

文章编号:1671-8879(2015)01-0001-07

环氧沥青混凝土增柔增韧改性技术

张争奇¹, 张 苛¹, 李志宏¹, 姚晓光¹, 王 康²

(1. 长安大学 教育部特殊地区公路工程重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 中国民航机场建设集团公司, 北京 100101)

摘 要:为了解决环氧沥青混凝土在钢桥面铺装层使用中存在的固化后脆硬,同桥面板变形一致性差,以及易出现开裂的问题,通过在环氧沥青混凝土中添加橡胶颗粒、聚酯纤维来提高其柔性和韧性。采用低温弯曲试验和弯曲疲劳试验,评价不同掺量的橡胶颗粒和聚酯纤维对环氧沥青混凝土弯曲破坏应变和疲劳寿命等指标的影响。研究表明:橡胶颗粒和聚酯纤维能改善环氧沥青混凝土的柔性和韧性,橡胶颗粒在与环氧沥青形成的共混体系中通过银纹作用显著提高了混合料的柔性性能,其最佳掺量为 2.1%;而掺入聚酯纤维后,环氧沥青混凝土中形成的结构沥青和纤维网共同作用,大大提高了混合料的韧性性能,其最佳掺量为 0.3%。

关键词:道路工程;环氧沥青混凝土;橡胶颗粒;聚酯纤维;柔性;韧性

中图分类号:U416

文献标志码:A

Technique research on flexibility and toughness modification for epoxy asphalt concrete

ZHANG Zheng-qi¹, ZHANG Ke¹, LI Zhi-hong¹, YAO Xiao-guang¹, WANG Kang²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. China Airport Construction Corporation of CAAC, Beijing 100101, China)

Abstract: To solve the problem of hardness and brittleness after the hardening of epoxy asphalt concrete in steel deck pavement, its poor coordination with the bridge deck, and its proneness to crack, a means was introduced to improve the flexibility and toughness of epoxy asphalt concrete by adding rubber particles and polyester fiber. The low-temperature bending test and bending fatigue test were carried out to analyze the influence of rubber particles and polyester fiber on bending failure strain and fatigue life of epoxy asphalt concrete. The results show that the flexibility and toughness of epoxy asphalt concrete can be improved after adding rubber particles and polyester fiber. The flexible performance of the mixture is improved through the crazing effect caused by adding rubber particles, and the optimum dosage of rubber particle is 2.1%. While polyester fiber greatly improves the toughness properties of the mixture through the combined action of structure-asphalt and fiber net developing in the blends, and the optimum dosage of polyester fiber is 0.3%. 8 tabs, 9 figs, 12 refs.

Key words: road engineering; epoxy asphalt concrete; rubber particles; polyester fiber; flexibility; toughness

收稿日期:2014-08-20

基金项目:江苏省交通科学研究计划项目(2010Y11);交通运输部应用基础研究项目(2014 319 812 151)

作者简介:张争奇(1967-),男,陕西扶风人,教授,博士研究生导师,E-mail:z_zhengqi@126.com。

0 引言

环氧沥青混凝土在中国桥面铺装中的应用起步较晚,自从其在南京长江二桥钢桥面沥青铺装层中大规模应用并取得良好的使用效果后,现已逐渐成为中国钢桥面铺装层的首选材料。尽管环氧沥青混凝土具有高强、耐久、耐疲劳等诸多良好的性能,但是其固化后变得硬脆,缺乏柔韧性,开裂、层间粘结失效以及疲劳裂缝等一些病害也是屡见不鲜^[1-2]。因此,如何提高环氧沥青混凝土柔性和韧性,以改善钢桥面上环氧沥青混凝土铺装层抵抗低温开裂和疲劳开裂的性能,已逐渐引起国内外相关研究人员的关注^[3]。目前国内外一些技术人员针对环氧树脂的改性技术开展了一系列研究,以解决环氧沥青固化后的硬脆问题,进而提高环氧沥青混凝土抵抗低温和疲劳开裂的性能,但效果不甚明显。为此,本文根据复合材料相关理论^[4-5],采用在环氧沥青混凝土中添加橡胶颗粒和聚酯纤维以提高环氧沥青混凝土的技术性能,通过低温弯曲破坏试验和疲劳试验分析橡胶颗粒、聚酯纤维提高环氧沥青混凝土柔性及韧性的效果,探讨其增柔增韧原理,并推荐可以显著改善环氧沥青混凝土柔韧性的橡胶颗粒和聚酯纤维的最佳掺量。

