

基于城市特征差异性的充电设施规划^①

周思宇¹, 杨建伟², 顾 博²,
朱 鹂², 谭为民¹, 龙虹毓¹

1. 西南大学 工程技术学院, 重庆 400715; 2. 国网重庆市电力公司江北供电分公司, 重庆 401147

摘要: 合理规划电动汽车充电设施, 对推动电动汽车产业发展具有重要意义. 为了使充电设施建设布局更加合理, 提出了一种计及城市特征差异性的规划方法. 依据城市各区域功能差异性进行板块划分, 分析各板块用户充电需求特点; 城市各道路交通状况也存在差异性, 引入路况系数, 提出时间成本模型; 建立了一个以充电设施经济效益最大化为目标的规划模型, 优化得到充电设施具体布局方案. 算例分析表明: 该方法得到了合理的充电设施规划方案, 提高了充电设施经济效益, 对重庆市充电设施的规划具有指导作用.

关键词: 电动汽车; 差异性; 充电需求量; 充电设施规划

中图分类号: TM715

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)10-0133-09

气候变化和能源短缺已经成为当前威胁人类社会可持续发展的重要原因^[1]. 而电动汽车作为一种清洁、高效的交通工具, 已经受到了世界各国的广泛关注与大力推广^[2].

然而电动汽车因为动力电池的限制, 荷电量成为了抑制电动汽车发展的关键问题, 这一问题的出现, 无疑是对充电设施建设提出了更高的要求^[3-4]. 充电设施作为电动汽车最基础的配套设施, 其普及程度直接制约着电动汽车产业的发展速度. 因此, 研究充电设施规划方法已经刻不容缓. 文献[5]提出了“集中充电, 统一配送”的运营模式, 针对集中型充电站接入电网的问题, 综合考虑电力网络和交通网络等因素, 建立了充电站的选址定容规划模型, 但电池物流配送经济效益方面研究较少, 难以运用该技术进行实际指导. 文献[6]运用了区域交通流量守恒定理, 将同一区域内的电动汽车视为一个负荷节点, 建立了以充电站的年费用最小为目标的规划模型, 但该模型忽略了城区中各区域功能、发展状况差异对人口和电动汽车保有量的影响. 文献[7]提出了以充电设施服务范围内车流量最大化和用户路径选择约束的双层优化模型, 证明了电动汽车行驶范围对充电设施选址具有巨大影响, 但出行目的地设置较为单一, 很难在大规模电动汽车出行情况下进行推广应用. 文献[8]提出了基于能量等效负荷预测方法, 提出了能量转换系数, 将加油站的燃油汽车加油量等效转换为充电量, 以此可以得到更为准确的充电负荷, 但揭示能量转换误差的研究内容较少, 难以做到规模化推广. 文献[9]将电动汽车充电需求随时间变化的特性考虑在内, 提出了路上成本的概念, 为电动汽车充电设施的规划引入了新的思路和决策依据, 但并未研究用户充电需求的差异性,

① 收稿日期: 2018-10-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAG10B00); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2015A006); 博士引进人才基金项目(SWU114050); 江北供电公司项目(JB201730JT008).

作者简介: 周思宇(1994-), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事电动汽车充电设施规划方面的研究.

通信作者: 谭为民, 副教授, 硕士研究生导师.

这将会对充电站的规划带来误差. 文献[10]充分考虑用户出行需求, 提出用户驾车出行链思想, 对电动汽车用户进行了充电需求分析, 可以有效预测用户出行活动的决策过程, 得到电动汽车的空间特性, 但这种方法需要庞大的用户出行数据作为支撑, 实现具有巨大障碍. 文献[11]预测了多种充电方式的充电需求, 建立不同充电方式下的规划方法, 但并未考虑实际交通状况对充电需求的影响.

