

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2011.11.025

纯电动出租汽车快速更换电池运营模式

王 健, 梁桂航

(鲁东大学 交通学院, 山东 烟台 264025)

摘要: 提出了纯电动出租汽车快速更换电池的运营模式: 每一辆纯电动出租汽车配置2组电池, 电池的所有权属于独立的电池租赁公司, 每次更换电池的费用按实际用电量计算, 电池租赁公司实行集中充电, 分散更换。指出了快速更换电池运营模式的优点, 并对该运营模式进行了经济分析。该运营模式的实施, 可有效促进纯电动汽车的发展。

关键词: 汽车工程; 快速更换电池运营模式; 电池租赁; 纯电动出租汽车; 经济分析

中图分类号: U469.7.72

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2011) 11-0142-04

Battery-quick-replacement Operation Mode for Electric Taxi Vehicle

WANG Jian, LIANG Guihang

(School of Transportation, Ludong University, Yantai Shandong 264025, China)

Abstract: The battery-quick-replacement operation mode for electric taxi vehicles was proposed: Each electric taxi equipped with two groups of electric battery belongs to the independent battery leasing companies. The cost of replacing battery will be calculated according to actual consumption. The battery leasing companies will charge the replaced batteries in batches and distribute the charged batteries for new replacement. The advantage of the battery-quick-replacement operation mode was explained. The economic analysis of the battery-quick-replacement operation mode was performed. The implement of this operation mode is helpful for the development of electric taxi vehicle.

Key words: automobile engineering; battery-quick-replacement operation mode; battery leasing; electric taxi vehicle; economic analysis

0 引言

节能与新能源汽车已成为汽车工业的主要发展方向, 世界主要汽车生产国都投入巨资进行节能与新能源汽车的研究开发, 其中, 纯电动汽车是新能源汽车技术最成熟、可靠性最高的产品。纯电动汽车使用电动机作为动力, 用蓄电池作为能源储存单元, 无排放, 不依赖燃油, 在美、日、欧等国家和地区得到商业化的推广应用, 重点是市政特殊用车(邮政运输车、环卫车等)、固定线路的公交车、公务车队用车和私人用车等领域^[1]。但是由于纯电动汽车的蓄电池能量密度和功率密度比燃油低, 造成

纯电动汽车的续驶里程有限、充电时间长, 纯电动汽车的实际应用被限制在一定的范围内^[2]。电动汽车运营模式有集中充电管理模式和分散充电集中维护模式两种, 集中充电管理模式对电动汽车充电维护进行一体化集中管理、专业化服务, 可以有效地维护车辆和电池, 延长电池使用寿命, 提高续驶里程, 改善运行的经济效益, 便于运行数据的采集, 为不断改进和提高电动汽车技术性能提供依据, 但该模式由于车辆必须驶回充电站集中充电而续驶半径也受到充电站和续行里程的制约, 导致有效行驶里程降低, 运行成本提高, 并且电动汽车运行需要专用的充电设备和停车场, 需要专用的维修站, 基

收稿日期: 2011-04-11

基金项目: 国家高技术研究发展计划(八六三计划)项目(2008AA11A164)

作者简介: 王健(1963-), 男, 山东济南人, 教授。(wangjd1@163.com)

基础设施投入大。分散充电集中维护模式是在停车场和家庭建立更多的充电设备确保使用者能够对汽车方便充电, 提高汽车的利用率、方便用户, 该模式的缺点是由于要建设较多的充电设施, 投资偏大, 造成了运行成本的提高, 另外有可能由于用户对电动汽车的误操作, 造成电动汽车的维修成本提高^[3]。上述两种模式都没有解决如下两个问题: 第一个问题是在电动汽车的推广初期, 先建设充电站还是首先推广电动汽车; 二是电动汽车充电时间长的问题。本文提出的纯电动出租汽车快速更换电池运营模式, 既解决了电动汽车充电时间长的问题, 也由于出租汽车的规模化经营, 可以同时启动充电站建设和电动汽车市场的推广。

1 纯电动出租汽车快速更换电池运营模式

1.1 纯电动出租汽车的主要问题

在中小城市, 燃油出租汽车运营的基本情况为每天行驶 350 km 左右, 行驶速度一般在 30 ~ 50 km/h, 最高车速为 70 km/h, 交接班模式是一天二班, 换班时加满油交给对方, 实行不间断运营。

纯电动汽车的技术瓶颈是电池能量密度低、充电时间长^[4]。一般充电时间长达 5 ~ 8 h, 因此, 纯电动出租汽车要实现不间断持续运营是很困难的。但停车时间过长, 必然降低经营效益, 进而影响纯电动汽车的推广。快速更换电池模式可以很好的解决这一问题。

