

文章编号:1001-7372(2022)05-0266-09

智能网联汽车全生命周期节能减排 绩效评价研究

杨 洋¹, 赵 阳¹, 郝 卓², 赵建有², 罗 耿^{*2}

(1. 长安大学 运输工程学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

摘要:为进一步研究不同级别智能网联汽车全生命周期节能减排绩效,基于生命周期评价方法(LCA),以某国产合资紧凑型纯电动乘用车为评价对象,搭建智能网联汽车生命周期评价模型,研究分析其全生命周期的矿产资源消耗、化石能源消耗及环境排放影响;进而基于不同级别智能网联汽车采用智能装备的差异,对 L0~L5 级别智能网联汽车全生命周期各阶段能源消耗和环境影响进行评估预测与对比分析。研究结果表明:在智能网联汽车全生命周期矿产资源消耗方面,原材料获取阶段占比最高;在化石能源消耗方面,运行使用阶段占比最高;在综合环境影响方面,受中国电力结构影响,运行使用阶段环境影响综合值最大;随着智能化程度的不断提高,智能网联汽车相邻级别间全生命周期化石能源消耗可降低 3.5%~6.3%,GWP、AP、EP、POCP 环境排放最高可分别降低约 13.9%、13.3%、13.7%、11.7%,其中使用阶段环境排放降低程度最为明显;综上,通过进一步加强汽车轻量化研究,拓展新型材料在智能网联汽车领域的应用,合理优化我国电力结构布局,提升车辆自主决策水平,加快云平台与大数据等关键技术 in 智能网联汽车上的应用等途径,可有效提升智能网联汽车节能减排效果。

关键词:汽车工程;智能网联汽车;生命周期评价;节能减排;绩效评价;对比分析

中图分类号:U469 **文献标志码:**A

Research on Performance of Energy Saving and Emission Reduction in Whole Life Cycle of Intelligent Connected Vehicle

YANG Yang¹, ZHAO Yang¹, HAO Zhuo², ZHAO Jian-you², LUO Geng^{*2}

(1. College of Transportation Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to further study the energy-saving and emission reduction performance of different levels of intelligent connected vehicles, this paper based on the life cycle assessment (LCA) method, established an intelligent connected vehicle life cycle evaluation model with a domestic joint venture compact pure electric passenger car as the evaluation object, research analyzed the impact of mineral resource consumption, fossil energy consumption and environmental emissions in its entire life cycle. In addition, based on the differences in the intelligent equipment adopted by different levels of intelligent connected vehicles, the energy consumption and environmental impact of L0-L5 intelligent connected vehicles at each stage of the

收稿日期:2021-11-11

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFE0192900);陕西省重点产业创新链项目(ZDL-GY16-08)

作者简介:杨 洋(1991-),男,陕西西安人,工学博士研究生,E-mail:244214227@qq.com。

* 通讯作者:罗 耿(1992-),男,陕西西安人,讲师,工学博士,E-mail:luogeng@chd.edu.cn。

whole life cycle are evaluated, predicted and compared. The research results show that in terms of the consumption of mineral resources in the life cycle of intelligent connected vehicles, the raw material acquisition stage accounts for the highest proportion, in terms of fossil energy consumption, the operation and use stage accounts for the highest proportion, in terms of comprehensive environmental impact, affected by China's power structure, the comprehensive value of environmental impact in the operation and use stage is the largest. According to the differences in the life cycle resources and energy consumption and environmental impact of L0-L5 vehicles of different intelligent levels, it is concluded that with the continuous improvement of the degree of intelligence, the fossil energy consumption of the whole life cycle between the adjacent levels of intelligent connected vehicles can be reduced by about 3.5%-6.3%, and the environmental emissions of GWP, AP, EP, AND, POCP can be reduced by about 13.9%, 13.3%, 13.7% and 11.7% respectively, of which the environmental emissions at the use stage are the most obvious. In summary, by further strengthening the research on automobile lightweight, expanding the application of new materials in the field of intelligent connected vehicles, rationally optimizing the layout of China's power structure, improving the level of vehicle autonomous decision-making, and accelerating the application of key technologies such as cloud platforms and big data in intelligent connected vehicles, the energy-saving and emission-reduction effect of intelligent connected vehicles can be effectively improved.

Keywords: automotive engineering; intelligent connected vehicle; life cycle assessment; energy saving and emission reduction; performance evaluation; comparative analysis

Received 11 Nov. 2021

Funding: National Key R & D Program (SQ2021YFE011519); Shaanxi Provincial Key Industry Innovation Chain Project (2020ZDLGY16-08)

*Corresponding author. *E-mail address:* luogeng@chd.edu.cn.

<https://doi.org/10.19721/j.cnki.1001-7372.2022.05.025>

0 引言

2021年中国汽车保有量已达3.02亿辆,“资源、环境、交通、安全”等问题日益突出,在新一轮科技变革背景下,先进传感器、智能决策与控制系统等智能网联汽车关键技术飞速发展,将不断提升智能网联汽车智能化程度,高效推动交通效率的提高、行驶安全的提升以及城市管理的优化。同时智能网联汽车对于改善中国当前环境与资源现状,引领汽车产业高质量、可持续发展具有举足轻重的战略意义。

近年来,在汽车节能减排评价领域,国外许多学者在车辆能耗、碳足迹以及环境影响评价等方面展开了系列研究。Yukse等^[1-6]采用全生命周期评价方法对插电式混合动力汽车(PHEV)、纯电动汽车(BEV)、普通混合动力汽车(HEV)、传统内燃机汽车(ICEV)等不同类型汽车进行能耗和排放分析。Millo等^[7-8]通过数值模拟的方法搭建模型,分析插电式混合动力汽车对环境和能源影响的潜在关键因

