

沥青产品半生命周期碳足迹分析

李向阳 林志坚

广州新粤沥青有限公司 广东广州 510663

【摘要】 本文通过对沥青产品生命周期内的温室气体 (GHG) 排放的量化, 研究沥青产品对全球变暖的潜在贡献, 在沥青产品碳足迹研究概述的基础上, 分析了沥青产品碳足迹研究的过程, 对重交沥青、改性沥青2种沥青产品的碳足迹进行了评估。本研究聚焦于沥青产品的半生命周期碳足迹, 旨在深入探究从原材料获取到产品生产与使用这一阶段的碳排放情况及其影响因素。通过详细的数据收集和分析, 揭示了沥青产品半生命周期中碳足迹的主要构成和关键环节, 为该领域的碳减排策略制定提供了重要依据。

【关键词】 沥青; 生命周期; 碳足迹

1 引言

沥青产品半生命周期碳足迹是指沥青产品从摇篮到大门的生命周期中产生的CO₂排放量当量, 以下简称“沥青产品碳足迹”。一些学者对沥青碳足迹进行了研究。

Kuang-YiWei^[1]基于产品种类规则 (PCR), 通过摇篮-大门的生命周期评价 (LCA) 方法调查研究了沥青混凝土和水泥混凝土的碳足迹。结果表明, 基于国外生命周期评价的沥青混凝土碳排放值为170~550 kg (CO₂e)/t; 沥青混凝土在英国的生命周期评价是最为完整的, 其单元碳排放值为430~550kg (CO₂e)/t。

Wahidul K. Biswas^[2]采用流线型的生命周期评价方法测定了100m路段相关的碳足迹。结果表明, 与100m路段建设相关的GHG排放和内涵能分别为180.6t (CO₂e)。

本文主要通过对每个阶段收集相关数据, 分析各阶段的主要碳排放源数据, 通过建立计算模型, 进行量化分析, 从而达到准确量化沥青产品半生命周期的碳足迹, 明确其碳排放规模, 为制定相关政策和标准提供数据支持和科学依据。

2 研究方法

2.1 研究思路

本次研究主要研究了两种沥青产品, 分别为PG76-SBS改性沥青产品和70#重交沥青产品。PG76SBS改性沥青混合料产品的研究范围如图1所示, 70#重交沥青混合料产品的研究范围如图2所示。碳足迹的范围边界包括三个阶段^[3]: 产品原材料获取阶段、产品生产阶段和产品运输分配阶段。

重交沥青产品的研究范围如图2所示。碳足迹的范围边界包括三个阶段: 产品原材料获取阶段、产品暂存阶段和产品运输分配阶段。相关数据来源主要包括生产过程的能源消耗、产品原辅材料的使用量、产品主要包装材料的使用量、废弃物产生量、产品原料、主要包装、原辅材料及包装材料的运输距离等数据。

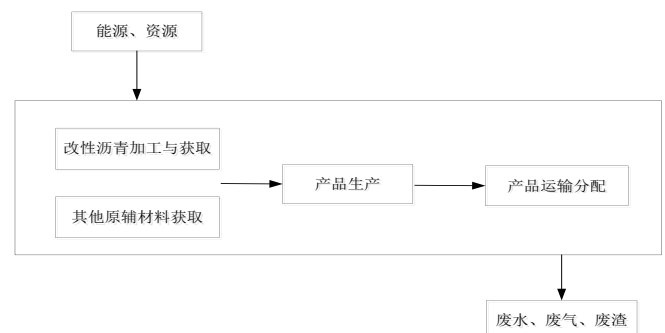


图1 PG76-SBS改性沥青产品的研究范围

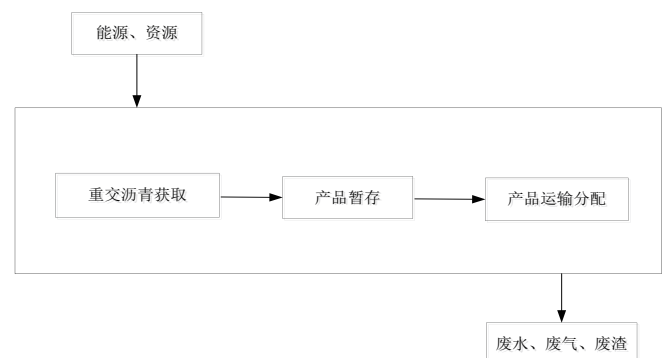


图2 70#重交沥青产品的研究范围

本次研究排放因子主要来自Ecoinvent 3.8数据库, 《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南 (试行) 计算值》, 权威供应商数据, 科学论文^[4]。排放因子值及来源如下表所示。

