

# 高性能热拌超薄罩面制备技术及其在G3京台高速上的应用

杨晓松<sup>1</sup>, 陈晨<sup>2</sup>

<sup>1</sup>安徽皖通高速公路股份有限公司养护管理部, 安徽 合肥

<sup>2</sup>安徽交控工程集团有限公司, 安徽 合肥

收稿日期: 2022年12月14日; 录用日期: 2023年1月12日; 发布日期: 2023年1月19日

## 摘要

随着我国交通飞速发展, 公路运营已经突破500万公里, 其中养护里程接近99%。本文对比高黏高弹改性沥青和高黏改性沥青制备的超薄罩面技术, 结果表明: 两种改性沥青制备的超薄罩面混合料性能均满足超薄罩面技术指标要求, 且添加剂A的加入能够提升超薄罩面的高温性能, 但会影响低温性能。通过G3京台高速超薄罩面工程可以看出, 高黏高弹超薄罩面具有优异的抗滑性能和降噪音功能, 可广泛用于沥青路面抗滑性能提升工程。

## 关键词

热拌, 沥青混合料, 超薄铺装, 高黏高弹, 改性沥青

# Preparation of High Performance Hot-Mix Ultra-Thin Overlay Pavement and Its Application in G3 Jingtai Expressway

Xiaosong Yang<sup>1</sup>, Chen Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maintenance Department of Anhui Expressway Co., LTD. Hefei Anhui

<sup>2</sup>Anhui Transportation Holding Engineering Group Co., LTD., Hefei Anhui

Received: Dec. 14<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jan. 12<sup>th</sup>, 2023; published: Jan. 19<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

With the rapid advancement of transportation industry, highway mileage has exceeded 5 million

文章引用: 杨晓松, 陈晨. 高性能热拌超薄罩面制备技术及其在 G3 京台高速上的应用[J]. 材料科学, 2023, 13(1): 1-11.  
DOI: 10.12677/ms.2023.131001

kilometers. The proportion of maintenance mileage is close to 99%. In this paper, two kinds of ultra-thin overlay pavement prepared by high viscosity and elasticity modified asphalt and high viscosity modified asphalt were compared. Results show that properties of the ultra-thin overlay pavement prepared by those two modified asphalts can meet the technical requirements of ultra-thin overlay. High temperature performances of ultra-thin overlay paving can be improved with the addition of additive A, while low temperature performances are weakened. It can be seen from the application in G3 Jingtai Expressway that ultra-thin overlay pavement with high viscosity and elasticity modified asphalt exhibits excellent anti-skid resistance and noise reduction, which can be widely used in asphalt pavement while anti-skid performance is needed.

## Keywords

Hot-Mix, Asphalt Mixture, Ultra-Thin Overlay Pavement, High Viscosity and Elasticity, Modified Asphalt

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

截止 2020 年年底全国公路通车总里程超过 530 万公里, 其中高速公路总里程达 15.57 万公里[1]。路面结构直接承受荷载和受自然环境因素的作用, 其变形和应力等特征会直接影响路基乃至整个道路。而我国道路普遍面临交通量日益增长、车辆大型化发展、重载超载屡禁不止、渠化交通严重等问题, 沥青路面运营初期易产生松散、裂缝、抗滑性能迅速衰减等表面层功能性损坏, 从而影响路面的使用性能和寿命。针对沥青道路表面层功能性损坏、而路面结构强度良好的问题, 如何对表面层进行预防性养护是一直备受关注的问题。

超薄罩面层是一种特殊的沥青路面耐磨表层, 该技术具有长期的防滑性和密封性优势[2]。20 世纪 80 年代法国成为第一个应用超薄罩面层技术的国家, 主要应用于新路面和旧路面养护[3]。21 世纪以来, 各国都对沥青混合料和路用性能展开了研究[4]-[9], 并对超薄罩面层使用性能的影响因素进行了分析和评价。针对超薄罩面实体工程, 20 世纪末交通部公路所采用断级配密实型的混合料级配原理在济青高速公路和河北京沪高速公路铺设了试验路段。2010 年程永春等[10]针对寒冷地区路面性能要求采用室内实验验证了超薄罩面层的实用性; 2012 年李亚明[11]在对原路面使用状况进行评定后, 从经济效益、社会效益与使用性能等方面将超薄罩面层技术与传统的改性沥青混合料 AC-13 路面进行了对比分析; 2014 年冯明林[12]设计了半开级的高黏高弹沥青混合料, 将其应用在了某旧路改造的实体工程中, 并从社会效应与经济效应两方面分析了其可行性; 2015 年李树宽[13]基于有限单元法软件 ANSYS 仿真了路面在不同温度、不同层间结合状态下的受力状况计算路面层间可能产生的最大剪应力来分析层间粘结力。2017 年吴后选等[14]提出了一种新的路面结构组合, 即将传统的中下面层整合成一层 7 cm 后的中面层再在上面加一层 2.5 cm 厚的超薄罩面层, 针对这一新型路面结构展开了对其路用性能的相关室内实验研究, 并通过铺筑试验段对新型路面结构组合的原材料、施工技术要点以及社会经济效应等进行了归纳总结。2018 年史鹏鸿[15]在超薄罩面层沥青混合料中加入了太钢转炉钢渣研究了其化学组成与力学特性并展开了路用性能分析, 这为超薄罩面层材料的研发提供了一种新的思路。虽然国内超薄罩面已经取得较大进展, 但目前超薄罩面的路用性能依然难以满足我国快速发展的交通需求。

