

# 考虑时空限制的电动汽车充电站布局模型

孙小慧, 刘 锴, 左 志

(大连理工大学交通运输学院, 大连 116024)

**摘 要:**基于能源需求空间分布的既有新型燃料供应站布局模型解决了需求点与供应站之间的总距离最小、供应站服务客流最大、以及基于此两类目标的多目标优化问题。然而电动汽车充电时间较长的特性对充电站的空间布局问题提出了时间因素的限制。本文提出了充电站空间布局优化应该考虑充电的行为决策问题,即:何时需要充电,去何地充电,以及当因供电站的同时服务容量受到限制而产生排队时作何选择等。在研究充电行为和充电需求的基础上,建立了满足等待时间最短和服务最便利的时空同时优化布局的动态模型,应用微观仿真方法进行了算例分析,并比较了该模型与传统截流选址模型在算例路网上的应用结果。结果证明时间限制下的行为决策对充电站布局存在较大影响,该动态模型对时间约束的考虑提高了优化结果的有效性。

**关 键 词:**充电站布局;动态模型;时空限制;行为决策

## 1 引言

新能源汽车,特别是电动汽车(Electric Vehicle)近年来引起越来越多的关注。电动汽车对于缓解能源危机、气候变化、大气污染与日益增长的交通需求之间的矛盾具有重大意义。然而,充电设施的缺乏严重阻碍了电动汽车的推广,研究<sup>[1]</sup>认为充电站的建设对发展电动汽车至关重要:有限的充电站空间覆盖水平将影响出行的便利性,从而降低消费者的购买意愿;另一方面,电动汽车需求市场的萧条将影响制造商的研发投入,降低运营商投资充电站的意愿,使推广电动汽车陷入“先有鸡还是先有蛋”的困境。由政府或社会力量先行投资建设初始充电站网络成为打破这种困境的有效选择<sup>[2]</sup>。考虑到充电站建设成本较高,以及有限的财政预算约束,如何充分考虑充电站布局影响因素,提高其布局效率显得尤为重要。

本文结合电动汽车的行驶局限性和充电需求特性,在总结已有供应站布局优化研究成果的基础上,从出行者充电需求时空分布和充电决策过程角度出发,建立了一种新的电动汽车充电站布局模型——时空约束下布局优化模型(Time-Spatial Location Model, TSLM),并对该模型和目前广泛应用

的截流选址模型(Flow Capturing Location Model, 简称FCLM模型)在算例路网上的模拟计算结果进行比较分析,据此提出未来的研究方向。

## 2 既有研究及优化模型

根据补充燃料需求产生形式和优化方法的差异,既有新能源供应站优化布局的方法和模型可归为两类:点需求模型和流量需求模型。点需求模型通常假设补充燃料需求产生于路网中的节点,其优化目标是定位给定的 $p$ 个供应站并分配每个需求点到一个特定的供应站,从而满足所有需求点与供应站之间的平均距离最小<sup>[1]</sup>。这类模型中应用最多、最广泛的是P-Median模型,它通常假设燃料需求产生点为住所或工作地点,因此实际应用中可将供应站配置在人们的居住区附近,较便利地满足人们的出行需求。Lin等<sup>[3]</sup>通过假设路网中的任一点都有可能因燃料耗尽而成为需求产生点,提出了考虑“折返就近加油”方法(Fuel-Travel-Back)的平均加油旅行时间最短的优化目标,改进了P-Median模型关于需求产生点的假设,然而该模型假设车辆在燃料耗尽后就近寻找供应站,寻求供应站时机的假设与现实存在较大差距。

收稿日期:2012-02; 修订日期:2012-03.

