

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.260323

沥青混合料全过程碳排放减排决策体系研究

罗冬进

[上海浦东路桥(集团)有限公司,上海市 200125]

摘要: 降碳减排不仅已经上升至国家战略,也成为各行各业重点研究与发展的方向。以沥青道路工程领域为例,道路材料及施工降碳减排已成为主要研究方向,并取得了一定的研究成果,但是鲜有关于基于沥青混合料全过程碳排放及决策研究。基于从材料准备到运行维护及拆除处置等 5 个阶段碳排放清单和计算因子,探讨与分析了占比率法、AHP 法和比较分析法 3 种碳排放权重计算方法,最终优选出计算简便、结果直观的占比率法,并结合碳排放清单和计算因子,分析与提出了材料准备、生产拌合、施工摊铺、运行维护和拆除处置的降碳减排措施,以期为行业践行降碳减排的社会责任提供一定的参考。

关键词: 沥青混合料;全过程;碳排放;权重计算;决策;措施

中图分类号: U414;TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)06-0152-03

Research on the Decision-making System for Carbon Emission Reduction throughout the Entire Process of Asphalt Mixture Production

LUO Dongjin

[Shanghai Pudong Road and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 201206, China]

Abstract: Carbon reduction and emission mitigation have not only risen to the level of national strategy but also become a key research and development focus across various industries. Taking the asphalt road engineering field as an example, carbon reduction and emission mitigation in road materials and construction have emerged as primary research directions, yielding certain achievements. However, there is a scarcity of studies on the full life-cycle carbon emissions and decision-making in asphalt mixtures. Based on the carbon emission inventory and calculation factors across five stages, including material preparation, operation and maintenance, and demolition disposal, three carbon emission weight calculation methods: the proportion method, the Analytic Hierarchy Process (AHP), and the comparative analysis method are discussed and analyzed in this paper. Ultimately, the proportion method which is simple to calculate and provides intuitive results is selected as the optimal approach. Combined with the carbon emission inventory and calculation factors, methods for material preparation, production mixing are analyzed and proposed in this paper. The carbon reduction and emission reduction measures for construction paving, operation maintenance, and demolition disposal are aimed at providing some reference for the industry to fulfill social responsibility of carbon reduction and emission reduction.

Keywords: asphalt mixture; whole process; carbon emissions; weight calculation; decision-making; measure

0 引言

在绿色低碳的国家大战略指导下,各行各业越来越重视降碳减排研究与实践。在沥青道路行业,相关研究人员总结了公路工程建设期各项生产活动产生的 6 类直接 CO₂ 排放,建立了基于区分企业碳排放管理责任的碳排放源分类体^[1-2]。部分学者以 LCA 模型为基础,将高速公路生命周期碳排放评价的基

本概念运用到高速公路碳排放核算和节能减排研究中,不仅研究了其碳排放特性,还研究了碳排放计算方法,对高速公路生命周期相关材料与能源进行清单统计和分析,建立高速公路全生命周期碳排放的核算模型^[3-9]。也有学者以高速公路某个阶段或某几个阶段为研究对象,研究沥青路面建设全周期内能耗、碳排放计算方法、预测模型、影响因素等^[10-13]。

综合以上各种研究成果,可知目前关于沥青混合料的碳排放研究主要集中于以 LCA 模型为基础,概要性测算能源消耗、碳排放量和碳排放方法。目前还缺集从生产到运维全过程的碳排放计算模型、

收稿日期: 2026-03-26

作者简介: 罗冬进(1986 年—),男,本科,工程师,从事市政高架、桥梁、管道和道路施工与管理工作。

决策方法、降碳措施等于一体的决策体系。因此,课题组根据沥青混凝土生产所需的原材料准备、原材料运输和混合料生产阶段的各项参数,可计算碳排放量数值,根据碳排放清单和计算因子,以及各自权重,以此为基础提出相应的碳排放减排策略和措施,期望构建集碳排放计算模型、决策方法、降碳措施等内容于一体的决策体系。

