

橡胶/多聚磷酸复合改性沥青高温低温性能研究

蔡 亮

(海南省交通工程检测中心, 海南 海口 571100)

摘 要: 为分析多聚磷酸对橡胶改性沥青的高温低温性能的影响,采用动态剪切流变仪、弯曲梁蠕变劲度试验及常规试验分别对基质沥青、橡胶改性沥青、不同多聚磷酸掺量的复合改性沥青 5 种沥青进行温度扫描试验、多应力重复蠕变试验和软化点试验研究沥青的高温稳定性,采用弯曲蠕变劲度试验和延度试验研究沥青的低温抗裂性。结果表明,橡胶粉改性剂可以显著改善沥青的高温稳定性和低温抗裂性;多聚磷酸可以改善橡胶改性沥青的高温性能,且掺量越多,改性效果越明显;多聚磷酸对橡胶改性沥青的低温性能没有明显的影响。

关键词: 道路工程;改性沥青;橡胶粉;多聚磷酸

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)11-0224-04

0 引 言

随着废旧橡胶轮胎固体废弃物随之逐年递增,如何处理日益增长的废旧轮胎固体废弃物与自然环境的联系是亟需解决的社会难题^[1]。另一方面,车流量增加,对沥青路面的质量要求更高,采用掺加聚合物、橡胶等外掺剂的改性沥青可以显著改善沥青路面的路用性能。近年来,橡胶沥青混合料由于能够有效抑制路面结冰、显著降低路面噪声且抗滑性能好而得到了广泛的应用。廖国胜等^[2]使用红外光谱从微观角度分析了胶粉对沥青性能的影响,发现胶粉改性沥青既有物理改性又有化学反应,且胶粉改变了沥青的结构。王萌等^[3]使用 Brookfield 粘度试验研究了胶粉掺量对改性沥青粘度的影响,表明随着胶粉掺量的增加,改性沥青的粘度增大。黄志诚^[4]基于星点设计-效应面法优化了橡胶改性沥青的加工工艺,认为胶粉掺量为 13%,加工温度 167℃,加工时间 118 min 为最佳工艺参数。但是大多数橡胶改性沥青存在高温储存易离析的现象,制约了橡胶改性沥青的推广应用。通过添加适当的外掺剂可以有效改善橡胶改性沥青热储存稳定性。多聚磷酸(Poly Phosphoric Acid, PPA)是常用的酸改性剂,它是由正磷酸、聚磷酸、少部分偏磷酸和聚偏磷酸使用一定的配比组成的混合磷酸,可以显著改善沥青的高温性能,且价格较低^[5-6],因此有关多聚磷酸/橡胶复合

改性沥青的研究日益受到重视。周育名等^[7]研究了不同含量橡胶粉与不同掺量 PPA 的复合改性沥青,表明复合改性沥青高温性能得到了较大改善。朱圻^[8]认为橡胶粉/多聚磷酸复合改性沥青具有高温低温兼顾且连续、均匀的共混共融体系。牛文^[9]优化了最佳 PPA 掺量与胶粉掺量范围,认为 PPA 掺量 1.0%~1.5%,胶粉掺量 20%~24%为适宜的复合改性沥青掺量。

本文通过在基质沥青中外掺橡胶粉与 PPA,制备橡胶/多聚磷酸复合改性沥青,采用动态剪切流变试验和软化点试验进行橡胶/多聚磷酸复合改性沥青高温性能的研究,采用低温弯曲梁蠕变试验和延度试验进行复合改性沥青低温性能研究,全面分析复合改性沥青的高温低温流变性能,为后续的研究与应用提供参考。

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

(1) 基质沥青

采用 SK-90 基质沥青,其技术指标和试验方法参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E 20—2011),技术指标见表 1。

(2) 橡胶粉

选用 40 目橡胶粉,其主要技术指标见表 2。

(3) PPA

选用广西产 105%PPA,其具体参数见表 3。

1.2 试验方法

文献[6]认为橡胶改性沥青中橡胶粉掺量一般为

收稿日期: 2022-01-10

作者简介: 蔡亮(1988—),男,本科,工程师,从事公路桥梁检测和研究工作。

表 1 沥青技术指标

试验项目	检测结果	技术标准	试验方法
针入度(25℃,5 s,100 g)/0.1 mm	94.5	80~100	T0604
软化点(R&B)/℃	47.2	不小于 45	T0606
15℃延度/cm	大于 150	不小于 140	T0605
10℃延度/cm	102	不小于 30	T0605
密度(15℃)/(g·cm ⁻³)	1.005	实测	T0603