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(51008050);中央高校基本科研业务费专项资金项目(DUT12ZD203)。

作者简介:孙小慧(1986-),女,硕士研究生,主要研究方向为交通规划与管理,交通行为建模分析。

E-mail: sunxiaohuikkk@126.com

通讯作者:刘锴(1978-),男,副教授,主要研究方向为城市 and 交通规划,交通行为建模分析,交通网络分析等。

E-mail: liukai@dlut.edu.cn

第二类流量需求模型的优化目标是对  $p$  个供应站选址使得供应站所能服务的顾客流量最大。流量需求模型中的燃料需求不再局限于路网中的节点,而采用路段上的车流量表示,其基础模型是Hodgson<sup>[4]</sup>于1990年提出的截流选址(FCLM)模型。与点需求模型相比,FCLM模型可以更好地拟合人们的出行行为,即人们不是为了接受服务而出行,而是在出行过程中顺道接受服务。但FCLM模型没有对出行距离的长短加以区别,假设只要出行路径中存在一处供应站便能满足出行需求。这一假设适用于非长距离出行(例如不超过100 km),但对于行驶里程有限的电动汽车来说,完成一次较长距离的出行可能需要接受两次或更多的服务,这就需要在行驶路径上设置多处供应站,FCLM模型显然无法解决这样的现实问题。针对这一问题,Kuby等<sup>[5-6]</sup>综合考虑行驶里程参数和站点组合,建立了续航选址模型(Flow Refueling Location Model, FRLM),该模型可以兼顾长距离和短距离出行,更加符合现实情况,伴随这一模型的应用还出现了寻找备选站点的相关研究<sup>[7]</sup>。然而,FCLM和FRLM均假设路径上的供应站能够满足该路径上所有车流量补充燃料的需求,而忽略了供应站的同时服务能力限制。Upchurch等<sup>[8]</sup>通过考虑有限容量因素修正了FRLM模型,建立了有限容量续航选址模型(Capacitated Flow Refueling Location Model)。

上述各种流量需求模型均采用了最短路径假设,即使只需绕行很短的距离就可以获得服务,也不允许有任何的绕道行为。但是现实中出行者可能乐意绕行来获得服务,而且现实路网中拥堵路段上的车流往往选择其他路径而非最短路径<sup>[9]</sup>。杨珺等<sup>[10]</sup>提出了考虑服务半径的截流选址模型(Flow Capturing Location Model with Service Radius,简称SR-FCLM模型),该模型假设如果供应站到顾客流量通过的路线上至少一个节点的距离不超过路径服务半径  $d$ ,路径上的顾客会愿意偏离原来的路线,绕  $2d$  距离去接受供应站的服务,再返回到原来的路线。

近年来还出现了一些多目标选址优化模型的研究,如最大覆盖/最短路径问题<sup>[11]</sup>(Maximum Covering/Shortest Path Problem,简称MCSP模型),最小费用/最大覆盖问题<sup>[12]</sup>(Minimum Cost/Maximum Coverage Problem,简称MCMCP),以及结合P-Median和FCLM的最大流量/最短距离问题<sup>[13]</sup>(Maxi-

mum Capturing/Minimum Distance Problem,简称MCMDP)。此外,基于Agent的模型也被应用在布局问题中<sup>[2,14]</sup>,这类研究主要基于动态反馈思想,其中一个显著的成果是引入了担忧系数,描述了在初始新能源供应站较少的情况下,新能源汽车购买者对于燃料耗尽后不能及时得到服务的担心。

电动汽车快速充电时间约为30分钟,受充电站的同时服务能力的限制,充电需求时间上的集中必然引起排队等待,或者寻找其他可用充电站的行为。遗憾的是,既有模型仅考虑了补充燃料需求的空间分布,却忽视了时间限制约束。当考虑充电站优化布局问题时,需要考虑充电的行为决策过程,即:何时需要充电,去何地充电,以及当因充电站同时服务能力限制而产生排队时作何选择等问题。

