

纯电动出租车经济效益与服务定价分析模型

王 宁, 符钢战, 李 赞, 龚在研

(同济大学 汽车学院, 上海 200092)

摘要: 在上海市现有传统出租车市场的基础上建立电动出租车的运营环境, 基于充电与换电模式、充电时间与换电频率、单日运营时间构建电动出租车 6 种运营模式, 利用电动汽车行驶质量与能耗回归模型, 界定车辆动力电池容量. 进而构建基于购置成本、使用成本、驾驶员工资、营业收入的全生命周期经济效益评价模型, 基于油价上涨、电价上涨、电池成本下降 3 种不同情景, 建立纯电动出租车的服务定价模型. 计算结果表明: 换电模式比充电模式盈利能力强; 燃油价格年均上涨 5% 以上的情景下, 电动出租车可以在 5 年与燃油出租车实现同等盈利; 电价上涨 10%, 电动出租车服务价格则需上涨 1%; 电池成本若能显著降低 50%, 电动出租车的服务价格将比燃油出租车低 7%.

关键词: 电动汽车; 出租车; 充电模式; 换电模式; 运营服务定价模型

中图分类号: F407.2

文献标志码: A

Economy Benefit and Business Operating Service Pricing Model of Electric Taxi

WANG Ning, FU Gangzhan, LI Yun, GONG Zaiyan

(College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Electric taxi was tested on the basis of the existing fuel oil taxi business model in Shanghai. The 6 kinds of operation model were structured based on battery charging and leasing model, charging time and swapping frequencies, and daily operation time. The energy consumption regression model based on the electric taxi driving quality was used to define vehicle power battery capacity of 6 different models. The whole lifecycle evaluation model of economy benefit was made with a consideration of purchase cost, usage cost, driver salary, and business revenue. Three scenarios were defined including gasoline price increasing, electric power increasing, and battery cost decreasing. The business operation service pricing model of electric taxi was made based on previous 6

models and three scenarios. The results show that the profitability of battery swapping model is higher than that of the charging model. With annually increasing of 5% of the gasoline price, the electric taxi will get the same profit with fuel oil taxi in 5 years. With annually increasing of 10% of the electric power price, the business operation service price of electric taxi will rise by 1%. When battery cost decreases by 50%, the business operation service price of electric taxi will be 7% lower than the fuel oil taxi.

Key words: electric vehicle; taxi; charging model; battery swapping model; business operation service pricing model

2011 年, 中国依然保持全球汽车产销第一大国的地位, Wang 预测中国汽车市场销量在 2020 年将达到 3 000 万辆^[1], 并认为这种增长的趋势会持续很长一段时间, 由此带来的石油需求及温室气体排放将对经济与社会的发展带来严峻的挑战. 电动汽车因其具备良好的节能减排效益得到企业和社会的高度重视^[2-3]. Christian^[4] 比较了在不同行驶里程和汽油价格下, 纯电动车和相同等级的汽油车的全生命周期成本, 结果表明, 电动汽车的全生命周期拥有成本目前并不占优. Schroeder^[5] 研究了电动汽车的基础设施运营成本, 发现当前电动汽车基础设施盈利较为困难. Roche^[6] 对新能源汽车的公众态度和需求进行了定量调研分析, 得出私人用户最关注的产品特性就是车辆的购置和使用成本. Lieven^[7] 研究认为, 出租车的购买者中有 15.4% 可能选择电动出租车, 高于其他使用情况. 电动汽车的技术经济分析主要涉及生产技术成本、实际工况能耗成本、车辆运行经济性, 而系统考虑购置成本、使用成本的全生命周期分析方法是必然的趋势, 但目前还缺乏深入的研究^[8-10]. 比亚迪公司总裁王传福^[11] 曾表示 1 台出租车的耗油量和污染物排放相当于 10 台私家车, 因此

收稿日期: 2012-07-09

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2011AA11A287), 上海市科技发展基金软科学研究重点项目(13692103600)

第一作者: 王 宁(1977—), 男, 管理学博士, 副教授. 主要研究方向为消费者行为与新能源汽车产业化. E-mail: wangning@tongji.edu.cn

通讯作者: 符钢战(1958—), 男, 经济学博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为新能源汽车产业化. E-mail: fgz@tongji.edu.cn

