

租赁模式下的物流企业电动车辆替换决策

倪 晓, 李 英

(华东理工大学商学院, 上海 200237)

摘要: 电动车辆在物流配送中的应用受到了广泛的关注. 在考虑电动车辆租赁模式的基础上, 建立了车辆替代决策优化模型, 充分考虑了电池成本的学习曲线和能源价格的不确定性, 分析了物流企业长期运营过程中车辆替换决策的优化, 并讨论了影响电动车辆替换速度的因素. 结果表明, 从长期来看, 电动车辆富有竞争力; 物流企业的车辆投入预算直接影响电动车辆的替换速度; 租赁模式能促进物流企业对电动车辆的使用; 租赁系数直接影响物流企业对电动车辆租赁模式的采用率; 短周期、大金额政府补贴会大大加快电动车辆的替换速度.

关键词: 物流配送; 租赁模式; 替换决策; 政府补贴; 新能源汽车

中图分类号: F540 文献标识码: A 文章编号: 1000-5781(2020)01-0013-11

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2020.01.002

Replacement decisions of electric vehicles in logistics enterprises under rental mode

Ni Xiao, Li Ying

(School of Business, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: The application of electric vehicles in logistics and distribution has received widespread attention. Considering electric vehicle rental modes, this paper establishes an optimization model of vehicle replacement decisions based on the learning curve of battery cost and the uncertainty of energy price. It analyzes the optimization of vehicle replacement decision in the long-term operation process of logistics enterprises and discusses the factors that affect the replacement speed of electric vehicles. The results show that electric vehicles are competitive in the long run, that the budget of the logistics enterprise directly affects the replacement speed of the electric vehicle, that rental mode can promote the use of electric vehicles for logistics enterprises, that the rental coefficient directly affects the adoption of the electric vehicle rental mode by logistics enterprises, and that large amount of government subsidies in the short period can greatly speed up the replacement of electric vehicles.

Key words: logistics and distribution; rental mode; replacement decision; government subsidy; new energy vehicle

1 引言

目前, 电子商务的高速发展带动了物流配送行业的井喷式增长. 2016年, 我国社会物流总费用达11.1万亿元, 占GDP比率的14.9%. 随着业务量的逐年攀升, 物流业成为我国能源消耗和二氧化碳排放的主要行业之一^[1]. 一方面, 我国对进口石油的依赖度在2015年首次超过60%, 物流业的车用燃油占燃油总消耗量的比

收稿日期: 2017-07-03; 修订日期: 2017-11-14.

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(71431004); 国家自然科学基金资助项目(71101051).

例也在逐年升高;另一方面,物流业是我国CO₂排放增长速度最快的行业之一,2016年我国汽车二氧化碳排放量占总量的8%~10%^[2].因此,物流业在国家节能减排战略实施中居于重要地位.

有效改善物流业能源消费结构的可行途径之一就是大力推广电动车辆在物流业中的应用^[3].为此,我国政府自2009年共发布了八批节能车辆推广目录,共有44个整车汽车生产企业共616种型号节能车辆得到了财政补贴^[4],并且还出台了《节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020年)》等政策条例以促进新能源汽车产业的发展^[5].国内外很多物流企业纷纷开始使用电动车辆进行货物运输与配送,如申通、中通、德邦和UPS等^[6].

然而,由于电动车辆仍存在价格高^[7]、技术发展尚不成熟^[8,9]、基础设施不完善^[10]等制约因素,电动车辆在物流企业中的替换不会一蹴而就,而是一个长期的过程.目前,我国市场上的电动车辆的商业模式主要有两种:一是整车购买模式;二是整车租赁模式,其中,电池充电及养护由车辆使用方负责^[11].那么,当物流企业在运营过程中需要更换或购置物流车辆时,应该如何优化决策?从长远的角度来看,企业是否会更倾向于使用电动物流车?物流企业在车辆投入方面的预算大小和有无租赁模式会如何影响物流企业对车辆更换的决策?电动车辆租赁成本和政府对于电动车辆补贴政策的变化,会对企业车辆更换决策产生什么影响?

目前,已有文献对上述问题进行了一定研究.对于整车购买模式,Davis和Figliozi^[12]建立了一种连续近似路径规划模型,发现当运营成本较低时电动车辆较柴油车具有竞争优势.Lin等^[13]建立了生命周期成本模型以评估混合动力汽车市场前景,研究结果表明:如果油价上涨或里程数增加,混合动力汽车相对于传统燃油车是成本节约的.Feng和Figliozi^[14]提出了车辆替换决策模型,比较了美国市场30年传统车辆和电动车辆的最优更换周期,发现当车辆使用率较高时电动车辆是具有竞争力的.Ahani等^[15]在该模型的基础上引入投资组合理论,研究发现:考虑不确定性风险时,电动车辆存在与传统车辆竞争的潜力.任玉珑等^[16]指出电动汽车的全寿命周期成本远低于燃油汽车,在同等条件下理性消费者会更倾向于选择电动汽车.李英和胡剑^[17]将技术学习曲线引入新能源汽车生产成本,分析了其对车辆替换决策的影响.Ma等^[18]和齐兴达等^[19]发现电动车辆的减排成本具有较大下降潜力.刘明磊等^[20]分析得出碳税可以加速新能源技术演化的进程,能源替代与技术进步将逐步成为减排的主要来源.而对于整车租赁模式,李建等^[21]研究了第三方物流企业多车型硬时间窗车辆路线问题,为企业车辆租赁决策提供了依据.Nakamura和Abe^[22]指出租赁模式提高了顾客的整体满意度.Correia和Santos^[23]通过成本效益分析发现电动车辆租赁存在可观利润.

