

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.07.058

全深式泡沫沥青冷再生技术减排效果测算分析

樊大志

(天津市交通运输基础设施养护集团有限公司, 天津市 300401)

摘要: 为定量评价全深式泡沫沥青冷再生技术节能降碳效果,分析了该技术的施工流程及优势,理清其在材料生产、运输、现场施工不同阶段可能的减排环节;基于 LCA 方法建立了全深式泡沫沥青冷再生沥青路面养护碳排放计算模型,结合天津大道养护工程案例,量化了该技术养护施工过程碳排放量,并与铣刨重铺技术进行了深入对比,结果表明相较于铣刨重铺,该技术减排量约 11.62 kg/m²,减排率可达 64.12%,降碳效果良好,具有较好的推广应用价值。

关键词: 全深式泡沫沥青冷再生;碳排放;减排效果;定量测算;绿色养护

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)07-0241-04

0 引言

随着道路养护高峰期来临,大规模的建养活动消耗巨量高耗能材料,使用柴油、汽油驱动的施工机械与运输设备,造成大量碳排放。为积极响应国家在交通建设领域提出的“双碳”行动号召,迫切需要推广绿色节能减排技术在道路养护中的应用,从工程实践的层面减少道路养护施工产生的碳排放和能源消耗。然而绿色养护技术的有效推广依赖于其节能减排的真实效果,因此,如何精准确定这些技术的排放源、排放特征及其节能减排的实际效果,已成为当前研究的重要方向。

全深式泡沫沥青冷再生技术,作为一种高效且环保的基层再生方法,具有较大的碳减排潜力^[1-3]。该技术对严重老化的沥青层进行部分或全部铣刨,随后对部分基层进行就地翻松,并掺入适量新矿料、泡沫沥青和水等材料,经过常温拌和、摊铺、压实等工序,实现了沥青路面就地再生利用。其不仅施工速度快、对交通干扰小,而且投入成本相对较低,近年来已成为工程应用研究的热点。

目前全深式泡沫沥青冷再生技术已开展示范应用,工程效益良好,但针对其减排效益定量化评估研究仍显不足^[4-6]。鉴于此,基于 LCA 方法建立了全深式泡沫沥青冷再生沥青路面养护碳排放计算模型,

结合天津大道养护工程案例,量化了该技术在各个环节的碳排放量,并与目前广泛应用的铣刨重铺技术进行了深入对比,以期全面分析全深式泡沫沥青冷再生技术在节能减排方面的显著优势,有助于技术推广。

1 技术优势及减排环节分析

1.1 技术优势

全深式泡沫沥青冷再生技术,在常温下拌和新集料、稳定剂和水,并通过摊铺、碾压等施工工序,实现路面的高效再生与原有路面材料的充分利用,其施工流程如图 1 所示。



图 1 全深式泡沫沥青冷再生技术施工流程

该技术不仅使老旧沥青路面材料得到有效利用,而且能在常温环境下施工,使道路废料废弃问题明显减少,显著降低环境污染,主要技术优势如下。

(1) 该技术可一次性将旧沥青路面面层与部分基层材料 100% 再生利用,同时将原有的半刚性基层沥青路面转换为柔性基层沥青路面,彻底解决了半刚性基层沥青路面反射裂缝问题,减少了沥青路面的早期损坏,延长了沥青路面的使用寿命。

(2) 工艺简单,机械化程度较高。可一次性完成铣刨、破碎、添加、拌和、摊铺作业、压实等施工过程,提高工作效率,缩短施工周期。同时避免了材料的来回

收稿日期: 2024-03-10

作者简介: 樊大志(1972—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事道路养护技术研究工作。

运输,减少交通影响以及材料粉尘对道路周围环境的影响。

(3)大幅降低成本。相较于传统施工方法,该技术能够充分利用原路面材料,经过综合评估,可节约四分之一的成本,具有显著的经济效益。

1.2 减排环节分析

全深式泡沫沥青冷再生技术相较于铣刨重铺,其可能的减排点主要涉及原材料生产、材料运输、现场施工三个环节,具体如下。

(1)原材料生产阶段

相较于传统的铣刨重铺,全深式泡沫沥青冷再生技术生产过程由于对旧料的100%利用,节约了大量的沥青和砂石材料,且生产过程无需加热,为可能的减排环节。但该技术还需要加入适量的水泥,确保再生混合料的成型强度和集配空隙率的稳定,为额外增加碳排放量的环节。