现有文献对城市特征差异考虑不充分, 认为市内各区域用户充电需求特性、交通特性是相同的, 导致规划结果不能满足实际需求, 降低了充电设施建设的经济效益. 因此, 针对城市特征差异性的充电设施精细化布局将具有极大的现实意义. 本文分析城市各板块功能差异, 得到各板块用户充电需求差异性; 引入路况系数, 真实反映城市各道路交通状况的差异, 提出了用户充电时间成本模型; 现有的研究对道路的拥堵、车辆实际速度等情况考虑较少^[12], 因此本文在规划选址中考虑了用户从出发点前往充电站所耗费的时间, 提出时间成本的分析模型, 建立了一个以充电设施建设投入产出比最大化为目标的规划模型. 以包含 42 节点道路路网结构的重庆市部分城区为例, 进行算例仿真并分析了板块功能差异和道路交通状况差异对充电站选址的影响.

1 用户充电需求分析与时间成本模型

城市各区域特性的差异导致用户出行需求具有差异性, 进而直接影响其充电需求. 根据城市板块功能差异性等因素, 建立用户充电需求量分析模型; 充电设施选址的便利性, 直接影响着社会充电总成本的高低, 所以建立了考虑用户路上时间成本的模型, 为了真实反应道路交通状况对用户选择充电设施的影响, 引入了路况系数. 本文中电动汽车的其他特性均假设相同.

1.1 用户充电需求量分析模型

由于城市各板块之间功能、经济发展状态不同, 各板块中用户使用电动汽车在出行时间、出行目的及消费习惯等方面都具有不同特性, 导致充电需求存在差异性. 将城市按照功能划分为城市商业区、城市工业园区、城市普通住宅区、城市高档住宅区、城市休闲区和城市交通物流中心 6 类, 同一功能板块中的用户驾驶电动汽车特点具有很大相似性, 在充电需求上也就呈现一定程度的趋同性. 将电动汽车用户按照所属区域划分为 6 组, 分别为 $L_i \{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6\}$.

各功能板块用户充电需求量的差异性主要体现在区域经济发展状况系数 $\varphi_{L_i}^1$ 、用户出行频率系数 $\varphi_{L_i}^2$ 这两个指标上. 区域经济发展状况通常与该地区人均 GDP 相关, 人均 GDP 越高则其充电需求量越大^[13], 但考虑到缺乏相关数据, 且对一个较小板块进行人均 GDP 的统计工作过于繁琐, 因此采用房价来表示区域经济发展状况, 人均 GDP 越高的区域消费水平越高, 则该地区房价越高, 王江梅在文献[14]中表示房价与人均 GDP 变化趋势一致, 呈正相关性, 因此各功能板块中的房价可以用来表征充电需求量大小. 用户出行频率一般根据该区域主干道交通流量来表示. $\varphi_{L_i}^1$ 、 $\varphi_{L_i}^2$ 的计算方法如下所示:

$$\varphi_{L_i}^1 = \frac{F_{\text{ESTATE}}^{L_i}}{F'_{\text{ESTATE}}} \quad (1)$$

$$\varphi_{L_i}^2 = \frac{F_{\text{C}}^{L_i}}{F'_{\text{C}}} \quad (2)$$

式中: $F_{\text{ESTATE}}^{L_i}$ 为板块内房价, F'_{ESTATE} 为城市平均房价; $F_{\text{C}}^{L_i}$ 为板块内主干道交通流量, F'_{C} 为城市主要街道平均交通流量. 各板块房价通过对所研究区域中典型板块实地走访调研得到.

$$E_{L_i} = \omega_1 \varphi_{L_i}^1 + \omega_2 \varphi_{L_i}^2 \quad (3)$$

式中: E_{L_i} 为各板块用户充电需求量大小; ω_1 、 ω_2 为相应的权重系数, 这些权重系数可由领域专家的经验 and 知识确定, 需满足 $\omega_1 + \omega_2 = 1$.

