

基于动态力学的直投改性技术机理及应用研究

朱荣芳¹, 唐国奇²

(1.涟水县交通运输局, 江苏 淮安 223400; 2.北京中路铺面技术有限公司, 北京 100083)

摘要:以 SBS-T 为改性剂,通过干法制备不含矿粉及细集料的改性沥青混合料并加热取得其中的改性沥青结合料,通过湿法以相同掺量的 LG501 SBS 改性剂制备 SBS 改性沥青,基于动态力学方法对两种工艺制备的改性沥青结合料进行改性剂网络结构强度评价及软化点、延度宏观指标分析,研究 SBS-T 直投改性剂在拌和时对沥青的作用机理;通过干法、湿法两种工艺分别制备相同改性剂掺量的 AC-16 沥青混合料并进行试验,评价 SBS-T 对沥青混合料的改性效果。结果显示,随着发育时间的增加,湿法制备的改性沥青的改性剂网络强度逐渐增强而后趋于稳定,其稳定值与干法制备改性沥青的网络结构强度相仿;两种工艺制备的改性沥青性能指标基本一致,干法工艺的低温性能更优;干法制备的混合料的性能指标超过规范要求,部分指标优于湿法,改性作用明显;在干法拌和过程中,SBS-T 中的改性剂能迅速溶于沥青并发生交联反应形成稳定的三维网络结构,显著提高沥青及沥青结合料的宏观指标。

关键词:公路;干法工艺;直投改性技术;动态力学;网络结构

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)05-0075-04

在诸多改性沥青中,SBS 改性沥青以其优异的高低温性能得到广泛应用。SBS 改性沥青使用方法可分为湿法和干法两种工艺,其中湿法工艺是指在工厂或施工现场通过剪切等方法预先制备得到成品改性沥青,而后与集料等一同拌和使用,是目前最常用的改性技术。由于 SBS 改性剂与基质沥青的物性存在差异,制备得到的成品 SBS 改性沥青属于热力学不稳定体系,在储存时会出现一定程度的改性剂离析和性能衰减,影响其性能的正常发挥。而干法工艺直接将基质沥青、改性剂及集料一起投入拌和站,在高温下通过石料的快速剪切、嵌挤过程达到改性效果,避免了成品改性沥青的加工环节,可降低改性沥青在储存过程中的性能损失及污染物排放和生产成本。

对于 SBS 类改性沥青,改性剂能否均匀分散在沥青中并吸附轻质油形成连续的网状结构,是最大限度发挥聚合物改性作用的关键。不同于湿法,干法工艺生产过程中改性剂与沥青接触时间相对较短,改性剂迅速溶于沥青并交联形成稳定的三维网络结构。SBS-T 改性剂是一种速溶型直投改性剂,其中包含预粉碎并溶胀的 SBS,为提高改性效果还引入了一种快速交联体系,使用时直接投放于拌和站中。该文基于动态力学方法评价以 SBS-T 为

改性剂,通过干法工艺制备的沥青结合料的网络强度及宏观指标,将干法、湿法两种工艺生产的沥青混合料的性能指标进行对比,在此基础上就 SBS-T 直投改性技术的作用机理进行分析。

1 试验方案

1.1 试验原料

基质沥青选用中海油 36-1 70# 沥青,其主要性质见表 1。

表 1 中海油 36-1 70# 沥青的主要性质

项目	指标值
软化点/℃	47
针入度/(0.1 mm)	68
延度(15 ℃)/cm	>150

直投改性剂选用 SBS-T,产自北京中路铺面技术有限公司,其主要性质见表 2。

湿法制备改性沥青的改性剂选用线型 LG501,其主要指标见表 3。

1.2 干法改性沥青样品的制备

干法改性沥青样品的制备步骤:先通过干法工艺制备沥青混合料,然后自混合料中提取沥青样品。

表2 SBS-T直投改性剂的指标要求

项目	技术要求
外观	颗粒状,均匀、饱满
单粒颗粒质量/g	≤0.05
密度/(g·cm ⁻³)	≤1.0
溶融指数/[g·(10 min) ⁻¹]	≥2.0
灰分/%	≤1.0

表3 LG501 SBS改性剂的指标要求

项目	技术要求
比重	0.94
硬度(邵氏)	74
断裂延伸率/%	800
拉伸强度/MPa	33
分子量/(g·mol ⁻¹)	120 000
嵌段比	31/69

