

紫外老化方式对温拌沥青高温流变影响研究

朱玉玺

中铁三局集团第五工程有限公司

摘要:为深入探究不同紫外老化方式对温拌沥青高温流变特性影响,选择Evotherm和sasobit两种温拌剂制备温拌沥青。之后对0.5% Evotherm温拌沥青进行隔氧紫外老化;对两种温拌剂及不同温拌剂掺量下的温拌沥青进行隔氧紫外老化;对0.5% Evotherm温拌沥青进行RTFOT、PAV和隔氧紫外老化、不同老化时间的隔氧紫外老化和光氧老化。然后对老化后的温拌沥青进行温度扫描,深入探究温拌剂种类及掺量、老化方式和不同紫外老化方式对温拌沥青的高温流变性能影响。结果表明:隔氧紫外老化下,Evotherm温拌沥青的车辙因子比Sasobit温拌沥青的车辙因子小,Evotherm能够延缓紫外老化;两种紫外老化方式下,老化初期,光氧老化对温拌沥青车辙因子影响更为显著,而在紫外老化末期,隔氧紫外老化对温拌沥青车辙因子影响更为显著。

关键词:温拌沥青;紫外老化;高温流变性能;性能对比

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.16.053

一、前言

温拌技术是一种降低沥青混合料拌和温度和摊铺温度的技术,不仅改善了施工人员的工作环境,减少能源消耗,降低有害气体和温室气体排放,还满足时代“碳达峰、碳中和”的要求^{[1][2]}。由于温拌技术具有延长施工时间的特性,在西北地区逐渐得到广泛的应用。而西北地区紫外线强辐射强烈,作为一种有机材料,该地的沥青除了受到热氧老化,还会受到严重紫外老化,并且紫外老化占沥青老化的主体^[3],因此开展紫外老化对温拌沥青性能影响研究具有重要意义。

近年来,国内外对紫外老化对温拌沥青性能影响展开了一系列研究。任小遇^[4]采用红外光谱针对紫外老化时间对SBS改性沥青官能团影响展开研究,研究发现,紫外老化后,温拌SBS改性沥青的在 1700cm^{-1} 出现了羰基吸收峰,并且随着老化时间增加,该特征峰不断加强。王岚^[5]通过单边切口弯曲梁试验对紫外老化后温拌胶粉改性沥青砂浆开裂特性展开研究,紫外老化后,沥青砂浆的抗开裂能力降低,且随着老化时长增加,沥青砂浆的抗开裂能力降低越快。张兴军^[6]针对紫外老化后温拌沥青的黏附性能表征方法展开探究,研究发现,AFM中的纳观黏附力、峰面积比和表面粗糙度可以很好地定量表征紫外老化温拌沥青的黏附性能。李波^[7]采用躺滴法测试了紫外老化后SBS改性沥青的黏附性,研究发现,与PAV相比,紫外老化温拌沥青的黏聚力衰减最严重。张泽宇^[8]研究了光氧耦合作用下温拌沥青流变性能变化,研究发现,紫外老化前后,温拌沥青流变性能变化显著,Evotherm 3G能够一定程度上延缓紫外老化程度。综上所述,许多研究者针对紫外老化对温拌沥青化学结构及沥青性能影响展开了研究,但是,缺乏对隔氧

紫外老化和光氧老化下的对比分析。

为探究紫外老化对温拌沥青流变性能变化,选择三种基质沥青,两种温拌剂,制备不同种类的温拌沥青,对温拌沥青进行短期老化、长期老化、隔氧紫外老化和光氧耦合老化,并且进行了温度扫描,温拌剂类型及掺量、老化方式和是否隔氧下紫外老化对温拌沥青高温流变特性的影响。

二、原材料及试验方法

(一) 原材料

1. 基质沥青

沥青作为沥青混合料中的胶结料,沥青本身的性能对沥青混合料的路用性能影响至关重要,选择SK90⁺基质沥青作为试验材料。其针入度为 9.32 mm ,软化点为 46.8°C , 15°C 下延度大于 100 cm ,均符合规范要求。

2. 温拌剂

选择表面活性型温拌剂Evotherm M1和有机降粘型温拌剂Sasobit,两种温拌剂均能在对沥青性能影响较小的情况下,达到降温效果。其中Sasobit选择1.5%和3%两种掺量,Evotherm M1选择0.5%和1%两种掺量。最后制备不同掺量下Evotherm 温拌沥青和Sasobit温拌沥青。

(二) 紫外老化试样制备

称取经过RTFOT老化后的温拌沥青 $50\pm 0.5\text{ g}$ 浇筑在老化盘中。为保证老化盘中沥青膜厚度一致,将老化盘放置在水平支架上面, 120°C 的温度下加热 10 min 。

