

# 浅析路面大中修工程碳排放和碳减排措施

卢建光

(上海浦东建设股份有限公司,上海市 201206)

**摘要:** 为完善路面大中修工程设计决策方法体系,对路面大中修工程的碳排放计算和碳减排措施进行研究。以本地区路面大中修工程实践为例,针对现场路况和调查结果,在前期设计中提出 3 种路面维修方案,并进行比选增加了碳排放方面的对比分析。首先,确定以旧路翻挖外运、新料生产拌和、现场摊铺施工为碳排放计算范围,其次采用排放因子法针对不同设计方案的碳排放进行计算和汇总,对比各方案碳排放总量和上、下沥青面层各分层的碳排放,最后结合各阶段碳排放的占比情况,提出碳减排措施建议。

**关键词:** 路面大中修;碳排放;碳减排

**中图分类号:** U418.6

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)10-0182-05

## 0 引言

为应对全球气候变化,我国提出 CO<sub>2</sub> 排放力争于 2030 年前达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和;因此,坚定不移贯彻新发展理念,有效控制温室气体排放、统筹推进高质量发展,是近年来的重点工作之一。

建筑工程需消耗石油、矿石、钢材、水泥等材料,在施工和运营过程中还使用天然气、汽柴油等能源,是社会经济建设和发展中的碳排放源之一。其中,道路大中修工程建设中的沥青混凝土路面也在其生命周期内消耗不少资源和能源,产生碳排放。在“双碳”目标背景下,对路面大中修工程的碳排放计算和碳减排方案进行研究,有利于完善路面大中修工程设计决策方法体系,推进“绿色、低碳”新技术、新材料和新工艺的应用,降低路面大中修工程的碳排放量,加快行业实现“碳达峰”。

结合道路大中修工程实践案例,在方案设计中以旧路翻挖外运、新料生产拌和、现场摊铺施工过程为计算范围,提出计算原则和方法,进行基于过程的碳排放计算,对不同设计方案的碳排放量进行汇总和对比,并提出若干碳减排措施建议,以期今后路面大中修工程方案的综合评定和技术方案的决策提供一些经验借鉴。

收稿日期: 2023-11-07

作者简介: 卢建光(1979—),男,工学学士,高级工程师,从事市政和建筑工程施工管理工作。

## 1 项目概况

以本地区某道路路面大中修工程为例,道路等级为城市次干路,道路改造范围全长约 2.0 km,车行道宽 15 m,设计速度 40 km/h。现状道路为沥青混凝土路面,原设计路面结构组合采用 4 cm AC-13C(SBS 改性)细粒式沥青混凝土 + 8 cm AC-25C 粗粒式沥青混凝土 + 40 cm 水泥稳定碎石 + 15 cm 砾石砂。

道路自建成以来,经近 10 a 左右的运营,路面存在较多病害,沥青面层出现了多处裂缝、坑槽等,路况面貌陈旧,并有多处修补,道路平整度和行车舒适性受到影响。结合现状交通量调查和路况调研结果,PCI、RQI 等评价指标已不符合养护规定值,需对路面进行及时维修,满足提升道路路面服务水平的要求。

路面大中修设计的主要技术标准:

- (1)道路等级按城市次干路(维持现状);
- (2)设计速度按 40 km/h(维持现状);
- (3)路面结构设计使用年限(铣刨加罩)按 5 a;
- (4)路面荷载采用 BZZ-100 型标准轴载。

经路面弯沉测试评定和钻芯取样结果分析,评定路面结构强度、道路基层承载力满足要求,道路基层可保留利用。对照沥青路面整治结构设计决策树,主要设计对策为:对沥青面层进行两层式罩面。综合各方面因素,提出三个路面罩面维修方案进行比较。

方案一考虑基本维持原路面标高不变,在满足结

构强度要求的前提下,采用铣刨原有两层沥青混凝土面层,再加罩等厚度的 4 cmSMA-13C(SBS 改性)+ 8 cmAC-25C 粗粒式沥青混凝土。

方案二考虑为减少路面翻挖,实现快速施工,降低施工期间对交通的影响程度,在原路面标高基础上适当抬升,铣刨原 4 cmAC-13C(SBS 改性)沥青混凝土上面层一层,再加罩 4 cmSMA-13C(SBS 改性)+ 6 cmAC-20C 中粒式沥青混凝土。由于保留了原 8 cmAC-25C 粗粒式沥青混凝土下面层,实际方案二的路面结构承载力要强于方案一。

