

超薄磨耗层沥青混合料评价指标

谭忆秋¹, 姚李², 王海朋¹, 边鑫¹, 齐宇翔³

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨; 2. 江苏省交通规划设计院, 210005 南京;
3. 石家庄市第六市政建设有限公司, 050051 石家庄)

摘要: 为了科学地选择和评价超薄磨耗层沥青混合料, 选取 SMA-10, UTAC-10 和 NovaChip Type-C 3 种混合料类型作为评价性能指标, 采用约束试件温度应力试验评价混合料的低温性能, 通过渗水系数试验和抗滑性能试验评价混合料的表面性能, 设计一种室内磨耗试验来研究混合料抵抗抗滑衰减的能力. 采用一套 3 种条件下的飞散试验并结合冻融劈裂试验评价混合料的抗水损害性能. 结果表明: 冻断温度和冻断强度可有效评价磨耗层沥青混合料的低温性能, 以初始摆值结合抗滑衰减程度评价磨耗层抗滑性能比较科学, 评价超薄磨耗层材料的抗水损害能力须将冻融劈裂强度比和冻融劈裂强度结合起来.

关键词: 沥青路面; 超薄磨耗层; 沥青混合料; 评价指标; 性能

中图分类号: U414 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2012)12-0073-05

Performance evaluation indicator of ultra-thin wearing course asphalt mixture

TAN Yi-qiu¹, YAO Li², WANG Hai-peng¹, BIAN Xin¹, QI Yu-xiang³

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;
2. Jiangsu Province Traffic Planning Design Institute, 210005 Nanjing, China;
3. Shijiazhuang Sixth Municipal Construction Co. Ltd., 050051 Shijiazhuang, China)

Abstract: To scientifically select and evaluate ultra-thin wearing course asphalt mixture, three types of asphalt mixture, SMA-10, UTAC-10 and NovaChip Type-C were selected to study the performance evaluation indicator. The low temperature performance of mixture was evaluated by use of thermal stress restrained specimen test, and the surface performance was evaluated by permeable coefficient test and anti-slide performance test. A kind of indoor abrasion test was designed to evaluate the skid resistance attenuation property of asphalt mixture, and a set of dispersion tests under three conditions was designed combining with freeze-thaw splitting test to evaluate water damage resistance performance of asphalt mixture. The results show that the frozen broken temperature and frozen broken strength can effectively evaluate the low temperature performance of ultra-thin wearing course asphalt mixture. It is scientific to use initial value of BPN and sliding attenuation degree to evaluate skid resistance performance of ultra-thin wearing course. Freeze-thaw splitting strength ratio and freeze-thaw splitting strength should be combined to evaluate resistance water damage performance.

Key words: asphalt pavement; ultra-thin wearing course; asphalt mixture; evaluation indicator; performance

沥青路面面层直接与大气接触, 服役环境恶劣, 长期经受风吹日晒雨淋等自然因素的考验和承受行车荷载和车辆制动的的作用, 磨光、水损害、

车辙等表面功能衰减是沥青路面面层常出现的早期病害形式. 为了满足面层功能需要, 在路面面层及路面养护罩面中应用超薄磨耗层沥青混合料. 超薄磨耗层沥青混合料起源于法国, 根据法国沥青混合料标准^[1], 超薄磨耗层是通过减少细集料用量, 应用改性沥青做胶结料, 是具有改善路表功能、提高安全性和延长道路使用寿命等优点的沥青面层. 其一般厚度为 15 ~ 25 mm, 主要用于高

收稿日期: 2011-10-20.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题(2008BAG10B02);
交通部西部交通建设科技项目(2009318801083).

作者简介: 谭忆秋(1968—), 女, 教授, 博士生导师.

通信作者: 谭忆秋, yiqiutan@163.com.

等级公路的罩面^[2].

