

## 超薄磨耗层沥青混合料路用性能试验研究

程永春, 付极, 刘寒冰, 毕海鹏  
(吉林大学, 吉林省 长春市 130025)

**摘要:** 分析长春至四平高速公路沥青路面病害和大修工程中存在的实际问题, 应用超薄磨耗层提高表面层的抗永久变形能力和路表服务功能, 通过试验验证了其高温稳定性、水稳定性和抗冻性满足寒冷地区沥青路面路用性能的要求。采用 Simple Performance Test (SPT) 中的单轴静载蠕变试验评价超薄磨耗层沥青混合料高温稳定性能, 提出了在一定温度和应力水平下反映沥青混合料流变属性的归一化蠕变函数, 使蠕变规律可由归一化模型描述, 直观地反映出超薄磨耗层沥青混合料的蠕变特性。试验路检测结果表明, 超薄磨耗层是寒冷地区高速公路大修工程很有推广前途的一种养护罩面形式。

**关键词:** 超薄磨耗层、沥青混合料、路用性能、单轴静载蠕变、归一化蠕变函数

## Experimental Study on Pavement Performance of Ultra-thin Layer HMA

CHENG Yong-chun<sup>1</sup>, FU Ji<sup>2</sup>, BI Hai-peng<sup>3</sup>

(1. transportation college, Jilin university, Changchun, 130041, china;  
2.Changchun municipal bureau of communications, Changchun, 130041, china)

**Abstract:** This paper analyzes the preactical issue of pavement damage and maintain project on changchun-siping superway. Improve the high temperature stability、moisture stability and frost-proof property by using ultra-thin layer HMA. Pavement performance at high temperature of ultra-thin layer HMA is Evaluated by static uniaxial creep test on simple performance test (SPT).The normalization creep function reflecting the rheologic property of HMA at some temperature and level stress is defined to describe the creep disciplinarian. By contrasting experimentation date the normalization creep function can efficiently reflect the creep property of ultra-thin layer HMA. The field date indicated that the ultra-thin layer HMA is an efficiently outlooking maintainment style in cold area.

**Key words:** ultra-thin layer; HMA (hot mix asphalt); pavement performance; static uniaxial creep test; normalization creep function

## 0 前言

长春至四平高速公路是吉林省第一条高速公路, 全长 135 公里, 建成通车近十年, 已经进入大修养护周期, 车辙、水损害和表面功能衰减是路面病害的主要形式。近几年的养护维修工程基本上采用传统的铣刨修补, 加铺罩面的方法, 厚度为 15 厘米, 上面层采用 5cmAC16 (5%SBS), 下面层采用 10cm AC25(3%SBS)。但在实际施工中并不能排除各种潜在病害的发生, 近两年来愈演愈烈, 局部重交通路段甚至达到一年铣刨一次的地

步。

对于半刚性基层沥青路面来说, 既然半刚性基层和底基层是路面的主要承重层, 面层主要是使用功能作用, 那么解决问题的方法就应该是明确沥青面层中各个层位的作用, 在满足结构功能的前提下, 充分发挥表面层的使用功能(抗车辙、抗滑、减噪等)<sup>[1,2]</sup>。薄层沥青混凝土磨耗层由于性能优越、施工方便、厚度薄、造价低, 兼具了几方面的优点, 逐渐发展成为一种很有前途的高等级公路养护罩面型式。

薄层沥青混凝土首先产生于 20 世纪 70

基金项目: 博士学科点基金 (20050183037)

作者简介: 程永春 (1961-), 男, 吉林长春人, 教授, 博士生导师, 研究方向为道路工程材料理论与试验研究。

(chengyc@jlu.edu.cn)

年代后期的法国，用于沥青路面表面功能的恢复，主要是抗滑性能的恢复，后来也用于新建沥青路面的表面抗滑磨耗层。它具有表面处治的全部优点，而没有表面处治需要后续保养的缺点，在一定程度上还可以调整旧路面的不平整度。这种薄层沥青混凝土磨耗层采用小粒径、多碎石、断级配沥青混合料，代表厚度为 1.5-2 厘米，具有构造深度大，抗滑性能好、行车噪声低的特点，很适用于重交通道路的面层养护。因此，对超薄磨耗层沥青混合料的路用性能进行试验研究，评价其作为寒冷地区沥青路面表面层的使用效果具有十分重要的现实意义。

