

紫外老化对泡沫沥青温拌混合料高温性能劣化研究

张德轶¹, 邱乙峰², 吴忠杰², 李可鑫³

(1. 烟台市公路事业发展中心, 山东 烟台 264001; 2. 山东润兴成公路工程服务有限公司, 山东 烟台 264001;
3. 山东建筑大学交通工程学院, 山东 济南 250101)

摘 要: 采用车辙试验、贯入剪切试验, 通过车辙深度、动稳定度以及贯入强度分析了紫外光热耦合老化循环条件下泡沫沥青温拌混合料的高温抗车辙以及抗剪切性能, 研究了泡沫沥青温拌混合料高温性能随紫外光热耦合老化循环次数、温度以及辐射强度的变化。结果表明, 泡沫沥青温拌混合料的车辙深度随紫外光热耦合老化循环次数的增加呈增大趋势, 而动稳定度与贯入强度比逐渐减小; 紫外光辐射温度越高、辐射强度越大, 混合料的高温性能也越差; 与紫外光辐射强度与循环温度相比, 紫外光热耦合老化循环次数对混合料的车辙深度、动稳定度及贯入强度比的影响为更显著。

关键词: 道路工程; 泡沫沥青温拌混合料; 紫外光热耦合; 高温性能

中图分类号: TU535

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0126-03

一、引言

作为一种有机材料, 沥青路面在光照和热氧因素作用下会发生老化。在紫外光辐射区, 因紫外光辐射产生的沥青路面劣化现象尤为突出^[1]。而目前国内外研究大多围绕沥青路面材料的热老化开展, 对紫外老化作用开展相对较少。因此, 研究紫外光循环作用下沥青路面劣化状态尤为关键。

为了探究紫外光辐射对沥青路面材料的劣化机理, 研究者开展大量模拟试验: 开发室内加速紫外光老化试验方法, 建立紫外光老化仿真系统, 模拟沥青路面在服役阶段的紫外光老化状态, 并探究了紫外光老化与传统热氧老化之间的相关性^[2-3]。同时, 国内外研究者采用微观测试方法对沥青路面材料紫外光老化前后的微观特征状况进行大量研究: (1) 利用原子力显微镜定量表征分析沥青在紫外光老化前后的状态^[4]; (2) 不同紫外光波段对沥青低温性能的影响尤其显著^[5]; (3) 结合紫外分光剥离和光度法探究紫外光的影响深度, 沥青表面 (0~4.5 μm) 发生紫外光老化后, 老化沥青会发生由外而内的扩散^[6]; (4) 老化程序对沥青紫外光老化产生很大影响, 薄膜烘箱测试更适合紫外光老化分析^[7]。此外, 紫外光对混合料高温稳定性影响较大, 而对低温稳定性影响较小, 动稳定度减小, 低温劈裂强度降低, 抗压回弹模量有所增大。研究表明, 纳米 ZnO、纳米 TiO₂ 以及 UV-531 显著改善沥青的抗老化性能, 尤其对抗 UV 老化效果明显。

目前研究未考虑实际路面所经受紫外光辐射和温度的双重作用, 即不同昼夜温度变化、紫外光辐射循环次数、不同紫外光辐射强度等综合因素对沥青混合料的性能影响。考虑到紫外光辐射对沥青混合料的高温性能影响较大, 因此, 文中针对紫外光辐射对路面的实际影响条件, 通过车辙试验、贯入剪切试验研究温度变化、紫外光辐射循环次数以及紫外光辐射强度等对泡沫沥青温拌混合料高温性能的影响, 以期

为紫外光辐射地区沥青路面的材料组成设计提供指导。

二、试验与材料

1. 原材料

检测泡沫沥青温拌混合料各项原材料均满足 JTG F40 的相关要求, 文中试验采用壳牌 SBS I-D 改性沥青, 其相关技术标准见表 1。泡沫沥青混合料生产采用维特根 WLB10S 发泡系统, 配合立式搅拌锅实现, 降粘后混合料拌和温拌 140 $^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 SBS 改性沥青技术指标及要求