电动出租车的使用对城市节能减排意义重大,其创新的商业模式对电动汽车的产业化发展具有重要的参考意义。

1 电动汽车供电模式

1.1 充电模式

充电模式是目前最简单、最普遍的电动汽车供电模式。充电模式的主要缺点是耗时较长。电动汽车使用 220 V 电源充电通常需要 6~10 h,使用 380 V 电源充电通常需要 3~4 h,明显长于传统汽车加油的 3~5 min。目前,也有快速充电技术可以在约 20~30 min 时间内将电池充至 50%~80%电量^[12]。

1.2 换电模式

换电模式的电池所有权通常归属于换电站或电力公司,消费者不购买电池,只支付电池充电、折旧等成本。根据笔者对杭州市电动出租车的实地调查,一次手工换电过程仅需要约 3 min。而据报道,Better Place 公司的自动化换电设备可以在 1 min 内完成换电^[13]。

2 上海市出租车运营需求

2.1 运营现状

上海市出租车以桑塔纳车型为主,占到所有出租车的 90%以上。2010 年上海市共拥有出租车 50 007 辆,总运营里程 64.85 亿 km,营业里程 39.79 亿 km,营业收入共 154.72 亿元^[14]。上海市出租车空载率 38.6%,每辆出租车平均每天行驶 355.3 km,营业 218.0 km,营业收入 3.89 元·km⁻¹。司机的工作日平均营运时间为 18.5 h,平均每月纯收入约 6 000 元^[15-16]。假设每位司机每月工作 15 d,共 277.5 h,则其收入相当于 21.6 元·h⁻¹。假设车辆每天出勤率为 99%,则车辆平均车速 19.4 km·h⁻¹。根据以上分析,对电动出租车的运营做出如下假设:①平均车速为 19.5 km·h⁻¹;②电动出租车因充换电频繁,空载率略高于传统车,为 40%;③营业里程收入为 3.9 元·km⁻¹;④每天运营时间不少于 14 h,超过 18.5 h;⑤电动出租车司机收入为 21.5 元·h⁻¹。

2.2 充电模式出租车

电动出租车充电时选择 380 V 电源充电,单次充电时间设为 3.5 h。出租车在使用充电模式的情况下,可选择两种充电时间方案:①是选用大容量电

池,在夜间充电,白天连续行驶 14~18.5 h。②是选用中等容量电池,每天在夜间和下午各充电 1 次,每次充电后行驶 7~8.5 h。

为满足方案①和②中的充电时间安排,则出租车一次充电需行驶 273~361 km 和 137~166 km。按照续驶里程较实际需求多出 10%计算,两种方案中续驶里程应为 300 和 398 km、150 和 183 km。所对应的出租车模型分别为:Taxi Charging 300 (TC300)、Taxi Charging 398 (TC398)、Taxi Charging 150 (TC150)、Taxi Charging 183 (TC183)。

2.3 换电模式出租车

换电模式下,不太适合安装容量和尺寸过大的电池,因此选择续驶里程为 100 和 150 km 的两种电动出租车进行对比分析,分别记为 Taxi Swap 100 (TS100)、Taxi Swap 150 (TS150)。考虑到车辆进出站的时间,每次换电耗时按 5 min 计算。

TS100 和 TS150 的单次换电实际行驶里程为 91 km 和 136 km,分别对应运营时间 4.67 h 和 6.97 h。按一天运营 18.5 h,则 TS100 和 TS150 每天平均需要换电 3.9 次和 2.6 次。

3 车型选择及能耗分析

3.1 整车结构模型及基本参数

由于上海市目前还没有纯电动汽车大规模运营,所以本文 TC300、TC398、TC150、TC183、TS100、TS150 六种出租车都借鉴杭州市已经实际运营的海马纯电动出租车,基于 ADVISOR 仿真软件进行经济性仿真建模,整车基本参数如下:长×宽×高为 4 384 mm×1 718 mm×1 579 mm,轴距 2 670 mm,整备质量 1 320 kg,风阻系数 0.35,迎风面积 2.3 m²,滚动阻力系数 0.02,最高车速 110 km·h⁻¹,装载质量 150 kg。

3.2 驱动电机模块的确定

利用汽车理论^[17]计算分析,最终选择永磁无刷电机 MC_PM33,如图 1 所示。其参数:最大电流 295 A,最低工作电压 85 V,最大功率 33 kW,最大扭矩 80 N·m,最高转速 6 000 r·min⁻¹,过载系数 1,质量 70 kg。