1 原材料及配合比设计

由于磨耗层处于上面层，受荷载与自然界和行车荷载的影响大，因此对沥青与粗集料的要求较高，一般采用软化点和 60℃ 粘度指标较高的改性沥青，对粗集料的压碎值也有较高要求。

本次试验沥青采用 SBS 改性沥青，其各项指标符合规范要求。粗集料冲击值为 3.5%，磨耗值为 9%，压碎值为 12%。级配曲线见图 1：

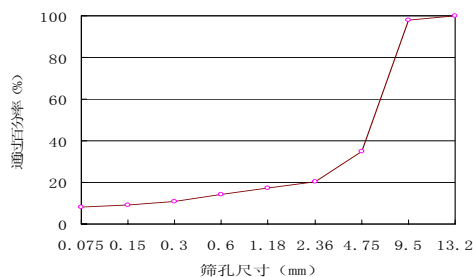


图 1 超薄磨耗层沥青混合料级配曲线  
马歇尔试验指标见表 1：

表 1 马歇尔试验指标

沥青含量 (%)	VV (%)	VMA (%)	VFA (%)	稳定度 (KN)	流值 (mm)
4.2	8.33	19.06	0.56	12.5	16.11
4.5	7.93	19.37	0.59	11.98	18.26
4.8	7.34	19.48	0.62	10.74	18.5
5.1	6.49	19.33	0.66	11.05	19.44
5.4	6.33	19.85	0.68	10.48	23.08

混合料的主要物理指标见表 2：

表 2 混合料的主要物理指标

最佳沥青用量 (%)	密度 (g/cm³)	空隙率 (%)
4.6	2.4	7.8

2 路用性能试验

进行高温稳定性（车辙）、水稳定性（浸水马歇尔、冻融劈裂）和抗冻性（10 次冻融循环劈裂）试验，检验磨耗层的路用性能。

2.1 车辙试验

试验条件：温度为 60℃，轮压为 0.7Mpa，永久变形时间为 2 小时。试验结果见表 3：

表 3 车辙试验结果

永久变形 (mm)	动稳定度 (KN)
2.731	3886

2.2 浸水马歇尔试验

试验条件：采用马歇尔试件，击实次数为双面各 75 次。加载速率为 50 mm/min。在 60℃ 水浴中浸泡 48 小时后测试。

试验结果见表 4：

表 4 浸水马歇尔试验结果

	MS <sub>1</sub> (KN)	MS (KN)	MS <sub>0</sub> (%)
浸水马歇尔	8.34	10.37	80.4

2.3 冻融劈裂试验

试验条件：采用马歇尔试件，击实次数为双面各 50 次。加载速率为 50 mm/min。

饱水方法：将试件随机分为两组，一组在室温下保存，另一组采用真空饱水（在 98.3-98.7kpa（730-740mmHg）真空条件下保持 15min，然后打开阀门恢复常压，试件在水中放置 0.5h，先在 -18℃ 中恒温 16 h，然后在 60℃ 水浴中浸泡 24 h，再在 25℃ 水中浸泡 2 h 后测试。试验结果见表 5：

表 5 冻融劈裂试验结果

	R <sub>T2</sub> (MPa)	R <sub>T1</sub> (MPa)	TSR (%)
1 次冻融	0.85	0.92	92.3

2.4 抗冻性试验

依据《公路工程抗冻设计与施工技术指南》第 5.2.5 条，进行 10 次冻融循环劈裂试验，验证季节性冰冻地区表面层沥青混凝土的抗冻性能，同时进行 5 次冻融循环对比。

指南要求见表 6:

