

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2015.03.025

考虑资金时间价值的新能源公交车经济性分析

万 剑, 季锦章, 王维锋
(江苏省交通规划设计院, 江苏 南京 210005)

摘要: 根据资金时间价值理论, 以车辆购置、维护保养、运营能耗等3部分费用为影响因子, 采用公交车全生命周期的资金投入净现值作为其经济性表征指标, 构建公交车使用的经济性分析模型。以2013年南京地区公交车运营数据为例, 运用所建立的模型对比研究混合动力、纯电动、传统燃油公交车的使用经济性。研究表明: 3种公交车的资金投入净现值分别为212.55万元、248.12万元和210.24万元, 混合动力公交车、传统燃油公交车比较纯电动公交车更具有经济上的竞争优势; 由于突出的节能特性, 纯电动新能源公交车具有较好的应用前景, 且当电池成本下降28.5%时, 其总体经济性可接受。

关键词: 汽车工程; 新能源公交车; 经济性分析; 资金时间价值

中图分类号: U462.3⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2015)03-0154-05

Analysis on Economy of New Energy Bus Considering Time Value of Funds

WAN Jian, JI Jin-zhang, WANG Wei-feng

(Jiangsu Provincial Transport Planning and Design Institute, Nanjing Jiangsu 210005, China)

Abstract: Based on the theory of time value of funds, we established an economic analysis model for bus service which takes net present value of investment in the whole bus life cycle and the costs of purchase, maintenance and energy consumption as the impact factors. With the bus operation data in Nanjing area in 2013, we comparatively analyzed the service economy of hybrid electric, battery electric and conventional diesel buses through the established model. The research result shows that (1) the net present values of investment of the 3 types of bus are 2 125 500 yuan, 2 481 200 yuan and 2 102 400 yuan respectively, hybrid electric bus and conventional diesel bus are more economical than battery electric bus; (2) because of the outstanding energy-saving performance, battery electric bus has good application prospect and its economy could be acceptable when the battery cost is reduced by 28.5%.

Key words: automobile engineering; new energy bus; economic analysis; time value of fund

0 引言

城市客运作为交通运输业的排放大户, 肩负着转变经济增长结构和减少温室气体排放的重任。尽管国家从宏观经济政策层面给予激励, 以促进新能源公交车在城市区域的推广, 但截至2013年初新能源公交车的保有量不到1.5万辆^[1], 在公交市场占比低于3.5%, 且应用区域分布不均, 离国家规划的阶段性发展目标尚有一定距离。究其原因, 新能源

公交车经济性难以被城市公交营运企业所接受是关键因素^[2]。因此, 研究新能源公交车经济性构成机理及测算方法, 进而分析推广应用中的敏感性因素, 是制订新能源公交车发展战略的重要依据。

目前的研究多从消费者视角进行研究, 避免过多讨论各种复杂的内外因(技术成熟度, 消费认知度、环境影响等), 对新能源汽车经济性的影响, 以购置、营运、车辆回收的全生命周期总成本来揭示新能源汽车难以被市场接受的机理。文献[3]论证

收稿日期: 2014-01-29

基金项目: 南京市科学技术委员会资助项目(201205051)

作者简介: 万剑(1984-), 男, 湖北武汉人, 硕士。(whut_wj@126.com)

在多产品方案比选时, 利用全生命周期理论进行方案选择的必要性; 文献 [4] 提出消费者视角的持有者成本模型, 以量化混合动力公交车的经济性; 文献 [5] 在全寿命周期和持有者成本理论基础上, 建立电动汽车的全寿命周期成本模型。现有研究均在静态经济分析理论的前提下, 利用生命周期内的持有者成本模型, 进行新能源汽车经济性分析。

但是, 我国新能源公交车的消费市场, 是以公交企业为消费主体的一种购置、营运模式构成。政府与公交企业将项目资本收益率作为考核目标, 在新能源公交车项目财务分析中必然考虑资金时间价值因素, 分析新能源公交车投放与运营是否可接受。因此, 以动态经济理论考虑资金时间价值, 研究新能源公交车的成本构成及预测极为必要, 同时也是对现有新能源公交车经济性分析理论的有力补充。

