

基于寿命周期的报废汽车回收潜力研究

张 朔, 张绪美

武汉科技大学汽车与交通工程学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年2月8日; 录用日期: 2024年2月28日; 发布日期: 2024年4月15日

摘 要

汽车回收行业是加快构建我国无废城市的建立和循环经济发展的重要行业之一。而报废汽车回收潜力的研究对汽车回收行业的可持续发展具有重要意义。不同的汽车性能存在较大的差异, 使得汽车的寿命不尽相同, 进而决定着不同时期的汽车报废数量, 以此对报废汽车回收潜力研究影响巨大。本文采用logistic函数对我国2023~2030年汽车保有量进行预测, 引入寿命函数对我国汽车报废量进行预测, 进而对我国报废汽车进行回收潜力评估。研究结果表明, 相比于2022年, 2030年我国汽车保有量将增长24%左右, 其中汽车报废量将由2023年的120.38万辆增长到6799.75万辆。2030年报废汽车在最长寿命周期下废钢铁, 废塑料, 废有色金属, 废橡胶和废玻璃的回收量比最短寿命周期下的回收量减少约50%。可见, 不同的寿命周期下, 报废汽车回收潜力有着显著差异。

关键词

报废汽车, 寿命函数, 回收潜力

Research on the Recycling Potential of End-of-Life Vehicles Based on Life Cycle

Shuo Zhang, Xumei Zhang

School of Automobile and Traffic Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei

Received: Feb. 8th, 2024; accepted: Feb. 28th, 2024; published: Apr. 15th, 2024

Abstract

Automobile recycling industry is one of the important industries to speed up the establishment of non-waste cities in China and the development of recycling economy. The research on the recycling potential of end-of-life vehicles is of great significance to the sustainable development of the

automobile recycling industry. There are great differences in the performance of different vehicles, which makes the life of vehicles different, and then determines the number of end-of-life vehicles in different periods, which has a great impact on the research of the recycling potential of end-of-life vehicles. In this paper, the logistic function is used to predict the vehicle ownership in China from 2023 to 2030, and the life function is introduced to predict the amount of end-of-life vehicles in China, and then the recycling potential of end-of-life vehicles in China is evaluated. The research results show that compared with 2022, China's car ownership will increase by about 24% in 2030, of which the amount of car scrap will increase from 1.2038 million in 2023 to 67.9975 million. The amount of scrap steel, scrap plastics, scrap non-ferrous metals, scrap rubber and scrap glass recycled under the longest life cycle is about 50% less than the amount recycled under the shortest life cycle. It can be seen that there are significant differences in the recycling potential of end-of-life vehicles under different life cycles.

Keywords

End-of-Life Vehicles, Life Function, Recovery Potential

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着人们生活水平和经济实力的提升, 汽车的保有量越来越高。根据公安部数据的统计, 2022 年我国汽车保有量约为 3.19 亿辆, 比 2021 年增加 1752 万辆, 其中燃油车占 96%, 汽柴油的消耗量约 2.6 亿多吨[1] [2]。随着汽车保有量快速增长, 我国汽车报废量也在逐步增加, 由此带来汽车回收产业规模也持续扩大。报废汽车回收可利用的二次资源丰富, 具有存量高、资源价值高等特点。一辆汽车约 70% 是钢铁资源, 并且当汽车报废之后有 90% 的废钢铁可以进行回收利用, 而报废汽车中其他资源如橡胶、玻璃和纤维等非金属材料等资源可回收利用率也可以达到 50% 以上[3]。目前, 我国一次资源匮乏, 汽车回收潜力研究有利于促进我国资源再生利用的发展。根据国家《机动车强制报废标准》规定对于非营运的小、微型汽车虽没有规定使用年限但基本上车辆的里程数达到 60 万公里后, 就会被引导报废。一些研究也表明, 尽管新车的价格、汽车的维修费用以及人们薪资等因素都会影响汽车的报废率, 但汽车的寿命是影响汽车报废量的主要因素[4], 也会影响报废汽车回收潜力的研究。因此, 通过寿命函数来体现不同寿命周期下报废汽车数量的变化情况, 进而研究报废汽车回收潜力是十分必要的。

