

DOI: 10.12164/j.issn.1003-8965.2024.05.014

粘层乳化沥青层间抗剪性能及其评价方法研究

许宝珠¹, 陶云汉^{2*}, 魏强², 赵静卓², 魏小龙²

(1. 甘肃省嘉峪关公路事业发展中心, 甘肃 嘉峪关 735100;

2. 甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司 高性能材料研究所, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 为解决路面养护工程中超薄罩面层与原始路面间易出现剪切破坏的问题, 选取三种乳化沥青通过斜剪试验模拟路面在车辆荷载下的剪切破坏。结果表明, 温度升高会导致乳化沥青层间抗剪强度下降; 面层混合料集料粒径增大与沥青量增多会导致层间抗剪强度增加; 不同乳化沥青自身性质差异会导致层间抗剪强度不同, 较SBS乳化沥青与普通乳化沥青, 橡胶乳化沥青粘结性能最好。对比完整车辙板与复合车辙板的抗剪强度, 复合路面抗剪强度较完整路面会发生不同程度的下降, 其中无粘层油的空白复合车辙板下降程度最大, 抗剪强度仅有完整路面的64.37%。通过洒布粘层乳化沥青可以使层间抗剪强度提高, 其中橡胶乳化沥青可达到完整路面抗剪强度的75.85%。

关键词: 道路工程; 层间抗剪强度; 斜剪试验; 粘层乳化沥青; 超薄罩面

中图分类号: U414 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-8965(2024)05-0061-05

Study on interlayer shear performance and evaluation method of emulsified asphalt

XU Baozhu¹, TAO Yunhan^{2*}, WEI Qiang², ZHAO Jingzhuo², WEI Xiaolong²

(1. Gansu Jiayuguan Highway Development Center, Jiayuguan 735100; 2. Gansu Province Transportation Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., Center for High-Performance Materials Research and Development, Lanzhou 730030)

Abstract: In order to solve the problem of shear failure between the ultra-thin overlay layer and the original pavement in road maintenance engineering, three types of emulsified asphalt are selected to simulate the shear failure of the pavement under vehicle load through oblique shear tests. The results show that an increase in temperature can lead to a decrease in the interlayer shear strength of emulsified asphalt. The increase in aggregate particle size and asphalt content of the surface layer mixture can lead to an increase in interlayer shear strength. The differences in the properties of different emulsified asphalt can lead to different interlayer shear strengths. Compared with SBS emulsified asphalt and ordinary emulsified asphalt, rubber emulsified asphalt has the best bonding performance. Comparing the shear strength of intact rutting boards and composite rutting boards, it shows that the shear strength of composite pavement will decrease to varying degrees compared to intact pavement. Among them, the blank composite rutting board without adhesive layer oil has the greatest degree of reduction, with a shear strength of only 64.37% of intact road surface. Spraying adhesive layer emulsified asphalt can improve the interlayer shear strength, among which rubber emulsified asphalt can reach 75.85% of the intact road surface shear strength.

Keywords: road engineering; interlayer shear strength; oblique shear test; tack coat emulsified asphalt; ultra-thin overlay

0 引言

由于车流量大、车辆荷载重、道路情况复杂多变等诸多原因, 同时伴随部分超载情况, 会导致道路产生严重的车辙、壅包等路面病害^[1-2]。为了延长道路使用寿命, 需要通过预防性养护的手段防止路面病害的产生, 其中超薄罩面技术就是一种施工灵活、周期短的路面养护技术^[3-4]。然而, 施工过程中发现, 铣刨路面后若不洒布粘层乳化沥青

就进行超薄罩面的摊铺施工, 易导致大面积的滑移和壅包现象^[5-6]。为保证罩面与原始路面间粘结稳定, 需选择一种层间粘结性能优异的粘层乳化沥青。近年来, 粘层乳化沥青开始被国内外广泛研究^[7-8], 但目前的相关研究集中于常规性能, 针对层间粘结及抗剪性能的较少, 同时国家标准中缺少沥青混合料层间抗剪强度的系统性评价指标, 地标中也未有明确统一的定论。为此, 本文针对粘层乳化沥青的层间抗剪性能, 采用斜剪试验模拟洒布粘层乳化沥青的

基金项目: 甘肃省科技重大专项-企业创新联合体项目(22ZD6GA010); 甘肃省重点研发项目(22YF7GA135); 嘉峪关市科技计划项目(23-B21)
第一作者: 许宝珠(1975.4-), 高级工程师, 现从事土木工程材料检测研究工作。

