

# 基于 POI 大数据与机器学习的养老设施规划布局

## ——以武汉市为例

汪晓春<sup>1</sup> 熊峰<sup>2</sup> 王振伟<sup>1</sup> 陈双<sup>3</sup> 张祚<sup>4</sup> 彭丽娜<sup>51</sup>

(1. 湖北大学 公共管理学院, 中国湖北 武汉 430062;

2. 远洋集团控股有限公司华中开发事业部, 中国湖北 武汉 430015;

3. 湖北大学 商学院, 中国湖北 武汉 430062;

4. 华中师范大学 公共管理学院, 中国湖北 武汉 430079;

5. 武汉市自然资源和规划信息中心, 中国湖北 武汉 430014)

**【摘要】**文章以武汉市为研究对象, 在 500m 网格尺度上, 以 POI 数据与“六普”人口数据为基础, 结合现有的城市养老设施分布特征, 运用机器学习算法, 对养老设施选址布局进行定量模拟。文章先从武汉市 31390 个网格中模拟出 4878 个适合选址点位, 然后根据各区域老龄化程度, 进一步筛选出 1366 个需要优先布局的点位, 初步实现精细化尺度下养老设施定量化选址。研究发现: (1)模型模拟结果与现有养老设施对比, 准确度为 95.7%, 方法可靠。(2)预测结果表明武汉市新增养老设施主要布局在三环以内等老龄化人口集聚区; 同时, 部分远城区街道人口老龄化也比较严重, 需尽快新建养老设施。(3)研究尝试采用机器学习算法进行养老设施规划选址, 可以使整体的布局趋向最优, 可以尽量避免规划选址的主观性。该方法在其他公共设施选址中亦有一定的参考价值。

**【关键词】**人口老龄化 决策树 规划选址 公共设施

**【中图分类号】** TU984 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-8462 (2021) 06-0049-08

根据国际通用的划分标准, 60 周岁以上人口占总人口 10%以上, 65 周岁以上人口占总人口 7%以上, 即意味着这个国家或地区处于老龄化社会<sup>[1]</sup>。根据国家统计局数据, 2000 年, 我国 65 岁及以上人口比重达到 7.0%, 老年型年龄结构初步形成, 中国开始步入老龄化社会<sup>[1]</sup>; 根据第七次全国人口普查数据, 截至 2020 年 11 月 1 日 0 时, 中国大陆总人口 14.12 亿人, 60 岁及以上人口为 2.64 亿人, 占 18.70% (其中, 65 岁及以上人口为 1.91 亿人, 占 13.50%)<sup>[2]</sup>, 人口老龄化程度持续加深。人口老龄化的加速

<sup>1</sup>**作者简介:** 汪晓春 (1984-), 女, 湖北鄂州人, 博士, 讲师, 研究方向为城市管理。E-mail:wangxc@hubu.edu.cn

王振伟 (1981-), 男, 河南太康人, 博士, 副教授, 研究方向为土地资源管理。E-mail:wangzw@hubu.edu.cn

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (71774066); 教育部人文社会科学基金项目 (19YJC630179); 湖北省教育厅人文社会科学研究项目 (18Q004、18Q014)

---

将加大社会保障和公共服务压力，是进入新时代人口发展面临的重要风险和挑战。目前，我国养老服务和产品供给不足，城乡区域发展不平衡等问题还十分突出，统筹规划发展城市养老服务设施的任务迫在眉睫，尤其是如何有效避免选址的主观性、随意性，如何提高规划选址的科学性，是需要深入研究的课题。空间数据挖掘技术的发展，为解决这些日益复杂的问题提供了技术支持。基于此，本文利用武汉市 POI (point of interest) 数据与机器学习算法，结合 ArcGIS 软件，进行养老设施规划选址模拟研究，以提高选址的全局性、科学性和客观性，为政府决策提供参考。

