

武汉市电动汽车充电站空间分布特征及区位影响因素研究¹

王雨晨, 刘合林, 郑天铭

摘要: 为顺利完成碳达峰、碳中和任务, 推广电动汽车已成为低碳发展的共识, 但相关充电站的科学选址问题仍有待加强。本文基于武汉市电动汽车充电站数据, 通过圈层分析法和核密度估计法分析中心城区充电站的空间分布特征, 创新性地采用二元 Logistic 模型探究了充电站的区位影响因素, 并提出针对性的规划布局优化建议。结果表明: 圈层分布整体呈由中心向外围扩散, 数量从低值到峰值, 并呈波动状递减; 密度分布整体呈“小集聚, 大分散”的多中心格局, 并沿主要道路带状扩散; 交通通达性、购物服务环境、商务办公环境对充电站的选址具有显著影响, 其中慢充充电桩对购物和商务环境因素更敏感, 快充充电桩对交通通达性因素更敏感。武汉市未来充电站规划应加强在商业商务活动密集的地区布局, 鼓励与停车场等交通设施的兼容性布局, 并优化慢充和快充的布局配比。

关键词: 电动汽车充电站, 空间分布特征, 区位影响因素, 二元 Logistic 模型, 武汉市

1 引言

为了降低传统燃油车对大气的污染, 如期完成碳达峰、碳中和任务, 快速推进和发展新能源电动汽车已成为世界各国低碳发展共识。近年来, 我国新能源汽车数量增长迅猛。根据公安部交通管理局统计, 截至 2020 年底, 全国新能源汽车保有量达 492 万辆, 占汽车总量的 1.75%, 比 2019 年增加 111 万辆, 增长 29.18%。但为电动汽车提供电能补给的充电基础设施(以下简称“充电站”)存在实际数量不足以及选址不合理等问题, 这严重阻碍了新能源电动汽车的推广。研究电动汽车充电站的空间布局选址问题, 不仅关系到城市交通服务设施的建设发展, 也与城市远期规划和城市空间格局密切相关, 具有重要研究意义和价值。

目前, 国内外对于充电站选址问题的研究最主要涉及交通、能源、电力工程三个领域, 以不同的研究范式构建充电站选址问题, 主要研究方向包括充电站最优选址布局、选址方法、选址评价等方面内容^[1]。在城市规划领域, 部分学者从规划专业的视角来分析充电站规划选址布局问题, 卞芸芸等基于供需平衡的视角提出以需定供的电动汽车充电设施规划思路, 并根据广州市的实践, 制定了符合广州市实际的充电桩空间布局方案^[2]。王欣针对大连市电动汽车充电基础设施专项规划从四个空间层面, 按照“站、群、桩”的设施类型, 采取分区供给、分类应对的充电设施规划布局策略^[3]。邹涵等以武汉市汉口历史街区为例, 通过大数据分析, 提出利用现有停车场、道路停车位、周边广场提车位进行电动汽车公共充电桩规划布局^[4]。葛尧等基于充电桩的 POI 数据, 通过核密度分析得出适宜建造充电桩的区域, 再通过空间句法模型的轴线分析法进行验证, 从而对武汉市的充电桩站点提出改造建议^[5]。尹智文

¹ 国家自然科学基金项目(D1218006) 教育部资助基金(19GBQY083)。

基于武汉市电动汽车充电站数据、六普人口数据、加油站等 POI 数据,运用核密度分析、标准差椭圆法分析了武汉市电动汽车充电站的分布现状以及存在问题^[6]。总体来看,以上研究大多从宏观政策和规划策略的角度,对充电站规划布局进行分析,而对于 POI 等大数据技术的应用深度略显不足。从研究对象来看,研究多从城市全域宏观尺度来研究充电站选址布局问题,而对城市中心城区等中观尺度和校园、居住区等微观尺度的研究文献较少。

