

文章编号: 1674-599X(2021)02-0008-06

废胶粉与废塑料复合改性沥青混合料性能研究

姚文霞

(长沙市公共工程建设中心, 湖南 长沙 410000)

摘 要: 为研究废胶粉(WTR)与废塑料(EVA)复合改性沥青混合料的性能和最佳掺量, 分别采用废胶粉掺量为 5%、10%、15%与废塑料掺量为 0%、4%、6%复配, 制备 5 种复合改性沥青 AC-13C 混合料进行马歇尔试验、车辙试验、低温劈裂试验, 研究改性沥青混合料的高低温性能。试验结果表明: 废胶粉与废塑料均能有效改善基质沥青的高温性能, 其中掺量为 15%WTR+4%EVA 复合改性沥青的改善效果最明显, 其混合料具有最高动稳定度、最低流值、最佳高温性能。掺入废胶粉和废塑料, 能有效改善沥青混合料的低温性能, 15%WTR+6%EVA 改性沥青混合料的低温劈裂强度为最大, 较基质沥青提升了 34.8%; 15%WTR+4%EVA 改性沥青混合料的低温劈裂强度稍低, 较基质沥青提升了 22.8%。综合改性沥青的高低温性能, 15%WTR+4%EVA 为复合改性沥青的最佳掺量。

关键词: WTR/EVA; 复合改性沥青; 沥青混合料; 高低温性能

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2021.02.002

Performance study of waste tire rubber and waste plastic composite modified asphalt

YAO Wen-xia

(Changsha Public Engineering Construction Center, Changsha 410000, China)

Abstract: In order to study the performance of waste tire rubber (WTR) and waste plastic ethylene vinyl acetate (EVA) composite modified asphalt mixture, five kinds of composite modifier contents (5%WTR+4%EVA, 10%WTR+4%EVA, 15%WTR+4%EVA, 15%WTR+0%EVA, 15%WTR+6%EVA) were used to prepare AC-13C asphalt mixture. And the Marshall test, rutting test and low temperature splitting test were conducted to study the high and low temperature performance of the composite modified asphalt mixture. The results showed that, the high temperature properties of base asphalt can be improved by mixing WTR and EVA. Especially, the asphalt was mixed with 15%WTR and 4%EVA, the high temperature performance was significantly improved. And the 15%WTR+4%EVA modified asphalt mixture had the maximum dynamic stability and the minimum flow value, which indicated the optimum high temperature performance. Compared with base asphalt mixture, the low temperature splitting strength of 15%WTR+4%EVA and 15%WTR+6% EVA modified asphalt mixture were increased by 22.8% and 34.8% respectively. The comprehensive optimal modified content is 15%WTR+4%EVA.

Key words: WTR/EVA; composite modified asphalt; asphalt mixture; high/low temperature performance

随着交通量和交通荷载等级不断增长, 对沥青路面的性能要求越来越高。同时, 因汽车的更新产

生了大量的废旧轮胎, 造成了严重的“黑色污染”。目前, 中国每年会产生超过 3.5 亿条废旧轮胎, 到

收稿日期: 2021-01-06

作者简介: 姚文霞(1982-), 女, 长沙市公共工程建设中心工程师。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

2020 年每年废旧轮胎的总量超过 2 000 吨，但废旧轮胎的回收率不足 60%^[1-3]。废旧轮胎除了回收，还可以通过热解等方式进行处理，降低其对环境的污染^[4-5]。若将废旧轮胎应用于沥青改性，不仅可以提高沥青路面的性能，还能缓解废旧轮胎的污染问题。

废旧橡胶掺入到沥青中，对其进行改性，可以得到性能更为优异的橡胶改性沥青。有研究表明，橡胶改性沥青与基质沥青相比，其高温性能有显著提升^[6-7]，但改性沥青中的橡胶颗粒易导致应力集中现象，进而使橡胶沥青在低温情况下容易开裂^[8-10]。而废塑料(ethylene-vinyl acetate，简称为 EVA)的掺入，可以使沥青的低温柔韧性有很大的改善。EVA 掺入沥青后，会形成类似于橡胶的稳定结构，有利于提升沥青在不同温度条件下的稳定性和沥青路面的低温抗裂性能^[11-12]。

国内外对橡胶、EVA 及不同的改性剂复合改性

沥青已有大量研究，但是对于 EVA 和废胶粉(waste tire rubber，简称为 WTR)2 种聚合物同时掺入对沥青进行改性的研究较少。因此，作者拟研究 2 种废旧聚合物同时掺入的复合改性沥青混合料的性能，分析其最佳掺量，以期为废旧轮胎和废旧塑料在改性沥青中的应用提供借鉴。

