

城市“失落空间”再激活：基于人工智能方法的核酸采样亭改造评估

刘东芊 赵俊杰 张卓妮 熊辉*

摘要：“失落空间”对城市发展质量与活力产生负面影响。随着中国步入城市更新时代，将城市空间的“闲置存量”转化为“优质增量”对城市的可持续发展至关重要。本文以疫情时代留下的核酸采样亭为研究对象，选取上海——我国“15分钟生活圈”概念的先行者以及老龄化最为严重的城市——作为研究地区，探讨在后疫情时代将前者改造成健康服务站的潜力。我们综合各站点的人口、交通及医疗特征，构建了基于图卷积神经网络（GCNNs）的评分模型，弥补了传统研究方法中忽视站点之间的空间关联性的空白，并融入了无监督机器学习方法的自注意力机制，提供了一个更加客观的站点评价思路；同时，我们根据房天下平台的小区评分真实值（Ground Truth）以及其他基准模型来验证模型的准确度和泛化性能，取得了更高的预测精度（98.98%）。本文发现，上海市核酸采样亭再利用的潜力值呈中心城区聚集态势，其评分由中心到边缘逐渐降低，但与老龄化的需求并不完全一致。为此，我们提出了针对性的政策建议。

关键词：城市公共空间 深度学习 可持续发展 老龄化

（中图分类号）C915 （文献标识码）A （文章编号）2958-8006(2024)01-0109-22

* 作者 1：刘东芊，香港科技大学（广州）城市治理与设计学域，email: dongqian.liu@alumni.ust.hk；作者 2：赵俊杰，香港科技大学（广州）人工智能学域，email: jzhao763@connect.hkust-gz.edu.cn；作者 3（通讯作者）：张卓妮，香港科技大学（广州）城市治理与设计学域，香港科技大学社会科学部与公共政策学部，email: znzhang@ust.hk；作者 4：熊辉，香港科技大学（广州）人工智能学域，香港科技大学计算机科学与工程学部，email: xionghui@ust.hk。

Rejuvenating Lost Spaces in Shanghai: AI-Driven Assessment of Sustainability for Repurposing Nucleic Acid Testing Stations

LIU Dongqian, ZHAO Junjie, ZHANG Zhuoni, XIONG Hui

Abstract: “Lost spaces” have a negative impact on urban development quality and vitality. As China enters an era of urban renewal, repurposing “idle existence” into “high-quality increments” is crucial for sustainable urban development. This paper focuses on the Nucleic Acid Testing (NAT) stations left from the pandemic, selecting Shanghai—a pioneer of the “15-minute life circle” concept and one of the most aging cities in China—as the study area. It explores the potential of transforming NAT stations into elderly health service stations in the post-pandemic era. We integrated population, transportation, and medical characteristics of each station to construct a evaluation model based on Graph Convolutional Neural Networks (GCNNs), addressing the gap in traditional research methods that overlook spatial correlations between stations. By incorporating the self-attention mechanism from unsupervised machine learning methods, we provided a more objective approach to station evaluation. We also validated the model’s accuracy and generalization performance using Ground Truth community scores from the Fang.com platform and other benchmark models, achieving higher prediction accuracy (98.98%). The study found that the reuse potential of NAT stations in Shanghai is concentrated in central urban areas, with scores gradually decreasing from the center to the periphery, although not entirely consistent with the needs of the aging population. Therefore, we propose targeted policy recommendations.

Keywords: Urban Public Space, Deep Learning, Sustainable Development, Aging.

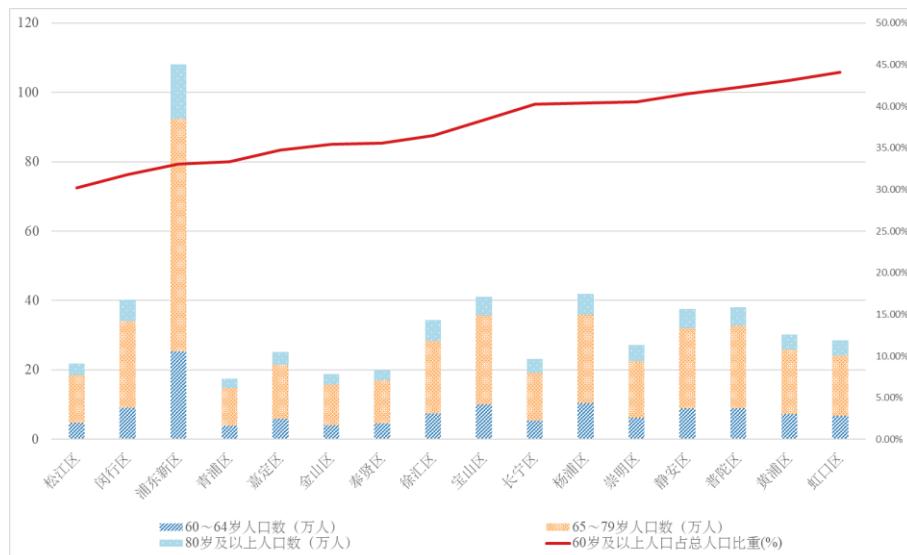
一、引言

“失落空间”是指城市中被抛弃、被忽视、未经妥善管理的公共空间。这个概念最初由美国著名城市设计师罗杰·特兰西克（Roger Trancik）（1991）提出，旨在唤起人们对城市内闲置空间的关注，例如弃置的火车站、污染的河岸、荒废的土地等，并思考如何重新利用这些资源，降低或消除其负面影响，赋予它们新的活力，从而提升空间的整体效益。这一思想延续了简·雅各布斯（Jane Jacobs）（1961）在其著作《美国大城市的死与生》中提出的批判性思想，即城市中有许多为便利现代化生活而机械安置的公共建设实际上造成了城市生活空间元素的割裂与碎片化。例如，日益增多的汽车及道路带来环境割裂（汽车本身就是一个小型的封闭空间）和环境污染，不仅不利于城市生活要素的自然流动，也不利于居民的身心健康。因此，城市空间的可持续性规划不仅需要科学地布局城市当中的各类资源，还需要考虑其与城生活要素的有机融合。

失落空间的重要性在于其易被忽略却又随处可见。它们可以是城市中被污染的沟渠、破落的建筑、抑或是无人问津的偏僻角落。但是，一旦当这些微小而局部的问题逐步积攒起来时，可能会导致整个城市空间系统的失落和崩溃（Trancik, 1991）。对于防治失落空间带来的潜在危害，世界范围内已经有诸多改造案例可供参考。例如，美国的亨特角工业废地被改造成南滨水公园（Dillon, 2014; Rauscher, 2018）；新加坡的加冷河转变为碧山—宏茂桥公园（Cornelius, 1999; An et al., 2020）；法国巴黎的老旧小环线铁路“La Petite Ceinture”重塑为公共空间（Verdini, 2015; Cecafosso, 2020）。此外，荷兰、澳大利亚、以及克罗地亚也有类似的案例（Boemaars, 2021; Marlor, 2021; Acri et al., 2021; Mrak et al., 2022; Russell-Clarke, 2020）。在这些案例中，我们可以清晰地感知到那些被忘却、遗弃的“角落”重塑后的生命力。因此，失落空间的发现与改造可以为那些被遗忘和抛弃的地区重新注入活力，并为居民带来新的情感体验。

