

# 温拌剂不同使用方法对AC-13沥青混合料性能影响试验研究

江照伟<sup>1,2</sup>, 刘航<sup>3</sup>, 段美栋<sup>3</sup>, 孙强<sup>1,2</sup>, 李夏<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>山东省交通科学研究院, 山东 济南

<sup>2</sup>高速公路养护技术交通行业重点实验室(济南), 山东 济南

<sup>3</sup>山东高速股份有限公司, 山东 济南

Email: 86799314@qq.com

收稿日期: 2021年1月28日; 录用日期: 2021年2月12日; 发布日期: 2021年2月25日

## 摘要

为研究自研温拌剂L不同使用方法对沥青混合料性能的影响, 对各混合料进行了压实特性、高温、水稳定性和低温性能试验, 结果表明: 1#WMA、2#WMA成型温度可降低25℃、40℃, 压实特性与热拌混合料无异且动稳定度提高19.3%、13.1%; 三组混合料马歇尔残留稳定度差别不大, 但2#WMA的TSR明显更低并接近规范下限, 建议以TSR作为水稳定性评价指标以策安全; 以0#HMA为基准, 1#WMA、2#WMA的弯拉破坏强度降低9.9%、29.9%, 弯拉应变降低5.5%、26.2%; 2#WMA的路用性能对低温敏感, 混合料中可能残存的水分在低温下发生冻胀或是造成性能降低的主因; 推荐温拌剂L的2#方法夏季高温时使用, 1#方法冬季低温时使用。

## 关键词

温拌剂, 压实特性, 水稳定性, 高温性能, 低温性能

## Experimental Study on the Influence of Different Use Methods of Warm-Mixed Additive to the Performance of AC-13 Asphalt Mixture

Zhaowei Jiang<sup>1,2</sup>, Hang Liu<sup>3</sup>, Meidong Duan<sup>3</sup>, Qiang Sun<sup>1,2</sup>, Xia Li<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Shandong Transportation Institute, Jinan Shandong

<sup>2</sup>Key Laboratory of Highway Maintenance Technology and Transportation (Jinan), Jinan Shandong

<sup>3</sup>Shandong Hi-Speed Group CO., LTD., Jinan Shandong

文章引用: 江照伟, 刘航, 段美栋, 孙强, 李夏. 温拌剂不同使用方法对 AC-13 沥青混合料性能影响试验研究[J]. 材料科学, 2021, 11(2): 135-142. DOI: 10.12677/ms.2021.112018

## Abstract

In order to study the influence of different use methods of warm-mixed additive L on the performance of asphalt mixture, the tests of compaction characteristics, high temperature, water stability and low temperature properties to each mix were carried out, the results showed that: The forming temperature of 1#WMA and 2#WMA can be reduced by 25°C and 40°C, the compaction characteristics are the same as those of HMA, in the meantime, the dynamic stability increased by 19.3% and 13.1%; There was no significant difference in the residual stability of Marshall in the three mixtures, however, the TSR of 2#WMA is significantly lower and close to the lower limit of the specification, It is suggested that TSR be used as the index of water stability evaluation to ensure safety; Based on 0#HMA, the flexural strength of 1#WMA and 2#WMA decreases by 9.9% and 29.9%, the bending strain decreased by 5.5% and 26.2%. The road performance of 2#WMA is sensitive to low temperature, The reason may be the possible residual moisture in the mixture will frost at low temperatures; It is suggested that 2# method of warm-mixed additive L should be used at high temperature in summer and 1# method at low temperature in winter.

