

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2024.01.004

OGFC 生产过程碳排放计算和碳减排技术研究

凌宏伟¹, 郑晓光², 闫国杰³, 陆文亮¹

[1.上海浦东建筑设计研究院有限公司,上海市 201206; 2.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092;
3.上海浦东路桥(集团)有限公司,上海市 201206]

摘要: 针对降低道路沥青混凝土路面设计、生产、施工、管养过程的碳排放问题,开展对排水性沥青面层 OGFC 沥青混合料包括原材料准备、原材料运输到生产基地、混合料生产拌和阶段在内的生产过程碳排放计算方法进行研究。将排水性沥青面层 OGFC 沥青混合料的生产过程划分为材料准备和混合料生产拌和两个阶段,根据混合料的配合比设计、材料准备方案、生产工艺等,按排放因子法计算系统边界内各阶段的碳排放,分析各分项碳排放占比,提出合适的碳减排措施。以上海市浦东新区高等级道路金海路改建工程为例,对研究提出的碳排放计算方法和碳减排技术进行实际应用分析,结果显示碳减排效果比较显著。

关键词: OGFC; 碳排放; 碳减排; 排放因子法; 计算公式

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)01-0019-04

0 引言

当前关于碳排放计算已成为全球关注的热点问题。建筑行业中的公路和城市道路沥青混凝土路面在原材料准备和运输、混合料拌和生产、沥青混凝土成品运输和现场施工、后期运维过程中会消耗石油、矿石等自然、非再生的资源以及天然气、汽柴油等能源,并产生一定量的碳排放。近年来,由于各地逐步控制铁矿石的采掘、砂石料的产出,公路和城市道路建设所需的相关原材料采购地越来越远,成本也越来越高,因此优化整体原材料供应、施工工艺,节约过程中各环节的资源和能源消耗,实现绿色、高效、低碳发展势在必行。

近年来,为落实响应海绵城市建设理念,排水性沥青面层 OGFC 沥青混合料(以下简称 OGFC)得到逐步推广应用。其同时具有路面降噪、雨天行车安全等优点,在工程实践中发挥了较好的社会效益和环境效益。

为积极响应“双碳”目标理念,推进新技术、新材料、新工艺的研究和实施,降低道路沥青混凝土路面设计、生产、施工、管养过程的碳排放,确保加快行业“碳达峰”,开展对 OGFC 包括原材料准备、原材料运输到生产基地、混合料生产拌和阶段在内的生产过程碳排放计算方法研究,结合实例进行计算、对比分

收稿日期: 2023-11-07

作者简介: 凌宏伟(1975—),男,工学学士,正高级工程师,从事市政工程规划和设计工作。

析和总结,并提出对应的碳减排措施,以期在今后相关工作提供一定的经验借鉴。

1 碳排放计算方法

1.1 核算理论方法

一般参考联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change,简称 IPCC)提出的基于领土边界的碳排放计算方法和计算内容,其碳排放量计算主要有 3 种方式:排放因子法、质量平衡法和实测法。排放因子法主要是根据 IPCC 提供的碳排放计算基本方程,温室气体排放量 = 活动数据(AD) × 排放因子(EF),该方法简单、便捷,得到最为广泛的运用,因此 OGFC 生产过程碳排放计算方法建议采用排放因子法。

1.2 系统边界的确定

建筑碳排放的计算边界是指与建筑物建材生产及运输、建造与拆除、运行等活动相关的温室气体排放的计算范围^[1]。按此原则,沥青混凝土生命周期可划分为混合料生产、现场施工、后期运维、拆除处置 4 个阶段。

将 OGFC 生产过程的碳排放分为材料准备和混合料生产拌和两个阶段。其中材料准备又分为原材料准备和原材料运输两个阶段。

(1) 材料准备阶段

材料准备阶段是指材料被开采并运输到沥青混凝土生产拌和基地的过程。在这一阶段中,包括了原

材料的准备和运输等能源及服务使用。

在全社会碳排放计算中,沥青、粗细集料等原材料生产的碳排在相应的生产、加工和运输环节中产生,并不在工程施工现场产生。这是由于消耗的材料间接计入了这些材料的生产及运输碳排放。因此,从消费者角度看,生产阶段的碳排放对于道路工程来说属于间接碳排放。为了更清晰地掌握和分析沥青混凝土全过程碳排放的情况,我们将原材料准备阶段的碳排放计入生命周期碳排放。