武汉市作为中部地区特大城市,在电动汽车充电站发展上有一定的基础。在 2015 年提出电动汽车公共充电桩和停车位结合建设的设想,并在 2017 年出台《武汉市新能源汽车充电设施建设规划》,要求在 2020 年充电桩数量累计达到 15000 个。本文将聚焦武汉市中心城区,结合武汉市电动汽车充电站数据以及停车场 POI 等其他多源数据,运用核密度分析、圈层分析等分析方法,研究武汉市充电站空间分布特征。并基于二元 Logistic 模型来探究充电站的选址区位影响因素,最终结合现状布局问题有针对性地提出武汉市电动汽车充电站的规划策略和选址建议。

2 研究数据与方法

2.1 研究区域

武汉市是我国中部地区的中心城市。为了探究城市中观层面的电动汽车充电站分布规律,本次选择武汉市中心城区作为研究区域。武汉市中心城区包含硚口区、江汉区、江岸区、汉阳区、武昌区、青山区、洪山区 7 个行政分区以及武汉经济技术开发区(以下简称“武汉经开区”)、东湖高新技术开发区(以下简称“东湖高新区”)的部分地区,其中武汉经开区由汉南区代管,东湖高新区由洪山区代管。

2.2 数据来源及处理

采用网络爬虫技术,通过百度 API 接口爬取得到武汉市电动汽车充电站数据,包括名称、地址、充电每小时单价,快充充电桩数量、慢充充电桩数量等字段信息。经过数据清洗、坐标纠偏等处理操作后,基于 Arcgis10.2 空间分析平台,得到 2019 年武汉市中心城区充电站空间数据集(截至 2019 年 3 月),共含充电站 230 个,慢充和快充充电桩 2497 个。将仅包含慢充、仅包含快充或同时包含快慢充充电桩的充电站数据进行分离提取,得到慢充和快充充电桩空间数据集,其中快充充电桩 820 个、慢充充电桩 1677 个。以同样的数据获取方法,清理得到武汉市交通设施、购物服务、商务办公等各类 POI 空间数据集(2018 年)。人口密度数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/DOI>)公布的 2020 年中国人口空间分布公里网格数据集。

2.3 研究方法

(1) 圈层分析法

为探究武汉市中心城区电动汽车充电站的圈层分布情况,本文基于 ArcGIS10.2 空间分析平台,以武汉市政府所在地为中心圆点,向外以 2km 等距离进行圈层缓冲区的建立,并

统计每个圈层内的电动汽车充电站的数量和占比，具体公式见文献^[7]。

(2) 核密度估计法

核密度估计法是用来估计特定要素点，在一定的半径范围内，其中心区域密度较大，密度随着距离的增大而逐渐减少，边缘区域趋向为 0。区域内每个要素点都进行此方法计算，叠加形成整体个区域内的分布密度，具体公式见文献^[7]。基于此，本文运用 ArcGIS10.2 中的核密度分析工具，计算充电站要素在其周围邻域的密度情况，并将充电站的分布集聚程度可视化，以此来识别充电站的空间规模和空间集聚程度。

(3) 二元 Logistic 模型

二元 Logistic 模型，一般对于因变量仅有“是”或“否”两个数值的常用统计回归分析法，通过回归拟合解释变量与事件发生概率的非线性关系^[8]。本文利用该方法对武汉市电动汽车充电站的区位影响因素进行探究。将武汉市中心城区进行网格划分，设定网格内“有充电站”时，因变量 Y 赋值为 1，反之赋值为 0，计算表达式如下所示：

$$\ln \left(\frac{P}{1-P} \right) = \alpha + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_n x_n \quad (1)$$

其中，P 为某时间发生（Y=1）的概率，1-P 为该事件不发生的概率，X_n 为解释变量，n 为解释变量的总数，α 为常数项，β_n 为解释变量的回归系数^[7]。

3 武汉市电动汽车充电站空间分布格局特征

3.1 圈层分布特征：由中心向外围扩散，数量从低值到峰值，并呈波动状递减

采用圈层分析法，以武汉市人民政府为中心，选取 2km 为半径向外围建立 11 个圈层缓冲带，得到武汉市中心城区电动汽车充电站空间圈层分布，同时统计各圈层内充电站数量占比（图 1）。

