

# 基于多源数据的武汉市电动汽车充电站空间供需匹配研究\*

王雨晨, 刘紫荆, 朱欣然, 毛宸婷, 袁满

**摘要:** 近年来, 国家对节能减排与环境保护日益重视, 大城市中新能源汽车数量显著增加, 充电站的建设也蓬勃发展。而电动汽车充电站作为国家“新基建”之一, 其科学布局 and 合理配置是现阶段城市规划领域极为重要的课题。本文基于多源数据, 从供需匹配的角度, 创新性地建立了对充电站供给能力和需求强度的定量测度指标体系, 并构建了充电站空间布局供需匹配的评价模型, 以此对武汉市电动汽车充电站的空间布局合理性进行供需匹配评价, 最终对未来武汉市电动汽车充电站的规划布局提出针对性的指导建议。

**关键词:** 电动汽车充电站, 供给能力, 需求强度, 供需匹配, 布局评价, 武汉市

## 1 引言

在石油资源日渐枯竭、环境污染日益加剧的背景下, 国家大力支持发展新能源汽车。同时, 2020 年国家工信部提出要加快新型基础设施建设的步伐, 并将电动汽车充电桩列为国家“新基建”七大领域之一。但在电动汽车充电站实际规划布局中, 人们往往以经验为主, 导致充电站布局不合理等问题, 也阻碍了新能源汽车的进一步发展。因此, 研究如何对电动汽车充电站进行科学布局 and 合理配置是现阶段城市规划领域极为重要的课题。

已有对电动汽车充电站空间布局评价的研究多为对单个充电站的评价, 主要分为单目标的评价和多目标层的综合评价。单目标的评价中包含对充电设施的运营服务能力<sup>[1]</sup>、电力效益评估<sup>[2]</sup>、选址的整体经济性评价<sup>[3]</sup>; 综合评价的目标层主要涵盖建设环境、建设成本<sup>[4]</sup>、电力负荷<sup>[2][5]</sup>、规划导向<sup>[4]</sup>、人口规模<sup>[6]</sup>、用户便捷<sup>[4]</sup>、供需匹配<sup>[6]</sup>、交通条件<sup>[7]</sup>、设施协作<sup>[4]</sup>等因素。然而研究中对充电站整体的评价偏少, 基于供需匹配角度的研究也较少。

在现有以供需匹配为角度, 对公服设施、基础设施布局评价的文献中, 尹海伟<sup>[8]</sup>以上海、青岛为例, 考虑在绿地单项指标上的供需匹配水平。在供给上采用最小邻近距离法分析绿地的可达性, 在需求上选用总人口、女性人口比重等项指标进行权重求和, 用得到各街道的需求指数来反映研究单元对于绿地的需求大小, 最终采用 GIS 重置分析进行供需匹配。张英杰<sup>[9]</sup>构建了基于居民偏好的城市公共服务综合指数以及较为系统和完整的基于供需匹配分析公共设施空间布局的框架, 分别度量了北京市各街道的设施供给指数和需求指数, 并进行匹配分析, 但该方法未对居民的异质性需求进行度量。徐璐<sup>[10]</sup>采用步行可达性及人口需求指数等综合分析方法, 研究上海市基本医疗机构服务水平的空间差异性及其在社会群体配给上的公平性; 黎婕<sup>[11]</sup>等以市域各街道和乡镇为评价单元, 利用可达性表征城市公共服务的供给, 进而判断城市公共服务设施空间布局的合理性, 依据城市人口规模及社会特征建立需求指数,

\*湖北省自然科学基金(2019CFB284) 国家级大学生创新创业训练计划支持项目(201910487027)

据此分析和评判北京市城市公共服务设施的空间分布及服务质量的均衡性;李远<sup>[12]</sup>构建了基于供需平衡的城市公园布局公平性评价模型,采取多指标层次分析法测度居民需求力,从服务能力评价和可达性评价两方面测度公园供给力,最后用基尼系数法从宏观层次总体评价城市公园的供需平衡关系,用区位熵方法从微观层次评价每个居住区空间的供需平衡关系;胡海德<sup>[13]</sup>等对长春市文化设施进行公平性评价分析。对各个社区文化设施的可达性进行分析,并利用长春市第六次人口普查数据,计算各社区对文化设施的需求程度,并对可达性与需求指数进行了相关性分析,最终得到空间公平的定量表征。

武汉市作为国家中部地区重要中心城市,其在新能源汽车及其充电站的建设和布局上已初具规模。因此,本文将在现有文献研究基础上,基于多源大数据,建立多目标的评价体系评估电动汽车充电站的需求强度和供给能力,创新性地从供需匹配的角度,对武汉市电动汽车充电站的空间布局合理性进行评价,并以此对未来武汉市电动汽车充电站的规划布局提出针对性的指导建议。

