

基于补贴策略下的电池回收再利用体系构建

——以新能源汽车为对象

任杰 邱荣根 季志凡

江苏大学管理学院

DOI:10.12238/ej.v5i3.939

[摘要] 本文通过分析国内外现有的动力电池回收制度,结合我国现有情况以及在动力电池回收再利用过程中所面临的问题,利用模糊综合评价法,建立适当的评价指标,对新能源汽车电池回收再利用体系进行分析、评价,总结得出基于补贴政策下最合适的新能源电池回收体系的建议以及改进方案。本文对促进我国新能源汽车的健康发展,保护环境和资源的再利用有重大意义。

[关键词] 动力电池回收体系; 补贴策略; 逆向物流; 模糊综合评价法

中图分类号: TM912 文献标识码: A

Construction of Battery Recycling and Reuse System Based on Subsidy Strategy

—Taking New Energy Vehicles as the Object

Jie Ren Ronggen Qiu Zhifan Ji

School of Management, Jiangsu University

[Abstract] This paper analyzes the existing power battery recycling system at home and abroad, combines the existing situation in China and the problems faced in the process of power battery recycling and reuse, uses the fuzzy comprehensive evaluation method to establish appropriate evaluation indicators, analyzes and evaluates the battery recycling and reuse system, and summarizes the most suitable suggestions and improvement plans for the new energy battery recycling system based on the subsidy policy. This paper is of great significance for promoting the healthy development of new energy vehicles in China, protecting the environment and reusing resources.

[Key words] power battery recycling system; subsidy strategy; reverse logistics; fuzzy comprehensive evaluation method

1 研究背景

随着能源安全问题、能源供应矛盾的日益紧张,我国开始了大力发展新能源汽车的战略。近年来,我国新能源汽车的销量也呈现年年递增的良好局面。在2013年,新能源汽车销量仅为1.8万辆;到2021年,新能源汽车销量已达352.1万辆,较去年同比增长约1.6倍,市场占有率提升至13.4%。截至2021年底,我国新能源汽车保有量已达784万辆,占汽车总量的2.6%。中国国务院办公厅印发《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》提出,在2025年,新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的20%左右。

动力电池虽能解决能源问题,但是动力电池的使用寿命为4-6年,退役的动力电池有可能会造成金属钴、锰、镍污染,粉尘污染以及有机物污染。新能源汽车的快速发展,也让动力电池的

报废问题越来越受到重视,我国也迎来了动力电池的“退役潮”。据估计,在2025年,我国的退役新能源汽车电池总量将达80万吨。大规模退役电池的到来对新能源汽车电池的回收体系有着更高的要求。

随着越来越多的新能源汽车进入市场,动力电池也面临着大量的退役,研究动力电池的回收体系,对促进我国新能源汽车的健康发展,保护环境和资源的再利用有重大意义。

2 国内外研究现状

2.1 国外研究现状

德国已经建立完善的动力电池回收利用法律制度建立生产者责任延伸制度,并利用经销商和维修服务商定点回收废旧动力电池,然后再交给有资质的处理企业进行回收利用^[1]。总的来说,德国建立的是一种责任制度,并利用线下经销商和维修商来

实现的一种动力电池回收制度。

美国作为全球电动汽车的领跑者,法律框架和回收利用体系的构建相对健全,生产者责任延伸制度的落实情况良好,同时对动力电池梯次利用无论是技术研究还是市场规范均比较成熟。美国采用的动力电池回收制度为押金制度,通过建立回收网络进行回收^[2]。

日本受原材料资源贫乏的影响,在回收处理废弃动力电池方面全球领先^[3]。日本政策、标准及回收体系相对都比较完善,而且拥有先进的电池技术,民众参与电池回收程度高。总的来说,日本的动力电池回收是一种在政府政策的带动下,民众参与到各个环节的一种回收体系。

2.2国内研究现状

目前,我国已经出台了一系列的政策来进行动力电池的回收,但是我国动力电池回收利用体系仍不健全,缺乏动力电池回收、运输、拆解和综合利用等环节的管理制度,回收过程环境污染和资源浪费现象十分严重。目前,国内较多汽车制造企业、电池制造企业和废弃或废旧电池回收利用企业已着手利用信息化手段,搭建布局废弃或废旧电池回收网络^[4]。总体来看,我国当前对于废旧蓄电池的研究现状为以建立电池包溯源管理系统来实现政府政策从而实现对各责任企业的约束,并积极的推进以及落实相关规定,规范各责任企业的责任^[5]。

