

# 以石蜡为温拌剂的橡胶温拌沥青流变性能研究

曹芳

(湖北随岳南高速公路有限公司,湖北 监利 433300)

**摘要:**为了探究石蜡作为温拌剂改性橡胶沥青的可能性,该文以1.5%的石蜡及15%橡胶粉复合改性基质沥青,制备了温拌橡胶沥青,并探究了石蜡-橡胶温拌沥青的流变性能。通过对基质沥青、橡胶沥青、石蜡-橡胶温拌沥青及常用的 Sasobit-橡胶温拌沥青进行旋转黏度试验、高温与低温流变性能试验,揭示了石蜡对橡胶沥青工作性能与流变性能的影响。研究表明:石蜡可如 Sasobit 般显著降低橡胶沥青高温下的旋转黏度,改善橡胶沥青的工作性能;石蜡略微降低了沥青的高温流变性能和低温流变性能,但橡胶弥补了这一不足,石蜡-橡胶温拌沥青的高低温性能较基质沥青仍具有显著优势。故石蜡可作为温拌剂用于温拌橡胶沥青的制备。

**关键词:** 道路工程; 石蜡-橡胶温拌沥青; Sasobit 温拌剂; 工作性能; 流变性能

将橡胶应用于道路中不仅可以改善沥青混合料的路用性能,同时能够缓解因日益增加的橡胶废弃料导致的环境污染,橡胶沥青优异的路用性能亦使之成为沥青路面的首选胶结料之一。

但橡胶的加入显著提高了沥青的黏度,而黏度是表征沥青路用性能的一个重要技术指标,需要严格控制。为了保证橡胶沥青在施工时具有较好的流动性,橡胶沥青的制备温度通常在180℃以上。橡胶的加入对沥青混合料的拌和温度与施工温度提出了更高的要求,这不仅加大了燃料消耗,同时加大了摊铺与压实难度,成为制约橡胶沥青推广应用的主要难题。因此,近年来,国内外学者不断地开发、寻找合适的材料和技术降低橡胶沥青的黏度。

温拌橡胶沥青由于其优异的抗疲劳性能、高温稳定性、抗车辙能力及环保性能,被广泛地应用于道路建设领域。目前常用的温拌剂为 Sasobit,大量研究发现:Sasobit 不仅可以显著提高沥青的工作性能,还可以提高沥青的高温性能,因此 Sasobit 是目前最受欢迎的温拌剂之一。Sabobit 实际上是一种固体合成蜡,因此也被称作蜡型温拌剂。蜡型温拌剂 Sabobit 与石蜡不同,Sasobit 的熔点约为100℃,比石蜡的熔点高50%左右。已有部分研究者将石蜡加入到基质沥青中研究其对基质沥青的路用性能及微观性能的影响。Alireza Samieadel 等将石蜡用作沥青的一种温拌剂加

入到 PG 64-22 基质沥青中,并研究了石蜡对基质沥青流变性能的影响,揭示了两者的作用机理,探究了石蜡作为基质沥青温拌剂的可行性。但目前,鲜有学者将石蜡作为橡胶沥青的温拌剂,并探究石蜡对橡胶沥青性能的影响。

基于此,该文分别将石蜡和 Sasobit 加入到橡胶沥青中,通过布氏旋转黏度试验评价石蜡和 Sasobit 对橡胶沥青的降黏效果,并通过温度扫描试验、多重应力恢复蠕变试验和低温弯曲梁试验,对比揭示石蜡和 Sasobit 的加入对橡胶沥青的高温性能和低温性能的影响。

