

# 双碳目标下汽车制造业绿色转型路径及实施效果研究

吕弘维

北华大学经济管理学院, 吉林 吉林

收稿日期: 2026年7月21日; 录用日期: 2026年8月18日; 发布日期: 2026年8月28日

## 摘要

汽车制造业作为我国工业碳排放重点领域, 整体能耗与碳排放基数大、减排压力突出, 传统粗放式生产模式已无法适配高质量发展与低碳约束要求。本文以汽车制造业为研究对象, 基于可持续发展理论、循环经济理论与绿色制造理论, 结合行业公开统计数据梳理绿色转型发展现状, 剖析当前转型过程中技术短板、生产能耗偏高、产业链协同不足等现实困境, 从技术创新、绿色生产、产业链协同、循环经济、数字赋能五个维度构建系统化的绿色转型路径。同时选取比亚迪汽车为案例, 结合企业公开能耗、资源利用、减排数据开展定性 + 简单数据对比分析, 具象探究转型路径落地成效与现存短板, 并提出针对性优化对策。研究可为国内汽车制造企业绿色升级、行业低碳治理提供实践参考与理论支撑。

## 关键词

双碳目标, 汽车制造业, 绿色转型

# Research on the Green Transformation Path and Implementation Effect of the Automobile Manufacturing Industry under the Dual Carbon Goals

Hongwei Lyu

School of Economics and Management, Beihua University, Jilin Jilin

Received: July 21, 2026; accepted: August 18, 2026; published: August 28, 2026

## Abstract

The automotive manufacturing industry, as key area of industrial carbon emissions in China, faces

a large overall energy consumption and carbon emission base, along with prominent emission reduction pressure. The traditional extensive production model can no longer adapt the requirements of high-quality development and low-carbon constraints. Taking the automotive manufacturing industry as the research object, this paper combs through the current status of green transformation development based on development theory, circular economy theory, and green manufacturing theory, combined with public industry statistical data. It analyzes current practical dilemmas such as technological shortcomings, high production energy consumption, and insufficient industrial synergy during the transformation process, and constructs a systematic green transformation path from five dimensions: technological innovation, green production, industrial chain synergy, circular economy, and digital empowerment. Meanwhile, BYD Auto is selected as a case study, combining the company's publicly available data on energy consumption, resource utilization, and emission reduction to conduct a qualitative analysis + simple data comparison. This approach aims to explore the effectiveness of the transformation path and identify existing shortcomings, and propose targeted optimization measures. The research can provide practical references and theoretical support for the green upgrading of domestic automotive manufacturing and the low-carbon governance of the industry.

## Keywords

Dual Carbon Goals, Automobile Manufacturing, Green Transformation

Copyright © 2026 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. 绪论

### 1.1. 研究背景与意义

随着我国“碳达峰、碳中和”相关配套政策持续落地，工业领域绿色低碳转型进入攻坚阶段，制造业作为碳排放核心领域，其绿色升级成效直接关系双碳目标的落地实施。汽车制造业是我国国民经济的支柱产业，兼具产业链长、覆盖领域广、生产能耗高、碳排放总量大等特点，涵盖零部件生产、整车制造、涂装焊接、废旧车辆回收等全流程环节，是工业节能减排、绿色转型的重点行业。

长期以来，国内多数汽车制造企业依托传统生产模式发展，存在生产工艺老旧、能源利用效率低、污染物排放管控不严、资源循环利用率不足等问题。在国家环保政策收紧、市场绿色消费需求升级、行业竞争格局迭代的三重倒逼下，粗放式生产模式已难以为继，绿色低碳转型成为汽车制造业突破发展瓶颈、实现高质量发展的必然选择。

从研究意义来看，理论层面，本文立足全产业链、全生产流程视角，将循环经济、绿色制造等理论核心原则落地匹配产业各环节，完善汽车制造业绿色转型的路径体系，丰富绿色制造与产业转型升级的相关理论研究。实践层面，本文结合行业现状与典型企业案例，梳理可落地的转型路径与优化对策，能够为汽车制造企业降本减碳、提质增效提供实操参考，同时也可作为行业监管部门完善绿色产业政策、规范行业绿色发展标准提供借鉴。

