

基于全生命周期分析的电动汽车充换电站 成本收益评估

陈广开¹, 曲大鹏¹, 胡晓静², 张洪财², 胡泽春², 王科³

(1. 广州供电局有限公司, 广州市 510620; 2. 清华大学电机系, 北京市 100084;

3. 南方电网科学研究院有限责任公司, 广州市 510080)

摘要: 针对电动汽车充换电站的运营, 考虑充换电设施建设、充电站运营、换电站运营、监控与智能调度运营等多个环节, 对充换电站的成本收益结构进行系统建模, 提出了基于全生命周期分析的电动汽车充换电站成本收益评估方法。以广州市充换电设施规划数据为例, 对电动汽车充电站、换电站进行了成本效益对比分析, 并进一步分析了充换电服务费、政府补贴和充电机造价等因素对于电动汽车充换电站盈亏水平的影响。

关键词: 电动汽车; 充换电站; 全生命周期; 运营模式

Cost Benefit Evaluation of Electric Vehicle Charging/Swapping Station Based on Life Cycle Analysis

CHEN Guangkai¹, QU Dapeng¹, HU Xiaojing², ZHANG Hongcai², HU Zechun², WANG Ke³

(1. Guangzhou Power Supply Company, Guangzhou 510620, China;

2. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. Electric Power Research Institute of China Southern Power Grid, Guangzhou 510080, China)

ABSTRACT: According to the operation of electric vehicle charging/swapping station, we construct a systematic model for the cost benefit structure of charging/swapping station, and propose the cost benefit evaluation method of electric vehicle charging/swapping station based on life cycle analysis, with considering the charging/swapping infrastructure construction, the operations of charging station and swapping station, and the operation of monitoring and intelligent scheduling etc. Taking the planning data of charging/swapping infrastructure in Guangdong Province as example, we compare and analyze the cost benefits of electric vehicle charging/swapping station, and further analyze the influences of charging/swapping tariff, government subsidy, charging spot's unit price and other factors on the profit and loss level of electric vehicle charging/swapping station.

KEYWORDS: electric vehicle; charging/swapping station; life cycle; operation pattern

中图分类号: TM 743

文献标志码: A

文章编号: 1000-7229(2016)01-0030-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2016.01.005

0 引言

随着能源短缺日益严重以及环保呼声的高涨, 电动汽车作为一种低碳、节能、清洁的交通工具, 受到世界各国政府的高度关注和大力推广^[1-3]。为满足电动汽车用户的需求, 进一步推动电动汽车产业的发展, 大规模建设充换电站势在必行^[4-7]。2009年, 我国政

府启动了节能与新能源汽车示范推广试点工作(简称“十城千辆”工程), 对推广使用节能与新能源汽车给予补助。另外, 中国政府在《“十三五”新能源汽车战略规划》中提出, 到2020年建立完善的电动汽车动力系统科技体系及产业链技术系统, 实现各类电动汽车的产业化, 促进新能源汽车战略新兴产业进入快速成长期。文献[8]针对市区电动汽车充电设施, 提出了一种基于分区充电需求系数的选址定容方法。但是, 由于电动汽车发展整体规模尚小, 没有形成便捷齐全的充电网络, 已投资的充电设施出现了一定程度的闲置弃用和亏损的情况, 对电动汽车的大规模推广

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973项目)
(2013CB228202)

Project supported by the National Basic Research Program of China (973 Program) (2013CB228202)

带来不利影响。充换电站的投资和运营对电动汽车的普及具有至关重要的作用,因此研究电动汽车充电设施成本收益评估的方法,对引导电动汽车充电设施投资具有重要意义。

目前,已有一些对电动汽车充换电站的成本收益评估的研究成果发表。文献[9]中分析了电动汽车充电站整车充电、更换电池 2 种运营模式,并从具体运营过程、盈利方式及对电网运行的影响等方面对 2 种运营模式进行了比较。文献[10]研究了换电站的成本效益模型,但未考虑充电站的相应模型。文献[11]建立了基于微电网的电动汽车换电站的运营模式和充换电模型,分析了市场容量、换电价格、新能源渗透率对微电网运行成本的影响。文献[12]以全生命周期成本理论为基础,从消费者角度建立了电动汽车的全生命周期成本模型。在成本收益评估方面,现有研究主要针对独立的运营案例进行分析,包括对换电站运营状况的分析和对充电站运行过程的经济核算,但缺少对充换电站经济效益的统一建模和分析,不能系统性地比较充换电站的盈利水平^[13-14],也没有全面考虑影响电动汽车充电设施的整个寿命周期要素^[15-16]。

本文考虑充换电设施建设、充电站运营、换电站运营、监控与智能调度运营等多个环节,对充换电站的成本收益结构进行建模,并提出基于全生命周期理论的成本效益分析方法。以电动公交车为例,对电动公交车充换电站进行了全生命周期经济性分析和对比。结合当前广州市电动汽车及充换电站的市场运营情况,有针对性地研究分析充电服务费收取、政府补贴和充电机造价对电动公交车充换电站运营的影响,得出充换电站运营与收取服务费的盈亏平衡关系。

