

考虑用户便捷性的电动汽车充电站规划

葛少云,冯亮,刘洪,王龙

(天津大学智能电网教育部重点实验室,天津 300072)

摘要: 电动汽车充电站的主要功能是为用户提供方便快捷的充电服务,针对这个问题提出了一种计及用户充电便捷性的电动汽车充电站规划方法。该方法在考虑路网结构和充电站容量限制的基础上,对规划区进行了网格化的分区,分区内以用户在充电路程中的损耗成本最小为目标,并利用遗传算法实现了充电站最优站址的选择。通过反复计算、调整分区的覆盖范围和充电站的站址,最终得到整个规划区电动汽车充电站合理的规划方案。实际算例表明本文所提出的方法和模型具有一定的可行性。

关键词: 电动汽车;充电站规划;路网结构;用户便捷性

中图分类号: TM715

文献标识码: A

文章编号: 1003-3076(2014)02-0070-06

1 引言

目前,世界汽车产业进入全面交通能源转型期,为解决能源、环境制约,实现可持续发展,国内外的专家和学者一直在积极探索和努力推动交通能源动力系统转型。国际电动汽车的发展开始加速。而电动汽车充电站的规划建设是电动汽车普及的前提和基石^[1]。

电动汽车充电站的规划理论开始逐渐被国内外众多学者所关注。文献[2]以居民负荷的分布情况模拟电动汽车的数量,以投运至目标年最大化充电站运营收益作为目标来进行充电站的选址规划。文献[3]将电动汽车充电设施规划分为示范、公益和商业运营三个阶段,并根据每个阶段的特点提出了充电方式的选择优化模型以及充电设施规划的原则、流程和模型。文献[4]提出了电动汽车充电站规划的两阶段模型,第一阶段利用聚类分析法将区域的路况信息转化为充电需求集群,第二阶段在考虑一定的约束和资金因素等条件下,利用优化算法进行电动汽车充电站的优化选址。文献[5]介绍了我国电动汽车充电站的发展现状,提出了影响电动汽车充电站规划的因素和所需遵循的原则。文献[6]在配电网规划的同时考虑了充电站的布局优化,并以投资与运行成本最小为目标来实现配电网

和充电站的综合规划。虽然这些文献对充电站的规划问题都有一定程度的研究,但是均没有充分的考虑用户充电的便捷性等问题。

本文以用户在充电路程中的损耗成本来体现用户的便捷性,并以此为目标来进行充电站的选址操作。在考虑路网车流情况和充电站的容量限制的基础上,利用网格分区的方法将规划区划分为多个适合建站的区域,通过遗传算法来实现每个区域的最优站址和规模的选择,通过反复计算、调整分区的覆盖范围和充电站的站址,最终得到整个规划区电动汽车充电站合理的规划方案。

2 数学模型

2.1 选址模型

城市电动汽车充电站的主要功能是为用户提供及时、快速、高质量的充电服务,方便用户的出行,所以本文以用户在充电路程中的损耗成本来体现用户充电的便捷性,并以此为目标来进行选址,考虑用户在充电路程中所产生的空驶电量损耗成本 h_1 和间接损耗成本 h_2 。其目标函数为:

$$\min H = h_1 + h_2 \quad (1)$$

空驶电量损耗成本:

$$h_1 = \frac{\sum L_j}{g} \times p \quad (2)$$

收稿日期: 2012-08-01

作者简介: 葛少云(1964-),男,河北籍,教授,博士,主要从事城市电网规划和智能电网等方面的研究;

冯亮(1984-),男,河北籍,博士研究生,主要从事城市电网和电动汽车充电站规划方面的研究。

式中, $\sum L_j$ 为充电站 j 服务范围内所有充电需求点到充电站的综合距离; p 为充电电价; g 为单位电量的行驶里程。

间接损耗成本:

$$h_2 = \frac{\sum L_j}{v} \times k_u \quad (3)$$

式中 k_u 为用户的出行时间价值,可由规划区居民的平均收入估算得到^[7]; v 为电动汽车的平均速度。

若充电站 j 服务范围内有 n_j' 个充电需求点,则:

$$\sum L_j = \sum_{k=1}^{n_j'} d_{kj} p_k \alpha_e \alpha_c \quad (4)$$

式中 d_{kj} 为充电需求点 k 到充电站 j 的空间距离; p_k 为充电需求点 k 平均每天的车流量; α_e 为电动汽车所占的比例; α_c 为所有电动汽车中需要充电的电动汽车所占的比例,即电动汽车的充电率。