表 6 抗冻性试验要求

技术指标 公路及冰冻等级	10 次冻融残留劈 裂强度 (%)
中、重冻区的高速、一级公路	≥ 50
中、重冻区的二级公路、轻冻 区二级及以上公路	≥ 40

试验条件: 试件采用马歇尔试件, 击实次数为双面各 50 次。加载速率为 50 mm/min。

饱水方法: 将试件随机分为两组, 一组在室温下保存。另一组采用真空饱水 (在 98.3-98.7kpa (730-740mmHg) 真空条件下保持 15min, 然后打开阀门恢复常压, 试件在水中放置 0.5h), 先在 -20℃ 中恒温 16h, 然后在 60℃ 水浴中浸泡 8h, 如此 10 次 (5 次) 循环, 在 60℃ 水浴中浸泡 24h。将第一组与第二组在 25℃ 水中浸泡 2 小时后测试。试验结果见表 7:

表 7 抗冻性试验结果

	$R_{T2}$ (Mpa)	$R_{T1}$ (Mpa)	TSR (%)
10 次冻融	0.53	0.92	57.6
5 次冻融	0.74	0.92	80.4

路用性能试验结果表明, 磨耗层沥青混合料的高温稳定性、水稳定性和抗冻性指标均满足有关规范要求, 可作为寒冷地区沥青路面表面层使用。

### 3 单轴静载蠕变试验的归一化分析

单轴静载蠕变试验与车辙、弯曲蠕变、三轴试验等相比, 方法简单适用, 数据稳定, 能够反映出实际沥青混合料路面在温度和车轮荷载作用下变形的累积效应, 是评价沥青混合料高温稳定性能的有效手段。在研究方法上, 文献分别采用旋转压实和静压成型试件进行单轴静载蠕变试验, 试件尺寸分别为  $\Phi 150 \times 115^{[3]}$ 、 $\Phi 150 \times 100^{[4]}$ 、 $\Phi 150 \times 90^{[5]}$ 、 $\Phi 100 \times 100^{[6]}$  和  $\Phi 100 \times 200^{[9]}$ , 由于试件规格、尺寸不一致, 很难进行统一的比较, 采用 superpave SPT<sup>[7]</sup> 中的单轴静载蠕变试验方法, 使试件的成型方式和尺寸具有统一性, 试验数据也具有可比性; 在混合料类型上,

文献分别对 AC13 I<sup>[3]</sup>、SMA16<sup>[3]</sup>、AK16C<sup>[4]</sup>、AC25<sup>[6]</sup>、AC20<sup>[8]</sup>、和 LSM<sup>[9]</sup> 型沥青混合料进行了单轴静载蠕变试验分析, 但对超薄磨耗层沥青混合料的单轴静载蠕变试验研究甚少。

在一定的温度和应力条件下, 沥青混合料的蠕变结果具有明显的规律性。如果将蠕变指标看成是沥青混合料的内在性质, 把应力看作为表现蠕变性质的手段, 就可以用只代表流变属性的某种统一形式来描述蠕变过程, 从而反映出在一定的试验温度和应力水平下, 只与加载时间有关的蠕变规律。因此, 采用 SPT 单轴静载蠕变试验方法并在试验基础上提出归一化的蠕变函数, 对于评价超薄磨耗层沥青混合料的高温稳定性能具有重要意义。

#### 3.1 单轴静载蠕变试验

试件采用旋转压实仪 (SGC) 成型, 直径 100mm, 高 150mm, 设计压实次数 100 圈, 旋转角度 1.25°。

采用英国 cooper 公司生产的 NU-10 气动多功能伺服压力机进行试验。试件上下两个端面应平行, 为防止端面摩擦力的影响, 在试件两端垫上聚四氟乙烯薄膜。试验温度 40℃, 应力 0.2Mpa, 蠕变时间为 60 min。试件在规定试验温度下保温不少于 4 小时, 预加载 (5%  $\sigma_0$ ) 10 分钟, 瞬时施加到所要求荷载并持载 3600s, 测量并记录试验全过程试件变形随时间变化的数据。蠕变数据见图 2。