1 电动汽车充换电站成本收益分析方法

1.1 电动汽车充换电站运营分析

电动汽车的能源供给方式可分为充电模式和换电模式。充电模式指电动汽车整车直插充电,其按充电功率的大小可以分为慢速充电、常规充电、快速充电。换电模式则是将电动汽车和电池分开,电池能量不足时直接更换一组电池。由专门的公司或部门负责更换电池,对电池充电、维护保养和回收废旧电池^[17]。

电动汽车充换电站主要为电动汽车提供充换电服务,其业务主要表现为向电网购电,再转向电动汽车用户出售。由于充换电服务需要专业设备和人力资源的支持,充换电站的运营成本评估需要考虑用地与建筑成本、设备成本和人力资源成本。

系统地分析充换电站成本与收益的来源,并将其

与运营模式结合,对现有充换电站运营状况进行分析,并以此来评估充换电站的经济性,是本文的出发点。

1.2 研究路线图

本文的研究路线图如图 1 所示。首先根据服务电动汽车的规模,得到电动汽车充换电站充换电负荷量,假设每辆电动公交日充电需求量相同,则依据充换电站每站日服务车辆数,进而可以确定充换电站的耗电成本(用电成本);根据充换电站设施配建规模,可以确定充换电设备和电池购置成本、充换电站维修维护成本、以及换电站电池租赁成本;根据充换电人员配置,可以确定充换电站人力资源成本。设备和电池购置成本结合充换电站建筑建设成本、土地费用和前期的软硬件投资成本则构成充换电站初期投资成本;耗电成本、充换电站维修、维护成本、换电站电池租赁成本和充换电站人力资源成本则构成充换电站的运营成本,由初期投资成本和运营成本可得充换电站总成本。充换电站的总收入则由收取的服务费和政府补贴构成。

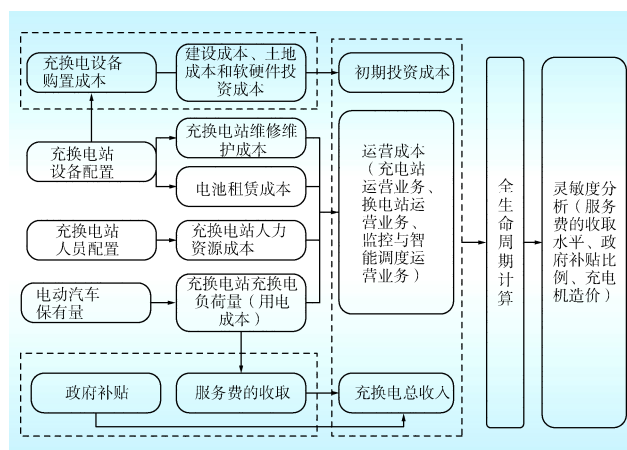


图 1 研究路线示意图

Fig. 1 Schematic illustration of research route

在以上成本和收益分析的基础上,考虑时间因素对充换电站成本收益的影响,建立全生命周期成本收益模型。以电动公交为例,分析服务费的收取、政府对充电设施补贴比例和充电机造价对电动公交充换电站服务费盈亏平衡点的影响。

2 电动汽车充换电站成本收益模型

本节将具体给出电动汽车充换电站的成本收益模型。

2.1 充换电站成本模型

2.1.1 充换电站初期投资成本模型

充电设施初期投资成本主要由充电设施场所建

设工程费、充换电设施购置费、土地费用、其他费用和前期的软硬件投资成本构成。

充电设施场所建设工程费主要指充换电站建筑建设产生的费用,建设工程费 C_c 为

$$C_c = C_Y + C_F + C_T + C_S \quad (1)$$

式中: C_Y 为工作用房、车辆停放区域等营业用房建设成本; C_F 为配电室、变电室等辅助用房建设成本; C_T 为土石及路面广场工程的成本; C_S 为场地绿围墙等服务性工程项目建设成本。