1.2 时间成本模型

传统考虑汽车出行的模型都是以汽车出行距离作为依据, 而这种方法无形之中忽略了实际的交通情况, 道路的拥堵程度、车流量的大小都会在一定程度上影响用户驾车行驶速度, 从而增加用户路上消耗的时间。根据燃油汽车带给人们的经验, 很容易理解到, 当汽车处于正常行驶时的耗油量要远低于汽车在交通拥堵、极端天气等情况下走走停停的耗油量。所以传统考虑距离的模型会对预测用户用电成本模型带来一定的误差, 增大用户为充电所支付的成本。在此提出时间成本模型, 考虑城市各路段交通状况的差异性, 将用户的行驶距离等效为时间, 求得用户为充电所付出的时间成本; 在此基础上引入城市道路拥堵恶化率, 即随着城市发展, 某些道路的交通承载力有限, 会导致交通状况恶化, 进而影响用户的出行时间成本。

假设用户前往目的地时都是理性的, 总是选择消耗时间最短的一条道路。用户在城市里驾驶电动汽车正常行驶速度为 V_0 , 则用户前往目的地的时间成本为:

$$X_{S,D} = \sum_{\forall i, i' \in (S, D)} \beta_{i'} \cdot \alpha_{i'} \cdot x_{i, i'} \quad (4)$$

$$T_{S,D} = \sum_{\forall i, i' \in (S, D)} \beta_{i'} \cdot \alpha_{i'} \cdot x_{i, i'} / V_0 \quad (5)$$

$$C_t = (1 + \delta_{exa})^y \cdot p_{s0} \cdot c_m \cdot \frac{X_{S,D}}{V_0} \quad (6)$$

式中: $X_{S,D}$ 为起点至终点的路径距离, (S, D) 为起始至终点的最短路径, $x_{i, i'}$ 为路径 (S, D) 中 i 到 i' 的距离, $\alpha_{i'}$ 和 $\beta_{i'}$ 统称为路况系数, 其中 $\alpha_{i'}$ 为路径 (S, D) 中 i' 处的道路拥堵状况系数, 其值根据道路实际畅通情况在 $[1, 2]$ 之间取值; $\beta_{i'}$ 为路径 (S, D) 中 i' 处的天气状况系数, 取值范围为 $1 < \beta_{i'} < 2$, 通常同一城市在一天当中的天气状况大致相同。 $T_{S,D}$ 为用户前往目的地所用时间。 C_t 为用户为到达目的地所投入的时间成本, y 为从规划建设完成开始算起的年份, δ_{exa} 为道路拥堵恶化率; p_{s0} 表示用户单位出行时间耗电量, c_m 为电价。

2 充电设施规划模型

2.1 目标函数

经济效益一般是指用尽量少的投入获得尽量多的价值量, 因此经济效益可以由投入产出比来表现^[15]:

$$\max C_{O-P} = \sum_{j \in J_C} Ba_j / (C_{VT} + C_E + C_T) \quad (7)$$

式中: C_{O-P} 为年投入产出比, 表征充电设施建设经济效益, 单位: kW · h/元; Ba_j 为电动汽车用户 j 的年充电需求量, J_C 为电动汽车用户集合; C_{VT} 为充电设施的年建设运行成本, C_E 为用户充电购电成本, C_T 是用户为充电所消耗的年时间成本。

2.1.1 建设运行成本

充电站建设运行成本应考虑征地成本、电网线路修改成本和电源成本, 所以建充电站的年建设运行成本 C_{VT} 满足函数^[16]:

$$C_{VT} = \omega_d \sum_{d \in D_{VT}} u_d (\theta_d F_{VT} \frac{r_s (1 + r_s)^{m_s}}{(1 + r_s)^{m_s} - 1} + U_{VT} + n_d c_{cpt}) \quad (8)$$

式中: F_{VT} 为充电站的建设成本, 其值为固定值; θ_d 是各板块征地系数, 由于各板块地价存在差异, 则实际建站费用与 θ_d 有关; ω_d 为建站所需对电网进行修改的成本系数; U_{VT} 为充电站的年运行成本函数, 其值为建设成本的一定比例; r_s 为贴现率; m_s 为充电站的折旧年限; u_d 为 0 或 1 变量, 当其值为 1 时表示充电站 d 已建设, 当其值为 0 时表示该点未建设充电站; n_d 为充电站 d 内充电机数量, c_{cpt} 为单台充电机固定成本; D_{VT} 为充电站的集合, $d \in D_{VT}$ 。

2.1.2 购电成本

购电成本如下式:

$$C_E = c_m \sum_{j \in J_C} Ba_j \quad (9)$$

式中: c_m 为充电电价, 假设年购电量为用户年充电需求量.