在中国的后疫情时代，疫情期间遗留的成千上万个核酸采样亭成为了大规模“失落空间”的典例。这些在特殊时期发挥重要作用的站点，随着疫情远去，逐渐失去了原有的功能，变得冷清和无人问津。截至2022年12月初，北京、上海、广州和深圳这些一线城市的核酸采样亭数量已大幅减

少，但仍然剩下 12,000 至 16,000 个¹。若以单个核酸采样亭的出厂价约为人民币 12,000 元²来估算，那么这些核酸采样亭的闲置意味着约 15-20 亿人民币资产的损耗。此外，商务部等 13 部委办公厅（室）印发的《全面推进城市一刻钟便民生活圈建设三年行动计划（2023-2025）》中，明确提出了支持把闲置核酸采样亭改为便民服务点，规范提供生活服务³，强调了核酸采样亭改造具备的基本技术条件。因此，妥善处置如此大规模的失落空间，让其焕发符合时代需求的价值，有利于城市的可持续发展。



数据来源：《上海统计年鉴》⁴

图 1：上海市老年人口统计数据，2023

作为“15 分钟生活圈”理念的先驱，上海市在规划核酸采样亭地理位置时更是将该理念落实到了实处。截止 2023 年 6 月，上海市余下的 5898 个核酸采样亭的 15 分钟步行圈与住宅区的 15 分钟生活圈的交叉覆盖率为 95.15%，一共 5431 个核酸采样亭能够基本满足居民社区 15 分钟生活圈的范围。据此初步判断，在后疫情时代对这些核酸采样亭予以再规划、再利

1. <https://m.yicai.com/news/101632718.html>

2. <https://finance.sina.com.cn/stock/relnews/cn/2023-01-12/doc-imxzwweq2093065.shtml>

3. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202307/content_6891466.htm

4. <https://tjj.sh.gov.cn/tjnj/20230206/804acea250d44d2187f2e37d2e5d36ba.html>

用具有极高的可行性和必要性，有助于为这些闲置空间注入新的生机。众所周知，上海是中国老龄化程度最严重的城市。根据上海市 2023 统计年鉴的数据，各区 60 岁以上人口在总人口中的比例均超过了 30%（图 1），意味着上海已经进入了深度老龄化。考虑到核酸采样亭兼具医疗卫生与便民的属性，将其改建成长者健康服务站无疑能满足老龄人口巨大的社会需求。改造后的核酸采样亭能够延续其医疗健康服务功能，为老年人提供基本的健康监测与评估、健康教育与咨询、康复训练、应急响应等服务，满足老年人日常健康需求，成为老年人实现“居家社区养老”的重要支撑点。

评估核酸采样亭的再利用潜力与经典选址问题中评估某一区域的商业潜力有着异曲同工之处。但是当前商业地点选址的经典多标准决策框架往往孤立地图上不同区域，忽略不同区域在空间上相互的吸引力，而强大的数据驱动的端到端深度学习模型可以妥善地解决此问题。然而，此类人工智能驱动的选址研究通常在大范围的尺度内进行，侧重于区域间的吸引力，少有涉及细分到站点的评估。而且，随着后疫情时代居民流动性的恢复，评估各个居民社区附近的核酸采样亭对目标用户的吸引力非常重要。因此，本文采用了深度学习中的图卷积神经网络（GCNNs），辅以周遭的人口、交通、医疗资源的概况，即影响因素，来预测各个核酸采样亭复用为长者健康服务站的可持续性。同时，在影响因素的权重赋值方面，有别于传统选址技术通常采用的一刀切方式（即权重赋值相同），本文引入了自注意力机制予以纠正。

本研究主要研究目标和学术贡献如下。研究目标方面，首先，构建了上海市核酸采样亭数据集以及基于自注意力机制以及理解空间吸引力的图卷积神经网络模型；其次，在此基础上对核酸采样亭改造成长者健康服务站的潜力值逐一进行量化预测评估；随后，根据房天下平台的小区评分真值（Ground Truth）以及其他基准模型来验证模型的准确度和泛化性能；最后，根据人口分布特征和区域特征，将改造评估值与上海市老龄化需求进行匹配，并提出针对性的政策建议。学术贡献方面，本文通过采用先进的图卷积神经网络和自注意力机制，弥补了传统研究方法的局限性，提供了一个融合人工智能算法的新评估思路。同时，以中国上海市核酸采样亭作为研究对象，为相关的资源再利用、城市可持续发展、以及其他选址规划类问题提供了最新的实证案例。

二、从传统选址理论到基于人工智能的评估途径

传统的选址理论首先需要确定一系列候选位置，然后基于预设的标准来识别和权衡关键的影响因素。这一过程通常涉及使用线性回归模型来分析数据并据此作出决策。这种方法在很大程度上取决于经验和主观的判断（Huff, 1963）。

随着数据获取变得更加便捷，地理空间数据在选址模型中的应用变得越来越广泛。与此同时，无监督机器学习技术由于其能够自动识别主要的影响因素而受到了学术界的重视，因为这在一定程度上能够减少主观性的影响。尽管无监督机器学习模型对于人类来说可能不够直观（Gahegan, 2020），但是结合经验来选择性地引入大数据，并与机器学习方法相结合，可以提升计算的效率和模型的解释能力（Wang et al., 2020）。特别是在模型解释性方面，深度学习中的注意力机制显得尤为重要，因为它能够为模型的决策过程提供解释，例如为不同的变量分配不同的权重（Niu et al., 2021）。

由于区域之间错综复杂的联系，先前的研究往往将地图上的不同区域视为孤立的元素，忽略了区域之间复杂的相互作用和异质性。图神经网络是为了在深度学习中处理图形数据而设计的，该技术已经成为填补上述研究空白的关键工具。但传统的同质性图神经网络在模拟异质城市图的差异性信息方面仍存在困难（Xiao et al., 2023），而图卷积神经网络在整合区域的地理特征方面具有优势，因而已经成为比较区域间吸引力和异质性的理想选择（Xiao et al., 2021; Lan et al., 2022）。

传统的选址问题主要由商业利益驱动，侧重于利润最大化，而忽视与居民福祉相关的设施选址。并且，现有的商业选址研究大多集中在区域功能的分析上，而对小规模地点评估的研究却鲜有涉足。将图卷积神经网络和注意力机制应用于上海市核酸采样亭的再利用评估，不仅填补了上述研究空白，还为该领域提供了新的实证研究案例。