素。Correa等^[9]在油井到车轮分析的基础上,考虑驾驶条件和动力配置的差异性,对5种城市客车动力总成在当前和未来(2030年)进行能源和环境性能比较,并对未来商用运输车队进行了相关预测与猜想。Berzi等^[10]以电动汽车模型为基线模型,对增程式混合动力汽车(EREV)、HEV、PHEV进行模型完善与优化,并以EREV、HEV、PHEV的二氧化碳排放量作为产出进行对比分析。Elgowainy等^[11]对ICEV、压缩天然气(CNG)汽车、BEV、PHEV、氢燃料电池电动汽车(FCEV)的温室气体排放和成本进行了从摇篮到坟墓(C2G)的评估,并对未来轻型车辆进行成本预测评估。

中国学者也针对新能源汽车领域展开节能减排评价研究。Yu等^[12-14]立足于中国实际生产数据,对ICEV、BEV、FCEV等车型进行全生命周期的能耗与环境评价研究。Peng等^[15]开发一种可扩展电动汽车全生命周期分析模型(EV-LCA),基于车辆效能与当地电网结构对比分析BEV、PHEV与

ICEV 在中国、美国、欧盟、日本和加拿大等不同国家和地区在实际行驶条件下的生命周期能耗和温室气体排放。Yang 等^[16-17]使用生命周期评估(LCA)方法和总拥有成本(TCO)评估方法,针对不同类型汽车进行温室气体(GHG)排放以及其在减少 GHG 排放的成本效益评估。熊晓琴^[18]以智能网联汽车专利分析相关研究为基础,运用生命周期方法针对不同级别智能网联汽车进行能耗与环境评价分析。Qiao 等^[19]估算了 BEV 在生产阶段的 CO₂ 排放量,并与 ICEV 的 CO₂ 排放量进行对比分析。

从国内外现有文献来看,目前关于汽车节能减排的评价研究主要集中于乘用车和商用车两大领域,评价对象多为 BEV、HEV、ICEV、PHEV 及 FCEV 等。而智能网联汽车作为未来汽车技术发展的一个重要方向,当前国内外对智能网联汽车全生命周期节能减排绩效评价研究相对较少,尤其是在针对不同级别智能网联汽车在能源与环境方面的量化分析研究更是屈指可数。因此,本文基于以往文献研究及其不足,在传统车与新能源汽车生命周期评价模型基础上对现有模型进行优化,综合考虑能源消耗与环境影响,构建智能网联汽车产品节能减排绩效评价模型,并针对不同智能级别车辆进行了能耗与排放的对比分析研究,具有以下社会意义与研究价值:一方面为中国智能网联汽车节能减排技术路线的制定提供数据支撑,另一方面可对生命周期评价在汽车领域的研究进行补充与完善,同时随着智能化、网联化进程的加快,本研究可为相关企业提供智能网联汽车能源消耗及环境影响变化趋势的参考。

1 评价方法

1.1 评价对象与功能单位

本文综合考虑各车型的市场销量占比、技术成熟度、经济实用度、市场应用情况及数据完整度等因素,选取已上市的某款纯电动乘用车,基于该车型主要性能参数,搭载激光探测器、摄像头、车载雷达等传感装置,以构建本文智能网联汽车基础车型,并通过文献浏览及技术趋势分析搭建了未来 L1~L5 智能车辆的评价模型,具有一定的现实参考价值。

车型主要性能参数见表 1。功能单位是指为了使研究结果具备可比性而将所有数据单位进行统一换算的过程。本文基于现有研究并考虑车辆实际使用过程中的平均行驶里程数,选取该车型在中国道路上平均行驶里程 200 000 km^[20-22]作为功能单位。

表 1 车型主要性能参数

Table 1 Models the Main Performance Parameters

参数	参数值
车身尺寸/mm	4 765×1 837×1 515
整备质量/kg	1 540
轴距/mm	2 718
最高车速/(km·h ⁻¹)	180
续航里程/km	600
电池类型	磷酸铁锂动力电池(圆柱形)
百公里耗电量/ [kW·h·(100 km) ⁻¹]	12.9
电机类型	永磁/同步
电机总功率/kW	135
整车质保/km	200 000

1.2 系统边界与数据来源

本文将智能网联汽车产品全生命周期评价分为原材料获取、制造装配、运行使用与报废回收 4 个阶段,基本覆盖智能网联汽车从摇篮到再生的每个阶段,可以较为全面地反映智能网联汽车全生命周期的各类能源消耗与环境排放。同时,综合考虑智能网联汽车整车组件的重要程度及建模的难易程度,将智能网联汽车简化为以下几部分:车身、底盘、电动机、电子控制系统、动力电池、主减速器、传感器、单目摄像头、车载雷达。具体系统边界如图 1 所示。

在清单数据收集过程中,涉及各个阶段的车型数据主要来自于国内外研究文献^[23-27]、整车拆解报告、企业调研和公司官网。此外,如电能、热能等上游能耗数据主要来源于 GaBi9.1 中的数据库。

1.3 评价指标与计算方法

本文基于对智能网联汽车的能耗与排放研究结果分析,对不同级别的智能网联汽车进行对比评价,为使结果更具对比性,本文中将全生命周期内所消耗的钢、铁、铜、铝等金属矿产资源统一转换到矿产资源耗竭值[ADP(Element)],以金属锑当量进行计算,单位统一转换为 kg;将原油、原煤、天然气等不可再生能源统一归纳到化石能源消耗量[ADP(f)],单位统一转换为 MJ;环境排放影响主要分为 5 类:全球变暖潜值(GWP)、酸化潜值(AP)、富营养化潜值(EP)、光化学烟雾潜值(POCP)、臭氧损耗潜值(ODP)。在对模型进行分析测算时,选取由德国斯图加特大学开发的 GaBi 软件内置数据库中主流的 CML2001 特征化计算方法对模型进行能耗排放分析。

