

混凝土桥面铺装用环氧沥青的制备与性能研究

丛培良^{1,2}, 刘建飞^{1,2}, 赵志强^{1,2}, 陈拴发^{1,2}

(1. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 交通铺面材料教育部工程研究中心, 陕西 西安 710064)

摘要: 针对环氧沥青在混凝土桥面铺装材料中的应用, 制备了环氧沥青, 研究了不同树脂掺量对环氧沥青结合料黏度特性、高低温性能及环氧沥青混合料力学性能、低温抗裂性和高温稳定性的影响。结果表明, 环氧树脂的掺入可以改善沥青混合料的路用性能和力学性能, 随着掺量的增加, 环氧沥青的固化反应进程加快, 高温性能和抗疲劳性能增强, 劲度模量变大, 蠕变速率减小, 低温抗裂性降低, 沥青混合料的抗疲劳性能和高温稳定性提高; 综合分析, 30% 为环氧树脂的最佳掺量。

关键词: 环氧沥青; 桥面铺装材料; 路用性能; 树脂掺量; 力学性能

中图分类号: U416.217 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.06.019

0 引言

桥面铺装层作为桥面板与行车直接接触的表面层, 与桥梁结构协同变形, 保护桥面板不受车辆轮胎的直接磨耗, 防止主梁遭受雨水的侵蚀^[1], 并且具有行车平稳、舒适、便于维修等特点, 同时能够有效地缓和行车荷载对桥面的冲击作用, 因此, 在桥面铺装中应用越来越广泛。桥面铺装质量的好坏和使用耐久性将直接影响到车辆的行驶质量和路面的使用寿命。沥青铺装层直接承受行车荷载的垂直和水平作用, 同时又受到环境温度、湿度变化、雨雪和日照等因素的综合影响, 因此, 沥青铺装层是桥梁整体结构中容易产生衰变和损坏的薄弱部位^[2], 所以要求桥面铺装层要具有抗车辙性能好、行车舒适感强、表面抗滑、封层不透水且刚度好等特点^[3]。目前已有的环氧沥青混合料铺装层具有铺装强度高, 整体性好, 高温时抗塑流和永久变形能力强, 低温抗裂性能和抗疲劳性能好的特点, 但是环氧沥青价格较高, 关键技术难掌握, 配制工艺复杂^[4], 影响因素多。笔者旨在针对环氧沥青的制备工艺, 结合目前我国混凝土桥面常见的车辙、开裂等破坏类型, 制备环氧沥青并探究不同环氧树脂掺量对环氧沥青混合料路用性能和力学性能的影响规律。

1 材料制备与实验方法

1.1 原材料及制备

沥青: 针入度等级为 90 号道路沥青, 15℃下延度大于 150 cm, 软化点为 45.1℃, 相对密度为 1.033。环氧树脂: 双酚 A 型环氧树脂(E-51), 环氧值为 0.52 mol/100 g, 有机氯含量小于 0.02 mol/100 g, 无机氯含量小于 0.001 mol/100 g, 挥发分小于 1.8%, 黏度 $\leq 2.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (25℃)。相容剂与固化剂: 实验室自制。环氧树脂和固化剂先按照 62:38 的质量比例混合, 然后再与基质沥青按一定的比例混合, 在一定的温度条件下固化成型, 形成环氧沥青。

1.2 实验方法

通过黏度试验测试不同环氧树脂掺量和老化时间对沥青结合料性能的影响; 通过动态剪切模量来评价不同环氧树脂掺量的沥青结合料抗车辙、抗疲劳开裂^[5-6]和高温稳定性等性能; 利用 12℃和 18℃的 BBR 试验来衡量环氧沥青结合料的低温性能; 测试沥青混合料的稳定度、动稳定度、劈裂强度, 并选择 -10℃和 -15℃的抗弯拉试验来评价不同掺量的环氧树脂对沥青混合料路用性能的影响。

收稿日期: 2014-06-07; 修订日期: 2014-09-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51208050); 交通运输部应用基础研究项目(2013319812020)

作者简介: 丛培良(1978-), 男, 内蒙古赤峰人, 长安大学副教授, 博士, 主要研究沥青基道路建筑材料、固体废弃物再生利用及道路养护材料与技术等, E-mail: congpl@chd.edu.cn.