1 原材料

1.1 矿料

本试验选择的矿粉和集料均产自湖南长沙云中再生科技紫荆厂。根据《公路工程集料试验规程(JTG E42—2005)》^[13]规定，对该厂的集料进行指标试验，各项指标均符合规范要求，见表 1。

1.2 改性剂

本试验 WTR 是国产 80 目废旧轮胎橡胶粉，其 80 目筛余量为 7.6%，金属含量 0.03%，丙酮抽取物

表 1 各项技术指标

Table 1 Technical indicators

数值	矿粉				细集料				粗集料			
	表观密度/ (g·cm ⁻³)	含水量/ %	亲水 系数	塑性指 数/%	表观密度/ (g·cm ⁻³)	含泥量/ %	砂当量/ %	坚固性/ %	表观密度/ (g·cm ⁻³)	吸水率/ %	压碎值/ %	针片状 含量/%
实测值	2.701	0.3	0.79	2.8	2.635	1.9	76.5	4.9	2.678	0.5	20.7	10.7
规范要求	≥2.500	≤1.0	<1.00	<4.0	≥2.500	≤3.0	≥60.0	≤12.0	≥2.600	≤2.0	≤28.0	≤15.0

含量 8%，灰分含量为 7.6%，橡胶烃含量为 48%，碳黑含量 30%，加热后损失量为 0.5%。EVA 全称为乙烯-醋酸乙烯共聚物，是一种通用高分子聚合物，本试验采用 4260 类型的 EVA，密度为 0.96 g/cm³。

1.3 基质沥青

本试验选择宝利 70#道路石油沥青为基质沥青，根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程(JTG E20—2011)》^[14]对常规指标进行了测试，结果见表 2，均满足规范《公路沥青路面施工技术规范(JTG F40—2017)》^[15]的要求。

1.4 改性沥青

1.4.1 改性剂掺量

根据 Yan^[16]等人对 WTR/EVA 复配改性沥青的分析结果，本试验选用 15%WTR 为控制掺量与不同掺量的 EVA 复配及 4%EVA 为控制掺量复配不同掺量 WTR，确定 5%WTR+4%EVA(简称 5%W+4%E)、10%W+4%E、15%W+4%E、15%W+0%E、

15%W+6%E 5 种复配掺量，研究 WTR/EVA 复合改性沥青的混合料性能。

1.4.2 改性沥青的制备

基于已有 WTR 改性沥青的相关研究，本试验将胶粉与废塑料复合改性沥青按照颜可珍^[17]等人的专利方案进行搅拌制备。首先，基质沥青加热 30 min 至 160 ℃呈流动状态，倒入搅拌杯中，搅拌杯的温度设定为 170 ℃，同时，将沥青质量相应掺量的胶粉倒入搅拌杯中，以 3 000 r/min 的速度高速剪切 10 min。然后将相应沥青质量的 EVA 掺量倒入搅拌杯中，再以相同的剪切速度进行高速剪切 20 min，直至搅拌均匀。最后，使用低速搅拌机将搅拌均匀的沥青在相同温度下进行去气泡，并对复合改性沥青指标进行常规性能测试，其结果见表 2。

由表 2 可知，随着 WTR 和 EVA 的掺入，相比基质沥青，改性沥青的 25 ℃针入度有不同程度的减小，软化点、135 ℃旋转黏度均有不同程度的提高。表明：WTR 与 EVA 能有效提高沥青的高温性

表 2 基质沥青与复合改性常规性能指标

Table 2 Conventional performance index of base asphalt and

modified asphalt				
沥青	25 °C 针入度/ (0.1 mm)	5 °C 延 度/cm	软化点/ °C	135 °C 旋转黏 度/(Pa · s)
70# 基质沥青	69.0	59	50.2	0.46
5%W+4%E	44.8	89	63.1	1.63
10%W+4%E	40.0	82	64.9	3.22
15%W+4%E	31.4	58	76.2	8.19
15%W+0%E	38.1	55	65.7	2.12
15%W+6%E	35.6	54	78.0	11.05

