

汽车全生命周期碳排放研究与分析

龙苏华 魏长庆

(奇瑞汽车股份有限公司, 芜湖 241000)

摘要:为研究供应链对汽车全生命周期碳排放的影响,通过中国工业碳排放信息系统收集供应链碳排放数据,并对某款车型全生命周期碳排放进行研究及核算分析,发现原材料生产、零件生产及整车使用阶段等上下游供应链碳排放是整车生命周期碳排放的主要来源,并提出供应链碳排放管理的建议。

关键词:生命周期 碳排放 供应链 CICES系统

中图分类号:U461.99 **文献标志码:**B **DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20230363

Research and Analysis of Vehicle Life Cycle Carbon Emission

Long Suhua, Wei Changqing

(Chery Automobile Co., Ltd., Wuhu 241000)

Abstract: In order to study the effect of supply chain on vehicle whole life cycle carbon emission, this article collects the carbon emission data of the supply chain through China Industrial Carbon Emission Information System (CICES), aims to study and analyze the carbon emission of the whole life cycle of a vehicle. The results show that the upstream and downstream supply chains such as raw material production, parts production and the using stage of the vehicle are the main factors affecting the carbon emission of the life cycle of the vehicle, and suggestions on carbon emission management of the supply chain are put forward.

Key words: Life cycle, Carbon emission, Supply chain, CICES system

1 前言

随着社会对环境问题的日益重视,生命周期评估(Life Cycle Assessment, LCA)逐渐被纳入国内外政策及规范要求中。欧盟EuP/ErP指令^[1]建议提供产品生命周期碳足迹报告,中国在《“十四五”循环经济发展规划》^[2]中提出汽车使用全生命周期管理推进行动,深入评估各类塑料替代品全生命周期资源环境影响,如产品碳足迹。

产品碳足迹覆盖产品全生命周期各阶段,包含原材料提取、材料和零部件制造、产品制造、产品分销、产品使用、产品报废,全周期考察产品对气候变化所产生的影响,因此,结果更加客观、公

正、全面,已经成为衡量产品是否绿色环保的一项重要指标。

目前,我国汽车产品碳排放核算的系统边界是原材料(包括原生材料、循环材料)生产阶段、整车生产阶段和使用阶段(参考《乘用车生命周期碳排放核算技术规范》草稿),不包括零部件加工阶段、运输阶段、报废回收阶段的碳排放,不能量化评估产品全生命周期对气候变化的影响。本文以某款纯电动SUV车型为研究对象,采用LCA方法,参考ISO 14067: 2018 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification^[3],从全生命周期视角对该车型的碳排放进行核算与分析,以期发现影响整车产品碳排放的关键因素,作为后期产品低碳设计的数

作者简介:龙苏华(1978—),女,工程师,硕士学位,研究方向为碳管理及碳核算。

参考文献引用格式:

龙苏华,魏长庆.汽车全生命周期碳排放研究与分析[J].汽车工艺与材料,2024(7):1-8.

LONG S H, WEI C Q. Research and Analysis of Vehicle Life Cycle Carbon Emission[J]. Automobile Technology & Material, 2024(7): 1-8.

据基础。

结合汽车产品结构复杂、供应链长的特点,本文在行业内首次使用中国工业碳排放信息系统(China Industrial Carbon Emission Information System, CICES)收集供应链碳排放数据,用于核算一级零部件生产阶段与运输阶段的碳排放量。

2 汽车产品全生命周期碳排放核算

2.1 核算方法

本研究采用生命周期评价理论方法,依据ISO 14067: 2018标准要求,开展“从摇篮到坟墓”的产品碳足迹核算与研究。生命周期评价方法可以系统地衡量产品从原材料生产、使用到报废全生命周期的碳排放,同时避免核算过程中的碳排放发生转移。

2.2 范围的确定

2.2.1 功能单位

本研究的功能单位为一辆某款纯电动SUV车型(舒适型100 kW·h Pro长续航版)生命周期内行驶1 km所提供的运输服务。根据《机动车强制报废标准规定》,乘用车使用年限参考值为8~15年,为使研究具有代表性,本研究取其平均值11.5年为乘用车生命周期,结合2019年世界资源研究所设置的基准参数情景,假设每年的汽车行驶里程变化较小,即2019年全国乘用车行驶里程沿用13 000 km/年,则生命周期行驶里程为13 000×11.5=1.5×10⁵ km。