2 实验结果与分析

2.1 环氧沥青结合料性能的研究

2.1.1 不同树脂掺量下环氧沥青的黏度

试验采用布鲁克菲尔德(brookfield)黏度仪,测试 10%~40% (质量分数,下同)树脂掺量的环氧沥青结合料在 160℃ 条件下的黏度随时间变化的规律.在黏度试验中转子 28#,转速 100 r/min.结果如图 1 所示.

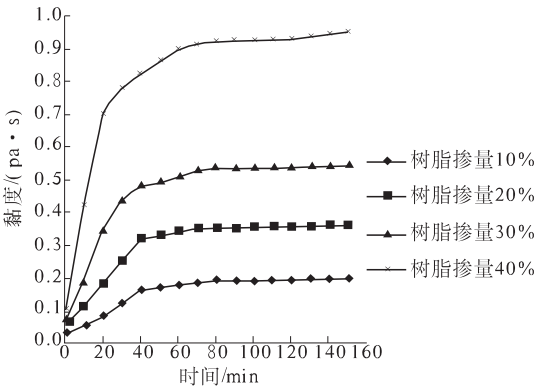


图 1 不同树脂掺量下环氧沥青 160 °C黏时曲线

Fig.1 Viscosity and time relation curve of epoxy asphalt which has different dosage of resin viscosity at 160 °C

从图 1 可知,在 10%~40% 的树脂掺量范围内,40 min 之前,4 种掺量下环氧沥青的黏度都随时间的增加而增大,但是在不同的时间段增长速率不同.可以发现,在 0~40 min 内曲线斜率增大,说明黏度快速增长,随着环氧树脂掺量的提高,其黏度增长幅度也在逐渐提高,在 60 min 以后,黏度增长缓慢.当掺量为 40% 时,在 0~40 min 这一时间段内环氧沥青黏度^[7]的增长速度明显大于另外 3 种掺量.在 160 °C 试验温度下,环氧沥青 2.5 h 后的黏度值是随树脂掺量的增加而增大的.可以看出,在一定的反应温度和一定的树脂掺量范围内,环氧树脂数量的增加会加速环氧沥青的固化反应进程.

2.1.2 40% 树脂掺量不同温度下的黏时曲线

试验测试了环氧树脂掺量为 40% (质量分数)的环氧沥青,在 140 °C、160 °C 和 180 °C 下黏度随时间变化的规律,分析了环氧沥青结合料对温度和时间的敏感性,试验结果如图 2 所示.由图 2 可以看出,3 个温度下,温度越高黏度值越小,但随时间的增加而增长,在 50 min 后黏度值基本不再变化.

2.2 不同树脂掺量下环氧沥青的动态剪切模量

采用动态剪切流变仪(DSR)测试不同环氧树脂掺量下沥青的动剪切模量.首先将不同树脂掺

量的环氧沥青在 150 °C 烘箱中养护 2.5 h 后,再在 60 °C 条件下养护 1 d 后进行试验.DSR 的试验温度范围设定为 60~90 °C.环氧树脂的掺量对沥青相位角的影响如表 1 所示.

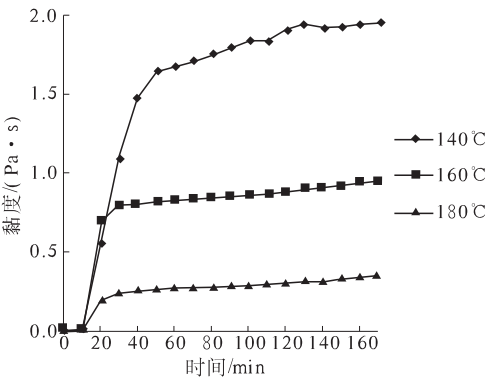


图 2 40% 树脂掺量不同温度下的黏时曲线

Fig.2 Viscosity and time relation curve of epoxy asphalt which the dosage of resin is 40%

