

性沥青进行剪切,在剪切过程中加入胶粉及 HDPE、TOR 改性剂,沥青最佳掺量为 4.5%,剪切时间为 60 min,转速为 4 500 r/min;高速剪切结束后,在 185 ℃的

烘箱中发育 30 min,即得到胶粉/SBS 复合改性沥青。

SBS 改性沥青、胶粉掺量为 20%和 25%的复合改性沥青的主要性能参数如表 1 所示。

表 1 沥青技术指标

沥青类型	针入度(25 ℃,100 g, 5 s)/(0.1 mm)		延度(5 cm/min, 5 ℃)/cm		软化点(环球法)/℃	
	试验结果	技术要求	试验结果	技术要求	试验结果	技术要求
SBS	56		30.0		82	
20%胶粉掺量 SBS	54	40~60	14.0	≥10	68	≥65
25%胶粉掺量 SBS(HDPE 改性剂)	42		12.6		86	
25%胶粉掺量 SBS(TOR 改性剂)	38		11.4		79	

粗集料为玄武岩,细集料为石灰岩,矿粉为磨细后石灰岩粉,集料技术指标满足规范要求。

采用 AC-13 型沥青混合料,设计级配见表 2。

表 2 AC-13 型沥青混合料矿料级配

筛孔/mm	通过率/%	筛孔/mm	通过率/%
16	100	1.18	22.5
13.2	96.6	0.6	16.1
9.5	75.0	0.3	11.6
4.75	45.6	0.15	9.4
2.36	31.4	0.075	6.3

1.2 胶粉/SBS 改性沥青混合料配合比设计

AC-13 型胶粉/SBS 改性沥青混合料配合比设

计采用马歇尔方法。试件成型条件:拌和温度 185 ℃;成型温度 170~175 ℃,试件双面各击实 75 次,胶粉掺量为 0、20%和 25%的 3 种 SBS 改性沥青混合料的最佳油石比分别为 4.8%、5.1%、5.7%。

1.3 胶粉/SBS 改性沥青混合料路用性能

路用性能是沥青混合料设计的重要指标。该文从高温稳定性、水稳定性及抗渗性能评价胶粉/SBS 改性沥青混合料路用性能。选用车辙试验(试验温度为 60 ℃,轮压 0.7 MPa)评价沥青混合料高温稳定性,浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验评价沥青混合料水稳定性。路面渗水仪评价沥青混合料的抗渗性能,试验结果如表 3 所示。

由表 3 可知:不同胶粉掺量的胶粉/SBS 改性沥青混合料的高稳定性、水稳定性和抗渗性能满足规范要求。

表 3 胶粉/SBS 改性沥青混合料路用性能试验结果

沥青混合料类型	动稳定度/(次·mm ⁻¹)		残留稳定度/%		冻融劈裂强度比/%		渗水系数/(mL·min ⁻¹)	
	检验结果	技术要求	检验结果	技术要求	检验结果	技术要求	检验结果	技术要求
SBS 改性沥青	3 286		88.1		82.9		15	
20% 胶粉/SBS 复合改性沥青	5 015	≥4 000	87.8	≥85	82.3	≥80	12	≤50
25% 胶粉/SBS 复合改性沥青	5 160		89.3		86.0		10	

2 胶粉/SBS 改性沥青混合料永久变形性能

该文选用 SPT 简单性能试验机进行胶粉/SBS 改性沥青混合料的三轴重复荷载蠕变试验,研究其永久变形规律,并建立永久变形预估模型^[7]。

2.1 试件成型

选用 SCG 旋转压实仪按目标空隙率[SBS 改性沥

青混合料(4.20±0.5)%、20%胶粉改性沥青混合料(4.22±0.5)%、25%胶粉改性沥青混合料(4.76±0.5)%]成型 150 mm×200 mm 的圆柱体试件,然后钻芯取样,试件尺寸为 100 mm×200 mm,圆柱体试件两端抛光打磨,形成光滑表面。

2.2 试验方案

试验温度选取 30 ℃、40 ℃、50 ℃;偏应力为 0.3 MPa、0.5 MPa、0.7 MPa;荷载波形为半正弦波,每个荷载作用循环周期为 1 s,其中加载时间为 0.1 s,卸载

时间为 0.9 s。试验前,按荷载 0.01 MPa 进行加载预压。预压结束后,取围压 0.1 MPa,按偏应力大小进行重复加载,当荷载作用循环 10 000 次或永久变形达到 5%时,停止试验。

