

可持续性的生态平衡

Alexander Flekler (编译自德国 Automobil Industrie)

摘要: 在气候变化和资源短缺的压力下,汽车行业正从“末端治理”转向“全生命周期管理”。NALYSES 项目由宝马、佛瑞亚海拉等机构发起,旨在开发标准化的生态平衡模型,将碳足迹、可回收性等可持续性指标融入产品设计初期。该项目通过热点分析定位关键排放源,推动汽车行业向循环经济转型,助力实现碳中和目标。

关键词: 生态平衡;全生命周期管理;循环经济

0 前言

在当前气候变化与资源短缺的双重压力下,汽车行业正经历从“末端治理”向“全生命周期管理”的深刻转型。

宝马、佛瑞亚海拉(Forvia Hella)以及弗劳恩霍夫工业工程与管理研究所(Fraunhofer IEM)等机构联合发起的“NALYSES”项目,致力于开发标准化的生态平衡模型,将可持续性量化指标(如碳足迹、可回收性和可修复性)从产品设计初期就植入其中。这一模型通过整合物料清单、运输数据、生产过程及使用阶段能耗等全链条信息,利用 OpenLCA 等工具实现环境影响的可视化分析,目标是建立跨供应链的“共同语言”,推动整个汽车产业向循环经济发展。

1 精准定位关键排放源

当今汽车的复杂性意味着它不仅包含数万个零部件,涉及稀土、贵金属等很多种材料,而且供应链高度全球化。以电动汽车动力电池为例,其生产过程的碳排放占整车碳足迹的 40% 以上,但目前的回收率却不足 5%,环境挑战非常严峻。

NALYSES 项目通过热点分析技术,精准定位关键排放源,比如电池正极材料钴的开采,为进一步的优化提供靶点。虽然宝马 i 系列电动汽车(如图 1 所示)通过采用可再生铝材和生物基塑料,实现了减重与可回收性的双赢,但还有很多常规的轻量化设计与可回收性往往存在矛盾,例如,碳纤维增强复合材料可降低车身重量并提升电动汽车的能效,但其回收成本却非常高。

当前的生态评估方法比较碎片化,不同企业采用的计算边界差异导致数据不可比。为此,欧盟计划于 2025 年推出一套覆盖汽车全生命周期的《产品环境足迹(PEF)》标准,强制要求企业披露碳排放、资源消耗等核心指标。

2 早期进行生态平衡分析

NALYSES 项目可以在产品开发初期,使工程师可以对产品高达 80% 的环境影响施加干预,而且相对省力省成本。尽管早期进行生态平衡分析的优势显而易见,但目前对于汽车行业来说,引入具体的 KPI(例如可修复性或可回收性)仍是一个挑战。

这背后有多个原因。首先,整个产品生命周期中涉及的复杂性以及极高的技术要求不容忽视,例如,机电产品的物料清单由许多来自供应商的电子元件和具有复杂制造工艺的自有产品组成。由于能耗较高,机电产品通常在使用阶段对环境的影响具有重要意义。此外,由于使用了贵金属、稀土等材料,产品生命周期



图 1 宝马电动汽车 i5 系列

结束阶段对生态平衡的影响也很明显。其次，设计与可持续性之间可能存在潜在的目标冲突。在汽车行业，工程师目前仅部分考虑了可修复性或可回收性等要求，这些要求必须与设计要求相协调。第三，缺乏统一的方法和生态平衡分析的指导原则，各个参与者分别采取单一的方法，这些方法并不一定一致，这导致在整体核算过程中需要采用不同的处理方式。

当前，生态平衡通常是一些孤立的解决方案，有些情况下，其结论的可信度有限，因为其结果在很大程度上取决于研究设计和所考虑的系统边界。汽车制造商严格按照全球统一轻型车辆测试程序（WLTP）的方法进行测试。他们因此满足了欧盟法规的基本要求，但并未全面考虑整个价值链的可持续性。以电动汽车的排放数据为例，制造商声称的每百公里零碳排放，仅指车辆使用过程中的尾气排放，而能源供应的排放则未被纳入考量范围。

对于各个产品组而言，标准和统一规则至关重要，这使得不同制造商的产品具有可比性，从而为整个价值链的所有参与者创造条件，使其能够并必须以可比和透明的方式行事，这将促进围绕低排放的公平竞争。

3 可持续的车灯

在 NALYSES 项目中，特别关注了车灯及其所用塑料材料的生态平衡（如图 2 所示）。生态平衡模型会首先识别并评估相关的信息对象，包括物料清单、运输数据、过程信息、产品使用数据以及来自生态平衡数据库的次级数据。项目团队收集了所有与影响类别相关的数据，并进行建模，直到达到足够的精度。在将过程步骤与排放因子结合并计算排放后，进入评估阶段。热点分析工具识别排放的主要来源，以寻找减少排放的机会。OpenLCA 软件将这些单个过程连接起来，以描绘产品或服务的整个生命周期。除了 OpenLCA 之外，该模型还可以在其他软件解决方案中实现。

通过生态平衡模型，例如生态足迹，也作为 KPI 被纳入工程决策中。对于佛瑞亚海拉的工程师们来说，这意味着未来如果有一个被接受的车灯模型，他们可以比较设计替代方案、未来概念或特定使用场景。基于这些结果，他们可以做出成本效益更高且更可持续



图 2 佛瑞亚海拉车灯系统

的车灯设计方案。

项目所设想的生态平衡模型将为标准化的《产品环境足迹（PEF）》做出贡献。这样，车灯的环境影响可以根据可靠的结果进行比较，并在供应商和客户之间建立共同的语言。其好处在于为所有价值链参与者创造公平的竞争环境，提高在可持续性主题上的行动压力，符合未来的规定，并在社会中赢得信任。

4 将可持续性根植于产品生命周期

汽车行业的可持续发展已超越技术优化层面，转向系统性变革。

大众集团宣布 2030 年实现碳中和目标，其西班牙工厂通过光伏与氢能供电，成为全球首个“零碳汽车工厂”。雷诺与循环经济初创公司 Veolia 合作，将报废车辆的金属回收率提升至 95%。这些实践表明，生态平衡模型不仅是工具，更是驱动商业模式创新的核心引擎。

然而，挑战依然严峻。据国际能源署（IEA）预测，到 2040 年，全球电动汽车保有量将达 3 亿辆，随之而来的电池回收、电网负荷、稀有金属供应等问题都亟待解决。汽车行业需构建跨企业、跨领域的协作网络，将可持续性从“合规要求”转化为“竞争优势”。

在气候危机与资源约束的背景下，汽车产业的未来不仅取决于能量与续航，更在于能否在生态平衡与经济效益之间找到最优解。从 NALYSES 项目的标准化探索，到动力电池回收技术的商业化落地，每一步创新都在重塑汽车行业的 DNA。唯有将可持续性根植于产品生命周期的每一个环节，汽车才能真正驶向绿色的未来。