1 资金时间价值理论

资金时间价值理论是项目经济分析的基础。经济学认为, 资金的时间价值是客观存在的, 即资金伴随时间迁移其价值将变化。具体而言, 资金投入时间越早或越晚、资金投入量越大则资金时间价值变化越明显。企业进行项目经济分析与评价中的财务净现值、资金回收率、敏感性系数等关键指标均需以资金时间价值方式计算^[6]。因此在多方案的经济性对比分析中, 资金时间价值计算尤为重要。

就目前应用看, 新能源公交车投放运营过程中需投入一系列资金, 且与普通柴油公交车相比资金投入时间、资金投入量大小通常不同。图 1 为新能源公交车项目投资资金流出示意图, a_n 为第 n 年资金流出, a_n' 为第 n 年资金流入。

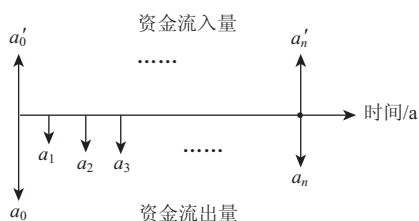


图 1 投资资金流出图

Fig. 1 Investment outflow diagram

在本研究中, 设公交车项目的效益已确定且每种公交车运营效益值一致, 仅针对成本投入进行经济性分析。以公交车项目初始实施时为时间基点, 采用预定的折现率将各个时间点投入的资金折算成现值, 以资金投入净现值作为其经济性的总体表征

指标。资金投入净现值的计算公式为:

$$NPV = \sum_{n=0}^M \frac{A_n}{(1+i)^n}, \quad (1)$$

式中, NPV 为考虑资金时间价值的总成本; M 为项目生命周期; A_n 为第 n 年的资金净流出量 ($a_n - a_n'$); i 为资金折现率。从式 (1) 可看出, NPV 与第 n 年的资金净流量正相关, 与资金折现率负相关。

2 考虑资金时间价值的生命周期成本模型

公交车生命周期成本是从其购置到报废过程中产生的成本总和, 是计算公交车经济性的定量描述。文献 [5, 7] 对车辆生命周期内静态成本模型进行剖析, 并分析各成本构成的内部关系。本文基于现有成果, 进一步用资金时间价值理论更新模型。生命周期内成本模型将总成本分为购置成本、维护成本与能耗成本 3 个影响因子。成本描述见表 1。

表 1 公交车生命周期成本构成

Tab. 1 Cost composition in bus life cycle

影响因子	组成子项	投入特征	影响原因
购置成本	出厂成本	第 1 年一次性投入	属固定资产投资费, 能表征技术成熟度
	购置税	第 1 年一次性投入	属车辆须上缴国家的直接税
	政府补贴	第 1 年一次性拨入	是政府激励措施, 促进企业推广新能源车
维护成本	维修保养费	逐年多次投入	属运营过程的重置投资
	回收余值	最后 1 年一次回收	是公交车报废时的资金回收值
能耗成本	燃油消耗费	逐年多次投入	是维持运营必需的投资

由表 1 建立生命周期内静态成本模型为:

$$C = C_p + C_t + C_r + C_s + \sum_{n=0}^N (C_{m_n} + C_{f_n}), \quad (2)$$

式中, N 为公交车生命周期; C_p 为出厂成本; C_t 为购置税; C_r 为政府补贴; C_s 为报废回收余值; C_{m_n} 为第 n 年的维修保养费; C_{f_n} 为第 n 年的燃油消耗费。由于政府补贴与回收余值是资金流入量, 因此实际计算时为负数。