2.3 试验结果分析

胶粉掺量分别为 0、20%、25%的胶粉/SBS 改性沥青混合料的动态蠕变试验结果如图 1 所示,胶粉/SBS 改性沥青混合料平均永久变形分布如图 2 所示。图例中 20-0.3 表示胶粉掺量为 20%、偏应力为 0.3 MPa,其他类似。

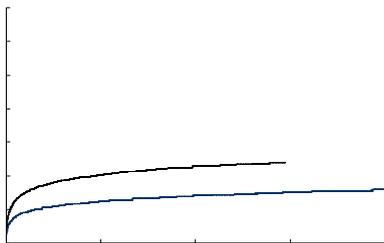
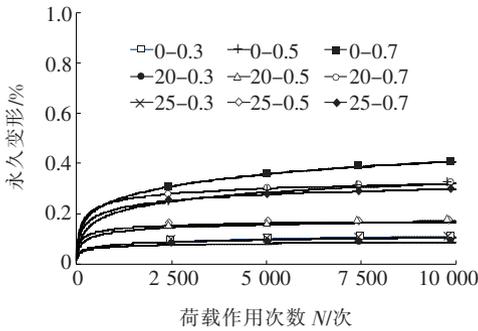


图 1 胶粉/SBS 改性沥青混合料永久变形规律
(c) 50 °C

图 1 胶粉/SBS 改性沥青混合料永久变形规律

由图 1、2 可知:

(1) 不同胶粉掺量的胶粉/SBS 改性沥青混合料永久变形发展规律具有较好的一致性。温度和荷载是影响沥青混合料永久变形发展的关键因素。沥青混合料的永久变形随着温度的提高、荷载作用次数的增多

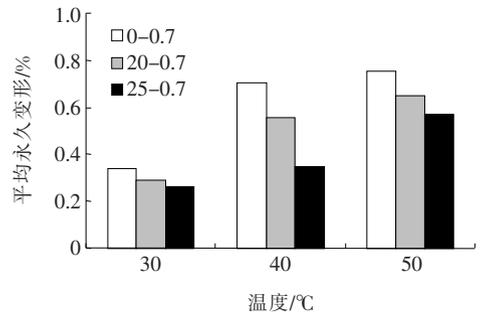


图 2 胶粉/SBS 改性沥青混合料平均永久变形分布

而逐渐增大。

(2) 在其他试验条件相同时,随着温度的升高,胶粉/SBS 改性沥青混合料的动态蠕变变形增大。由 30 °C 到 40 °C,胶粉/SBS 改性沥青混合料平均永久变形增长了 1 倍左右,而由 40 °C 到 50 °C,胶粉/SBS 改性沥青混合料平均永久变形增长相差不大。

(3) 胶粉掺量是影响沥青混合料抗永久变形能力的重要因素。随着胶粉掺量的增加,胶粉/SBS 改性沥青混合料的抗永久变形能力呈增强趋势。以胶粉掺量 20% 为例,在 30 °C、40 °C、50 °C 时,胶粉/SBS 沥青混合料平均永久变形比 SBS 改性沥青混合料分别降低了 15%、21% 和 14%。由此可知:沥青中掺入胶粉可以提高沥青混合料的抗永久变形能力。

3 胶粉/SBS 改性沥青混合料永久变形预估模型

沥青混合料是典型的黏弹性材料,其力学响应对温度和荷载有很强的依赖性。为了描述胶粉/SBS 改性沥青混合料的黏弹性,该文以修正 Burgers 模型为基础,建立重复荷载作用下沥青混合料黏弹性力学模型^[8-9],如图 3 所示。

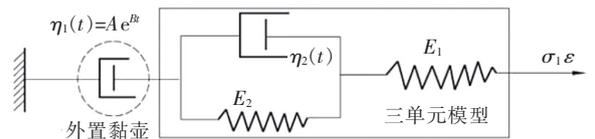


图 3 修正 Burgers 模型

车辆荷载实际作用于路面过程中存在间歇时间,基于修正 Burgers 模型,该文推导在重复荷载作用下考虑间歇时间的沥青混合料永久变形预估模型为:

$$\epsilon = \sigma_0 P_1 (1 - e^{-0.2P_2 N}) + \sigma_0 P_3 (1 - e^{-P_4 N}) \quad (1)$$