3.3 动力电池模块及行驶质量的确定

TC300、TC398、TC150、TC183、TS100、TS150 六种出租车续驶里程和电池容量不同,导致整备质量和行驶能耗不同。

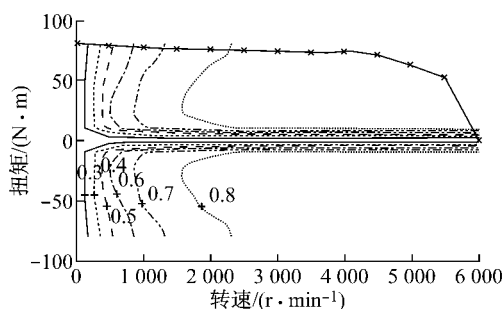


图1 永磁无刷电机 MC_PM33 特征图

Fig.1 Permanent magnet MC_PM33 feature map

(1) 选择单体电池

动力电池模块选择中主要需要考虑电池的类型,电池模块的数量以及电池组的容量.本文在仿真中基于海马普力马的实际电池参数,构建锂电池模型进行模拟,其单体参数如下:额定电压 3.2 V,最低电压 2.6 V,最高电压 3.3 V,比能量 $107 \text{ Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$,质量 0.45 kg,容量 15 Ah.

(2) 电动出租车行驶质量和能耗关系

基于 CYC_ECE_EUDC_LOW 工况,通过在 ADVISOR 中对不同质量加载的车辆模型进行能耗仿真计算,得到能耗与行驶质量的关系的散点图,进行线性拟合后得出:

$$E = 0.0106M + 7.1223 \quad (1)$$

式中: E 为能耗, $\text{kWh} \cdot 10^{-2} \text{ km}^{-1}$; M 为行驶质量, kg. 拟合度 R^2 达到 0.9996,说明能耗与质量的关系具有很强的线性相关性,如图 2 所示.

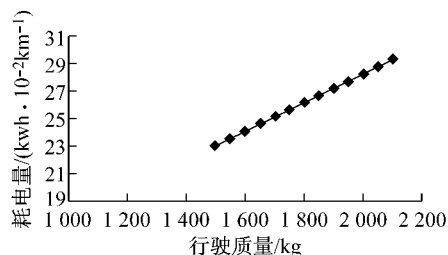


图2 电动出租车行驶质量和耗电量关系图

Fig.2 Electric taxi riding quality and power consumption relation

(3) 计算各出租车所需电池的容量

建立续航里程、电池容量、能耗、行驶质量之间的方程:

$$R = 100Q/E \quad (2)$$

$$M = 1320 + 150 + (180/19.2)Q \quad (3)$$

式(2)~(3)中: R 为续航里程, km; Q 为电池容量, kWh. 联立方程(1)~(3),解得:

$$E = 228.47(10.06 - R/100)^{-1} \quad (4)$$

根据式(2)~(4),得到 TC300、TC398、TC150、

TC183、TS100、TS150 六种类型出租车耗电量为: 32.35, 37.56, 26.68, 27.75, 25.21, 26.68 $\text{kWh} \cdot 10^{-2} \text{ km}^{-1}$; 电池容量为: 97.04, 149.49, 40.02, 50.78, 25.21, 40.02 kWh; 电池质量为: 909.79, 1401.44, 375.21, 476.10, 236.34, 375.21 kg; 行驶质量为: 2379.79, 2871.44, 1845.21, 1946.10, 1706.34, 1845.21 kg.

4 经济效益分析

4.1 经济成本构成

从运营企业而言,电动出租车的拥有成本包括购置成本和使用成本.其中购置成本是固定成本,而使用成本是随着车辆运营年限变动的成本.由此得出出租车第 i 年的拥有总成本和盈利能力如式(5)和式(6)所示:

$$C_{oi} = C_p + C_t + (C_e + C_m) \cdot i \quad (5)$$

式中: C_{oi} 表示拥有成本; C_p 表示购置成本; C_t 表示税费; C_e 表示能耗成本; C_m 表示维护成本.

$$C_{bi} = C_{oi} + (C_d - C_s) \cdot i \quad (6)$$

式中: C_{bi} 表示盈利能力; 小于 0 则代表开始盈利; C_d 表示司机的工资; C_s 表示营业收入.