而回收潜力研究以减少资源浪费提高资源利用效率为目的, 通过对产品保有量或销售量预测, 进行产品报废量的预测, 基于资源守恒评估得出相关资源的回收量, 最终实现对资源的有效利用。目前, 姚沛帆, 黄庆[5]等采用 Logistic 函数对三元锂离子动力电池的退役量进行预测, 对资源的回收潜力进行分析。其研究证实相较于其他保有量的预测方法, Logistic 函数模型更符合我国汽车市场的发展规律。刘光富, 林锦灿等[6]采用 Weibull 函数构建了动力电池的寿命函数和报废量模型, 其强调 Weibull 函数是寿命分析研究的理论基础[7]。张琪, 池莉等[8]对报废汽车的非金属资源进行分析, 研究显示开展报废汽车的非金属资源回收利用十分重要。基于此, 本文将采用 logistic 函数对我国汽车保有量进行预测并利用 weibull 函数确定我国汽车的寿命函数, 进而预测出未来我国汽车报废量, 再考虑不同寿命周期下的回收量, 以实现报废汽车回收潜力的研究。

2. 模型的构建

2.1. 基于 Logistic 函数的汽车保有量的预测

随着我国汽车保有量快速增加, 人们对于购车的需求减弱导致汽车保有量开始缓慢增长, 最后趋于平稳。汽车保有量发展变化规律与 logistic 函数的 S 型曲线相一致。因此, 采用该函数模型可以有效地对汽车保有量进行预测。

logistic 函数的微分形式如下式(1), (2)所示, 积分形式如式(3)所示。

$$\frac{dy}{dT} = ry \left(1 - \frac{y}{k} \right) \quad (1)$$

$$y(0) = y_0 \quad (2)$$

$$Y(T) = \frac{k}{1 + \left(\frac{k}{y_0} - 1 \right) e^{-rT}} \quad (3)$$

其中, $Y(T)$ 为在 T 年我国汽车保有量, k 为最大的汽车保有量, 即生长上限, ry 代表我国汽车的自身发展趋势, $\left(1 - \frac{y}{K} \right)$ 代表其他事物增长对我国汽车保有量的阻滞作用, r 代表我国汽车保有量的增长率。

2.2. 基于 Weibull 函数的汽车报废量预测

Weibull 函数因其分布具有很强的适应性, 可以根据形状参数、尺寸参数和位置参数的不同值生成不同的函数形状。目前, 威布尔函数已广泛应用于汽车寿命的估计研究中。

Weibull 函数的概率密度函数和分布函数如式(4)、(5)所示,

$$f(t) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{t}{\lambda} \right)^k} \quad t \geq 0 \quad (4)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\lambda} \right)^k} \quad (5)$$

式中, k 代表形状参数, λ 代表尺寸参数, t 代表随机变量(通常代表使用时间), λ 和 k 的值决定了分布的形状和尺度(和 λ 均大于 0)。

其中参数 k 和 λ 主要与我国汽车的寿命有关, 其参数 k 、 λ 的估计如式(6), (7)所示, 其中 t_a 代表我国汽车的平均寿命, t_m 代表我国汽车的最大寿命。

$$\left(\frac{t_a}{t_m} \right)^k = \frac{k-1}{k \ln 100} \quad (6)$$

$$\lambda = t_a \times \left(1 - \frac{1}{k} \right)^{-\frac{1}{k}} \quad (7)$$

对于在 T 年我国汽车报废量如式(8)所示,

$$Y(T) = \sum_{t=1}^{t_m} y \times (T-t) \times f(t) \quad T-t \geq n \quad (8)$$

式中, $Y(T)$ 代表 T 年我国汽车报废量, n 是所需要预测的年份, $y(T-t)$ 是在 $T-t$ 年的我国汽车保有量, $f(t)$ 是汽车在使用 t 年后报废概率。