关于电动车辆替换决策的研究大多从单一运营模式的角度出发,很少有研究同时将电动车辆购买模式和租赁模式纳入到企业车辆替换决策中.此外,研究大多基于国外车辆品牌及环境参数,未考虑到我国电池技术发展和能源价格波动的差异性,对我国物流企业车辆配置决策的指导意义有限.基于此,本文将电动车辆租赁模式纳入考虑,建立车辆替代决策模型研究物流企业在长期运营过程中如何进行车辆替换决策,进而对影响电动车辆替换速度的因素进行分析,以期对物流企业车辆配置决策和相关部门政策制定提供参考性建议.

2 电动车辆替换决策模型

2.1 问题描述

拟研究的问题具体可以描述为物流企业在长期货物运输中对车辆进行最优组合的的决策.物流企业需要在每年年初对车队中的车辆进行配置,有三种车辆配置方式可供企业选择:购买传统车辆、购买电动车辆和租赁电动车辆.传统车辆和电动车辆在车辆购置/租赁成本、能源成本、维护成本和二氧化碳排放成本上具有一定差异,共同影响着物流企业对车辆的选择.其中,车辆购置成本受电池技术发展的影响而发生相应变化;能源成本因能源匮乏而存在不确定性.传统车辆和电动车辆在可行里程上也有所差异,而车队必须能够满足每年企业的年总里程需求.企业每年具有一定的车辆投入方面的预算,可以选择购买/租赁新车或者处置旧车,其中租赁的电动车辆为一年一租.车辆具有一定的使用年限,超过年限的车辆必须被处置.企业

希望得到最优的车辆配置决策方案使车队总成本最小.

模型中涉及到的变量和参数的符号意义说明如表1所示.

表 1 参数符号说明
Table 1 Parameters symbol

参数符号	符号含义
k	车辆类型
i	车辆年龄
t	规划时期
X_{itk}	第 t 年车龄 i 的 k 型车的保有量
Y_{itk}	第 t 年年末车龄 i 的 k 型车的折旧量
Z_{tk}	第 t 年年初 k 型新车的购买量
R_t	第 t 年租赁电动车辆的数量
v_{tk}	第 t 年 k 型车的购买成本
vr_t	第 t 年电动车辆的租赁成本
f_{itk}	第 t 年车龄 i 的 k 型车的单位能源成本
m_{ik}	车龄 i 的 k 型车的单位维护成本
e_{ik}	车龄 i 的 k 型车的单位 CO_2 排放成本
s_{itk}	第 t 年车龄 i 的 k 型车的剩余价值
u_{ik}	每年车龄 i 的 k 型车的可用里程数
h_{ik}	期初车龄 i 的 k 型车的数量
d_t	第 t 年的行驶里程数需求
b_t	第 t 年的预算
dr	年贴现率

2.2 未考虑租赁模式的模型

对于物流企业来说, 长期规划目标是尽量减少规划期内的车辆总成本. 模型的约束考虑了预算、里程需求、车辆折旧等因素. 在不考虑电动车辆租赁模式时建立的优化模型如下

$$\begin{aligned} \text{Min TC} = & \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K v_{tk} Z_{tk} (1+dr)^{-t} + \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^{A_k-1} (f_{itk} + m_{ik} + e_{ik}) u_{ik} X_{itk} (1+dr)^{-t} - \\ & \sum_{t=0}^T \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{A_k} s_{itk} Y_{itk} (1+dr)^{-t}, \end{aligned} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{k=1}^K v_{tk} Z_{tk} \leq b_t, \quad t = 0, 1, \dots, T-1, \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^{A_k-1} u_{ik} X_{itk} \geq d_t, \quad t = 0, 1, \dots, T-1, \quad (3)$$

$$Z_{0k} + h_{0k} = X_{00k}, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (4)$$

$$X_{i0k} + Y_{i0k} = h_{ik}, \quad i = 1, 2, \dots, A_k, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (5)$$

$$Z_{tk} = X_{0tk}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (6)$$

$$X_{(i-1)(t-1)k} = X_{itk} + Y_{itk}, \quad i = 1, 2, \dots, A_k, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (7)$$

$$X_{iTk} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, A_k - 1, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (8)$$

$$X_{A_k tk} = 0, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (9)$$

$$Y_{0tk} = 0, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (10)$$

$$X_{itk}, Y_{itk}, Z_{tk} \in N, \quad (11)$$

其中式(1)的目标函数TC为车辆总成本,包括购买成本、能源成本、维护成本、CO₂排放成本和处置成本(剩余价值).约束(2)确保了每年购买新车的总成本不会超过该年的预算,约束(3)保证了每年车队中所有车辆的总行驶里程数必须满足总需求里程数,约束(4)表明了期初时新车数量的平衡,即初始新车数与购买的新车数之和等于即将使用的新车数,约束(5)说明了期初时非新车数量的平衡,即初始非新车可以继续使用或折旧,约束(6)表明了每年车队中使用的新车数应等于该年新购车辆数,约束(7)说明了当年车队中使用的车辆在下一年可以继续使用或折旧,约束(8)说明了车队中所有的车辆在期末全部折旧,约束(9)保证了车辆达到最大车龄时不得继续使用,约束(10)确保了每辆新购买的车至少使用一年,不得直接折旧,约束(11)指明了决策变量只能取非负整数值.