3 国内新能源动力电池回收过程中面临的主要问题

3.1用户认知不足

新能源汽车作为新兴的行业,大部分国人对其还存在许多认知不足,从而也导致新能源汽车用户对新能源车电池利用再回收体系同样也缺乏认知。在用户认知的不足情况下就算再好的补贴策略实施也毫无意义。

3.2产业化技术不成熟

企业受限于回收技术水平和工艺水平影响,目前行业内的企业在梯次利用和再生利用等方面的技术储备不足。动力电池回收利用技术方面,一些动力电池回收企业采取手工拆解技术和传统回收工艺^[6]。按动力电池的生命周期来看,动力电池的生产环节中的生态设计问题、使用环节中的回收时点提示算法、梯次利用中的创新技术以及再生利用中的金属高效提取等关键技术环节有待创新和突破^[7]。技术的不成熟导致再利用的成本无法降低,大部分中小企业在有补贴策略下面对高额的前期投资,也会怯步。

4 新能源汽车电池回收再利用体系的模糊综合评价

4.1模糊综合评价法简介

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法。该综合评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。

模糊综合评价法共分为三个步骤,分别如下:第一步确定评价指标和评语集;第二步确定权重向量矩阵A和构造权重判断矩阵R;第三步计算权重并进行决策评价。

4.2评价指标体系

在进行模糊综合评价时,要先建立科学合理的评价指标体系。笔者阅读大量文献,对动力电池的回收体系评价指标进行整理。YENDER(1998)最早将电池回收分为环境、法律、技术、经济四个方面进行评价^[8]。朱凌云(2019)将电池回收分为经济、技术、管理、社会四个方面^[9]。FANG XI(2012)将电池回收分为成本、环境、企业服务能力、基本素质四个方面^[10]。本文基于已有研究成果,将动力电池的回收体系的影响因素分为经济、技术、管理、社会四个方面,13个二级指标,如表一所示。

表格 1 补贴策略下的动力电池回收评价指标体系

目标层	准则层	方案层
补贴策略下的动力电池回收体系 A	经济因素 B1	盈利水平 C1
		财务风险 C2
		企业规模 C3
		运营成本 C4
	技术因素 B2	闭环供应链基础建设水平 C5
		闭环供应链技术水平 C6
		回收装置与工艺 C7
	管理因素 B3	人员管理 C8
		物流管理 C9
		信息管理 C10
	社会因素 B4	政策法律 C11
		企业竞争水平 C12
		竞争对手竞争水平 C13

4.3模糊综合评价过程

4.3.1建立评价集

评价集反映了因素之间的相互重要程度,因素集有两层,第一层为 $B = \{B1, B2, B3, B4\}$;第二层为 $B1 = \{C1, C2, C3, C4\}$, $B2 = \{C5, C6, C7\}$, $B3 = \{C8, C9, C10\}$, $B4 = \{C11, C12, C13\}$;评语集 $V = \{\text{很好, 较好, 一般, 差, 很差}\}$ 。

建立权重集

采用层次分析法(AHP),先确定第二层对第一层因素的重要程度,然后确定第一层对补贴策略下的动力电池回收体系的重要程度。

利用专家评价法,确定第一层因素的比较矩阵A,与第二层因素比较矩阵B1, B2, B3, B4。然后计算各个矩阵的最大特征值,并分别进行一致性检验。对于符合一致性检验的矩阵做归一化处理。计算如下:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & 2 & 2 \\ 3 & 1 & 6 & 5 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & 1 & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & 1 & 1 \end{bmatrix}; \quad B1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & 3 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{3} & 3 & 5 & 1 \end{bmatrix};$$

$$B2 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & 1 \\ 5 & 1 & 6 \\ 1 & \frac{1}{6} & 1 \end{bmatrix}; \quad B3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{1}{3} \\ 1 & 1 & \frac{1}{3} \\ 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}; \quad B4 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{5} \\ 3 & 5 & 1 \end{bmatrix};$$

对上述矩阵进行计算,计算结果如下表:

表2 AHP权重计算结果

比较矩阵	权重向量 W	最大特征值	CR	一致性检验结果
A	(0.205, 0.586, 0.102, 0.107)	4.004	0.001	通过
B1	(0.500, 0.147, 0.066, 0.288)	4.197	0.073	通过
B2	(0.138, 0.732, 0.130)	3.004	0.003	通过
B3	(0.200, 0.200, 0.600)	3.000	0.000	通过
B4	(0.258, 0.105, 0.637)	3.039	0.033	通过

