

文章编号:1005-0523(2016)02-0042-07

# 新型改性剂在道路交叉路口路面改造中的应用

黄亚琴<sup>1</sup>,徐 亚<sup>2</sup>

(1.南通能达建设投资有限公司,江苏 南通 216000;2. 江苏省交通规划设计院股份有限公司,江苏 南京 210014)

**摘要:**城市道路主要病害是沥青路面的车辙,也是导致路面平整度降低的主要原因,降低城市道路的使用寿命。以某路段交叉路口沥青路面改造工程为例,对3种改性剂沥青混合料的路用性能及经济效益进行分析研究,选择合适的改性剂,提高沥青路面抗车辙性能,对解决路面车辙问题可以起到关键作用。

**关键词:**车辙;改性剂;路用性能;沥青混合料

**中图分类号:**U416

**文献标志码:**A

**DOI:**10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.02.007

城市道路的快速发展提高了车辆通行能力,但目前交通量的增加、重载超载车辆现象比例上升<sup>[1]</sup>。车辙指的是沥青路面在车辆荷载重复作用下轮迹处下陷形成纵向带状凹槽,尤其是道路交叉口很容易造成车辙问题的发生。车辆在车辙严重的道路上行驶,会降低乘客的安全与舒适性,此外,车辙也会降低道路的使用寿命。

因此,研发新型改性沥青混合料,延长道路使用年限是我们道路工作者的主要任务。以某路段交叉口沥青路面改造工程为例,对新型改性沥青混合料进行路用性能研究,为交叉口路面改造工程设计提供理论依据。

## 1 改造工程交叉口沥青路面改造方案

某路段沿线现状几处主要交叉口范围内均采用沥青混凝土路面,路面结构形式为4 cm AC-16+6 cm AC-25+34 cm 二灰碎石+20 cm 二灰土,现状交叉口范围内沥青路面破损状况较为严重,本次改造拟将原沥青层完全铣刨,如原基层存在病害,则首先对基层病害进行处治后再结合纵断面设计及交叉口竖向设计,进行结构层加铺,沥青面层采用4 cm SMA-13(SBS)+8 cm AC-20C(掺改性剂),补强层或调平层采用水泥稳定碎石,厚度根据高程设计确定。

沥青下面层AC-20C均掺加改性剂,改性剂选用进口产品以保证性能优越、质量稳定,本文采用的改性剂包括德国产Lucobit 1210A、法国产PR Plast.s和德国产路孚8000。

## 2 试验原材料及性能测定

### 2.1 基质沥青

试验所用沥青为东海牌70#沥青,其性能指标见表1。

收稿日期:2015-10-19

基金项目:江苏省交通科学研究计划项目(2012Y07-3)

作者简介:黄亚琴(1981—),女,工程师,硕士,研究方向为路面新材料。

表 1 基质沥青技术指标  
Tab. 1 Technical index of modified asphalt

| 检测指标       | 规范要求  | 试验结果 |
|------------|-------|------|
| 针入度/0.1 mm | 60~80 | 76   |
| 软化点/℃      | ≤45   | 48.9 |
| 15 ℃延度/cm  | ≤100  | >155 |

2.2 集料与矿粉

石灰岩集料和石灰岩矿粉为试验中使用的填料,其性能指标见表 2。

表 2 矿料的技术指标  
Tab. 2 Technical index of mineral powder

| 矿料类型 | 毛体积密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 吸水率/% | 洛杉矶磨耗值/% | 石料压碎值/% |
|------|-----------------------------|-------|----------|---------|
| 集料   | 2.689                       | 0.65  | 19.6     | 14.5    |
| 矿粉   | 2.625                       | —     | —        | —       |

2.3 改性剂技术指标

文中选用的改性剂包括德国产 Lucobit 1210A,简称路可比、法国产 PR Plast.s,简称 PR、德国产路孚 8000 等,其性能指标见表 3。

表 3 改性剂的技术性能指标  
Tab. 3 Technical index of modifiers

| 改性剂种类      | 外观颜色    | 尺寸/mm  | 熔点/℃    | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) |
|------------|---------|--------|---------|--------------------------|
| 路可比        | 颗粒状、黑色  | 直径约 4  | 80~100  | 0.97                     |
| PR Plast.s | 颗粒状、黑色  | 直径约 4  | 140~150 | 0.91~0.97                |
| 路孚 8000    | 颗粒状、灰褐色 | 直径 1~6 | 130~180 | 约 1                      |