1 环氧沥青混凝土柔性及韧性评价指标

1.1 柔性性能评价指标

柔性表征材料在力的作用下变形能力的大小^[6],本文选取低温弯曲试验来研究环氧沥青混凝土柔性质,并用弯曲破坏应变和劲度模量评价柔性大小。

按照中国相关试验规程《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E-2011)的要求制备标准尺寸的车辙板,并将车辙板切割成小梁试件。采用万能材料试验机(MTS810)作为加载装置,在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境中以 50 mm/min 的加载速率对试件加载直至破坏。低温弯曲试验荷载-挠度曲线如图1所示。图中虚线为曲线的切线。

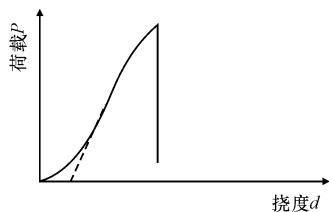


图1 弯曲试验荷载-挠度曲线

Fig. 1 Load-deflection curve of bending test

从图1中读取曲线峰值对应的荷载和挠度作为试验过程中的最大荷载 P_B 及跨中挠度 d ,并按式(1)~式(3)计算得到小梁发生破坏时的抗弯拉强度 R_B 、最大弯拉应变 ϵ_B 和弯曲劲度模量 S_B 。

$$R_B = \frac{3LP_B}{2bh^2} \quad (1)$$

$$\epsilon_B = \frac{6hd}{L^2} \quad (2)$$

$$S_B = \frac{R_B}{\epsilon_B} \quad (3)$$

式中: b 、 h 分别为跨中断面处试件的宽度和高度(mm); L 为小梁的跨径,此处为 200 mm 。

从图1可知,跨中挠度或应变值越小,脆性越强,破坏表现为脆断;跨中挠度或应变值越大,柔性越好,越不易发生脆断。所以用弯曲破坏应变可以反映环氧沥青混凝土的柔性。

1.2 韧性性能评价指标

韧性用于表征材料承受反复变形而不断裂的能力,可用承受反复挠曲变形的次数即用疲劳次数来反映^[7]。本文采用弯曲疲劳试验来评价橡胶颗粒和聚酯纤维对环氧沥青混凝土韧性的影响。

同低温弯曲试验一样,成型车辙板后切割成小梁试件,尺寸为 $250\text{ mm}\times 40\text{ mm}\times 40\text{ mm}$ 。试验采用应力控制方法加载^[8],考虑到环氧沥青混凝土疲劳寿命较长,采用 $0.2\sim 0.5$ 这4个等级。沥青混凝土的疲劳特性表征为

$$N_f = k(1/\sigma_0)^n \quad (4)$$

式中: N_f 为小梁试件发生破坏时对应的荷载作用次数,即疲劳寿命; σ_0 为初始弯拉应力; k 、 n 为由试验确定的系数。

本文选取疲劳次数 N_f 来评价环氧沥青混凝土的韧性,其值越大,表明韧性越好。

2 掺橡胶颗粒对环氧沥青混凝土柔韧性影响

橡胶颗粒的密度小、导热系数低,在较宽的温度区间内富有柔韧性、弹性和较强的变形能力^[9],且具有良好的化学稳定性。本文通过低温弯曲破坏试验和弯曲疲劳试验,从抵抗低温开裂和疲劳开裂方面研究橡胶颗粒对环氧沥青混凝土铺装材料柔性和韧性的改善效果。

试验采用江苏省某公司生产的HLJ-2910型环氧沥青作为钢桥面铺装层的结合料,混合料的矿料级配如下页表1所示,油石比为 6.2% 。考虑到环氧沥青的工作温度较低(一般为 $135\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$),因此采用对温

