

厂拌乳化沥青冷再生混合料节能减排效果分析^{*}刘娜¹, 杨发林²

(1.河南省交通科学技术研究院有限公司, 河南 郑州 450006; 2.郑州市市政工程勘测设计研究院, 河南 郑州 450052)

摘要: 为分析厂拌乳化沥青冷再生的节能减排效果, 利用厂拌乳化沥青冷再生混合料替代热拌沥青混合料作为路面下面层材料, 结合实体工程, 对比分析厂拌乳化沥青冷再生和挖除重建两种路面维修方案的能源消耗、有害气体排放。结果表明, 采用厂拌乳化沥青冷再生混合料替代热拌沥青混合料作为路面下面层材料, 可以节约能耗 64.4%, 二氧化碳减排 26.23%, 氮氧化物减排 24.53%, 二氧化硫减排 22.37%, 一氧化碳减排 14.52%, 节能减排效果明显; 其节能主要在于厂拌冷再生减少了混合料的加热生产及施工。

关键词: 工程经济; 乳化沥青; 厂拌冷再生; 节能减排

中图分类号: U415.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)02-0149-04

近年来, 中国道路事业快速发展, 道路养护任务逐年加重, 沥青路面再生技术作为一种绿色、低碳的节能减排型技术, 在沥青路面建设、养护中得到推广应用。相关研究表明, 相对于传统的挖除重建道路养护技术, 厂拌乳化沥青冷再生可节约能源消耗、减轻有害气体排放。但目前国内对厂拌冷再生的节能减排效益的认识仅停留在宏观分析方面, 并未进行系统的量化分析与评价。在国家大力倡导绿色低碳、节能环保的大前提下, 对厂拌乳化沥青冷再生在实体工程中的能耗、有害气体排放等进行检测与分析具有重要意义。

1 调研及分析方法

1.1 调研方法

(1) 依托工程概况。能耗和排放数据调研的依托工程为河南省信阳市某干线公路改建工程, 公路等级为二级, 采用两种路面结构维修方案(见图 1), 其中厂拌乳化沥青冷再生混合料配合比为 RAP 90%+新集料 10%, 水泥和乳化沥青外掺用量分别

为 1.5%、4.0%; 热拌沥青混合料(AC-25C)的沥青用量为 4.0%。

(2) 施工设备的能源消耗。施工设备的能源消耗种类主要有柴油、重油及电能等, 计算时将上述能源转化为统一的能量单元(见表 1)。对具体运行中的机械采取人工记录的方式, 记录内容包括发动机排量、转速、型号、耗油量、工作时间、工作效率、使用能源种类等。

表 1 能源数据

能源类型	消耗量
电能/[MJ·(kW·h) ⁻¹]	6.12
重油/(MJ·L ⁻¹)	41.84
柴油/(MJ·L ⁻¹)	38.77

(3) 废气排放。采用烟气分析仪对排放数据进行实地检测, 施工阶段废气排放检测时仅对速度缓慢或停止设备进行检测。对于无法实地测量的设备, 在设备静止时空挡踩油门直至速度或转速与施工一样时测量。

(4) 混合料密度。所用材料的密度见表 2。

表 2 混合料密度

混合料类型	密度/(kg·m ⁻³)
沥青混合料及铣刨料	2.45
厂拌乳化沥青冷再生混合料	2.17

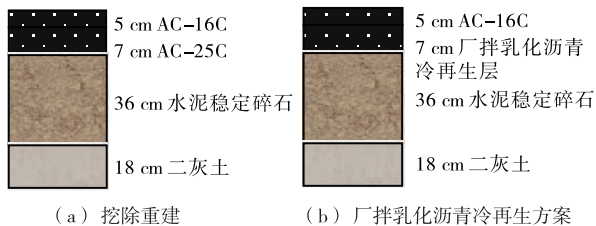


图 1 路面结构维修方案

1.2 分析方法

对两种路面维修方案的能耗、有害气体排放等

^{*} 基金项目: 河南省交通运输厅科技项目(2014Z04; 2015-02-05)

指标进行定量计算与分析,评价厂拌乳化沥青冷再生技术的节能减排效益。

(1) 再生利用量 R 。评价厂拌乳化沥青冷再生对废弃材料(包括废旧沥青和废弃集料)的再生利用情况,即对自然资源的节约情况,按式(1)计算。

$$R = H \times \gamma \quad (1)$$

式中: R 为沥青路面废旧材料的再生利用量(kg/t); H 为厂拌乳化沥青冷再生混合料质量; γ 为废旧材料掺量。

(2) 能耗 E 。评价对能源的消耗情况,根据施工时机械设备使用的不同能源(如电能、重油和柴油等)按式(2)计算其能耗量。

$$E = \sum M_i \times e_i + \sum m_i \times c_i \quad (2)$$

式中: E 为沥青路面维修所需能耗(MJ/t); M_i 为第*i*种原材料的质量; e_i 为第*i*种原材料单位质量生产能耗; m_i 为施工中第*i*种能源消耗质量; c_i 为第*i*种能源热值。