三、数据概览及人工智能评估模型构建

（一）上海市核酸采样亭数据集

本研究主要使用的数据源于 2023 年 6 月的上海市核酸采样亭地图⁵，与 2022 年 6 月份的核酸采样亭数据相比，少了 4,000 多条，原始数据的基本信息可见于表 1。在本次获得的 6,215 条数据中，315 条缺乏地理信息，2 条位于省界之外。因此，余下 5,898 条数据可供分析。鉴于上海市的核酸采样亭是参照 15 分钟生活圈的概念并根据《上海市 15 分钟社区生活圈规划指南》⁶设置的，因此，我们参照该规划指南以 1500 米为半径来检查核酸采样亭的 15 分钟生活圈与住宅区的 15 分钟生活圈的交叉覆盖情况（住宅区通过收集百度地图中共 19,805 个上海市住宅兴趣点[POI]⁷进行测算），发现两者交叉面积占后者的 95.15%，即绝大部分住宅区的 15 分钟生活圈范围内都有疫情期间遗留的核酸采样亭（经 ArcMap 计算，共计 5431 个）。

为了更好地评估每个核酸采样亭的周边情况以及服务水平，我们首先筛选模型构建所需要的特征变量。根据相关文献，老年人健康服务站的设置既要考虑老年人需求（王琼，2016），还需要考虑到地理位置的交通便利度以及医疗服务的可及性（赵鹏军等，2022）。为此，我们选取了下列尺度在区级以下的变量：核酸采样亭所在街道的 60 岁以上的人口数，核酸采样亭附近 1500 米步行范围内的公交站数、地铁站数以及三甲及以上的医院数，分别代表需求度、交通便利度与医疗服务便利度（表 2）。需求度方面，本文使用的街道级的老年人口数据源于《中国人口普查分乡、镇、街道资料—2020》⁸。基于街道老年人口在短期内没有显著变化的假设，我们使用目前公开的 2020 年的老年人口信息用于评估居民需求。老年人口越多，意味着长者及其照料者对于家门口的健康便民服务点的潜在需求越高。交通便利度方面，本文使用的公交站（共 15900 个）以及地铁站（共 480 个）数据源于百度地图。通过 ArcGIS Pro 软件计算，我们得出了核酸采样亭附近 15 分钟步行距离的公共汽车站（公交数_1500 米）和地铁站（地铁数_1500 米）的数量用以评估采样亭附近的交通便利程度。医疗服务便利度方面，本文使用的医院数据来自 CnOpenData⁹的医疗信息大数据，数据

5. <https://www.shanghai-map.org.cn/tdt-hsjc/index.html>

6. <https://hd.ghzyj.sh.gov.cn/zcfg/ghss/201609/P020160902620859461081.pdf>

7. 关于兴趣点（POI），请参阅：<https://lbs.baidu.com/faq/api?title=androidsdk/guide/search/poi>。有关 POI 分类的信息，请参阅：<https://doc.bce.baidu.com/bce-documentation/DUMAP/tag.pdf>。

8. https://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202105/t20210510_1817185.html

9. <https://www.cnopendata.com/data/m/food&medical/medical.html>

源为寻医问药网¹⁰。与百度地图中的医院数据相比，该数据集收录的医院信息更加详细，且包含全国三甲及以上的医院的详细信息。排除少数仅面向儿童和专门从事美容整形的医院，剩余的 676 家医院数据同样在 ArcGIS Pro 中进行处理，最终得出了核酸采样亭附近 15 分钟生活圈内的医院数（三甲医院数_1500 米）。

表 1. 上海市核酸采样点地图数据中的主要变量及概述

变量名	概述
编码	用于区分每个核酸采样亭的唯一标识符。
经度	基于 WGS84 坐标系统的核酸采样亭的经度。
纬度	基于 WGS84 坐标系统的核酸采样亭的纬度。
区	核酸采样亭所在的区。
街道	核酸采样亭所在的街道。
名称	核酸采样亭的名称。
地址	核酸采样亭的详细地址。
类型	核酸采样亭的类型（如居民社区、社区服务设施、医疗机构等）。
服务目的	核酸采样亭的服务目的（服务大众、当地社区或特定人群）。
属性	核酸采样亭的属性（便民点或固定点）。
开放时间	核酸采样亭的开放时间段。

表 2. 所用变量的描述性统计

变量名	数量	最大值	最小值	中位数	平均数	标准差
60岁以上的人口数	5,431	93,498	158	31,465.0	34,263.0	18,047.2
60岁以上的人口数_标准化	5,431	1	0	0.3	0.4	0.2
公交数_1500 米	5,431	133	1	42.0	42.2	19.5
公交数_1500 米_标准化	5,431	1	0	0.3	0.3	0.2
地铁数_1500 米	5,431	23	0	1.0	3.0	4.0
地铁数_1500 米_标准化	5,431	1	0	0.4	0.1	0.2
三甲医院数_1500 米	5,431	33	0	2.0	3.5	4.8
三甲医院数_1500 米_标准化	5,431	1	0	0.1	0.1	0.1
均分_1500 米	5,240	9.8	6.1	8.8	8.8	0.2
均分_1500 米_标准化	5,240	1	0	0.7	0.7	0.1
均价	10,831	294,067	4,501	59,724.0	63,432.0	31,688.7

10. <https://z.xywy.com/?fromurl=xywyhomepage>

为了后续验证模型的准确度和泛化性能，并提出针对性建议，我们使用了房天下平台的小区评分数据（均分_1500 米）和小区房价数据（均价）。综合考虑数据精确度、数据获取度以及数据匹配度等因素，房天下平台的数据是当前的最佳选择。作为房地产家居行业专业网络平台，房天下的小区评分数据由其团队经大数据统计分析得出，评分综合考量小区品质、户型评分、区位交通、教育资源、生活服务等多维度指标，具体指标包含容积率、绿化率、楼龄、小区设施情况、物业服务、交通配置、教育配置、医疗配置、购物配置、休闲配置等，其中距离信息均来自百度地图测距，绿化率、容积率等指标则由实地勘测、物业介绍、房产证等渠道获取。这些指标不仅包含了我们模型所用的特征变量，还提供了更丰富的衡量小区服务水平的指标，尽管其细分指标不能公开获取，但仍可作为全面衡量核酸采样亭潜力得分的一个重要参考。均分数据（共 10973 条）由 ArcGIS Pro 处理，除去没有小区评分的数据，我们共得到了 5240 条核酸采样亭附近 15 分钟生活圈内的小区平均评分数据。房价数据（共 10831 条）用于了解核酸采样亭附近的经济水平，以便结合评估结果，综合考量经济发展水平和养老需求提出针对性建议。房价之所以未纳入评估模型，是因为该变量可能与本文核心变量产生冲突。尽管落后区域可能同样具有需求，但是交通便利、医疗资源丰富的地区相对而言改造更经济、效益更明显，因此我们很难在模型中以房价的高低来主观定义改造潜力的高低。