2.2.2 系统边界

本研究系统边界包括原材料获取、生产(零件生产和整车生产)、分销运输、使用(包括维修保养)及报废拆解阶段,如图1所示。

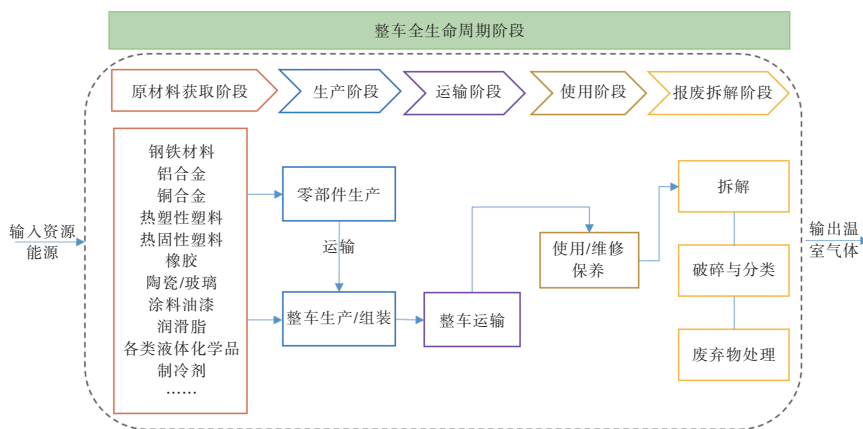


图1 系统边界

原材料获取阶段包括原材料获取和回收材料生产,不包括使用与废弃环节。原材料获取过程即资源的获取和材料的生产过程,系统边界包括资源开采、加工提纯、生产制造等过程。材料回收过程包含由废弃材料生产回收材料的加工再制造等过程。

因汽车产品结构复杂,供应链长且繁琐,考虑到数据的可获取性及准确性,结合本研究的项目周期要求,本文的生产阶段仅包括一级零件的生产和整车生产,运输阶段仅包括上游一级零件的运输和下游整车的运输。一级零件生产主要指零部件在一级供应商处的生产加工、组装等过程;整车生产过程包括冲压、焊接、涂装、总装等生产制造过程。上游一级零件的运输指从一级生产厂运输到整车生产厂的运输过程,下游运输指整车产

品从整车生产厂运输到各经销商处。

使用阶段包括燃料(本研究中指电)的生产、使用及产品的维修保养过程。

报废处理阶段包括报废车的运输、拆解及废弃物的处理。因零部件的再制造与材料的再生利用过程发生在主机厂以外的场所,本研究对象没有使用相关的再制造零件与再生材料,所以零部件的再制造与材料的再生利用过程不在本研究的核算范围内。

材料质量占比大于整车1%的均质材料与零件均应纳入核算范围,被排除部分的质量总和不大于系统边界内各部分质量总和的5%^[4]。

当所分析的过程或产品系统同时产生多种输入或输出时,则需进行分配。分配是将过程或产品系统中的输入和输出流划分到所研究的产品系

统以及一个或更多的其他产品系统中。在研究中尽可能地避免分配,如果分配不可避免,优先按产品的质量进行分配;系统中相似的输入、输出采用同样的分配程序。

2.3 生命周期清单数据

2.3.1 数据来源及数据质量

系统边界内的所有过程均应收集具体场地数据,当收集具体场地数据不可行时,可使用次级数据。核算材料碳排放因子具体场地数据时采用的核算范围和基础材料或能源排放因子的缺省值应与国家汽车行业整车碳排放核算标准保持一致。

根据数据来源将数据质量划分为3个品质:

- a. 高品质:引用初级活动数据,指具体场地数据;
- b. 中品质:引用次级活动数据,指文献或专著的不定期更新的数据;
- c. 低品质:引用推算数据,指估算或假设数据。