## 1 文献综述

### 1.1 养老设施规划布局理论

养老设施主要包括养老院、老年养护中心、敬老院、老年大学、老年公寓、照料中心、社会福利中心等。随着老龄化加速发展，养老设施规划建设成为大城市空间规划的新问题<sup>[2-3]</sup>。一些学者希望通过定性分析寻找城市功能设施分布规律，以适应人口结构变化<sup>[4-5]</sup>。各种人口结构变化中，最为明显就是人口老龄化，而老龄化的过程中家庭小型化与原生家庭空巢化矛盾不断增加，并伴随着经济社会转型期间的矛盾交织，社会对养老服务与养老设施的需求不断增加<sup>[6]</sup>。城市养老功能设施的空间分布既受自然、经济、社会、人口等因素的综合影响，同时又会反作用于社会经济的发展<sup>[7]</sup>。老年人口分布、经济发展、交通通达性、医疗配套设施是养老设施空间分异的主要影响因素<sup>[8]</sup>。面对日益尖锐的老龄化问题，迫切需要研究老年人口分布与设施空间分布之间的关系。目前在城市规划中应对人口老龄化问题的方式主要集中在城市空间结构优化、公共设施配置、公共空间营造与公共交通改造等方面，关于城市公共服务设施空间集聚特征的研究均十分有限<sup>[9]</sup>，且现有研究多采用定性方法，而针对具体城市功能设施空间角度的量化研究较少<sup>[10-11]</sup>，这限制了具有针对性政策的制定与实施。POI 数据作为新兴城市数据，已被广泛用于城市功能与用地规划等研究<sup>[12-13]</sup>，但这些研究多是以区县以上的大尺度应用为主，街道及以下尺度人口数据的研究则较少<sup>[14-15]</sup>。亦有许多研究利用 POI 数据对城市公共设施的分布进行了有意义的尝试<sup>[16-17]</sup>。

### 1.2 养老设施规划布局实践

养老设施作为一类特殊的城市功能设施，其分布既要符合城市功能要求，又要考虑到特定人群的空间需求差异<sup>[18-19]</sup>。北京、上海、广州是我国进入老龄化社会较早且老龄化比较严重的地区，已引起相关学者的广泛关注。阎志强研究发现广州市老龄化类型区和养老机构数量、床位及使用情况分布存在较大的区间差异和区内差异，即需求重点区域与供给重点区域配置不很到位，应该在老龄化程度高、老年人口聚集的区域较快地扩大养老机构规模、提高收养服务能力<sup>[20]</sup>。赵小仕等认为广州市在十年社区养老体系的发展实践中，已形成政府主导、社会参与、全民关怀的社区养老服务体系，但仍存在社区养老筹资渠道狭窄、设施不够健全、覆盖范围有限、公众参与程度不高等问题<sup>[21]</sup>。上海市是我国率先进入老龄化的城市，“十一五”期间上海率先提出“9073 养老模式”，即 90% 的老年人由家庭自我照顾，7% 享受社区居家养老服务，3% 享受机构养老服务，但王蓓的调查显示，目前上海市老人要求住养老院的比例大大增加，“9073”的养老结构需要及时向“7”和“3”倾斜，但养老机构和养老床位严重不足，建议政府适当降低民营养老机构的准入门槛，鼓励多元化的养老机构<sup>[22]</sup>。邵磊等研究发现北京市中心城区及郊区养老服务设施的建设数量及使用率呈不均衡状态，设施与人口空间分布脱节，中心城区养老设施规划数量短缺，而城市郊区养老服务数量较多，入住率却很低，应针对城市不同区域以多种途径加以优化提升<sup>[23]</sup>。

总体来看，在养老设施选址布局方面，研究方法多为定性研究及传统算法，规划布局选址的主观性、政策性影响较大，科学性不足；且目前的研究多聚焦在市县以上的大尺度，街道及以下尺度人口数据的研究较少，利用 POI 数据和机器学习算法探究养老设施的布设，并将研究范围聚焦到街道尺度的相关研究目前还鲜有报道。有鉴于此，本文拟基于 POI 和机器学习算法构建养老设施选址算法模型，以提高选址的全局性、科学性和客观性，并以我国中部老龄化较为严重的特大城市——武汉市为案例来进行实证研究，希冀能对养老设施布局方法的完善和发展有所裨益。

## 2 研究区和研究方法

## 2.1 研究区

武汉市作为中部地区的特大城市，老龄化程度比较严重。武汉市民政局发布《2018 年武汉市人口老龄化形势分析》报告显示，截至 2018 年底，武汉市户籍总人口 883.73 万，其中 60 岁以上老年人口 187.94 万，占 21.27%；65 岁以上老年人口 124.25 万人，占总人口的 14.06%，首次突破 14%，表明武汉市已进入“深度老龄化”。截至 2018 年底，武汉市拥有养老床位总数 6.96 万张，每千名老年人口养老床位数 38 张，现状养老设施紧缺、设施不够健全、覆盖范围有限等问题突出。武汉市《民政事业发展“十三五”规划》要求，到 2022 年每千名老人养老床位要达到 50 张，城市社区居家养老服务设施覆盖率 100%，亟须规划建设一批新的养老设施。如何使这些新增养老设施做到科学选址并优化其布局，即是本文要解决的关键问题。本文研究范围包括武汉市 13 个市辖区，共 184 个街道（乡镇）。