表 2 橡胶粉主要技术指标

试验项目	检测结果	技术标准	试验方法
筛余物含量	2.8	小于 10	《硫化橡胶粉》 (GB/T 19208—2008)
纤维含量	0	小于 0.1	
含水率	0.4	小于 1.0	
金属含量	0.015	小于 0.03	《路用废胎硫化橡胶粉》 (JT/T 797—2011)
相对密度	1.13	1.10~1.30	
炭黑含量	28.36	不小于 28	《橡胶和橡胶制品热重分析法 测定硫化胶和未硫化胶的成 分》(GB/T 14873—2014)
橡胶烃含量	57.13	不小于 48	

表 3 PPA 主要技术参数

规格	P ₂ O ₅ 含量	Cl 含量	SO ₄ ²⁻ 含量	重金属含量 (Pb 计)	密度 (g·cm ⁻³)
105%	77.5	0.001	小于 0.01	0.001	2.0

15%~20%。文献[7]通过梳理有关研究文献,发现作为沥青酸改性剂,PPA 的掺量一般为沥青质量的 0.2%~2%。因此本文设定复合改性沥青的橡胶粉掺量为 15%,PPA 掺量为 0.4%,0.8%,1.2%,并以基质沥青和掺量为 15%的橡胶改性沥青作为参照对象。因此,本文确定的试验方案为:基质沥青;15%橡胶改性沥青;15%橡胶改性沥青+0.4%PPA 复合改性沥青;15%橡胶改性沥青+0.8%PPA 复合改性沥青;15%橡胶改性沥青+1.2%PPA 复合改性沥青。分别表示为基质、15% CRM、15% CRM-0.4% PPA、15% CRM-0.8% PPA、15% CRM-1.2% PPA。

橡胶/多聚磷酸复合改性沥青的制备工艺为:首先将基质沥青加热至 170℃;然后称量基质沥青质量 15%的橡胶粉,将橡胶粉迅速加入熔融的基质沥青中,并使用高速剪切乳化机以 3 000 r/min 的转速剪切搅拌 60 min;最后依次称量基质沥青质量 0.4%、0.8%、1.2%的 PPA,在 170℃温度状态下以 5 000 r/min 的转速剪切搅拌 30 min;剪切完成后置于 175℃烘箱中 10 min,即制得橡胶/多聚磷酸复合改性沥青。

常规试验参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011),主要测试沥青的软化点(T0606—2011)和延度(T0605—2011)。

流变试验使用 Anton Paar 公司生产的 MCR 301 型流变仪和美国 Cannon 公司生产的弯曲梁流变仪分别进行高温和低温流变试验。

2 高温性能

本文以软化点、抗车辙因子和不可恢复蠕变柔量评价沥青的高温性能。抗车辙因子和不可恢复蠕变柔量通过动态剪切流变仪(DSR)进行温度扫描和多应力重复蠕变试验(MSCR)计算,其中温度扫描采用应变控制模式,温度范围为 46℃~70℃;多应力重复蠕变试验采用 0.1 kPa 和 3.2 kPa 两种应力水平,试验温度为 64℃^[10]。

2.1 软化点

5 种沥青的软化点试验结果见图 1。

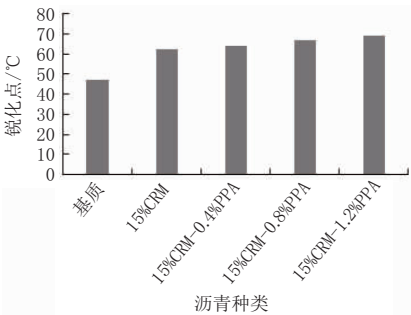


图 1 不同类型沥青软化点

软化点可以直观反映沥青的高温性能,由图 1 可知,相比基质沥青,橡胶改性沥青的软化点明显增大,说明添加胶粉后,改变了基质沥青的结构,由于胶粉的作用,使橡胶改性沥青内部形成了一定的网络构造,具有较大的比表面积,导致基质沥青和橡胶粉的分子力增大,因此沥青的高温性能也得以相应提高;对于橡胶/多聚磷酸复合改性沥青,随着 PPA 含量的增加,复合改性沥青的软化点逐步提高,说明掺加 PPA 能够改善橡胶改性沥青的高温性能,这可能是因为掺加 PPA 后,改性沥青中沥青质含量变大,胶团数量增多,从而胶团间的相互作用力增大,高温性能提高^[11-12]。

2.2 抗车辙因子

沥青路面在高温状态下的主要破坏形式是车辙变形,抗车辙因子可以量化评价沥青的抗车辙能力,其值越大,沥青的抗车辙能力越好。5 种沥青在不同温度下的抗车辙因子见图 2。

由图 2 可知,不论是基质沥青、橡胶改性沥青还是复合改性沥青,其抗车辙因子均随着温度的升高而降低,这是由于沥青是粘弹性体,在温度较低时表现为弹性体,温度升高,由弹性体向黏性体转化,恢