由于超薄磨耗层具备许多优良特性,使其得到迅速推广应用,我国公路沥青路面设计规范^[3]规定,超薄磨耗层除应用于旧路的维修,还可应用于新建路面的磨耗层.但由于超薄磨耗层混合料的种类繁多,而且各有特点,在其做为功能层后,常常不能科学地选择和评价混合料,所以在综合考虑了 OGFC、SAC、SMA、AK、UTAC 等多种类型混合料的特性及应用现状后,本文选取常用的 SMA-10、UTAC-10 和 NovaChip Type-C 3 种混合料进行超薄磨耗层性能评价指标研究,为超薄磨耗层的材料选取和性能评价提供科学依据.

1 原材料性质及配合比组成设计

沥青采用 SBS 改性沥青,其三大指标试验结果分别为:5 °C 延度为 30 cm;软化点为 77 °C;25 °C 针入度为 70.2 (0.1 mm). 其他各项指标均满足聚合物改性沥青 I-C 的技术要求.

集料采用黑龙江省地产安山岩,密度为 2.805 g/cm³;针片状含量(质量分数)为 8.6%;压碎值(质量分数)为 5.0%;粘附性 4 级. 各项检测指标满足规范要求. 采用 SMA-10、UTAC-10、NovaChip Type-C 级配范围中值作为试验级配,级配曲线见图 1. SMA-10 混合料中纤维选用进口博尼聚酯纤维,其长度小于 6 mm,含水率为 1.3%,常温下呈松散絮状,如图 2 所示.

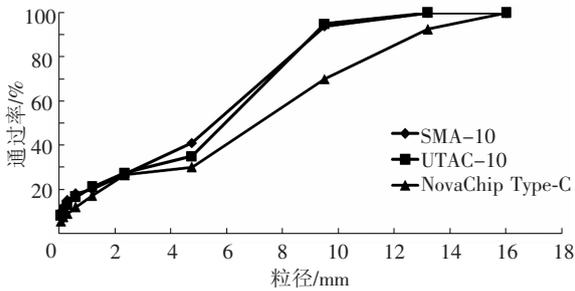


图 1 级配曲线

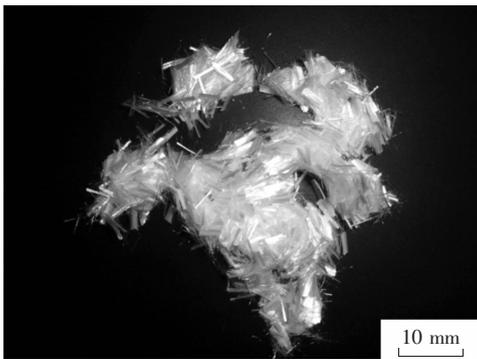


图 2 博尼纤维

最佳沥青用量采用旋转压实成型的圆柱体试件(直径为 100 mm,高为 63.5 mm)进行试验确

定,表 1 是 3 种级配沥青混合料的物理指标及最佳沥青用量(质量分数). NovaChip 沥青用量相对较少,是因为它的目标空隙率较大;由于纤维吸油,所以 SMA-10 的沥青用量较高.

表 1 最佳沥青用量确定

混合料类型	空隙率/ %	矿料间隙率/ %	最佳油量/ %	稳定度/ kN
SMA-10	4.0	16.5	5.8	7.02
UTAC-10	5.7	13.8	5.0	9.51
NovaChip	9.1	18.2	4.5	6.70

2 超薄磨耗层材料低温性能

目前,国内外评价沥青混合料低温性能的方法主要有:沥青混合料小梁弯曲试验、沥青混合料劈裂试验、收缩系数试验、切口小梁试验、松弛试验和沥青混合料约束温度应力试验等试验方法. 美国公路研究战略计划(SHRP)采用一系列指标对上述方法进行评价,结果表明只有约束试件温度应力试验和热膨胀系数试验能正确地模拟现场状况,其他试验都是间接测量沥青混凝土的降温响应^[4]. 因此,本文采用约束试件温度应力试验评价超薄磨耗层混合料的低温性能.