为了更加直观地了解上海市 5431 个核酸采样亭的具体分布情况以及街道的老龄人口数，我们在 ArcGIS Pro 中实现了可视化操作（图 2）。值得注意的是，我们在划分老年人口数据时用的是头尾断点法（Jiang et al., 2013）¹¹。相对于其他分割方法，此方法用均值进行头尾分割而不同于直接分类，在一定的程度上可以避免均值的误导，有助于更加科学地理解数据的结构和特性，尤其适用于自然城市的空间分析（Jiang et al., 2013; Jiang and Yin, 2014; Jiang, 2015; Oshan et al., 2022）。后续的数据可视化中连续变量的分组将统一采用此方法。

11. 关于头尾断点的计算：<https://github.com/ChrisdeRijke/HeadTailBreaksCalculator?tab=readme-overfile>

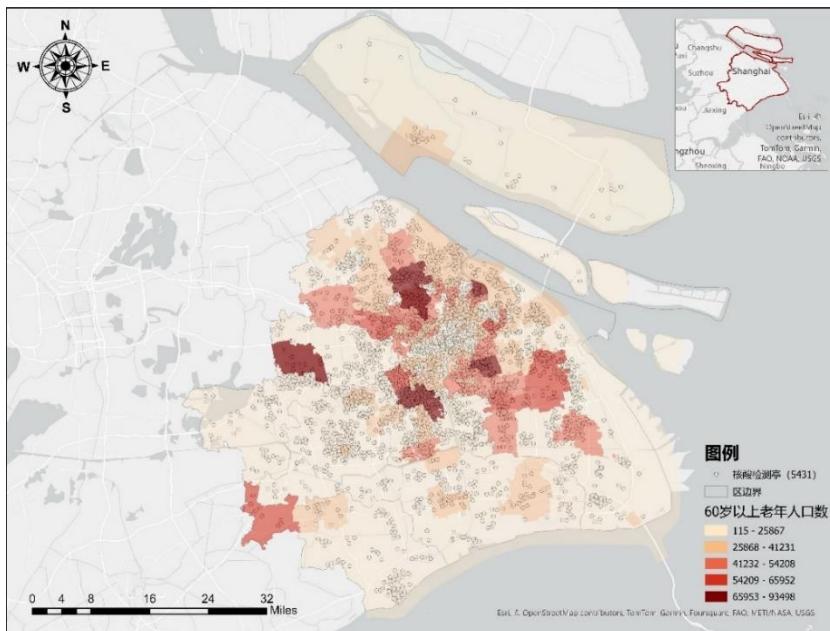


图 2：居民社区附近的核酸采样亭及所在街道的老年人口的分布情况

（二）NAT-GCN 模型构建

本文模型构建的思路是使用图卷积神经网络（GCNNs）基于数据集构建地理空间图，以确定各个核酸采样亭再利用为长者健康服务站的潜力。具体流程分为：1. 定义节点和边；2. 构建合适的 GCN 模型进行评估，并命名为 NAT-GCN 模型；3. 构建基准模型进行比较以确认 NAT-GCN 模型的性能。

1. 定义节点与边

假设我们想在上海市 16 个市辖区的核酸采样亭中选择一个最佳位置改建成长者健康服务站，首先，我们准备了一个潜在区域的选择列表，形成了一组节点 v ：

$$v = \{v_1, v_2, \dots, v_i\}, i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

在公式 1 中， N 是节点（核酸采样亭）的数量，这些节点之间的连接由邻接矩阵 A （公式 2）定义。 A_i 表示出行模式，其中 A_0 表示自连接，矩

阵 $A_0 = I$ 表示强调局部影响, A_1 表示步行出行模式, A_2 表示乘坐公交车出行模式, A_3 表示乘坐地铁出行模式。 k_i 是一个超参数值, 用于调节出行模式和节点的自连接之间的权重。

$$A = A_0 + k_1 A_1 + k_2 A_2 + k_3 A_3 \quad (2)$$

每个节点 v_i 都具有描述该节点区域的各方面环境情况条件的特征 x_{mi} (公式 3), 包括标准化后的 60 岁以上的人口数, 公交数_1500 米, 地铁站数_1500 米, 以及三甲医院数_1500 米四个特征。这些特征分别从养老需求度、交通便利度以及医疗设施便利度等多方面诠释了核酸采样亭在改造为长者健康服务站的适用性。为了进一步明确每个节点在改造为长者健康服务站的潜力数值, 在公式 3 中, 我们使用每个节点 v_i 的潜力值评分 p_i 来整合这四个特征。

$$p_i = ax_{1i} + bx_{2i} + cx_{3i} + dx_{4i} \quad (3)$$

同时我们根据房天下平台的小区评分数据构建了真实评分矩阵 Q (公式 4), q_i 为每个节点 v_i 的房天下平台的真实评分。同时, 通过考虑节点之间的注意关系, 特征的权重通过自注意机制进行处理, 这些关系不仅取决于节点本身的特征, 还取决于它与整个图的连接性。因此, 我们使用了节点特征矩阵 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ 和邻接矩阵 A 来拟合潜力值评分矩阵 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i\}$, 并通过验证数据集和房天下平台的真实评分来评估模型的性能。邻接矩阵用于描述边, 即区域之间的连接。在构建邻接矩阵时, 我们使用了两个邻接矩阵的组合, 并选择了老年人常用的出行模式 (步行) 作为连接方式。

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_i\}, i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

2. 构建双层图卷积神经网络模型

在构建图卷积神经网络模型时, 层数的选择需要在模型复杂性和性能之间取得平衡。如果层数过多, 模型可能会过拟合, 导致在训练集上表现提高, 但在测试集上表现下降。而层数过少可能会限制模型的表达能力, 无法充分捕捉节点之间的复杂关系。参考以往应用于类似任务和数据集的

成功模型，我们选择双层图卷积神经网络模型作为评估模型（Salha et al., 2021），并命名为 NAT-GCN 模型。

$$\hat{P} = \sigma_1(\hat{A}\sigma_0(\hat{A}XW^0)W^1) \quad (5)$$

在公式 5 中， \hat{A} 是归一化的邻接矩阵， W^0 和 W^1 是 NAT-GCN 模型的第一层和第二层的可训练权重， X 是大小为 $\mathbb{R}^{N \times F}$ 的特征矩阵，其中 N 是 NAT 站点的总数， F 是特征数量。 X 的每一行表示节点区域的局部环境特征。与此同时，考虑区域异质性的影响，我们在 NAT-GCN 模型中引入了自注意力机制，将其嵌入到节点特征的聚合过程中，我们采用 softmax 函数用于将相似度转换为注意力权重。然后，将这些注意力权重应用到邻居节点的特征上，以得到每个节点的新特征表示。并在模型的前向传播过程中调用它，从而能够实现自适应的特征聚合，进而有效避免了区域异质性的影响。

