

微表处混合料路用性能影响因素

王磊¹, 吕璞^{1,2}, 郝培文¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;
2. 西安财经学院 管理学院, 陕西 西安 710100)

摘要:微表处是一种路面维修养护技术,对缓解路面病害的发生发展、延长路面使用寿命起到了积极作用。为提高微表处混合料的抗水损性及抗车辙性能,对微表处混合料路用性能影响因素进行研究。采用湿轮磨耗试验、负荷轮粘附砂试验和轮辙变形试验方法,通过使用不同级配、不同集料以及添加纤维,分析这些因素对微表处混合料的水稳定性以及抗车辙性等路用性能的影响。试验结果表明:玄武岩无论是水稳定性还是抗车辙性能都优于石灰岩;对于 MS-Ⅲ 型级配微表处混合料考虑水稳定性时,级配选定在上限与中值之间较好;微表处混合料以抗车辙性能为主时,级配选定在中值与下限之间较好;掺加 2% 聚丙烯单丝纤维的微表处混合料可提高微表处混合料的抗车辙性能。

关键词:道路工程;微表处;路用性能;集料;级配;纤维

中图分类号:U414.75 **文献标志码:**A

Factors affecting pavement performance of micro-surfacing mixture

WANG Lei¹, LU Pu^{1,2}, HAO Pei-wen¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Management, Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710100, Shaanxi, China)

Abstract: Micro-surfacing is a kind of pavement maintenance technology and it plays a positive role for resisting distress and extending pavement service life. In order to improve moisture damage resistance and rutting resistance of micro-surfacing mixture, its road performance was studied. The impacts of different gradations, aggregates and fibers on the water stability, rutting resistance and other road performances of micro-surfacing mixture were analyzed by using wet track abrasion test, load wheel test and stability and resistance to compaction test. The results show that basalt is better than limestone in terms of water stability and rutting resistance. For MS-Ⅲ micro-surfacing mixture, gradation between upper limit and mid-value is better for moisture damage resistance, while the gradation between mid-value and lower limit is better in case of rutting resistance. Adding 2% polypropylene monofilament fiber can improve rutting resistance of micro-surfacing mixture. 7 tabs, 7 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; micro-surfacing; pavement performance; aggregate; gradation; fiber

0 引言

微表处是一种路面维修养护罩面技术,德国在 20 世纪 60~70 年代最早开始使用这项技术,而后在欧、美迅速得到推广^[1-3]。中国从 2000 年起陆续有山西、四川、内蒙、天津、辽宁等 20 多个省份,在公路路面养护和预防性养护中开始使用微表处技术^[4-5]。经国内外的使用证明,微表处具有良好的防水、抗滑、耐磨和修复车辙的作用,能够显著改善路面的使用性能,保证路面具有良好的服务功能^[6-7]。

但随着微表处技术的大量应用,其抵抗水损和车辙性能等问题日益突显,目前国内外对微表处技术的配合比设计方法等研究较为成熟,但对微表处混合料路用性能的影响因素研究较少^[8-10]。由于微表处混合料是一种相对脆弱的混合料体系,故其易受到各组分材料品种和性质的影响,某一因素的轻微变化都会影响其使用性能。为此,本文从集料、级配以及添加纤维方面来分析微表处混合料的路用性能影响因素。

1 改性材料技术指标

试验所用沥青采用壳牌沥青公司生产的改性乳化沥青,其技术指标测定结果见表 1。

表 1 改性乳化沥青技术指标

Tab. 1 Technical indexes of modified emulsified asphalt

检测项目		规范值	测定值	试验方法
离子电荷		阳离子(+)	阳离子(+)	ASTMD244
筛上剩余物(850 μm)/%		<1.00	0.01	ASTMD244
蒸发残留物含量/%		60.0~65.0	63.9	ASTMD244
蒸发残留物性质	针入度(100 g, 25 ℃, 5 s)/0.1 mm	40~90	71	ASTMD5
	软化点/℃	>55	56	ASTMD36
	延度(5 ℃)/cm	>20	90	ASTMD113
低温储存稳定性		通过	通过	ASTMD244
破乳速度		慢	慢	T66017