式中:

$$P_1 = \frac{\pi t_0 (1 + e^{Bt_0}) e^{-Bt_0}}{A (\pi^2 + B^2 t_0^2) (1 - e^{-Bt_0})};$$

$$P_2 = B;$$

$$P_3 = \frac{\pi t_0 \left(1 + e^{\frac{E_2}{\eta_2} t_0} \right) e^{-\frac{E_2}{\eta_2} T}}{\eta_2 \left(\pi^2 + \frac{E_2^2 t_0^2}{\eta_2^2} \right) \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} T} \right)};$$

$$P_4 = \frac{E_2}{\eta_2}。$$

式中： ϵ 为永久应变； σ_0 为应力 (MPa)； N 为荷载作用循环次数 (次)； t_0 为荷载作用时间 (s)； A 、 B 为外置黏壶的黏度系数； E_2 为内置弹簧的弹性模量 (MPa)； η_2 为内置黏壶黏度； T 为荷载作用周期 (s)。

采用 1stopt 对试验数据进行拟合，得到胶粉/SBS 改性沥青混合料力学模型拟合参数，结果如表 4 所示。

表 4 胶粉/SBS 改性沥青混合料力学模型拟合参数

胶粉掺量/%	温度/℃	偏应力/MPa	力学模型参数				相关性系数 R
			A	B	E_2	η_2	
0	30	0.3	10.415 8	0.090 1	0.824 9	2 334.151 3	0.99
		0.5	27.981 8	0.036 1	0.382 6	1 245.941 8	0.99
		0.7	33.613 4	0.046 6	0.407 9	1 509.508 0	0.99
	40	0.3	5.280 4	0.064 0	0.249 9	896.100 9	0.99
		0.5	10.170 1	0.056 2	0.282 1	875.540 8	0.99
		0.7	17.908 3	0.045 0	0.159 5	666.736 9	0.99
		0.3	3.513 1	0.072 3	0.299 4	903.358 3	0.99
20	50	0.5	5.859 5	0.072 4	0.246 3	963.935 4	0.99
		0.7	7.954 0	0.072 8	0.272 0	952.535 5	0.99
		0.3	13.582 3	0.070 9	1.426 5	3 681.897 4	0.98
	40	0.5	26.110 6	0.060 6	0.993 5	2 148.658 6	0.98
		0.7	25.790 1	0.059 7	0.783 8	1 755.492 0	0.99
		0.3	4.978 2	0.074 7	0.409 1	1 294.808 4	0.99
		0.5	6.427 3	0.083 2	0.435 8	1 061.991 0	0.98
25	50	0.7	12.597 5	0.083 2	0.610 1	1 486.787 4	0.98
		0.3	4.004 6	0.066 5	0.273 5	1 034.827 2	0.98
		0.5	7.689 6	0.070 2	0.319 8	1 236.822 4	0.99
	40	0.7	867.646 4	0.001 0	0.197 5	14.600 6	0.99
		0.3	9.775 3	0.095 5	0.918 8	2 274.954 7	0.99
		0.5	18.031 5	0.076 5	1.205 3	2 424.403 6	0.99
		0.7	32.641 8	0.055 6	0.711 8	1 804.109 0	0.99
50	0.3	5.369 0	0.067 8	0.292 5	1 020.509 0	0.99	
	0.5	17.941 3	0.072 3	0.705 4	1 950.641 3	0.99	
	0.7	16.878 3	0.079 0	0.577 2	666.736 9	0.99	
	0.3	4.519 9	0.062 4	0.244 4	1 131.905 4	0.99	
	0.5	7.060 7	0.075 6	0.304 0	1 186.293 0	0.99	
		0.7	9.396 4	0.084 5	0.336 7	1 201.195 9	0.99

以偏应力 0.7 MPa 为例，胶粉掺量分别为 0、20% 及 25% 的胶粉/SBS 改性沥青混合料在 30℃、40℃ 和 50℃ 下试验值和拟合值对比见图 4。

由图 4 可知：① 重复荷载作用下胶粉/SBS 改性

沥青混合料永久变形预估模型的拟合值与动态蠕变试验实测值基本一致，拟合效果良好；② 胶粉/SBS 改性沥青混合料永久变形预估模型拟合参数的相关性系数均大于 0.98。综上可知，重复荷载作用下考虑间歇时