2.3. 报废汽车资源回收量的预测

报废汽车中含有大量的二次资源, 不同资源的含量占比不同, 其中废钢铁占 72%, 废塑料占 6.3%, 废有色金属占 6%, 废橡胶占 4.4%, 废玻璃占 1.4%和其他材料[9]。因此, 根据资源物质守恒可以得出我国报废汽车某一类资源的回收量如式(9)所示。

$$RE_i(T) = a_i \times Y(T) \times S \quad (9)$$

其中, 式中 $RE_i(T)$ 代表在 T 年报废汽车上 i 种资源的回收量, a_i 代表 i 种资源的占比, $Y(T)$ 代表汽车报废量, S 代表回收率。

3. 模型验证

3.1. 数据来源

我国汽车保有量的数据来源于国家统计局中 2013~2022 年的《中国统计年鉴》, 得到我国 2013~2022 年我国私家汽车保有量的数据, 如图 1 所示。为了得到我国汽车的寿命函数, 需要我国汽车的平均寿命和汽车的最大寿命两种数据。根据相关文献显示[10][11], 汽车的平均寿命为 12 年, 汽车的最大寿命为 30 年。

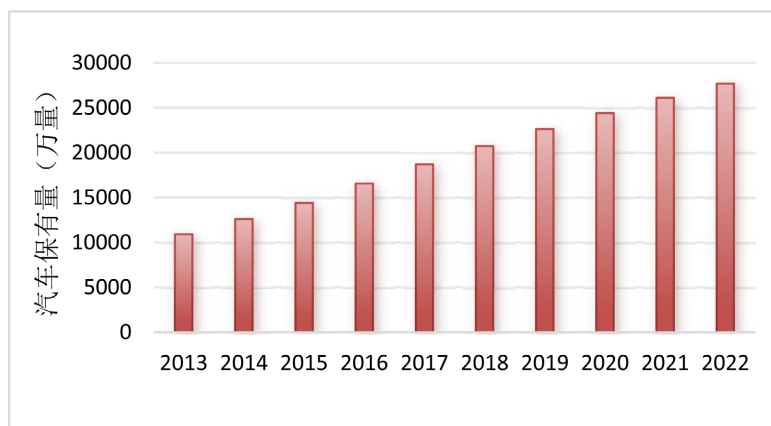


Figure 1. The number of vehicles in China from 2013 to 2022

图 1. 2013~2022 年我国汽车的保有量

3.2. 模型求解

根据收集到的数据建立我国 2023~2030 年汽车的保有量模型, 利用最小二乘法进行非线性拟合, 并运用 MATLAB 编程进行求解。根据 matlab 运行结果显示, 饱和值 K 为 36055.544 万辆, 增长率 r 为 0.22577, 可决系数 R^2 为 0.99978, 表明本模型拟合程度较好, 该函数模型适合应用于我国汽车保有量的预测。因此可以得到相应的回归方程如式(10)所示。