表 1 环氧树脂的掺量对沥青相位角的影响

Tab.1 The influence of the dosage of epoxy resin for asphalt phase angle (°)

温度/ ℃	环氧树脂掺量				
	0%	10%	20%	30%	40%
64	88.47	87.19	83.19	77.92	69.13
70	88.72	87.98	84.84	81.07	70.15
76	—	88.27	85.80	83.20	70.07
82	—	—	86.43	84.71	69.53
88	—	—	—	85.78	70.08

在复数劲度模量相同情况下,相位角越小,沥青的高温稳定性就越好,同时抗疲劳开裂能力也越强.由表 1 可知,在同一温度下,相位角随着树脂掺量的增加而变小.这表明随着环氧树脂的增加,沥青由原来的黏弹性材料逐渐向弹性材料转变,高温性能和抗疲劳性能也逐渐增强.在同一试验温度下,随着环氧树脂掺量的增大,相位角逐渐变小,但下降幅度并不稳定,掺量由 10% 到 30% 时,相位角变化并不是很大,但当掺量为 40% 时,相位角降低许多.在同一树脂掺量下,不同温度的相位角的变化趋势不明显,尤其是在树脂掺量为 40% 时,相位角变化幅度很小.这说明在树脂掺量为 40% 时,环氧沥青对高温变化的敏感性很低,其高温稳定性优良.

环氧树脂对车辙因子的影响如表 2 所示.从表 2 可以看出,相同试验温度下,随着环氧树脂掺量的增加,车辙因子变大,抗车辙能力逐渐增强;同一树脂掺量下,随着温度的上升,抗车辙能力逐渐降低;与基质沥青相比,环氧沥青的车辙因子较

基质沥青有较大幅度的提高.

表 2 环氧树脂的掺量对车辙因子的影响
Tab.2 The influence of the dosage of the epoxy resin for rut factor

温度/ ℃	环氧树脂掺量				
	0%	10%	20%	30%	40%
64	1.09	2.17	3.80	7.26	10.74
70	0.54	1.04	1.88	3.72	6.22
76	—	0.61	1.04	1.96	4.06
82	—	—	0.63	1.09	2.88
88	—	—	—	0.66	2.06

2.3 环氧沥青结合料的低温性能

采用 BBR 小梁试验研究环氧沥青在 -12 ℃ 和 -18 ℃ 下的低温抗裂性能,如表 3 所示. 试验时先将环氧树脂和自制固化剂在 60 ℃ 下充分混合,然后把基质沥青加热到 145 ℃ 时,两者混合后在搅拌器中匀速搅拌 5 min 后,浇入 BBR 试验试模中,然后在 150 ℃ 烘箱中养护 2.5 h,60 ℃ 烘箱中养护 4 d,当小梁充分固化后脱模进行试验.

表 3 不同树脂掺量环氧沥青 -18 ℃ 和 -12 ℃ BBR 试验结果

环氧沥青掺量/ %	试验温度 -18 ℃			试验温度 -12 ℃		
	劲度模量/MPa	蠕变速率 m	挠度/mm	劲度模量/MPa	蠕变速率 m	挠度/mm
10	379	0.301	0.198	163	0.384	0.460
20	454	0.279	0.173	189	0.400	0.395
30	487	0.219	0.163	218	0.353	0.350
40	498	0.184	0.156	347	0.171	0.214
0	345	0.306	0.231	116	0.385	0.659

从表 3 的 -18 ℃ BBR 试验可以看出,随着树脂掺量的增加,结合料的劲度模量逐渐变大,蠕变速率逐渐减小,低温抗裂性降低. BBR 试验结果显示, -18 ℃ 时基质沥青和树脂掺量 10% 的环氧沥青的劲度模量和蠕变速率相差不大,这表明少量环氧树脂对沥青的改性效果不明显. 当树脂含量在 20% ~ 30% 时,劲度模量增长很快,表明环氧树脂对沥青性能的影响明显,但树脂掺量 40% 时劲度模量变化不是很大. 所以,环氧树脂掺量对沥青的改性效果有较大影响,但并不是树脂掺量越大性能越好.

