

文章编号:1005-0523(2014)01-0050-06

基于收益最大化的电动汽车充电站选址规划

宋志成,王 勋,伦 利,陈首昆

(华东交通大学电气与电子工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:作为电动汽车产业的基本配套设施,充电站的建设位置与规模对推广电动汽车有着重要的意义。文章针对电动汽车充电站位置和规模问题,建立了一个考虑了建设成本、运行成本、充电成本和电动汽车数量分布的收益最大化的多等级充电站选址模型;利用微分进化算法的全局寻优能力,同时确定出充电站最大收益的建址位置、建造等级。最后通过仿真算例表明,本文所提出的最大收益模型的有效性和可行性。

关键词:电动汽车充电站;选址规划;最大收益;多等级;微分进化算法

中图分类号:U491.8;TM72

文献标志号:A

大气中二氧化碳(CO₂)浓度伴随化石能源的使用不断升高,全球变暖也给人类的生存和发展带来了严峻的挑战。据统计交通行业的温室气体的排放量占总排量的25%,能源消耗占总能源消耗的40%。^[1]电动汽车具有高效、节能、能源利用率高、零排放等优点,受到世界关注。我国科技部《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》也将电动汽车确定为未来汽车产业主要发展方向^[2-3]。电动汽车充电站作为电动汽车发展的配套基本设施,其布局规划受到了城市规划部门、交通部门和供电等部门高度关注,因此电动汽车充电站最优规划成为了一个值得研究的重要问题。

针对此问题,文献[4-9]主要研究了电动汽车充电站的建设成本对其选址规划的影响,其中重点考虑建设费用包括基本设备费用、线路改造费用、运行成本、维护成本、土地征用费用。其中文献[4]侧重考虑了电动汽车数量增长、充电站服务范围、充电需求分布、城市规划等因素,最后通过成都市充电站布局规划算例验证;文献[5]中通过对一区域的交通流量信息进行分析,来确定建设充电站的位置和充电站的规模。文献[6]中设定某区域电动汽车容量一定,建立一个充电站的初始建设成本和运行成本最小数学模型。

本文提出了充电站最大收益作为充电站选址目标,其不仅考虑了车站的建设成本和运行成本,而且把电动汽车分布作为了一个很重要的影响因子。算例分析表明,通过考虑电动汽车分布情况,可以有效的减少充电消耗成本,提出的收益最大化数学模型可以很好的解决此选择优化问题。

1 电动汽车充电站规划的数学模型

充电站的主要功能是向各类电动汽车用户提供快速、高质量的电能供应服务,其建设需要综合考虑电动汽车数量、类型、征地费用、运行费用等因素。本文以投运至目标年充电站收益最大化为目标,考虑充电站的建设、运行等成本,区域电动汽车数量情况为约束条件,建立综合优化数学模型。

收稿日期:2013-09-25

基金项目:江西省自然科学基金项目(20132BAB216027);江西省教育厅基金项目(GJJ13356);华东交通大学校立基金项目(12DQ02)

作者简介:宋志成(1988-),男,硕士研究生,研究方向电动汽车充电站选址规划。

1.1 目标函数

$$S_{\max} = C_{zy} - C_{js} - C_{yx} - C_{sh} \quad (1)$$

式中: S_{\max} 表示充电站年均收益最大化, C_{zy} 为电动汽车的年总营业额, C_{js} 为充电站的年均建设成本, C_{yx} 为充电站的年均运行成本, C_{sh} 为电动汽车到充电站年均消耗的成本。

1) 充电站年总营业额

$$C_{zy} = \sum_{i=1}^n \varepsilon \rho Q_i^{car} \quad (2)$$

式中: ε 为电动汽车每次充电费用; ρ 为每辆电动汽车每年充电次数; Q_i^{car} 为到 i 充电站充电的电动汽车数量。

2) 充电站年均建设成本

年均建设成本主要由固定成本费用和征地费用组成。其中固定成本包括基础设施费用(充电机、变压器、控制器等电气设备)和基础设施建设费用,根据北京市出台的《电动汽车电能供给与保障技术规范:充电站》标准文件可推算出多等级充电站的固定费用。因此年均建设运行成本可表示为:

$$C_{js} = \frac{r(1+r)^k}{(1+r)^k - 1} \sum_{i=1}^n (A_i^L C_i^L + C_i^G) \quad (3)$$