(1) 购置成本

换电模式中 TS100 及 TS150 价格即为杭州市普力马纯电动汽车的裸车价格(不含电池)136 000 元,充电出租车则按式(7)计算:

$$C_p = 136000 - 10000 + Q \cdot P_b \quad (7)$$

式中: P_b 为电池单位容量成本,按目前国内市场价格 4 000 元 $\cdot (\text{kWh})^{-1}$ 计算^[18]. 式(7)中减去的 10 000 元为换电模式电动汽车上固定安装电池的系统的成本.由此计算得出 TC300、TC398、TC150、TC183、TS100、TS150 的购置成本分别为: 514 176.36, 723 947.81, 286 088.92, 329 137.05, 136 000.00, 136 000.00 元. 传统燃油出租车 Taxi Gasoline(TG)购置成本为 89 800 元.

(2) 政府税收

从国内税收政策上看,目前购车者需要直接支付的是购置税,不包括增值税税款.目前还没有针对纯电动汽车的购置税优惠.由此可以通过式(8)计算 C_t .

$$C_t = (C_p/1.17) \times 10\% \quad (8)$$

由此计算得出 TC300、TC398、TC150、TC183、TS100、TS150 的购置税分别为: 43 946.70, 61 875.88, 24 452.04, 28 131.37, 11 623.93,

11 623.93 元。

(3) 能耗成本

由于上海尚没有面向单位及个人开放的充电设施,因此充电模式出租车的充电价格参考武汉市三角湖充电站的价格 $0.945 \text{ 元} \cdot (\text{kWh})^{-1}$ (由于深圳和杭州虽然也制定了相应的充电价格体系,但作者实地调查没有进行实际的费用结算,所以没有选择这两个城市的价格标准),TC300、TC398、TC150、TC183 每年的能耗成本为

$$C_e = 0.945(E/100) \cdot 0.9R \cdot i_c \cdot 360 \quad (9)$$

式中: i_c 为每天的充电次数;对 TC300、TC398, $i_c = 1$;对 TC150、TC183, $i_c = 2$;车辆每年行驶 360 d。

对于采用换电模式的出租车,能耗成本分为三部分:①是电池的充电成本;②是换电站的建设及运营成本;③是电池的折旧成本。换电站对于电池采用大规模集中、慢速充电,充电时间以夜间波谷为主,因此成本较低,因此电池充电成本按照上海民用电价的 125% 计算,即 $0.771 \text{ 元} \cdot (\text{kWh})^{-1}$ 。换电站建设及运营成本按照每次换电 3 元计算,TS100 及 TS150 每年的能耗成本为

$$C_e = [(0.771 + P_b/n_b)(E/100 + 3/0.9R) \cdot 0.9R \cdot i_s \cdot 360 \quad (10)$$

式中: n_b 为动力电池的循环寿命,按 2 000 次计算; i_s 为每天的换电次数,对 TS100, $i_s = 3.9$;对 TS150, $i_s = 2.6$;车辆每年行驶 360 d。由此计算得出 TC300、TC398、TC150、TC183、TS100、TS150 的百公里耗电量分别为:32.35,37.56,26.68,27.75,25.21,26.68 kWh;能耗成本分别为:29 714.77,45 770.48,24 506.65,31 097.17,88 271.19,93 418.30,90 524.30 元。按油价格为 $7.8 \text{ 元} \cdot \text{L}^{-1}$,油耗 $9 \text{ L} \cdot 10^{-2} \cdot \text{km}^{-1}$ 计算,传统出租车(taxi gasoline, TG)的能耗成本为 90 524.3 元。

(4) 维护成本

维护费用方面主要包括:车辆维护保养费用、车辆维修费等。根据杭州电动出租调查,纯电动汽车年检保养费用约为 $6.16 \text{ 元} \cdot 10^{-2} \text{ km}^{-1}$,TG 的维修保养主要是更换机油,清洗油路,动力系统等维护保养,费用为 $14 \text{ 元} \cdot 10^{-2} \text{ km}^{-1}$ [19]。

对于充电模式的出租车,维护保养成本还要包括电池的更换。由于电池的更换不是一个连续的过程,从而导致维护成本呈现“阶梯状”,难以进行彼此间对比,因此这里将更换成本替换为均匀的电池折旧成本。TC300、TC398、TC150、TC183 每年的维护成本为

$$C_m = [6.16/100 + Q \cdot P_b/(R \cdot n_b)] \cdot 0.9R \cdot i_c \cdot 360 - (Q \cdot P_b/N) \quad (11)$$