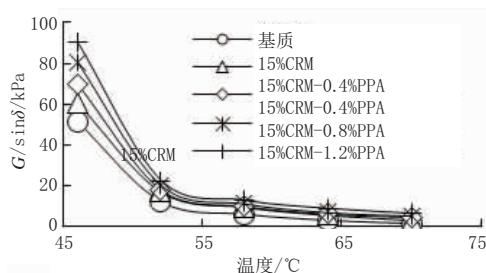


图2 不同类型沥青抗车辙因子

复变形能力减弱,抗车辙因子变小;随着 PPA 含量的提高,复合改性沥青的抗车辙因子也相应增大,高温性能提高,其中 PPA 掺量 1.2% 的复合改性沥青高温性能最好。

2.3 不可恢复蠕变柔量

产生高温车辙现象主要原因是不可恢复应变的累积造成的,因此采用不可恢复蠕变柔量评价沥青的高温性能具有重要的意义。不可恢复蠕变柔量由 MSCR 试验计算得到。MSCR 试验可以反映沥青在不同应力作用下的变形特性,当应力撤去后,部分蠕变变形恢复,不可恢复的变形会累加到下个载荷循环中,能够真实模拟路面的行车作用。MSCR 试验曲线见图 3,以 15%CRM-1.2%PPA 复合改性沥青试验结果为例。

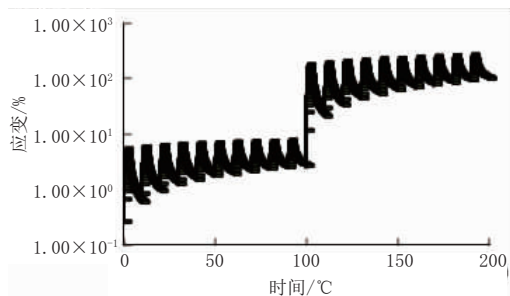


图3 15%CRM-1.2%PPA 复合改性沥青 MSCR 试验曲线

由图 3 可以看出,复合改性沥青在 MSCR 试验中变形较大,与时间成一定的关系,在恢复阶段,没有出现弹性分量的复原;复合改性沥青在不同应力作用下表现出的应变不同,在 3.2 kPa 下的应变远远大于 0.1 kPa 下的应变。通过 MSCR 应变-时间曲线,计算不同类型改性沥青的不可恢复蠕变柔量见图 4。不可恢复蠕变柔量按式(1)计算。

$$J_{ir} = \frac{\varepsilon_u}{\sigma} \quad (1)$$

式中: J_{ir} 为不可恢复蠕变柔量; ε_u 为没有恢复的应变; σ 为施加的应力。

由图 4 可知,沥青 3.2 kPa 下的不可恢复蠕变柔量大于 0.1 kPa 下的,说明随着应力增大,沥青抗永久变形能力降低;基质沥青的不可恢复蠕变柔量远

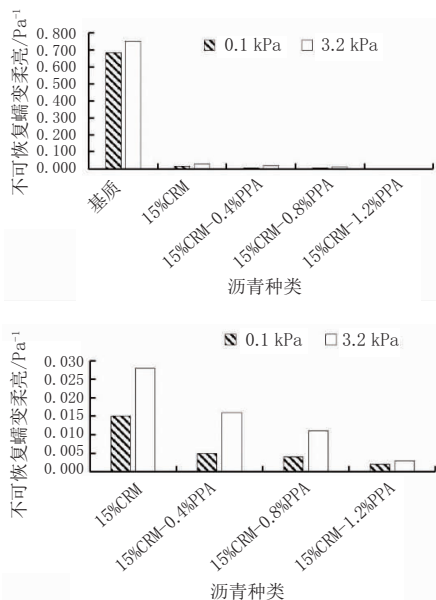


图4 不同类型沥青不可恢复蠕变柔量

远大于改性沥青的,说明改性剂对于沥青高温性能具有较大影响;随着 PPA 掺量的增大,复合改性沥青的不可恢复蠕变柔量降低,且不论在 0.1 kPa 还是 3.2 kPa 应力作用下,15%CRM-1.2%PPA 复合改性沥青的不可恢复蠕变柔量最低,高温性能最好,这与软化点和抗车辙因子的结果相同。

