

相变调温材料对沥青及沥青混合料高温性能 及控温性能的影响探究

李 新

(呼伦贝尔市公路管理局, 呼伦贝尔 021008)

摘 要 通过原位界面水解-聚合法制备出相变调温材料(PCMs), 对其进行差示量热(DSC)和热重(TG)热性能测试, 再将其掺入到 70[#] 基质沥青中, 研究不同掺量的相变调温材料对沥青常规指标、高温流变性能的影响; 最后分析比较了 AC-16 与 SAC16 两种不同级配的相变沥青混合料的高温稳定性与调温性能。结果表明: 制备的相变调温材料具有适宜的相变温度与较高的相变焓, 且热稳定性良好, 可用于沥青工程中; 相变调温材料的掺入可改善基质沥青的高温性能, 但对低温性能有着不利影响, 且随相变材料掺量的增大, 相变沥青的高温抗车辙性能显著提升; 级配类型对相变沥青混合料的高温稳定性有着重要影响, 因此在实际应用中, 在考虑相变调温材料对沥青混合料起到调温作用的同时, 还要考虑级配类型对其物理性能的影响。

关键词 道路工程, 相变材料, 调温性能, 高温性能, 沥青混合料

Investigation on effect of PCMs on the temperature control of asphalt and its mixture

Li Xin

(Municipal Highway Administration of Hulun Buir, Hulun Buir 021008)

Abstract A novel composite phase change materials (PCMs) was prepared by in situ interfacial hydrolysis polymerization method, DSC and TG were utilized to test the thermal performance of PCMs. Then, PCMs were added into 70[#] asphalt, for purpose of investigating the impact of dosage on the regular indices, high temperature rheology performance of asphalt. Finally, the high temperature stability and temperature regulation performance of AC-16 and SAC16 two different gradation asphalt mixtures were analyzed and compared. The results showed that the prepared PCMs possessed suitable phase change temperature and enthalpy which can be used in the asphalt engineering. The addition of PCMs could improve the high temperature performance of matrix asphalt, but had a negative impact on the low temperature performance. Meanwhile, with the increase of the amount of PCMs, the rutting resistance of phase change asphalt was significantly improved, gradation type had an important influence on the high temperature stability of asphalt mixture with PCMs. Therefore, in practical application, the influence of gradation type on its physical properties should be considered while considering the temperature-control effect of PCMs for asphalt mixture.

Key words road engineering, phase change material, temperature-control performance, high-temperature performance, asphalt mixture

随着我国公路交通行业的蓬勃发展, 沥青路面因其表面平整、工程造价低、行车舒适、维修简便等众多优点而受到广泛重视, 已经逐步成为我国高等级路面的主要形式, 据统计, 沥青路面在我国高等级路面中的占有率达到了 90% 以上^[1-2]。沥青是一种黑色材料, 在夏季高温气候下, 会吸收大量太阳光辐射的热量, 进而引起路面温度急剧上升, 部分地区的路面温度高达 60~70℃, 不仅使沥青路面更易产生

车辙、泛油、坑槽等病害, 影响路面的正常使用, 增加路面维修成本, 还会在城市中心地区引起热岛效应, 这一系列问题严重影响了沥青路面的正常使用^[3-4]。

相变材料是指在相变温度范围内, 因发生相转变而吸收或释放外界热量, 起到调节物体或环境温度的绿色储能材料^[5-6], 近些年受到公路领域学者的广泛关注。何丽红^[7]将复合定形相变材料掺入到沥青混合料中, 通过室外与室内温度模拟实验, 发现相

基金项目: 国家自然科学基金(51508496)

作者简介: 李新(1972-), 女, 高级工程师, 主要研究方向为路面结构与材料。

变材料能够显著降低沥青混合料在高温下的升温速率,降温幅度最高达到 5.8℃;Ma 等^[8-9]发现掺有相变调温材料的沥青混合料具有良好的高温稳定性,且降温性能显著;李文虎等^[10]研究了不同级配类型的相变调温沥青混合料,发现不同级配的相变沥青混合料均具有良好的降温效果,但高温稳定性却主要与级配类型有关。然而目前大多数学者只是对相变沥青混合料的路用性能做出探究,鲜有相变调温材料对沥青及沥青混合料二者性能综合影响的相关研究报道。

本研究采用原位界面水解-聚合法制备出定形相变微胶囊,并对其进行差示量热和热重测试,再将制备的相变调温材料以不同掺量掺入到沥青中,分析了相变调温材料对沥青软化点、针入度和延度的影响;采用动态剪切流变试验探究了相变调温材料对沥青高温流变性能的影响;最后研究了不同级配的相变沥青混合料的高温稳定性与降温性能,为相变调温沥青混合料的研究提供依据。