## 1 原材料及试验方案

### 1.1 原材料

该文采用 70# A 级道路石油沥青,其基本技术性质指标如表 1 所示。

选取 40 目的橡胶颗粒制备橡胶沥青,其基本性质如表 2 所示。

该文所用石蜡和 Sasobit 两种温拌剂的基本指标对比如表 3 所示。

### 1.2 改性沥青的制备

采用布鲁克高速剪切仪,在 176℃ 的温度下,以 4 000 r/min 的速度将 15% 的橡胶颗粒和基质沥青剪

表1 70# 基质沥青的技术指标

试验项目	单位	实测结果	技术要求	试验方法
针入度(25℃, 100 g, 5 s)	0.1 mm	60~80	67	T0604—2011
延度(10℃, 5 cm/min)	cm	≥15	31	T0605—2011
软化点(环球法)	℃	≥46	58	T0606—2011
密度(25℃)	g/cm <sup>3</sup>	实测	1.027	T0603—2011
质量变化率	%	±0.8	-0.083	T0610—2011
RTFOT后 残留针入度比	%	≥61	81	T0604—2011
残留延度(10℃)	cm	≥6	7	T0605—2011

表2 橡胶颗粒的基本性质

检测项目	单位	实测数据	技术要求
水分	%	0.65	<1
金属含量	%	0.02	<0.05
纤维含量	%	0.11	<1
灰分	%	5	≤8
丙酮抽出物	%	14	≤22
炭黑含量	%	34	≥28
橡胶烃含量	%	57	≥42

表3 Sasobit的基本指标

指标	单位	石蜡	Sasobit
外观		乳白色固体	白色固体
主要成分		脂肪胺衍生物, 烷基胺	固体饱和烃 (固体烷烃)
25℃密度	g/cm <sup>3</sup>	0.65	0.85
熔点	℃	57	103
闪点	℃	285	285

切混合后获得橡胶沥青, 剪切时间一共为 1 h。在此基础上分别加入 1.5% 石蜡或 3% Sasobit 温拌剂, 再在 160℃、2 000 r/min 的条件下剪切 30 min 制得石蜡-橡胶温拌沥青与 Sasobit-橡胶温拌沥青。同时, 在相同条件下, 制备了橡胶沥青与基质沥青。

## 2 石蜡对橡胶沥青黏度的影响

采用布氏旋转黏度仪, 在 135、175℃ 试验温度下, 开展 Brookfield 旋转黏度试验, 用以评价石蜡和 Sasobit 对橡胶沥青工作性能的影响。根据 135℃ 和 175℃ 下的表观黏度确定黏温曲线, Brookfield 黏度测试通常用于评估可加工性并确定沥青结合料的合适混合及压实温度。根据 JTG F40—2004《公路沥青路面施

工技术规范》要求, 所有沥青的 135℃ 黏度不得大于 3 Pa·s, 在此基础上, 沥青的黏度越大, 说明沥青材料所需的混合和压实温度越高, 工作性能越差。

依据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》, 对该文所用 4 种沥青进行旋转黏度试验, 结果如图 1 所示。

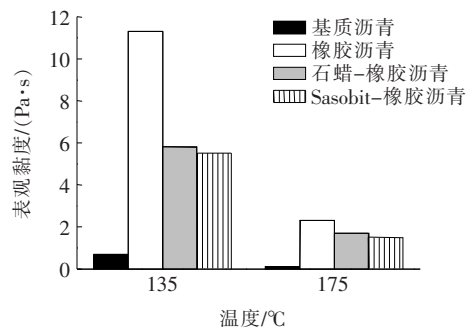


图1 不同温度下4种沥青的布氏旋转黏度试验结果

由图 1 可知: Sasobit 和石蜡都可以显著降低橡胶沥青的表观黏度, 在 135℃ 和 175℃ 的温度下, 石蜡-橡胶沥青的黏度相较于橡胶沥青而言分别降低了 48.7%、26.1%; Sasobit-橡胶沥青的黏度相较于橡胶沥青而言分别降低了 51.3%、34.8%; 两种试验温度下, 石蜡-橡胶沥青皆与 Sasobit-橡胶沥青的黏度相近。结果表明: 石蜡对橡胶沥青工作性能的改善效果与 Sasobit 温拌剂相近, 石蜡掺入显著提升了橡胶沥青的工作性能, 究其原因主要是因为石蜡的熔点远低于沥青, 故石蜡的掺入降低了橡胶沥青的黏度。