根据前面相关理论的分析, 若以净现值来分析公交车项目动态投资成本, 非项目基年内的投资项均需要考虑资金时间价值的影响, 且该影响与投资项正相关, 与资金折现率负相关。结合式 (1)、式 (2), 考虑表 1 中投入特征的影响, 建立公交车生命周期内动态成本模型为:

$$C = \frac{C_p}{(1+i)^{N(p)}} + \frac{C_t}{(1+i)^{N(t)}} + \frac{C_r}{(1+i)^{N(r)}} +$$

$$\frac{C_s}{(1+i)^{N(s)}} + \sum_{n=0}^N \frac{(C_{m_n} + C_{f_n})}{(1+i)^n}, \quad (3)$$

式中 $N(p)$, $N(t)$, $N(r)$, $N(s)$ 分别为 C_p , C_t , C_r , C_s 产生的年份。计算前, 需科学核定公交营运企业的各投资项与企业资金折现率。

3 各影响因子测算与确定

选择不同地区、不同性能、不同类型的新能源公交车的分析数据均不尽相同, 导致分析结论存在较大差异。为使分析、验证的结论更具应用意义, 本文选取能代表未来发展方向的混合动力公交车 (HEB) 与纯电动公交车 (BEB) 这两种新能源车型与普通柴油公交车 (CDB) 进行研究^[8]。根据国家新能源车推荐目录中同一厂家性能相当, 且能满足公交运营需要的两种型号新能源公交车进行选型。所选取的车辆如表2所示。

表2 选取的3种不同类型公交车基本参数

Tab. 2 Basic parameters of selected 3 types of bus

	CDB	HEB	BEB
车型	NJL6120G4	NJL6129HEV	NJL6129BEV
排量/mL	7 800	6 500	无
功率/kW	198	147	100
长度/m	11.98	11.99	11.99
电池电荷量/ (A·h)	无	无	56
关键技术	无	超级电容混联控制	锂电池动力驱动

南京江南公交公司调研结果显示, 公交车的服役周期为8 a。参照国务院认定的《企业绩效评价标准值》, 公共电汽车客运企业运营良好时的资本收益率应大于7.5%。以下分析中, 逐年投入费用均以全生命周期 N 为8 a 计算, 公交运营企业的资金折现率为 $i=7.5\%$, 数据测算以2013年初为基准时间。

3.1 购置成本分析

在公交车投放时, 出厂成本是购置的主要投资项构成。新能源车的出厂成本主要受核心零部件 (动力电池、驱动电机、电控系统、内燃机) 和其他零部件 (车身、内饰、底盘) 共同影响。因此通过分析当前关键核心零部件价格, 计算各类型车辆的平均出厂成本。

车辆购置税方面, 根据国家税务总局2012年通知, 至2015年末, 城市公交企业的公共汽电车辆购置税被豁免, 即3种类型的公交车 $C_t=0$ 。根据财政部2013年最新规定^[9], 符合节油率与电功率条件要求且利用超级电容技术的10 m以上城市混合动力车公交车可获得20多万元补贴, 符合电功率条件要求

表3 三种不同类型公交车的出厂成本构成 (单位: 万元)

Tab. 3 Factory cost of 3 types of bus (unit: $\times 10^4$ yuan)

	CDB	BEB	HEB
车型	NJL6120G4	NJL6129BEV	NJL6129HEV
核心零部件	内燃机: 5	动力电池: 85	内燃机: 5
		驱动电机: 8	动力电池: 5
		电控系统: 8	驱动电机: 8
其他零部件	50	65	65
出厂成本 C_p	55	166	91

的10 m以上纯电动公交车或获50万元推广补贴, 取混合动力车公交车的补贴25万元, 而纯电动车补贴50万元, 普通柴油公交车无政策支持, 补贴为0, 计算时 C_r 取负数。

