

# 基于GPS数据的电动出租车充电桩选址定容

任峰<sup>1,2</sup>, 向月<sup>1</sup>, 雷小林<sup>3</sup>, 罗超<sup>4</sup>

(1. 四川大学 电气工程学院, 四川 成都 610065; 2. 四川能投综合能源有限责任公司, 四川 成都 610065;  
3. 广东电网有限责任公司韶关供电局, 广东 韶关 512028; 4. 四川西昌电力股份有限公司, 四川 西昌 615000)

**摘要:**随着电动出租车规模化的增长,关于电动出租车集群充电桩的选址定容问题日益凸显。该类车辆的轨迹分布在城区,并且该类车辆对公共充电桩的依赖远高于私家电动汽车。为了能够满足这类车辆充电的需求,提出了一种基于全球卫星定位系统(GPS)考虑电动出租车运行轨迹、车辆进入停车场时时序性和停车场现有负荷水平的电动出租车充电桩规划方法。采用k-means算法分析得到电动出租车的常驻点并将其作为精选地址的相关依据;计及相邻预选址之间的干扰,以最小花费成本为目标函数对充电桩预选址进行精选;考虑车辆进入停车场的时序性和停车场现有负荷水平计算充电桩的可安装数目。仿真结果表明,针对电动出租车这类特殊集群有常驻点,通过计算最小成本可进行进一步优化,避免出现2个预选址距离太近的情况;在精选地址下对车辆进场时序性和负荷进行分析,可为城区规划修建充电桩提供有力的理论支撑。

**关键词:**电动出租车;充电桩;GPS;k-means算法;轨迹挖掘;选址定容

**中图分类号:**U 469.72

**文献标志码:**A

**DOI:**10.16081/j.epae.202208046

## 0 引言

随着国家和人民群众对生活环境重视程度的逐渐提高,绿色出行受到越来越多的关注,以电动汽车为代表的新能源汽车得到了大力发展,然而关于电动汽车的充电和选址问题也日益凸显。国家发改委、国家能源局、工信部和住建部联合印发了《电动汽车充电基础设施发展指南2015—2020年》<sup>[1]</sup>,其中提出了“分场所的建设目标”,即结合公交、出租、环卫与物流等公共服务领域专用停车场所,适当补充独立占地的充换电站,并规划新建一批公交车、出租车、环卫和物流等专用车的充换电站。在充电需求方面:个人电动汽车用户主要考虑经济性和方便性,优先选择在居住小区充电桩进行充电;城市运营电动公交车因为其车型占地面积较大,为了便于管理,由运营管理部门统一规划集中建设充电点;电动出租车根据其目前车载电池容量和使用特性,充电次数需要一天一充甚至一天两充并且无法采用交流慢充进行补充电能,在此情况下完全依赖于城市内的公共直流充电桩,所以制定切实可行的充电设施部署方案是出租车行业实现电动化的重要前提和基础。

目前,已有诸多学者对充电桩选址定容进行了研究。文献[2]考虑在高速公路服务区修建公共充电桩,有利于电动汽车远距离出行;文献[3]考虑乘

客出行需求,根据充电站建设和车辆等候成本进行选址建模;文献[4]通过分析出租车停留时间,将停留时间作为充电需求,对充电站的选址提出建议;文献[5]基于社交网络挖掘车主的兴趣区域,结合车辆停留点以满足方便车主充电便利为目标进行电动汽车的充电站选址;文献[6]利用电动汽车轨迹数据挖掘研究区域内的充电需求分布,对研究区域等网格划分,以充电需求大的网格作为充电站选址候选位置;文献[7]基于深度强化学习对电动出租车载客、充电等运营信息进行智能优化,减少了司机充电等待时间;文献[8]结合城市中各地的充电需求与充电站供给,基于改进的多目标粒子群优化算法在降低固定成本的基础上提高了充电站满足需求量的能力;文献[9]对出租车轨迹数据的车辆起-讫点OD(Origin-Destination)进行分析,得出研究区域的充电需求分布,以充电站建设运营成本与车辆需要充电时到充电站最短距离为目标函数采用遗传算法进行优化求解;文献[10]提出目前国内外城市规划研究过程中,很多都是依靠挖掘各种各样的时空数据如兴趣点数据、全球卫星定位系统(GPS)数据、客流数据、手机数据、位置服务数据,进而过滤出有用数据进行精准分析;文献[11]根据出租车GPS数据建立了车辆行驶时间、采样时间节点的位置、行驶里程等特征值下的模型,应用该模型可为城市的商业选址提供一定的依据。

上述研究过程中,未将电动出租车行驶轨迹、集中停靠点、进入停车场的时序性和停车场现有负荷水平相结合来考虑充电桩的选址定容。为此,本文结合城市出租车的相关运行特点对电动出租车这类

收稿日期:2022-07-03;修回日期:2022-08-28

在线出版日期:2022-08-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52111530067)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(52111530067)

特殊集群所需的充电桩进行选址定容分析,以满足电动出租车的电量补充。

## 1 车辆常驻点分析

### 1.1 基于车辆行驶习惯的常驻点分析

充电站的选址对车主和电网的重要性不言而喻,它不仅是影响车辆补充电能的关键因素,而且直接关系到交通网和电网的通畅性,故充电站的选址成为便民服务和电网安全的重要因素。5G时代的来临,多源时空大数据的急速增长,为智能充电站选址定容提供了数据支撑,也提出了新方法、新思路。目前数据广泛使用于各行各业,丰富的数据资源能省去以往枯燥且繁琐的调研过程,并且数据的全面性、精准性能够使后期的分析过程更加贴合实际,可为充电站选址定容提供科学可靠的依据,避免了由于不精准投放所造成的浪费。