干法混合料的制备方法:先进行干拌,即将5%有效改性剂含量(以基质沥青质量为准)的SBS-T改性剂与粗集料拌和均匀,然后加入基质沥青(为提高沥青提取效率,油石比取20%)进行湿拌。为确保混合料拌和均匀,各过程中按照表4所示工艺参数进行控制。

表4 干法拌和工艺参数

工艺	温度/℃	时间/s
干拌	185	8
湿拌	185	45

为评价拌和后沥青混合料中沥青的性质,开发一种自混合料中取沥青样品的方法:将刚完成拌和的沥青混合料包裹在合适孔径的金属筛网中,将筛网架设在接样容器上,整体放置于温度为190℃的烘箱中,待沥青样品受热溶化后滴落至接样容器中。若沥青样品滴落速度较慢,则使用腻子刀将粗集料表面的沥青直接刮取至取样容器中。

1.3 湿法改性沥青样品的制备

湿法改性沥青的制备采用溶胀—剪切—发育工艺,先将与1.2节中SBS-T相同掺量的LG501 SBS改性剂与基质沥青混合均匀,再在185℃温度下以4 000 r/min的转速剪切30 min,然后在185℃温度下搅拌发育。

1.4 网络结构强度评价

溶于沥青后,SBS中的苯乙烯嵌段相互之间能发生交联反应形成三维网络结构,这种结构是改性沥青性能指标得到提升的重要原因之一。但通过荧光显微镜、宏观指标分析等方法难以对这种结构的存在进行表征,只能进行间接推测。根据粘弹力学理论,流体的相邻流层之间会产生抵抗流动的内部阻力,称之为剪切力,剪切力与接触面积之比即为剪切应力,剪切应力能通过动态剪切流变仪测试得到。Wekumbura C. J.、Ragab M.等认为以固定剪切率对样品连续施加作用力,受三维网络结构的影响,存在交联结构的改性沥青样品在剪切应力—时间曲线上会呈现明显峰谷,交联越充分峰谷越明显,通过这种现象能对网络结构的存在进行验证。

在动态剪切流变仪的应变控制模式下进行剪切试验。将样品制成直径25 mm、厚度1 mm的薄片,于60℃下保温40 min后连续施加60 s、剪切率2 s⁻¹的作用力,测量样品的剪切应力,绘制剪切应力—时间曲线。在该曲线上取剪切应力峰值与平缓值的比例记为网络结构强度 I , I 值越大,网络结构强度越高,内部结构越难受到外界所施加力的破坏,所形成的网络结构越稳定。

1.5 干法及湿法改性沥青混合料的制备

混合料矿料级配选用常见的AC-16,油石比为4.5%。干法改性沥青混合料的制备:先将SBS-T、粗集料及细集料一同干拌,然后加入基质沥青、矿粉进行湿拌,其工艺参数见表4。SBS-T的比例为混合料质量的0.3%,等量代替基质沥青。湿法改性沥青混合料采用1.3节制备的改性沥青通过常规方法拌和得到。

1.6 沥青及沥青混合料的宏观指标分析

沥青及沥青混合料的性能评价试验根据JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》的要求进行。

2 试验结果分析

2.1 改性沥青的网络结构强度

以湿法工艺制备的SBS改性沥青在不同发育时间下的剪切应力—时间曲线见图1。由图1可知:在剪切的初始阶段,基质沥青剪切应力很快达到最大值;随着时间的延长,剪切应力维持不变,难以观察到峰值的存在。这是因为基质沥青中缺乏交联结构,含有的极性体、氢键被施加的作用力瞬间破

坏。经过改性后,剪切应力首先到达某个峰值,然后逐渐降低并趋于平缓。网络结构强度 I 见图 2,从中可见,随着发育时间的延长,网络结构强度发生变化,发育时间超过 12 h 后网络结构强度达到最大值 1.6,之后趋于稳定。