式中: N 为出租车的使用年限,为 5 年。

对于换电模式出租车,TS100 及 TS150 每年的维护成本为

$$C_m = 6.16/100 \cdot 0.9R \cdot i_s \cdot 360 \quad (12)$$

由此计算得出 TC300、TC398、TC150、TC183、TS100、TS150、TG 的每年维护保养成本分别为: -1 775.53, -4 015.96, 31 602.23, 39 806.93, 7 784.78, 18 053 元。其中电池折旧为负数的代表车辆在使用 5 年报废之后原配电池依然可以继续使用,数值去掉负号即代表电池残值向每年的均摊价值。另外,每辆车每年的各类保险费用按照 2 500 元计算。

(5) 司机工资

各类出租车每年的司机工资为

$$C_d = 21.5 \cdot t \cdot 360 \quad (13)$$

式中: t 为每辆出租车每天行驶的时间, h。由此计算得出 TC300、TC398、TC150、TC183、TS100、TS150、TG 的日运营时间分别为:14, 18.5, 14, 17, 18.5, 18.5, 18.5 h;年行驶里程分别为:97 200, 128 952, 97 200, 118 584, 126 360, 126 360, 128 952 km;年司机工资分别为:108 360, 143 190, 108 360, 131 580, 143 190, 143 190, 143 190 元。

(6) 营业收入

出租车营业里程收入 $3.9 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$,电动出租车空载率 40%,则各类出租车每年的营业收入为

$$C_s = 3.9 \cdot (1 - 40\%) \cdot 0.9R \cdot i_c \cdot 360 \quad (14)$$

式中:对于充电出租车,取 i_c ;对于换电出租车,以 i_s 代替 i_c 。由此得出 TC300、TC398、TC150、TC183、TS100、TS150、TG 年营业收入分别为:227 448, 301 747.68, 227 448.00, 277 486.56, 295 682.40, 295 682.40, 301 747.68 元。

4.2 盈利能力分析

通过式(5)~(14),可解得每一年不同类型电动出租的拥有成本和盈利能力 C_Y 如图 3 所示。

TC398 虽然一天可持续运营 18.5 h,日营业里程最长,但过高的购置价格和能耗依然无法使其拥有总成本的优势。TC300 可持续运营一天,但由于其日运营里程较短,因此运营 5 年后,相对于其他车型同样没有总成本优势。TC398 和 TC300 在 5 年内都无法实现盈利,只有超年限运营至第 6 年才能实现盈利。

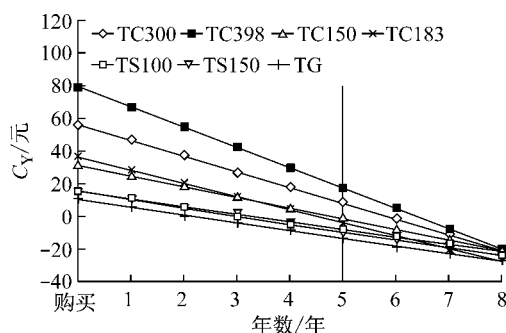


图 3 各类出租车盈利能力

Fig.3 Profitability of different taxis

TC183 拥有合理的购置价格、合理的能耗、较长的日运营里程。TC150 虽然购置价格和能耗较 TC183 更低,但由于其日运营里程较短,二者都能够在 5 年内实现少量盈利,分别为 1.8 和 3.9 万元。

TS100 和 TS150 虽然换电成本较高,但凭借着最低的购置成本、最长的日运营里程,在第 3 年即可实现盈利,5 年内可实现 8~10 万元的盈利。续驶里程较短的 TS100 的盈利能力略强于 TS150。

TG 作为目前所普遍使用的传统出租车,可以在第 2 年开始实现盈利,较各类电动出租车都拥有一定的优势。

5 出租车服务定价模型

根据第 4 节分析,电动出租车在当前情景下的盈利能力都不及传统出租车。为使电动出租车能够拥有和传统出租车相同的盈利能力,可以采取三种解决方案:①是调整出租车的运营服务价格,使其高于传统出租车的平均价格 $3.9 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$;②是降低电动出租车的电池成本,使其购置成本和维护成本更加低廉;③是建立不同的油价和电价变化情景,使得传统出租车的能耗成本提高,电动出租车的成本劣势随之降低。

以电动出租车与传统出租车 5 年内实现相同盈利为目标,在不同电价和电池成本的情景下,建立以油价年均增长率为自变量的出租车服务定价模型。服务定价越低,就代表这种车型的竞争力和盈利能力越强。