出租车是城市交通系统中不可分割的一部分,无论是出租车公司的车还是网约车,其对交通网的影响都是非常大的。在迭代更新为纯电出租车时,其充电位置将进一步影响交通网络,这是因为燃油车加油的时间远远低于电动汽车充电时间,更何况充电过程排队等候时间也远长于排队等候加油时间,所以其运行状态、网络结构和活动空间分布对于揭示城市出行活动规律具有重要意义。出租车在固定的城市内运行,其GPS数据广泛覆盖整个城市,通过分析其集聚性、时间分布性,能广泛应用于城市交通信息网的建设、城市规划等,因此确定出租车的常驻点就成为为其设置充电桩选址定容的第一步。常驻点是指车辆经常停靠的地方,比如车站、机场、购物中心、写字楼等。

根据《国家电网公司电动汽车充电设施建设指导意见》<sup>[12]</sup>,成都属于电动汽车推广示范城市。本节通过将成都市划分为经纬度(0.025×0.025)小区域。暂不考虑道路交通拥堵的情况,即所有需求点到达中心点所需时间仅与距离有关。本文所分析的出租车GPS数据中均包含了如下信息:采集车辆的车牌、经度、纬度、记录时间、车辆载客信息。根据GPS数据,记每个点为:

$$L_d^{g^i} = (l_{on,d}^{g^i}, l_{at,d}^{g^i}) \quad (1)$$

式中: $L_d^{g^i}$ 为 $g^i$ 时刻车辆 $d$ 所在的位置; $l_{on,d}^{g^i}$ 为 $g^i$ 时刻车辆 $d$ 所在的经度; $l_{at,d}^{g^i}$ 为 $g^i$ 时刻车辆 $d$ 所在的纬度。所以 $g^i$ 时刻采样车辆集合 $L^{g^i}$ 可记作为:

$$L^{g^i} = \{L_1^{g^i}, L_2^{g^i}, \dots, L_d^{g^i}\} \quad (2)$$

并且采集到的车辆的GPS数据还应该满足最大、最小经纬度约束,选取区域的边界经度、纬度如下:

$$\begin{cases} l_{on,max} = \max_{d,g} (l_{on,d}^{g^i}) \\ l_{on,min} = \min_{d,g} (l_{on,d}^{g^i}) \\ l_{at,max} = \max_{d,g} (l_{at,d}^{g^i}) \\ l_{at,min} = \min_{d,g} (l_{at,d}^{g^i}) \end{cases} \quad (3)$$

式中: $l_{on,max}$ 、 $l_{on,min}$ 和 $l_{at,max}$ 、 $l_{at,min}$ 分别为选取区域的经度和纬度的最大值、最小值。

所以选取区域 $f$ 为:

$$f = [l_{on,max}, l_{on,min}] \times [l_{at,max}, l_{at,min}] \quad (4)$$

在出租车的行驶轨迹中,车辆载客信息是会发生变化的。此时车辆轨迹将形成点对点,记作客流量:

$$f_{in,\sigma} = [(l_{on,d0}^{g^i}, l_{at,d0}^{g^i}) (l_{on,d1}^{g^i}, l_{at,d1}^{g^i})] \quad \sigma = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中: $\sigma$ 为记录车辆轨迹形成点对点的次数; $n$ 为记录车辆轨迹形成点对点的总次数; $l_{on,d0}^{g^i}$ 、 $l_{at,d0}^{g^i}$ 、 $l_{on,d1}^{g^i}$ 、 $l_{at,d1}^{g^i}$ 的下标“0”和“1”分别表示车辆不载客和车辆载客,若从“0”变为“1”则表示车辆由空车变为有客,否则表示车辆由有客变为空车; $f_{in,\sigma}$ 表示为出租车完成1次接单。重点记录上、下车位置,为后序车辆常驻点进行推荐。

### 1.2 电动出租车常驻点聚类

电动出租车行驶在城区所有道路,并且行驶轨迹有一定的规律性,对于城市规模比较大的地区,出租车车主会习惯性地熟悉的地区行驶,除非接单收益很大,否则不会行驶到过远的区域。通过对行驶轨迹进行分析,可以得到各个车辆经常行驶的区域。

在目前运营中的出租车上装设GPS<sup>[13]</sup>,每隔 $t$ 时间采集一个经度和纬度,同时为了更直接地获得乘客上下车的经纬度信息,在乘客上下车时,车辆也分别采集一次数据。在采集的大数据中剥离出合适的数据进行聚类,能够参与聚类的数据应该具有如下特征:点集需要在城市主要城区。虽然会有比较少的出租车前往城市周边,但是需要去除城市周边的一些点集,其目的是避免后续确定精选位置时发生偏移。 $k$ -means<sup>[14]</sup>算法是一种简单的迭代型聚类算法,采用距离作为相似性指标,出租车行驶轨迹与其不谋而合,从而发现给定数据集中的 $K$ 个类别,且每个类别的中心是根据类别中所有值的均值求解得到的,每个类别用聚类中心来描述。对于给定的一个包含 $n$ 个 $D$ 维数据点的数据集 $X$ 以及要分得的类别 $K$ ,选取欧氏距离作为相似度指标,聚类目标是使得各类别的聚类平方和最小。

