

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.08.004

聚丙烯单丝纤维微表处路用性能研究

黎侃¹, 李新伟², 王端宜¹

(1. 华南理工大学 土木与交通学院, 广州 广东 510641; 2. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 为提高微表处的抗水损性及高温稳定性, 在传统微表处材料中添加了聚丙烯单丝纤维, 并对其路用性能进行了试验研究。通过拌和时间试验确定了其合理拌和时间, 利用粘聚力、湿轮磨耗、负荷车轮粘砂、轮辙变形、以及低温劈裂试验, 对该材料的纤维用量上限、耐磨和抗水损害能力、抗车辙性能、以及低温抗裂性等进行了试验评价。研究发现聚丙烯单丝纤维微表处存在最佳纤维掺量, 该值在0.1%~0.3%之间。试验结果表明添加适量的聚丙烯单丝纤维后, 可有效改善微表处材料的粘附性和整体路用性能, 该材料为高温多雨重载交通条件下的微表处工艺提供了新的技术方案。

关键词: 道路工程; 最佳纤维掺量; 性能试验; 聚丙烯单丝纤维; 微表处

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)08-0017-06

Study on Road Performances of Micro-surfacing Mixed with Polypropylene Filament Fiber

LI Kan¹, LI Xin-wei², WANG Duan-yi¹

(1. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510641, China;

2. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to improve the high temperature stability and water resistance ability of micro-surfacing, polypropylene filament fiber is mixed into conventional micro-surfacing material, and its road performance is experimentally researched. The rational mixing time is determined by mixing time test. Subsequently, the upper limit of fiber dosage, abrasion resistance, water resistance ability, rutting performance, and low-temperature cracking resistance are evaluated by cohesion test, wet wheel abrasion test, load wheel sand adhesion test, rutting test, and low temperature splitting test respectively. It is found that there is an optimum dosage of polypropylene filament fiber which ranges from 0.1% to 0.3%. The test results show that the adhesion ability and the whole field related performance of the micro-surfacing material can be improved after an appropriate amount of fiber is mixed. This kind of material provided a new technical option for the micro-surfacing of highways especially for those under the condition of a combination of high temperature, high moisture, and heavy duty traffic.

Key words: road engineering; optimum fiber dosage; performance test; polypropylene filament fiber; micro-surfacing

0 引言

自20世纪70年代德国人发明微表处技术以来,

即在全球范围内得到较好地推广应用。该项技术于19世纪末引入我国并得以迅速推广和发展^[1-4]。然而我国南方地区夏季持续高温, 沥青路面最高温度

收稿日期: 2013-01-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(51008132); 国家自然科学基金项目(51038004); 广东省交通运输厅科研计划项目(2010-02-007)

作者简介: 黎侃(1978-), 男, 湖南醴陵人, 博士研究生。(likan@gdcd.gov.cn)

可达到 70 ℃，远大于所采用改性乳化沥青材料的软化点，在高温及重车的挤揉作用下，使微表处表面骨料位置及状态进行重新排列，部分大骨料被压入下层沥青路面中，引起宏观构造衰减速度过快。此外由于雨季时间长，降雨量大，在车轮荷载引起动水压力作用，导致微表处出现掉粒剥落等早期损害。高温多雨导致重交通高速公路微表处的使用寿命较短，极大地限制了该技术的应用^[5-7]。

为解决微表处的抗水损及高温稳定性，在混合料中掺加适当比例的纤维。利用纤维比表面积大，可吸附足够的沥青胶结料填充粗集料之间的孔隙，且纤维在微表处混合料中能有效地改善沥青胶体结构，形成三维分散形态，起到加筋作用^[8-12]。本文通过对纤维微表处的设计方法进行深入研究，利用拌和试验确定混合料可拌和时间，采用湿轮磨耗试验评价混合料的耐磨耗能力和抗水损坏能力，轮辙变形试验评价混合料的高温抗变形能力。通过配合比设计、油石比、纤维添加量等方面研究纤维微表处的性能。

