

# 玻璃纤维改性环氧沥青混合料路用性能试验研究

Experimental Study on Road Performance of Glass Fiber Modified Epoxy Asphalt Mixture

李艳丽

(平顶山市公路工程质量检测中心, 河南 平顶山 467000)

**摘要:** 为了研究玻璃纤维对环氧沥青混合料路用性能的影响, 采用车辙、小梁弯曲、浸水马歇尔、冻融劈裂及疲劳弯曲试验, 考察了0~0.4%玻璃纤维掺量下不同AC级配环氧沥青混合料的路用性能。结果表明: 玻璃纤维具有加筋、增韧、阻裂等作用, 掺入玻璃纤维能够有效增强环氧沥青混合料的路用性能且高温抗稳定性、低温抗裂性以及抗疲劳性能的增幅效果较为明显; 级配公称最大粒径越大, 环氧沥青混合料的高温稳定性越好, 但其低温抗裂性、水稳定性及抗疲劳性则会越差, 因此环氧沥青混合料不建议选择公称最大粒径过大的级配; 综合玻璃纤维环氧沥青混合料的路用性能可知, 推荐采用掺量为0.3%的玻璃纤维改性, 有助于提高环氧沥青混合料的服役质量及使用寿命。

**关键词:** 环氧沥青混合料; 玻璃纤维; 高温稳定性; 低温抗裂性; 水稳定性; 抗疲劳性能

**中图分类号:** U416 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2023) 05-0060-05

**DOI:** 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2023.05.010

LI Yanli

(Pingdingshan Highway Engineering Quality Testing Center, Pingdingshan 467000, China)

**Abstract:** To study the influence of glass fiber on the pavement performance of epoxy asphalt mixture, rutting, beam bending, immersion Marshall, freeze-thaw splitting and fatigue bending tests were carried out to investigate the pavement performance of epoxy asphalt mixture with different AC gradings at 0~0.4% glass fiber content. The results show that glass fiber has the functions of reinforcement, toughening and crack resistance. The addition of glass fiber can effectively enhance the road performance of epoxy asphalt mixture, and the increase effect of high temperature stability, low temperature crack resistance and fatigue resistance is obvious. The larger the nominal maximum particle size of the grading, the better the high-temperature stability of the epoxy asphalt mixture, but the worse the low-temperature crack resistance, water stability and fatigue resistance. Therefore, it is not recommended to select the grading with the nominal maximum particle size too large for epoxy asphalt mixture. According to the road performance of glass fiber epoxy asphalt mixture, it is recommended to use 0.3% glass fiber to modify, which is helpful to improve the service quality and service life of epoxy asphalt mixture.

**Keywords:** epoxy asphalt mixture; glass fiber; high temperature stability; low temperature crack resistance; water stability; fatigue resistance

作者简介: 李艳丽 (1976—), 女, 本科, 高级工程师, 主要从事公路工程方面研究工作。

收稿日期: 2022-09-24

## 0 引言

环氧沥青主要由环氧树脂、固化剂、石油沥青等混配而成, 因环氧树脂的热固性优赋予了环

氧沥青有更好的物理及力学性能<sup>[1-2]</sup>。相较于普通沥青混合料路面, 环氧沥青路面的刚度强度、变形协调能力、高温抗车辙能力、抗剪能力及抗疲劳损伤能力更加优异, 因此被广泛的应用于重载道路、钢桥面铺装等工程建设中<sup>[3-4]</sup>。尽管环氧沥青混合料的使用性能良好, 但在我国复杂环境下的重载道路沥青路面使用中表现仍有些不足, 而如何改善多因素耦合作用下环氧沥青混合料的性能已成为现阶段道路研究者需要重点关注的课题。

近年来, 国内学者在环氧沥青混合料性能改善方面进行了不少研究, 如刘勇<sup>[5]</sup>研究了不同矿料含水率条件下冷拌环氧沥青混合料的力学强度及路用性能变化规律, 研究表明矿料含水率过高会削弱混合料的路用性能; 顾晓燕等<sup>[6]</sup>采用低温弯曲试验与疲劳试验, 系统评价了不同掺量聚酯纤维改性环氧沥青混凝土的低温抗裂性及抗疲劳性, 结果表明 0.3% 聚酯纤维能够有效提升混合料的柔性与韧性; 孙文成等<sup>[7]</sup>采用马歇尔、强度追踪、黏度等室内试验, 针对冷拌环氧沥青混合料的性能影响施工因素进行了分析; 郝增恒等<sup>[8]</sup>对 5 种不同 70# 基质沥青的高韧性环氧沥青混合料进行了路用性能比较分析, 研究表明基质沥青对混合料性能的影响较小。本文通过采用车辙、小梁弯曲、浸水马歇尔、冻融劈裂及疲劳弯曲试验, 重点考察了玻璃纤维掺量对不同 AC 级配环氧沥青混合料的路用性能影响规律, 旨在为高性能环氧沥青混合料的设计及应用提供技术支撑。

