

# 新能源汽车电池回收中矿产资源的可供性研究

宋鑫, 陈慧宇, 徐菊

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2022年3月16日; 录用日期: 2022年5月4日; 发布日期: 2022年5月11日

## 摘要

我国新能源汽车行业蓬勃发展, 从新能源汽车发展速度可见将来每年会因车辆报废而产生大量可回收电池。目前新能源汽车电池回收的技术工艺, 操作流程和现状分析是国内外的主要焦点议题, 但并未对新能源汽车电池矿产的可供种类、规模等问题进行深入研究。因此, 本文运用Stanford模型对新能源汽车动力蓄电池的退役量进行预测, 以格林美股份有限公司为研究对象, 从财务分析的视角讨论我国新能源汽车电池矿产回收现状。研究表明: 1) 2012年~2020年, 我国新能源汽车产销量不断创新高, 与动力电池相关的锂、钴、镍等矿产资源处于极其紧缺状态; 2) Stanford模型预测新能源汽车动力电池报废量逐年递增, 与现实数据拟合结果较好, 说明我国矿产资源回收存在巨大的发展空间。基于上述分析, 本文将针对合理开发矿产资源, 保障矿产资源供给等方面提出相关建议。

## 关键词

新能源汽车电池, 矿产回收, Stanford模型, 数据拟合

# Study on the Availability of Mineral Resources in Battery Recycling of New Energy Vehicles

Xin Song, Huiyu Chen, Ju Xu

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Mar. 16<sup>th</sup>, 2022; accepted: May 4<sup>th</sup>, 2022; published: May 11<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

With the rapid development of new energy automobile industry in China, a large number of recyclable batteries will be produced every year due to vehicle scrapping. At present, the technical

process, operation flow and status analysis of new energy vehicle battery recycling are the main focus issues domestic and overseas, but the available types and scale of new energy vehicle battery mineral resources have not been studied in depth. Therefore, this paper uses Stanford model to predict the retirement amount of new energy vehicle battery, and takes GEM Co., Ltd. as the research object, discusses the present situation of new energy battery mineral resources recovery in China from the perspective of financial analysis. The results show that: 1) From 2012 to 2020, the output and sales of new energy vehicles in China reached a new high, and the mineral resources such as lithium, cobalt and nickel related to power batteries were in extremely short supply; 2) The Stanford Model predicts that the scrap of power battery of new energy vehicle is increasing year by year, and the results fit well with the actual data, which shows that there is a huge development space for mineral resources recovery in China. Based on the above analysis, this paper will put forward some suggestions on the rational development of mineral resources and the supply of mineral resources.

## Keywords

New Energy Vehicle Battery, Mineral Recovery, Stanford Model, Data Fitting

Copyright © 2022 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

高技术矿产资源是国家发展的关键性原材料，它们在地球上存量日益减少[1]。其主要用于在低碳经济条件下生产精密的高科技产品，并在环保型产品和新能源发展中扮演重要角色，因此也被称作能源金属或新时代金属[2] [3]。我国在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》把新能源、新材料、高端装备、新能源汽车和绿色环保等列为战略性新兴产业，并提出 2030 年碳达峰与 2060 年实现碳中和的“双碳”战略目标。碳达峰和碳中和目标是中国由工业文明走向生态文明的标志性转折点，也是对全球气候变化和生态文明的积极贡献、践行人类命运共同体理念的切实举措。2021 年 3 月，习近平总书记在中央财经委员会第九次会议中更是着重提出要在 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的目标。2021 年 7 月，国家发展改革委印发的《“十四五”循环经济发展规划》提出我国的重点建设工程和重点行动有“城市废旧物资循环利用体系建设”、“废弃电器电子产品回收利用”、“废旧电池循环利用”和“汽车使用全生命周期管理”等，提高对废旧动力电池的回收利用率，是实现“双碳”目标的积极举措。

