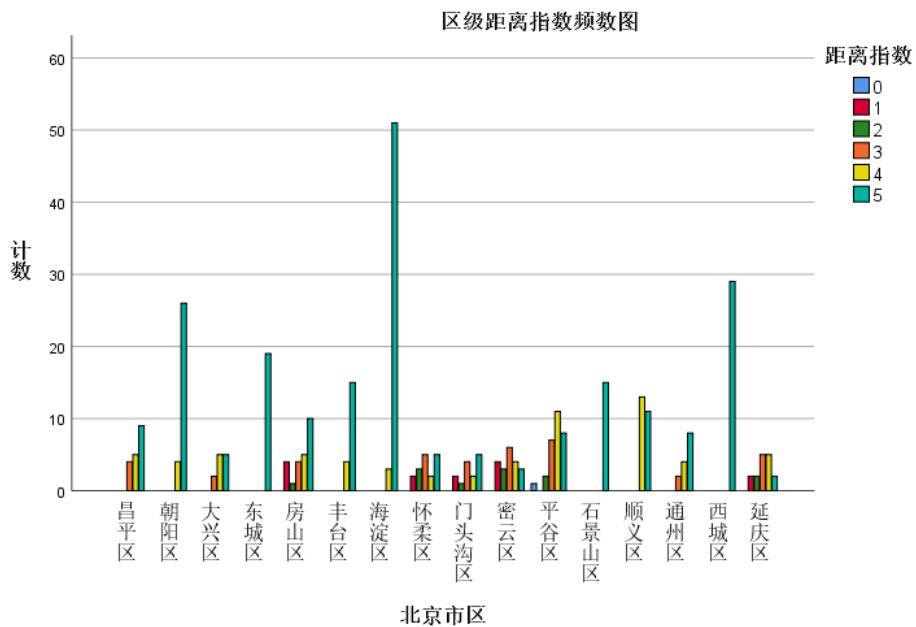


图 5-5 区级距离指数频数图

根据距离指数交叉表和频数图，我们可以看出各城区内的乡镇街道级的距离指数等级的分布情况。以昌平区为例，在昌平区的 18 个乡镇街道级单位中，有 4 个乡镇街道的距离指数等级为 3，有 5 个乡镇街道的距离指数等级为 4，有 9 个乡镇街道的距离指数等级为 5。从整体方面来看，我们发现昌平区、朝阳区、大兴区、通州区的距离指数全都分布在 3, 4, 5 三个等级中，即这四个区的居民都可以在 1 小时内到达核酸检测点；东城区、丰台区、海淀区、石景山区、顺义区、西城区的距离指数全都分布在 4, 5 两个等级中，即这六个区的居民可以在半小时内到达核酸检测点，其中东城区、石景山区、西城区的距离指数全都分布在 5 这个等级内，则这三个区的居民可以在 15 分钟内到达核酸检测点；房山区、怀柔区、门头沟区、密云区、平谷区、延庆区的距离指数则有分布在 0, 1, 2 这三个等级中的，这意味着有些乡镇居民到达核酸检测点需要超过一个小时的时间，对于这些居民来说，他们获得核酸检测服务的时间成本较高。

### 5.3.2 频率指数图

频率指数是指某地被医院服务范围所覆盖的次数，是对居民医院自由度选择的度量。考虑到本研究中所要研究的核酸检测点对于等级医院影响不大，所以选择等级医院的服务时间 1h 作为各级核酸检测机构的服务范围。

以各城区中的各个乡镇街道级区域的几何中心为研究对象，根据北京市道路网，利用 ARCMAP 中的 Network Analyst 工具生成 1h 内各核酸检测机构服务范围，利用空间连接工具计算各乡镇街道级区域被核酸检测点服务范围覆盖的次数，用各乡镇街道被覆盖的频数除以核酸检测点总数得到其频率，形成关于各乡镇街道级区域的频率指数图：

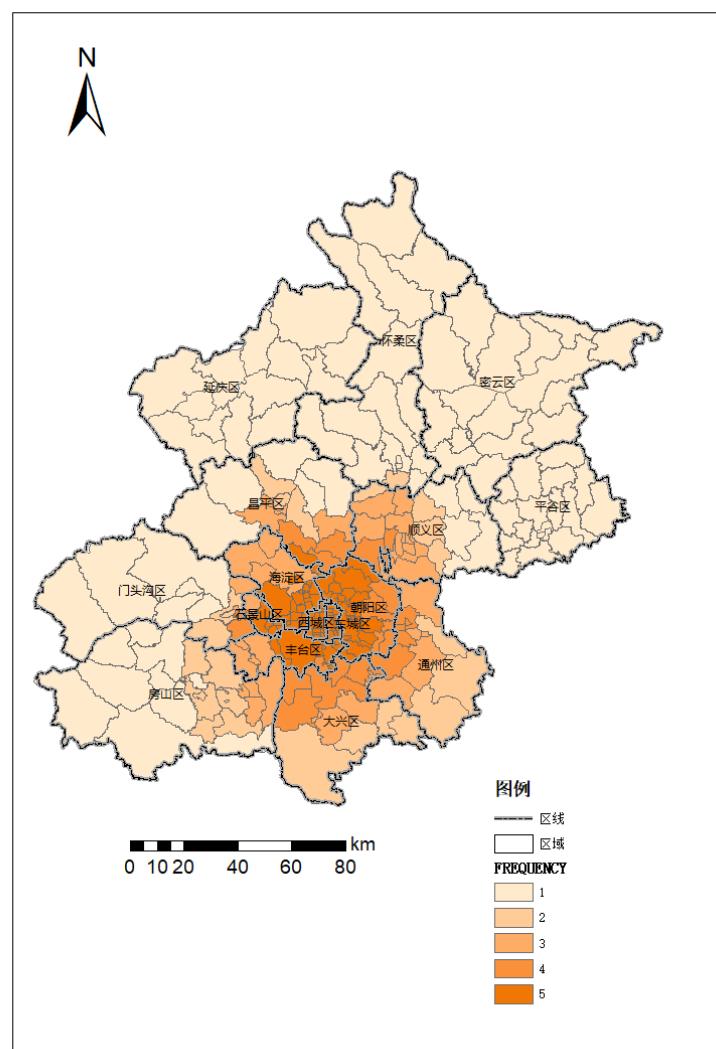


图 5-6 各乡镇街道级区域的频率指数图

在前面生成的网络化的基础上,生出北京市对应  $1\text{km} \times 1\text{km}$  区域的频率指数,同时重复上面操作,形成关于北京市网格化背景下的各乡镇街道级区域的频率指数图:

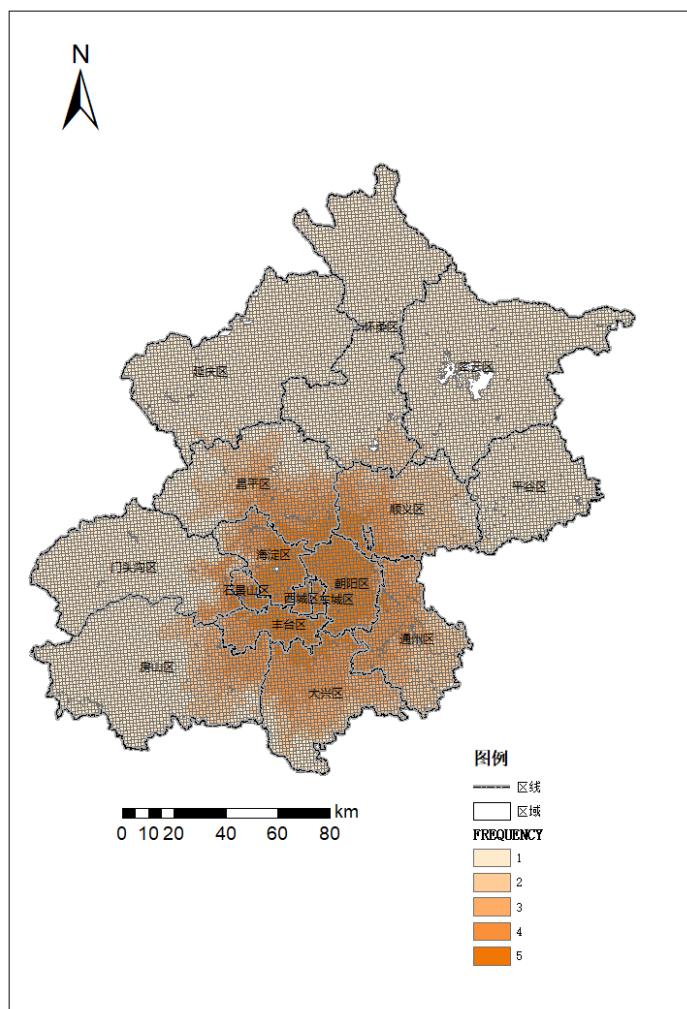


图 5-7 北京市网格化背景下的各乡镇街道级区域的频率指数图

从各乡镇街道级区域的频率指数图和网格化的各乡镇街道级区域的频率指数图中,我们可以看出西城区、东城区的频率指数最高,其次是石景山区、海淀区、朝阳区、丰台区,然后是昌平区、顺义区、通州区、大兴区和房山区的部分区域的频率指数较高。其余的城区频率指数都较低,从北京市核酸检测点位置分布图就可以看出,北京市的核酸检测点主要分布在位于北京市中心的东城区、西城区等城区,因此北京市中心的频率指数最高,并且向四周递减的幅度很大。总

总的来说，频率指数的分布主要受核酸检测点分布的影响，导致市中心的居民的选择自由度最高，而北京市周边城区的选择自由度都很低。

利用 SPSS 对各乡镇街道级区域频率指数数据进行统计得到乡镇级频率指数频数表：

表 5-3 乡镇级频率指数频数表

乡镇级频率指数频数表					
	频数	百分比	有效百分比	累积百分比	
有效	1	105	29.7	29.7	29.7
	2	30	8.5	8.5	38.1
	3	37	10.5	10.5	48.6
	4	32	9.0	9.0	57.6
	5	150	42.4	42.4	100.0
总计		354	100.0	100.0	

在北京市 354 个乡镇单位中，有 29.7% 的乡镇在一小时内能够到达的核酸检测点数量在 0~36 个；有 8.5 % 的乡镇在一小时内能够到达的核酸检测点数量在 37~108 个；有 10.5% 的乡镇在一小时内能够到达的核酸检测点数量在 109~159 个；有 9.0% 的乡镇在一小时内能够到达的核酸检测点数量在 160~196 个；有 42.4% 的乡镇在一小时内能够到达的核酸检测点数量在 197~221 个。总的来说，大多数乡镇对核酸检测点的选择自由度较高，这有利于为居民提供方便的医疗服务。

利用 SPSS 对各乡镇街道级频率指数数据进行频数统计，得到区级频率指数交叉表和频数图：

表 5-4 区级频率指数交叉表

		频率指数					总计
		1	2	3	4	5	
北京市区	昌平区	5	3	4	4	2	18
	朝阳区	0	0	0	8	22	30
	大兴区	0	4	3	5	0	12
	东城区	0	0	0	0	19	19
	房山区	9	10	5	0	0	24
	丰台区	0	0	3	1	15	19
	海淀区	0	0	3	0	51	54
	怀柔区	16	1	0	0	0	17

门头沟区	6	3	2	3	0	14
密云区	20	0	0	0	0	20
平谷区	29	0	0	0	0	29
石景山区	0	0	1	2	12	15
顺义区	4	6	11	3	0	24
通州区	0	3	5	6	0	14
西城区	0	0	0	0	29	29
延庆区	16	0	0	0	0	16
总计	105	30	37	32	150	354

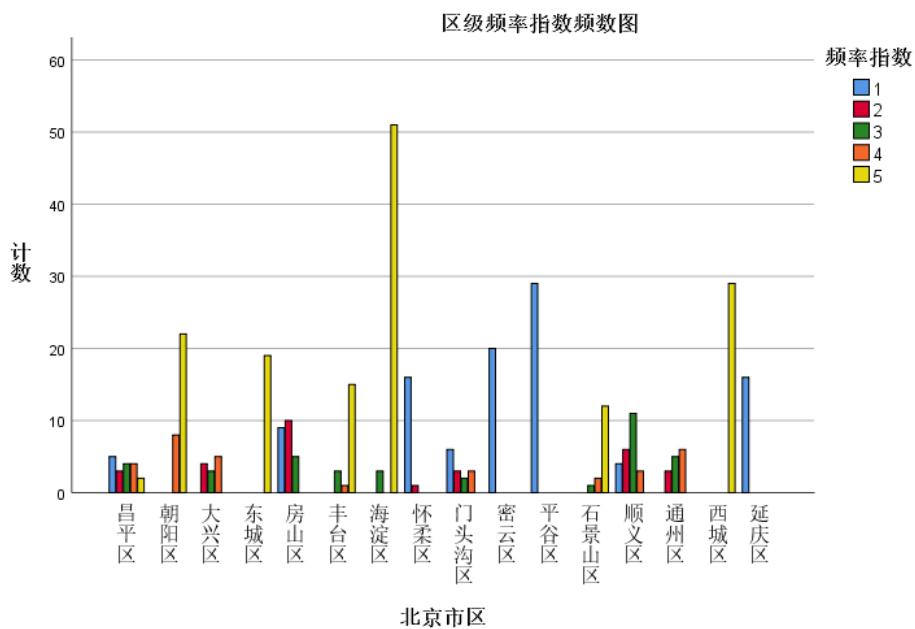


图 5-8 区级频率指数频数图

根据频数交叉表和频数图，我们可以将北京市 16 个区大致分为三个类型：

频率指数基本都分布在 1 和 2 这两个等级，如房山区、怀柔区、门头沟区、密云区、平谷区、延庆区，说明这六个区对核酸检测点的选择自由度很低，即这六个区的居民如果需要进行核酸检测，那么他们可能只能在比较有限的核酸检测点中进行选择，这有可能加长他们到达检测点的时间；频率指数在五个等级中分布均匀，如昌平区、大兴区、顺义区、通州区，这说明这四个区的选择自由度较好，居民基本能够根据自身情况选择核酸检测点；频率指数基本分布在 4, 5 两个等级，如朝阳区、东城区、丰台区、海淀区、石景山区、西城区，这说明这六个区的自由选择度很好，居民完全可以根据自己的实际情况决定去哪个核酸检测点。

### 5.3.3 优势度相关图像

本文中核酸检测点优势度 $=\frac{2}{3}\alpha+\frac{1}{3}\beta$ ，得出距离指数图和频率指数图之后，在ArcGIS中对两个指标图层进行上式运算，得到关于各乡镇街道级区域的优势度图：