$$Y(t) = 36055.54 / (1 + 2.31e^{-0.23t}) \quad (10)$$

3.3. 结果分析

3.3.1. 保有量预测结果

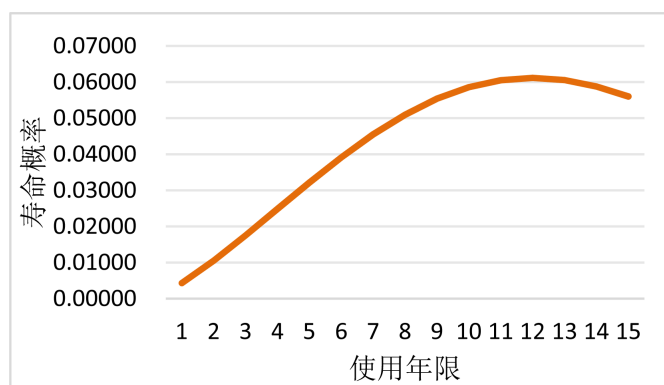
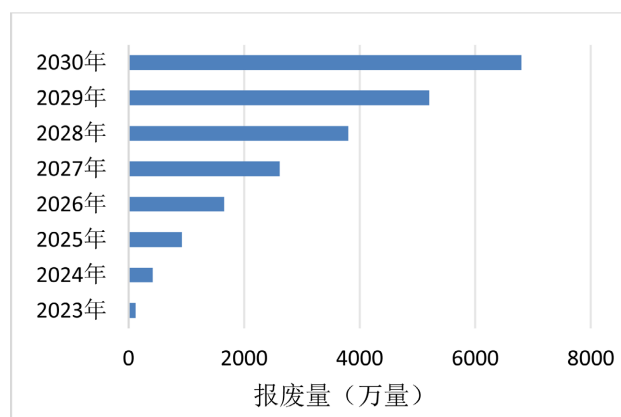
根据上述我国 2013~2022 年汽车保有量的数据以及相应的回归方程, 得到我国 2023~2030 年我国汽车保有量的预测如表 1 所示。从表 1 可知, 未来我国汽车保有量持续上升在 2024 年突破 3 亿辆, 但每年的增长率呈现递减趋势, 在 2029 年开始趋于平缓。

Table 1. The number of vehicles in China in 2023~2030**表 1.** 2023~2030 年我国汽车的保有量

年份	汽车保有量(万辆)
2023	29038.83
2024	30227.69
2025	31248.47
2026	32113.76
2027	32839.33
2028	33442.21
2029	33939.37
2030	34346.77

3.3.2. 报废量预测结果

本文根据上述式(6)和(7)可以得到 k 和 λ 的参数值分别为 2.29 和 15.42, 因此根据式(4)得到我国汽车寿命概率如图 2 所示。我国 2023~2030 年汽车报废量如图 3 所示, 未来我国报废汽车呈现上升趋势, 年均增长率约 78%。到 2030 年我国报废汽车数量将达到 6799.75 万辆, 这个数据比我国 2013~2022 年汽车保有量之和还要多, 可见我国报废汽车市场具有巨大的回收潜力。

**Figure 2.** Probability of vehicle life in different service years**图 2.** 不同使用年限的汽车寿命概率**Figure 3.** The number of Chinese end-of-life vehicles from 2023 to 2030**图 3.** 2023~2030 年我国汽车的报废量

4. 分析与讨论

4.1. 不同寿命周期下汽车报废量的分析

为了进一步考虑汽车寿命对汽车报废量的影响, 设置三种不同的寿命周期进行汽车报废量的分析。三种情景分别为最短寿命周期, 中等寿命周期和最长寿命周期, 其平均寿命/最大寿命分别为 10/15、12/30、15/45。图 4 为三种寿命周期下汽车的寿命函数图, 从中可以发现, 随着使用年限的不同, 汽车的寿命函数呈现峰值降低并且呈现出步幅扩大的趋势。在三种寿命周期下, 汽车报废量如图 5 所示。在 2028 年, 最短和中间寿命周期下的汽车报废量相对持平, 之后最短寿命周期的报废汽车数量超过其他两种寿命周期。可见, 在汽车寿命周期较短的情况下, 汽车的报废数量更多, 也使得汽车可回收的资源量更可观。此外, 在最短寿命周期, 中等寿命周期和最长寿命周期下, 2030 年我国汽车的报废量分别为 9616.60、6799.75 和 4490.14 万辆, 其中年均增长率分别为 160%、78%和 67%。这可能是由于寿命周期较长的汽车更新换代较慢, 其报废量增长相对平缓。不同的寿命周期下, 汽车报废量呈现差异性。因此, 规定合理的汽车寿命周期并引导其报废回收是十分重要的。

