

基于两种商业模式的动力电池运营价格测算及对比分析^①

孙丙香^② 姜久春 牛军龙 牛利勇 龚敏明

(北京交通大学电气工程学院 北京 100044)

摘 要 以裸车销售、电池租赁方案为背景,以北京市 8 吨纯电动环卫车数据为基础,以 4 年为一个电池应用周期,在充电站运营商同时开展电池租赁的一体化模式和充电站运营商与专业电池租赁公司各自运营的分立模式两种条件下,开展了电池运营价格的测算及对比。分析了内部收益率法、成本加成定价法和年金法的计算原理;在运营商盈亏平衡的前提下,分含充电基础设施建设费用和不含充电基础设施建设费用两种情况,测算和对比了单辆电动汽车 4 年期内总的运营费用及其组成;在国家补贴与地方补贴分别为 1:0, 1:0.5 和 1:1 的条件下,计算了用户的运营成本;给出了两种商业模式下电池运营价格随年运营里程的变化曲线,分析了实际运营里程下用户的最优付款方式;最后,给出了电动汽车产业发展建议。

关键词 动力电池, 商业模式, 租赁, 内部收益率, 年金, 成本加成定价

0 引言

发展电动汽车是有效缓解能源和环境压力,推动汽车产业可持续发展的战略举措^[1]。当前动力电池成本较高,用户直接购买整车要承担较大的资金压力和不确定性风险。因此,在产业化初期,电池租赁是一种值得探索的模式。电池租赁能够有效地降低用户的使用风险和初期购置成本^[2],而且,由于电池租赁企业负责电池采购、统一管理、性能维护、梯次利用和回收等,电池应用链会快速形成。在裸车销售、电池租赁模式下,电池运营价格测算是整个商业模式的重要环节。目前,由于电动汽车还处于起步阶段,电池租赁模式还处于探索期,加之涉及多学科、多领域的知识,与商业模式对应的电池运营价格测算也无成熟方法借鉴。针对充电站运营商同时为电池租赁商的一体化模式,文献[3]和文献[4]已对电池运营价格进行了测算。但是针对充电站和电池租赁单独运营的分立模式,有诸多问题仍未得到定量分析,例如,电池运营价格如何测算,其中充电价格和电池租赁价格的组成比例是多少;与国家补贴相比,地方补贴该配套多少;电动汽车与传统汽车的运营差价是多少;以某一预期里程定价的条件

下,随着车辆实际运营里程的不同,用户支付成本有何不同;该用哪种付款方式更有利。本文针对上述问题进行深入研究。为便于阅读本文,需明确:电池租赁产品是指整套电池系统,包括动力电池组、电池箱和电池管理系统;电池租赁项目期选取 4 年,即一个电池车用周期;动力电池运营价格含充电价格和电池租赁价格。

1 裸车销售、电池租赁模式下的两种商业模式

本文讨论的是在裸车销售、电池租赁模式下的两种商业模式。第一种是充电站运营商同时运营电池租赁的一体化模式(如图 1 所示),本文采用内部收益率法测算电池运营价格。第二种是充电站和电池租赁由不同企业运营的分立模式(如图 2 所示),本文采用成本加成定价法和年金法测算电池运营价格。其中,电池租赁产品依据整车厂的要求,由电池厂家将动力电池组、电池箱和电池管理系统集成,整套产品由电池租赁企业购买后租赁给用户,国家和地方补贴全部补给用户,图 1 和图 2 中的箭头方向为资金流向。

① 国家自然科学基金(71041025)和 863 计划(2012AA050211)资助项目。

② 女,1979 年生,博士后,讲师;研究方向:动力电池成组应用技术;联系人, E-mail: sunbingxiang@gmail.com (收稿日期:2012-04-20)