## 1 试验材料及方案

### 1.1 原材料

(1) 环氧沥青: 采用河南某沥青厂家生产的环氧树脂沥青, 经检测各项性能指标如表 1 所示。

表 1 环氧树脂沥青的性能指标

Table 1 Performance indexes of epoxy resin asphalt

项目	检验结果	规范要求
密度/(g/cm <sup>-3</sup> )	1.13	-
拉伸强度/MPa	1.91	≥1.5
拉扯伸长率/%	285	≥200
吸水率(25℃, 7d)/%	0.12	≤0.3
容留时间/min	56	≥40

(2) 集料: 粗、细集料均采用玄武岩, 其中粗集料吸水率<1%, 针片状颗粒含量<3%, 压碎值为 8.2%, 磨耗值为 13.5%; 细集料表观密度为 2.727g/cm<sup>-3</sup>, 吸水率为 1.36%, 砂当量为 78.9%, 棱角性为 20.7 s, 集料的各项技术指标满足相关规范要求。

(3) 矿粉: 采用石灰岩矿粉, 其主要技术指标如表 2 所示。

表 2 矿粉主要技术指标

Table 2 Technical indexes of mineral powder

项目	检测结果
表观密度(g/cm <sup>-3</sup> )	2.695
粒度范围(<0.075mm)/%	78.10
亲水系数	0.69
塑性指数/%	2.72

(4) 纤维: 选用白色的无碱短切玻璃纤维, 其主要技术性能指标如表 3 所示。

表 3 玻璃纤维技术指标

Table 3 Technical indicators of glass fiber

项目	检测结果
长度/mm	12
单丝直径/μm	6
抗拉强度/MPa	3100
熔融温度/℃	1500
极限拉伸应变/%	3.5

### 1.2 试验方案

试验采用 AC-10、AC-13、AC-20 三种类型级配, 矿料级配如表 4 所示。根据相关文献<sup>[9-11]</sup>分别采用 0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4% 的玻璃纤维掺入环氧沥青混合料中, 然后分别采用高温车辙试验、低温小梁三点弯曲试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验及四点弯曲试验来评价环氧沥青混合料的路用性能, 其中车辙试件尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm, 试验温度为 70℃; 小梁三点弯曲试件尺寸为 250 mm×35 mm×30 mm, 试验仪器为万能材料试验机 (UTM), 试验温度为 -10℃; 浸水马歇尔和冻融劈裂试件尺寸为 Φ101.6 mm×63.5 mm, 试验温度为水浴 60℃, 冻融 -10℃; 四点弯曲试件尺寸为 350 mm×70 mm×70 mm, 试验温度为 10℃。

表 4 环氧沥青混合料设计级配  
Table 4 Design grading of epoxy asphalt mixture

级配类型	级配范围	通过下列方筛孔 (mm) 百分率/%												
		26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	0
AC-10	级配上限	-	-	-	100	100	75	58	44	32	23	16	8	0
	合成级配	-	-	-	100	98.2	64.5	37.3	23.6	15.3	12.2	8.5	7.3	0
	级配下限	-	-	-	100	90	45	30	20	13	9	6	4	0
AC-13	级配上限	-	-	100	100	85	68	50	38	28	20	15	8	0
	合成级配	-	-	100	97.5	81.3	54.6	32.2	19.9	14.7	10.9	9.6	6.7	0
	级配下限	-	-	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4	0
AC-20	级配上限	100	100	92	80	72	56	44	33	24	17	13	7	0
	合成级配	100	93.8	85.2	70.1	57.3	34.9	21.5	16.6	12.5	8.3	7.9	5.3	0
	级配下限	100	90	78	62	50	26	16	12	8	5	4	5	0