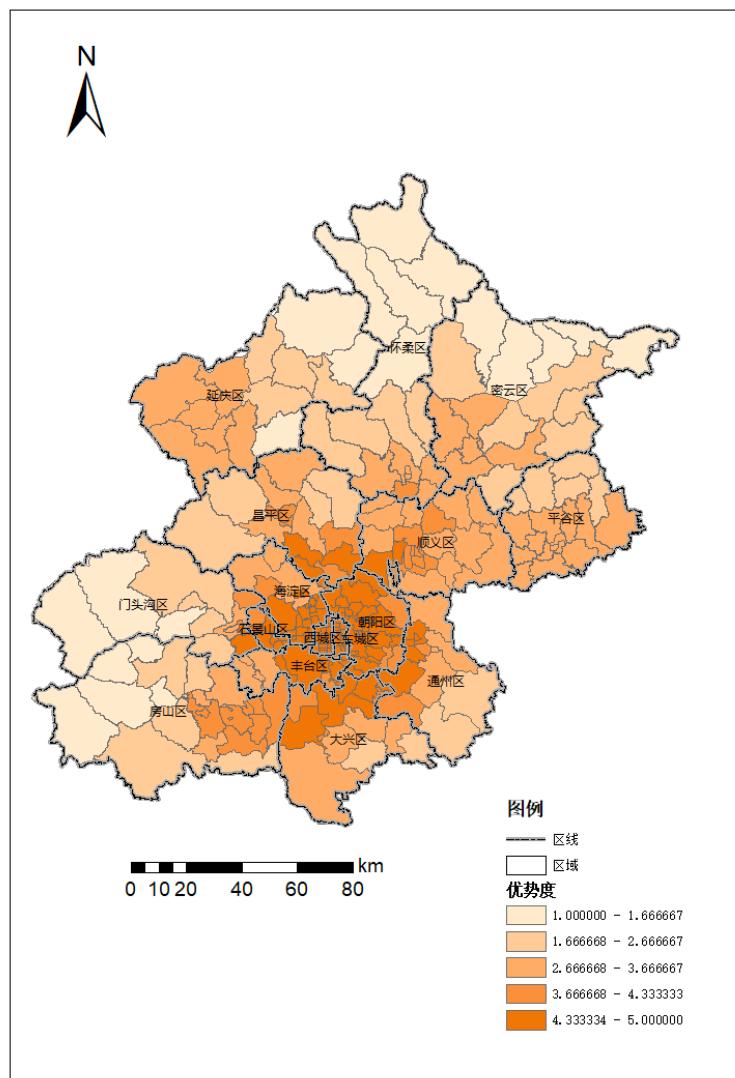


图 5-9 各乡镇街道级区域的优势度图

在距离指数图的基础上生成基于网格化的距离指数图，与基于网格化的频率指数图进行拟合，生成基于网格化的优势度图：

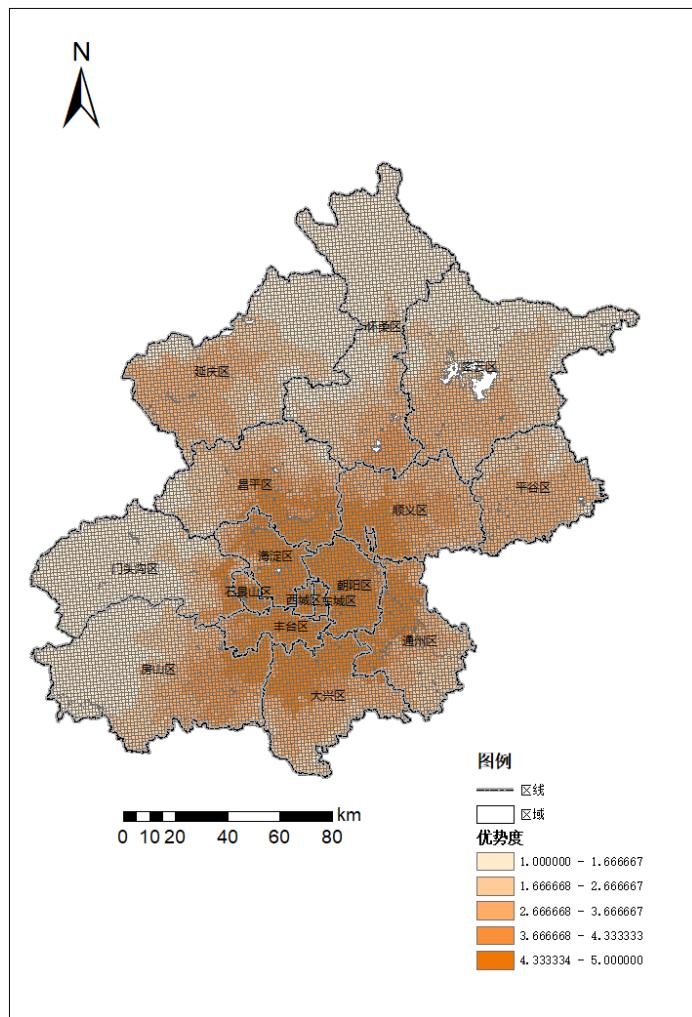


图 5-10 基于网格化的优势度图

从各乡镇街道级区域的优势度图和网格化的各乡镇街道级区域的优势度图来看，整体上，优势度最小的区域是北京市的北部和西南部区域，优势度最高的是市中心。具体来看，西城区、东城区、丰台区、朝阳区、石景山区的优势度最高，其次是昌平区、延庆区、顺义区、通州区、大兴区、房山区、平谷区，其余的城区优势度最小。总的来说，优势度以北京市中心最高，然后向四周大致呈辐射状减小，减小幅度不大。

具体各乡镇对应关系见附录数据表格中的“各街道距离指数、频率指数、优势度总表”，利用 SPSS 对各乡镇街道级优势度数据进行频数统计，得到乡镇级优势度频数表：

表 5-5 乡镇级优势度频数表

乡镇级优势度频数表					
	频数	百分比	有效百分比	累积百分比	
有效	1. 000000000	14	4. 0	4. 0	4. 0
	1. 666666667	12	3. 4	3. 4	7. 3
	2. 333333333	34	9. 6	9. 6	16. 9
	2. 666666667	6	1. 7	1. 7	18. 6
	3. 000000000	27	7. 6	7. 6	26. 3
	3. 333333333	16	4. 5	4. 5	30. 8
	3. 666666667	34	9. 6	9. 6	40. 4
	4. 000000000	15	4. 2	4. 2	44. 6
	4. 333333333	22	6. 2	6. 2	50. 8
	4. 666666667	25	7. 1	7. 1	57. 9
	5. 000000000	149	42. 1	42. 1	100. 0
	总计	354	100. 0	100. 0	

根据距离指数和频率指数算得的优势度数值共有 11 个，优势度是评估核酸检测点空间可及性的综合指标，优势度数指越大，代表该乡镇越容易获得医疗服务，选择自由度也越高。在 354 个乡镇单位中，有 42.1% 的乡镇优势度为 5；有 7.1% 的乡镇优势度为 4.7；有 6.2% 的乡镇优势度为 4.3；有 4.2% 的乡镇优势度为 4；有 9.6% 的乡镇优势度为 3.7；有 4.5% 的乡镇优势度为 3.3；有 7.6% 的乡镇优势度为 3；有 1.7% 的乡镇优势度为 2.7；有 9.6% 的乡镇优势度为 2.3；有 3.4% 的乡镇优势度为 1.7；有 4.0% 的乡镇优势度为 1。总的来说，大部分乡镇的优势度在 3 以上，可以认为大部分乡镇都能够比较容易地获得医疗服务并具有一定的选择自由度。