能。同时, 5%W+4%E、10%W+4%E 2 种复合改性沥青较基质沥青的 5 °C 延度有较大提升, 低温性能良好, 其他 3 种掺量改性沥青的 5 °C 延度均与基质沥青差别不大。WTR 掺量为 15% 时, 随着 EVA 掺量的增加, 软化点和 135 °C 旋转黏度呈增大趋势, 但 4%EVA 掺量的改性沥青有最低的针入度和最大的 5 °C 延度。表明: 15%WTR+4%EVA 对沥青高温性能具有最明显的提升效果, 对低温性能也有良好的改善效果。

2 混合料配合比设计

2.1 矿料级配

本研究采用马歇尔试验方法进行 AC-13C 型密级配沥青混合料的配合比设计, 矿料中粗集料、细集料、石屑、矿粉的比例分别为 28%、18%、45%、9%, 合成级配曲线如图 1 所示。

2.2 混合料最佳沥青用量

根据已有的橡胶沥青混合料研究, 本试验在油

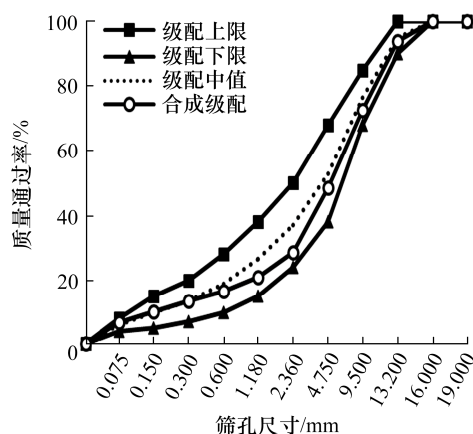


图 1 AC-13C 级配曲线

Fig. 1 Grading curve of the AC-13C

石比为 4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6.0% 中, 选择 5 组沥青用量, 确定最佳沥青用量。对马歇尔试件分别用表干法测定毛体积相对密度, 通过计算得到不同沥青用量试件的空隙率(VV)、矿料间隙率(VMA)、沥青饱和度(VFA)等体积指标, 再通过马歇尔试验得到稳定度和流值。根据《公路沥青路面施工技术规范(JTG F40—2017)》^[15]规范中附录 B 的计算方法, 得出基质沥青最佳用量为 4.8%, 其余改性沥青最佳沥青用量均为 5.1%。

3 改性沥青混合料性能研究

3.1 改性沥青混合料高温性能

3.1.1 马歇尔稳定度

马歇尔稳定度试验操作方便、设备简单, 被广泛应用为评价混合料在高温条件下的性能试验。按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程(JTG E20—2011)》^[14]要求成型试件并进行试验, 得到马歇尔稳定度值和流值, 试验结果如图 2、3 所示, 图中“1”为误差棒。

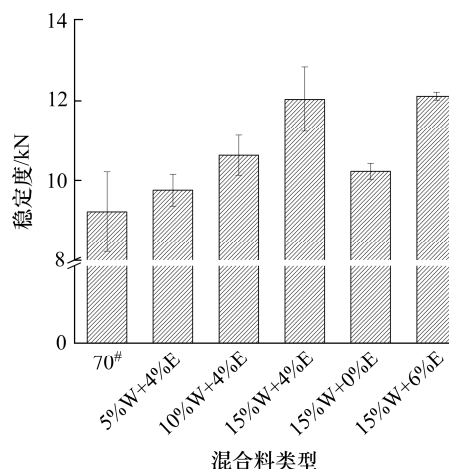


图 2 稳定度试验结果

Fig. 2 Test results of stability

从图 2、3 中可以看出, 改性沥青比基质沥青具有更高的稳定度及较低的流值, 所有的混合料均满足马歇尔稳定度不小于 8 kN、流值 2~4 mm 的要求。从图 2 中还可以看出, 与 5%W+4%E 相比, 10%W+4%E 和 15%W+4%E 的稳定度分别增加了 9.1%、23.3%, 表明: WTR 的加入能有效提高沥青的高温性能。15%W+4%E 和 15%W+6%E 的稳定度与 15%WTR 单一改性沥青混合料对比, 分别提升了 17.6%和 18.4%。因此, WTR 和 EVA 的掺入,