2.1.3 时间成本

$$C_T = \sum_{d \in D_{VT}} \sum_{j \in J_C} K_j (1 + \delta_{exa})^y p_{s0} c_m \gamma_{j,d} \frac{X_{j,d}}{V_0} \quad (10)$$

式中: $X_{j,d}$ 为第 j 个用户前往充电站 d 的路径距离, K_j 为用户 j 该年充电的总次数, $\gamma_{j,d}$ 为用户 j 是否选择到充电站 d 充电. 若选择则 $\gamma_{j,d} = 1$, 否则 $\gamma_{j,d} = 0$.

$$K_j = \left\lceil \frac{Ba_j}{\epsilon \cdot Sa_j} \right\rceil \quad (11)$$

式中: Sa_j 为用户 j 的电动汽车电池容量, ϵ 为充电下限电池剩余容量比例, 参照燃油车用户的加油习惯, 一般取 $\epsilon = 25\%$ ^[17]; 符号 $\lceil \cdot \rceil$ 为取整符号.

2.2 约束条件

1) 路网约束条件

$$\sum_{d \in D_{VT}} \gamma_{j,d} \leq 1; \forall j \in J_C \quad (12)$$

上式表示用户 j 的充电需求只能在一个充电站中得到满足.

2) 充电需求约束

$$\sum_{j \in J_C} \gamma_{j,d} Ba_j \leq n_d P_{ch} (1 - \mu) T_{ch} H; \forall d \in D_{VT} \quad (13)$$

上式表示每一座充电站都要能够满足用户的充电需求; 其中 P_{ch} 为充电站内单台充电机的充电功率, μ 为充电设备的闲置率, T_{ch} 为每台充电机日均可用时长^[18], H 为一年的天数, 取 365 天.

3) 充电站内容量约束

$$u_d N_{\min}^{\text{cha}} \leq n_d \leq u_d N_{\max}^{\text{cha}} \quad (14)$$

式中 $N_{\min}^{\text{cha}}$, $N_{\max}^{\text{cha}}$ 分别为每个快速充电站所允许建设的充电机数量的上下限.

4) 充电站数量约束

$$N_{\min}^{\text{sta}} \leq u_d \leq N_{\max}^{\text{sta}} \quad (15)$$

上式表示在对规划过程中充电站满足允许建设数量的上下限, $N_{\min}^{\text{sta}}$ 为充电站数量下限, $N_{\max}^{\text{sta}}$ 为充电站数量上限.

5) 用户充电选择约束

$$\gamma_{j,d} \leq u_d \quad (16)$$

上式表示只有在节点已建设了充电站的情况下, 才能选择到该点充电.

2.3 求解方法

本文所建立的充电设施规划模型, 为含不等式约束的松弛混合整数非线性模型. 为求解前文所述规划模型, 本文基于 GAMS(General Algebraic Modeling System) 仿真软件, 调用 DICOPT 求解器对模型进行求解.

3 算例分析

本文选取重庆市江北、渝北和两江新区的城区为算例进行电动汽车充电设施规划. 将该区域的路网进行简化和提取, 可以得到区域内路网结构如图 1 所示. 该区域共有节点 42 个, 编号为 1—42, 路段数为 71

段，每段路段长度为 2 km. 区域中的电动汽车用户与充电设施都分布于图 1 中各节点上.