(2)混合料生产拌和阶段

混合料生产拌和阶段指在混合料生产基地内进行混合料的生产 and 加工的过程。这一阶段包括了混合料加热、拌和等能源及服务使用。

1.3 碳排放因子的取值

理论上,各类能源、材料等的碳排放因子具有显著的地域性差异,并受到技术、管理等多方面因素的影响。因此,不同地区、不同企业、不同生产批次的能源或材料的碳排放因子也不尽相同。

一般情况下,可采用《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》、IPCC 在线排放因子数据查询系统等国际机构发布的报告及数据库,国家统计局每年发布的《中国能源统计年鉴》所给出的常用能源生产能耗数据,国家发改委或各省市地方政府发改委公布的区域电网基准线排放因子数据,《省级温室气体清单编制指南(试行)》中主要工业产品生产的直接碳排放因子推荐值,《建筑碳排放计算标准》(GB/T 51366—2019)等相关规范、国家和地方标准的指导性数据,以及企业自行核算并经认证的碳排放因子数据、国内科研单位研究成果等。

1.4 碳排放计算公式

为统一单位、计算方便,采用单位混合料重量作为计算功能单位。

将重量为 1 t 的 OGFC 生产过程分为材料准备阶段 A、生产拌和阶段 B 两个阶段。

(1)材料准备阶段碳排放计算

将材料准备阶段 A 划分为原材料准备阶段 A_1 和原材料运输到厂阶段 A_2 两个阶段。

确定第 i 种原材料的用量 G_i ,分项分别为原材料中的沥青用量 G_1 ,碎石集料用量 G_2 ,矿粉用量 G_3 ,添加剂用量 G_4 及其他材料 G_i ,并确定第 i 种原材料的碳排放因子 Cf_i ,根据以上参数计算原材料准备阶段 A_1 的碳排放量 EA_1 :

$$EA_1 = G_1 \times Cf_1 + G_2 \times Cf_2 + \dots + G_i \times Cf_i$$

确定第 i 种原材料的平均运输距离 DA_i ,第 i 种原材料运输到厂的单位重量和运输距离所消耗能源的碳排放因子 QA_i ,根据以上参数计算原材料运输到厂阶段 A_2 的碳排放量 EA_2 :

$$EA_2 = G_1 \times DA_1 \times QA_1 + G_2 \times DA_2 \times QA_2 + \dots + G_i \times DA_i \times QA_i$$

将原材料准备阶段 A_1 的碳排放 EA_1 和原材料运输到厂阶段 A_2 的碳排放 EA_2 相加,计算材料准备阶段 A 的碳排放 EA :

$$EA = EA_1 + EA_2$$

(2)混合料生产拌和阶段碳排放计算

确定沥青、碎石集料、矿粉、添加剂等原材料送入拌和设备进行加热和拌和过程中的能源消耗量 MB_i ,混合料在加热和拌和过程中消耗能源的碳排放因子 PB_i ,根据以上参数计算混合料生产拌和阶段 B 的碳排放 EB :

$$EB = MB_1 \times PB_1 + MB_2 \times PB_2 + \dots + MB_i \times PB_i$$

(3)总碳排放计算

计算生产过程总碳排放 E :

$$E = EA + EB$$

2 项目应用分析

2.1 混合料配合比设计

以上海市浦东新区高等级道路金海路改建工程建设等项目为例,主路的路面面层采用 4 cm 厚度的 OGFC,在沥青混合料配合比设计中,碎石集料用量为 88.92%,矿粉用量为 6.18%,沥青用量为 4.31%,添加剂为 0.59%。具体混合料配合比见表 1。

表 1 沥青混合料配合比设计

材料名称	材料用量	
0~3 cm 集料	9.99%	
3~5.5 cm 集料	0	
矿料	5.5~11 cm 集料	40.89%
	11~17.5 cm 集料	38.04%
	矿粉	6.18%
沥青	沥青(70#)	4.31%
添加剂	RST	0.59%

2.2 碳排放计算

以 1 t 为计算功能单位,根据前述碳排放计算公式进行沥青混合料生产过程各阶段碳排放和总碳排放的计算。

(1)原材料准备阶段碳排放计算

根据材料分类和地区特点,确定沥青材料的碳

排放因子为 248 kgCO₂e/t, 碎石集料和矿粉的碳排放因子为 2.18 kgCO₂e/t, RST 添加剂材料的碳排放因子为 3 360 kgCO₂e/t。根据沥青、碎石集料、矿粉和 RST 添加剂材料的用量和碳排放因子, 计算原材料准备阶段 A₁ 的碳排放 EA₁:

$$EA_1 = G_1 \times Cf_1 + G_2 \times Cf_2 + \dots + G_i \times Cf_i = 32.59 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