## 2 研究范围与数据来源

### 2.1 研究范围

武汉市地处江汉平原东部、长江中游,是湖北省省会,中国中部地区的中心城市。全市总面积达 8494.41 平方公里,2018 年常住人口 1108.1 万人,地区生产总值 1.48 万亿元。通过分析武汉市电动汽车充电站的分布情况,发现其总体集中于武汉市外环线之内,因此本文以武汉市都市区作为研究范围,其包含 13 个行政分区,1101 个规划管理单元。

### 2.2 数据来源及处理

本研究所涉及的数据分为传统统计数据和网络大数据两类:①传统统计数据:武汉市第六次人口普查数据,包括人口数量、人口年龄结构及空间分布等信息、武汉市房价数据、武汉市土地利用数据以及各规划管理单元间平均通勤距离数据、道路网络数据等。②网络大数据:武汉市 POI 数据,包括交通设施 POI、公服设施 POI 等;以手机信令数据为基础获得的 2018 年武汉市交通量出行空间分布数据;以网络爬取方式初步获得武汉市电动汽车充电站数据,随后经过数据清理、坐标纠偏等操作,并基于 Arcgis10.2 空间分析平台得到 2019 年武汉市电动汽车充电站空间数据集,其中包含 353 个充电站(截至 2019 年 3 月)。

## 3 研究方法

### 3.1 研究技术框架

本文所提出的研究技术框架如图 1 所示。在现有研究的基础上,从供需匹配的角度切入构建电动汽车充电站评价测度的指标体系,随后对武汉市电动汽车充电站的需求强度和供给能力进行测度,最终基于区位熵的方法对供需匹配度进行计算分析,从而得出武汉都市区内各个规划管理单元内的供需匹配度,并得出武汉市电动汽车充电站的供需平衡情况。根据得出的结论,最终提出未来武汉市电动汽车充电站的规划布局建议。