1.2 纯电动出租汽车快速更换电池运营模式

纯电动出租汽车快速更换电池运营模式规定: 每一辆出租电动汽车配置 2 组电池, 电池的所有权属于独立的电池租赁公司, 电池更换时间为司机交接班时间, 每次更换电池的费用按实际用电量计算, 电池租赁公司实行集中充电, 分散更换。汽车制造厂商根据出租车公司的技术要求生产出适合纯电动出租车运营的产品, 出租车公司购置的纯电动汽车, 将不包括电池部分。

1.3 纯电动出租汽车快速更换电池运营模式的优点

解决了纯电动出租汽车的技术瓶颈问题, 试验数据表明更换电池补充能源的效率与普通燃油汽车到加油站加油的效率相当; 由于电池组的价格高且寿命短, 是纯电动车成本高、可靠性差的主要原因, 更换电池的运营模式中, 电池所有权属于电池租赁公司, 纯电动汽车没有属于自己的电池, 所以纯电动车的成本大幅下降, 可靠性提高; 另外, 电池由电池租赁公司实行专业化管理、维护, 寿命明显提

高, 修复成本下降; 同时也解决了司机个人对纯电动汽车的充电问题, 避免了环境污染^[5]; 另外, 低温充电效果差是电池的一大特点, 而快速更换电池运营模式是将电池组卸下后到厂房内充电, 容易控制充电时的环境温度, 避免冬天温度低影响充电的问题。

2 出租汽车运营成本的分析

2.1 纯电动出租车动力参数的匹配计算

某一型号的纯电动出租车的技术参数如表 1 所示。

表 1 纯电动出租车的技术参数

Tab. 1 Technical parameters of electric taxi vehicle

车辆总质量 m/kg	1 390
迎风面积 A/m^2	2. 042
车辆常用速度 $u_a/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	40
最高速度 $u_{\max}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	70
一次充电续驶里程/km	150
轮胎滚动阻力系数 f	0. 015
滚动半径 r/m	0. 308
空气阻力系数 C_d	0. 256
主减速比 i_0	4. 052
变速箱传动比 i_g	I 档: 3. 583
	II 档: 1. 947
	III 档: 1. 343
	IV 档: 0. 976
	V 档: 0. 804
	倒档: 3. 363
机械传动系统效率 η_T	0. 9
电机及控制系统效率 η_e	0. 8
动力蓄电池组电压: U_{de}	144

在正常载荷 (车内乘坐 3 人) 和常用车速 ($u_a = 40 \text{ km/h}$), 电机的持续功率 P_e 的计算见式 (1)^[6]:

$$P_e = \frac{1}{\eta_T \eta_e} \left(\frac{Gfu_a}{3\ 600} + \frac{C_d A u_a^3}{76\ 140} \right) = 3.35 (\text{kW})。 (1)$$

在正常载荷 (车内乘坐 3 人) 和最高车速 ($u_{\text{amax}} = 70 \text{ km/h}$), 电机的输出功率 P_{emax} 的计算见式 (2):

$$P_{\text{emax}} = \frac{1}{\eta_T \eta_e} \left(\frac{Gfu_{\text{amax}}}{3\ 600} + \frac{C_d A u_{\text{amax}}^3}{76\ 140} \right) = 8.79 (\text{kW})。 (2)$$

在正常载荷 (车内乘坐 3 人) 和在 0 ~ 20 km/h 的加速度 $\frac{du}{dt} = 1 \text{ m/s}^2$, 电机的输出功率 P_j 的计算见

式(3)。

$$P_j = \frac{1}{\eta_T \eta_e} \left(\frac{Gfu_a}{3600} + \frac{mu_a du}{3600dt} + \frac{C_d Au_a^3}{76140} \right) = 12.38(\text{kW}) \quad (3)$$

在正常载荷(车内乘坐3人)且在爬6.5%的坡度时(I档运行),速度在 $u_{1a} = 15 \text{ km/h}$ 行驶条件下,电机的输出功率 P_i 的计算见式(4):

$$P_i = \frac{1}{\eta_T \eta_e} \left(\frac{Gfu_a}{3600} + \frac{Giu_a}{3600} + \frac{C_d Au_a^3}{76140} \right) = 6.34(\text{kW}) \quad (4)$$