1 碳排放清单和计算因子确定

根据课题组前期研究成果^[14-15],得到其中的碳排放清单和计算因子如表 1 所示。

表 1 碳排放清单和计算因子

序号	分析阶段碳排放量	碳排放清单和计算因子
1	材料准备阶段碳排放量 E_A	原材料用量 G_i 原材料碳排放因子 C_{fi} 平均运输距离 D_{Ai}
	原材料运输到厂阶段碳排放量 E_{A2}	运输到厂单位重量及运输距离所消耗能源碳排放因子 Q_{Ai}
2	生产拌合阶段碳排放量 E_B	加热和拌合过程中的能源消耗量 EB_i
		加热和拌合过程中消耗能源的碳排放因子 P_{Bi}
3	成品运输阶段碳排放量 E_{C1}	沥青混合料成品出厂运输至现场的运输距离 DC 单位重量和运输距离所消耗能源的碳排放因子 Q_C
	施工摊铺阶段碳排放量 E_C	摊铺和碾压过程中施工机械所耗的台班数 T_{Ci}
	现场摊铺阶段碳排放量 E_{C2}	施工机械每台班所消耗能源的碳排放因子 PC_i
4	运行维护阶段碳排放量 E_D	运行维护车辆和设备台班数 T_{Di}
		运行维护车辆和设备每台班所消耗能源的碳排放因子 P_{Di}
5	拆除处置阶段 E_W	现场拆除阶段所需的施工机械台班数 T_{Wi}
		施工机械每台班所消耗能源的碳排放因子 P_{Wi}
		旧料外运的运输距离 D_W 运输到处置点的每单位重量和运输距离所消耗能源的碳排放因子 Q_W

2 碳排放权重计算和减排决策方法

碳排放减排决策措施的提出以各阶段、各项碳排放权重为重要基础,本次研究提出三种碳排放权重计算方法进行研究。

(1) 占比率法

占比率法是一种简单的量化计算方法。即计算各分项碳排放量占碳排放总量的比值,包括原材料准备碳排放量 E_{A1} 、原材料运输到厂碳排放量 E_{A2} 、生产拌合阶段碳排放量 E_B 、成品运输阶段碳排放量 E_{C1} 、现场摊铺阶段碳排放量 E_{C2} 、运行维护阶段碳排放量 E_D 、现场拆除阶段碳排放量 E_{W1} 、旧料外运阶段碳排放量 E_{W2} 与碳排放总量 CE 的比值,计得各占比率值 k_i 为:

原材料准备阶段碳排放量占比率: $k_1=E_{A1}/CE$;
原材料运输到厂阶段碳排放量占比率: $k_2=E_{A2}/CE$;
生产拌合阶段碳排放量占比率: $k_3=E_B/CE$;
成品运输阶段碳排放量占比率: $k_4=E_{C1}/CE$;
现场摊铺阶段碳排放量占比率: $k_5=E_{C2}/CE$;
运行维护阶段碳排放量占比率: $k_6=E_D/CE$;
现场拆除阶段碳排放量占比率: $k_7=E_{W1}/CE$;
旧料外运阶段碳排放量占比率: $k_8=E_{W2}/CE$ 。

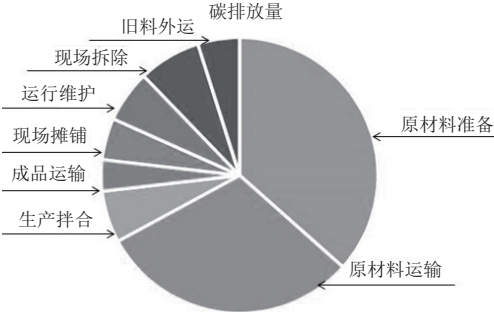


图 1 占比率法图示

将各分项碳排放量占比率数值 k_i 由大到小进行排序,优先根据权重大的分项,可为下一步分别从旧料利用、原料就近采购、清洁能源使用、改建施工工艺等方面提出减排对策和措施奠定基础。

(2) AHP 法

AHP 是“Analytic Hierarchy Process”的简称,也叫层次分析法。该分析方法通过深入分析问题的本质、影响因素以及内在关系,然后构建一个由目标层、因素层、因子层等组成的多层次结构模型,最终实现解决复杂决策问题的目的。

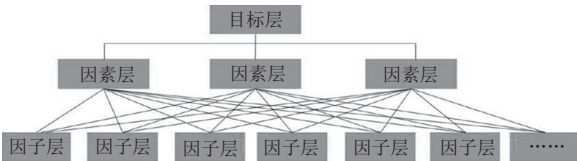


图 2 层次分析法图示

分析步骤如下:

第一步,构建层次结构模型。运用层次分析法构建层次结构模型,如表 2 所列。

表2 三层式结构模型

层次	准则	具体内容
第一层	目标层,A层	全生命周期总碳排放减排
第二层	因素层,B层	五个分阶段碳排放量减排
第三层	因子层,C层	各计算评估因子

第二步,构造比较判别矩阵。建立完成层次结构模型后,再据表3所列6个步骤计算权重值。

表3 评估因子权重值计算过程

步骤	实施内容
步骤1	从第一个准则层逐次向下,采用互比较法,确定不同因素对上一层因素影响的权重数
步骤2	用一个矩阵里面的某个元素 a_{mn} 表示下一层中第 m 个因素和第 n 个因素的相对重要性,并由 a_{mn} 构成判别矩阵 $A=(a_{mn})$
步骤3	根据评价因素,构建第一层对第二层的判断矩阵;根据评估因子,构造第二层对第三层的两两比较判别矩阵
步骤4	在单准则前提下,进行层次排序、检验一致性。根据判别矩阵来计算权重,采用和法、根法等方法计算权重,求出各比较判别矩阵的最大特征值和对应特征向量,然后得到单层次排序重要性权重向量、一致性指标CI和一致性比例CR
步骤5	进行层次总排序,检验一致性。通过矩阵分析计算第二层相对于总目标层的排序向量,第三层以第二层第 m 个因素为准则时的排序向量,并计算第三层相对于总目标层的排序向量,最后检验层次总排序的一致性是否符合要求
步骤6	根据第三层相对于总目标层的排序向量 W ,得到各评估因子重要性排序,得出权重值

(3)比较分析法

层次分析法是一种系统性的分析方法,比较适用于定量数据信息较少时的决策评价,但需要专家对重要性权数进行打分,存在一定的主观性特点。而占比率法是一种简单的量化计算方法,简易、直观、实用,在沥青混凝土路面碳排放核算过程中,已实现各项值的量化计算结果,因此本报告采用占比率法。

3 碳排放主要减排评价指标

通过对上述三种碳排放方法进行介绍与分析,可知其中占比率法更容易操作,评价过程与结果更加直观。因此,课题组选择占比率法。根据采用占比率法的碳排放权重计算结果,在将分项碳排放量占比率数值 k_i 由大到小排序,并提出减排对策和措施后,再进一步计算采取减排措施后的排放总量 $CE(g)$,并将 $CE(g)$ 与采取减排措施前的碳排放总量 CE 进行数值比差,量化计算减排效果,主要包括碳减排总量 ΔQ 和碳减排率 Δk 两项评价指标。

- 指标1-碳减排总量: $\Delta Q=CE-CE(g)$
- 指标2-碳减排率: $\Delta k=(CE-CE(g))/CE(g)$

4 碳排放减排的主要措施

据表1可以看出:

在材料准备阶段,主要因素是原材料的类型,原材料的方式和运输距离等。因此其碳排放减排的主要措施还是材料的选择,可采取就近采购、船运等低碳排放运输方式,尤其是低碳排放原材料替代和本地旧料再生利用等对策,推荐热再生沥青混凝土再生料掺配比例宜控制在10%~50%,冷再生沥青混凝土再生料掺配比例可达到70%~100%。

在生产拌合阶段,主要因素是加热和拌合过程中的能源类型和消耗量。因此其碳排放减排的主要措施还是低碳能源的选择和工艺改进,可采取生产拌合设备采用天然气等清洁能源,改进优化生产拌合工艺,以及采取温拌方式等对策,如发泡降黏类、有机降黏类、表面活性剂类等温拌技术,根据温拌技术类型控制生产温度降低幅度。

在施工摊铺阶段,主要因素是成品运输设备和距离、摊铺和碾压机械和能耗。因此其碳排放减排主要措施,可采取优化运输线路、合理规划运输方案,改进摊铺和碾压工艺,采取数字化操作方式避免重复碾压、降低能耗等对策。

在运行维护阶段,主要因素是运行维护车辆和设备的使用频率。因此要采用数字化管养手段,减少日常运行维护车辆和设备的使用,等对策,另外要加强路面的日常养护,避免路面损坏和重复维修。

在拆除处置阶段,应尽可能采取废旧料就地利用,或废旧料进厂再生利用等措施,减少碳排放。

参考文献:

[1] 上官洲境.公路工程建设期绿色低碳测算及施工评价指标体系研究[D].西安:长安大学,2024.

[2] 刘剑,周辉.绿色低碳公路评价指标体系研究与应用[J].山西建筑,2016,42(17):137-138.

[3] 裴冉冉.基于LCA的秦唐高速公路碳排放核算与碳达峰预测研究[D].天津:河北科技大学,2023.

[4] 李宇航.基于LCA高速公路隧道交通碳排放测算与特性分析研究[D].重庆:重庆交通大学,2026.

[5] 潘美萍.基于LCA的高速公路能耗与碳排放计算方法研究及应用[D].广州:华南理工大学,2011.

[6] 龙祖惠,吴佳润,何彬,等.基于组合LCA的高速公路全生命周期碳排放分析[J].科学技术创新,2026(2):185-188.

[7] 齐亚楠,邓万军.基于LCA的高速公路施工期碳排放量化边界界定[J].中国公路,2023(5):88-92.

[8] 叶书军,何强,梁峰.胶粉复合SBS改性沥青路面的减碳效果分析[J].石油沥青,2024,38(4):65-70.

[9] 刘淑芬.基于LCA的京沪高速与京沪高铁基础设施建设环境影

(下转第173页)