### 3 时空约束下布局优化模型构建

#### 3.1 出行过程中的充电选择行为

电动汽车使用者在出行中除了考虑出行起迄点间的最短行驶路径外,还需要考虑充电站的可获得性、充电站的排队情况,在电量耗尽之前到达距离起迄点间最短路径较近的充电站,同时满足总出行时间(包括排队时间、可能的绕行时间和到达终点的行驶时间)最小。电动汽车在到达某充电站  $i$  时将面临3种选择:①剩余电量不能到达其他充电站,必须在站点  $i$  接受充电;②剩余电量可以到达其他充电站,选择在站点  $i$  接受充电;③剩余电量可以到达其他充电站,选择不在于站点  $i$  接受充电。后两种情况取决于备选站点的排队情况,以及出行者可能需要绕行的距离或者时间。其中站点  $i$  的排队等待时间受等待车辆数、充电桩个数、以及充电时间的影响。

电动汽车在每个短时段根据剩余电量和充电站排队信息做出判断,选择最佳充电站和路径,并不局限于最短路径。下面以设定的情景来说明TSLM模型的充电规则。图1所示的5个节点简单路网中,  $A$  和  $E$  为一对起迄点,充电站设在  $C$ 、 $D$  处,其中站点  $C$  在  $A$ - $E$  之间的最短路径  $ACE$  上,  $A$ - $D$  之间的最短路径为  $ABD$ 。 $l_1$  表示  $A$ 、 $B$  两节点间的距离;  $VMT_{Am}$  表示电动汽车  $m$  在点  $A$  的剩余行驶里程;  $N_{Cm}$  表示电动汽车  $m$  到达站点  $C$  时,该站点的车辆数;  $q_c$  表示站点  $C$  的充电桩个数;  $W_{Cm}$  表示电动汽车  $m$  在站点  $C$  的等待时间;  $T_{CE}^m$  表示电

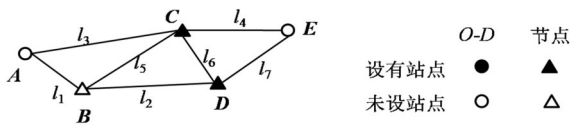


图1 简单路网

Fig.1 A simple Network

电动汽车  $m$  在点  $C$  和  $E$  之间沿最短路径的行驶时间;  $U$  表示路网中消失的电动车辆数, 可用来评价充电站网络的服务水平。

电动汽车  $m$  将按以下顺序选择是否需要充电以及在何处充电:

- (1) 若  $VM T_{Am} > 2(l_3 + l_4)$ , 不需要充电;
- (2) 若  $l_3 < VM T_{Am} < 2(l_3 + l_4)$ 
  - ① 若站点  $C$  的车辆数  $N_{Cm} < q_c$ , 在点  $C$  充电;
  - ② 若  $N_{Cm} \geq q_c$ , 且  $VM T_{Am} > (l_3 + l_6)$ , 若  $W_{Cm} + T_{CE}^m \leq W_{Dm} + T_{CD}^m + T_{DE}^m$ , 在点  $C$  排队等待充电;
  - ③ 若  $N_{Cm} \geq q_c$ , 且  $VM T_{Am} > (l_3 + l_6)$ , 若  $W_{Cm} + T_{CE}^m > W_{Dm} + T_{CD}^m + T_{DE}^m$ , 在点  $D$  充电;
  - ④ 若  $N_{Cm} \geq q_c$ , 且  $VM T_{Am} < (l_3 + l_6)$ , 在点  $C$  排队等待充电;

(3) 若  $VM T_{Am} < l_3$

① 若  $VM T_{Am} > (l_1 + l_2)$ , 在点  $D$  充电, 沿  $A-D$  之间的最短路径行驶;

② 若  $VM T_{Am} < (l_1 + l_2)$ , 则电动汽车  $m$  将从路网中消失, 记入  $U$ ;

(4) 假设电动汽车  $m$  选择在站点  $C$  充电, 充电完成后

① 若  $VM T_{Am} > 2l_4$ , 电动汽车  $m$  将沿最短路径  $ACE$  到达目的地  $E$ , 完成本次出行;

② 若  $l_6 < VM T_{Am} < 2l_4$ , 电动汽车  $m$  将判断是否可在站点  $D$  接受二次充电服务, 以完成本次出行或消失在路网中。