在激活函数方面，我们选择了带泄漏的 ReLU 函数作为隐藏层的激活函数 σ_0 以增加模型的非线性性，选择了 sigmoid 激活函数作为输出层的激活函数 σ_1 以确保预测值在 0 到 1 的范围内。根据模型输出各个核酸采样亭的综合评估分数，即可在限定区域的候选点中选出分数较高的点，即改造潜力较大的点。图 3 为可视化的 NAT-GCN 模型构建流程图。

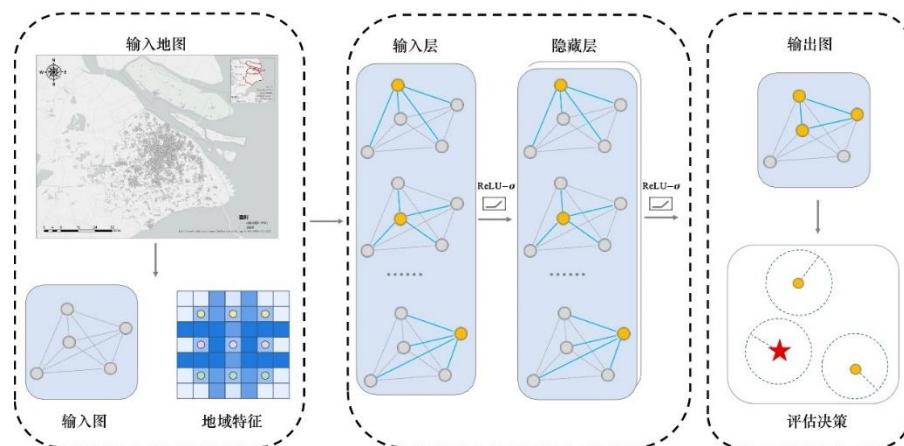


图 3：NAT-GCN 模型构建流程图

最后，我们使用了损失函数来衡量模型评分预测值与房天下平台的真实评分值之间的差异。在公式 6 中， $\lambda \sum \omega^2$ 是用于防止过拟合的正则化条件，其中 λ 是正则化率， ω^2 是待训练的权重，其中正则化率越大，对模型的惩罚就越严重，模型的复杂度就越低；而正则化率越小，模型的复杂度就越高。本文模型中的正则化率设定值为 0.01。

$$loss = L(q_i, \hat{p}_i) + \lambda \sum \omega^2 \quad (6)$$

我们使用线性回归（LR）和随机森林回归（RF）作为我们的基准模型，并从连续值角度（预测值和真实值的差异）和离散值角度（预测值类别和真实值类别）出发，选择均方误差（MSE，公式 7），平均绝对误差（MAE，公式 8）以及准确率（Accuracy，公式 9）作为我们的综合评估指标，分别用于衡量回归模型预测值与房天下平台的真实评分值之间的平均差和平均绝对差的程度以及模型预测能力的准确性，在公式 6 和 7 中， N 表示样本数量， q_i 表示房天下平台的真实评分值， \hat{p}_i 表示模型的预测值。在计算模型准确性时，我们将房天下平台的真实评分值 q_i 进行统一分类并平均设置为 10 个不同等级的分组，然后根据模型预测结果 \hat{p}_i 与 q_i 所属分组是否一致来确定其预测准确性。在公式 9 中， N 表示样本数量， N_c 表示正确样本数量。

$$MSE = \left(\frac{1}{N}\right) * \sum (q_i - \hat{p}_i)^2 \quad (7)$$

$$MAE = \left(\frac{1}{N}\right) * \sum |q_i - \hat{p}_i| \quad (8)$$

$$Accuracy = \frac{N_c}{N} \quad (9)$$

四、模型运算及分析结果

如前所述，我们采用双层图卷积神经网络模型进行训练，将数据集分为训练集和测试集，其中原始数据集的 70% 作为训练集用于模型训练，原始数据集的 30% 用来评估模型的性能。隐藏层输出维度设置为 4，初始学习率设置为 0.01，丢弃率设置为 0.0。GCN 模型的训练进行了 300 个训练

时期，并在验证损失在最后 10 个训练时期中没有改善时停止。通过对比基准模型，NAT-GCN 模型在原始数据集的测试集以及房天下真实评分数据集中进行实验，均取得了最佳效果（State-Of-The-Art），在房天下真实评分数据集上的实验结果中，NAT-GCN 模型在实现准确率最大化的同时，实现了最低的并且相差不大的 MSE 和 MAE，证明模型具有良好的泛化性能（表 3）。线性回归和随机森林回归模型之所以表现不佳，可能是因为它们无法处理大规模复杂场景的数据。

表 3. NAT-GCN 模型和基准模型的准确率对比

模型	均方误差(MSE)	平均绝对误差(MAE)	准确率
线性回归	0.24	0.58	77.92%
随机森林回归 ¹²	0.17	0.25	91.02%
NAT-GCN	0.05	0.21	98.98%

图 4 中，我们可以清晰地看到分值往中心城区递增。由于站点数量多在可视化时会出现重叠，因此我们使用热力图以进一步观察高分聚集的情况。热力图的制作使用了核密度法并将每个站点的评分值作为权重进行赋值，最后在 ArcGIS Pro 中完成处理。

由图 5，我们可以看到，高分凝聚在中心城区。具体来看各区的核酸采样亭潜力平均评分，黄浦区（0.68）、静安区（0.55）、虹口区（0.48）、长宁区（0.39）、徐汇区（0.38）、杨浦区（0.37）、普陀区（0.34）的平均评分较高。松江区（0.10）、金山区（0.10）、青浦区（0.09）、奉贤区（0.08）、崇明区（0.07）的平均评分较低。图 6 的上海小区房价数据的热力图，依旧采用的是核密度估计法，将小区均价作为权重赋予，在 ArcGIS 中完成可视化操作。结合图 6，我们可以清晰地看到核酸采样亭的评分与房价分布特征十分类似。

12. 本文中的随机森林模型中的参数设置为：n_estimators=100, max_features='auto', max_depth=7, min_samples_split=2, min_samples_leaf=1, bootstrap=True，在此参数下设置下模型取得了最佳性能。我们的 NAT-GCN 模型在原始数据集的测试集上的实验结果中，取得了最佳效果（State-Of-The-Art），均方误差（MSE）和平均绝对误差（MAE）分别为 0.04 和 0.05，模型准确率为 99.36%。

