

文章编号:1671-6833(2017)03-0015-04

增塑剂改性沥青路用性能试验研究

傅 珍¹, 申万青¹, 孔志峰², 张 超²

(1. 长安大学 材料学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘 要: 为了提高沥青结合料的柔韧性, 借鉴增塑剂在塑料制品的成功应用, 选用两种不同类型的增塑剂, 研究其对沥青的改性效果. 通过针入度、软化点、延度、黏度、测力延度和弹性恢复等试验对两种增塑剂改性沥青性能进行研究, 并从沥青的感温性、高低温性能、弹性恢复和老化特性等方面对路用性能改善效果做出评价. 试验结果表明, 两种增塑剂对沥青低温柔韧性改善效果显著, 同时对沥青结合料的感温性、弹性恢复和抗老化性也有一定的改善效果, 但不利于沥青的高温稳定性; 对比两种增塑剂改性沥青的路用性能, 马来酸二辛酯的改性效果优于邻苯二甲酸二辛酯, 且建议马来酸二辛酯最佳掺量值为 3.0%.

关键词: 道路工程; 增塑剂改性沥青; 路用性能

中图分类号: TG146.2⁺1 **文献标志码:** A **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2017.03.001

0 引言

目前, 应用在沥青中的改性材料, 主要有 3 类: 高分子聚合物、矿物质填料和添加剂. 聚合物改性沥青可以分为 3 类: ①热塑性弹性体类, 代表为 SBS; ②橡胶类, 如丁苯橡胶 (SBR)、橡胶粉等; ③树脂类, 如聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、EVA 等. SBS 改性沥青可以同时改善沥青的温度敏感性、高低温及抗疲劳等多方面性能^[1], 但有学者对其低温抗裂性能改善效果提出质疑^[2]; 橡胶类改性沥青具有较好的低温抗裂性能和较好的粘结性能, 高温性能改善微弱^[3]; 树脂类改性沥青具有良好的高温稳定性, 但对沥青路面的低温抗裂性能无明显改善^[4]. 矿物质填料包括硅藻土、纳米材料、天然沥青等. 文献[5-6]研究发现, 硅藻土改性沥青具有良好的高温抗变形能力, 但低温性能降低. 文献[7]表明, 用纳米材料改性沥青可以改善结合料的路用性能, 但主要表现在高温性能上, 低温效果改善不明显. 天然沥青则主要体现在水稳定性能提高方面^[8].

沥青结合料作为沥青混合料的主要组成部分, 其低温拉伸变形性能决定了沥青路面的低温抗裂性能. 因此, 提高沥青结合料的低温性能, 可以有效地降低沥青路面的低温开裂. 增塑剂作为

一种高分子材料助剂, 可以显著改善塑料制品的柔韧性, 被大量应用于塑料工业中^[9]. 杨希旺^[10]和孔志峰^[11]在论文中将增塑剂作为改性剂添加到沥青中并研究其改性效果, 结果表明, 增塑剂可以显著改善沥青胶结料的低温性能.

笔者借鉴增塑剂在塑料工业中提高制品塑性这一特点, 选用邻苯二甲酸二辛酯 (DOP) 和马来酸二辛酯 (DOM) 两种增塑剂对沥青改性, 研究其对沥青路用性能的影响及规律, 为沥青改性材料的研究提供参考.

1 原材料及实验方案

1.1 原材料

本研究选用中海 90# 沥青, 主要技术指标如表 1 所示, 增塑剂采用马来酸二辛酯 (DOM) 与邻苯二甲酸二辛酯 (DOP), 其相关基本物理指标见表 2. 对于改性沥青的制备, 首先, 取 500 g 基质沥青, 置于 140 ℃ 烘箱熔化至流动状态, 然后称取相应比例的增塑剂分别倒入基质沥青中, 再用强力电动搅拌机进行搅拌, 转速设定 1 000 r/min, 时间 10 min. 搅拌过程中保持 140 ℃ 加热温度不变.