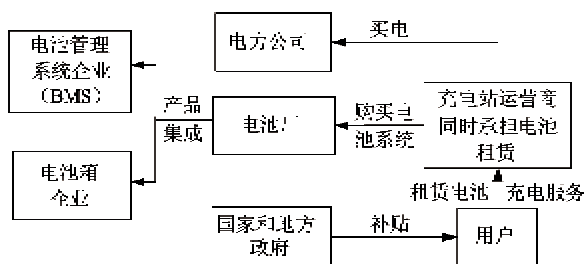


图1 一体化模式框图

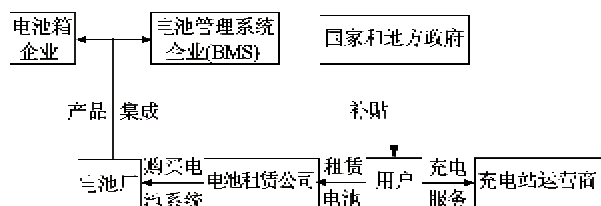


图2 分立模式框图

2 计算原理及公式推导

2.1 一体化模式下基于内部收益率法的电池运营价格测算

内部收益率,是一项投资可望达到的报酬率,是使投资项目净现值等于零时的贴现率^[5,6]。按成本项目评价,净现值为0确定内部收益率,计算方法为

$$V_{NPV} = C_{CT} - \sum_{t=1}^n \frac{F_{NCF_t}}{(1+r)^t} = 0 \quad (1)$$

其中, V_{NPV} 为净现值;指在预期的贴现率下,所有未来现金流入量的现值与未来现金流出量的现值之间的代数; C_{CT} 为项目初始投资; n 为项目寿命期; F_{NCF_t} 为第 t 年的现金净流量,即第 t 年现金流入量减去第 t 年现金流出量; r 为内部收益率。

由式(1)对4年运营费用进行推导:

$$C_{CT-4} = \frac{NCF_1}{1+r} + \frac{NCF_2}{(1+r)^2} + \frac{NCF_3}{(1+r)^3} + \frac{NCF_4}{(1+r)^4} \quad (2)$$

$$NCF_t = CI_t - CO_t \quad (3)$$

$$CI_t = D_{ZL} \times N_{CD} (1 - r_1) \quad (4)$$

$$CO_t = C_{CD} + C_{RG} + C_{WH} \quad (5)$$

$$C_{CD} = D_{JC} \times N_{CD} \quad (6)$$

$$NCF_t = D_{ZL} \times N_{CD} (1 - r_1) - C_{CD} - C_{RG} - C_{WH} \quad (7)$$

计算中,假设一个项目寿命期4年内每年总充电量、人工成本、年充电消耗电费、配电设施及电池的维护成本相同,则 $NCF_1 = NCF_2 = NCF_3 = NCF_4$, C_{CD} , C_{RG} , C_{WH} 通过计算可以确定,选取内部收

益率为 r ,则由以上公式可以推导得 D_{ZL} , 即:

$$D_{ZL} = \frac{(1+r)^4 C_{CT-4}}{(1+r)^3 + (1+r)^2 + (1+r) + 1} - C_{CD} + C_{RG} + C_{WH} \quad (8)$$

则用户4年运营费用为

$$C_{Y1} = 4N_{CD} \times D_{ZL}/N - C_{BG} - C_{BD} \quad (9)$$

由式(8)、(9)可得

$$C_{Y1} = \frac{4r(1+r)^4 C_{CT-4}}{(1+r)^4 - 1} + 4(C_{CD} + C_{RG} + C_{WH}) - C_{BG} - C_{BD} \quad (10)$$

不含充电基础设施建设费用的4年运营成本为

$$C_{Y11} = \frac{4r(1+r)^4 C_{CT-4a}}{(1+r)^4 - 1} + 4(C_{CD} + C_{RG} + C_{WH}) - C_{BG} - C_{BD} \quad (11)$$

含充电基础设施建设费用的四年运营成本为

$$C_{Y12} = \frac{4r(1+r)^4 (C_{CT-4a} + C_{CT-4b})}{(1+r)^4 - 1} + 4(C_{CD} + C_{RG} + C_{WH}) - C_{BG} - C_{BD} \quad (12)$$