## Keywords

Warm-Mixed Additive Compaction Characteristic Water Stability High Temperature Performance, Low Temperature Performance

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

温拌沥青混合料(WMA)是拌和温度介于热拌和冷拌(常温)之间,性能接近热拌沥青混合料(HMA)的新型路面材料的统称[1][2],与传统的HMA技术相比,WMA一般通过采取向沥青中掺加专用温拌剂的方式,降低沥青粘度,达到沥青混合料在较低温度下拌合的目的,一般能使施工温度降低30°C左右,减少了能源的消耗和废气的排放;同时还能保证与HMA类似的施工和易性并保证合适的路用性能,是一种新型的节能环保型道路材料,具有十分广阔的应用前景。

WMA技术的广泛应用得益于温拌剂的快速发展,部分温拌剂通过改变使用方法可以达到更高的降温幅度,但较低的温度要求同时也给WMA带来一定的潜在技术问题,如低加热温度下集料内的水分无法完全烘干,对混合料的水稳定性产生不利影响[3]。本文以温拌剂L为例,通过其在AC-13沥青混合料中的不同使用方式,客观评价温拌剂使用后对混合料性能的影响,期望为该类温拌剂的应用提供有益参考。

## 2. 原材料及混合料设计

### 2.1. 原材料

本文所用集料为玄武岩,规格分别为0~3 mm、3~5 mm、5~10 mm、10~15 mm,填料为石灰岩磨细

的矿粉, 技术指标满足施工技术规范[4]要求; 沥青为 SBS(I-D)改性沥青, 其主要技术指标见表 1。

**Table 1.** Test results of SBS modified asphalt

**表 1.** SBS 改性沥青检测结果

序号	检测项目(单位)	技术指标	检测结果
1	针入度 25℃, 100 g, 5 s (0.1 mm)	40~60	53
2	软化点(R&B) (°C)	≤60	70.0
3	5℃延度, 5 cm/min (cm)	≤20	41
4	135℃运动黏度(Pa·s)	≥3	1.9
5	弹性恢复 25℃(%)	≤75	90
6	薄膜加热试验	质量损失(%)	≥±1.0
		针入度比(%)	≤65
		5℃延度(cm)	≤15

自研温拌剂 L 是一种基于有机溶剂技术研发而来的棕色粘稠液体, 具体指标见表 2。

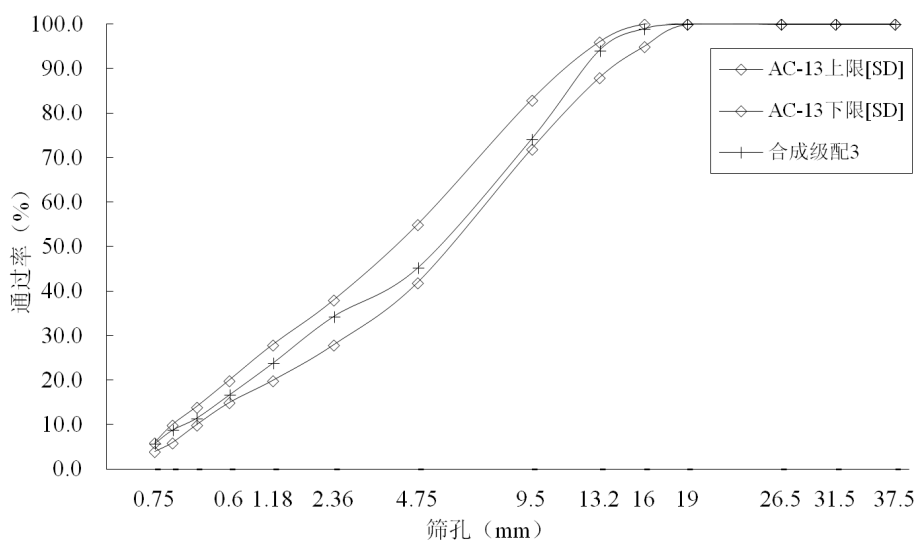
**Table 2.** Main physical indexes of warm-mixed additive L

