

# 碳排放核算在化工产品生命周期评价中的应用研究

张珂 (山东环保产业集团有限公司, 山东 济南 250000)

曹世强 (山东春旭化工设计有限公司, 山东 济南 250000)

**摘要:** 本文通过生命周期评价 (LCA) 理论框架, 探讨了化工产品碳排放核算的方法与实践, 并通过具体案例研究展示了碳排放核算在实际应用中的效果及减排策略。首先, 详细介绍了 LCA 的步骤, 包括目标定义、清单分析、影响评估和结果解释。接着, 分析了化工产品碳排放的直接与间接来源, 以及数据收集与处理的方法, 强调了计算工具如 GaBi 和 SimaPro 的应用。最后, 通过聚乙烯生产案例, 展示了碳排放核算结果, 并讨论了通过技术创新和管理策略实现碳减排的途径。本文为化工行业提供了碳排放管理的科学方法和实践指导。

**关键词:** 碳排放核算; 化工产品; 生命周期评价

## 0 引言

随着全球气候变化问题的日益严峻, 国际社会对化工行业的碳排放限制愈发严格。在这一背景下, 碳排放核算在化工产品生命周期评价 (LCA) 中扮演了至关重要的角色。通过准确的碳排放核算, 不仅可以评估化工产品在整个生命周期内的环境影响, 还能促进企业实施有效的减排措施, 提升产品的市场竞争力和企业的可持续发展能力。

## 1 生命周期评价 (LCA) 的理论框架

生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 是一种用于评估产品从原材料获取、制造、使用到最终处置全过程中环境影响的系统方法。它为理解产品整个生命周期中的环境负担提供了科学依据, 帮助制定更为环保的设计和管理决策。在化工产品的生命周期评价中, LCA 的应用尤为重要, 因为化工产品的生产过程通常伴随着高能耗和高排放。

### 1.1 生命周期评价的定义与步骤

生命周期评价按照 ISO 14040 系列标准进行, 主要包括四个步骤: 目标和范围的定义、生命周期清单分析 (LCI)、生命周期影响评价 (LCIA) 以及结果的解释。

首先, 研究者需要明确评价的目标、评价对象以及评价的具体范围。其次, 进行生命周期清单分析, 这一阶段需要收集产品生命周期中所有输入输出数据, 包括原材料的获取、能源使用、排放物等。第三步是生命周期影响评价, 这一步骤通过对前阶段收集的数据进行分析, 评估产品生命周期对环境的具体影响, 如温室气体排放、资源消耗等。最后, 对 LCA 结果进行解释, 提出可能的改进措施。

### 1.2 化工产品 LCA 的特殊考虑因素

在进行化工产品的生命周期评价 (LCA) 时, 需要对几个关键因素给予特别考虑。化工产品由于其生产过程中涉及复杂的化学反应和多变的原料来源, 使得每一个生产环节都可能对环境产生显著影响 (如图 1 所示)。

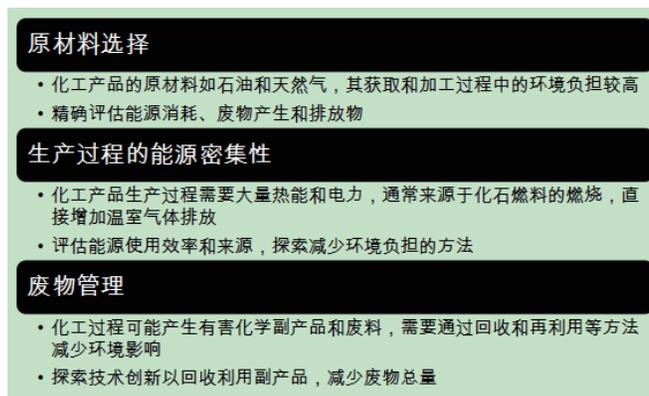


图 1 化工产品 LCA 中的特殊考虑因素

因此, 化工产品的 LCA 需特别关注原材料的环境影响、能源使用效率及其环境成本和废物管理策略。这些因素的综合评估可以为化工企业提供减少环境影响和提高资源效率的具体指导, 从而在保证经济效益的同时, 负责任地保护环境。<sup>[1]</sup>

### 1.3 碳排放核算在 LCA 中的集成方法

在化工产品的生命周期评价 (LCA) 中, 碳排放核算是一个至关重要的环节, 它帮助量化产品从原材料采集、制造、使用到废弃处理全过程中产生的直接和间接温室气体排放。集成这种核算方法不仅有助于评估产品对气候变化的潜在影响, 也促进了更环保的工艺和产品设计的发展。在实施碳排放核算时, 首先需定义评价的边界, 包括哪些生产阶段和相关活动应