设备购置费按照所需的各类充电设备进行累加。充电设备包括交流充电桩、直流快速充电桩、换电机械装置以及各类辅助设备。对于换电站而言,设备购置费应包含电池组的购置费用。设各类充电设备单价为 P_i , 数量为 N_i , 所需购买充电设备种类数为 n , 则设备购置费 C_D 为

$$C_D = \sum_{i=1}^n P_i N_i \quad (2)$$

土地费用 C_L 是充换电站建设的重要组成部分,可由式(3)计算:

$$C_L = L_P L_S \quad (3)$$

式中: L_P 为单位面积地价; L_S 为充换电站占用的土地面积。

其他费用 C_O 指建设过程中产生的建设管理费和勘察设计费,可按行业标准估算。

在运营电动汽车监控与智能调度系统业务时,需对前期相应的软硬件进行购买和投资,设为 C_M 。

因此,充换电站前期建设成本模型为

$$C_I = C_c + C_D + C_L + C_O + C_M \quad (4)$$

2.1.2 充换电站各运营业务成本模型

对于充电站,主要有充电站的运营业务和电动汽车监控与智能调度系统运营业务;对于换电站,主要有换电站运营业务和电动汽车监控与智能调度系统运营业务。

充电站的运营业务成本 C_{CO} 可表达为

$$C_{CO} = C_{CP} + C_{CM} + C_{CH} \quad (5)$$

式中: C_{CP} 为耗电成本,取决于充电站的购电电量及电价; C_{CM} 为建筑和充电设施维护成本,建筑设施平均每年的维护费用按建筑工程造价的 1% 估算,充电设备平均每年的维护费用按设备价格的 2% 估算; C_{CH} 为运营人员费用,与当地工资水平及人数相关。

换电站的运营业务成本 C_{SO} 可表达为

$$C_{SO} = C_{SP} + C_{SM} + C_{SH} \quad (6)$$

与充电站运营业务成本类似, C_{SP} 为换电站耗电成本; C_{SM} 为建筑和充电设施维护成本; C_{SH} 为运营人员费用。

对于换电站,假如换电所需电池全部由换电站提

供,则会产生高昂的前期投资成本,故部分电池采用电池租赁形式。设电池租赁成本 C_{BL} 可表示为

$$C_{BL} = N_{BL} P_{BL} \quad (7)$$

式中: P_{BL} 为租赁电池组的单价; N_{BL} 为租赁电池组的数量。

电动汽车监控与智能调度系统运营业务成本 C_{MO} 可表达为

$$C_{MO} = C_{MP} + C_{MM} + C_{MH} \quad (8)$$

式中: C_{MP} 为耗电成本; C_{MM} 为维护成本; C_{MH} 为人力资源成本。

则充电站的年运营总成本 C_{CA} 为

$$C_{CA} = C_{CO} + C_{MO} \quad (9)$$

换电站的年运营总成本 C_{SA} 为

$$C_{SA} = C_{SO} + C_{BL} + C_{MO} \quad (10)$$

2.1.3 充换电站收入模型

充换电站的运营收入来自于提供充换电服务的收入,表现为收取的充换电费和合理的服务费。在本文中,以收取的服务费单价与充电价格之和 P 与充换电站全年总充换电量 N 的乘积作为充换电站的年收入,则运营年收入 I_O 为

$$I_O = PN \quad (11)$$

通过收集车辆的运行特性、充电需求量与时间分布信息,计算得到电动汽车全年在峰、谷、平电价时段的充电量。对于给定的充换电服务费标准,则可以得到电动汽车充换电站的运营收入。

为推动电动汽车的发展,目前政府对充电设施给予一定的补贴,设为 I_G ,则电动汽车充换电站的年总收入为

$$I_A = I_O + I_G \quad (12)$$

2.2 全生命周期成本效益模型

20 世纪 70 年代末至 80 年代初,英美一些学者提出了全生命周期成本 (life cycle cost, LCC) 理论,全生命周期管理从整个项目生命周期出发进行探索,侧重于对项目决策、设计、施工、运行维护各阶段全部造价的确定与控制^[18]。应用全生命周期理论对电动汽车充换电站投资进行管理的目标是引导合理的投资决策和指导充换电服务费的设定。

根据电动汽车充电站的实际情况,将其全生命周期分为以下几个阶段:前期投资建设阶段、运营维护阶段和结束回收阶段^[19]。

前期投资建设阶段所产生的成本是指充电设施从决策立项到建成投入使用期间所发生的全部成本。该成本主要包括充换电站的建设成本、占地成本、充电机、换电机械装置、电池等直接充电设备或相关辅助设备的购置成本等。前期投资建设阶段没有效益

来源。

对于初期投资成本中的各项, 将其加和形成总初期投资成本 I_C , 即前文公式 (4) 中的 C_1 。运营维护阶段所产生的成本是指充电设施在为电动汽车提供充电或换电服务的运行过程中所产生的全部成本。该成本主要包括耗电成本、充电设施维护成本、建筑设施维护成本和人员成本等。运营阶段所产生的效益则是电动汽车充电或换电收取的服务费和政府补贴。