当汽车在正常载荷(车内乘坐3人)和常用车速($u_a = 40 \text{ km/h}$),在IV档行驶条件下,电机的持续功率 $P_e = 3.35 \text{ kW}$,每次充电要求正常载荷下匀速行驶140 km,所以纯电动出租汽车的运行的能量如式(5):

$$W = \frac{P_e \times t}{\eta_T \eta_e} = \frac{P_e}{\eta_T \eta_e} \times \frac{S}{u_a} = \frac{3.35 \times 140}{0.9 \times 0.8 \times 40} = 16.29(\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (5)$$

考虑到纯电动出租汽车要加速、爬坡运行,根据出租汽车行驶工况要求,汽车在使用1组电池的时间中,需要加速的距离约0.5 km,加速时间为13.42 s,加速次数为20次,总的加速时间268.33 s,按照公式(6)计算可得到加速需要的能量:

$$W_j = \frac{P_j \times t}{\eta_T \eta_e} = \frac{12.38 \times 268.33}{0.9 \times 0.95 \times 3600} = 1.08(\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (6)$$

根据一般中小城市路况,汽车在使用1组电池的时间中,如果出租汽车爬坡的速度控制在 $u_{1a} = 15 \text{ km/h}$,爬坡度6.5%,行驶距离约为10 km,按照公式(7)计算可得到汽车爬坡所需要的能量:

$$W_i = \frac{P_i \times t}{\eta_T \eta_e} = \frac{P_i}{\eta_T \eta_e} \times \frac{S}{u_{1a}} = \frac{6.34 \times 10}{0.9 \times 0.8 \times 15} = 6.6(\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (7)$$

纯电动出租汽车运行需要消耗的能量为式(8)所示:

$$W_{\text{总}} = W + W_i + W_j = 16.29 + 1.08 + 6.6 = 23.97(\text{kW} \cdot \text{h})$$

选取电池组容量为25 kW·h,且电池组电压为144 V,满足纯电动汽车行驶的要求。

2.2 纯电动出租汽车运营成本分析

纯电动出租汽车配备电池功率为25 kW·h,电池循环寿命1500次,每次充电行驶里程按150 km计算^[7],25 kW·h的电池价格为6.25万元。每台纯电动出租车运营100 km的成本有以下部分组成^[8]:

(1) 占用资金成本

单体电池1 Ah价格为7元,单体电池电压3.2 V,所以25 kW·h电池组的价格为:(25 000 ÷ 3.2 × 1) × 7 = 5.468 75万元 ≈ 5.5万元,电池管理系统的价格为0.75万元,所以总的电池组价格为6.25万元;每车按2组电池进行配置,每车电池组总价为:12.5万元。

每台车的购置成本:7万元。

电池充电时间为4~6 h,充电机不间断工作,每天可以充电4~6次,每车配0.5台充电机,充电机按7万元/台计算,每车充电机占用3.5万元。

政策扶持资金收入:6万元。

出租车营运押金:10万元。

每台车占用资金:电池价格+车价+充电机价格-政策扶持资金-出租车营运押金=12.5+7+3.5-6-10=7万元。

每台出租车每天行驶300 km,1年按365天,年资金成本按照10%计算,每百公里占用资金成本为:7万元×10%÷(365×3)=6.4元。

(2) 电池折旧成本

每次充电按行驶150 km计算,电池循环寿命1500次,每行驶100 km电池折旧成本为:(每组电池价格-政策扶持资金/2)÷充放电次数÷每次充电行驶的百公里数=(6.25-6÷2)万元÷1500÷1.5=14.5元。

(3) 电费成本

每度电0.5元,每百公里耗电12度,电池充放电效率80%,每百公里电费成本为:每度电价格×每百公里耗电量÷充放电效率=0.5元×12÷0.8=7.5元。

(4) 场地租赁费成本

充电站1000 m²,3个电池更换点需要150 m²,共计1150 m²,租赁费120元/a·m²,每年需要租金120×1150=138000元。

按100辆纯电动出租汽车运营计算,每车每年运营300×365=109500 km,则每车每百公里场地租赁成本为:138000÷100÷1095=1.3元。

(5) 人工费成本

充电站12人,每个电池更换点3人,共计需要21人,人工费2000元/月·人,每年人工费:2000×21×12=504000元。则每车每百公里人工费成本为:504000÷100÷1095=4.6元。

以上各项求和,得到纯电动出租车每车每百公里运行成本为34.3元。

2.3 传统燃油出租车运营成本分析

传统燃油出租车每百公里成本^[9-10]: 传统燃油出租车百公里需要消耗 9 L 燃油, 按照 93# 汽油的价格 (6.79 元/L) 进行计算, 需 $9 \times 6.79 = 61.11$; 传统燃油出租车 5 000 km 需要保养一次, 每次的保养费用 (机油和三滤) 大约在 300 元, 每百公里成本的保养成本为 6 元, 总计传统燃油出租车每车每百公里的成本为 67.11 元。