**表 2.** 温拌剂 L 主要物理指标

外观	密度(g/cm <sup>3</sup> )	PH
棕褐色	0.98	8.2

## 2.2. 混合料设计

本文的目标混合料类型为 AC-13, 采用 Superpave 设计法, 级配曲线见图 1, 确定最佳油石比为 4.8%, 混合料各项指标满足规范要求。



**Figure 1.** AC-13 grading curve

**图 1.** AC-13 级配曲线图

### 3. 试验部分

#### 3.1. 混合料制备

根据温拌剂 L 的性能特性, 本文分别以空白组、0.1% 活性剂组、0.1% 活性剂 + 1.5% 水组共三组 AC-13 沥青混合料为试验对象, 采用旋转压实法和轮碾法制备试件, 进行后续试验以评价不同使用方法下温拌剂 L 对混合料路用性能的影响。

三组混合料的命名及制备过程如表 3。

**Table 3.** AC-13 asphalt mixture preparation process

**表 3.** AC-13 沥青混合料制备过程

混合料名称	温拌剂使用方法	制备过程
0#HMA	0#: 空白组	拌合温度 175℃, 拌合后置于 170℃ 烘箱保温备用
1#WMA	1#: 0.1% 活性剂	拌合温度 150℃, 拌合后置于 145℃ 烘箱保温备用
2#WMA	2#: 0.1% 活性剂+1.5% 水	拌合温度 135℃, 拌合后置于 130℃ 烘箱保温备用

注: 温拌剂、水的掺量均为沥青质量百分比。

#### 3.2. 试验方案

为探究使用温拌剂 L 后 AC-13 混合料的压实特性, 采用旋转压实 100 次对三组沥青混合料进行试件成型, 控制试件几何尺寸为  $\Phi 150 \text{ mm} \times H150 \text{ mm}$ , 记录实时高度, 计算不同旋转次数对应的压实度, 获取压实曲线。

通过钻芯、切割等方式从旋转压实试件中获取标准马歇尔试件, 进行马歇尔试验、浸水马歇尔实验, 分析三组沥青混合料的水稳性能差异。

采用车辙试验研究不同使用方法下温拌剂 L 对沥青混合料的高温性能影响, 在拟定成型温度下采用轮碾法成型  $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的车辙板进行车辙试验。

切割  $250 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$  小梁试件, 采用 MTS 试验仪进行低温弯曲试验, 计算三组混合料的最大弯拉应变和劲度模量, 评价不同使用方法下温拌剂 L 对沥青混合料的低温性能影响。

### 4. 试验结果及分析

#### 4.1. 压实特性

对 0#HMA、1#WMA、2#WMA 在对应的 170℃、145℃、130℃ 成型温度下分别成型试件, 三组混合料的压实曲线如图 2 所示。

三组沥青混合料的压实曲线仅在压实开始和结束时略有细微差别, 认为是实验仪器启动、停止时产生的系统误差。

在压实温度分别降低 25℃、40℃ 的条件下, 1#WMA、2#WMA 保持了与 0#HMA 一致的压实特性, 说明不同使用方法下温拌剂 L 具有显著降低混合料成型温度的作用; 2#WMA 的压实温度尚比 1#WMA 低 15℃, 分析原因可能为: 水分的掺入增大了沥青混合料中的液体含量, 起到了更大的润滑作用, 用水量对温拌剂 L 使用效果的影响应进一步研究。