2 评价模型

2.1 原材料获取阶段

原材料获取阶段是全生命周期内各种材料消耗

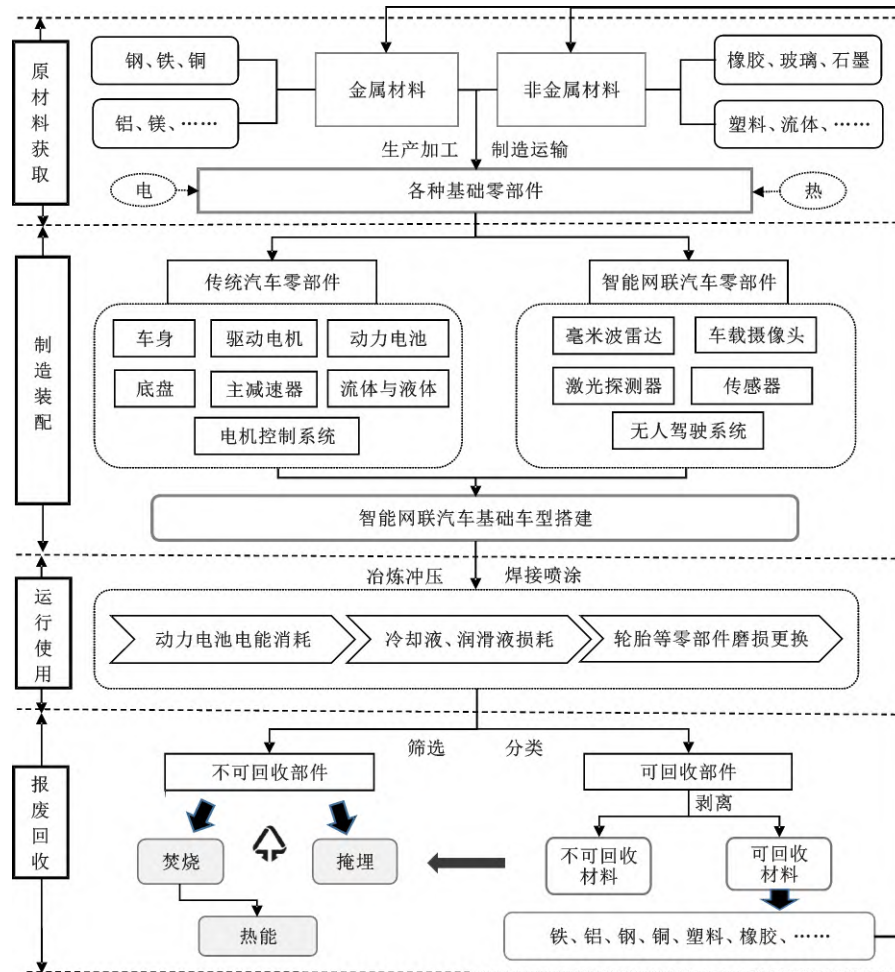


图1 系统边界

Fig. 1 System Boundary

的主要阶段,主要将原油、矿石等资源经过加工冶炼、提取生产出整车制造所需的原材料。

确定整车材料质量矩阵 $M_1 = (m_{1kj})_{l \times n}$, 其中: m_{1kj} 为汽车第 k 个零部件所需的第 j 种材料; l 为汽车零部件的个数; n 为原材料的种类数。综合考虑材料在开采、制备过程中的去除率、利用率等,建设零件加工的材料利用率矩阵为 $\alpha = \text{diag}(\alpha_{11}, \alpha_{22}, \dots, \alpha_{lm})$, 材料制造时转化率矩阵为 $\beta = \text{diag}(\beta_{11}, \beta_{22}, \dots, \beta_{lm})$, 则全生命周期材料消耗矩阵为

$$M = M_1 \times \alpha^{-1} \times \beta^{-1} = (m_{kj})_{l \times n} \quad (1)$$

搭建车用材料加工过程的初级能源消耗强度矩阵 $E_2 = (e'_{2ij})_{n \times r} (e''_{2ij})_{r \times h}$, 原材料获取的初级能源消耗强度矩阵 $E_1 = (e_{1ij})_{n \times h}$, 原材料获取气体排放矩阵 $P_1 = (p_{1ij})_{n \times d}$, 能源气体排放矩阵 $P_2 = (e'_{2ij})_{n \times r} \cdot (p'_{2ij})_{r \times d}$, 则整车原材料获取阶段的能源消耗矩阵 E_{Rmas} 与排放矩阵 P_{Rmas} 见式(2)、(3), 即

$$E_{Rmas} = M(E_1 + E_2) = (m_{ij})_{k \times n} [(e_{1ij})_{n \times h} + (e'_{2ij})_{n \times r} (e''_{2ij})_{r \times h}] = (e_{Rmaxij})_{k \times h} \quad (2)$$

$$P_{Rmas} = M(P_1 + P_2) =$$

$$(m_{ij})_{k \times n} [(p_{1ij})_{n \times d} + (e'_{2ij})_{n \times r} (p'_{2ij})_{r \times d}] = (p_{Rmaxij})_{k \times d} \quad (3)$$

式中: h 为初级能源种类数; r 为能源种类数(例如汽油、电力、天然气等); d 为气体排放种类数; e_{1ij} 为生产单位质量的第 i 种材料所需的第 j 种初级能源量; e'_{2ij} 为将单位质量第 i 种材料加工成为车用材料所消耗的第 j 种能源量; e''_{2ij} 为生产单位第 i 种能源所需要的第 j 种初级能源量; p_{1ij} 为生产单位质量的第 i 种材料产生的第 j 种气体排放物的量; p'_{2ij} 为消耗单位第 i 种能源的第 j 种气体排放物的量。

2.2 制造装配阶段

制造装配阶段包括零部件加工制造阶段与零部件装配阶段,智能网联汽车在制造装配阶段最主要的能源消耗为电能。可分别构建零部件加工制造阶段的能耗矩阵 $E_3 = (e_{3ij})_{k \times r}$ 以及装配阶段的能源消耗矩阵 $E_4 = (e_{4ij})_{k \times r}$, 则制造装配阶段能源消耗矩阵 E_{Mfas} 与排放矩阵 P_{Mfas} 可表示为

$$E_{\text{Mfas}} = (E_3 + E_4)(e_{2ij}^r)_{r \times h} = (e_{\text{Mfas}})_{k \times h} \quad (4)$$

$$P_{\text{Mfas}} = (E_3 + E_4)(p_{2ij}^r)_{r \times d} = (p_{\text{Mfas}})_{k \times d} \quad (5)$$