3 结论

快速更换电池方案已经成为一种主流的运营模式。据报道, 国家电网也初步建成了部分电池更换站。但是, 单靠这些工作不足以撬动纯电动汽车市场, 长此以往, 充电站长期亏损, 也只能关门了事。因此, 寻求启动纯电动汽车市场的方案至关重要。在出租车市场率先投入纯电动汽车是理想的方案之一。纯电动出租汽车快速更换电池运营模式, 可以通过更换电池快速补充能源, 能够满足出租车不间断运营的要求; 纯电动汽车作为出租车运营, 容易控制投放市场的规模, 建立与之相配套的充电站等服务设施, 可以使电动车与服务体系相互依存、共同发展。充电站等服务设施的建立和纯电动汽车运营的示范效应, 将有力推动电动汽车的市场推广。该方案在 2010 年举行的“山东省第 22 届运动会”和“亚洲足联 U19 青年锦标赛”期间进行了示范运营, 收到了良好效果。

文中对纯电动出租车、燃油出租车的运营成本分析是粗略的, 都没有将出租车本身的折旧计算在内, 但两者具有可比性。从分析结果看, 纯电动出租车具有一定的运营成本优势。由成本组成看, 纯电动出租车的电池折旧和燃油出租汽车的燃油消耗占有较大比重, 随着社会进步, 电池价格会不断下降, 燃油价格会不断上涨, 此消彼长的结果是纯电动出租车的运营成本优势会逐步扩大。因此, 在电动汽车推广的初期, 纯电动出租车是一个很好的选择。当然, 纯电动汽车续航里程短是制约纯电动出租车发展的重要因素, 破解这一难题的最终方案是电池技术的进步。现阶段, 对纯电动出租车和燃油出租汽车合理搭配, 也是很好的解决之道。

参考文献:

References:

科技导报, 2005 (4): 24-28.

CHEN Qingquan, SUN Liqing. Present Status and Future Trends of Electric Vehicles [J]. Science and Technology Review, 2005 (4): 24-28.

[2] 陈翔, 张林燕, 李国芳, 等. 电动汽车再生制动控制器的开发 [J]. 公路交通科技, 2009, 26 (4): 138-142.

CHEN Xiang, ZHANG Linyan, LI Guofang, et al. Development of Regenerative Braking Controller of Electric Vehicle [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (4): 138-142.

[3] SIMON B, HOOGMA B. The La Rochelle Experiment with Electric Vehicles [R]. Seville, Spain: Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), 2002.

[4] XIONG Weiwei, YONG Zhang, YIN Chengliang. Configuration Design Energy Management and Experimental Validation of a Novel Series Parallel Hybrid Electric Transit Bus [J]. Journal of Zhejiang University Science A, 2009, 10 (9): 11-15.

[5] 章世明. 建立纯电动汽车蓄电池置换站的思考 [J]. 电力需求侧管理, 2009, 11 (6): 70-72.

ZHANG Shiming. Thinking about Pure Electric Vehicle Battery Exchange Stations [J]. Power Demand Side Management, 2009, 11 (6): 70-72.

[6] 余志生. 汽车理论 [M]. 第 5 版. 北京: 机械工业出版社, 2009.

YU Zhisheng. Automobile Theory [M]. 5th ed. Beijing: China Machine Press, 2009.

[7] 陈全世, 信继欣, 孙力. 中国电动车辆研究与开发 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.

CHEN Qanshi, XIN Jixin, SUN Li. Research and Development of China Electric Vehicle [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology University Press, 2005.

[8] FRANGOPOL D M, LIU Min. Maintenance and Management of Civil Infrastructure Based on Condition, Safety, Optimization, and Life Cycle Cost [J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2007, 3 (1): 29-41.

[9] 李慧琪. 纯电动汽车运营模式及经济性探讨 [J]. 科技管理研究, 2007 (7): 238-240.

LI Huiqi. Discussion of Operation Mode and Economics of Electric Vehicle [J]. Science and Technology Management Research, 2007 (7): 238-240.

[10] MIKHAIL G, IBRAHIM D, MARC A R. Economic and Environmental Comparison of Conventional, Hybrid, Electric and Hydrogen Fuel Cell Vehicles [J]. Journal of Power Sources, 2006, 159 (9): 1186-1193.

[1] 陈清泉, 孙立清. 电动汽车的现状和发展趋势 [J].