式中: r 为充电站成本回收率; k 为投资回收年限; n 为充电站建设个数; A_i^L 为第 i 个充电站所占面积; C_i^L 为第 i 个充电站建设位置的征地单价; C_i^G 为第 i 个充电站基本设施的建设费用。

3) 充电站年均运行成本

充电站的运行成本主要包括充电站购电费用和人工工资、设备维护费用,故充电站年均运行成本模型为:

$$C_{yx} = \sum_{i=1}^n (\alpha + \beta) \varepsilon \rho Q_i^{car} \quad (4)$$

式中: α 为电动汽车充电费用的购电率; β 为人员工资、设备维护费用等费用折算为充电站年收入的系数。

4) 电动汽车充电年消耗成本

$$C_{sh} = \sum_{j=1}^M \omega r_{ij} Q_j \quad (5)$$

该式表示电动汽车到与其最近充电站所消耗的成本的总和,式中: M 为电动汽车聚合点的个数; ω 表示电动汽车的距离消耗参数; r_{ij} 表示 j 号电动汽车聚合点离其最近充电站 i 的距离; Q_j 为电动汽车 j 号电动汽车聚合点的电动汽车数量。

4) 区域电动汽车数量

$$Q_i^{car} = \sum_{j=1}^m Q_j \quad (6)$$

该式表示 i 充电站所服务区域的电动汽车总数,式中: m 表示该充电站服务区域电动汽车聚合点的个数; Q_j 为第 j 号电动汽车聚合点电动汽车的数量。

根据式(1)~(5)可得出目标函数:

$$S_{\max} = (1 - \alpha - \beta) \sum_{i=1}^n \varepsilon \rho Q_i^{car} - \frac{r(1+r)^k}{(1+r)^k - 1} \sum_{i=1}^n (A_i^L C_i^L + C_i^G) - \sum_{j=1}^M \omega r_{ij} Q_j \quad (7)$$

1.2 约束条件

$$r_{ij} \leq r_{\max} \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^m Q_j \gamma_{\max} \leq Z_j \quad (9)$$

式(8),(9)为约束条件,表示充电站应满足区域服务半径的要求以及最大充电要求, r_{ij} 为 j 功能区到 i 充电站的距离; r_{\max} 为充电站最大的服务半径; γ_{\max} 为最大同时充电率, Z_j 为区域充电站的充电机个数。

2 微分进化算法

1995年~1997年Storn和Price提出的微分进化算法,该算法与PSO算法从表上看非常相似,但其还具备了一些遗传算法的特征,所以可以把其称为PSO与遗传算法的结合。微分进化算法(DE,differential evolution),其具有收敛速度快、可调参数少、算法简单、鲁棒性好等特点,现逐渐受到了大家关注和热捧。该算法与免疫算法、遗传算法等进化算法一样,主要分为初始化、差分变异、交叉、择优选择这几个基本步骤^[10-13]。

2.1 初始化

DE算法和遗传、粒子群等算法一样,需要生成初始种群和个体。一般情况下,初始种群会从给定的范围内随机选择,覆盖整个参数空间。设种群规模为 NP , 其第 i 个体 $X_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n})$, n 为问题解空间的维数,初始种群 $s = \{X_1, X_2, \dots, X_{NP}\}$, $X_i \in R^n$ 为个体的集合。个体一般按下式生成:

$$x_{i,j} = x_{i,j\max} + \text{rand}(x_{i,j\max} - x_{i,j\min}) \quad (11)$$

式中: $x_{i,j}$ 为 X_i 的第 j 个分量, $x_{i,j\max}$ 、 $x_{i,j\min}$ 为 X_i 的第 j 个分量的上下限。

2.2 变异

微分进化的策略有很多种,本文以DE/rand/1策略进行变异处理。从第 k 代个体随机选取三个不同的个体 r_1 、 r_2 、 r_3 , 根据变异策略 $V_i^{k+1} = X_{r_1}^k + F(X_{r_2}^k - X_{r_3}^k)$ 生成第 $k+1$ 代变异中间个体 $V_i^{k+1} = (v_{i,1}^{k+1}, v_{i,2}^{k+1}, \dots, v_{i,n}^{k+1})$ 。变异策略式中的 F 为放缩因子,其取值范围为 $(0, 1)$ 。

2.3 交叉

为满足参数向量的多样性,在变异操作结束后,对目标向量与其他变异向量进行交叉操作。交叉操作规则如下:

$$u_{i,j}^{k+1} = \begin{cases} v_{i,j}^{k+1}, \eta_j \leq C_r \text{ 或 } j = q_j \\ x_{i,j}^k, \text{ 其他} \end{cases} \quad (12)$$

式中: $\eta_j \in (0, 1)$ 为针对第 j 维分量随机选取的控制参数; $C_r \in (0, 1)$ 为交叉因子; q_j 为从 $[1, N_p]$ 中随机选取的一个整数,其确保了交叉至少有一分量。

2.4 选择

接着进入选择操作,选择以下公式进行选择:

$$X_{i,j}^{k+1} = \begin{cases} U_i^{k+1}, \text{ 当 } f(x_i^k) < f(u_i^{k+1}) \text{ 时} \\ X_i^k, \text{ 其他情况} \end{cases} \quad (13)$$

如果目标向量值超过了设定值域,该参数将在设定值域内重新随机生成,然后计算目标向量适应度,与本式的适应度相比较,将最优的适应度值取代当前值。

2.5 算法基本思想

首先针对问题需求设计个体表示形式,然后初始化种群规模 NP 、缩放因子 F 、交叉常数 CR 及最大迭代次数 N_{\max} 等DE参数。其中比例因数 F 和交叉因数 CR 在进化过程中的取值区间一般分别是 $(0.4, 0.9)$ 和 $(0.3, 0.8)$, 它们的优化值往往依赖于目标函数的特性。算法流程如图1所示。

3 算例研究

为了简化模型求解,现假设一个面积为 36 km^2 经济开发区, 将其分割成16个功能区(商业、工业、居民),如图2所示。预计至2020年改开发区人口总计10.61万人,该区百人汽车保有量将达到9辆,电动汽车市场份额为50%,各小区电动汽车的位置和数量如表1所示。