试验指标	试验结果	规范要求
针入度 (25 $^{\circ}\text{C}$, 100g, 5s) / 0.1mm	69	60~80
延度 (5cm/min, 15 $^{\circ}\text{C}$) / cm	51	≥ 100
软化点 (环球法) / $^{\circ}\text{C}$	> 150	≥ 55
相对密度 (15 $^{\circ}\text{C}$)	1.034	实测
闪点 / $^{\circ}\text{C}$	283	≥ 260
溶解度 (三氯乙烯) / %	99.7	≥ 99.5
RTFOT (163 $^{\circ}\text{C}$, 5h)	质量变化 / %	± 0.8
	针入度比 / %	≥ 61
	延度 (10 $^{\circ}\text{C}$) / cm	≥ 4

集料采用石灰岩, 矿粉为普通石灰岩矿粉, 选取 AC-13 为目标级配, 混合料的合成级配见表 2。根据马歇尔试验, 综合确定混合料的最佳油石比为 5.0%。

表 2 泡沫沥青温拌混合料合成级配

		通过下列方孔筛 (mm) 的质量百分率/%									
AC-13		16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配范围	上限	100	100	85	68	50	38	28	20	15	8
	下限	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4
合成级配		100	95.92	73.25	48.67	27.26	25.12	13.54	11.87	10.04	6.83

三、试验方案及方法

收稿日期: 2022-03-23

作者简介: 张德轶, 烟台市公路事业发展中心。

1. 试验方案

文中针对紫外光辐射循环次数和辐射强度、环境温度三个影响因素进行探讨。文中通过紫外老化试验的通风散热设备,控制紫外老化试验过程中温度为 15~55℃选取辐射时间为 14h,非辐射时间为 10h。试验中,选取的紫外光辐射强度分别为 0、150、200W/m²。

室内紫外光加速老化试验箱:试验箱具有双层壁、温度自动调节器、计时器,选用 1000W 的直管高压汞灯作为加速紫外老化试验系统的光源,高压汞灯的紫外光能谱主峰为 365nm,控制温度 40~60℃,可以获得不同的紫外辐射强度。

试验前,先将试件放在 45℃或 55℃紫外光加速老化试验箱中,调节好辐射强度保持 15h,然后取出混合料试件放在 15℃或 25℃的环境下存放 9h,至此完成 1 次紫外光热耦合老化循环,以此进行 10、15、20 和 30 次紫外光热耦合老化循环。

2. 试验方法

贯入剪切试验,示意图见图 1,贯入压头直径 D 为 40mm,倒角为 10mm。其试验方法如下:成型马歇尔试件,60℃空气浴保温不少于 4h,加载速率为 50mm/min,采用万能疲劳试验机记录其最大破坏荷载及位移,以贯入强度 SD 评价其高温性能,计算方法见公式 (1),

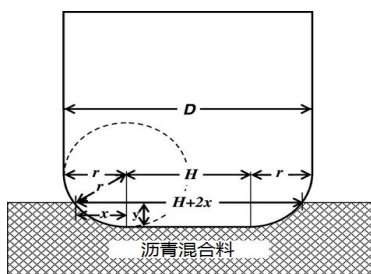


图1 沥青混合料贯入剪切示意图

$$S_D = 0.32 P_{max} / \left[(10 + \sqrt{20y - y^2})^2 \right] \quad (1)$$

式中: S_D —贯入强度,MPa; P_{max} —破坏荷载, N; y —破坏时的位移, mm。

四、试验结果及分析

根据上述试验方法,按照不同条件对泡沫沥青温拌混合料进行紫外光热耦合老化循环试验。每种温度条件下共分 12 组进行试验,每组进行 4 次平行试验,取 4 次试验的平均值作为该组试验的结果。为对比各影响因素对试验结果的影响,增加未经过紫外光热耦合老化循环处理试件作为对比组。

1. 车辙深度

不同紫外光热耦合老化循环条件下泡沫沥青温拌混合料的车辙深度如图 2。由图 2 可知,泡沫沥青温拌混合料的车辙深度随着紫外光热耦合老化循环次数的增大逐渐减小,在其他试验条件相同时,随着紫外光热耦合老化循环次数的增加,泡沫沥青温拌混合料的车辙深度逐渐增大,表明其高温抗变形能力也越来越差,另外,环境温度越高,沥青就更容