超薄罩面在车辆荷载作用下产生的剪切破坏^[9],研究乳化沥青层间抗剪性能的影响因素,并通过对比完整路面结构与复合路面结构的抗剪强度,评估乳化沥青的应用效果,为粘层乳化沥青的推广提供理论和技术依据。

1 原材料及试验设计

1.1 原材料

1)集料。本试验所用石料为白银吴家川生产的石灰岩,混合料级配如表1所示。

表1 集料级配
Tab.1 Grading of aggregates

级配	20~15%	15~10%	10~5%	0~3%	矿粉 1%	油石比
SMA-10	/	/	74	16	10	6.2
SMA-13	/	44	29	17	10	6.4
AC-13	/	32	30	34	4	5.0
SMA-16	8.5	37.5	31	13	10	6.0

2)粘层乳化沥青。本试验所用乳化沥青为三种,分别是橡胶乳化沥青、SBR乳化沥青、普通乳化沥青。取洒布量为0.5kg/m²。不同乳化沥青性能指标如表2所示。

表2 乳化沥青性能指标

Tab.2 Performance indicators of emulsified asphalt

乳化沥青	单位	普通 乳化沥青	SBR 乳化沥青	橡胶 乳化沥青
破乳速度	-	快	慢	快
粒子电荷	-	阳离子	阴离子	阳离子
含量	%	51	51	53
蒸发 残留物 针入度 (100g,25℃,5s)	0.1mm	65	105	22
软化点	℃	46	48	71
延度(25℃,5cm/min)	cm	> 100	> 100	23
G*/sinδ(80℃)	-	0.23	0.15	5.18
轮胎粘附率	%	15%	20%	0

1.2 试验设计

道路层间抗剪强度是多种作用联合产生的结果,其中结构层间摩阻力和粘层与结构层间粘结力这两部分起到关键作用^[10]。但以目前的条件难以单独测得层间摩阻力和粘层与结构层间粘结力,因此试验设计通过改变环境温度、路面混合料级配、粘层乳化沥青种类对影响乳化沥青层间粘结性能的因素并进行研究,同时比较复合车辙板与完整车辙板,采用斜剪试验进行测试。本试验采用定制45°倾角的斜剪夹具,如图1所示。

在完成车辙板的层间抗剪强度评价的同时测试整体车辙板与复合车辙板在同等条件下的最大抗剪强度,计算强度比,通过分析比值的大小判断洒布粘层乳化沥青的复合路面的抗剪效果,同时结合抗剪强度的变异系数判断路面结构的稳定性,评价乳化沥青的粘结效果。

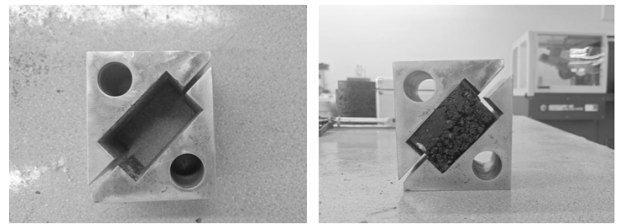


图1 斜剪试验

Fig.1 Oblique shear test

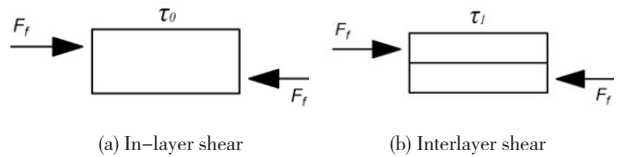


图2 抗剪强度比原理

Fig.2 The principle of shear strength ratio

剪切试验设计如表3所示。

表3 层间斜剪试验设计

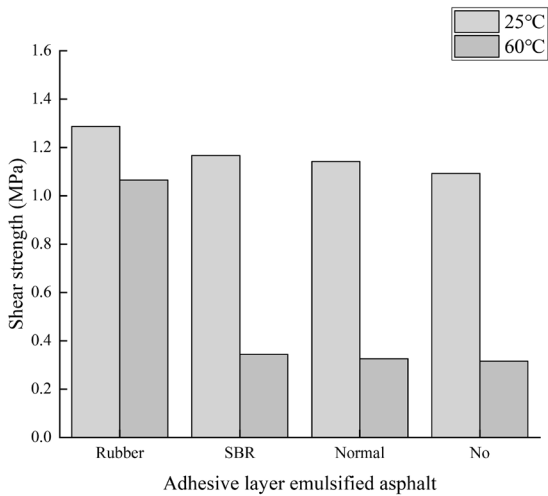
Tab.3 Design of interlayer oblique shear test