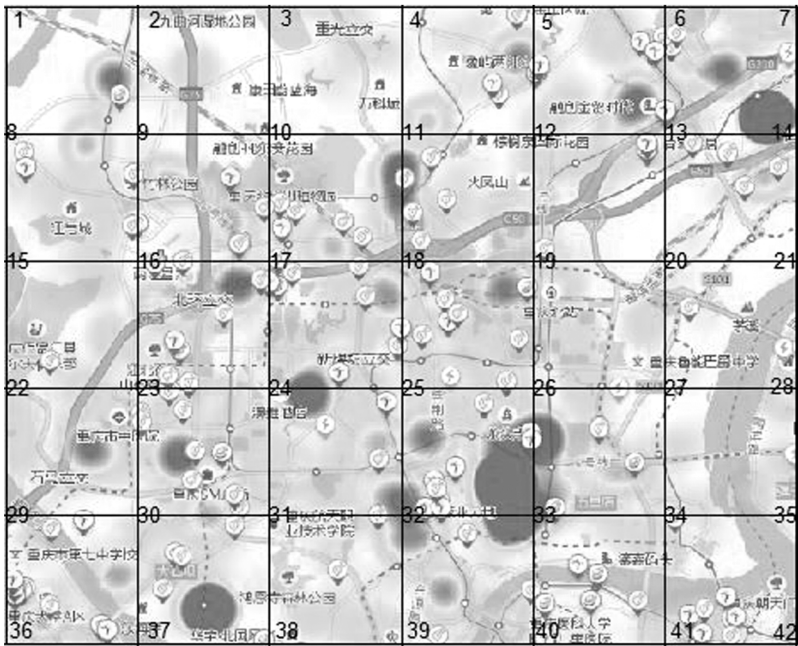


图 1 江北、渝北和两江新区部分城区路网提取示意图

3.1 参数设置

目前规划区域内有大约 5 800 辆电动汽车，本文也从实际出发，在此数据的基础上完成规划. 参照贾龙等在文献[18]中对市面上的几种常见的电动汽车的型号和参数进行调研统计的数据，整理得到，几种车型分别为众泰 5008EV、尼桑 LEAF、荣威 E50、北汽 E150 和比亚迪 E6，它们的电池容量分别为 32,24,18,25.6,60 kW · h，如表 1.

表 1 电动汽车参数及市场占比

电动汽车型号	电池容量/(kW · h ⁻¹)	续航里程/km	市场占比/%
众泰 5008EV	32	180	8.24
尼桑 LEAF	24	150	19.85
荣威 E50	18	160	16.55
北汽 E150	25.6	180	26.47
比亚迪 E6	60	280	28.89
平均	34.49	199.62	\

由式(3)可计算得到各功能板块用户的充电需求量大小(本文取 $\omega_1=0.7$, $\omega_2=0.3$), 经计算得到各板块用户充电需求量大小的情况, 如表 2 所示.

表 2 用户分组及充电需求量分析

板块功能	组别(L_i)	充电需求量大小(E_{L_i})
城市商业区	L_1	大
城市工业园区	L_2	大
城市普通住宅区	L_3	小
城市高档住宅区	L_4	较大
城市休闲区	L_5	中等
城市交通物流中心	L_6	很大

本文以 2018 年作为规划年,考虑到城区交通、安全等问题,假设所有电动汽车正常行驶速度 $V_0=40\text{ km/h}$,根据表 1 中数据可计算得到,用户驾驶电动汽车城区内平均单位出行时间耗电量为 $p_{s0}=6.9\text{ kW}\cdot\text{h/h}$;城市快充站计费主要包含工业电价和充电服务费,则 $c_m=1.8$;城区内道路拥堵恶化率 $\delta_{exa}=0.08$;城市公共快速充电站建设成本 F_{VT} 为 170 万元;贴现率 $r_s=6.8\%$;年固定投资成本 U_{VT} 为建设成本的 10% ;充电站内一台充电机的年固定成本 c_{cpt} 为 15 万元;每台充电机充电功率 $P_{ch}=60\text{ kW}\cdot\text{h}$,每台充电机日均可用时长 $T_{ch}=20\text{ h}$,充电设备的闲置率 $\mu=0.2$;充电站内充电机建设数量上下限为 32 台和 6 台,充电站数量上下限分别为 10 座和 2 座.