各项数据来源及数据质量汇总如表1所示。

数据质量	数据类别	数据来源
高品质	整车原材料种类、质量信息及零件生产过程数据	一级零件供应商场地数据
	铝合金碳排放因子	铝合金供应商场地数据
	整车生产数据	整车生产场地数据
	运输数据	一级零件供应商及整车生产场地数据
	维修保养过程消耗的能源及物料	4S店维修保养场地数据
	维修保养项目及生命周期更换次数	产品维保手册
中品质	除铝合金外的其他材料碳排放因子	CICES系统
	燃料(电)、各种能源排放因子	CICES系统
低品质	生命周期行驶里程	推算

2.3.2 数据清单

a. 原材料获取阶段始于从大自然中提取资源,结束于原材料进入产品生产设施。本研究中

车型涉及的原材料主要有钢铁、铝合金、铜合金、热塑性塑料、热固性塑料、橡胶、陶瓷/玻璃、织物纤维、润滑脂等,如表2所示。材料数据主要来源于供应商,通过CICES提交。

原材料种类	排放因子 /kgCO ₂ e·kg ⁻¹	排放因子来源
钢铁	2.38	CALCD数据库
铝合金(车身、底盘、空冷、铸造铝合金≤10.4 新能源系统铝合金件) 变形铝合金≤4		供应链场地数据
铝合金(除车身、底盘、空冷及新能源系统铝合金外)	16.38	CALCD数据库
铜合金	4.23	CALCD数据库
热塑性塑料	3.96	CALCD数据库
热固性塑料	4.57	CALCD数据库
玻璃纤维增强塑料	8.91	CALCD数据库
橡胶	3.08	CALCD数据库
陶瓷/玻璃	0.95	CALCD数据库
润滑剂	1.2	CALCD数据库

b. 生产阶段包括一级零部件生产和整车生产阶段。一级零件生产主要包括复合材料、半成品的生产以及汽车零部件的组装,起始于原材料、半成品、组件等进入零件生产厂,结束于零件离开零件生产厂;整车生产阶段始于汽车原材料、零部件、半成品进入生产工厂,结束于汽车成品离开生产工厂。生产阶段主要核算生产过程中消耗的各种能源、过程逸散以及废弃物处理等产生的排放,如表3、表4所示。其中,废水处理方式为A/O工艺,为厌氧-好氧处理方式,其产生的温室气体较少,不纳入核算范围。

运输阶段包括上游一级零件的运输和下游整车的运输。一级零件的运输起始于一级零件生产厂,结束于整车生产厂;整车的运输起始于整车生产厂,结束于经销商销售场所。本阶段主要核算采用不同的运输方式时运输工具产生的排放,如表5所示。

生产阶段消耗的主要能源	能源排放因子	排放因子来源
火电	0.635 kgCO ₂ e/(kW·h)	CALCD
光伏电	0.047 kgCO ₂ e/(kW·h)	CICES系统
天然气	2.23 kgCO ₂ e/m ³	CICES系统
蒸汽	0.38 kgCO ₂ e/kg	CICES系统
压缩空气	0.097 kgCO ₂ e/m ³	CICES系统
柴油	3.3 kgCO ₂ e/kg	CICES系统

生产阶段逸散源	温室气体增温潜势(GWP)	GWP来源
二氧化碳(保护焊)	1	数据取值来源为IPCC AR5
车辆加注冷媒泄漏	1 300	数据取值来源为IPCC AR5

运输方式	运输工具	运输工具排放因子/kgCO ₂ e·(km·t) ⁻¹	排放因子来源
公路	重型运输车	0.128 900	CICES系统
公路	轻型运输车	0.324 300	CICES系统
水路	汽车运输船	0.038 579	网络
铁路	载货火车	0.007 000	网络
空运	飞机	1.018 900	网络

产品生命期内总行驶里程设定为15×10⁴ km,汽车使用阶段主要包含能源消耗和物料消耗。本阶段考虑汽车使用燃料(电)过程中生产排放以及维修保养过程产生的排放,电动汽车使用阶段的排放为0。使用阶段燃料清单及维保物料消耗清单如表6所示。