度要求较低的干法加入北京新特莱公司生产的橡胶颗粒。根据文献调研结果特别是文献关于胶粉目数对橡胶沥青性能影响的讨论,本文胶粉粒径选用 40 目^[10]。

2.1 橡胶颗粒对环氧沥青混凝土的柔性影响

通过向环氧沥青混合料中掺入 4 种掺量(1.5%、1.8%、2.1%和 2.4%)的橡胶颗粒,研究其对中国环氧沥青混凝土柔韧性的改善作用。用马歇尔方法分别确定不同橡胶颗粒掺量所对应的最佳油石比

(6.5%、6.6%、6.8%和 7.0%),试验结果见表 2。其中 VV 为空隙率,VMA 为矿料间隙率,VFA 为沥青饱和度。

表 1 环氧沥青混凝土矿料级配
Tab. 1 Aggregate gradation of epoxy asphalt concrete

通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							
13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
100	99.0	79.0	61.5	46.0	32.0	23.5	18.0
							12.5

表 2 不同橡胶颗粒掺量对应的马歇尔指标

Tab. 2 Marshall indexes corresponding to different rubber particles dosage

橡胶颗粒掺量/%	油石比/%	毛体积密度/(g·cm ⁻³)	最大理论密度/(g·cm ⁻³)	VV/%	VMA/%	VFA/%
0	6.2	2.478	2.526	2.31	15.1	82.3
1.5	6.5	2.426	2.498	2.55	17.0	82.6
1.8	6.6	2.416	2.479	2.64	17.5	84.9
2.1	6.8	2.410	2.459	2.71	17.8	88.2
2.4	7.0	2.402	2.436	2.84	18.1	89.1

为了评价橡胶颗粒对环氧沥青混凝土柔性的影响,在以上最佳沥青结合料用量下,分别进

行小梁低温弯曲试验,结果见表 3 和图 2~图 4。

表 3 不同橡胶颗粒掺量的环氧沥青混凝土低温弯曲试验结果

Tab. 3 Results of bending test at low temperature of epoxy asphalt concrete corresponding to different rubber particles dosage

橡胶颗粒掺量/%	油石比/%	跨中挠度/mm	最大荷载/N	弯拉强度/MPa	破坏应变/10 ⁻³	劲度模量/MPa
0	6.2	0.517	3 696.51	27.42	2 809.92	9 759.64
1.5	6.5	0.608	3 772.94	27.91	3 280.01	8 746.54
1.8	6.6	0.641	3 877.32	29.43	3 469.54	8 484.25
2.1	6.8	0.692	3 925.62	29.49	3 737.19	7 895.09
2.4	7.0	0.583	3 160.65	24.00	3 156.13	7 603.79

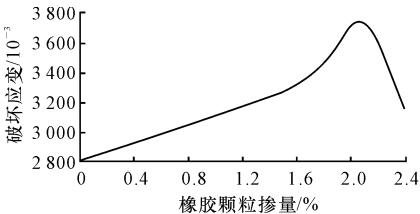


图 2 橡胶颗粒掺量与破坏应变的关系

Fig. 2 Relationship between rubber particles dosage and failure strain

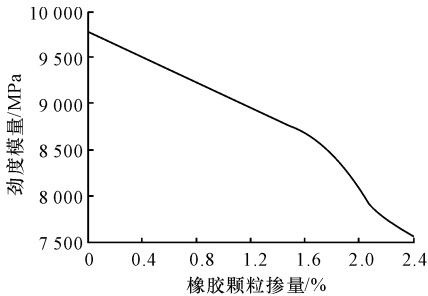


图 4 橡胶颗粒掺量与劲度模量的关系

Fig. 4 Relationship between rubber particles dosage and stiffness modulus

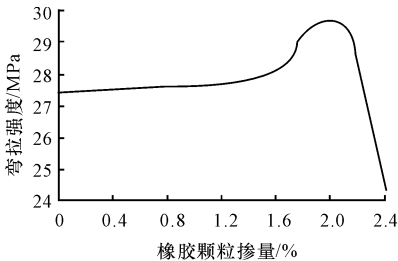


图 3 橡胶颗粒掺量与弯拉强度的关系

Fig. 3 Relationship between rubber particles dosage and flexural tensile strength

