文章编号：1009-6000(2018)08-0028-09
中图分类号：U491　　文献标识码：B
doi：10.3969/j.issn.1009-6000.2018.08.005

基金项目：国家自然科学基金（41171139）。

作者简介：胡培婷，中山大学地理科学与规划学院，硕士研究生；
曹小曙，通信作者，中山大学地理科学与规划学院，博士、博导、教授；
秦红旭，厦门大学王亚南经济研究院，硕士研究生；
容福炬，华南理工大学数学学院，本科。

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

The Study about Charging Station Locating of the New Energy Vehicle Abased Floating Car Data: Take the Guangzhou Central Area as an Example

胡培婷 曹小曙 秦红旭 容福炬
HU Peiting CAO Xiaoshu QIN Hongxu RONG Fuju

摘要：
新能源汽车推广是未来减少温室气体排放、替代传统能源的手段，而充电基础设施能否满足充电时空需求对成功推广至关重要。本文以广州市中心城区为案例对充电需求进行时空特征分析，并在此基础上提出充电时空需求的最大覆盖模型，探求在一定充电站数量下的充电站最佳选址布局区域。结果表明，广州市中心城区出租车出行距离较短，行程间时长多集中在0~20min内；充电需求高度集聚，其分布呈现“80/20”定律，工作日与非工作日间差异不明显。分析预选充电站5、10和15min内的服务覆盖区，广州市中心城区应选择紧凑型的充电站布局（w_1=0.5）。

关键词：
新能源汽车；充电站；选址；浮动车数据；广州中心城区

Abstract: Exploiting New Energy Vehicles (EVs) is an important method to cut down the consumption of traditional energy resources, thereby reducing the emission of greenhouse gas. However, it is vital whether charging station could fit the need of the space-time demand from more and more popular EVs in the incremental promoting campaign successfully. This paper studies the space-time demand characters of charging stations in Guangzhou central area and proposes a maximum covering model. The result indicates that the general travel distances of taxis in Guangzhou central area are quite short, and most of the carrying time distribute within 0~20 minutes. We can see that the demand behaves agglomerate apparently and fits Pareto Rule quite well in this area. What's more, the difference of travel demand for the taxis in weekend and non-weekend is not significant. Based on the research, we propose to apply a compact charging station locating model (w_1=0.5) when constructing specific number of stations in Guangzhou central area. At last, we analyzed the service covering scope for preselection stations which cars needed to charge could access in 5, 10 and 15 minutes' driving.

Key words: new energy vehicle; charging station; locating; floating car data; Guangzhou central area

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

0 引言

因近年来为破解21世纪气候变化，能源安全，城市空气污染以及交通服务需求持续增长等问题，美国、法国、日本等发达国家通过投入大量资金、研发新技术、立法、出台政策、设立专项补贴等手段支持新能源汽车行业发展(Melaina，Bremson，2008)。作为与其相配套的公共服务设施，新能源汽车充电站（EVs）的选址布局对推动电动汽车商业化、产业化具有重要意义，成为近年来众多设施选址问题中备受关注的新兴研究领域(San Roman，Shivdasani，2011)。而今考虑到充电站建设成本较高，以及财政预算有限，新能源汽车发展初期汽车的购买和基础设施的配置成为“先有鸡还是先有蛋”的问题(Kuby，Lim，Upchurch，2005; Melaina，2007)，而政府部门如何保证公平与效率对充电站的选址布局进行规划、驱动新能源汽车市场拓展显得尤为重要(Chung，Kwon，2015)。

“选址”的理论研究最早出现于德国，1909年德国学者Weber第一篇选址论文的发表标志设施选址问题的科学研究证实开始（杨丰梅,2010)。新能源充电站的选址布局作为设施选址问题，将其解决问题的模型和方法归类为“点需求”模型(Hsu，Daskin，Jones，等，1995; Toregas C,1971)，“流需求”模型(Ghosh A,1987; Hodgson,1990)以及考虑两种需求类型的模型(Goodchild M F,1987; Hodgson M J,1992)（所谓的混合模型）。点需求的选址目标是最小化需求和设施之间的总旅行成本（p-Median）(Hakimi,1964)，最小化最大旅行成本（p中心）(Hakimi S,1964)；给定数量的设施的最大覆盖（MCLP）(Church R,1974; Farahani，Steadie，Asgari，2010; Goodchild M F,1987)；或者优化与点需求相关的一些其他目标(Current，Ratick，ReVelle，1998; Ghamami，Zockaie，Nie，2016; He，Yin，Lawphongpanich，2014)。点需求方法通常不涉及城际旅行时车辆充电站的选址，而是将站点设置在城市活动中心附近（例如，家庭，商场和工作地点），以便最小化车主的可达性成本，其在快速充电的充电站选址中应用十分广泛。流需求选址方法认为消费者在去往目的地的旅行过程中搜索服务(Hodgson,1990)，需求被表现为沿着消费者出行路线通过的流—截流选址模型（FCLM）(Upchurch，Kuby，2010)，其试图定位一些设施以拦截尽可能多的需求流。考虑到有限的行驶距离，扩展为流续航选址模型（FRLM）(Kuby M,2009)。其后Kim和Kuby放宽了FRLP的限制，允许交通流到充电站的路径存在一定的偏离，更好地拟合了现实世界中驾驶者的出行行为(Kim J G,2012)。然而，这些方法仅考虑需求的空间维度，忽略了需求的时间维度，如需求时间，服务持续时间和在设施处可能等待的时间(Tu，Li，Fang，等，2016)。除了基于点需求、流需求的充电站选址方法外，还有一些其他方法也被研究来改进充电站布局策略，如网格划分方法(Chen T D,2013)、聚类方法(Andy Ip,2010)、动态空间和时间模型(He，Yin，Lawphongpanich，2014；Wirges J，2012)、均衡模型框架(He，Yin，Lawphongpanich，2014)、连续设施位置模型(Sathaye，Kelley，2013)、博弈理论(Meng W，2011)等对电动汽车充电站选址进行优化布局。