2.3 考虑租赁模式的模型

将电动车辆租赁模式引入后,物流企业需考虑租赁电动车辆所产生的租赁成本.此时,建立的优化模型如下

$$\text{Min TCR} = \text{TC} + \sum_{t=0}^{T-1} \text{vr}_t R_t (1 + dr)^{-t} + \sum_{t=0}^{T-1} (f_{0t2} + m_{02} + e_{02}) u_{02} R_t (1 + dr)^{-t}, \quad (12)$$

s.t.

$$\sum_{k=1}^K v_{tk} Z_{tk} + \text{vr}_t R_t \leq b_t, \quad t = 0, 1, \dots, T - 1, \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^{A_k-1} u_{ik} X_{itk} + u_{02} R_t \geq d_t, \quad t = 0, 1, \dots, T - 1, \quad (14)$$

$$R_t \in N, \quad (15)$$

其中式(12)的目标函数加入了电动车辆租赁模式后的总成本,具体来说,此时的总成本TCR包括电动车辆租赁成本、电动车辆租赁时的运营成本和未考虑租赁模式下的总成本TC.约束(13)、(14)分别由约束(2)、(3)变化而来,约束(13)确保了每年购车和租车的总成本不会超过该年的预算,约束(14)保证了无论是通过购车还是租车,每年车队中所有车辆的总行驶里程数必须满足总需求.该模型必须同时满足约束(4)~(11),约束(15)指明决策变量 R_t 只能取非负整数值.

3 模型参数

本节在传统车辆与电动车辆的竞争环境下对物流企业中两种不同车辆的最佳组合决策进行了优化.为了保证比较的典型性和公平性,选择销量排名靠前且运量、外观尺寸等主要参数均相同的“北汽威旺307”传统物流车和“北汽威旺307EV”电动物流车两种车型作为研究对象.通过中国产业信息网,获得了两款车型的具体特性参数,如表2所示.

表2 车辆特性对比表¹
Table 2 Comparison of vehicle characteristics

类别	北汽威旺307(k=1)	北汽威旺307EV(k=2)
最大车龄	10年	10年
购车成本	51 500元	200 600元
年运营里程	36 000km	36 000km
油箱容量/电池电量	45L	38kWh
油耗/电耗	0.07L/km	0.23kWh/km
油费/电费	6元/L	0.65元/kWh
CO ₂ 排放	2.63kg/L	0kg/kWh

¹<http://www.chyxx.com/industry/201609/450989.html>

传统车辆已经相对发展成熟, 因此假定传统车辆购买价格恒定不变, 即 $v_{1t}=51\ 500$ 元. 在电动车辆中, 电池成本占总成本的2/3左右^[6], 而电池技术具有学习效应, 成本会随着时间的推移而下降. 因此, 将电动车辆的购买成本分成非电池成本和电池成本. 假设非电池部分成本基本不变, 用FC表示. 电池成本用 VC_t 表示, 引入学习曲线对其下降过程进行刻画^[24] $VC_t = VC_0 \left(\frac{C_t}{C_0}\right) = VC_0 \left(\frac{P_{C_t}}{P_0}\right)^{-\log_2(1-LR)}$, 其中 VC_0 是初始的电池成本; C_0 是初始年度技术的成本; C_t 是第 t 年度技术的成本; LR是学习率, 电动车辆电池的学习率为9.5%; P_0 是初始的累积产能; P_{C_t} 是成本为 C_t 时的累积产能, 计算公式为 $P_{C_t} = \sum_{j=1}^t W_j$, $W_1 = P_0$, W_j 表示第 j 年的产能. 从中国产业信息网上查到了电池产能和价格的数据(如表3所示), 并利用Logistic回归得

$$W_j = \frac{300}{1 + 145.9115e^{-0.682j}}$$

表 3 电池产能和价格表²
Table 3 Battery capacity and price

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
产能(GWh)	3.2	4.3	5	8.8	33.05	59.15	94	138.5
电池价格(元/Wh)	3.5	3	2.8	2.4	2.2	2.2	2	1.7

与油价的大幅波动相比, 电价的波动可以忽略不计, 因此假设电价在规划时期内是恒定不变的. 油价的不确定性用方差来衡量, 根据公式 $E(\ln f_{i,t,k} - \ln f_{i,t-1,k}) = \hat{f}_k$ ^[15], 以及中国2005年到2015年历史油价(见表4), 计算得出油价的年增长率 $\hat{f}_1=0.062$. 因此, 传统车辆的单位能源消耗 $f_{it1} = 0.07(\text{L/km}) \times 6(\text{元/L})e^{0.062 \cdot 1t}$, 电动车辆的单位能源消耗 $f_{it2} = 0.23(\text{kWh/km}) \times 0.65(\text{元/kWh})$, 其中 $i = 0, 1, \dots, A_k - 1$, $t = 0, 1, \dots, T$.

表 4 中国1998–2015年油价表³
Table 4 Chinese oil price in 1998–2015

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
油价(元/L)	2.32	2.38	2.98	2.89	2.82	3.14	3.56	3.98	4.87
年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
油价(元/L)	5.12	6.00	6.09	6.94	7.64	7.81	7.86	6.21	6.67

电动车辆的维护总费用是柴油车辆维护费用的一半, 并且车辆的维修成本随年龄呈线性增长^[15]. 因此, 传统车辆的单位维护费 $m_{i1} = 0.02 + 0.01i$, 电动车辆的单位维护费 $m_{i2} = 0.01 + 0.005i$, 其中 $i = 0, 1, \dots, A_k - 1$.

本文只考虑车辆运营过程中的二氧化碳排放, 故模型计算中不考虑车辆制造和能源生产过程中产生的二氧化碳^[14]. 欧共体关于二氧化碳的成本 $ec=0.156$ 元/kg. 传统车辆的单位排放成本 $e_{i1} = 0.07(\text{L/km}) \times 2.63(\text{kg/L}) \cdot ec$, 电动车辆的单位排放成本 $e_{i2} = 0.23(\text{kWh/km}) \times 0(\text{kg/kWh}) \cdot ec$, 其中 $i = 0, 1, \dots, A_k - 1$ ^[15].

