

# 沥青混合料产品全生命周期碳足迹分析

姚 斌

广州新粤沥青有限公司 广东广州 510663

**【摘要】**本文利用生命周期评价(LCA)方法对沥青混合料产品的全生命周期碳足迹进行了深入分析,重点研究了PG76SBS改性沥青混合料和70#重交沥青混合料两种产品。研究表明,原材料获取阶段是整个生命周期中碳排放最高的阶段,占到了总碳足迹的63%左右,其次是产品生产阶段和废弃物处置阶段。通过详细计算各阶段的碳排放量,揭示了降低沥青混合料产品碳足迹的关键环节,为沥青混合料生产和使用过程中的碳排放管理提供科学依据,有助于开发碳足迹较小的新产品和新的使用途径,从而减少温室气体排放。

**【关键词】**沥青混合料; 全生命周期; 碳足迹

## 引言

“产品碳足迹”即碳足迹在产品层面的应用,是指某一产品在其生命周期过程中所导致的直接和间接的CO<sub>2</sub>及其他温室气体排放总量。“产品碳足迹”是基于生命周期评价方法计算得到的产品生命周期内所有碳排放的总和。全生命周期(从摇篮到坟墓,B2C),即原材料生产、制造、配送销售、使用、废弃等五个阶段。

本文在沥青混合料产品碳足迹研究概述的基础上,分析了沥青混合料产品碳足迹研究的过程,对PG76SBS改性沥青混合料和70#重交沥青混合料2种沥青混合料产品的碳足迹进行了评估。

## 1 沥青混合料产品碳足迹研究概述

沥青混合料产品碳足迹的研究有助于了解沥青混合料产品对气候变化的影响。一些学者对沥青碳足迹进行了研究。

Kuang-YiWei<sup>[1]</sup>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(CO<sub>2</sub>e)/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(CO<sub>2</sub>e)/t。澳大利亚数据库RMIT中沥青的排放因子为666kg(CO<sub>2</sub>e)/t,Whyte(2011)中热拌沥青中沥青组分的排放因子为280kg(CO<sub>2</sub>e)/t。

吴晓航等<sup>[2]</sup>分析了沥青路面能耗和碳排放量化的计算方法,从温拌技术、改变能源类型、更换新型施工机械设备、优化管理等方面探讨了沥青混合料路面节能减排的实现途径。

## 2 沥青混合料碳足迹研究方法

### 2.1 碳排放因子

本次研究主要研究了两种沥青混合料产品,分别为PG76SBS改性沥青混合料产品和70#重交沥青混合料产品。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六个阶段<sup>[3]</sup>:产品原材料获取阶段、产品生产阶段、产品运输分配阶段、施工阶段、产品使用阶段和废弃物处置阶段。