试验前,按照文献[5]中 T0703—2011 的方法成型试件,切割成 30 mm × 35 mm × 220 mm 的棱柱体. 试验时,将试件在初始温度为 20 °C 的条件下恒温 50 min,然后以 10 °C/h 的速率开始降温^[6]. 3 种超薄磨耗层沥青混合料的应力 δ 与温度 θ 的关系,如图 3 所示,数据处理结果如表 2 所示.

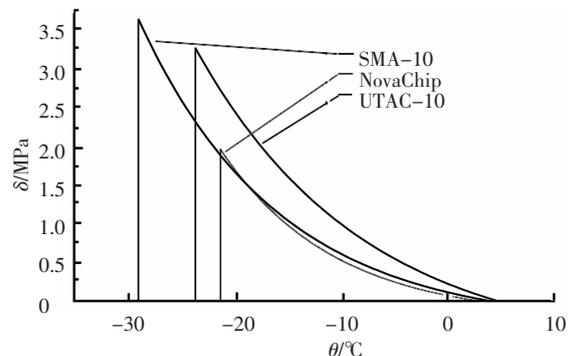


图 3 混合料 θ - δ 曲线

从图 3 可以看出, θ - δ 曲线发展趋势从快到慢依次为 UTAC-10、NovaChip、SMA-10. 说明,UTAC-10 的低温性能最差,SMA-10 的低温性能最优. 从曲线的发展趋势可以看出,UTAC-10 随温度下降应力增长速度较快, θ - δ 曲线平缓段较短,松弛能力较差;SMA-10 的 θ - δ 曲线平缓段较长,应力松弛性能较强;NovaChip 的 θ - δ 曲线缓慢,但是

能承受的低温极限较小, 最早发生断裂。

表 2 约束试件温度应力试验结果

混合料类型	冻断温度/ ℃	冻断强度/ MPa	转折点温度/ ℃	斜率/ (MPa · °C ⁻¹)
SMA-10	-28.944	3.611	-15.901	-0.140 8
UTAC-10	-23.636	2.963	-11.311	-0.163 8
NovaChip	-21.259	2.067	-15.457	-0.197 4

由表 2 可知, 冻断温度和冻断强度数据与 3 种混合料的 θ - δ 曲线发展趋势相符, 与所反应的沥青混合料低温性能规律一致, 同时, 斜率也表现出了一定的相关性。但是转折点温度反应的混合料低温性能规律与分析结果不一致, 而斜率是由转折点温度和冻断温度连接线的斜率, 所以 4 个指标中宜采用冻断温度和冻断强度来评价超薄磨耗层沥青混合料的低温性能。

3 超薄磨耗层表面性能

3.1 渗水系数试验

防水能力是一项重要的路面表面功能。路表水渗入沥青路面, 在车辆荷载作用下形成动水压力, 对集料与沥青的粘结造成极大威胁, 加速了沥青路面的破坏, 因此, 在超薄磨耗层表面性能评定中, 渗水系数也是重要指标之一^[7]。

本试验采用文献[5]中 T0730—2011 的方法进行渗水系数试验, 试验结果见表 3。

表 3 渗水系数试验结果

混合料类型	空隙率/%	渗水系数/(mL · min ⁻¹)	渗水情况
SMA-10	4.0	52	不贯通
UTAC-10	5.7	270	贯通
NovaChip	9.1	1 608	贯通

由表 3 可以看出, 3 种沥青混合料的渗水系数随空隙率的增大而增大, 渗水情况也从不贯通到贯通发展。SMA-10 的渗水系数为 52 mL/min, 符合规范要求标准, 而 NovaChip 和 UTAC-10 的渗水系数均大于了 120 mL/min, NovaChip 甚至达到了 1 608 mL/min。而实践证明, NovaChip 和 UTAC-10 的施工工艺是可以减小渗水系数的。例如 NovaChip 采用一体化施工, 在乳化沥青封层破乳前, 即摊铺磨耗层混合料, 通过虹吸作用, 乳化沥青上升到磨耗层中, 对空隙进行封堵, 起到了防水效果。可见, 渗水系数与混合料空隙率指标相关性很好, 在磨耗层混合料设计时, 通过空隙率的控制即可降低渗水系数, 也因为磨耗层渗水状况又与其施工工艺有关, 因此, 以空隙率为控制指标的磨耗层混合料设计, 可不将渗水系数作为超薄磨

