

汽车全生命周期碳排放构成分析

朱恺群

武汉东研智慧设计研究院有限公司

摘要：作为国家支柱产业之一的汽车行业，尽早实现碳中和势在必行。实现碳中和必须先摸清汽车全生命周期的碳排放构成，方能有针对性地开展减排工作。我们通过对国内汽车行业的分析、对汽车生产制造阶段的碳排放分析、对汽车运行阶段的碳排放分析以及维修回收阶段的碳排放分析，得到一个清晰的汽车全生命周期碳排放构成图，助力汽车行业各阶段减排工作的开展。

关键词：汽车全生命周期；碳排放；燃料周期

0 背景

全球主要经济体在日趋激进的碳中和政策框架体系下，纷纷提出将加速交通领域的零碳排放或低碳化转型。我国交通行业 CO₂ 排放量约占全国总碳排放量的 10% 左右。而欧洲则要求汽车产业承担更多减排责任，2021 年 7 月，欧盟委员会提出一揽子计划，进一步提高乘用车和轻型商用车 2030 年及以后的碳排放标准，实现 2035 年新车销售 100% 零排放，保障欧盟 2030 年碳排放减排 55%、2050 年实现碳中和的目标。2023 年 4 月，欧盟理事会投票通过一揽子计划 5 项法案，正式成立立法进程。欧盟碳关税已于 2023 年 10 月进入过渡期，2026 年 1 月将开始正式实施。近年来，中国汽车品牌国际竞争力逐步提升，作为国家支柱产业之一，汽车制造行业不论是出于环境责任，还是对贸易壁垒的考量，都将面临产品碳足迹的考验。

1 我国汽车行业现状分析

据统计，2023 年我国汽车销量为 3009.4 万辆，其中纯电动汽车销量超 949.5 万辆，占比达 31.5%。根据调查研究发现，2021 年乘用车生命周期碳排放总量约为 7 亿 t CO_{2e}，其中汽油车占比近 93%，纯电动汽车只占比 4% 左右，柴油车、常规混合动力车及插电式混合动力车占 3% 左右。近两年，随着纯电动汽车销量占比的上涨，汽油车生命周期碳排放占比呈下降趋势。可见不同燃料类型的乘用车碳排放存在明显差异。

未来乘用车的销售总量上升的过程将会出现碳排放

反而降低的局面，因为纯电动汽车的占比会越来越高，最终替代燃油车。而电动汽车的运行用电将逐步由绿电替代，将大大降低乘用车运行过程中的碳排放。

2 汽车全生命周期碳排放构成分析

汽车的碳排放包括车辆周期和燃料周期在内的全生命周期阶段，其中：车辆周期包括原材料的获取、材料加工制造、整车生产、维修保养以及拆解回收等阶段，如图 1 所示；燃料周期包括燃料的生产和使用两个阶段，对于电动汽车，则包括电力的生产和传输等阶段。

2.1 车辆周期碳排放

（1）汽车原材料获取及加工阶段碳排放

汽车常用原材料包含钢铁、铸铁、铝、铜、塑料、橡胶、玻璃和织物等，见表所示。该部分碳排放的核算包含原材料的运输碳排放和原材料的开采提取加工过程碳排放，根据研究，该部分碳排放占汽车全生命周期碳排放的 10% 以上，减排空间巨大。目前国内很多汽车零部件企业在原材料的使用上优先采用再生材料和可循环利用材料，大大降低了原材料开采提取的碳排放量。

（2）整车生产阶段碳排放

该部分碳排放包含零部件的生产制造过程及运输过程碳排放，以及汽车生产企业冲压、焊装、涂装、总装和电池包等主要生产工艺产生的碳排放，汽车制造工厂的用能主要为电力，其次是涂装车间工艺用天然气，工艺用热力（包含蒸汽及热水），特殊工艺或公用动力需求下可能还存在其他化石燃料燃烧的直接碳排放，此外还包含产品生产过程碳排放，包含电气设备或制冷设备

