

# 基于综合效益评价的电动汽车充电设施布局方法

李小雨, 李嘉逸, 胡浩, 李彬

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021)

**摘要:** 化石能源短缺、依赖进口已经给中国的能源安全带来了挑战,同时,中国环境保护形势依然严峻。在这种背景下,国家大力倡导电动汽车发展,电动汽车充电设施也将迎来发展热潮。这时,传统电网规划方法已不太适用于电动汽车充电站规划,需要有一种能够真正统筹兼顾多方面效益的方法来规划充电设施。这里提出了一种基于综合效益评价的电动汽车充电设施规划方法,对方法进行了具体的描述和分析,并做了案例演示。

**关键词:** 电动汽车; 充电设施; 综合效益; 布局优化

**Abstract:** The shortage of fossil fuel energy that always depends on imports have brought challenges to energy security in China, meanwhile, China also suffers the pressure from environment protection. Under these circumstances, Chinese government promotes the usage of electric vehicles (EV), which will generate a development of EV charging facilities. At this time, the planning methods of traditional power grid would not be flexible for the planning of EV charging facilities. A method with consideration of comprehensive benefit is needed. A planning method based on comprehensive benefit evaluation is proposed for EV charging facility layout, and the detailed introduction is given as well as an example demonstration.

**Key words:** electric vehicles; charging facility; comprehensive benefit; optimal layout

中图分类号: TM715 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)05-0055-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.05.014

## 0 引言

能源与环境问题是全球问题,而中国随着经济发展,化石能源短缺、依赖海外进口成为日益严重的问题;同时,传统化石能源带来的环境问题日益突出,减少城市机动车排放符合可持续发展的要求。另一方面,“十三五”期间,中国电力供应将由总体平衡、局部偏紧的状态逐步转向相对宽松、局部过剩;国家也大力倡导电能替代,电动汽车的发展将迎来加速<sup>[1-4]</sup>。

结合国家以及部分省市发布的电动汽车发展规划,尽快科学地建设一批电动汽车充电站,才能满足电动汽车技术的发展及社会的要求。2015年国务院办公厅发布《关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见》,将电动汽车发展战略提上国家层面,并提出了到2020年全国新增1.2万座集中式充换电站、480万个分散式充电桩,满足500万辆电动汽车的充电需求的目标<sup>[5]</sup>。

基于这样的背景,全国将迎来电动汽车充电设施建设的热潮;但由于负荷特性不同、技术标准不统

一等问题,传统电网规划方法就显得不太适用于电动汽车充电站规划。同时,电动汽车充电站由于将在城市中大量涌现,需要有一种能够真正统筹兼顾多方面效益的新方法来规划充电站。下面提出了一种基于综合效益评价的电动汽车充电站规划方法,对方法进行了具体的描述和分析,并做了案例演示。

## 1 电动汽车充电设施规划特点概述

目前,电动汽车充电设施规划还没有成熟、统一的标准和方法。除了市场的原因,电动汽车运营自身的技术特点也决定了电动汽车充电设施规划方法具有灵活性和受地理位置影响大等特点。

从负荷预测上看,电动汽车负荷具有流动性的特点。由于是交通工具,受出行需求、用户使用习惯<sup>[6]</sup>,甚至受路况条件、节假日等影响,这些因素大大影响了电动汽车的负荷预测精确度。目前较为广泛使用的是基于蒙特卡洛算法的电动汽车负荷预测方法<sup>[7]</sup>。

从充电设施布局方法上看,目前已有的研究大都通过建立相关数学模型,然后采用一定的优化算法来确定充电设施的数量和空间位置。在这种情况

下,影响布局方法精确度的主要问题在于数学模型目标函数的确定。

而现有许多规划布局方法在确定求解目标函数时,都一定程度忽略了电动汽车充电设施与传统供电设施的不同<sup>[8-9]</sup>。

1) 传统变电站设施用地为公用设施用地,且由于建设成本较高及电力供应的特殊性,建成后一般不轻易变动。而电动汽车充电设施则较灵活,不仅可以依托变电站等电源点修建,在市场化以后,居住用地、公共管理与公共服务设施用地、商业服务业设施用地等都可以作为电动汽车充电设施用地;且由于建造周期短、成本相对较低,建成后可以随城市建设发展灵活变动。