利用 SPSS 对各乡镇街道级优势度数据进行频数统计，得到区级优势度交叉表和频数图：

表 5-6 区级优势度交叉表

区级优势度 交叉表												
计数												
优势度												
. 00	1. 00	1. 66	2. 33	2. 66	3. 00	3. 33	3. 66	4. 00	4. 33	4. 66	5. 00	总计
00	00	67	33	67	00	33	67	00	33	67	00	18
北昌	0	0	0	4	0	1	2	1	2	3	3	2
京平												
市 区												

区	朝阳区	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	22	30
	大兴区	0	0	0	0	2	0	2	2	1	1	4	0	12
	东城区	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	19
	房山区	0	4	1	3	1	1	4	0	5	5	0	0	24
	丰台区	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	15	19
	海淀区	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	50	54
	怀柔区	0	2	3	5	0	2	0	4	1	0	0	0	17
	门头沟区	0	2	1	3	1	0	2	0	0	2	3	0	14
	密云区	0	4	3	6	0	4	0	3	0	0	0	0	20
	平谷区	1	0	2	7	0	11	0	8	0	0	0	0	29
	石景山区	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	12	15
	顺义区	0	0	0	0	0	3	5	6	1	6	3	0	24
	通州区	0	0	0	0	2	0	1	3	0	2	6	0	14

西城区	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	29
延庆区	0	2	2	5	0	5	0	2	0	0	0	0	16
总计	1	14	12	33	6	27	16	34	15	22	25	149	354

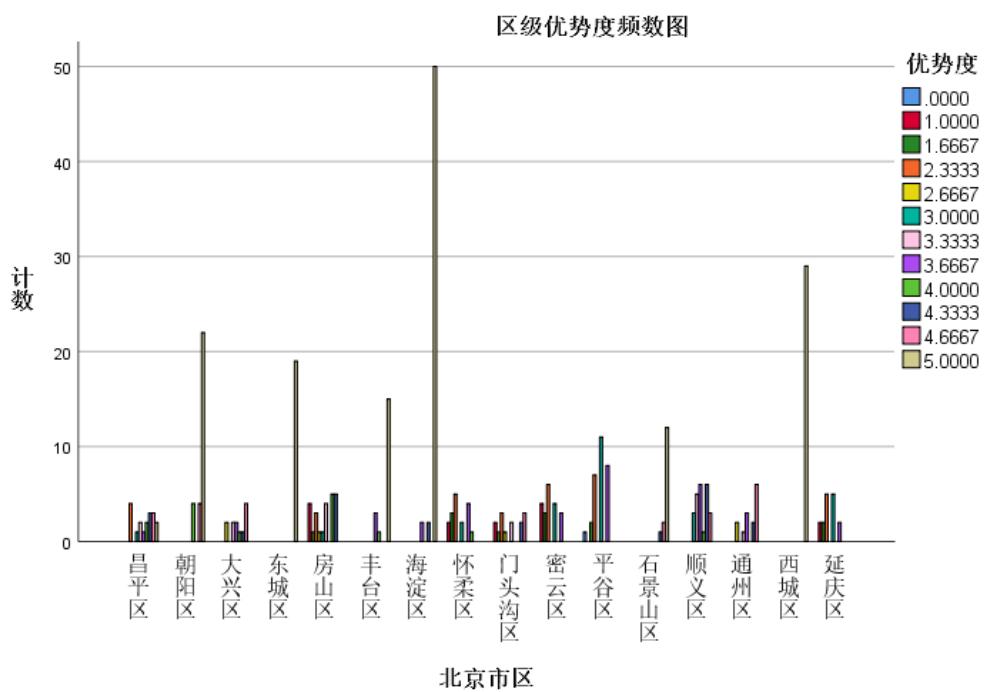


图 5-11 区级优势度频数图

根据区级优势度交叉表和频数图, 我们仍然可以将北京市 16 个区大致分为三类: 优势度基本分布在 3 以上, 如昌平区、朝阳区、大兴区、东城区、丰台区、海淀区、顺义区、石景山区、通州区、西城区, 综合来说, 这十个区的空间可及性较好, 易于获得优质的核酸检测服务; 优势度基本分布在 3 以下, 如怀柔区、密云区、延庆区, 这三个区的空间可及性较差, 获得核酸检测服务的时间成本高; 优势度较均匀地分布在 3 左右, 如房山区、门头沟区、平谷区, 这三个区的空间可及性一般, 能够获得一定程度的核酸检测服务。其中, 东城区和西城区的优势度全部分布在 5 这个最高等级中, 综合看来, 东城区和西城区是北京市核酸检测服务空间可及性最好的两个区。

## 5.4 核酸检测机构优势度空间分布影响因素

造成上述优势度分布的影响因素主要有人口因素、经济因素、交通因素及政策导向。具体因素分析见下：

1) 人口因素：在东城区、西城区等优势度明显的地方也是人口密度最大的地方，核酸检测机构大多数属于二级及以上医院，他们的设立也是为了更好地服务人民，因此在北京市人口密度大的地方核酸检测机构多是符合逻辑的。该地区的医疗卫生事业发展较快。随着北京的发展，近郊和远郊的人口都在逐渐增多，目前近郊的通州、石景山等区域已经也基本实现了很高的优势度，而远郊的延庆，由于人口密度还不是很大，尚未达到很高的优势度。

2) 经济因素：大型的医疗机构，尤其是综合性的大型医院，其建立和维护的成本相当高昂，资金投入不足，单靠政府投资是难以满足新的医疗需求。所以在经济比较发达的朝阳区、海淀区建立起了更多的核酸检测机构。而对于第三方机构而言，其考虑到经济因素会考虑到把机构地址建立在经济稍微差一点的城区。

3) 交通因素：交通因素是决定人们就医水平的一个重要因素，良好便捷的交通是服务人民就医的关键。在北京的城市道路交通上，在东城区、西城区、海淀区、朝阳区等地的道路交通网十分发达，人们可以选择多种途径快速就医，因此，在这些区域的优势度很高，同时交通因素也是在人口和经济因素的基础上实现的。

4) 政策导向影响：在北京市的发展过程中，是呈中心城区向四周辐射状发展的，目前五环以内的城区已经在人口、经济、交通、教育等多个层次发展到了一种十分高的级别，相对应的医疗机构配备也应达到配套水平。而随着远郊的开发，一些企业、大学陆续入驻，其必然也有相应的医疗机构的增设，其中第三方实验室就有大部分入驻了远郊的大兴等城区。

## 第六部分 核酸检测设备的计算

### 6.1 相关标准

#### 6.1.1 核酸检测能力标准

在《国务院应对新型冠状病毒感染肺炎疫情联防联控机制关于进一步做好当前新冠肺炎疫情防控工作的通知（国办发明电〔2021〕1号）》中，政府考虑到疫情的危险传播性，将疫情控制住是刻不容缓的，对于各个城市给出了明确的核酸检测能力定下了标准，“常住人口500万以下的城市，通过统筹省内资源，具备在2天内完成全员检测的能力。常住人口500万以上的城市，通过统筹省内资源和国家支持，具备在3--5天内完成全员检测的能力<sup>28</sup>。”