由图 1 可知，充电站总体圈层分布特征呈现由中心向外围扩散的特征。数量上从低值到峰值，随后呈波动状递减至低值。具体而言，0~2km 和 2~4km 的城市中心内充电站数量占比分别为 2.17%、7.83%，处于较低值。这表明城市核心的地带武昌、汉口的老城区，由于土地紧缺等问题，充电站建设较为落后。企业数量在 4~6km 和 6~8km 处圈层占比为 17.39% 和 17.83%，达到峰值。这表明一环线至二环线的地区是充电站的核心承载区。随着距离的增加，充电站数量呈现波动性的减少，并在 12~14km 和 16~18km 的圈层处出现明显的波峰，其数量占比分别为 12.17% 和 10.43%，这表明在中心城区的边缘地带也出现了充电站的次级聚集区。

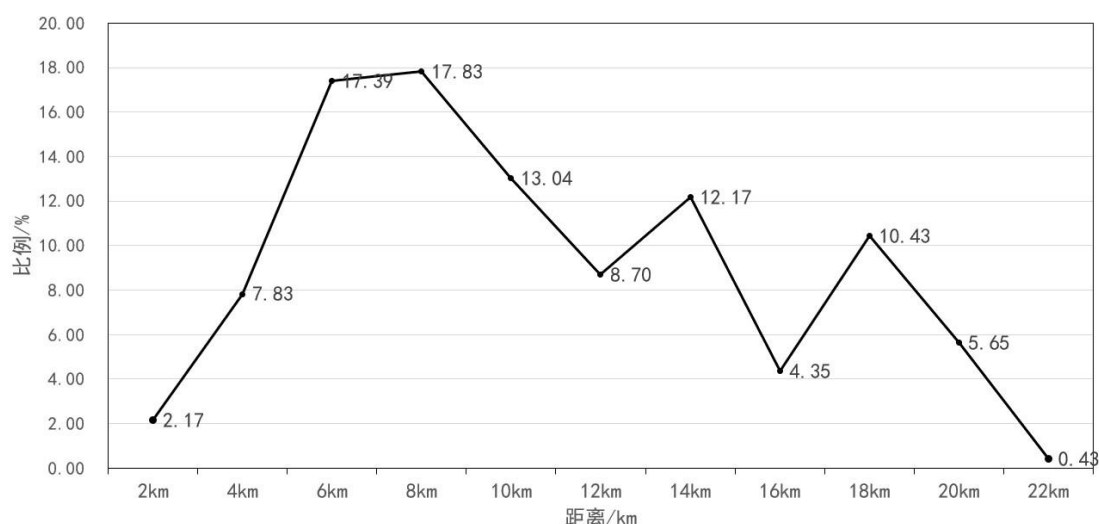


图1 武汉市中心城区电动汽车充电站圈层分布占比图（来源：笔者自绘）

3.2 密度分布特征：“小集聚，大分散”的多中心格局，并沿主要道路带状扩散

利用 ArcGIS10.2 空间分析平台中的核密度分析工具，根据国家及省级相关充电站规范，将中心城区内的搜索半径设定为 1km，Population 字段设定为充电站中的慢充及快充充电桩总数，对武汉市中心城区电动汽车充电站进行核密度估计，以类似方法得到慢充和快充充电桩的核密度估计。

武汉市中心城区充电站整体呈现“小集聚，大分散”的多中心格局，表现为趋向于主要大型商圈及产业园选址布局，并沿主要道路带状扩散。具体而言，“多中心”的高密度核心集聚区共 5 个，分布在武昌区的楚河汉街商圈、洪山区的洪山创业中心、东湖高新区的大学园路产业园、青山区的武商众圆广场、武汉经开区的神龙大道产业集聚区，表现为“小集聚”的分布态势。而次密度和低密度区表现为“大分散”，其中次密度区沿主要道路带状分布，主要道路包括：平安大道—中南路—中北路—丁字桥路—雄楚大道；关山大道—大学园路；和平大道—徐东大街；解放大道—武胜路—鹦鹉大道；江城大道—汉阳大道—龙阳大道—东风大道。而低密度区则以点状广泛分散在中心城区的边缘地带。另外值得注意的是，部分传统商圈如江汉路商圈、徐东商圈、光谷广场商圈、中南路商圈等地区的充电站的核密度值较低，这表明该地区充电站建设仍较落后，未来需加快充电站或桩布局建设。