减少交通碳排放已成为全球共识（杨文越，李涛，曹小曙,2015)，但如今新能源充电站选址的研究仍有两方面较为薄弱，一是估计充电需求的方法，二是以宏观角度选择充电站最佳布局区域。现有的大多数研究是通过理论网络构建求解充电站的确切选址，可商榷余地较少。对于以上问题，大规模的浮动车数据可以提供更准确的信息估计充电需求在空间和时间上的分布。并且从常规汽油车辆收集的代表真实世界出行活动的浮动车轨迹数据（FCD）在之前的研究中已经应用于布局公共充电站(Dong,Liu,Lin,2014; Tu,Li,等,2016)。因此本研究使用大规模的浮动车轨迹数据更好地模拟真实的充电需求，提出以最大化覆盖充电需求为目标的选址布局模型，将充电站的最优选址看作选择一定范围的区域。其应用结果可以帮助广州在未来发展公新能源充电站进行决策，同时提出的选址布局模型可以为同类城市新能源充电站选址问题提供一定的研究方法。

1 研究方法

1.1 研究区域

通过对浮动车数据的起讫点进行可视化分析可知，起讫点都主要分布于中心城区，主要集中分布于越秀区、天河区、荔湾区、海珠区和白云区南部，在花都区、番禺区和白云区白云机场处分别有另一个较为集中的小区域，黄埔区、南沙区、增城市和从化区的分布则很少。此外，在白云区东南部出现需求空白区为广州市的白云山景区，因此较少有浮动车的充电需求。由图1可知，大多数出行开始/或结束多在广州市中心区域，且随着距离市中心的距离的增加，可见的行程位置的数量减少。虽然图1中也可以观察到有一些“热点”远离市中心，这些大多是一些交通枢纽或外围区域的中心，如机场、火车站或番禺区的中心商业街等，但这一部分充电需求所占总充电需求量非常小，仅为8.4%。广州市的充电站建设仍处于初期阶段，市内仅建设有3个汽车充电站，并且不对外开放或已停用（江彩霞,2016)，因此广州市发展新能源汽车应先行开展中心城区的充电站建设。根据上文分析，本文研究区域为《广州市城市总体规划(2011-2020年)》划定的中心城区，包括荔湾、越秀、天河、

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

海珠、白云区北二环高速公路以南的地区（图1）。同时广州市的车辆行驶平均速度为23.05km/h(高德地图交通大数据团队,2017)，为确保驾驶员产生充电需求时能在5min内到达充电站，将广州市中心城区划分为边长为500m的六边形网格作为站址候选区域，共计855个网格，总面积555.34km^2，并且赋予每个网格唯一的编号。

1.2 研究数据

本文所使用的行政区划和广州市中心城区各区、各镇（街）的行政界限、土地面积等数据，来源于广州市2009年土地利用变更调查数据；道路网络数据采用使用空间配准、数字化的方法处理后的2009年广州市中心城区道路网络空间数据库；浮动车数据来源于广州市方纬交通科技有限公司，包括广州市2009年5月1日0:00至2009年5月7日23:59(当地时间）从广州市GPS中采集的约14000辆出租车的浮动车轨迹数据（FCD)。采集数据车辆占总出租车数量的77%，GPS一天采集的FCD数据量集中在240万条左右，堪称海量数据，因此可以很好地拟合现实世界的充电需求。

每个出租车大约每10s捕获一个GPS信号，采集的有效数据信息包括车牌号、数据采集及上传时间、位置坐标、瞬时速度、方位角、载客状态等。本研究首先对采集的数据进行预处理，剔除掉经纬度不在广州范围内的数据、浮动车运行时速异常的数据、无效状态为0的浮动车数据、载客状态显示错误的数据。其次将有效数据进行起讫点识别，出租车的载客状态有4（空车）和5（重车）两种。当载客状态由4变成5，表示有乘客上车，取载客状态刚变成5的记录为上车点，记为起点O；当载客状态由5变成4，表示有乘客下车，取载客状态刚变成4的记录为下车点，记为讫点。将浮动车数据分日期，按照车牌号和GPS产生时间排序之后，从Oracle数据库中导出，采用C语言在Microsoft Visual Studio 2010中编程实现起讫点的识别。此后根据有效讫起点之间的时间计算浮动车可停留时长，提取在20min~2h之间的浮动车讫点作为车辆的可充电位置。