## 2. 材料制备与试验方法

### 2.1. 原材料和设备

高黏高弹改性沥青、玄武岩石料、矿粉等均由安徽交控工程集团有限公司提供; 实验设备包括马歇尔稳定度仪、车辙仪、UTM 等。

### 2.2. 混合料制备

将特定级配石料放于 180℃ 拌锅内搅拌 180 s, 加入高黏高弹改性沥青和矿粉在 180℃ 内拌合 180 s, 取出已经拌合好的混合料放于 185℃ 烘箱内保温 30 min 后成型试件。

### 2.3. 原材料技术指标

1) 高黏高弹改性沥青和添加剂 A 制备复合高黏改性沥青技术指标

UPAVE-10 沥青混合料用高黏高弹改性沥青添加剂 A 复合高黏改性沥青技术指标见表 1 所示。

**Table 1.** Technical specifications of high viscosity and elasticity modified asphalt with Additive A

**表 1.** 添加剂 A 制备复合高黏改性沥青技术指标

检测项目		单位	高黏改性沥青	技术要求
	针入度	0.1 mm	44	≥40
	软化点	℃	101.3	≥80
	5℃延度	cm	35.6	≥30
	弹性恢复	%	82.1	≥75
黏韧性	黏韧性	N·m	23.74	≥20
	韧性	N·m	16.29	≥15
	60℃动力黏度	Pa·s	>400,000	≥20,000
	135℃运动黏度	Pa·s	2.88	≤3.0
	软化点差(后~前)	℃	-2.5	-10~10
RTFOT	弹性恢复	%	81.2	≥65
	5℃延度	cm	22.3	≥20

2) 粗集料

UPAVE-10 沥青混合料用粗集料宜采用洁净、干燥、无风化、无杂质的玄武岩石料, 技术指标见下表 2。

**Table 2.** Technical requirements of coarse aggregate for UPAVE-10

**表 2.** UPAVE-10 用粗集料质量技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
粗集料压碎值	%	≤12	T0316
洛杉矶磨耗损失	%	≤22	T0317
表观相对密度	/	≥2.65	T0304

## Continued

吸水率		%	≤2	T0307
对沥青的粘附性		级	5	T0616
坚固性		%	≤5	T0314
针片状颗粒含量	>9.5 mm	%	≤5	T0312
	<9.5 mm	%	≤12	
细集料砂当量		%	≥60	T0334
软石含量		%	≤3	T0320
集料磨光值		BPN	≥42	T0321

## 3) 细集料

UPAVE-10 沥青混合料中细集料宜使用坚硬的机制砂,也可从洁净石屑中筛取粒径范围 0.5~3 mm 部分作为机制砂使用,技术指标见下表 3 所示。

Table 3. Technical requirements of fine aggregates

表 3. 细集料的技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
表观相对密度	/	≥2.50	T0328
坚固性(>0.3 mm 部分)	%	≤12	T0340
砂当量	%	≥60	T0334
棱角性(流动时间)	s	≥30	T0345
吸水率	%	≤2.0	T0330
亚甲蓝值	g/kg	≤25	T0349

## 4) 填料

沥青铺装层宜采用石灰岩碱性石料经磨细得到的矿粉,矿粉必须干燥、清洁,矿粉质量技术要求见下表 4。

Table 4. Technical requirements of mineral powers

表 4. 矿粉质量技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
视密度	t/m <sup>3</sup>	≥2.50	T0352
含水量	%	≤1	T0103
粒度范围	<0.6 mm	100	T0351
	<0.15 mm	90~100	
	<0.075 mm	75~100	
外观	/	无团粒结块	/
亲水系数	/	<1	T0353
塑性指数	/	<4	T0354