退役动力电池的处置包括梯级利用和循环利用。梯级利用又称重新利用，一般来说当剩余电池容量在 30%~70%时废旧电池以梯级利用为主，即将退役的动力电池应用在对电池性能要求不高的领域，如备用电源、储能电站等。循环利用又称再生利用，当剩余电池容量小于 30%时一般以循环利用为主，把即将退役动力电池进行拆解，提炼原材料，从而实现资源的循环利用[4]。

格林美公司在动力电池回收产业链上具备“回收体系、梯级利用、资源化利用”三个要素，能够对动力电池实施全国范围的有效回收、梯级利用与完整资源化利用。其构建了全球先进的“动力电池回收 - 梯级利用 - 原料再制造 - 材料再制造 - 电池包再制造”的新能源全生命周期价值链模式。格林美建成全球先进的废旧电池综合利用工厂，能够将废旧动力电池“吃干榨净”，实现矿产资源的循环利用。因此，本文以格林美回收退役电池提取矿产资源为例重点研究动力电池的循环利用。

## 2. 研究综述

锂金属作为 21 世纪高技术金属之一广泛存在于自然界,无论是国外还是国内矿产资源供给充足。我国锂资源主要分布在四川、青海、青藏高原等地。由于开采技术的限制,我国对锂的开采存在能耗大、成本高和生态破坏严峻等问题[5]。前阶段,全球锂产能迅速扩张导致下游消费拉动不足,出现供大于求的状况[6]。但随着锂逐渐应用于新能源汽车动力电池,锂资源的消耗逐年上升,刺激了消费,不仅改善了锂资源过剩状态而且使锂资源走俏甚至出现了供不应求的现象[7][8]。出于改善生态的目的,回收锂金属是必要的。基于国家战略使用锂电池技术替代传统能源也是不可逆转的趋势之一,正如习总书记所说我们既要金山银山也要绿水青山这是互不矛盾的两方面。

此外,钴在地壳中的含量比例很低属于稀缺资源,单独的钴矿物极少,它大多伴生于铜、镍矿之中[9]。中国钴矿资源比较匮乏,单一的钴矿资源更是稀少,国内每年钴需求量大约在 1200 吨,其中 60% 依赖进口。镍在我国属于稀缺资源,它被广泛应用于不锈钢、航空航天和建筑等行业,我国每年消费、需求量巨大,如今我国已成为世界上第一大镍消费国,我国镍供给的缺口很大,国内产量本身不足以支持国家工业的发展。

废弃新能源动力电池中锂、钴、镍、锰等含量较高,这些金属价格昂贵,如果不对其加以回收利用不仅会破坏生态环境影响人类生存而且会造成资源的极大浪费。因此不论是从环保还是从经济发展的角度,都应对废弃新能源动力电池加以回收利用[10]。

新能源汽车发展以来国家相继出台多部政策法规,从法律层面和经济层面对新能源汽车发展予以大力支持,为其行业发展创造有利条件和政策上的帮助,我国明确将以纯电驱动为新能源汽车发展方向[11]。近几年有关动力电池回收政策法规的相继颁布也表明国家对其回收状况的重视程度也逐渐加深。因此,在不远的将来新能源汽车行业和动力电池回收产业将面临广阔的市场前景。