3 低温性能

3.1 延度

5 种沥青的 5°C 延度试验结果见图 5。

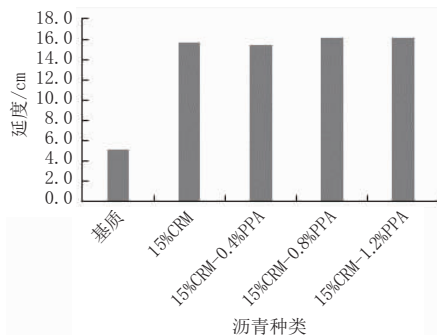


图5 不同类型沥青 5°C 延度

延度可以反映沥青在低温状态下的塑性,由图 5 可以看出,15%CRM、15%CRM-0.4%PPA、15%CRM-0.8%PPA、15%CRM-1.2%PPA 四种改性沥青的 5°C 延度明显大于基质沥青的 5°C 延度,而四种改性沥青的 5°C 延度相差不大,说明对于橡胶改性沥青,加入 PPA 并没有改善橡胶改性沥青的低温性能。

3.2 蠕变劲度

与我国针入度评价体系中采用低温延度评价沥青的低温性能不同,美国 SHRP 计划使用弯曲蠕变劲度试验来评价沥青的低温抗裂性,因此本文对 5 种沥

青进行 -12°C 弯曲蠕变劲度试验,试验结果见图 6。

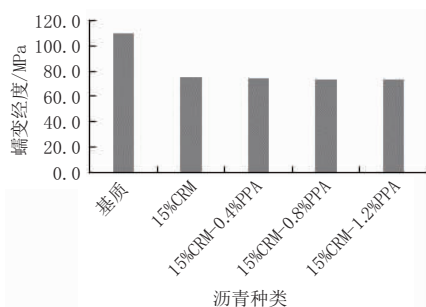


图 6 不同类型沥青蠕变劲度

由图 6 可知,15% CRM、15% CRM-0.4% PPA、15% CRM-0.8% PPA、15% CRM-1.2% PPA 4 种改性沥青的蠕变劲度明显小于基质沥青的蠕变劲度,而 4 种改性沥青的蠕变劲度相差不大,这与延度结果相同,说明 PPA 加入橡胶沥青后对低温性能改善并不大,这可能是因为复合改性沥青的低温性能主要受橡胶粉改性剂的影响,而橡胶粉改性剂弱化了 PPA 对复合改性沥青的低温性能的影响作用,因此加入 PPA 后对橡胶改性沥青的低温性能没有明显作用。

4 结 论

(1) 掺加橡胶粉改性剂使沥青软化点升高,抗车辙因子增大,不可恢复蠕变柔量降低,延度增大,蠕变劲度减小,显著改善基质沥青的高温稳定性和低温抗裂性。

(2) 橡胶改性沥青中加入 PPA,使改性沥青软化点升高,抗车辙因子增大,不可恢复蠕变柔量降低,橡胶改性沥青的高温稳定性得以明显提升,且掺量

越高,改性效果越好。

(3) 橡胶改性沥青中加入 PPA,低温延度和蠕变劲度变化不大,PPA 对橡胶改性沥青的低温性能改善效果不明显。

参考文献:

- [1] 许实.多聚磷酸/胶粉复合改性沥青的制备与性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2015.
- [2] 廖国胜,郭胜龙,孙建刚.基质沥青-废橡胶粉体系的化学改性剂研究[J].化工新型材料,2015,43(11):143-145.
- [3] 王萌,李晓林,郑广宇,等.废胶粉改性沥青的性能研究及增塑剂对改性沥青的性能影响[J].中外公路,2016,36(2):266-268.
- [4] 黄志诚.废旧轮胎橡胶粉改性沥青加工工艺优化[J].公路,2019,64(7):284-287.
- [5] 叶长建,叶群山.多聚磷酸与橡胶粉复合改性沥青性能研究[J].中外公路,2016,36(6):209-211.
- [6] 刘祥,张正伟,杨小龙,等.多聚磷酸改性沥青研究现状及展望[J].材料导报,2017,31(19):104-111.
- [7] 周育名,魏建国,时松,等.多聚磷酸及橡胶粉复合改性沥青性能[J].长安大学学报(自然科学版),2018,38(5):9-17.
- [8] 朱圻.橡胶粉与多聚磷酸复合改性沥青性能研究[J].新型建筑材料,2018,45(7):115-120.
- [9] 牛文.多聚磷酸复配 TB 胶粉改性沥青流变特性及其混合料路用性能[J].公路,2017,62(8):234-243.
- [10] ASTM, Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer[Z]. ASTM D7405, West Conshohocken, PA, 2015.
- [11] 付国志,赵延庆,孙倩倩.多聚磷酸与 SBS 复合改性沥青的改性机制[J].复合材料学报,2017,34(6):1374-1380.
- [12] 袁东东,蒋玮,肖晶晶,等.热氧老化作用对高黏改性沥青黏弹特性的影响[J].长安大学学报(自然科学版),2020,40(6):1-11.

《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

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