残值会随着车龄和累积车辆里程的增加而减少, 公式为 $s_{itk} = (1 - \theta_k) s_{(i-1)tk} = v_{tk} (1 - \theta_k)^i$, 其中 $i = 1, 2, \dots, A_k - 1$, $t = 0, 1, \dots, T$, $k = 1, 2, \dots, K$, θ_k 表示折旧率, 取决于使用水平. 传统车辆的折旧率为 $\theta_1 = 25\%$ ^[14], 电动车辆的折旧率为 $\theta_2 = (24.43/18.57)\theta_1 = 32.89\%$ ^[15].

4 结果与敏感性分析

本节使用初始参数和第3节的数据作为输入参数, 用Cplex对第2节所建立的模型进行求解, 从而获得求解结果.

²<http://www.chyxx.com/industry/201609/450989.html>

³http://www.liche365.com/Fee_DayOilTrend.php; http://news.cn2che.com/html/2014/1227/news_73570.html; <http://www.chinabgao.com/info/81683.html>

4.1 初始参数假设

假设车辆的最大寿命为10年, 设定规划期30年. 在计划初始时物流企业拥有20辆传统物流车, 且物流车的车龄是均匀分布的, 即: 20辆传统物流车中2辆是全新的, 2辆是已使用1年的, 2辆是已使用2年的, 以此类推. 所有车辆在第30年均以残值出售. 另外由于充电桩建设尚不完善, 电动车辆行驶里程存在一定的损耗, 本文假设其有效行驶率为90%. 假定贴现率为每年6.5%, 传统车辆和电动车辆的年使用量为36 000 km且保持不变.

而针对租赁模式, 假设每年租赁的电动车辆都是新车. 定义租赁系数 β 为每年的车辆租赁成本占购买成本的比重, 假设初始电动车辆租赁系数取值为18%, 租赁的电动车辆为一年一租.

4.2 初始场景假设

不同的物流企业对车辆投入有着不同的预算, 而预算大小又影响着车辆类型的选择. 当车辆预算投入较大时, 企业有足够的选择购买传统车辆、购买或租赁电动车辆; 当车辆年度预算投入较小时, 企业为了满足年行驶里程需求, 更多地会考虑购买传统车辆或租赁电动车辆. 假设预算较小时至少能购买1辆电动物流车, 预算中等时至少能购买2辆电动物流车, 预算较大时至少能购买3辆电动物流车. 考虑到小、中、大的预算和有无租赁模式的组合, 设计了场景S0~S5, 如表5所示.

表5 不同预算规模和有/无电动车辆租赁模式的场景表
Table 5 Scenarios of different budget sizes and electric vehicle rental modes

场景	预算(元/年)	有无电动车辆租赁模式
S0	200 600(小)	无
S1	200 600(小)	有
S2	401 200(中)	无
S3	401 200(中)	有
S4	601 800(大)	无
S5	601 800(大)	有

4.3 结果分析

本部分将分析不同的车辆投入方面的预算和有无电动车辆租赁模式对车队中车辆替换决策的影响. 图1~图6是S0~S5六种场景下车辆配置情况的结果.