名称	碳排放因子/kgCO ₂ e·(kW·h) ⁻¹	排放因子来源
燃料生产	0.635	CALCD
燃料使用	0	

结合4S店数据及维修保养手册,本研究中维修保养过程消耗的能源、辅材、物料及更换次数如表7、表8所示。

消耗物料	生命周期更换次数/次	更换次数数据来源	排放因子/kgCO ₂ e·kg ⁻¹	排放因子来源
空调滤清器	15	产品维保手册	1.67	供应商场地数据
冷却液	4	产品维保手册	1.85	CICES系统
制动液	4	产品维保手册	1.2	CICES系统
减速器油	4	产品维保手册	1.2	CICES系统
前主刮水器片	15	产品维保手册	0.38	供应商场地数据
前副刮水器片	15	产品维保手册	0.29	供应商场地数据
后刮水器胶条	15	产品维保手册	0.03	供应商场地数据

维修阶段消耗能源类型	能源排放因子	排放因子来源
火电	0.635 kgCO ₂ e/(kW·h)	CALCD
压缩空气	0.097 kgCO ₂ e/m ³	场地数据
柴油	3.3 kgCO ₂ e/kg	CICES系统
汽油	3.13 kgCO ₂ e/kg	CICES系统
润滑剂	1.2 kgCO ₂ e/kg	CICES系统
锯片(不锈钢)	2.38 kgCO ₂ e/kg	CICES系统
清洁剂	0.97 kgCO ₂ e/kg	CICES系统
焊丝(钢)	2.38 kgCO ₂ e/kg	CICES系统
水	12.32 kgCO ₂ e/t	网络

报废拆解阶段主要包括报废车辆的运输、报废车辆拆解、报废残余物的焚烧等过程。本阶段主要核算报废车辆从报废集中点运输到拆解厂产生的排放、拆解过程消耗的能量及残余物焚烧产生的排放,如表9所示。

2.4 碳足迹核算

2.4.1 原材料阶段碳排放核算

材料生产阶段碳排放量计算如下:

$$C_{\text{Material } i} = \sum M_{\text{Material } i} \times EF_{\text{Material } i} \times U_{\text{Material } i} \quad (1)$$

式中: $C_{\text{Material } i}$ 为材料生产阶段的碳排放量; $M_{\text{material } i}$ 为材料i的质量; $U_{\text{material } i}$ 为材料i的使用系数,本研

究中材料使用系数来源于《中国乘用车碳排放核算技术规范》,钢铁、铸铁的使用系数为 1.42,铝合金的使用系数为 1.22,其他材料的使用系数均为 1; $EF_{material\ i}$ 为材料*i*的碳排放因子。

经计算,原材料阶段碳排放总量为 10 789.14 kgCO₂e。

表 9 报废拆解清单

报废拆解阶段	运输工具/消耗能源	排放因子	排放因子来源
报废车辆运输	车辆运输能耗	0.128 9 kgCO ₂ e/(km·t)	CICES 系统
报废车辆拆解(部件拆解、粉碎和分类)	电	0.635 kgCO ₂ e/(kW·h)	CICES 系统
	天然气	2.23 kgCO ₂ e/kg	CICES 系统
	汽油	3.13 kgCO ₂ e/kg	CICES 系统
	柴油	3.3 kgCO ₂ e/kg	CICES 系统
废弃物处理(焚烧)	燃烧能耗	0.741 kgCO ₂ e/kg	CALCD

2.4.2 生产阶段碳排放核算

生产阶段碳排放量核算方法参考《机械设备制造企业温室气体排放核算方法与报告指南》^[5]和《汽车生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》(团体标准草稿)。本研究中生产阶段包括整车生产和一级零件的生产。整车生产阶段碳排放量计算如下:

$$C_{production} = (C_D + C_{ID})/N \quad (2)$$

式中: $C_{Production}$ 为整车生产阶段碳排放量; N 为数据收集周期内整车生产总量; C_D 为范围二外购能源间接排放,本文外购能源主要为电能、热能和压缩空气; C_D 为范围一直接排放,本文中主要包括化石燃料燃烧、生产工艺过程排放。

C_D 计算如下:

$$C_D = C_{fossil\ fuel\ combustion} + C_{production} \quad (3)$$

式中: $C_{fossil\ fuel\ combustion}$ 为报告年份核算边界内化石燃料燃烧产生的碳排放量, $C_{production}$ 为报告年份企业生产过程的温室气体排放量。