#### 4.2. 高温性能

对三组沥青混合料成型放置 24 h 后进行了车辙试验, 试验结果见图 3。

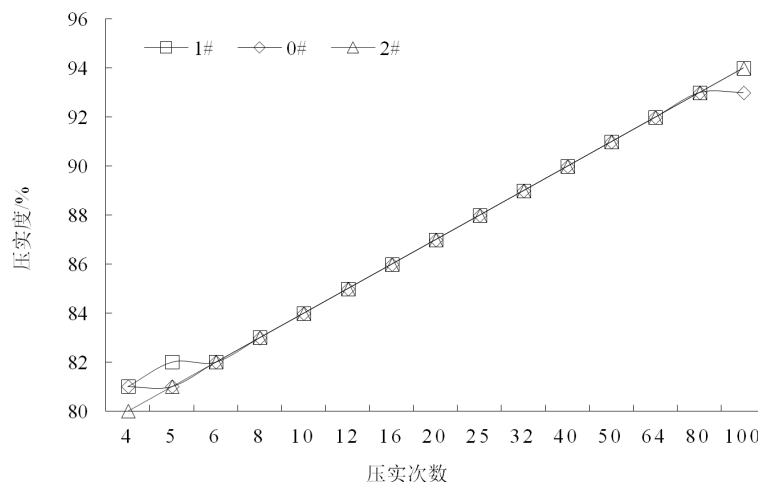


Figure 2. Compaction curves of three groups of mixtures

图 2. 三组混合料压实曲线

车辙试验结果显示, 无论何种使用方法, 温拌剂 L 不仅能有效降低沥青混合料的成型温度, 对混合料的高温稳定性亦有提升效果, 其中 1#WMA 车辙性能提高 19.3%, 2#WMA 车辙性能提高 13.1%。

根据 Mohr-Coulomb 理论, 较高温下, 沥青混合料的强度由矿料间嵌锁力和胶结料粘聚力组成, 2#WMA 经常温放置和车辙试验 60℃ 保温, 使混合料经历了类似养生的过程, 混合料中可能存在的水分逐渐蒸发, 曾受水分影响粘结的沥青与矿料重新加强结合, 最终将温拌剂 L 对混合料高温性能的提升效果表现出来。

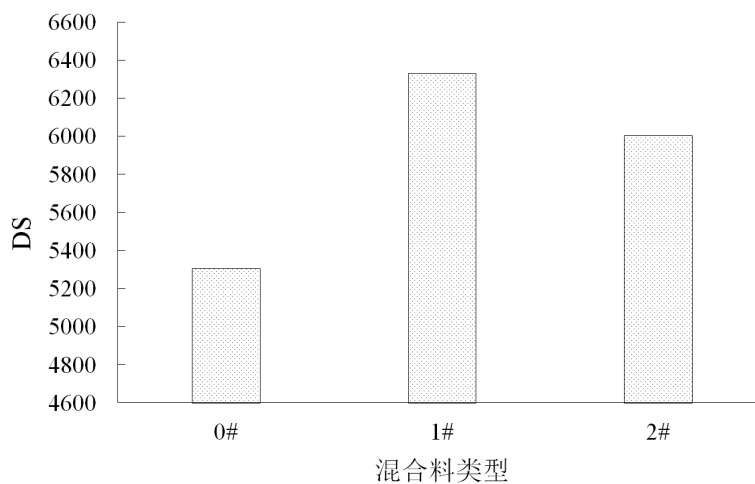


Figure 3. Results of rutting test for three groups of mixtures

图 3. 三组混合料车辙试验结果

### 4.3. 水稳定性

三组混合料的马歇尔稳定度和浸水马歇尔稳定度试验结果如图 4 所示。

根据马歇尔稳定度试验结果, 1#WMA 水稳定性与 0#HMA 几乎无差异, 2#WMA 稳定度和浸水稳定度较 0#HMA 都有所降低, 残留稳定度下降约 2%。在考虑试验误差的情况下, 认为温拌剂 L 的不同使用方法对混合料水稳定性几乎无影响, 但也有研究表明浸水马歇尔试验似乎不能准确地表征温拌沥青混合料的水稳定性[5] [6]。