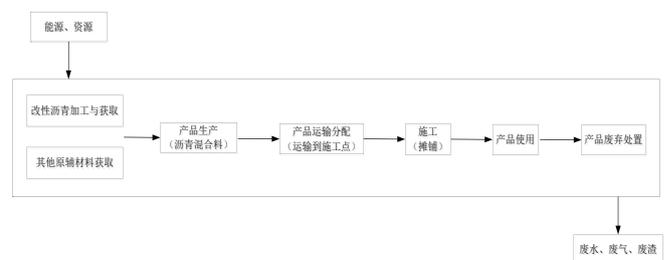


图1 PG76SBS改性沥青混合料产品的研究范围

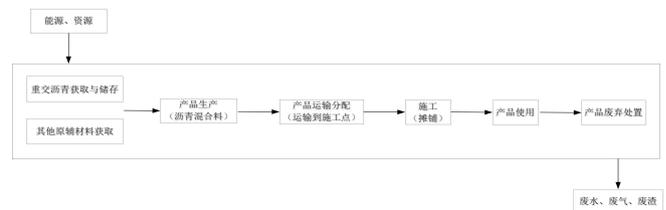


图2 70#重交沥青混合料产品的研究范围

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<sup>[4]</sup>,以及自研数据。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	PG76SBS改性沥青	0.6944	kgCO <sub>2</sub> e/kg	新粤调研
2	70#重交沥青	0.50277	kgCO <sub>2</sub> e/kg	新粤调研
3	集料	0.0114	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent3.8
4	矿粉	0.0074	kgCO <sub>2</sub> e/kg	蔺瑞玉. 沥青路面建设过程温室气体排放评价体系研究[D]. 长安大学, 2014
5	水泥	0.8650	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
6	原辅料汽运	0.137	kgCO <sub>2</sub> e/t*km	Ecoinvent 3.8
7	沥青混合料汽运	0.1721	kgCO <sub>2</sub> e/t*km	Ecoinvent 3.8
8	废弃物综合处置	0.0197	kgCO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	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 <sub>2</sub> e/kWh	Ecoinvent 3.8
3	柴油	3.6303	kgCO <sub>2</sub> e/kg	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

## 2.2 沥青混合料产品碳足迹的计算

沥青混合料产品碳足迹的计算公式如下:

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

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#重交沥青作为研究的一个单位。

## 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 PG76SBS改性沥青原辅材料生产阶段产生的GHG排放

类别	序号	名称	排放因子	重量(kg)	排放量(kgCO <sub>2</sub> e)
改性沥青混合料	1	改性沥青	0.6944	44.00	30.55
	2	集料	0.0114	920.50	10.50
	3	矿粉	0.0074	19.00	0.14
	4	水泥	0.8650	16.50	14.27
合计				1000	55.46

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	排放因子	重量(kg)	排放量(kgCO <sub>2</sub> e)
重交沥青混合料	1	重交沥青	0.50277	38.00	19.11
	2	集料	0.0114	924.00	10.54
	3	矿粉	0.0074	19.00	0.14
	4	水泥	0.8650	16.50	16.43
合计				1000	46.22

表5 PG76SBS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)	排放因子	运输排放量(kgCO <sub>2</sub> e)
改性沥青混合料	1	集料	920.50	汽运	300	0.137	37.83
	2	矿粉	19.00	汽运	150	0.137	0.39
	3	水泥	16.50	汽运	210	0.137	0.47
合计							38.70

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)	排放因子	运输排放量(kgCO <sub>2</sub> e)
重交沥青混合料	1	集料	924.00	汽运	300	0.137	37.98
	2	矿粉	19.00	汽运	150	0.137	0.39
	3	水泥	19.00	汽运	210	0.137	0.55
合计							38.91

## 3.2 产品生产阶段碳排放

沥青混合料产品生产阶段始于进入沥青混凝土搅拌站, 结束于产品离开沥青混凝土搅拌站。沥青混合料产品的生产过程消耗的主要能源为电力、柴油。

表7 PG76SBS改性沥青混合料产品生产阶段产生的GHG排放

类别	序号	排放源	排放因子	活动数据	单位	排放量(kgCO <sub>2</sub> e)
改性沥青	1	电	1.0603	1.73	kwh	1.83
	2	柴油	3.6303	6.30	m <sup>3</sup>	22.88
合计						24.71

表8 70#重交沥青混合料产品仓储阶段产生的GHG排放

类别	序号	排放源	排放因子	活动数据	单位	排放量(kgCO <sub>2</sub> e)
重交沥青	1	电	1.0603	1.73	kwh	1.83
	2	柴油	3.6303	5.04	m <sup>3</sup>	18.30
合计						20.13

## 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混合料产品运输至施工现场的过程所产生的排放, 主要涉及产品通过货车的运

运输过程。拌合至摊铺施工现场距离均较近，无具体统计数据，此处采用估算值。

表9 沥青混合料产品运输分配阶段产生的GHG排放

类别	排放因子	运输距离 (km)	运输方式	运输排放量 (kgCO <sub>2</sub> e)
沥青混合料	0.1721	15	货车30t	2.58
单位产品排放量				2.58