由试验结果可以看出如下结果。

(1)在一定范围内随着橡胶颗粒掺量的增加,环

氧沥青混凝土的破坏应变逐渐增大,当橡胶颗粒掺量增加到 2.1%时,达到最大值,掺量继续增加,破坏应变迅速降低,甚至低于未掺橡胶颗粒的环氧沥青混凝土(图 2),说明环氧沥青混凝土加入合适用量的橡胶颗粒对改善柔性有很好的作用。橡胶颗粒太少,不能起到作用,太多会吸附环氧沥青结合料,则有可能使混合料干涩,起反作用。

(2)环氧沥青混凝土的弯拉强度也随着橡胶颗粒掺量的变化而变化(图 3),在掺量小于 1.5%之前,弯

拉强度基本保持不变,随着橡胶颗粒掺量增加,其强度迅速增加,掺量为 2.1%时达到最大值,强度的增大,也可以使混凝土不易出现拉裂破坏;而当橡胶颗粒掺量超过 2.1%后,强度值迅速下降。另外,环氧沥青混凝土的劲度模量随着橡胶颗粒掺量的增加而减小,由 9 759.64 MPa 降低到 7 895.09 MPa(图 4)。

综合以上各指标的变化,在环氧沥青混凝土中掺加橡胶颗粒可以显著提高其柔性,且橡胶颗粒的最佳掺量为 2.1%。试验中也发现加入橡胶颗粒,环氧沥青混凝土小梁的柔性有明显改善,其破坏形式不再是“啪”的一声瞬间发生脆断,而是可以明显

观察到小梁的弯曲、裂缝的扩散直至断裂。
当环氧沥青混凝土中掺加橡胶颗粒后,橡胶颗粒和环氧沥青经过物理共混过程形成一个相对稳定的相容体系,橡胶颗粒均匀的分布于环氧沥青当中。相对较软的橡胶颗粒相分散于相对较硬的环氧沥青连续相中形成共混体系,该体系在荷载作用下通过银纹作用使体系具有很好的抗冲击能力和抗裂性能,从而提高和改善混合料的柔性和变形能力。

2.2 橡胶颗粒对环氧沥青混凝土的韧性影响

对不同橡胶颗粒掺量下的环氧沥青混凝土开展疲劳试验,结果如表 4 所示, R^2 为判定系数。

表 4 不同橡胶颗粒掺量的环氧沥青混凝土疲劳试验结果

Tab. 4 Fatigue test results of epoxy asphalt concrete with different dosages of rubber particles						
橡胶颗粒掺量/%	应力比	应力水平 σ_0 /MPa	应力水平对数值 $\lg(\sigma_0)$	疲劳次数 N_f /次	疲劳次数对数值 $\lg(N_f)$	回归方程 $N_f=k(1/\sigma_0)^n$
0	0.2	3.610	0.56	7 651.6	3.88	$k=277\ 737$ $n=2.704$ $R^2=0.977\ 2$
	0.3	5.420	0.73	3 411.0	3.53	
	0.4	7.220	0.86	1 480.0	3.17	
	0.5	9.030	0.96	618.6	2.79	
1.5	0.2	3.630	0.56	8 554.0	3.93	$k=299\ 100$ $n=2.689$ $R^2=0.991\ 5$
	0.3	5.445	0.74	3 467.0	3.54	
	0.4	7.260	0.86	1 496.0	3.17	
	0.5	9.075	0.96	713.0	2.85	
1.8	0.2	3.728	0.57	9 867.0	3.99	$k=318\ 777$ $n=2.571$ $R^2=0.976\ 7$
	0.3	5.592	0.75	4 172.0	3.62	
	0.4	7.456	0.87	2 157.0	3.33	
	0.5	9.320	0.97	866.0	2.94	
2.1	0.2	3.774	0.58	10 867.0	4.04	$k=329\ 894$ $n=2.481$ $R^2=0.964\ 7$
	0.3	5.661	0.75	5 096.0	3.71	
	0.4	7.548	0.88	2 643.0	3.42	
	0.5	9.435	0.97	1 032.0	3.01	
2.4	0.2	3.056	0.49	6 255.0	3.80	$k=160\ 557$ $n=2.813$ $R^2=0.984\ 1$
	0.3	4.584	0.66	2 547.0	3.41	
	0.4	6.112	0.79	1 093.0	3.04	
	0.5	7.640	0.88	458.0	2.66	