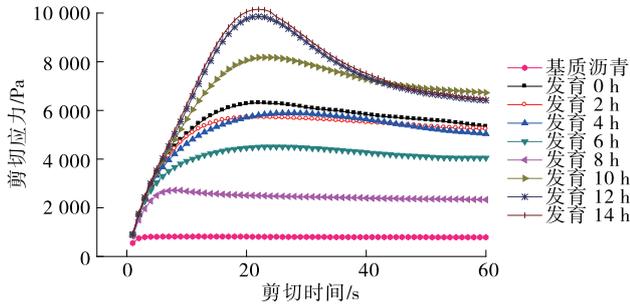


图 1 湿法工艺制备的 SBS 改性沥青在不同发育时间的剪切应力—剪切时间曲线

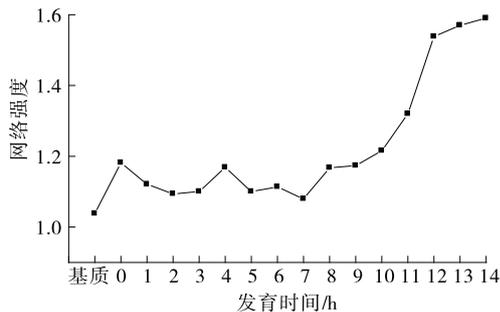


图 2 湿法工艺制备的 SBS 改性沥青的网络结构强度与发育时间的关系

干法制备的改性沥青样品的剪切试验结果见图 3,其网络结构强度 I 为 1.58。

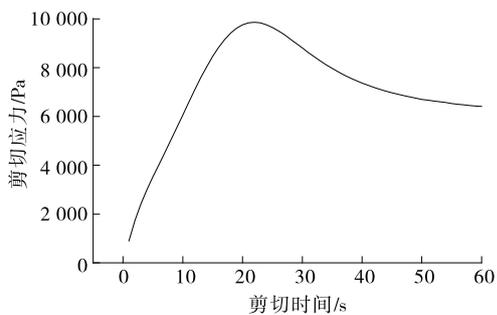


图 3 干法工艺制备的 SBS 改性沥青的剪切应力—剪切时间曲线

根据上述结果,以干法工艺制备的改性沥青的网络结构强度 I 值与湿法工艺的网络强度最大值基本一致,由此可得在经历了短暂的拌和过程后,SBS-T 改性剂在集料的挤压和剪切作用下快速溶于沥青中,其中预先粉碎并溶胀的 SBS 颗粒发生交联反应形成稳定的改性剂三维网络结构,达到与湿法

改性相同的效果。

2.2 改性沥青的性能指标

对干法及湿法两种工艺制备得到的改性沥青样品进行性能指标分析,结果见表 5 和图 4。为方便对比,表 5 中基质沥青为自基质沥青与粗集料拌和得到的混合料中按照 1.2 节方法得到的沥青样品,湿法改性沥青取自发育 13 h 的样品。

表 5 两种工艺所得改性沥青的性能指标

项目	基质 沥青	改性沥青		技术 要求
		干法	湿法	
软化点/ $^{\circ}\text{C}$	47.5	78	75	≥ 60
延度(5 $^{\circ}\text{C}$)/cm	—	29	34	≥ 20
针入度(25 $^{\circ}\text{C}$)/(0.1 mm)	67.0	56	58	40~60

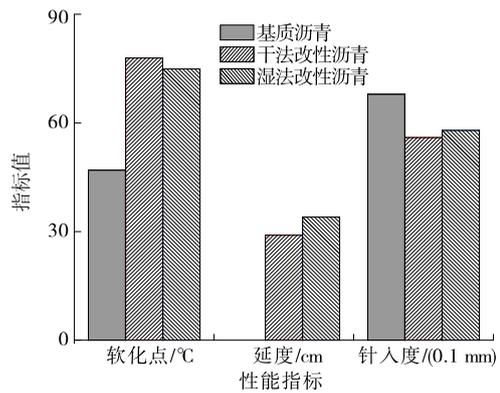


图 4 两种工艺所得改性沥青性能指标对比

由表 5 和图 4 可知:随着 SBS-T 的加入,沥青结合料的高、低温性能得到显著改善,说明干法的改性效果显著;干法与湿法两种工艺制备得到的改性沥青的性能指标基本一致,反映高温性能的软化点方面干法更优异,而表征低温性能的延度方面湿法更优。可见,干法改性起到了与湿法相同的效果,受益于改性剂三维网络结构的形成,沥青结合料的高、低温性能得到大幅提升,所得改性沥青的性能指标能满足实际工程的要求。