## 3 石蜡对橡胶沥青高温流变性能的影响

### 3.1 温度扫描试验

为了揭示石蜡在不同温度条件下对橡胶沥青黏弹特性的影响, 根据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥

青混合料试验规程》,采用 MCR-301 型动态剪切流变仪,对 4 种沥青在 64、70、76、82 °C 共 4 个温度下开展温度扫描试验,记录沥青的复数剪切模量( $G^*$ )和相位角( $\delta$ ),采用车辙因子( $G^*/\sin\delta$ )评价沥青的高温流变性能。

沥青的车辙因子越大,表明沥青产生车辙病害的可能性越小,即抗车辙性能越好。图 2 为 4 种沥青的车辙因子计算结果。

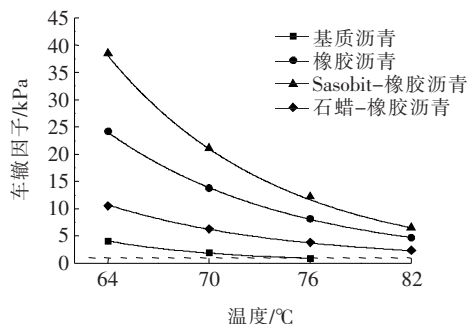


图 2 不同温度下 4 种沥青的抗车辙因子试验结果

由图 2 可知:橡胶沥青、石蜡-橡胶沥青和 Sasobit-橡胶沥青的车辙因子均远远大于基质沥青,表明三者的抗永久变形性能显著好于基质沥青;而 3 种橡胶沥青中,Sasobit-橡胶沥青的车辙因子最大,其次是橡胶沥青,石蜡-橡胶沥青的车辙因子最小,Sasobit 提高了橡胶沥青的高温性能而石蜡的加入使得橡胶沥青的高温性能略有下降。另外,随着温度的升高,橡胶沥青、Sasobit-橡胶沥青和石蜡-橡胶沥青的车辙因子逐渐接近,在 82 °C 的温度下,3 种橡胶沥青的车辙因子仍然大于 1 kPa,满足规范要求,而基质沥青为 70~76 °C 时就已经达到规范要求的限值。

### 3.2 多重应力恢复蠕变(MSCR)试验

根据美国 ASTM-D7405 开展多重应力恢复蠕变试验(MSCR),以进一步探究石蜡对橡胶沥青高温流变性能的影响。对经短期老化处理的 4 种沥青进行多重应力恢复蠕变(MSCR)试验,获得沥青的不可恢复蠕变柔量  $J$  和恢复率  $R$  两个参数,用以评价沥青的高温抗车辙性能。不可恢复蠕变柔量  $J$  是指 10 个加载卸载循环中,沥青发生的不可恢复的那部分应变与应力(0.1 kPa 或 3.2 kPa)的比值的均值;而恢复率  $R$  是指沥青恢复的应变与对应的总应变的比值的均值。 $J$  越大,表明沥青的抗永久变形能力越好, $R$  越大代表沥青的弹性部分越多。

为了保证试验结果的可比性,4 种沥青均在 64 °C 的温度下完成 MSCR 试验。选用的试验板的直径为

25 mm,试验板和振荡板之间的间隙为 1 mm,即沥青样品为一直径 25 mm、高 1 mm 的圆柱体。在测试的每个循环中,施加蠕变载荷 1 s,然后在 64 °C 下恢复 9 s。每个样品经受 10 个循环,其蠕变应力为 0.1 kPa;经历 10 个循环,其蠕变应力为 3.2 kPa,重复上述步骤。4 种沥青在 0.1、3.2 kPa 应力水平下的  $J$  和  $R$  试验结果如图 3、4 所示。