给定训练集:

$$\{x_1, x_2, \dots, x_N\}, x_i \in R_M \quad (6)$$

式中:  $x_f (f=1, 2, \dots, N)$  为电动出租车的经纬度向量;  $N$  为电动出租车的数量;  $R_M$  为包含经度、纬度的 2 维向量;  $M$  为 2 维向量的数量。随机选取  $K$  个聚类质心, 结合最小二乘法和拉格朗日原理, 聚类中心为对应类别中各数据点的平均值, 同时为了使得算法收敛, 在迭代过程中, 应使最终的聚类中心  $J$  尽可能不变, 则有:

$$J = \sum_{k=1}^K \sum_{f=1}^N \|x_f - u_k\|^2 \quad (7)$$

式中:  $u_k \in R_M$ , 为随机选取的聚类质心。

初始质心的选取对最终聚类结果会有影响, 因此通过多次选取质心数进行迭代。

## 2 充电桩选址定容

### 2.1 预选址下精选充电桩安装地址

目前电动汽车发展迅速, 同时很多老城区的配电改造困难, 因此本文考虑在现有配电设备及其负荷水平下进行充电桩定容分析。

根据电动出租车 GPS 数据得到充电桩的预选址。在确定充电桩的实际选址过程中, 需要考虑如下问题: ①因为车辆常驻点可能是立交桥下、路口等红绿灯处等, 因此首先将常驻点附近的停车场作为拟安装充电桩的聚类地点来进行分析; ②相邻预选址之间的干扰。充电桩的地址、充电桩数量的不同会影响车辆充电排队所花费的时间<sup>[15]</sup>, 以及从一个充电站前往附近充电站所花费的成本, 因此以最小花费成本  $\min Y$  为目标, 目标函数如下:

$$\min Y = Y_c + Y_w \quad (8)$$

式中:  $Y_c$  为电动出租车行驶到充电站的成本;  $Y_w$  为电动出租车等待充电成本。

$$Y_c = l_c q \quad (9)$$

$$l_c = \alpha |x - x_c| + |y - y_c| \quad (10)$$

式中:  $l_c$  为两站点之间的路程;  $q$  为每千米耗电量;  $\alpha$  为两站点之间直线换算成曲线的修正系数;  $(x, y)$ 、 $(x_c, y_c)$  分别为车辆移动前、后的位置坐标。

根据文献[16], 电动出租车排队等候模型如下:

$$Y_w = w_q H \quad (11)$$

式中:  $w_q$  为在充电桩数为  $H$  的充电站内电动出租车平均等候时间。

$$w_q = \frac{\rho^h}{H!(1-\rho^h)} \left[ \sum_{z=0}^{h-1} \frac{\rho^z}{z!} + \frac{\rho^z}{H!(1-\rho^h)} \right] \int_0^\infty e^{-(1-\rho^h)t} dt \quad (12)$$

式中:  $\rho^h = \lambda / (h\mu)$ , 为充电站排队稀疏服务强度, 其中  $\lambda$  为电动汽车的到达率,  $\mu$  为充电站的平均服务率,  $h$  为充电站内当前可用充电设备的数量, 且  $h \leq H$ ;  $z$

为迭代次数, 直至  $\rho^h = \lambda / (h\mu) < 1$  迭代终止。

考虑到 2 个预选址距离较近的情况, 当  $(|x - x_c| + |y - y_c|) \alpha \leq D_r$  时, 可以将 2 个充电站合二为一, 以节省建造成本, 其中  $D_r$  为城市规划对充电站辐射半径的要求。

### 2.2 车辆进入精选地址的时序性

在确定车辆习惯的行驶、停靠位置后, 还需要考虑车辆入场的时间。根据四川省发改委印发的《关于进一步完善我省分时电价机制的通知》<sup>[17]</sup>, 为了降低用车成本, 车辆会选择在低电价时进行补充电量, 但是目前车辆基本都是两班倒, 且电动汽车车载电池续航不足, 所以一定会在白天某个时段进行电量补充, 因此记录各时段进入精选地址的车辆信息, 该信息包含车牌、停靠时间, 其数据集为:

$$C_{ar,j}^{j-j+1,T} = \{C_{ar,1}^{j-j+1,T}, C_{ar,2}^{j-j+1,T}, \dots, C_{ar,j}^{j-j+1,T}\} \quad (13)$$

式中:  $C_{ar,j}^{j-j+1,T}$  表示在  $j-j+1$  时段车辆  $I$  停留时间为  $T$  的数据集合。再将其中停车时长超过 30 min 及以下的车辆记作  $M_{ar,j}^{j-j+1}$ :

$$M_{ar,j}^{j-j+1} = \{M_{ar,1}^{j-j+1}, M_{ar,2}^{j-j+1}, \dots, M_{ar,j}^{j-j+1}\} \quad (14)$$

式中:  $M_{ar,j}^{j-j+1} \subseteq C_{ar,j}^{j-j+1,T}$ 。

只有停车时长超过一定值后, 才可能存在充电可能性。第  $s$  辆车进入停车场且停靠时间大于 30 min, 其剩余可用荷电状态记作  $S_{M_{j,j+1}}^s$ 。根据车辆用车习惯, 当荷电状态小于 50% 时, 车主有较大概率选择补充电量, 将车主充电欲望设为  $\tau$ ; 当荷电状态小于 25% 时, 车主迫切需要补充电量, 此时将车主充电欲望设为  $\beta$ 。通过对该车辆进行时序性分析, 能有效分析出某一时段在精选地址内有多少车流量, 并且可根据车辆剩余荷电状态判断车辆的充电行为, 从而对充电桩的定容分析提出指导建议。