2.2 定容模型

本文在计算电动汽车的充电需求时,将路网中的交通流量用每个路口节点的交通流量来表示^[8]。设与路口节点 i 相连的路段数为 w ,用符号 i_f' 表示与路口节点 i 相连的第 f 个路口节点, $f = 1, 2, 3, \dots, w$; $p_t^f(i, i_f')$ 表示 t 时刻路口节点 i 与节点 i_f' 相连的第 f 条路段的交通流量密度,则路口节点 i 在 t 时刻的交通流量密度:

$$p_t^i = \sum_{f=1}^w p_t^f(i, i_f') \quad (5)$$

由于任一路段的交通流都是双向的、非对称的,所以在计算节点的交通流量时,应取统一流向,即统一取流入(或流出)节点的车流数据。

T 时间段内路口节点 i 的充电需求为:

$$q_i = \int_0^T p_t^i \alpha_e \alpha_c P_v dt \quad (6)$$

式中, P_v 为电动汽车的平均容量。

若充电站 j 的服务范围内有 n_j 个路口节点,则充电站 j 在 T 时间段内需满足的充电需求:

$$Q_j = \sum_{i=1}^{n_j} q_i \quad (7)$$

则充电站 j 的充电机台数应配置:

$$m_j = \frac{Q_j(\rho + 1)}{P k_s k_t T_v} + 1 \quad (8)$$

式中 m_j 为充电站 j 需配置的充电机的台数; ρ 为充电站的充电容量裕度; P 为单台充电机的充电功率; k_s 为充电机的效率; k_t 为多台充电机的同时率; T_v 为充电站的有效充电时间。

3 规划过程

3.1 总体思路

本文确定的规划策略是:以规划区内电动汽车的充电需求和充电站的最小容量限制与最大容量极限为依据,进行初始网格数量预估,通过优化和调整网格的数量与覆盖范围、以及充电需求点与网格的归属关系来实现规划区的网格分区,使得每一个网格内仅包含一个充电站,同时进行充电站的优化选址与定容。具体流程如图1所示。

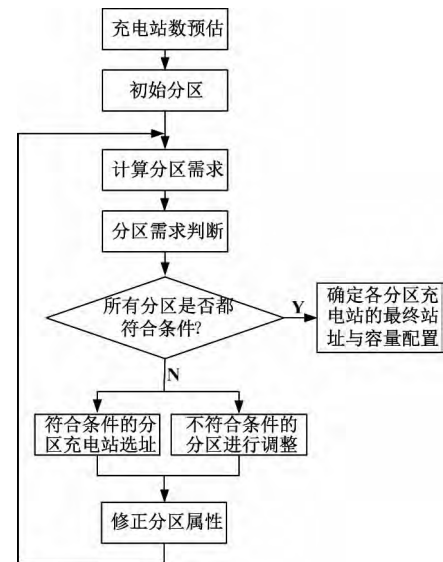


图1 总体流程

Fig. 1 Overall flow chart

3.2 初始分区

(1) 利用规划区的总充电需求 Q 及充电站的最小容量限制 S_{\min} 和最大容量极限 S_{\max} 来预估充电站的数量。则规划区充电站的座数 N 可通过以下公式来预估:

$$\begin{cases} N_{\min} = \left\lceil \frac{Q}{S_{\max}} \right\rceil + 1 \\ N_{\max} = \left\lfloor \frac{Q}{S_{\min}} \right\rfloor \\ N = \left\lfloor \frac{N_{\min} + N_{\max}}{2} \right\rfloor \end{cases} \quad (9)$$

(2) 以规划区充电站的预估数为基准,对规划区路网按照等面积原则进行网格分区,形成初始分区数据库,包含分区序号、分区个数、分区充电需求、分区所覆盖的节点序号、节点坐标与充电需求等属性。