式中: e_{3ij} 为制造第 i 种零部件所消耗的第 j 种能源量; e_{4ij} 为装配第 i 种零部件所消耗的第 j 种能源量。

2.3 运行使用阶段

在智能网联汽车运行使用中,产生的资源消耗包含两部分:直接消耗与间接消耗。直接消耗指汽车在运行使用过程中消耗的电能、化石燃料;间接消耗指为维护车辆正常使用需求而进行磨损零部件(轮胎、润滑油等)更换所产生的能源消耗与排放,需追溯到上游生产阶段^[28]。则运行使用阶段直接能源消耗矩阵 E'_{Rups} 与直接排放矩阵 P'_{Rups} 可表示为

$$E'_{\text{Rups}} = (f_{1j})_{1 \times r} (e_{2ij}^r)_{r \times h} \quad (6)$$

$$P'_{\text{Rups}} = E'_{\text{Rups}} (\omega_{ij})_{h \times d} \quad (7)$$

式中: f_{1j} 为全生命周期运行使用阶段消耗的第 j 种能源的量; ω_{ij} 为生产第 i 种初级能源产生的第 j 种气体排放物的量。

构建零部件更换质量矩阵 $M_R = (m_{rij})_{k \times n}$, 间接能源消耗矩阵 E''_{Rups} 与间接排放矩阵 P''_{Rups} 可表示为

$$E''_{\text{Rups}} = M_R (E_1 + E_2) = (e_{\text{Rupsij}})_{k \times h} \quad (8)$$

$$P''_{\text{Rups}} = M_R (P_1 + P_2) = (p_{\text{Rupsij}})_{k \times d} \quad (9)$$

式中: m_{rij} 为汽车第 i 个零部件所需更换的第 j 种材料(当某个零部件不需要更更换时,所涉及元素用 0 替代)。

2.4 报废回收阶段

车辆报废回收阶段首先需要对车辆进行拆解,其次经过再制造、再使用、材料回收、焚烧填埋等过程。而当前纯电动汽车回收过程尚未完善,因此本文此处采用传统汽车重大部件的金属材料回收来简化和代替回收过程,在此过程中的能耗与排放既有投入又有收益,投入部分为正值,称为负效益,收益部分为负值,称为正效益,本文报废回收产生的能源和环境的正负效益均由计算模型得出的结果为准^[29]。构建车辆拆解过程中的能源消耗强度矩阵 $E_5 = (e_{5ij})_{k \times h}$, 以及在再制造等过程中的正、负效益矩阵 E_6^+ 、 E_6^- , 则智能网联汽车报废回收阶段能源消耗矩阵 E_{Srps} 与排放矩阵 P_{Srps} 可表示为

$$E_{\text{Srps}} = E_5 + (E_6^+ + E_6^-)(e_{2ij}^r)_{r \times h} \quad (10)$$

$$P_{\text{Srps}} = E_5 (\omega_{ij})_{h \times d} + (E_6^+ + E_6^-)(p_{2ij}^r)_{r \times d} \quad (11)$$

式中: e_{5ij} 为拆解过程中第 i 个零部件消耗的第 j 种初级能源量。

3 结果分析

3.1 矿产资源消耗分析

基于前文搭建的数学模型,利用 GaBi 软件和

团队自研的 Vehicle-IA 计算平台对智能网联汽车全生命周期各阶段矿产资源 ADP(e)消耗进行平衡表测算。全生命周期各个阶段矿产资源消耗量如图 2 所示。由图 2 可知:智能网联汽车在原材料获取阶段具有较高的矿产资源消耗,主要是因为该阶段消耗大量钢、铜、铝、铸铁等金属材料;在报废回收阶段矿产资源消耗量为负值,表明车辆报废回收有助于降低全生命周期矿产资源消耗。

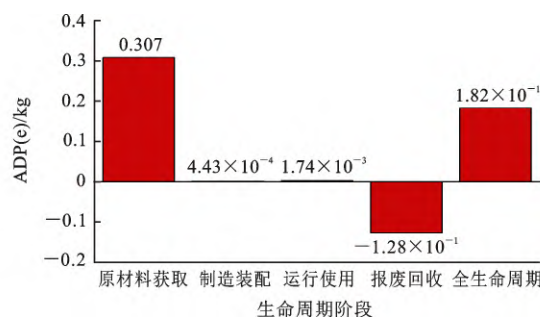


图 2 全生命周期各个阶段矿产资源消耗量

Fig. 2 Life Cycle Mineral Resources Consumption at Various Stages

3.2 化石能源消耗分析

基于前文搭建的数学模型,利用 GaBi 软件和团队自研的 Vehicle-IA 计算平台对智能网联汽车全生命周期各个阶段化石能源 ADP(f)消耗进行平衡表测算。全生命周期各个阶段化石能源消耗量如图 3 所示。由图 3 可知:运行使用阶段的化石能源消耗最多,主要原因是使用阶段电能的大量消耗,而中国电力结构中以火力发电为主,故消耗大量化石能源;原材料获取阶段和制造装配阶段的化石能源的消耗主要来源于材料加工和零部件制造过程中电能的使用;在报废回收阶段,化石能源消耗量为负值,表明车辆报废回收过程在降低化石能源消耗方面具有一定的正效益。