序号	超薄罩面层 (25mm)	粘层	路面层 (50mm)	备注
1		橡胶乳化沥青	SMA-13	
2		SBR 乳化沥青	SMA-13	试验组
3		普通乳化沥青	SMA-13	
4		/	SMA-13	空白组
5		橡胶乳化沥青	AC-13	
6	SMA-10	SBR 乳化沥青	AC-13	试验组
7		普通乳化沥青	AC-13	
8		/	AC-13	空白组
9		橡胶乳化沥青	SMA-16	
10		SBR 乳化沥青	SMA-16	试验组
11		普通乳化沥青	SMA-16	
12			SMA-16	空白组

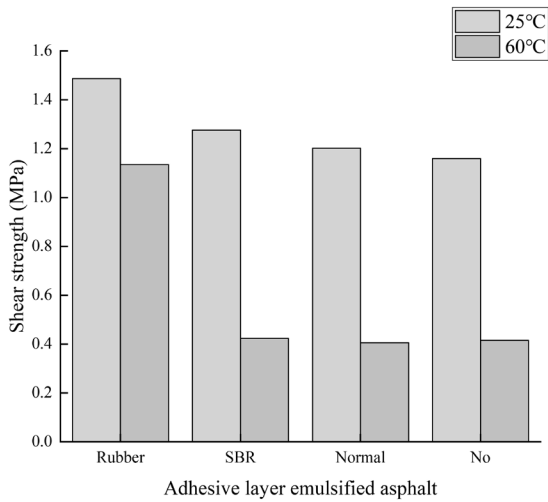
2 影响乳化沥青层间抗剪性能的因素

2.1 温度对沥青混合料层间抗剪强度的影响

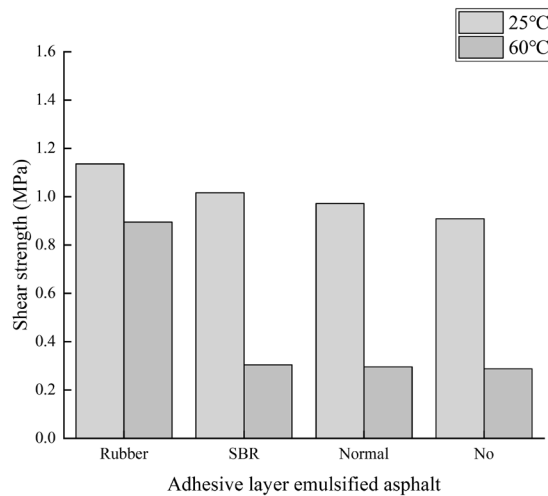
分别将不同级配的复合车辙板在25℃与60℃的环境中保温2h后进行斜剪试验,结果如图3所示。在60℃的试验温度下,洒布各种粘层乳化沥青的复合车辙板层间抗剪强度都出现不同程度的下降,其中洒布橡胶乳化沥青的复合车辙板抗剪强度下降程度最小,洒布SBR乳化沥青与普通乳化沥青的下降程度较大,基本与无粘层的复合车辙板下降程度接近。分析认为,橡胶乳化沥青蒸发残留物软化点较高(>70℃),高温性能优异,受温度影响程度较小;而SBR乳化沥青和普通乳化沥青,由于软化点较低(<50℃),高温性能较差,受温度影响程度大,在60℃的试验温度下出现粘层软化,难以起到层间粘结的作用,导致复合车辙板的强度下降,最终与无粘层乳化沥青的空白对照组强度基本相当。



(a) SMA-13



(b) SMA-16



(c) AC-13

图3 温度对层间抗剪强度的影响

Fig.3 Effect of temperature on interlayer shear strength

2.2 面层混合料级配对层间抗剪强度的影响

分别选择不同的混合料级配类型,在试验温度为25℃环境下保温2h,然后对层间抗剪强度进行测试,结果如图4

所示。结果表明,面层级配类型对层间抗剪强度有一定程度的影响,强度从大到小分别为SMA-16>SMA-13>AC-13。分析认为,混合料级配中集料颗粒粒径较大则会增大表面的构造深度,使层间摩阻力增加,进而导致层间抗剪强度的增加,导致SMA-16级配的抗剪强度大于SMA-13;对比SMA-13与AC-13,由于SMA配合比中粗集料占比较大,层间摩阻力高,同时AC-13配合比中油石比较低,导致混合料整体偏“干”,一定程度降低了上沥青本身对于混合料层间的粘结作用,导致AC-13混合料的抗剪强度小于SMA-13。