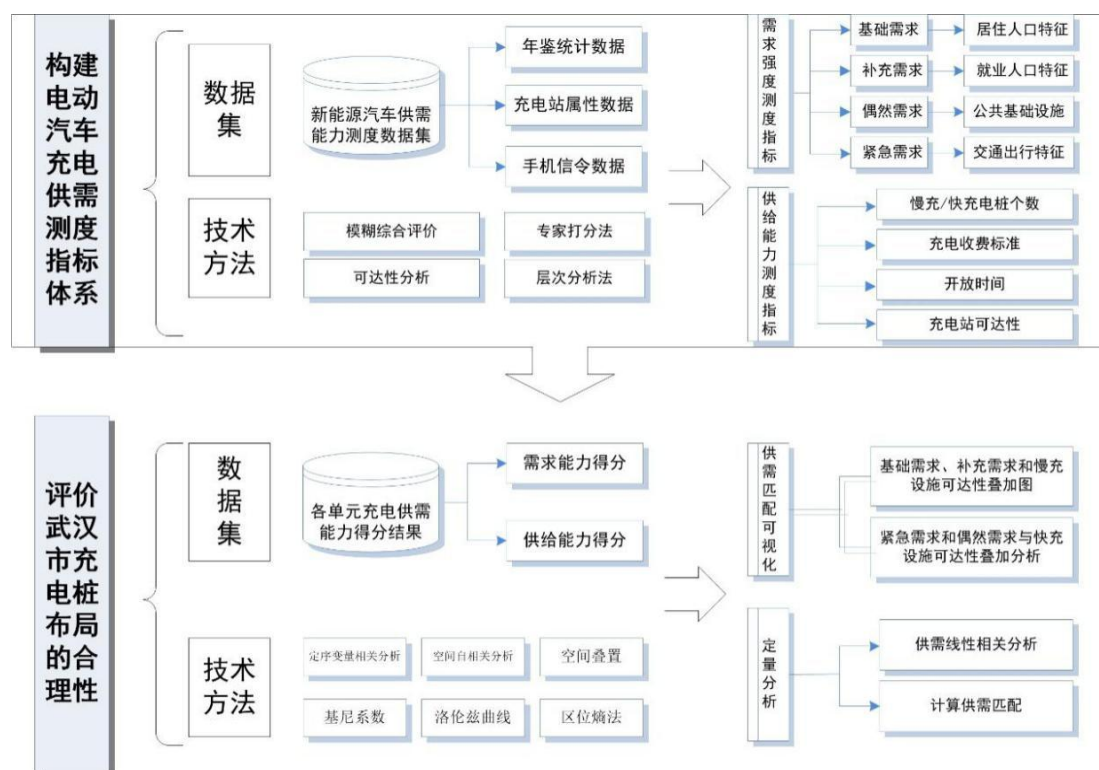


图 1 研究技术框架图

## 3.2 概念界定

(1) 需求强度<sup>[6]</sup>: ①基础需求是指电动汽车使用者每日最基本的行驶里程需求,一般在单次充电续航里程范围内。对应此类需求的充电站一般布置在居住小区的停车场,且以慢充为主。②补充需求是指电动汽车的保障性充电需求。对应此类需求的充电设施一般布置在办公区的停车库,是社区充电设施的重要补充和保障。③紧急需求是指电动汽车在行驶过程中突然发生的充电需求,通常发生在中长距离的行驶途中。由于私家车一天内在市区内的出行基本不会超过单次充电续航里程(200km~300km),因而此类需求的主体多为长途旅行者和市区流动的出租车司机。④偶然需求是指电动汽车在电量低于一定程度后产生的充电需求。此类需求不固定,具有偶然性,对应此类需求的充电站一般布置在大型公共服务设施、交通枢纽、公园景区和商业中心等地点的停车场。

(2) 供给能力: ①慢充供给能力是指对应基础需求和补充需求,指主要在居住小区和办公地点等为长期停留的用户提供慢充服务的充电站的服务能力。②快充供给能力是指对应偶然需求和紧急需求,是指在大型公共服务设施、商业中心、交通枢纽、公园景区及公共停车场等人口密集的地区提供快充服务的公共充电站的服务能力。

(3) 区位熵: 指在经济学中是反映某一产业部门的专业化程度,以及某一区域在高层次区域的地位和作用的指标。在本次研究中,借鉴区位熵的方法,来表达汽车充电站供给能力与需求强度之间供需平衡关系的空间格局。各个控制单元的区位熵为该单元内的供需比与

整个研究范围内供需比之间的比值，其公式表达如下：

$$LQ_i = (Q_i/D_i) / (Q/D)$$

其中， $LQ_i$  为  $i$  规划单元的区位熵， $Q_i$  为  $i$  单元内充电站供给能力， $D_i$  为  $i$  单元的需求强度， $Q$  为武汉市充电站总体供给能力， $D$  为武汉市总体需求强度。若某单元的区位熵大于 1，表明该区域的充电站供给能力与居民需求强度供需平衡值高于武汉市供需平衡的总体水平；反之，则低于武汉市供需平衡的总体水平。

### 3.3 模型建构

#### 3.3.1 电动汽车充电站布局评价测度指标体系

建立电动汽车充电站布局评价测度指标体系包括下述三个步骤：①新能源汽车充电需求调查分类：综合已有研究的分类标准，本文对充电设施的需求分基础需求、补充需求、偶然需求和紧急需求四类。对应不同类型需求，将充电站供给能力分为快充供给能力和慢充供给能力。②综合选取充电站供需测度指标：利用问卷调查、文献查阅等方法，选取出影响新能源汽车充电站需求强度和供给能力的影响因素，涵盖居住人口特征、就业特征、公共基础设施、交通出行特征等多纬度因素（如图 2 所示）。③构建供需测度指标体系：采用德尔菲法（Delphi），确定目标层和指标层权重，构建充电站供需测度指标体系。邀请本校城市规划专业和交通专业的 20 位老师和 100 位学生对各个指标的重要性进行打分，同时综合从运营商和使用者回收的 120 份调查问卷，确定需求测度指标权重。