(3) 以用户在充电路程中的损耗成本最小为目

标,对各个分区内的充电站进行初步选址。

(4) 确定处于分区边界的节点归属问题。若边界点 s 处于分区 Z_j 与分区 Z_k 的边界上,则分别计算节点 s 与分区 Z_j 和分区 Z_k 的站址之间的距离,分别用 d'_{sj} 和 d'_{sk} 表示,若 $d'_{sj} < d'_{sk}$,则将节点 s 划归为分区 Z_j ,反之,则划归为分区 Z_k ,同时修正分区数据库。

3.3 分区范围调整及站址优选

(1) 在初始分区确定后,计算每个分区的充电需求 Z_{CD} 。

(2) 将分区的充电需求 Z_{CD} 与充电站的最小容量限制 S_{min} 和最大容量极限 S_{max} 来进行比较,若 $Z_{CD} < S_{min}$,则定义为小需求分区 Z_s ;若 $Z_{CD} > S_{max}$,则定义为大需求分区 Z_l ;若 $S_{min} \leq Z_{CD} \leq S_{max}$,则在分区内进行选址操作。

(3) 对于小需求分区 Z_s ,则需将分区 Z_s 中的节点分区划归到周围其他区块,具体实施是计算分区 Z_s 中的各个节点与周围各分区充电站的距离,若与分区 Z_j 内的充电站距离最近,则将该节点划归分区 Z_j ,以此将分区 Z_s 中的节点分割给周围分区,同时修正分区数据库,分区数 Z_{Num} 减 1。

(4) 对于大需求分区 Z_l ,则将分区 Z_l 均裂为两个分区,同时修正分区数据库,分区数 Z_{Num} 加 1。

(5) 跳到步骤 (1),对分区进行循环迭代调整,一直到所有分区的充电需求均符合条件: $S_{min} \leq Z_{CD} \leq S_{max}$ 。

(6) 在所有分区均满足条件后,利用式 (1) 和式 (8) 对每个分区进行优化选址和定容。

4 基于遗传算法的优化设计

本文采用遗传算法来对每个分区的站址进行优选^[9]。个体采用实数编码方式,个体的染色体长度为 2,分别为站址的横坐标 x 和纵坐标 y ,适应度函数采用分区内用户在充电路程中的损耗成本 H 的倒数来表示,初始种群在分区边界之内均匀随机产生 ($x_{min} \leq x \leq x_{max}$, $y_{min} \leq y \leq y_{max}$),采用轮盘赌方式对种群中的个体进行优选,通过变异、重组和选择的循环迭代,逐步搜索到最优位置。

5 算例

以某市开发区的电动汽车充电站规划为例。该区域共有路网节点 64 个,路段 144 段,规划区面积为 81km^2 ,区域路网结构如图 2 所示。各节点的坐标及典型日车流量如表 1 所示(其中,表头中的 X

和 Y 分别表示节点的横坐标和纵坐标)。

	1	2	3	4	5	6	7	8
	16	15	14	13	12	11	10	9
	17	18	19	20	21	22	23	24
	32	31	30	29	28	27	26	25
	33	34	35	36	37	38	39	40
	48	47	46	45	44	43	42	41
	49	50	51	52	53	54	55	56
	64	63	62	61	60	59	58	57

图 2 规划区路网结构示意图

Fig. 2 Road network of planning area

到规划目标年,预计电动汽车所占车辆比例为 15%,充电率为 10%。本文假设每辆电动汽车的平均容量为 50kWh。单台充电机功率为 96kW,充电站最小容量配置为 6 台充电机,最大容量配置为 20 台充电机。充电站的有效充电时间为 16h,充电容量裕度为 20%,充电机的充电效率为 0.9,同时率为 0.8~1.0。电动汽车单位电量的行驶里程为 7km/kWh,充电电费为 0.8 元/kWh,车辆的平均速度为 20km/h。用户的出行时间价值为 17 元/h。

计算步骤如下:

(1) 利用式 (9) 预估充电站的个数范围为: $N_{min} = 7$, $N_{max} = 17$,初始分区数 N 取 N_{min} 和 N_{max} 的均值为 12,则路网初始分区如图 3 所示。

