

蒙脱土/丁苯橡胶复合改性沥青混合料路用性能研究

Study on Pavement Performance of Montmorillonite/Styrene-butadiene Rubber Composite Modified Asphalt Mixture

楚晓辉

(河南交院工程技术有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 通过车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验研究了蒙脱土掺量对丁苯橡胶改性沥青混合料的高低温和水稳定性影响, 采用邓氏关联度分析蒙脱土掺量对路用性能的影响规律。结果表明: 蒙脱土可改变丁苯橡胶改性沥青混合料的高温稳定性和水稳定性, 且掺量超过4%后会对水稳定性产生不利影响, 掺入蒙脱土会使低温抗裂性变差; 蒙脱土掺量对丁苯橡胶改性沥青混合料路用性能指标的影响程度大小依次为高温性能<水稳定性<低温性能。综合考虑各方面性能影响及其影响程度大小, 蒙脱土掺量适宜为2%~4%, 建议蒙脱土掺量为3%。

关键词: 蒙脱土; 丁苯橡胶; 沥青混合料; 路用性能

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1005-8249(2024)04-0134-04

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2024.04.024

CHU Xiaohui

(Henan Jiaotong Institute Engineering Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The effects of montmorillonite content on the high and low temperature and water stability of styrene butadiene rubber modified asphalt mixture were studied by rutting test, low temperature bending test, immersion Marshall test and freeze-thaw splitting test, and the influence of montmorillonite content on road performance was analyzed by Deng's correlation degree. The results show that montmorillonite can improve the high temperature stability and water stability of styrene butadiene rubber modified asphalt mixture, and the water stability will be adversely affected when the content exceeds 4%. The results show that addition of montmorillonite will make the low temperature crack resistance worse; The influence of montmorillonite content on the road performance index of styrene-butadiene rubber modified asphalt mixture was in the order of high temperature performance < water stability < low temperature performance. Considering the influence of various aspects of performance and the degree of influence, the suitable content of montmorillonite is 2%~4%, recommended content of montmorillonite is 3%.

Keywords: montmorillonite; butadiene styrene rubber; asphalt mixture; road performance

0 引言

聚合物改性沥青以其优良的使用性能被广泛用

于道路沥青路面建设中, 但多数聚合物材料与沥青相容性不好导致制备的改性沥青储存时稳定性不佳。随着道路改性沥青的不断研究与发展, 改性沥青的种类越来越多, 其中纳米蒙脱土材料是一种层状硅酸盐材料, 这种材料以微米级颗粒与沥青融合在一起, 相容性较好, 且可明显改善沥青性能, 目前研究中常与聚合物复掺对沥青进行复合改性^[1-2]。晏英^[3]利用有机蒙脱土和环氧树脂复掺制备复合改性沥青, 发现掺入2%有机蒙脱土后的环氧树脂改性沥

作者简介: 楚晓辉(1975—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 公路与桥梁及城市道路。

收稿日期: 2023-03-11

青热稳定性得到明显提高,提高了沥青的路用性能和力学性能。杨泽清^[4]利用室内试验研究了钠基蒙脱土与废胶粉复合改性沥青高温、低温和抗老化性能,结果表明,钠基蒙脱土会在沥青内部形成插层型及剥离型结构,蒙脱土可有效改善废胶粉改性沥青的高温稳定性及热氧老化性能,但同时也降低了低温延性。唐新德等^[5]通过试验研究蒙脱土/SBS 复合改性沥青的高温、低温性能和老化性能,发现蒙脱土可显著提高 SBS 改性沥青的高温 and 老化性能,但同时降低了低温性能。刘朝辉等^[6]利用纳米 TiO₂、蒙脱土和丁苯橡胶制备复合改性沥青,研究纳米复合材料对丁苯橡胶改性沥青的高温、低温及老化性能影响,并采用红外光谱试验分析了改性机理。Liu 等^[7-8]通过分析蒙脱土改性沥青的高温蠕变性能,发现蒙脱土可提高改性沥青高温蠕变性能。

目前关于蒙脱土改性沥青的研究主要集中在常规性能及微观结构方面,而对于混合料路用性能的研究较少,沥青混合料性能好对沥青路面的使用性能影响较大,因此,在丁苯橡胶改性沥青基础上加入不同掺量的蒙脱土,研究蒙脱土掺量对丁苯橡胶改性沥青混合料路用性能影响,并利用灰关联分析法确定蒙脱土的最佳掺量。