慢充充电桩比快充充电桩的整体核密度值更高，且核密度分布情况与总体充电站的会计核算密度分布情况类似。而对快充充电桩来说，目前并未表现明显高度集聚态势，其次密度聚集区总体分布在二环线周边如骏业财富中心、楚河汉街商圈、创智园等的城市地带中以及三环线周边的产业园中。

4 武汉市电动汽车充电站区位选址影响因素

4.1 指标选取

在充电站区位影响因素分析中，将充电站整体情况以及慢充、快充充电桩的格局影响因素统一考虑。通过梳理现有文献，可将影响充电桩选址的因素归纳为：充电基础设施、EV 驾驶行为、外部环境三大因素，其中 EV（Electric Vehicle）驾驶行为（出行行为、充电行为）将会影响充电需求的产生^[1]。由于充电基础设施本身及 EV 驾驶个体行为的相关数据较难获取，本文仅从地理视角进行充电站区位影响因素的探究。在已有文献研究基础上，得到各区位影响因素指标选取及定义（表 1）。

人口密度大的区域通常认为具有较大的充电需求^[9]，也就需要相应布局足够的充电站。本研究引入人口密度变量（X1），根据网格内人口密度来测度。良好的交通通达性将为电动汽车驾驶者的出行行为和充电行为提供便利，从而提高电动汽车充电效率。本文引入交通通达性变量（X2），由网格内的路网密度测度。购物活动、工作活动、文化活动等行为都会产生不同的充电需求^[10]，为了探究购物、工作、文化这三种活动对充电站区位影响的程度，本文引入购物服务环境变量（X3）、商务办公环境变量（X4）、文化服务环境变量（X5），其分别用网格内的购物服务类 POI、商务办公类 POI、文化服务类 POI 的密度来测度。研究认为，充电站往往会和公共停车场等交通服务设施进行合并布置，为了探究停车场对充电站选址的影响，本文引入停车场设施环境变量（X6），通过网格内停车场类 POI 密度来测度。

表 1 武汉市电动汽车充电站的区位影响因素指标选取及定义（来源：笔者整理）

编码	因素类型	解释变量	均值（标准差）
Y	因变量	网格内有充电站值设为1，否则为0	0.178（0.383）
X1	人口密度	网格内的人口密度（万人/平方公里）	1.102（1.454）
X2	交通通达性	网格内的路网密度（km/ 平方公里）	3.731（2.446）
X3	购物服务环境	网格内的购物服务类POI密度（个/ 平方公里）	2.666（3.990）
X4	商务办公环境	网格内的商务办公类POI密度（个/ 平方公里）	2.210（4.236）
X5	文化服务环境	网格内的文化服务类POI密度（个/ 平方公里）	14.709（24.729）
X6	停车场设施环境	网格内的停车场类POI密度（个/ 平方公里）	10.854（17.135）

4.2 结果分析

本文对武汉市中心城区进行 1km*1km 的网格划分，得到 781 个网格单元。以网格中有无充电站以及有无慢、快充充电桩为因变量，以表 1 中的因素为解释变量。运用 SPSS21.0 软件中的二元 Logistic 模型进行分析，得到不同因素对于充电站以及慢、快充充电桩的区位影响情况，回归结果如表 2。

从充电站整体模型的拟合情况来看，六个解释变量中交通通达性（X2）、购物服务环

境（X3）、商务办公环境（X4）均达到了显著性水平，表明这三个变量对充电桩的区位选址影响较大。具体而言，交通通达性（X2）的系数显著为正，表明交通通达性越好，地区的路网密度越高，充电桩的分布概率就越大，符合预期。购物服务环境、商务办公环境是影响充电桩区位选址的重要影响因素。购物服务环境（X3）、商务办公环境（X4）的系数显著为正，这表明充电桩的选址和地区购物娱乐活动和工作办公活动环境有着较大联系。一般的，对于 EV 驾驶员在购物活动和工作活动的过程中，往往会在目的地停留较长时间，此时会产生较大的充电需求，充电桩也会倾向于靠近大型商超等购物活动发生地以及写字楼、产业园区等工作活动发生地布局，符合预期。值得指出的是，模型中人口密度（X1）、文化服务环境（X5）不显著，且人口密度指标系数为负。这表明人口密度对充电桩选址的影响程度并不大，充电桩倾向于在人口密度低的地区布局，这与预期结论不符。其可能原因在于目前武汉市充电桩的建设仍处于发展阶段，而人口密度较大的地区通常是城市核心老区，由于土地紧缺、拓展困难的因素，无法实现大规模的充电桩建设。同时，文化服务环境变量（X5）不显著，这表明博物馆、图书馆等文化休闲活动发生地对充电的需求并不大。停车场设施环境变量（X6）不显著，表明武汉市现状充电桩并未采用一般和停车场并行布局的方式，停车场对充电桩的区位选址影响不大。