TG 运营 5 年盈利 C_{b5TG} ,则对于电动出租车,运营 5 年的盈利能力 C_{b5} 为

$$C_{b5} = C_{b5TG} \quad (15)$$

$$C_s = P_s \cdot (1 - 40\%) \cdot 0.9R \cdot i_c \cdot 360 \quad (16)$$

式中: P_s 为出租车服务定价, $\text{元} \cdot \text{km}^{-1}$; 对于充电出租车,取 i_c ; 对于换电出租车,以 i_s 代替 i_c 。

通过式(6)、(15)、(16)可解得各类电动出租车的服务定价 P_s 。若不让消费者承担额外的服务费用,则政府应对较传统出租车平均收入 $3.9 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$ 多出的部分提供补贴。

$$S = \begin{cases} P_s - 3.9, & P_s > 3.9 \\ 0, & P_s \leq 3.9 \end{cases} \quad (17)$$

式中: S 为出租车运营的政府补贴, $\text{元} \cdot \text{km}^{-1}$ 。

5.1 当前情景

电价、油价和电池成本保持不变,各类电动出租车与 TG 运营 5 年实现相同盈利,则其服务价格 P_F 必须上涨,如图 4 所示。TC300 和 TC398 的价格需上涨至 4.65 和 $4.68 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$, TC150 和 TC183 的价格需上涨至 4.31 和 $4.18 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$, TS100 和 TS150 的价格需上涨至 4.00 和 $4.05 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$ 。

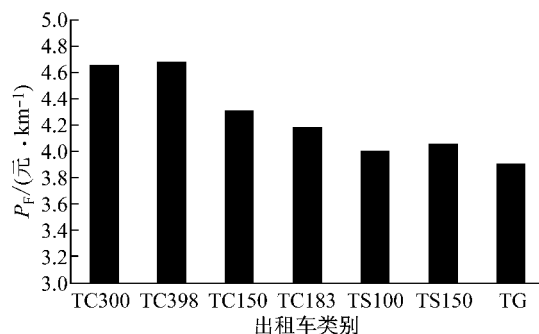


图 4 各类出租车基本情景服务定价

Fig.4 Different taxis service pricing
(basic scenario)

5.2 油价上涨情景

根据统计,15 年来国内汽油年均上涨幅度为 9.7% 。若未来 5 年内油价年均上涨 10% ,则各类电动出租车的服务价格可以适当下调 $0.3 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$ 左右。油价上涨速度不同,各电动出租的市场竞争力有不同的提高,如图 5 所示。

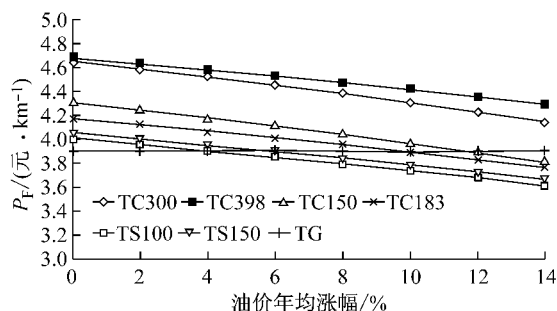


图 5 各类出租车服务价格(油价上涨情景)

Fig.5 Different taxis service pricing
(gasoline price rising up)

5.3 电价上涨情景

电价每上涨 10% ,服务价格则要上涨约 0.7%

~1%,如图6所示。

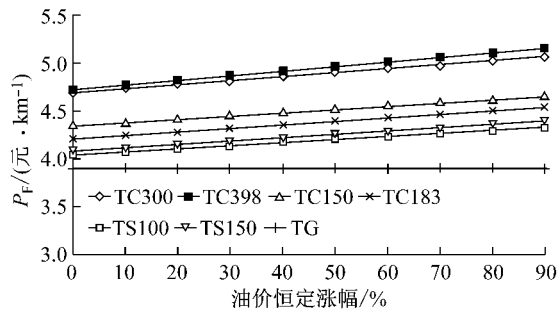


图6 各类出租车服务价格(电价上涨情景)

Fig.6 Different taxis service pricing
(power price rising up)

5.4 电池成本下降情景

若电池成本可以降低50%,则各类电动出租车的服务定价都可以显著降低,如图7所示。其中,即使在油价不上涨的情况下,TS100和TS150的服务定价可以低至3.6元·km⁻¹,在没有补贴的情况下也能够拥有比TG更低的价格,竞争力极强。而TC150和TC183的服务定价略高于TS100和TS150,但仍低于TG,拥有较强的竞争力。TC300和TC398与TG相比劣势也并不明显。