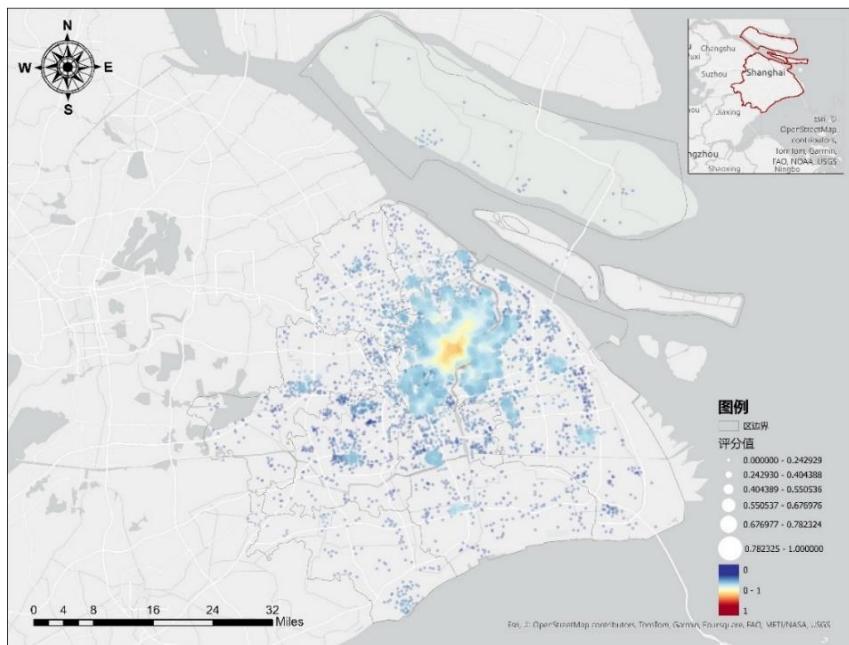


图 4：核酸采样亭再利用潜力评分分布图

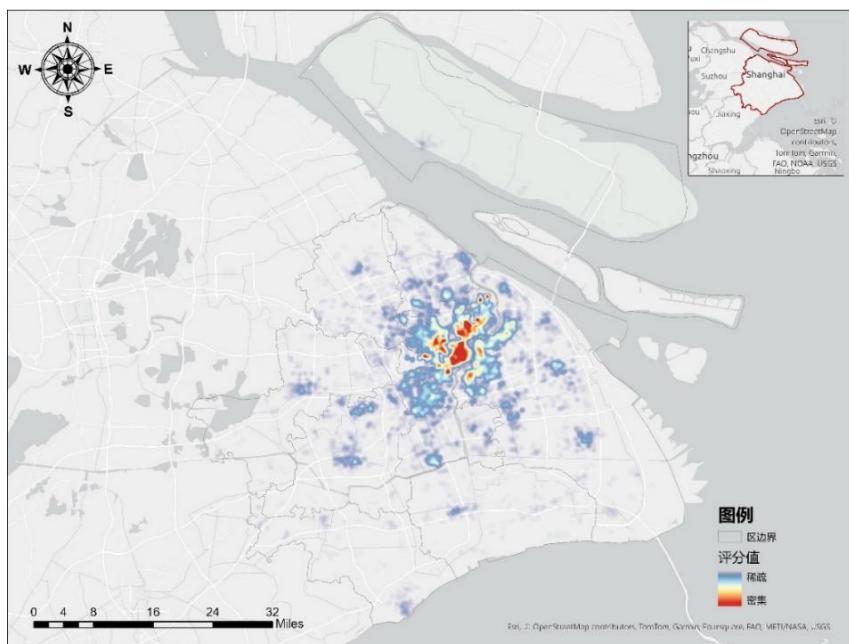


图 5：核酸采样亭再利用潜力评分热力图

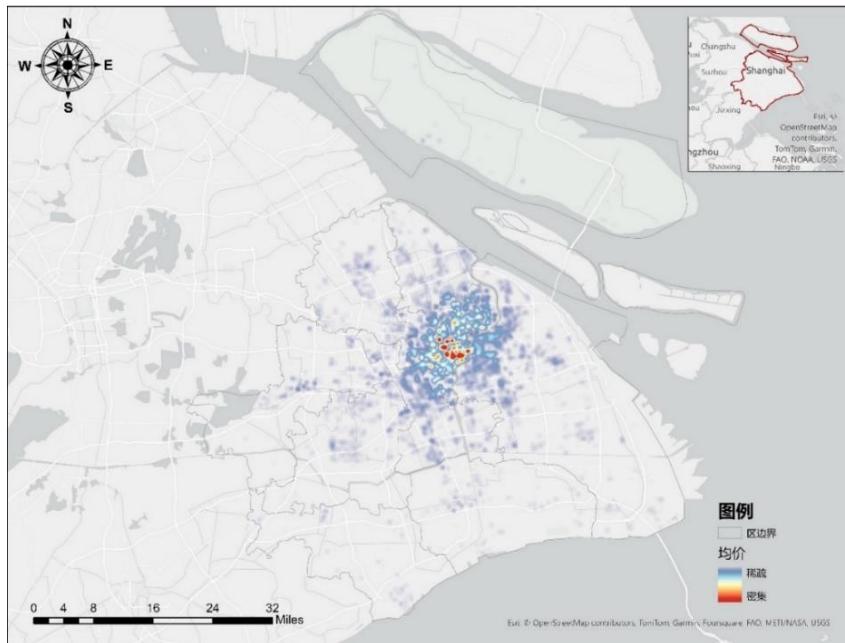


图 6：上海市居民小区房价分布热力图

为了观测长者密集区域的核酸采样亭的改造潜力，我们按照头尾断点的分析策略（Jiang, 2015），剔除了尾部评分值，并结合上海市第七次人口普查 60 岁以上老龄人口分布进行观察。我们发现：获得头部评分的站点主要聚集在中心城区及其周围；同时，一些区老龄人口较多的地方也有一些小块的聚集特征。但值得注意的是，依旧有很多长者分布密集的地区的核酸采样亭没有获得较高的评分，例如金山区及崇明区甚至出现了没有一个站点获得头部评分的情况。因此，仅以核酸采样亭改造为长者健康服务站而言，经济条件较差的地区需予以特别对待。

五、实例分析及政策建议

（一）实例分析

1. 高分聚集区及现实情况

根据分析结果，高评分的核酸采样亭聚集于中心城区。除了这些区域自身特征（如交通、医疗资源）的比较优势，这些相邻区域较强的空间联

系以及产生的聚集效应也可能是造成其评分较高的原因，因为：（1）相邻区域共享相似的社会经济特征，例如在区与区的交汇处的老龄人口分布情况非常相似；（2）相邻区域的老年居民可能更容易在这些区域之间流动，享受不同区域提供的服务；（3）相邻区域容易进行资源共享和合作，例如通过成功经验的分享，有利于促进长者健康服务的提升。此外，这一高分收敛的特征与上海市《上海市老龄事业发展“十四五”规划》中的关于“建议积极推动中心城的社区长者医疗服务”的倡议一致。¹³