另外, -12 ℃ 的 BBR 试验结果表明,环氧树脂掺量为 40% 的沥青的劲度模量和蠕变速率不能满足规范 $s \leq 300$ MPa 且 $m \leq 0.3$ 的要求. 在 0% ~ 40% 的掺量范围内,劲度模量随着掺量的增加而增大;与掺量 30% 相比,掺量为 40% 时环氧

沥青各指标的变化幅度很大.

对比表 3 数据可知,试验温度从 -18 ℃ 变化到 -12 ℃,掺量从 10% 到 40%,环氧沥青的蠕变速率和劲度模量上升的幅度均小于基质沥青. 因此可以认为,环氧沥青在实际使用过程中,温度敏感性小于基质沥青.

2.4 环氧沥青混合料的性能研究

依照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ E20—2011)^[8],通过马歇尔稳定度试验和 25℃ 劈裂试验,测试环氧沥青混合料的强度. 结果如图 3 和图 4 所示.

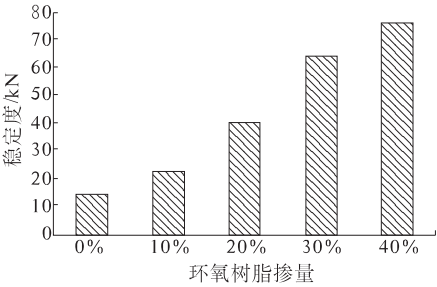


图 3 环氧树脂掺量对沥青混合料稳定度的影响
Fig.3 The effect of Epoxy resin dosage on the stability of the asphalt mixture

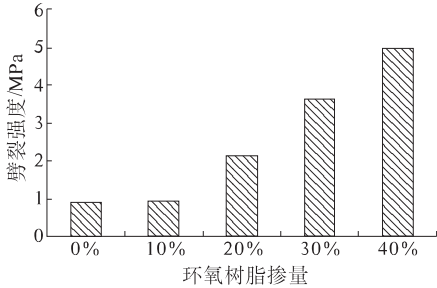


图 4 环氧树脂掺量对沥青混合料劈裂强度影响
Fig.4 The effect of epoxy resin dosage on the cleavage strength of the asphalt mixture

通过图 3 和图 4 可以看出,环氧沥青混合料的强度随树脂掺量的增加而增大,与基质沥青混合料相比,劈裂强度和稳定度有了大幅提高,其中掺量为 10% 时,较基质沥青混合料劈裂强度变化不大,但当掺量达到 40% 时,混合料的稳定度和劈裂强度增长非常明显. 说明,环氧树脂的掺加可以使沥青混合料的相关性能得到大幅度提高.

通过 -10 ℃ 和 -15 ℃ 的小梁低温弯曲试验^[9]来评测环氧沥青混合料低温抗裂性能. 试验结果如表 4 所示.

通过表 4 可知,环氧沥青混合料在 -10 ℃ 和 -15 ℃ 的低温弯曲试验中,环氧树脂的掺入使混合料的抗弯拉强度和最大弯拉应变得提高,而劲度模量在树脂掺量为 10% 时出现了拐点,之后掺量越大,劲度越大. 综合分析在低温环境下,环

氧沥青混凝土的变形能力比较好. 在同一树脂掺量下,沥青混合料从 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其最大弯拉应变和抗弯拉强度有所降低,劲度模量有所提高,表明温度越低脆性越大. 但当在树脂掺量为

10% 时,环氧沥青混合料的性能与基质沥青相差不多,在其余掺量条件下环氧沥青混合料的抗弯拉强度都优于基质沥青. 表明环氧沥青混合料具有刚度大、强度高的特点.