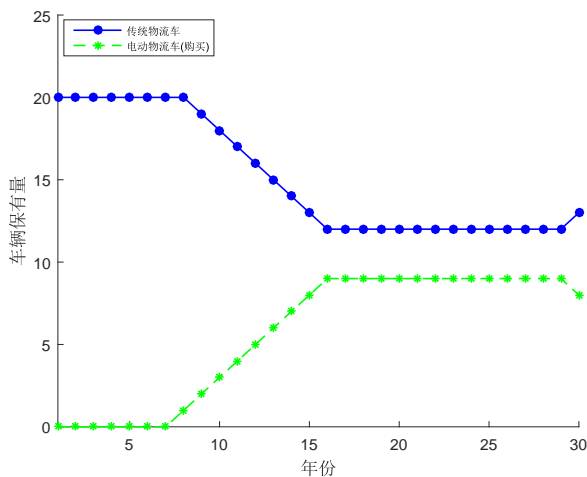


图1 S0场景下各类车辆保有量变化趋势

Fig. 1 The vehicle ownership results at scenario S0

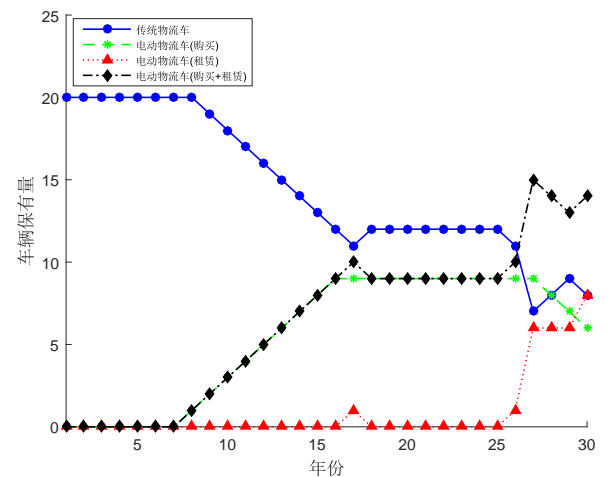


图2 S1场景下各类车辆保有量变化趋势

Fig. 2 The vehicle ownership results at scenario S1

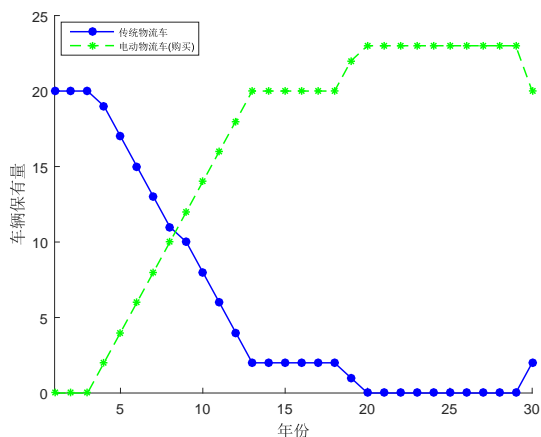


图 3 S2场景下各类车辆保有量变化趋势

Fig. 3 The vehicle ownership results at scenario S2

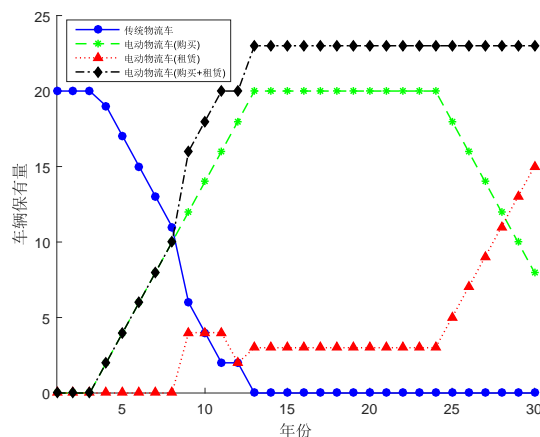


图 4 S3场景下各类车辆保有量变化趋势

Fig. 4 The vehicle ownership results at scenario S3

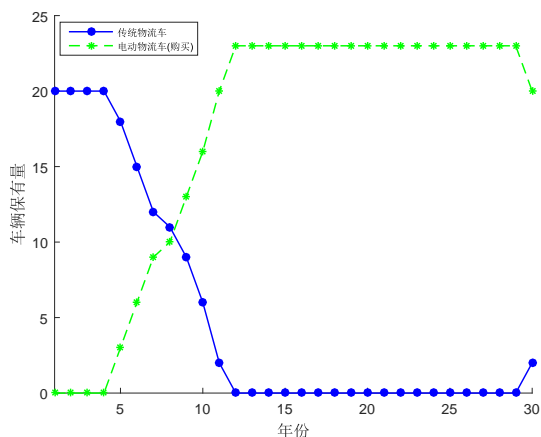


图 5 S4场景下各类车辆保有量变化趋势

Fig. 5 The vehicle ownership results at scenario S4

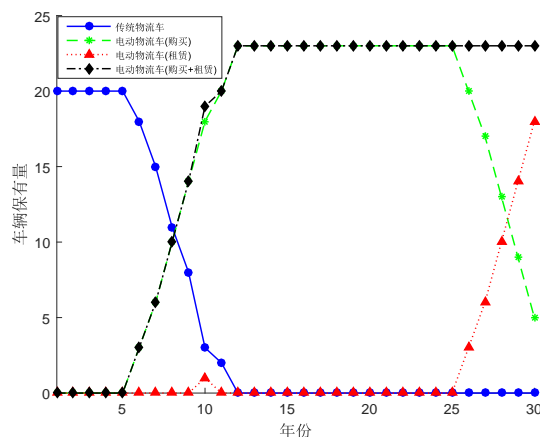


图 6 S5场景下各类车辆保有量变化趋势

Fig. 6 The vehicle ownership results at scenario S5

图1、图3和图5表示了在无租赁模式的情况下, 预算不同时每年车队中不同类型车辆保有量的变化趋势. 由图可知, 物流企业在车辆购买方面投入的预算大小直接影响传统车辆是否被完全替换以及电动车辆替换传统车辆的速度. 预算过小时, 传统车辆不能完全被替换; 预算越大, 电动车辆越容易替换传统车辆. 因此, 企业可适当增加车辆投入预算, 使得车队更快的完成车辆转型, 从而实现长期经济可持续性的目标.

图2、图4和图6表示了在有租赁模式的情况下, 预算不同时每年车队中不同类型车辆保有量的变化趋势. 由图可知, 物流企业在车辆购买(或租赁)方面投入的预算大小直接影响电动车辆对传统车辆的替换速度. 预算越大, 电动车辆替换传统车辆的速度越快. 考虑到企业的实际生命周期, 最后5年内, 企业将不再购买电动车辆, 而是采用租赁电动车辆的方式. 因此租赁作为一种短期替代模式, 能够降低企业业务转型或发生重大变革时的不确定性风险, 促进物流企业对电动车辆的使用.

对比图1、图3、图5和图2、图4、图6, 可以看出不同预算下有无租赁模式对车辆保有量具有影响, 具体表现在: 1) 在所有场景下, 电动车辆富有一定的竞争力. 无论是单纯的整车购买模式, 还是整车购买与租赁模式并存的情况下, 只要物流企业在车辆购置(或租赁)方面的预算在合理的范围内, 电动车辆均能够完全替代传统车辆. 2) 从长期来看, 电动车辆是富有竞争力的. 物流企业在车辆购买(或租赁)方面投入的预算大小直接影响电动车辆对传统车辆的替换速度. 预算越大, 电动车辆替换传统车辆的速度越快. 3) 租赁模式能促进物流企业对电动车辆的使用. 租赁作为一种短期替代模式, 能够降低企业不确定性风险, 有利于企业成本最

小化.

4.4 敏感性分析

租赁电动车辆作为一种新颖的推广模式,其成本对物流企业决策的影响值得进一步研究.而政府补贴作为电动车辆推广中的重要影响因素,探究不同补贴政策对车辆替换决策的影响也极有必要.因此,下面分别对租赁系数和政府补贴进行敏感性分析.