为了探查这些高分聚集区的居民社区情况以获得更加细致的城市规划参考建议，我们选取了部分高分核酸采样亭进行案例分析：黄浦区的豫园街道社区以“五边形”养老服务体系建设为基础，成功构建了“豫老为善”的服务品牌，并推出了20项关爱老人的服务项目，包括身心健康和安全监测等，这一创新举措体现了社区对老年人全面关爱的承诺；静安区的石门二路街道社区在上海市率先建立了医养、康养、体养相结合的社区嵌入式养老综合体，引入了数字镜像和虚实结合等先进技术，为传统的老年健康服务注入了新的元素，提升了服务水平；虹口区的北外滩街道为方便老年人接种新冠疫苗，不仅设立了专门的接种场地和时段，还为60岁及以上行动不便的人群提供了上门服务，这种贴心的服务措施有助于提高老年人对疫苗接种的便捷性；长宁区的新华路街道，面对老年人口密集和老龄化程度较高的挑战，在有限的空间资源下，布局了“家门口微养老”服务设施，与当地健康机构的合作形成了优势互补、资源共享、活动联动的局面，为老年人提供全方位服务；徐汇区的枫林街道作为上海市第二批老年认知障碍友好社区建设试点单位，推出了助老项目，包括上门进行认知障碍早筛、体脑训练活动等，取得了一定的成效，有助于提高老年人的认知水平和生活质量。

总体而言，这些先进案例的共同特点在于社区在老年健康服务方面的创新举措，包括建立综合服务体系、引入先进技术、提供便捷服务、开展资源共享和合作、以及针对特殊群体实施项目。这些经验与资源用于赋能核酸采样亭的再利用具有积极影响，有助于提供更加便民的“家门口”一站式长者健康服务，促进社区的健康和福祉。

13. 《上海市老龄事业发展“十四五”规划》参见：<https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20210616/10f25167e2fd4e4ca9f1a09dd80dee0e.html>

2. 低分散落区及现实情况

核酸采样亭的再利用分数从中心到四周递减。与上海市中心城区发展相对较为集中的情况相比，郊区地区交通不便、资源配置不足不均、相关的长者服务体系还不够完善。例如，崇明区位于上海市的远郊，地理位置相对偏远，因此在老年服务资源的获取和分配上存在一定困难；而松江区、金山区、青浦区、奉贤区以及浦东新区的南部，农村地区较多，分散着较多的自建房屋，物业管理力量薄弱，这些因素无疑给这些地区的长者健康服务的覆盖和实施带来了挑战。但是随着乡村振兴战略的深入推进，以及长者服务机构相关政策的陆续推出，上海市的长者服务水平正在不断提升。

（二）核酸采样亭再利用的相关建议

相关政府部门和单位可参考评估结果组织进一步的评估，明确核酸采样亭改造为长者健康服务站的潜力，积极推动其改造再利用。

首先，应坚持政府的主导、统筹作用，统一出台相关政策、改造方案及技术指引，整体性推动上海核酸采样亭的改造再利用；同时，应充分调动社会力量，鼓励基层社区、社会组织、小区等力量积极参与；还可引入市场力量参与改造项目的实施与后续的运营管理。充分调动多方力量共同推动城市“失落空间”的再激活。

其次，项目改造应结合核酸采样亭禀赋优势，并紧紧围绕老年人的实际需求。应当说，核酸采样亭在疫情期间发挥了很好的便民以及信息共享作用，其改造利用应基于这些优势基础，充分发掘新时代的可持续发展方案，将其改造为长者健康服务站，打造成为集医疗咨询、健康教育、简单诊疗、康养咨询等多功能于一体的服务平台，以发挥其推动城市智慧养老、银发经济的积极作用。

第三，应做好与现有资源的统筹衔接。鉴于居民社区已有社区服务中心，核酸采样亭的改造利用应明确角色定位，衡量改造成本及预期效益，与前者形成角色互补，形成“1+N”的养老服务网络。应充分发挥基层社区治理能力并调动“15分钟生活圈”周边资源的联合，基于老年居民需求构建“家门口的养老服务点”。例如：考虑到核酸采样亭的便利性、公众熟悉度以及私密性，社区可以将其作为流动式的“快闪”服务点，包括召

开健康义诊、发放基础药品及健康知识材料、提供先进康养设备体验活动等，让废弃的采样亭延续利用价值赋能社区治理。

第四，应积极引入新技术，探索“智慧养老”。可以尝试与大学、研究机构以及企业合作，引入人工智能等先进技术赋能养老服务。推动数据接口的统一和信息共享（易艳阳，2022；周凌一等，2023），利用核酸采样亭建立健全长者健康监测网，实现信息交互、资源流转、精准服务和智慧治理。

最后，应有针对性向“低评分、高需求”区域予以资源倾斜。对于再利用潜力评分较低但需求高的区域，如前所述，主要位于经济较不发达地区，其评分低主要受限于交通较不发达、医疗资源相对缺乏，因而其改造成本相对较高、效益亦相对不明显。但养老作为公共事业，应综合考量社会效益和经济效益，以实际养老需求为导向，对相关区域予以资源倾斜，以推动上海养老事业全面均衡发展。

六、结论与讨论

新冠疫情期间留下的大量核酸采样亭不仅是疫情时代下的产物，更是后疫情时代不应被忽视的大规模“失落空间”。为了研究这些被忽视、遗弃的空亭子的可持续价值，我们以上海为例，评估了其复用为长者健康服务站的潜力。核酸采样亭这一城市“失落空间”的再激活，不仅可以节省大量的回收、处理成本，更可以为城市注入新活力，使城市空间的“闲置存量”转化为“优质增量”，提升城市发展品质和可持续性。将核酸采样亭“激活”为长者健康服务站，对于老龄化严重的上海市来说具有特别重要的社会意义。上海市作为“15分钟生活圈”的倡导者，也是养老服务体系建设的先行者，充分利用核酸采样亭便民、医疗卫生等属性，因地制宜将其改造为长者健康服务站，形成“家门口养老服务站点”，有利于进一步健全其社区嵌入式养老服务网络，完善“15分钟养老服务圈”，继续保持上海养老服务走在全国前列，对其他城市形成引领、示范作用，将为我国应对人口老龄化提供了有益的实践经验。

基于自建数据集，我们采用图卷积神经网络及自注意力机制构建了NAT-GCN模型，评估了上海核酸采样亭改建成长者健康服务站的潜力。该模型的预测准确率达到98.98%，高于线性回归以及随机森林这两个基线

模型。通过将模型计算结果进行头尾断点分割，我们发现上海市再利用潜力较高的核酸采样亭聚集于上海市中心城区，评分随地区从中心到边缘逐渐降低。针对高分聚集区和低分散落区的情况，我们提出了相应的政策建议。核酸采样亭再激活为长者健康服务站，应坚持“政府主导、社会参与、市场运作”的原则，调动多方力量参与；项目改造应结合核酸采样亭禀赋优势，紧紧围绕老年人的实际需求，并做好与现有资源的衔接，使其成为“家门口的养老服务点”，建立健全上海“1+N”的基层养老服务网；同时，应积极引入新技术，以核酸采样亭的改造为契机推进“智慧养老”；最后，应有针对性向“低评分、高需求”区域予以资源倾斜，推动上海养老事业全面均衡发展。