3 沥青混合料组成设计

3.1 沥青混合料的级配

沥青路面下面层级通常采用 AC-20C 型密实级配,参照现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004),表 4 是 AC-20C 混合料级配设计表。

表 4 AC-20C 级配设计表  
Tab. 4 Mixture gradation design of AC-20C

| 级配<br>范围 | 通过下列筛孔(方孔筛,mm)的质量百分率/% |      |      |      |      |      |      |      |     |      |       |
|----------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
|          | 19.0                   | 16.0 | 13.2 | 9.5  | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6  | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| 规范上限     | 100                    | 92   | 80   | 70   | 47   | 34   | 24   | 18   | 13  | 10   | 7     |
| 规范下限     | 90                     | 76   | 64   | 54   | 35   | 22   | 13   | 8    | 6   | 5    | 3     |
| 规范中值     | 95                     | 84   | 72   | 62   | 41   | 28   | 18.5 | 13   | 9.5 | 7.5  | 5     |
| 合成级配     | 92.9                   | 80.1 | 69.1 | 58.8 | 37.0 | 21.0 | 15.5 | 10.4 | 7.0 | 6.3  | 5.4   |

### 3.2 最佳油石比的确定

根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004),最佳油石比的确定方法是马歇尔实验法<sup>[2]</sup>,根据表 5 AC-20C 基质沥青混合料马歇尔试验结果,得出基质沥青混合料的最佳油石比 OAC 为 4.4%。

表 5 AC-20C 基质沥青混合料马歇尔试验结果  
Tab. 5 Marshall test results of AC-20C asphalt mixture

| 混合料类型  | 油石比/% | 稳定度/kN | 流值/0.1 mm | 空隙率/%   | 矿料间隙率/% | 饱和度/% | 毛体积相对密度 | 实测理论相对密度 |
|--------|-------|--------|-----------|---------|---------|-------|---------|----------|
| AC-20C | 3.0   | 9.27   | 22.8      | 7.2     | 12.9    | 44.5  | 2.392   | 2.578    |
|        | 3.5   | 10.02  | 25.2      | 6.1     | 12.6    | 51.8  | 2.412   | 2.568    |
|        | 4.0   | 11.38  | 30.3      | 5.7     | 13.1    | 56.7  | 2.410   | 2.555    |
|        | 4.5   | 12.05  | 34.2      | 4.8     | 13.2    | 63.7  | 2.418   | 2.540    |
|        | 5.0   | 11.04  | 38.0      | 4.3     | 13.6    | 68.4  | 2.421   | 2.529    |
| 要求     | —     | ≥8.0   | 20~40     | 4.0~6.0 | —       | 55~70 | —       | —        |

### 3.3 改性沥青混合料配合比设计

#### 3.3.1 路可比沥青混合料油石比

根据公路的施工状况<sup>[3]</sup>,路可比最佳掺量为沥青掺量的 7%。根据路可比有关说明材料,路可比可以等质量的替换沥青,即添加等质量的路可比可替换等质量的沥青;因此,路可比质量占沥青质量的 7%,最佳油石比也为 4.4%。

#### 3.3.2 PR 及路孚 8000 沥青混合料油石比

PR 沥青混合料中 PR 最佳掺量通常为混合料的 0.4%,路孚 8000 沥青混合料中路孚 8000 的最佳掺量通常为混合料的 0.4%~0.6%;因此本文采用路孚 8000 的掺量取混合料的 0.5%。

## 4 新型改性沥青混合料路用性能研究

### 4.1 高温稳定性

沥青路面高温稳定性能最直观地表示路面抵抗车辙性能的能力<sup>[4]</sup>,试验结果见表 6。

动稳定度的定义是指车辙发展速度在车辙曲线上斜率的倒数。目前我国现行动稳定度的计算公式: $DS = \frac{(60-45) \times 42}{d_2 - d_1}$ 。其中, $d_1, d_2$  分别代表时间 60 min 和 45 min 的变形量,mm。

动稳定度比:动稳定度比为 70℃动稳定度与 60℃动稳定度的比值,动稳定度比是体现混合料抗车辙性能有效指标。

某一时刻的车辙深度  $R$  占试件厚度  $D$  的比例代表相对变形参数。

表 6 沥青混合料的高温性能试验结果  
Tab. 6 High-temperature performance test results of asphalt mixture

| 混合料类型           | 60℃动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> ) | 70℃动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> ) | 动稳定度比/% | 45 min 时的变形量/mm | 60 min 时的变形量/mm | 相对变形参数指标/% |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|-----------------|-----------------|------------|
| 70#+7%路可比       | 7 854                         | 4 830                         | 61.5    | 1.444           | 1.524           | 3.048      |
| 70#+0.4%PR      | 9 265                         | 4 957                         | 53.5    | 2.395           | 2.463           | 4.926      |
| 70#+0.5%路孚 8000 | 8 182                         | 3 944                         | 48.2    | 2.604           | 2.681           | 5.362      |
| SBS 改性沥青        | 4 477                         | 1 845                         | 41.2    | 3.778           | 3.919           | 7.837      |