1 实验部分

1.1 原材料

沥青(韩国 SK-70[#] 道路石油沥青),基本技术指标见表 1;石灰岩集料,细集料的表观密度为 2.64,粗集料的基本技术指标满足规范要求;利用原位界面水解-聚合法制备出定形相变微胶囊,其中聚乙二醇(PEG)为相变调温物质,TiO₂ 为微胶囊的壁材,起到封装 PEG 的作用;根据我国现行规范规定,选择 AC-16 和 SAC16 两种级配的沥青混合料制备车辙试件为分析对象,以研究相变调温材料掺量对沥青混合料的高温稳定性及调温性能的影响,具体级配见表 2。

表 1 SK-70[#] 沥青技术指标

项目	测试结果	技术要求	实验方法
针入度(25℃,100g,5s)	68.1	60~80	T0604—2011
软化点/℃	49.6	44~54	T0606—2011
延度(15℃)/cm	102	≥100	T0605—2011
密度(15℃)/(g·cm ⁻³)	1.027	实测	T0603—2011

表 2 沥青混合料的矿料级配

级配 类型	各筛孔尺寸(mm)下的通过率/%										
	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-16	100	96	85	64	50	37	26	18	16	11	6
SAC16	100	97.3	83.1	62.6	35	26.8	20.9	16	11.3	8.3	6

1.2 相变调温沥青的制备

将 70[#] 基质沥青在烘箱中加热至熔融状态,然后将相变调温材料按质量分数分别为 4%、8% 和 12% 依次加入到基质熔融沥青中,先用玻璃棒快速搅拌沥青混合物,直至无气泡出现,然后在 140℃ 下用高速剪切机持续搅拌约 20min,使其混合均匀,即得不同掺量的相变调温沥青。

2 结果与讨论

2.1 相变调温材料的热性能分析

相变材料的差示量热(DSC)曲线见图 1。由图可知,相变调温材料的相变起始温度分别为 48.2℃ 和 60.1℃,相变潜热为 113.1J/g。我国夏季高温气候下的沥青路面温度处于 55~65℃ 之间,而沥青在 50℃ 左右就会开始发生软化,进而影响沥青路面的高温稳定性。因此本实验制备的相变调温材料具有适宜的相变温度与较高的相变焓,能作为一种调温材料,利用其相变吸热的特性,主动调控沥青路面的温度,从而改善沥青路面的高温性能。

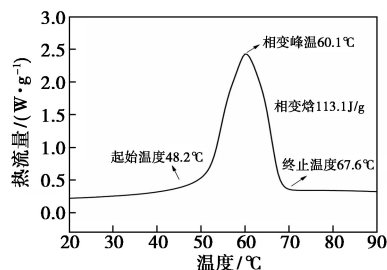


图 1 相变调温材料的 DSC 曲线图

相变材料的热重(TG)曲线见图 2。由图可知,相变调温材料在 313.8℃ 开始失重,随后失重率开始显著加快,当温度达到 465.1℃ 时,热分解基本结束,此时残余质量约为 40.5%,这一阶段的失重主要是相变材料中的 PEG 分子链受热分解挥发所致。当前我国沥青混合料主要以热拌方式为主,其施工温度高达 200℃ 左右,这就要求相变材料具有一定的热稳定性,在沥青拌合温度下仍能稳定存在,不发生热分解。因此,本实验制备的相变调温材料在

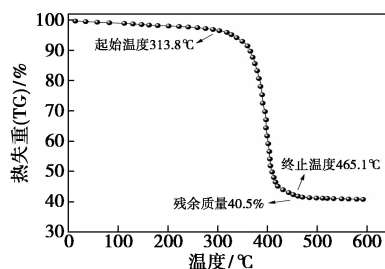


图 2 相变调温材料的 TG 曲线图

300℃下具有良好的热稳定性,质量几乎没有损失,可满足热拌沥青混合料的制备及摊铺温度。

2.2 相变沥青的基本物理性能分析

按照规范,对 70[#] 基质沥青及不同掺量相变调温材料的沥青进行常规性能测试,结果见表 3。

表 3 相变调温沥青的常规物理性能

测试项目	掺量/%			
	0	4	8	12
15℃延度/cm	102	91	83	72
软化点/℃	49.6	53.2	56.8	59.7
25℃针入度/(0.1mm)	68.1	64.3	61.5	57.4