图 1 所示热力图为规划区域内电动汽车具体分布情况.由图 1 可见,区域南部的节点 32、33 为电动汽车分布较多区域,该区域恰好是江北区的观音桥商业圈、五里店住宅区,实际生活中该区域车流量大、道路狭窄,所以该区域的交通拥堵系数 $\alpha_{32,33}=1.2$;规划区域东北部的 14 节点对应两江新区的寸滩物流港,该区域货运频繁、交通拥堵,该区域交通拥堵系数 $\alpha_{14}=1.4$;规划区域中的节点 11、13、17 和 24 也为电动汽车分布较多区域,在实际生活中也是交通较为繁忙路段,这几处节点的交通拥堵系数 $\alpha_{11,13,17,24}=1.1$.同一城市的天气状况相同,在本算例当中设 $\beta_i=1$; $\theta_{23,24,25,31,32,34}=1.1$, $\theta_{4,5,6,11,17}=0.9$, $\theta_{12,16,18,26,27,30,33}=0.9$, $\theta_{8,9,22,39}=1$, $\theta_{2,3,10,38}=0.9$, $\theta_{7,13,14,19,20,21}=0.85$, $\omega_d=1.1$.

由图 1 所示,规划区域内有部分道路是连接区域外的,因此有的节点隶属于其他区域,需剔除部分图中不在规划范围内的节点,所剔除的节点有 1、15、28、36、37、40、41、42.

3.2 充电设施规划

电动汽车类型及市场占比如表 1 所示.通过对各板块用户充电需求量的分析,本文利用场景分析,设定城市各功能板块的年充电需求量,如表 3.

表 3 用户充电需求量设置

板块组别	节点序号	充电需求量/(kW·h ⁻¹)
城市商业区(L_1)	23、24、25、31、32、34	3 800
城市工业园区(L_2)	4、5、6、11、17	3 800
城市普通住宅区(L_3)	12、16、18、26、27、30、33	3 000
城市高档住宅区(L_4)	8、9、22、39	3 500
城市休闲区(L_5)	2、3、10、38	3 300
城市交通物流中心(L_6)	7、13、14、19、20、21	4 000

在该场景下通过仿真,得到以社会年总成本最小为目标的最优解,充电设施布点具体情况如图 2 所示,对数据进行处理得到规划结果为表 4 所示,表 5 所示为充电设施规划具体方案.

表 4 充电设施规划最优方案

充电站数量	充电站站址	总建站成本/元	总购电成本/元	等效时间成本/元	投入产出比
5	2, 7, 18, 31, 33	1.66×10^7	3.565×10^7	4.57×10^6	0.348 8

表 5 充电设施规划具体方案

充电站站址	充电机数量	服 务 范 围
2	6	2, 3, 4, 8, 9, 10
7	16	5, 6, 7, 13, 14
18	32	11, 12, 16, 17, 18, 19, 20, 25, 26
31	22	22, 23, 24, 30, 31, 32, 38, 39
33	11	27, 33, 34

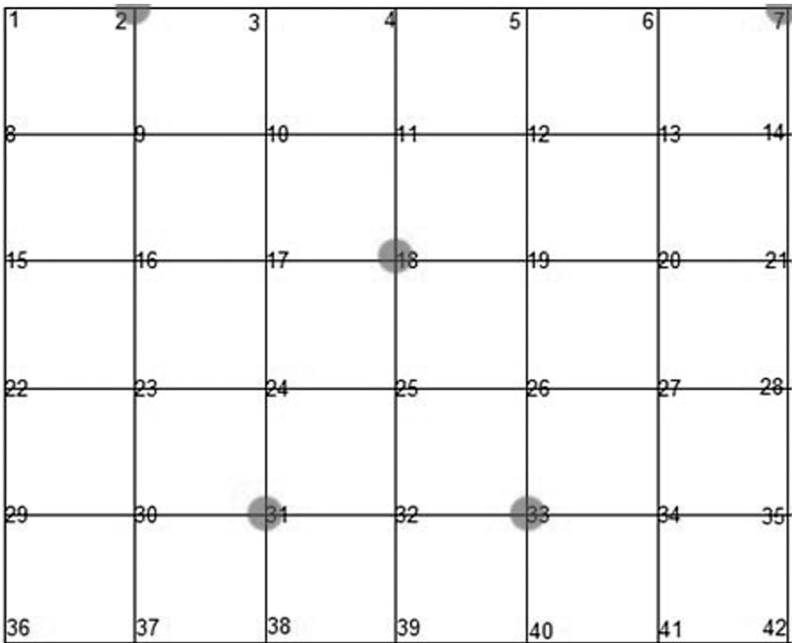


图 2 充电设施规划示意图

在本节参数设置的基础上,保持其他条件不变,将电动汽车用户充电需求设置为无差异性,以电动汽车用户的充电需求均为 4 000,3 500,3 000 kW·h 进行算例仿真,充电设施规划结果如表 6.