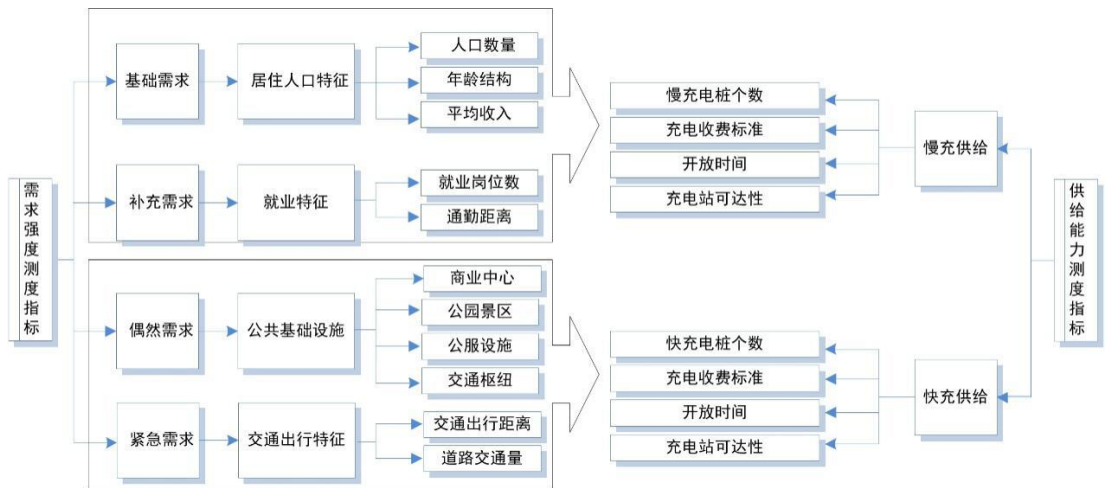


图 2 供需测度指标体系图

#### 3.2.2 电动汽车充电站空间布局评价模型构建

构建电动汽车充电站布局评价模型包括以下三个步骤：①需求强度测度。根据居住人口需求指数测度始发地基础需求，根据就业人口特征和通勤距离测度补充需求，根据大型公服、商服设施和交通枢纽的吸引力测度偶然需求，根据道路交通流量及交通出行距离测度紧急需求。②供给能力测度。以武汉市交通出行量空间分布数据、汽车充电站数据为基础，运用

Arcgis10.2 中的网络分析工具来研究电动汽车充电站的可达性范围，并将充电站服务覆盖道路长度比重作为衡量供给能力的指标。③基于区位熵法的供需匹配度评价。借鉴区位熵的方法，来分析电动汽车充电站供给能力与需求强度之间供需平衡关系的空间格局。各个控制单元的区位熵为该单元内的供需比与整个研究范围内供需比的比值。基于一定需求强度基础上，区位熵值越大，即充电站资源聚集力越大，说明地块的充电站供给能力越大，反之亦然。

## 4 基于多源数据的武汉市电动汽车充电站空间供需匹配评价

### 4.1 武汉市电动汽车充电站空间分布特征

经数据处理后得到武汉都市区内电动汽车充电站空间数据集，总共包含 353 个电动汽车充电站点，其中快充充电桩 1492 个，慢充充电桩 2437 个（截至 2019 年 3 月）。其空间分布及快充慢充数量情况如图 3 所示。由图可知武汉市电动汽车充电站的空间分布特征如下：总体上在中心城区高度集聚，在三环外的远城区散点布局，且沿主要交通干道如东风大道、光谷大道向远城区扩散蔓延；在城市周边的东湖高新区、汉阳区、江夏区、东西湖区等地区同样分布一定数量，且具有集聚态势；中心城区中的慢充充电桩数量明显大于快充充电桩，而快充充电桩主要在东西湖区、汉阳区、青山区等稍远地区分布较多。

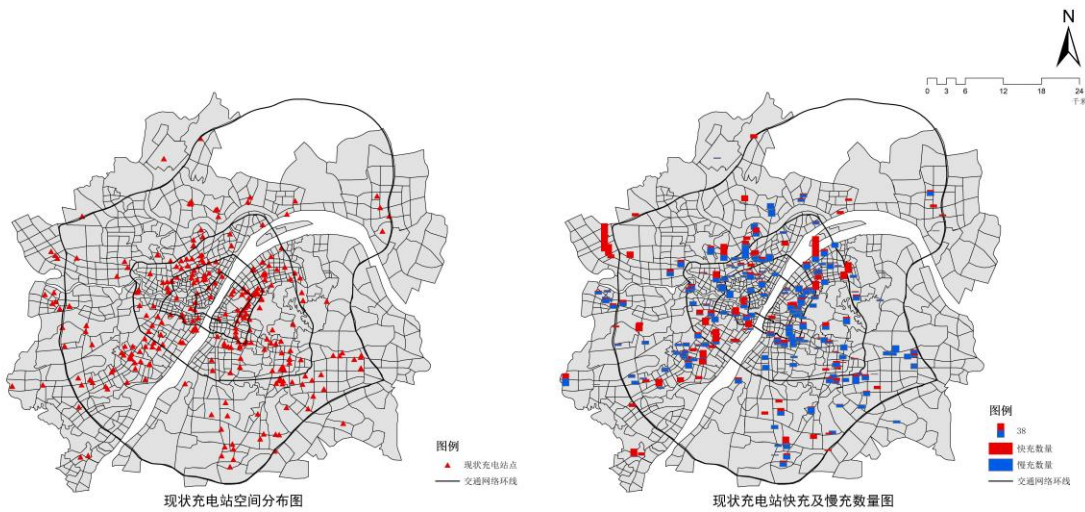


图 3 武汉市电动汽车充电站空间分布图及快充慢充数量图

### 4.2 武汉市电动汽车充电站需求强度测度

利用居住人口特征指标测度基础需求强度，就业人口特征指标测度补充需求强度，公服基础设施吸引力指标测度偶然需求强度，交通流量及出行距离指标测度紧急需求强度，最终得到各类需求强度评价图（如图 4）。从图中可以发现各类需求强度在武汉都市区内的情况：①基础需求测度：武汉市主城区的充电站基础需求强度整体较大，一环线以内需求强度最大，由一环线向外递减，三环线以外的基础需求基本集中在江夏区、东湖高新区、东西湖区和黄陂区南部。②补充需求测度：武汉市充电站补充需求强度普遍较大。补充需求强度最大的区