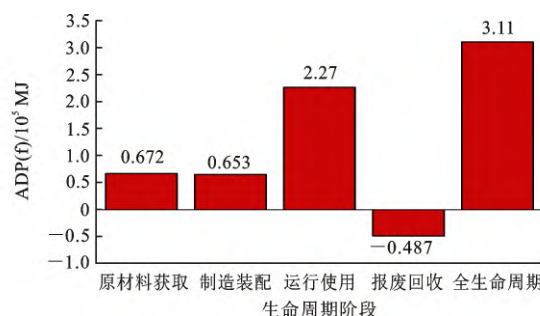


图 3 全生命周期各个阶段化石能源消耗量

Fig. 3 Life Cycle Fossil Energy Consumption at Various Stages

3.3 环境排放影响分析

基于前文搭建的数学模型,运用 GaBi 软件可

计算出全生命周期各阶段的环境排放情况,进而运用 CML2001 的方法将排放物进行特征化处理,形成统一量纲,即分为 GWP、AP、EP、POCP、ODP 五种环境影响类型,并选取某种排放物的耗竭系数作为基准,将其他排放物的耗竭系数与该基准进行比较获取相对值,并运用前文构建的各阶段能源消耗与排放计算模型计算得出不同影响类型的环境影响当量,最终确定权重系数,对计算出的环境影响当量进行归一化和量化处理,以解释各种环境影响类型的相对重要性。归一化基准值来自 GaBi 数据库,权重系数来自文献查找^[28-29]。L1 级别的智能网联汽车 5 种不同环境影响类型的归一化和量化结果见表 2,各个阶段的 5 种环境影响值如图 4 所示。

表 2 全生命周期环境影响归一化和量化结果

Table 2 Life Cycle Environmental Impact Normalization and Quantitative Results

评价指标	原材料获取阶段	制造装配阶段	运行使用阶段	报废回收阶段
AP	2.59×10^{-11}	1.01×10^{-11}	3.55×10^{-11}	-1.80×10^{-11}
GWP	5.55×10^{-11}	4.09×10^{-11}	1.43×10^{-10}	-3.33×10^{-11}
EP	9.11×10^{-13}	1.01×10^{-12}	3.52×10^{-12}	-7.59×10^{-13}
ODP	1.90×10^{-18}	5.99×10^{-20}	2.36×10^{-19}	8.75×10^{-22}
POCP	1.33×10^{-11}	4.50×10^{-12}	1.58×10^{-11}	-1.10×10^{-11}
综合	9.56×10^{-11}	5.65×10^{-11}	1.97×10^{-10}	-6.30×10^{-11}

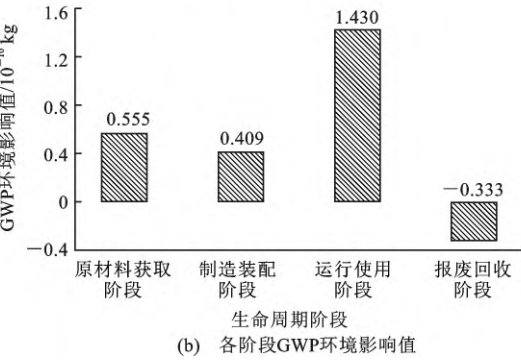
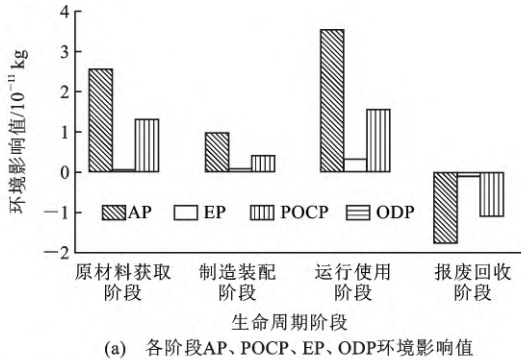


图 4 各个阶段的 5 种环境影响值

Fig. 4 Five Kinds of Environment Impact Value at Various Stages

由表 2 和图 4 进行数据分析可得:5 个指标中,对环境影响程度由大到小排序分别为 GWP、AP、POCP、EP、ODP,其中 GWP 占比 71.8%、AP 占比 18.7%、POCP 占比 7.9%、EP 占比 1.6%。同时可知,整车全生命周期中,运行使用阶段对环境造成的影响最大(68.9%),其次是原材料获取阶段(33.4%)、制造装配阶段(19.7%)。报废回收阶段产生了 22%的正效益,表明对汽车材料进行报废回收有利于降低环境影响排放与提高资源利用率,有助于推动产业绿色、健康、可持续发展。

3.4 不同智能级别对比差异分析

本文在对 L0 级别智能网联汽车进行生命周期评价的基础上,对 L1~L5 级别的智能网联汽车进行生命周期评价与对比分析,以美国 SAE 智能网联汽车分级标准为基准:L0(应急辅助)、L1(部分驾驶辅助)、L2(组合驾驶辅助)、L3(有条件自动驾驶)、L4(高度自动驾驶)、L5(完全自动驾驶),并根据智能化程度相近原则将智能网联汽车分为 L0、L1、L2~L3、L4~L5。不同级别的差异重点考虑了运行使用阶段,综合文献分析^[18,30-32]及研究对象特定场景下的测试数据,假设 L1 级别智能网联汽车运行效率分别提升 5%~10%、L2 和 L3 级别运行效率提升 15%~20%、L4 和 L5 级别运行效率提升 25%~30%,进而对评价结果进行详细分析。不同级别的智能网联汽车全生命周期各阶段 ADP(f)消耗如图 5 所示,不同级别的智能网联汽车全生命周期各阶段 GWP、AP、EP、POCP 差异如图 6、7 所示。

由图 5 可知:智能网联汽车运行使用阶段的化石能源消耗随着智能化程度的提高逐步降低,其中相邻级别之间全生命周期 ADP(f)消耗降低程度约在 3.5%~6.3%之间。考虑到大数据、通信等智能网联技术与物联网、V2X 等信息交互技术的发展,未来智能网联汽车智能化程度将不断提升,可以有效提升交通效率与能源利用率,进而实现化石能耗的降低。因此,单车智能与车路协同技术的发展对汽车全生命周期化石能源消耗的降低具有积极影响。