(2)材料运输阶段

一般材料运输阶段包括原材料运输、铣刨料运输、混合料运输等。由于全深式泡沫沥青冷再生铣刨后就地应用,无需经过场外拌合站进行搅拌生产,与铣刨重铺相比,大大减少了铣刨料运输及混合料运输过程中产生的碳排放。

(3)现场施工阶段

该技术无需进行旧路面结构层的挖除、清理、运输等工序,直接采用就地冷再生再生机,一次性实现铣刨、拌和、摊铺和碾压成型,机械能源消耗较少。且从现场施工角度而言,因在混合料生产过程中无需使用燃料进行加热,相较于拌和站,大大减少了能源(如重油)的消耗,其节能减排效益显著。

2 测算方法

2.1 计算边界

基于生命周期分析方法(LCA)^[7],将全深式泡沫沥青冷再生沥青路面养护施工的系统边界划分为原材料生产、材料运输、现场施工3个阶段,如图2所示。

2.2 计算模型

全深式泡沫沥青冷再生路面养护施工全过程碳排放量计算公式如下:

$$E = \sum_{i=1}^n Q_i F_i + \sum_{i=1}^n Q_i f_i D_i + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l T_j P_k f_k \quad (1)$$

式中: E 为全深式泡沫沥青冷再生路面养护施工全过程碳排放量,kgCO₂; i 为原材料类型, $i=1,2,3,\dots,n$; Q_i 为第*i*种原材料的总消耗量,t/m³; F_i 为第*i*种

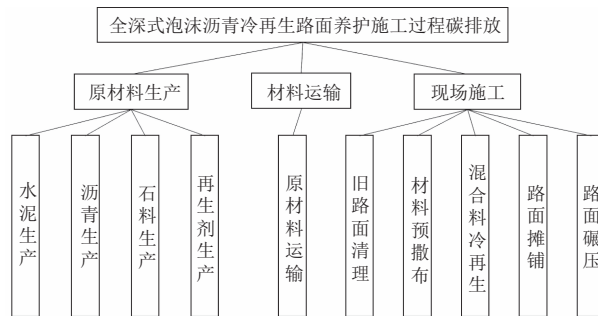


图2 全深式泡沫沥青冷再生路面养护施工过程划分

原材料在生产过程的碳排放因子,kgCO₂/t或kgCO₂/m³; D_i 为*i*种原材料的平均运输距离,km; f_i 为单位重量的第*i*种原材料单位运输距离产生的碳排放因子,kgCO₂/(t·km); j 为施工机械类型, $j=1,2,3,\dots,m$; k 为能源类型, $k=1,2,3,\dots,l$; T_j 为使用第*j*种施工机具耗费的工作时间总和,h; P_k 为单位工作时间内第*j*种施工机具使用第*k*种能源的消耗量(kg/h或kW·h); f_k 为第*k*种能源产生的碳排放因子,kgCO₂/kg或kgCO₂/kW·h。

采用减排率来表示全深式泡沫沥青冷再生技术相较于使用传统技术的减排效益,其计算公式如下:

$$P = \frac{E_2 - E_1}{E_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中: P 为使用全深式泡沫沥青冷再生技术较使用传统技术的减排率,%; E_2 为传统技术养护方案产生的碳排放量,kgCO₂; E_1 为全深式泡沫沥青冷再生养护方案产生的碳排放量,kgCO₂。

3 工程实例分析

3.1 项目概况

天津大道为连接天津中心市区和滨海新区的快速客运道路,此次修复养护范围为天津大道(K28+000—中央大道)段,全长8.59 km。采用全深式泡沫沥青冷再生技术对其进行14cm再生改造,再加铺10 cm沥青混凝土面层,保持路面标高不变,如图3所示。定义1 km单车道路面(14 cm再生层,3.8 m宽)为研究的功能单元,对比采用全深式泡沫沥青冷再生方案相较于传统铣刨重铺养护方案的减排效益,对比方案见表1。