表 2 中两种增塑剂属类似油状液体, 密度与沥青相近, 从搅拌结果目测观察来看, 相容效果良好.

收稿日期: 2016-07-08; **修订日期:** 2016-08-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51108038, 51108039).

作者简介: 傅珍 (1976—), 女, 河南鹤壁人, 长安大学教授, 博士, 主要研究方向为道路结构与材料, E-mail: zhenfu@chd.edu.cn.

表 1 基质沥青主要技术指标
Tab.1 Main technical indexes of base asphalt

项目沥青	针入度(25℃)/(0.1 mm)	15℃延度/cm	软化点/℃	针入度指数	相对密度(15℃)
中海 90#沥青	80.1	128.8	46.5	-0.94	0.99

表 2 增塑剂主要物理指标
Tab.2 Main physical indexes of plasticizers

增塑剂种类	外观	凝固点/℃	沸点/℃	相对密度(25℃)	黏度/(mPa·s)
DOM	无色透明液体	-50	195~207(0.67 kPa)	0.944	17.0
DOP	黄色透明液体	-55	386	0.981	81.4

1.2 试验方案

在基质沥青分别添加 1.5%、2.0%、2.5%、3.0% (质量分数) 4 种不同掺量的增塑剂,对两种增塑剂改性沥青进行三大指标、测力延度、旋转黏度、弹性恢复和老化后的三大指标等试验,从感温性、高低温性能、弹性恢复和老化特性等方面对增塑剂改性沥青的改性效果进行分析。

由于增塑剂是一种油状液体,作为轻质组分——油分添加到沥青中,改变了沥青的四组分比例,因此笔者从短期老化的角度对老化后沥青性能变化进行研究。

2 试验结果与分析

2.1 感温性能

通过针入度试验,测定 15℃、25℃和 30℃ 3 个温度下沥青针入度,得出针入度和针入度指数 PI 的试验结果如图 1 和图 2 所示。

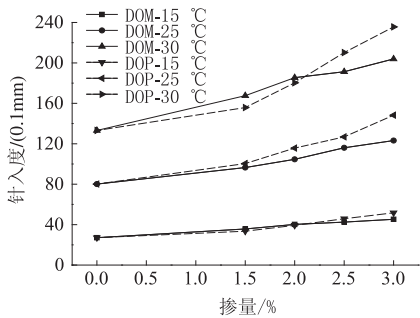


图 1 不同增塑剂掺量的沥青针入度

Fig.1 Penetration of different dosage plasticizer

两种增塑剂都是类似油状液体,加入到沥青中,使沥青流变性发生变化,黏度降低,该结果由图 1 可以直观地反映出.相同温度下,随着增塑剂掺量的增加,两种增塑剂改性沥青的针入度持续增大.原因可能是,增塑剂作为一种油分加入到沥青中,改变了沥青中四组分的比例,饱和分与芳香分的含量对针入度指标的影响较大,轻质组分比

例的增加会导致针入度数值的变大。

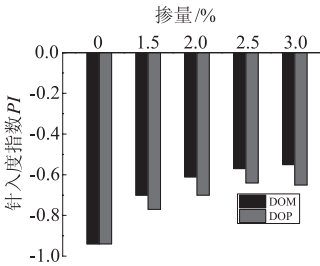


图 2 不同增塑剂掺量的沥青针入度指数

Fig.2 Penetration index of different dosage plasticizer

在我国,针入度指数 PI 作为沥青感温性常用评价指标.如图 2 所示,掺入 1.5% 的增塑剂后,两种沥青的 PI 值均比基质沥青有所提高,说明两种增塑剂均可以降低沥青结合料的温度敏感性,但不同的增塑剂对沥青感温性能改性效果不同.随着增塑剂掺量的不断增加,沥青 PI 值也在逐渐提高,但是提高幅度在逐渐减小.两种增塑剂对沥青感温性的改善效果作比较,DOM 优于 DOP.