1 材料技术指标

1.1 集料

试验采用粒径 5~10 mm、0~3 mm 的集料，筛分试验利用 ISSA 规定筛孔尺寸的标准筛，本次试验中级配筛分结果见表 1，其技术指标见表 2。

表 1 集料筛分结果
Tab. 1 Gradations of different aggregate batches

筛孔/mm	集料规格/%	
	5~10 mm	0~3 mm
9.5	100	100
4.75	1.5	99.4
2.36	0.2	63.2
1.18	0.1	48.3
0.6	0.1	35.4
0.3	0.1	25.6
0.15	0.1	18.3
0.075	0.1	15.8

表 2 集料性能试验结果汇总

Tab. 2 Summary of aggregate performance test results

项目	试验结果	技术指标要求	试验方法
压碎值/%	12	≤26	T0316
洛杉矶磨耗值/%	13	≤28	T0317
石料磨光值/BNP	53	≥42	T0321
粗集料坚固性/%	3	≤12	T0340
粗集料针片状含量/%	5	≤15	T0312
砂当量/%	78	≤65	T0334
亚甲兰值/(g·kg ⁻¹)	1.2	≤2.0	T0349

1.2 填料

水泥采用普通硅酸盐水泥，等级为 42.5 级；水采用可饮用水源。

1.3 改性乳化沥青

试验采用壳牌改性乳化沥青，其技术指标如表 3 所示。

表 3 改性乳化沥青技术指标测试结果
Tab. 3 Summary of modified emulsified asphalt performance test results

测试项目	结果	技术规格	分析方法
沥青含量/%	63.6	≥62	T0651—1993
筛上剩余量/%	0.02	≤0.1	T0652—1993
存储稳定性/(1 d)	1	≤1	T0655—1993
恩格拉粘度,E25	11.76	3~30	T0622—1993
电荷	阳离子	阳离子	T0653—1993
残留物性质	针入度/(0.1 mm)	70.5	40~100
	软化点/℃	57	≥57
	延度(5℃)/cm	26	≥20

1.4 纤维

试验选用聚丙烯单丝纤维，其性能指标如表 4 所示。

表 4 纤维的性能指标要求
Tab. 4 Performance requirement for fiber

试验项目	聚丙烯单丝纤维	试验项目	聚丙烯单丝纤维
长度/mm	6	熔点/℃	160~170
当量直径/μm	20~25	断裂延伸率/%	15~20
密度/(g·cm ⁻³)	0.91~0.93	抗拉强度/MPa	>500

2 级配

试验针对重交通高速公路沥青微表处的要求，采用表 5 的级配范围。

表 5 重交通高速公路微表处级配范围
Tab. 5 Gradation range for heavy duty expressway micro-surfacing

级配类型	筛孔尺寸/mm							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100	85	58	40	28	21	15	12
下限	100	65	38	25	16	12	7	5

根据 5~10 mm 碎石:0~3 mm 石屑=30%:70%配置混合料，级配组成见表 6 和图 1。由图 1 可见，混合料的合成级配在课题组提出的级配范围内。本课题纤维微表处的所有室内试验均采用该级配

组成。

表6 试验用微表处级配
Tab. 6 Micro-surfacing gradation for test

级配类型	筛孔尺寸/mm							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	100	70	44.3	33.8	24.8	18	12.8	11.1

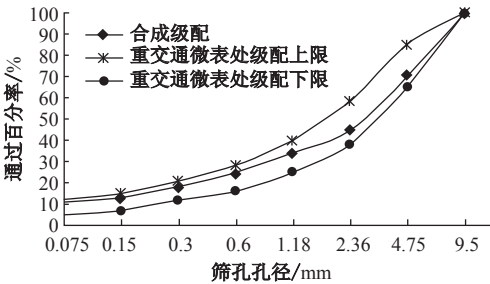


图1 微表处合成级配曲线
Fig. 1 Micro-surfacing gradation curves

3 纤维添加及拌和时间

试验采用将纤维与石料一起拌和成微表处混合料, 并对纤维添加量与混合料可拌和时间之间的关系进行了研究, 采用油石比 7.5%, 水泥添加量 1.5%, 争取提高纤维微表处的可施工性, 具体结果如图 2 所示。

