

聚酯纤维改性沥青混合料试验及应用研究

吴德清

(海南公路工程有限公司, 海南 海口 570206)

摘要: 将聚丙烯纤维掺入沥青混合料中配制聚酯纤维改性沥青混合料,通过室内试验分析该沥青混合料的路用性能。结果表明,聚酯纤维的掺入可显著提高沥青混合料的高温稳定性,其掺量由零增加到 0.35%的过程中增强效果越来越明显;随着聚酯纤维掺量的增加,沥青混合料的低温抗裂性能增强,掺量为 0.3%时低温抗裂性能最佳;纤维掺量大于 0.3%时,沥青混合料的最大弯拉应变不升反降;考虑经济性与路用性能,聚酯纤维的最佳掺量为 0.25%~0.3%。工程应用结果表明,采用聚酯纤维改性沥青混合料作为路面面层,路面强度、抗裂与抗变形能力优异。

关键词: 公路;聚酯纤维;沥青混合料;路用性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)03-0067-03

目前,交通量和汽车轴载的增加对沥青路面的承载能力提出了新的要求。相关研究表明:沥青混合料强度与稳定性能可通过掺入一定量的纤维来改善;沥青混合料的劈裂强度与残留稳定度在纤维加入后均得到提升;相比于普通沥青混合料,纤维改性沥青混合料的抗裂与抗疲劳性能优异;沥青混合料在掺入适量聚酯纤维后,其劲度模量得到显著提升。目前对纤维改性沥青混合料的研究集中于改善路用性能方面,对其长期路用性能与应用的研究仍需完善。该文对纤维改性沥青混合料的路用性能进行试验研究,并通过工程实例对其应用效果进行分析。

1 室内试验

1.1 试验材料

(1) 聚酯纤维。纤维长度 6 mm,其相关性能指标见表 1。

表 1 聚酯纤维的物理性能指标

项目	测试结果	项目	测试结果
单丝直径/ μm	20	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.35
抗拉强度/ MPa	>651	含水率/%	1.26

(2) 沥青。采用重交 AH-70 沥青,其性能检测结果见表 2。

(3) 集料。集料采用石灰岩,矿粉采用磨细后的石灰岩矿粉,其相关性能指标见表 3。

1.2 配合比设计

1.2.1 矿料级配

选用 AC-13 型级配,设计级配见表 4。

表 2 沥青的性能指标

项目	测试结果	规范要求
针入度($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)/(0.01 mm)	72.8	60~80
软化点/ $^{\circ}\text{C}$	48	≥ 46
延度($15\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 cm/min)/cm	>153	≥ 100
含蜡量(蒸馏法)/%	1.73	<2.2
闪点/ $^{\circ}\text{C}$	271	≥ 260
溶解度/%	99.8	≥ 99.5
密度($15\text{ }^{\circ}\text{C}$)/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1.010	实测

表 3 集料的物理性质指标

项目	测试值	规范要求
压碎值/%	23.4	≤ 26
洛杉矶磨耗值/%	18.8	≤ 28
针片状颗粒含量/%	8.3	≤ 15
含泥量/%	0.8	≤ 1

表 4 聚酯纤维改性沥青混合料的级配组成

孔径/mm	设计级配/%	实际级配/%	孔径/mm	设计级配/%	实际级配/%
0.075	4~8	6.0	2.36	24~50	37.1
0.150	5~15	10.1	4.75	38~68	53.0
0.300	7~20	13.6	9.50	68~85	76.4
0.600	10~28	19.1	13.20	90~100	94.9
1.180	15~38	26.5	16.00	100	100.0

1.2.2 最佳油石比

聚酯纤维掺量分别取 0.1%、0.2%、0.25%、0.3%、0.35%,采用马歇尔试验确定最佳油石比,试验结果见表 5。

表5 聚酯纤维改性沥青混合料马歇尔试验结果

纤维掺量/%	最佳油石比/%	空隙率/%	沥青饱和度/%	矿料间隙率/%	稳定度/kN	流值/mm
0.00	4.77	4.10	73.69	14.44	9.15	3.31
0.10	4.83	4.03	72.48	15.05	11.36	3.04
0.20	4.85	4.15	72.52	15.20	12.09	2.99
0.25	4.86	4.19	72.60	15.28	12.36	2.82
0.30	4.86	4.22	72.74	15.36	12.77	2.80
0.35	4.89	4.28	72.16	15.44	12.87	2.73