(三) 试验方法

1. 常规老化试验

为模拟拌和和摊铺过程中沥青的短期老化和路面使用过程中沥青的长期老化,依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011),对沥青进行旋转薄膜烘箱试验(RTFOT)和压力老化试验(PAV),压力老化时间选择 20 h 。

2. 紫外老化试验

为了探究隔氧和有氧紫外老化下温拌沥青性能变化,设置了如图1所示紫外老化箱内的试验箱^{[9][10]}。隔氧紫外老化操作方法如下:将沥青试样放置在密封的试验箱中,通入氮气排出内部空气,并在排气口处通过点火确保试验箱内氧气被排空。室内模拟室外4个月紫外老化时间需 177.6 h 小时,故老化时间选择 0 h 、 50 h 、 100 h 、 150 h 和 200 h ^[10]。



图1 隔氧紫外老化箱

3. 动态剪切流变 (DSR) 试验

采用TA Instrument的AR 1500ex 流变仪, 对不同种类的温拌沥青进行温度扫描, 测得其复数剪切模量 G^* 和相位角 δ 。温度扫描范围为52~82℃, 温度梯度为6℃, 应力为1.25%, 角频率为10rad/s。

表 1 DSR试验参数

试验方式	温度 (℃)	应力 (%)	频率 (rad/s)
温度扫描	52~82	1.25	10

三、试验结果分析

(一) 温拌剂对温拌沥青高温流变性能的影响

选择SK基质沥青, 对不同类型的温拌沥青进行隔氧紫外线老化, 老化时间100h, 之后对紫外老化后的温拌沥青进行温度扫描。表2为紫外老化后不同温拌沥青的 G^* 、 δ 和 $G^*/\sin \delta$ 随温度的变化情况

与紫外老化后基质沥青对比, 添加紫外老化后的Evotherm温拌沥青 G^* 和 $G^*/\sin \delta$ 较小, 表明温拌沥青的抗剪切变形能力和抗车辙能力较低。这是因为Evotherm

表2 温拌沥青温度扫描结果

指标	温度 (℃)	Evotherm (%)			Sasobit (%)		
		0.0	0.5	1.0	0.0	1.5	3.0
G^* (KPa)	52	619.7	288.4	294.2	619.7	373	383.1
	58	277.1	128.3	124.2	277.1	162	156.7
	64	144.1	64.26	59.18	144.1	83.6	83.79
	70	74.64	32.47	27.89	74.64	43.35	43.34
	76	38.01	16.62	13.67	38.01	22.5	22.39
	82	19.9	8.537	6.849	19.9	11.47	11.34
δ (°)	52	49.06	55.32	54.73	49.06	52.35	52.4
	58	53.83	59.72	59.62	53.83	56.72	57.63
	64	56.28	62.71	63.05	56.28	59.22	59.42
	70	59.41	65.95	66.94	59.41	62.13	62.22
	76	63	69.31	70.69	63	65.34	65.38
	82	66.62	72.73	74.2	66.62	68.87	68.81
$G^*/\sin \delta$ (KPa)	52	468.2	237.1	240.2	468.2	295.4	303.5
	58	223.7	110.8	107.1	223.7	135.4	132.3
	64	119.9	57.11	52.75	119.9	71.83	72.14
	70	64.25	29.65	25.66	64.25	38.32	38.34
	76	33.86	15.55	12.9	33.86	20.45	20.35
	82	18.27	8.152	6.59	18.27	10.69	10.58

可以和沥青发生化学反应, 提高了沥青中轻质组分含量^[12]。与紫外老化后基质沥青相对比, 紫外老化后温拌沥青的相位角较大。这也是因为沥青中轻质组分增加, 导致了沥青的黏性成分增加。在52~64℃时, 两种掺量未对相位角产生明显的影响, 然而, 在64~82℃时, 两种温拌沥青的相位角差值逐渐增大。这表明, 紫外老化后, Evotherm掺量对沥青的粘弹性成分在高温时存在一定影响。

添加Sasobit后, 紫外老化后, Sasobit温拌沥青 G^* 和 $G^*/\sin \delta$ 变化规律和中Evotherm温拌沥青变化相似, Sasobit掺量超过1.5%后, 再增加对沥青性能无影响。并且可以看出, Sasobit降低沥青车辙因子的能力小于Evotherm。紫外老化后, Sasobit温拌沥青的相位角比基质沥青相位角大, 但小于相同条件下Evotherm温拌沥

青相位角。在52℃时, 两种掺量的温拌沥青的相位角大致相同; 在52~64℃时, 3%Sasobit温拌沥青的相位角先增大后减小, 在64~82℃时, 与1.5%Sasobit温拌沥青相位角大致相同。