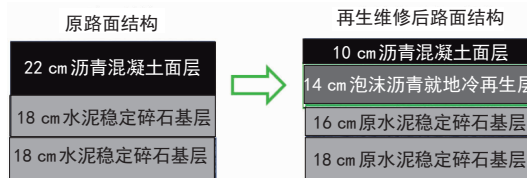


图3 天津大道全深式泡沫沥青冷再生养护方式路面结构

表1 对比方案情况

全深式泡沫沥青冷再生方案	铣刨重铺方案(对比)
14 cm(原沥青混凝土 12 cm+原水稳 2 cm)全深式冷再生	14 cm 铣刨后重铺 14 cm ATB-30

3.2 计算参数及取值

筑路材料、机械设备、运输车辆类型及其消耗量数据主要来源于项目养护施工图设计文件、预算文件及现场调研等。

3.2.1 原材料生产阶段

根据该工程旧路材料检测及再生混合料目标配合比设计情况,在全深式泡沫沥青冷再生技术中水泥掺量为 1.5%,泡沫沥青掺量为 3.2%;铣刨重铺采用的沥青碎石材料(ATB-25)等相关参数按《公路工程预算定额》(JTG/T 3832—2018)进行计算。旧路面沥青油石比为 2.8%,2 种养护方式对应的新路面油石比均为 3.2%。经计算,各类材料用量见表 2。

表2 对比养护方案原材料用量

原材料	全深式冷再生 /t	铣刨重铺 /t
泡沫沥青(70号)	30.67	—
石油沥青(70号)	—	43.92
集料(新料)	—	1 317.66
填充料(水泥/矿粉)	18.40	54.90

3.2.2 材料运输阶段

材料运距数据为实地调查得到,运输方式为 20 t 载货汽车,具体数据见表 3。

表3 材料运距及运输方式

原材料	运距 /m	运输方式
泡沫沥青(70号)	100	20 t 载货汽车
石油沥青(70号)	100	20 t 载货汽车
集料(新料)	120	20 t 载货汽车
填充料(水泥/矿粉)	120	20 t 载货汽车
铣刨料	30	20 t 载货汽车

3.2.3 现场施工阶段

机械设备耗能数据为现场调研或采用《公路工程机械台班费用定额》(JTG/T3833—2018)中的推荐值,具体数据见表 4。

3.2.4 碳排放因子数据

项目涉及的各类筑路材料的碳排放因子、施工机械使用燃料的碳排放因子数据见表 5。

3.3 结果分析

3.3.1 原材料生产阶段节能减排效果

对 2 种养护方案的原材料生产阶段碳排放量

表4 现场施工机械消耗能源情况

机械类别	型号规格	用时 /h		能源类型	能源消耗量 / [kg·(kWh) ⁻¹]
		全深式	铣刨重铺		
铣刨机	W195		5.1	柴油	130.1
8 t 自卸汽车			5.76	柴油	39.2
水车		3.7	4	柴油	18.9/20.4
沥青混合料拌合设备	240 t 以内		6.64	重油电	8582.49 3232.92
水泥撒布机	STREUMASTER	0.93		柴油	6.3
沥青罐车		3.70		柴油	31.5
履带式再生机	维特根 W380	3.70		柴油	220.4
装载机	山工 650	1.80	1.80	柴油	21.4
摊铺机	福格勒 S1880L	3.70	3.70	柴油	47.2
轮胎压路机	悍马 GRW280	2.78	2.78	柴油	47.3
单钢轮压路机	悍马 HD320	3.70	3.70	柴油	78.7
双钢轮压路机	悍马 HD138	2.78	2.78	柴油	33.1

表5 材料及能源碳排放因子清单

类别	名称	碳排放量 CO ₂ /kg
材料	改性沥青 /t	323.04 ^[8]
	泡沫沥青 /t	189.12 ^[8]
	集料 /m ³	3 ^[9]
	42.5 级水泥 /t	920.03 ^[7]
能源	矿粉 /t	84.4 ^[7]
	柴油 /kg	3.15 ^[10]
	电能 /(kW·h)	0.570 3
	重油 /kg	3.05 ^[10]