由表5可知:最佳油石比在聚酯纤维掺量增加的过程中略有增加,但相差不大,掺量为0.1%与0.35%时最佳油石比分别增加0.06%、0.12%;随着纤维掺量的增加,混合料的空隙率增大;掺入聚酯纤维后,混合料的流值减小。

1.3 试验方法

根据JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》,分别制备不同聚酯纤维掺量的混合料试件进行加速加载试验、小梁弯曲试验、冻融劈裂试验及APA疲劳试验,分析其路用性能。

2 室内试验结果分析

2.1 聚酯纤维对高温稳定性的影响

加载加速试验采用MMLS3设备,设定标准轴载为0.7 MPa,试验温度为50℃,加载速率为6 000次/h。聚酯纤维改性沥青混合料在不同加载次数下的车辙深度见图1。

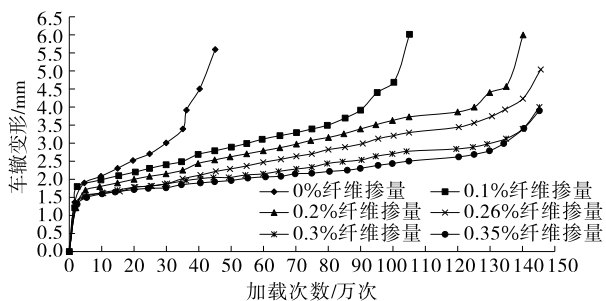


图1 聚酯纤维改性沥青混合料加载加速试验结果

由图1可知:加载次数在10万次以内时,混合料处于压密阶段,不同聚酯纤维掺量混合料的车辙深度均快速增长,车辙变形受初始压密影响显著。加载次数大于10万次后,混合料由压密阶段转为蠕变稳定阶段,不同聚酯纤维掺量混合料的车辙深度缓慢增长,且随着纤维掺量的增加车辙深度增长速率减缓,抗变形能力增强。在蠕变稳定阶段后,混合料的车辙深度再次增加,然后进入剪切破坏阶段。

在剪切破坏阶段,聚酯纤维掺量由零增加到0.35%的过程中,混合料的荷载作用次数依次增加,表明聚酯纤维的掺入对沥青混合料抗车辙能力具有明显改善作用。

2.2 聚酯纤维对低温抗裂性的影响

成型聚酯纤维改性沥青混合料试件,采用MTS试验机进行小梁弯曲试验,试验前将各试件置于-10℃温箱中保温6 h。试验结果见表6。

表6 聚酯纤维改性沥青混合料小梁弯曲试验结果

聚酯纤维掺量/%	抗弯拉强度/MPa	最大弯拉应变/ $\mu\epsilon$	弯曲劲度模量/MPa
0.00	7.80	2 205.62	3 540.91
0.10	10.78	2 867.05	3 756.51
0.20	11.01	2 987.35	3 678.87
0.25	11.18	3 205.44	3 490.97
0.30	11.63	3 573.48	3 246.15
0.35	11.52	3 464.71	3 322.09

低温抗裂性能采用最大弯拉应变来表征。由表6可知:沥青混合料中掺入聚酯纤维后,其最大弯拉应变得到显著提高,且随聚酯纤维掺量的增加呈递增趋势,聚酯纤维掺量由零提高到0.3%时,沥青混合料的最大弯拉应变最大,提高幅度达62.02%。但当纤维掺量大于0.3%后,最大弯拉应变不升反降。这是因为聚酯纤维的过量掺入使纤维之间相互重叠缠绕,沥青胶体无法有效包裹,导致整体性能降低、低温抗裂性能降低。

2.3 聚酯纤维对水稳定性的影响

按不同聚酯纤维掺量分别制备两组马歇尔试件,正、反面各击实50次,按规范要求养护后进行冻融劈裂试验,试验结果见表7。

由表7可知:沥青混合料的冻融劈裂强度比在掺入聚酯纤维后得到一定提升,掺量为0.3%时其值最大,为86.4%,但仅稍大于规范要求的85%标准值。说明聚酯纤维的掺入对沥青混合料水稳定性能