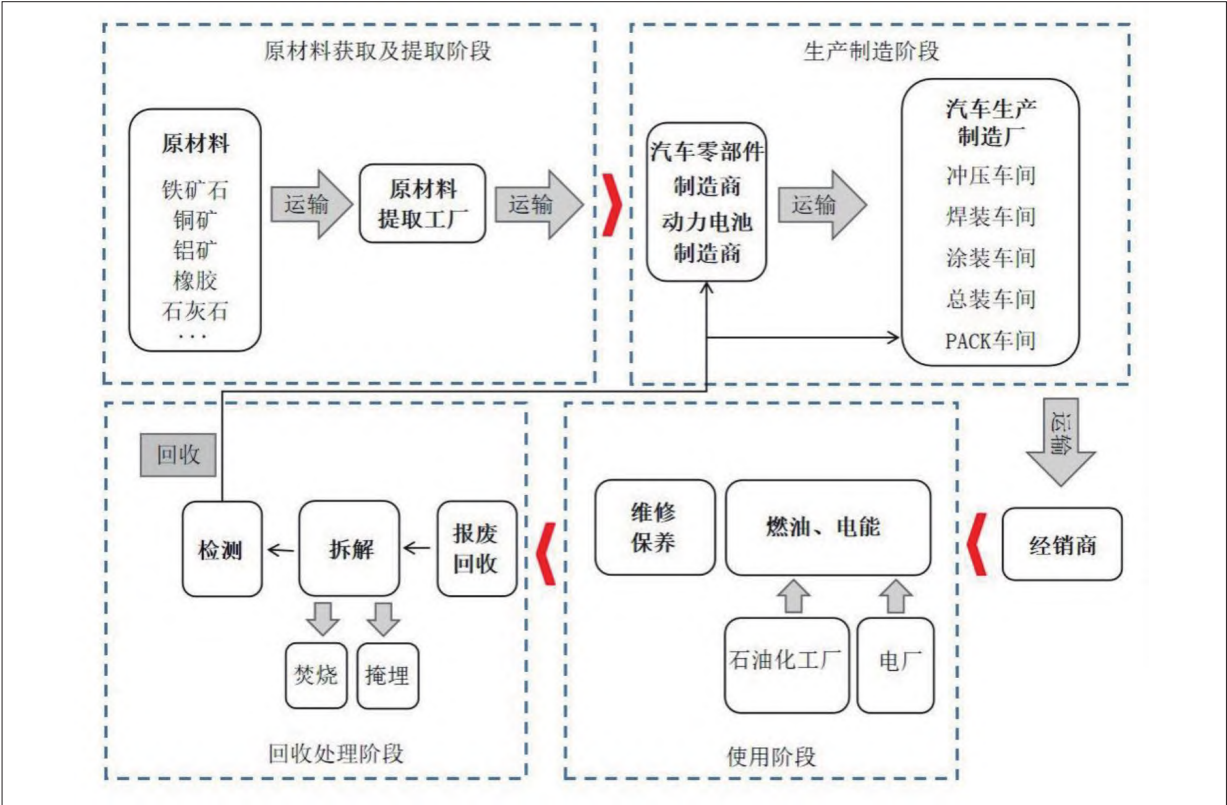


图 1 车辆周期阶段

表 汽车常用原材料

编号	材料类别	编号	材料类别
1	钢铁	13	玻璃纤维
2	铸铁	14	磷酸铁锂
3	铝及铝合金	15	镍钴锰酸锂
4	镁及镁合金	16	锰酸锂
5	铜及铜合金	17	石墨
6	热塑性塑料	18	电解液：六氟磷酸锂
7	热固性塑料	19	润滑剂
8	橡胶	20	制动液
9	织物	21	冷却液
10	陶瓷/玻璃	22	制冷剂
11	铅	23	洗涤剂
12	硫酸		

运行过程碳排放和二氧化碳保护焊生产过程中的逃逸碳排放。

我们在众多合作伙伴中选择了多家汽车生产工厂进行了长期的能耗研究，主要跟踪分析了生产用能种类及年消耗量，并进行碳排放计算。如图 2 所示，研究发现，汽车生产工厂的主要能源为一次能源天然气和二次能源电力，其中电力碳排放占全厂碳排放的约 70%，而天然气的碳排放占比约 20%；传统四大工艺中，涂装车间的

碳排放占生产碳排放的约 50%，焊装车间占约 25%，总装车间占约 15%，冲压车间占约 10%，如图 2 所示。参与以上数据分析的工厂均分布于夏热冬暖或夏热冬冷气候区，寒冷和严寒地区的工厂因气候的不同，相应数据的占比会有些许不同。

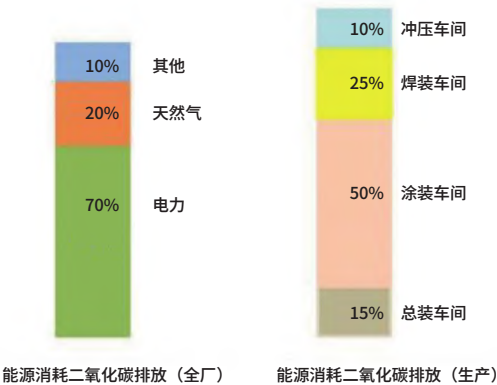


图 2 汽车生产四大工艺碳排放构成

目前汽车全生命周期碳排放在制造环节碳排放占 20%，而消费环节（即使用阶段）占 80%，其中整车制造只占到 1.5%。根据麦肯锡的研究报告，如图 3 所示，2025 ~ 2040 年，电动汽车的材料和制造环节的碳排放占比将由现在的不到 20% 提升到 45%。这是因为产品