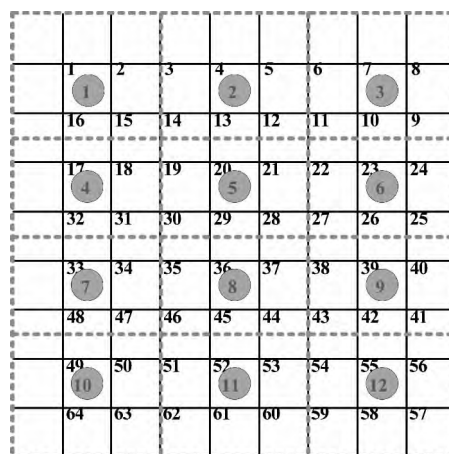


图 3 路网初始分区示意图

Fig. 3 Initial partitions of road network

表 1 各节点坐标及车流量

Tab. 1 Coordinates and traffic flow of each node

节点 序号	X	Y	车流量/ (辆/天)	节点 序号	X	Y	车流量/ (辆/天)
1	1.0	8.0	4495	33	1.0	4.0	3055
2	2.0	8.0	2813	34	2.0	4.0	2185
3	3.0	8.0	3595	35	3.0	4.0	1327
4	4.0	8.0	3493	36	4.0	4.0	2566
5	5.0	8.0	4470	37	5.0	4.0	3526
6	6.0	8.0	4304	38	6.0	4.0	4210
7	7.0	8.0	2684	39	7.0	4.0	3401
8	8.0	8.0	4100	40	8.0	4.0	4329
9	8.0	7.0	4329	41	8.0	3.0	4200
10	7.0	7.0	2404	42	7.0	3.0	2738
11	6.0	7.0	4210	43	6.0	3.0	4511
12	5.0	7.0	3408	44	5.0	3.0	3216
13	4.0	7.0	2265	45	4.0	3.0	1493
14	3.0	7.0	1327	46	3.0	3.0	3596
15	2.0	7.0	2085	47	2.0	3.0	2843
16	1.0	7.0	3055	48	1.0	3.0	4056
17	1.0	6.0	2034	49	1.0	2.0	4536
18	2.0	6.0	959	50	2.0	2.0	3765
19	3.0	6.0	1242	51	3.0	2.0	4123
20	4.0	6.0	3040	52	4.0	2.0	2710
21	5.0	6.0	2660	53	5.0	2.0	3024
22	6.0	6.0	2099	54	6.0	2.0	3928
23	7.0	6.0	1314	55	7.0	2.0	2498
24	8.0	6.0	1712	56	8.0	2.0	4098
25	8.0	5.0	2012	57	8.0	1.0	3650
26	7.0	5.0	1435	58	7.0	1.0	2109
27	6.0	5.0	2156	59	6.0	1.0	4019
28	5.0	5.0	3211	60	5.0	1.0	2908
29	4.0	5.0	2543	61	4.0	1.0	2897
30	3.0	5.0	1242	62	3.0	1.0	4209
31	2.0	5.0	1059	63	2.0	1.0	3908
32	1.0	5.0	2132	64	1.0	1.0	4035

表 2 最终站址与用户损耗成本

Tab. 2 Final locations of stations and users' loss

分区号	站址横坐标	站址纵坐标	用户损耗成本/ (元/天)
1	1.72	7.46	304.14
2	5.12	7.64	283.78
3	7.77	7.17	196.50
5	4.71	5.48	268.34
7	1.76	3.59	303.61
8	5.29	3.54	246.99
9	7.69	3.83	217.08
10	1.99	1.50	328.82
11	4.53	1.49	117.97
12	6.99	1.55	286.92

表 3 各分区充电站的容量配置及覆盖范围

Tab. 3 Capacity and coverage of station

分区号	充电机台数(台)	覆盖节点序号
1	15	1 2 3 14 15 16 17 18
2	16	4 5 6 11 12 13
3	11	7 8 9 10 23 24
5	14	19 20 21 22 27 28 29 30
7	16	31 32 33 34 35 46 47 48
8	15	36 37 38 43 44 45
9	14	25 26 39 40 41 42
10	18	49 50 51 62 63 64
11	9	52 53 60 61
12	15	54 55 56 57 58 59