其中, C_{Y1} 为基于内部收益率法的四年运营费用; C_{Y11} 为基于内部收益率法的不含充电基础设施建设费用的四年运营成本; C_{Y12} 为基于内部收益率法的含充电基础设施建设费用的四年运营成本; C_{CT-4} 为项目初始投资; C_{CT-4a} 为项目初始电池投资; C_{CT-4b} 为项目寿命期充电站折旧成本; CI_t 为每年现金流入量; CO_t 为每年现金流出量; r 为选取3-5年贷款年利率; r_1 为营业税率; N 为车辆数; D_{ZL} 为电池的充电单价; D_{JC} 为电力公司电价; N_{CD} 为充电站年充电量; C_{BG} 为国家补贴; C_{BD} 为地方补贴; C_{CD} 为每年充电费用; C_{RG} 为每年人工成本; C_{WH} 为每年设备维护费用。

2.2 分立模式下基于年金法与成本加成定价法的电池运营价格测算

2.2.1 基于年金法的动力电池租赁价格测算

年金是每隔相等的期限按相同的金额收入或付出的款项。年金按照其收付的次数和收付的时间进行划分,可以分为普通年金、预付年金、抵押年金和永续年金。普通年金又称后付年金,是指各期期末收入或付出相同金额的款项^[7],本文年金法中的年金是普通年金。年金法计算公式如下:

$$PV = \frac{(1+i)^m - 1}{(1+i)^m \times i} A \quad (13)$$

$$A = PV \frac{i(1+i)^m}{(1+i)^m - 1} \quad (14)$$

其中, A 为年金金额; PV 为年金现值; i 为利率; m 为年数。基于年金法, 考虑电池折旧、贷款利息、营业税, 电池租赁价格按 4 年分期付款计算公式为

$$S_2 = C_{CT-4a} \frac{r}{1 - \frac{1}{(1+r)^n} (1-r_1)} \quad (15)$$

其中, S_2 为 50 辆车所用电池每年分期付款数额。则每辆车每年电池租赁费用 D_z 为

$$D_z = S_2 / N \quad (16)$$

2.2.2 基于成本加成定价法的充电价格测算

成本加成定价法是按产品单位成本加上一定比例的利润制定产品价格的方法, 即:

$$P_i = C_i + C_i a = C_i (1 + a) \quad (17)$$

其中, P_i 为单位产品价格; C_i 为单位产品成本; a 为利润率。

基于成本加成定价法, 考虑充电电费、人工费、维护费、充电站折旧费, 分两种情况测算充电价格。

(1) 在初始投资不包含充电基础设施建设费用的条件下, 充电价格为

$$D_{D1} = \frac{C_{CD} + C_{RG} + C_{WH}}{N_{CD}(1-r_1)} \quad (18)$$

(2) 在初始投资包含充电基础设施建设费用的条件下, 将充电基础设施的建设费用平均到项目寿命期内的每一年, 采用式(14)计算可得

$$S_1 = C_{CT-4b} \frac{r}{1 - \frac{1}{(1+r)^n}} \quad (19)$$

$$D_{D2} = D_{D1} + \frac{S_1}{N_{CD}(1-r_1)} = \frac{C_{CD} + C_{RG} + C_{WH} + S_1}{N_{CD}(1-r_1)} \quad (20)$$

其中, S_1 为项目寿命期内充电基础设施的折旧费用折算到每一年的费用; D_{D1} 为不含充电基础设施建设的动力电池充电价格; D_{D2} 为含充电基础设施建设的动力电池充电价格。

2.2.3 分立模式下电池运营价格的测算

每辆车 4 年运营费用为

$$C_{Y2} = 4 \left(\frac{N_{CD} \times D_{D1}}{N} + D_z \right) - C_{BG} - C_{BD} \quad (21)$$

其中, C_{Y2} 为分立模式下每辆车 4 年运营费用; D_{D1} 为动力电池充电价格。

不含充电基础设施建设的四年运营费用为

$$C_{Y21} = \frac{4r(1+r)^4 C_{CT-4a}}{(1+r)^4 - 1} + 4(C_{CD} + C_{RG} + C_{WH}) - C_{BG} - C_{BD} \quad (22)$$

含充电基础设施建设的四年运营费用为

$$C_{Y22} = \frac{4r(1+r)^4 C_{CT-4a}}{(1+r)^4 - 1} + 4(C_{CD} + C_{RG} + C_{WH} + S_1) - C_{BG} - C_{BD} \quad (23)$$