被包含在内。通常，这涵盖了从原材料提取、加工、产品制造、运输、使用到最终处置的整个生命周期。每个阶段的碳排放都根据能耗和原料消耗计算得出，使用特定的排放因子将这些消耗转换为二氧化碳当量。接下来，采集相关数据，如原料和能源使用量、运输方式与距离等，是核算过程中的关键步骤。这些数据需要尽可能精确，以保证碳排放估算的准确性。为此，通常会利用数据库和现场数据，结合国际认可的碳排放因子进行计算。碳排放的计算结果随后会整合到 LCA 的生命周期影响评价中。这一评价考虑碳排放对环境的直接影响，如全球气候变暖潜能 (GWP)。这一分析帮助识别产品生命周期中的主要碳排放源和阶段，为减排措施的制定提供科学依据。最后，结果解释阶段将提供关于如何通过技术改进、工艺优化或原材料替换等方法降低产品碳足迹的建议。这不仅使企业能够符合日益严格的环境规制，还能在市场上提升产品的竞争力。<sup>[2]</sup>

## 2 化工产品生命周期评价中碳排放核算的方法与实践

在化工产品的生命周期评价 (LCA) 中，碳排放核算是评估环境影响的关键组成部分。正确理解和计算产品生命周期内的碳排放对于实现可持续发展和符合环保规定至关重要。这一过程涉及识别碳排放的直接与间接来源、收集与处理相关数据，以及运用专业的计算工具与模型进行分析。

### 2.1 碳排放的直接与间接来源

在化工产品的生命周期评价中，理解碳排放的来源是至关重要的。这些排放源可以分为直接和间接两大类。直接排放主要来源于化工生产过程中燃料的燃烧，这些燃料包括煤炭、天然气和石油，它们在提供必需的能量时直接释放二氧化碳和其他温室气体到大气中。除了能源消耗，某些化学制造过程本身，如石化反应和金属冶炼，也会直接产生温室气体，这是由于反应物或产品的化学性质变化。间接排放则与产品生命周期中使用的电力和热能有关。这些能源通常来自外部供应，如电网，而电力生成本身可能涉及到高碳排放的活动，例如燃煤电站。此外，间接排放还包括产品运输过程中的能源消耗，这些能源虽不直接用于生产，但对于产品从原材料到最终用户的移动是必需的。有效管理这些直接和间接碳排放不仅有助于化工企业减少对环境的负担，还能使企业在日益严格的全球环境规则面前保持竞争力。因此，准确识别和计算这些碳排放来源是实施可持续环境策略的基础，也

是企业社会责任的重要组成部分。

### 2.2 碳排放数据的收集与处理

在生命周期评价 (LCA) 中，碳排放数据的收集与处理是一个关键步骤，它确保了评价的准确性和可靠性。首先，收集碳排放数据需要从产品的原材料采购、生产过程、运输，到使用和废弃处理的每一个阶段详细记录能源和原料的消耗。这些数据通常通过直接测量、生产记录以及供应链合作伙伴提供的信息获得。收集到的数据必须经过严格的验证和标准化处理，以确保它们的一致性和可比性。数据处理包括清理、分类和转换，例如，将能源消耗量转换为碳排放量需要使用特定的排放因子，这些排放因子应当来源于权威的环境数据库或标准，如国际能源署 (IEA) 或政府环保机构发布的数据。在处理完数据后，采用统计方法对其进行分析，评估不同生命周期阶段的碳排放贡献，以及整个产品生命周期的总碳足迹。这一分析不仅帮助识别主要的排放源，还能为后续的排放减少措施提供决策支持。通过这种系统的数据收集和处理方法，企业能够更精确地理解其产品的环境影响，进而采取有效措施以减少碳排放，实现环境和商业的双赢。<sup>[3]</sup>

### 2.3 采用的计算工具与模型

在生命周期评价 (LCA) 中，准确计算和分析碳排放的工具和模型是实现高效和精确环境影响评估的关键。目前市场上提供了多种先进的软件，如 GaBi 和 SimaPro，这些工具被广泛应用于各种行业，特别是在复杂的化工产品生命周期分析中。GaBi 软件以其庞大的数据库和强大的功能集成而闻名，提供了从原材料采集到产品废弃的全过程模拟能力。用户可以通过它来构建详细的过程流程图，输入具体的操作数据，GaBi 将自动计算出各阶段的能耗和排放数据。此外，GaBi 还提供了多种环境影响评估模型，帮助用户从多角度分析产品的环境负担。SimaPro 则是另一款受到环境科学家和工程师青睐的 LCA 软件，它不仅具备全面的生命周期评估功能，还特别强调用户友好和灵活性。SimaPro 支持多种国际标准的评估方法，如 ISO 14040 等，并允许用户自定义评估参数，适应不同的研究需求和目标。通过 SimaPro，用户可以轻松导入或导出数据，与其他研究工具或数据库集成，进行复杂的环境影响分析。这些工具的应用极大地提高了碳排放核算的精确性和效率，使企业能够科学地评估其产品的环境影响，并根据分析结果优化产品设计和生产过程。通过这些高级计算工具和模型的帮助，企业不仅可以满足日益严格的环保法规要求，还能在市场