## 3. 新能源电池回收现状

本文在区分纯电动汽车和插电式混合动力汽车的基础上,收集 2011~2020 年新能源汽车销售量,数据来源为中国汽车工业协会前瞻产业研究院整理,最终汇总得出我国新能源汽车总的销售量见图 1 和图 2。根据图 1 数据分析发现,2011~2020 年我国纯电动汽车和插电式混合动力汽车销量整体呈上升趋势。其中,在 2011~2014 年间新能源汽车行业发展缓慢汽车销售量增长缓慢,在 2015~2020 年间汽车销售量有了爆发式上升。而新能源汽车销售量仅在 2019 年有所下降,其主要是受 2019 年国家取消了对新能源汽车的补贴和国五燃油汽车清理库存的影响。2020 年国家延缓新能源汽车退补政策后,又刺激了当年的新能源汽车销量。同时图 3 的数据进一步证明了,2011~2020 年间作为购置税免征力度较大的纯电动汽车销售量明显快于插电式混合动力汽车销售量。根据图 2 数据分析发现,2012~2020 年我国新能源汽车销量整体呈上升趋势,但环比增长率却有着显著不同。2012~2013 年同比增长率有所下降,2013~2015 年间增长率呈几何式上升,2015~2016 年同比增长率又陡然下降,从 342.60% 下降至 53.10%,2016~2020 年增长率呈现平稳波动趋势。同比增长率的变动除了与当时经济环境背景、科技发展水平和国家政策等因素有关之外,还与其他一些要素紧密相连,由于这些因素条件不是本文研究重点所以不再一一阐述。

随着我国新能源汽车产业的发展,电池的报废渐成规模。据公安部,华经产业研究院统计,截至 2020 年我国废电池(除铅酸外)回收量为 27.4 万吨,2013~2020 年回收量复合年均增长率 CAGR 为 16.7%。如图 3 所示,2014~2020 年我国废电池(铅酸除外)回收量逐年上升。大量报废的锂离子电池若得不到及时、良好的处理,将对环境、人体健康产生严重危害,并造成资源浪费。报废锂离子电池中含有锂、铝、铜、镍、钴、锰等有色金属元素,对其高效回收利用,符合可持续发展的要求。贵金属价格的上涨及矿产

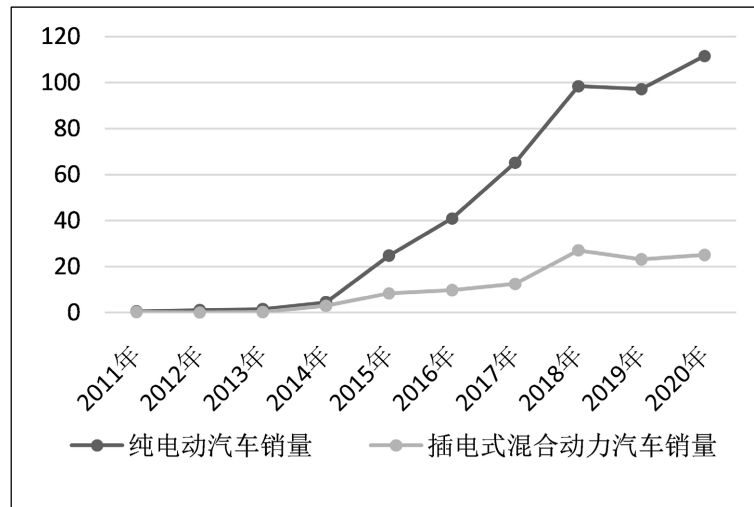


Figure 1. Comparison of sales of pure electric vehicles and plug-in hybrid vehicles in China (10,000 units)

图 1. 中国纯电动汽车和插电式混合动力汽车销量情况对比(万辆)

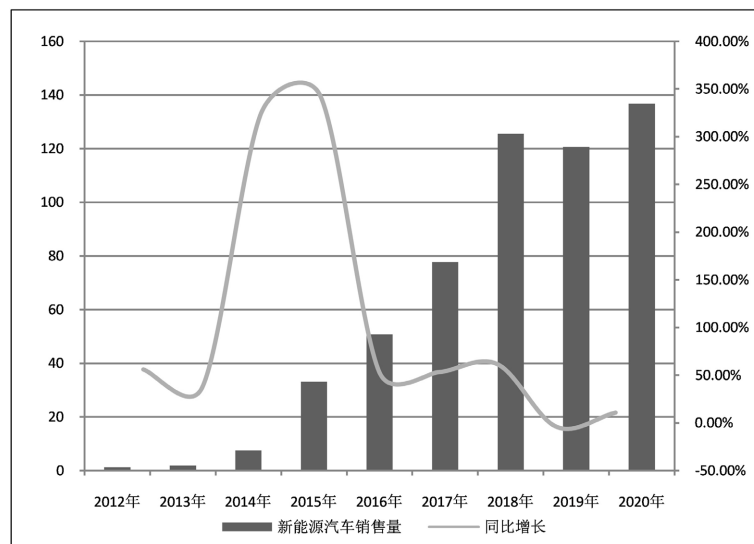


Figure 2. Sales of new energy vehicles in China (10,000 units, %)