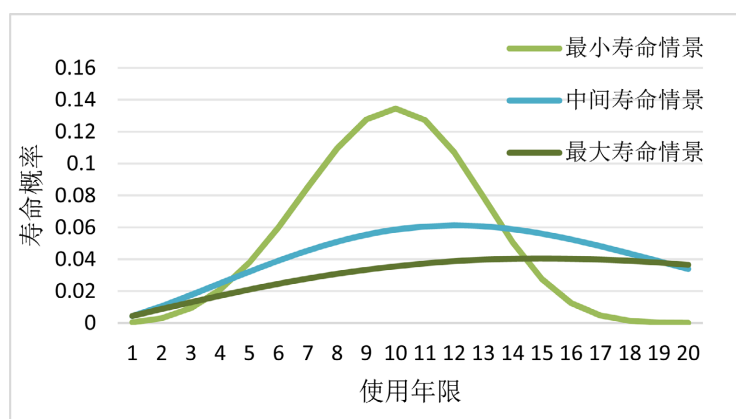


Figure 4. Life probability of vehicles under different life scenarios

图 4. 不同寿命情景下汽车的寿命概率

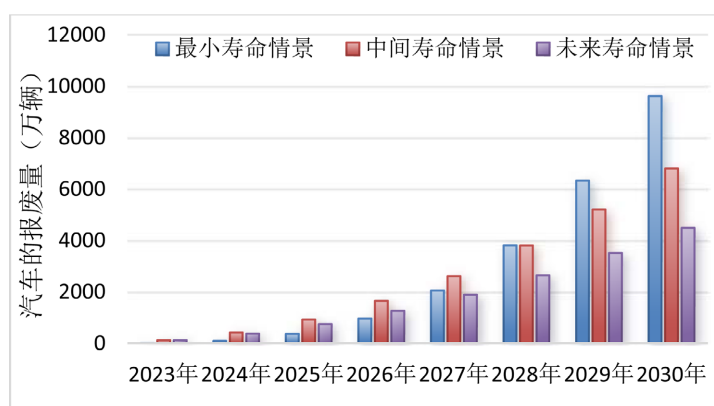


Figure 5. The number of end-of-life vehicles under different life scenarios

图 5. 不同寿命情景下汽车的报废量

4.2. 不同寿命周期下报废汽车回收资源量的分析

对于报废汽车来说, 可以有效利用报废车辆中的金属、塑料、橡胶等材料, 推动资源的再利用, 以

减少对原始资源的开采, 减轻自然资源的压力, 有助于实现资源的可持续发展。如果在回收率为 90% 的情况下, 按照以上资源的比例情况进行回收, 可以得到如图 6 所示的报废汽车回收潜力。受到报废汽车数量的影响, 报废汽车的资源回收量持续上升, 2030 年废钢铁、废塑料、废橡胶、废有色金属和废玻璃回收量的分别为 7343.73、642.58、448.78、611.98、和 142.79 万 t。若将这些资源得到一个合理的回收利用, 对环境和社会有着重要的意义。目前我国的回收量和报废量并不匹配, 进入报废汽车回收和拆解企业的车辆数量远远少于这些数字。2019 年, 中国汽车管理局注销了 456 万辆汽车, 但 755 家报废汽车回收和拆解企业仅收到 195.1 万辆汽车, 标准回收率仅为 42.8% [12], 这严重的导致了我国报废汽车资源的浪费并产生一定的环境影响。报废汽车的资源回收量十分可观, 其中 2030 年废塑料的资源回收量可达到 642.58 万 t。根据数据表明, 若回收利用 1 kg 的废塑料, 相当于减少使用 2~3 kg 的原油和 0.53 kg 的固体填埋[13]。如果按照 90% 的回收比例进行回收利用, 这相当于减少 1734.96 万 t 的原油使用和 306.51 万 t 的固定垃圾填埋, 可见这对我国资源和环境的保护具有重要意义。