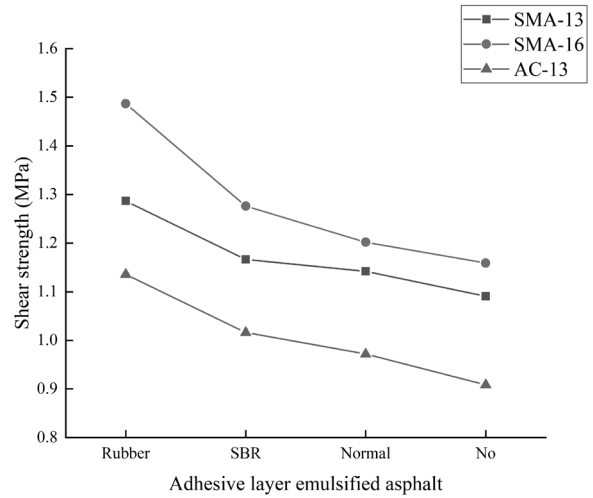


图4 抗剪强度受面层混合料级配的影响

Fig.4 Effect of surface mixture gradation on shear strength

2.3 粘层乳化沥青种类对层间抗剪强度的影响

取每种级配中相同粘层乳化沥青在同一温度25℃的条件下的抗剪强度测试结果,得到不同粘层乳化沥青对应抗剪强度的平均值,如图5所示。结果表明,符合车辙板的层间抗剪强度从大到小为橡胶乳化沥青>SBR乳化沥青>普通

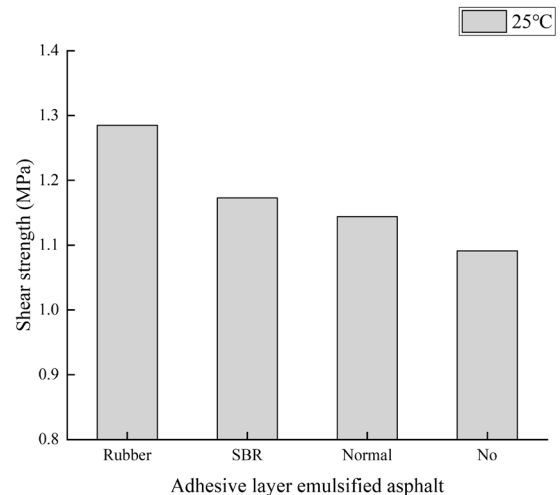


图5 抗剪强度受粘层乳化沥青的影响

Fig.5 Effect of adhesive layer emulsified asphalt on shear strength

乳化沥青>无乳化沥青(空白组)。分析认为,在洒布粘层乳化沥青后,复合车辙板的层间抗剪强度都得到不同程度的提升,说明粘层乳化沥青可以有效防止路面剪切破坏的产生。其中橡胶乳化沥青抗剪性能最佳,使得洒布橡胶乳化沥青的复合车辙板层间抗剪强度明显高出其他类型的乳化沥青,强度较无粘层乳化沥青的空白组提高17.43%,最后是SBR及普通乳化沥青,这也说明粘层乳化沥青自身的性能特点会影响沥青混合料的层间粘结效果。

3 粘层乳化沥青层间抗剪的评价方法

3.1 不同混合料级配的层内抗剪强度

成型SMA-16、SMA-13、AC-13、SMA-10四种级配类型的完整车辙试块,在同一温度条件25℃下对材料的层内抗剪性能进行测试,结果如图6所示。结果表明,混合料层内抗剪强度受混合料级配变化影响明显,大小顺序为SMA-16>SMA-13>AC-13>SMA-10,其中级配为SMA-10与AC-13的混合料层内抗剪强度接近,AC-13略大于SMA-10。由于混合料级配中集料颗粒较大,会增加混合料内部的嵌挤效果,增大层内的抗剪强度;同时SMA为间断级配,大颗粒集料较多,且沥青油石比较大,这也会增加混合料之间的嵌挤与粘结效果,使得SMA-16表现出较高的层内抗剪强度,而级配AC-13的混合料层内抗剪强度仅略大于SMA-10。