表 6 无差异性充电需求量规划方案成本

充电需求量/(kW·h ⁻¹)	充电站数量	总建站成本/元	总购电成本/元	等效时间成本/元	投入产出比
4 000	8	2.468×10^7	4.176×10^7	4.565×10^6	0.326 8
3 500	7	2.116×10^7	3.654×10^7	4.580×10^6	0.325 9
3 000	6	1.768×10^7	3.132×10^7	4.727×10^6	0.323 9

3.3 规划结果讨论

仿真结果表明,本文所建立的考虑城市特征差异性的规划方法,可以完成对充电设施的规划:①由表 5 可知,站址在 2 节点的充电设施的充电机建设数量最小,18 节点的充电设施服务范围最广,充电机建设数量最多,33 节点的充电设施服务范围最小.②结合图 1、表 3 和规划结果可以看到,充电设施都是建设在充电需求量大、电动汽车用户分布较多的节点上或邻近的节点上.③由于引入了交通路况系数的缘故,道路的交通状况影响了用户对充电站的选择,如节点 26 在空间上更接近 33 节点的充电站,但由于 33 节点所示位置为五里店生活区,道路较窄、交通拥堵,交通拥堵系数设置较大,所以 26 节点用户选择了前往空间距离更远但更节约时间成本的 18 节点充电;同样的情况也出现在 32 节点的用户上,虽然 32 节点用户与 31 和 33 节点的充电设施空间距离相等,但由于道路拥堵的问题,32 节点用户选择前往交通较为顺畅的 31 节点充电设施充电;同理可得,位于 39 节点的用户也是由于这个原因,从而选择前往站址位于 31 节点的充电站.

将表 4 与表 6 的结果进行比较,本文计及城市特征差异性的规划方法,相较充电需求量均为 4 000,3 500,3 000 kW·h 的 3 种对比实验:①投入产出比分别提高了 6.7%,7%,7.7%,大大增加了充电设施建设的经济效益.②减少了充电站建设数量,降低了建设成本,减少了土地占用,充电站选址更加合理,使公共资源利用率更高.③本文所用规划方案,考虑了城市的布局特点、道路交通的实际情况,将充电设施布局在更靠近充电需求量大的功能板块附近,更好地贴近了现实生活,规划方案更加精确,便

利了电动汽车用户的出行.

4 结 论

本文对考虑了城市特征差异性的充电设施规划问题进行了研究,利用各功能板块用户充电需求差异和城市交通状况差异,建立了充电设施综合规划模型.该模型通过对城市板块功能进行划分,得到用户充电需求差异,引入交通路况系数,得到城市各区域交通状况差异,最大程度地接近实际情况,以充电设施年经济效益最大化为目标,以满足充电需求为约束条件,以重庆市江北、渝北区和两江新区部分城区为算例进行分析,结果表明:

1) 考虑不同板块功能的电动汽车用户在充电需求量上的差异性,更好地反映了城市的发展状况,使规划结果更加精确、合理,便利了用户的出行;

2) 路况系数的引入,反映了城市真实的交通状况,改变了用户对充电站的选择,使规划结果更加贴近实际;

3) 得到了合理的市内充电设施规划结果,在城市中各区域特征存在差异性的情况下,满足了用户充电需求,提高了充电设施建设的经济效益.

在实际生活中,充电设施的建设不仅要考虑用户的充电需求以及道路的交通状况对用户充电时间成本的影响等问题,也应该考虑到用户对充电边际成本敏感度、用户出行目的地及路径差异和配电网对电动汽车接纳能力等因素,这将是下一步的研究方向.