从慢充充电桩和快充充电桩的模型拟合结果来看，对于慢充充电桩来说，购物服务环境（X3）和商务办公环境（X4）达到了显著性水平，且回归系数为正。这说明购物活动和工作活动对慢充的需求较大，也就会吸引慢充充电桩在此处布局。对于快充充电桩来说，交通通达性（X2）和商务办公环境（X4）达到显著性水平，且回归系数为正，这表明相比慢充充电桩，快充充电桩对区域交通通达性有着较大的要求，这是由于在极度缺电等紧急情况下，EV 驾驶员往往需要更便捷地到达充电桩完成快速充电，因此交通通达性是快充充电桩区位选址的重要因素。商务办公环境的回归系数也显著为正，表明日常上班办公活动对于快充充电桩的需求也较大，影响着快充充电桩的布局选址。

表 2 充电桩和慢充、快充充电桩区位影响因素的二元 Logistic 模型回归结果（来源：笔者整理）

变量	模型 1：整体充电桩	模型 2：慢充充电桩	模型 3：快充充电桩
常数项	-2.598***	-2.830***	-2.941***
X1	-0.025	-0.014	-0.022
X2	0.095*	0.080	0.119**
X3	0.089***	0.088**	0.055
X4	0.071**	0.103***	0.067*
X5	0.005	0.009	0.008
X6	0.007	-0.002	-0.003
样本数量	781	781	781

注：***、**、*、分别表示在 0.01、0.05 和 0.10 水平显著。

5 武汉市中心城区充电站规划布局优化策略

5.1 加强商业购物、商务办公等地区的布局

根据上文分析所得,充电站更倾向于在交通通达性更好、购物服务环境、商务办公环境更浓厚的地区布局。武汉市中心城区中多数传统商圈如光谷商圈、中南路商圈、徐东商圈、江汉路商圈、钟家村商圈的充电站空间分布密度较低。而通常这些地区是商业购物、商务办公等活动出现的集聚中心。因此随着新能源汽车的快速增长,未来武汉市充电站的建设重点应该向以上这些商圈倾斜,来满足 EV 驾驶者的基本出行充电需求。同时,充电站的布局也要重点考虑城市周边的产业园区如武汉经开区的东风汽车产业园、东湖高新区的大学园路产业集聚区等,城市偏远地带的企业员工往往由于远距离的通勤,因此需要大量的充电需求,进而需要布置足够的充电站。

5.2 结合公共停车场等交通设施兼容性建设

由于模型所得出的人口密度因素与充电站布局并不显著相关,但从实际来看,往往人口密度越高,即人口集聚程度越大,则所产生的充电需求越大,就更需要充电站的布局。因此未来武汉市应重点加大老城区,尤其是一环线以内范围的充电站建设。由于用地限制,对于老城区可以采用“站+群+桩”的充电设施布局形式,对于有可拓展用地的片区采取充电站的布局方式,对于用地较为紧缺的地带,一种是可采取建设公共充电桩群的方式,结合公共停车场等交通设施进行兼容性建设,提供公共充电服务。二是可采取建设用户专用或分时共享的独立充电桩,如在居民区内部或是路边停车位中,以满足 EV 驾驶者的充电需求^[3]。

