

脱油沥青复合改性沥青混合料性能评价研究

李 璐¹ 刘 攀¹ 郝增恒^{1,2} 盛兴跃¹ 张 毅¹

(1.重庆市智翔铺道技术工程有限公司,重庆 401336;

2.招商局重庆交通科研设计院有限公司,重庆 400067)

摘 要 利用脱油沥青(DOA)生产道路沥青是行之有效的技术方案。考察了制备方式对 DOA/苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SBS)复合改性沥青混合料性能的影响,评价了复合改性沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性及疲劳性能,并分析了其经济性。结果表明,掺入 DOA 能提高沥青混合料的高温性能,但对混合料的低温抗裂性、疲劳性能和水稳定性有消极影响;DOA 改性沥青与 SBS 复合后,混合料的低温性能、水稳定性及疲劳性能均有所改善,高温性能更为优异。综合考虑混合料的路用性能,确定合理的 DOA 掺量为 20%(质量分数)。DOA/SBS 复合改性沥青不但保证了路用性能要求,而且还能有效地降低成本,经济效益显著,可以应用于公路工程。

关键词 脱油沥青,复合改性沥青,沥青混合料,路用性能,道路工程

Evaluation on performance of DOA compound modified asphalt mixture

Li Lu¹ Liu Pan¹ Hao Zengheng^{1,2} Sheng Xingyue¹ Zhang Yi¹

(1.Chongqing Zhixiang Paving Technology Engineering Co.,Ltd.,Chongqing 401336;

2.China Merchants Chongqing Communications Research & Design Institute Co.,Ltd.,
Chongqing 400067)

Abstract The production of modified asphalt by DOA and SBS compounding with road asphalt is an effective way that can solve DOA applications reasonably. The effect of preparation method on performance of DOA/SBS compound modified asphalt mixture was investigated. Its high temperature stability, low temperature crack resistance, water stability and fatigue performance were evaluated, and the economy was analyzed. The results showed that DOA could improve the high temperature performance of mixture, but it had a negative effect on low temperature crack resistance, fatigue performance and water stability. When DOA modified asphalt mixing with SBS, its low temperature performance and fatigue performance were improved, especially high temperature performance. Considering the pavement performance of asphalt mixture, the reasonable DOA dosage was 20%. DOA/SBS asphalt not only met the requirements of pavement performance, but also had significant economic benefits. Therefore, it can be applied to road engineering.

Key words deoiled asphalt(DOA), compound modified asphalt, asphalt mixture, pavement performance, road engineering

苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SBS)是使用范围广泛的沥青改性剂,具有优良的弹性恢复和高温特性,可以同时改善沥青的高温性能、低温性能和疲劳性能,显著提高路面的使用性能,延长路面的使用寿命^[1-4],但是使用 SBS 会提高工程成本。

脱油沥青(DOA)是渣油溶剂脱沥青过程中的副产物,主要由胶质、沥青质及少量油分组成,其软化点高、黏度大、针入度低,不同原油产出的 DOA 性质差异较大^[5-7]。在我国 DOA 主要用来生产重

质燃料油,但该方法未能充分发挥 DOA 自身的优点,而且也不环保。利用 DOA 生产道路沥青是一个行之有效的利用途径,经济效益和社会效益明显^[8-11]。然而,有关这方面的研究也只是处于起步阶段,特别是混合料路用性能方面基本处于空白。

将 DOA 与 SBS 按一定掺量复合制备改性沥青,对提高沥青性能和降低成本具有重要意义。赵睿等^[12]利用 DOA 和 SBS 调合商用 70 号沥青制备改性沥青,有效改善了沥青的性能。孔令云等^[13]的

基金项目:重庆市社会民生科技创新专项(cstc2015shmszx1126);重庆市科技创新领军人才支持计划(CSTCCXLJRC201720)

作者简介:李璐(1984-),男,高级工程师,博士研究生,主要从事道路材料研究与应用。

研究表明,DOA/SBS 复合改性沥青混合料路用性能良好,表明 DOA 部分替代 SBS 在技术上是可行的,且具有更好的经济性。本研究将 DOA 改性沥青与 SBS 复合,考察了 DOA/SBS 复合改性沥青混合料的路用性能,并分析其经济性,为 DOA 在道路工程中的应用提供理论依据。