### 2.3 配电负荷约束

目前, 很多充电场所是在已经建成的停车场基础上进行相应的升级改造, 但是并不了解这些现有停车场停车位的利用率是否与电动出租车行驶习惯相关联, 所以应该首先根据电动出租车行驶习惯找到车辆的常驻点, 进而对该常驻点的用电负荷进行分析, 分析该停车场是否需要改造升级, 且能改造升级新增多少充电设备。根据  $k$ -means 算法找出车辆常驻点后, 进一步分析负荷情况。

得到常驻点的配电供电信息、常驻点供电线路日最大和最小负荷以及该线路允许的最大负荷, 因此有以下电流约束:

$$I_{able-\psi} < I_e \quad (15)$$

式中:  $I_e$  为进线电缆允许最大载流量;  $I_{able-\psi}$  为当前 ( $\psi$  时段) 可用最大电流值。

$$I_{\text{able-}\psi} = I_e - I_{\text{max-}\psi} \quad (16)$$

式中:  $I_{\text{max-}\psi}$  为当前最大负荷电流。

系统除了需满足电缆载流量约束之外,还应该考虑变压器容量约束:

$$A_{\text{Qable-}\psi} < A_{\text{Qe}} \quad (17)$$

式中:  $A_{\text{Qable-}\psi}$  为当前变压器可用容量;  $A_{\text{Qe}}$  为变压器额定容量。

$$A_{\text{Qable-}\psi} = A_{\text{Qe}} - A_{\text{Qmax-}\psi} \quad (18)$$

式中:  $A_{\text{Qmax-}\psi}$  为当前变压器最大可用容量。

既要考虑电力电缆也要考虑变压器容量的原因是在设计之初,电缆与变压器要相匹配,但是在实际工程中也存在电力电缆的载流量过剩的情况,因此也需要考虑变压器的可用容量,在变压器可用容量和电力电缆可用载流量中选取较小值。据四川省发改委印发的《关于进一步完善我省分时电价机制的通知》<sup>[17]</sup>,在峰时段用电价格较平时段上涨50%,用电尖峰时段较平时段上涨70%,因此车主不会主动选择在用电高峰时段或者尖峰时段进行充电。由此可知,在当前情况下,新增加的电动汽车充电负荷在平时段。

充电桩变压器容量计算公式如下:

$$S = \frac{k_8 C_p k p k_r}{\eta \cos \varphi} H \quad (19)$$

式中:  $S$  为变压器总容量;  $\eta$  为负载率;  $\cos \varphi$  为功率因数;  $p$  为直流充电桩充电功率(快充);  $k$  为快充停车位配置比例系数;  $k_r$  为充电需求系数;  $C_p$  为停车场停车位数量;  $k_8$  为充电桩同时使用系数。

设每个充电桩的充电功率为  $v$ ,再考虑车辆同时充电率,则在当前负荷水平下的充电桩数量  $B_\psi$  为:

$$B_\psi = \begin{cases} A_{\text{Qable-}\psi} / (v k_8) \\ I_{\text{able-}\psi} / (v k_8) \end{cases} \quad (20)$$

在考虑未来用电负荷增加的情况下,如果仅仅按照当前负荷计算,则可能存在如下浪费的问题:在当前用电负荷下增加充电负荷,能满足设备的最大容量,但是经过  $r$  年后,随着其他用电设备增加功耗,当前增设的充电设备为避免过负荷引起配电设备的损害将有一部分禁止使用或者选择增容原有设备。地下室的配电房要增容才能满足当前用电负荷,将更大的变压器运输安装到原有配电室涉及的施工难度很大,因此本文暂不考虑此方案。

考虑每年负荷增长率为  $\theta$ ,进一步计算当前可安装充电桩数量为:

$$B_\psi = \begin{cases} [A_{\text{Qe}} - A_{\text{Qmax-}\psi} (1+\theta)^r] / (v k_8) \\ [I_e - I_{\text{max-}\psi} (1+\theta)^r] / (v k_8) \end{cases} \quad (21)$$

除此之外,通过引入出租车人均拥有量来考虑该区域的充电站数量  $N_{\text{ave}}$  为:

$$N_{\text{ave}} = \frac{N_{\text{max}}}{P_{\text{max}}} \times 100\% \quad (22)$$

式中:  $N_{\text{max}}$  为该区域电动出租车总数;  $P_{\text{max}}$  为该区域人口总数。再按照国家能源局布置的充电桩建设任务要求,到2030年车桩比要达到2:1,从而进行进一步综合考虑。

### 3 算例分析

#### 3.1 常驻点分析

以成都市出租车的运行轨迹为参考数据,对某天出租车轨迹数据进行聚类得到结果如图1所示。成都市出租车主要集中在活跃在中心位置。电动出租车采用吉利几何A型轿车,基础参数如附录A表A1所示,并设电动出租车每行驶1km的基准耗电量为0.15 kW·h。假设当剩余荷电状态小于50%时充电欲望  $\tau = 50\%$ ,当荷电状态小于25%时充电欲望  $\beta = 100\%$ 。