2.2 高温性能

采用当量软化点 T_{800} 和 60℃ 黏度指标来评价沥青高温性能.试验结果见图 3 和图 4.

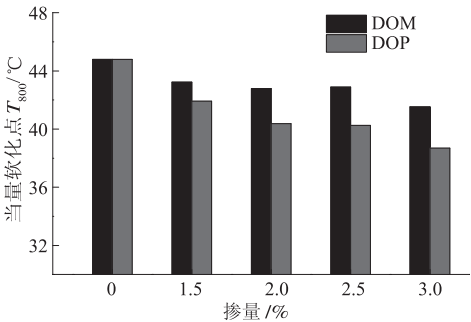


图 3 不同增塑剂掺量的当量软化点

Fig.3 Equivalent softening of different dosage plasticizer

由图 3 可以看出,增塑剂改性沥青的当量软化点较基质沥青略有降低.未掺增塑剂的沥青当

量软化点为 44.79 ℃,随增塑剂掺量的不断增加,沥青的当量软化点也在不断降低. 沥青中胶质比例的变化对软化点影响最大,增塑剂的添加可能改变了沥青中胶质比例,同掺量增塑剂,DOP 改性沥青软化点降低幅度超过 DOM,DOM 增塑剂对原基质沥青的四组分比例影响相对较小.

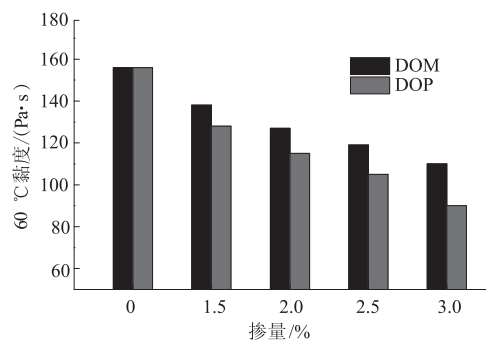


图 4 不同增塑剂掺量的 60 ℃黏度
Fig.4 60 ℃ viscosity of different dosage plasticizer

沥青 60 ℃黏度作为反映沥青在盛夏耐热性指标,可真实地间接反映路面的实际使用状况. 由图 4 可知,增塑剂改性沥青 60 ℃黏度均低于基质沥青,且随增塑剂掺量的增加,60 ℃黏度持续降低,再一次验证了增塑剂的掺入会降低沥青高温稳定性. 两种增塑剂比较而言,DOM 对沥青高温稳定性的影响相对较小.

2.3 低温性能

测力延度作为一种简单、快捷判定沥青胶结料性能的方法,相比延度有效地评价沥青的低温性能^[12]. 对于沥青的低温性能评价,笔者采用测力延度、5 ℃低温延度及当量脆点 $T_{1.2}$ 进行多指标评价. 试验结果见图 5~7.

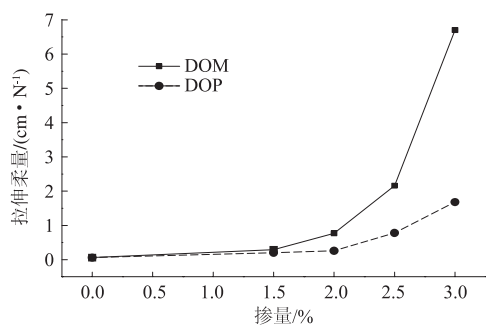


图 5 不同掺量增塑剂的拉伸柔量
Fig.5 5 °C Measuring-stress ductility of different dosage plasticizer

由图 5 可知,掺入增塑剂后,改性沥青的拉伸柔量比基质沥青均有所增加. 随着增塑剂掺量的增加,改性沥青的拉伸柔量值提高显著. 当掺量为 3.0% 时,DOM 改性沥青拉伸柔量超过 6.65 $\text{cm} \cdot \text{N}^{-1}$,提

高 100 多倍,而 DOP 为 1.68 $\text{cm} \cdot \text{N}^{-1}$,提高近 30 倍.