注: 亲水系数宜小于 0.8。

## 5) 级配要求

UPAVE-10 沥青混合料级配要求见表 5。

**Table 5.** Grading requirements of asphalt mixture  
**表 5.** UPAVE-10 沥青混合料级配要求

粒径(mm)	通过下列筛孔(mm)的百分率(%)									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	100	100	55.0	35.0	25.0	18.0	13.0	11.0	7.0
级配下限	100	100	90	40.0	22.0	15.0	10.0	8.0	5.0	4.0
级配中值	100	100	95	47.5	28.5	20.0	14.0	10.5	8.0	5.5
混合料级配	100	100	100	44.6	28.4	19.8	14.0	9.4	7.8	6.4

### 3. 结果与讨论

通过优选高黏高弹改性沥青和添加剂 A 复合高黏改性沥青与特定级配集料, 制备出高性能超薄沥青混合料。通过对比沥青混合料性能, 优选出适用于不同场景的超薄铺装技术。

#### 3.1. 两种改性沥青的热重性能研究

由图 1 可以看出: 高黏高弹改性沥青在 270℃左右出现质量损失, 热重曲线的残留质量比约 17%, 而在 270℃~460℃温度范围内, 沥青热重损失速率逐渐加大, 这是由于高温条件下沥青中轻质组分挥发以及芳烃油开始分解而导致的。初始反应温度为 409℃, 热重损失速率达到最高值时的温度为 459.0℃和 459.5℃, 沥青高温分解过程最为剧烈。在此温度之后, 沥青主要组成部分的分解或者挥发完成, 热重损失速率迅速变小, 此温度之上热重曲线保持稳定。高黏改性沥青在室温至 250℃之间的沥青质量基本没有损失, 在低温区域沥青能保持性能稳定。但是沥青热分解的初始温度比高黏高弹改性沥青稍高, 达到了 413℃, 表明添加剂 A 制备的高黏改性沥青的初始分解温度因为添加剂 A 的掺入而升高, 改性沥青热稳定性更好, 高温性能得到了提升。