假设充换电站使用寿命为 T 年, 充换电站 1 年的运营成本为 A_C , 即前文中的充电站的年运营总成本 C_{CA} 和换电站的年运营总成本 C_{SA} 。对于全生命周期 T 年, 视在运营总成本 N_{OC} 为

$$N_{OC} = TA_C \quad (13)$$

根据经济学理论, 对于长周期的经济计算, 要考考虑机会成本的影响, 通过贴现率来体现, 设为 $i\%$, 则全生命周期内贴现运营总成本 L_{COC} 为

$$L_{COC} = \sum_{k=1}^T \frac{AC}{(1+i\%)^k} \quad (14)$$

结束回收阶段, 可能会出现相转让或出卖产生的资产清理费等相关成本, 设在充电设施全生命周期 T 结束时, 结束回收视在成本为 N_{DC} , 则考虑机会成本影响后, 贴现到现在的实际结束回收成本 L_{CDC} 为

$$L_{CDC} = \frac{N_{DC}}{(1+i\%)^T} \quad (15)$$

因此, 全生命周期成本 L_{CC} 为

$$L_{CC} = I_C + L_{COC} + L_{CDC} \quad (16)$$

对于全生命周期收入, 主要由运营收入和回收过程中设施残值产生。

年运营收入 A_1 即与前文公式 (12) 中 I_A 相对应。对于全生命周期 T 年, 视在运营总收入 N_{OI} 为

$$N_{OI} = T \times A_1 \quad (17)$$

同理, 需要对年运营收入做贴现处理。则全生命周期内贴现运营总收入 L_{COI} 为

$$L_{COI} = \sum_{k=1}^T \frac{AI}{(1+i\%)^k} \quad (18)$$

在回收过程中, 设施残值设为 N_{DI} , 则考虑机会成本影响后, 贴现到现在的实际结束回收成本 L_{CDI} 为

$$L_{CDI} = \frac{N_{DI}}{(1+i\%)^T} \quad (19)$$

因此, 全生命周期收入 L_{CI} 为

$$L_{CI} = L_{COI} + L_{CDI} \quad (20)$$

故可以得到全生命周期的净收益 L_{CP} 为

$$L_{CP} = L_{CI} - L_{CC} \quad (21)$$

3 算例分析

3.1 参数说明

应用所提出的电动汽车成本收益核算及全生命周期计算方法, 以纯电动公交车为例, 对充电站和换电站进行成本效益分析。对于一个纯电动公交车的充电站, 其占地面积在 800 m^2 左右, 配备 20 个充电车位和 20 个额定功率为 100 kW 的直流充电机, 为 20 辆纯电动公交车服务。对于一个纯电动公交车的换电站, 其占地面积在 1000 m^2 左右, 具有 4 个换电车位, 配备 80 个额定功率为 100 kW 的直流充电机为电池充电, 日服务 80 辆纯电动公交车^[20]。假设公交车电池使用寿命为 4 年, 其他设施使用年限为 10 年。

3.2 电动公交车充换电站成本收益核算

3.2.1 电动公交车充换电站建设成本核算

房屋建筑工程费和其他费用参考某加油站的建设^[21]; 直流充电机的单价为 30 万元, 换电设备 4 套, 其单价为 50 万元^[20]; 换电站需配备 0.5 倍服务车辆的换电电池, 在这里假定换电站购买与租赁电池的比例为 4:1, 每组电池的购买单价为 60 万元, 租赁电池组的年单价为 15.72 万元; 充换电站地价按照广州商业用地地价 $10000 \text{ 元}/\text{m}^2$ 计算。电动汽车监控与智能调度系统每站建设需 10.5 万元^[22]。根据计算, 单个电动公交充电站和换电站的初期投资总成本分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 电动公交车充电站初期投资成本
Table 1 Primeval investment costs of electric vehicle charging station

electric vehicle charging station		万元
类型	成本项目	成本
建设工程费	营业用房	11.33
	辅助用房	8.04
	道路改造项目	10
	服务性工程项目	9.43
设备购置费	公交直流充电机	600
土地费用	—	800
其他费用	建设管理费	10.63
	勘察设计费	10
软硬件费用	—	10.5
充电站初期投资成本		1469.93
充电站服务单辆车的初期投资成本		73.5

由表 1 和表 2 可知, 土地费用和设备购置费占据充换电站前期投资成本的绝大部分, 虽然换电站需要配备电池及所需充电机的数量较多, 但土地费用并没随服务车辆成比例增加, 因此换电站服务单辆车的初期投资成本略低于充电站。

表2 电动公交车换电站初期投资成本

Table 2 Primeval investment costs of electric vehicle swapping station

类型	成本项目	成本 万元
建设工程费	营业用房	11.33
	辅助用房	8.04
	道路改造项目	10
	服务性工程项目	9.43
	公交直流充电机	2 400
设备购置费	换电设备	200
	电池购置费	1 920
	土地费用	—
其他费用	建设管理费	29
	勘察设计费	12
软硬件费用	—	10.5
换电站初期投资成本		5 610.3
换电站服务单辆车的初期投资成本		70.13