从疲劳试验的数据(表 4)可知,随着橡胶颗粒掺量的增加,疲劳次数有所增加,但增幅不是很大,掺量为 2.1%且应力比为 0.2 时,疲劳次数达到最大,掺量继续增加时,疲劳次数迅速减小,即疲劳性能变差,韧性变差。

以应力对数值 $\lg(\sigma_0)$ 为横坐标,疲劳对数值 $\lg(N_f)$ 为纵坐标建立关系曲线,并进行线性拟合,如图 5 所示,从图中也可以得出同样结论。说明橡胶颗粒对环氧沥青混凝土的韧性性能有改善作用,但效果不明显。

综上所述,橡胶颗粒对改善环氧沥青混凝土的柔韧性有一定效果,掺量不宜过大,以不超过 2.1%

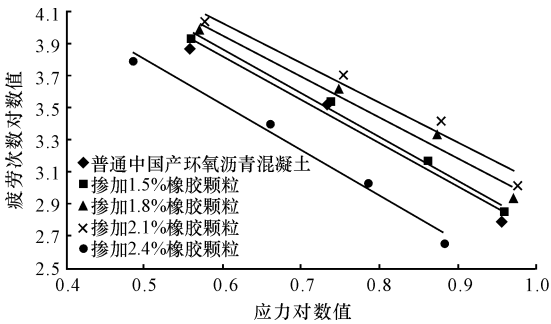


图 5 应力对数值 $\lg(\sigma_0)$ 与疲劳次数对数值 $\lg(N_f)$ 关系
Fig. 5 Relationship between $\lg(\sigma_0)$ and $\lg(N_f)$

为宜。废橡胶颗粒用于公路行业的建设,可以实现对废弃物的再生利用,在减少环境污染的同时也可

以改善道路材料质量。

3 纤维对环氧沥青混凝土柔韧性的影响

纤维具有纤细、柔顺的特点,可以适应环氧沥青混凝土使用过程中的变形特性,且具有多向分散的特征,起加筋和桥接作用^[11],尝试向环氧沥青混凝土掺加纤维以改善其柔韧性能。本文通过低温弯曲破坏试验和弯曲疲劳试验,从抵抗低温开裂和疲劳开裂方面分析聚酯纤维对环氧沥青混凝土柔性和韧性的影响。

试验同样采用 HLJ-2910 型环氧沥青作为结合料,混合料的矿料级配如表 1 所示。本研究所使用纤维的性能指标见表 5,选择 0、0.2%、0.3%和 0.4%这

表 6 不同纤维掺量对应的各项马歇尔指标

Tab.6 Marshall indexes corresponding to different fiber dosages

纤维掺量/%	油石比/%	毛体积密度/(g·cm ⁻³)	最大理论密度/(g·cm ⁻³)	VV/%	VMA/%	VFA/%
0	6.2	2.478	2.526	2.31	15.1	82.3
0.2	6.4	2.472	2.533	2.36	15.4	84.6
0.3	6.7	2.457	2.521	2.57	17.3	85.1
0.4	7.0	2.448	2.515	2.70	17.8	85.2

3.1 掺聚酯纤维环氧沥青混凝土的柔性性能

分别开展不同纤维掺量的环氧沥青混凝土的低温弯曲破坏试验,结果见表 7 和下页图 6~图 8。

由试验结果可以看出如下结果。

(1)掺入聚酯纤维后,环氧沥青混凝土小梁试件发生破坏时的应变较未掺纤维的普通环氧沥青混凝土增大,且应变值随纤维掺量的增加而增大(图 6),说明纤维对改善环氧沥青混凝土的柔性有较明显的效果。当纤维掺量增加到 0.4%时,破坏应变略微减小,但仍大于未掺纤维的普通环氧沥青混凝土,其最佳的纤维掺量为 0.3%。

表 7 不同纤维掺量的环氧沥青混凝土低温弯曲试验结果

Tab.7 Results of bending test at low temperature of epoxy asphalt concrete corresponding to different fiber dosages