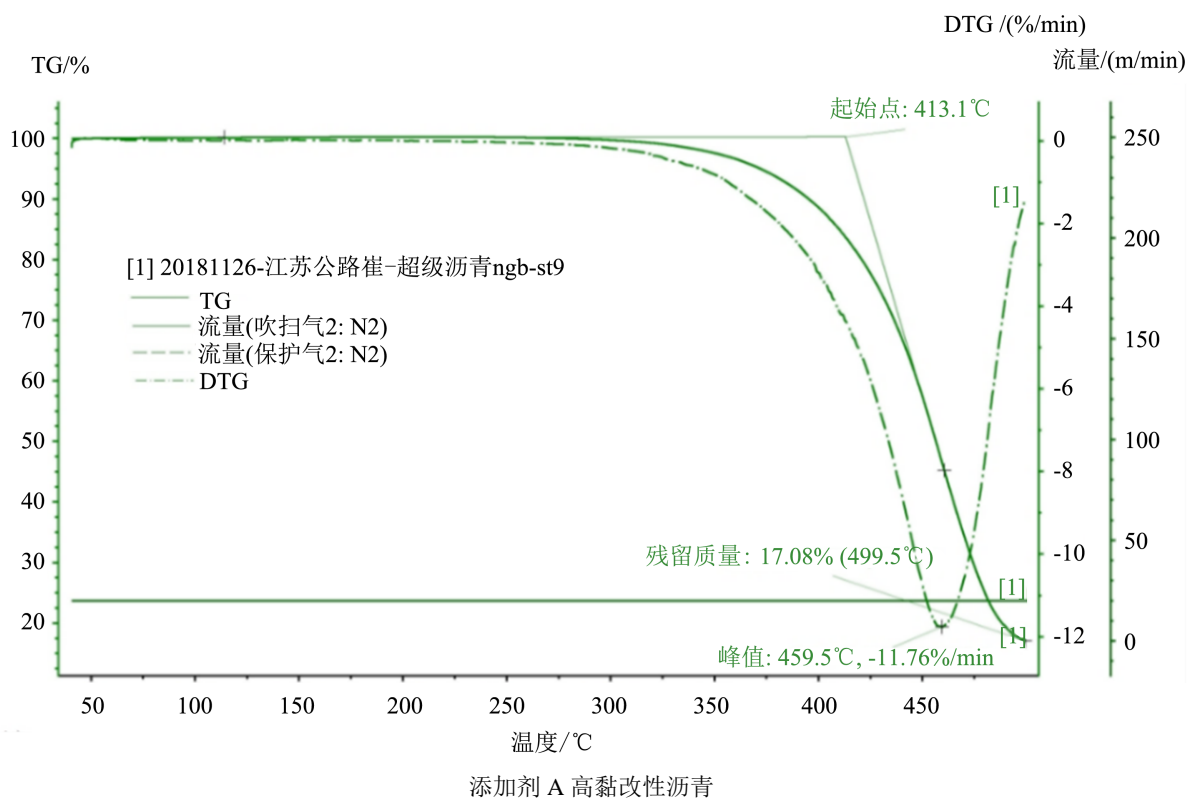
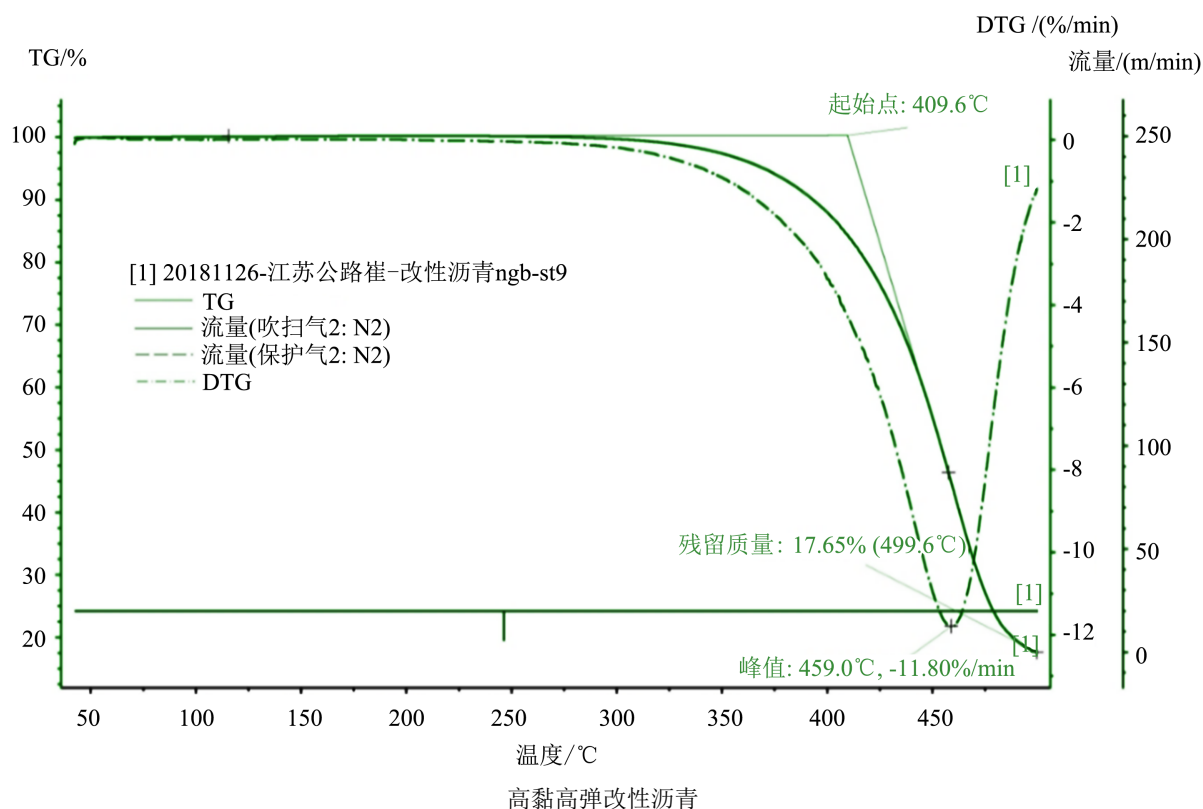
#### 3.2. 改性沥青的混合料性能

##### 1) 马歇尔稳定度

采用马歇尔稳定度作为评价沥青混合料抵抗高温变形能力的指标, 试验操作严格按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)中 T0702 的规定进行, 实验结果见图 2 所示。沥青混合料的马歇尔稳定性可以用于研究分析粘结剂和骨料之间的内聚力和摩擦, 由图 2 可以看出添加剂 A 制备的高黏改性沥青马歇尔稳定度数值稍高于高黏高弹改性沥青, 这也说明添加剂 A 的掺入能改善改性沥青的高温稳定性。