由充电选择行为可知, TSLM 对最短路径的考虑显著区别于传统模型, 它将任意两点之间的最短路径作为出行者的首选, 但允许车辆绕道以完成充电服务, 且绕道后不必返回原来的路线, 而是沿充电结束地与目的地之间的最短路径行驶。

### 3.2 模型假设

出行者在出行过程中的充电需求相当复杂, 受多种因素的影响, 为了更加全面和准确的描述现实状况和充电站布局的影响因素, 以及建模的需要, 做出如下假设:

(1) 所有电动汽车出行者对充电站的位置以及

各个站点在某一时刻的排队情况完全可知, 因此可以准确地做出当前时刻的最佳决定。

(2) 不考虑道路交通状况的影响, 电动汽车以相同的速度  $40 \text{ km/h}$  行驶, 电量的消耗与行驶里程呈线性关系。

(3) 考虑充电站同时充电容量限制, 当待充电车辆数大于某站点充电桩个数时, 车辆需要等待以完成充电服务。

(4) 电动汽车出发时刻为服从均匀分布的随机时刻。

(5) 电动汽车在出发时刻的剩余电量可支持的行驶里程是区间  $[60 \text{ km}, 100 \text{ km}]$  之间的服从正态分布  $N(0, 1)$  的随机数, 接受充电服务后的可行驶里程为  $100 \text{ km}$ 。

(6) 电动汽车快速充电所需时间均为  $30$  分钟, 不考虑剩余电量和车辆类型的影响。

(7) 每个充电站的充电桩个数为定值, 不考虑投资规模和用地条件的限制。

其中假设 1 和 2 与传统模型类似, 假设 3-7 则从出发时刻分布、出发时剩余电量、充电时间、以及排队时间等角度提出缓解传统模型脱离现实假设的约束条件, TSLM 模型区别于传统模型的最大特点在于其动态性。

### 3.3 TSLM 模型

根据上述充电选择行为分析及模型假设, 建立 TSLM 模型如下:

$$\min \sum_i \sum_m X_i S_{im} W_{im} + \sum_m T_m \quad (1)$$

$$s.t. \quad \sum_i X_i = p \quad (2)$$

$$X_i \in \{0, 1\} \quad (3)$$

$$S_{im} \in \{0, 1\} \quad (4)$$

式中:  $p$  为充电站总个数,  $p=1, 2, \dots$ ;  $i$  为路网节点或充电站点;  $m$  为电动汽车编号;  $X_i$  为决策变量, 如果节点  $i$  建有充电站, 等于 1, 否则为 0;  $S_{im}$  为状态指示变量, 如果电动汽车  $m$  选择在站点  $i$  充电, 等于 1, 否则为 0;  $W_{im}$  为电动汽车  $m$  在站点  $i$  的等待时间;  $T_m$  为电动汽车  $m$  完成本次出行的行驶时间。

目标函数(1)表示所有车辆的总等待时间和总行驶时间之和最小。约束条件(2)表示建立的充电站总数为  $p$  个; 约束条件(3)和(4)表示决策变量  $X_i$  和  $S_{im}$  为 0-1 变量。模型中对排队情况的处理采用多服务台单队列排队模型。当  $X_i=1$  且  $S_{im}=1$  时,



$$W_{im} = \begin{cases} 0 & N_{im} < q_i \\ \min\{g_{im}, m \in M_{im}\} - r_{im} & N_{im} \geq q_i \end{cases} \quad (5)$$

$$g_{im} = \begin{cases} r_{im} + \tau & N_{im} < q_i \\ r_{im} + W_{im} + \tau & N_{im} \geq q_i \end{cases} \quad (6)$$

式中： $r_{im}$ 为电动汽车  $m$  到达站点  $i$  的时刻； $g_{im}$  为电动汽车  $m$  离开站点  $i$  的时刻； $W_{im}$  为电动汽车  $m$  在站点  $i$  的等待时间； $M_{im}$  为电动汽车  $m$  到达站点  $i$  时，站点  $i$  已有的电动车辆集合； $\tau$  为充电时间，为定值30分钟； $N_{im}$  为电动汽车  $m$  到达站点  $i$  时，站点  $i$  的车辆数； $q_i$  为站点  $i$  的充电桩个数。