(3) 有害气体。评价有害气体(主要包括二氧

化碳 CO_2 、氮氧化物 NO_x 、二氧化硫 SO_2 和一氧化碳 CO 等)在路面大中修中的排放量,按式(3)计算。

$$G = \sum M_i \times g_i + \sum m_i \times s_i \quad (3)$$

式中: G 为沥青路面养护产生的有害气体排放; g_i 为第*i*种原材料单位质量生产产生的有害气体; s_i 为第*i*种能源单位质量消耗产生的有害气体。

2 计算与分析

两种路面维修方案的主要区别在于下面层材料不同,挖除重建采用 AC-25C 热拌沥青混合料,厂拌乳化沥青冷再生方案采用厂拌乳化沥青冷再生混合料,故针对不同下面层材料进行废旧材料再生、能耗、有害气体排放对比分析。

2.1 能耗计算与分析

能耗测算主要分为原材料能耗、运输能耗及施工能耗 3 个阶段,结合该工程调研结果,按式(2)计算不同路面结构维修方案下面层材料的能源消耗,计算结果见表 3、图 2、图 3。

表 3 两种路面维修方案能耗计算结果

阶段	挖除重建方案的能耗		厂拌乳化沥青冷再生方案的能耗	
	能耗/(MJ·t ⁻¹)	百分比/%	能耗/(MJ·t ⁻¹)	百分比/%
原材料能耗	288.0	36.7	240.9	86.3
运输能耗	66.1	8.4	17.6	6.3
施工能耗	430.1	54.8	20.7	7.4
合计	784.2	100.0	279.2	100.0

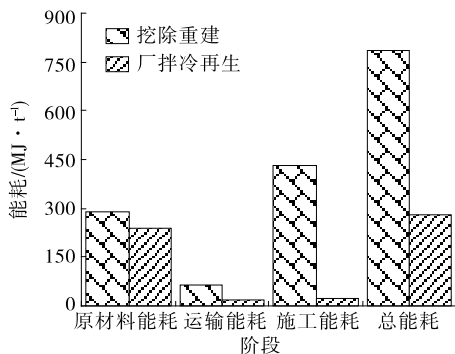


图 2 两种路面维修方案各阶段能耗对比

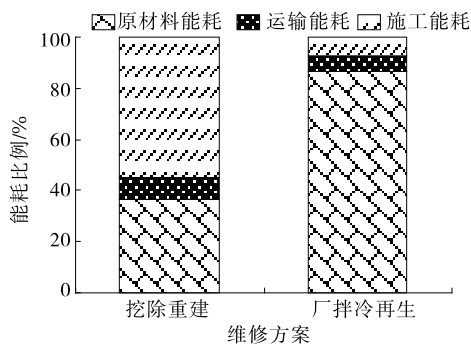


图 3 两种路面维修方案各阶段能耗组成对比

由表 3、图 2、图 3 可知:1) 对于挖除重建方案,施工阶段的能源消耗较多,占总能耗的 54.8%,原材料能耗占 36.7%,运输能耗仅占 8%,主要是由于热拌沥青混合料的拌和、保温等工艺会消耗大量能源。2) 厂拌乳化沥青冷再生方案主要为原材料能耗,占总能耗的 86.3%,运输与施工阶段能耗仅占 13.7%,

主要是由于厂拌冷再生混合料在常温下拌和、摊铺及碾压,施工能耗大大降低。3) 在原材料能耗阶段,相对于热拌沥青混合料,厂拌乳化沥青冷再生混合料节省能源消耗 16.4%,主要是由于厂拌乳化沥青冷再生混合料再生利用废旧沥青路面材料,节省了生产沥青、集料等所需能源消耗。4) 在运输能耗

阶段,相对于热拌沥青混合料,厂拌乳化沥青冷再生混合料节省能源消耗 73.4%,主要是由于冷再生混合料节省了部分原材料运输及混合料保温运输所需能源消耗。5) 在施工能耗阶段,相对于热拌沥青混合料,厂拌乳化沥青冷再生混合料节省能源消耗 95.2%,主要是由于冷再生混合料在常温下拌和、摊铺及碾压,减少了热拌沥青混合料加热拌和、摊铺及碾压产生的能耗,节能效果显著。