1) 租赁系数

图7~图10分别表示中等预算情况下电动车辆租赁系数 β 为0.10、0.16、0.24和0.60时,物流企业购买或租赁(新增)的车辆数量结果.从图中可以看出:租赁系数直接影响物流企业对电动车辆租赁模式的采用率.电动车辆租赁系数越小,企业为达到成本最小化目标,越倾向于采用电动车辆租赁模式.当租赁系数处于0.16~0.18之间,企业会采用电动车辆购买模式与租赁模式并存的方式,且此范围内租赁系数的变化对最优替代决策的影响很小.当租赁系数较大时,从长远角度来看,租赁电动车辆是不经济的,企业往往会更倾向于购买电动车辆.

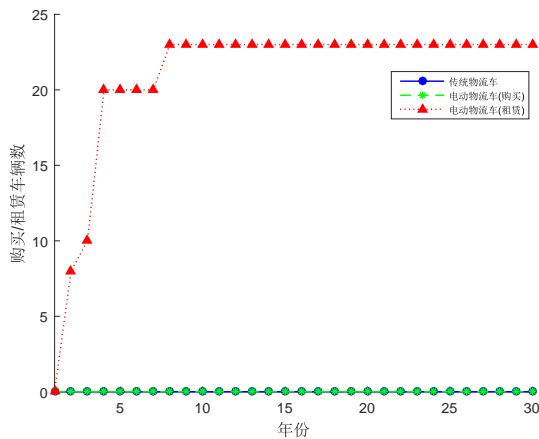


图7 $\beta=0.10$ 时的购买或租赁的车辆数量变化趋势

Fig. 7 The vehicle purchased or rented results when $\beta = 0.10$

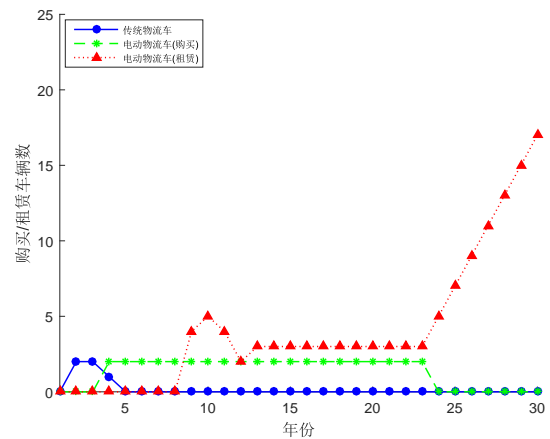


图8 $\beta=0.16$ 时的购买或租赁的车辆数量变化趋势

Fig. 8 The vehicle purchased or rented results when $\beta = 0.16$

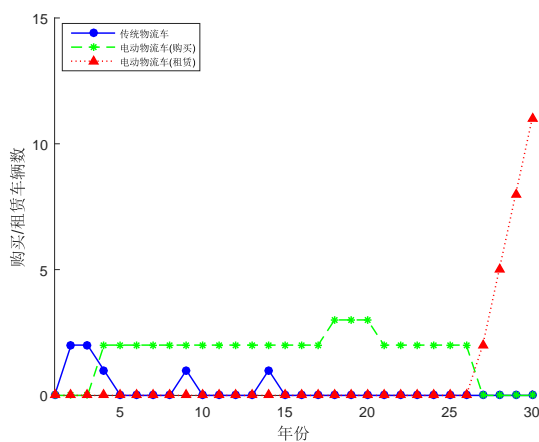


图9 $\beta=0.24$ 时的购买或租赁的车辆数量变化趋势

Fig. 9 The vehicle purchased or rented results when $\beta = 0.24$

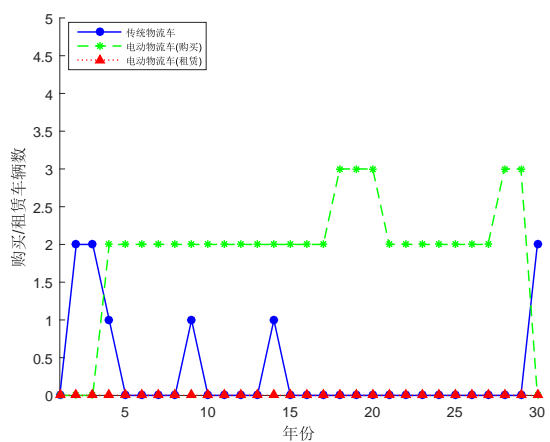


图10 $\beta=0.60$ 时的购买或租赁的车辆数量变化趋势

Fig. 10 The vehicle purchased or rented results when $\beta = 0.60$

2) 政府补贴

本部分研究政府补贴对车辆替代决策的影响,其中政府补贴体现在电动物流车购买价格的减免.假设

有两种政府补贴政策, 政策一(长周期、小金额补贴政策): 全规划期补贴5万元/车; 政策二(短周期、大金额补贴政策): 前15年补贴10万元/车, 后15年不补贴. 分别针对无租赁模式和有租赁模式两种情况得到的结果如图11-图14所示. 从图中可以看出: 政府补贴政策引入使电动车辆更具竞争力. 无论有无电动车辆租赁模式, 随着政府补贴政策的引入, 传统物流车从规划期初始立即开始被替代. 但是引入长周期、小金额补贴政策对车辆替代速度的影响不大, 引入短周期、大金额补贴政策会大大加快电动车辆替代传统车辆的速度.