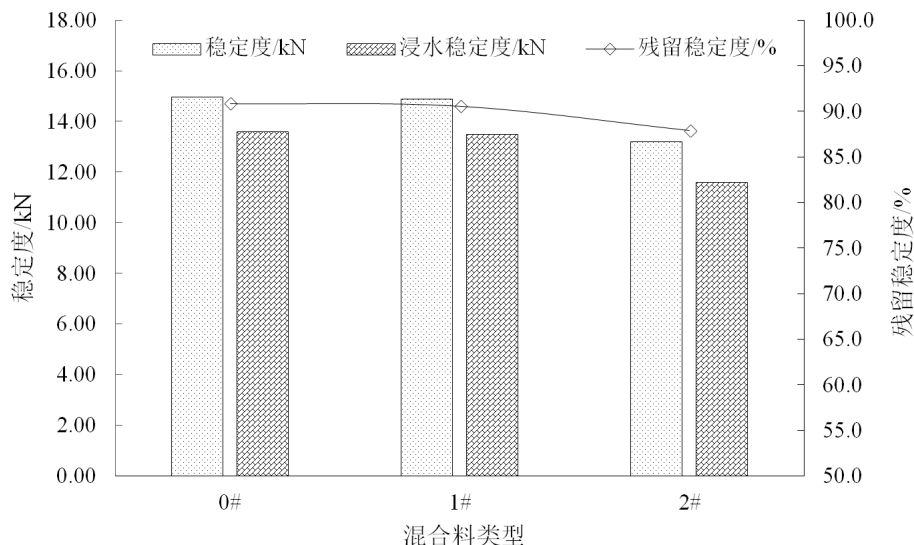


Figure 4. Results of water stability of three groups of mixtures

图 4. 三组混合料水稳定性试验结果

为确定温拌剂 L 不同使用方法是否会对沥青混合料水稳定性产生影响，选择冻融劈裂试验进一步研究。试验结果见表 4。

Table 4. Results of freeze-thaw split test of three groups of asphalt mixture

表 4. 三组沥青混合料冻融劈裂试验结果

组别	冻融循环前劈裂强度/MPa	冻融循环后劈裂强度/MPa	TSR/%
0#HMA	1.05	0.92	87.6
1#WMA	0.98	0.85	87.4
2#WMA	0.90	0.74	82.7

由冻融循环试验结果，1#WMA 与 0#HMA 的 TSR 指标接近，但劈裂强度略微降低，温拌剂 L 对混合料的绝对强度有一定影响；2#WMA 的 TSR 虽然能满足规范要求，但已经接近规范值，且劈裂强度进一步降低，其水稳定性需要予以关注。

造成 2#WMA 水稳定性能降低的原因分析如下：低拌合温度导致集料本身和外加水无法及时蒸发完全，导致有水分残存于集料表面和沥青膜之间，影响沥青与集料的黏附，在冻融循环条件下剥离沥青膜，最终使得混合料水稳定性降低。

#### 4.4. 低温性能

利用 MTS 试验仪对三组沥青混合料进行了 $-10^{\circ}\text{C}$ 弯曲试验，计算了各组混合料的弯拉强度、最大弯拉应变和劲度模量，结果见图 5。

三组混合料的劲度模量基本相同，表明温拌剂 L 的使用未对混合料劲度模量产生明显影响；使用温拌剂后混合料弯拉强度降低，以 0#HMA 为基准，1#WMA、2#WMA 的弯拉破坏强度降低 9.9%、29.9%；弯拉应变 1#WMA、2#WMA 较基准降低 5.5%、26.2%。

虽然 2#WMA 的破坏应变能满足规范中严寒区的要求，但其低温抗裂性能的下降需引起注意。分析认为，2#WMA 在大幅降低成型温度的同时，也增大了混合料中水分残余的风险。这部分水的存在致使沥青无法与集料充分粘结形成强度，无法完全发挥沥青胶结料低温下的粘弹性，故混合料弯拉破坏强