## 2 试验结果及分析

### 2.1 高温稳定性

玻璃纤维改性 AC-10、AC-13、AC-20 级配环氧沥青混合料的高温车辙试验结果如图 1 所示。

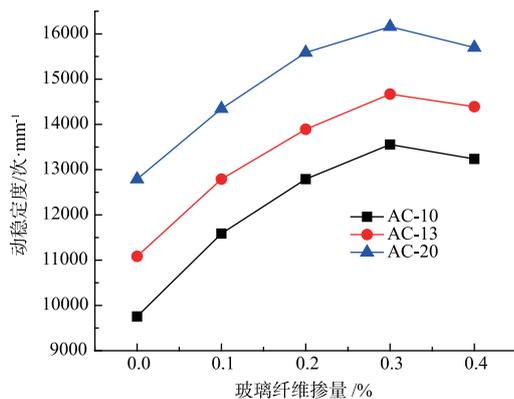


图 1 环氧沥青混合料高温车辙试验结果

Fig. 1 High-temperature rut test results of epoxy asphalt mixture

由图 1 可知, 不同级配玻璃纤维改性环氧沥青混合料的动稳定度指标均符合规范要求; 在相同玻璃纤维掺量条件下, 级配公称最大粒径越大, 环氧沥青混合料的动稳定度也就越大, 即说明环氧混合料的高温稳定性随着级配公称最大粒径的增大逐渐升高。随着玻璃纤维掺量的增加, 各级配环氧沥青混合料的动稳定度均呈先增大后减小变化趋势, 其中当玻璃纤维掺量为 0 时, AC-10、AC-13、AC-20 级配环氧沥青混合料的动稳定度分别为 9755 次/mm、11083 次/mm、12791 次/mm, 而当玻璃纤维掺量为 0.3% 时, 三

种级配环氧沥青混合料的动稳定度分别增至 13555 次/mm、14669 次/mm、16158 次/mm, 即分别提高了 39%、32.4%、26.3%, 说明玻璃纤维能够有效改善环氧沥青混合料高温抗车辙变形的能力, 原因是玻璃纤维的弹性模量、抗拉强度较高且具有一定的韧性, 将其掺入环氧沥青混合料内能够形成三维网状结构, 并在沥青胶浆与集料之间起到良好的加筋作用, 从而有效抑制了集料间的滑移能力, 因此增强了环氧沥青混合料的高温抗变形性能。

### 2.2 低温抗裂性

玻璃纤维改性 AC-10、AC-13、AC-20 级配环氧沥青混合料的低温弯曲试验结果如图 2 所示。

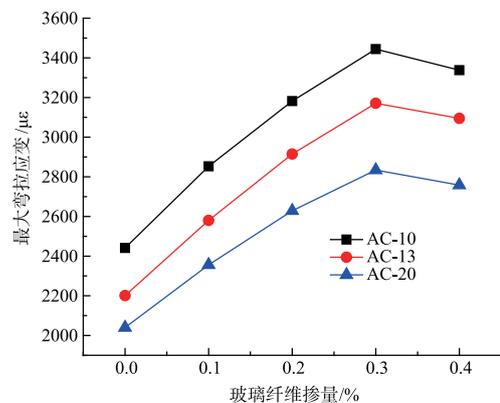


图 2 环氧沥青混合料低温弯曲试验结果

Fig. 2 Low-temperature bending test results of epoxy asphalt mixture

根据图 2 可以看出, 三种级配玻璃纤维改性环氧沥青混合料的最大弯拉应变指标均满足规范要求, 在相同纤维掺量情形下, 级配公称最大粒

径越大, 环氧沥青混合料的最大弯拉应变也就越小, 即环氧混合料的低温抗开裂性随着级配公称最大粒径的增大逐渐降低。随着玻璃纤维掺量的增加, 三种级配玻璃纤维改性环氧沥青混合料的最大弯拉应变均呈先增大后减小的发展趋势, 其中当玻璃纤维掺量由 0 增至 0.3% 时, 最大弯拉应变呈逐渐增大变化, 而当玻璃纤维继续增至 0.4% 时, 最大弯拉应变则呈逐渐减小变化; 在玻璃纤维掺量为 0.3% 时, 三种级配混合料的最大弯拉应变都达到了峰值, 相较于未掺纤维分别增长了 41.1%、44.1%、38.9%, 说明玻璃纤维能够明显提升环氧沥青混合料低温抗开裂能力, 原因是玻璃纤维具有一定的加筋、阻裂及增韧的作用, 其在环氧沥青混合料中均匀分布形成三维空间网状结构, 更有利于应力的分散和传递, 因此可有效抑制低温、荷载耦合作用下裂缝的产生与发展。