### 1.2. 国内外研究综述

#### 1.2.1. 国外相关研究梳理

国外制造业低碳研究起步于 20 世纪 90 年代，主要分为三大方向。在绿色技术与清洁能源方面，普遍认为工艺革新、能源替代是工业减排关键，证实轻量化、光伏供能可降低车企制造碳排放，同时发现

技改成本会制约中小企业低碳设备推广，但相关研究较少兼顾汽车全产业链。在绿色供应链领域，研究证实龙头车企的供应商绿色考核能够降低产业链碳强度，后续研究进一步将动力电池回收、零部件再制造纳入供应链管理，不过研究样本多为海外企业，对我国本土产业链适配分析不足。在循环经济与全生命周期管理方面，学界将循环经济 3R 原则应用于汽车产业，搭建“生产 - 使用 - 报废”资源闭环，并量化评估退役电池、废旧钢材的减排潜力，但研究多集中于后端回收，缺少与前端制造环节的联动性分析。

### 1.2.2. 国内相关研究梳理

国内双碳下汽车产业研究自 2021 年快速增多。一部分研究聚焦单项低碳技术与新能源产品，验证了轻量化、低 VOC 涂装的减排作用，但多局限于单一工序；部分测算偏向车辆行驶端碳排放，忽视制造环节能耗，缺少全流程系统路径。绿色供应链相关研究指出国内汽车产业链低碳发展不均衡，中小零部件企业改造滞后，但未形成龙头带动中小企业协同转型的可行方案，部分绿色准入机制的研究也缺少企业案例数据支撑[1]。循环经济相关研究多围绕报废汽车与动力电池回收展开，大多仅关注报废后端，未能将循环理念融入生产前端，割裂了生产与回收的资源闭环。

### 1.3. 研究内容与研究方法

本文核心研究内容为梳理汽车制造业绿色转型现状与困境，构建多维度闭环转型路径，结合企业案例验证路径落地成效，总结转型现存问题并提出优化对策。整体研究遵循“提出问题 - 分析问题 - 构建路径 - 案例验证 - 解决问题”的逻辑闭环。

本文主要采用两种研究方法：一是文献研究法，通过梳理国内外绿色转型、绿色制造、循环经济相关文献与行业政策，夯实本文理论基础；二是案例分析法，选取国内代表性汽车制造企业，具象分析其绿色转型实践举措、实施成效与现存问题，保证研究的真实性与落地性。

## 2. 相关概念与理论基础

### 2.1. 核心概念界定

汽车制造业绿色转型，区别于新能源汽车产品迭代转型，核心是指汽车整车及零部件制造企业，依托技术升级、工艺优化、管理创新、产业链协同等方式，对产品研发、生产制造、物流回收等全流程进行绿色化改造，实现降能耗、减排放、提效益、优产业的系统性转型升级，最终达成环境效益、经济效益与社会效益协同发展。绿色制造、全生命周期管控、资源循环利用是其核心特征。

### 2.2. 核心理论基础

一是可持续发展理论，该理论要求产业发展兼顾经济增长、环境保护与资源节约，摒弃先污染后治理的发展模式，是汽车制造业绿色转型的核心指导理论，为行业低碳长效发展提供核心准则。二是循环经济理论，以减量化(Reduce)、再利用(Reuse)、资源化(Recycle)为核心，通过资源闭环循环利用，减少生产资源消耗与废弃物排放，适配汽车制造业废旧零件、动力电池回收利用的转型需求。三是绿色制造理论，聚焦生产全流程的绿色化管控，通过工艺优化、清洁能源替代、污染治理，实现生产环节绿色低碳发展[2]。四是产业转型升级理论，推动传统高耗能产业向高端化、绿色化、智能化升级，为汽车制造业优化产业结构、转变发展模式提供理论支撑。