3.2 维护保养成本

公交车的维护保养费一般与行驶里程、公交车技术的成熟度相关。经调研, 所有种类的公交车新投入1 a内车况较好, 1 a后故障率提升, 维修保养频率与费用均会增长, 特别是新能源车的核心零部件运行2~3 a后需更换。根据南京江南公交公司调查数据, 设定CDB第1 a的维修保养费用为0.6万元, 第2 a为1.2万元, 以后每年逐年增加0.2万元。HEB由于多出电控系统与驱动电机, 二者也是故障多发部件, 将其有形与无形磨损价值摊销到每年的维修费, 平均每年维修费占电控系统与驱动电机总成本费用的12.5%。由于大容量电池存在容量衰退现象, BEB相对HEB多出电池更换费用^[10]。根据经验数据, 电池寿命一般为2.5 a, 在第3 a和第5 a需换电池。按照文献[11]的电池成本趋势预测, NJL6129BEV两次更换电池成本分别约为60万元和40万元。根据以上分析, 3种类型车辆的维修保养费估算如表4所示。

表4 三种类型车辆的维修保养费 (单位: 万元)

Tab. 4 Repair and maintenance cost for 3 types of bus

(unit: $\times 10^4$ yuan)

年份/年	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CDB	0.6	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
HEB	2.6	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4
BEB	2.6	3.2	63.4	3.6	3.8	44.0	4.2	4.4

根据文献[12]车辆报废余值一般为购置出厂成本的4%, 则计算出报废时余值分别为: CDB的 $C_s=55 \times 10^4 \times 4\%=2.2$ 万元, HEB的 $C_s=91 \times 10^4 \times 4\%=3.64$ 万元, BEB的 $C_s=166 \times 10^4 \times 4\%=6.64$ 万元。

3.3 能耗成本

能耗成本是公交车运营持续投入的主要开支。本案例中选取的CDB与HEB采用柴油作为动力燃料,

而 BEB 采用存储电能作为驱动力。百公里能耗成本 = 燃料单价 $\times$ 百公里燃料消耗量, 故以柴油与电能单价为定额计算能耗成本。采用最小二乘法预测未来柴油与电能单价, 如表 5、表 6 所示。

表 5 2014—2020 年南京市柴油价格预测 (单位: 元/L)

Tab. 5 Prediction of diesel oil prices in Nanjing from 2014 to 2020 (unit: yuan/L)

历史数据				拟合数据						
年份/年	2003	2008	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
单价	3.15	5.05	7.22	7.58	8.56	10.01	11.56	13.35	14.78	16.23

注: 历史数据来源为中国化工产品网

表 6 2014—2020 年南京市工业用电单价预测

(单位: 元/(kW·h))

Tab. 6 Prediction of industrial electricity prices in Nanjing from 2014 to 2020 (unit: yuan/(kW·h))

历史数据				拟合数据						
年份/年	2003	2008	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
单价	0.726	0.813	0.889	0.907	0.923	0.939	0.956	0.972	0.988	1.004

注: 历史数据来源为江苏省电网销售统计表

经实测, 南京江南公交 NJL6120G4 百公里油耗为 35.7 L, NJL6129HEV 百公里油耗为 30.8 L, NJL6129BEV 百公里耗电 121 kW·h。南京公交车日平均行驶里程 186 km 计算, 则 3 种公交车年均行驶里程为 186 km/d $\times$ 365 d = 67 890 km。根据以上数据计算各种类型车的年均能耗成本费用, 如表 7 所示。

表 7 三种类型车辆的年均能耗成本预测 (单位: 万元)

Tab. 7 Prediction of annual average energy consumption costs of 3 types of bus (unit: $\times 10^4$ yuan)

年份/年	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CDB	17.50	18.37	20.74	24.26	28.02	32.36	35.82	39.34
HEB	15.09	15.85	17.90	20.93	24.17	27.91	30.90	33.94
BEB	7.30	7.45	7.58	7.71	7.85	7.98	8.11	8.24

4 经济性分析

将各经济性影响因子数据代入式 (3), 得到 2013 年各类型公交车全生命周期资金投入净现值数据。CDB 为 210.24 万元, HEB 为 212.55 万元, BEB 为 248.12 万元。资金投入净现值及各影响因子构成如图 2 所示。

根据图 2 分析结论如下:

(1) 从 3 种公交车生命周期总成本来看, 当前 HEB, CDB 比较 BEB 更具有经济上的竞争优势。BEB 比 CDB, HEB 的总成本高出 37.88 万元和 35.57 万元, 其经济性处于明显弱势; HEB 比 CDB 总成本高 2.31 万元, 二者处于竞争状态。

(2) 就各因子对经济性的影响而言, CDB 全生

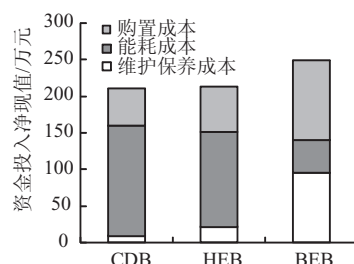


图 2 基于动态成本模型的 3 种公交车经济性

Fig. 2 Economy of 3 types of bus based on dynamic cost model

命周期中能耗成本最高, 占其全生命周期成本的 71.9%; HEB 同样是能耗成本最高, 为 61.4%; 而 BEB 全生命周期中购置成本最高, 占 43.5%, 其次为维护保养成本。因此, 提高新能源公交车经济性, 首先需降低 HEB 的能耗成本、BEB 的购置成本和维护保养成本。

(3) 从发展的角度看, BEB 具有较好的应用前景。BEB 突出的节能特性使其能耗成本较传统 CDB 低 105.91 万元, 但购置与维护保养中的电池价格导致总体经济性较差。按本文所述动态模型试算, 当 BEB 的电池技术成熟, 成本下降 28.5% 时, 其总体经济性与其他两种公交车相当。

进一步, 以 HEB 的数据为例, 剖析考虑资金时间价值的经济性动态分析机理及其合理性。公交运营企业投资时, 若初始投入的费用越高, 公交企业承受的财务压力越大, 反之越小。因此若 HEB 与 CDB 静态成本相同, 但由于 HEB 购置时投入的一次性成本较大, 公交企业会考虑其投资的时间点及投资量的影响, 将更倾向选择 CDB。由图 3 可看出, 动态模型计算过程中, 正是考虑了成本投入的先后顺序, 从而将各成本的静态值进行修正: 维护保养成本、能耗成本较静态模型中的占比分别减小 0.53% 和 4.92%, 购置成本增加 5.45%。考虑资金时间价值的动态模型不仅能表明不同投资时间点和投资量大小影响, 而且根据资金折现率自动分配影

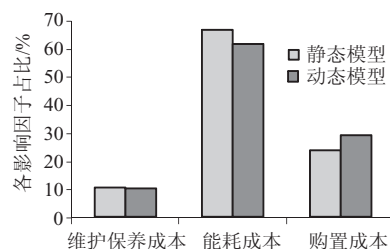


图 3 两种模型计算的 HEB 经济性影响因子对比图

Fig. 3 Comparison of economic impact factors of HEB calculated by 2 models

响权重,因而更适用于实际应用中的新能源公交车经济性评价。

5 结论

(1) 分析新能源公交车经济性动态分析的必要性,提出考虑资金时间价值的经济性分析模型。该模型引入车辆购置、维护保养、运营能耗这3个影响因子,采用公交车全生命周期投入资金净现值作为其经济性的表征指标。

(2) 根据2013年南京地区新能源公交车运营数据,运用该模型对HEB, BEB, CDB这3种类型公交车进行经济性分析,给出详细的数据测算依据与步骤。

(3) 研究结论表明,当前HEB, CDB比较BEB更具有经济性。降低HEB的能耗成本、BEB的购置成本和维护保养成本,是提高新能源公交车经济性的关键。从发展的角度看,随着电池技术的不断成熟,节能特性明显的BEB具有较好的应用前景。

(4) 对比传统经济性静态分析方法,论证本文经济性动态分析模型的合理性。该模型以公交企业的消费者视角研究新能源公交车经济性,权衡不同投资时间点和投资量的代价,因此适用于现实应用中的新能源公交车经济性评价。

参考文献:

References:

- [1] 中国汽车技术研究中心. 2013 节能与新能源汽车年鉴 [M]. 北京: 中国经济出版社, 2013.
China Automotive Technology & Research Center. 2013 Yearbook of Energy-saving and New Energy Vehicles [M]. Beijing: China Economic Press, 2013.
- [2] 庄幸, 姜克隽. 我国纯电动汽车发展路线图的研究 [J]. 汽车工程, 2012, 34 (2): 91-97.
ZHUANG Xing, JIANG Ke-jun. A Study on the Roadmap of Electric Vehicle Development in China [J]. Automotive Engineering, 2012, 34 (2): 91-97.
- [3] 谷音, 黄威, 卓卫东. 基于全寿命周期成本分析的桥梁设计研究综述 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (6): 67-73.
GU Yin, HUANG Wei, ZHUO Wei-dong. Review of Research of Bridge Design Based on Life Cycle Cost Analysis [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (6): 67-73.
- [4] 李道清, 任玉珑, 韩唯健. 替代燃料汽车的持有者成本研究 [J]. 中国软科学, 2007 (5): 53-59.
LI Dao-qing, REN Yu-long, HAN Wei-jian. A study of Ownership Costs of Alternative Fuel Vehicles [J]. China Soft Science, 2007 (5): 53-59.
- [5] 任玉珑, 李海锋, 孙睿, 等. 基于消费者视角的电动汽车全寿命周期成本模型及分析 [J]. 技术经济, 2009, 28 (11): 54-58.
REN Yu-Long, LI Hai-feng, 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.
- [6] PAUL K, ROBIN W, KATHRYN G. Essentials of Economics [M]. 2nd. ed. New York: Worth Publishers, 2011.
- [7] LIN Cheng-tao, WU Tian, OU Xun-min, et al. Life-cycle Private Cost of Hybrid Electric Vehicles in Current Chinese Market [J]. Energy Policy, 2013, 55: 501-510.
- [8] 马钧, 王宁, 孔德洋. 基于 AHP 及 Logit 回归的新能源汽车市场预测模型 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37 (8): 1079-1084.
MA Jun, WANG Ning, KONG De-yang. Market Forecasting Modeling Study for New Energy Vehicle Based on AHP and Logit Regression [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2009, 37 (8): 1079-1084.
- [9] 中华人民共和国财政部. 关于继续开展新能源汽车推广应用工作的通知 [EB/OL]. (2013-09-13) [2014-01-29]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n12843926/n13917042/15629217.html>.
P. R. C. Ministry of Finance. Notice on Continuing New Energy Vehicle Popularization and Application [EB/OL]. (2013-09-13) [2014-01-29]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n12843926/n13917042/15629217.html>.
- [10] 时玮, 姜久春, 张维戈, 等. 纯电动公交车动力电池寿命测试行驶工况的研究 [J]. 汽车工程, 2013, 35 (2): 138-142, 151.
SHI Wei, JIANG Jiu-chun, ZHANG Wei-ge, et al. A Study on the Driving Cycle for the Life Test of Traction Battery in Electric Buses [J]. Automotive Engineering, 2013, 35 (2): 138-142.
- [11] LIPMAN T E. Manufacturing and Lifecycle Costs of Battery Electric Vehicles, Direct-hydrogen Fuel Cell Vehicles and Direct-Methanol Fuel Cell Vehicles [C] // Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit, 2000, (IECEC) 35th Intersociety. Las Vegas: IEEE, 2000: 1352-1358.
- [12] 王寿兵, 林宗虎, 张旭, 等. 上海市柴油和 CNG 公交车生命周期成本比较 [J]. 复旦学报: 自然科学版, 2007, 46 (1): 123-128, 134.
WANG Shou-bing, LIN Zong-hu, ZHANG Xu, et al. Comparative Studies on Life Cycle Costs (LCC) between Diesel Powered and Compressed Natural Gas (CNG) Powered Bus in Shanghai City [J]. Journal of Fudan University: Natural Science Edition, 2007, 46 (1): 123, 128, 134.