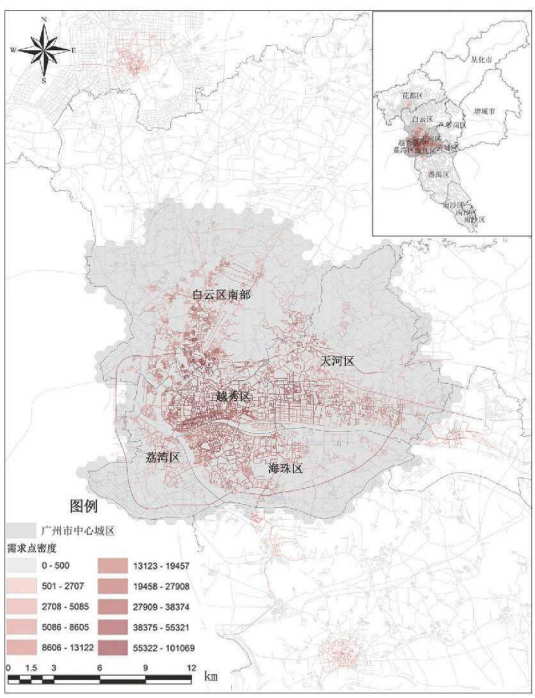


图1 广州市中心城区

1.3 时空需求最大覆盖模型

出租车的推广遇冷的原因来自于充电站基础设施缺乏，引起驾驶员对充电汽车的驾驶焦虑(Salah,Kama,2016)，因此为了解决驾驶焦虑的问题，本文基于最大覆盖选址问题(Church R,1974; 乔联宝,2015)选择充电站布局的区域。首先，对于充电基础设施的选址而言，明确EV充电需求是构建模型的关键。本文从驾驶员的角度出发，认为驾驶员会根据经验、距离和车辆利用率等决定完成行程后的方向，并且更愿意在出行的起点或终点添加燃料，而不是在出行途中补充燃料（孙小慧，刘锴，左志,2012)。在缺乏电荷消耗数据下，本文将行程结束后的位置和行程开始前的位置视为合适的充电位置，于此既可以提高出租车充电便利性，也能够有效避免驾驶焦虑。另外，浮动车数据为出租车行驶轨迹数据，选择快速充电的方式与车辆的利用率的提升密切相关。基于二者本文假设充电汽车日常运行需要充电的可能性仅产生在满足快速充电方式的、拥有大于20min并小于2h停留时间的位置中，而大于2h的停留时间多产生在夜间，可以使用常规充电方式，不在本文充电需求产生位置的考虑范围之内。

在对充电行为进行假设基础上，将研究区域划分成一组六边形H，六边形的编号为i，i={1,2,3,…}，c_i是每个候选站点的充电需求数量。同时在H_i中选取n个EVs，n为新建设充电站的数量。本文假设每一个六边形被覆盖的次数为M=1，虽然模型可以处理M的任意正值，但是因为更高的值将导致在c值大的区域附近充电站(CS)的密度过高，因此研

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

究中仍将M设置为最多能覆盖1次。该问题通常牵扯到多方利益，即充电站建设者希望充电站建在充电需求更多的位置，从而能获取更多的经济收益。而政府规划部门则更多考虑到充电站选址可以兼顾公平与效率，尽可能少建充电站满足最大的充电需求。所以根据新能源汽车充电站的选址布局需满足充电站可覆盖的充电需求最多的目标，构建基于充电的时空需求最大覆盖的MILP的模型(Nemhauser G L)，模型的目标函数如下：

$$\max \sum_{i \in H} c_i x_i \qquad (1)$$

$$\text{subject to} \sum_{i \in H \setminus \bar{H}} y_i \le n \qquad (2)$$

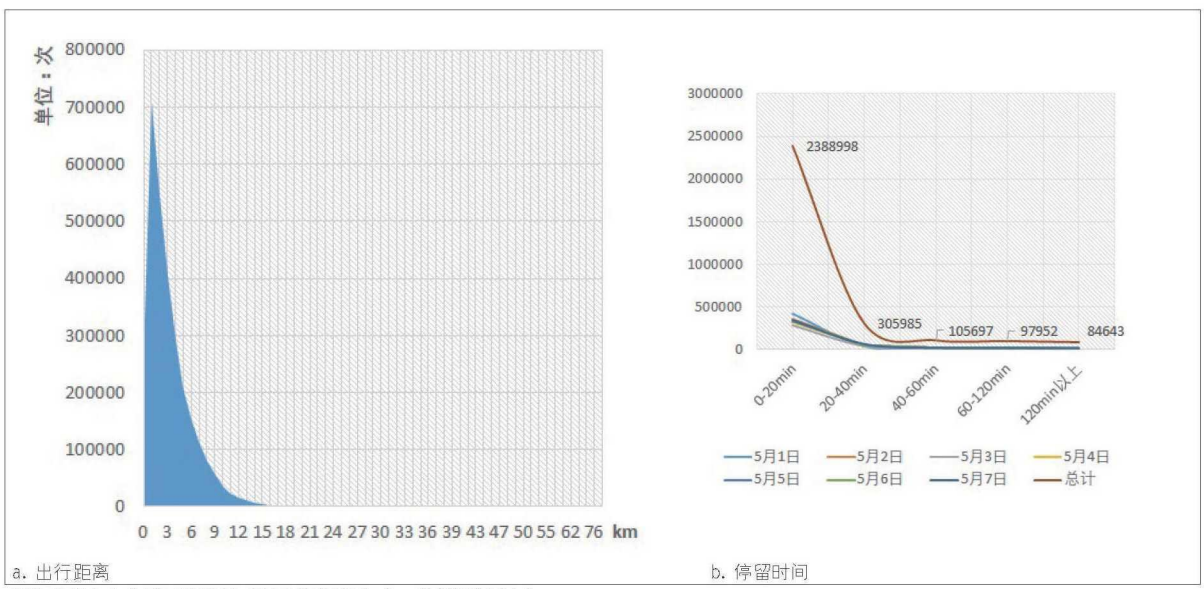
$$y_i = 1 \quad \forall i \in H \qquad (3)$$