$C_{fossil\ fuel\ combustion}$ 计算如下:

$$C_{fossil\ fuel\ combustion} = \sum AD_i \times EF_i \quad (4)$$

式中: AD_i 为报告年份第*i*种燃料的活动数据, EF_i 为第*i*种化石燃料排放因子。

$C_{production}$ 计算如下:

$$C_{production} = \sum AD_{ip} \times EF_{ip} \times GWP_i \quad (5)$$

式中: AD_{ip} 为报告期内第*i*个生产过程产生温室气体排放的物质的消耗量, EF_{ip} 为第*i*个生产过程涉及温室气体的碳排放因子, GWP_i 为核算边界内第*i*个生产过程涉及温室气体的全球变暖潜势。

C_{ID} 计算如下:

$$C_{ID} = C_{electricity} + C_{thermol} + C_{compressed\ air} \quad (6)$$

式中: $C_{electricity}$ 为企业净购入电能产生的温室气体排放量, $C_{thermol}$ 为企业净购入热能产生的温室气体排放量, $C_{compressed\ air}$ 为企业净购入压缩空气产生的温室气体排放量。

式(6)中各参数计算如下:

$$C_{electricity} = AD_{electricity} \times EF_{electricity} \quad (7)$$

$$C_{thermol} = AD_{thermol} \times EF_{thermol} \quad (8)$$

$$C_{compressed\ air} = AD_{compressed\ air} \times EF_{compressed\ air} \quad (9)$$

式中: $AD_{electricity}$ 为报告期内电能的消耗量, $EF_{electricity}$ 为电能的碳排放因子, $AD_{thermol}$ 为报告期内热能的消耗量, $EF_{thermol}$ 热力的碳排放因子, $AD_{compressed\ air}$ 为报告期内压缩空气的消耗量, $EF_{compressed\ air}$ 为压缩空气的碳排放因子。

根据上述方法,得到整车生产阶段碳排放量 $C_{Production}$ 为 330 kgCO₂e/车。

零件生产阶段碳排放计算如下:

$$C_{part} = \sum_i C_{part\ i} \quad (10)$$

式中: C_{part} 为零件生产碳排放; $C_{part\ i}$ 为第*i*个零件生产碳排放,通过 CICES 系统收集供应链数据获得。

根据供应链通过 CICES 系统提交的数据,按照式(10)核算得到某款车一级零件生产的碳排放总量为 4 315 kgCO₂e。

经计算,某款车生产阶段碳排放总量为 4 645 kgCO₂e。

2.4.3 运输阶段碳排放核算

本研究运输过程包括上游运输和下游运输,上游运输主要指一级零部件到整车生产厂,下游运输主要指整车从生产厂运输到经销商。

运输阶段碳排放计算如下:

$$C_{transport} = \sum (M_i \times L_i \times EF_i) \quad (11)$$

式中: $C_{transport}$ 为运输阶段产生的碳排放量, M_i 为运输的零部件或者整车*i*的质量, L_i 为零部件或者整

车 i 的运输距离, EF_i 为零部件或者整车 i 的运输方式碳排放因子。

依据上述方法, 得到整车运输产生的碳排放量为 35.85 kgCO₂e, 上游一级零部件运输的排放量由供应商通过 CICES 系统提交, 总计为 370 kgCO₂e, 运损阶段碳总排放量为 405.85 kgCO₂e。

2.4.4 使用阶段碳排放核算

使用阶段碳排放量计算如下:

$$C_{Use} = C_{Fuel\ production} + C_{Fuel\ use} + C_{cabin\ filter\ r} + C_{Car\ wiper\ blades\ r} + C_{Fluids\ r} + C_{Maintenance} \quad (12)$$

式中: C_{Use} 为使用阶段碳排放量; $C_{Fuel\ production}$ 为燃料生产的排放量; $C_{Fuel\ use}$ 为燃料使用过程的碳排放量; $C_{cabin\ filter\ r}$ 为使用阶段更换的空调滤清器的碳排放量; $C_{Car\ wiper\ blades\ r}$ 为使用阶段更换的雨刮片的碳排放量; $C_{Fluids\ r}$ 为使用阶段更换的液体的碳排放量; $C_{Maintenance}$ 为使用阶段因维修保养产生的碳排放, 主要指维修过程 4S 店消耗的能源及原辅材产生的碳排放。