##### 2) 水稳定性实验

沥青路面破坏的形式之一就是水损害, 这是指沥青路面在经过冻融循环或浸水的影响后, 行车荷载在循环作用下, 路面空隙中的水会产生动压力而冲刷或侵蚀沥青混合料, 从而降低沥青的粘附性能, 使得沥青膜与矿料分离脱落, 沥青路面会出现松散和坑槽等病害。混合料的残留稳定度和冻融劈裂强度比是衡量沥青混合料抗水损害性能的关键性指标。实验结果如图 3 所示, 高黏高弹改性沥青的残留稳定度和冻融劈裂强度比均优于高黏改性沥青, 这多是因为添加剂 A 与沥青组分的反应, 增大沥青组分中芳香分子量, 影响芳香分与沥青之间形成的共价键, 进而影响沥青黏附性能。



**Figure 1.** Thermogravimetric properties comparison of two modified bitumen  
**图 1.** 两种改性沥青的热重性能对比

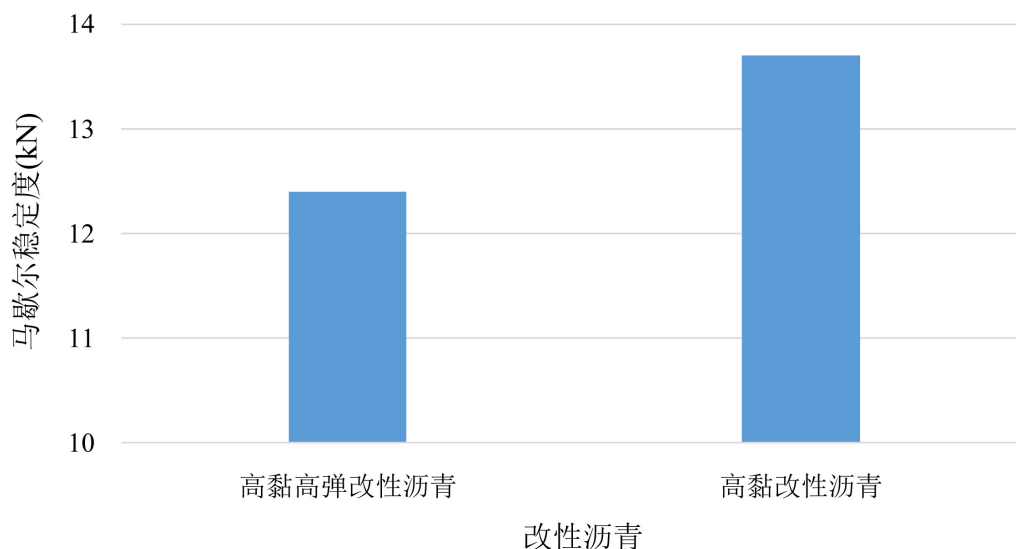


Figure 2. Marshall Stability comparison of two modified asphalts

图 2. 两种改性沥青的马歇尔稳定度对比

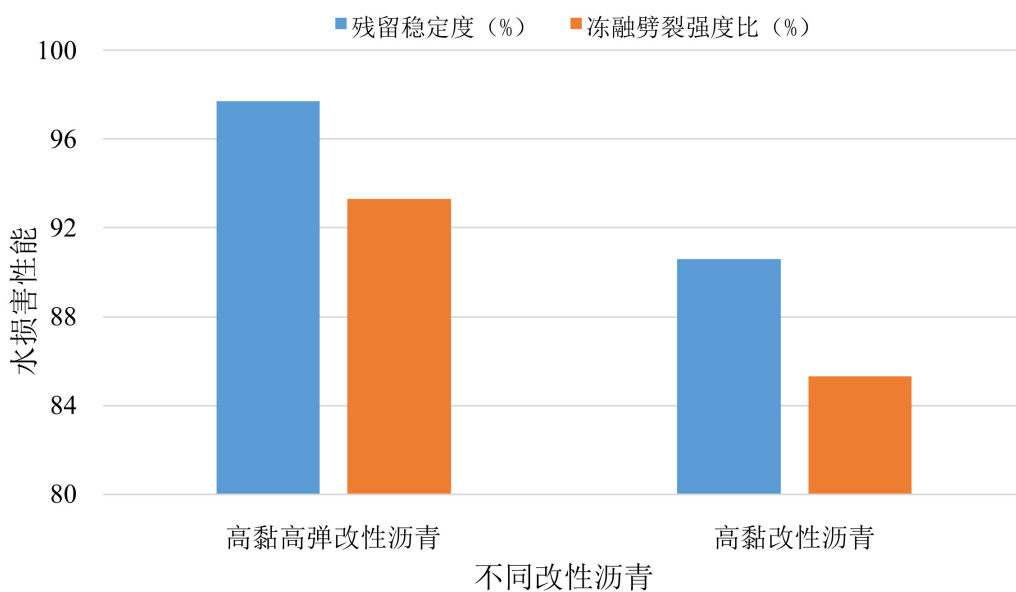


Figure 3. Water damage resistance comparison of two modified asphalts

图 3. 两种改性沥青的抗水损害性能对比