### 3.4 产品施工阶段碳排放

沥青混合料施工阶段碳排放是指将沥青混合料摊铺在路面上产生的碳排放。沥青混合料施工阶段使用设备主要能源为柴油。

表10 沥青混合料产品施工阶段产生的GHG排放

类别	排放源	排放因子	活动数据	单位	排放量 (kgCO <sub>2</sub> e)
沥青混合料	柴油	3.6303	1.97	kg	7.15
合计					7.15

### 3.5 产品使用阶段碳排放

本次研究的沥青混合料产品的使用场景为沥青道路，根据《公路工程技术标准》(JTG B01-2014)公路路面结构设计使用年限规定，沥青混凝土路面高速公路设计使用年限应不小于15年，结合受评价方提供的沥青混合料产品平均使用寿命8年，假设本产品的使用寿命为15年。

### 3.6 废弃物处置阶段碳排放

沥青混合料产品的废弃阶段主要包括沥青混合料的废弃处理。因缺乏实测数据，且无法获取最新广东省或中国沥青路面回收率数据，本次研究假设沥青混合料产品在使用寿命结束后采用市政综合处置的方式。沥青混合料产品最终废弃物处置过程中的排放情况如表11所示。

表11 沥青混合料产品废弃物处置阶段产生的GHG排放

类别	处置方式	单位	排放量 (kgCO <sub>2</sub> e)
沥青混合料	市政综合处置	t	19.73
合计			19.73

## 4 沥青混合料产品碳足迹的分析

根据章节3核算出产品在全生命周期内的总排放量，研究1吨沥青混合料产品在全生命周期内的总排放量见表12和表13所示。

表12 1吨PG76SBS改性沥青混合料产品的全生命周期各阶段的GHG排放

阶段	碳足迹	单位	占比
原材料获取阶段	94.16	kgCO <sub>2</sub> e	63.48%
产品生产阶段	24.71	kgCO <sub>2</sub> e	16.66%
产品运输分配阶段	2.58	kgCO <sub>2</sub> e	1.74%
施工阶段	7.15	kgCO <sub>2</sub> e	4.82%
产品使用阶段	0.00	kgCO <sub>2</sub> e	0.00%
废弃物处置阶段	19.73	kgCO <sub>2</sub> e	13.30%
合计	148.33	kgCO <sub>2</sub> e	100.00%

表13 1吨70#重交沥青混合料产品的全生命周期各阶段的GHG排放

阶段	碳足迹	单位	占比
原材料获取阶段	85.13	kgCO <sub>2</sub> e	63.19%
产品生产阶段	20.13	kgCO <sub>2</sub> e	14.94%
产品运输分配阶段	2.58	kgCO <sub>2</sub> e	1.92%
施工阶段	7.17	kgCO <sub>2</sub> e	5.31%
产品使用阶段	0.00	kgCO <sub>2</sub> e	0.00%
废弃物处置阶段	19.73	kgCO <sub>2</sub> e	14.65%
合计	134.75	kgCO <sub>2</sub> e	100.00%

综上所述，1吨沥青混合料产品的原材料获取阶段对产品全生命周期碳足迹影响最大，其次是产品生产阶段、废弃物处置阶段。

### 结论

(1) 原材料获取阶段对产品全生命周期碳足迹影响最大，占改性沥青混合料产品全生命周期碳足迹63.48%，占重交沥青混合料产品全生命周期碳足迹63.18%。(2) 选择低碳排放的原材料，如使用回收材料或生物基材料替代传统的石油基材料，可以减少原料获取阶段的碳足迹。在原料开采、加工和运输过程中，采用节能技术和设备，优化生产工艺，提高能源利用效率，可以减少能源消耗和相关的碳排放。供应链管理：优化供应链，减少原材料的运输距离和运输过程中的碳排放，可以降低运输相关的碳足迹。

### 参考文献：

- [1] Kuang-Yi Wei, Jyh-Dong Lin, I-hung Yu. Assessment of CO<sub>2</sub>emission reduction in road construction using recycled concrete materials [J]. Int J Pavement Res Technol, 2013, 6(4): 423 - 430.
- [2] 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
- [3] 蔺瑞玉. 沥青路面建设过程温室气体排放评价体系研究[D]. 长安大学, 2014.