注:表中电能碳排放因子为国家生态环境部发布的 2022 年全国电网平均排放因子。

计算汇总(以 1 km 单车道路面(14 cm 再生层,共 3 800 m²)为研究功能单元),结果见表 6。

表6 原材料生产阶段 CO₂ 减排量 单位:kg/m²

材料类别	全深式冷再生(基准)	铣刨重铺(对比方案)	减排量
沥青	1.53	3.73	2.21
集料	0.00	0.61	0.61
水泥	4.46	0.00	-4.46
矿粉	—	1.22	1.22
材料生产减少碳排放			-0.42

3.3.2 运输阶段节能减排效果

对运输阶段碳排放进行计算,结果见表 7。

表 7 材料运输阶段 CO₂ 减排量 单位:kg/m²

运输类别	全深式冷再生(基准)	铣刨重铺(对比方案)	减排量
原材料	0.10	3.23	3.13
铣刨料	—	0.75	0.75
混合料	—	0.83	0.83
材料运输减少碳排放			4.71

(3)现场施工阶段节能减排效果

对现场施工各环节的碳排放量计算汇总,结果见表 8。

表 8 现场施工阶段 CO₂ 减排量 单位:kg/m²

施工环节	全深式冷再生(基准)	铣刨重铺(对比方案)	减排量
铣刨	—	0.16	0.16
混合料拌合	—	7.42	7.42
全深式再生	0.25	—	-0.25
摊铺	0.04	0.04	0.00
碾压	0.13	0.13	0.00
现场施工减少碳排放			7.59

(4)整体节能减排效果

对 2 种养护方式的碳排放总量进行汇总,对比结果如表 9、图 5 所示。结果表明采用全深式泡沫沥青冷再生方式,相较于铣刨重铺,减排量约 11.62 kg/m²,减排率可达 64.12%。

表 19 CO₂ 整体减排量 单位:kg/m²

碳排放量	全深式冷再生	铣刨重铺	减排量
原材料生产	5.98	5.56	-0.42
材料运输	0.10	4.81	4.71
现场施工	0.42	7.75	7.33
整体减少碳排放			11.62
减排率			64.12%

4 结 语

本研究结合全深式泡沫沥青冷再生技术优势特点,对其可能减排环节进行了详细分析,基于生命周

期理论将其系统边界划分为原材料生产、材料运输、现场施工 3 个阶段,构建了该技术养护施工全过程碳排放及减排效益计算模型。依托天津大道养护工程案例,结合工程实际调研,确定了全深式泡沫沥青冷再生技术节能减排效益测算的参数和取值,量化了该技术养护施工过程碳排放量,并与铣刨重铺技术进行了深入对比。结果表明:相较于铣刨重铺,全深式泡沫沥青冷再生养护技术在原材料生产阶段由于使用了高耗能材料水泥,碳排放量增加约 0.42 kg/m²;在材料运输阶段,由于节省了铣刨料、沥青混合料运输环节,减排量约 4.71 kg/m²;在现场施工阶段,相较于沥青拌合站等机械能源消耗低,减排量约 7.59 kg/m²。综合来看,其碳排放减排量约 11.62 kg/m²,减排率可达 64.12%,减排效果良好,符合交通领域双碳目标要求,具有较好的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 吴振亚.全深式就地冷再生技术应用研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [2] 陈喻军,季杰,黄亚琴.旧沥青路面全深式就地冷再生技术应用研究[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(11):114-116.
- [3] 江敏.全深式就地冷再生技术在宁夏 S101 线路面改造中的应用研究[D].西安:长安大学,2014.
- [4] 王宏.全深式水泥稳定就地冷再生基层应用与耐久性性能评价[J].公路,2019,64(6):1-8.
- [5] 陈小娟.全寿命周期成本下的沥青路面冷再生经济效益评价[J].兰州交通大学学报,2010,29(6):57-60.
- [6] 张丽岩.沥青路面就地冷再生定额成本方法研究[D].长春:吉林大学,2011.
- [7] 刘圆圆.基于 ALCA 的公路生命周期二氧化碳计量理论与方法研究[D].西安:长安大学,2019.
- [8] 孟良.基于 LCA 的黑龙江省沥青路面能耗与排放评估[D].哈尔滨:东北林业大学,2018.
- [9] 李頔.基于 LCA 的城市道路养护工程施工活动及交通影响碳排放研究[D].西安:长安大学,2019.
- [10] 城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2022.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com