(2) 原材料运输阶段碳排放计算

根据原料地和项目位置, 确定原材料中沥青和 RST 添加剂采用本地采购、公路运输方式, 碎石集料、矿粉采用外省市采购、船运方式。沥青、碎石集料、矿粉和 RST 添加剂运输到厂的运输距离分别为 50 km、600 km、600 km 和 50 km, 确定每吨沥青、碎石集料、矿粉和 RST 添加剂以单位运距计, 相对应运输方式的碳排放因子分别为 0.129 kgCO₂e/(t·km)、0.015 kgCO₂e/(t·km)、0.129 kgCO₂e/(t·km) 和 0.129 kgCO₂e/(t·km), 根据以上参数计算材料运输阶段 A₂ 的碳排放 EA₂:

$$EA_2 = G_1 \times DA_1 \times QA_1 + G_2 \times DA_2 \times QA_2 + \dots + G_i \times DA_i \times QA_i = 13.10 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

则材料准备阶段 A 的碳排放为:

$$EA = EA_1 + EA_2 = 32.59 + 13.10 = 45.69 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

(3) 混合料生产拌和阶段碳排放计算

根据本项目沥青生产基地的设备、工艺条件, 确定混合料拌和生产过程中加热拌和系统电力能源消耗量为 2 kWh, 沥青保温所需天然气消耗量为 0.0192 kJ, 冷料加热系统主燃烧器所需天然气消耗量为 0.336 kJ, 电力能源碳排放因子为 0.703 5 kgCO₂/kWh, 天然气燃烧碳排放因子为 55.54 tCO₂/TJ, 根据以上参数计算生产拌和阶段 B 的碳排放 EB:

$$EB = MB_1 \times PB_1 + MB_2 \times PB_2 + \dots + MB_i \times PB_i = 21.13 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

(4) 碳排放总量计算

计算生产 1 t 的沥青混合料的生产过程包括材料准备阶段 A 和混合料生产拌和阶段 B 的碳排放 E:

$$E = EA + EB = 45.69 + 21.13 = 66.82 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

3 碳减排措施分析

3.1 碳减排措施

根据各阶段和分项的碳排放, 计算各阶段碳排放占比。原材料准备阶段的碳排放为 32.59 kgCO₂e, 占比 48.76%; 原材料运输阶段的碳排放为 19.61 kgCO₂e, 占比 19.61%; 混合料生产拌和阶段的碳排放为 21.13 kgCO₂e, 占比 31.63%。各分项的碳排放和占比

见表 2。

表 2 混合料生产各分项碳排放 单位: kgCO₂e

序号	分项	碳排放	占比 /%
1	碎石集料准备	1.94	2.90
2	矿粉材料准备	0.13	0.20
3	沥青材料准备	10.69	16.00
4	添加剂材料准备	19.82	29.67
5	碎石集料运输	8.00	11.98
6	矿粉材料运输	4.78	7.16
7	沥青材料运输	0.28	0.42
8	添加剂材料运输	0.04	0.06
9	电力能源消耗	1.41	2.11
10	沥青保温天然气消耗	1.07	1.60
11	主燃烧器天然气消耗	18.66	27.93
合计		66.82	100

其中: 各分项中添加剂材料准备阶段的碳排放为 19.82 kgCO₂e, 占比 29.67%, 为最大; 其次是主燃烧器天然气消耗的碳排放为 18.66 kgCO₂e, 占比 27.93%; 碎石集料和矿粉运输的碳排放为 12.78 kgCO₂e, 占比 19.14%; 沥青材料准备阶段的碳排放为 10.69 kgCO₂e, 占比 16%。

对表 2 进行分析, 提出碳减排的主要措施。

(1) 原材料准备阶段: 针对沥青材料碳排放, 采取优化材料配合比、减少沥青用量等碳减排措施; 针对碎石集料碳排放, 采取沥青混凝土旧料再生利用等碳减排措施; 针对矿粉材料碳排放, 采取旧料再生利用和环保材料替代等碳减排措施。

(2) 原材料运输阶段: 针对沥青材料运输碳排放, 采取原材料就近采购和短距离运输等碳减排措施; 针对碎石集料材料运输碳排放, 采取原材料长距离水路船运, 或原材料就近采购和运输, 或本地旧料再生利用等碳减排措施; 针对矿粉材料运输碳排放, 采取原材料就近采购和运输等碳减排措施。