域为四环线附近的天河机场和江夏通用汽车产业园，此类区域就业岗位数多，但通勤距离远。中心城区部分商业商务中心由于就业岗位多，需求强度也较大。③紧急需求测度：紧急需求呈现由中心城区向外围需求逐渐减小的趋势。需求强度较大的区域大多靠近交通环线。而三环线与四环线之间的远城区紧急需求强度较小。中心城区的紧急需求高度集聚，且在青山区、东西湖区的紧急需求强度明显较大。④偶然需求测度：武汉市主城区总体偶然需求强度较低，且主要集中在二环线以内。其中，偶然需求较大的地带主要是东湖风景区，汉口商业区，中南路商业区，光谷商业区等人流量较为集中的片区。

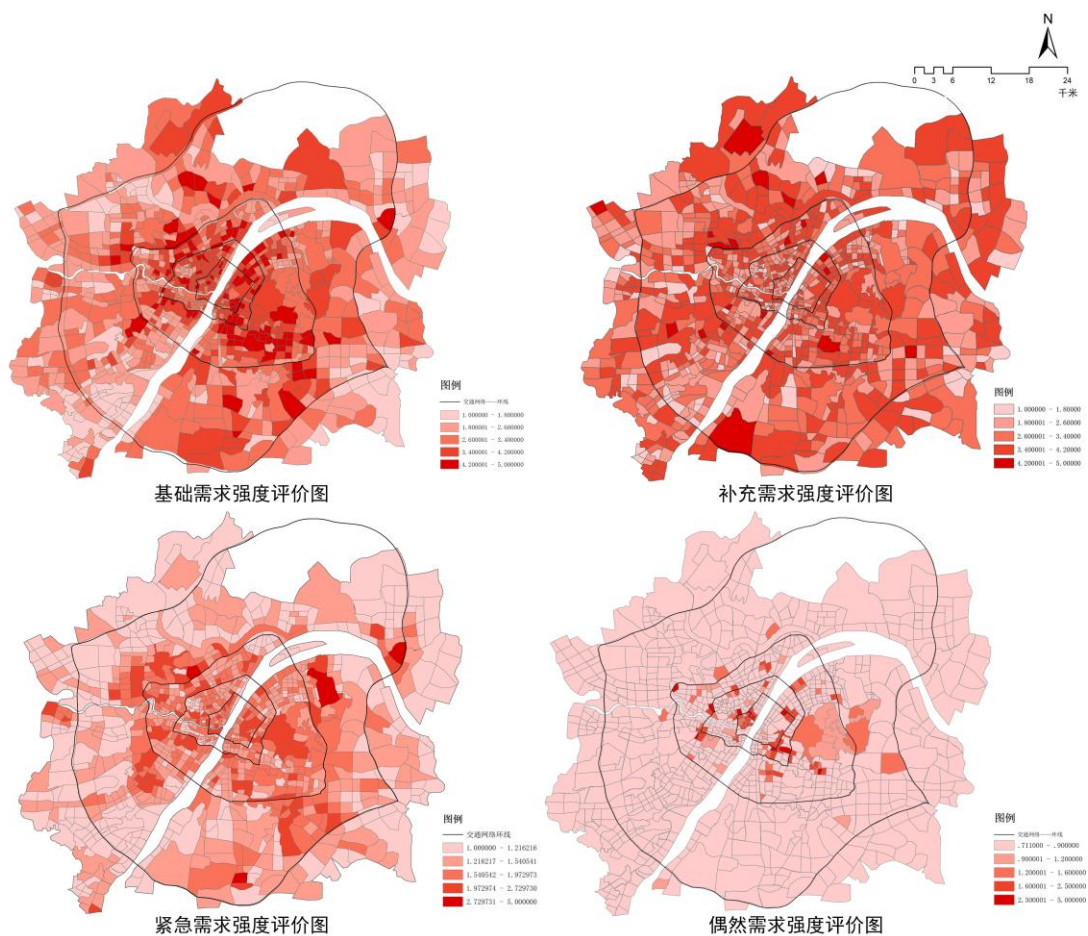


图 4 武汉市电动汽车充电站需求强度评价图

### 4.3 武汉市电动汽车充电站供给能力测度

以 Arcgis10.2 空间分析平台为基础，利用网络分析工具对电动汽车充电站进行可达性分析，将其服务覆盖道路长度比重作为衡量供给能力的指标之一，同时考虑快充和慢充充电桩的数量、充电收费标准、充电时间等指标，对充电站的供给能力进行综合测度，得到了武汉市电动汽车充电站的供给能力评价图（如图 5）。从总体来看，武汉市充电站供给能力和城市空间集聚程度的耦合性不高。武汉市快充供给能力分布较为均衡，但是总体得分较低，尤其是中心城区以内存在大量低分区域，说明武汉市的快充充电设施的建设目前较为落后。而