(二) 老化方式对温拌沥青高温流变性能的影响

选择0.5 Evotherm温拌沥青, 对其分别进行RTFOT、PAV和隔氧环境100h紫外老化。采用DSR对试样进行温度扫描。图2展示了三种温拌沥青, G^* 、 δ 和 $G^*/\sin \delta$ 随温度的变化情况。

从图2 (a) 和 (c) 可以看出, 52~76℃时, 紫外老化温拌沥青的 G^* 和 $G^*/\sin \delta$ 都远大于长期老化和短期老化温拌沥青, 随着温度增加, 紫外老化和热氧老化下沥青的两种指标趋向一致。这表明, 在紫外老化后, 温拌沥青的抗变形能力和抗车辙能力显著增加。在模拟

表3 不同老化方式对温拌沥青高温流变特性影响

指标	温度 (°C)	RTFO	UV100h	UV200h	PAV
G* (KPa)	52	12.11	288.4	665.4	22.03
	58	5.091	128.3	293.3	9.422
	63.9	2.196	64.26	158.4	3.945
	70	1.006	32.47	87.22	1.788
	75.9	0.5013	16.62	48.36	0.8652
	81.9	0.2634	8.537	26.53	0.4297
δ (°)	52	82.5	55.32	49.05	80.09
	58	84.64	59.72	54.1	82.69
	63.9	86.32	62.71	56.01	84.88
	70	87.41	65.95	58.26	86.46
	75.9	87.91	69.31	60.87	87.48
	81.9	87.75	72.73	63.88	87.93
G*/sin δ (KPa)	52	12	237.1	502.6	21.7
	58	5.069	110.8	237.6	9.345
	63.9	2.191	57.11	131.3	3.929
	70	1.005	29.65	74.17	1.785
	75.9	0.501	15.55	42.24	0.8643
	81.9	0.2632	8.152	23.82	0.4294

整个服役过程中，与热氧老化相比，紫外老化对温拌沥青高温流变性能影响更为显著。从图2 (b) 可以看出，76~82°C时，长期老化和短期老化下， δ 已经接近90°，表明此时沥青中弹性成分基本消失，沥青已接近流体状态。

(三) 紫外线老化方式对温拌沥青高温流变性能的影响

制备0.5%Evotherm温拌沥青，在隔氧环境和光氧耦合环境下进行时长为0 h、50 h、100 h、150 h和200 h的紫外老化，对紫外线老化后的试样进行温度扫描，分析两种环境下对温拌沥青高温流变性能影响。表 3为隔氧环境和光氧环境紫外老化下温拌沥青的温度扫描结果。

从表3可以看出，在隔氧紫外老化下，除了UV150 h的温拌沥青，其余老化沥青随着老化时间变长，G*和G*/sin δ 逐渐增大， δ 逐渐变小。这意味随着紫外老化程度的加深，沥青的抗变形能力和抗车辙能力逐渐增加，沥青中的弹性组分增加。这是因为随着老化的进行，沥青分子在紫外光下，发生光氧老化分子聚合，从而产生大分子胶^[14]。而紫外老化时间在150 h时，温拌沥青的指标G*、 δ 和G*/sin δ 在UV50 h和UV100 h之间，表明沥青高温流变性能得到一定恢复。

在不隔氧紫外老化下，在0-150 h时，随着老化时间增加，沥青G*和G*/sin δ 逐渐减小， δ 逐渐增大。而当老化时间到200 h时，沥青G*和G*/sin δ 反而降低，与UV100 h时相近，沥青的 δ 在UV100 h与UV150 h之间。紫外老化时间为50 h和100 h时，与隔氧紫外老化不同的是，不隔氧老化下，温拌沥青的车辙因子更大。表明紫外老化初期，不隔氧环境对沥青老化更严重。但是随着时间增长，UV200 h时，不隔氧条件下的G*/sin δ 小于隔氧条件下的。

四、结论

(1) Evotherm和Sasobit都可以降低紫外老化后沥青的车辙因子，其中Evotherm降低幅度更大。并且Evotherm和Sasobit降低紫外老化沥青车辙因子有一定限度，超过这个限度，增加温拌剂掺量对沥青车辙因子无影响。

(2) 紫外老化对沥青的高温流变特性影响与热氧老化不同，紫外老化显著提高温拌沥青的抗变形能力和抗车辙能力。

(3) 隔氧紫外老化和光氧老化对温拌沥青性能影响有较大差异。老化初期，光氧老化对温拌沥青车辙因子影响更为显著。而在紫外老化末期，隔氧老化对温拌沥青车辙因子影响更为显著。