$$x_i \le w_0 y_i + \sum_{j \in N_i} w_1 y_i \quad \forall i \in H \qquad (4)$$

$$0 \le x_i \le M \quad \forall i \in H \qquad (5)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in H \qquad (6)$$

c_i是每个六边形H充电需求数量，$i \in H$；x_i是一个连续变量，$x_i \geqslant 0$，$\forall i \in H$，其代表六边形i被覆盖的次数；y_i是二进制变量，$y_i \in \{0;1\}$，$\forall i \in H$，其代表充电站是否布局在六边形i内；N_i是与六边形i直接相连的邻近六边形的集合，$N_i \subseteq H \setminus \{i\}$；$w_0$表示为六边形i被选中用于建设充电站时的权重值，$w_0 \in \{0;1\}$；而$w_1$则表示六边形i的$N_i$中布置有充电站时的权重值，$w_1 \in \{0;1\}$。目标函数描述了覆盖的出租车行程计数的总和最大化目标，约束条件（2）代表建设新充电站的数量，等式（3）将所有现有充电站赋值为1，约束条件（4）表示如果六边形i或者它邻近的六边形中布置了充电站，则其为被覆盖（具有相应权重），约束条件（5）和（6）定义了所使用的变量的可行范围。



a. 出行距离　　b. 停留时间

图2 广州市中心城区5月1日-7日出行距离（a）、停留时间（b）

表1 浮动车数据起讫点统计表

日期		广州市		中心城区		
		有效起讫点	有效讫点	可充电位置	可充电位位置	可充电位置占全市比例
假日	5月1日	1050860	525430	64008	58368	91.19%
	5月2日	895464	447732	69332	64014	92.33%
	5月3日	764600	382300	70223	64915	92.44%
非假日	5月4日	848382	424191	78146	71688	91.74%
	5月5日	854348	427174	75502	69079	91.49%
	5月6日	881642	440821	75307	69225	91.92%
	5月7日	866522	433261	77116	69550	90.19%
合计		6161818	3080909	509634	466839	91.60%

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

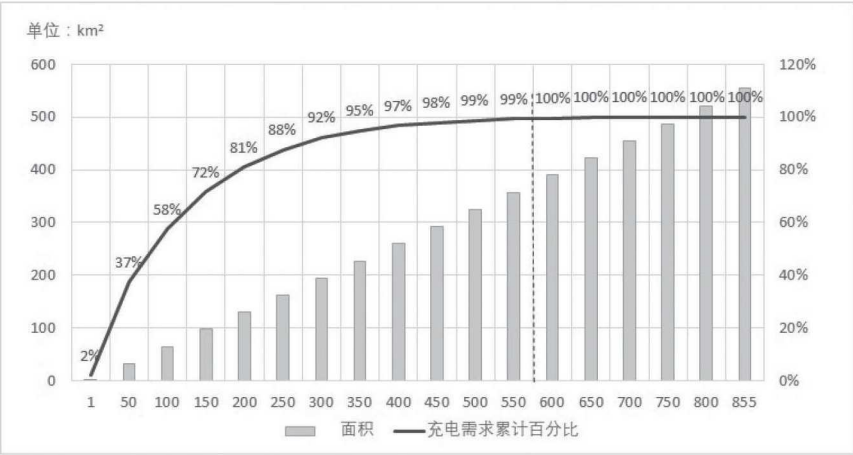


图3 广州市中心城区5月1日至7日充电需求Pareto图

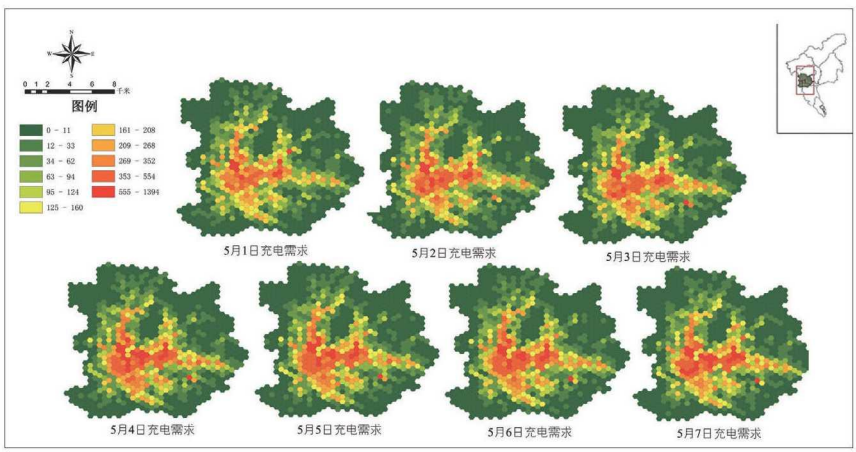


图4 广州市中心城区5月1日至5月7日充电需求分布图

2 基于时空需求覆盖的广州市新能源汽车充电站选址布局

2.1 广州市中心城区充电需求时空分布特征

使用装有GPS设备的出租车采集浮动数据，实际上是利用出租车作为传感器对整个城市的时间特征、空间特征进行动态采样（王静远，李超，等，2014），所采集到的GPS信息体现着整个城市的居民生活方式分布和出行模、城市的空间结构等城市的深层特征。本文对广州市中心城区的浮动车充电需求进行空间可视化，以此分析广州市充电需求的时空分布格局。