由图 6 与图 7 知,随着智能化程度的不断提高,智能网联汽车生命周期内 GWP、AP、EP、POCP 排放明显减少,主要表现在使用阶段排放的显著降低,全生命周期 GWP、AP、EP、POCP 最高分别可降低约 13.9%、13.3%、13.7%、11.7%。智能网联汽车使用阶段环境排放减低的主要原因是随着车辆智能化关键技术的不断突破,车辆动力控制系统、车辆路径规划和外界环境信息实现深度耦合与合理匹配,

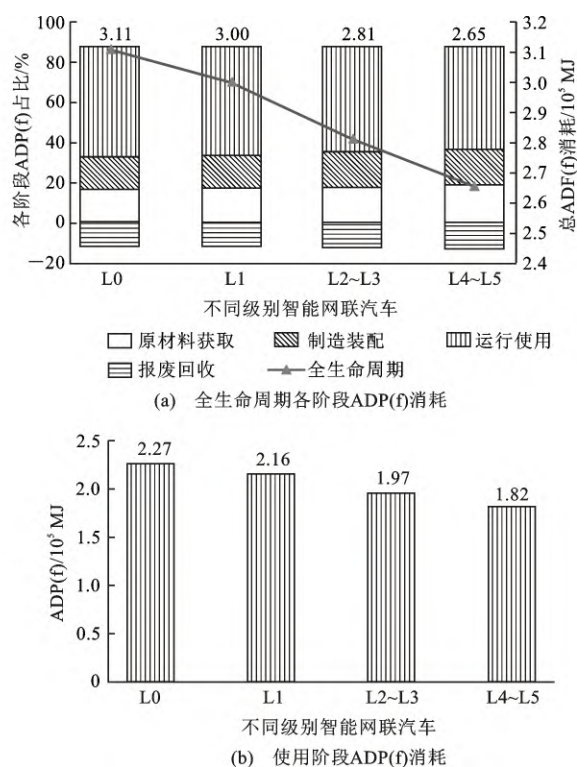


图5 不同级别的智能网联汽车全生命周期各阶段与使用阶段 ADP(f)消耗

Fig. 5 ADP(f) Consumption at Different Levels of the Life Cycle and Use Stage of Intelligent Connected Vehicles

车辆能源利用率进一步得到提升。同时,随着车路协同关键技术的不断突破与智能交通建设水平的不断提升,“人-车-路-云”等平台实现信息共享、多端交互、高效协同,进而改善交通拥堵情况和提高交通运输效率,车辆减排效益得到提升。因此车辆智能化程度的提升与智能交通水平的提高有助于车辆全生命周期污染物排放的降低。

4 结 语

(1)资源消耗方面,智能网联汽车原材料获取阶段矿产资源 ADP(e)消耗量占比最大,运行使用阶段化石能源消耗量 ADP(f)占比最大;环境影响方面,智能网联汽车在运行使用阶段环境影响最大(68.9%)。因此在矿产资源消耗方面,应进一步加强智能网联汽车轻量化研究,拓展新型材料在智能网联汽车领域的应用;在化石能源消耗和环境影响方面,应合理改善中国电力结构布局,增大风力发电、水力发电等清洁发电方式的占比。

(2)高级别的智能网联汽车能有效减少全生命周期能源消耗与环境排放。随着车辆智能化和车路协同关键技术的不断突破以及智能交通建设水平的

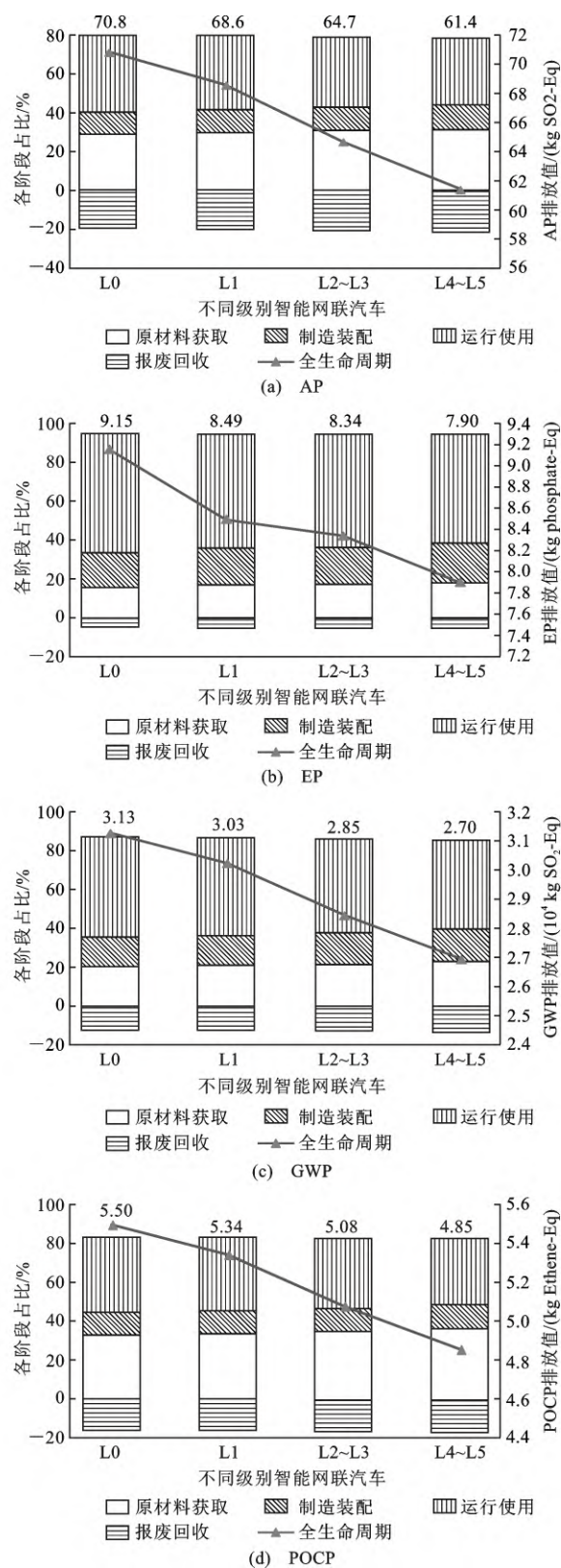


图6 不同级别的智能网联汽车全生命周期各阶段 AP、EP、GWP、POCP 差异

Fig. 6 Differences Between AP, EP, GWP and POCP at Various Stages of the Life Cycle of Different Levels of Intelligent Connected Vehicles