易老化,其与集料之间的粘结力也就大幅下降,从而导致混合料抵抗高温变形的能力下降。

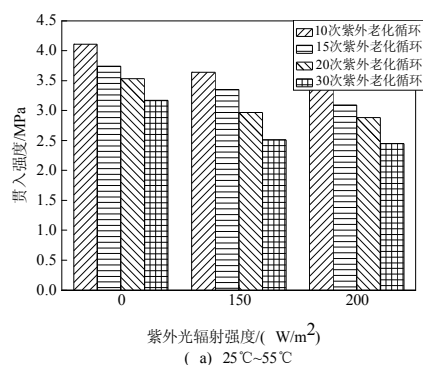
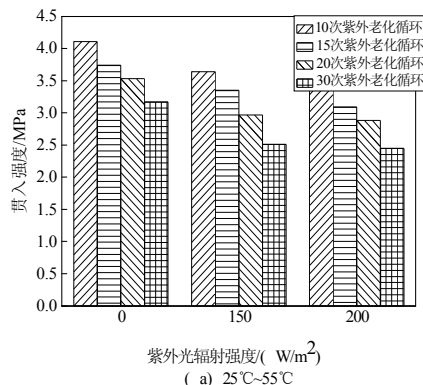


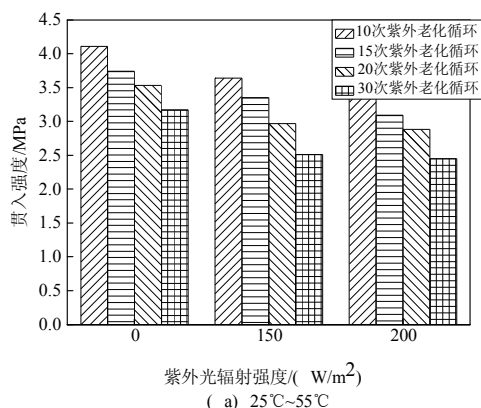
图2 不同紫外老化温度条件下泡沫沥青温拌混合料车辙深度的变化

由图 2 也可看出,随着紫外光辐射强度的增大,混合料的车辙深度也随之增大,其高温抗变形能力也越来越弱。

从图中两组不同紫外光循环温度下的试验结果发现,紫外光辐射强度对混合料永久变形的影响随着光辐射强度增大逐渐减弱。

2. 动稳定度

不同测试条件下泡沫沥青温拌混合料动稳定度试验结果见图 3。从图 3 可知,其他条件不变,混合料的动稳定度随着紫外光热耦合老化循环次数的增加逐渐减小,且减小趋势越来越明显,即泡沫沥青温拌混合料的高温性能随着紫外光热耦合老化循环次数的增加,其衰减幅度呈增加趋势,其他紫外光辐射强度下混合料动稳定度的变化规律基本一致。



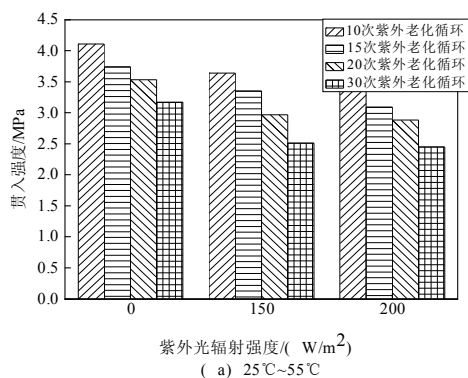


图3 不同紫外老化温度条件下泡沫沥青温拌混合料动稳定度的变化

经过分析发现,在不同循环温度下,混合料的动稳定度经受不同紫外光辐射强度后,其动稳定度变化规律有较大不同,随着紫外光强度越来越大,混合料的动稳定度减小幅度大有不同,该结果与混合料的车辙深度试验结论也有所不同,这主要是因为动稳定度是相对指标,其规范要求变异系数在20%,因此动稳定度在一定程度上不能很好地反映混合料的高温性能随紫外光老化强度的变化。

3. 贯入强度

贯入剪切试验考虑了泡沫沥青温拌混合料的塑性特征,试验计算结果受塑性位移和剪切强度的双重影响,能够更加真实地模拟路面实际的受力状况和破坏过程,不同条件下泡沫沥青温拌混合料贯入强度的变化如图4。