1 实验部分

1.1 原料

DOA,中国石油长庆石化;基质沥青为韩国 SK-70[#]道路沥青;线性 SBS(YH-791H),湖南岳阳石化公司,嵌段比 PS/PB=30/70,其他性能均符合要求。DOA、SK-70[#]道路沥青基本性能指标分别见表 1、表 2。

表 1 DOA 基本性能指标

项目	检测结果
针入度(25℃)/(0.1mm)	18.3
延度(25℃)/cm	10.9
软化点(环球法)/℃	71.2
$w(\text{蜡})/\%$	5.1
$w(\text{饱和分})/\%$	14.71
$w(\text{芳香分})/\%$	25.87
$w(\text{胶质})/\%$	47.52
$w(\text{沥青质})/\%$	11.90

表 2 SK-70[#]道路沥青基本性能指标

项目	检测结果
针入度(25℃)/(0.1mm)	66.0
延度(15℃)/cm	>150
软化点(环球法)/℃	47.8
$w(\text{饱和分})/\%$	17.83
$w(\text{芳香分})/\%$	46.69
$w(\text{胶质})/\%$	25.96
$w(\text{沥青质})/\%$	9.52

1.2 集料和集料级配

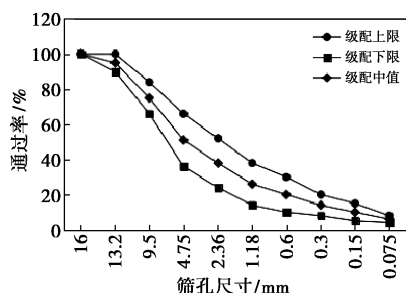


图 1 AC-13 沥青混合料的级配组成

粗集料、细集料均采用坚硬、耐磨的玄武岩碎石,矿粉为石灰岩矿粉,无结团现象,其各项指标满足规范要求。实验选择 AC-13 型级配中值,级配组成如图 1 所示。

1.3 最佳油石比的确定

通过马歇尔试验确定最佳油石比。试验结果表明,DOA/SBS 复合改性沥青混合料的最佳油石比(质量比)为 5.1%。

1.4 DOA/SBS 复合改性沥青混合料路用性能研究

按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行车辙试验、低温小梁弯曲试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验及小梁疲劳试验,评价 DOA 改性沥青混合料及 DOA/SBS 复合改性沥青混合料的路用性能。

2 结果与讨论

2.1 制备方式对 DOA/SBS 复合改性沥青混合料性能的影响

DOA/SBS 复合改性沥青混合料的制备分为湿法和干法。干法的优点是 DOA 以直投方式加入混合料,简化了生产工艺,但不利于 DOA 在沥青混合料中的均匀混合。湿法的优点是 DOA 与基质沥青能够充分混合均匀,对稳定控制沥青混合料的性能有利。在 DOA 掺量 10%,SBS 掺量 3%(均为质量分数,下同)的条件下,考察制备方式对复合改性沥青混合料性能的影响,结果如表 3 所示。

表 3 制备方式对复合改性沥青混合料性能的影响

项目	湿法		干法	
	未掺 SBS	掺 3% SBS	未掺 SBS	掺 3% SBS
马歇尔稳定度/kN	10.91	12.27	10.56	12.03
流值/mm	3.3	2.8	3.2	2.9
60℃动稳定度/(次·mm ⁻¹)	1853	3316	1750	3000
车辙深度/mm	1.70	1.61	1.72	1.68
飞散损失/%	11.5	10.6	11.3	10.9
浸水马歇尔残留稳定度/%	85.7	91.0	85.1	89.6
冻融劈裂强度比/%	77.9	86.7	76.5	85.2

由表 3 可知:湿法制备的 DOA/SBS 复合改性沥青混合料性能更优,其马歇尔稳定度和 60℃动稳定度较干法制备的复合改性沥青混合料高,飞散损失略小;湿法制备的复合沥青混合料浸水马歇尔残留稳定度和冻融劈裂强度比与干法制备的复合改性

混合料相差不大。采用湿法投加 DOA, DOA 能与基质沥青充分混合,更能发挥其优势。因此,确定采用湿法制备 DOA/SBS 复合改性沥青混合料,并进一步考察 DOA 掺量对复合改性沥青混合料路用性能的影响。