参考文献:

- [1] 舒 隽,唐 刚,韩 冰.电动汽车充电站最优规划的两阶段方法[J].电工技术学报,2017,32(3):10-17.
- [2] 占恺峤,胡泽春,宋永华,等.含新能源接入的电动汽车有序充电分层控制策略[J].电网技术,2016,40(12):3689-3695.
- [3] FOLEY A, GALLACHÓIR B Ó. Analysis of Electric Vehicle Charging Using the Traditional Gene-Ration Expansion Planning Analysis Tool WASPIV[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2015, 3(2): 240-248.
- [4] 姚伟锋,赵俊华,文福拴,等.基于双层优化的电动汽车充放电调度策略[J].电力系统自动化,2012,36(11):30-37.
- [5] 高赐威,张 亮,薛 飞,等.考虑集中型充电站定址分容的电网规划研究[J].中国电机工程学报,2012,32(7):40-46+189.
- [6] 李 菱,李燕青,姚玉海,等.基于遗传算法的电动汽车充电站的布局规划[J].华东电力,2011,39(6):1004-1006.
- [7] HE J, YANG H, TANG T Q, et al. An Optimal Charging Station Location Model with the Consideration of Electric Vehicle's Driving Range[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018, 86: 641-654.
- [8] 郭春林,肖湘宁.电动汽车充电基础设施规划方法与模型[J].电力系统自动化,2013,37(13):70-75.
- [9] 任玉珑,史乐峰,张 谦,等.电动汽车充电站最优分布和规模研究[J].电力系统自动化,2011,35(14):53-57.
- [10] 徐青山,蔡婷婷,刘瑜俊,等.考虑驾驶行为习惯及出行链的电动汽车充电站站址规划[J].电力系统自动化,2016,40(4):59-65,77.
- [11] 吴春阳,黎灿兵,杜 力,等.电动汽车充电设施规划方法[J].电力系统自动化,2010,34(24):36-39+45.
- [12] 梅 杰,高赐威.交通特性在电动汽车并网研究中的考虑[J].电网技术,2015,39(12):3549-3555.
- [13] 杨 俊,廖斌杰,王小蕾,等.基于分区需求系数的电动汽车充电设施规划[J].电力建设,2015,36(7):52-60.
- [14] 王江梅.房价与城市经济发展水平关系研究[D].北京:首都经济贸易大学,2007.
- [15] 段二丽.旅游项目投资的综合效益分析[D].天津:天津大学,2006.

[16] 熊 虎，向铁元，祝勇刚，等. 电动汽车公共充电站布局的最优规划 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36(23): 65-70.

[17] 高赐威，张 亮，薛 飞，等. 集中型充电站容量规划模型研究 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(31): 27-34+215.

[18] 贾 龙，胡泽春，宋永华. 考虑不同类型充电需求的城市内电动汽车充电设施综合规划 [J]. 电网技术, 2016, 40(9): 2579-2587.

Charging Facilities Planning Taking Account of Differences in Urban Characteristics

ZHOU Si-yu¹, YANG Jian-wei², GU Bo²,
ZHU Li², TAN Wei-min¹, LONG Hong-yu¹

1. School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. State Grid Chongqing Jiangbei Power Supply Company, Chongqing 401147, China

Abstract: Reasonable planning of electric vehicle charging facilities has a great significance to promote the development of electric vehicle industry. In order to make the construction of charging facilities more reasonable, the authors propose in this paper a planning method that takes account of the differences of urban characteristics. Blocks is divided based on the functional differences between the various regions of the city, and the characteristics of user charging demands of each sector are analyzed. As there are also differences in road traffic conditions in cities, a road congestion coefficient is introduced and a model of time cost is proposed. A planning model that aims to maximize the economic benefits of charging facilities is established, and the specific layout scheme of the charging facility is optimized. Analysis of a calculation example shows that a reasonable planning of charging facilities is achieved with the proposed method, and the economic benefits of the charging facilities are increased. Having been applied successfully to the planning scheme of charging facilities under the jurisdiction of Chongqing Jiangbei Power Supply Company, this method may play a guiding role in the initial stage of planning of charging facilities in Chongqing.

Key words: electric vehicle; difference; charging demand; planning of charging facilities

责任编辑 汤振金