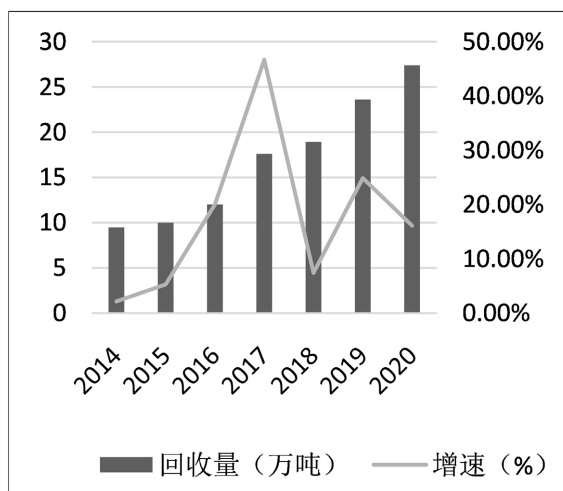
图 2. 中国新能源汽车销量情况(万辆, %)

资源的稀缺使得废旧锂离子电池回收的价值凸显,据商务部华经产业研究院统计,截至 2020 年我国废电池(铅酸除外)回收价值为 40.7 亿元,2013~2020 年回收价值复合年均增长率 CAGR 为 11.3%。如图 4 所示,2014~2020 年我国废电池(铅酸除外)回收价值大体上呈上升趋势。

## 4. 报废量预测

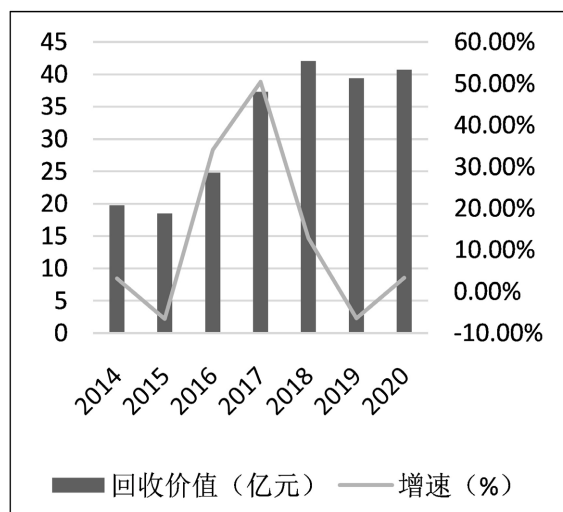
### 4.1. 预测方法

综合考虑我国新能源汽车动力蓄电池回收利用的行业特点、相关数据的可获得性、模型的适用性以及电子产品寿命期分布随时间的变化等因素,本文最终采用 Stanford 模型对新能源汽车动力蓄电池的退役量进行预测。



**Figure 3.** Recycling of waste batteries (except lead acid) in China

**图 3.** 我国废电池(铅酸除外)回收量



**Figure 4.** Recycling value of waste batteries (except lead acid) in China

**图 4.** 我国废电池(铅酸除外)回收价值

斯坦福模型(Stanford Model)依据产品的销量、使用寿命和寿命分布比例来估算产品废弃量。在Stanford模型中,每年销售配套的新能源电池按照使用方式的不同,服从不同的寿命分布。即对于新能源动力电池来说,在某年销售出去后,经工作使用1, 2, ...,  $n$ 年后,其报废被淘汰的概率分别为 $P_1, P_2, \dots, P_n$ ,其中 $n \geq$ 产品寿命,且有 $P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1$ ,而后可通过产品销量(产量)来估算其未来的报废量。具体计算公式如下:

$$Q = \sum_{i=0}^n S_i \times P_i$$

$Q$ 为新能源电池某年报废量; $S_i$ 为从第该年起计算 $i$ 年前产品的销售量总额; $P_i$ 为 $i$ 年前销售产品经 $i$ 年后,新能源电池废弃的概率; $n$ 为该产品最长使用寿命周期。该模型适于对新能源汽车等更新换代较