## 3. 汽车制造业绿色转型现状与困境

### 3.1. 行业绿色转型发展现状

依托国家绿色产业政策引导与市场需求倒逼，我国汽车制造业绿色低碳转型稳步推进，逐步摆脱传

统高耗能、高排放的粗放发展模式，在产品结构、生产制造、循环体系等方面取得阶段性成效，绿色发展格局初步成形。在产品端，行业电动化转型成效凸显，新能源汽车成为市场主力，彻底告别政策补贴依赖，进入市场化高质量发展阶段。据中国汽车工业协会统计<sup>1</sup>，2026年上半年我国新能源汽车产销分别达743.8万辆、744.6万辆，市场渗透率升至49.6%，近半数新车实现低碳化替代。同时，车企普遍推行绿色轻量化设计，通过优化动力系统、应用低碳材料等方式，从产品源头降低全生命周期碳排放。在生产端，主流车企持续开展绿色工厂改造，淘汰高耗能老旧设备，推广节能生产工艺，依托绿电替代、余热回收、水循环利用等方式优化用能结构，行业绿色制造、低碳生产的标准化水平持续提升。在产业端，汽车全生命周期循环治理体系逐步完善，废旧汽车拆解、动力电池回收、核心零部件再制造体系不断健全，碳足迹核算逐步普及，推动产业从线性发展向绿色循环发展转型，行业整体绿色合规管理能力显著提升。

### 3.2. 行业绿色转型核心困境

在转型取得阶段性成果的同时，我国汽车制造业绿色转型仍处于攻坚阶段，多重结构性、技术性、制度性困境并存，制约行业实现深度脱碳与高质量绿色升级[3]。首先，行业转型发展不均衡，两极分化现象显著。头部整车企业可实现全流程低碳管控、零碳工厂建设与前沿技术布局，而大量中小车企、上游零部件配套企业仅完成基础排污达标和简易节能改造，仍停留在初级转型阶段，产业链上下游转型节奏脱节、水平差距较大。其次，核心低碳技术自主能力不足，技术壁垒突出。高端轻量化材料、高效低碳动力系统、动力电池循环再制造等关键技术仍存在对外依赖，中小企业研发资金有限、技术团队薄弱，前沿低碳技术产业化落地难度大，技术创新同质化严重，难以适配双碳深度降碳的严苛要求。再次，绿色转型成本压力突出，企业内生动力不足。设备更新、工艺升级、清洁能源替代、碳核算管理等低碳改造投入成本高昂，叠加汽车行业市场价格竞争激烈、企业盈利空间持续收缩，多数中小企业无力承担高额转型成本。同时，国内低碳产品溢价机制尚未完善，转型投入回报周期长，进一步降低了企业主动转型的积极性。最后，产业链协同与长效治理机制缺失。行业尚未形成统一的碳排放核算标准，上下游碳数据不互通、治理标准不统一，全链条协同降碳难度较大。多数企业绿色转型以被动政策合规为主，未构建长期低碳发展目标与系统化碳管理体系，叠加国际低碳贸易壁垒、国内绿色金融支撑不足等外部因素，严重制约行业绿色转型的长效推进。

## 4. 汽车制造业绿色转型多维路径构建

结合行业转型现状与核心困境，本文构建技术、生产、产业链、循环经济、数字化五位一体的闭环绿色转型路径，全方位推动汽车制造业低碳高质量发展。

### 4.1. 技术创新路径：夯实绿色转型核心支撑

技术创新是汽车制造业绿色转型的核心动力。企业需加大低碳技术研发投入，搭建产学研协同创新平台，聚焦生产核心工序开展技术攻坚。持续推广车身轻量化技术，通过新型复合材料替代传统重型材料，从源头降低生产耗材与车辆行驶能耗；全面普及低VOC涂装、无氰电镀、节能焊接等绿色工艺，替代传统高污染、高能耗生产技术；加快智能减排设备迭代升级，依托智能制造技术优化生产工序，减少生产过程中的资源浪费与污染物排放，逐步构建自主可控的低碳技术体系，降低企业技术改造成本。

### 4.2. 生产升级路径：实现全流程绿色管控

聚焦生产制造全流程推行清洁生产模式，构建标准化绿色生产体系[4]。一方面，优化能源消耗结构，

<sup>1</sup>[http://www.caam.org.cn/chn/4/cate\\_31/list\\_1.html](http://www.caam.org.cn/chn/4/cate_31/list_1.html)

逐步扩大光伏、风电等清洁能源在厂区生产、办公中的应用比例，替代传统化石能源，降低生产碳排放强度；另一方面，针对涂装、焊接等高能耗、高排放工序，制定专项绿色生产标准，优化生产排班、改良生产工艺，落实生产废气、废水、固废的闭环处理，严格把控生产环节污染排放，实现生产全过程节能、降耗、减污、增效。