纤维掺量/%	油石比/%	跨中挠度/mm	最大荷载/N	弯拉强度/MPa	破坏应变/10 ⁻³	劲度模量/MPa
0	6.2	0.517	3 696.51	27.42	2 809.92	9 759.64
0.2	6.4	0.578	4 079.51	30.30	3 129.37	9 685.33
0.3	6.7	0.614	4 326.98	32.95	3 459.03	9 530.86
0.4	7.0	0.588	4 121.71	30.77	3 180.62	9 675.68

由疲劳试验结果可以看出,与不加纤维的环氧沥青混凝土相比,在相同的应力比下,掺加 0.3%纤维混凝土的疲劳寿命有大幅提高。但在 0.4%的纤维掺量下,混凝土的疲劳寿命与不加纤维的普通环氧混凝土基本相当。根据疲劳试验结果对比发现,当聚酯纤维掺量为 0.3%时, k 值最大, n 值最小,即

4 种不同掺量。

表 5 聚酯纤维主要指标

Tab.5 Main indexes of polyester fiber

项目	长度/ mm	直径/ μm	抗拉强 度/MPa	熔点/ ℃	断裂伸 长率/%
参数	6	20	>500	255~265	15~30

试验过程中发现,掺加聚酯纤维后,纤维表面会吸附一定量的环氧沥青,引起沥青的粘度增大,使得混合料的空隙率变大。另外,随着纤维用量的增大,混合料的最佳油石比和沥青用量也逐渐增加,并使集料表面沥青膜变厚。据有关分析,掺加聚酯纤维后,沥青膜的厚度会增大约 65%~113%^[12]。不同聚酯纤维掺量混合料的马歇尔试验结果见表 6。

(2)随着聚酯纤维掺量的增加,环氧沥青混凝土的弯拉强度先增大后减小,弯拉强度曲线出现峰值(图 7)。较高的弯拉强度同样说明,加入纤维的环氧沥青混凝土不易出现拉裂破坏,对应峰值的纤维掺量为 0.3%。从劲度模量来看,劲度模量在 0.3%纤维掺量时最小(图 8)。

综合以上指标的变化,在环氧沥青混凝土中掺加聚酯纤维可以显著地改善其柔性性能。

3.2 掺聚酯纤维环氧沥青混凝土的韧性性能

对不同聚酯纤维掺量下的环氧沥青混凝土开展弯曲疲劳试验,结果如下页表 8 所示。

抗疲劳性能最好,此时混凝土的疲劳寿命随荷载应力水平的增大而衰减的速率最小。以应力对数值 $\lg(\sigma_0)$ 为坐标横轴,疲劳对数值 $\lg(N_f)$ 为坐标纵轴建立关系曲线,并进行线性拟合(图 9),表现在下页图 9 中截距最大,斜率最小,此时其环氧沥青混凝土的综合疲劳性能最佳,即纤维的最佳掺量为 0.3%。

表 8 不同纤维掺量的环氧沥青混凝土弯曲疲劳试验结果

Tab. 8 Fatigue test results of epoxy asphalt concrete corresponding to different dosages of polyester fiber

纤维掺量/%	应力比	应力水平 σ_0 /MPa	应力水平对数值 $\lg(\sigma_0)$	疲劳次数 N_f /次	疲劳次数对数值 $\lg(N_f)$	回归方程 $N_f=k(1/\sigma_0)^n$
0	0.2	3.610	0.56	7 651.6	3.88	$k=277\ 737$ $n=2.704$ $R^2=0.977\ 2$
	0.3	5.420	0.73	3 411.0	3.53	
	0.4	7.220	0.86	1 480.0	3.17	
	0.5	9.030	0.96	618.6	2.79	
0.2	0.2	3.700	0.57	13 461.0	4.13	$k=317\ 439$ $n=2.378$ $R^2=0.986\ 4$
	0.3	5.550	0.74	5 556.0	3.74	
	0.4	7.400	0.87	3 127.0	3.50	
	0.5	9.250	0.97	1 423.0	3.15	
0.3	0.2	3.850	0.59	18 983.0	4.28	$k=335\ 440$ $n=2.097$ $R^2=0.995\ 1$
	0.3	5.775	0.76	9 224.0	3.96	
	0.4	7.700	0.89	4 612.0	3.66	
	0.5	9.625	0.98	2 815.0	3.45	
0.4	0.2	3.610	0.56	7 751.0	3.89	$k=284\ 669$ $n=2.736\ 7$ $R^2=0.986\ 0$
	0.3	5.415	0.73	3 211.0	3.51	
	0.4	7.220	0.86	1 372.0	3.14	
	0.5	9.025	0.96	623.0	2.79	