## 2.2 总体研究思路

养老设施作为城市的一类功能设施，其现状分布具有一定的合理性和可借鉴性。武汉市养老设施现状分布特征可以通过 POI 大数据进行分析得到。根据普通养老设施的服务半径，分析网格设为 500m×500m 大小。本文研究框架如图 1 所示。首先，本研究依据武汉市现有养老设施的空间分布特征，并参考前人的研究<sup>[24-25]</sup>，利用机器学习算法，训练得到一个适合武汉市的养老设施选址决策模型。将模型模拟结果与现有养老设施分布进行叠加分析，验证选址模型的科学性，若现有养老设施与模拟结果的重合度达到 80% 以上，则证明模型可靠，否则就继续优化模型。然后，利用该模型，对每个网格进行模拟预测，看是否适合新建养老设施。最后，结合各区域老龄化人口密度，筛选出优先建设养老设施的点位。

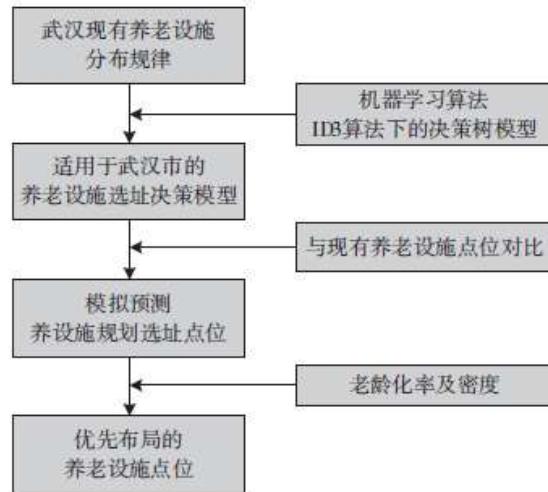


图 1 研究框架图

## 2.3 研究方法

决策树方法是基于已知各种情况的发生概率，根据信息熵的大小，来求得最大净现值期望大于 0 或等于 0 的概率一种监督学习方法。监督学习则是给出一些已知样本，每个样本都有一组属性，同时样本所属的类别也是已知，根据这些样本已知的属性与类别，通过训练学习后，可得到一个这类样本可用的分类器，然后就可以根据这个分类器对新的样本进行分类判断。ID3 算法最早是由 J. Ross Quinlan 于 1975 年提出的一种分类预测算法，算法的核心是“信息熵”，以信息熵和信息增益为衡量标准，从而实现对数据的归纳分类<sup>[26]</sup>。本研究拟在已有样本的选址决策问题中，建立基于 ID3 算法的决策树模型进行研究。

---

设有样本数  $S$  的样本集  $S=\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ , 其决策属性集为  $D=\{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ , 第  $j$  类属性  $D_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ), 有样本数  $|D_j|$  个, 则  $D$  的信息熵  $info(D)$  为:

$$info(D) = -\sum_{j=1}^m p_j \cdot \log 2p_j \quad (1)$$

式中: 第  $j$  类的概率为  $p_j$ , 一般用该类样本的个数与总样本数的比值进行估计。设  $A$  属性有集合设  $A=\{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ , 其第  $i$  个条件属性的取值为  $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ),  $|A_i|$  为该取值的样本数,  $|A_{ij}|$  为  $A_i$  下的第  $j$  类的样本数, 那么属性  $A$  进行划分后的信息熵则为:

$$info(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{|A_i|}{|S|} \cdot \sum_{j=1}^m p_{ij} \cdot \log 2p_{ij} \quad (2)$$

最终得到属性  $A$  划分前后的信息增益 (即信息熵之差) 其表达式为:

$$Gain(A) = info(A) - info(D) \quad (3)$$

基于 ID3 算法的决策树方法的核心思想就是依次计算每种属性划分前后的信息增益, 每次都以信息增益最大的属性为节点, 即把最能有效分类的属性作为分类条件, 反复迭代后得到最优决策树。