快的产品进行预测,其关键点在于对  $P_i$  和  $n$  两个参数的确定,这需要进行深入的市场调查获取准确的数据资料。

## 4.2. 参数确定

### 1) $S_i$ 的确定

根据我国新能源汽车合格证数据,在把新能源汽车区分为乘用车和商用车的基础上,整理出我国历年新能源汽车动力蓄电池配套量数据(不含铅酸电池和燃料电池)详见表 1,最终计算出我国新能源汽车动力电池总报废量。

**Table 1.** The supporting quantity and proportion of power batteries in China from 2009 to 2020

**表 1.** 2009~2020 年我国动力蓄电池配套量及占比

时间	总配套两	乘用车		商用车	
		配套两	占比	配套两	占比
2009 年	0.02	0	3.21%	0.02	96.79%
2010 年	0.14	0.02	16.27%	0.12	83.73%
2011 年	0.43	0.07	15.47%	0.36	84.53%
2012 年	0.68	0.19	28.06%	0.49	71.94%
2013 年	0.82	0.25	30.35%	0.57	69.65%
2014 年	3.72	1.11	29.83%	2.61	70.17%
2015 年	15.74	4.22	26.82%	11.52	73.18%
2016 年	28.14	9.14	32.49%	19	67.51%
2017 年	36.44	13.74	37.71%	22.7	62.29%
2018 年	58.2	25.58	43.95%	32.62	56.05%
2019 年	82.89	38.54	46.49%	44.35	53.51%
2020 年	116.21	58.02	49.93%	58.19	50.07%

数据来源:2009~2017 年相关数据为根据新能源汽车合格证数据整理,2018~2020 年数据为 CATARC 政研中心预测。

### 2) $P_i$ 和 $n$ 的确定

综合考虑各种情况以及新能源汽车的实际运行情况,对我国新能源汽车动力蓄电池的寿命(即从车上退役的时间)做如下假设:

新能源乘用车动力蓄电池寿命最长为 8 年,分为 3 年、5 年、8 年 3 个等级;新能源商用车动力蓄电池寿命最长为 5 年,分为 3 年、5 年 2 个等级,而  $n$  即每年动力蓄电池报废的百分比则根据对行业内先进企业的调研结果确定[12]。

### 3) 研究结果

采用斯坦福估算模型,通过动力蓄电池的实际配套量和新能源乘用车和商用车不同的寿命期限和分布,对 2009~2025 年我国动力蓄电池报废量(能量)的预测情况详见表 2、表 3 和图 5。

上述分析可以预测出,2018 年我国一部分新能源汽车动力蓄电池开始退役,但退役数量较少,2020~2025 年新能源汽车动力蓄电池报废量有明显上升趋势,这样的预测结果符合新能源电池使用生命周期规律,比较切合实际真实情况。新能源汽车总销售量和新能源电池总报废量两方面的数据分析为下文产业化资源回收研究提供了基础。

**Table 2.** China commercial vehicle power battery retirement forecast from 2009 to 2025 (GWh)**表 2.** 2009~2025 年我国商用车动力蓄电池退役量预测(GWh)