2) 相较于传统的供电设施如变电站等,电动汽车充电设施可以附带更多经济效益。如电动汽车充电设施建成运营后还可带来就业、商业零售、推广示范等社会效益。特别是在“十八大”以后,党中央提出要坚持社会效益和经济效益相统一的背景下,做布局规划时有必要考虑这些效益。

下面将对一种基于综合效益评价的电动汽车充电设施布局方法进行探索。

## 2 基本思路及假设

### 2.1 符号说明及名词约定

$x_i$  为  $i$  区内分散式电站的个数,  $y_i$  为  $i$  区内集中式充换电站的个数,  $i = A, B, C, D$ ;  $a$  为分散式电站的标准容量;  $b$  为集中式充换电站的标准容量。  $n_i$  为  $i$  区充换电日均利润,  $c_i$  为  $i$  区电站日平均购物消费利润额,  $c'$  为分散式电站的造价,  $c''$  为集中式充换电站的造价;  $N_i$  为  $i$  区一天的加油车数,  $e_i$  为车主排队充换电时间成本。

充换电站标准容量: 充换电站在一天内能宽松接待的顾客总车次。

满意度指数效益: 充换电站充电及排队时, 车主能够在小卖部进行消费, 产生效益, 正比于车主时间成本。

就业效益: 为缓解社会就业压力产生的社会效益。

时间成本: 车主在充换电及排队时消耗的时间成本, 反比于充换电站标准容量。

### 2.2 基本思路

1) 电动汽车负荷主要集中在两类地方: 一是城

市建成区, 有较多车辆行驶; 二是市区以外的主要道路, 如国道、高速公路等。对于第二种负荷集中区, 方法较为单一, 基本是沿道路分布、依托高速公路加油站、休息区等设施建设电动汽车充电设施, 这里不作讨论。

2) 确定城市建成区内负荷集中区域。

3) 建立以  $x_i, y_i$  为规划变量的目标模型进行求解。

4) 进行参数扫描, 寻找规律。

5) 分散式充电站可以和停车场寻求合作, 增加布局灵活性。

### 2.3 基本假设

1) 将电动汽车充电站分为集中式充换电站和分散式充电站。集中式充换电站为具备充换电能力的大型站, 分散式充电站只具备快速充电能力, 假设集中式充换电站服务能力两倍于分散式充电站。

2) 充电桩由于建设灵活且需要建设数目巨大, 这里不作讨论。

3) 各个充换电站消费水平相同, 且造价相同。

4) 车主充换电消费总体与服务时间成正比, 附带购物消费与充换电时间成正比。车主一般到最近的充换电站进行能量补给。

5) 充换电站容量需求主要是满足充换电车次, 充电站连接电网, 其电功率容量视为无穷大。

6) 充换电站充换电车次数量较为稳定, 日差异不大。

7) 负荷区域都简化为标准矩形, 方便计算及初期研究, 带来的误差暂时不考虑。

## 3 数学表达式构建

### 3.1 基本数学表达式

1) 充换电要求

$$N_i \leq x_i \cdot a + y_i \cdot b \leq tN_i \quad (1)$$
$$i = A, B, C, D$$

$i$  区内所有充电站的标准容量不小于 1 天消费的车次, 并留有一定备用标准容量应对高峰时期等情况;  $t$  为备用容量系数,  $t$  过大容易造成浪费和过度投资,  $t$  可以取值 1.5 ~ 2, 此处先取值为 2。

2) 各区内日均直接经济效益

$$\text{Max: } P_i = s + n_i + c_i - x_i \cdot c' - y_i \cdot c'' \quad (2)$$
$$i = A, B, C, D$$

其中:

$$c_i = k \cdot c_i \quad (3)$$

各区直接经济效益  $P_i$  等于政府补贴  $s$ , 日均充换电效益  $n_i$  及消费效益  $c_i$  之和减去集中和分散式充电站折旧费用。 $c^*$  为分散式充电站日均折旧费用,  $c^{**}$  为集中式充换电站日均折旧费用。

### 3) 满意度指数

$$P_p = 100 \cdot e^{\frac{-c_i}{c_i+n_i} \cdot r} \quad (4)$$

式中  $r$  为修正系数。

满意度指数, 用于评估电动汽车充换电站运营时的车主顾客满意度, 将直接影响车主对充电站带来的长远收益, 如指导服务改善、硬件升级、电站扩容等行为。满意度指数与车主充电时间成本成反比, 短期内与购物消费、充电站直接充换电利润成正比。当值为 0 时, 说明车主满意度较差; 当值为 1 时, 满意度达到最高。该指数可作为观测值, 作为充电站运营水平评估指标之一。