表4 温拌沥青的高温流变结果

指标	温度	隔氧老化时间 (h)					光氧老化时间 (h)				
		0	50	100	150	200	0	50	100	150	200
G* (KPa)	52	12.11	148.4	288.4	169.6	665.4	12.11	224.8	265.7	510.8	256.6
	58	5.091	65.01	128.3	77.62	293.3	5.091	98.06	121.5	230.4	118.4
	64	2.196	32.29	64.26	38.16	158.4	2.196	47.09	60.73	119.5	61.25
	70	1.006	14.09	32.47	19.18	87.22	1.006	22.64	31.92	63.59	32.73
	76	0.5013	6.771	16.62	9.921	48.36	0.5013	11.19	17.07	34	17.54
	82	0.2634	3.273	8.537	5.204	26.53	0.2634	5.644	9.048	18.5	9.635
δ (°)	52	82.5	62.82	55.32	57.25	49.05	82.5	59.01	55.29	50.3	52.67
	58	84.64	66.97	59.72	61.17	54.1	84.64	63.62	59.66	54.97	56.54
	64	86.32	70.16	62.71	64.26	56.01	86.32	66.92	62.24	57.36	58.93
	70	87.41	74.03	65.95	67.55	58.26	87.41	70.41	65.1	59.9	61.6
	76	87.91	77.25	69.31	70.84	60.87	87.91	73.81	68.13	62.83	64.55
	82	87.75	80.15	72.73	74.04	63.88	87.75	76.98	71.37	65.97	67.61
G*/ sin δ	52	12	132	237.1	142.7	502.6	12	192.7	218.4	393	204.1
	58	5.069	59.83	110.8	68.01	237.6	5.069	87.85	104.8	188.7	98.79
	64	2.191	30.37	57.11	34.38	131.3	2.191	43.32	53.74	100.6	52.46
	70	1.005	13.55	29.65	17.73	74.17	1.005	21.33	28.95	55.01	28.79
	76	0.501	6.604	15.55	9.371	42.24	0.501	10.75	15.84	30.25	15.84
	82	0.2632	3.225	8.152	5.004	23.82	0.2632	5.499	8.574	16.9	8.909

参考文献

[1]王春, 郝培文, 张庆, 等. 温拌沥青混合料环境与经济效益分析[J]. 环境工程, 2012, 30 (增刊2): 452-455.

[2]王朝辉, 陈姣, 侯明业. 道路常用温拌改性剂现状与路用性能评价[J]. 材料导报, 2016, 30 (07): 102-108+137.

[3]张葆琳. 基于红外光谱的沥青结构表征研究[D]. 武汉理工大学, 2014.

[4]任小遇, 李波, 王永宁, 等. 紫外老化及温拌剂种类对温拌SBS改性沥青官能团的影响[J]. 材料科学与工程学报, 2020, 38 (06): 971-976.

[5]Wang Lan, Cui Shichao, Feng Lei. Research on the influence of ultraviolet aging on the interfacial cracking characteristics of warm mix crumb rubber modified asphalt mortar[J]. Construction and Building Materials, 2021, 281.

[6]张兴军, 冯辉霞. 紫外老化下温拌沥青黏附性能的微观表征方法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2020, 40 (02): 38-46.

[7]Bo Li, Yu Wang, Xiaoyu Ren, et al. Influence of Ultraviolet Aging on Adhesion

Performance of Warm Mix Asphalt Based on the Surface Free Energy Theory[J]. Applied Sciences, 2019, 9 (10).

[8]张泽宇. 模拟高原环境下温拌沥青性能研究[D]. 重庆交通大学, 2017.

[9]任小遇. 基于表面能理论的紫外线老化条件下温拌沥青的黏附特性研究[D]. 兰州交通大学, 2019.

[10]王佳妮. 模拟紫外环境下沥青流变行为及老化机理的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2008.

[11]单丽岩. 基于粘弹特性的沥青疲劳一流变机理研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.

[12]李培国. 组分分析法研究温拌橡胶沥青的降粘机理[J]. 公路工程, 2015, 40 (01): 249-252+260.

[13]周国庆. 有机类温拌橡胶沥青流变改性机理研究[J]. 公路工程, 2014, 39 (06): 330-336.

[14]宋云连, 丁楠, 刘恒, 等. 温拌剂种类及掺量对不同沥青流变性能的影响[J]. 复合材料学报, 2018, 35 (02): 451-459.

作者简介: 朱玉玺(1987.7—), 男, 汉族, 山西省晋中市, 工程师, 学士, 单位: 中铁三局第五工程有限公司, 研究方向: 道路工程。