由表6可知:

1) 由 60℃动稳定度试验结果得出,掺加改性剂后沥青混合料的动稳定度由大到小的排序为 70#+0.4%PR 沥青混合料>70#+0.5%路孚 8000 沥青混合料>70#+7%路可比沥青混合料,均比 SBS 改性沥青混合料有显著的提升;

2) 由动稳定度比可知:掺加改性剂后沥青混合料的动稳定度比由大到小的排序为 70#+7%路可比沥青混合料>70#+0.4%PR 沥青混合料>70#+0.5%路孚 8000 沥青混合料,掺入改性剂后,沥青混合料具有较好的抵抗高温车;

3) 由相对变形参数可知:掺加改性剂后沥青混合料的动稳定度比由大到小的排序为 70#+0.5%路孚 8000 沥青混合料>70#+0.4%PR 沥青混合料>70#+7%路可比沥青混合料,与前两者试验结果一致,掺入改性剂后,沥青混合料具有较好的抵抗高温车辙的能力。

综合分析,掺入改性剂后,沥青混合料的高温性能 70#+7%路可比沥青混合料最佳,70#+0.4%PR 沥青混合料次之,70#+0.5%路孚 8000 沥青混合料略差,均比 SBS 改性沥青混合料有大幅度增加。

下面就改性剂的作用机理进行研究分析。

改性剂的性能从某种程度来说不是材料的堆砌,而是产生了“1+1>2”的整体效应。本文通过高温性能最佳的路可比沥青混合料进行 ESEM 图像采集,如图 1 所示。

改性剂的界面形式很复杂,包含在两相之间过渡区域的三维界面相,界面相很薄,却是极其复杂的结构。从微观上看,改性剂中含有部分纤维,纤维与沥青接触的过程中,沥青相扩展到纤维相表面的坑凹之中,两者接触面积增大,表明纤维相和沥青相之间的浸润性很好,产生了有力的机械锚和作用,使两相间更紧密的结合,从而提高了沥青混合料的高温性能。

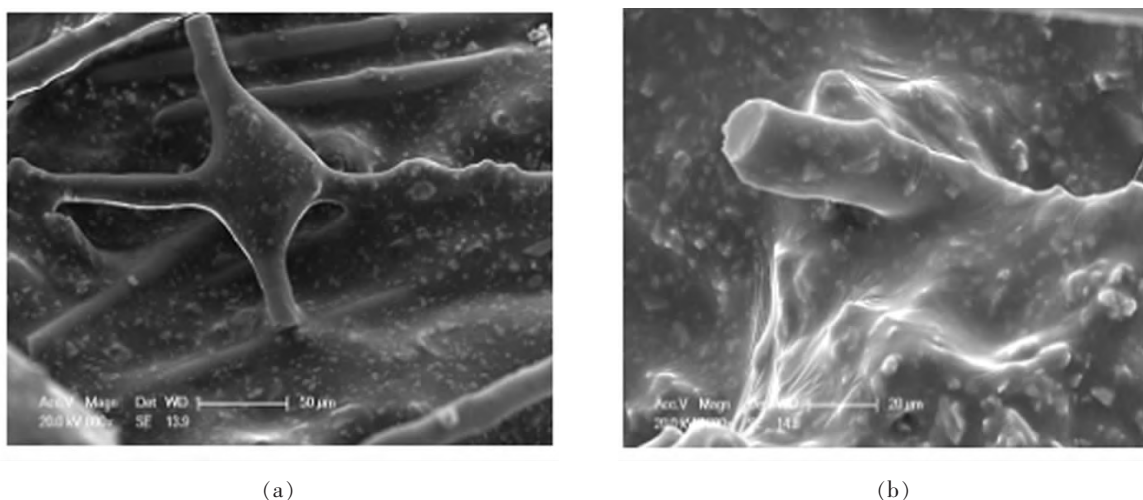


图 1 纤维与沥青界面微观图  
Fig.1 Micro-graph of fiber and asphalt interface

车辙的形成主要原因是沥青混合料内沥青的塑形剪切流动,实际上沥青混合料的车辙性能就是抗塑形剪切流动的性能<sup>[5]</sup>。

分析 ESEM 图像采集试验结果,3 种改性剂中的聚合物含量均超过 85%,改性剂中含有少量纤维,纤维分布在混合料内,纤维网络限制了沥青的迁移,互相搭接形成网络<sup>[6]</sup>,提高了沥青混合料的整体稳定性,高温性能增强。