2.1.1 出行距离较短，行程间时长多集中在0~20min内

图2显示了2009年5月1日至5月7日一周约307万辆出租车有效出行次数的统计结果，这些数据反映了广州市中心城区的出租车的出行距离、停留时间及充电需求。有相关研究对试运行的广州花都区启辰电动车进行调研，发现电动出租车的续航里程在150km左右（高德团队，2017），而图2(a)显示广州市中心城区5月1日至5月7日之间的出行距离均较短，均在100km以下，因此本文中充满电后的单次出行均处于BEV续航范围内。而图2(b)则表示广州市出租车行程之间时长多集中在0~20min以内，占总停留次数的79%，由于大量的停留时间较短，因此使用快速充电模式能够保证新能源汽车的使用效率。

2.1.2 充电需求高度集聚，分布满足“80/20”定律

图3为充电需求Pareto图，如图可知81%的充电需求集中在面积100km²左右（占广州市中心城区总面积的20%）的200个六边形区域内，分布呈高度集聚的特征，因此只要集中精力选出少数具有高需求的候选区域建设充电站即能满足大部分的充电需求，达到充电需求的最大覆盖。

2.1.3 充电需求工作日/非工作日间的分布差异不明显，均集中于几个“热点”地区

如图4，广州市中心城区的855个六边形单元格中，有824个有效单元格（5月1日至5月7日中在单元格内有充电需求点），图中广州市的出租车的充电需求在节假日与非假日相比，空间分布无太大差异，均集中于越秀区、天河区南部，呈现出双中心的轴向相连的分布格局。这与广州市作为都市旅游型城市，休闲娱乐功能和商务办公功能同时高度集中于中心城区有一定关系。

2.2 广州市新能源汽车充电站选址布局结果

广东省将在2018年前投资455.1亿元建设新能源汽车充电基础设施工程，其中广州市内将建设73个充电站①，因此我们为了观察不同数量的充电站建设的效果，预设广州市中心城区充电站数量n分别为30个和50个，且$w_0=1$，$w_1 \in \{0.5,1\}$。在对广州市中心城区的充电需求进行识别后，用IBM CPLEX12.7软件对充电需求最大覆盖的MILP模型进行求解，得到S1~S4四个选址布局方案。$w_0=1$代表六边形被选中，w_1代表被选中作为充电区域六边形的邻近六边形所被选中的权重，$w_1=0.5$表示选定CS后，其

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2 广州市中心城区预选充电站覆盖充电需求统计（n=30/50）

	充电需求排序	n=30				充电需求排序	n=50			
		S1：w_0=1,w_1=0.5		S2：w_0=1,w_1=1			S3：w_0=1,w1=0.5		S4：w_0=1,w_1=1	
		ID	覆盖需求/次	ID	覆盖需求/次		ID	覆盖需求/次	ID	覆盖需求/次
	1	98	24032	522	29070	1	520	30007	520	30007
	2	517	23737	411	22984	2	92	24521	449	21701
	3	411	22984	14	22676	3	413	23342	439	21477
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	29	465	9124	40	5850	49	292	5352	139	2535
	30	357	7899	50	5541	50	712	5333	675	2093
覆盖充电需求总次数/次		466550		365768			611653		432811	
未被覆盖充电需求点/个		249472		289271			321243		382613	