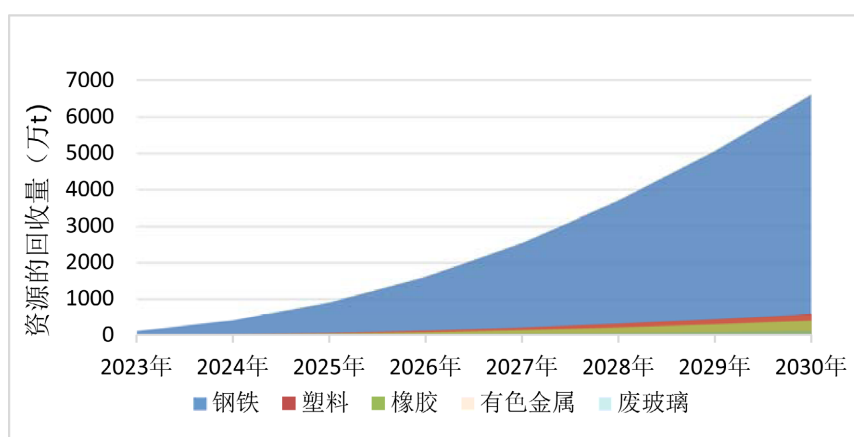


Figure 6. Recycling potential of end-of-life vehicles in China from 2023 to 2030

图 6. 2023~2030 年我国报废汽车的回收潜力

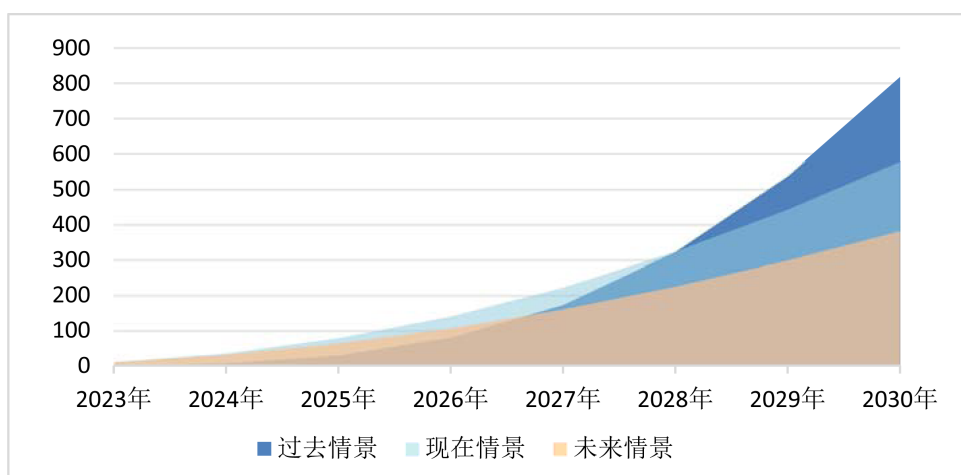


Figure 7. Recycling potential of waste plastics in China from 2023 to 2030

图 7. 2023~2030 年我国废塑料的回收潜力

为了进一步考虑汽车寿命对报废汽车回收潜力的影响, 针对报废汽车废塑料资源进行报废汽车回收潜力的分析, 2023~2030 年不同寿命周期下废塑料资源的回收潜力如图 7 所示。从图中可以发现, 汽车

寿命对报废汽车回收潜力影响较大。在 2026 年之前, 最长寿命周期下我国报废汽车废塑料的资源回收量远远高于最短寿命周期下的回收量, 而 2060 年之后, 最短寿命周期下废塑料的资源回收量超过最长寿命周期下, 并且在 2030 年, 最短寿命周期与最长寿命周期的废塑料资源回收量差距在 436 万 t 左右。可见, 我国报废汽车的回收潜力随着寿命周期的不同呈现不同的动态变化。