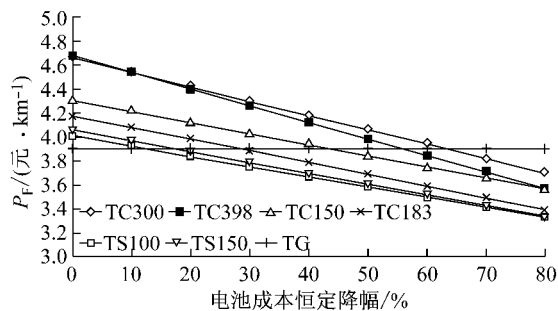


图7 各类出租车服务价格(电池成本下降情景)

Fig.7 Different electric taxi service pricing
(battery price decreasing)

若电动出租车服务定价高出的部分由政府提供补贴,则这6种电动出租车应按照营业里程获得的补贴额见表1。

6 结论

本文以上海市的实际情况出发,为电动出租车建立6种运营模式,构建了与传统出租车运营5年实现同样盈利为目标的服务定价模型。通过对比各类出租车的服务定价水平,得出以下结论:

(1)当前情景下各种充换电模式出租车的服务定价都高于传统出租车,在没有政府补贴的情况下基本上没有市场竞争力。

表1 电动出租车按照运营里程获得的政府补贴额

Tab.1 Government subsidies of different taxis

情景	油价年均涨幅/%	政府补贴额/(元·km ⁻¹)					
		TC300	TC398	TC150	TC183	TS100	TS150
当前情景	0	0.75	0.78	0.41	0.28	0.10	0.15
	2	0.69	0.73	0.35	0.22	0.05	0.10
	4	0.62	0.68	0.28	0.17	0	0.05
	6	0.56	0.63	0.21	0.11	0	0
	8	0.48	0.57	0.14	0.06	0	0
	10	0.41	0.52	0.07	0	0	0
	12	0.33	0.46	0	0	0	0
	14	0.25	0.40	0	0	0	0
情景	电价恒定涨幅/%	政府补贴额/(元·km ⁻¹)					
		TC300	TC398	TC150	TC183	TS100	TS150
电价上涨情景	10	0.80	0.82	0.44	0.31	0.14	0.19
	20	0.84	0.87	0.48	0.35	0.17	0.22
	30	0.88	0.92	0.51	0.38	0.20	0.25
	40	0.92	0.97	0.55	0.42	0.23	0.29
	50	0.96	1.02	0.58	0.45	0.26	0.32
	60	1.00	1.07	0.61	0.49	0.30	0.36
	70	1.04	1.11	0.65	0.53	0.33	0.39
	80	1.09	1.16	0.68	0.56	0.36	0.43
	90	1.13	1.21	0.72	0.60	0.39	0.46
	100	1.17	1.26	0.75	0.63	0.43	0.49
情景	电池成本恒定降幅/%	政府补贴额/(元·km ⁻¹)					
		TC300	TC398	TC150	TC183	TS100	TS150
	0	0.75	0.78	0.41	0.28	0.10	0.15
	10	0.63	0.64	0.32	0.18	0.02	0.06
	20	0.52	0.50	0.22	0.08	0	0
	30	0.40	0.36	0.13	0	0	0
	40	0.28	0.22	0.03	0	0	0
	50	0.16	0.08	0	0	0	0
	60	0.04	0	0	0	0	0
	70	0	0	0	0	0	0

(2)续驶里程特别长、可以连续运营一整天的车电动出租车由于购置价格过高、能耗过高,在各种情景下都不具备经济性,不建议选择。

(3)充电模式下,每天充电2次、续驶里程中等的电动出租车具备相对较低的服务定价(比续驶里程特别长的电动出租车低约8%)。其中,续驶里程相对较长的车型由于日运营里程较长,可以实现更低的服务定价,但其购置价格也较高,初期投入较大。

(4)不考虑换电模式的技术实现问题前提下,换电模式出租车拥有最低的服务定价(比续驶里程特别长的电动出租车低约13%)。其购置成本低、初期投入少,盈利能力强,能够被多数出租车运营企业所接受。同时,换电成本较高的劣势在5年的生命周期中不会显现出来。而续驶里程较短的车型由于质量轻、能耗低,经济性表现更佳。

(5)电池成本对电动出租车的盈利能力和服务定价影响很大。若电池成本下降50%,换电模式出租车将实现比传统燃油出租车更低的服务定价。油价

上涨对电动出租车的定价将带来较为明显的积极影响,而电价上涨对其造成的负面影响相对较小。

综上所述,从盈利能力和服务定价角度分析,换电模式是上海市车电动出租车的最理想选择。在当前电池成本较高的情况下,可适当减少换电模式出租车的续驶里程,以降低成本,提高盈利能力。而随着电池价格的降低,换电模式出租车则应当适当增加续驶里程,这样可以在经济性基本不受影响的前提下,提高运营的灵活性。