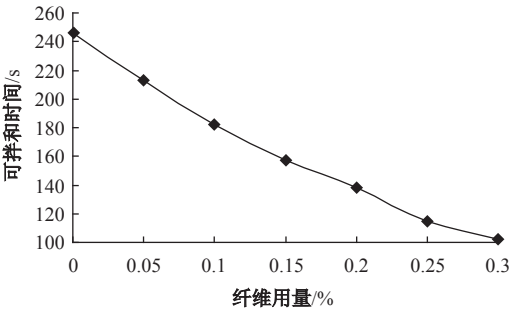


图2 纤维用量与拌和时间之间的关系
Fig. 2 Fiber dosage vs. mixing time

由上图可知:

(1) 在油石比和外加水量相同的情况下, 拌和时间随着纤维用量的增加而逐渐降低, 二者存在较好的线性相关关系。因此在一定的油石比和外加水量的条件下, 必然存在一个最佳纤维添加量。若超过了这个添加量, 混合料的可拌和时间将无法满足不同规范的要求。

(2) 微表处可拌和时间的选择取决于施工单位的施工技术水平和环境气温, 但最小可拌和时间应不小于 90 s。根据上述试验结果, 确定纤维用量不宜超过 0.30%。

4 路用性能研究

基于纤维用量试验结果, 进一步确定聚丙烯单丝纤维微表处的路用性能, 进行了粘聚力、湿轮磨耗、负荷车轮粘砂、轮辙变形、低温劈裂等试验, 对该工艺的初凝时间、混合料的耐磨耗和抗水损害能力、沥青用量上限、混合料抗车辙性能、低温抗裂性等进行了试验研究^[13-15]。

4.1 粘聚力试验

粘聚力试验是确定微表处的初凝时间和开放交通时间, 以确保微表处的早期养护和封闭交通。在其它试验条件相同的情况下, 变化不同的纤维添加量, 研究不同的纤维用量对不同油石比的混合料粘聚力指标的影响。具体试验结果如图 3 所示。

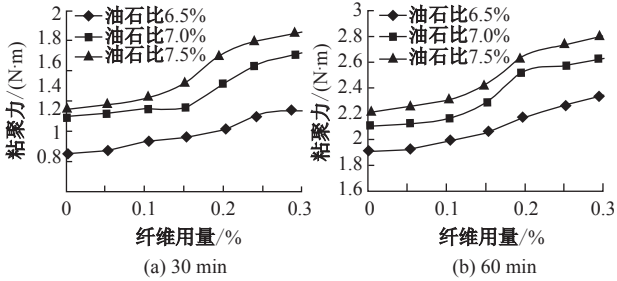


图3 粘聚力与纤维用量之间的关系
Fig. 3 Adhesion force vs. fiber dosage

根据以上试验结果, 可以得到以下结论:

(1) 在同一纤维用量下, 试验选择的参数范围内, 随着油石比的增加, 混合料粘聚力逐渐增加。未添加纤维、油石比 6.5% 混合料的 30 min 和 60 min 粘聚力不满足规范的要求。

(2) 相同油石比下, 混合料粘聚力随纤维添加量的增加而提高。当纤维添加量不大 (0.10% 以内) 时, 混合料的 30 min 及 60 min 的粘聚力增加均不明显。油石比 6.5% 的微表处混合料, 当纤维添加量由 0.15% 增长到 0.25%, 其粘聚力变化比较明显, 当纤维添加量继续增大时, 粘聚力变化趋势减缓; 油石比 7.0% 和 7.5% 的混合料粘聚力随纤维添加量变化的增长趋势比油石比 6.5% 的趋势大。由此可见, 纤维添加量在 0.15% 到 0.25% 之间时, 对混合料的粘聚力影响趋势比较大。