2 不同因素对微表处混合料路用性能的影响

2.1 不同集料对微表处混合料路用性能的影响

试验采用石灰岩和玄武岩 2 种集料研究不同集料对微表处混合料路用性能的影响,2 种集料具体技术指标见表 2,级配采用 MS-Ⅲ 型中值级配。

表 2 集料技术指标

Tab. 2 Technical indexes of aggregates

材料名称	检测项目	检测结果/%		标准/%	试验方法
		玄武岩	石灰岩		
粗集料	石料压碎值	13	20	≧26	T0316
	洛杉矶磨耗损失	12	19	≧28	T0317
	坚固性	5.0	8.5	≧12	T0314
	针片状含量	3	6	≧15	T0312
细集料	坚固性	10	11	≧12	T0340
矿料	砂当量	85	85	≧65	T0334

石灰岩和玄武岩分别在不同油石比下(6%、6.5%、7%、7.5%、8%)制作微表处混合料试样,做湿轮磨耗和轮辙变形试验,检验这 2 种集料的微表处混合料的路用性能。

湿轮磨耗试验采用湿轮磨耗仪,按规定制作试件,烘干保温,置于湿轮磨耗仪,使磨耗头转动 300 s 后停止,冲洗烘干,通过计算试件磨耗前后的质量损失,检验微表处混合料成型后的耐磨耗性能,6 d 的湿轮磨耗值可以评价混合料的水稳性。

轮辙变形试验采用负荷轮试验仪,按照规定方法制作试样,在 56.7 kg 负荷情况下碾压 1 000 次,测量轮辙深度、试样的侧向位移。以微表处试样单位宽度变形率 PLD 值来评价微表处混合料抵抗车辙能力。

2 种集料 6 d 湿轮磨耗值和宽度变形率的具体试验结果见图 1、图 2。

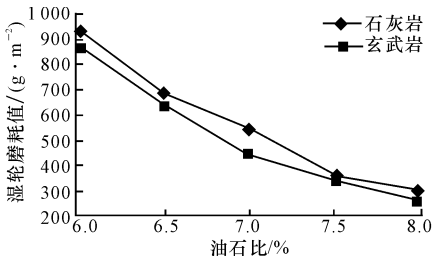


图 1 不同集料混合料 6 d 湿轮磨耗值

Fig. 1 6 d wet track abrasion values with different aggregates

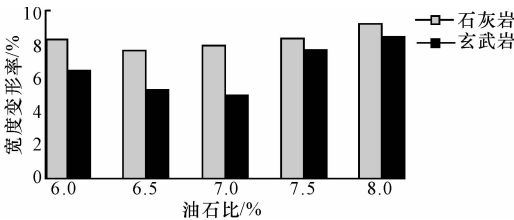


图 2 不同集料混合料车辙宽度变形率

Fig. 2 Rutting width changing ratios with different aggregates

从图 1 可以看出,玄武岩混合料 6 d 湿轮磨耗值均小于石灰岩混合料,说明玄武岩微表处混合料

的抗水损能力要优于石灰岩。从图 2 可以看到,在车辙宽度变形率试验中,不同油石比下也是玄武岩微表处混合料的宽度变形率要较相同油石比时的石灰岩混合料的值小,说明玄武岩混合料在抵抗车辙变形方面要优于石灰岩。究其原因,玄武岩在磨耗性和坚固性方面都要强于石灰岩,所以当微表处混合料选用集料时,要首先考虑选取坚固、洁净、耐磨耗的集料。

2.2 不同级配对微表处混合料路用性能的影响

为了研究不同级配类型对微表处混合料路用性能的影响,试验采用国际稀浆封层协会(ISSA)推荐的 MS-Ⅲ型级配中值^[1],并在此基础上调整级配,合成细、粗级配。具体设计见表 3 和图 3。

表 3 试验所用级配
Tab. 3 Micro-surfacing gradations for test

筛孔尺寸/mm	不同级配的通过率/%		
	细级配	中级配	粗级配
9.500	100	100.0	100
4.750	85	80.0	72
2.360	64	57.5	54
1.180	45	39.0	31
0.600	30	26.5	27
0.300	21	18.5	16
0.150	15	12.5	10
0.075	12	10.0	8

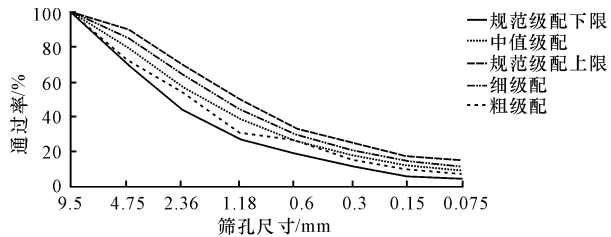


图 3 微表处合成级配

Fig. 3 Micro-surfacing gradation curves

3 种合成级配分别在最佳油石比下制作成混合料,通过 6 d 湿轮磨耗和宽度变形率试验检验其路用性能。6 d 湿轮磨耗值试验结果如图 4 所示,宽度变形率试验结果如图 5 所示。