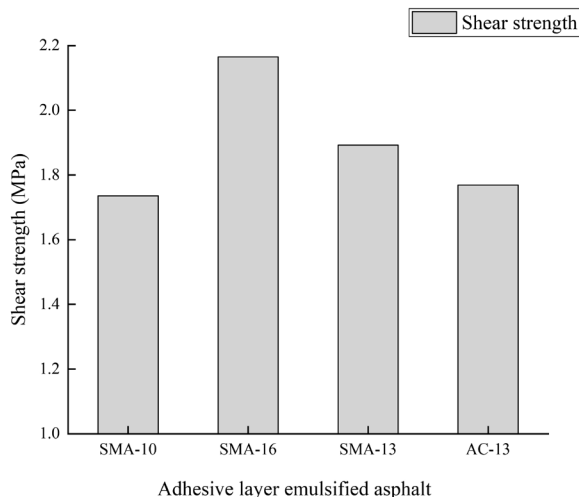


图6 不同面层混合料级配的层内抗剪强度

Fig.6 In-layer shear strength of different surface mixture gradations

3.2 层内抗剪与层间抗剪强度对比

上述试验结果表明,级配为SMA-10的混合料层间抗剪强度最低,同时一般超薄罩面选择SMA-10作为混合料级配,因此将SMA-10的层间抗剪强度定为 τ_0 ,作为100%,计算洒布粘层乳化沥青的复合车辙板的抗剪强度与 τ_0 的比例,得到结果如图7所示。无论是否喷洒粘层乳化沥青,复合路面抗剪强度较完整路面都会发生一定程度的下降。其中无粘层油的空白复合车辙板下降程度最大,抗剪强度比仅有完整强度的64.37%,考虑到试验中所采用的下部车辙

板是新成型的,石料与沥青也没有完全经过车辆荷载反复碾压与沥青老化,相比实际工程中的老旧路面要性能优异,推测在实际工程中若不洒布粘层乳化沥青直接在铣刨路面上进行摊铺,成型后的路面抗剪强度可能更低,更易产生剪切破坏。同时比较完整与复合车辙板的数据波动情况,无粘层乳化沥青的变异系数明显偏大,说明在直接摊铺施工后,路面除了抗剪强度较低外,整体路面的稳定性和均匀性也有明显变差。

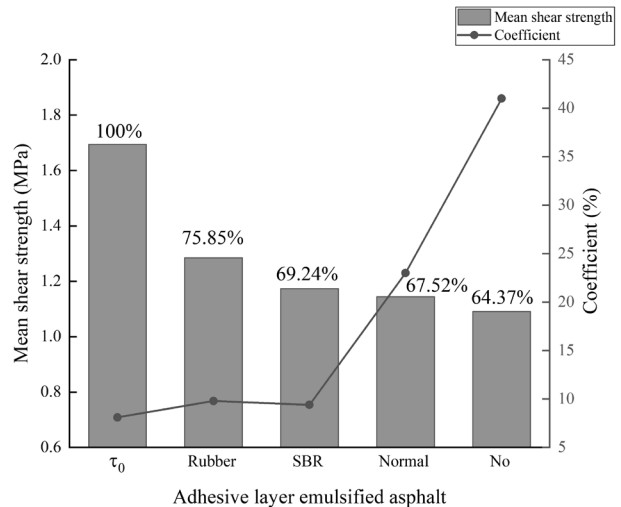


图7 层内与层间抗剪强度及变异系数

Fig.7 In-layer and interlayer shear strength and coefficient of variation

相应地,洒布粘层乳化沥青的车辙板中普通乳化沥青较空白组强度有所增加,但强度最低,这说明普通乳化沥青虽然在其他常规指标上满足要求,但层间粘结性能一般,导致抗剪强度偏小,且层间粘结会出现不稳定的情况。而洒布橡胶乳化沥青与SBR乳化沥青的车辙板层间粘结性能表现出较高的稳定性,数据波动情况基本与层内剪切试验结果处于同一水平,在抗剪强度方面,橡胶乳化沥青性能要明显优于SBR及普通乳化沥青,抗剪强度比达到了75.85%,相较空白组的64.37%有明显提升。