综上,乳化沥青冷再生方案在 3 个阶段的能源

消耗均小于挖除重建方案,且其单位总能耗为挖除重建方案的 35.6%,即厂拌乳化沥青冷再生方案可节约能源消耗近 64.4%,相较于挖除重建方案,厂拌冷再生节能效果明显。

2.2 排放计算与分析

有害气体排放测算主要包括 CO₂、NO_x、SO₂、CO,主要针对原材料生产、运输及施工 3 个阶段。根据该工程检测数据,按式(3)分别计算两种路面维修方案下面层材料的排放,结果见表 4、图 4~7。

表 4 两种路面维修方案下面层材料各阶段排放计算结果 kg/m³

阶段	挖除重建方案的排放				厂拌乳化沥青冷再生方案的排放			
	CO ₂	NO _x	SO ₂	CO	CO ₂	NO _x	SO ₂	CO
原材料生产	51.45	0.50	0.66	0.58	51.86	0.39	0.57	0.52
运输	1.26	0.00	0.03	0.02	0.25	0.00	0.01	0.00
施工	20.69	0.03	0.07	0.02	2.03	0.01	0.01	0.00
合计	73.40	0.53	0.76	0.62	54.14	0.40	0.59	0.53

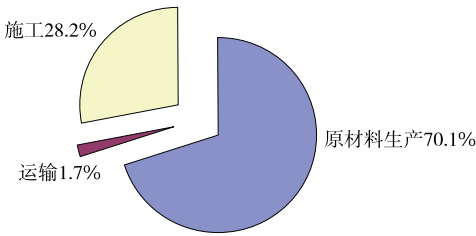


图 4 挖除重建方案各阶段 CO₂ 排放比例

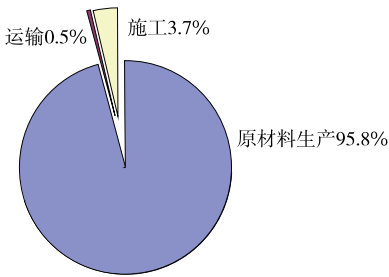


图 5 厂拌乳化沥青冷再生方案各阶段 CO₂ 排放比例

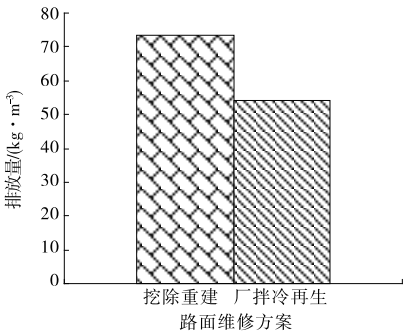


图 6 两种路面维修方案 CO₂ 排放对比

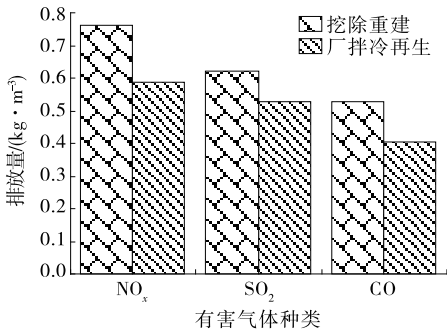


图 7 两种路面维修方案其他有害气体排放对比

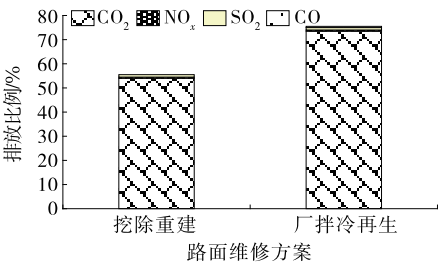


图 8 两种路面维修方案有害气体排放比例对比

由表 4、图 4~7 可知:1) 对于挖除重建方案, CO₂ 排放量最多,占有害气体排放总量的 90.3%,其他气体仅占 9.7%。3 个阶段中,原材料生产阶段 CO₂ 排放最多,占 CO₂ 总排放量的 70.1%;施工阶段次之,占 28.2%;运输阶段最少,仅占 1.7%。2) 对于厂拌乳化沥青冷再生方案,排放量最多的气体是 CO₂,占有害气体排放总量的 97.5%,其他气体仅占 2.5%。3 个阶段中,原材料生产阶段 CO₂ 排放最