#### 4.2 低温抗裂性

低温缩裂通常是由于温度一次下降而引起的沥青面层收缩开裂,通常评价沥青混合料的低温性能使用低温弯曲试验<sup>[7]</sup>。表 7 为沥青混合料低温小梁弯曲试验结果。

表 7 沥青混合料低温性能试验结果  
Tab.7 Test results of low temperature of asphalt mixture

| 混合料种类           | 试件跨径/mm | 最大荷载/N | 破坏应变/ $\mu\epsilon$ | 破坏应变技术标准      |
|-----------------|---------|--------|---------------------|---------------|
| 70#+7%路可比       | 200     | 1 195  | 2 724               | $\geq 2\ 500$ |
| 70#+0.4%PR      | 200     | 1 124  | 2 550               |               |
| 70#+0.5%路孚 8000 | 200     | 1 130  | 2 630               |               |
| SBS 改性沥青        | 200     | 1 186  | 2 894               |               |

由表 7 试验数据可以看出,改性剂加入沥青混合料后沥青混合料低温性能 70#+7%路可比沥青混合料最佳,70#+0.5%路孚 8000 沥青混合料次之,70#+0.4%PR 沥青混合料略差。

分析其原因,改性剂加入后,沥青混合料的弯拉强度与破坏应变有相应的提高,改性沥青混合料的低温抗裂性能提高,与 SBS 改性沥青混合料低温性能处于同一水平。

#### 4.3 水稳定性

沥青混合料的水稳定性指的是沥青路面抵抗水损害能力。根据规范要求,采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验来评判改性沥青混合料的水稳定性的好与坏<sup>[8]</sup>。表 8 和表 9 是改性沥青混合料水稳定性试验的结果。

从试验结果可以看出,沥青混合料浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验结果符合规范要求,3 种改性剂的改性沥青混合料的水稳定性相差不大,均比 SBS 改性沥青混合料的水稳定性优异。

表 8 沥青混合料浸水马歇尔试验结果  
Tab.8 Water immersion Marshall test of asphalt mixture

| 混合料种类           | 浸水马歇尔<br>稳定度/kN | 马歇尔<br>稳定度/kN | 浸水残留稳定度<br>MSO/% | 规范要求      |
|-----------------|-----------------|---------------|------------------|-----------|
| 70#+7%路可比       | 11.92           | 12.75         | 93.49            | $\geq 85$ |
| 70#+0.4%PR      | 11.36           | 12.33         | 92.13            |           |
| 70#+0.5%路孚 8000 | 11.31           | 12.29         | 92.03            |           |
| SBS 改性沥青        | 11.51           | 12.83         | 89.56            |           |

表 9 沥青混合料冻融劈裂试验结果  
Tab.9 Test results of freezing and thawing of asphalt mixture

| 混合料类型           | 非条件劈裂<br>强度/MPa | 条件劈裂<br>强度/MPa | 冻融劈裂强度比<br>TSR/% | 规范要求      |
|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----------|
| 70#+7%路可比       | 0.939           | 0.913          | 97.15            | $\geq 80$ |
| 70#+0.4%PR      | 1.054           | 1.006          | 95.45            |           |
| 70#+0.5%路孚 8000 | 0.987           | 0.931          | 94.33            |           |
| SBS 改性沥青        | 0.976           | 0.896          | 91.77            |           |

分析其原因,从纤维的角度来分析,改性剂中纤维是有利于改善沥青混合料的水稳定性。在改性沥青混合料中会存在纤维胶浆,这是由于混合料中存在纤维与沥青形成空间网状结构,把沥青混合料包裹的更加牢固,集料不会轻易被水剥落下来,沥青与矿料之间的粘结力增强,提高混合料的水稳定性。