结构在发生改变，未来大部分车都是新能源汽车，在使用环节上碳减排水平提高，导致原来不重要的制造环节碳排放占比大大提升，而当绿色能源成为主导能源时，制造环节的占比恐将达到 85%，即生产制造碳减排将压力巨大。目前国内很多知名汽车制造企业均通过购买绿电、节能改造升级和工艺优化等手段减少生产过程碳排放，都取得了不错的减排效果。

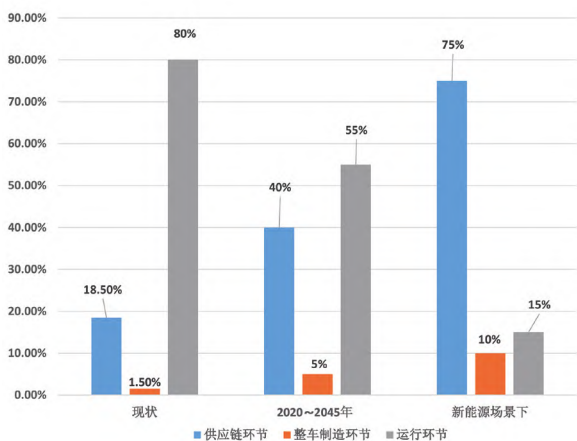


图3 汽车产业碳排放路径分布及趋势

（3）维修保养阶段碳排放

车辆在全生命周期内必然存在维修、保养以及车辆零部件的更换，为此也会产生一定量的碳排放。如新增的润滑剂、制动液、冷却液和洗涤液等液体材料的更换。

（4）车辆回收处理阶段碳排放

车辆报废后会产生报废回收、拆解和检测等直接或间接排放，拆解后的汽车零部件有些可以直接重新利用，有些需要经过再制造后重新使用，还有部分则被作为材料回收，不能被再利用的将经过焚烧回收能量后掩埋处理，对环境的影响降至最低。

2.2 汽车燃料周期碳排放

燃油车燃料周期排放主要包括燃料生产阶段和燃料使用阶段，主要燃料包括汽油和柴油，其总排放量与汽车生命周期内燃料的总消耗量、燃料生产的排放因子及汽车行驶总里程等因素有关。而燃料总消耗量与不同汽

车的百公里油耗直接相关，节能型小排量的汽车运行阶段的碳排放量少，全生命周期的总碳排放量也小。

新能源汽车使用阶段碳排放总量，主要与使用阶段电力的总消耗量、电力的碳排因子和汽车行驶总里程数等因素有关。如果运行阶段使用的电力为可再生能源生产的绿电，则运行阶段的碳排放量将大大减少。

3 结语

通过对汽车全生命周期碳排放的分析，未来随着新能源汽车的普及，汽车运行阶段的碳排放量将会逐步降低，而供应链环节的碳排放占比将大大提升，汽车全生命周期碳中和的重点将是减少原材料的开采碳排、减少产业链之间的运输距离、降低零部件的生产制造碳排放等方面。汽车行业可通过循环经济模式，优先采用可循环材料生产产品，地方产业布局可将相关产业布置在同一园区内，从而促进产业协同发展。

汽车整车制造的主要碳排放为电力的间接碳排放和化石燃料燃烧的直接排放，整车厂应通过技术革新，提高生产的电气化率，从而通过厂区光伏自发电或者采购绿电等方式减少间接排放，同时寻求绿氢等清洁能源替代传统化石燃料，实现生产制造的零排放。

中国汽车品牌的国际影响力日趋上升，成为我国的重要支柱产业之一，而汽车已经成为了我们生活中不可缺少的一部分，我国“3060”双碳目标的实现离不开汽车行业的碳减排贡献，未来汽车行业将通过改变高排放用能结构、提高再生材料使用率和选用清洁化绿色工艺等措施，降低汽车生产和运行阶段的碳排放，助力中国碳中和目标的达成。

参考文献

- [1] 刘志峰, 黄海鸿, 李新宇. 绿色制造理论方法及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2021: 170-222.
- [2] 张迎, 巢清尘. 碳达峰、碳中和 100 问 [M]. 北京: 人民日报出版社, 2021: 63-75.