最后计算第二层因素总排序结果的权重向量, $W=(0.102, 0.030, 0.013, 0.059, 0.081, 0.429, 0.076, 0.020, 0.020, 0.061, 0.028, 0.011, 0.068)$; 该层次总排序一致性评价指标CR为 $0.022 < 0.1$, 一致性检验通过。

4.3.2 确定隶属度, 建立评价矩阵

通过阅读文献, 本文对新能源汽车动力电池回收模式选择自营回收模式、外包回收模式、联营回收模式作为对象建立对象集。根据评价指标体系, 建立对象集 $X=\{\text{经济因素, 技术因素, 管理因素, 社会因素}\}$, 建立评价因素集 $V=\{\text{非常重要, 重要, 一般, 不重要}\}$, 并对评价因素集进行赋值, $V=\{4, 3, 2, 1\}$ 。然后选择十名专家, 让他们对相关因素进行评价, 根据评价结果建立模糊评价矩阵。

(1) 对自营模式进行综合评价。根据专家评价结果, 建立模糊评价矩阵R1, R2, R3, R4:

$$R1 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0.0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0.0 \end{bmatrix}; R2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0.0 \end{bmatrix};$$

$$R3 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix}; R4 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0.0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0.0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix};$$

针对13个指标与4个评语进行模糊综合评价, 在使用加权平均型M(*, +)算子进行研究, 利用熵权法计算第二层各因素的权重, 计算结果如下:

熵权法			
方案层	信息熵值 e	信息效用值 d	权重
盈利水平 C1	0.681	0.319	0.086
财务风险 C2	0.731	0.269	0.073
企业规模 C3	0.731	0.269	0.073
运营成本 C4	0.719	0.281	0.076
闭环供应链基础建设水平 C5	0.461	0.539	0.145
闭环供应链技术水平 C6	0.762	0.238	0.064
回收装置与工艺 C7	0.743	0.257	0.069
人员管理 C8	0.731	0.269	0.073
物流管理 C9	0.786	0.214	0.058
信息管理 C10	0.731	0.269	0.073
政策法律 C11	0.743	0.257	0.069
企业竞争水平 C12	0.743	0.257	0.069
竞争对手竞争水平 C13	0.731	0.269	0.073

首先由评价指标权重向量A(由熵权法可以得到), 通过构建出13*4的权重判断矩阵R, 最终进行分析得到4个评语集隶属度, 分别为0.28、0.434、0.228、0.059, 因此可以得到, 4个评语集

中“重要”的权重最高, 集合最大隶属度法则可以得到, 最终综合评价的结果为“重要”。隶属度矩阵计算结果如下表:

	非常重要	重要	一般	不重要
隶属度	0.278	0.430	0.226	0.058
隶属度归一化(权重)	0.28	0.434	0.228	0.059

针对四个评语(很欢迎, 欢迎, 一般, 不欢迎), 分别赋分为4, 3, 2和1分, 因此, 对自营模式进行综合评价最终总得分为2.935分, 综合得分属于重要。

(2) 对外包模式进行综合评价。根据专家评价结果, 建立模糊评价矩阵R1, R2, R3, R4:

$$R1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix}; R2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.0 \end{bmatrix};$$

$$R3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}; R4 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix};$$

与外包模式计算方法相同, 隶属度矩阵计算结果如下:

	非常重要	重要	一般	不重要
隶属度	0.318	0.338	0.232	0.068
隶属度归一化(权重)	0.332	0.353	0.243	0.072

针对四个评语(很欢迎, 欢迎, 一般, 不欢迎), 分别赋分为4, 3, 2和1分, 因此, 对外包模式进行综合评价最终总得分为2.946分, 综合得分属于重要。

(3) 对联营模式进行综合评价。根据专家评价结果, 建立模糊评价矩阵R1, R2, R3, R4:

$$R1 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0.0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}; R2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix};$$

$$R3 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix}; R4 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix};$$

与外包模式计算方法相同, 隶属度矩阵计算结果如下:

	非常重要	重要	一般	不重要
隶属度	0.112	0.121	0.121	0.111
隶属度归一化(权重)	0.241	0.26	0.26	0.239

针对四个评语(很欢迎, 欢迎, 一般, 不欢迎), 分别赋分为4, 3, 2和1分, 因此, 对联营模式进行综合评价最终总得分为2.503分, 综合得分属于一般到重要之间。