考虑人口因素，地理因素，在本文中将北京市核酸检测资源的储备能力定为在4天内能够完成全部核酸检测。

#### 6.1.2 核酸检测设备相关要求

关于核酸检测点的设立需要满足三大基本实验室资质要求。

首先是开展核酸检测的实验室，应当符合《病原微生物实验室生物安全管理条例》（国务院令第424号）和《医疗机构临床基因扩增检验实验室管理办法》（卫办医政发〔2010〕194号）有关规定，具备经过卫生健康行政部门审核备案的生物安全二级及以上实验室条件，以及临床基因扩增检验实验室条件。独立设置的医学检验实验室还应当符合《医学检验实验室基本标准（试行）》《医学检验实验室管理规范（试行）》等要求。第二是满足实验室分区要求。原则上开展新冠病毒核酸检测的实验室应当设置以下区域：试剂储存和准备区、标本制备区、扩增和产物分析区。这3个区域在物理空间上应当是完全相互独立的，不能有空气的直接相通。第三是满足设备要求，即具有主要仪器设备。实验室应当配备与开展检验项目相适宜的仪器设备，包括核酸提取仪、医用PCR扩增仪、生物安全柜、病毒灭活设备（适用时，如水浴锅等）、保存试剂和标本的冰箱和冰柜、离心机、不间断电源（UPS）或备用电源等<sup>29</sup>。

对于前两点，可以通过将现有空间进行改造完成，前期准备虽需要一定的时间，但是对于控制疫情而言，这样的实验室设置无论对于新冠疫情防控还是未来

用作其他传染病，如鼠疫、结核等的治理也是很有用处的。而第三点核酸检测设备是关乎核酸检测能力的关键指标。

### 6.1.3 核酸检测设备选取及指标

上海市中医医院通过比对不同场家，不同类型的核酸扩增仪，选取之江生物作为核酸提取仪及核酸扩增仪的厂家<sup>30</sup>。本研究在此基础上，通过横向比较之江旗下的几大核酸扩增仪及核酸提取仪，制定不同核酸检测方案，又考虑时间及人工以及安全问题，在制定的方案中选取最为合适的核酸提取方案。下面是本研究所需要的几种之江旗下的仪器及提取方案。

在本研究中，考虑到疫情的危险性，将仪器进行全天 24 小时无间断工作。在对核酸检测点分析中，将 10:1 混检范围的中位数作为每日检测量，最后考虑效率问题，本研究的仪器选择的是方案一（见附录一）。

## 6.2 泰森多边形

泰森多边形又叫冯洛诺伊图（Voronoi diagram），得名于 Georgy Voronoi，是一组由连接两邻点线段的组成的连续多边形组成。一个泰森多边形内的任一点到构成该多边形的控制点的距离小于到其他多边形控制点的距离。

利用 ArcGIS 的“创建泰森多边形”工具，以 252 家核酸检测机构为研究对象，生成关于各核酸检测机构的泰森多边形，再通过“裁剪”工具得到北京市各核酸检测机构的泰森多边形，然后利用“以表格显示分区统计”工具计算得到各分区对应的人口数量的最大值、最小值和平均数以及总数，并利用“属性连接”工具将其和泰森多边形连接起来，考虑核酸检测能力标准，计算得到核酸检测设备数量。计算公式如下：

$$\text{核酸检测设备数量} = \text{人口总数}/(4 * 13440)$$

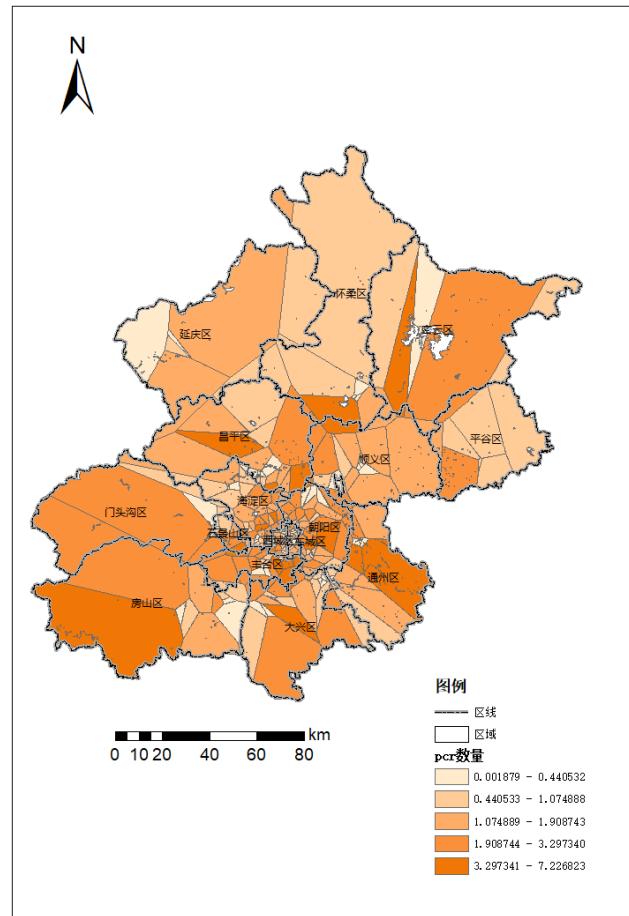


图 6-1 泰森多边形

具体各机构对应核酸检测设备分配关系见附录数据表格中的“泰森多边形核酸检测点及检测设备对应关系”，利用 SPSS 对各城区核酸检测机构数量及核酸检测设备数量进行统计，得到城区核酸检测机构及 PCR 仪数量表：

表 5-1 城区核酸检测机构及 PCR 仪数量表

城区核酸检测机构及 PCR 仪数量表

		核酸检测机构数	PCR 仪数量
北京市区	昌平区	24	27.26
	朝阳区	35	56.65
	大兴区	23	27.21
	东城区	14	13.59
	房山区	11	15.68
	丰台区	19	38.21
	海淀区	40	53.34

怀柔区	7	6.71
门头沟区	6	7.45
密云区	3	6.1
平谷区	6	6.41
石景山区	7	14.93
顺义区	13	13.04
通州区	12	16.31
西城区	27	24.22
延庆区	5	4.33
总计	252	331.44

表中列出了北京市十六个区各有的核酸检测机构数量，并根据人口密度以及相关政策计算出各区所需的 pcr 仪数量。为了确保能够满足核酸检测的需求，实际所需的 pcr 仪数量应在整数部分再加 1，即昌平区需要 28 台，朝阳区需要 57 台，大兴区需要 28 台，东城区需要 14 台，房山区需要 16 台，丰台区需要 39 台，海淀区需要 54 台，怀柔区需要 7 台，门头沟区需要 8 台，密云区需要 7 台，平谷区需要 7 台，石景山区需要 15 台，顺义区需要 14 台，通州区需要 17 台，西城区需要 25 台，延庆区需要 5 台。

利用 SPSS 对城区内各乡镇街道级区域的核酸检测设备数量进行统计，得到北京市区级 pcr 仪数量交叉表：

表 6-2 北京市区级 pcr 仪数量交叉表

		北京市区级 pcr 仪数量 交叉表								
		pcr 仪数量								
计数		0	1	2	3	4	5	6	7	总计
		11	8	1	1	2	1	0	0	24
北京市区	昌平区	8	11	9	5	1	0	0	1	35
	朝阳区	7	8	5	2	1	0	0	0	23
	大兴区	4	7	3	0	0	0	0	0	14
	东城区	3	3	4	0	0	1	0	0	11
	房山区									

丰台区	3	5	5	1	4	1	0	0	19
海淀区	7	16	13	2	2	0	0	0	40
怀柔区	3	3	0	1	0	0	0	0	7
门头沟区	2	2	1	1	0	0	0	0	6
密云区	1	0	1	0	1	0	0	0	3
平谷区	0	5	1	0	0	0	0	0	6
石景山区	0	3	2	1	0	0	1	0	7
顺义区	5	3	5	0	0	0	0	0	13
通州区	6	3	0	1	1	1	0	0	12
西城区	9	14	3	1	0	0	0	0	27
延庆区	2	2	1	0	0	0	0	0	5
总计	71	93	54	16	12	4	1	1	252