由表可知,加入相变调温材料后,沥青的软化点呈现出明显的升高趋势,当掺量为 12%时,软化点较基质沥青提高了 20.3%,表明相变材料可有效改善沥青的高温性能,这主要是因为,在加热升温过程中,相变调温材料中的 PEG 起到了储能调温作用,在 PEG 达到相变温度后,开始发生固-液相转变,自身吸收热量而保持温度不变,从而减少沥青所吸收的热量,因此沥青的软化点得以升高。由针入度测试结果可知,随着相变调温材料掺量的增加,沥青的针入度呈减小趋势,这主要是因为当相变材料分散于熔融沥青后,与沥青复合形成胶浆体系,形成空间网络状结构,沥青的稠度随之变大,故沥青的针入度会减小。由 15℃延度实验可知,沥青的延度随着相变调温材料掺量的增加而逐渐减小,表明相变材料对沥青的低温性能有着不利影响。这是因为相变材料在低温时为脆性较低的固体,其抵抗塑形变形的能力较差,使得沥青在低温受到拉力拉伸时更容易断裂。

2.3 相变沥青的高温性能

2.3.1 动态流变性能

采用剪切仪(DSR,HR2 型,美国 TA 公司)对不同掺量相变调温材料的沥青进行动态剪切流变试验,应变控制模式,γ=12%,频率 ω=10rad/s,结果见图 3。

由图 3(a)可知,随着温度上升,不同相变调温材料掺量的沥青车辙因子均呈现下降的趋势,表明相变沥青与基质沥青具有相似的温度敏感性,在高温下均会发生弹-黏态的转变;在相同温度下,随着相变材料掺量的增加,相变沥青的车辙因子逐渐增大,表明其抗车辙能力不断提升,相变材料对沥青的抗高温变形性能有着明显地改善。这主要是因为,在升温过程中,相变材料中的 PEG 吸收部分热量,

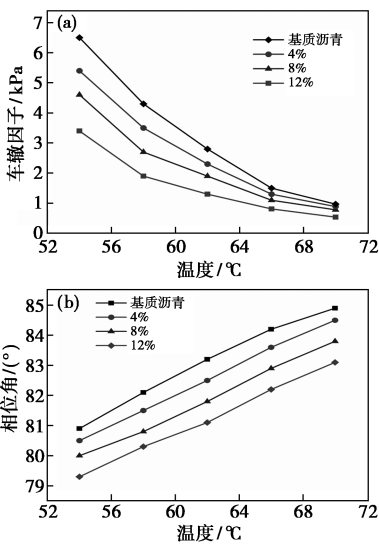


图 3 相变调温材料掺量对改性沥青 DSR 的影响
[(a)车辙因子;(b)相位角]

进而延缓了沥青的升温速率,一定程度上抑制了沥青向黏态的转变进程。此外,相变颗粒与沥青复合形成的空间网络状结构也会增大沥青的黏度,从而改善沥青的高温稳定性。

由图 3(b)可知,随着温度的上升,不同相变调温材料掺量的沥青相位角均呈上升趋势,但均低于基质沥青,且相变调温材料掺量越大,相位角越小,这表明相变调温材料的掺入能有效降低沥青在高温下的黏性比例,增强沥青的弹性成分,这是因为在升温过程中,相变材料吸收了部分热量,一定程度上阻碍了沥青在高温下由弹性向黏性的转变进程,从而提高了沥青的高温抗变形能力。

2.3.2 动稳定度

将相变调温材料按等体积替代法替代部分混合料中的细集料,分别制备 1%、3%、5%相变材料掺量的沥青混合料,并按照规定分别制备成 AC-16 与 SAC16 级配的车辙板试件,测量其在 60℃下的动稳定度,以评价相变调温材料对沥青混合料高温稳定性的影响,结果见表 4。

表 4 不同沥青混合料的车辙实验结果

混合料类型	动稳定度/(次·mm ⁻¹)		60min 车辙深度/mm	
	AC-16	SAC16	AC-16	SAC16
基质沥青	1321	2778	3.154	2.341
1%掺量	1186	2703	5.241	2.438
3%掺量	913	2612	7.726	2.544
5%掺量	764	2527	9.328	2.652

由表可知,随着相变调温材料掺量的增加,2 种

不同级配混合料的动稳定度均呈现下降趋势,60min 车辙深度则不断变大,表明相变颗粒的掺入会对沥青混合料的动稳定度产生不利影响。这主要是因为,在现行规范中,车辙试件在进行动稳定度实验前,需将其置于 60℃ 烘箱中保温 5h,虽然相变调温材料中具有多孔结构的 TiO_2 能够有效封装 PEG,以避免其在熔融状态后产生泄露,但在 60℃ 下保温 5h 后,熔融态的 PEG 会造成相变调温材料的力学性能出现一定程度的下降,进而影响到车辙板在高温条件下受到荷载作用后的变形量,造成动稳定度下降。