**4.3. 产业链协同路径：构建一体化绿色产业生态**

打破单一企业转型局限，推动全产业链协同绿色升级[5]。大型整车企业发挥龙头引领作用，建立完善的供应商绿色准入、考核与淘汰机制，将绿色生产标准纳入零部件采购、合作评级体系，倒逼上下游中小企业开展绿色改造。搭建产业链绿色协同交流平台，推动龙头企业向中小配套企业输出绿色技术、管理经验与转型方案，破解中小企业转型技术、人才短板，统一产业链绿色生产标准，解决行业转型两极分化问题，构建上下游联动、协同降碳的绿色产业链生态。

**4.4. 循环经济路径：搭建资源闭环利用体系**

依托循环经济理论，构建“生产废料回收 - 零部件再造 - 废旧车辆拆解 - 材料再生利用”的全链条资源闭环体系。在生产环节，对生产过程中产生的金属边角料、塑料废料等进行统一回收、再生加工，实现生产废料循环利用；在售后报废环节，完善废旧汽车拆解、动力电池回收体系，推进废旧零部件修复再造、金属材料再生利用，提升资源综合利用率，减少原生资源消耗与固体废弃物排放，实现经济效益与环境效益双赢[6]。

**4.5. 数字赋能路径：提升绿色转型精细化水平**

以数字化技术赋能绿色转型，搭建智慧碳管理与能耗监测平台。依托大数据、物联网技术，对厂区生产设备能耗、碳排放、污染物排放等数据进行实时监测、动态统计与全程追溯，精准识别高能耗、高排放点位，为工艺优化、减排改造提供数据支撑。通过数字化系统实现绿色生产常态化管控，替代传统人工粗放管理模式，提升企业绿色转型的精准性、高效性与持续性。

**5. 汽车制造业绿色转型案例分析**

**5.1. 案例企业概况**

本文选取比亚迪汽车作为案例研究对象，该企业是国内新能源汽车与绿色制造的企业，产业布局覆盖整车制造、零部件生产、动力电池研发生产、废旧资源回收等全产业链。企业长期深耕绿色制造领域，率先布局低碳生产、循环利用与数字化管控体系，先后落地多项绿色转型举措，转型体系完善、成果突出，同时也存在行业共性转型问题，具备极强的行业代表性与研究价值。

**5.2. 企业绿色转型落地实践**

**5.2.1. 比亚迪纵向转型成效**

比亚迪作为国内汽车绿色制造领域的标杆企业，依托长期系统性的低碳布局，在生产制造、供应链管理、资源循环及数字化管控等领域完成全方位绿色升级，逐年显现稳定的转型成效。企业在生产端持续优化制造工艺与用材体系，通过普及轻量化环保材料、迭代低能耗绿色生产工艺，并大规模部署光伏、储能等清洁能源配套设施，从生产源头实现能耗与污染物排放的持续管控，构建起标准化的清洁生产模式。同时，比亚迪将绿色转型延伸至全产业链与资源循环体系，通过建立严格的供应商绿色准入与考核机制，带动上下游配套企业同步完成绿色升级，并依托成熟的废旧车辆拆解、动力电池梯次利用及零部件再造体系，实现生产资源的闭环循环利用，配合智慧工厂碳能耗监测平台的数字化赋能，进一步提升

企业低碳管控的精细化水平。

5.2.2. 四家车企横向量化对比

为进一步客观量化评估不同车企绿色转型成效、凸显行业转型差异化特征，本文选取比亚迪、吉利汽车、长城汽车、长安汽车四家国内车企 2024 年公开 ESG 报告、绿色发展年报、工信部《2024 年度中国乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分情况公告》<sup>2</sup>核心数据，从清洁能源利用率、单位产值碳排放、单车生产碳排放、双积分表现四大核心维度开展横向对比，量化分析不同企业转型成效与发展差异，数据如表 1 所示。