## 5 经济效益分析

改性沥青混合料作为一种能大幅度提高其高温性能的新材料,还需将其他的技术指标进行分析,从而

全面分析其综合性能。通过对改性剂的效益分析,找出最佳合理的改性剂作为某路段改造工程交叉口沥青路面改造方案改性剂,表 10 为其沥青胶结料费用对比分析表。

表 10 沥青胶结料费用对比分析表  
Tab.10 Cost comparison of asphalt binder

| 胶结料类型          | 每吨混合料胶结料<br>造价/元 | 每平方胶结料<br>造价/元 | 混合料相对 SBS 改性沥青混<br>合料增加比例/% |
|----------------|------------------|----------------|-----------------------------|
|                | AC-20            | AC-20(6 cm)    | AC-20                       |
| 70#+7%路可比      | 281              | 42.2           | 0                           |
| 70#+0.4%PR     | 296              | 44.5           | 5.3                         |
| 70#+0.5%路孚8000 | 336              | 50.4           | 19.6                        |
| SBS 改性沥青       | 281              | 42.2           | /                           |

注:路可比单价按照 27 000 元·t<sup>-1</sup> 计算,路孚 8000 单价按照 24 000 元·t<sup>-1</sup> 计算,PR 单价按照 20 000 元·t<sup>-1</sup> 计算。进口 SBS 改性沥青价格按照 6 400 元·t<sup>-1</sup> 计算,A 级 70# 普通石油沥青价格按照 4 900 元·t<sup>-1</sup> 计算。

由表 10 分析可得,混合料相对 SBS 改性沥青混合料增加比例为:70#+0.5%路孚 8000 沥青混合料>70#+0.4%PR 沥青混合料>70#+7%路可比沥青混合料,很明显发现使用路孚 8000 改性剂后,沥青混合料相对于 SBS 改性沥青混合料有很大的增加,达到 19.6%。而使用路可比、PR 等改性剂增加比例不大,综合性能及经济效益分析,建议采用路可比或 PR 改性剂。

6 结语

通过对某路段改造工程交叉口沥青路面改造方案研究,对德国产 Lucobit 1210A、法国产 PR Plast.s、德国产路孚 8000 等改性剂进行研究分析,得出如下结论:

- 1) 高温性能方面,沥青混合料的高温性能 70#+7%路可比沥青混合料最佳,70#+0.4%PR 沥青混合料次之,70#+0.5%路孚 8000 沥青混合料略差,均比 SBS 改性沥青混合料有大幅度增加;
- 2) 低温性能方面,低温性能 70#+7%路可比沥青混合料最佳,70#+0.5%路孚 8000 沥青混合料次之,70#+0.4%PR 混合料略差;
- 3) 水稳定性能方面,3 种掺加改性剂的沥青混合料的水稳定性相差不大;
- 4) 改性剂混合料相对 SBS 改性沥青混合料增加比例为 70#+7%路可比沥青混合料最佳,70#+0.4%PR 沥青混合料次之,70#+0.5%路孚 8000 沥青混合料略差,综合性能及经济效益分析,建议采用路可比或 PR 改性剂。

参考文献

[1] 闫翠香. 沥青高速公路沥青路面维修后车辙变化规律[D]. 济南:山东大学,2010:25-28.  
[2] 李立寒,张南鹭. 道路建筑材料[M]. 上海:同济大学出版社,1999:174-175.  
[3] 吴正光,徐亚,吴帮伟. 路可比沥青混合料路用性能研究[J]. 中外公路,2014(6):241-244.  
[4] 万军,杨军. 聚酯纤维对沥青混合料性能影响的研究[J]. 公路交通科技,2006,23(5):25-42.  
[5] 彭刚,姚城熙,徐波,等. 两种温拌剂对 SBS 改性沥青胶结料高低温性能的影响研究[J]. 华东交通大学学报,2014,31(5):19-23.  
[6] 姚祖康. 沥青路面结构设计[M]. 北京:人民交通出版社,2011:18-22.  
[7] 杨瑞华,许志鸿,李宇峙. 沥青混合料水稳定性评价方法研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(11):1486-1491.  
[8] 刘亚敏. SMA 混合料水稳定性研究[D]. 西安:长安大学,2008.

## Research on Application of New Modifier in Pavement Reconstruction of Road Intersection

Huang Yaqin<sup>1</sup>, Xu Ya<sup>2</sup>

(1. Nantong Energy Investment Co., Ltd., Nantong 216000, China; 2. Jiangsu Province Communications Planning and Design Institute CO., LTD., Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Asphalt pavement rutting is the main disease of urban roads, which can reduce the pavement smoothness and shorten the service life of city roads. This paper, taking the pavement reconstruction project of a road intersection as an example, analyzed the road performance and economic benefits of three kinds of modified asphalt mixture. It maintains that the use of suitable modifiers can improve the anti-rutting performance of asphalt pavement, which plays a key role in solving the pavement rutting problem.

**Key words:** rut; modifier; road performance; asphalt mixture

(责任编辑 刘棉玲)