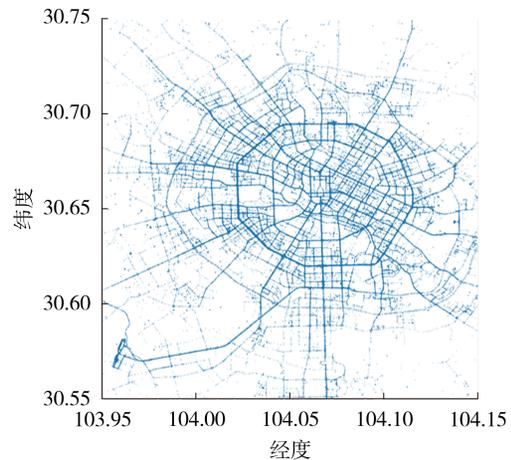


图1 电动出租车可视化轨迹图

Fig.1 Visualization trajectory map of electric taxi

不同区域人口密度不同,年龄段分布不均,因此人口信息也会在一定程度上影响出租车行驶意愿。在人口密集的地区会出现更多的出租车,因此在该地区设置更多的充电站,有利于车辆的补给。出租车习惯性地机场、游乐园、商业中心等地方等待接单,这些地方有足够大的停车场,在该处增设智能充电设备,既能提高设备利用率,又能保障电动出租车出行需求。根据成都市各区国民经济和社会发展统计公报<sup>[18]</sup>得到成都市人口分布如附录A表A2所示。公开数据<sup>[19]</sup>表明成都平均每万人拥有12辆出租车,折算到各个区域,具体数据如附录A表A3所示。根据四川省人民政府印发的《四川省“十四五”新型基础设施建设规划》的通知<sup>[20]</sup>可以发现,目前成都已经建成2.8万个充电桩,而电动出租车有1.7万辆,考虑还有其他私家车也会使用公共充电桩,因此目前成都的车桩比远远大于2:1。

因此根据式(6)和式(7)以及成都市出租车集群的 GPS 数据对出租车进行分类,便于寻找常驻点,进而进一步精选地址。基于出租车 GPS 数据共得到 158 个充电站预设点如附录 A 图 A1 所示。将所得点视为充电站预设点,可以发现大部分候选位置集中在成都市中心城区,且分布密集,而城市周边区域候选点分布稀疏,甚至存在由于缺少需求点造成候选站点空缺的问题。

### 3.2 常驻点精选

借助仿真基于出租车 GPS 数据共得到 158 个充电站预选址点,根据充电站规划指导相关文件提出的充电站的规划和建设应当适当超前,但是不能过度浪费,所以这 158 个充电站的预选址仅仅是考虑电动出租车的结果。进一步分析图 2 所示的聚类中心,对比图 3 所示的成都市地图发现,图 2 中标注的点的位置为成都双流国际机场及其附近,此位置存在大量地下停车位,且由于地理位置的特殊性,常会聚集很多出租车。这验证了上文的假设,出租车有常驻点,且在常驻点修建充电站能得到充分利用。根据最小成本计算以及实际路况信息,图中 2 个充电站预选址的交通距离约为 2.4 km,所以在 2 个点



图 2 电动出租车预选址图例

Fig.2 Legend of electric taxi pre-selection location



图 3 预选址图例对应实际图

Fig.3 Actual map corresponding to pre-selection location legend

同时建设充电站,很有可能造成建设浪费,因此在实际工程应用中,可根据仿真算例结果,结合实际位置进行进一步分析,将相近的 2 个或多个充电站预选址进行合并以减少建设浪费。

### 3.3 精选地址下充电桩数量

根据上文提出的各个时段车辆入场数量以及停靠时间、剩余可调用电量,通过整合数据,可以得到各个时段的车辆充电需求。仿真结果如附录 A 图 A2 所示。可以发现,由于考虑电价因素,电动出租车车主可能选在谷时段(23:00 至次日 07:00)充电,占比约为 40%。出租车一般为两班倒,因此有大约 20% 的车辆会在 15:00—17:00 时段充电。并且同一时段下,在工作日和非工作日,车辆的充电选择也存在差异。在非工作日的夜间谷时段,比如周日,因为第二天是工作日,车辆可能有较大充电需求,因此该时段可能是车辆充电的高峰期。故需要考虑工作日和非工作日以及不同时段车辆的需求。

由图 A2 可知,在平时段或者谷时段,车主的充电意愿都高于峰时段。再者,根据附录 A 图 A3 所示的配电设备一次图,假设基础数据如下:变压器额定容量为 1250 kV·A,电力电缆型号均为 YJV-8.7/15 kV 3×120 mm<sup>2</sup>、功率因数为 0.95。14:00 时刻负载率为 50%,每年负载增加 5%,充电桩同时使用系数为 0.7,充电需求系数为 0.7,直流充电桩充电功率(快充)为 60 kW。计算结果为:在 14:00—17:00 时段,当前负载情况下充电桩最大可用数量为 14 个,负载增加第 1 年、第 2 年、第 5 年充电桩最大可用数量分别为 12、9、6 个。

考虑 21:00—23:00 时段的负载率为 60%,每年负载增加 5%,充电桩同时使用系数为 0.7,充电需求系数为 0.7,直流充电桩充电功率(快充)为 60 kW。计算结果为:在 21:00—23:00 时段,当前负载情况下充电桩最大可用数量为 13 个,负载增加第 1 年、第 2 年、第 5 年充电桩最大可用数量分别为 11、9、5 个。

考虑 23:00 至次日 07:00 的负载率为 30%,每年负载增加 5%,充电桩同时使用系数为 0.8,充电需求系数为 0.7,直流充电桩充电功率(快充)为 60 kW。计算结果为:在 23:00—07:00 时段,当前负载情况下充电桩最大可用数量为 24 个,负载增加第 1 年、第 2 年、第 5 年充电桩最大可用数量分别为 17、14、11 个。