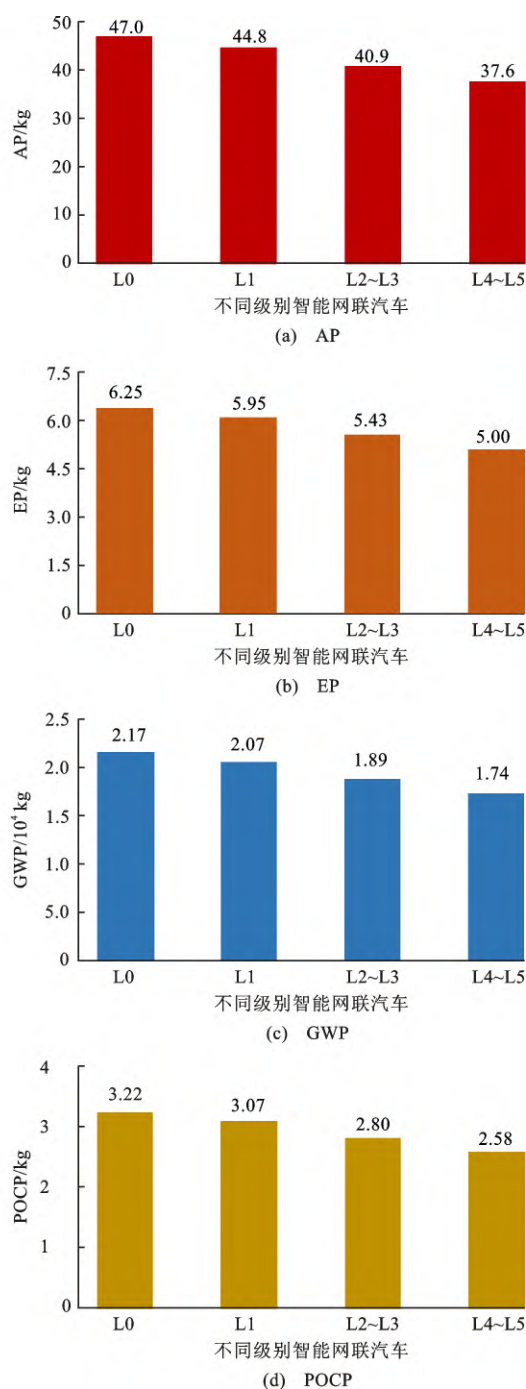


图7 不同级别的智能网联汽车运行使用阶段 AP、EP、GWP、POCP 差异

Fig. 7 Differences Between AP, EP, GWP and POCP in the Operation and Use Stages of Different Levels of Intelligent Connected Vehicles

不断提升,城市交通拥堵等道路问题得以缓解,城市道路通行效率与能源利用率得到提高。相邻级别间全生命周期化石能源消耗量可降低比例为 3.5%~6.3%,全生命周期 GWP、AP、EP、POCP 排放量最高分别可降低约 13.9%、13.3%、13.7%、11.7%。因此,面对中国“双碳战略”,为减少汽车产业能源消

耗和环境影响,应加快实现智能网联汽车关键技术突破,提高智能网联汽车节能减排效益,推动汽车产业绿色可持续发展,这也是本文的意义所在。

(3)未来将针对智能网联汽车智能化程度对汽车排放性能、交通效率等方面的影响进行细化研究,同时深入探究不同级别智能网联汽车与交通、城市一体化时的车辆碳排放情况。

参考文献:

References:

- [1] YUKSE T, TAMAVAO M A M, HENDRICKSON C, et al. Effect of Regional Grid Mix, Driving Patterns and Climate on the Comparative Carbon Footprint of Gasoline and Plug-in Electric Vehicles in the United States [J]. Environmental Research Letters, 2016, 11 (4): 1748-1750.
- [2] HELD M, SCHUCKING M. Utilization Effects on Battery Electric Vehicle Life-cycle Assessment: A Case-driven Analysis of Two Commercial Mobility Applications [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2019, 75: 87-105.
- [3] SISANI F, DI MARIA F, CESARI D. Environmental and Human Health Impact of Different Powertrain Passenger Cars in a Life Cycle Perspective. A Focus on Health Risk and Oxidative Potential of Particulate Matter Components [J]. Science of the Total Environment, 2022, 805: 150171.
- [4] WU Z, WANG M, ZHENG J, et al. Life Cycle Greenhouse Gas Emission Reduction Potential of Battery Electric Vehicle [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 190: 462-470.
- [5] AHMAD M, MOHAMMED O, MOHAMMED H, et al. Vehicle's Lightweight Design vs. Electrification from Life Cycle Assessment Perspective [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 167: 687-701.
- [6] SHAFIQUE M, AZAM A, RAFIQ M, et al. Life Cycle Assessment of Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles: A Case Study of Hong Kong [J]. Research in Transportation Economics, 2021, 99: 101112.
- [7] MILLO F, CUBITO C, ROLANDO L, et al. Design and Development of an Hybrid Light Commercial Vehicle [J]. Energy, 2017, 136: 90-99.
- [8] RITA G, FAUSTO F. A Review of Fleet-based Life-cycle Approaches Focusing on Energy and Environmental Impacts of Vehicles [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 79 (11): 935-945.
- [9] CORREA G, MUÑOZ P, FALAGUERRA T, et al. Performance Comparison of Conventional, Hybrid, Hydrogen and Electric Urban Buses Using Well to Wheel Analysis [J]. Energy, 2017, 141 (12): 537-549.
- [10] BERZI L, DELOGU M, PIERINI M, et al. A Comparison of Electric Vehicles Use-case Scenarios Application of a Simulation Framework to Vehicle Design Optimization and Energy Consumption Assessment [C] // IEEE. 2016 IEEE 16th In-