该表列出的是北京市各区各个核酸检测点所需的 pcr 仪数量。例如，昌平区共有 24 个核酸检测点，其中需要 1 台 pcr 仪的检测点有 8 个，需要 2 台 pcr 仪的检测点有 1 个，需要 3 台 pcr 仪的检测点有 1 个，需要 4 台 pcr 仪的检测点有 2 个，需要 5 台 pcr 仪的检测点有 1 个，需要 6 台 pcr 仪的检测点有 0 个，需要 7 台 pcr 仪的检测点有 0 个。

### 6.3 网络分析核酸检测最佳分配

空间网络分析是 GIS 空间分析的重要组成部分。网络是一个由点、线的二元关系构成的系统，通常是用来描述某种资源或物质在空间上的运动。GIS 的网络分析是依据网络的拓扑关系，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的一种分析计算。

在网格化的基础上利用网络分析中的“新建位置分配”功能得到各网格点对应的最近的核酸检测点机构。通过“融合”功能得到各核酸检测机构对应的网络

分析区域，重复泰森多边形步骤，得到各核酸检测点机构的服务范围及人口数据及对应的核酸检测设备数量。

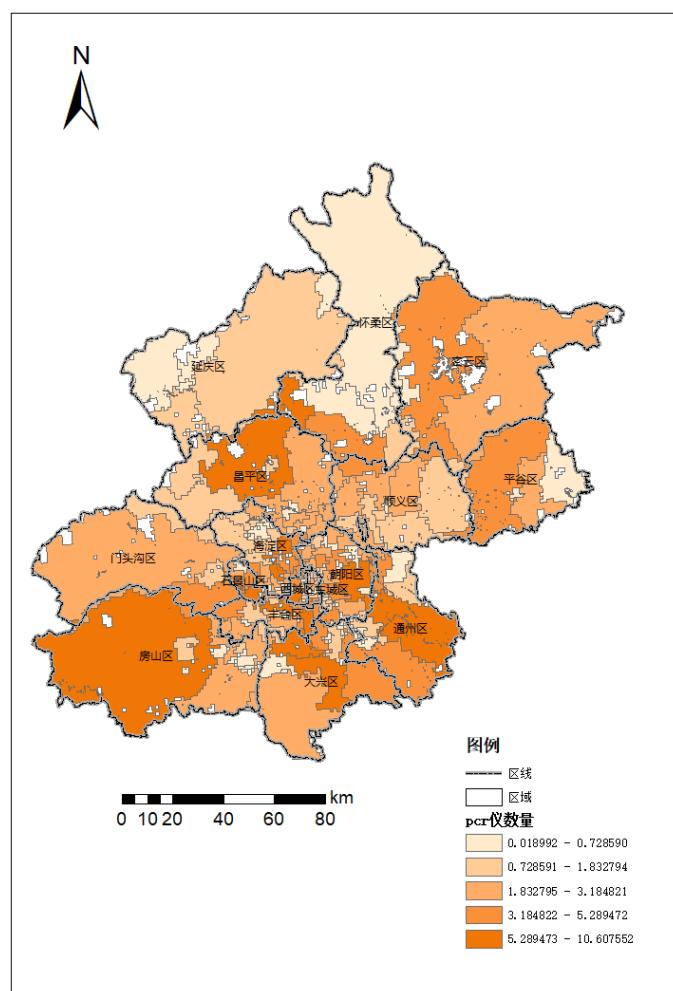


图 6-2 各区域对应的核酸检测设备数量

具体各机构对应核酸检测设备分配关系见附录数据表格中的“网络分析核酸检测点及检测设备对应关系”，利用 SPSS 对各城区核酸检测机构数量及核酸检测设备数量进行统计，得到网络分析核酸检测机构数量及设备数量表：

表 6-3 网络分析核酸检测机构数量及设备数量表

	网络分析核酸检测机构及设备数量	
	检测机构数量	Pcr 仪数量
北京市区	昌平区	13
	朝阳区	30
	大兴区	18
	东城区	9

房山区	10	16.92
丰台区	17	33.06
海淀区	29	52.98
怀柔区	6	6.48
门头沟区	4	8.48
密云区	3	6.28
平谷区	5	6.41
石景山区	6	11.63
顺义区	10	13.67
通州区	8	16.95
西城区	18	26.77
延庆区	5	4.32
总计	191	327.01

表中列出了北京市十六个区各有的核酸检测机构数量，利用网络分析，根据人口密度以及相关政策计算出各区所需的 pcr 仪数量。为了确保能够满足核酸检测的需求，实际所需的 pcr 仪数量应在整数部分再加 1，即昌平区需要 24 台，朝阳区需要 58 台，大兴区需要 27 台，东城区需要 16 台，房山区需要 17 台，丰台区需要 34 台，海淀区需要 53 台，怀柔区需要 7 台，门头沟区需要 9 台，密云区需要 7 台，平谷区需要 7 台，石景山区需要 12 台，顺义区需要 14 台，通州区需要 17 台，西城区需要 27 台，延庆区需要 5 台。

利用 SPSS 对城区内各乡镇街道级区域的核酸检测设备数量进行统计，得到北京市区级 pcr 仪数量交叉表和分布图：

表 6-4 北京市区级 pcr 数量交叉表

北京市区级 pcr 数量 交叉表														
		计数												总计
		pcr 数量												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	总计
北京	昌平	4	2	4	2	0	0	1	0	0	0	0	0	13
市	区													
朝	阳	9	8	4	3	5	0	0	0	0	0	1	30	
大	兴	10	2	1	2	0	1	2	0	0	0	0	18	
东	城	0	5	3	0	0	1	0	0	0	0	0	9	
房	山	4	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	10	

丰台区	6	5	2	1	0	1	0	0	2	0	0	17
海淀区	7	11	2	3	3	1	2	0	0	0	0	29
怀柔区	2	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6
门头沟区	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	4
密云区	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
平谷区	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	5
石景山区	4	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	6
顺义区	2	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	10
通州区	2	4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	8
西城区	7	6	2	0	0	2	0	1	0	0	0	18
延庆区	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
总计	65	54	27	13	14	6	6	2	2	1	1	191

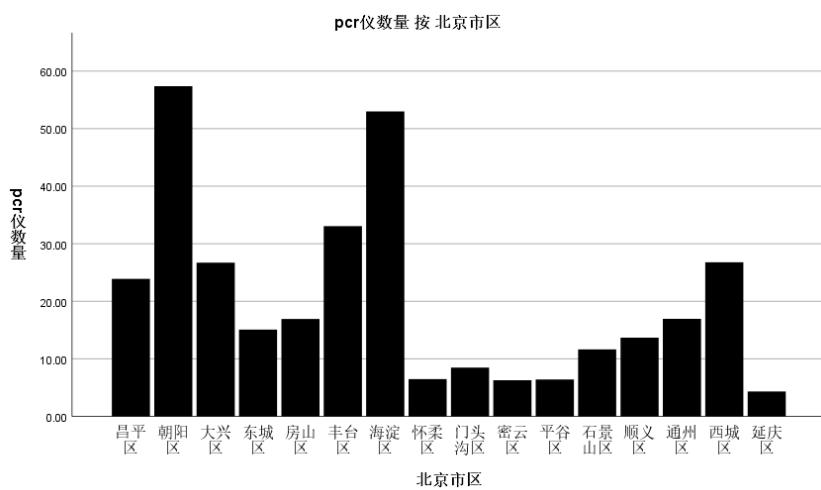


图 6-3 北京市各区各个核酸检测点所需的 pcr 仪数量

该表列出的是利用网络分析计算的北京市各区各个核酸检测点所需的 pcr 仪数量。例如，昌平区共有 13 个核酸检测点，其中需要 1 台 pcr 仪的检测点有 2 个，需要 2 台 pcr 仪的检测点有 4 个，需要 3 台 pcr 仪的检测点有 2 个，需要 4