从计算结果可以发现,随着用电负荷的增加,如果不通过改造电气设备,则以当前负荷水平新增充电装置会在日后某些时段出现禁止使用的情况,进而产生一定的过度安装浪费。因此进一步挖掘深层次的电动出租车行驶习惯和充电习惯,将有助于充电设施的安装。

### 3.4 加权修正

为了能够更加准确地确定精选地址下充电桩数目,对常驻点车辆时序性下充电桩数目和配电网负荷约束下充电桩数目进行加权修正。通过设置不同的权重,探讨对充电桩数量的影响。在基础算例的基础上,分别设置两者权重为3:7、1:1、7:3进行仿真计算,所得结果如附录A表A4所示。从表中可以发现,过多考虑车辆进入的时序修建充电桩数量会造成对应时段的过负荷,危及电气设备安全,所以暂时不考虑新增电气设备的情况,应该选择当前电气设备不同时刻下最大可用负荷作为边界条件,确保用电安全。

## 4 结论

本文对电动出租车行驶停靠习惯进行分析,进而考虑车辆停靠点的现有负荷水平、车辆对该点的时序性,对电动出租车这类特殊电动汽车集群的充电桩选址定容进行了仿真建模,通过仿真分析可得出结论如下:

1)借助出租车的历史停靠习惯进行轨迹挖掘,找到车辆习惯的停靠点,进而对停靠点进行精选,在考虑相邻停靠点太近的情况下进行优化,为充电桩选址定容提供了选址依据;

2)在精选地址下,结合该点的负荷水平、车辆进入的时序性进行仿真,能有效且合理地规划出该点需新增的充电桩数目。

目前许多城市已经开启纯电绿色公共交通模式,随着电动出租车越来越多,对充电桩的需求也会逐步增加,合理地规划公共充电桩的选址定容既能够提升电网安全性,又能够平衡充电服务区压力以及提升充电站利用率。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

### 参考文献:

- [1] 国家发改委,国家能源局,工信部,等. 关于印发《电动汽车充电基础设施发展指南2015—2020年》的通知[EB/OL]. (2015-10-09)[2022-07-03]. [http://www.gov.cn/zhengce/2015-10/09/content\\_5076250.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2015-10/09/content_5076250.htm).
- [2] 赵峰,李建霞,高峰阳. 考虑不确定性的公路光储充电站选址定容[J]. 电力自动化设备,2021,41(8):111-117.  
ZHAO Feng, LI Jianxia, GAO Fengyang. Siting and sizing of photovoltaic-storage charging stations on highway considering uncertainties[J]. Electric Power Automation Equipment, 2021, 41(8):111-117.
- [3] WANG Z, ZHU X, QIAN P. Siting public charge stations for taxis in Beijing based on Monte Carlo simulation[C]//2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences(LISS). Sydney, Australia; IEEE, 2016:124-131.
- [4] 胡培婷,曹小曙,秦红旭,等. 基于浮动车数据的新能源汽车充电站选址布局研究:以广州中心城区为例[J]. 现代城市研究, 2018,33(8):28-36.  
HU Peiting, CAO Xiaoshu, QIN Hongxu, et al. The study about charging station locating of the new energy vehicle abased floating car data: take the Guangzhou central area as an example[J]. Modern Urban Research, 2018, 33(8):28-36.
- [5] 张明锐,李路遥,杜志超,等. 考虑电动汽车能量管理的微网分布式电源选址定容[J]. 电力自动化设备,2017,37(7):46-54.  
ZHANG Mingrui, LI Luyao, DU Zhichao, et al. Microgrid DG siting and sizing with consideration of EV energy management [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(7):46-54.
- [6] KONG Y, WU J P, XU M, et al. Charging pile siting recommendations via the fusion of points of interest and vehicle trajectories[J]. China Communications, 2017, 14(11):29-38.
- [7] 叶浩宇,涂伟,叶贺辉,等. 基于深度强化学习的电动出租车运营优化[J]. 测绘学报,2020,49(12):1630-1639.  
YE Haoyu, TU Wei, YE Hehui, et al. Deep reinforcement learning based electric taxi service optimization[J]. Acta Geodetica et Cartographica Sinica, 2020, 49(12):1630-1639.
- [8] 夏敏浩,王骏,李新聪,等. 基于改进PSO算法的电动出租车充电站站址规划[J]. 电气自动化,2020,42(5):16-18,41.  
XIA Minghao, WANG Jun, LI Xincong, et al. Location planning for electric taxi charging stations based on improved PSO algorithm[J]. Electrical Automation, 2020, 42(5):16-18, 41.
- [9] 邓昌棉,张勇. 基于数据驱动的电动出租车充电站规划方法研究[J]. 森林工程,2020,36(3):77-85.  
DENG Changmian, ZHANG Yong. Research on data-driven electric taxi charging station planning method[J]. Forest Engineering, 2020, 36(3):77-85.
- [10] 贾冲,冯慧芳,杨振娟. 基于出租车GPS轨迹和POI数据的商业选址推荐[J]. 计算机与现代化,2020(2):21-25,30.  
JIA Chong, FENG Huifang, YANG Zhengjuan. A commercial site recommendation algorithm based on taxi GPS trajectory and POI data[J]. Computer and Modernization, 2020(2):21-25, 30.
- [11] 苏粟,李玉璟,贾泽瑞,等. 基于GPS轨迹挖掘的电动出租车充电站规划[J]. 电力自动化设备. (2022-04-08)[2022-06-30]. <https://doi.org/10.16081/j.epae.202205005>.
- [12] 国家电网公司. 国家电网公司电动汽车充电设施建设指导意见[M]. 北京:中国电力出版社,2010:24-27.
- [13] 张红,王晓明,过秀成,等. 出租车GPS轨迹大数据在智能交通中的应用[J]. 兰州理工大学学报,2016,42(1):109-114.  
ZHANG Hong, WANG Xiaoming, GUO Xiucheng, et al. Application of taxi GPS big trajectory data in intelligent traffic system[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2016, 42(1):109-114.
- [14] 韩雅雯. *k*-means聚类算法的改进及其在信息检索系统中的应用[D]. 昆明:云南大学,2016.  
HAN Yawen. Improvement of *k*-means clustering algorithm and its application in information retrieval system[D]. Kunming: Yunnan University, 2016.
- [15] 熊俊杰,刘韬,何昊,等. 基于粒子群算法的电动汽车充电策略研究[J]. 江西电力,2018,42(8):15-20.  
XIONG Junjie, LIU Tao, HE Hao, et al. Research on electric vehicle charging strategy based on particle swarm algorithm [J]. Jiangxi Electric Power, 2018, 42(8):15-20.
- [16] 赵志刚. 电动汽车充电站选址定容研究[D]. 大连:大连海事大学,2017.  
ZHAO Zhigang. Research on site selection and capacity determination of electric vehicle charging station[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2017.