### 3) 高温性能实验

混合料的动稳定度是衡量沥青混合料高温变形的关键技术指标之一，被广泛用于沥青混合料高温稳定性的评价，试验操作严格按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)中 T0719-1993 的方法和要求进行。试验试件(尺寸为 300 mm \* 300 mm \* 50 mm)由轮碾压成型，采用标准马歇尔试件的毛体积相对密度作为控制密度的标准。试件恒温保温 5 小时以上，试验温度为 60℃，轮压为 0.7 MPa，碾压速度为 21 次往返，试验结果如图 4 所示，高黏改性沥青 60℃的动稳定度大于 85,000 次/mm，而高黏高弹改性沥青的动稳定度却不足 6500 次/mm，这说明高黏改性沥青的高温性能显著优于高黏高弹改性沥青混合料，添加剂 A 可以提升沥青混合料的高温性能。



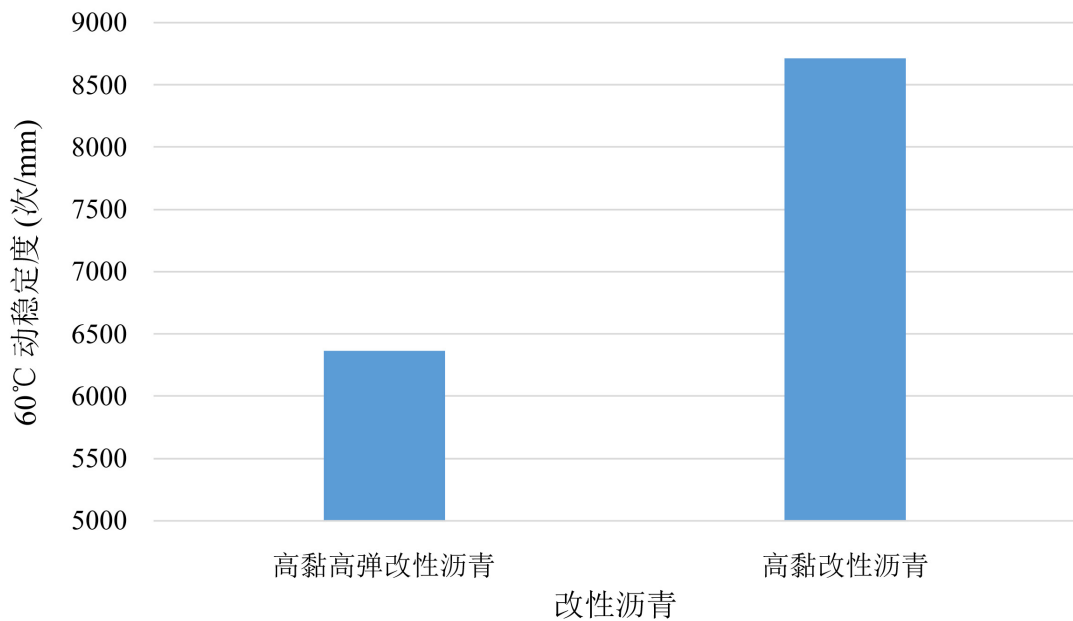


Figure 4. Dynamic stability comparison of two modified asphalts

图 4. 两种改性沥青的动稳定度对比

4) 低温性能

因温差或温度骤降的原因，沥青路面容易产生温度应力和收缩变形，当超过沥青混合料的抗拉强度或收缩变形时，沥青路面会产生低温开裂，这要求沥青混合料具备较好的抗拉强度，或低温下需具备良好的抗变形能力及应力松弛能力。低温弯曲破坏应变是用来评价沥青混合料低温性能的关键性能指标，实验结果如图 5 所示。高黏高弹改性沥青混合料-10°C 的低温弯曲应变比高黏改性沥青混合料的低温弯曲应变高，使得前者的低温性能要优于后者，这说明添加剂 A 的添加会降低高黏改性沥青的低温性能。