时间	产生量	平均使用 寿命(年)	寿命分布(%)					报废量
			P2	P3	P4	P5	P6	
2009	0.02	2.4	0.6	0.4				
2010	0.12	2.5	0.5	0.5				
2011	0.36	2.6	0.4	0.6				0.01
2012	0.49	3	0.1	0.8	0.1			0.07
2013	0.57	3.4		0.6	0.4			0.2
2014	2.61	3.8		0.2	0.8			0.27
2015	11.52	4.4		0.1	0.4	0.5		0.39
2016	19	5			0.2	0.6	0.2	0.39
2017	22.7	5.3				0.7	0.3	0.75
2018	32.62	5.5				0.5	0.5	3.24
2019	44.35	5.6				0.4	0.6	4.61
2020	58.19	5.9				0.1	0.9	9.56
2021							1	11.4
2022							1	19.69
2023							1	23.12
2024							1	34.05
2025							1	32.43

**Table 3.** China's passenger vehicle power battery retirement forecast from 2009 to 2025 (GWh)**表 3.** 2009~2025 年我国乘用车动力蓄电池退役量预测(GWh)

时间	产生量	平均使用 寿命(年)	寿命分布(%)								报废量
			P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
2009	0	2.4	0.6	0.4							
2010	0.02	2.5	0.5	0.5							
2011	0.07	2.6	0.4	0.6							0
2012	0.19	3	0.1	0.8	0.1						0.01
2013	0.25	3.4		0.6	0.4						0.04
2014	1.11	3.8		0.2	0.8						0.06
2015	4.22	5			0.3	0.4	0.3				0.15
2016	9.14	5.9				0.3	0.5	0.2			0.17
2017	13.74	7.1					0.2	0.5	0.3		0.32
2018	25.58	7.6						0.4	0.6		0.89
2019	38.54	7.8						0.2	0.8		1.27
2020	58.02	8								1	1.69
2021										1	4.01
2022										1	4.57
2023										1	4.58
2024										1	6.87
2025										1	14.35

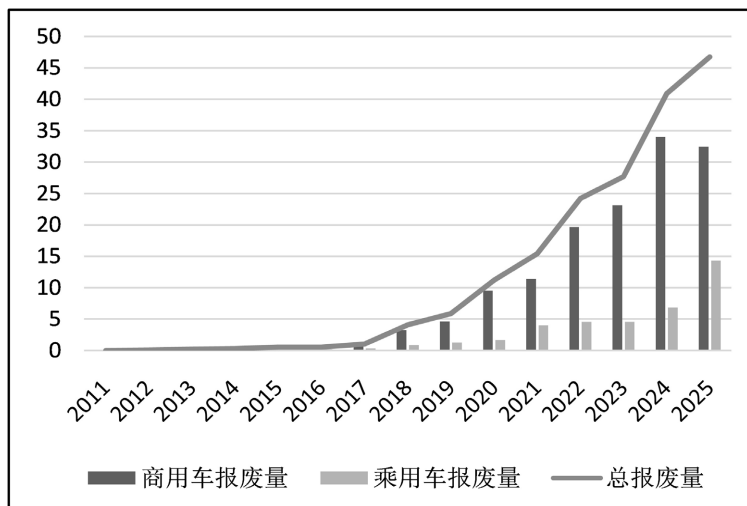
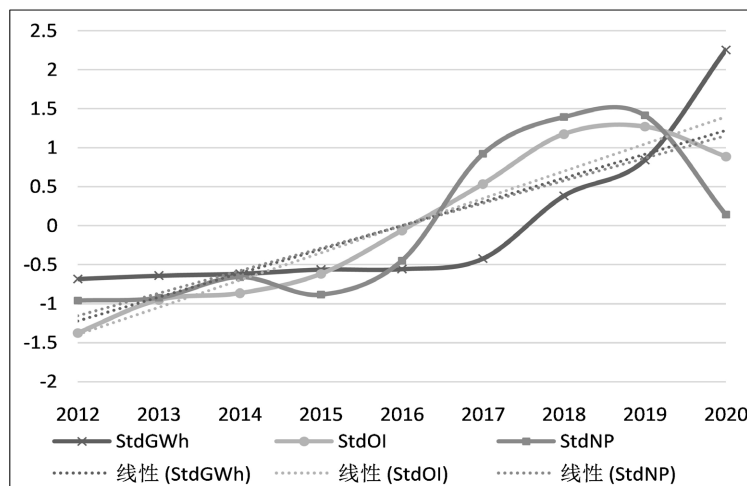