表1 原材料排放因子

序号	名称	排放因子	排放因子单位	排放因子来源
1	重交沥青	0.4095	kgCO ₂ e/kg	制造商 (新加坡壳牌)
2	SBS改性剂	2.82	kgCO ₂ e/kg	张红波,陈海涛,徐升,李平.橡胶改性沥青混合料路面建设能耗与碳排放评价[J].公路工程,2021,46(03):154-164;
3	重交沥青海运	0.00933	kgCO ₂ e/t*km	Ecoinvent 3.8
4	SBS改性剂海运	0.00933	kgCO ₂ e/t*km	Ecoinvent 3.8
5	沥青产品运输	0.1721152	kgCO ₂ e/t*km	Ecoinvent 3.8

表2 能源排放因子

序号	名称	排放因子	排放因子单位	排放因子来源
1	天然气	2.7115	kgCO ₂ e/m ³	工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)计算值+Ecoinvent3.8
2	电	1.0603	kgCO ₂ e/kWh	Ecoinvent 3.8

2.2 沥青产品碳足迹的计算

沥青产品碳足迹的计算公式如下:

$$CF = \sum_{i=1}^n P_i \times Q_i + \sum_{i=1}^n P_i \times Q_i$$

其中CF为碳足迹, P为活动水平数据, Q为排放因子, i为排放活动类型。分别以1t PG76-SBS改性沥青和70#重交沥青作为一个单位。

3 研究结果

3.1 产品原材料获取阶段碳排放

原辅材料获取阶段产生的温室气体(GHG),主要来源于原辅材料的生产加工和运输过程。

表3 PG76-SBS改性沥青原辅材料生产阶段产生的GHG排放

类别	序号	名称	重量(kg)	排放量(kgCO ₂ e)
改性沥青	1	重交沥青	950	389.03
	2	SBS改性剂	50	141.11
合计			1000	530.14

表4 70#重交沥青原辅材料生产阶段产生的GHG排放

类别	序号	名称	重量(kg)	排放量(kgCO ₂ e)
重交沥青	1	重交沥青	1000	409.50
合计			1000	409.50

表5 PG76-SBS改性沥青原辅材料运输阶段产生的GHG排放

类别	序号	名称	重量(kg)	运输方式	运输距离(km)	运输排放量(kgCO ₂ e)
改性沥青	1	重交沥青	950	海运	3455.83	30.63
	2	SBS改性剂	50	海运	2778	1.30
合计						31.93

表6 70#重交沥青原辅材料运输阶段产生的GHG排放

类别	序号	名称	重量(kg)	运输方式	运输距离(km)	运输排放量(kgCO ₂ e)
重交沥青	1	重交沥青	1000	海运	3455.83	32.24
合计						32.24

3.2 产品生产及暂存阶段碳排放

PG76-SBS改性沥青产品生产阶段始于进入生产设施,结束于产品离开生产设施。70#重交沥青产品主要在储罐内暂存,暂存过程消耗的主要能源为电力、天然气。

表7 PG76-SBS改性沥青产品仓储阶段产生的GHG排放

类别	序号	排放源	活动数据	单位	排放量(kgCO ₂ e)
改性沥青	1	电	11.06	kwh	29.98
	2	天然气	9.50	m ³	10.07
合计					40.05
生产1t改性沥青所需的0.95t重交沥青仓储阶段CO ₂ e排放量					38.05

表8 70#重交沥青产品仓储阶段产生的GHG排放

类别	序号	排放源	活动数据	单位	排放量(kgCO ₂ e)
重交沥青	1	电	11.06	kwh	29.98
	2	天然气	9.50	m ³	10.07
合计					40.05

表9 PG76-SBS改性沥青产品生产阶段产生的GHG排放

类别	序号	排放源	活动数据	单位	排放量(kgCO ₂ e)
改性沥青	1	电	3.37	kwh	3.57
	2	天然气	17.01	m ³	46.10
合计					49.67

3.3 产品运输分配阶段碳排放

产品运输与分配阶段是指将沥青产品运输至客户所在地的过程所产生的排放。收集仓库出货重量,运输距离,运输方式,再通过Ecoinvent 3.8数据库的排放因子计算出产品运输分配阶段产生的排放。