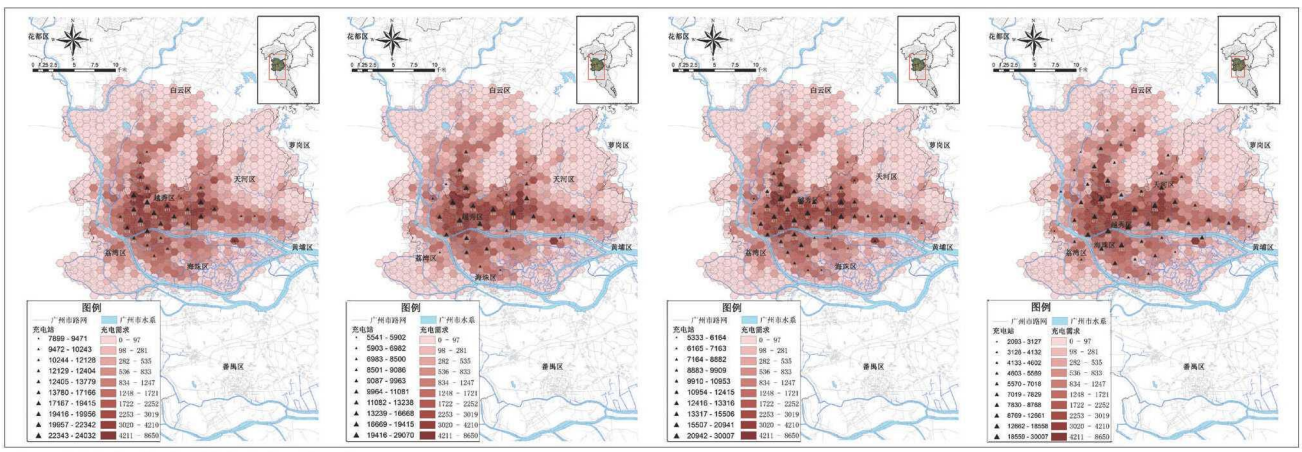


图5广州市中心城区充电站选址（n=30/50）

邻近区域同时可作为其他CS的邻近区域被选择，空间分布较为紧凑；w_1=1 则表示被选中作为CS的六边形的邻近区域仅可作为一个CS的邻近区域，分布相较之下相对扩散。同时，本文不考虑 w_1=0 的情况，因为当 w_1=0 时仅有最高需求的六边形区域被选中，其临近区域不可接受服务，这与实际不符。

广州市新能源汽车充电站选址区域如图4所示，黑色三角形代表根据时空最大充电需求覆盖被选出的充电站选址区域，每个三角形有一个与六边形区域一致的唯一编号，标注在黑色三角形标志下方，同时三角形的大小与所覆盖充电需求数量正相关。

2.2.1 充电需求的最大覆盖数量

我们对被选中的充电站所覆盖充电需求进行统计，图5和表2描述了不同方案下所覆盖充电需求的总数和趋势。表2中列出在不同情况下覆盖充电需求总数排前三位和末两位的充电站的ID和它所覆盖的充电需求。随着充电站建站数量从30增加到50，其覆盖充电需求的总次数也不断增长，从466550次和365768次增加到511653次和432811次，分别在 w_1=0.5 时增长18%和 w_1=1 时增长22%。但与此同时未被覆盖的充电需求点也同样从30个充电站的249472和289271个增多到50个充电站时的321243个和382613个，因此建设更多的充电站基础设施并不代表充电服务能被显著改善。

2.2.2 基于覆盖需求的新能源充电站布局差异

表2显示在同等的充电站数量中 w_1 为0.5时比 w_1 为1时所覆盖的需求总数要更多，并且未被覆盖的需求点更少。此外，表2中按充电需求排序的不同充电站覆盖需求次数还表明，w_1=0.5 时每个充电站覆盖的需求数量相对 w_1=1 更均衡。w_1=1 时，每个充电站所覆盖的充电需求数量差距较大，因此 w_1 权重的选择会导致在配置站点负荷功率时有不同的需求。因此，广州市中心城区充电站布局采用紧凑型布局模式覆盖充电需求更多且各站点的负荷功率也将较为均衡。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表3 广州市中心城区充电站服务范围分析表(n=30/50)(单位：km^2)

	n=30		n=50	
	w_0=1,w_1=0.5	w_0=1,w_1=1	w_0=1,w_1=0.5	w_0=1,w_1=1
0~5min	32.87	25.39	42.48	34.09
5~10min	44.29	67.3	73.07	85.87
10~15min	33.03	59.74	42.71	70.86
服务总范围	110.19	152.43	158.26	190.82

2.2.3 新能源充电站的服务范围

GIS网络分析(network analysis)针对交通网络、城市基础设施等进行地理分析和模型化，是分析地理现象和规律的重要工具。本文采用上文提到的广州市路网空间数据库，借助ArcGIS10.3中的网络服务区分析(service area)工具对预选出的充电站进行服务区分析，以便展示预选的充电站的可达性。使用服务区分析工具后，我们得到预选30和50个充电站在w_0=1，w_1=0.5和1的条件下，且假设充电站位于六边形区域中心时，充电站5min、10min和15min路程内的服务范围。

在图5中，5min、10min、15min的服务范围亮度依次递减，在5min的服务范围内与六边形区域的面积大小几近一致，10min的服务范围大多数能覆盖到邻近的六边形区域，15min的服务范围则能将充电站与周边充电站无缝接合，因此当充电站在六边形候选区域中心时5min内可为本区域的充电需求提供便利的服务，10min内可为周边区域大多数的充电需求服务。

2.2.4 基于服务范围的新能源充电站布局差异

另外，图6还显示w_1=1的充电站分布比w_1=0.5时更为扩散，因此建设同等数量的充电站情况下，w_1=1的服务总范围更广（表3），但5min服务范围w_1=0.5比w_1=1时大，这与选址区域的路网情况密切相关，路网衔接情况好、道路等级高的区域充电站能服务更大范围。在实际进行选址时可根据区域内土地利用情况和路网衔接情况等进一步选定确切位置，以便提升充电站的服务范围。

由以上分析可知，广州市中心城区充电需求具有分布高度集中，工作日和非工作日间充电需求分布无较大差异的特征。充电站选址在考虑时空分布差异的情况下以覆盖最大的充电需求为目标，图5中所列出的4套选址方案都均匀地分布在需求量较集中的地区，w_1=0.5时虽然0~15min内的服务范围没有w_1=1的面积大，但其覆盖充电需求量较大。本文模型获取的选址方案求得了最大化充电需求时空覆盖下的站址位置，通过对选址结果的比较，本文认为广州市在