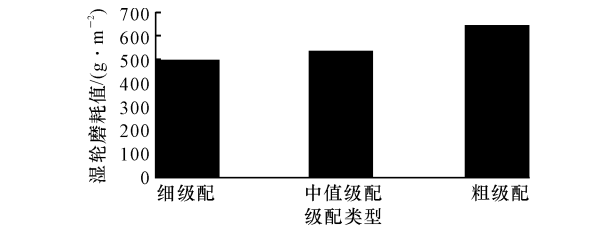


图 4 不同级配混合料 6 d 湿轮磨耗值

Fig. 4 6 d wet track abrasion values with different gradations

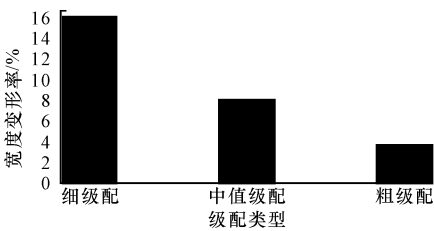


图 5 不同级配混合料车辙宽度变形率

Fig. 5 Rutting width changing ratios with different gradations

由图 4 可以看出,细级配的 6 d 湿轮磨耗值最小,粗级配的 6 d 湿轮磨耗值最大,但湿轮磨耗值均能满足规范要求。混合料的 6 d 湿轮磨耗值随级配由细到粗而逐渐增大。在 6 d 湿轮磨耗试验中,粗级配混合料由于粗颗粒含量较多而使得磨耗试验时易在磨耗头转动时刮出,使得试验结果变大,粗级配微表处混合料抗水损能力方面不如细、中级配,所以微表处用于降水量大的地区时,尽量考虑选取上限与中值之间级配。

由图 5 可以看出,细级配的宽度变形率最大,达到 15.7%,远超出规范要求^[1]。混合料的宽度变形率值随着级配由细到粗而逐渐变小。由于粗骨料多,骨料的支撑作用能防止混合料的车辙变形。粗级配微表处混合料在抗车辙方面效果最好,所以当微表处混合料作车辙填充时考虑尽量选则中值与下限之间的级配。试验采用的粗级配较为接近 ISSA 推荐的Ⅳ型级配中值,由于Ⅳ型级配集料较粗,最大粒径达到 12.5 mm,所以非常适合重载交通道路或者填补车辙。

2.3 添加纤维对微表处混合料路用性能的影响

纤维微表处在掺加纤维后可以形成三维分散形态,起到加筋作用,继而可以提高微表处混合料的路用性能。本次试验使用的是聚丙烯单丝纤维。聚丙烯纤维性能参数见表 4。

表 4 聚丙烯单丝纤维性能指标

Tab. 4 Properties of polypropylene monofilament fiber

纤维直径/mm	0.02±0.015
拉伸强度/MPa	≥450
规格/mm	6
断裂伸长率/%	15~20
密度/(g·cm ⁻³)	0.91
熔点/℃	160~170
抗酸碱性	强
吸水性	不吸水

根据纤维本身力学性能,综合微表处混合料自身性能,结合以往数据和施工经验,利用湿轮磨耗与负荷车轮粘砂试验确定 2‰纤维用量为最佳用量。下页图 6、图 7 分别为在 MS-Ⅲ型级配中值下,不添

加纤维和添加 2‰ 的纤维用量,在最佳油石比下的 6 d 湿轮磨耗值和车辙宽度变形率的试验对比结果。

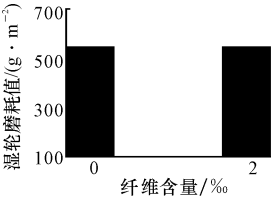


图 6 不同纤维下混合料 6 d 湿轮磨耗值

Fig.6 6 d wet track abrasion values with different amounts of fiber

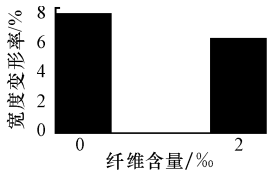


图 7 不同纤维下混合料车辙宽度变形率

Fig.7 Rutting width changing ratios with different amounts of fiber

从图 6 可以看出,当纤维掺量在 2‰ 时,6 d 湿轮磨耗值满足规范要求,但与不加纤维对比,发现二者湿轮磨耗值基本接近,差别不大。究其原因是添加纤维湿轮磨耗试件由于纤维存在一定结团现象,结团容易被刮走从而造成一些集料损失,导致磨耗值变大。从图 7 可以看出,聚丙烯纤维掺量在 2‰ 时,宽度变形率比不加纤维时要低 1~2 个百分点,确实可提高微表处混合料的抗车辙性能。