方案三是在方案二的基础上,对沥青混凝土混合料中的碎石集料采用本地区旧沥青路面铣刨料回收利用方案。

为进一步分析各方案在绿色、低碳方面的优劣,在方案比选中增加了从路面翻挖到摊铺施工过程的碳排放计算和对比分析。

## 2 方案的碳排放计算

### 2.1 计算原则

计算单位:项目的道路维修面积约为 30 000 m<sup>2</sup>,为便于计算和对比分析,以 100 m<sup>2</sup> 路面面积作为计算单位。

项目的碳排放计算范围为旧路翻挖外运、新材料生产拌和、现场摊铺施工 3 个阶段。

(1)旧路面翻挖外运阶段,指的是既有路面凿除、翻挖,并运输到指定堆放基地的全过程,主要由路面翻挖、旧料外运过程的碳排放组成。

(2)新材料生产拌和阶段,指的是材料开采并运输到混合料生产基地,进行生产拌和的全过程,主要由原材料准备和运输、混合料生产中沥青保温、混合料加热和拌和过程的碳排放组成。

(3)现场摊铺施工阶段,指混合料成品运输到施工现场,并进行现场摊铺和碾压成形的全过程,主要由成品运输、现场摊铺和压实过程的碳排放组成。

碳排放计算方法采用联合国政府间气候变化专门委员会(简称 IPCC)提出的排放因子法,基本计算方程为:碳排放 = 活动数据 × 碳排放因子。其中碳排放因子可采用 IPCC、国际机构和我国相关部门和机构等提供的已知数据(即缺省值),也可通过基于代表性的测量数据来推算。

### 2.2 路面维修方案一

#### (1)方案措施

铣刨原两层沥青混凝土面层 4 cmAC-13C(SBS

改性)和 8 cmAC-25C,再加罩等厚度的两层沥青混凝土面层 4 cmSMA-13C(SBS 改性)+8 cmAC-25C。

#### (2)旧料翻挖外运过程碳排放计算

将旧料翻挖外运过程拆分为路面铣刨、旧料运输两个阶段。以 100 m<sup>2</sup> 路面为计算单位,铣刨 4 cm AC-13(SBS 改性)上面层约产生 10 t 旧料,铣刨 8 cmAC-25C 下面层约产生 20 t 旧料。路面铣刨采用专用设备,废旧料采用车辆运输,运至约 50 km 外的堆放基地。

路面铣刨阶段的碳排放基本计算公式为:铣刨机所用台班数 × 每台班的能源消耗量 × 每台班所消耗能源的碳排放因子。

旧料运输阶段的碳排放基本计算公式为:旧料重量 × 运输距离 × 单位重量旧料和单位运输距离消耗燃料的碳排放因子。

旧料翻挖外运过程碳排放计算结果见表 1。

序号	工作阶段	碳排放	备注
1	路面铣刨(上面层)	155.85	铣刨机
2	路面铣刨(下面层)	251.59	铣刨机
3	旧料外运	243.00	车辆运输
合计		650.44	

#### (3)新材料生产拌和过程碳排放计算

将新材料生产拌和过程拆分为材料准备、材料运输、生产拌和三个阶段。

材料准备根据上下面层类型采用不同的配合比设计,材料包括沥青、碎石集料、矿粉、添加剂。摊铺 100 m<sup>2</sup> 路面约需生产 10 t 的 4 cm SMA-13C(SBS 改性)上面层和 20 t 的 8 cmAC-25 C 下面层。材料准备阶段的碳排放基本计算公式为:材料的消耗量 × 材料的碳排放因子。

上、下面层沥青混合料的配合比设计见表 2。

序号	工作阶段	上面层掺量 /%	下面层掺量 /%	运输方式
1	沥青	5.90	4.80	车运
2	碎石集料	83.50	88.30	船运
3	矿粉	10.30	6.90	船运
4	添加剂	0.30	0.00	车运