5 新能源汽车回收的建议及改进方案

基于模糊评价法, 综合考虑经济、技术、管理、社会之间的相互影响、相互作用以及对新能源动力电池回收模式的总体影响, 经过数学计算, 建议采取以下改进措施:

(1) 通过上述分析, 根据三种新能源汽车动力电池回收模式,

对比每种动力电池回收模式最终的综合评分,我们优先采用外包模式。

(2)提高回收动力电池的经济效益。落实获得认证企业的财税优惠政策,降低正规企业回收成本。在现阶段可对动力电池回收企业按照电池套数、容量等指标给予一定补贴。对新能源汽车用户按正规渠道回收动力电池给予补贴。

(3)不断技术创新,提高新能源动力电池回收再利用技术。加强技术创新,突破退役电池一致性、自动化拆解等目前还存在的技术瓶颈,持续推动发布一批国家标准、行业标准。

(4)打造完整成熟的管理模式,在动力电池回收信息管理方面,要围绕生产者责任延伸制度,依托大数据、区块链、人工智能等现代新兴技术,打造循环型商业模式体系,建立动力电池数字编码制度和回收处理信息管理系统,形成产品可溯源、数据可共享、信息可流通的闭环供应链商业模式。

[参考文献]

[1]黎宇科,高洋.德国动力电池回收利用经验及启示[J].资源再生,2013,(10):48-50

[2]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.

[3]赵世佳,徐楠,乔英俊,等.加快我国新能源汽车动力电池

回收利用的建议[J].中国工程科学,2018,20(01):144-148.

[4]张应鹏.关于新能源汽车电池回收方式的研究[J].内燃机与配件,2020,(15):178-179.

[5]李备鑫.新能源汽车电池包全生命周期溯源管理系统[D].南昌大学,2020.

[6]张长令.加快动力电池回收利用体系建设的问题及对策[J].汽车纵横,2018,(01):58-61.

[7]王斑.我国新能源汽车动力电池回收体系的发展现状及建议[J].物流科技,2019,42(02):72-75.

[8]YENDER, G.L.,INSTITUTE OF ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEER. Battery recycling technology and collection processes[C]. //Electronics and the Environment, 1998. ISEE-1998. Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on. 1998:30-35.

[9]朱凌云,陈铭.废旧动力电池逆向物流模式及回收网络研究[J].中国机械工程,2019,30(15):1828-1836.

[10]FANG XI, JIANG WEN-QI. Study on Scrap Automobile Manufacturers Reverse Logistics Partners Base on Evaluation Engineering[C]. //Safety and Emergency Systems Engineering: Beijing,China,2012.:Elsevier,2012:213-221.

中国知网数据库简介:

CNKI介绍

国家知识基础设施(National Knowledge Infrastructure, NKI)的概念由世界银行《1998年度世界发展报告》提出。1999年3月,以全面打通知识生产、传播、扩散与利用各环节信息通道,打造支持全国各行业知识创新、学习和应用的交流合作平台为总目标,王明亮提出建设中国知识基础设施工程(China National Knowledge Infrastructure, CNKI),并被列为清华大学重点项目。

CNKI 1.0

CNKI 1.0是在建成《中国知识资源总库》基础工程后,从文献信息服务转向知识服务的一个重要转型。CNKI1.0目标是面向特定行业领域知识需求进行系统化和定制化知识组织,构建基于内容内在关联的“知网节”、并进行基于知识发现的知识元及其关联关系挖掘,代表了中国知网服务知识创新与知识学习、支持科学决策的产业战略发展方向。

CNKI 2.0

在CNKI1.0基本建成以后,中国知网充分总结近五年行业知识服务的经验教训,以全面应用大数据与人工智能技术打造知识创新服务业为新起点,CNKI工程跨入了2.0时代。CNKI 2.0目标是将CNKI 1.0基于公共知识整合提供的知识服务,深化到与各行业机构知识创新的过程与结果相结合,通过更为精准、系统、完备的显性管理,以及嵌入工作与学习具体过程的隐性知识管理,提供面向问题的知识服务和激发群体智慧的协同研究平台。其重要标志是建成“世界知识大数据(WKBD)”、建成各单位充分利用“世界知识大数据”进行内外脑协同创新、协同学习的知识基础设施(NKI)、启动“百行知识创新服务工程”、全方位服务中国世界一流科技期刊建设及共建“双一流数字图书馆”。