对比分析 AC-16 与 SAC16 两种级配混合料车辙试件的动稳定度可知,对于悬浮密实型沥青混合料,细集料除了起填充作用外,还提供一定的力学强度,能够承受荷载作用,当相变调温材料替代细集料之后,在高温及车辆荷载作用下,相变材料的力学性能降低势必会影响沥青混合料的高温抗车辙性能,从而引起动稳定度的明显下降,当掺量超过 5% 后,已经不能满足规范要求。而在粗集料断级配型沥青混合料组成中,细集料主要起到填充空隙的作用,因而相变材料替代细集料后对沥青混合料的力学强度影响较小,从表中可以看出,SAC16 型级配的车辙试件动稳定度只是出现略微下降,且均满足规范要求。因此,可以通过选择合适的级配类型以减小相变调温材料对沥青混合料高温抗车辙性能的影响。

2.4 调温性能

为避免环境、气候等自然因素对相变调温沥青混合料降温性能造成误差的影响,本实验采用自制的环境模拟温度箱进行调温实验。箱体由保温效果良好的挤塑苯板制成,光源采用两个 300W 碘钨灯,其辐射原理与太阳光相似。在进行调温性能实验之前,首先将各车辙试件在表面钻取相同深度的孔,随后置于 30℃ 烘箱中保温 6h,再将温度传感器紧紧插入车辙板中。待准备工作完成后,将车辙板置于环境模拟温度箱内,并控制各个车辙板试件距光源距离相同。打开光源与温度记录仪,记录相应的温度与时间数据,结果见图 4。

由图可知,当相变调温材料掺入沥青混合料之后,起到了良好的调温效果,其升温速率与温度峰值均出明显的下降,且随着相变材料掺量的增加,调温效果越为显著。在实验开始阶段,车辙试件由于受到光照而逐渐升温,此时尚未达到相变调温材料的相转变温度,因而各车辙试件的升温速率基本相同;当温度逐渐上升至 48℃ 左右时,掺有相变材料的车

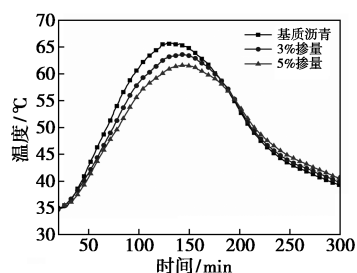


图 4 不同沥青混合料的温度-时间曲线图

辙试件升温速率逐渐低于基质沥青试件,这是因为此时相变材料中的 PEG 开始发生相转变,吸收部分热量并以潜热的形式储存其中,相应地,车辙试件受到的光照热量随之减小,此时相变车辙试件的温度明显低于基质沥青。对比图中 3 种类型车辙试件的温度峰值的大小,基质沥青、3% 掺量和 5% 掺量试件的峰温分别为 65.6℃、63.4℃ 和 61.5℃,相较于基质沥青,不同掺量相变沥青车辙试件的最大降温幅度分别为 2.2℃ 与 4.1℃,表明相变调温材料掺入沥青混合料能有效吸收外界的热量,降低混合料的升温速率,因而可作为一种控温材料,与沥青混合料形成复合体系,进而有效改善夏季沥青路面的高温问题,减少路面的高温损害。

3 结论

(1) 制备的相变调温材料具有适宜的相变温度与较高的相变焓,且在沥青混合料拌合温度下热稳定性良好,基本不发生热分解,表明该相变调温材料能够应用到沥青路面中,起到良好的调温储热效果。

(2) 随着相变调温材料掺量的增加,沥青的软化点逐渐上升,软化点和延度均出现不同程度地下降,表明相变调温材料能改善基质沥青的高温性能,但对低温性能有着不利影响。

DSR 结果表明,随着相变调温材料掺量的增大,沥青在相同温度下的车辙因子逐渐增大,相位角逐渐减小,表明相变调温材料在沥青中起到了明显的吸热调温作用,并改善了基质沥青的高温流变性。

(3) 级配类型对相变沥青混合料的高温稳定性有着重要影响,因此在考虑相变调温材料对沥青混合料起到降温作用的同时,还要考虑级配类型对其物理性能的影响。

参考文献

- [1] 吉增晖. 沥青路面预防性养护技术综述与探讨[J]. 公路, 2015 (12): 56-63.

(下转第 263 页)