3.2.2 电动公交车充换电站年运营成本核算

根据电动公交车的年耗电量,结合其在峰、谷、平电价时段充电量及对应价格,可以计算得到每个充换电站的耗电成本。假设电动公交车日耗电量为 $247.5 \text{ kW} \cdot \text{h}$,电动公交车日峰、谷、平电价时段耗电比例和电价如表3所示;运营人员工资参考广东地区薪酬状况确定,假设充电站运营业务需要5人,换电站运营需要7人,1人可负责2个电动汽车监控与智能调度系统,电动汽车监控与智能调度业务运营各项成本根据文献[22]确定。则单个电动公交车充电站和换电站的平均年运营成本如表4和表5所示。

表3 峰、平、谷时耗电比例及电价

Table 3 Time-of-power ratio and time-of-use

参数	充电站耗电比例/%	换电站耗电比例/%	电价/ [元·(kW·h) ⁻¹]
峰时	15	5	1.199 2
平时	25	15	0.912 0
谷时	60	80	0.337 6

从表4和表5可以看出,换电站年运营成本远高于充电站,但换电站服务单辆车的年运营成本略低于充电站,这是由于换电站服务车辆数目多于充电站服务车辆产生的结果。

3.2.3 电动公交车充换电站全生命周期收益核算

由前面分析可知,电动公交车充换电站的收益高低取决于收取的服务费水平,假设收取的服务费价格为 $1.0 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 时,贴现率取6%,则单个电动公交车充换电站全生命周期收益情况如表6所示(结果四舍五入取整)。

表4 充电站年运营成本

Table 4 Annual operating cost of charging station 万元

运营业务	成本项目	成本
充电站运营业务	耗电成本	110.3
	建筑设施维护成本	0.388
	充电设施维护成本	12
	运营人员成本	30.696
电动汽车监控与智能调度业务	耗电成本	1.781
	维护成本	0.8
	运营人员成本	3.069 6
充电站年运营成本		159.0
充电站服务单辆车的年运营成本		7.95

表5 换电站年运营成本

Table 5 Annual operating cost of swapping station 万元

运营业务	成本项目	成本
换电站运营业务	耗电成本	337.4
	建筑设施维护成本	0.388
	充电设施维护成本	90.4
	运营人员成本	42.974 4
电动汽车监控与智能调度业务	电池租赁成本	125.76
	耗电成本	1.781
	维护成本	0.8
	运营人员成本	3.069 6
换电站年运营成本		602.6
换电站服务单辆车的年运营成本		7.53

表6 电动公交车充换电站全生命周期收益

Table 6 Life cycle profit of electric vehicle charging /swapping station

类型	I_C	A_C	L_{COC}	A_I	L_{COI}	L_{DI}	L_{CP}
充电站	1 470	159	1 170	291	2 142	435	-63
换电站	5 610	603	4 435	1 060	7 802	930	-1 313

表6显示在收取的服务费价格为 $1.0 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 时,充电站全生命周期净效益为-63万元,而换电站全生命周期净效益为-2 849万元,在此服务费水平下,换电站亏损程度高于充电站。

3.3 灵敏度分析

本文研究数据基于文献调研和假设得到,考虑未来政策变化、技术升级等的影响,充电换电站收取的服务费水平、政府补贴比例和充电设施造价等可能发生变化,故需要对其进行灵敏度分析^[23]。

3.3.1 服务费水平对充换电站盈亏水平的影响

电动公交车充换电站的收益来自收取的充换电服务费,而单位电量服务费的高低决定了充换电站是否盈利。假设政府不提供补贴,充电设施价格如

3.2.1 节所述,则单个公交车充电站和换电站在不同服务费下全生命周期收益如图 2 和图 3 所示。

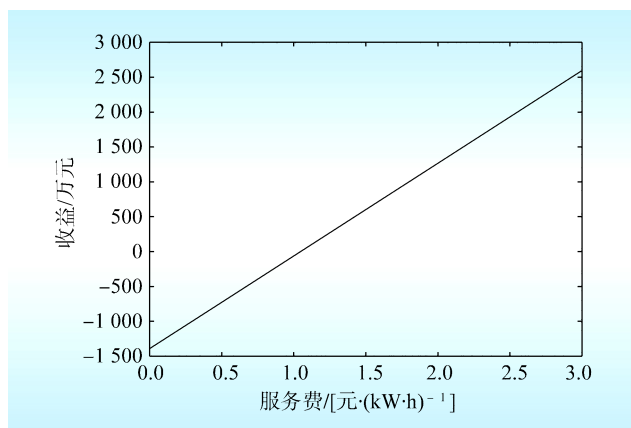


图 2 服务费水平对公交车充电站生命周期收益的影响
Fig. 2 Impact of charging tariff on life cycle profit of electric vehicle charging station