5. 结论和建议

报废汽车回收潜力研究是汽车回收领域的一个重要研究方向, 该研究有助于解决报废汽车资源的可持续发展, 缓解资源和环境污染等问题。报废汽车回收潜力会受到报废量、汽车寿命等多种因素的影响, 但传统的研究主要基于过去报废量数据直接进行预测使得考虑因素不足进而造成汽车回收潜力结果不准确。因此, 为了进一步完善报废汽车回收潜力的研究, 针对以上的研究不足, 本文采用 logistic 函数预测了我国 2023~2030 年汽车保有量, 在此基础上通过 Weibull 函数建立我国汽车的寿命概率, 得到 2023~2030 年我国汽车的报废量, 最后在不同寿命周期下进行报废汽车回收潜力的分析。研究结果表明, 汽车报废量对汽车回收中二次资源循环利用的数量影响较大, 而不同的寿命周期下报废汽车的回收潜力差异较大。这为汽车回收潜力分析提供了一种新的研究思路, 具有重要的研究意义。因此, 本文的创新之处在于将汽车寿命周期与汽车回收潜力分析有机结合, 并构建基于保有量预测—报废量预测—情景分析于一体的汽车回收潜力研究体系。但本文的研究还存在一定的局限性, 其中汽车寿命的数据来源于相关文献研究, 数据较早, 建议未来研究中可以考虑通过实际调研来获得最新汽车寿命数据。同时汽车保有量预测可能会受到人口数量、工资、购车福利等多方面的影响, 建议今后的研究中将把这些因素的相关性分析加入到保有量预测中。

基金项目

基于数字孪生的流程工业信息智能感知与管控平台, “十四五”湖北省优势特色学科(群)项目(2023B0405); 双碳战略目标下浙江货物运输“公转水”转移潜力及对策研究, 浙江省软科学研究计划项目(2023C35088); 动力电池再生利用潜在效益及影响机理研究, 教育部“春晖计划”科研项目(HZKY20220339)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 全国机动车保有量达 4.17 亿辆驾驶人超过 5 亿人[EB/OL]. https://www.gov.cn/xinwen/2023-01/11/content_5736278.htm, 2024-01-13.
- [2] 直击百人会论坛 | 工业和信息化部原部长李毅中: 我国燃油车保有量达 96%, 提高燃油车经济性仍是减排主要课题[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1761935772568545819&wfr=spider&for=pc>, 2024-01-13.
- [3] 曹悦. 我国报废汽车回收拆解行业盈利水平及其发展趋势预测研究[D]: [硕士学位论文]. 烟台: 山东工商学院, 2019.
- [4] Greene, D.L. and Chen, C.K.E. (1981) Scrapage and Survival Rates of Passenger Cars and Light Trucks in the U.S., 1966-1977. *Transportation Research Part A: General*, **15**, 383-389.
- [5] 姚沛帆, 黄庆, 张西华, 等. 中国退役动力电池中关键资源回收潜力研究[J]. 稀有金属, 2022, 46(10): 1331-1339.
- [6] 刘光富, 林锦灿, 田婷婷. 新能源汽车动力电池报废量估算和资源潜力分析[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(1): 96-99.
- [7] 李明泽, 李树有, 宓颖. 威布尔分布参数估计方法的比较[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版), 2022, 42(1): 31-35, 39.
- [8] 张琪, 池莉, 刘正. 报废汽车非金属材料资源化利用研究[J]. 再生资源与循环经济, 2021, 14(2): 27-30.
- [9] 李美华. 报废汽车回收问题与解决对策研究[J]. 科技创新导报, 2021, 18(5): 78-80.
- [10] Li, J.H., Yu, K.L. and Gao, P. (2014) Recycling and Pollution Control of the End of Life Vehicles in China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **16**, 31-38. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0226-6>

- [11] Li, Y., Fujikawa, K., Wang, J.B., Li, X., Ju, Y.Y. and Chen, C.Y. (2020) The Potential and Trend of End-Of-Life Passenger Vehicles Recycling in China. *Sustainability*, **12**, Article No. 1455. <https://doi.org/10.3390/su12041455>
- [12] 宁淼, 王磊. 报废汽车实际再利用率和实际回收利用率计算研究[J]. 时代汽车, 2021(5): 149-152.
- [13] 闫哲. 循环经济与报废汽车回收再利用发展研究[J]. 城市公共交通, 2023(7): 37-39.