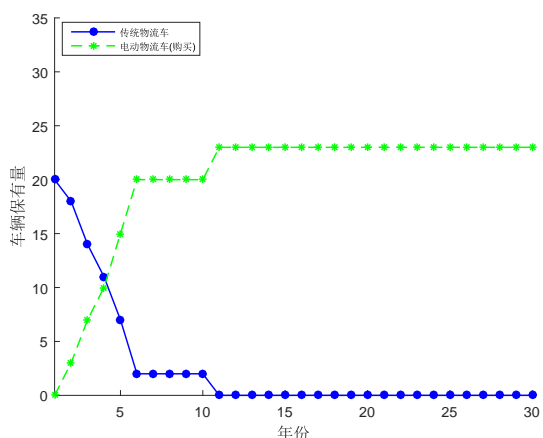


图 11 无租赁模式下引入补贴政策一的车辆保有量变化趋势

Fig. 11 The vehicle ownership results under subsidy policy 1 without

rental mode

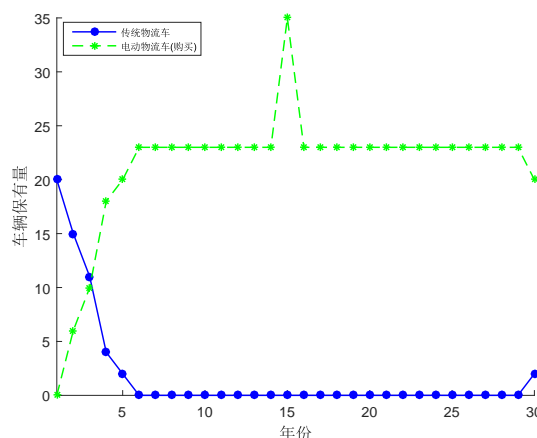


图 12 无租赁模式下引入补贴政策二的车辆保有量变化趋势

Fig. 12 The vehicle ownership results under subsidy policy 2 without

rental mode

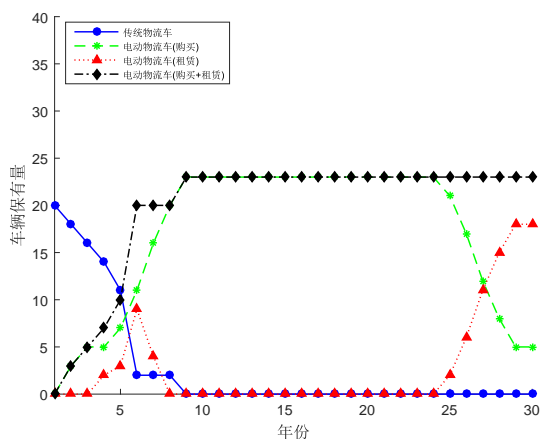


图 13 有租赁模式下引入补贴政策一的车辆保有量变化趋势

Fig. 13 The vehicle ownership results under subsidy policy 1 in the

rental mode

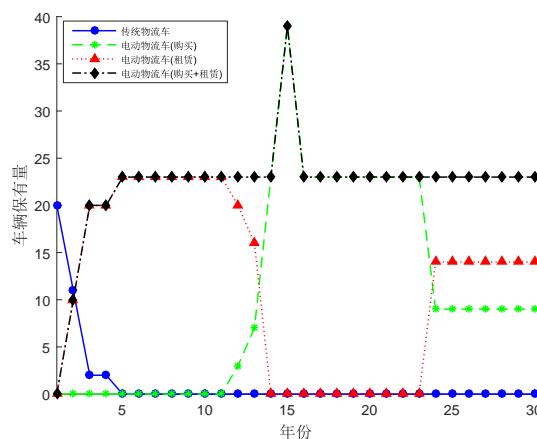


图 14 有租赁模式下引入补贴政策二的车辆保有量变化趋势

Fig. 14 The vehicle ownership results under subsidy policy 2 in the

rental mode

5 结束语

本文从物流企业长期运营角度研究了是否考虑租赁模式的电动车辆替换决策过程, 建立了两种情况下的车辆替代决策优化模型, 并对其进行了场景分析和敏感性分析. 结果表明, 长期来看电动车辆具有一定竞争力, 其替换的速度受到车辆投入预算、是否采用租赁模式、租赁系数 β 和政府补贴的影响.

因此, 物流企业应考虑将车队进行转型, 使用电动车辆逐渐替代传统车辆, 从而实现企业成本最小化. 在转型的过程当中, 企业可以考虑单纯的整车购买模式, 也可以考虑整车购买与租赁组合的模式. 从物流企

业实际购买能力的角度来看,企业的车辆投入预算过小会阻碍电动车辆的使用,长远来看存在着成本效益不经济性,建议企业适当放宽车辆投入预算,保持长期经济性.从企业实际生命周期的角度来看,租赁模式可以看作物流企业用来降低成本和规避风险的短期替代工具.在规划期末期购买电动车辆是不经济的,因此当企业出现业务重大变革时,可以考虑租赁作为短期替代工具.

本文只选择了两辆车作为研究车辆的典型,未来研究的车辆可以拓展到不同类型、不同容量的车辆组合;此外,本研究的租赁模式是整车租赁,未来可以针对电池租赁、融资租赁等其它租赁模式进行研究.

参考文献:

- [1] 张立国,李 东.中国物流业能源消耗、碳排放与行业发展关系分析.科技管理研究,2015,35(24): 238–243.
Zhang L G, Li D. An analysis of relationship among energy consumption, carbon emission and economic growth on China's logistics. Science and Technology Management Research, 2015, 35(24): 238–243. (in Chinese)
- [2] Wang N, Pan H, Zheng W. Assessment of the incentives on electric vehicle promotion in China. Transportation Research, Part A: Policy and Practice, 2017, 101: 177–189.
- [3] 王富忠,沈祖志.物流业能源消费的替代效用和城镇化效用研究.中国管理科学,2016,24(9): 45–52.
Wang F Z, Shen Z Z. Research on substitution effect and urbanization effect on energy consumption of the logistics industry. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(9): 45–52. (in Chinese)
- [4] 田一辉,朱庆华.政府价格补贴下绿色供应链管理扩散博弈模型.系统工程学报,2016,31(4): 526–535.
Tian Y H, Zhu Q H. Game model for diffusion of green supply chain management based on price subsidies of the government. Journal of Systems Engineering, 2016, 31(4): 526–535. (in Chinese)
- [5] 刘颖琦,王静宇, Kokko A.电动汽车示范运营的政策与商业模式创新:全球经验及中国实践.中国软科学,2014,(12): 1–16.
Liu Y Q, Wang J Y, Kokko A. EV demonstration policy and business model innovation: Global experiences and China's practices. China Soft Science, 2014, (12): 1–16. (in Chinese)
- [6] 李 英,李 惠.基于价值网络的电动物流车商业模式创新研究.科技管理研究,2017,37(4): 219–225,234.
Li Y, Li H. Research on business model innovations for electric trucks from the perspective of value network. Science and Technology Management Research, 2017, 37(4): 219–225, 234. (in Chinese)
- [7] 王秀杰,陈轶嵩,徐建全.我国新能源汽车产业化发展问题及对策研究.科技管理研究,2012,32(11): 29–35.
Wang X J, Chen Y S, Xu J Q. Analysis of problems of Chinese new energy vehicles industrialization development. Science and Technology Management Research, 2012, 32(11): 29–35. (in Chinese)
- [8] Hidrue M K, Parsons G R, Kempton W, et al. Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. Resource and Energy Economics, 2011, 33(3): 686–705.
- [9] Carley S, Krause R M, Lane B W, et al. Intent to purchase a plug-in electric vehicle: A survey of early impressions in large US cities. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2013, 18(1): 39–45.
- [10] 任 斌,邵鲁宁,尤建新.基于创新扩散理论的中国电动汽车广义Bass模型.软科学,2013,27(4): 17–22.
Ren B, Shao L N, You J X. Development of a generalized bass model for Chinese electric vehicles based on innovation diffusion theory. Soft Science, 2013, 27(4): 17–22. (in Chinese)
- [11] 王秀杰.我国电动汽车商业模式创新SWOT分析.科技管理研究,2013,33(8): 18–22.
Wang X J. The SWOT analysis on business model innovation of electric vehicle in China. Science and Technology Management Research, 2013, 33(8): 18–22. (in Chinese)
- [12] Davis B A, Figliozzi M A. The competitiveness of commercial electric vehicles in the LTL delivery industry: A model and application// Proceedings of the Transportation Research Board 91st Annual Meeting. Washington DC, 2012: 12–2676.
- [13] Lin C, Wu T, Ou X, et al. Life-cycle private costs of hybrid electric vehicles in the current Chinese market. Energy Policy, 2013, 55(4): 501–510.
- [14] Feng W, Figliozzi M. An economic and technological analysis of the key factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles: A case study from the USA market. Transportation Research, Part C: Emerging Technologies, 2013, 26(1): 135–145.
- [15] Ahani P, Arantes A, Melo S. A portfolio approach for optimal fleet replacement toward sustainable urban freight transportation. Transportation Research, Part D: Transport and Environment, 2016, 48(9): 357–368.

- [16] 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. 技术经济, 2009, 28(11): 54–58.
Ren Y L, Li H F, Sun R, et al. Analysis on model of life cycle cost of electric vehicle based on consumer perspective. Technology Economics, 2009, 28(11): 54–58. (in Chinese)
- [17] 李 英, 胡 剑. 基于智能体的多类新能源汽车市场扩散模型. 系统管理学报, 2014, 23(5): 711–716.
Li Y, Hu J. An agent-based diffusion modeling and simulation of multiple classes of new energy vehicles. Journal of Systems & Management, 2014, 23(5): 711–716. (in Chinese)
- [18] Ma Y, Ke R Y, Han R, et al. The analysis of the battery electric vehicle's potentiality of environmental effect: A case study of Beijing from 2016 to 2020. Journal of Cleaner Production, 2017, 145(6): 395–406.
- [19] 齐兴达, 李显君, 章博文. 中国温室气体减排成本有效性分析——以纯电动汽车为例. 技术经济, 2017, 36(4): 72–78.
Qi X D, Li X J, Zhang B W. Cost effectiveness analysis on emission reduction of greenhouse gas in China: Taking electric vehicle as example. Technology Economics, 2017, 36(4): 72–78. (in Chinese)
- [20] 刘明磊, 范 英, 朱 磊, 等. 减排政策作用下的新能源内生技术变化建模. 系统工程学报, 2014, 29(6): 763–770.
Liu M L, Fan Y, Zhu L, et al. Modeling for new energy endogenous technological change under action of emission reduction policies. Journal of Systems Engineering, 2014, 29(6): 763–770. (in Chinese)
- [21] 李 建, 张 永, 达庆利. 第三方物流多车型硬时间窗路线问题研究. 系统工程学报, 2008, 23(1): 74–80.
Li J, Zhang Y, Da Q L. Research on heterogeneous vehicle routing problem with hard time windows for the third party logistics. Journal of Systems Engineering, 2008, 23(1): 74–80. (in Chinese)
- [22] Nakamura H, Abe N. Tourist decisions in renting various personal travel modes: A case study in Kitakyushu City, Japan. Tourism Management, 2016, 55(4): 85–93.
- [23] Correia G, Santos R. Optimizing the use of electric vehicles in a regional car rental fleet. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2014, 2454(1): 76–83.
- [24] Matteson S, Williams E. Learning dependent subsidies for lithium-ion electric vehicle batteries. Technological Forecasting and Social Change, 2015, 92(3): 322–331.

作者简介:

倪 晓 (1994—), 女, 浙江嘉兴人, 硕士生, 研究方向: 运筹与优化, Email: nixiao.ecust@163.com;

李 英 (1974—), 女, 山东济宁人, 博士, 教授, 研究方向: 运筹与优化、创新扩散, Email: liying@ecust.edu.cn.