TSLM是一个动态模型，充分考虑了时间因素的影响，更加符合现实情况，但求解也较为复杂。传统模型的求解方法难以应用，而需要用仿真方法来实现。

4 算例分析

4.1 算例路网和充电需求

为验证 TSLM 模型的有效性，考虑图 2 所示的具有 25 个节点的路网，该网络由 Berman 和 Simchi-Levi 提出，被众多研究者用作验证算例。图 2 中圆圈内的数字表示路网节点的编号，圆圈的大小表示该节点的吸引力权重(例如人口规模)，路段上的数字表示两节点间的路段长度。

任一 O-D 之间的交通流量根据重力模型计算获得<sup>[15]</sup>： $OD_{ij} = W_i W_j / d_{ij} \times 1.5$ ，其中  $W_i$  和  $W_j$  分别表示起迄点的吸引力权重， $d_{ij}$  表示  $i$  和  $j$  之间的最短路径长度。根据 3.1 节的充电选择行为假设，路网中的交通流量首先加载到最短路径上，然后在出行过程中根据充电站的排队等待情况将某一 O-D 之间的交通流量部分或全部分配到其他路径上；当车辆出发时刻的剩余电量不能支持沿最短路径的往返出行时，便产生了充电需求，所有在出行过程中需要充电的车辆构成了路网中的充电总需求。下文选取考虑高峰小时系数后得到的具有 101 次充电需求的场景介绍模型的充电需求和应用结果，其中图 2 中路段的宽度表示了需充电的交通流量在路段上的分布情况，图 3 显示了 101 次充电需求在 OD 之间的空间分布情况。

4.2 结果分析

TSLM 受到多种时间约束，传统整数规划优化方法无法再现和解决其内在的动态影响过程，因此本研究采用微观仿真方法验证模型的有效性。由于求解过程较为复杂，且复杂度随着网络的扩大和充电站数目的增多而增大，本文仅验证充电站的数量为 2，且各充电站充电桩个数均为 25 时的优化结果。通过 MapInfo 软件平台建立路网拓扑结构，应用 MapBasic 语言开发了车辆在各备选站点的决策

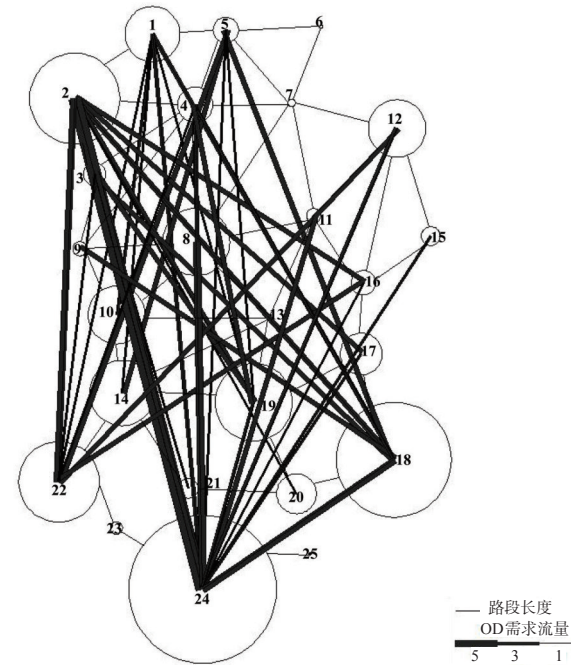
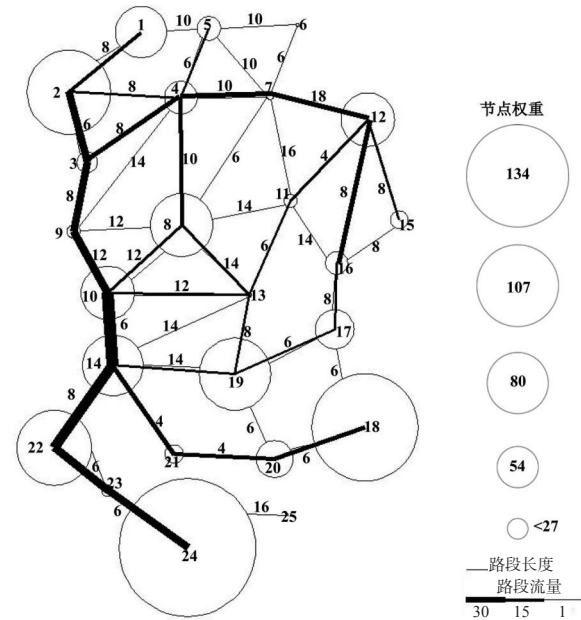