将式(19)代入式(23), 则有

$$C_{Y22} = \frac{4r(1+r)^4 (C_{CT-4a} + C_{CT-4b})}{(1+r)^4 - 1} + 4(C_{CD} + C_{RG} + C_{WH}) - C_{BG} - C_{BD} \quad (24)$$

其中, C_{Y21} 为不含充电基础设施建设的 4 年运营费用; C_{Y22} 为含充电基础设施建设的 4 年运营费用; D_z 为每辆车每年电池租赁费。

通过公式对比可知, 在预期里程下定价, 考虑相同因素的情况下, C_{Y11} 与 C_{Y21} 计算公式相同, C_{Y12} 与 C_{Y22} 计算公式相同。

3 基础数据

3.1 基础数据总体依据

(1) 财政部、科技部依据之前的补贴政策^[8], 按照与纯电动公交车的电量比例, 给出了北京市 8 吨纯电动环卫车国家补贴为 23 万元/辆的指导政策, 国家和地方补贴年底一次性补贴给用户。

(2) 人民币 5 年期贷款年利率以中国人民银行 2011 年 7 月 6 日 6.9% 为准。营业税率选取 5.54%。

(3) 基础电价依据京发改[2009]2177 号文件中一般工商业用电价格 0.781 元/kWh 计算。电量采用交流计量方式。维护成本按照充电设备成本的 2% 计算。

(4) 传统 8 吨燃油环卫车 100km 油耗按 30L 计算, 柴油价格按 2011 年 10 月 6 日 0 号 7.53 元/L 计算。

3.2 几个重要参数的测算

(1) 人工成本测算。充电站有三个工种: 站长, 工人, 保安。人工成本计算公式如下:

$$C_z = N_z P_z + N_{gr} P_{gr} + N_{ba} P_{ba} \quad (25)$$

充电站按服务 50 辆车计算, 站长人数 $N_z = 1$, 工人人数 $N_{gr} = 17$, 保安人数 $N_{ba} = 2$ 。参照北京市相关指导文件, 站长工资参照生产主管工资, 选取

P_z 为 70791 元/年^[9];工人工资参照供电人员综合价格的平均数,选取 P_{gr} 为 37216 元/年^[10];保安员工资 P_{ba} 选取中位数为 $P_{ba} = 17205$ 元/年。

(2) 电池备用量测算。在采用电池快换的模式下,充电站电池备用量的计算公式如下^[3]:

$$N_{BY} = T_{CM} N_{HD} / T_{YX} \quad (26)$$

N_{BY} 为电池备用量, T_{CM} 为单套电池充满电的时间, T_{YX} 为车辆运行时间, T_{YX} 为车辆日总换电次数。

50 辆车每天运行 8h,平均每组电池充满的时间需要 3h,考虑到个别车辆的换电次数可能会增加,备用电池数按 20 套计算,即电池总数为 70 套,电池数量与车辆配比为 1.4:1。考虑到目前商用车的电池质保为 3 年(或 15 万 km),在有备用电池的情况下,选取项目寿命期为 4 年^[11]。

(3) 电池系统 4 年折旧成本测算。电池价格选取北京市参考价格,如表 1 所示。

表 1 电池系统价格分摊(电池快换) (万元)

车型	电池参数	分类	购置价格	寿命(年)	4 年折旧成本	4 年折旧价格合计
8 吨纯电动环卫车	200Ah 384V 76.8kWh	电池系统	34.56	--		
		BMS	1.7	8	0.85	
		电池箱	1	4	1	33.71
		电池及附件	31.86	4	31.86	

3.3 基础数据

经过测算汇总,8 吨纯电动环卫车基础数据如表 2 所示。

表 2 8 吨电动环卫车基础数据

分类	8 吨环卫车
充电设备成本(万元)	923.08
土建工程成本(万元)	923.08
电池价格(万元/套)	33.71
电池数量(套)	70
年运营里程(km)	30000
百公里油耗(L)	30
百公里耗电量(kWh)	157
年耗电量(kWh)	2355000
年人工成本(万元)	73.78
年维护成本(万元)	18.46
国家补贴(万元/辆)	23