武汉市慢充供给能力主要在主城区高度集中,且集中在二环线与三环线之间以及三环线外经济技术开发区、科技产业园区和物流园区等等地区,说明主城区的慢充供给能力明显大于远城区的慢充供给能力。

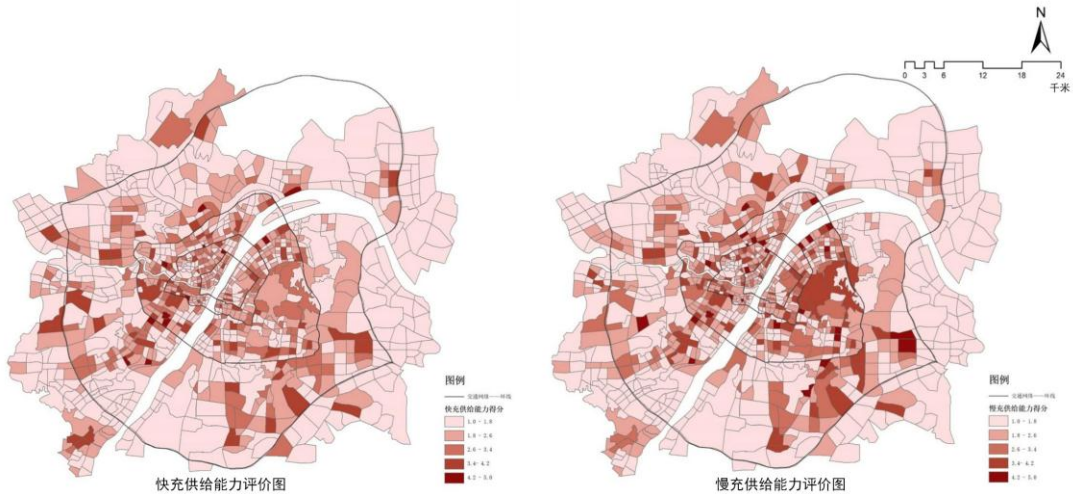


图 5 武汉市电动汽车充电站供给能力评价图

#### 4.4 武汉市电动汽车充电站供需匹配评价

采用区位熵的方法将基础需求强度、补充需求强度与慢充供给能力匹配分析,偶然需求强度、紧急需求强度与快充供给能力匹配分析,从而得到基于区位熵的需求强度与供给能力匹配评价图(如图 6)。可以发现武汉市电动汽车充电站的供需匹配度整体偏低,同时存在供需匹配度空间失衡的问题。供需匹配平衡度较高的区域主要集中在远城区中,如物流园区、经济技术开发区、科技园与产业园等地区。这些地方远离中心城区,远离居住中心地和大型公共设施、商服设施等,但建设有大规模的电动汽车充电站。因此存在服务对象少,服务效率低的问题。相比较而言,武汉市中心城区充电站的供需匹配度较低,充电站建设仍较落后,尤其是在土地利用集约的老城区。这是由于中心城区的土地较为集约紧凑,导致无法大规模进行充电站的布局,同时停车位的缺乏也造成了充电设施的供给不足,进而供需匹配失衡。

在对充电站需求强度和供给能力匹配评价的研究基础上,分别从四种需求类型分析(如图 6),可以总结出现存武汉市电动汽车充电站空间布局仍面临以下四个问题:

(1) **人口高密度区供给严重不足。**从基础需求与慢充供给匹配来看,有 499 个规划管理单元的区位熵在 0.761-1.395 之间,供需匹配度接近于范围内总体水平。有 110 个分布在三环线以外的规划管理单元区位熵大于 1.395,供需平衡度高于总体水平。远城区中居住人口数量较少,其产生的基础需求较少,而供给能力又较大,因此供需匹配度较高。