2.2 DOA/SBS 复合改性沥青混合料路用性能研究

2.2.1 高温稳定性分析

夏季高温季节,沥青路面在行车荷载的反复作用下会产生车辙变形,严重危及行车安全^[14],因此沥青混合料必须具备良好的高温稳定性。通过车辙试验评价 DOA/SBS 复合改性沥青混合料的高温稳定性,结果如图 2 所示。

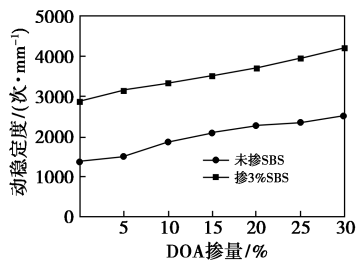


图 2 DOA/SBS 复合改性沥青混合料高温稳定性

由图 2 可知,在基质沥青中掺入 DOA 后,沥青混合料的动稳定度会提高,在一定范围内 DOA 掺量越大,沥青混合料的动稳定度越高,即 DOA 对沥青混合料的高温稳定性有积极影响。DOA 软化点高,与基质沥青混合后,沥青软化点增大,因此混合料的高温稳定性也随之增强。DOA 与 SBS 复合掺混后,SBS 可以有效提高基质沥青的软化点,沥青混合料的稳定度又有所升高,这表明 DOA 与 SBS 在改善高温稳定性上具有协同作用。仅针对改善高温性能时,DOA 的掺量越高越好,但必须综合考虑 DOA/SBS 复合改性沥青混合料的其他路用性能,如低温性能、水稳定性及疲劳性能等,才能确定 DOA 的合理掺量。

2.2.2 低温抗裂性分析

低温收缩裂缝是沥青路面普遍存在的道路病害之一,特别是低温地区,严重影响道路的使用寿命

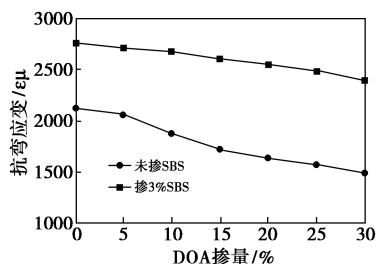


图 3 DOA/SBS 复合改性沥青混合料低温稳定性

命^[15]。采用低温小梁弯曲试验(-10°C)评价沥青混合料的低温抗裂性,结果如图 3 所示。

从图 3 可知,DOA 对沥青混合料的低温抗裂性有消极影响,一定范围内,随着 DOA 掺量的增大,沥青混合料的抗弯应变减小,低温变形能力越差,则抗裂性越弱。DOA 硬而脆、延度低,低温性能较差,不能满足路用要求。因此,DOA 的掺入必将导致沥青混合料低温性能下降,必须通过与 SBS 复合改性才能达到规范要求。DOA 改性沥青与 SBS 复合后,复合改性沥青混合料的低温性能得到有效改善,这表明 DOA/SBS 复合改性沥青混合料具有良好的低温抗裂性。从图 3 可以看出,不同 DOA 掺量下,复合改性沥青混合料的抗弯应变均大于 $2000\epsilon\mu$,若控制抗弯应变不小于 $2500\epsilon\mu$,则 DOA 掺量不宜大于 25%。

2.2.3 水稳定性分析

沥青路面在有水条件下,经受行车荷载和温度缩胀的反复作用,产生的动水压力使沥青与集料的粘附性能下降,致使沥青路面破坏^[16]。通过浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验评价 DOA/SBS 复合改性沥青混合料的水稳定性,结果如图 4 所示。

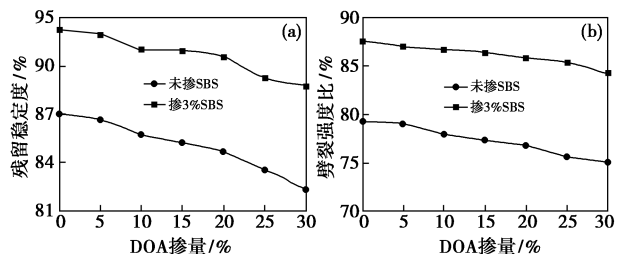


图 4 DOA/SBS 复合改性沥青混合料水稳定性

[(a) DOA 掺量对混合料残留稳定度的影响;

(b) DOA 掺量对混合料劈裂强度比的影响]