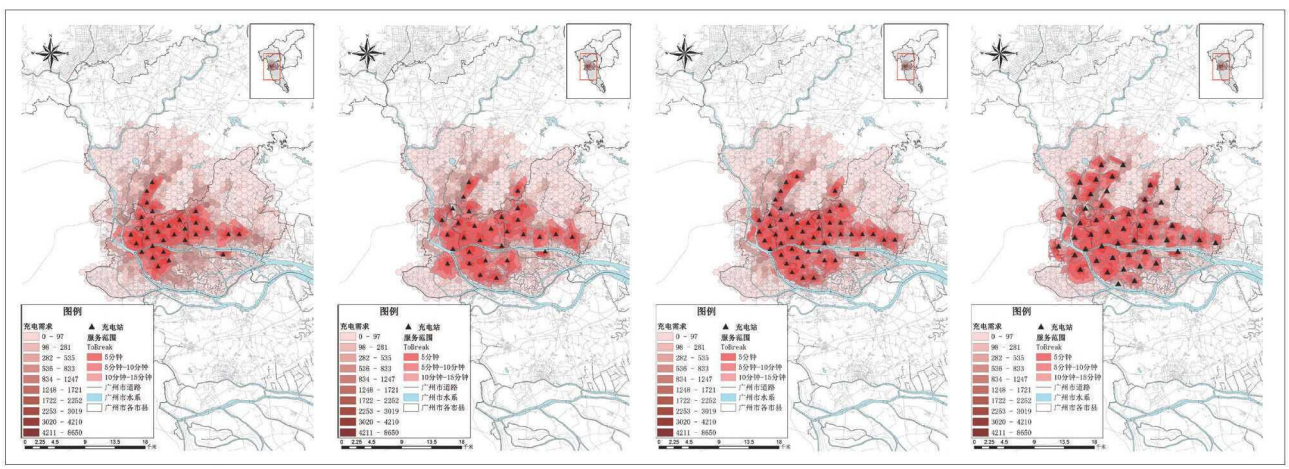


图6 广州市中心城区充电站服务范围（n=30/50）(5min/10min/15min)

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

充电需求时空分布呈集聚现象下适合选择紧凑型（w_1=0.5）的充电站布局，既能覆盖较多的需求点，又能使充电站负荷功率较为均衡，减少对电网的压力。在推广新能源汽车前期，广州市中心城区可根据每个充电站所覆盖的充电需求大小，按需分批建设。

3 结论

减少交通碳排放已成为世界各国应对气候变化的一大重要途径与共识，新能源汽车产业是未来减少温室气体排放、替代传统能源的一个手段，随着技术的发展愈加成熟，新能源汽车的推广备受政府部门的关注。因此本文首先借助大规模浮动车数据对广州市中心城区充电需求的时空分布特征进行分析。在以上分析的基础上，本文提出了充电时空需求的最大覆盖模型，求解在一定充电站数量下的充电站最佳选址布局区域。最后对充电站的最佳选址区域所需求覆盖数量和充电站服务范围进行分析，对比不同充电站数量和不同参数下充电站所能覆盖的充电需求次数和服务区的范围。主要研究结论如下：①广州市中心城区充电需求分布出行距离较短，行程间的时长多集中在0~20min内；②充电需求高度集聚，其分布满足“80/20”定律，且工作日与非工作日间差异不明显；③广州市在充电需求时空分布呈集聚现象下建设更多的充电站基础设施并不代表充电服务能被显著改善，适合选择紧凑型（w_1=0.5）的充电站布局，既能覆盖较多的需求点，又能达到充电站负荷功率较为均衡；④假设充电站位于六边形候选区域中心时充电站在5min内可为本区域的充电需求服务，10min内可为周边区域大多数的充电需求服务，15min可基本使含充电站区域的服务范围无缝覆盖。

充电站规划的真正落地需要同时平衡规划建设费用与收益之间的关系，在其间涉及到多方利益的博弈，政府部门应在确保充电基础设施得到有效推广和高效利用下支持充电站规划建设、推广和维护。本文基于对大规模浮动车数据的分析提出的选址布局方法具有很大应用价值，不仅可以为充电站的选址布局提供可参考的决策方案，也有助于推动电动汽车（EV）市场的长期发展。

注释：

①《广东省发展改革委关于补齐软硬基础设施短板重大项目的通知》，2016-05-31，发改投资（2016）323号。

参考文献：

[1]Andy I S F. Optimization for allocating BEV recharging stations in urban areas by using hierarchical clustering[J]. Journal of Transport Geography, 2010(52):11-22.

[2]Chen T D K K M K. The Electric Vehicle Charging Station Location Problem: A Parking-based Assignment Method for Seattle[A]//Transportation Research Board 92nd Annual Meeting[C].2013.

[3]Chung S H, Kwon C. Multi-period planning for electric car charging station locations: A case of Korean expressways[J]. European Journal of Operational Research, 2015,242(2):677-687.

[4]Church R, Velle C R. The maximal covering location problem[J]. Papers in Regional Science,1974,32(1):101-118.

[5]Current J, Ratick S, ReVelle C. Dynamic facility location when the total number of facilities is uncertain: A decision analysis approach[J]. 1998, 110(3):597-609.

[6]Dong J, Liu C, Lin Z. Charging infrastructure planning for promoting battery electric vehicles: An activity-based approach using multiday travel data[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014(38):44-55.

[7]Farahani R Z, Steadie S M, Asgari N. Multiple criteria facility location problems: A survey[J]. Applied Mathematical Modelling, 2010, 34(7):1689-1709.