Figure 5. Prediction of power battery retirement (unit: GWh)  
 图 5. 动力蓄电池退役量预测(单位: GWh)

### 5. 基于格林美电池回收的数据分析

格林美(GEM)公司基于绿色生态制造(G-GreenE-EcoM-Manufacture)的理念于 2001 年成立,2010 年在深交所 A 股上市。多年以来公司秉承“资源有限、循环无限”的绿色发展产业理念,逐步发展成为国内一流、国际先进的国家城市矿山循环利用示范基地;成为中国循环经济与绿色产业的实践者与先行者之一;成为我国新能源汽车动力电池回收行业的领跑者。格林美每年回收处理的大量电子废弃物和废旧电池(除铅酸电池外)约占我国报废总量的 10%,企业能够循环再生钴、镍、钨、钼、铈、镨、锂等多种矿产资源。



数据来源: 2012~2020 年格林美公司披露的上市公司年度报告。

Figure 6. Battery scrap forecast and GEM's operating income and net profit fitting diagram from 2012 to 2020

图 6. 2012~2020 年电池报废量预测与格林美营业收入、净利润拟合图

结合上述 Stanford 模型的预测情况,即我国新能源汽车动力电池总报废量(GWh),运用格林美 2012~2020 年营业总收入(OI)和净利润数据(NP)与预测数据进行拟合。数据处理方式为:分别对 GWh、



OI、NP 数据进行标准化处理,在消除量纲的影响后,以营业总收入(StdOI)、净利润(StdNP)代替格林美回收废旧电池数量对我国新能源汽车动力电池报废量预测(StdGWh)进行拟合,如图 6 所示。通过分析可得格林美在动力电池回收方面发展良好,回收废旧电池数量整体呈上升趋势,其仅在 2020 年有所下降,系当时受新冠疫情的不可抗力影响导致行业整体业务水平下降。该趋势较好地拟合了新能源汽车动力电池报废量预测,本文通过格林美单嵌入式案例研究能够对新能源汽车电池行业、矿产资源回收现状进行初步了解,为后续研究提供参考价值。

## 6. 研究结论及建议

本文分析了矿产资源的种类分布、资源含量和新能源汽车的销量分布情况,并基于 Stanford 模型预测了我国新能源汽车动力电池报废量(GWh)。进一步选取新能源汽车电池回收行业的先行者、领导者格林美公司作为研究对象,运用财务技术手段分析格林美不同矿产资源回收情况的主营收入和主营成本构成及其比例关系以及毛利率的高低,并在将财务数据与预测数据进行了拟合分析之后。数据研究结果表明:1) 2012 年~2020 年,我国新能源汽车产销量不断创新高,新能源汽车行业将会淘汰大量废旧电池;而电池由锂、钴、镍等矿产资源构成,根据矿产资源含量、分布现状分析发现我国相关矿产资源处于紧缺状态;2) Stanford 模型预测数据能够较好地拟合新能源汽车矿产资源的回收状况;根据预测量,我国目前在矿产资源回收方面,远未达到市场需求状态,存在很大提升空间。根据本文的研究结论,为高效、安全回收新能源汽车电池以及再次开发利用锂、钴、镍等矿产资源,在国家政策号召下为实现 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和的战略目标本文提出以下建议:

1) 合理开采矿产资源,加速矿产资源的循环利用。本文数据结果显示我国新能源汽车产销量已然持续上升,生产所需的锂、钴、镍等矿产资源用量也将不断增加,而我国的矿产资源处于紧缺状态,极大地限制了新能源汽车的生产。在国家保护环境,改善生态的号召下,应合理开采矿产资源,同时不断加速矿产资源的循环利用。