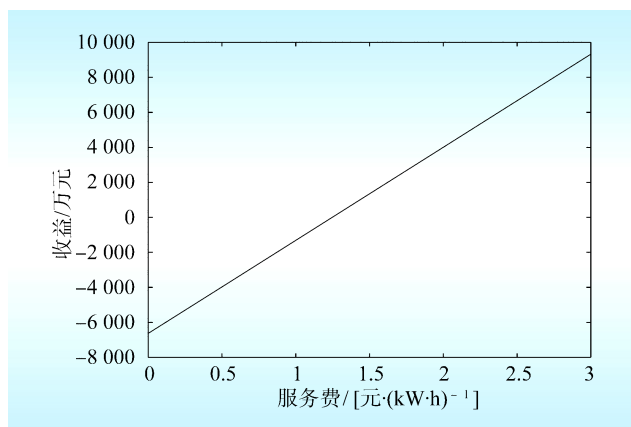


图 3 服务费水平对公交车换电站生命周期收益的影响
Fig. 3 Impact of swapping tariff on life cycle profit of electric vehicle swapping station

从图 2 和图 3 可以看出,在无政府补贴的情况下,当服务费价格约为 1.05 元/(kW·h) 时,电动公交车充电站盈亏平衡,而电动公交车换电站的服务费价格则需达到 1.25 元/(kW·h) 时才可以实现盈亏平衡。在本算例情景下,电动公交车换电站服务费盈亏平衡点高于充电站。燃油公交车(车长 12 m)每百 km 耗油 40 L,纯电动公交车的电耗约为 1(kW·h)/km。目前柴油的价格约在 5.7 元/L,每 km 燃油费成本约为 2.296 元,电价按表 3 电价加权平均,则充电站充电平均电价为 0.610 元/(kW·h),换电站换电平均电价为 0.467 元/(kW·h)。充换电站收取的服务费与电价之和低于燃油成本,电动公交车具有较明显的使用成本优势。

3.3.2 政府补贴对充换电站盈亏水平的影响

为推动电动汽车的发展,目前政府对充换电设施给予了一定的补贴。不同的补贴力度则会影响充换

电站的成本收益。假设政府对充换电设施提供补贴,补贴比例为 0~100%,则单个电动公交车充电站和换电站在不同政府补贴下全生命周期收益的服务费盈亏平衡点如图 4 和图 5 所示。

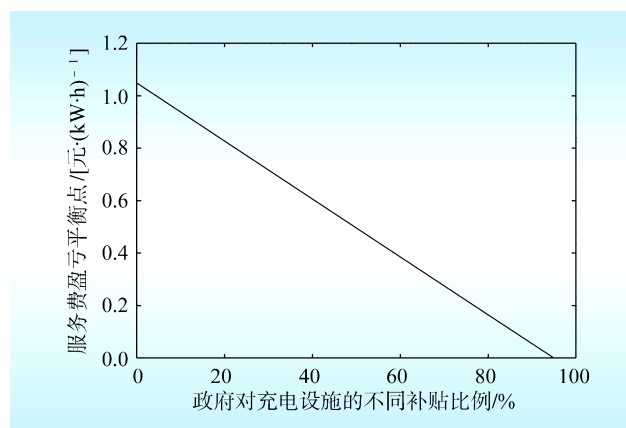


图 4 公交车充电站服务费盈亏平衡点与政府补贴的关系
Fig. 4 Relationship between zero-benefit point of electric vehicle charging station and government subsidy

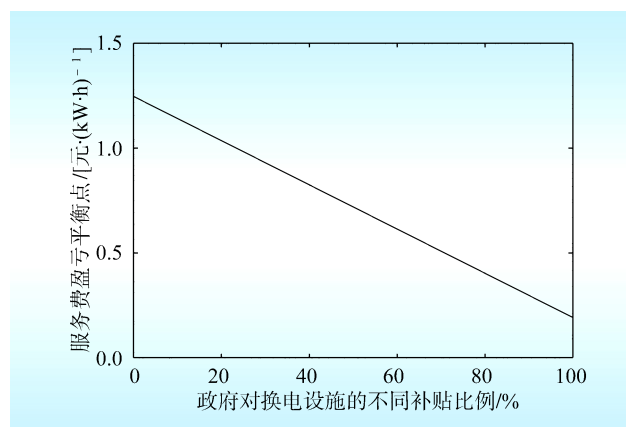


图 5 公交车换电站服务费盈亏平衡点与政府补贴的关系
Fig. 5 Relationship between zero-benefit point of electric vehicle swap station and government subsidy

从图 4 和图 5 可以看出,随着政府补贴比例的提高,电动公交车充换电站收取服务费盈亏平衡点降低。在本算例情景下,换电站服务费的盈亏平衡点始终高于充电站服务费的盈亏平衡点。由于电动公交车的使用成本低于燃油公交车,因此此处政府的补贴实际应考虑对购买电动公交车成本的平衡。

3.3.3 充电机造价对充换电站盈亏水平的影响

对于本算例,充电机购置成本占据充换电站初期投资成本的大部分,随着电动汽车产业规模不断扩大,受规模效益影响,充电机造价会逐年下降。假设政府不对充电设施提供补贴,充电机造价以现在为基准,降低 0~60% 时,单个电动公交车充电站和换电站在不同充电机造价下全生命周期收益的服务费盈亏平衡点如图 6 和图 7 所示。