### 3 数据来源及处理

本文采用的核心数据包括武汉市 POI 数据和武汉市第六次人口普查数据 (以下简称“六普”数据)。

#### 3.1 POI 数据

一般来说, 街道和各类设施与建筑是城市的基本构成, 地图类数据是对城市进行描述的基本方式, 而 POI 数据则是描述城市各类功能空间分布的基本数据。本文所使用的 POI 数据为通过百度地图为开发者所提供的 API (Application Programming Interface, 应用程序编程接口), 利用 Python 语言编写程序获取。所获取的 POI 数据为数据库格式, 属性中包含设施的名称、所属功能类别、经纬度坐标等基本信息。百度地图所获取的经纬度坐标系为投影坐标系, 通过 Python 编写转换代码, 将其坐标转换为统一的 WGS84 地理坐标系。

#### 3.2 人口数据

本研究中的老龄人口数据来源于武汉市“六普”数据, 细化到 184 个街道 (乡镇)。数据显示, 武汉市 65 岁以上老人超过万人的街道一共 12 个, 依次为武昌区中南路街道、武昌区水果湖街道、黄陂区前川街道、洪山区关山街道、洪山区珞南街道、蔡甸区蔡甸街道、新洲区邾城街道, 江岸区花桥街道、江夏区纸坊街道、武昌区杨园街道、青山区钢花村街道、武昌区徐家棚街道。65 岁以上老人超过 5000 人的街道有 65 个, 占总街道数的 35.33%。65 岁以上老人超过 3000 人的街道有 104 个, 占总街道数的 56.52%。武汉市老龄化人口分布总体呈现以主城区为中心逐渐向外扩散, 在远郊区局部区域形成增长极, 然后又逐渐递减至边缘区的态势 (图 2)。

### 3.3 基础设施分类与网格划分

首先,根据与养老设施的关系,将POI表征的城市各类设施进行分类。主要分为基础服务设施、商业服务设施、行政办公设施和医疗养老设施5个一级类;交通设施、酒店、体育休闲、公司企业、医疗服务、房地产、政府机构、生活服务、科教文化、购物、金融、旅游景点、餐饮美食和养老设施等14个二级类,共计429096条。这些数据覆盖武汉13个市辖区、184个街道(乡镇)。

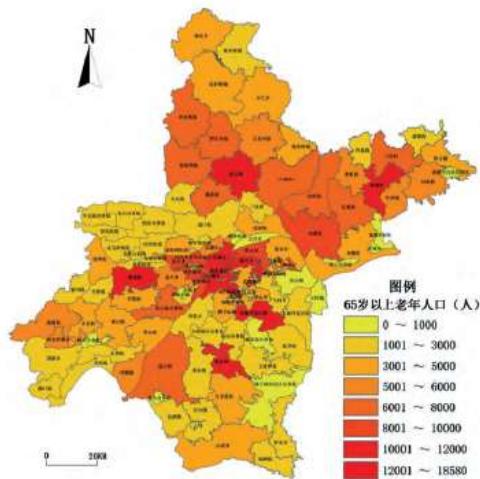


图2 武汉市各街道老龄化人口分布图

然后,根据一般养老设施的服务半径,以老年人15min的步行距离为参照,以500m×500m为尺度单元,将武汉市划分为31390个网格。每个网格拥有唯一编号,方便探究各类设施的空间分布规律。例如武汉市武昌区东亭老年人服务中心位于第20817号网格,该网格内又同时拥有黄鹂路东亭小区、东湖路社区卫生服务站、湖北省老年大学等许多设施(图3)。

最后,通过ArcGIS与Python代码,可以得到每个网格内的设施分布情况。以上面提到的20817号网格为例,该网格内拥有交通设施、体育休闲设施公司企业、医疗服务设施、生活服务设施、科教文化设施、美食餐饮设施与养老设施。遍历所有网格与各类设施空间分布后,可得到每个网格内是否拥有某类设施。

## 4 城市养老设施选址决策

城市养老设施选址决策首先是建立决策树,然后对养老设施选址进行预测,最后确定养老设施优先布局选址结果。养老设施作为城市的一类功能设施,其现状分布具有一定的合理性和可借鉴性。首先,本研究依据现有养老设施的空间分布特征,并参考前人的研究<sup>[21-22]</sup>,利用ID3算法下的决策树模型,训练得到一个适合武汉市的养老设施选址决策模型。然后,利用该模型,对每个网格进行模拟预测,看是否适合新建养老设施。