燃料(本研究指电能)产生的碳排放量计算如下:

$$C_{Fuel\ production} = FC \times CEF_{Fuel} \times L/100 \quad (13)$$

式中: FC 为燃料消耗量; CEF_{Fuel} 为燃料生产的碳排放因子; L 为乘用车生命周期行驶里程, 取值为 1.5×10^5 km。

按照上述方法, 某款车生命周期行驶里程中碳排放量为 11 239.5 kgCO₂e。纯电动乘用车燃料使用碳排放量为 0。

使用阶段空调滤清器更换 15 次产生的碳排放量计算如下:

$$C_{Cabin\ filter\ r} = C_{Cabin\ filter} \times 15 \quad (14)$$

式中: $C_{cabin\ filter}$ 为空调滤清器的碳排放量, 由供应商通过 CICES 系统提交, 取值为 1.67 kgCO₂e。

经计算, 使用阶段更换空调滤清器产生的碳排放为 25.05 kgCO₂e。

使用阶段雨刮片更换 15 次产生的碳排放量计算如下:

$$C_{Car\ wiper\ blades\ r} = C_{Car\ wiper\ blades} \times 15 \quad (15)$$

式中: $C_{Car\ wiper\ blades}$ 为雨刮片的碳排放量。

本研究某款车的雨刮片包括前主雨刮片、前副雨刮片和后雨刮胶条, 碳排量由供应商通过

CICES 系统提供, 取值为 0.7 kgCO₂e。

经计算, 使用阶段更换雨刮片产生的碳排放为 10.5 kgCO₂e。

使用阶段液体更换产生的碳排放量计算如下:

$$C_{Fluids\ r} = \sum M_{Fluid\ i} \times CEF_{Fluid\ i} \times N_{Fluid\ i} \quad (16)$$

式中: $M_{Fluid\ i}$ 为液体材料 i 的质量, $CEF_{Fluid\ material\ i}$ 为液体材料 i 的碳排放因子, $N_{Fluid\ i}$ 为生命周期内液体材料 i 的更换次数。

经计算, 使用阶段液体更换产生的碳排放量为 57.75 kgCO₂e。

另外, 使用阶段维修保养过程产生的碳排放 $C_{Maintenance}$ 主要由 4S 店的能耗和原辅材料产生, 其中能耗产生的碳排放核算方法按照式(7)、式(8)和式(9)计算, 原辅材料产生的排放按照式(1)计算。核算后维修保养碳排放 $C_{Maintenance}$ 为 92.94 kgCO₂e。

经计算, 本研究中的车型使用阶段碳排放量为 11 425.74 kgCO₂e。

2.4.5 报废拆解阶段碳排放核算

本研究报废拆解阶段核算范围包括报废车辆运输、拆解及粉碎分类、废弃物焚烧处理过程。

报废拆解阶段碳排放 $C_{scrap\ dismantle}$ 计算如下:

$$C_{scrap\ dismantle} = C_{scrap\ transport} + C_{dismantle\ crush\ sort} + C_{waste\ incineration} \quad (17)$$

式中: $C_{scrap\ transport}$ 为报废拆解阶段报废车辆运输到拆解厂的碳排放, $C_{dismantle\ crush\ sort}$ 为报废车辆拆解、粉碎与分类过程的碳排放, $C_{waste\ incineration}$ 为报废残余物焚烧处理产生的碳排放。

报废车运输产生的排放 $C_{scrap\ transport}$ 核算方法同 2.4.3 节; 报废车拆解、粉碎与分类过程的碳排放 $C_{dismantle\ crush\ sort}$ 主要由消耗的电及化石燃料燃烧产生, 核算方法同 2.4.2 节; 报废残余物焚烧产生的碳排放 $C_{waste\ incineration}$ 计算如下:

$$C_{waste\ incineration} = M_{waste} \times EF_{waste} \quad (18)$$

式中: M_{waste} 为报废拆解过程中产生的废弃物的质量, EF_{waste} 为废弃焚烧的碳排放因子。

经计算, 焚烧阶段的碳排放量为 153.3 kgCO₂e。

2.4.6 整车全生命周期碳足迹核算

汽车产品全生命周期碳足迹计算如下:

$$C = (C_{Material\ i} + C_{Production} + C_{transport} + C_{Use} + C_{scrap\ dismantle}) / L \times 1\ 000 \quad (19)$$