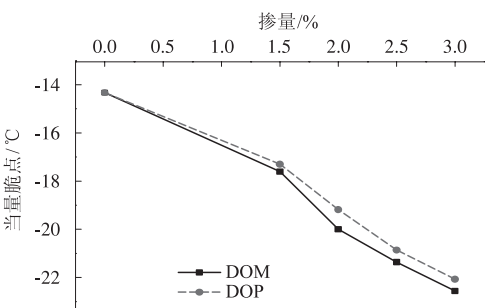


图 6 不同掺量当量脆点
Fig.6 Equivalent Fraass breaking point

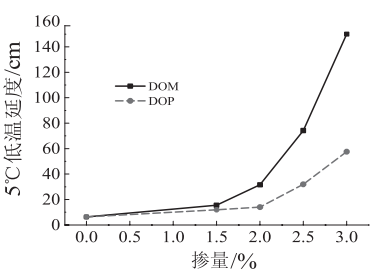


图 7 不同掺量增塑剂的 5 ℃延度
Fig.7 5 °C ductility of different dosage plasticizer

由图 6 可以看出,增塑剂的掺入可以降低沥青结合料当量脆点值 $T_{1.2}$,且随着掺量的不断增加,当量脆点持续降低. 对于沥青结合料的 5 ℃低温延度,增塑剂加入前后发生显著变化. 如图 7 所示,未掺增塑剂的沥青结合料在 5 ℃的环境下近乎脆断,随着增塑剂掺量的增加,低温延度值也在逐渐增加,当掺量达到 3.0% 时,DOP 改性沥青的 5 ℃低温延度值达 56.7 cm,而 DOM 改性沥青 5 ℃低温延度值 > 150 cm,说明增塑剂改性沥青具有优良的低温拉伸性能.

由以上结果可以初步得出,增塑剂可以显著改善沥青的低温柔性,增强沥青的低温抗裂性. 对比研究中所用两种增塑剂改性效果,由图 5~7 可知,DOM 对沥青低温性能改善效果更为显著.

2.4 弹性恢复

采用 ASTM D6084—97 及 D5876—96 规定的拉伸试验对增塑剂改性沥青的弹性恢复能力进行测试与评价,试验温度为 25 ℃,试验结果如图 8 所示.

由图 8 可见,基质沥青经增塑剂改性后,弹性恢复率大幅提高. 基质沥青的弹性恢复率仅为 3%,掺入 1.5% 增塑剂后,弹性恢复率分别提高至 9% 和 6%. 随着增塑剂掺量的增加,弹性恢复率呈现出一种线性提高,改善效果显著. 对于两种

增塑剂,掺量每提高 0.5%,弹性恢复率在前一个掺量的基础上提高 3%~4%。相同掺量下,DOM 的弹性恢复率均高于 DOP。增塑剂的掺入,使沥青在常温下具有较好的自愈能力,抗永久变形能力提高。

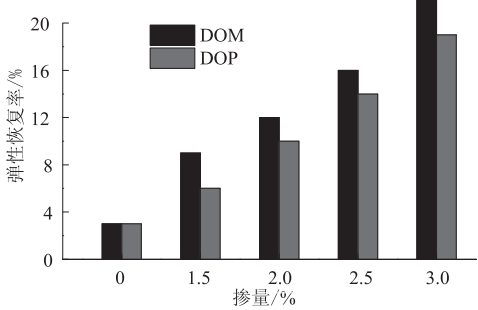


图 8 不同掺量增塑剂的弹性恢复

Fig.8 Elasticity resuming rate of different dosage plasticizer

2.5 老化性能

采用薄膜烘箱试验(TFOT)模拟沥青的短期老化,并通过老化前后 3 大指标变化评价短期老化增塑剂改性沥青的性能。图 9 是 DOM 改性沥青和 DOP 改性沥青短期老化前后的试验结果。