间的胶粉/SBS改性沥青混合料永久变形预估模型较好地模拟了沥青混合料动态蠕变的发展规律,为沥青路面沥青层永久变形预估提供了支撑。

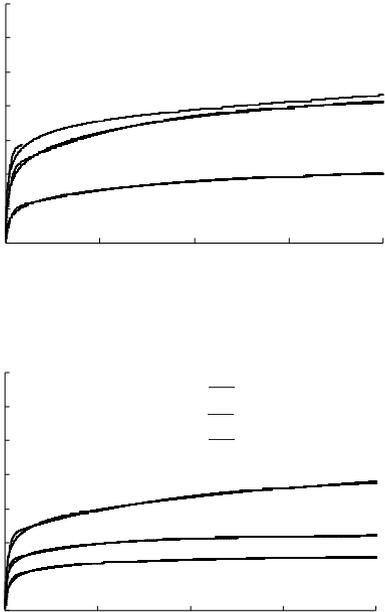


图4 胶粉/SBS改性沥青混合料永久变形试验值和拟合值对比

4 胶粉/SBS改性沥青混合料永久变形预估模型应用

沥青路面永久变形预估一直是国内外学者关注的问题。无机结合料稳定材料基层沥青路面结构是目前中国高速公路最典型的结构形式。无机结合料稳定材料基层具有较强的承载力,导致沥青路面永久变形主要集中于面层^[10]。沥青路面沥青层永久变形预估成为研究的重点。该文从全温域温度分布角度出发,将路面温度以一定间隔分成若干个温度区间,得到沥青路面全年不同温度区间的温度分布频率;建立交通轴

载谱,以一定轴载间隔(推荐2 t)分为若干个轴载等级,得到不同温度区间的轴载等级分布频率;沥青层根据实际厚度可按1~4 cm分层,结合沥青层不同深度的温度分布曲线,确定沥青层不同深度的模量值;基层、底基层和土基结合路面结构分析需要按实际厚度分层。基于叠加原理建立全温域条件下沥青路面永久变形预估模型^[11]:

$$\Delta h = \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n \varepsilon_i h_i \right] \quad (2)$$

式中: Δh 为沥青层永久变形(mm); m 为路面温度分区数; n 为路面结构分层数; h_i 为沥青层第*i*层厚度(mm); ε_i 为沥青层第*i*层永久应变,通过式(1)计算得到。

胶粉/SBS改性沥青路面可通过式(2)运用胶粉/SBS改性沥青混合料永久变形预估模型[式(1)],结合实际工程温度分区、轴载分级、路面结构分层情况,可实现沥青路面永久变形预估,以容许永久变形15 mm为临界值,可判定沥青路面的使用寿命。

5 结论

(1) 选用HDPE和TOR两种改性剂制备了胶粉/SBS改性沥青混合料,并进行了25%高掺量胶粉/SBS改性沥青混合料的尝试,确定了制备工艺参数,其高温稳定性、水稳定性和抗渗性能满足规范要求。

(2) 重复荷载作用下,3种胶粉/SBS改性沥青混合料具有基本一致的永久变形规律。随着温度升高和荷载作用增大,沥青混合料永久变形增大。胶粉的掺入有利于提高沥青混合料抗永久变形性能。

(3) 基于修正Burgers模型,构建了重复荷载作用下3种胶粉/SBS改性沥青混合料永久变形预估模型,拟合效果良好,可为实际道路使用寿命预测提供参考。

(4) 构建了全温域条件下基于叠加原理的沥青路面永久变形预估模型,为胶粉/SBS改性沥青混合料永久变形预估模型的应用提供了思路。

参考文献:

- [1] 王新强,王国清,王庆凯,等.高掺量胶粉改性沥青混合料动态粘弹性分析[J].硅酸盐通报,2018,37(10):3 303—3 309,3 316.
- [2] 徐鸥明,张鸿,曹志飞,等.经济型低胶粉掺量橡胶沥青混合料路用性能研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(5):52—56.