### 4.1 养老设施选址决策树建立

首先,将网格与设施归类进行匹配,将某一网格是否适合养老设施标准定为:若某网格内拥有养老设施,则表明该网格客观环境适合养老设施选址要求,将其归为正类。若某网格内无养老设施,则认为该网格客观环境不适合养老设施选址要求,将其归为负类。这样就实现了养老设施选址的二分类。然后,将网格内其他各类设施也进行二分类转换:有某类设施则该网格内该类设施为正类,否则为负类。

养老服务的选址决策过程就是不断对备选地块周边提出要求，从而筛选掉不符合要求的地块，该过程与决策树算法的思想非常相符，选址决策中的每类配套设施的有无就像决策树的每一个分叉节点，是否符合作为养老服务选址即是决策树的决策层。以武汉市所有网格内现有设施作为自变量，以是否有养老服务作为因变量，进行基于 ID3 算法的决策树训练学习，最终得出决策树模型（图 4）。

由图 4 结果可看出，决策树前四层就已经包含了养老服务以外的 13 类功能设施中的 11 类。决策树左右分别表示该网格内有无该类设施，同时依据 ID3 算法原理，越在决策树上层的属性对决策越为重要。

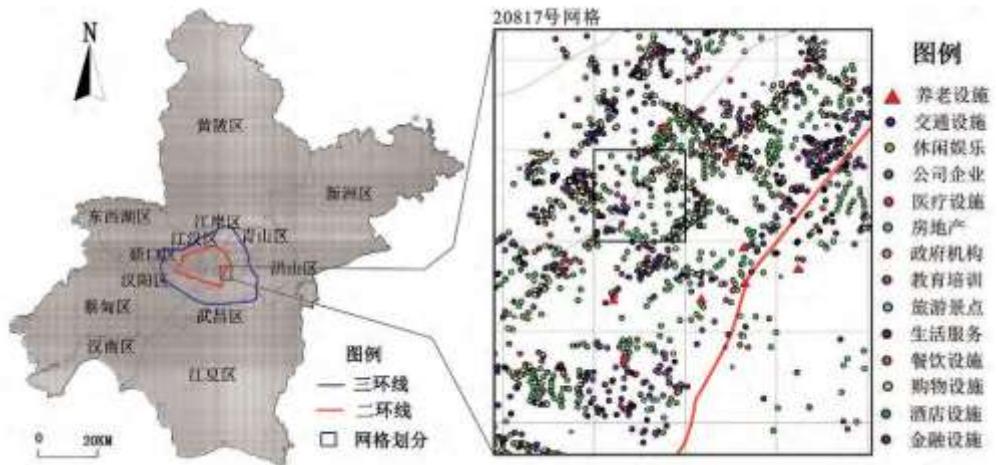


图 3 武汉市城市设施网格划分及局部示意图

决策树第一层为医疗设施，说明医疗设施对养老服务的选址影响最大，老年人就近就医的需求使得现有养老服务多分布在有医疗设施的网格内。

第二层左侧为地产设施，表示若养老服务建在无医疗设施的网格内时，则会选择优先建在一些房地产附近，例如常见的社区养老院与居家养老服务等，这也十分符合养老服务的选址原则。而第二层右侧表示若养老服务选择建在有医疗设施的网格内时，其网格内又多会有休闲类设施存在，这也较为符合老年人对休闲锻炼的要求。

第三层左侧的购物设施与科教设施表示当养老服务建在社区或地产附近时，周边会有一些商业设施或是科教设施，方便老年人购物及开展学习等活动。第三层右侧的餐饮设施与政府机构，表示养老服务附近同样会有一些餐饮类商业设施，例如一些茶馆，也会有一些政府机构，例如社区养老服务常会布局在社区服务站附近。

第四层以及图 4 未展示的几类设施则对养老服务的选址决策的决定性稍弱，如在第 4 层的交通与景点设施，说明有部分养老服务会建在交通便利或风景较好的区域，但养老服务有时也会选择建在稍微偏僻的地方，例如大量建于郊区的养老地产、福利院等。养老服务对未在图 4 中出现的金融类设施、公司企业与生活服务这几类设施的依赖性不强。