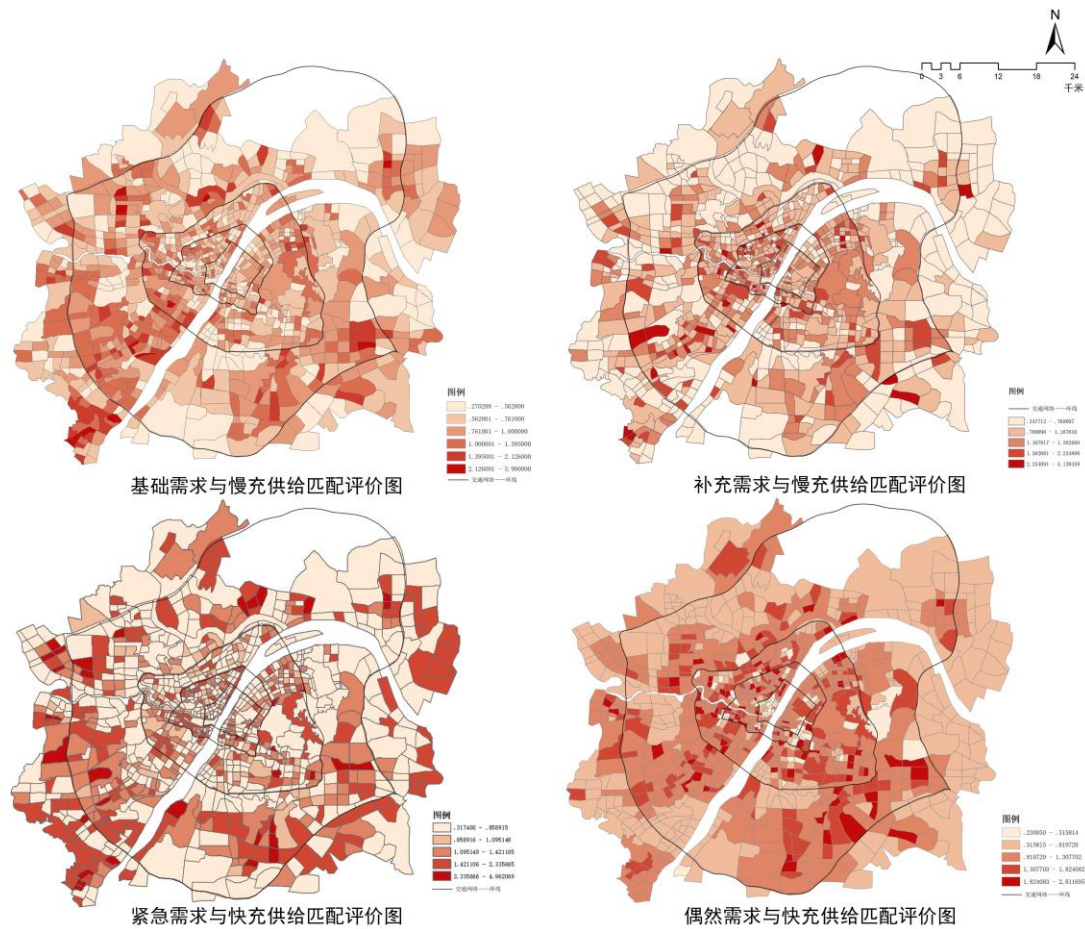
(2) **就业地供需匹配呈两极分化。**从补充需求与慢充供给匹配来看,中心城区供需匹配度较高,且供需匹配度较低的地区多集中于三环及外环之间。以补充需求强度极大的江夏区通用汽车产业园为例,该地块由于缺乏充电站,供给能力不足,而成为区位熵最低的地区。



总体来说，供需匹配度值两极分化表明就业地供给与需求在空间上的耦合性较差。

(3) **中心城区明显缺少快充补给。**从紧急需求与快充供给匹配来看，中心城区的供需匹配度较差，但由中心城区向外围远城区逐渐递增趋势明显。这表明中心城区极度缺乏快充充电桩，且无法满足中心城区紧急需求的需要。从而导致中心城区的电动汽车司机（尤其是出租车司机）在行驶的途中，出现急需充电却难以快速找到充电站的情况。

(4) **人流聚集地供给能力待提高。**从偶然需求与快充供给匹配来看，三环线以外的供需匹配度总体较低，而较高的区域主要集中经济开发区和物流园区如东湖高新区、东西湖区。中心城区内供需匹配度较高的地区主要集中在商业中心和公服设施处，但中心城区中仍有少数地区供需匹配度极低，这表明该地区供给能力仍有待提高，应加强充电站建设。



## 5 武汉市电动汽车充电站规划布局建议

### 5.1 加强快充慢充建设，满足各类充电需求

根据上节对武汉市电动汽车充电站布局进行供需匹配评价所得的结论，建议未来充电站的规划布局应以需求为导向，加强快充、慢充充电桩的建设，以此来满足各类充电需求。例如应增加居民社区慢充充电桩的建设，来满足基础需求；应增加大型公司、产业园区、写字



楼等就业地区慢充充电桩的建设，来满足补充需求；应增加交通流量较高区域的快充充电桩建设，来满足紧急需求；应增加交通沿线大型公服、商服设施快充充电桩的建设，来满足偶然需求。通过加强快慢充充电桩的建设，提高电动汽车充电站布局的供需匹配度。