- [17] 张振,陈思锦. 完善分时电价机制促进能源绿色低碳发展:国家发展改革委有关负责同志就《关于进一步完善分时电价机制的通知》答记者问[J]. 中国经贸导刊,2021(16):4-6.
- [18] 成都市统计局国家统计局成都调查队. 2020年成都市国民经济和社会发展统计公报[N]. 成都日报,2021-03-27(3).
- [19] 凤凰新文. 全国 31 个城市出租车数量排行榜及人均数量[EB/OL]. (2019-07-26)[2022-07-03]. <https://ishare.ifeng.com/c/s/7ocuE4nYGkC>.
- [20] 四川省人民政府. 关于印发《四川省“十四五”新型基础设施建设规划》的通知[J]. 四川省人民政府公报,2021(18):3-19.

## 作者简介:



任 峰

任 峰(1991—),男,助理工程师,硕士,通信作者,主要研究方向为智能电网与电动汽车交互(E-mail:563933951@qq.com);

向 月(1987—),男,副教授,博士,主要研究方向为智能电网与电动汽车交互(E-mail:xiang@scu.edu.cn)。

(编辑 李玮)

## Location and capacity determination of electric taxi charging pile based on GPS data

REN Feng<sup>1,2</sup>, XIANG Yue<sup>1</sup>, LEI Xiaolin<sup>3</sup>, LUO Chao<sup>4</sup>

(1. College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Sichuan Energy Investment Integrated Energy Co., Ltd., Chengdu 610065, China;

3. Shaoguan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Shaoguan 512028, China;

4. Sichuan Xichang Electric Power Co., Ltd., Xichang 615000, China)

**Abstract:** With the growth of the scale of electric taxis, the problem of location and capacity determination of charging pile for electric taxi cluster has become increasingly prominent. The trajectories of such vehicles are distributed in urban areas, and the dependence of such vehicles on public charging piles is much higher than that of private electric vehicles. In order to meet the charging requirements of such vehicles, a charging pile planning method for electric taxis based on GPS (Global satellite Positioning System) is proposed, which considers the travelling trajectories of electric taxi, the time sequence of vehicles entering the parking lot and the existing load level of the parking lot. The  $k$ -means algorithm is used to analyze and obtain the resident points of electric taxis and taking them as the relevant basis for selecting sites. Then, considering the interference between adjacent pre-selected addresses, the minimum cost is taken as the objective function to select the pre-selected sites of charging pile. Furthermore, the number of charging piles that can be installed is calculated considering the time sequence of vehicles entering the parking lot and the existing load level of the parking lot. Simulative results show that for the special clusters such as electric taxis that have resident points, the further optimization is carried out through calculating the minimum cost to avoid the two pre-selected sites being too close. Analyzing the time sequence of vehicles entering the parking lot and the load under selection sites can provide the strong supporting theory for the construction of charging piles in urban planning.

**Key words:** electric taxis; charging piles; GPS;  $k$ -means algorithm; trajectory mining; location and capacity determination

## 附录 A

表 A1 电动出租车的参数  
Table A1 Parameters of electric taxi

车型	官方指导价	官方续航里程	电池容量
吉利几何 A 标准续航版	15 万/辆	458 km	51.9 kW h

表 A2 成都 11+2 区人口参数  
Table A2 Demographic parameters of Chengdu 11+2 districts

地区	实际管辖面积 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	人口密度 (万人/km <sup>2</sup> )
天府新区	564	86.62	0.153
高新区	130	125.75	0.967
锦江区	62	90.29	1.456
青羊区	66	95.59	1.448
金牛区	108	126.53	1.172
武侯区	73.36	120.65	1.645
成华区	109.3	138.18	1.264
龙泉驿区	557	134.62	0.242
青白江区	378.94	49.00	0.129
新都区	496	155.84	0.314
温江区	277	96.78	0.349
双流区	466	146.57	0.315
郫都区	438	139.09	0.318