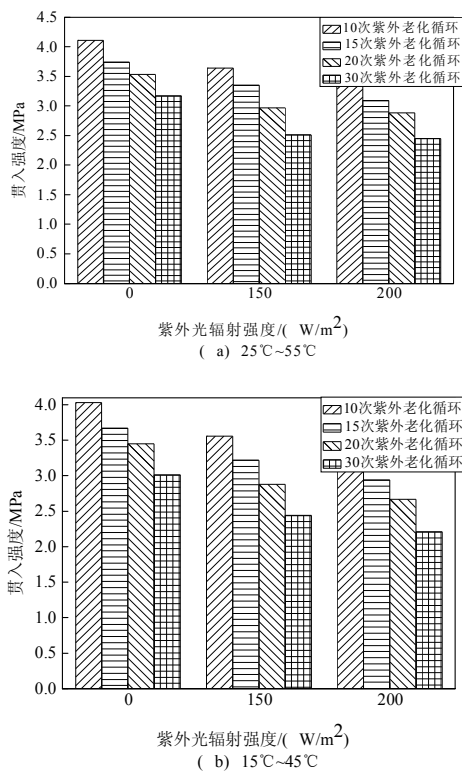


图4 不同紫外老化条件下泡沫沥青温拌混合料贯入强度的变化

从图4可知,随着紫外光热耦合老化循环次数的增大,泡沫沥青温拌混合料的贯入强度逐渐减小,其他条件不变,

混合料的贯入强度比随紫外光热耦合老化循环次数的增加逐渐减小,即泡沫沥青温拌混合料的高温抗剪切性能越来越差。

随着紫外光辐射强度的增大,混合料的贯入强度比均不同程度上有所降低,即混合料的高温抗剪切性能越差。可见贯入强度能够较好地评价泡沫沥青温拌混合料受紫外光热耦合老化循环后的高温性能变化。

从不同因素对泡沫沥青温拌混合料贯入强度比的影响可知,与紫外光辐射强度与紫外光热耦合老化循环温度相比,当紫外光热耦合老化循环次数增大时,泡沫沥青温拌混合料的贯入强度比下降更大,这表明紫外光热耦合老化循环次数对混合料的高温性能影响更显著,因此,紫外光热耦合老化循环次数是影响混合料紫外光老化的最主要因素,紫外光辐射强度影响次之,相比之下循环温度对其影响最不明显。这是由环境温度相对较低、持续循环作用时间相对较短造成的。

五、结论

(1) 泡沫沥青温拌混合料在紫外光辐射强度与循环温度一定的条件下,随着紫外光热耦合老化循环次数的增加,混合料的车辙深度呈增大趋势,动稳定度与贯入强度比逐渐减小。

(2) 随着紫外光辐射强度增大,混合料的车辙深度越来越大,贯入强度比逐渐变小,且当辐射强度从0增加到150W/m²时,其车辙深度与贯入强度比变化最明显,相比于辐射时的环境温度温度,紫外光辐射强度对混合料的破坏更严重。

(3) 动稳定度自身变异性较大,不能有效反映混合料因紫外光老化后其高温性能的差异。

(4) 紫外光热耦合老化循环次数对混合料的车辙深度、动稳定度以及贯入强度比的影响更大;紫外光辐射强度越高,循环温度越高,混合料的高温性能就越差。

参考文献

- [1] 金大中,钱国平,白献萍等. 沥青紫外光老化研究进展[J]. 中外公路, 2019, 39(5): 209-214.
- [2] Santagata E. Photochemical Degradation of Pure Bitumen by U.V. Radiation [C]. Proc. 1st Eurasphalt & Eurobitume Congress, E&E, 1996: 133-138.
- [3] 王佳妮,薛忠军,谭忆秋. 紫外老化对沥青力学行为及聚集态的影响[J]. 中国公路学报, 2011, (1): 18-23.
- [4] 王雨瑾,文科,陶志华等. 基于模拟服役状态的沥青紫外老化性能研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版) 2018, 42(1): 83-86.
- [5] Hu J, Wu S, Liu Q, et al. Effect of ultraviolet radiation in different wavebands on bitumen[J]. Construction and Building Materials, 2018, 159: 479-485.
- [6] Zeng W, Wu S, Pang L, et al. Research on Ultra Violet (UV) aging depth of asphalts[J]. Construction and Building Materials, 2018, 160: 620-627.
- [7] Jinxuan H, Shaopeng W, Quantao L, et al. The Effect of Ultraviolet Radiation on Bitumen Aging Depth [J]. Materials, 2018, 11(5): 747-.