表 7 聚酯纤维改性沥青混合料融劈裂试验结果

聚酯纤维 掺量/%	劈裂强度/MPa		冻融劈裂 强度比/%
	冻融前	冻融后	
0.00	0.90	0.73	80.7
0.10	1.21	0.99	81.6
0.20	1.22	1.04	85.7
0.25	1.23	1.06	86.2
0.30	1.24	1.07	86.4
0.35	1.23	1.05	85.0

的改善效果不显著。聚酯纤维掺量为 0.25%~0.3%时,沥青混合料的冻融劈裂强度比最大,水稳定性能最佳。考虑沥青混合料的水稳定性能,工程中可考虑取聚酯纤维掺量为 0.25%~0.3%。

2.4 聚酯纤维对疲劳性能的影响

采用室内 APA 疲劳试验模拟实际应用中的加速试验,为使试件下部处于受弯拉状态以反映材料的抗疲劳性能,APA 疲劳试验采用简支梁受力模式。制备不同聚酯纤维掺量的双层车辙板,试验温度为 15℃,钢轮运行频率为 50 Hz,标准轴载为 250 kN。当试验次数达到设定的 50 000 次或第 N 次与第 N-10 次测得的位移变形值之差超过 0.5 mm 时,即认定试件发生疲劳破坏,试验终止。疲劳试验结果见表 8。

表 8 聚酯纤维改性沥青混合料疲劳试验结果

聚酯纤维 掺量/%	最终 疲劳 寿命/次	变形 值/ mm	聚酯纤维 掺量/%	最终 疲劳 寿命/次	变形 值/ mm
0.00	18 138	9.01	0.25	44 046	7.56
0.10	31 276	6.33	0.30	46 866	7.24
0.20	37 857	7.79	0.35	48 673	5.21

由表 8 可知:掺入聚酯纤维后,沥青混合料的变形值降低,最终疲劳寿命则显著提高,聚酯纤维掺量为 0.1%时最终疲劳寿命即达到 31 276 次,与基质沥青混合料相比提高 72%,且随着聚酯纤维掺量的增加最终疲劳寿命呈递增趋势。说明掺入聚酯纤维对提高沥青混合料的抗疲劳性能效果显著。

3 工程应用

在某新建高速公路 K265+135—K266+135 段采用聚酯纤维改性沥青混合料铺筑试验段,聚酯纤维掺量为 0.3%,级配组成、油石比及材料均与室内试验一致。试验段的路面结构为 3 cm 聚酯纤维沥

青砼上面层+4 cm AC-20 中面层+5 cm 厚 AC-25 下面层+35 cm 水泥稳定碎石基层+15 cm 级配碎石基层。采用大型机械设备进行拌和与摊铺,施工中按相关标准严格控制施工工艺,施工完成后对路面的相关性能进行检测。

3.1 压实度检测

采用灌砂法检测试验段的压实度,结果如下:平均压实度为 98.9%,最大压实度为 103.1%,最小压实度为 97.1%。压实度满足规范要求,施工工艺与施工质量好。

3.2 相关性能检测

路面铺筑完成后,每隔 100 m 钻芯取 4 个试件检测其高温稳定性、水稳定性、低温抗裂性与疲劳性能,检测结果见表 9。

表 9 试验段钻芯取样检测结果

项目	检测结果
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	1 431
劈裂强度/MPa	86.9
弯拉强度/MPa	11.67
最大弯拉应变/μϵ	3 591
最终疲劳寿命/次	46 878

由表 9 可知:试验段的性能检测结果均大于室内试验测试值,且均满足规范要求,说明聚酯纤维改性沥青混合料具有良好的路用性能。

3.3 弯沉检测

采用贝克曼梁法检测试验段面层弯沉,检测结果见表 10。

表 10 试验段面层顶面弯沉检测结果 0.01 mm

桩号	弯沉均值	弯沉代表值	弯沉允许值
K265+135	96.3	99.1	279.3
K265+235	99.8	103.2	279.3
K265+335	98.2	101.4	279.3
K265+435	103.0	107.5	279.3
K265+535	99.2	107.7	279.3
K265+635	98.3	99.9	279.3
K265+735	102.1	99.7	279.3
K265+835	99.7	101.1	279.3
K265+935	96.9	98.4	279.3
K266+035	100.1	104.3	279.3
K267+135	99.5	101.8	279.3

由表 10 可知:试验段的面层顶面弯沉满足规范
(下转第 114 页)