3 方差分析

3.1 集料对微表处混合料路用性能的影响

将集料为石灰岩的微表处混合料作为变量 1,集料为玄武岩的微表处混合料作为变量 2,进行双样本等方差统计 *t* 检验分析,结果如表 5 所示。

表 5 集料对微表处混合料路用性能的影响

Tab.5 Effect of aggregate on pavement performance of micro-surfacing

项 目	6 d 湿轮磨耗值		PLD 值	
	石灰岩	玄武岩	石灰岩	玄武岩
平均	540.33	436.33	7.84	4.90
方差	26.667	393.867	0.188	0.033
观测值	6	6	6	6
合并方差	210.266 7		0.110 8	
假设平均差	0		0	
df	10		10	
<i>t</i> Stat	12.423		15.341	
<i>P</i> (<i>T</i> ≤ <i>t</i>)单尾	1.05×10 ⁻⁷		1.41×10 ⁻⁸	
<i>t</i> 单尾临界	1.813		1.813	

从表 5 可以看到,无论是 6 d 湿轮磨耗值还是 PLD 值,玄武岩微表处混合料的平均值都远小于石灰岩微表处混合料;湿轮磨耗值的 *P* 单尾为 1.05×10⁻⁷,PLD 值的 *P* 单尾为 1.41×10⁻⁸,因此在显著性水平为 0.05 时,认为玄武岩相对于石灰岩对提高微表处混合料的水稳定性能和抗车辙性能显著有效。

3.2 级配对微表处混合料路用性能的影响

对 MS-Ⅲ 型级配基础上调整的细级配和粗级配作双样本等方差统计 *t* 检验分析,结果见表 6。

表 6 级配对微表处混合料路用性能的影响

Tab.6 Effect of gradation on pavement performance of micro-surfacing

项 目	6d 湿轮磨耗值		PLD 值	
	细级配	粗级配	细级配	粗级配
平均	494.800	636.200	15.717	3.633
方差	1548.592	271.780	0.286	0.039
观测值	6	6	6	6
合并方差	910.186		0.162	
假设平均差	0		0	
df	10		10	
<i>t</i> Stat	-8.118		51.972	
<i>P</i> (<i>T</i> ≤ <i>t</i>)单尾	5.18×10 ⁻⁶		8.41×10 ⁻¹⁴	
<i>t</i> 单尾临界	1.813		1.813	

6 d 湿轮磨耗值 *P* 单尾为 5.18×10⁻⁶<0.05,小于显著性判断值。综合平均值分析可以得出,由细级配变为粗级配型,对于微表处混合料来说,水稳定性能明显降低,说明细级配微表处混合料的水稳定性能要优于粗级配微表处混合料。

PLD 值的 *P* 单尾为 8.41×10⁻¹⁴<0.05,小于显著性判断值。综合平均值分析可以得出,由细级配变为粗级配型,对于微表处混合料来说,宽度变形率明显变小,说明粗级配微表处混合料的抗车辙性能要优于细级配微表处混合料。

3.3 添加纤维对微表处混合料路用性能的影响

对不掺加纤维和聚丙烯单丝纤维掺量为 2‰ 时的微表处混合料,进行双样本等方差统计分析,结果如下页表 7 所示。

从表 7 可以看出,6 d 湿轮磨耗值 *P* 单尾为 0.051>0.05,说明添加纤维的变化对微表处混合料水稳定性能无显著性影响,采用纤维对提高沥青混合料抗水损坏的能力帮助不明显。而 PLD 值 *P* 单尾为 2.49×10⁻⁶<0.05,说明添加纤维对微表处混合料的抗车辙性能有显著性影响,添加纤维确实可以提高微表处混合料的抗车辙性能。