4 两种方法的测算与对比分析

在国家补贴与地方补贴比例分别为 1:1、1:0.5 和 1:0 三种情况下,根据表 2 用上述公式来计算每辆车 4 年总的运营费用,计算结果如表 3 所示。在选取相同预期行驶里程,考虑相同因素的情况下,基于两种模式测算的电池运营价格相等。

表 3 用户需支付的单车 4 年运营费用 (万元)

国家与地方补贴比例	初期购车	用户需支付的 4 年运营费用		年金法测算的单辆车四年电池租金
		含充电基础设施建设成本	不含充电基础设施建设成本	
1:0	68	73.07	59.25	
1:0.5	68	61.57	47.75	58.86
1:1	68	50.07	36.25	

通过计算得图 3、图 4。其中,为不计补贴的情况下用户需支付的 4 年运营费用,图 3 中为 82.25 万元,图 4 中为 96.07 万元;为国家地方总补贴;为去除补贴的运营费用;为电池 4 年租赁费用;为 4 年充电费用,图 3、图 4 中其他柱型图的标注类同。

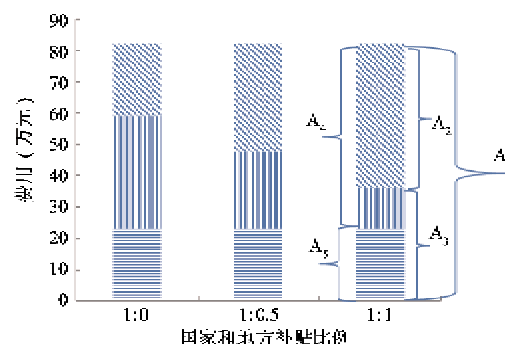


图 3 不含充电基础设施建设费用情况下不同费用的对比

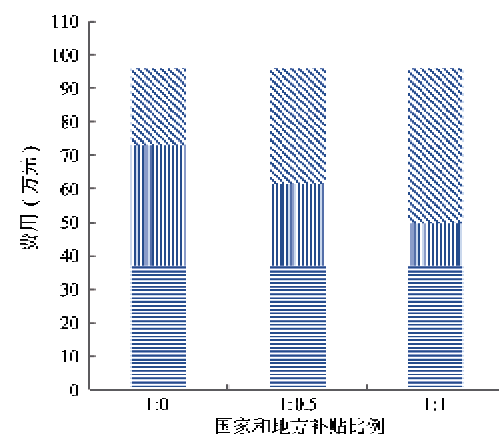


图 4 含充电基础设施建设费用的情况下不同费用的对比

由图 3、图 4 可知,用户实际支付的费用为充电费用与电池租赁费用之和减去国家地方补贴后的费用;在不考虑充电基础设施费用,国家补贴和地方补贴比例为 1:1 的条件下,4 年运营费用为 36.25 万元,费用最少;电动汽车电池租金在运营成本中所占比例较大,含充电基础设施建设费用的条件下,租赁费用为充电费用的 1.6 倍,不含充电基础设施建设费用的条件下,租赁费用为充电费用的 2.5 倍,因此未来应努力降低电池成本,才能降低运营费用。