台 pcr 仪的检测点有 0 个，需要 5 台 pcr 仪的检测点有 0 个，需要 6 台 pcr 仪的检测点有 1 个，需要 7 台 pcr 仪的检测点有 0 个，需要 8 台 pcr 仪的检测点有 0 个，需要 9 台 pcr 仪的检测点有 0 个，需要 11 台 pcr 仪的检测点有 0 个。

## 第七部分 总结与建议

### 7.1 总结

本文从地理学科特色出发，首先在 GIS 软件的支持下，以北京市现有核酸检测点机构为研究对象，以北京市路网数据为基础建立了北京市的路网数据集。其次，在 GIS 空间数据分析、展示功能基础上，通过对北京市路网矢量数据、北京市核酸检测点位置数据、分辨率为 100m 的北京市人口数据、全国区县级数据、全国乡镇街道级数据的分析，构建了核酸检测点布局现状评价优势度模型，对北京市现有的核酸检测点布局现状进行了可视化分析和评价，分析和评价结果以空间地图形式表达。最后，我们依据分析评价的结果，对北京市核酸检测点的布设提出了一些针对性建议，最终以空间地图表现的结果可供决策者提供参考。本次研究得出的结论主要如下：

通过建立优势度模型进行核酸检测点空间可及性评价，结合 GIS 地理信息软件分析展示发现：

利用 ArcGIS 对核酸检测点空间可及性评价的结果以空间地图的形式展示，图中不同等级的区域用不同的颜色表示，决策者在调配核酸检测点等基础医疗物资时，可以以所得的空间地图作为一定的参考依据，使医疗资源的调配更加合理高效。

本研究的创新点：

1. 将 GIS 强大的分析、可视化展示功能用于医疗资源空间可及性的评估。
2. 利用 GIS 进行评估结果的可视化展示，将结果以空间地图的形式输出，使评估结果更加直观清晰，有利于为决策者的合理决策提供参考和帮助。
3. 本文研究内容以新冠疫情背景下的核酸检测点布设问题为主，不仅仅局限于基础医疗资源的配置，对突发公共卫生事件时应急医疗物资的配置也有一定意义。
4. 在应对突发公共卫生事件时，可以利用本文的评估方法对应急医疗物资的优化配置进行实时动态检测，提供一定的参考作用。

现有研究的不足：

1. 收集数据有限，本文只考虑了人口密度、路网等有限的主要影响因素，pcr仪的型号和通量也是统一取值，可以考虑更多因素，收集更齐全的数据，提高研究的准确性和可行性。
2. 模型是基于很多假设的一种理想情况，和实际情况相比，过于简单，可以将复杂的实际因素考虑在内，减少假设，使研究的情景更加贴近实际情况。
3. 本研究可用于实时评估当前的医疗资源分布的空间可及性，但其预测功能仍有不足。可以进一步完善模型的构建，以便于对突发公共卫生事件的医疗资源配置有更好的预测结果。
4. 本研究还可以结合计算机语言，将更完善的模型进行程序化，以实现对不同场景、不同地区的多层次评估和分析，使其功能更加完善、方便、准确。

## 7.2 建议

1. 以政府政策为导向，实现医疗机构的精准布局。医疗机构的设立基本上是在政府政策的导向下进行的。在对于医疗机构的增设上，要以政策为导向，进行精准布局。在布局时，要综合考虑人口、经济、交通等多层次的因素，不因为某处的优势度高低就进行机构的增设，而应紧跟政策，在合适的时间节点，有条理地进行机构布局，实现人民享受医疗服务的最优化。
2. 统筹规划，实现医疗资源的最佳分配。坚持政策方针，以片区作为基本单位，片区负责，片区问责。以核酸检测为例，在核酸检测不同时期，采取不同处理措施，对于资源进行最佳分配。首先做好紧急应急预案，实现处理一级公共卫生事件的能力。在需要全员检测时，应具备足够的检测设备，并考虑危险因素，将资源进行集中于定点核酸检测机构，充分发挥第三方机构在核酸检测中具备的快速检测能力，实现核酸检测的最大效率。在后疫情时代，应尽力提高人民就医、检测的可及性，将设备进行再度调配，在最大范围内，方便人们检测；同时也可采取点对点支援政策，由其他片区相对压力小的区域对于压力大的区域进行定点支援。
3. 动态监测，精准调控。在控制重大传染病的整个过程中，要做到全程动态检测，精准调控。

4. 合理规划后疫情时代医疗资源分配，实现人民医疗服务水平的提高。疫情中增设的检测设备，大部分是可以应用于很多医疗服务，要合理利用这些医疗资源，实现人民医疗服务水平的提高。

## 参考文献

1. 吴诗品.防控新发传染病,人类的永恒课题[J].新发传染病电子杂志,2017,2(01):1-4.
2. 郭子予,汪文新,刘冰.新发重大传染病频发背景下疾病预防控制工作的卫生经济学再评价[J].中国卫生经济,2020,39(10):47-50.
3. 郭子予,汪文新,刘冰.新发重大传染病频发背景下疾病预防控制工作的卫生经济学再评价[J].中国卫生经济,2020,39(10):47-50.
4. 詹思延.流行病学 (第 8 版 / 本科预防 [M]. 北京: 人民卫生出版社,2017:196
5. 瞿介明,曹彬.中国成人社区获得性肺炎诊断和治疗指南(2016 年版)[J].中华结核和呼吸杂志,2016,39(04):253-279.
6. Xiao Y, Li Z, Wang X, et al. Comparison of three TaqMan real-time reverse transcription-PCR assays in detecting SARS-CoV-2 [J]. J. Virol. Methods, 2021, 288: 114030.  
杨雪,梁文,杨镇洲,徐勤,李妍,闻艳丽,刘刚,许丽.新型冠状病毒核酸标准物质现状分析[J/OL].化学试剂:1-9[2021-04-08]. <https://doi.org/10.13822/j.cnki.hxsj.2021008199>.
7. 北京医疗机构发热门诊临床实验室能力建设专家共识[J].中华检验医学杂志,2020,43(08):780-786.
8. 刘勤.卫生经济学常用评价方法浅析[J].中国现代医学杂志,2009,19(12):1913-1915.
9. T.C. Ricketts. Geographic information systems and public health Ann. Rev. Public Health, 24 (2003), pp. 1-6
10. L. Anselin, I. Syabri, Y. Kho GeoDa: an introduction to spatial data analysis Geogr. Anal., 38 (2006), pp. 5-22
11. Kuupiel, D., Adu, K.M., Apiribu, F. et al. Geographic accessibility to public health facilities providing tuberculosis testing services at point-of-care in the upper east region, Ghana. BMC Public Health 19, 718 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7052-2>
12. Yao J, Agadjanian V, Murray AT. Spatial and social inequities in HIV testing utilization in the context of rapid scale-up of HIV/AIDS services in rural Mozambique. Health Place. 2014 Jul;28:133-41. doi: 10.1016/j.healthplace.2014.04.007
13. Guagliardo MF. Spatial accessibility of primary care. International Journal of Health Geographics, 2004, 3:3.
14. Gordon I, Vickerman R. Opportunity, preference and constraint: an approach to the analysis of metropolitan migration. Urban Studies. 1982, 19:247-261.
15. 陈向明. 质的研究方法与社会科学研究. 北京: 教育科学出版社, 2000
16. 周少钦. 广西二级以上医院医疗服务空间可及性及公平性分析[D].广西医科大学,2018.