表10 PG76-SBS改性沥青产品运输分配阶段产生的GHG排放

类别	仓库出货重量 (t)	运输平均距离 (km)	运输方式	运输排放量 (kgCO ₂ e)
改性沥青	33226	259.17	货车30t	1482432.34
单位产品排放量				44.62

表11 70#重交沥青产品运输分配阶段产生的GHG排放

类别	仓库出货重量 (t)	运输平均距离 (km)	运输方式	运输排放量 (kgCO ₂ e)
重交沥青	37014	121.89	货车30t	776505.66
单位产品排放量				20.98

4 沥青产品碳足迹的分析

根据章节3核算出产品在半生命周期内的总排放量，研究1吨沥青产品在半生命周期内的总排放量见表12所示。

表12 1吨PG76-SBS改性沥青产品的半生命周期各阶段的GHG排放

原材料获取阶段 (kgCO ₂ e)	产品生产阶段 (kgCO ₂ e)	产品运输分配阶段 (kgCO ₂ e)	合计 (kgCO ₂ e)
562.07	87.72	44.62	694.40
80.94%	12.63%	6.43%	100%

表13 1吨70#重交沥青产品的半生命周期各阶段的GHG排放

原材料获取阶段 (kgCO ₂ e)	产品仓储阶段 (kgCO ₂ e)	产品运输分配阶段 (kgCO ₂ e)	合计 (kgCO ₂ e)
441.74	40.05	20.98	502.77
87.86%	7.97%	4.17%	100%

从表12中可知，1吨PG76SBS改性沥青混合料产品的各阶段GHG排放：原材料获取阶段对产品全生命周期碳足迹影响最大，其次是产品仓储阶段、产品运输分配阶段。

从表13中可知，1吨70#重交沥青混合料产品的各阶段GHG排放：原材料获取阶段对产品全生命周期碳足迹影响最大，其次是产品仓储阶段、产品运输分配阶段。

在这个半生命周期中，影响碳足迹的因素包括：原材料的来源和品质，不同产地和品质的原材料在生产和运输过程中的碳排放可能存在较大差异；生产工艺的先进程度，先进的工艺往往能够更高效地利用能源，减少碳排放；能源的类型，采用清洁能源替代传统化石能源能显著

降低碳足迹；生产规模和效率也会对碳足迹产生影响，大规模、高效率的生产在一定程度上能相对降低单位产品的碳排放量。

5 结论

(1) 改性沥青产品半生命周期碳足迹原材料获取阶段GHG排放为562.07 kgCO₂e/t；产品生产阶段GHG排放为87.72 kgCO₂e/t；产品运输分配阶段GHG排放为44.62 kgCO₂e/t，合计694.40 kgCO₂e/t。

(2) 重交沥青产品半生命周期碳足迹原材料获取阶段GHG排放为441.74 kgCO₂e/t；产品仓储阶段GHG排放为40.05 kgCO₂e/t；产品运输分配阶段GHG排放为20.98 kgCO₂e/t，合计502.77 kgCO₂e/t。

(3) 1吨沥青产品的原材料获取阶段对产品半生命周期碳足迹影响最大，其次是产品的仓储及生产阶段。

(4) 通过对沥青产品半生命周期碳足迹的分析，我们可以采取一系列针对性的措施来降低其碳足迹。比如，优化原材料的采购策略，选择低碳排放的供应渠道；持续改进生产工艺，提高能源利用效率；逐步推广使用清洁能源；加强生产过程的管理和监控，确保能源的合理利用等。这样不仅有利于环境保护，也有助于提升沥青行业的可持续发展水平，为应对全球气候变化做出积极贡献。

参考文献：

- [1] Kuang-Yi Wei, Jyh-Dong Lin, I-hung Yu. Assessment of CO₂emission reduction in road construction using recycled concrete materials [J]. Int J Pavement Res Technol, 2013, 6(4) : 423 - 430.
- [2] Wahidul K Biswas. Carbon footprint and embodied energy assessment of a civil works program in a residential estate of Western Australia [J]. Int J Life Cycle Assess, 2014, 19: 732 - 744.
- [3] 生态环境部华南环境科学研究所、新粤(广州)材料技术研究院. 《沥青产品碳足迹白皮书》2023
- [4] 张红波, 陈海涛, 徐升, 李平. 橡胶改性沥青混合料路面建设能耗与碳排放评价[J]. 公路工程, 2021, 46(3) : 154-164.