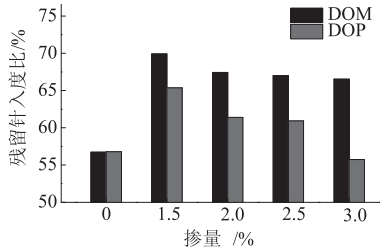
老化后残留针入度比越大,说明沥青的抗老化性能越好。由图 9(a)可知,在 4 种掺量中,除 3.0% 掺量 DOP 增塑剂改性沥青外,其他老化后所得残留针入度比均大于基质沥青。DOM 改性沥青的残留针入度比明显大于基质沥青。因为沥青四组分中,轻质组分对针入度指标影响较大。分析其原因,可能是添加增塑剂能有效降低老化对沥青组分变化的影响,但这种效应不随增塑剂掺量的提高而更加显著。随着增塑剂掺量的增加,改性沥青的残留针入度比逐渐减小,而 DOM 减小幅度比 DOP 慢。因此说明,当采用残留针入度比作为抗老化指标时,改性沥青的抗老化性能要优于基质沥青,其中,DOM 改性沥青要好于 DOP 改性沥青。

沥青老化后,软化点升高,软化点增值越小,沥青的抗老化性能越好。由图 9(b)可知,对于两种增塑剂改性沥青,随着增塑剂掺量的增加,老化后软化点增值逐渐增大,说明其抗老化能力随着掺量的增加逐渐减低,这与残留针入度比结果一致。

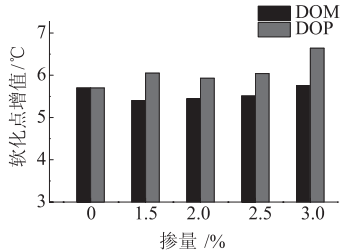
沥青老化后,延度值降低,延度残留比越大,沥青的抗老化能力越好。笔者所测延度试验温度均为 5℃,对比相关数据,老化后改性沥青的 5℃延度依然远远高于基质沥青。图 9(c)显示,随着

增塑剂掺量的增加,两种沥青的残留延度比逐渐减小,老化后 DOM 改性沥青延度值降低幅度较大。

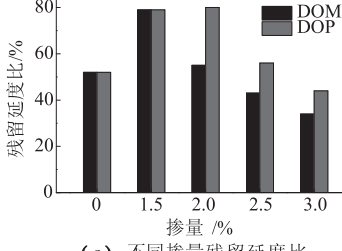
综合老化前后针入度、软化点和 5℃延度的变化情况可知,增塑剂改性沥青对沥青的抗老化能力有一定的增益作用;添加增塑剂能有效降低老化引起的沥青组分的变化,其中 DOM 的改性效果优于 DOP。



(a) 不同掺量残留针入度比



(b) 不同掺量软化点增值



(c) 不同掺量残留延度比

图 9 不同掺量的增塑剂改性沥青短期老化前后指标变化
Fig.9 Index change of modified asphalt with different dosage plasticizer

2.6 增塑剂掺量的选择

综合沥青感温性、高温稳定性、低温抗裂性能、弹性恢复及短期老化等各方面的性能可知,DOM 改性沥青优于 DOP 改性沥青。由前面分析可知,DOM 改性沥青的改性效果无法兼顾沥青结合料的各项性能:随着增塑剂掺量的增加,沥青感温性逐渐变好,低温抗裂能力和弹性恢复能力持续提高,高温稳定性和短期抗老化性能逐渐降低。在所选 4 个掺量中,由于 DOM 对沥青的高温稳定性和抗老化方面的影响较小,建议 DOM 掺量为 3.0%。

3 结论

选用两种增塑剂对基质沥青改性,分析了改

性沥青的感温性、高低温性能、弹性恢复和老化等性能,推荐了较优的增塑剂,主要结论如下:

(1)增塑剂对沥青路用性能的改性效果不一.同基质沥青对比,增塑剂改性沥青温度敏感性降低,低温柔韧性和弹性恢复能力显著提高,抗老化性能也有一定提升,但高温稳定性略微降低.