图2 25个节点的算例路网和充电需求交通流量分配  
Fig.2 A 25-node example network and traffic assignment with charging demands

图3 充电需求的空间分布  
Fig.3 Spatial distribution of charging demands

模型,以及整体系统优化模型。

为便于比较不同组合之间的差异,本研究采用了穷举法,分别计算全部 300 个可能选址组合的等待时间和行驶时间,从中找出出行总时间最小的组合作为充电站的最优位置,总时间最小的前 10 种组合见表 1。算例路网上 2 个充电站的最优位置分别位于点 14 和 24,可以满足全部 101 次充电需求,需要总等待时间 654 分钟,总出行时间 7380 分钟(仅包括等待时间和路段行驶时间,不包括充电时间),其中与最短路径相比绕行了 405 分钟,占最短路径行驶总时间的 6.4%。从节约出行能源的角度来看,点 14 和 24 组合的绕行时间也较低,是次优选择(仅比点 14 和 2 组合多 9 分钟,远远低于其他选址组合)。此外,总出行时间最小的前 10 种组合几乎全部包含了节点 24,统计表明以节点 24 为出行起点或出行终点的充电需求约占了全部需求的 25%。

采用目前广泛应用的 FCLM 模型进行比较(表 2),通过贪婪算法得到了 2 组相同优化目标的充电站最优位置组和,分别为点 14 和 13,以及点 14 和 19,服务的总需求数均为 97 次,总行驶时间均为 6321 分钟(未考虑排队等待时间)。FCLM 模型无法提供更多的信息来判断哪个组合更优,而且无法提供全部 101 次充电服务。由于 FCLM 没有考虑等待时间,TSLM 允许绕行,因此 TSLM 服务的车流量和总时间均大于 FCLM 的结果在意料之中。

通过比较可知,TSLM 和 FCLM 的应用结果均包含了节点 14,这也在一定程度上表明了两模型的相似之处。FCLM 模型的优化目标是布局给定数目的燃料供应站,使得通过供应站至少一次的车流量总和最大,并且假设任何一条路径上只要存在一

处供应站便认为该路径上的交通流量获得了服务。因此模型的求解通常采用贪婪算法,首先将站点设在交通流量最大的节点,同时去掉所有已获得服务的交通流量,然后依次增加其他能获得最多剩余流量的节点,以使总流量最大。由图 3 可知,节点 14 是路网中交通流量最大的点,因此,FCLM 的两组结果中均包含了节点 14。对 TSLM 模型而言,其优化目标是总出行时间最小,并且允许绕道充电,当车流量较多的节点上设有充电站时必然会减少排队等待时间和绕行充电时间,因此路网中车流量最多的节点 14 包含在了 TSLM 的模型结果中。由此可知,TSLM 模型和流量需求模型 FCLM 均倾向于选取路网中交通流量最大的节点作为充电站点。

上述讨论结果反映了 TSLM 模型在实际应用中的价值。相关研究表明<sup>[16]</sup>,出行者乐意在比较熟悉的地方补充燃料,如家或工作场所附近;出行者更愿意在出行的起点或终点添加燃料,而不是在出行途中;同时出行者普遍在出行中顺道添加燃料,以添加燃料为单一目的的出行非常少。TSLM 模型有效结合了上述两个模型的优势,可以使充电站的布局更好地拟合人们在出行过程中的充电需求。