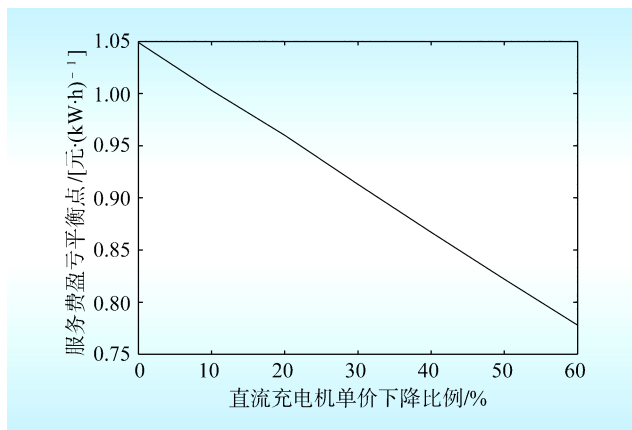


图6 电动公交车充电站服务费盈亏平衡点与充电机造价的关系

Fig. 6 Relationship between zero-benefit point of electric vehicle charging station and charging spot price

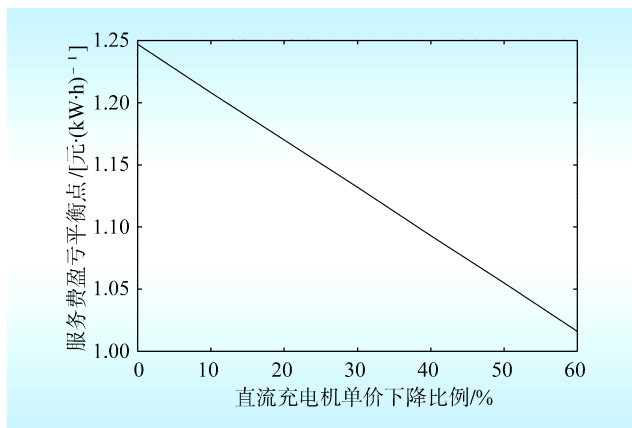


图7 电动公交车换电站服务费盈亏平衡点与充电机造价的关系

Fig. 7 Relationship between zero-benefit point of electric vehicle swapping station and charging spot price

从图6和图7可以看出,随着充电机造价的降低,电动公交车充电站收取服务费盈亏平衡点将进一步降低。在本算例情景下,换电站服务费的盈亏平衡点始终高于充电站服务费的盈亏平衡点。对比3.3.2节与3.3.3节知,政府补贴对充换电站盈亏水平的影响程度高于充电机造价对充换电站盈亏水平的影响。

4 结论

(1) 电动公交车换电站初期投资和年运营成本高于电动公交车充电站,因而电动公交车换电站服务费盈亏平衡点高于充电站。

(2) 在充换电站满负荷运行情景下,若充换电站服务费按其盈亏平衡点收取,则电动公交车的使用成本明显低于燃油公交车。

(3) 随着政府补贴比例的提高和充电机造价的

降低,电动公交车充换电站服务费的盈亏平衡点线性降低。其中,政府补贴对充换电站盈亏水平的影响程度高于充电机造价的影响。

5 参考文献

- [1] 刘卓然,陈健,林凯,等. 国内外电动汽车发展现状与趋势[J]. 电力建设, 2015, 36(7): 25-32.
LIU Zhuoran, CHEN Jian, LIN Kai, et al. Domestic and foreign present situation and the tendency of electric vehicles [J]. Electric Power Construction, 2015, 36(7): 25-32.
- [2] HANNISDAHL O H, MALVIK H V, WENSAAS G B. The future is electric! The EV revolution in Norway-explanations and lessons learned [C]//IEEE World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27) 2013: 1-13.
- [3] 鲁莽,周小兵,张维. 国内外电动汽车充电设施发展状况研究[J]. 华中电力, 2010, 5(23): 16-20.
LU Mang, ZHOU Xiaobing, ZHANG Wei. Research on development of charging facilities for electric vehicles at home and abroad [J]. Central China Electric Power, 2010, 5(23): 16-20.
- [4] 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): 36-45.
WU Chunyang, LI Canbing, DU Li, et al. A method for electric vehicle charging infrastructure planning [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(24): 36-45.
- [5] 高建平. 电动汽车充电站网络规划优化研究[D]. 济南: 山东大学, 2012.
GAO Jianping. Research on optimization planning of electric vehicle charging station network [D]. Jinan: Shandong University, 2012.
- [6] 王辉. 电动汽车充电站规划与运营研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
WANG Hui. Planning and operation of electric vehicle charging stations [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [7] 韩丰,宋毅,薛振宇. 适应电动汽车发展的配电网规划体系[J]. 电力建设, 2015, 36(7): 40-45.
HAN Feng, SONG Yi, XUE Zhenyu. Distribution network planning system adapted to electric vehicle development [J]. Electric Power Construction, 2015, 36(7): 40-45.
- [8] 杨俊,廖杰斌,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.
YANG Jun, LIAO Binjie, WANG Xiaolei, et al. Planning of charging facilities of electric vehicles based on geographical zonal charging demand coefficients [J]. Electric Power Construction, 2015, 36(7): 52-60.
- [9] 周逢权,连湛伟,王晓雷,等. 电动汽车充电站运营模式探析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 63-66.
ZHOU Fengquan, LIAN Zhanwei, WANG Xiaolei, et al. Discussion on operation mode to the electric vehicle charging station [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 63-66.
- [10] 代倩,段善旭,蔡涛,等. 电动汽车充换电站的成本效应模型及敏感性分析[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(24): 41-46.
DAI Qian, DUAN Shanxu, CAI Tao, et al. Cost-benefit model and its sensitivity analysis for battery charging and swapping station for electric vehicles [J]. Automation of Electric Power Systems,