表 4 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下小梁低温弯曲试验结果

Tab. 4 The test results of low temperature bending for asphalt mixture at $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

沥青掺量/%	树脂掺量/%	试验温度 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$			试验温度 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$		
		抗弯拉强度/MPa	劲度模量/MPa	最大弯拉应变	抗弯拉强度/MPa	劲度模量/MPa	最大弯拉应变
100	0	7.74	5 097	1 425	8.68	6 703	1 169
90	10	8.70	4 265	2 038	7.24	4 429	1 642
80	20	14.84	5 986	2 119	10.34	6 467	1 729
70	30	17.95	6 907	2 582	15.98	7 740	2 213
60	40	21.21	8 597	2 472	18.59	9 508	2 001

采用车辙试验来评价环氧沥青混合料的高温稳定性,如图 5 所示. 由图 5 可以看出,随着环氧树脂掺量的增加,混合料的动稳定度值不断增大,当掺量为 10% 时,环氧沥青混合料的动稳定度值达到 13 000 次/mm,当掺量为 40% 时,动稳定度将近 60 000 次/mm,大大超过沥青混合料车辙试验动稳定度技术要求的 3 000 次/mm. 通过折线走势可以明显看出,随着环氧树脂的掺量的增加,混合料的动稳定度几乎成线性增长,这就表明环氧树脂的掺量对沥青混合料的高温稳定性影响很大,掺量越大高温稳定性能好.

料,且混合料的强度和动稳定度随树脂掺量的增加而增大.

(4) 在 10% ~ 40% 树脂掺量范围内,除掺量 10% 外,环氧沥青混合料的抗弯拉强度都优于基质沥青,且随着环氧树脂含量的提高,沥青混合料抗疲劳性能迅速提高,但当环氧树脂含量超过 30% 时,沥青混合料抗疲劳性能提升趋缓.

(5) 综合分析当环氧树脂掺量为 30% 时,环氧沥青性能最好.

参考文献:

[1] 刘澍. 高模量沥青混凝土桥面铺装材料性能研究及在甘肃高速公路中的应用[D]. 重庆:重庆交通大学土木建筑学院,2012.

[2] 赵志强. 水泥混凝土桥面铺装用环氧沥青及其混合料性能研究[D]. 西安:长安大学材料科学与工程学院,2012.

[3] 王少华. 连续梁桥混凝土桥面铺装层的结构设计研究[D]. 济南:山东大学土建与水利学院,2008.

[4] 刘郁贞. 沥青混凝土桥面铺装材料与技术研究[D]. 太原:太原理工大学建筑与土木工程学院,2009.

[5] 罗桑,钱振东. 环氧沥青混凝土铺装材料低温性能研究[J]. 公路,2010;156-160.

[6] 徐敏,李宇峙,张平. 环氧树脂混凝土的疲劳试验研究[J]. 中外公路,2009(2):200-203.

[7] 闵召辉,黄卫. 环氧沥青的黏度与施工性能研究[J]. 公路交通科技,2006,23(8):5-8.

[8] 中华人民共和国交通部. JTJ E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,2011.

[9] 于天来,唐涛,吴思刚. 改性沥青伸缩结合料与混合料低温性能研究[J]. 中国公路学报,2005,18(2):18-231.

(下转第 99 页)

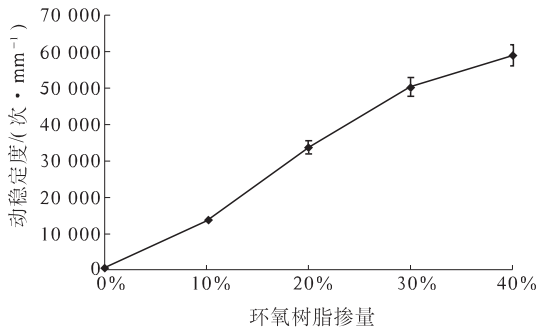


图 5 不同树脂掺量对环氧沥青混合料动稳定度影响
Fig. 5 The effect of epoxy resin dosage on the dynamic stability of the asphalt mixture

3 结论

(1) 黏度试验表明,环氧沥青对温度的敏感程度要大于时间,在一定的反应温度和一定的树脂掺量范围内,环氧树脂数量的增加会加速环氧沥青的固化反应进程.

(2) DSR 和 BBR 试验表明,随着环氧树脂的增加,环氧沥青的高温性能和抗疲劳性能也逐渐增强,劲度模量变大,蠕变速率减小,低温抗裂性降低.

(3) 环氧沥青混合料的高温性能和低温性能优异,稳定度和劈裂强度都远大于普通沥青混合