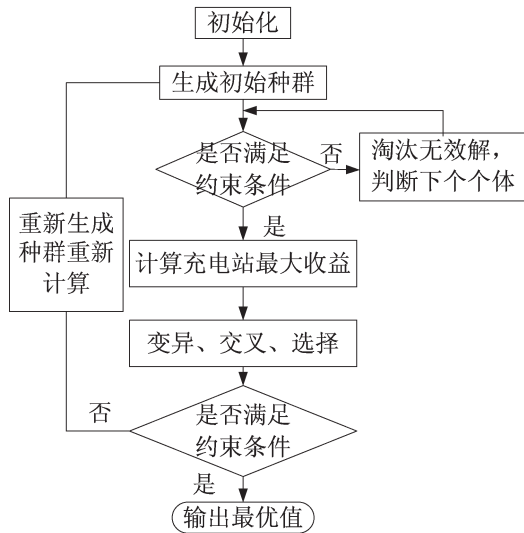


图1 微分算法流程图

Fig.1 Flow chart of differential algorithm

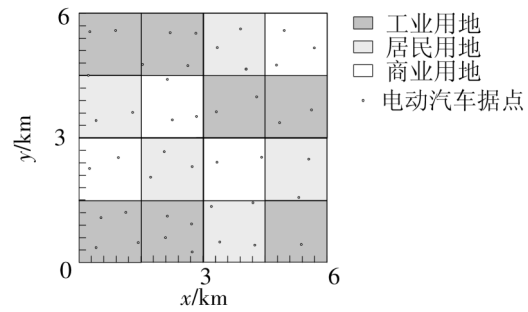


图2 电动汽车位置分布图

Fig.2 Location map of electric vehicles

表1 电动汽车数量及位置

Tab. 1 Number and location of electric vehicles

序号	坐标/km		数量/辆	序号	坐标/km		数量/辆
	x	y			x	y	
1	0.14	1.13	33	23	0.135	2.78	25
2	0.27	0.54	135	24	0.12	2.27	30
3	0.21	0.17	123	25	0.21	1.67	6
4	0.72	0.24	67	26	0.63	1.82	25
5	0.54	0.72	110	27	0.92	2.39	295
6	0.48	1.26	304	28	0.45	2.79	50
7	0.87	1.02	145	29	1.08	2.75	145
8	1.035	1.32	110	30	1.07	2.19	145
9	1.38	1.17	9	31	1.14	1.69	74
10	1.08	0.59	54	32	1.43	1.77	111
11	1.37	0.47	29	33	1.32	2.34	15
12	1.05	0.30	65	34	1.41	2.73	4
13	1.38	0.12	28	35	1.67	2.58	219
14	1.67	1.20	22	36	1.68	1.80	45
15	1.59	0.81	15	37	1.95	2.81	56
16	1.71	0.24	158	38	2.07	2.38	225
17	2.13	0.21	224	39	2.44	1.95	120
18	2.1	0.72	140	40	2.43	1.66	135
19	2.22	1.29	128	41	2.38	2.35	195
20	2.84	1.26	135	42	2.49	2.77	56
21	2.79	0.81	135	43	2.85	2.56	354
22	2.82	0.26	142	44	2.82	1.98	135

由表1可知,在该区域有4776辆电动汽车,根据公式(9)推算该区域最少要建设4台以上的充电站才能

满足该区的充电需求。根据表2、3、4中的数据,结合本文所建设最大收益数学模型。现分别以充电站个数 n (4~15)为循环变量,分别计算出充电站数为 n 时的最大收益和规划结果。

表2 充电站的等级及相应的建设成本

Tab.2 Station levels and the corresponding construction costs

充电站等级	服务能力/(辆/天)	建设成本/万元	充电机个数/台	占地面积/m ²
1	360	710	45	1 100
2	240	550	30	700
3	100	330	15	350
4	60	210	8	170

表3 各类型的征地成本

Tab.3 Costs of different lands

土地类型	工业用地	住宅用地	商业用地
地价(万元/m ²)	0.60	1.8	5.6

表4 参数取值

Tab.4 Parameter settings

ε (次/a)	ρ (元/次)	α /%	β /%
113	75	8	35
k/a	r	ω (元/km)	γ_{\max} /%
20	0.12	1	3

算法参数的选取为:种群数量为30;限定迭代次数200次;比例因子为0.85;交叉因子为0.5。对该假设的算例独立运行40次,计算出4-15座充电站的最大收益分别为636,651,634,597,562,547,505,470,424,383,318和277万元。可知,在此给定的条件下在该开发区建设4座或6座充电站收益较大,建设5座充电站为最优。从计算结果可以看出,随着充电站建设数量逐渐增加,其成本不断上升,最终导致其收益逐渐减少,此结果符合预期设想。规划建设的5座充电站的坐标和等级如图所示。

编号	x/m	y/m	等级
1	4 606	4 269	1
2	1 780	4 579	2
3	4 613	871	2
4	1 087	1 447	2
5	1 957	459	4