耗层混合料性能的评价指标。

3.2 抗滑性能试验

采用轮碾成型的 300 mm × 300 mm × 50 mm 车辙板进行人工铺砂试验^[8]。铺砂试验结果如表 4 所示。可以看出, 3 种沥青混凝土的构造深度均较大, 其中 NovaChip 的构造深度达到 1.43 mm, 这与其最大公称粒径较大有关。3 种沥青混凝土的构造深度均大于 1 mm, 满足文献[3]中构造深度不小于 0.55 mm(年降水量大于 1 000 mm 地区)的要求, 以构造深度控制混合料的抗滑性能指标显得比较宽泛, 此外, 混合料在高温车辆荷载作用下, 表面会致密, 导致初期构造深度合格, 后期难以满足要求的现象, 因此, 将构造深度作为超薄磨耗层材料性能评价指标显然是不适宜的。

表 4 3 种磨耗层构造深度

混合料类型	构造深度/mm
SMA-10	1.13
UTAC-10	1.25
NovaChip	1.43

为了研究 3 种沥青混合料面层抗滑性能随交通荷载及车轮磨耗揉搓与磨光作用的衰减程度, 设计了室内磨耗试验^[9], 方法如下:

按照文献[5]中 T0703—2011 方法轮碾成型 300 mm × 300 mm × 50 mm 的车辙板。为了防止在加速磨耗过程中温度过高造成的试件永久变形对试验结果产生影响, 选定 30 °C 为试验温度。

应用车辙仪对试件表面进行碾压, 碾压范围为去掉试件左右边缘 50 mm 后的区域, 以消除两侧碾压不实对实验结果产生的影响。碾压过程中, 车辙仪胶轮左右移动, 路线如图 4 所示, 以模拟交通荷载对路表产生的揉搓, 试验结果如表 5 所示。

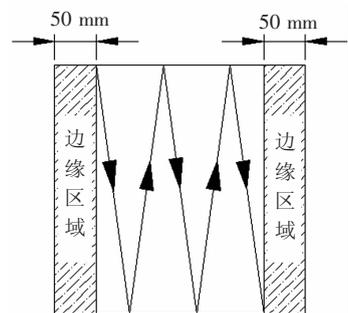


图 4 轮载作用路线示意图

由结果可以看出, 3 种沥青混合料的摆值随磨耗次数的增加都呈下降趋势。从初始摆值来看, SMA-10 的最高, UTAC-10 的最低, 但是随着磨耗的进行, SMA-10 的摆值降低幅度最大, 达到了 24.2 BPN, 而 UTAC-10 的衰减幅度仅 11.0 BPN。

由此可知,评价混合料表面抗滑性能如果仅仅看初始摆值只能反初期性能,而不能反映路面使用过程中抗滑性能的发展趋势,因此在评价磨耗层抗滑能力时应采用表征抗衰减能力的指标.

表5 随磨耗次数的摆值变化

磨耗次数	摆值/BPN		
	SMA-10	UTAC-10	Type-C
0	102.4	94.6	98.7
100	—	—	91.6
200	93.2	90.2	91.4
400	83.8	90.2	87.8
600	81.0	86.6	78.6
800	79.8	—	81.8
1 000	78.2	83.6	75.8