由图 4 可知,掺入 DOA 将导致沥青混合料残留稳定度和劈裂强度比下降,这表明 DOA 对沥青混合料的水稳定性有消极影响。另一方面,DOA 对沥青混合料水稳定性的影响并不明显,当 DOA 掺量为 20% 时,沥青混合料残留稳定度降低了 2.8%,劈裂强度比降低了 3.2%;当 DOA 掺量为 30% 时,沥青混合料残留稳定度和劈裂强度比均降低了 5.4%。掺入 3% SBS 后,复合改性沥青混合料的残留稳定度和劈裂强度比随之增大,高于基质沥青混合料,即 DOA/SBS 复合改性沥青混合料的水稳定性良好,完全满足路用要求。

2.2.4 疲劳性能分析

沥青路面在行车荷载的重复作用下,荷载应力

超过路面极限强度,路面出现裂缝或龟裂,即为疲劳损坏,这是沥青路面出现最多的破坏形式之一。因此,沥青混合料的疲劳寿命直接影响路面的使用性能和寿命^[17]。采用控制应变的小梁疲劳试验评价 DOA/SBS 复合改性沥青混合料的疲劳性能,试验条件如下:加载频率 10Hz、温度 15℃、试验波形为偏正弦波、应变水平 $800\epsilon\mu$ 。在应变条件下,试件不会出现明显的断裂破坏,以初始劲度模量减少 50% 时的疲劳作用次数作为沥青混合料疲劳寿命的判断标准,结果如图 5 所示。

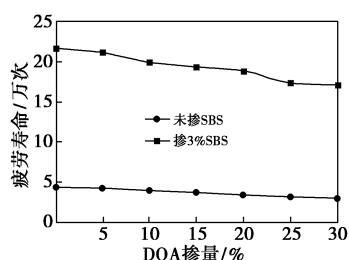


图 5 DOA/SBS 复合改性沥青混合料疲劳性能

由图 5 可知:在一定的应变条件下,随着 DOA 掺量的增加,沥青混合料的疲劳寿命将逐渐缩短,当 DOA 掺量为 30% 时,沥青混合料的疲劳寿命仅为基质沥青混合料寿命的 67.3%。而 SBS 能显著提高基质沥青和 DOA 改性沥青混合料的疲劳性能。其中,添加 3% SBS 改性沥青的混合料疲劳寿命达到了 215880 次,即使 DOA 掺量为 30%,复合改性沥青混合料的疲劳寿命也高达 170128 次,几乎是基质沥青混合料的 4 倍。因此,DOA/SBS 复合改性沥青混合料具有良好的疲劳性能。

DOA 对沥青混合料的高温稳定性能有积极作用,对沥青混合料的低温稳定性和疲劳稳定性有消极作用,而对水稳定性影响较小。综合考虑,合理的 DOA 掺量为 20%,在此基础上制备的 DOA/SBS 复合改性沥青混合料具有较优的路用性能。

2.3 DOA/SBS 复合改性沥青混合料综合性能分析

将 20% DOA+3% SBS 复合改性沥青混合料的路用性能与普通沥青混合料、DOA 改性沥青混合料及 SBS 改性沥青混合料进行比较,结果如表 4 所示。从表 4 可以看出,DOA/SBS 复合改性沥青混合料综合性能良好。与普通沥青混合料和 DOA 改性沥青混合料相比,复合改性沥青混合料的 60℃ 动稳定度分别提高了 170.5% 和 64.7%,低温抗弯应变分别提高了 19.9% 和 55.4%,残留稳定度分别提高了 4.0% 和 7.0%,劈裂强度比分别提高了 8.2% 和 11.7%,疲劳寿命分别提高了 334.6% 和

466.2%。与 SBS 改性沥青混合料相比,复合改性沥青混合料高温性能更佳;而低温抗裂性、水稳定性及疲劳性能又明显高于普通沥青混合料。综合来看,DOA/SBS 复合改性沥青混合料的路用性能良好,满足使用要求。

表 4 沥青混合料路用性能对比结果

路用性能	混合料类型			
	普通沥青	DOA 改性沥青	SBS 改性沥青	复合改性沥青
高温稳定性	较差	较优	优	优异
低温抗裂性	一般	较差	优	较优
水稳定性	良好	良好	优	优
疲劳性能	一般	较差	优	较优