### 4) 就业效益

$$E_p = \sum_A^D q \cdot (x_i \cdot c + y_i \cdot d) \quad (5)$$

电动汽车充电站推广示范期间, 社会效益比较重要, 期间包括带来的就业效益。式中: 就业效益与充电站产生的就业机会成正比;  $q$  为量化的就业效益系数, 由通过产生就业机会从而带来的产值、社会保障等效益的提升来确定, 将就业效益量化为经济效益。

### 3.2 优化目标函数确定

由上面分析可以看出, 限制条件较多。效益由直接经济效益、满意度指数带来效益、就业效益构成。将 3 个效益都作为优化目标函数, 会带来巨大的计算量。为了简化计算, 将作为评估指数的满意度指数效益暂时不量化, 可单独列为对充电站运营效益的监控指数。建立存在加权系数的单目标函数, 权重分别为  $k_1$  和  $k_2$ , 如式(6):

$$F_i = k_1 \cdot P_i + k_2 \cdot E_p \quad (6)$$

这里, 以 A 区作为算例进行计算。即:

$$F_A = k_1 \cdot (s + n_A + c_A - x_A \cdot c^* - y_A \cdot c^{**}) + k_2 \cdot [q \cdot (x_A \cdot c + y_A \cdot d)] \quad (7)$$

在这里, 由于直接经济效益和就业效益都是量化的效益, 用货币来衡量, 单位为人民币元。

## 4 实例演示

设有如图 1 所示的西部某城市开发区示意图,

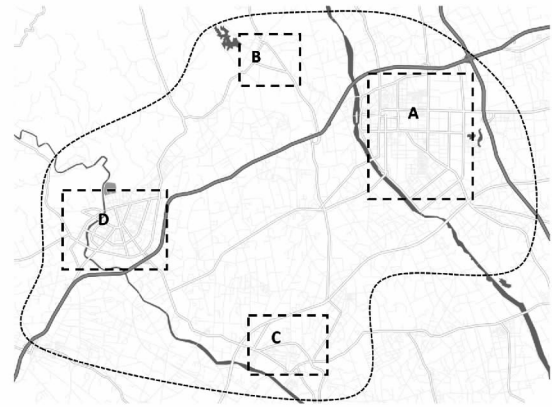


图 1 某城市开发区示意图

经实际测量和分析, 此开发区内电动汽车充电负荷主要集中在 A、B、C、D 四个区域及多条横穿行政区的道路上。通过对负荷区域类型的划分, 可以简化计算, 下面选取 A 区进行布局演示。

为了降低计算难度, 故设  $k_1 = k_2 = 1$ , 然后根据实际要求及该开发区的实际情况, 对部分参数进行赋值处理。

设分散式充电站标准容量  $a = 1\ 000$  车次, 集中式充换电站标准容量  $b = 4\ 000$  车次。每天 A 区需要消费的车次为  $N_A = 50\ 000$  车次, 则充电站日均盈利为

$$n_A = \eta \times N_A \quad (8)$$

式中:  $\eta$  为单次充换电盈利,  $\eta = 10$  (元/车次), 则  $n_A$  为 500 000 元。若有政府补贴

$$s = 0.5 \times n_A \quad (9)$$

则  $s = 250\ 000$  元。

每日电站购物消费为

$$c_A = \zeta \times N_A \quad (10)$$

式中:  $\zeta$  为人均消费利润率, 为 2 元, 则  $c_A = 100\ 000$  元。

考虑折旧费用, 分散式充电站日均折旧费用为 10 000 元, 集中式充换电站折旧费用为 30 000 元。设 1 个工作人员 1 天量化就业经济效益(工资、低保费用节省)为 200 元, 分散式充电站就业岗位数为 20 人, 集中式充换电站就业人数为 50 人。