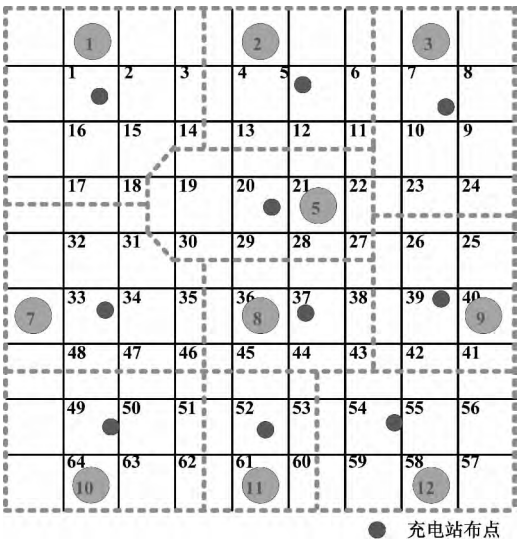


图 4 最终充电站布局及覆盖范围示意图

Fig. 4 Layout and coverage of charging stations

(2) 按照图 1 所示过程优化调整各分区范围及充电站站址,最终得到 10 个分区,分区号分别是 1、2、3、5、7、8、9、10、11、12,各分区内的最终站址与用户损耗成本如表 2 所示。

(3) 利用式 (8) 对各分区充电站的容量进行计算,充电站的充电机台数配置及分区所覆盖范围如表 3 所示,充电站布局如图 4 所示。

6 结论

本文在充电站的选址定容之前,利用充电站的容量限制对规划区域的路网结构进行了网格式的分区,通过用户在充电路程中的损耗成本反映了用户充电的便捷性,并以此为目标,利用遗传算法实现了每个分区最优站址的选择和容量的配置,通过反复计算、调整分区的覆盖范围和充电站的站址,最终得到整个规划区域电动汽车充电站的规划方案。实际算例表明本文所提出的方法和模型具有一定的可行性。但是,本文中的充电站规划模型主要是基于路网结构、车流信息和用户路程损耗等与电动汽车相关的因素来构造的,而对与之相连的配电系统相关的因素如网络容量约束则暂未考虑,这将在后续的工作中进一步进行研究。

参考文献 (References):

- [1] 张文亮, 武斌, 李武峰, 等 (Zhang Wenliang, Wu Bin, Li Wufeng, et al.). 我国纯电动汽车的发展方向及能源供给模式的探讨 (Discussion on development trend of battery electric vehicles in China and its energy supply mode) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2009, 33 (4): 1-5.
- [2] 寇凌峰, 刘自发, 周欢 (Kou Lingfeng, Liu Zifa, Zhou Huan). 区域电动汽车充电站规划的模型与算法 (Modeling algorithm of charging station planning for regional electric vehicle) [J]. 现代电力 (Modern Electric Power), 2010, 27 (4): 44-48.
- [3] 吴春阳, 黎灿兵, 杜力, 等 (Wu Chunyang, Li Canbing, Du Li, et al.). 电动汽车充电设施规划方法 (A method for electric charging infrastructure planning) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power System), 2010, 34 (24): 36-39.
- [4] Andy Ip, Simon Fong, Elaine Liu. Optimization for allocating BEV recharging stations in urban areas by using hierarchical clustering [A]. The 2nd International Conference on Data Mining and Intelligent Information Technology Applications (ICMIA 2010) [C]. Seoul, Korea, 2010.
- [5] 徐凡, 俞国勤, 顾临峰, 等 (Xu Fan, Yu Guoqin, Gu Linfeng, et al.). 电动汽车充电站布局规划浅析 (Tentative analysis of layout of electrical vehicle charging stations) [J]. 华东电力 (East China Electric Power), 2009, 37 (10): 1672-1678.
- [6] 杜爱虎, 胡泽春, 宋永华, 等 (Du Aihu, Hu Zechun, Song Yonghua, et al.). 考虑电动汽车充电站布局优化的配电网规划 (Distribution network planning considering layout optimization of electric vehicle charging stations) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2011, 35 (11): 35-42.
- [7] 齐彤岩, 刘冬梅, 刘莹 (Qi Tongyan, Liu Dongmei, Liu Ying). 北京市居民出行时间成本研究 (A study of the traveling cost of Beijing residents) [J]. 公路交通科技 (Journal of Highway and Transportation Research and Development), 2008, 25 (6): 144-146.
- [8] 徐丽群 (Xu Liqun). 路网分区的树生长算法 (Tree growing algorithm for road network zoning) [J]. 计算机应用研究 (Application Research of Computers), 2009, 26 (10): 3663-3665.
- [9] 刘自发 (Liu Zifa). 基于智能优化算法的配电网规划与优化运行研究 (A study on distribution network planning and optimal operation based on intelligence optimization algorithms) [D]. 天津: 天津大学 (Tianjin: Tianjin University), 2005.