#### 4.2 养老服务选址预测

为避免训练集与预测集重合，本文对所有数据进行筛选及抽样，从 31390 个有效网格内进行等正负样本比例的随机抽样，最终筛选出 1156 个网格作为训练样本。以每个网格内养老服务为因变量，其他 13 类设施为自变量，进行决策树预测模型训练，

对全武汉 31390 个网格进行选址适宜性进行预测，最终得出合适的选址网格 4878 个，如图 5 所示。再用现有的 1004 个养老设施做测试集，进行拟合度的检验，最终检验结果表明，有 95.7% 的现有的养老设施与预测结果相吻合，预测结果较为合理。

根据初步预测结果图 5 可以看出，武汉市现有养老设施分布有明显特征，大多分布于三环以内，且呈现越往城市中心分布越密集的特征，三环线以外的区域也有少量的分布。现有养老设施也大都落在所预测的网格之内，但预测适合建设养老设施的网格内也有许多当前并没有养老设施，这表示未来选址可以在这些网格内进行选择，例如黄陂区、新洲区和蔡甸区虽然处于三环之外的郊区，但亦有许多网格适合作为养老设施选址。

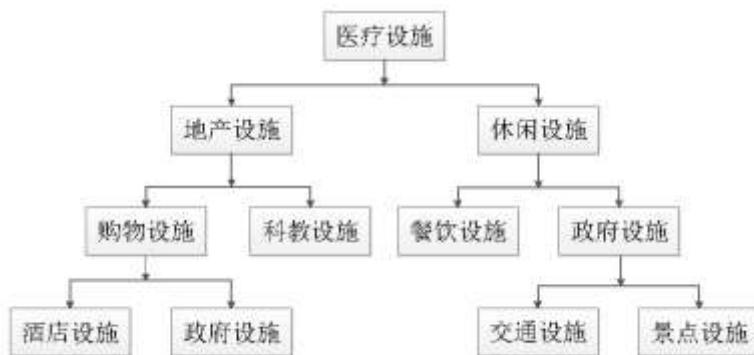


图 4 养老设施选址决策模型

#### 4.3 根据老龄化程度再次筛选

由于初步拟合出的 4878 个点位数量依然较多，远超出了武汉市近期规划建设的数量，因此，需要对初步选址结果进行再筛选，筛选出近期建设需求比较强烈的点位，供政府在决策中优先进行考虑。

基于“六普”数据，首先选出 65 岁以上人口占总人口 7% 以上的街道，这些街道已达到老龄化社会的国际标准，是应该优先安排建设养老设施的区域。同时，老年人规模也是决定是否建设养老设施的重要标准，根据“六普”数据，武汉市各街道 65 岁以上人口平均数量已经超过 3000 人，因此，将 65 岁以上人口大于 3000 人的街道再筛选出来。最终结果显示，武汉市有 84 个街道 65 岁以上人口比例大于 7% 且规模大于 3000 人。然后，利用 ArcGIS 对这 84 个街道周围 3km 的范围内合适的选址进行筛选，并去掉现有养老设施已有布局的网格，最终得到适合优先选址的网格 1366 个，具体分布如图 6。

由图 6 可以看出，所有老龄化较严重的街道都有预测适合建设养老设施的网格，预测结果较为合理。从总体来看，武汉市的三环之内存在大量比较密集的老龄化严重街道，现有的养老设施分布比较集中，规划预测点位数量依然较大。三环以内土地相对紧缺，但交通便利，可考虑较高楼层、较大规模的养老设施，以节约用地。同时要充分利用城市现有公共设施资源，结合不同区域情况建设不同类型的养老设施，比如在武昌区要充分利用丰富的教育资源，修建老年大学、社会福利中心等，在江汉区与江岸区要充分利用优越的医疗资源条件，建立一些医养结合的老年养护中心等。三环线之外老龄化严重的街道数量也不少，黄陂区有 13 个老龄化严重且老年人口规模较大的街道，其中有 8 个街道 65 岁以上人口规模达到 6000 人以上，新洲区有 5 个老龄化比较严重且 65 岁以上人口超过 6000 人的街道。但是，这些街道都处于武汉市远郊，经济发展相对落后，按照传统的选址方式，这些街道都是很有可能被忽略的，应引起规划部门的关注。同时，这些远郊街道地价相对较低，且自然环境优美，在后期选址过程中，可结合地方特色和优势，在修建一些普通养老设施，满足当地居民养老的同时，引进商业养老机构，修建一批高端养老设施，满足部分老年人度假休闲养老的需求。