2.4 DOA 影响沥青混合料性能机理分析

DOA 主要组分包括芳香分、胶质、沥青质及少量饱和分,与基质沥青组分相差不大。DOA 与基质沥青混合时,其组分将会打乱重组,这是物理变化过程,并未发生化学反应。DOA 中胶质、沥青质等重质组分所占比例较大,这将打破基质沥青的组分比例,使得重质组分含量升高,改变了沥青体系的物理参数,进而影响沥青及混合料的路用性能。具体表现为混合料的高温稳定性增强,而低温抗裂性、水稳定性及疲劳性能均有不同程度的下降。

2.5 DOA/SBS 复合改性沥青混合料经济性分析

通过实验可知,DOA 掺量越多,改性沥青的成本越低,20% DOA+3% SBS 复合改性沥青混合料成本明显低于 SBS 改性沥青成本,将 DOA 大规模应用到公路工程,其效益相当可观。

3 结论

(1)对比了干法和湿法 2 种工艺制备 DOA 改性沥青混合料和 DOA/SBS 复合改性沥青混合料,其中湿法工艺制备的复合改性沥青混合料具有更好的路用性能。

(2)掺入 DOA 后,沥青混合料的高温稳定性增强,但低温抗裂性、疲劳性能和水稳定性都有不同程度的下降,且随着 DOA 掺量的增加,这种变化趋势更为明显。通过与 SBS 复合,复合改性沥青混合料的低温性能和疲劳性能显著提高,水稳定性也有一定的提升,而高温性能更优异。

(3)综合考虑沥青混合料的各项性能,DOA 掺量以 20% 为宜。在此条件下,DOA/SBS 复合改性沥青混合料的路用性能均满足要求。

(4)与普通沥青混合料相比,DOA/SBS 复合改性沥青混合料的路用性能更优;复合改性沥青混合料的经济性优于 SBS 改性沥青混合料。

参考文献

- [1] Yang Kang, Song Mingyu, Liang Pu, et al. Rheological behaviors of epoxy asphalt binder in comparison of base asphalt binder and SBS modified asphalt binder[J]. Construction and Building Materials, 2015, 76: 343-350.
- [2] Karakas A S, Kuloglu N, Kok B V, et al. The evaluation of the field performance of the neat and SBS modified hot mixture asphalt[J]. Construction & Building Materials, 2015, 98: 678-684.
- [3] 徐茂震, 刘金景, 李文志, 等. SBS 改性沥青性能影响因素研究[J]. 化工新型材料, 2015, 43(1): 169-172.
- [4] 郝增恒, 李璐, 王民, 等. 基于 FT-IR 及二维相关分析的 SBS 超热老化机理[J]. 高分子材料科学与工程, 2015, 31(7): 119-123.
- [5] Xiang L, Li Z, Cheng J. Construction asphalt prepared by chemical treatment of deoiled asphalt[J]. Petroleum Science & Technology, 2016, 34(10): 920-926.
- [6] 易发军, 罗勇, 傅徐刚, 等. 溶剂脱沥青组合工艺生产重交通道路沥青[J]. 石化技术与应用, 2006, 24(6): 477-480.
- [7] 李士斌, 孙启乾, 张在龙, 等. 脱油沥青的改性及应用初探[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(9): 147-150.

- [8] 程健, 王延飞, 罗运华, 等. 南阳渣油溶剂脱沥青生产道路沥青的研究[J]. 石油沥青, 2000, 14(1): 18-26.
- [9] 王延飞, 程健, 贾生盛, 等. 南阳脱油沥青的性质研究[J]. 公路, 2001(6): 104-106.
- [10] 李首先, 黄伟祈, 龙军. 生产优质高等级道路沥青的探索[J]. 石油沥青, 1997, 11(4): 9-12.
- [11] Liang M, Liu S, Fan W, et al. Rheological and chemical characterization of deoiled asphalt modified with FCC slurry[J]. Materials & Structures, 2016, 49(9): 3607-3617.
- [12] 赵睿, 程健. 脱油沥青和 SBS 复合改性 70 号道路沥青的研究[J]. 石油沥青, 2015, 29(3): 37-41.
- [13] 孔令云, 罗艺, 王建壮, 等. 脱油沥青对沥青及沥青混合料性能影响分析[J]. 石油沥青, 2016, 30(3): 32-37.
- [14] Li P, Jiang K, Li H. High-temperature stability of asphalt mixture with the influence of styrene butadiene styrene[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, 43: 842-848.
- [15] Tan Y, Zhang L, Shan L, et al. The study on evaluation methods of asphalt mixture low temperature performance[J]. Rilem Bookseries, 2012, 4: 1291-1299.
- [16] 张洋, 祝立娟, 张嘉鹏. 高速公路沥青路面早期水损害机理分析及预防措施[C]. 中国公路建设与养护技术大会, 2007: 169-171.
- [17] 黄明, 温学钧, 黄卫东, 等. 不同设计目标下沥青混合料的疲劳性能[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2016, 44(4): 572-579.