### 2.3 水稳定性

玻璃纤维改性 AC-10、AC-13、AC-20 级配环氧沥青混合料的抗水损害性能采用浸水马歇尔试验  $MS_0$  与冻融劈裂试验  $TSR$  进行评价, 水稳定性试验结果如图 3 所示。

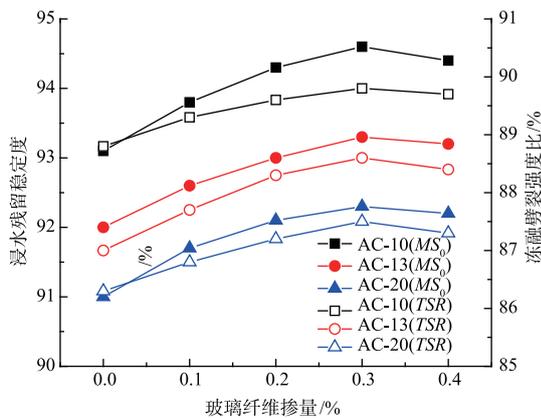


图 3 环氧沥青混合料水稳定性试验结果

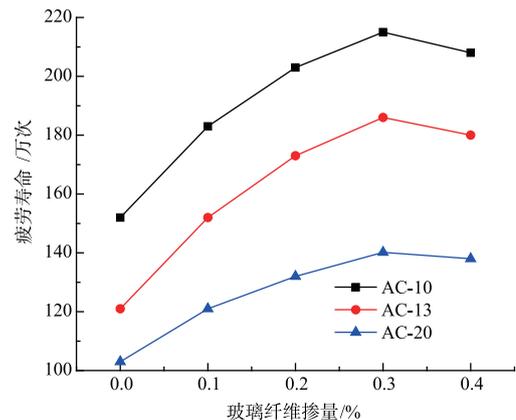
Fig. 3 Water stability test results of epoxy asphalt mixture

由图 3 可知, 三种级配玻璃纤维改性环氧沥青混合料的浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比指标均远超规范的最低要求, 在相同纤维掺量情形下, 级配公称最大粒径越大, 混合料的浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比也就越小, 即环氧混合料的抗水损害性能随着级配公称最大粒径的增大

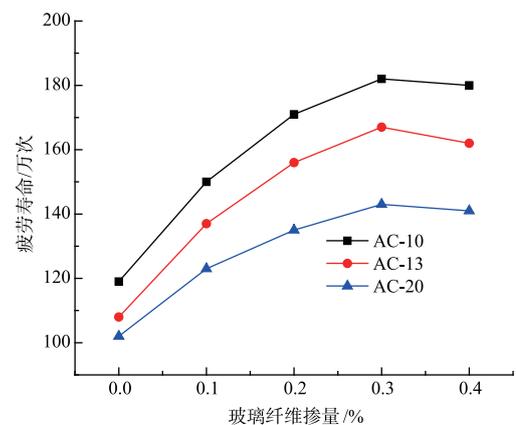
逐渐降低。随着玻璃纤维掺量的增加, 各级配玻璃纤维改性环氧沥青混合料的浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比均呈先增大后减小变化, 其中当玻璃纤维掺量由 0 增至 0.3% 时, 浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比均呈逐渐增大变化, 而当玻璃纤维继续增至 0.4% 时, 浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比则均有所减小; 掺入玻璃纤维能够一定程度的提升环氧沥青混合料的抗水损害能力, 原因是玻璃纤维比表面积较大, 能够吸附一定的自由沥青, 使得粗集料的沥青膜厚度增大, 从而增强了沥青胶浆与集料间的粘附性, 因此抗水损害性能有所提升。

### 2.4 抗疲劳性能

试验采用  $600\mu\varepsilon$ 、 $800\mu\varepsilon$ 、 $1000\mu\varepsilon$  三种应变控制水平进行弯曲疲劳试验, 不同级配玻璃纤维改性环氧沥青混合料的疲劳试验结果如图 4 所示。