材料运输则根据材料来源地,采用车辆运输或船运等不同的运输方式和运输距离,项目的碎石集料和矿粉采购自外省市,沥青和添加剂采购自本地。材料运输阶段的碳排放基本计算公式为:材料重

量×运输距离×单位重量材料和单位运输距离消耗燃料的碳排放因子。

生产拌和过程碳排放与拌和基地的设备、工艺及能耗有关,项目主要消耗能源为电力和天然气。生产拌和阶段的碳排放基本计算公式为:能源消耗量×消耗能源的碳排放因子。

新料生产拌和过程碳排放计算结果见表3。

表3 方案一新料生产拌和过程碳排放 CO<sub>2</sub>e 单位:kg

序号	工作阶段	碳排放	备注
1	材料准备(上面层)	184.77	
2	材料准备(下面层)	279.59	
3	材料运输(上面层)	119.41	车辆运输
4	材料运输(下面层)	209.20	车辆运输
5	生产拌和(上面层)	198.69	
6	生产拌和(下面层)	397.36	
合计		1 389.02	

#### (4)现场摊铺施工过程碳排放计算

将现场摊铺施工过程拆分为成品运输、摊铺碾压两个阶段。

项目混合料成品运输采用车辆运输,运距约50 km。成品运输阶段的碳排放基本计算公式为:成品重量×运输距离×单位重量混合料和单位运输距离消耗燃料的碳排放因子。

摊铺碾压采用摊铺机、钢轮振动压路机等专用设备。摊铺碾压阶段的碳排放基本计算公式为:摊铺碾压设备所用台班数×每台班的能源消耗量×消耗能源的碳排放因子。

现场摊铺施工过程碳排放计算结果见表4。

表4 方案一现场摊铺施工过程碳排放 CO<sub>2</sub>e 单位:kg

序号	工作阶段	碳排放	备注
1	成品运输(上面层)	77.40	车辆运输
2	成品运输(下面层)	154.80	车辆运输
3	摊铺碾压(上面层)	288.82	专用设备
4	摊铺碾压(下面层)	716.18	专用设备
合计		1 237.20	

#### (5)总碳排放计算

方案一的碳排放 CO<sub>2</sub>e 合计为 3 276.66 kg,其中旧料翻挖外运阶段 CO<sub>2</sub>e 排放为 650.44 kg,新料生产拌和阶段 CO<sub>2</sub>e 排放 1 389.02 kg,现场摊铺施工阶段 CO<sub>2</sub>e 排放 1 237.20 kg。

### 2.3 路面维修方案二

#### (1)方案措施

铣刨原沥青混凝土上面层 4 cmAC-13C(SBS 改性),保留原下面层,再加罩两层沥青混凝土面层 4 cmSMA-13C(SBS 改性)+6 cmAC-20C。

#### (2)旧料翻挖外运过程碳排放计算

将旧料翻挖外运过程拆分为路面铣刨、旧料运输两个阶段。以 100 m<sup>2</sup> 路面为计算单位,铣刨 4 cm AC-13C(SBS 改性)上面层约产生 10 t 旧料。铣刨采用专用设备,废旧料采用车辆运输,运至约 50 km 外的堆放基地。

旧料翻挖外运过程碳排放计算结果见表5。

表5 方案二旧料翻挖外运过程碳排放 CO<sub>2</sub>e 单位:kg

序号	工作阶段	碳排放	备注
1	路面铣刨(上面层)	155.85	铣刨机
2	旧料外运	81.00	车辆运输
合计		236.85	

#### (3)新料生产拌和过程碳排放计算

摊铺 100 m<sup>2</sup> 路面约需生产 10 t 的 4 cm SMA-13C(SBS 改性)上面层和 15 t 的 6 cmAC-20C 下面层。其中上、下面层沥青混合料的配合比设计见表6。