由表4、表5可知:1)介电常数对厚度的影响程度随介电常数的增加而减小,随厚度的增加而增加。2)佛山地区沥青路面厚度为10、18 cm时,介电常数平均值分别为3.63、5.61,介电常数波动达到0.3、0.5时,对厚度的影响程度达到4.2、9.9 mm,对检测结果的影响较大,建议重新划分段落,增加芯样标定数量,以保证检测数据的准确性。

5 结论

(1)沥青面层设计厚度为10、18 cm时,介电常数值有较大概率分别为[3.08, 4.18]、[4.47, 6.75],若超出该范围,需予以确认。

(2)沥青路面通车后介电常数值会增大,若介电常数值区别较大,则采用介电常数均值推算厚度会发生结论性偏差。若路段较长,应细分检测路段并分段标定;若路段较短,建议采用抽芯法对厚度进行评定。

(4)设计厚度为10、18 cm时,介电常数值波动达到0.3、0.5时,对厚度检测结果的影响较大,建议

增加芯样标定数量,以保证检测结果的准确性。

参考文献:

- [1] 魏华.探路雷达在路面基层检测中的应用研究[D].郑州:郑州大学,2016.
- [2] JTJ E60—2008,公路路基路面现场测试规程[S].
- [3] 黎侃,姚奇,郭朝阳,等.基于可靠度理论的沥青路面结构安全性评价及示例[J].广东公路交通,2011(增刊1).
- [4] 刘小明,马昆林.公路工程试验与检测[M].长沙:中南大学出版社,2015.
- [5] 罗伟国.基于探地雷达的沥青路面隐性探伤应用技术研究[D].西安:长安大学,2014.
- [6] 张明华.探地雷达在路面厚度检测中的应用及可靠性分析[J].科学技术创新,2013(31).
- [7] 刘亚娟,万成华.地质雷达在路面厚度检测中的应用[J].筑路机械与施工机械化,2012,29(9).
- [8] 李成.探地雷达厚度检测影响因素分析[J].公路与汽运,2013(1).

收稿日期:2018-01-06

(上接第69页)

要求,路面的抗垂直变形能力优异。

3.4 裂缝检测

试验段铺筑完成通车3年内进行连续的路面病害检测,结果表明试验段未出现贯穿裂缝,产生的细微裂缝对行车不造成影响。可见,采用聚酯纤维沥青混合料作为路面面层,路面的抗裂性能优异。

4 结论

(1)掺入聚酯纤维可显著提高沥青混合料的高温稳定性,聚酯纤维掺量从零增加到0.35%时增强效果明显。

(2)聚酯纤维掺量增加的过程中,沥青混合料的低温抗裂性能呈递增趋势,掺量为0.3%时低温抗裂性能最佳。

(3)沥青混合料的冻融劈裂强度比在掺入聚酯纤维后得到一定提升,掺量为0.3%时其值最大,但仅稍大于规范要求的85%标准值。

(4)掺入聚酯纤维后,沥青混合料的疲劳性能得到显著提高,且随着聚酯纤维掺量的增加疲劳性能逐渐增强。

(5)考虑经济性与路用性能,聚酯纤维在沥青

混合料中的最佳掺量建议取0.25%~0.3%。

(6)根据工程应用结果,采用聚酯纤维改性沥青混合料作为路面面层,路面强度、抗裂与抗变形能力优异。

参考文献:

- [1] 张慧斌.聚酯纤维沥青混凝土动态参数与相位角研究[J].山西交通科技,2016(6).
- [2] 蔡晓斌,陈爱文.聚酯纤维加筋沥青混凝土设计与施工[J].交通科技,2007(3).
- [3] 杨振才,武慧娟.改性沥青及纤维增强沥青混合料应力松弛性能试验研究[J].交通标准化,2003(11).
- [4] 张争奇,胡长顺.纤维加强沥青混凝土几个问题的研究和探讨[J].长安大学学报:自然科学版,2004,20(1).
- [5] 郭乃胜,赵颖华,李刚.聚酯纤维沥青混凝土的低温抗裂性能分析[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2004,20(1).
- [6] JTJ F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [7] JTJ E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [8] JTJ E60—2008,公路路基路面现场测试规程[S].
- [9] JTJ F80/1—2004,公路工程质量检验评定标准[S].

收稿日期:2017-06-20