多,占CO₂总排放量的95.8%;施工阶段次之,占3.7%;运输阶段最少,仅占0.5%。3)在原材料生产阶段,厂拌乳化沥青冷再生混合料CO₂排放量与热拌沥青混合料相当,虽然厂拌冷再生利用废旧沥青路面材料节省了部分石料的生产排放,但厂拌冷再生混合料需掺加一定比例的水泥来提高混合料性能,原材料生产阶段增加了水泥生产排放;其他3种有害气体,厂拌冷再生混合料相对于热拌沥青混合料减少NO_x排放22%、SO₂排放13.6%、CO排放10.3%。厂拌乳化沥青冷再生方案在原材料生产阶段对于CO₂的减排效果不明显,但其他有害气体的减排效果较明显。4)在运输阶段,相对于热拌沥青混合料,厂拌乳化沥青冷再生混合料的各种有害气体排放量均较少,其中CO₂、SO₂、CO排放分别减少80.12%、66.7%、100%,厂拌乳化沥青冷再生方案在运输阶段对有害气体的减排效果明显。这主要是由于厂拌冷再生混合料节省了部分原材料运输。5)在施工阶段,相对于热拌沥青混合料,厂拌乳化沥青冷再生混合料的CO₂、NO_x、SO₂、CO排放分别减少90.19%、66.67%、85.7%、100%,厂拌乳化沥青冷再生方案在施工阶段对CO₂的减排效果显著,对其他有害气体的减排效果也非常明显。这主要是由于厂拌乳化沥青冷再生混合料在常温下拌和、摊铺及碾压,减少了热拌沥青混合料加热拌和、摊铺及碾压产生的有害气体排放。6)两种方案均为原材料生产阶段有害气体排放占比最大,施工阶段次之,运输阶段最少。

综上,相对于挖除重建方案,厂拌乳化沥青冷再生方案下面层可减少CO₂排放26.23%、NO_x排放24.53%、SO₂排放22.37%、CO排放14.52%,厂拌冷再生减排效果显著。

2.3 再生利用量计算与分析

该工程路面宽度15 m,厂拌乳化沥青冷再生方案实施6 km,结合表2所示材料密度,计算得厂拌乳化沥青冷再生混合料需求量为1.4万t。按照式(1)计算,得废旧沥青路面材料的再生利用量 $R=1.26$ 万t。

按2.5 m堆砌高度计算,废弃旧沥青路面材料1.26万t需额外占用土地约2 800 m³,且长期堆砌会对周边土壤及地下水造成污染。

综上,再生利用废旧沥青路面材料1万t,可节约土地2 200 m³,并可防止废旧材料污染土壤及水资源。

3 结论

结合实体工程,该文对比分析了厂拌乳化沥青冷再生方案与挖除重建方案采用不同下面层材料、工艺时,在原材料生产阶段、运输阶段及施工阶段的能源消耗与有害气体排放,得出如下结论:

(1)传统的挖除重建方案,施工阶段的能源消耗较多,占总能耗的54.8%,原材料能耗占36.7%,运输能耗仅占8%;厂拌乳化沥青冷再生方案可大大减少施工阶段能耗,其原材料能耗较多,占总能耗的86.3%。对比两种方案在3个阶段的能源消耗,厂拌乳化沥青冷再生方案的能源消耗均小于挖除重建方案,其单位总能耗为挖除重建方案的35.6%,厂拌乳化沥青冷再生方案可节约能源消耗近64.4%,相较于挖除重建方案,其节能效果显著。

(2)两种维修方案的有害气体排放均为CO₂排放量最多,其中挖除重建方案CO₂排放量占有害气体排放总量的90.3%,厂拌乳化沥青冷再生方案占97.5%。两种方案的有害气体排放均为原材料生产阶段排放量占比最大,施工阶段次之,运输阶段最少。相对于挖除重建方案,厂拌乳化沥青冷再生方案下面层材料可减少CO₂排放26.23%、NO_x排放24.53%、SO₂排放22.37%、CO排放14.52%,厂拌冷再生减排效果显著。

(3)按2.5 m堆砌高度计算,再生利用废旧沥青路面材料1万t,可节约土地2 200 m³。

参考文献:

- [1] 拾方治,马卫民.沥青路面再生技术手册[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [2] Guillermo Thenoux, Álvaro González, Rafael Dowling. Energy consumption comparison for different asphalt pavements rehabilitation techniques used in Chile [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2007, 49(4).
- [3] 高莉,朱浩然,蔡海泉.沥青路面再生技术环境效益定量评价[J].中外公路,2016,36(4).
- [4] 秦永春,黄昌颂,徐剑,等.温拌沥青混合料节能减排效果的测试与分析[J].公路交通科技,2009,26(8).
- [5] The European Bitumen Association. Life cycle inventory; bitumen [M]. Brussels: Boulevard du Souverain, 2011.
- [6] 中国统计局.中国能源统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011.
- [7] 石小培.沥青路面全寿命周期能耗研究[D].北京:北京