此外,本文建立的 TSLM 模型具有两个显著特点:①重新定义了出行路径的选择机制,而非最短路径,②在时间因素的约束下增加了充电选择规则。为验证这两点的合理性和有效性,首先对 TSLM 模型增加最短路径的限制,同时保持其他条件不变,则优化结果的充电站位置和得到服务的车辆数与 FCLM 模型相同,但等待时间分别为 1274 (14&13)和 1131 分钟(14&19),均远大于 TSLM 模型

表 1 优化选址前 10 位组合及其各项参数

Tab.1 The first 10 combinations and optimization results						
序号	站点组合	服务的 需求数	等待时 间/分钟	行驶时 间/分钟	出行总 时间/时间	绕行时 间/分钟
1	14&24	101	654	6726	7380	405
2	21&24	101	501	7164	7665	843
3	10&24	101	903	6810	7713	489
4	4&24	101	91	7638	7729	1317
5	3&24	101	21	7725	7746	1404
6	14&2	101	1034	6717	7751	396
7	9&24	101	522	7332	7854	1011
8	8&24	101	755	7170	7925	849
9	20&24	101	375	7572	7947	1251
10	2&24	101	4	7986	7990	1665

表 2 不同模型的比较结果

Tab.2 Comparative results of different models			
模型	布局组 合位置	服务 车辆数	等待时间/ 总行程时间/分钟
TSLM	14&24	101	654/7380
FCLM	14&13 14&19	97	0/6321
TSLM(最短 路径限制)	14&19	97	14&19:1131/7452 (14&13:1274/7595)
TSLM(最短 路径限制,无 充电规则)	14&19	97	14&19:1314/7635 (14&13:1449/7770)

\* 总时间不包括电动汽车的充电时间。

(654分钟),同时总时间7595和7452均大于TSLM的7380分钟(表2)。这一结果表明如果将人们的出行限制在最短路径上,起迄点间的路段行驶时间虽然最短,但因排队引起的等待时间将导致整个出行时间增加。因此TSLM模型缓解了传统模型最短路径假设而获得了更优的结果,允许绕行充电的假设在增加服务流量的同时减少了总时间。进一步考察TSLM模型制定的充电规则的合理性,通过将TSLM模型增加最短路径限制,同时去掉充电规则,即认为车辆到达最短路径上的充电站时直接选择在此站点充电,而不论该站点当前时刻的排队情况如何。最终得到的最优位置为14和13以及14和19,其等待时间分别为1449和1314分钟,均大于有充电规则时TSLM模型的等待时间(表2)。因此,可以认为TSLM模型的充电规则确保了系统最优,同时上述结果证明了14和19节点的充电组合略优于14和13节点充电组合,而FCLM无法给出判断依据。

## 5 结论与展望

本文强调了较长充电时间和充电站有限容量的矛盾,从出发时刻分布、出发时剩余电量、充电时间、以及排队时间等角度提出缓解传统模型脱离现实假设的约束条件,结合时空约束条件提出了一种新的电动汽车充电站布局动态模型TSLM,并将TSLM,FCLM分别应用在了算例路网中。比较结果表明通过考虑充电决策过程,TSLM模型对行驶路径选择机制的规定和充电规则的制定确保了其可以获得跟好的系统优化解,无论是出行中的充电决策和行为,还是结果都更符合现实情况。由于该模型部分假设仍然与现实不符,如充电站的充电桩数目、充电时间差异、电量消耗与行驶里程的关系等仍需进一步的研究。此外,车辆的出发时刻、出发时刻剩余电量的可行行驶里程满足怎样的分布更接近于现实,以及用于解决大路网和多充电站的有效算法也是今后需要深入研究的问题。