不同补贴条件下电动汽车与传统汽车的运营费用对比分析由图 5 所示,在仅有国家补贴的情况下,

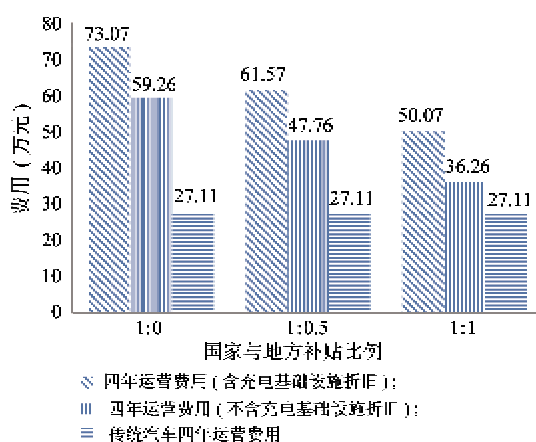


图 5 不同补贴条件下的运营费用对比分析

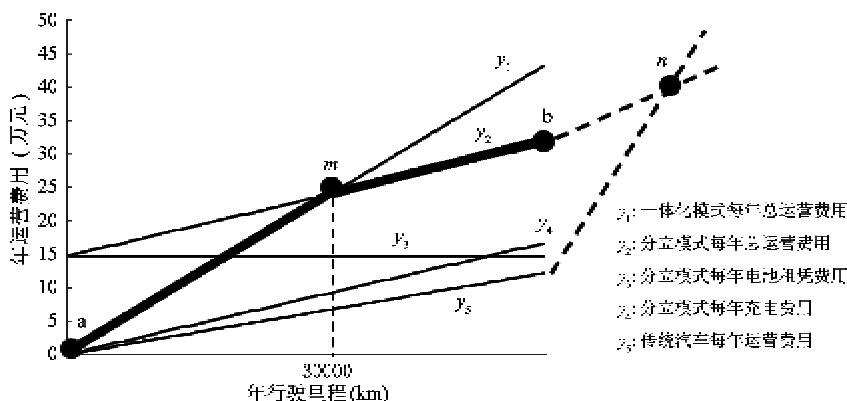


图 6 不同费用曲线的比较

由图 6 和式 (27)、(28) 可知, y_1 和 y_2 之间存在交点 m , 即动力电池运营价格测算时, 每辆车的预期行驶里程, 此点为 $x = 30000$, 对应两种模式下用户年运营费用相等。当 $x < 30000$ 时, 即用户使用电动汽车的年预期行驶里程小于 30000km 时, 采用一体化模式可以使用户年运营费用较少; 当 $x > 30000$ 时, 即用户使用电动汽车的年预期行驶里程大于 30000km 时, 采用分立模式可以使用户年运营

电动汽车 4 年的运营成本是传统汽车的 2.7 倍 (含充电基础设施折旧) 和 2.2 倍 (不含充电基础设施折旧)。随着地方补贴力度的加大, 在国家补贴与地方补贴为 1:1 时, 初期投资不含充电设施建设费用的情况下, 仍比传统汽车四年运营费用还高出 9.15 万元; 若在该前提下使电动汽车 4 年运营成本与传统汽车相当, 则地方补贴需加大到国家补贴的 1.4 倍。

在一体化模式下, 电池运营费用总体上按单价累计付款; 在分立模式下, 电池充电费用按照单价累计付款, 电池租赁费用按照定额包年的形式付款。在电动汽车预期里程为 30000km/年的条件下测算定价, 随着车辆实际运营里程和付款方式的不同, 用户支付成本差别很大。为了进一步研究这一差别, 在国家地方补贴全为零, 含充电基础设施费用的前提下, 做出 5 条直线 (如图 6 所示), 其方程式为

$$y_1 = 8.0x \quad (27)$$

$$y_2 = 147169 + 3.1x \quad (28)$$

$$y_3 = 3.1x \quad (29)$$

$$y_4 = 147169 \quad (30)$$

$$y_5 = 2.6x \quad (31)$$

其中 y_1 一体化模式每年总运营费用, y_2 为分立模式每年总运营费用, y_3 为分立模式每年充电费用, y_4 为分立模式每年电池租赁费用, y_5 为传统汽车每年运营费用。

费用较少。图 6 中加粗线 amb 为对不同行驶里程的最优模式线。

由图 6 和式 (28) - (31) 可知, y_2 平行于 y_4 , y_2 斜率大于 y_5 斜率, 当 y_5 斜率增大到大于 y_2 斜率时, 即油价上升到一定程度, 电池运营价格下降到一定程度时, 如图 6 中虚线所示, y_2 与 y_3 存在交点 n ; 随着 y_3 降低, 即电池价格降低, y_2 与 y_3 交点会左移, 使得 n 点的年运营里程接近现实值, 当车辆年行驶里

程 $x < n$ 时,使用传统车年运营费用较少; $x > n$ 时,使用电动汽车年运营费用较少。因此。未来通过降低电池价格,使得 n 点左移,低于一般用户的年均行驶里程,则用户会主动选择电动汽车。