17. 赵睿,朱坤,刘峰.后疫情时代下基层医疗卫生机构突发公共卫生事件应对能力现状研究[J].卫生软科学,2021,35(03):90-93.
18. 王晨,邹丹丹,赵娟,孙明雷,梁立波.突发公共卫生事件应急物资准备的研究——以新冠肺炎疫情为视角[J].中国农村卫生事业管理,2021,41(03):160-165.
19. 代佳欣.可及性的概念、测度及影响因素研究:文献综述[J].学习与实践,2017(04):86-94.
20. 沈玉卿,白灵瑶,程杨,张佳伟,杨莉.基于综合指标体系评价北京市二、三级医院住院服务的空间可及性[J].中国卫生信息管理杂志,2020,17(05):675-681.
21. 陶海燕,陈晓翔,黎夏.公共医疗卫生服务的空间可达性研究——以广州市海珠区为例[J].测绘与空间地理信息,2007(01):1-5.
22. 徐飞龙. 基于 GIS 空间分析的医院布局研究[D].重庆医科大学,2014.
23. 赵方胤,王翠萍,宋冉冉.基于 GIS 缓冲区分析的济南市医院分布合理性研究[J].科技视界,2012(03):51-53+57.
24. 许昕,赵媛.基于 GIS 技术的镇江市中心城区医疗机构空间分布研究[J].南京师范大学学报(工程技术版),2015,15(04):58-65.
25. 徐飞龙. 基于 GIS 空间分析的医院布局研究[D].重庆医科大学,2014.
26. 江晓欢,余明,丁凤.基于 GIS 的福州市医疗机构空间分布研究[J].亚热带资源与环境学报,2011,6(04):70-74.
27. 苏欣,黄雁.基于 GIS 的南岸区公立医疗资源空间分布研究[J].地理空间信息,2020,18(11):114-117+8.
28. 国务院应对新型冠状病毒感染肺炎疫情联防联控机制关于进一步做好当前新冠肺炎疫情防控工作的通知[J].中华人民共和国国务院公报,2021(04):13-15.
29. 医疗机构新型冠状病毒核酸检测工作手册(试行)[J].中国病毒病杂志,2020,10(04):241-245.
30. 袁勋,顾泽华,邵蕾.疫情期间医院配备新型冠状病毒核酸检测设备方案的探讨[J].外科研究与新技术,2020,9(04):280-286.

## Abstract

The COVID-19 is still a global health threat, with the number of confirmed cases in 2021 to more than 100 million. The early diagnosis has great benefits for the country to carry out epidemic prevention measures and reduce the recurrence rate, mortality and the catastrophic costs associated with the treatment of COVID-19, and play an important role in national epidemic prevention. At present, the detection of SARS-CoV-2 nucleic acid is still the gold standard for diagnosing COVID-19. It is also a widely used and easily available test method. Nucleic acid testing has attracted the attention of the society and the National Health Commission. Under the normalization of the epidemic situation, the National Health Commission has adopted a series of measures to improve the nucleic acid testing capabilities of various regions. The overall arrangement of nucleic acid testing resources is an important part.

We calculate the number of PCR(DNA polymerase chain reaction) devices required for nucleic acid testing sites in Beijing based on relevant national policies. Then, we use ArcGIS system, Beijing road network information, and population density data to analyze the spatial distribution characteristics of existing nucleic acid detection sites in Beijing. The results showed that the dominance of nucleic acid detection points decreased from the center of Dongcheng District and Xicheng District in the center of Beijing, and the spatial accessibility of the periphery of most urban areas was poor, it is disadvantageous for residents to obtain convenient and high-quality nucleic acid detection service. Therefore, we constructed this dominance model to provide a certain theoretical basis for the evaluation and deployment strategies of the existing nucleic acid detection points.

**Keywords:** Spatial Arrangement; COVID-19; nucleic acid testing sites; Dominance model; ArcGIS

## 致谢

跨学科挑战杯论文终于完稿了，在这段过程中，我们得到了太多人的太多帮助，我们表示衷心感谢！

首先，感谢指导教师郭琦老师和童昕老师的帮助，老师对我们的论文的研究方向做出了指导性的意见和建议，投入了大量的心血和精力。

感谢北京大学深圳医院的唐新宇老师、喻晶老师、武敬老师，北京市海淀医院的董建平老师接受我们采访，给我们带来来自抗疫一线的理论指导。

感谢和我们交流，给我们帮助的师兄师姐、以及为我们提供关于 ArcGIS 程序疑难问题解决平台的李同学。

感谢 GIS 群里每当我们遇到 bug，提供热心帮助的好伙伴，感谢你们凌晨 2 点陪我一起找 bug。

最后，再次感谢我的队友们，我们跌跌撞撞、互相勉励、不断学习、不断实践，终于把这个研究从想法变为现实。

王昊

2021 年 4 月

## 附录

### 附录一：

#### 方案一：Autra9600+实时荧光定量pcr仪（1:2）

仪器性能参数表			
项目	参数		
型号			
	Autra3200	Autra4800	Autra9600
基本功能	自动化实现临床样本中的核酸提取纯化与分液		
样本通量	1-32	1-48	1-96
处理体积	100-500ul	100-500ul	100-500ul
运行时间	21-32min/run	26min/run	24min/run
96孔深孔板	2块	2块	4块
磁套(一次性使用)	4条	6条	1块
提取方式	磁珠法, 磁棒磁套方式		
振荡混合	多模式多速度可调		
污染控制	内置紫外灯;具备外排式HEPA过滤独立风路, 其中的生物滤棉可吸附截留核酸片段		
磁珠回收率	> 95%		
移液通道	1	1	8
移液精度	1ul (%CV:+5%), 10ul (%CV:+1%), 20ul (%CV:+0.8%)		
尺寸(长*宽*高)	630mmx570mmx850mm		
重量	45kg		
电源要求	AC220V (+10%) ;50~60Hz		
运行条件	温度：10-40℃，湿度<85%		



方案二：全自动核酸提取工作站，一体机



	方案一	方案二	方案三
方案介绍	Autra9600+实时荧光定量 pcr 仪 (1:2)	Autrax 全自动核酸提取站	人工提取+实时荧光定量 pcr 仪
是否一体机	否	是	否
每轮时间	45—60min	2.4—3h	考虑安全问题，不选
每日工作轮	24—32run/天	8—10run/每天	取此方案
次			
每日核酸检	单样本: 1152—1536+	单样本: 768—960 份	
测范围	混检 5:1: 5760—7680 混检 10:1: 11520—15360	混检 5:1:3840—4800 混检 10:1:7680—9600	
核酸检测值	13440 份每天	取 8640 份每天	

附录二： 数据表格

链接： <https://disk.pku.edu.cn:443/link/54EFEE551A150414C23D24F4CFD9B6A7>

附录三： 原始数据

链接： <https://disk.pku.edu.cn:443/link/97875B63C5A7B01ADC77EE239ABB9BE5>