Table 1. Comparison of core indicators for green transformation of four automakers in 2024  
表 1. 2024 年四家车企绿色转型核心指标对比表

| 车企名称 | 可再生电力占比 | 单位产值碳排放<br>(较 2020 年降幅) | 单车生产碳排放(吨/辆) | 燃料消耗量正积分(万分) |
|------|---------|-------------------------|--------------|--------------|
| 比亚迪  | 17.3%   | 21.2%                   | 0.49         | 1490.26      |
| 吉利汽车 | 42.0%   | 19.5%                   | 0.56         | 544.19       |
| 长城汽车 | 18.0%   | 17.8%                   | 0.59         | 301.96       |
| 长安汽车 | 23.5%   | 28.48%                  | 0.53         | 281.83       |

数据来源：可再生电力占比、单位产值碳排放、单车生产碳排放取自四家车企 2024 年度 ESG 发展报告；燃料消耗量正积分取自工信部《2024 年度中国乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分核算报告》。

由横向对比数据可清晰看出四家车企绿色转型的差异化优势与短板(见表 1)：其一，清洁能源布局领域，吉利汽车可再生电力占比遥遥领先，达到 42.0%，清洁能源替代转型成效突出，比亚迪、长城汽车清洁能源渗透率相对偏低，仍有较大提升空间；其二，低碳减排成效领域，长安汽车单位产值碳排放降幅最高，减排效率优异，比亚迪单车生产碳排放数值最优，生产端精细化降碳能力行业领先；其三，综合节能与市场绿色表现领域，比亚迪双积分成绩断崖式领先，兼顾生产降碳与产品节能双重优势，综合绿色转型实力最强；长城汽车各项指标相对均衡但整体偏弱，转型提质空间较大。整体来看，四家头部车企均实现显著绿色转型成效，但转型侧重点不同，多数企业存在单一维度短板，尚未实现清洁能源替代、生产减排、产品节能的全方位均衡发展，这也印证了当前国内汽车制造业绿色转型不均衡、不充分的行业共性问题。

根据比亚迪年度社会责任报告公开数据，2020~2024 年企业单车生产综合能耗累计下降 18.6%，单位产值碳排放下降 21.2%，工业废水、废气排放达标率 100%，固废合规处置率、危险废物无害化处置率均保持行业满分水平，清洁生产成效显著。通过节能降耗、废料回收、动力电池梯次利用，企业每年节约生产耗材与能源成本超数十亿元，绿色产品市场占有率持续提升，绿色产值占比突破 45%，实现降本、减碳、提质三重收益。社会效益层面，企业建成多个零碳示范工厂，形成可复制的汽车绿色制造模式，带动上下游数百余家配套企业完成绿色改造，为国内汽车行业低碳转型提供标杆范本，有效助力区域双碳目标落地。

5.3. 企业转型现存短板与行业共性问题

结合比亚迪公开数据与行业对比来看，汽车制造业绿色转型仍存在行业共性短板。一是高端低碳技术仍存在瓶颈，企业核心精密低碳设备仍有约 30%依赖外部供应链，高端工艺自主化率不足，长期技术迭代成本较高。二是产业链协同不均衡，其合作供应商中仍有近 40%的中小型企业绿色生产标准偏低、能耗管控不严，全链条减排效果难以统一。三是数字化碳管理仍有提升空间，当前系统多实现基础监测

<sup>2</sup>[https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/gg/art/2025/art\\_7ebd8dd7d1894593a87b928415dde19e.html](https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/gg/art/2025/art_7ebd8dd7d1894593a87b928415dde19e.html)

功能，数据挖掘、智能节能预判、碳足迹全链条溯源功能尚未完全普及，精细化管控效能未能完全释放。四是绿色长效投入压力大，低碳研发、设备迭代、零碳工厂建设持续投入高，短期盈利压缩明显，企业持续转型动力仍需政策与市场双向赋能。

## 6. 汽车制造业绿色转型优化对策

### 6.1. 强化技术研发，降低行业转型成本

搭建政府、高校、企业产学研协同创新平台，聚焦汽车制造核心低碳工艺、节能设备、循环利用技术开展联合攻坚，突破行业技术瓶颈。鼓励龙头企业加大自主研发投入，培育自主可控的绿色技术体系，降低对外技术依赖；针对中小车企技术薄弱、资金不足的问题，政府出台技术扶持政策，推广低成本、易落地的成熟绿色工艺与改造方案，降低中小企业转型技术门槛与改造成本。