4 超薄磨耗层抗水损害性能

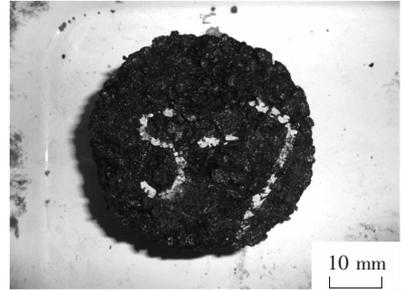
4.1 飞散试验

为形成较大的表面构造深度,增强抗滑性能,超薄磨耗层的空隙较大,雨水极易渗入磨耗层内部,在车辆荷载作用下形成动水压力,使得集料与沥青粘结力不足剥落,形成坑槽病害,影响路面的使用.为此,本文设计了3种试验条件的飞散试验来验证超薄磨耗层的抗剥落性能:1)标准飞散试验.即采用文献[5]中 T0733—2011 的方法进行飞散试验.2)浸水飞散试验.考察试件在热水中膨胀及沥青粘结力下降时混合料的抗飞散性能,在(60±0.5)℃的恒温水槽中养生48 h,再取出采用文献[5]中 T0733—2011 的方法进行飞散试验.3)冲刷飞散试验.将试件在98.3~98.7 kPa气压下真空饱水后行动水冲刷(温度20℃、冲刷压强为0.8 MPa、冲刷时间为30 min),再按照文献[5]中 T0733—2011 的方法进行飞散试验.

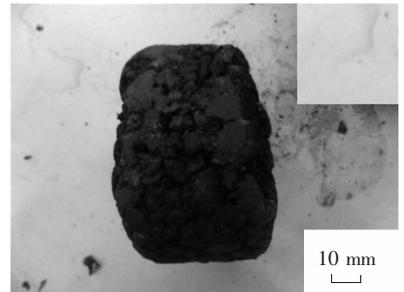
图5为飞散试验前后试件对比的代表试件图片,试验完毕后观察可知,3种混合料试件基本完整,无碎块.

图6为3种混合料的飞散损失比,可以看出,3种飞散试验所反映出的混合料抗水损害性能规律一致.由于SMA-10中纤维的存在,3种试验条件下SMA-10的飞散损失均小于其他两种混合料;在同一试验条件下,由于NovaChip的空隙率较大,飞散损失均最大,相对标准飞散试验条件其他两种试验条件下NovaChip的飞散损失增量最大,浸水飞散试验的飞散损失增量和UTAC-10相当.所以,可以说明NovaChip混合料抗水损坏能力受动水影响较其他两类型混合料大,不适宜用在动

水作用较大的环境.3种飞散试验可作为根据水损环境选择磨耗层材料类型的依据,但考虑到纤维对SMA-10飞散试验结果影响较大,所以不将飞散损失作为水损害性能评价的指标.



(a) 飞散试验前



(b) 飞散试验后

图5 飞散前后试件对比

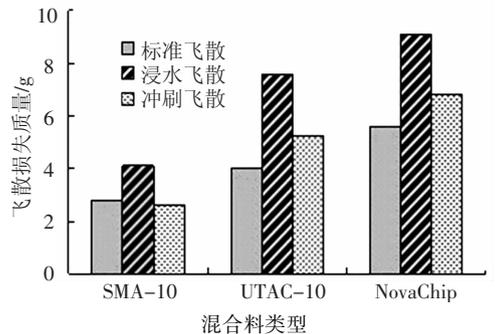


图6 飞散损失对比图

4.2 冻融劈裂试验

冻融劈裂试验是通过试件冻融浸水前后的抗压强度比来评价沥青混合料的水稳定性,我国的冻融劈裂试验方法是从AASHTO T283试验发展演变而来的.试验时采用文献[5]中 T0729—2000 的方法进行,试验结果如表6所示.

表6 冻融劈裂试验结果

混合料类型	劈裂强度/MPa	冻融劈裂强度/MPa	冻融劈裂强度比/%
SMA-10	0.595 9	0.519 2	87.1
UTAC-10	0.828 9	0.701 8	84.7
NovaChip	0.437 3	0.373 7	85.4

从表6可知,SMA-10的冻融劈裂强度比最高,UTAC-10与NovaChip的冻融劈裂强度比相当.但是,从冻融劈裂强度来看,UTAC-10最高,其

他两种沥青混合料的冻融劈裂强度值均较低. 可见, 冻融劈裂强度比作为抗水损害性能的评价指标和冻融后劈裂强度可反映混合料的冻融后抗裂性能的指标所反应的规律不一致, 因此, 要兼顾考虑两个指标来评价超薄磨耗层的水稳定性.