表6 方案二上、下面层沥青混合料的配合比设计

序号	工作阶段	上面层掺量/%	下面层掺量/%	运输方式
1	沥青	5.90	4.40	车运
2	碎石集料	83.50	91.64	船运
3	矿粉	10.30	3.96	船运
4	添加剂	0.30	0.00	车运

新料生产拌和过程碳排放计算结果见表7。

表7 方案二新料生产拌和过程碳排放 CO<sub>2</sub>e 单位:kg

序号	工作阶段	碳排放	备注
1	材料准备(上面层)	184.77	
2	材料准备(下面层)	194.94	
3	材料运输(上面层)	119.41	车辆运输
4	材料运输(下面层)	137.42	车辆运输
5	生产拌和(上面层)	198.69	
6	生产拌和(下面层)	298.03	
合计		1 133.26	

#### (4)现场摊铺施工过程碳排放计算

现场摊铺施工过程碳排放计算结果见表8。

#### (5)总碳排放计算

方案二的碳排放 CO<sub>2</sub>e 合计为 2 389.57 kg,其中旧料翻挖外运阶段的碳排放 CO<sub>2</sub>e 为 236.85 kg,新料生产拌和阶段碳排放 CO<sub>2</sub>e 为 1 133.26 kg,现场摊

表8 方案二现场摊铺施工过程碳排放 CO<sub>2</sub>e 单位:kg

序号	工作阶段	碳排放	备注
1	成品运输(上面层)	77.40	车辆运输
2	成品运输(下面层)	116.10	车辆运输
3	摊铺碾压(上面层)	288.82	专用设备
4	摊铺碾压(下面层)	537.14	专用设备
合计		1 019.46	

摊铺施工阶段碳排放 CO<sub>2</sub>e 为 1 019.46 kg。

### 2.4 路面维修方案三

#### (1) 方案措施

方案三是在方案二基础上采用本地区旧沥青路面铣刨料回收利用方案,作为原材料中的碎石集料使用。

#### (2) 旧料翻挖外运过程碳排放计算

方案三旧料翻挖外运阶段碳排放同方案二, CO<sub>2</sub>e 为 236.85 kg。

#### (3) 新料生产拌和过程碳排放计算

方案三和方案二的生产拌和阶段碳排放主要区别在于材料准备和材料运输过程的碳排放计算范围不同,方案三的碎石集料采取本地旧料利用方式,可不计其材料准备碳排放,仅需计算材料运输过程的短距离运输到厂的碳排放。

方案三沥青混合料生产拌和过程碳排放计算结果见表9。

表9 方案三新料生产拌和过程碳排放 CO<sub>2</sub>e 单位:kg

序号	工作阶段	方案三碳排放
1	材料准备(上面层)	166.57
2	材料准备(下面层)	164.97
3	材料运输(上面层)	63.05
4	材料运输(下面层)	44.63
5	生产拌和(上面层)	198.69
6	生产拌和(下面层)	298.03
合计		935.94

#### (4) 现场摊铺施工过程碳排放计算

方案三现场摊铺施工过程碳排放同方案二, CO<sub>2</sub>e 为 1 019.46 kg。

#### (5) 总碳排放计算

方案三的碳排放量 CO<sub>2</sub>e 为合计为 2 192.25 kg,其中旧料翻挖外运阶段碳排放 CO<sub>2</sub>e 为 236.85 kg,新料生产拌和阶段碳排放 CO<sub>2</sub>e 为 935.94 kg,现场摊铺施工阶段 1 019.46 kg。

### 2.5 方案对比

#### (1) 各方案碳排放对比

各方案碳排放对比见表10。以 100 m<sup>2</sup> 路面为计算单位,方案一和方案二的差值 CO<sub>2</sub>e 为 887.09 kg。本项目的道路维修面积约为 30 000 m<sup>2</sup>,方案二实际较方案一可减少碳排放总量 CO<sub>2</sub>e 约 2 661.27 万 kg。方案二较方案一主要减少了旧路面铣刨量以及旧料外运,因此碳排放有较大减少,降低碳排放约 27%,效果显著。