参考文献:

- [1] Wang Yunshi, Teter J, Sperling D. China's soaring vehicle population: even greater than forecasted? [J]. *Energy Policy*, 2011, 39:3296.
- [2] Granovskii M, Dincer I, Rosen A M. Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles [J]. *Journal of Power Sources*, 2006, 159: 1186.
- [3] Hoyer G K. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars [J]. *Utilities Policy*, 2008 (16): 63.
- [4] Christian T, Adolfo P, Arnaud M. Cost and CO₂ aspects of future vehicle options in Europe under new energy policy scenarios[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(11): 7142.
- [5] Schroeder A, Traber T. The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles [J]. *Energy Policy*, 2012, 43(C):136.
- [6] Roche Y M, Mourato S, Fishedick M. Public attitudes towards and demand for hydrogen and fuel cell vehicles: a review of the evidence and methodological implications [J]. *Energy Policy*, 2010, 38(10):5301.
- [7] Lieven T, Mühlmeier S, Henkel S, et al. Who will buy electric cars? an empirical study in Germany [J]. *Transportation Research Part D*, 2011(16): 236.
- [8] 孙逢春,王震坡,孙立清. 电动汽车技术经济分析与研究 [C]//中国电动汽车研究与开发会议. 北京:中国电工技术学会, 2002:1-6.
SUN Fengchun, WANG Zhenpo, SUN Liqing. Technique economy analysis and research of electric vehicle[C]// R&D Meeting of China Electric Vehicle. Beijing: China Electrotechnical Society, 2002:1-6.
- [9] Simpson A. Cost-benefit analysis of plug-in hybrid electric vehicle technology [C]//22nd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition(EVS-22). Yokohama: Japan Automobile Research Institute, 2006: 1-11.
- [10] Thiel C, Perujo A, Mercier A. Cost and CO₂ aspects of future vehicle options in Europe under new energy policy scenarios [J]. *Energy Policy*, 2010(38): 7142.
- [11] 王传福. 梦想继续激荡[J]. *汽车商业评论*, 2011(12): 72.
WANG Chuanfu. Dream continue to agitate[J]. *Automotive Business Review*, 2011(12): 72.
- [12] 燕来荣. 快速充电为电动汽车铺路搭桥带来新商机[J]. *交通与运输*, 2011, 27(2):42.
YAN Lairong. New business opportunity brought by fast charging for electric development [J]. *Traffic and Transportation*, 2011, 27(2) :42.
- [13] 冯一萌. Better place: 电动车运营商? [J]. *IT 经理世界*, 2012(3): 36.
FENG Yimeng. Better place: the operator of electric vehicle? [J]. *IT Manager World*, 2012(3): 36.
- [14] 王志雄, 马俊贤. 上海统计年鉴 2011[M]. 上海: 中国统计出版社, 2011.
WANG Zhixiong, MA Junxian. Shanghai statistical yearbook 2011[M]. Shanghai: China Statistics Press, 2011.
- [15] 翟英英. 博弈论视角下河北省出租车市场的均衡分析[D]. 保定: 河北大学, 2009.
ZHAI Yingying. Equilibrium analysis of hebei province taxi market based game theory[D]. Baoding: Hebei University, 2009.
- [16] 上海体育学院. 上海出租车司机压力因素来源及缓解对策研究[R]. 上海:上海体育学院, 2011.
Shanghai University of Sport. The pressure factors source of Shanghai taxi drivers and relief strategy study[R]. Shanghai: Shanghai University of Sport, 2011.
- [17] 余志生. 汽车理论[M]. 4 版. 北京:机械工业出版社, 2008.
YU Zhisheng. Automotive theory[M]. 4th ed. Beijing: China Machine Press, 2008.
- [18] Kalhammer F R. Status and prospects for zero emissions vehicle technology [R]. [S. l.]: ARB Independent Expert Panel, 2007.
- [19] 赵洁. 基于 Advisor 建模的插电式混合动力汽车消费者拥有成本分析[D]. 上海:同济大学, 2010.
ZHAO Jie. Analysis of customer total ownership cost of plug-in vehicle based on ADVISOR simulation [D]. Shanghai: Tongji University, 2010.