这种情况下, 假设盈利与用户时间成本相等时, 满意度指数为 0.5, 故有:

$$P_p = e^{-r} = 0.5 \quad (11)$$

可得到  $r = 0.7$ 。

将赋值带入优化目标函数, 同时加入约束条件式(1), 满足充换电要求。

一般来说, 分散式充电站数目肯定会大于集中式充换电站数, 但是又要保证有一定集中式充换电

站以避免分散式充电站过多冗杂、计算难以约束的情况,故有表达式(12):

$$u \leq \frac{x_A}{y_A} \leq v \quad (12)$$

此案例中,可暂考虑取  $u = 2$   $v = 10$ 。

根据求解结果,求解不等式,得出如下结果:

$$\begin{cases} x_A = 18 \\ y_A = 8 \\ F_A = 582\ 000 \end{cases}$$

然后对设计中2个影响电站数量的参数  $u, t$  进行扫描,观察对目标函数  $F_A$  的影响,得到如图2、图3所示结果。

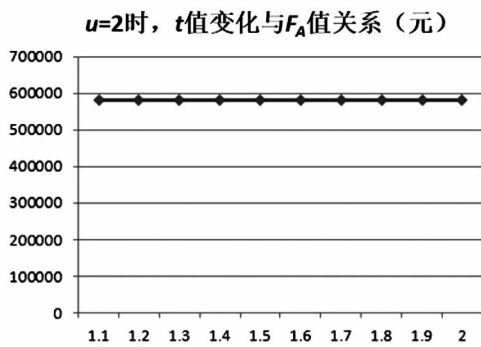


图2 对  $t$  值进行参数化扫描计算结果

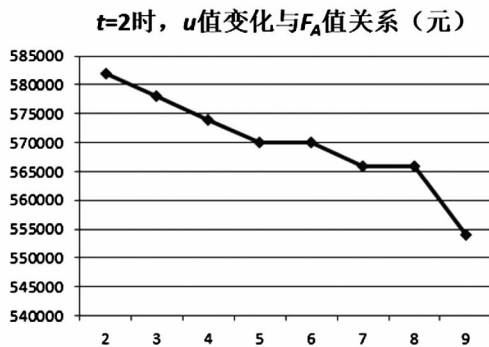


图3 对  $u$  值进行参数化扫描计算结果

由  $u$  值变化可以看出,集中式充换电站较多时,效益较好,电站总数也较少;由  $t$  值变换则可看出,备用容量系数变化并不直接影响效益,效益主要还是由消费决定。

最后,在确定充换电站数量后,对充电站布局进行优化。由于有分散式充电站、集中式充换电站形式高低搭配,采取集中式充换电站为主辐射区域,辅助以分散式充电站的基本布局思路,故可优先确定集中式充换电站的布局,再根据其布局来确定分散式充电站布局。

下面使用优化算法对集中式充换电站布局进行优化。A区简化为长25 km、宽15 km的矩形区域,

集中式充换电站数量为8个,布局限制条件为使充电站之间相互距离之和尽量大,尽量将充电站散开,避免资源冗余浪费。

这里使用遗传算法对空间布局进行优化,结果如图4所示。

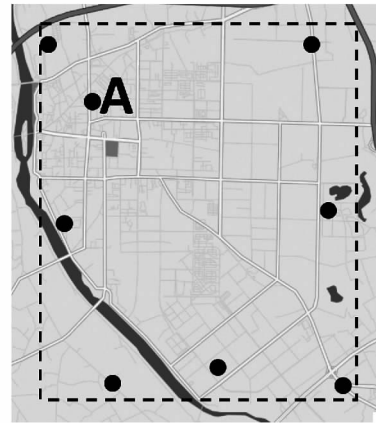


图4 A区域电站优化分布结果

可以看出,优化结果主要将充电站尽可能分散在负荷区域周边,比较符合实际需求。通过将集中式充换电站分布在负荷中心周围,可以对具有充电需求的车辆进行分流;在负荷中心内通过灵活分布分散式充电站,可以满足市区车辆应急充电。

但是上述方法不足之处在于:优化结果可能与实际建设条件冲突,如规划点都位于市区内,但这些地方往往有重要基础设施、军政部门、地标建筑、古迹和景观等。由于优化的结果往往不唯一,解决的办法就是在优化结果基础上微调,寻找临近的点或者重新进行优化运算,寻找新的结果。

## 5 结 语

通过分析现有电动汽车充电设施布局方法和传统电网供电设施规划方法的差异,梳理了电动汽车充电设施布局中容易忽略的问题;强调了电动汽车充电设施可以带来一些传统电网供电设施所没有的效益,如社会效益、就业效益、示范效益等隐性效益。在这个基础上,提出了一种基于综合效益分析的电动汽车充电设施布局方法,建立了相关数学模型,并做了实例的演示。