1 原材料与配合比设计

1.1 原材料

丁苯橡胶(SBR)改性沥青是由 70[#]A 级道路石油沥青加入 4% SBR 改性剂制备而成,其技术性能见表 1。蒙脱土外观呈白色,最大粒径为 120 nm,平均粒径为 70~80 nm。

表 1 SBR 改性沥青技术性能
Table 1 Technical performance of SBR modified asphalt

技术指标	检测结果	规范要求
针入度 (0.1 mm, 25 °C, 100 g, 5 s)	57.9	40~60
软化点/°C	55.5	≥60
延度 (5 cm/min, 15 °C)	45.4	≥20
5 °C 残留延度/cm	30.1	≥15
薄膜烘箱老化 25 °C 针入度比/%	76.8	≥65

粗集料采用辉绿岩碎石,集料规格主要有 1# (10~15 mm)、2# (5~10 mm)、3# (3~5 mm),细集料采用石灰岩机制砂,填料采用石灰岩矿粉,各档集料的技术指标均满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》要求。

1.2 复合改性沥青制备

将 SBR 改性沥青在 170 °C 烘箱中加热至熔融流动状态,再将蒙脱土缓慢倒入 SBR 改性沥青中,并不断用玻璃棒进行搅拌,待蒙脱土全部倒完并基本融合在沥青后,改用高速剪切机以 4000 r/min 的速率剪切 45 min,确保蒙脱土能在沥青中发育充分并均匀分散,制备得到蒙脱土/SBR 复合改性沥青。

1.3 混合料配合比设计

采用 AC-13 型矿料级配进行沥青混合料配合比设计,级配组成见表 2。由于试验中发现蒙脱土掺量变化对于 SBR 改性沥青混合料的最佳沥青用量影响很小,可忽略不计,因此在确定复合改性沥青混合料最佳油石比时,以 4% 蒙脱土掺量为代表进行马歇尔试验。通过马歇尔试验确定蒙脱土/SBR 改性沥青混合料的最佳油石比为 4.9%,SBR 改性沥青混合料的最佳油石比为 4.8%,试验结果见表 3。

表 2 AC-13 矿料级配
Table 2 AC-13 Aggregate grading

级配类型	过筛孔尺寸 (mm) 通过率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	100	85.0	68.0	50.0	38.0	28.0	20.0	15.0	8.0
级配下限	100	90.0	68.0	38.0	24.0	15.0	10.0	7.0	5.0	4.0
合成级配	100	95.0	76.5	53.0	37.0	26.5	19.0	13.5	10.0	6.0

表 3 马歇尔试验物理力学指标测试结果
Table 3 Test results of physical and mechanical indexes of Marshall test

沥青混合料类型	最佳油石比/%	空隙率/%	矿料间隙率/%	饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm
SBR	4.8	4.3	13.3	69.0	11.8	3.7
蒙脱土/SBR	4.9	4.1	13.8	72.0	13.2	3.3

2 性能分析

2.1 高温性能

夏季高温季节沥青路面温度过高会变软,在车辆荷载的重复作用下逐渐形成了永久性变形,因此沥青路面必须具有足够的高温稳定性,以抵抗车辆荷载和外界温度的复杂变化。通过对 2%、4% 和 6% 三种不同掺量蒙脱土的 SBR 改性沥青混合料进行车辙试验,以未掺蒙脱土的 SBR 改性沥青混合料作为对比组,室内成型 30 cm × 30 cm × 5 cm 车辙板试件,试验温度为 60 °C,试验结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出,随着蒙脱土掺量的增加,1 h 车辙深度逐渐降低,动稳定度逐渐增加,蒙脱土掺量 2%、4% 和 6% 对应的动稳定度分别较 SBR 改性

道桥技术

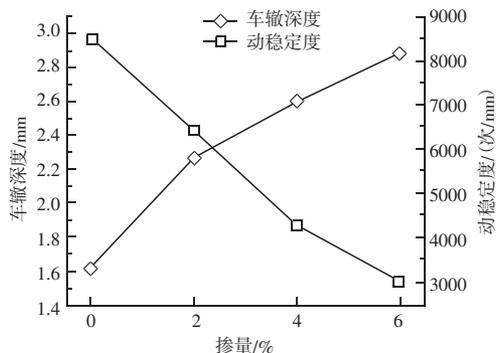


图1 高温车辙试验结果

Fig. 1 High temperature rutting test results

沥青混合料提高了 75.6%、114.7%、146.4%。说明蒙脱土能够明显增强 SBR 改性沥青混合料的高温稳定性。原因可能在于蒙脱土加入后增加了沥青的黏稠度,降低了 SBR 分子链与沥青分子的相对活动程度,提高了沥青胶浆与集料的黏附性,从而提高了沥青混合料的高温抗车辙性能。