- ternational Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC). New York: IEEE, 2016: 1-6.
- [11] ELGOWAINY A, HAN J, WARD J, et al. Current and Future United States Light-duty Vehicle Pathways: Cradle-to-grave Life Cycle Greenhouse Gas Emissions and Economic Assessment [J]. Environmental Science & Technology, 2018, 52 (4): 2392-2399.
- [12] YU A, WEI Y Q, CHEN W W, et al. Life Cycle Environmental Impacts and Carbon Emissions: A Case Study of Electric and Gasoline Vehicles in China [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2018, 65: 409-420.
- [13] 林 婷, 吴 烨, 何晓旎, 等. 中国氢燃料电池车燃料生命周期的化石能源消耗和 CO₂ 排放 [J]. 环境科学, 2018, 39 (8): 3946-3953.
- LIN Ting, WU Ye, HE Xiao-ni, et al. The Hydrogen Fuel Cell Car Fossil Fuel Life Cycle Energy Consumption and CO₂ Emissions [J]. Environmental Science, 2018, 39 (8): 3946-3953.
- [14] SHI S N, ZHANG H R, YANG W, et al. A Life-cycle Assessment of Battery Electric and Internal Combustion Engine Vehicles: A Case in Hebei Province, China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 228: 606-618.
- [15] PENG T D, OU X M, YAN X Y. Development and Application of an Electric Vehicles Life-cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions Analysis Model [J]. Chemical Engineering Research and Design, 2018, 131: 699-708.
- [16] YANG L, HAO C X, CHAI Y N. Life Cycle Assessment of Commercial Delivery Trucks: Diesel, Plug-in Electric, and Battery-swap Electric [J]. Sustainability, 2018, 10 (12): 45-47.
- [17] HAO H, CHENG X, LIU Z W, et al. Electric Vehicles for Greenhouse Gas Reduction in China: A Cost-effectiveness Analysis [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017, 56: 68-84.
- [18] 熊晓琴. 专利视域下智能网联汽车关键技术分析及产品评价研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2020.
- XIONG Xiao-qin. Key Technology Analysis and Product Evaluation of Intelligent Connected Vehicle from the Perspective of Patent [D]. Changsha: Hunan University, 2020.
- [19] QIAO Q Y, ZHAO F Q, LIU Z W, et al. Comparative Study on Life Cycle CO₂ Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China [J]. Energy Procedia, 2017, 105: 3584-3595.
- [20] XIA X, LI P. A Review of the Life Cycle Assessment of Electric Vehicles: Considering the Influence of Batteries [J]. Science of the Total Environment, 2022, 814: 152870.
- [21] KAMATH D, SHUKLA S, ARSENAULT R, et al. Evaluating the Cost and Carbon Footprint of Second-life Electric Vehicle Batteries in Residential and Utility-level Applications [J]. Waste Management, 2020, 113: 497-507.
- [22] SHI S N, ZHANG H R, YANG W, et al. A Life-cycle Assessment of Battery Electric and Internal Combustion Engine Vehicles: A Case in Hebei Province, China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 228: 606-618.
- [23] 李 娟. 纯电动汽车与燃油汽车动力系统生命周期评价与分析 [D]. 长沙: 湖南大学, 2015.
- LI Juan. Life Cycle Assessment and Analysis Between Power System of Gas Car and Battery Electric Vehicles [D]. Changsha: Hunan University, 2015.
- [24] 刘志超. 发动机原始制造与再制造全生命周期评价方法 [D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- LIU Zhi-chao. Life Cycle Assessment Methodology of Original Manufacturing and Remanufacturing of an Engine [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013.
- [25] 马金秋. 匹配不同动力电池的纯电动汽车全生命周期评价研究 [D]. 西安: 长安大学, 2019.
- MA Jin-qiu. Life Cycle Assessment on A Specific BEV with Different Power-batteries [D]. Xi'an: Chang'an University, 2019.
- [26] 刘书如. 锂离子动力电池及纯电动汽车生命周期评价对比研究 [D]. 西安: 长安大学, 2021.
- LIU Shu-ru. Comparative Study on Life Cycle Assessment of Li-ion Power Battery and Pure Electric Vehicle [D]. Xi'an: Chang'an University, 2021.
- [27] 李书华. 电动汽车全生命周期分析及环境效益评价 [D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- LI Shu-hua. Life Cycle Assessment and Environmental Benefits Analysis of Electric Vehicles [D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [28] 徐建全. 汽车产品全生命周期综合效益评价研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2014.
- XU Jian-quan. A Study on Life Cycle Comprehensive Benefits Assessment of Automotive Products [D]. Changsha: Hunan University, 2014.
- [29] 陈轶嵩. 汽车零部件全生命周期生态效益评价研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2014.
- CHEN Yi-song. A Study on Life Cycle Ecological Benefits Assessment of Automotive Parts [D]. Changsha: Hunan University, 2014.
- [30] 李克强, 戴一凡, 李升波, 等. 智能网联汽车(ICV)技术的发展现状及趋势 [J]. 汽车安全与节能学报, 2017, 8(1): 1-14.
- LI Ke-qiang, DAI Yi-fan, LI Sheng-bo, et al. State-of-the-art and Technical Trends of Intelligent and Connected Vehicle [J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2017, 8 (1): 1-14.
- [31] SHARMA A, ZHENG Z D, KIM J, et al. Assessing Traffic Disturbance, Efficiency, and Safety of the Mixed Traffic Flow of Connected Vehicles and Traditional Vehicles by Considering Human Factors [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2021, 124: 102934.
- [32] SONG H K, ZHAO F Q, LIU Z W. Influences of Single-lane Automatic Driving Systems on Traffic Efficiency and CO₂ Emissions on China's Motorways [J]. Applied Sciences - Basel, 2021, 11: 11032.