Planning of electric vehicle charging stations considering users' convenience

GE Shao-yun, FENG Liang, LIU Hong, WANG Long

(Key Laboratory of Smart Grid of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The main function of electric vehicle charging stations is to provide users with a convenient charging service. In order to solve this problem, a planning method of electric vehicle charging stations considering the users' convenience is proposed in this paper. The planning area is divided into several grid zones considering the limits of the road network and the charging station's capacity. The consumption of users driving to the charging stations is used as the objective function and Genetic Algorithm (GA) is applied to solve the optimal problem of how

to choose the best location of the charging station in each zone. With repeated calculation and adjustment of the coverage of grid zones and sites of charging stations, the reasonable planning scheme of electric vehicle charging stations in the study area is obtained. Finally the feasibility of the model and the method proposed in this paper are validated by a practical example.

Key words: electric vehicle; charging station planning; road network; users' convenience

(上接第38页, cont. from p.38)

参考文献 (References):

- [1] 唐丽婵, 齐亮 (Tang Lichan, Qi Liang). 永磁同步电机的应用现状与发展趋势 (Application status and development trends of PMSM) [J]. 装备机械 (The Magazine on Equipment Machinery), 2011, (1): 7-12.
- [2] 徐大利, 叶安丽, 马鸿雁 (Xu Dali, Ye Anli, Ma Hongyan). 永磁同步电机控制系统的电流滞环与电压空间矢量控制的仿真 (Simulation of PMSM control system based on hysteresis current control and SVPWM control) [J]. 北京建筑工程学院学报 (Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture), 2009, 25 (2): 39-42.
- [3] 余文涛, 胡育文, 郝振洋, 等 (Yu Wentao, Hu Yuwen, Hao Zhenyang, et al.). 一种改进型永磁电机数字电流滞环控制方法 (Improved digital current hysteresis control method of fault tolerant permanent magnet machine) [J]. 电气传动 (Electric Drive), 2010, 40 (2): 39-42.
- [4] 逢玉俊, 柏松, 马向哲 (Pang Yujun, Bo Song, Ma Xiangzhe). 永磁电机的电流滞环控制研究 (A study on the current hysteresis control of PMSM) [J]. 科技与信息 (Science and Technology Information), 2008, 30 (1): 438-439.
- [5] Jianxin Shen. Sensorless control of permanent magnet brushless drives [D]. Sheffield, UK: University of Sheffield, 2003.
- [6] Marian P Kazmierkowski, Luigi Malesani. Current control techniques for three-phase voltage-source PWM converters: a survey [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1998, 45 (5): 691-703.

Hysteresis current control with two-phase chopping for permanent magnet synchronous machines

SHEN Jian-xin, LU Yuan, Andreas Gassner

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Hysteresis current control (HCC) is often used to control permanent magnet synchronous machines (PMSM). In the traditional HCC method, all switching devices of the inverter keep chopping, resulting in remarkable switching loss, especially in those devices which carry high currents. In this paper, a new HCC method is proposed. Devices of only two phases which have relatively lower currents keep chopping, making the actual currents follow their references and also restricting the actual current of the third phase. Devices of the third phase which contains the highest current have no chopping, only provide a flowing path of the current, i. e., its upper device is always on and the lower is always off if the current is positive, and vice versa. Clearly, the actual current of the third phase can inherently follow its reference. By employing the new HCC method, the inverter switching loss is reduced and the drive system efficiency is improved, while the current harmonics do not increase. These have been verified with experimental results.

Key words: hysteresis current control; two-phase chopping; switching loss; permanent magnet synchronous machine (PMSM)