2.3 混合料的性能指标

按照 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》对干法及湿法两种工艺制备得到的沥青混合料进行性能评价,试验方案如下:方案一为基质沥青与矿料通过常规方法拌和;方案二为成品 SBS 改性沥青与矿料通过常规方法拌和;方案三为 SBS-T 先与集料干拌,而后加入基质沥青及矿粉湿拌。各方案的试验结果见表 6。

表6 两种工艺所得改性沥青混合料的性能指标

方案	稳定度/kN	流值/ (0.1 mm)	残留稳 定度/%	冻融劈裂 强度比/%	动稳定度(60℃,0.7 MPa)/ (次·mm ⁻¹)
方案一	7.50	44	85.0	80.0	875
方案二	9.31	37	90.3	84.8	3 300
方案三	14.10	35	90.2	89.4	6 120
技术要求	≥8	1.5~4	≥85	≥80	≥2 800

由表6可知:干法工艺制备得到的沥青混合料的各项性能指标符合并远超过技术要求,与基质沥青相比得到实质性改善,说明SBS-T的加入显著改善了沥青混合料的路用性能。干法与湿法的改性效果基本相当,部分指标超过湿法工艺,如反映高温抗车辙能力的动稳定度提高85%,反映混合料强度的马歇尔稳定度提高51%,反映水稳定性的冻融劈裂强度比提高5%。可见,干法工艺作为传统方法的替代方案能满足公路建设的需要。

3 结论

(1) SBS-T在干法拌和过程中能迅速熔融,其中预先粉碎并溶胀的SBS改性剂在集料的挤压和剪切力作用下发生交联反应形成稳定的三维网络结构,能显著提高沥青及沥青结合料的宏观指标,提升沥青结合料的高、低温性能。

(2) 干法工艺的改性效果优于常规的湿法改性,特别在高温抗车辙能力方面提升幅度较大。

(3) 作为湿法改性工艺的替代方案,使用直投SBS改性技术能避免成品改性沥青性能指标的衰减,显著改善路面质量,具有较大推广应用价值。

参考文献:

- [1] 张德勤.石油沥青的生产与应用[M].北京:中国石化出版社,2001.
- [2] 王涵,邓文广,李佰昌,等.基于黏弹力学的SBS改性沥青改性剂网络结构研究[J].石油炼制与化工,2017,48(1).
- [3] Wekumbura C J, Stastna L Z. Destruction and recovery of internal structure in polymer-modified asphalts[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2007, 19(3)
- [4] Ragab M, Abdelrahman M, Ghavibazoo A. Performance enhancement of crumb rubber-modified asphalts through control of the developed internal network structure[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2013, 2371.
- [5] Dealy J M, Tsang W M. Structural time dependency in the rheological behavior of molten polymers[J]. The Journal of Applied Polymer Science, 1981, 26(4).
- [6] JTG E20-2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [7] JTG F40-2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].

收稿日期:2017-03-20

(上接第74页)

东南大学,2015.

- [2] 孙学伟.AR-AC13橡胶沥青混合料设计与施工[J].中外公路,2008,28(5).
- [3] 冯凌兵,蒋育红,李妍,等.重载交通下的不同沥青路面结构适应性分析[J].安徽冶金科技职业学院学报,2011,21(4).
- [4] 吴旷怀,王伟明,李燕枫,等.兴畚高速公路橡胶沥青试验路段路面结构与材料组成设计[J].中外公路,2012,32(6).
- [5] JTG D50-2006, 公路沥青路面设计规范[S].
- [6] 雷文茂.复合式基层长寿命沥青路面结构分析[D].长沙:中南大学,2010.

- [7] 庞付强.橡胶沥青路面结构优化设计研究[D].西安:长安大学,2013.
- [8] Randy C West, Jingna Zhang, Jason Moore. Evaluation of bond strength between pavement layers[R]. National Center for Asphalt Technology, 2005.
- [9] 李佳庆,雷凡.湿法橡胶沥青配比设计 & 水稳定性试验研究[J].公路与汽运,2015(2).
- [10] 谢冬喜,李智,张志强.基于CAVF法的温拌橡胶沥青混合料性能研[J].公路与汽运,2015(3).
- [11] JTG E20-2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

收稿日期:2017-03-08