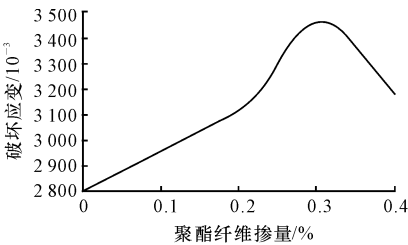


图 6 聚酯纤维掺量与破坏应变的关系
Fig. 6 Relationship between polyester fiber dosage and failure strain

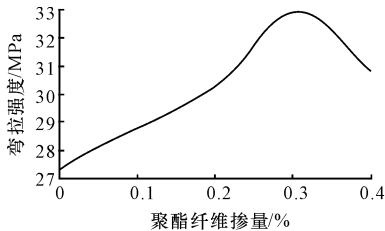


图 7 聚酯纤维掺量与弯拉强度的关系
Fig. 7 Relationship between polyester fiber dosage and flexural tensile strength

纤维使环氧沥青混凝土的疲劳开裂性能改善,究其原因:一方面,根据界面理论,由于聚酯纤维的比表面积很大,当其充分分散到沥青混合料后,相互搭接的聚酯纤维吸附沥青中的轻质组分,增大结构沥青膜的厚度,使得结合料的粘度及粘聚力增大,软化点提高。另一方面,在纤维环氧沥青混凝土中,聚酯纤维以多向分布,由于其相互“桥接”,在混凝土中形成分散均匀的三维聚酯纤维网,从而增大对集料

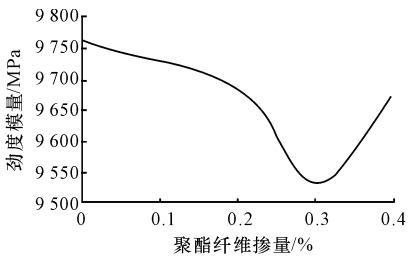


图 8 聚酯纤维掺量与劲度模量的关系
Fig. 8 Relationship between polyester fiber dosage and stiffness modulus

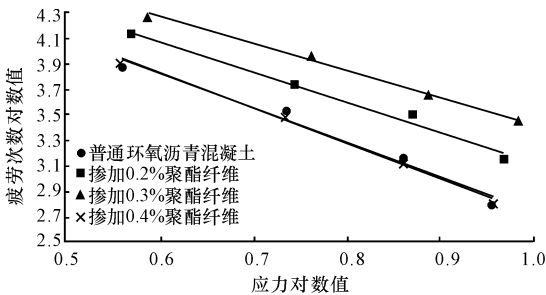


图 9 应力对数值 $\lg(\sigma_0)$ 与疲劳次数对数值 $\lg(N_f)$ 关系
Fig. 9 Relationship between $\lg(\sigma_0)$ and $\lg(N_f)$

的约束力,且可以承受较大的拉应力作用。而聚酯纤维本身的韧性很好,具有一定的延伸性,在受到外界重复荷载时,这些网状结构可以吸收并消散发生重复变形的能量,约束并阻止裂纹的进一步发生。裂纹周围存在的约束阻碍裂纹的继续扩展,从而可以承受更多更大的挠曲变形,聚酯纤维的掺加可以明显改善环氧沥青混凝土的韧性。

4 结 语

(1)通过低温弯曲破坏试验和疲劳试验发现,掺加橡胶颗粒和聚酯纤维后,环氧沥青混凝土的柔性和韧性有一定改善。

(2)橡胶颗粒掺量为2.1%时,环氧沥青混凝土的柔性改善显著。掺加0.3%的聚酯纤维后,环氧沥青混凝土的柔性和韧性均得到显著改善。

(3)橡胶颗粒和聚酯纤维对环氧沥青混凝土的增柔和增韧机理不同,橡胶颗粒和环氧沥青形成的共混体系通过银纹作用显著提高了混凝土的柔性性能。而聚酯纤维加入到环氧沥青混凝土形成的结构沥青和纤维网共同作用,大大改善了沥青混凝土的柔韧性。