式中: C 为汽车产品碳足迹。

依据上述方法核算分析,本研究中该整车全生命周期碳排放量为 $182.1 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{km}$,如表10所示。

生命周期阶段	碳总排放量/ kgCO_2e	生命周期单位里程碳排放量/ $\text{gCO}_2\text{e}\cdot\text{km}^{-1}$
原材料生产阶段	10 789.14	71.93
零件生产阶段	4 315.00	28.77
整车生产阶段	330.00	2.20
运输阶段	405.85	2.71
使用阶段	11 425.74	76.17
报废拆解阶段	153.27	1.02
整车全生命周期碳排放	27 319.00	182.79

2.5 核算结果分析

整车生命周期各阶段单位里程碳排放如图2所示,对整车全生命周期碳排放贡献度最大的是使用阶段,其次是原材料生产阶段和零件生产阶段,贡献度较小的分别为运输阶段、整车生产阶段、报废拆解阶段。

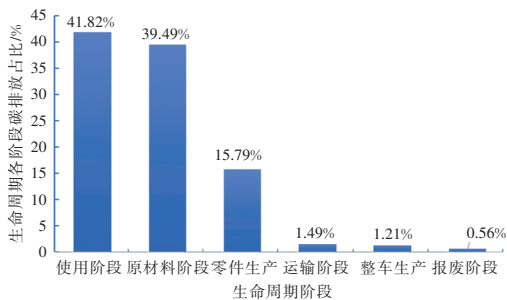


图2 生命周期各阶段碳排放占比

2.5.1 原材料生产阶段

原材料生产阶段单位里程碳排放量为 $71.93 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{km}$,占整车全生命周期碳排放的39.49%。本研究将整车材料分为动力电池原材料和其他部件原材料,其他部件原材料主要包括钢铁、铝合金、铜合金热塑性塑料等11类材料。由图3可知:铝合金碳排放量最高,占原材料生产阶段碳排放量的35.68%,是影响原材料碳排放的关键因素;其次为钢铁材料、动力蓄电池原材料和热塑性塑料,占比分别为24.79%、21.67%和7.6%。本研究某款车的底盘、空冷、新能源及车身系统关键零部件、动力电池均使用了绿电铝和再生铝,铝合金的碳排放量降低了50%~60%。

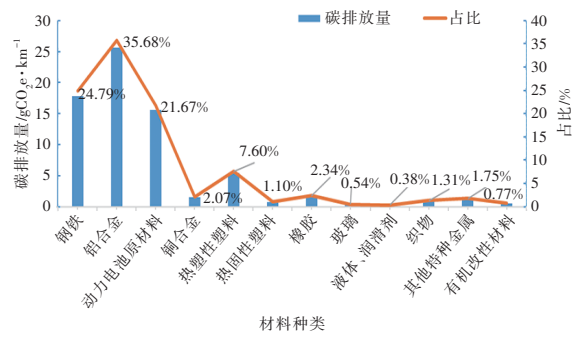


图3 各类原材料阶段碳排放占比

2.5.2 生产阶段

本研究中生产阶段主要包括一级零件生产和整车生产,单位里程排放量为 $30.97 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{km}$,占整车生命周期碳排放的17%,其中,零件生产占比最大,约占生产阶段碳排放的93%,约占生命周期阶段碳排放的16%。

2.5.3 运输阶段

本研究运输阶段包括上游一级零部件的运输和下游整车的运输,碳排放量为 $2.71 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{km}$,约占整车生命周期碳排放的1.5%,其中,一级零件运输占比最大,约占运输阶段碳排放的91%。