中展示其承担环境责任的能力，增强品牌价值。

### 3 案例研究与应用分析

#### 3.1 案例选择标准与描述

在选择适合进行生命周期评价(LCA)的化工产品案例时，需要选择一个具有行业代表性和数据完整性的产品。本文选取的案例是一家大型化工企业的聚乙烯生产线。聚乙烯作为广泛使用的塑料，其生产过程涵盖了化工行业中典型的高能耗和高排放特点，因此非常适合用于探讨碳排放核算及其减排策略。该企业的聚乙烯生产线具有完整的生产、能源消耗和排放数据记录，这为全面的LCA提供了可靠的基础。企业位于工业发达地区，生产规模大，产品销往国内外市场，因此其碳排放核算的结果具有较高的普适性和参考价值。通过这一案例，可以详细分析和理解化工产品从原料采购、生产、运输到废弃处理全过程中的碳排放情况，为制定有效的减排策略提供实证基础。

#### 3.2 碳排放核算结果的分析

在化工产品的生命周期评价中，碳排放核算结果的分析是评估环境影响的关键步骤。通过对聚乙烯生产过程的详细碳排放核算，发现碳排放主要集中在原料的提炼和加工、以及生产过程中的能源消耗上。这些阶段的能源需求高，使用了大量的化石燃料，直接导致了大量的二氧化碳排放。核算结果显示，原料提炼和加工阶段是最大的碳排放源，这主要是因为化工原料，特别是石油和天然气的提炼过程能耗高且无法避免地伴随着碳排放。生产阶段的能源使用，尤其是高温和高压下的化学反应所需能量，同样对碳排放贡献显著。此外，产品的运输和最终废弃处理也对总碳排放有所贡献，尽管相比前两者较少。这一分析揭示了减少碳排放的潜在点，特别是在原料加工和生产过程中的能源管理和效率提升。通过优化生产工艺，使用更清洁的能源，以及改进原料的加工方法，可以显著降低碳排放。此外，运输和废弃物管理的优化也是减少整体碳足迹的重要方面。这些发现为制定针对性的减排策略提供了科学依据，帮助企业在追求经济效益的同时，实现环境责任的承担。<sup>[4]</sup>

#### 3.3 降低碳排放的技术与管理方法

为有效降低化工产品生命周期中的碳排放，企业可以采取一系列综合性的技术和管理策略。首先，提高能源效率是减少碳排放的关键。这可以通过升级现有设备、采用先进的能源回收技术以及优化生产流程来实现。例如，引入更高效的热交换器和改进化学反

应过程，可以显著减少能源消耗。其次，转向使用可再生能源也是降低碳排放的有效途径。企业应考虑在其能源组合中引入太阳能、风能或生物质能等可再生能源，这不仅有助于减少对化石燃料的依赖，也能显著降低碳足迹。此外，优化供应链管理同样关键。这包括选择环保的原料供应商，减少物料运输距离，并通过改进物流策略来减少运输过程中的碳排放。例如，采用更加高效的运输方式或者优化货物装载配置，可以减少每单位产品的碳排放。在管理层面，实施碳管理策略和培养企业内部的环境意识也非常重要。这可以通过设置明确的碳减排目标，以及通过培训和教育活动来增强员工的环保意识。最后，企业应积极参与碳排放交易市场，利用市场机制来补偿不可避免的排放，同时也为减排项目寻找资金支持。通过这些策略和措施的实施，企业不仅能够符合日益严格的环境法规，还能在全球市场中增强竞争力，展示其对可持续发展的承诺。这种多角度、多策略的综合方法将有助于实现长期的环境和经济双赢。<sup>[5]</sup>

### 4 结论

本文探讨了碳排放核算在化工产品生命周期评价(LCA)中的重要性，强调了通过精确核算帮助企业优化生产过程和减少环境影响的必要性。虽然研究成果在提高环境管理效率和支持可持续发展政策制定方面具有实际应用价值，但其准确性受限于数据的可用性和质量。未来研究应集中在提升数据收集技术，开发更高效的碳核算工具，以及扩展研究范围到更多化工产品，以实现更广泛的环境保护和资源管理优化。这些努力将进一步推动化工行业在全球碳减排中的积极角色。

#### 参考文献：

- [1] 田涛, 姜晔, 李远. 石油化工行业产品碳足迹评价研究现状及应用展望 [J]. 石油石化绿色低碳, 2021, 6(01):66-72.
- [2] 王强. 基于生命周期评价的化工建材产品碳足迹分析 [J]. 中国市场, 2016, (36):58-60.
- [3] 李新创, 李晋岩, 霍咚梅, 等. 关于中国钢铁行业产品碳足迹评价标准化工作的思考 [J]. 中国冶金, 2021, 31(12):1-7.
- [4] 廖志高, 阮梦颖. “双碳”目标下中国化工行业碳排放权分配研究 [J]. 广西职业技术学院学报, 2022, 15(04):1-8.
- [5] 王建立, 李艺, 徐井, 等. “双碳”目标下我国煤化工产业原料用能研究及政策建议 [J]. 中国煤炭, 2023, 49(09):7-14.