(4)以上结论是在橡胶颗粒和聚酯纤维单独作用时得到的,橡胶颗粒和聚酯纤维共同作用对环氧沥青混凝土柔韧性的影响,需在以后的研究中做进一步的探讨。

参考文献:

References:

- [1] 王润寿,余文科,洪 丹,等. 环氧沥青混凝土钢桥面铺装病害的原因分析与处治[J]. 石油沥青,2011,25(1):13-15.
WANG Run-shou, YU Wen-ke, HONG Dan, et al. Analysis and treatment of diseases on steel deck bridge paved by epoxy asphalt concrete[J]. Petroleum Asphalt, 2011, 25(1): 13-25. (in Chinese)
- [2] WU Jian-min, LIANG Jia-ping, Adhikari S. Dynamic response of concrete pavement structure with asphalt isolating layer under moving load[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(6): 439-447.
- [3] Alabaster D, Herrington P. Epoxy-modified open-graded porous asphalt[J]. Road Materials and Pavement Design, 2008, 9(3): 481-498.
- [4] 朱兴一,黄志义,陈伟球. 基于复合材料细观力学模型的沥青混凝土弹性模量预测[J]. 中国公路学报, 2010, 23(3): 29-34.
ZHU Xing-yi, HUANG Zhi-yi, CHEN Wei-qiu. Elastic modulus prediction of asphalt concrete based on composite material micromechanics model[J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23(3): 29-34. (in Chinese)
- [5] WANG Hai-nian, HUANG Zhi-han, LI Lei, et al.

Three-dimensional modeling and simulation of asphalt concrete mixtures based on X-ray CT[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(1): 55-61.

- [6] 黄 坤,夏建陵,丁海阳. 改性环氧树脂制备的热固性环氧沥青材料性能[J]. 热固性树脂, 2010, 25(1): 35-39.
HUANG Kun, XIA Jian-ling, DING Hai-yang. Properties of thermosetting epoxy asphalt materials prepared from modified epoxy resin[J]. Thermosetting Resin, 2010, 25(1): 35-39. (in Chinese)
- [7] 虞将苗,邹桂莲,胡学斌. 沥青混合料老化模拟试验方法与验证研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(10): 14-17.
YU Jiang-miao, ZOU Gui-lian, HU Xue-bin, et al. Asphalt aggregate mixtures aging simulation test study method[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(10): 14-17. (in Chinese)
- [8] 张远航,孟巧娟,吴国雄. 聚酯纤维沥青混凝土抗疲劳性能试验研究[J]. 公路, 2011(10): 156-161.
ZHANG Yuan-hang, MENG Qiao-juan, WU Guo-xiong. Experimental and research on anti-fatigue performance of polyester fiber reinforced asphalt concrete [J]. Highway, 2011(10): 156-161. (in Chinese)
- [9] 张洪伟,韩 森,蒋 超. 废轮胎橡胶颗粒干法改性沥青混凝土的应用[J]. 路基工程, 2009(2): 190-191.
ZHANG Hong-wei, HAN Sen, JIANG Chao. Application of asphalt concrete modified by tire rubber particle[J]. Subgrade Engineering, 2009(2): 190-191. (in Chinese)
- [10] 汪水银. 干拌橡胶沥青混合料抗剪能力试验分析[J]. 公路, 2010(3): 134-140.
WANG Shui-yin. Experimental analysis of shear performance of rubber asphalt mixture [J]. Highway, 2010(3): 134-140. (in Chinese)
- [11] Benedito S B, Wander R S, Dario C L, et al. Engineering properties of fiber reinforced cold asphalt mixes [J]. Journal of Environmental Engineering, 2003, 129(10): 952-955.
- [12] 汪 林,黄冰释,严克林,等. 掺纤维环氧沥青混合料性能试验研究[J]. 中外公路, 2010, 30(5): 317-319.
WANG Lin, HUANG Bing-shi, YAN Ke-lin, et al. Experimental and research on the performance of fiber reinforced epoxy asphalt concrete[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2010, 30(5): 317-319. (in Chinese)