2.5.4 使用阶段

本研究使用阶段包括燃料(电)的生产及维修保养过程,碳排放量为 $76.17 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{km}$,占整车生命周期碳排放的41.82%,各过程碳排放量如图4所示,燃料生产过程产生的碳排放量最大,占使用阶段碳排放的98%,其他2%为维修保养产生的排放。

2.5.5 报废拆解阶段

本研究报废拆解阶段的碳排放为 $1.02 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{km}$,占比为0.56%。各过程排放占比如图5所示,废弃物焚烧产生的碳排放占比最大,约为55%,在后期报废车辆拆解阶段,应尽可能减少焚烧的方式处理废弃物。

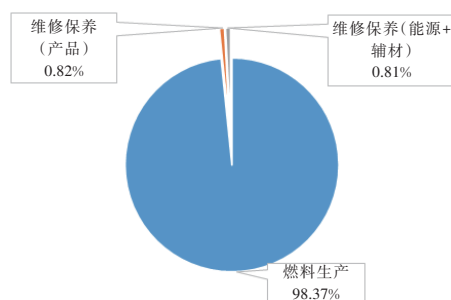


图4 使用阶段碳排放占比

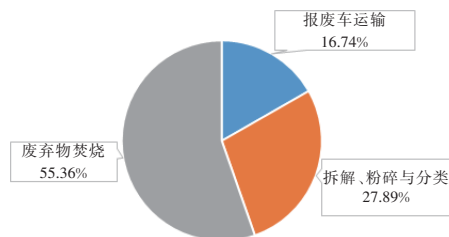


图5 报废拆解段碳排放占比

3 结束语

通过上述分析,对整车碳排放贡献度比较大的是原材料阶段、一级零件生产阶段及使用阶段。原材料阶段与一级零件生产阶段位于供应链的上游,使用阶段位于供应链的下游即供应链的碳排放对整车生命周期碳排放贡献最大,因此,供应链碳排放管控是产品降碳的关键,需要从以下几方面开展供应链碳排放管理:

a. 推动上游原材料供应商及零件生产商加大节能降碳的技术改造力度。首先,建立完善的低碳供应商考核管理体系,将终端产品低碳要求向更上游的供应商传递,将现有的一级、二级供应商管理向三级甚至更前端供应商延伸。其次,从终端产品推动钢铁、有色金属、聚合物等行业原材料供应商自主设定降碳目标,应用创新低碳技术,优化工艺流程,加快节能降碳技术改造,提升碳排放管理水平,大幅提高低碳原材料产品供应能力。

b. 降低供应链碳排放强度。首先,在现有绿色供应链评价指标基础上增加碳排放核算指标,引导绿色供应链管理企业建立核心产品的供应链碳排放核算。其次,推动碳排放核算、核查标准与国际接轨互认;最后,提高供应链上企业碳核算基础能力。

c. 加大供应链上绿色低碳信息收集披露力

度。打造企业数字化和碳排放在线监测系统,构建覆盖整条供应链的碳排放监测体系。

此外,研究国内外碳排放相关法规政策,实时跟进法规政策新动态,并将其碳排放相关要求转化为产品或者能耗降碳目标,同时将这一目标作为产品技术要求分解到供应链上相应的企业或客户,要求供应链上所有相关的企业或客户为达到这一目标制定相应的碳管理计划并付诸行动。

参考文献:

- [1] European Parliament, Council of the European Union. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 Establishing a Framework for the Setting of Ecodesign Requirements for Energy-Related Products[EB/OL]. [2023-10-30]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32009L0125>.
- [2] 国家发展和改革委员会.“十四五”循环经济发展规划[EB/OL]. (2021-07-01)[2023-10-30]. <https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202107/P020210707325480706163.pdf>.
- [3] Greenhouse Gases — Carbon Footprint of Products — Requirements and Guidelines for Quantification: ISO 14067: 2018[S/OL]. [2023-10-30]. <https://www.iso.org/standard/71206.html>.
- [4] BSI. Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services: PAS 2050: 2011[S/OL]. [2023-10-30]. <https://landingpage.bsigroup.com/LandingPage/Standard?UPI=000000000030227173>.
- [5] 国家发展和改革委员会. 机械设备制造企业温室气体排放核算方法与报告指南[EB/OL]. [2023-10-30]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201511/W020231027531108809609.pdf>.