(3) 从总趋势看, 所有油石比下的纤维微表处的纤维用量越多, 混合料的粘聚力越大, 表明允许开放交通的时间越早。在微表处混合料中添加纤维, 不但对沥青胶结料起到物理改性的效果, 同时由于对沥青具有很强的吸附性, 可以使混合料的粘聚力

增加, 粘稠度提高。

(4) 单考虑到工程造价及粘聚力增长趋势, 从费用效益比的角度来看, 纤维用量也不宜过大。根据粘聚力试验结果, 建议纤维添加量在 0.15% ~ 0.25% 之间。

4.2 湿轮磨耗试验

湿轮磨耗值可以评价混合料的耐磨耗能力以及沥青与集料的粘聚能力, 可以反映混合料抵抗水损害的能力。在其它试验条件相同的情况下, 变化不同的聚丙烯纤维添加量, 研究不同的聚丙烯纤维用量对不同油石比的微表处混合料磨耗值指标的影响, 结果如图 4 所示。

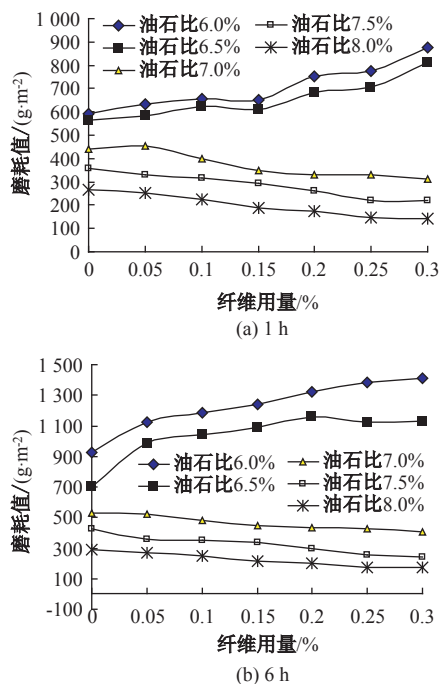


图 4 纤维用量与湿轮磨耗值之间的关系

Fig. 4 Fiber dosage vs. wet wheel abrasion value

由图 4 可以分析得出如下结论:

(1) 无论是否添加纤维, 微表处的湿轮磨耗值随油石比的增加而减少; 相同纤维用量的情况下, 随着油石比的增大, 磨耗值逐渐减小。

(2) 当油石比小于 7.0% 时, 增加聚丙烯纤维的用量, 微表处的湿轮磨耗值不但没有减少反而有所增加; 而当油石比继续增加时, 随着纤维用量的增加, 磨耗值明显降低。聚丙烯纤维的掺加增加了混合料的总比表面积, 需要吸附较多的沥青, 若油石比过低, 沥青不足以完全裹附矿料, 矿料之间的粘结力较差, 大石料容易被磨掉, 导致磨耗值反而会增大。当进一步增大油石比时, 沥青完全裹附在矿料表面, 纤维在混合料中起到加筋的作用, 提高

了混合料的磨耗性能。

(3) 在最佳油石比情况下, 加入聚丙烯单丝纤维后, 湿轮磨耗值明显减小, 这说明纤维在提高混合料粘附性、抗水损坏性、耐磨性方面都具有显著的改善作用。根据纤维的改善效果, 建议纤维的掺入量为 0.1% ~ 0.3% 之间, 且油石比应大于 7.0%。

4.3 负荷车轮粘砂试验

在其它试验条件相同的情况下, 变化不同的纤维用量, 研究不同的纤维用量对不同油石比微表处混合料粘附砂量的影响, 结果如图 5 所示。

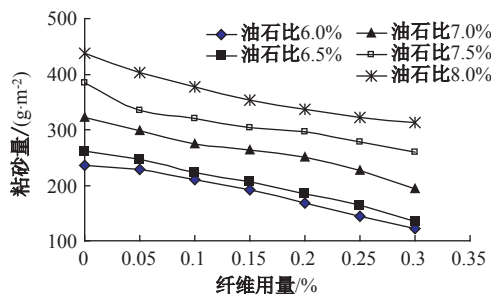


图 5 纤维用量与粘砂量之间的关系

Fig. 5 Fiber dosage vs. adhered sand mass

由图 5 可知:

(1) 在相同油石比的情况下, 粘附砂量随纤维用量的增加而逐渐降低。其中主要包括 2 方面的因素: 首先纵横交错的纤维单丝的加筋和桥接作用, 降低了沥青的流动性; 其次纤维对沥青有吸附作用, 从而避免出现泛油现象。

(2) 纤维用量相同的情况下, 粘附砂量随油石比的增加而增大, 表明存在一个最佳的沥青用量, 使得粘附砂量小于规范中的规定值。

(3) 各油石比的粘附砂量均不大于 450 g/m², 满足《微表处和稀浆封层技术指南》的技术指标。根据试验结果, 可得满足负荷车轮粘砂试验要求的微表处油石比应大于 6.5%, 最大纤维添加量为 0.3%。

4.4 轮辙变形试验

通过向微表处混合料中掺加适当比例的聚丙烯纤维, 可以增强微表处混合料的高温稳定性, 是实现微表处车辙填充混合料性能的重要技术手段。本课题在其它试验条件相同的情况下, 变化不同的纤维用量, 研究不同的纤维用量对不同油石比微表处混合料宽度变形率的影响。宽度变化率越大, 说明混合料抗车辙性能越差; 宽度变化率越小, 说明混合料抗车辙性能越好, 结果如图 6 所示。

由图 6 可知:

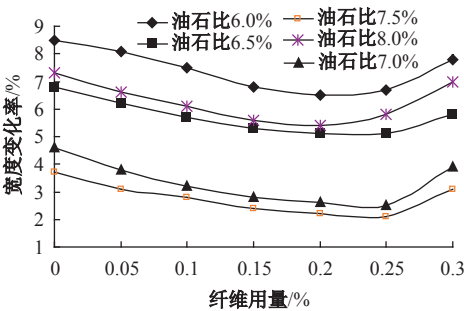


图 6 纤维用量与宽度变化率之间的关系

Fig. 6 Fiber dosage vs. width changing ratio

(1) 随着油石比的增大, 宽度变化率逐渐降低, 但油石比大于 7.5%, 继续增大油石比时, 宽度变化率反而增大。这说明纤维微表处存在最佳油石比, 超过最佳油石比后, 混合料的抗车辙性能下降。

(2) 相同油石比下, 宽度变化率随纤维添加量的增加逐渐降低, 但纤维添加量大于 0.25% 时, 宽度变化率反而增大。

(3) 相对于未加纤维的常规微表处, 纤维微表处的抗车辙性能相对较好。这是因为纤维在微表处混合料里是以三维立体方式存在, 通过与骨料的咬合作用, 形成较大的摩擦角, 同时加上沥青胶浆的粘结作用, 增加了沥青与矿料的粘附性, 将基体的拉应力传递给纤维, 并主要由纤维来承担, 对混合料有明显的加筋和桥接作用, 提高了集料之间的粘结力, 为混合料提供了巨大的内聚力, 极大地提高了路面的柔韧性和混合料的抗车辙能力。纤维的存在使得集料表面的沥青膜增厚, 从而增强微表处的耐久性。由轮载变形试验结果可知, 纤维微表处的最佳油石比约为 7.0% ~ 7.5%, 纤维用量应小于 0.25%。

4.5 低温劈裂试验

高速公路采用微表处养护技术, 当原路面有明显裂缝或产生新裂缝时, 裂缝则易反射至微表处表层, 特别是在天气气温较低时, 微表处表层更容易出现裂缝。增加微表处混合料的抗裂性能, 可以达到延长微表处路面使用寿命的目的。为了比较加入纤维和未加纤维的混合料的抗裂效果, 课题组借鉴热沥青配合比设计中马歇尔试件的成型方法制作试件。量取试件高度后, 将脱模后的试件放入 -10 ℃ 冰箱内养生, 养生时间不小于 6 h。聚丙烯纤维掺量为 0.2%, 试验数据结果如表 7 所示。