- 2014, 38(24): 41-46.
- [11] 苗轶群, 江全元, 曹一家. 基于微电网的电动汽车换电站运营策略[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(15): 33-40.
MIAO Yiqun, JIANG Quanyuan, CAO Yijia. Operation strategy for battery swap station of electric vehicles based on microgrid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(15): 33-38.
- [12] 任玉琰, 李海峰, 孙睿, 等. 基于消费者视角的电动汽车全生命周期成本模型及分析[J]. 技术经济, 2009, 28(11): 54-58.
REN Yulong, LI Haifeng, SUN Rui, et al. Analysis on model of life cycle cost of electric vehicle based on consumer perspective[J]. Technology Economics, 2009, 28(11): 54-58.
- [13] LI Zhe, OUYANG Minggao. The pricing of charging for electric vehicles in China-Dilemma and solution[J]. Energy, 2011(36): 5765-5778.
- [14] LI Zhe, OUYANG Minggao. A win-win marginal rent analysis for operator and consumer under battery leasing mode in China electric vehicle market[J]. Energy, 2011(39): 3222-3237.
- [15] 高明侠. 新时期电动汽车成本控制问题研究[J]. 现代经济信息, 2012(13): 163-166.
- [16] 李哲, 卢兰光, 欧阳明高. 纯电动汽车市场化的成本障碍与产业发展对策[J]. 徐州师范大学学报: 哲学社会科学版, 2011, 37(1): 155-158.
LI Zhe, LU Languang, OUYANG Minggao. Cost barrier of pure electric vehicle marketization and development strategy[J]. Journal of Xuzhou Normal University: Philosophy and Social Science Edition, 2011, 37(1): 155-158.
- [17] 阳岳希. 电动公交充换电站的运营优化研究[D]. 北京: 清华大学, 2012.
YANG Yuexi. Research on optimal operation of battery swapping and charging station for electric bus[D]. Beijing: Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, 2012.
- [18] 张俊. 基于全生命周期成本(LCC)的变电站建设的决策分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
ZHANG Jun. Decision-making analyse of electrical substation's construction based on life cycle costs[D]. Chongqing: Chongqing University, 2007.
- [19] 罗汉武. 电动汽车灵活接入的充电设施需求预测、运行于能效评估方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2013.
LUO Hanwu. Study on the forecasting, operation and energy efficiency evaluation method for electric vehicle charging facilities[D]. Wuhan: Wuhan University, 2013.
- [20] 广州市2014-2020年电动汽车充换电服务设施规划(征求意见稿)[R]. 2014-09.
- [21] 湖南力源土地房地产估价咨询有限公司. 韶山市章公加油站建设项目申请报告[R]. 2010.
- [22] 广东电网中山供电局, 广东省电力设计研究院. 广东电网中山供电局电动汽车充换电模式评估报告[R]. 2012.
- [23] 沈又幸, 范艳霞. 基于动态成本模型的风电成本敏感性分析[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(2): 15-17, 20.
SHEN Youxing, FAN Yanxia. Sensitivity analysis of wind electricity costs based on dynamic cost model[J]. Power Demand Side Management, 2009, 11(2): 15-17, 20.
- 收稿日期: 2015-09-09
- 作者简介:
- 陈广开(1974), 男, 工程师, 主要研究方向为电力市场营销, 新能源应用;
- 曲大鹏(1983), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电力市场营销, 新能源应用;
- 胡晓静(1991), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统分析和优化技术;
- 张洪财(1990), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电动汽车与智能电网;
- 胡泽春(1979), 男, 博士, 副教授, 本文通信作者, 主要研究方向为智能电网、电力系统运行与规划;
- 王科(1983), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为大容量储能及微电网技术。
- (编辑 张媛媛)