## 5 结论与讨论

本研究基于 POI 大数据与“六普”人口数据，运用机器学习算法（ID3 算法），对武汉市养老设施选址布局进行模拟，研究结果表明：

(1) 针对武汉市 31390 个有效网格，通过机器学习算法预测模型训练，初步模拟出 4878 个适合选址点位，用现有的 1004 个养老设施做拟合度检验，拟合度为 95.7%，预测结果比较合理，表明该方法具有较高的可行性。

(2) 本研究预测的武汉市养老设施规划布局最终选址结果包含 1366 个点位，主要分布在三环以内等老龄人口集聚区。同时，黄陂区前川街道、蔡甸区蔡甸街道、新洲区邾城街道、江夏区纸坊街道等远城区部分街道人口老龄化也比较严重，需要尽快布局新建一定量养老设施。

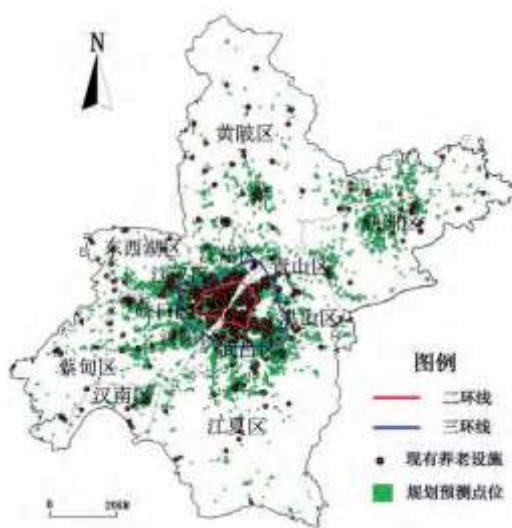


图 5 武汉市养老设施规划布局初步预测结果

(3) POI 数据具有内容丰富、信息齐全、时效性强等特点，对于城市建设和社会空间优化布局具有重要的使用价值。本研究尝试采用基于空间数据挖掘的机器学习算法进行养老设施规划选址，可以使整体的布局趋向全局最优，可以尽量避免规划技术人员在选址上的主观性，使选址更具科学性和全局性。该方法具有广泛的可推广性，在其他公共设施选址中亦有一定的参考价值。

本研究亦存在不足：POI 数据属于最新数据，但是分街道尺度的老龄人口数据是 2010 年的第六次全国人口普查数据，二者在时间匹配上有一定的偏差。但武汉市老龄人口过去十年在空间上的分布（即每个街道老龄人口占全市老龄人口的比例）变动幅度较小，所以由此引起的误差不会对结果带来较大的影响。

最后要指出的是养老设施选址要以老龄人口分布为重要依据，更要从城市整体规划布局考虑，要结合周边的基础服务设施状况，充分利用现有资源，使养老设施布局优化、因地制宜、舒适宜居，要尽量避免行政和技术人员的主观性，强化养老设施选址的定量化研究。本研究结果仅仅是为养老设施选址提供了一个范围参考，但对不同类型养老设施的选址未作区分，在未来的研究中还要进一步深化。



图 6 武汉市养老设施规划布局最终选址结果

#### 参考文献:

[1] 姚雪松, 冷红, 魏治, 等. 基于老年人活动需求的城市公园供给评价——以长春市主城区为例[J]. 经济地理, 2015, 35(11):218-224.

[2] Ishikawa N, Fukushige M. Dissatisfaction with dwelling environments in an aging society: an empirical analysis of the Kanto Area in Japan[J]. Review of Urban&Regional Development Studies, 2015, 27(3):149-176.

[3] Singelenberg J, Stolarz H, McCall M E. Integrated service areas: an innovative approach to housing, services and supports for older persons ageing in place[J]. Journal of Community&Applied Social Psychology, 2014, 24(1):69-73.

[4] Yan B, Gao X, Lyon M. Modeling satisfaction amongst the elderly in different Chinese urban neighborhoods[J]. Social Science&Medicine, 2014, 118:127-134.

[5] Joseph A E, Skinner M W. Voluntarism as a mediator of the experience of growing old in evolving rural spaces and changing rural places[J]. Journal of Rural Studies, 2012, 28(4):380-388.