(下转第156页)

3.4 提升养护规范化管理水平

交通运输部每隔5年会对全国公路养护管理质量进行一次大检查,主要检查内容为路况和管理规范化。其中管理规范化检查明确要求各省级交通运输管理部门按照JTGH20—2007《公路技术状况评定标准》的要求定期开展公路技术状况检测评价,并对公路技术状况评定情况进行考核。湖南省公路管理局从2010年起定期对全省公路开展年度路况检测,每年保质保量地向交通运输部提交年度公路技术状况检测评价数据,较好地满足了“十二五”期间交通运输部管理规范化要求。同时在多年养护检测实践的基础上,于2017年出台《湖南省公路养护检测与评定工作制度》,在省级层面以制度的形式明确各级交通运输主管部门和公路管理机构在养护检测与评定中的职责,提出公路技术状况检测评定内容、指标及组织实施要求,使养护检测规范化和制度化日趋完善。

3.5 严格考核各市州养护管理成效

路况检测结果是每年干线公路养护考核的重要组成部分:一是路况检测结果作为年度养护考核通报的重要组成部分,以检测评价结果形成路况通报与排名;二是路况检测结果每年在养护考核中占60分;三是路况结果优良率是计算小修保养分数的重要依据。通过每年的路况检测评价,掌握湖南省路面发展变化情况,了解每年各市州国省干线公路的服务水平,考核各市州每年的路面管养及养护目标完成情况,为年度养护考核提供依据,对不能完成年度路况目标的市州进行通报并督办,促进各市州公路养护的稳健发展。通过路况检测,提出各市州在日常养护中存在的问题并进行原因分析,提出下一步工作建议,督促各市州严格按照湖南省公路管理局相关要求做好日常养护,杜绝弃养待修现象,确保国省干线公路路况稳定。

3.6 科学指导养护资金投入

根据每年的技术状况检测结果,湖南省公路管理局有针对性地对中、次、差路开展大中修处治设计,大幅降低中、次、差路比例,提高干线公路整体服

务水平。2010—2016年,大中修计划里程(养护计划资金)与路况检测评定的大中修需求里程拟合度越来越高,路况检测评价分析有效辅助了年度养护计划的下达和养护资金安排。

从全省各市州、各线路路况检测结果来看,大中修投入力度大的地区和线路,路况水平上升明显;小修对路况水平的提升具有重要意义。对于水泥路的断板类病害、沥青路面的裂缝类病害,如果及时进行灌缝或修补,则能有效提升路况评分。路面的保洁情况对平整度水平有较大影响,在其他路况相同的情况下,路面不洁、砂石或泥土较多的路面,平整度指标明显偏低。

3.7 全面促进路况国检成绩提升

通过迎国检路况外业检测及评价,可摸清全省国省干线公路的家底,掌握湖南省国省道干线公路大致得分情况,分析国检可能的扣分原因,为预估湖南省国检成绩提供可靠基础数据。通过预先了解国检路段的路况水平,才能采取行之有效的应对措施,为全省国检路段计划与处治措施安排提供依据。

3.8 有效指导路面设计与施工

通过路况检测,对路网改扩建新建路面及大中修新建路面的性能进行长期跟踪观测,可分析设计、施工和养护中存在的问题并进行改进。通过对不同施工队伍施工路段的中长期路面状况统计分析,可比选不同施工单位的施工质量和施工水平,为招投标比选提供依据。通过路况检测,可发现路面早期病害情况,对比分析不同养护措施的路用性能和费用效益,如直接加铺罩面与就地冷再生的性能比选,为大中修养护方案决策提供依据。

参考文献:

- [1] JTGH20—2007,公路技术状况评定标准[S].
- [2] JTGH10—2009,公路养护技术规范[S].
- [3] 李伟.检测技术在路面养护检测评价与养护设计中的应用[J].公路交通科技:应用技术版,2017(6).

收稿日期:2018—06—18

(上接第152页)

工业大学,2016.

- [8] 余秋鹏.泡沫沥青厂拌冷再生的节能减排效果分析[J].上海公路,2011(3).
- [9] 张争奇,张苛,姚晓光,等.厂拌热再生技术能耗与排放

量化分析[J].江苏大学学报:自然科学版,2015,36(5).

- [10] 李玉梅,周春雨,刘柳,等.绿色道路技术节能减排量化分析[J].公路交通科技:应用技术版,2018(7).

收稿日期:2018—11—09