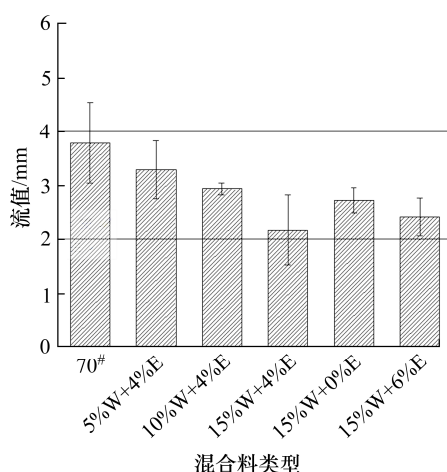


图3 流值试验结果

Fig. 3 Test results of flow value

可以有效地提高沥青混合料的马歇尔稳定度, 也表明了 WTR 和 EVA 对沥青混合料高温性能有良好改善效果。同时, 6 组沥青混合料的流值, 均符合 2~4 mm 范围的要求, 随着 WTR 和 EVA 掺量增加, 改性沥青混合料的流值有所下降, 15%W+4%E 最低, 表明: 15%W+4%E 复合改性沥青混合料具有最优高温性能。

马歇尔模数综合考虑了稳定度与流值 2 个指标, 马歇尔模数值越大, 高温性能越好。高温和相同荷载条件下, 变形越小, 高温抵抗变形能力越好。沥青混合料的马歇尔模数试验结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出, 改性沥青混合料比基质沥青混合料的马歇尔模数更高。同时, 可以发现随着 WTR 掺量的增加, 马歇尔模数值越大, 表明: WTR 有利于改善沥青混合料的高温抵抗变形能力。同样对

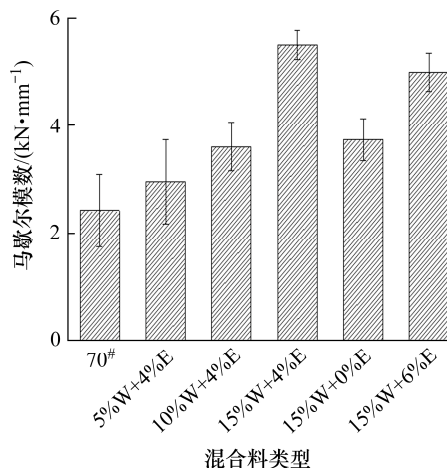


图4 马歇尔模数试验结果

Fig. 4 Test results of the Marshall modulus

比, 发现 EVA 掺量的增加不仅利于改善沥青混合料的高温性能, 而且与马歇尔稳定度结果相似, 其中 15%WTR 与 4%EVA 复合配比掺量有最高的马歇尔模数值, 进一步验证了该配比沥青混合料的高温性能最优。

3.1.2 车辙试验

仅通过马歇尔稳定度和流值结果, 不能准确地评估沥青混合料的高温性能。因此, 本研究在该 2 种参数的基础上, 测试沥青混合料的车辙动稳定度, 进一步评估沥青混合料的高温性能。根据相关规范《公路工程沥青及沥青混合料试验规程(JTG E20—2011)》^[14]进行沥青混合料的车辙试验, 试验结果动稳定度如图 5 所示。

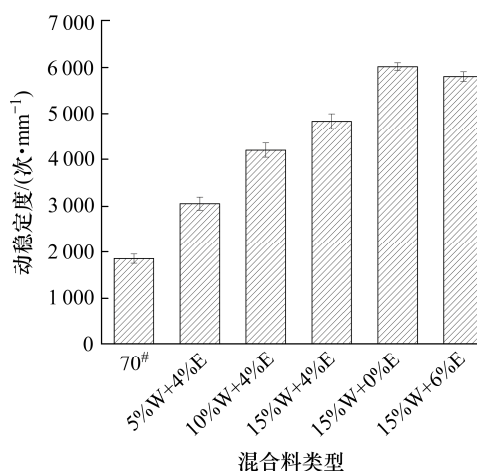


图5 车辙试验结果

Fig. 5 The results of rutting

根据规范《公路沥青路面施工技术规范(JTG F40—2017)》^[15]对沥青路面车辙动稳定度的要求, 改性沥青混合料的高温性能—车辙动稳定度(DS)需要大于 2 800 次/mm, 而未改性的仅需要大于 1 000 次/mm。从图 5 中可以看出, 6 组沥青混合料均达到了规范要求, 改性沥青混合料与基质沥青相比, 增幅均大于 1 倍。表明: WTR 和 EVA 能很好地改善沥青混合料的高温性能。相比于 5%W+4%E 沥青混合料的高温性能, 10%W+4%E 和 15%W+4%E 沥青混合料分别提高了 37.5%和 97.3%, 这是因为胶粉的掺入使得沥青的黏度增大, 其内部的黏结力和嵌挤力增大, 从而使得沥青混合料在高温条件下有更好的稳定性^[18]。同时, 对比 WTR 单一改性的沥青混合料, 可以发现同时掺入 WTR 和 EVA 的沥青混合料, 动稳定度更高, 但动稳定度值并不是随着 EVA 掺量的增加而增大。15%W+4%E 沥青混合料