[6] 徐怡珊, 周典, 仇志伟, 等. 基于老年人口空间分布特征的养老设施规划布局研究[J]. 建筑学报, 2017(9):74-77.

[7] 李鹏, 王秀娜, 肖致美, 等. 天津市人口分布特征研究[J]. 西北人口, 2015, 36(2):92-94, 100.

[8] 唐健雄, 马梦瑶, 陈宁, 等. 长株潭城市群养老设施空间分异特征及影响因素[J]. 经济地理, 2019, 39(1):113-121.

[9] 湛东升, 张文忠, 党云晓, 等. 北京市公共服务设施空间集聚特征分析[J]. 经济地理, 2018, 38(12):76-82.

[10] 阎志强. 城市老年人的机构养老意愿及其影响因素——基于 2017 年广州老年人调查数据的分析[J]. 南方人口, 2018, 33(6):58-65, 57.

---

[11]高晓路, 吴丹贤, 许泽宁, 等. 中国老龄化地理学综述和研究框架构建[J]. 地理科学进展, 2015, 34(12):1480-1494.

[12]李苗裔, 马妍, 孙小明, 等. 基于多源数据时空熵的城市功能混合度识别评价[J]. 城市规划, 2018, 42(2):97-103.

[13]Zhang Z, Xiao Y, Luo X, et al. Urban human activity density spatiotemporal variations and the relationship with geographical factors:an exploratory Baidu heatmaps-based analysis of Wuhan, China[J]. Growth and Change, 2020, 51(1):505-529.

[14]谢波, 周婕. 大城市老年人的空间分布模式与发展趋势研究——以北京、上海、广州、武汉为例[J]. 城市规划学刊, 2013(5):56-62.

[15]李扬, 刘慧, 金凤君, 等. 北京市人口老龄化的时空变化特征[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(11):131-138.

[16]许昕, 赵媛, 张新林, 等. 中国老年地理学研究进展[J]. 地理科学进展, 2018, 37(10):1416-1429.

[17]王远飞, 张超. GIS 和引力多边形方法在公共设施服务域研究中的应用——以上海浦东新区综合医院为例[J]. 经济地理, 2005, 25(6):800-803, 809.

[18]方园, 刘声, 祝立雄. 需求导向下养老特色村空间选址评价——以浙北地区为例[J]. 经济地理, 2018, 38(11):203-210.

[19]袁妙彧. 养老机构选址、规模及功能定位对医养结合模式选择的影响——基于扎根理论的探索性分析[J]. 南方人口, 2018, 33(5):52-62.

[20]阎志强. 广州人口老龄化与养老机构发展分析[J]. 南方人口, 2011, 26(6):1-7.

[21]赵小仕, 于大川. 广州城市社区养老社会化问题探究[J]. 改革与战略, 2015, 31(7):179-183.

[22]王蓓. 上海老龄化社会的特点、应对及其思考[J]. 中国老年学杂志, 2015, 35(2):532-534.

[23]邵磊, 张婧, 徐秉钧, 等. 北京城市养老设施空间分布与中心城区设施建设供给数据分析[J]. 建筑学报, 2017(10):4-8.

[24]刘星, 曹舒婷, 杨蕊, 等. 基于决策树模型的社区楼/院式养老模式选择意向影响因素[J]. 中国老年学杂志, 2019, 39(15):3786-3791.

[25]高晓路, 颜秉秋, 季珏. 北京城市居民的养老模式选择及其合理性分析[J]. 地理科学进展, 2012, 31(10):1274-1281.

[26]J. Ross Quinlan. Predicting the length of solutions to problems[C]//The Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Tbilisi:Computer Science, 1975:363-369.

#### 注释:

1 [http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201908/22/t20190822\\_32985939.shtml](http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201908/22/t20190822_32985939.shtml)

---

2 [http://www.stats.gov.cn/ztjc/zdtjgz/zgrkpc/dqcrkpc/gg1/202105/t20210519\\_1817693.html](http://www.stats.gov.cn/ztjc/zdtjgz/zgrkpc/dqcrkpc/gg1/202105/t20210519_1817693.html)

3 [http://www.cnr.cn/hubei/yaowen/20190115/t20190115\\_524482420.shtml](http://www.cnr.cn/hubei/yaowen/20190115/t20190115_524482420.shtml)