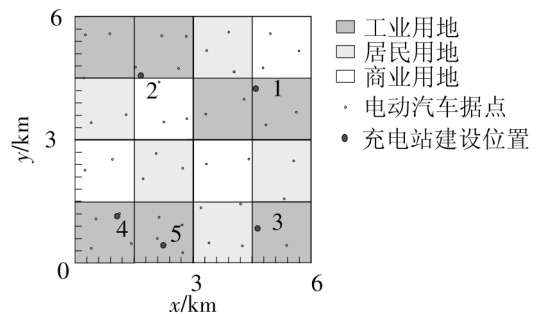


图2 选址优化最优计算结果

Fig.2 Optimal planning results of charging stations

5 结束

本文以整个区域充电站综合最大收益为目标,该目标函数考虑了建设充电站的土地成本和变压器、充电机等固定设备成本,同时考虑了工人工资等运行成本。通过微分进化算法,对某假定区域电动汽车充电

站进行了规划,得出如下结果:

1)本文提出的数学模型,其不仅考虑了建设充电站的建设费用、充电站的运行费用和电动汽车分布情况对充电站选址的影响,而且把充电站用地的价格和充电站的规模对选址影响考虑在内,比较科学、全面地反应了电动汽车充电站选址问题。

2)通过对算例的计算与分析,可知本文所构建的目标函数是科学、可行的。

参考文献:

- [1] 王贺礼,谢运生,罗成龙等. 交通运输业温室气体排放现状及减排对策[J]. 能源研究与管理,2011(3):11-13.
- [2] 吴憩棠. 解读《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》(摘要)[J]. 汽车与配件,2012(15):12-15.
- [3] 电动汽车科技发展“十二五”专项规划(摘要)[N]. 科技日报,2012-03-03(004)
- [4] 刘自发,张伟,王泽黎. 基于量子粒子群优化算法的城市电动汽车充电站优化布局[J]. 中国电机工程学报,2012,32(22):39-45.
- [5] 刘志鹏,文福拴,薛禹胜等. 电动汽车充电站的最优选址和定容[J]. 电力系统自动化,2012,36(3):54-59.
- [6] 唐现刚,刘俊勇,刘友波等. 基于计算几何方法的电动汽车充电站规划[J]. 电力系统自动化,2012,36(08):24-30.
- [7] PUTRUS G A, SUWANAPINGKARL P, JOHNSTON D, et al. Impact of electric vehicles on power distribution networks [C]//IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. Michigan:IEEE,2009:827-831.
- [8] WANG HENGSONG, HUANG QI, ZHANG CHANGHUA, et al. A novel approach for the layout of electric vehicle charging station [C]//International Conference on Apperceiving Computing and Intelligence Analysis (ICACIA). Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China,2010:64-70.
- [9] IP A, FONG S, LIU E. Optimization for allocating BEV recharging stations in urban areas by using hierarchical clustering [C]//6th International Conference on Advanced Information Management and Service (IMS). Seoul, Korea,2010:460-465.
- [10] 刘自发,闫景信,张建华,等. 基于改进微分进化算法的电力系统无功优化[J]. 电网技术,2007,31(18):68-82.
- [11] 李国庆,冀瑞芳,张健,等. 基于改进微分进化算法的可用输电能力研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(21):22-27.
- [12] 彭春华,齐彦伟,陈首昆. 基于分层分区模型的分布式电源分布优化[J]. 华东交通大学学报,2013,(02):85-89.
- [13] 吴骅,吴耀武,娄素华,等. 基于改进微分算法的负荷模型参数辨识[J]. 高电压技术,2008,34(09):202-206.

Site Planning of EV Charging Stations Based on the Maximum Profits

Song Zhicheng, Wang Xun, Lun Li, Chen Shoukun

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The location and scale of charging stations, as the basic facilities of the electric vehicle industry, has an important significance for promoting electric vehicles. In order to crack the location and scale problem of charging stations, this paper establishes a distributed multi-level charging station location model which can achieve benefit maximization with the consideration of construction costs, operating costs, electric vehicle charging costs and the number of vehicles. The maximum benefit of the charging station's site location and construction grade is determined through the global optimization capability of differential evolution algorithm. The simulation example shows the maximum benefit of the proposed model is effective and feasible.

Key words: charging station for electric vehicles; site planning; maximum benefit; multi-level; differential evolution algorithm