根据试验结果可知: 加入纤维后混合料劈裂强度明显大于未加纤维混合料的劈裂强度, 这说明加

表 7 低温劈裂试验结果
Tab. 7 Low temperature splitting test result

混合料类型	油石比/%	劈裂强度/MPa
加入纤维	7.0	1.503
	7.5	1.597
	8.0	1.526
未加入纤维	6.5	1.253
	7.0	1.345
	7.5	1.307

入纤维可较大幅度改善混合料的抗裂性能。其原因是纤维在其中起到了阻裂的作用。断裂力学认为材料内部存在缺陷和裂纹, 在温度应力及行车荷载作用下裂缝尖端会产生应力集中, 促使裂纹进一步扩展。由于增强纤维高抗拉强度、高模量的特点, 以及纤维的直径很小, 数量众多, 在微表处混合料中均匀分散后形成三维网状结构, 对裂纹的扩展起到阻滞作用, 约束裂纹或缺陷的进一步发展, 从而达到提高抗裂性能的效果。在纤维用量 0.2% 时, 纤维微表处的最佳油石比为 7.5%。

5 结论

本文通过对掺加聚丙烯单丝纤维的混合料拌和试验、粘聚力、湿轮磨耗、负荷车轮粘砂、轮辙变形、低温劈裂等试验, 对该处理方法的初凝和开放时间、混合料的耐磨耗和抗水损害能力、沥青用量上限、混合料抗车辙性能、低温抗裂性等进行试验研究, 主要结论如下:

(1) 聚丙烯单丝纤维的掺量存在一个最佳值, 使得微表处混合料的拌和时间及黏聚力满足规范的相关规定, 试验表明其值应在 0.1% ~ 0.3% 之间; 根据湿轮磨耗、车辙变形试验结果, 聚丙烯单丝纤维微表处混合料其油石比存在最佳值, 以本研究级配为例则在 7.0% ~ 7.5% 范围内。

(2) 相同纤维用量的情况下, 随着油石比的增大, 湿轮磨耗值逐渐减小; 在最佳油石比情况下, 加入聚丙烯单丝纤维后, 湿轮磨耗值明显减小, 说明聚丙烯单丝纤维在提高混合料粘附性、抗水损坏性、耐磨性方面都具有显著的改善作用。

(3) 在相同油石比的情况下, 粘附砂量随纤维用量的增加而逐渐降低; 纤维用量相同的情况下, 粘附砂量随油石比的增加而增大。

(4) 纤维微表处超过最佳油石比后, 混合料的抗车辙性能下降。

(5) 加入纤维后混合料劈裂强度明显大于未加纤维混合料的劈裂强度, 这说明加入纤维可较大幅度改善混合料的抗裂性能。

参考文献:

References:

- [1] HASSAN R. Surface Rehabilitation Techniques: State of the Practice: Design, Construction, and Performance of Micro-surfacing [M]. Alexandria: National Technical Information Service, 1994.
- [2] HAJJ E Y, LORIA L, SEBAALY P E. Performance Evaluation of Asphalt Pavement Preservation Activities [J]. Transportation Research Record, 2010, 2150: 36 – 46.
- [3] ERWIN T, TIGHE S L. Safety Effect of Preventive Maintenance: A Case Study of Microsurfacing [J]. Transportation Research Record, 2008, 2044: 79 – 85.
- [4] JOHNSON E N, WOOD T J, OLSON R C. Flexible Slurry-microsurfacing System for Overlay Preparation: Construction and Seasonal Monitoring at Minnesota Road Research Project [J]. Transportation Research Record, 2007, 1989: 321 – 326.
- [5] 陈俊, 彭彬, 黄晓明. 微表处路面使用状况调查与分析 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (12): 34 – 37.
CHEN Jun, PENG Bin, HUANG Xiao-ming. Investigation and Analysis of Work State of Micro-surfacing [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (12): 34 – 37.
- [6] SMITH K L, PESHKIN D G. Pavement Preservation on High-traffic-volume Roadways [J]. Transportation Research Record, 2011, 2235: 54 – 65.
- [7] TEMPLE W, SHAH S, PAUL H, et al. Performance of Louisiana's Chip Seal and Microsurfacing Program, 2002 [J]. Transportation Research Record, 2002, 1795: 3 – 16.
- [8] 王秀芳, 邢建欣. 聚丙烯纤维改善沥青混合料路用性能研究 [J]. 山东交通科技, 2009 (5): 31 – 34.
- WANG Xiu-fang, XING Jian-xin. Study on the Influence of Polypropylene Fiber on the Road Performance of Asphalt Mixture [J]. Shandong Jiaotong Keji, 2009 (5): 31 – 34.
- [9] 李素贤. 甘肃地区纤维微表处的适用性研究 [D]. 西安: 长安大学, 2009.
LI Su-xian. Study on the Applicability of Fiber Micro-surfacing in Gansu Region [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [10] 徐剑, 黄颂昌, 秦永春, 等. 添加剂对微表处混合料抗车辙性能改善效果的研究 [J]. 石油沥青, 2010, 24 (3): 11 – 14.
XU Jian, HUANG Song-chang, QIN Yong-chun, et al. Additives Effects on Micro-surfacing Mixture Rut Resistance Properties [J]. Petroleum Asphalt, 2010, 24 (3): 11 – 14.
- [11] 王立久, 刘慧. 聚酯纤维沥青混合料级配设计的理论方法 [J]. 公路交通科技, 2009, 26 (1): 11 – 15.
WANG Li-jiu, LIU Hui. Theoretical Method of Aggregate Grading Design of Asphalt Mixture with Polyester Fiber [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (1): 11 – 15.
- [12] 黎鹏. 聚丙烯单丝纤维对微表处影响的试验分析 [J]. 重庆建筑, 2007 (6): 48 – 50.
LI Peng. Analysis on the Influence of Polypropylene Filament on Micro-surfacing [J]. Chongqing Architecture, 2007 (6): 48 – 50.
- [13] URBAN D, TAKAMURA K. Polymer Dispersions and Their Industrial Applications [M]. Darmstadt: Wiley-VCH, 2002.
- [14] THIBODEAUX K S, CROWDER J E. An Analysis of the Loaded Wheel Test in Testing Microsurfacing Mixtures: Final presentation, Senior Design II [M]. Prairie View: Prairie View A&M University, 1996.
- [15] JTG/T F40 – 02—2005, 微表处和稀浆封层技术指南 [S].
JTG/T F40 – 02—2005, Technical Guidelines for Micro-surfacing and Slurry Seal [S].

(上接第16页)

- [9] 张兆强, 李世颖, 解国梁. 橡胶粉改性混凝土试验研究 [J]. 混凝土, 2012 (1): 68 – 70.
ZHANG Zhao-qiang, LI Shi-ying, XIE Guo-liang. Experimental Study on Rubber Powder Modified Concrete [J]. Concrete, 2012 (1): 68 – 70.
- [10] 曾玉珍, 廖正环. 废旧轮胎在国外道路工程中的应用 [J]. 国外公路, 2000, 20 (1): 39 – 41.
ZENG Yu-zhen, LIAO Zheng-huan. Application of Waste

- Tyre in Foreign Road Engineering [J]. Journal of Foreign Highway, 2000, 20 (1): 39 – 41.
- [11] JTJ 034—2000, 公路路面基层施工技术规范 [S].
JTJ034—2000, Technical Specification for Construction of Highway Roadbases [S].
- [12] JTG E51—2009, 公路工程无机结合料稳定材料试验规程 [S].
JTGE51—2009, Test Methods of Materials Stabilized with Inorganic Binders for Highway Engineering [S].