度和弯拉应变降低。

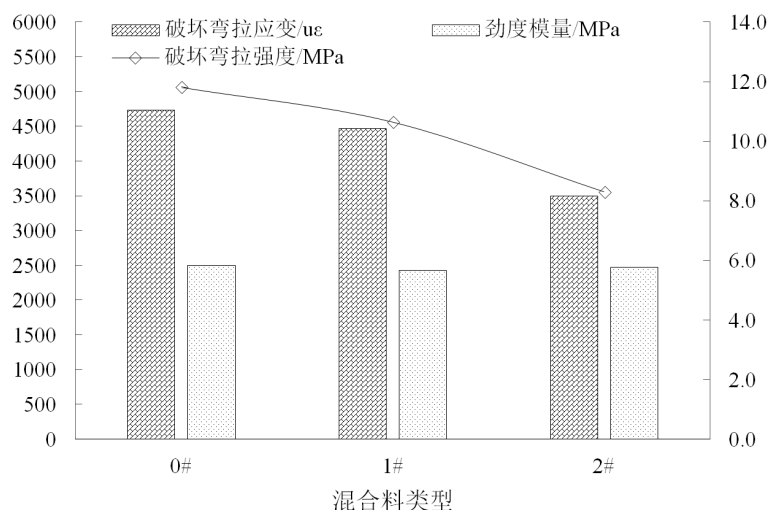


Figure 5. Low temperature bending test results of three groups of mixtures  
图 5. 三组混合料低温弯曲试验结果

#### 4.5. 综合分析

分析三组沥青混合料各项路用性能试验结果, 考虑各试验的方法, 发现对于需经历低温的试验, 如冻融劈裂试验、低温弯曲试验, 2#WMA 的试验结果相较于另外两种混合料有较大幅度降低, 其余试验则不会出现该现象, 表明 2#WMA 的路用性能对低温十分敏感, 混合料中残余水分在低温下发生冻胀或是主因。可以推断, 若温度条件允许混合料中残余水分逸出散失, 则混合料的路用性能受 2#使用方法的影响将大大降低。

上述分析过程为温拌剂 L 的两种使用方法工程应用提供了思路: 2#方法可以在夏季高温时使用, 利用较高的环境温度并强调压实过程, 可实现混合料的路用性能与常规热拌沥青混合料性能相当, 40℃左右的降温幅度将会产生显著的经济环境效益; 1#使用方法更适用于冬季施工, 能有效延长可施工温度区间。

#### 5. 结论

- 1、1#WMA、2#WMA 较 0#HMA 压实温度分别降低 25℃和 40℃, 压实特性与 0#HMA 无异, 温拌剂 L 的两种使用方法均可明显降低混合料成型温度;
- 2、1#WMA、2#WMA 的动稳度提高 19.3%、13.1%, 温拌剂 L 可改善混合料高温性能;
- 3、0#HMA、1#WMA、2#WMA 的马歇尔残留稳定度差别不大, 但 2#WMA 的 TSR 明显低于 0#HMA、1#WMA 并接近规范下限。安全起见, 建议以 TSR 作为温拌混合料水稳定性评价指标;
- 4、以 0#HMA 为基准, 1#WMA、2#WMA 的弯拉破坏强度降低 9.9%、29.9%, 弯拉应变降低 5.5%、26.2%, 2#WMA 低温性能明显降低;
- 5、2#WMA 的路用性能对低温十分敏感, 混合料中可能残存的水分在低温下发生冻胀或是造成性能降低的主因, 推荐温拌剂 L 的 2#方法夏季高温时使用, 1#方法冬季低温时使用。

#### 参考文献

- [1] 秦永春, 黄颂昌, 徐剑, 等. 温拌沥青混合料技术及最新研究[J]. 石油沥青, 2006(4): 18-21.

- [2] 左锋, 叶奋. 国外温拌沥青混合料技术与性能评价[J]. 中外公路, 2007, 27(6): 164-168.
- [3] 李鹏飞. 集料残留水分对温拌沥青混合料水稳定性的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京建筑大学, 2017.
- [4] 交通部公路研究所. JTGE40-2004 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [5] 张镇, 刘黎萍, 汤文. Evotherm 温拌沥青合料性能研究[J]. 建筑材料学报, 2009, 2(4): 438-441.
- [6] 杨通明. 掺加新型国产温拌剂的沥青混合料路用性能评价[J]. 公路交通技术, 2015(4): 49-52.