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2022.06.038

腐蚀环境下外加剂对混凝土耐久性的影响

张爱丽, 郭颜凤, 孙红

(安阳职业技术学院 建筑工程系, 河南 安阳 455000)

摘要:为研究腐蚀环境下混凝土的抗压强度、抗折强度和抗侵蚀性能的演变规律。首先,以3%的 Na_2SO_4 和 NaCl 溶液模拟腐蚀环境,然后通过掺入不同含量的聚丙烯纤维分析混凝土在腐蚀环境下的性能变化。试验结果表明:①当聚丙烯纤维的掺量为0~3%时,混凝土的抗压强度和抗折强度逐渐增加,其最大抗压强度和抗折强度在 Na_2SO_4 和 NaCl 溶液中分别为50.2 MPa和48.3 MPa、6.2 MPa和5.8 MPa;而当聚丙烯纤维的掺量为3%~5%时,混凝土的抗压和抗折强度逐渐减小;②随着腐蚀时间的延长,聚丙烯纤维混凝土的抗压强度和抗折强度逐渐降低,在腐蚀14 d后,抗压强度和抗折强度在 Na_2SO_4 和 NaCl 溶液中分别为45.3 MPa和42.6 MPa、5.6 MPa和4.9 MPa;③距离表面30 mm处,不掺入纤维的混凝土的 SO_4^{2-} 浓度为1.4%, Cl^- 浓度1.6%;而掺入3%聚丙烯纤维的混凝土的 SO_4^{2-} 浓度为1.1%, Cl^- 浓度1.1%。

关键词:腐蚀环境;混凝土;聚丙烯纤维;力学性能;耐久性

中图分类号: U414 **文献标志码:** A

腐蚀环境下的混凝土耐久性关乎着结构的安全性和适用性,不少研究者通过模拟腐蚀环境来分析混凝土耐久性的影响因素^[1-6],于忠等^[7]研究了混凝土在化工大气环境中的腐蚀机理和性能以及相应的影响因素;张云清等^[8]采用快冻法研究了高强混凝土在水、5% MgSO_4 溶液中的抗冻性能;梁咏宁等^[9]测试了不同腐蚀环境中混凝土抗压、抗折强度随浸泡时间的变化规律。从上述研究成果可以看出:混凝土在不同腐蚀环境下其力学性能(抗压强度、抗折强度),耐久性能(抗冻性能、抗氯离子侵蚀性)均会出现明显的下降。

为了改善腐蚀环境下的混凝土性能,不少专家学者在混凝土中掺入外加材料来提高混凝土的耐腐蚀性^[10-12],郭进军等^[13]得出在混凝土中掺入粉煤灰和聚丙烯纤维进行改性,能够显著提高混凝土的抗腐蚀性能;陈迅捷等^[14]研究了在一般环境、氯化物环境、冻融氯化物环境中,杂散电流对普通钢筋混凝土和添加适量活性掺合料的耐腐蚀钢筋混凝土腐蚀程度的影响;牛建刚等^[15]得出粉煤灰混凝土在抵抗二氧化硫腐蚀方面优于普通混凝土。可见,在混凝土中掺入外加材料能够达到力学性能和耐久性能提升的目的。

- *****
- [3] 吴正光,陆如洋,蔡冬艳,等. 新型胶粉复合改性沥青混合料及其抗永久变形性能研究[J]. 公路工程,2017,42(2):255-260.
- [4] 赵毅,梁乃兴. 全温域条件下沥青路面永久变形预估方法[J]. 哈尔滨工业大学学报,2018,50(11):122-130.
- [5] 何锐,黄鑫,作江涛,等. SBS-胶粉-HDPE复合改性沥青制备工艺[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2018,39(2):242-248.
- [6] 张晓亮,陈华鑫,张奔,等. TOR改性废旧小轿车轮胎橡胶沥青混合料路用性能研究[J]. 硅酸盐通报,2018,37(7):2241-2247.
- [7] 翟晓静,张庆宇,曹胜语. ECA-10型沥青混合料动态性能研究[J]. 中外公路,2019,39(4):219-223.
- [8] 徐世法,朱照宏. 高等级道路沥青路面车辙的预估方法[J]. 土木工程学报,1993,26(6):28-36.
- [9] 赵毅,郭志敏,梁乃兴. 沥青混合料永久变形黏弹性力学模型通用性研究[J]. 公路工程,2018,43(2):192-196,200.
- [10] LI Q, NI F, GAO L, et al. Evaluating the Rutting Resistance of Asphalt Mixtures Using an Advanced Repeated Load Permanent Deformation Test under Field Conditions[J]. Construction & Building Materials, 2014, 61(30):241-251.
- [11] 赵毅,梁乃兴. 全温域条件下沥青路面永久变形预估方法[J]. 哈尔滨工业大学学报,2018,50(11):122-130.

收稿日期:2020-12-16

基金项目:河南省科技攻关计划(重点)项目(编号:132102310334)

作者简介:张爱丽,女,讲师. E-mail:zal1982@sohu.com