(3) 混合料生产拌和阶段: 采取优化改进拌和厂的混合料拌和工艺, 或使用清洁能源燃烧供能, 减少沥青保温、主燃烧器能源消耗等碳减排措施。

3.2 碳减排对比分析

(1) 旧料再生利用

由于本地区道路设施量大, 每年翻建老路产生的沥青混凝土旧料较多, 因此可考虑旧料再生利用, 减少新购材料量以及长距离运输油料能耗所产生的碳排放。

若碎石集料中的新旧料比为 1:1, 采取减排措施后, 碎石集料准备阶段的碳排放可降低约 0.97 kgCO₂e, 碎

石集料材料运输阶段的碳排放可降低约 4 kgCO₂e, 总碳排放可降低约 4.97 kgCO₂e。

(2) 环保型添加剂材料

添加剂材料的碳排放为 19.82 kgCO₂e, 占比较大, 约占 29.67%, 主要是由于 RST 添加剂材料采用化学加工产品, 因此若添加剂采用生态环保型材料或使用其他低碳排放的材料替代, 可以较大幅度地降低总碳排放。若能在添加剂原材料生产环节降低碳排放 30% 左右, 则总碳排放可减少约 5.95 kgCO₂e。

(3) 拌和基地的节能技术

混合料生产基地在生产拌和阶段的主燃烧器天然气消耗部分的碳排放为 18.66 kgCO₂e, 占比 27.93%, 因此生产工艺的节能措施也尤为重要。若生产拌和过程降低 15% 左右的设备能耗, 则总碳排放可减少约 2.80 kgCO₂e。

(4) 碳排放总量对比

采取上述三项碳减排措施后, 计算得到生产 1 t 的排水性沥青面层 OGFC-13 沥青混合料生产过程的总碳排放为 53.16 kgCO₂e, 其中原材料准备阶段碳排放为 25.67 kgCO₂e, 原材料运输阶段碳排放为 9.16 kgCO₂e, 混合料生产拌和阶段碳排放为 18.34 kgCO₂e。

碳减排措施前、后各阶段碳排放对比见图 1, 各分项碳减排对比分析见表 3。从图 1 和表 3 中的对比看出, 采取碳减排措施后, 总碳排放由碳减排措施前的 66.82 kgCO₂e 降低为 53.16 kgCO₂e, 下降约 20.4%, 碳减排效果显著。

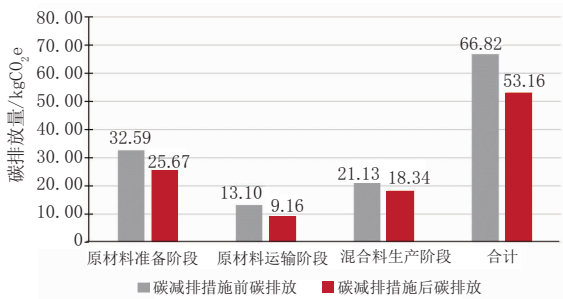


图 1 碳减排措施前、后碳排放对比图

表 3 各分项碳减排

单位: kgCO₂e

序号	分项	减排前碳排放	减排后碳排放	碳减排
1	碎石集料准备	1.94	0.97	0.97
2	矿粉材料准备	0.13	0.13	0.00
3	沥青材料准备	10.69	10.69	0.00
4	添加剂材料准备	19.82	13.88	5.95
5	碎石集料运输	8.00	4.06	3.94
6	矿粉材料运输	4.78	4.78	0.00
7	沥青材料运输	0.28	0.28	0.00
8	添加剂材料运输	0.04	0.04	0.00
9	电力能源消耗	1.41	1.41	0.00
10	沥青保温天然气消耗	1.07	1.07	0.00
11	主燃烧器天然气消耗	18.66	15.86	2.80
合计		66.82	53.16	13.66

4 结 语

以排水性沥青面层 OGFC 沥青混合料为例, 公路和城市道路沥青混凝土路面混合料的生产过程碳排放计算可采用 IPCC 提出的排放因子法, 计算的系统边界可分为材料准备和混合料生产拌和两个阶段, 其中材料准备又分为原材料准备和原材料运输两个阶段。按照混合料的配合比设计、原材料的准备情况、生产拌和基地的工艺流程和能源消耗等确定参数, 计算各阶段的碳排放, 最终得到生产过程总碳排放。

建议工作中可结合地区特点, 采取沥青路面废旧料再生利用、生态环保型添加剂应用和替代、沥青拌和基地生产工艺改进和节能、优化混合料配合比设计等碳减排措施。通过项目分析, 基于各阶段、各分项的碳排放和占比数据, 采取一些碳减排措施后, 显示碳减排效果比较显著。

由于我国地域辽阔, 各地区存在较为明显的地域性材料、技术、管理等差异, 因此在相关工作中要结合实际情况进行碳排放计算和碳减排措施的研究。

参考文献:

[1] GB/T 51366—2019, 建筑碳排放计算标准[S].