(a)  $600\mu\varepsilon$



(b)  $800\mu\varepsilon$

## 材料科学

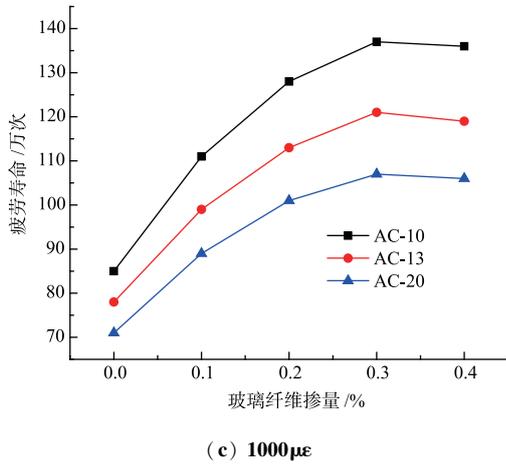


图4 环氧沥青混合料疲劳试验结果  
Fig.4 Fatigue test results of epoxy asphalt mixture

由图4可知,随着应变控制水平或级配公称最大粒径的增大,玻璃纤维改性环氧沥青混合料的疲劳寿命次数呈减小变化,但均远大于相关规范的最低要求。随着玻璃纤维掺量的增加,不同应变水平、级配的环氧沥青混合料疲劳寿命次数均呈先增大后减小变化,其中当玻璃纤维掺量由0增至0.3%时,疲劳寿命次数呈逐渐增大,而当玻璃纤维继续增至0.4%时,疲劳寿命次数则有所减小;在600 $\mu\epsilon$ 、800 $\mu\epsilon$ 、1000 $\mu\epsilon$ 应变控制水平下,掺加0.3%玻璃纤维环氧沥青混合料的疲劳寿命次数较于未掺都提高了36%以上,说明玻璃纤维可以有效改善环氧沥青混合料抗疲劳破坏能力,原因是玻璃纤维均匀分散于环氧沥青混合料中形成三维网状结构,起到了良好的加筋、增韧及阻裂等作用,有利于结构应力的分散与传递,故抗疲劳性能得到显著提升。

### 3 结论

(1) 随着玻璃纤维掺量的增加,环氧沥青混合料的动稳定度、最大弯拉应变、浸水残留稳定度、冻融劈裂强度比及疲劳寿命次数均逐渐增大;玻璃纤维有加筋、增韧、阻裂的作用,通过掺加玻璃纤维能够有效提升环氧沥青混合料的路用性能,其中高温抗稳定性、低温抗裂性以及抗疲劳性的提升效果比较显著。

(2) 环氧沥青混合料的动稳定度随着级配公称最大粒径的增大逐渐增大,而最大弯拉应变、浸水残留稳定度、冻融劈裂强度比及疲劳寿命次数则随之逐渐降低;级配公称最大粒径越大,环氧沥青混合料仅高温稳定性表现越好,而低温抗裂性、水稳定性及抗疲劳性则表现越差,因此环氧沥青混合料不建议选择公称最大粒径过大的级配。

(3) 综合玻璃纤维环氧沥青混合料的各项路用性能试验结果可知,推荐采用掺量为0.3%的玻璃纤维改性,有利于提升环氧沥青混合料的服役质量及使用寿命。

### 参考文献

- [1] 曲立杰,李永琴,高学凯.温拌环氧沥青混合料动态力学特性研究[J].公路,2022,67(8):371-376.
- [2] 梁民,陈中华.埋地管道用水性环氧沥青防腐涂料的研制及性能研究[J].合成材料老化与应用,2022,51(3):1-4.
- [3] 王清洲,梁瑛硕,马小江,等.水性环氧乳化沥青混合料的路用性能[J].热固性树脂,2022,37(3):13-18.
- [4] 张清利,王康明,焦长青,等.水性环氧乳化沥青在水泥混凝土桥面防水黏层的应用研究[J].公路工程,2022,47(2):83-90.
- [5] 刘勇.矿料含水率对冷拌环氧沥青混合料性能影响研究[J].科技通报,2022,38(7):33-38.
- [6] 顾晓燕,高剑飞,李惠翔.聚酯纤维用于环氧树脂沥青混合料增柔及增韧技术研究[J].中外公路,2022,42(3):247-250.
- [7] 孙文成,吕香华,张立.施工因素对冷拌环氧沥青混合料性能影响[J].森林工程,2022,38(3):115-121.
- [8] 郝增恒,李凯,刘攀,等.基质沥青种类对高韧性环氧沥青混合料性能影响分析[J].应用化工,2021,50(4):965-968+973.
- [9] 周嘉博.基于玻璃纤维及微米级颗粒填料的环氧沥青混凝土增强试验研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [10] 李艳丽.纤维改性多孔沥青混合料路用性能研究[J].粉煤灰综合利用,2020,34(6):116-120.
- [11] 王春阳.玻璃纤维透水沥青混合料路用性能试验研究[J].合成材料老化与应用,2021,50(1):77-79.