2.2 低温性能

在寒冷季节温度突然发生变化时,沥青混合料路面结构内外温差较大,易引发应力集中现象,从而导致路面逐渐产生温缩裂缝。因此,为保证沥青路面的低温性能,需对使用的沥青混合料进行低温试验评价。采用低温弯曲试验对不同掺量蒙脱土的 SBR 改性沥青混合料进行低温抗裂性能评价。将成型好的车辙板试件经切割机切成长 25 cm、宽 3.5 cm、高 2.5 cm 的棱柱体试件,在温度为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的试验环境中进行,试验结果如图 2 所示。随着蒙脱土掺量的增加,改性沥青混合料的低温抗弯拉强度和弯拉应变逐渐减小,劲度模量逐渐增加,说明蒙脱土降低了 SBR 改性沥青混合料的低温抗裂性能。由于蒙脱土的片层结构增强了 SBR 分子链和沥青分子的结构性作用,阻碍限制了沥青分子在低温时的自由延展功能,从而降低了沥青混合料的低温抗裂性。

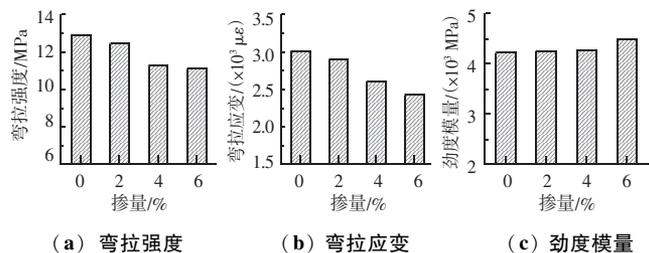


图2 低温弯曲试验结果

Fig. 2 Low temperature bending test results

2.3 水稳定性

在多雨季节,尤其是南方春雨连绵不断,雨水滴落到沥青表面会渗透到路面结构内部。在长期的汽车荷载及路面结构内部动水压力作用下,沥青逐渐从集料表面脱落,降低了混合料的黏附性能形成水损害,最终会降低路面的使用性能。为了检验掺入蒙脱土对 SBR 改性沥青混合料水稳定性的影响,采用浸水马歇尔和冻融劈裂试验,对不同掺量蒙脱土的 SBR 改性沥青混合料抗水损害性能进行分析,结果如图 3 所示。

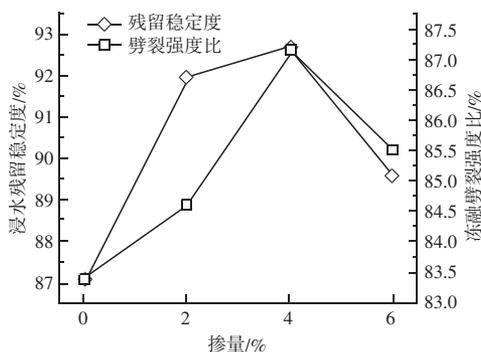


图3 水稳定性试验结果

Fig. 3 Water stability test results

从图 3 可知,随着蒙脱土掺量的增加,混合料的浸水残留稳定性和劈裂强度比均呈现增加趋势,且在掺量大于 4% 时有所减小,其掺量宜为 2%~4%。说明蒙脱土可改善 SBR 改性沥青混合料的抗水损害性能,但蒙脱土掺量过多会降低其抗水损害性能。由于蒙脱土加入后增加了混合料的黏附性,这有利于混合料水稳定性的增强。

3 灰关联分析

采用邓氏灰度关联分析方法^[9]对蒙脱土/SBR 复合改性沥青混合料路用性能的各项评价指标进行灰关联分析,分析时将蒙脱土掺量作为参考序列,分别将动稳定度、60℃车辙深度、弯拉应变、弯拉强度、浸水残留稳定性和劈裂强度比等 6 个性能评价指标作为比较序列,即用于灰关联分析的数据,见表 4。

按照文献 [9-10] 邓氏关联度分析计算方式,可从表 4 行列式数据计算得出各关联序列的关联系数分别为: $r_{0,1} = (0.560, 0.786, 1.000, 0.486)$, $r_{0,2} = (0.540, 1.000, 0.935, 0.561)$, $r_{0,3} = (0.569, 0.989, 1.000, 0.566)$, $r_{0,4} = (0.569,$