## 参考文献

- [1] Upchurch C, Kuby M. Comparing the P-median and flow-refueling models for locating alternative-fuel stations. *Journal of Transport Geography*, 2010, 18(6): 750-758.
- [2] Schwoon M. A tool to optimize the initial distribution of hydrogen filling stations. *Transportation Research Part D*, 2007, 12(2): 70-82.
- [3] Lin Z, Ogden J, Fan Y Y, et al. The fuel-travel-back approach to hydrogen station siting. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2008, 33(12): 3096-3101.
- [4] Hodgson M J. A flow capturing location allocation model. *Geographical Analysis*, 1990, 22(3): 270-279.
- [5] Kuby M, Lim S. The flow-refueling location problem for alternative-fuel vehicles. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2005, 39(2): 125-145.
- [6] Kuby M, Lines L, Schultz R. Optimization of hydrogen stations in Florida using the Flow-Refueling Location Model. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2009, 34(15): 6045-6064.
- [7] Kuby M, Lim S. Location of alternative-fuel station using the Flow-Refueling Location Model and dispersion of candidate sites on arcs. *Netw Spat Econ*, 2007, 7(2): 129-152.
- [8] Upchurch C, Kuby M, Lim S. A model for location of capacitated alternative-fuel stations. *Geographical Analysis*, 2009, 41(1): 85-106.
- [9] Hodgson M J, Rosing K E, Storrier A L G. Applying the flow-capturing location-allocation model to an authentic network: Edmonton, Canada. *European Journal of Operational Research*, 1996, 90(3): 427-443.
- [10] 杨珺, 张敏, 陈新. 一类带服务半径的服务站截流选址—分配问题. *系统工程理论与实践*, 2006(1): 117-122.
- [11] Bapna R, Thakur L S, Nair S K. Infrastructure development for conversion to environmentally friendly fuel. *European Journal of Operational Research*, 2002, 142(3): 480-496.
- [12] Wang Y W, Wang C R. Locating passenger vehicle refueling stations. *Transportation Research Part E*, 2010, 46(5): 791-801.
- [13] Hodgson M J, Rosing K E. A network location-allocation model trading off flow capturing and p-median objectives. *Annals of Operations Research*, 1992, 40(1): 247-260.
- [14] Stephan C, Sullivan J. An agent-based hydrogen vehicle/infrastructure model. *IEEE Proceedings of the 2004 Congress on Evolutionary Computation*, Vol. 2, Portland.
- [15] Hodgson M J. A glow-capturing location-allocation model. *Geographical Analysis*, 1990, 22(3): 270-279.
- [16] Kitamura R, Sperling D. Refueling behavior of automobile drivers. *Transportation Research A*, 1987, 21(3): 235-245.

# A Spatiotemporal Location Model for Locating Electric Vehicle Charging Stations

SUN Xiaohui, LIU Kai, ZUO Zhi

(School of Transportation and Logistics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** The conventional and popular alternative-fuel stations locating models that based on the the space distribution of traffic demand have already managed to minimize total demand-weighted travel distance or to maximize capturing, as well as to satisfy multiple purposes. While for the case of locating Elective Vehicles (EV) charging stations, the minimum requested charging time for EVs introduces a new factor for consideration, time constraints. The decision behaviors such as when and where to charge, and how to deal with the queuing problem due to the simultaneous recharging capacity limitation are realized to have great impact on EV stations location optimization, therefore all those factors should be considered carefully for modeling. Based on the related research of refueling behaviors and refueling demands, this paper developed a new dynamic model, named as the Spatio-temporal Location Model, with dual purposes of achieving minimum waiting time and maximum service accessibility for a given number of EV charging stations. A micro simulation method has been employed on a 25-node network to figure out the optimal locations, and results of the model mentioned above are compared with the results of the traditional flow-capturing location model. Results suggest that time constraints do have great effects on the location of EV charging stations. The proposed model improves the optimization results by discarding some unreasonable hypotheses on charging behaviors and giving more attention to the time constraints that exist in the real world.

**Key words:** charging stations location; dynamic model; time-spatial constraints; behavioral decision making

本文引用格式:

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. 地理科学进展, 2012, 31(6): 686-692.