(2)随增塑剂掺量的增加,沥青低温抗裂能力和弹性恢复能力持续提高,高温稳定性和短期抗老化性能能力逐渐降低,而温度敏感性在3.0%掺量变化趋于稳定.

(3)对比DOM和DOP两种增塑剂,综合沥青感温性、高低温性能、弹性恢复和老化等多方面性能比较,DOM对沥青的改性效果优于DOP,推荐DOM最佳掺量为3.0%.

参考文献:

- [1] 陈华鑫. SBS改性沥青路用性能与机理研究[D]. 西安:长安大学公路学院,2006.
- [2] 张智强,周进川,饶泉宇. SBS对基质沥青低温性能改善效果研究[J]. 重庆建筑大学学报,2004,26(3):89-92.
- [3] 崔亚楠,邢永明,王岚,等. 废胶粉改性沥青改性机理[J]. 建筑材料学报,2011,14(5):634-638.
- [4] 张争奇,张登良. 聚乙烯改性沥青研究[J]. 中国公路学报,1996,9(3):14-19.
- [5] CONG P L, CHEN S F, CHEN H X. Effects of diatomite on the properties of asphalt binder[J]. Construction and building materials,2012,30:495-499.
- [6] 陈若祥. 硅藻土改性沥青结合料性能试验研究[J]. 公路工程,2013,38(5):254-257.
- [7] YU J Y, ZENG X, WU S P, et al. Preparation and properties of montmorillonite modified asphalts[J]. Materials science and engineering: A,2007,447(2):233-238.
- [8] 马峰,富志鹏,傅珍,等. 基于光电比色法的天然沥青改性沥青与集料黏附性研究[J]. 郑州大学学报(工学版),2015,36(3):77-81.
- [9] 陈立军,陈丽琼,张欣宇,等. 耐寒增塑剂的应用及发展[J]. 塑料科技,2007,35(4):76-79.
- [10] 杨希旺. 增塑剂(ATBC)对基质沥青性能影响研究[D]. 西安:长安大学材料学院,2015.
- [11] 孔志峰. 增塑剂对路用沥青性能影响研究[D]. 西安:长安大学材料学院,2015.
- [12] 陈佩林,周进川,张肖宁,等. 沥青胶结料的测力延度试验研究[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2006,34(4):38-42.

Research on Pavement Performance of Asphalt Binder Modified with Plasticizer

FU Zhen¹, SHEN Wanqing¹, KONG Zhifeng², ZHANG Chao²

(1. School of materials science and engineering, Chang'an University, Xian 710064, China; 2. School of Highway, Chang'an University, Xian 710064, China)

Abstract: With the fact that plasticizers are used successfully in plastic products and in order to improve the low-temperature flexibility of asphalt binder, two kinds of different type plasticizer are selected in this paper to research the impact that the two plasticizers have on asphalt. In this paper, 4 different dosages of the two plasticizer as a variable totally 8 dosages were putted into asphalt to research the performance of asphalt binders by several routine tests including the penetration, softening point, ductility, viscosity, measuring-stress ductility and elasticity resuming, and the modification effect was evaluated from the aspects of temperature sensitivity, high temperature and low temperature, elastic recovery and aging. The test results show that the plasticizers do help significantly in the low-temperature performance of the modified asphalt binders, also the facts of temperature sensitivity, anti-aging ability and elasticity resuming, but not high-temperature performance; in general, the plasticizer DOM is better than DOP in improving the properties of asphalt binders.

Key words: road engineering; plasticizer modified asphalt binder; pavement performance