表 4 灰关联分析数据
Table 4 Grey correlation analysis data

蒙脱土 掺量/%	高温性能		低温性能		水稳定性	
	动稳定度 /(次/mm)	车辙 深度/mm	弯拉应变 / $\mu\epsilon$	弯拉强度 /MPa	残留稳 定度/%	劈裂强 度比/%
x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0	330.6	2.97	3035	12.87	87.1	83.4
2	580.6	2.42	2915	12.41	88.9	86.7
4	709.7	1.87	2630	11.27	92.6	87.2
6	814.5	1.55	2450	11.06	90.2	85.1

1.000, 0.994, 0.571), $r_{0,5} = (0.545, 0.974, 1.000, 0.537)$, $r_{0,6} = (0.557, 0.959, 1.000, 0.544)$ 。然后再由关联系数计算出各项评价指标的关联度, 从而得出蒙脱土掺量对于混合料路用性能的不同影响程度, 其结果为: $r(x_0, x_1) = 0.708$, $r(x_0, x_2) = 0.759$, $r(x_0, x_3) = 0.781$, $r(x_0, x_4) = 0.784$, $r(x_0, x_5) = 0.764$, $r(x_0, x_6) = 0.765$ 。

从以上计算结果可以看到, 蒙脱土掺量对低温性能的弯拉应变和弯拉强度指标影响最大, 对高温性能的动稳定度和车辙深度指标影响程度最小, 水稳定性指标居于两者之间, 影响程度从小到大依次为高温性能 < 水稳定性 < 低温性能。由于蒙脱土会降低混合料的低温抗裂性, 而且掺量大于 4% 以后会降低混合料的水稳定性, 因此在提高高温性能的同时更需要考虑对低温抗裂性和水稳定性的影响, 综合考虑各方面性能影响及其影响程度大小, 蒙脱土掺量适宜为 2%~4%, 推荐蒙脱土掺量为 3%。

4 结论

通过研究蒙脱土掺量对 SBR 改性沥青混合料路用性能的影响, 主要得到如下结论:

(1) 蒙脱土能够增强 SBR 改性沥青混合料的高温稳定性和水稳定性, 但其掺量超过 4% 后会降低混合

料的水稳定性, 蒙脱土掺量不宜过多, 宜为 2%~4%。

(2) 蒙脱土/SBR 改性沥青混合料的低温抗裂性变差, 且蒙脱土掺量越大, 对于低温性能的影响越不利。

(3) 蒙脱土掺量对 SBR 改性沥青混合料各项路用性能指标的影响程度从小到大依次为高温性能 < 水稳定性 < 低温性能。

参 考 文 献

- [1] 冯学茂, 白献萍, 韦慧, 等. 不同老化模式下有机化蒙脱土生物改性沥青性能 [J]. 中外公路, 2022, 42 (5): 198-202.
- [2] 金娇, 刘墨晗, 刘帅, 等. 基于生态路面减排理念下的 CeO₂ 柱撑蒙脱土改性沥青及其催化性能研究 [J]. 材料导报, 2022, 36 (16): 30-36.
- [3] 晏英. 有机蒙脱土/环氧树脂复合改性沥青的制备及性能研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [4] 杨泽清. 蒙脱土/废胶粉复合改性沥青的制备与性能 [D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [5] 唐新德, 韩念凤, 贺忠国, 等. 蒙脱土/SBS 复合改性沥青性能研究 [J]. 建筑材料学报, 2010, 13 (4): 550-554.
- [6] 刘朝晖, 廖美捷, 柳力, 等. 纳米 TiO₂/纳米 MMT/SBR 复合改性沥青掺量研究 [J]. 长沙理工大学学报 (自然科学版), 2019, 16 (4): 1-7.
- [7] LIU G T, WU P S, HAN J. Investigation of creep mechanics properties of layered nano-montmorillonite modified asphalt mixtures [J]. Key Engineering Materials, 2011, 1104: 467-469.
- [8] 赵晓雅, 李宝钗, 刘彦彬. 改性蒙脱土对氯丁橡胶/天然橡胶性能的影响 [J]. 弹性体, 2022, 32 (3): 41-44.
- [9] 赵宝俊, 赵士峰, 张洪亮, 等. 纳米 CaCO₃/SBR 复合改性沥青的性能与机理 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2017, 37 (5): 15-22.
- [10] 程培峰, 杨宗昊, 张展铭, 等. 热老化下纳米蒙脱土/SBS 复合改性沥青愈合性能及微观机制分析 [J]. 材料导报, 2022, 36 (9): 114-119.