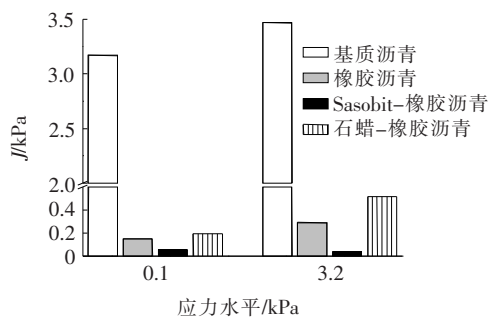


图 3 4 种沥青的不可恢复蠕变柔量  $J$

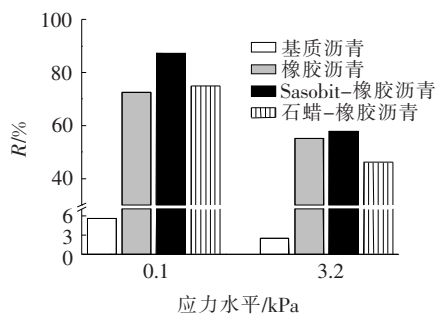


图 4 4 种沥青的恢复率  $R$

由图 3、4 可知:不可恢复蠕变柔量  $J$  值由小到大的排序为:Sasobit-橡胶沥青<橡胶沥青<石蜡-橡胶沥青<基质沥青,恢复率  $R$  的排序正好相反。这说明,无论是在 0.1 kPa 低应力水平还是 3.2 kPa 高应力水平作用下,4 种沥青的抗永久变形能力排序是一致的,且与温度扫描的结果一致。与基质沥青相比,在 0.1 kPa 低应力水平下橡胶沥青、Sasobit-橡胶沥青和石蜡-橡胶沥青的不可恢复蠕变柔量分别降低了 95.3%、98.3% 和 93.9%,恢复率分别提高了 12.0 倍、14.7 倍和 12.5 倍。因此,3 种橡胶沥青的高温性能较基质沥青而言有显著提升。这是因为橡胶沥青具有较大的弹性,沥青在受到荷载作用产生变形后,橡胶颗粒的存在使得其能够恢复大部分弹性变形,而仅有一小部分残留的塑性变形。

另外,石蜡的加入提高了橡胶沥青的不可恢复蠕变柔量,降低了恢复率,而 Sasobit 降低了橡胶沥青的不可恢复蠕变柔量,提高了恢复率,两者表现出相反的

影响,表明 Sasobit 可以提高橡胶沥青的高温抗车辙性能,石蜡会略微降低橡胶沥青的高温抗车辙性能,但石蜡-橡胶沥青的高温性能仍优于基质沥青。

#### 4 石蜡对橡胶沥青低温流变性能的影响

为了揭示石蜡对橡胶沥青低温流变性能的影响,根据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》,采用弯曲梁流变仪,对 4 种沥青在 -24、-18、-12 °C 3 个温度下开展低温弯曲梁试验(BBR),通过试验获取蠕变劲度(S)和蠕变速率( $m$  值)两个指标综合评价沥青的低温流变性能,4 种沥青的 BBR 试验结果如图 5 所示。