3.3 粘层乳化沥青层间抗剪性能评价方法

目前,现有国家标准中缺少沥青混合料层间抗剪强度的评价指标,参考地方标准^[11],发现一般对于层间性能的要求仅为抗剪强度大于规范值或不做要求,如表4所示。对于层间剪切强度仅有 $\geq 1.0\text{MPa}$ 这一要求,对照本试验中无乳化沥青空白组的试验强度结果为 $1.091\text{MPa} > 1.0\text{MPa}$,满足规范要求,但比较完整车辙板测试结果,空白组数据波动大,且强度 1.091MPa 的抗剪强度仅有完整车辙板64.37%,显然规范要求过于宽松,难以判断性能的优劣。结合试验发现,层间抗剪性能还与上下结构层的集料级配、沥青等存在较大关联,对其性能评价方式仅为抗剪强度大于规范值是不全面的,易出现部分区域可能由于集料嵌挤较好等情况,导致均值较高但整体性能偏差较大的情况出现。

因此,本文通过同时测试整体车辙板与复合车辙板在同等条件下的最大抗剪强度,计算抗剪强度比,通过分析比值的大小判断洒布粘层乳化沥青的复合路面的抗剪效果,

同时结合抗剪强度的变异系数判断路面结构的稳定性综合评价粘粘效果。

表4 地方标准对于粘层强度技术要求

Tab.4 Technical requirements for strength of the adhesive layer in local standards

检测项目	单位	技术要求
剪切强度(25℃)	MPa	≥ 1.0

4 结论

1) 在60℃的条件下, 无论是否洒布粘层乳化沥青, 道路结构层间抗剪强度都出现下降, 其中由于橡胶乳化沥青高温性能优异, 稳定性高, 在高温条件下下降幅度较低, 而SBR与普通乳化沥青受温度影响大, 层间抗剪强度下降明显。

2) 道路结构层间抗剪强度也受到混合料级配的影响, 随着石料颗粒直径的增加, 混合料表面的构造深度增加, 层间摩阻力增大, 导致层间抗剪强度变大; 混合料级配中油石比较高, 沥青含量大, 也能增加层间粘粘效果, 导致层间抗剪强度得到一定幅度的增加。

3) 粘层乳化沥青种类不同也影响混合料层间抗剪强度, 由于橡胶乳化沥青层间粘粘性能强, 导致层间抗剪强度明显优于SBR与普通乳化沥青, 较无粘层乳化沥青的空白组提高了17.43%

4) 通过比较完整车辙板与复合车辙板的抗剪强度, 发现不洒布粘层乳化沥青的超薄罩面层间易出现滑移、脱落等由于粘粘性能较差导致的剪切破坏, 而洒布了粘层乳化沥青的超薄罩面层间粘粘性能会根据乳化沥青性能不同有着不同程度的提升。其中橡胶乳化沥青对于层间粘粘性能的提升明显, 不仅使得层间抗剪强度增加, 还让复合路面的性能稳定性接近完整路面, 抗剪强度可到达完整路面的75.85%。

参考文献

- [1]王宣懿. 沥青路面大中修工程结构转换及适用性研究[D]. 西安:长安大学,2011.
- [2]赵淑铭,刘亚娟. 高速公路沥青路面病害成因分析[J]. 公路交通科技(应用技术版),2013(7):24-25.
- [3]LUO X, GU F, LING M, et al. Review of mechanistic-empirical modeling of top-down cracking in asphalt pavements[J]. Construction and building materials, 2018,191:1053-1070.
- [4]沈阳. 超薄磨耗层性能评价及层间粘粘状况研究[D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2015.
- [5]XIE J, CHEN J, HU L, et al. Preparation, Thermochromic properties and temperature controlling ability of novel pellets in ultra-thin wearing course[J]. Construction and building materials, 2023,389:131797.
- [6]肖敏敏,钱思博. 基于改进内聚力模型的沥青超薄罩面层间失效行为分析[J]. 浙江大学学报(工学版),2022,56(09):1780-1788.

[7]邵斐. SBS改性乳化沥青的制备工艺研究[D]. 上海:华东理工大学,2021.

[8]王佳,蒲昌瑜,吴迪. 不粘轮乳化沥青的制备及其性能评价[J]. 公路交通科技,2022(10):9-16.

[9]徐世法,朱大志,王中一,等. 重交通沥青路面层间粘粘状态对开裂的影响分析[J]. 公路,2019(8):1-7.

[10]毛昱. 沥青路面层间抗剪强度理论与试验研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2018.

[11]TJG F45-2020. 高韧沥青混合料超薄罩面施工技术规范[S].