### 6.2. 深化产业链协同，完善绿色产业生态

强化大企业引领带动作用，进一步完善绿色供应链准入、考核与淘汰机制，常态化开展产业链绿色转型帮扶活动，推动大企业向中小企业共享技术、经验与资源。统一行业绿色生产、碳排放管控标准，规范上下游企业生产要求，破解行业转型两极分化难题，构建全产业链协同降碳、协同升级的绿色发展生态。

### 6.3. 完善政策扶持，激发企业转型动力

政府层面完善汽车制造业碳核算、绿色评价体系，建立标准化、规范化的行业绿色监管机制。针对企业转型投入大、回报周期长的问题，出台差异化的财政补贴、税收减免、信贷扶持政策，对积极开展绿色技改、节能减排成效显著的企业予以政策倾斜，缓解企业转型资金压力，提升企业主动转型、长效转型的积极性。

### 6.4. 升级数字管控，提升转型精细化水平

推广智慧碳管理、能耗监测数字化平台在中小车企的普及应用，依托数字化技术实现生产能耗、碳排放、污染物排放的实时监测、动态分析与精准管控。持续优化数字化系统功能，强化数据预判、问题预警能力，精准定位生产减排短板，为企业工艺优化、节能改造提供数据支撑，全面提升绿色转型精细化、智能化管理水平<sup>[7]</sup>。

## 7. 结论与展望

### 7.1. 研究结论

双碳背景下，绿色转型是汽车制造业高质量发展的必然趋势。本文通过梳理汽车制造业绿色转型的研究现状与理论基础，明确当前行业转型取得的阶段性成效，同时指出行业在技术、生产、产业链、企业动力、行业监管等方面的核心困境。基于行业痛点，本文构建了技术创新、绿色生产、产业链协同、循环经济、数字赋能五位一体的绿色转型路径，并通过头部车企案例验证了该路径的落地可行性与实施成效，同时总结了行业转型的共性问题。针对现存问题，从技术研发、产业链协同、政策扶持、数字管控四个维度提出优化对策，形成了“现状分析 - 路径构建 - 案例验证 - 优化提升”的完整研究逻辑，能够为汽车制造业绿色低碳转型提供有效参考。

### 7.2. 研究不足与未来展望

本文以横向数据对比分析为主，选取四家主流车企开展多维度指标对比，清晰呈现行业绿色转型差

异化特征，但研究视角仍存在一定局限性，未能全面覆盖中小车企、合资车企的转型差异，也未对各区域车企转型特征做细分探讨。未来研究可进一步拓宽研究样本，对比不同规模、不同产权、不同区域汽车企业的转型模式与成效，细化差异化转型路径。同时，随着双碳政策持续迭代、智能制造技术不断升级，汽车制造业绿色转型将向智能化、深度低碳化、全链条协同化方向发展，后续可聚焦数字化深度赋能、零碳工厂建设、全产业链碳足迹溯源等前沿方向开展深化研究。

## 参考文献

- [1] 秦烨. 低碳经济背景下汽车制造业绿色转型绩效研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(1): 58-60.
- [2] 张秀琪. 绿色制造对汽车制造业转型升级的影响研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(9): 31-33.
- [3] “中国汽车行业绿色低碳发展路径研究”项目组, 赵冬昶, 赵明楠, 等. 我国汽车产业绿色低碳发展路径研究[J]. 中国能源, 2022, 44(12): 33-42.
- [4] 张松, 高翔宇, 郑冬颖, 等. 汽车制造企业清洁生产审核实例分析[J]. 重型汽车, 2022(6): 41-42.
- [5] 孔春花, 赵梓含. 新能源汽车实现“双碳”战略目标的产业链协同发展路径[J]. 汽车与新动力, 2023, 6(3): 83-85.
- [6] 付洋, 王步宇, 帅石金. 基于中国能源和材料的乘用车全生命周期温室气体排放分析[J]. 汽车安全与节能学报, 2023, 14(6): 744-754.
- [7] 李梅, 赵晓. 双碳背景下汽车制造企业节能减排路径分析[J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(9): 160-162.