有最大的动稳定度值。

3.2 改性沥青混合料低温性能

为更好地确定 WTR/EVA 是否为合适的改性剂,可提升沥青混合料的性能。采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程(JTG E20—2011)》^[14]的低温劈裂试验,分析其在低温条件下表面和内部抵抗裂缝的能力。测试的温度应满足 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围,试验试件为直径 $101.6\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ 、高 $63.5\text{ mm}\pm 1.3\text{ mm}$ 的圆柱形马歇尔试件,以 1 mm/min 的速度进行缓慢加载,混合料劈裂强度结果如图 6 所示。从图 6 中可以看出,与 70# 基质沥青混合料的低温劈裂强度相比,2 种改性剂对沥青混合料的低温劈裂强度均有提升。从图 6 中还可以看出,随着 EVA 掺量的增加,低温劈裂强度也随之增加,这得益于 EVA 对沥青黏韧性的改善。其中,15%W+6%E 沥青的低温劈裂强度最大,为 2.83 MPa,较基质沥青提升了 34.8%。15%WTR 单一改性后的沥青低温延度,虽然略小于基质沥青,但是混合料低温劈裂强度相比基质沥青仍提升了 10.5%。因此,混合料的低温劈裂强度除了与沥青的低温性能有关,还与沥青的黏度相关。表明:WTR 和 EVA 均对沥青混合料的低温抗拉强度性能有相应改善,但 EVA 对沥青混合料的低温性能提高更显著。

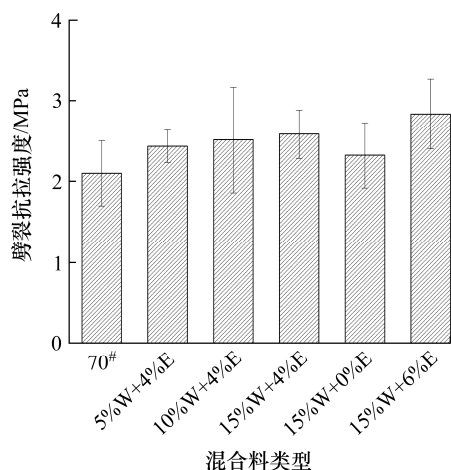


图 6 劈裂试验结果

Fig. 6 The results of splitting

4 结论

通过马歇尔试验、车辙试验、低温劈裂试验等研究了不同 WTR 以及 EVA 掺量的复合改性沥青混合料的高低温性能,得到结论:

1)与基质沥青相比,WTR 和 EVA 的掺入,均使复合改性沥青的高温性能得到明显提升。其中,15%W+4%E 复合改性沥青具有最小的针入度,高温性能改善效果最好。

2) EVA 掺量不变时,随着 WTR 掺量的增大,改性沥青混合料的稳定度、动稳定度均逐渐减小,流值逐渐增大。WTR 掺量为 15%、EVA 掺量为 4% 时,改性沥青混合料流值最小,动稳定度最大,高温性能最好。

3) 2 种改性剂对沥青混合料的低温劈裂强度均有所提升。其中,15%W+6%E 改性沥青混合料和 15%W+4%E 改性沥青混合料的低温劈裂强度与基质沥青相比,分别提升了 34.8%和 22.8%。综合最佳掺量为 15%W+4%E。

参考文献(References):

- [1] 曲锴鑫,李雪,宋鹏豪,等.废旧橡胶轮胎的再利用研究进展[J].化工科技,2019,27(6):71-75.(QU Kai-xin,LI Xue, SONG Peng-hao,et al.Progress in recycling of waste rubber tires[J].Science & Technology in Chemical Industry, 2019, 27(6): 71-75.(in Chinese))
- [2] Hijazi A, Boyadjian C, Ahmad M N, et al. Solar pyrolysis of waste rubber tires using photoactive catalysts[J]. Waste Management, 2018, 77: 10-21.
- [3] 王克.每年上亿条废旧轮胎未进循环利用渠道再生橡胶行业如何破局[J].中国经济周刊,2017(23): 74-75.(WANG Ke. Study on to solve the problem of hundreds of millions of waste tires are not recycled every year[J]. China Economic Weekly, 2017(23): 74-75.(in Chinese))
- [4] 许洪彬.废胶粉及再生低密度聚乙烯复合改性沥青性能研究[D].长沙:湖南大学,2015.(XU Hong-bin. Research on the properties of asphalts modified by waste rubber powder and reclaimed low density polyethylene[D]. Changsha: Hunan University,2015.(in Chinese))
- [5] 李志华,马涛,周云杰.废旧橡胶裂解方式及其工艺设备[J].橡胶工业,2014,61(5):316-319.(LI Zhi-hua,MA Tao, ZHOU Yun-jie. Cracking methods and equipment for waste rubber[J].China Rubber Industry, 2014, 61(5): 316-319.(in Chinese))
- [6] 冯明林,冯正翔,郑伟,等.橡胶沥青性能试验及影响因素分析[J].交通科学与工程,2020,36(1):33-37,55.(FENG Ming-lin, FENG Zheng-xiang, ZHENG Wei, et al. Rubber asphalt performance test and analysis of