5 结 论

在裸车销售、电池租赁模式下,采用内部收益率法能够测算一体化模式下的动力电池运营价格;采用年金法和成本加成定价法能够测算分立模式下的动力电池充电价格和电池租赁价格;电池运营价格中,电池租赁价格所占比例较大,电池充电价格的测算中含与不含充电基础设施建设成本差别较大。因此,在产业化初期,有意占领市场的大企业先期应承担部分资金压力,不计充电基础设施的折旧成本。产业逐渐成熟后,考虑可持续发展,要允许运营公司有适当的盈利。以某一预期里程定价,车辆实际运营里程低于预期里程时,按单价用多少付多少更有利;如果车辆实际运营里程高于预期里程,则按包年的形式更有利。如果车辆的利用率低会导致充电基础设施的闲置,建议设定年最低基础消费,同时鼓励用户提高年行驶里程,分摊成本。

随着燃油价格的上涨和电池价格的下降,电动汽车的优势逐渐凸显,但是目前相对于传统汽车的燃油成本,电动汽车电池运营价格仍然较高,产业化初期,采用一体化模式能够将各项服务集成,方便用户;随着分立模式的不断成熟,两个运营主体会集中

把一块业务做强,逐渐降低成本。随着电池技术的升级换代,价格会逐年下降,而且后续开展电池的梯次利用,也能在一定程度上提高动力电池的利用率,降低车用成本。

参考文献

- [1] 国务院《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》[S]. 2012
- [2] Sui Z H, Wang Z P. Technical and economic analysis of pure-electric vehicles based on the life-cycle cost theory. In: Proceedings of the 2011 International Conference on Business Management and Electronic Information, Guangzhou, China, 2011. 125-129
- [3] 孙丙香,姜久春,张维戈等. 基于内部收益率法的动力电池租赁价格测算. 电力系统自动化, 2011, 35(13): 27-30
- [4] 滕 耘,胡天军,卫振林. 电动汽车充电电价定价分析. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(3): 71-74
- [5] 马忠. 公司财务管理理论与案例. 北京:机械工业出版社, 2009. 379-386
- [6] Peyerl H, Breuer G. Strategy evaluation based on rate of return figures in agricultural business planning. *Berichte Über Landwirtschaft*, 2007, 85(3): 341-357
- [7] 刘海英. 财务管理学. 济南:山东人民出版社, 2007. 131
- [8] 财政部、科技部《节能与新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法》[S]. 2009
- [9] 北京市人力资源和社会保障局. 管理人员及专业技术人员部分职业工资指导价位. 2010
- [10] 北京市人力资源和社会保障局. 服务生产人员部分职业工资指导价位. 2010
- [11] 张维戈. 北京 2008 年奥运会电动车充电站规划及运营模式方案. 变频器世界, 2008, 4: 26-28

Measurement and comparative analysis of the operation price of power batteries based on two business models

Sun Bingxiang, Jiang Jiuchun, Niu Junlong, Niu Liyong, Gong Minming
(School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract

Taking four years as a battery application cycle, the data of 8-ton pure electric sanitation vehicles in Beijing were used to measure and compare power batteries' operating prices according to the two battery operation modes of the scheme of naked vehicle marketing or battery leasing, i. e. the charging-leasing integration mode, and the charging-leasing separation mode. The method for internal rate of return, the cost plus pricing method and the annuity method were analyzed, and the calculation and comparison of battery operation price were carried out. Under the breakeven premise of the operators, the single electric vehicle total operating expense in four years and its composition was estimated and compared in the two situations of including and excluding charging infrastructure costs. Set the proportion of state subsidies and local subsidies at 1:0, 1:0.5 and 1:1, the user's operating costs were calculated. According to two kinds of business model, the curves of the battery operation prices in the change of operation mileage were drawn. and the optimal payment method was obtained according to the users' actual operating mileage. Finally, the suggestions of future development for electric vehicles industry were put forward.

Key words: power battery, commercial mode, leasing, internal rate of return, annuity, cost-plus pricing