2) 鼓励矿产资源回收行业的发展,促进相关技术迭代。矿产资源属于不可再生资源,根据 Stanford 模型的预测结果,截至 2025 年我国新能源汽车报废量的规模将会是 2020 年的 4.27 倍。为实现“双碳”目标的如期实现,国家应出台相关法律政策,完善回收管理体制,对该行业进行经济政策的扶持,促进矿产资源回收行业的健康快速发展[13]。同时专注技术开发,通过政策引导,不断提升废旧锂电池拆解和矿产资源提炼的核心技术确保矿产资源的有效回收和利用。

3) 构建互联网资源回收平台,打造合理商业模式。随着互联网技术的发展和移动端技术 5G 时代的到来,利用互联网移动端可以加速传统行业的发展,通过构建互联网资源回收平台,可以快速形成矿产资源开发和回收的良性循环商业模式。同时,应适当汲取成功的国际经验,发展我国矿产资源回收行业,如建立以电池生产商、行业联盟和专业第三方为主流的商业模式,使废旧电池回收行业快速发展[14]。

4) 积极开展宣传和教育工作,提高公众对资源回收重要性的认知。目前全球的快速发展导致环境问题日益突出、相关资源快速枯竭。可持续发展成为国家重要战略之一,相关部门应积极开展环境保护和能源回收利用的宣传和教育工作,提高公众对回收的认知。使全社会公众树立忧患意识,做到时刻保护环境和节约资源。

## 基金项目

本文受到教育部青年基金项目(20YJC790118)的资助。

## 参考文献

[1] 何朋蔚,王昶,左绿水,等. 基于废弃手机的高技术矿产可供性研究[J]. 资源科学, 2018, 40(3): 589-599.

- 
- [2] Fthenakis, V. (2009) Sustainability of Photovoltaics: The Case for Thin-Film Solar Cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 2746-2750. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.05.001>
- [3] Huston, D.L. (2014) New Age Metals: The Geology and Genesis of Ores Required for a Changing Economy and a Carbon-Constrained World-Preface to a Thematic Issue on Critical Commodities. *Mineralium Deposita*, **49**, 885-887. <https://doi.org/10.1007/s00126-014-0555-y>
- [4] 柴炳文, 尹华, 魏强, 等. 电子废物拆解区微塑料与周围土壤环境之间的关系[J]. 环境科学, 2021, 42(3): 1073-1080.
- [5] 郭贯成, 崔久富, 李学增. 全民所有自然资源资产“三权分置”产权体系研究——基于委托代理理论的视角[J]. 自然资源学报, 2021, 36(10): 2684-2693.
- [6] 王自国. 国内外锂资源开发现状及产业发展预测[J]. 中国煤炭地质, 2021, 33(S1): 52-55.
- [7] 李雨芹. 磷酸铁锂电池在电动汽车中的应用与回收[J]. 化工管理, 2019(1): 61-62.
- [8] 姚美娇. “混搭模式”成为动力电池系统新风向[N]. 中国能源报, 2021-10-25(010).
- [9] 张正洁, 杨金侠. 废锂离子电池的资源化回收方法[J]. 有色矿冶, 2005(6): 46-47.
- [10] 王立功. 电动汽车废锂离子电池的回收利用研究进展[J]. 金属功能材料, 2021, 28(4): 95-98.
- [11] 李旭, 熊勇清. 新能源汽车“双积分”政策影响的阶段性特征——经营与环境双重绩效视角[J]. 资源科学, 2021, 43(1): 1-11.
- [12] 李震彪, 黎宇科. 我国新能源汽车动力蓄电池退役量预测[J]. 资源再生, 2018(9): 34-36.
- [13] 《中国能源》编辑部. 实现“碳达峰碳中和”需遵循科学规律[J]. 中国能源, 2021, 43(5): 1-2.
- [14] 刘娟, 兰建义. 新能源汽车电池回收研究及发展建议[J]. 中国集体经济, 2020(28): 60-63.