本文的研究意义总结如下。方法层面上，本文以人工智能的视角深入探讨了城市空间规划中站点评估的重要性。通过构建 NAT-GCN 模型，我们同时考量站点特征以及站点间的空间关联性，填补了相关研究的空白，而且提高了模型的准确性和可靠性。政策层面上，我们认为通过有效地利用这些核酸采样亭，有利于优化城市资源配置，提高城市的整体效率和可持续性。通过参考我们的研究结果，政府部门和城市规划者可以制定相应的政策措施，促进核酸采样亭的改造和利用。同时，我们的研究也为其他类型的公共服务设施的潜力评估提供了借鉴和参考，为提升城市的整体服务水平和优化资源配置提供了有益的启示。

尽管本研究取得了上述贡献，但仍存在一些局限性。首先，数据时效性方面，在后疫情时代，各地区的核酸采样亭都经历了更新，因此我们所使用的 2023 年 6 月份的数据可能与当前情况略有偏差。其次，数据颗粒度方面，由于数据的不可获得性，一方面我们仅使用了街道级的人口数据代表站点附近的人口特征，相较于社区级的数据，尺度更大，可能会出现评估偏差。另一方面，如前所述，核酸采样亭改造成长者健康服务站还有可能受到诸多的因素影响，例如个人层面的性别、教育程度、经济收入情况以及社区层面的服务水平等。在未来的研究中，首先，可通过改进数据时效性和颗粒度、选取更丰富的特征变量，进而提升评估核酸采样亭改造成长者健康服务站的可行性和有效性。其次，可进一步探索模型背后的可解释性及运行机制，而不仅仅局限于模型表现。此外，还可继续探索人工智

能算法与城市规划方面的结合，以有效应对不同场景中的复杂挑战，优化城市空间资源的配置，助力未来智慧城市治理。

参考文献（References）

- 易艳阳. 2022. 社区老年服务数字生态中的风险及治理[J]. 电子政务(04), 73-81.
- 王琼. 2016. 城市社区居家养老服务需求及其影响因素——基于全国性的城市老年人口调查数据[J]. 人口研究(01): 98-112.
- 赵鹏军、罗佳、胡昊宇. 2022. 基于大数据的老年人生活圈及设施配置特征分析——以北京市为例[J]. 地理科学(07): 1176-1186.
- 周凌一、周宁、祝辰浪. 2023. 技术赋能智慧养老服务的实践逻辑和优化路径——以上海市为例[J]. 电子政务(02): 43-57.
- Acri, M., Dobričić, S., & Debevec, M. 2021. Regenerating the historic urban landscape through circular bottom-up actions: The urban seeding process in Rijeka. *Sustainability*, 13(8): 4497.
- An, Z., Chen, Q., & Li, J. 2020. Ecological strategies of urban ecological parks: A case of Bishan Ang Mo Kio park and Kallang river in Singapore. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 194, p. 05060). EDP Sciences.
- Boemaars, J. 2021. Creating a library from a locomotive shed in Tilburg. Hauke, P. (Ed.). *New Libraries in Old Buildings: Creative Reuse* (pp.179-191). De Gruyter.
- Cecafosso, V. 2020. Il progetto di rigenerazione integrata di Clichy-Batignolles a Parigi (The Clichy-Batignolles integrated regeneration project in Paris). In *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale* (Adapting to the changing climate. Innovating knowledge for the environmental project). Maggioli.
- Cornelius, V. 1999. Ang Mo Kio. Singapore National Library Board.
- Dillon, L. 2014. Race, waste, and space: Brownfield redevelopment and environmental justice at the Hunters Point Shipyard. *Antipode*, 46(5): 1205-1221.
- Gahegan, M. 2020. Fourth paradigm GI Science? Prospects for automated discovery and explanation from data. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(1): 1-21.
- Huff, D. L. 1963. A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land Economics*, 39(1): 81-90.
- Jacobs, J. 1961. *The Death and Life of Great American Cities*. New York: Random House.
- Jiang, B., Liu, X., & Jia, T. 2013. Scaling of geographic space as a universal rule for map generalization. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(4): 844-855.
- Jiang, B., & Yin, J. 2014. Ht-index for quantifying the fractal or scaling structure of geographic features. *Annals of the Association of American Geographers*, 104(3): 530-540.

- Jiang B. 2015. Geospatial analysis requires a different way of thinking: The problem of spatial heterogeneity, *GeoJournal*, 80(1): 1-13.
- Lan, T., Cheng, H., Wang, Y., & Wen, B. 2022. Site selection via learning graph convolutional neural networks: A case study of Singapore. *Remote Sensing*, 14(15): 3579.
- Marlor, L. 2021. New territories: Reimagined interiorities. *Interiority*, 4(2): 191-206.
- Mrak, I., Ambruš, D., & Marović, I. 2022. A holistic approach to strategic sustainable development of urban voids as historic urban landscapes from the perspective of urban resilience. *Buildings*, 12(11): 1852.
- Niu, Z., Zhong, G., & Yu, H. 2021. A review on the attention mechanism of deep learning. *Neurocomputing*, 452: 48-62.
- Oshan, T. M., Wolf, L. J., Sachdeva, M., Bardin, S., & Fotheringham, A. S. 2022. A scoping review on the multiplicity of scale in spatial analysis. *Journal of Geographical Systems*, 24(3): 293-324.
- Rauscher, R. C. 2018. Long Island City and sustainable city principles. *New York Neighborhoods-Addressing Sustainable City Principles*: 197-214.
- Russell-Clarke, J. 2020. Paved for the people: In Melbourne, a parking lot has become a public square. *Foreground*.
- Salha, G., Hennequin, R., & Vazirgiannis, M. 2021. Simple and effective graph autoencoders with one-hop linear models. In *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference, ECML PKDD 2020, Ghent, Belgium, September 14–18, 2020, Proceedings*, Part I (pp. 319-334). Springer International Publishing.
- Trancik, R. 1991. *Finding lost space: theories of urban design*. John Wiley & Sons.
- Xiao, L., Lo, S., Zhou, J., Liu, J., & Yang, L. 2021. Predicting vibrancy of metro station areas considering spatial relationships through graph convolutional neural networks: The case of Shenzhen, China. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(8): 2363-2384.
- Xiao, C., Zhou, J., Huang, J., Xu, T., & Xiong, H. 2023. Spatial Heterophily Aware Graph Neural Networks. Proceedings of the 29th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.
- Verdini, G. 2015. Clichy-Batignolles, Paris: a case of successful inner-city regeneration. *World Architecture*, 306(12): 124-127.
- Wang, Y., Li, S., Zhang, X., Jiang, D., Hao, M., & Zhou, R. 2020. Site selection of digital signage in Beijing: A combination of machine learning and an empirical approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4): 217.

责任编辑：刘大炜