- influencing factors[J]. Journal of Transport Science and Engineering,2020,36(1):33-37,55.(in Chinese))
- [7] 冯新军,李旺,张喆.TLA+废胶粉复合改性沥青混合料路用性能研究[J].公路与汽运,2020(6):61-64.(FENG Xin-jun, LI Wang, ZHANG Zhe. Study on road performance of composite asphalt mixture modified by the TLA and crumb rubber[J]. Highways & Automotive Applications,2020(6):61-64.(in Chinese))
- [8] 郝培文,李志厚,徐金枝,等.橡胶沥青技术性能评价标准现状[J].筑路机械与施工机械化,2015,32(6):47-52.(HAO Pei-wen,LI Zhi-hou,XU Jin-zhi,et al.Current standards for performance evaluation of rubberized asphalt[J]. Road Machinery & Construction Mechanization,2015,32(6):47-52.(in Chinese))
- [9] 韩江国.废橡胶粉改性沥青的抗老化性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.(HAN Jiang-guo. Research on aging properties of used rubber modified asphalt [D].Harbin:Harbin Institute of Technology,2006. (in Chinese))
- [10] 张金喜.废橡胶作为弹性沥青混凝土路面材料的实验研究[J].建筑材料学报,2004,7(4):396-401.(ZHANG Jin-xi. Feasibility of waste rubber as aggregate of elastic asphalt concrete(AC)[J].Journal of Building Materials,2004,7(4): 396-401.(in Chinese))
- [11] García-Morales M,Partal P,Navarro F J,et al.Viscous properties and microstructure of recycled eva modified bitumen[J]. Fuel,2004,83(1):31-38.
- [12] González O,Muñoz M E,Santamaría A,et al.Rheology and stability of bitumen/EVA blends[J].European Polymer Journal,2004,40(10):2365-2372.
- [13] 交通运输部公路科学研究院. JTG E42—2005,公路工程集料试验规程[M].北京:人民交通出版社,2005.(Research Institute of Highway Ministry of Transport. JTG E42—2005,Test methods of aggregate for highway engineering[M].Beijing: China Communications Press, 2005.(in Chinese))
- [14] 交通运输部公路科学研究院. JTG E20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[M].北京:人民交通出版社,2011.(Research Institute of Highway Ministry of Transport. JTG E20—2011, Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering[M]. Beijing: China Communications Press, 2011.(in Chinese))
- [15] 交通运输部公路科学研究院.JTG F40—2017 公路沥青路面施工技术规范[M].北京:人民交通出版社,2017.(Research Institute of Highway Ministry of Transport. JTG F40—2017,Technical specification for construction of highway asphalt pavements[M]. Beijing: China Communications Press, 2017.(in Chinese)).
- [16] Yan K Z, Chen J H, You L Y, et al. Characteristics of compound asphalt modified by waste tire rubber (WTR) and ethylene vinyl acetate (EVA): Conventional, rheological, and microstructural properties[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 258: 120732.
- [17] 颜可珍. APAO 废胶粉复合改性沥青及其制作方法和用途. 中国专利 CN106221251A, 2016-12-14. (YAN Ke-zhen. Preparation and application of compound modified asphalt with APAO and waste rubber powder. Chinese patent CN106221251A, 2016-12-14. (in Chinese))
- [18] 孙杰,许奎,游烽,等.胶粉改性沥青混合料路用性能研究[J].中国塑料,2019,33(8):83-88.(SUN Jie,XU Kui,YOU Feng, et al. Study on pavement performance of rubber powders-modified asphalt mixture[J]. China Plastics, 2019,33(8):83-88.(in Chinese))