收稿日期: 2017-09-03

修稿日期: 2018-09-11

(上接第 246 页)

(1)由 G^* 、 δ 和 $G^*/\sin\delta$ 的变化规律可知, 木质素的掺入对提高沥青高温稳定性作用显著。木质素改性沥青高温稳定性改善的流变学机理表现为, 木质素的掺入对 G'/G^* 增加更为显著, 而对 G''/G^* 降低影响较小。

(2)由 $\tan\delta$ 的变化规律可知, 老化前木质素改性沥青的 $\tan\delta$ 小于基质沥青, 而老化后则出现了相反情况。表明木质素改性沥青经过老化后仍具有较大的黏弹比, 木质素对沥青抗老化性能有明显的改善作用。

(3)对比老化前后各流变参数变化规律发现, 存在木质素改性沥青最佳掺量, 过多的木质素掺入, 反而会使二者相容性变差, 各项指标也将受到负面影响。实验结果表明, 木质素掺量为 12% 时效果最佳。

参考文献

- [1] 阎立峰, 朱清时. 以生物质为原材料的化学化工[J]. 化工学报, 2004, 55(12): 1938-1943.
- [2] 廖晓锋, 雷茂锦, 陈忠达, 等. 生物结合料共混沥青的路用性能实验研究[J]. 材料导报, 2014, 28(1): 144-149.
- [3] 汪海年, 王清华, 赵欣, 等. 生物沥青结合料的制备工艺及性能评价[J]. 中国科技论文, 2015, 10(12): 1774-1478.

- [4] 卢强. 利用生物废油改性沥青及其低温路用性能研究[J]. 公路工程, 2016, 41(3): 74-77.
- [5] 马洋洋. 生物质树脂及其改性沥青研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [6] 易军艳, 黄玉东, 冯德成, 等. 道路用生物质材料的研究现状与应用展望[J]. 中外公路, 2016(1): 221-228.
- [7] Adam Zofka, Iliya Yut. Investigation of rheology and aging properties of asphalt binder modified with waste coffee grounds[C]. Transportation Research Circular on Alternative Binders for Sustainable Asphalt Pavements.
- [8] Calabi-Floody A, Thenoux G. Controlling asphalt aging by inclusion of byproducts from red wine industry[J]. Construction & Building Materials, 2012, 28(1): 616-623.
- [9] Hao Wang, Kristen. Rheological properties of asphalt binder partially substituted with wood lignin[C]. 2013: Sustainable and Efficient Pavements, 2013: 977-986.
- [10] 廖毅坚, 张彬腾, 李明利, 等. 酶解木质素改性沥青的制备及性能研究[J]. 化工新型材料, 2014, 42(7): 99-101.
- [11] 尹应梅, 张肖宁. 布敦岩沥青对沥青胶浆高温流变特性的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2010(7): 85-89.
- [12] 李宁利, 赵新坡, 孙吉书, 等. 老化对橡胶沥青高温流变性能的影响[J]. 公路, 2015(2): 165-168.
- [13] 王岚, 王子豪, 李超. 多聚磷酸改性沥青老化前后高温流变性能[J]. 复合材料学报, 2017, 34(7): 1610-1616.
- [14] 刘飞跃, 许凯, 陈鸣才, 等. EA-AA 共聚物增容的 PVC-木质素共混物的热稳定性[J]. 化工学报, 2012, 63(10): 3324-3329.
- [15] 方润, 程贤魁. ABS/木质素复合材料的性能研究[J]. 化学工程与装备, 2010(9): 6-9.

收稿日期: 2018-04-18