表 A3 成都 11+2 区出租车数  
Table A3 Number of taxis in Chengdu 11+2 district

地区	人口 (万人)	折算后的出租车数 (辆)	已有充电桩数目 (个)
天府新区	86.62	1039	
高新区	125.75	1509	
锦江区	90.29	1083	
青羊区	95.59	1147	
金牛区	126.53	1518	
武侯区	120.65	1448	
成华区	138.18	1658	28000
龙泉驿区	134.62	1615	
青白江区	49.00	588	
新都区	155.84	1870	
温江区	96.78	1161	
双流区	146.57	1758	
郫都区	139.09	1669	

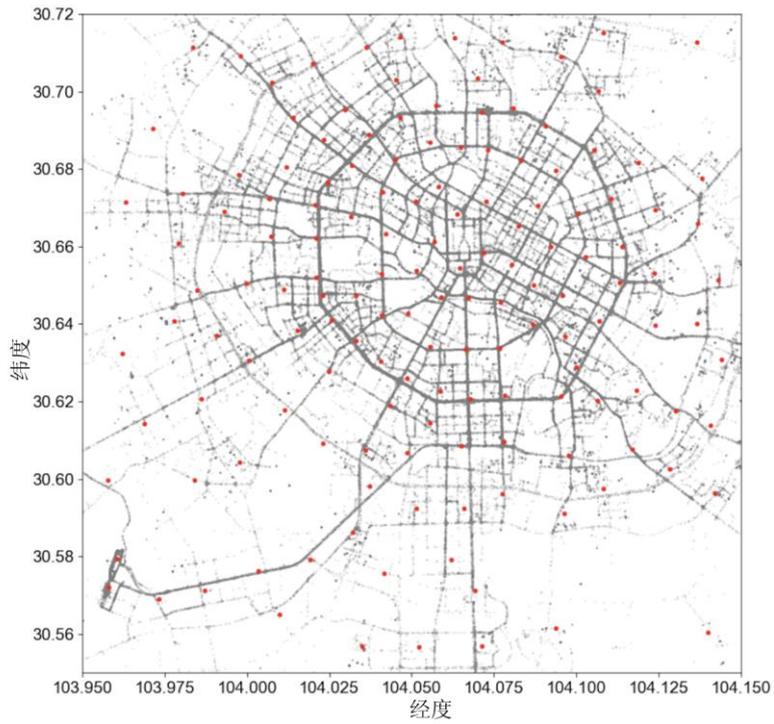


图 A1 电动出租车常驻点  
Fig.A1 Electric taxi station

电动出租车进入某停车场时序仿真结果

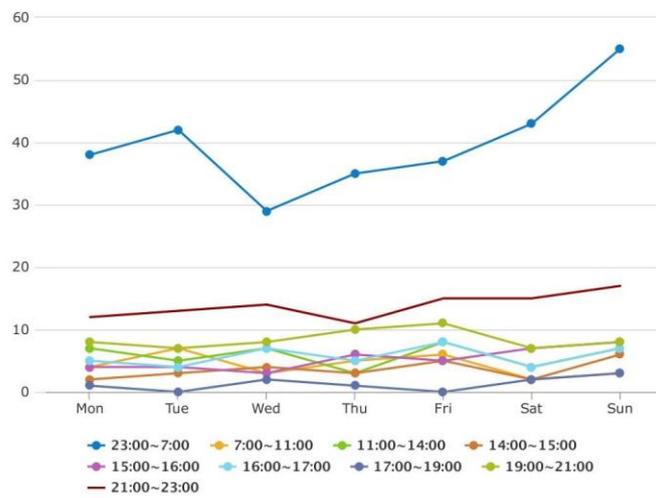


图 A2 电动出租车进入某停车场时序仿真结果  
Fig.A2 Simulation results of electric taxi entering a parking lot

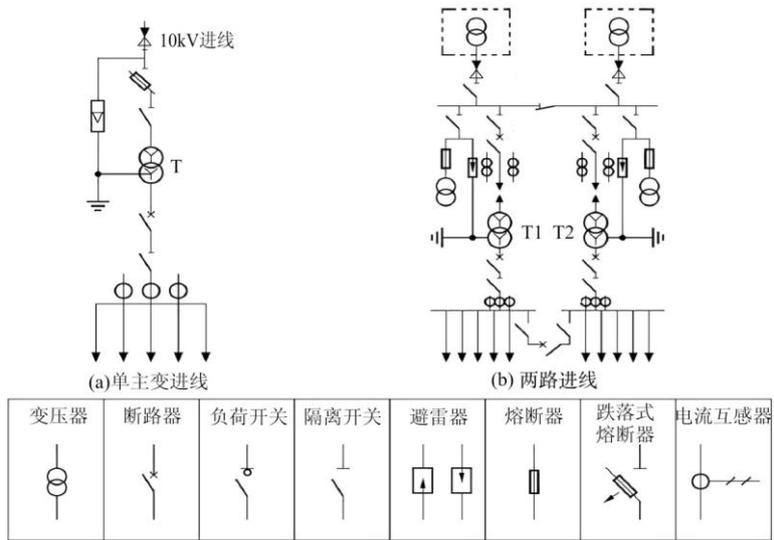


图 A3 配电设备一次接线图

Fig.A3 Primary wiring diagram of power distribution equipment

表 A4 当前负荷水平下不同权重下充电桩数量值  
Table A4 Number of charging piles under different weights

充电桩数	23:00 至次日 07:00	14:00—17:00	21:00—23:00
(3:7) 负荷:时序	35	21	22
(5:5) 负荷:时序	32	19	20
(7:3) 负荷:时序	28	17	17