表 7 纤维对微表处混合料路用性能的影响

Tab. 7 Effect of fiber on pavement performance of micro-surfacing

项 目	6 d 湿轮磨耗值		PLD 值	
	不加纤维	加 2‰纤维	不加纤维	加 2‰纤维
平均	540.33	566.33	7.84	6.07
方差	26.667	1 215.867	0.188	0.055
观测值	6	6	6	6
合并方差	621.267		0.121	
假设平均差	0		0	
df	10		10	
t Stat	-1.807		8.814	
P(T≤t)单尾	0.051		2.49×10^{-6}	
t 单尾临界	1.813		1.813	

4 结 语

(1)级配、集料及是否添加纤维对微表处混合料路用性能有显著影响。级配不同,混合料的路用性能有所差异。在 MS-Ⅲ型级配下,微表处混合料用以抗水损时,尽量考虑选取上限与中值之间级配;当微表处混合料用以填补车辙时,级配选定在下限与中值之间较好。

(2)玄武岩微表处无论是在水稳定性能还是抗车辙性能方面都优于石灰岩,说明玄武岩与改性乳化沥青的配伍性要好于石灰岩。2‰掺量聚丙烯单丝纤维微表处混合料由于纤维分散效果不佳,使混合料的水稳定性与不加纤维相比差别不大,但可提高微表处混合料的抗车辙性能。

(3)微表处是修复道路表面各种病害较为有效、且经济的养护手段,所以有必要对微表处混合料路用性能的影响因素进行更全面的研究,如考虑对不同改性沥青、不同纤维的变化等方面加以对比分析,从而提高微表处混合料的使用性能,延长公路服务寿命。

参考文献:

References:

[1] ISSA — A143, Recommended performance guidelines for micro-surfacing[S].

[2] 交通部运输公路科学研究院. 微表处和稀浆封层技术指南[M]. 北京:人民交通出版社,2006.

China Academy of Transportation Science of the Ministry of Transport. Technical guidelines for micro-surfacing and slurry seal [M]. Beijing: China Communications Press,2006. (in Chinese)

[3] Erwin T, Tighe S L. Safety effect of preventive main-

tenance: a case study of micro-surfacing[J]. Transportation Research Record,2008,2044(8):79-85.

[4] 王 磊. 陕西省干线公路沥青路面典型病害成因分析与养护技术研究 [D]. 西安:长安大学,2009.

WANG Lei. Study on typical disease causes and maintenance technology of highway asphalt pavement in Shaanxi province[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. (in Chinese)

[5] 居 浩,黄晓明. 微表处混合料性能影响因素研究 [J]. 公路,2007(7):212-218.

JU Hao, HUANG Xiao-ming. Research on factors affecting performance of micro-surfacing mixture[J]. Highway,2007(7):212-218. (in Chinese)

[6] 鲁圣弟,扈惠敏,王昌引. 沥青路面微表处路用性能研究与应用效果评价 [J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2011,34(4):583-587.

LU Sheng-di, HU Hui-min, WANG Chang-yin. Performance research and effect evaluation of micro-surfacing used in asphalt pavement[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2011, 34 (4):583-587. (in Chinese)

[7] 黎 侃,李新伟,王端宜. 聚丙烯单丝纤维微表处路用性能研究[J]. 公路交通科技,2013,30(8):17-22.

LI Kan, LI Xin-wei, WANG Duan-yi. Study on road performances of micro-surfacing mixed with polypropylene filament fiber [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30 (8):17-22. (in Chinese)

[8] 侯曙光,侯 强. 纤维微表处混合料性能试验[J]. 南京工业大学学报:自然科学版,2013,35(3):20-24.

HOU Shu-guang, HOU Qiang. Study on experimental study on performances of fibre reinforced micro-surfacing mixture [J]. Journal of Nanjing University of Technology: Natural Science, 2013, 35(3):20-24. (in Chinese)

[9] 孙晓立,张肖宁. 高性能微表处的室内试验研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2012,40(6):867-870.

SUN Xiao-li, ZHANG Xiao-ning. Experimental study on high performance micro-surfacing [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2012, 40(6):867-870. (in Chinese)

[10] 凌天清,李耀楠,董 强,等. 橡胶颗粒对微表处性能的影响及其降噪效果[J]. 交通运输工程学报,2011, 11(5):1-5.

LING Tian-qing, LI Yao-nan, DONG Qiang, et al. Influence of rubber particles on micro-surfacing performance and its noise-reduction effect[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(5):1-5. (in Chinese)