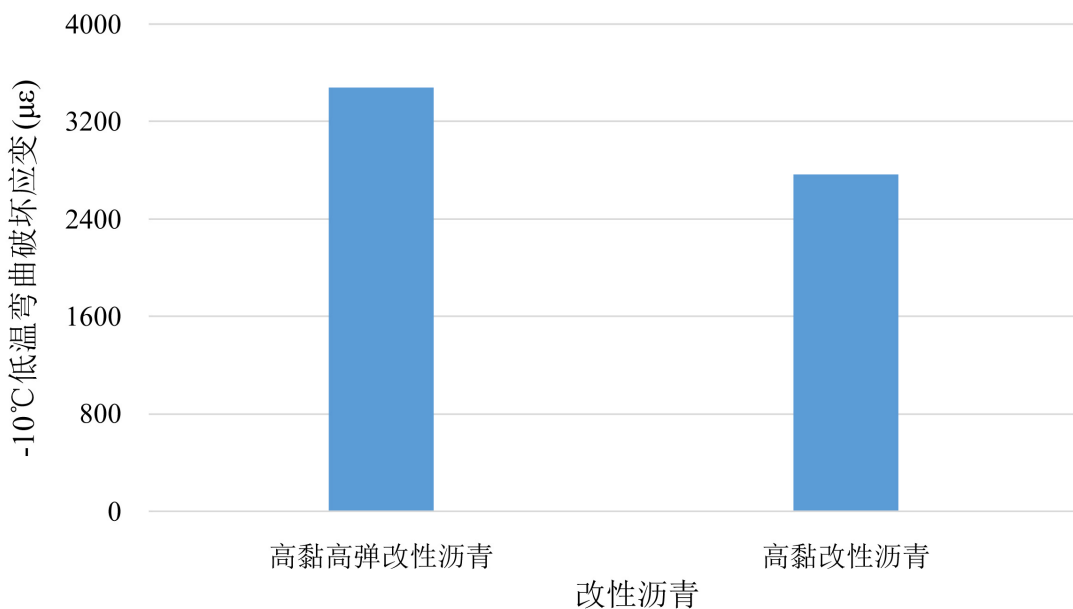


Figure 5. Low temperature performance comparison of two modified asphalt

图 5. 两种改性沥青的低温性能对比



### 3.3. 两种改性沥青的混合料综合性能对比

综合比较高黏高弹改性沥青混合料和高黏改性沥青混合料的性能, 结果如表 6 所示。由表 6 可以看出高黏高弹改性沥青混合料和高黏改性沥青混合料综合性能均能满足技术指标要求, 其中高黏高弹改性沥青混合料的低温性能优于高黏改性沥青混合料, 而高黏改性沥青混合料高温性能要优于高黏高弹改性沥青混合料。这是由于添加剂 A 具有的温拌作用, 能够提升混合料高温性能, 但是会降低改性沥青混合料低温性能。

Table 6. Comprehensive properties of two modified asphalt mixtures

表 6. 两种改性沥青混合料的综合性能

检测项目	单位	高黏高弹改性沥青	高黏改性沥青	技术要求
空隙率(体积法)	%	13.9	11.3	8.0~15.0
马歇尔稳定度	kN	12.4	13.7	>6
析漏	%	0.08	0.03	<0.3
肯塔堡飞散损失	%	1.63	3.14	<8
残留稳定度	%	97.7	90.6	>85
冻融劈裂比 TSR	%	93.3	85.3	>80
60℃动稳定度	次/mm	6364	8712	>3200
-10℃低温弯曲破坏应变	$\mu\epsilon$	3478.3	2765.8	>2500

### 3.4. 高黏高弹改性沥青混合料工程应用

G3 京台高速公路铜庐段与铜汤段是安徽省公路网规划中十字形主骨架南北贯通线的重要组成部分, 其地处平原微丘区, 为双向四车道沥青混凝土路面。2002 年 3 月 1 日开工建设, 2005 年 1 月 9 日建成通车, 通车运营至今已 17 年多时间。路面整体结构性保持良好, 无明显坑塘、车辙、剥落等病害现象, 新建至今仅在行车道应用微表处养护技术。路面病害形式以水稳基层反射裂缝为主, 裂缝间距约 10~20 米, 局部区域存在纵缝。由于高黏高弹改性沥青低温性能由于高黏改性沥青, 而综合安徽 G3 京台高速铜庐段与铜汤段天气、交通量、路况特点选择了高黏高弹改性沥青超薄铺装技术, 具体施工效果如下图 6。



Figure 6. Ultra-thin overlay pavement of high viscosity and elasticity modified asphalt  
图 6. 高黏高弹改性沥青超薄罩面施工效果图

施工后对高黏高弹改性沥青超薄罩面施工的路面进行了现场渗水、钻芯取样以及构造深度等检测, 具体结果见表 7。

**Table 7.** Field test results  
**表 7.** 现场检测结果

检测项目	单位	检测结果	技术要求
渗水系数	ml/min	1276	≥200
压实厚度	cm	1.8	1.8
构造深度	mm	0.92	≥0.45
摩擦摆置	BPN	93	≥45
噪音降低率	dB	3~4	/