[8]Ghamami M, Zockaie A, Nie Y M. A general corridor model for designing plug-in electric vehicle charging infrastructure to support intercity travel[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016(68):389-402.

[9]Ghosh A, McLafferty S L. Location Strategies for Retail and Service Firms[M]. Lexington, MA: Lexington Books, 1987.

[10]Goodchild M F, Noronha V T. Location-allocation and Impulsive Shopping: The Case of Gasoline Retailing[A]//Spatial Analysis and Location-Allocation Models[C].1987:121-136.

[11]Hakimi S G D. Generation and realization of trees and k-trees[J]. IEEE Transactions on Circuit Theory, 1964,11(2):247-255.

[12]He F, Yin Y, Lawphongpanich S. Network equilibrium models with battery electric vehicles[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2014(67):306-319.

[13]Hodgson M J R K E. A network location-allocation model trading off flow capturing andp-median objectives[J]. Annals of Operations Research, 1992,40(1):247-260.

[14]Hsu V N, Daskin M, Jones P C et al. Tool selection for optimal part production: A Lagrangian relaxation approach[J]. IIE Transactions, 1995, 27(4):417-426.

[15]Hodgson M J. A flow-capturing location-allocation model[J]. Geographical Analysis,1990,22(3):270-279.

[16]Kim J G K M. The deviation-flow refueling location model for optimizing a network of refueling stations[J].

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

International Journal of hydrogen Energy, 2012,37(6):5406-5420.
[17]Kuby M L L S R. Optimization of hydrogen stations in Florida using the flow-refueling location model[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2009,34(15):6045-6064.
[18]Kuby M, Lim S, Upchurch C. Dispersion of nodes added to a network[J]. Geographical Analysis, 2005,37(4):383-409.
[19]Hakimi S L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph[J]. Operations research,1964,12(3):450-459.
[20]Melaina M W. Turn of the century refueling: A review of innovations in early gasoline refueling methods and analogies for hydrogen[J]. Energy Policy, 2007,35(10):4919-4934.
[21]Melaina M, Bremson J. Refueling availability for alternative fuel vehicle markets: Sufficient urban station coverage[J]. Energy Policy, 2008, 36(8):3233-3241.
[22]Meng W, Kai L. Optimization of Electric Vehicle Charging Station Location Based on Game Theory[A]//Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE), 2011 International Conference on. IEEE[C]. 2011: 809-812.
[23]Nemhauser G L, Wolsey L A. Integer Programming and Combinatorial Optimization[A]//Wiley, Chichester. GL Nemhauser, MWP Savelsbergh, GS Sigismondi. Constraint Classification for Mixed Integer Programming Formulations. Coal Bulletin[C].1988:8-12.
[24]Salah K, Kama N. Reducing Range Anxiety by Unifying Networks of Charging Stations[A]//Deaconescu T, Deaconescu A. MATEC Web of Conferences[M]. 2016.
[25]San Roman A K, Shivdasani R A. Boundaries, junctions and transitions in the gastrointestinal tract[J]. Experimental Cell Research, 2011, 317(19):2711-2718.
[26]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.
[27]Toregas C S R R C. The location of emergency service facilities[J]. Operations Research, 1971,19(6):1363-1373.
[28]Tu W, Li Q, Fang Z et al. Optimizing the locations of electric taxi charging stations: A spatial-temporal demand coverage approach[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016(65):172-189.
[29]Upchurch C, Kuby M. Comparing the p-median and flow-refueling models for locating alternative-fuel stations[J]. Journal of Transport Geography, 2010,18(6):750-758.
[30]Wirges J L S K A. Modelling the development of a regional charging infrastructure for electric vehicles in time and space[J]. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 2012,12(12):391-416.
[31]高德地图交通大数据团队.2016年度中国主要城市交通分析报告[R].北京市:高德地图交通大数据,2017.
[32]江彩霞.广州新能源汽车发展面临的瓶颈及对策[R].2016.
[33]乔联宝.覆盖类选址问题分类及研究综述[J].物流科技,2015(3):59-66.
[34]孙小慧,刘锴,左志.考虑时空间限制的电动汽车充电站布局模型[J].地理科学进展,2012(6):686-692.
[35]王静远,李超,熊璋,等.以数据为中心的智慧城市研究综述[J].计算机研究与发展,2014(2):239-259.
[36]杨丰梅.竞争设施选址理论与方法[M].北京:科学出版社,2010:171.
[37]杨文越,李涛,曹小曙.广州市社区出行低碳指数格局及其影响因素的空间异质性[J].地理研究,2015(8):1471-1480.

(上接20页)

[35]Robbins S. Organization theory: Structures, designs, and applications[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 1990,661(1):442-451.
[36]徐学军,谢卓君.供应链伙伴信任合作模型的构建[J].工业工程,2007(2):18-21.
[37]王菲.我国城市老年人消费行为的实证研究[J].人口与发展,2015,21(3):101-112.
[38]李建民.老年人消费需求影响因素分析及我国老年人消费需求增长预测[J].人口与经济,2001(5):10-16.
[39]Brudney J L. Volunteer involvement in the delivery of public services: Advantages and disadvantages[J]. Public Productivity & Management Review, 1993,16(3):283-297.
[40]谢涓.社会公共事务中的志愿者组织:现状、问题与对策[D].上海:复旦大学,2008.
[41]陶逸.基于契约理论的网络组织协调控制机制与模型研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2010.

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net