## 5.2 科学优化站点布局，就近布置兼容建设

应该对现有武汉市电动汽车充电站布局进行科学的优化，并且新建的充电站点应就近于已有的设施用地、停车场等地块兼容的布置和建设。例如在中心城区中，由于用地功能的混合，而导致充电站点的服务不均衡以及局部地区的供需匹配度极低。此时应及时调整优化充电站的布局，以满足各个地区、各类人群的充电需求。同时，在进行新建充电站点规划布局过程中，应充分考虑现状已有的各类用地如公共停车场、加油加气站、交通枢纽、绿地等。尽量离需求强度大的地区就近布置，并采用停车位与充电站兼容建设的形式，以此来达到降低建设成本和提高充电站服务效率的目标。

## 5.3 统筹协调多方部门，搭建动态智能平台

电动汽车充电站的规划布局和开发建设涉及众多方面的部门主体如规划局、电力公司、各级政府等，因此在新建充电站时要充分明确各个部门的职责和任务，并且统筹协调好各个部门之间的关系，来提高电动汽车充电站的建设效率。同时，在对充电站进行规划布局时，要充分利用大数据等工具进行合理性分析，并借助物联网、互联网等信息技术搭建动态智能的服务信息平台。一方面可以为使用人群提供更优质的服务，另一方面也可为管理者提供设施使用的反馈情况，为进一步科学合理规划充电站点提供重要依据<sup>[14]</sup>。

# 6 结论与展望

本文基于多源大数据，从供需匹配的角度创新性地提出了充电站供给能力和需求强度的定量测度方法，全面合理地建立起各需求和供给测度的指标体系，并构建了充电站空间布局供需匹配的评价模型。在对需求强度测度中，主要从基础需求、补充需求、偶然需求、紧急需求四个层面进行测度，在对供给能力测度中，主要以 Arcgis10.2 空间分析平台为基础，利用网络分析工具研究充电站的可达性，以此来衡量供给能力。最终通过区位熵的方法对供需指标进行匹配分析，从而综合得到武汉市电动汽车充电站布局的供需匹配平衡情况。但是此研究仍存在一定缺点，例如在需求测度中，由于一些指标的数据难以获取，只好采用主观定性的评价方法，故一定程度上难以消除主观因素所带来的误差。在未来进一步的研究中会继续深入优化本评价的指标体系和模型，以此达到对充电站布局更优化的评价效果。

## 参考文献

- [1] Zengin I, Vardakas J, Zorba N, et al. Performance evaluation of a multi-standard fast charging station for electric vehicles[J]. IEEE transactions on smart grid, 2018,9(5): 4480-4489.
- [2] Su W, Chow M Y. Performance evaluation of an EDA-based large-scale plug-in hybrid electric vehicle charging algorithm[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(1): 308-315.
- [3] 张成,滕欢.电动汽车充电站规划模型及评价方法[J].电力系统及其自动化学报,2014,26(01):49-52.

- [4] 吴丽霞.城市电动汽车充电站布局规划研究[D].重庆交通大学,2017.
- [5] Luo H, Li F, Ruan J. A fuzzy evaluation and AHP based method for the energy efficiency evaluation of EV charging station[J]. Journal of Computers, 2014,9(5): 1185-1193.
- [6] 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, (12): 124-130
- [7] 冯超,周步祥,林楠,等.Delphi 和 GAHP 集成的综合评价方法在电动汽车充电站选址最优决策中的应用[J]. 电力自动化设备,2012,32(9):25-29.
- [8] 尹海伟,孔繁花,宗跃光. 城市绿地可达性与公平性评价[J]. 生态学报(07):433-441.
- [9] 张英杰,张原,郑思齐.基于居民偏好的城市公共服务综合质量指数构建方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014, 054(003):373-380.
- [10] 徐璐.上海市基本医疗机构分布空间公平性度量[J].规划师,2016,32(S2):24-29.
- [11] 黎婕,冯长春. 北京城市公共服务设施空间分布均衡性研究[J]. 地域研究与开发,2017,36(03):71-77.
- [12] 李远.基于供需平衡的城市公园布局公平性评价研究[D].西南大学,2017.
- [13] 胡海德,赵岩,孔德洋,石梦娇,任志彬,刘大千.长春市文化设施空间公平研究[J].东北师大学报(自然科学版),2018,50(02):128-133.
- [14] 温珊珊.低碳时代城市电动汽车充电设施空间规划初探[D].东南大学,2016.

#### 作者简介

王雨晨, 华中科技大学建筑与城市规划学院, 本科生  
刘紫荆, 华中科技大学建筑与城市规划学院, 本科生  
朱欣然, 华中科技大学建筑与城市规划学院, 本科生  
毛宸婷, 华中科技大学建筑与城市规划学院, 本科生  
袁满, 华中科技大学建筑与城市规划学院, 讲师