由表 7 可以看出: 现场检测结果满足设计文件中的技术指标要求, 高黏高弹改性沥青超薄罩面具有优异的抗滑性能和降低噪音的功能。

#### 4. 结论

通过对高黏高弹改性沥青超薄混合料与添加改性剂 A 的高黏改性沥青超薄混合料性能对比, 可以得到如下结论:

1) 通过热重性能分析可以看出, 添加改性剂 A 制备的高黏改性沥青相较于高黏高弹改性沥青初始分解温度提升了 5°C, 由此可知高黏改性沥青相较于高黏高弹改性沥青具有较好的高温性能。

2) 通过混合料性能对比可以看出: 高黏高弹改性沥青超薄罩面的低温性能明显优于添加剂 A 高黏改性沥青制备的超薄罩面, 但是高黏高弹改性沥青超薄罩面的高温性能低于添加剂 A 高黏改性沥青制备的超薄罩面, 无论是采用高黏高弹改性沥青还是高黏改性沥青制备的超薄罩面, 两种技术均能满足技术指标要求。

3) 通过 G3 京台高速铜庐段与铜汤段现场路况、天气等优选高黏高弹改性沥青超薄罩面, 现场应用效果良好, 通过现场检测发现高黏高弹改性沥青超薄罩面具有较好的抗滑性能和降低噪音功能。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 交通概况[EB/OL]. <http://www.mot.gov.cn/jiaotonggaikuang/>, 2022-05-26.
- [2] Pretorius, F.J., Wise, J.C. and Henderson, M. (2004) Development of Application Different Lated Ultra-Thin Asphalt Friction Courses For Southern African Application. *Proceedings of the 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*, Sun City, 12-16 September 2004.
- [3] Kandal, P.S. and Larry, L. (1997) Construction and Performance of Ultrathin Asphalt Friction Course. National Center for Asphalt Technology, Auburn.
- [4] Rahman, F., Hossain, M., Romanoschi, S.A., et al. (2011) Optimized Design for 4.75-mm NMA Super Pave Mix Thin Overlay. *1st Congress of Transportation and Development Institute*, Chicago, 13-16 June 2011, 428-437. [https://doi.org/10.1061/41167\(398\)42](https://doi.org/10.1061/41167(398)42)
- [5] Ding, T.T, Sun, L.-J. and Chen, Z. (2012) Performance Evaluation and Life Prediction on Novachip Application in Preventive Maintenance. *The 12th COTA International Conference of Transportation Professionals*, Beijing, 3-6 August 2012, 3084-3094.
- [6] Coleri, E., Harvey, J.T., Yang, K. and Boone, J.M. (2013) Micromechanical Investigation of Open-Graded Asphalt Friction Courses' Rutting Mechanisms. *Construction and Building Materials*, **44**, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.027>
- [7] Yang, Y.H, Shen, Y. and Gao, X.X. (2014) Analysis Interlayer Shear Stress of Ultra-Thin Wearing Course Considering

- 
- Temperature and Different Inter-Layer Contact Conditions. *Applied Mechanics and Materials*, **505-506**, 102-105. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.505-506.102>
- [8] Liu, X.S, Yu, H.C. and Miao, H.Y. (2016) Preventive Maintenance Decision Making of Asphalt Pavement Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method. *Transportation Research Congress 2016*, Beijing, 6-8 June 2016, 272-279.
- [9] Wan, J.M, Xiao, Y., Song, W., et al. (2018) Self-Healing Property of Ultra-Thin Wearing Courses by Induction Heating. *Materials*, **11**, 1392-1405. <https://doi.org/10.3390/ma11081392>
- [10] 程永春, 付极, 刘寒冰, 等. 超薄磨耗层沥青混合料路用性能试验研究[J]. 公路, 2008(3): 13-16.
- [11] 李亚明. 超薄磨耗层的研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.
- [12] 冯明林. 高弹高粘沥青超薄磨耗层在道路改造工程中的应用[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- [13] 李树宽. 超薄磨耗层在辽宁省高速公路养护工程中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [14] 吴后选, 袁怡, 邢成炜, 等. 新型高速公路沥青面层结构组合设计研究[J]. 中外公路, 2017, 37(6): 55-60.
- [15] 史鹏鸿. 太钢转炉钢渣做集料的超薄磨耗层性能研究[J]. 北方交通, 2018(3): 122-124.