#### 3.2 归一化蠕变模型

一般情况下, 拉伸蠕变的归一化蠕变函数  $J(t)$  反映试样在蠕变某一时刻的长度与原长度之比, 即

$$J(t) = \frac{L(t)}{L(0)}$$

式中:  $L(t)$  为试件在蠕变某一时刻的长度,  $L(0)$  为试件原长度。

但对于压缩变形, 试件高度随时间下降, 在此定义:

$$J(t) = \frac{L(0)}{L(t)}$$

式中符号意义同前。在直角坐标系中,

可直观反映出蠕变量随时间的变化情况。

根据蠕变试验结果的规律,破坏前的蠕变过程分为蠕变迁移期(OA段)和蠕变稳定期(AB段)两个阶段<sup>[5]</sup>,见图2:

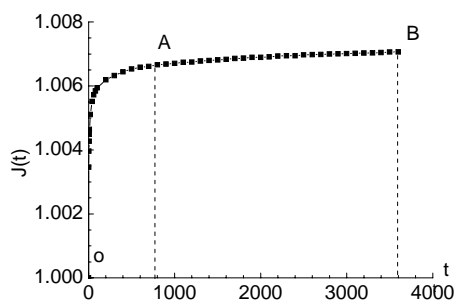


图2 超薄磨耗层沥青混合料的单轴静载蠕变试验

设归一化蠕变函数:

$$J(t) = \begin{cases} 1 & t=0 \\ a+b\arctg(t) & t \in [0,700] \\ c+dt & t \in [700,3600] \end{cases} \quad \dots\dots(1)$$

式中 a,b,c,d 为待定常数。

为确定式中常数,依据试验结果,采用最小二乘法。令:

$$\phi(a,b,c,d) = \sum_{i=1}^n [J(t) - J_{\text{实}}]^2 \quad \dots\dots(2)$$

在(2)式中,分别有

$$\frac{\partial \phi}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial c} = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial d} = 0$$

正则方程为:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n a + \sum_{i=1}^n b(\arctgt) = \sum_{i=1}^n J_{\text{实}} \\ \sum_{i=1}^n a(\arctgt) + \sum_{i=1}^n b(\arctgt)^2 = \sum_{i=1}^n (\arctgt) J_{\text{实}} \\ \sum_{i=1}^n c + \sum_{i=1}^n dt = \sum_{i=1}^n J_{\text{实}} \\ \sum_{i=1}^n ct + \sum_{i=1}^n dt^2 = \sum_{i=1}^n tJ_{\text{实}} \end{cases} \quad \dots\dots(3)$$

将试验结果代入(3)式,得到:

$$\begin{cases} a = 1.0065 \\ b = 1.6135 \\ c = 1.00428 \\ d = 0.00157 \end{cases}$$

将 a,b,c,d 值代入(1)式,有

$$J(t) = \begin{cases} 1 & t=0 \\ 1.0065+1.6135\arctg(0.0175t) & t \in [0,700] \\ 1.00428+0.00157t & t \in [700,3600] \end{cases} \quad \dots\dots(4)$$

(4)式即为超薄磨耗层沥青混合料旋转压实试件在 40℃、0.2Mpa 应力水平下单轴静载蠕变 3600s 的归一化蠕变函数,由图3可见该模型与试验值具有很好的吻合性。不同温度和应力水平的单轴静载蠕变均可依此方法分析。

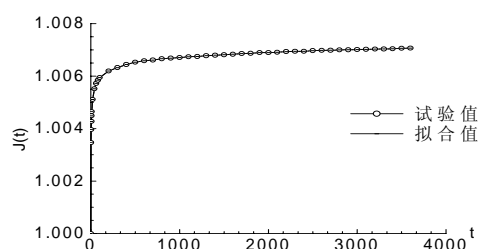


图3 归一化蠕变模型

#### 4、试验路铺筑及检测

2005年7月,在长平高速公路大修工程中铺筑了超薄磨耗层试验段,桩号 k197+060-k197+160,厚度为 2 cm。原设计结构为 5 cm AC16+10 cm AC25,试验段结构为 2 cm超薄磨耗层+5 cm AC16+8 cm AC25,路面总厚度与原设计相同,均为 15 cm。