5.3 合理优化慢充、快充充电桩的布局配比

慢充和快充充电桩在区位选址偏好上有着不同的特点,研究发现慢充充电桩在区位选址中更倾向于购物服务、商务办公环境更好的地区,对地块的交通通达性没有很高的要求。而快充充电桩更倾向于在商务办公环境更好、交通通达性较高的地区选址布局。因此在实际充电站规划选址的过程中,需要综合考虑居民出行需求以及地区交通通达性,合理优化确定慢充和快充充电桩的配比。如在居住小区、企业单位内部可以布置更多慢充充电桩,而在大型商圈、大型交通枢纽的地带可侧重布置快充充电桩,来满足 EV 驾驶者快速充电的需求。

6 结论与展望

本文基于武汉市电动汽车充电站数据,利用 ArcGIS10.2 空间分析平台,通过圈层分析法和核密度估计法分析了武汉市中心城区充电站的分布格局特征,在此基础上利用二元 Logistic 模型探究了电动汽车充电站的区位影响因素,主要结论如下:

一是,武汉市中心城区充电站的总体圈层分布特征呈现由中心向外围扩散的特征。数量上从内层的低值向外逐渐增加,在 6~8km 圈层内达到,随后向外呈波动状递减至低值。密度特征呈现“小集聚,大分散”的多中心格局,表现为趋向于主要大型商圈及产业园选址布

局,如楚河汉街商圈、洪山创业中心、武商众圆广场、大学园路产业园、神龙大道产业集聚区等,并沿主要道路带状扩散。慢充充电桩和快充充电桩的空间分布特征存在一定差异。

二是,在电动汽车充电站的区位影响因素中,交通通达性、购物服务环境、商务办公环境三个因素对充电站的空间布局具有显著影响,且慢充和快充充电桩在区位影响因素上具有差异,快充充电桩对选址区域的交通通达性要求更高。

本文以武汉市中心城区作为实证研究案例,重点探究了其电动汽车充电站的空间分布特征以及区位影响因素,并根据研究结论提出了充电站的布局优化建议,可以对未来武汉市充电站规划布局提供一定优化参考建议。但本研究仍存在一定不足,例如考虑到目前充电站的实际建设情况以及数据获取存在误差,本文中的充电站空间分布可能和实际充电站分布情况有一定偏差。另外在区位影响因素的选择中,还应尝试探究更多因素对充电站的影响。在未来进一步的研究中,会继续深入优化影响因素指标和模型,以此达到对充电站影响因素更准确的探测。

参考文献

- [1] 曹小曙,胡培婷,刘丹.电动汽车充电站选址研究进展[J].地理科学进展,2019,38(01): 139-152.
- [2] 卞芸芸,黄嘉玲,郑郁.基于供需平衡的广州市充电基础设施规划探索[J].规划师,2017,33(12): 124-130.
- [3] 王欣.大连市电动汽车充电基础设施规划探讨[J].规划师,2017,33(02): 137-144.
- [4] 邹涵,熊越.武汉市汉口历史街区电动汽车公共充电桩规划布局研究[J].规划师,2020,36(15): 49-54.
- [5] 葛尧,李鹏.基于核密度分析和空间句法的汽车充电桩布局规划研究——以湖北省武汉市为例[J].城市建筑,2019,16(34): 41-45.
- [6] 尹智文.武汉市电动汽车充电站选址研究:2019中国城市规划年会[C],中国重庆,2019.
- [7] 马子路,黄亚平.武汉都市区商务服务业空间格局及影响因素研究[J].现代城市研究,2020(04): 68-73.
- [8] 高更和,曾文凤,刘明月.省际流动农民工回流区位及影响因素——以河南省12个村为例[J].经济地理,2017,37(06): 151-155.
- [9] SATHAYE N, KELLEY S. An approach for the optimal planning of electric vehicle infrastructure for highway corridors[J]. TRANSPORTATION RESEARCH PART E-LOGISTICS AND TRANSPORTATION REVIEW, 2013,59: 15-33.
- [10] JIA L, HU Z, LIANG W, et al. A novel approach for urban electric vehicle charging facility planning considering combination of slow and fast charging: 2014 International Conference on Power System Technology[C], 2014.

作者简介

王雨晨,华中科技大学建筑与城市规划学院,硕士

刘合林,华中科技大学建筑与城市规划学院,教授

郑天铭,北京清华同衡规划设计研究院有限公司总体中心,规划师