通过方案一和方案二对比分析也可以看出,铣刨两层旧沥青混凝土面层,再加罩等厚度两层沥青混凝土面层的设计方案,在碳排放上处于劣势。而当道路有条件适当抬升时,可以采取铣刨一层旧沥青混凝土面层的方案,以减少路面铣刨量,减少旧料外运量,降低碳排放;由于保留了一部分原沥青混凝土结构,其结构强度也强于前一方案;另可实现快速施工,减少对交通运行的影响,优势较为明显。

通过表10中的数据对比也可以看出,由于方案三采取本地旧料利用措施,以 100 m<sup>2</sup> 路面为计算单位,方案二和方案三的 CO<sub>2</sub>e 差值为 197.32 kg。方案三较方案二降低碳排放约 8.2%,较方案一降低碳排放约 33%,效果更为显著。

表10 各方案碳排放 CO<sub>2</sub>e 对比 单位:kg

序号	工作阶段	方案一碳排放	方案二碳排放	方案三碳排放	方案一 二差值	方案二 三差值
1	旧料翻挖外运	650.44	236.85	236.85	413.59	0
2	新料生产拌和	1 389.02	1 133.26	935.94	255.76	197.32
3	现场摊铺施工	1237.2	1 019.46	1 019.46	217.74	0
4	合计	3 276.66	2 389.57	2 192.25	887.09	197.32

#### (2) 各方案上、下沥青面层碳排放对比

为进一步掌握各加罩面层的碳排放情况,分别计算各方案上、下面层的碳排放,具体见表11。可以看出,以 100 m<sup>2</sup> 路面为计算单位,方案二、三 4 cm SMA-13C(SBS 改性)上面层采取旧料利用后,较方案一减少碳排放 CO<sub>2</sub>e 为 74.56 kg,降低约 8.6%;方案二 6 cm AC-20C 下面层较方案二 8 cm AC-25C 减少碳排放 CO<sub>2</sub>e 为 473.5 kg,降低约 26.9%,方案三 6 cm AC-20C 下面层采取旧料利用后,较方案二减少碳排放 CO<sub>2</sub>e 为 122.76 kg,降低约 9.6%。

#### (3) 结论

在不同的方案措施下,碳排放的情况各不相同。

表 11 各方案上、下面层碳排放 CO<sub>2</sub>e 对比

单位:kg

序号	工作阶段	方案一上面层碳排放	方案二、三上面层碳排放	方案一下面层碳排放	方案二下面层碳排放	方案三下面层碳排放
1	材料准备	184.77	166.57	279.59	194.94	164.97
2	材料运输	119.41	63.05	209.20	137.42	44.63
3	生产拌和	198.69	198.69	397.36	298.03	298.03
4	成品运输	77.40	77.4	154.80	116.1	116.1
5	摊铺碾压	288.82	288.82	716.18	537.14	537.14
	合计	869.09	794.53	1 757.13	1 283.63	1 160.87

在目前背景下,有必要在方案设计和比选中补充有关于碳排放计算内容,在同等条件下,建议选择碳排放较少的方案。

### 3 碳减排措施建议

以路面维修方案二为例,其旧料翻挖外运阶段的碳排放占比约 9.9%,新料生产拌和阶段的碳排放占比约 47.4%,现场摊铺施工阶段的碳排放占比约 42.7%。其中材料准备、生产拌和摊铺碾压等细分阶段的碳排放占比均较大,主要是由于材料远距离采购和运输、生产基地天然气能耗大、摊铺碾压机械设备耗燃料高等造成。

因此,在实际工作中可结合本地区情况,采取本地区旧料回收利用(如上述方案三采取的措施,旧

料回收利用作为碎石集料使用)、改进拌和基地生产工艺(减少拌和设备能耗)、数字化施工(摊铺碾压过程智能化控制)等措施,有效降低计算过程的碳排放。

### 4 结 语

为积极响应“双碳”目标理念和要求,建议将碳排放计算和碳减排措施等内容纳入道路路面大中修工程的方案设计中,并将碳排放作为技术方案比选的主要内容之一。

为实现基于过程的碳减排目标,按碳排放的组成和占比,可进一步结合本地区特点提出合理的碳减排措施,并分析采取措施后的碳减排效果,为管理和建设部门提供决策依据。

---

## 《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

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