下一步可以进一步探索和优化的工作有:寻找可靠数据,预测出可靠负荷数据;完善数学模型;通过计算,寻找出重要参数变化规律及相互之间的影响;结合城市道路特点改进优化办法;增加优化约束

(下转第77页)

能扶贫”的理念,结合幸福美丽新村建设,推广储能微网,促进生态旅游发展和能源基层民生开发;同时研究发展多端柔性直流输电的可行性。

### 5 结 语

结合四川省的行政区域划分、能源资源以及经济发展的地域分布特征,将四川省划分为成都、川东北、川南、攀西、川西北5大经济区和城市群;结合能源互联网的层次架构,分析了四川省能源互联网的多层次发展思路,并结合各地资源和经济特点,提出了具有地域特色的区域能源互联网发展路线。

作为国内能源资源大省,四川省建设能源互联网建议按照“坚持协调互补思路、合理转变能源定位、开放促进服务创新、完善区域协调发展、统筹能源总体规划、建设美丽绿色四川”的思路来开展工作,以充分发挥四川的区域资源优势,实现对四川省丰富的清洁能源的高效开发和利用,实现四川省由清洁资源大省向国内领先的清洁能源生产基地、消费基地、交易基地的跨越式发展。

#### 参考文献

[1] 董朝阳,赵俊华,文福拴,等. 从智能电网到能源互联

(上接第58页)  
条件,改进优化算法。

#### 参考文献

[1] 国家发展改革委,国家能源局. 电力发展“十三五”规划(2016-2020年) [Z]. 2016-11-7.

[2] 倪敏东. 低碳时代的电动汽车基础设施规划——以伦敦为例[C]. 中国城市规划学会国外城市规划学术委员会及国际城市规划杂志编委会2010年会. 2010.

[3] 肖湘宁,温剑锋,陶顺,等. 电动汽车充电基础设施规划中若干关键问题的研究与建议[J]. 电工技术学报, 2014, 29(8): 1-10.

[4] 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.

[5] 国务院办公厅. 关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见[Z]. 2015-9-29.

[6] 王锡凡,邵成成,王秀丽,等. 电动汽车充电负荷与调度控制策略综述[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(1): 1-10.

网:基本概念与研究框架[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 1-11.

[2] 杰里米·里夫金著. 张体伟,孙毅宁译. 第三次工业革命[M]. 北京:中信出版社, 2012.

[3] 曾鸣. 能源互联网与能源革命[J]. 中国电力企业管理, 2016(16): 36-39.

[4] 国家发展改革委. 关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见[R]. 发改能源(2016)392号, 2016.

[5] 夏雪,张胜飞,孙建伟,等. 四川省能源互联网发展研究[R]. 2016.

[6] 四川省人民政府. 四川省“十三五”能源发展规划[R]. 2017.

[7] 贾宏杰,穆云飞,余晓丹. 对我国综合能源系统发展的思考[J]. 电力建设, 2015, 36(1): 16-25.

[8] 蒲天骄,刘克文,陈乃仕,等. 基于主动配电网的城市能源互联网体系架构及其关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3511-3521.

[9] 四川省人民政府办公厅关于印发五大经济区“十三五”发展规划的通知[R]. 川办发(2016)62号, 2016.

[10] 南充市人民政府. 南充市环境保护“十三五”规划(2016-2020年) [Z]. 2017.

[11] 电动汽车充电基础设施发展指南(2015-2020年) [Z]. 发改能源(2015)1454号, 2015.

#### 作者简介:

夏雪(1980), 硕士、高级工程师,研究方向为智能电网相关技术。(收稿日期:2017-06-27)

[7] 刘青,臧中译. 基于蒙特卡洛法的电动汽车负荷预测建模[J]. 电力科学与工程, 2014, 30(10): 14-19.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 张荣奇,白人朴,张荣耀. 商圈分析与网点布局[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2001, 44(6): 40-45.

#### 作者简介:

李小雨(1989), 硕士、助理工程师,研究方向为电力系统规划设计;  
李嘉逸(1975), 硕士、高级工程师,研究方向为智能电网技术、电力系统保护等;  
胡浩(1981), 硕士、高级工程师,研究方向为电力系统规划设计。

(收稿日期:2017-03-24)