磨耗层沥青路面的施工与一般沥青混凝土路面施工基本相同,但由于磨耗层沥青混合料的粗集料较多,拌和温度不易控制,因此矿料加热温度应比普通沥青混合料提高 10℃。

试验路施工结束后,对磨耗层及密级配沥青路面进行了抗滑性能(构造深度、摩擦系数)和渗水性能(渗水系数)检测。

##### 4.1 抗滑性能

采用铺砂法和摆式摩擦系数测定仪测定构造深度和摩擦系数。从表 8 可以看出,与密级配沥青路面相比,磨耗层的表面构造深度提高 78%,摩擦系数提高 6%,显著提高了路面的抗滑能力。



表8 抗滑摩擦系数对比

	磨耗层	AC-16
构造深度 (mm)	0.796	0.447
摩擦系数	0.86	0.81

#### 4.2 渗水性能

应用路面渗水仪测定沥青路面的渗水系数。经检测, AC-16 密级配混合料基本不透水, 磨耗层路面直接透水, 无法进行渗水系数测定。由于试验路中磨耗层下面的 AC16 密级配混合料不透水, 可防止水向下渗透, 并且磨耗层的车辙、水稳定性和抗冻性指标均满足规范要求, 因此可为路表提供优良的服务功能。

试验路运行一年后, 磨耗层路段依然平整密实, 没有剥落现象, 保持着良好的构造深度和抗滑性能, 而与之相邻的密级配混合料路面已能明显看到渠化交通轮迹处的车辙印迹。超薄磨耗层的长期使用效果还有待于进一步的检验。

#### 5 结论

(1) 超薄磨耗层具有构造深度大、抗车辙、抗水损害、抗冻等技术性能, 适用于寒冷地区提高路表服务功能的养护维修工程, 也可用于新建公路。

(2) 采用 SPT 单轴静载蠕变试验方法评价超薄磨耗层沥青混合料的高温稳定性, 试验方法简单可靠, 试样标准统一, 试验结果具有可比性。归一化蠕变函数能够直观地反映出沥青混合料在一定的试验温度和应力水平下与加载时间有关的蠕变规律, 方程简单实用, 拟合结果与变形规律吻合性好。

(3) 超薄磨耗层须铺筑在路面结构强度和下承沥青面层的高温变形能力满足要求的路面上。下层宜采用密实、不透水的密级配形式, 以利于突出磨耗层的表面功能作用, 将路面的使用功能与沥青面层的整体受力有机地结合在一起。

#### 参考文献:

- [1] 刘少伟, 等. 五种方案薄层沥青混凝土罩面试验段的比较分析和评价[A]. 中国公路学会 2005 年学术年会论文集[C]. 2005. 143—147.
- [2] 王旭东. 超薄沥青混凝土抗滑表层技术研究[A]. 2002 年道路工程学会交流会论文[C]. 2002. 115—119.
- [3] 魏密, 周进川. 旋转压实试件的高温蠕变特性研究[J]. 重庆交通学院学报, 2004, 10: 5—9.
- [4] 张志祥, 等. 沥青混合料高温性能的试验研究[J]. 华东公路, 2002, 1: 16—19.
- [5] 周晓青, 等. 基于蠕变试验分析沥青路面车辙的能量方法[J]. 公路交通科技, 2005, 9: 62—65.
- [6] 李辉, 等. 沥青混合料高温稳定性的单轴静载蠕变试验[J]. 河南科技大学学报, 2006, 6: 48—51.
- [7] Witczak M W, Kaloush K, Pellinen T. Simple Performance Test for Superpave Mix Design[A]. NCHRP report[C]. 2002. 465.
- [8] 张久鹏, 等. 沥青混合料高温性能的流变指标评价[J]. 公路, 2006, 7: 145—148.
- [9] 陆长兵, 等. 大粒径碎石沥青稳定排水基高温稳定性研究[J]. 公路, 2004, 2: 113—117.