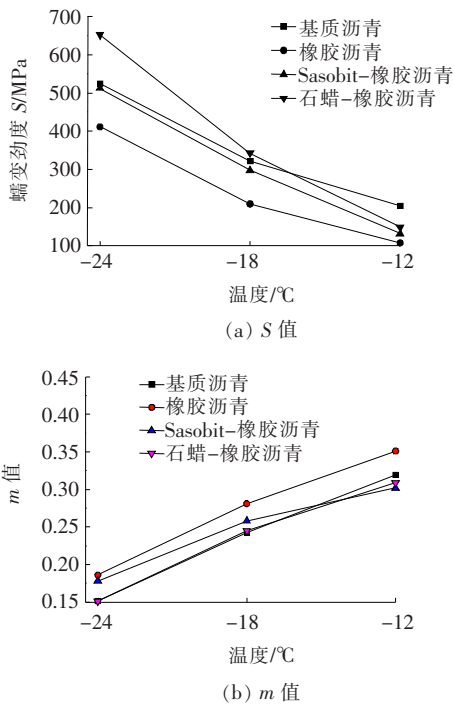


图 5 4 种沥青的 BBR 试验结果

根据 AASHTO—T313,沥青在任意温度等级下的蠕变劲度小于等于 300 MPa,并且蠕变速率大于等于 0.3 时,被判定为在该温度下合格。在合格的前提下,蠕变劲度越小,蠕变速率越大,表明沥青的低温抗裂性越好。由图 5 可知:基质沥青和石蜡-橡胶沥青在 -18 °C 下均已失效,因此不宜在 -18 °C 及以下的环境下使用。在 -12 °C 的温度下,橡胶沥青的蠕变劲度明显低于基质沥青,表明橡胶可以显著提高基质沥青的低温性能,而 Sasobit 和石蜡两种温拌剂的加入增加了橡胶沥青的蠕变劲度值,降低了橡胶沥青的低

温性能,这可能是因为 Sasobit 和石蜡的玻璃态转化温度。在 -12 °C 条件下,Sasobit-橡胶沥青和石蜡-橡胶沥青的低温性能仍然好于基质沥青,较基质沥青而言,Sasobit-橡胶沥青的蠕变劲度降低了 35.8%,石蜡-橡胶沥青的蠕变劲度降低了 27.5%。

#### 5 结论

为了探究石蜡作为橡胶沥青温拌剂的可行性,并与常用的 Sasobit 温拌剂制备的橡胶沥青进行比较,该文通过开展旋转黏度试验、温度扫描试验、多重应力恢复蠕变试验和低温弯曲梁试验,对比揭示基质沥青、橡胶沥青、Sasobit-橡胶沥青和石蜡-橡胶沥青的工作性能和流变性能。得到以下结论:

(1) 石蜡和 Sasobit 均可以显著降低橡胶沥青的黏度,提高橡胶沥青的工作性能,有利于降低橡胶沥青的拌和温度和压实温度。

(2) Sasobit 进一步提高了橡胶沥青高温性能,但降低了橡胶沥青的低温性能。而石蜡会略微降低橡胶沥青的高温性能和低温性能,但橡胶沥青优良的高低温性能可以弥补这一不足,加入石蜡后的橡胶沥青仍然具有较好的高温性能和低温性能。

(3) 石蜡可以在保证橡胶沥青的高温抗车辙性能和低温抗裂性能良好的前提下,大幅度降低橡胶沥青的黏度,提高其工作性能,因此,石蜡是一种可行的橡胶沥青温拌剂材料。

#### 参考文献:

- [1] Navarro F. J., Partal P., Martinez-Boza F., et al. Influence of Crumb Rubber Concentration on the Rheological Behavior of a Crumb Rubber Modified Bitumen[J]. Energy & Fuels, 2005, 19(5): 1 984—1 990.
- [2] Yu X., Wang Y. H., Luo Y. L.. Effects of Types and Content of Warm-Mix Additives on CRMA[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2013, 25(7): 939—945.
- [3] 杨倡珍. 温拌剂 Sasobit 对 SBR 改性沥青短期老化后性能的影响[J]. 中外公路, 2020(2).
- [4] Alireza S., Daniel O., Elham H. F. Multi-Scale Characterization of the Effect of Wax on Intermolecular Interactions in Asphalt Binder[J]. Construction and Building Materials, 2017, 157: 1 163—1 172.
- [5] Jan B. K., Karol J. K., Piotr R., et al. Rheological Behaviour of N-Alkane Modified Bitumen in Aspect of Warm Mix Asphalt Technology[J]. Construction and Building Materials, 2015, 93: 703—710.