5 多指标性能综合分析

超薄磨耗层的路用性能要求是相互矛盾、相互制约的, 如抗滑性能好, 表面构造丰富, 则容易

表 7 3 种磨耗层沥青混合料性能多指标综合分析

功能要求	试验	建议指标	性能权值		
			SMA-10	UTAC-10	NovaChip
低温性能	约束试件温度应力	冻断温度	1	2	3
		冻断强度	1	2	3
表面功能	摆式摩擦试验	摆值	1	3	2
		摆值衰减程度	3	1	2
抗水损害	冻融劈裂试验	劈裂强度	2	1	3
		冻融劈裂强度比	1	3	2
综合性能	—	权值总和	9	12	15

由表 7 可知, 建议指标下的综合性能表明, 3 种沥青混合料中 SMA-10 的性能最优, NovaChip 的性能最差. 这与单项指标比较结果有所不同, 如 UTAC-10, 其抗滑衰减性能及劈裂强度值最大, 摆值和冻融劈裂强度比最小, 但其综合性能居中, 说明采用权值总和评价沥青混合料的性能可排除单一指标选择混合料类型带来的片面性.

6 结 论

1) 由 3 种混合料低温性能试验结果可知, 冻断温度和冻断强度作为评价超薄磨耗层材料低温性能指标平行性很好. 混合料低温抗裂性能从好到差排序依次为: SMA-10, UTAC-10 和 NovaChip Type-C.

2) 由表面性能研究结果可知, NovaChip 的渗水性很大, 表面构造深度最大. SMA-10 抗滑衰减速度最快, UTAC-10 最慢. 以初始摆值结合抗滑衰减程度作为评价超薄磨耗层的抗滑能力的指标比较科学.

3) 抗水损害性能试验表明, SMA-10 表现出了优良的抗水损坏性能. 冻融劈裂强度比和冻融劈裂强度须结合起来评价超薄磨耗层材料的抗水损害能力.

4) 根据所提出的超薄磨耗层沥青混合料性能评价指标, 对超薄磨耗层混合料综合性能优劣排序, 顺序为: SMA-10、UTAC-10 和 NovaChip Type-C.

使得表面透水能力强, 抗水损害能力不足. 因此, 为了使 3 种混合料在路用性能上各自找到最佳结合点, 在认为各项指标同等重要的前提下, 在同一功能要求, 相同建议指标数目下, 对本文建议的性能评价指标加以汇总, 使用简单的加权方法, 通过对各项指标下各类型超薄磨耗层沥青混合料进行排序, 对上述诸多指标进行综合分析评价混合料类型, 权值总和越小, 表明混合料综合性能越优越, 分析结果如表 7 所示.

参考文献:

- [1] NF P 98-137-1992. Asphalt-surface courses: very thin layer asphalt concrete-definition-classification characteristics-manufacturing-laying[S]. Paris: AFNOR, 1992.
- [2] BROSEAUD Y, BELLANGER J, GOURDON J. Thinner asphalt layers for the maintenance of French roads [J]. Transportation Research Record TRR-1334, 1992 (8): 9-12.
- [3] JTG D50—2006. 公路沥青路面设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [4] KANERVA H K, VINSON T S, ZENG H. Low-temperature cracking: field validation of the thermal stress restrained specimen test [R]. Washington DC: Strategic Highway Research Program National Research Council, 1994, 401: 116-119.
- [5] JTJ E20—2011. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [6] 谭忆秋, 张磊, 柳浩, 等. 基于约束试件温度应力试验评价几种沥青混合料的低温性能[J]. 公路, 2010 (1): 171-174.
- [7] 刘朝晖, 沙庆林. 超薄层沥青混凝土 SAC-10 矿料级配比较试验研究[J]. 中国公路学报, 2005, 18(1): 7-13.
- [8] 南雪峰, 王莹. 超薄磨耗层组成材料选择标准的研究[J]. 北方交通, 2009(4): 208-212.
- [9] 姚李. 沥青混合料按功能设计指标研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.

(编辑 魏希柱)