

超韧超薄磨耗层沥青混合料设计与性能研究

郑忠洪, 江 雨, 黄伟林

(浙江顺畅高等级公路养护有限公司, 浙江 杭州 310051)

摘 要: 传统超薄磨耗层因施工速度快、造价较低且性能优异等, 目前被广泛应用于高等级公路的预防性养护中。为了进一步提升超薄磨耗层的路用性能, 利用特有的高黏高弹型改性沥青结合相关试验配合比设计, 提出了一种超韧超薄磨耗层(UTFC-H)沥青混合料, 并对该沥青混合料进行了相关宏观性能试验。结果表明: 超韧超薄磨耗层沥青混合料的最佳油石比为 7.5%, 采用的高黏高弹型改性沥青基本指标远高于规范要求, 与传统超薄磨耗层沥青混合料性能相比, 超韧超薄磨耗层混合料的高温抗车辙性能、低温抗裂性能、水稳定性及黏结性能在满足规范要求的同时, 具有更好的路用性能表现。

关键词: 道路养护; 超韧超薄磨耗层; 沥青混合料; 沥青混合料性能; 路用性能评价

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)10-0275-05

Study on Design and Performance of Ultra-tough Ultra-thin Wear-resistant Layer Asphalt Mixture

ZHENG Zhonghong, JIANG Yu, HUANG Weilin

(Zhejiang Shunchang High-grade Highway Maintenance Co., Ltd., Hangzhou, 310051, China)

Abstract: The traditional ultra-thin wear-resistant layer is widely used now in the preventive maintenance of high-grade highways due to its fast construction speed, low cost and excellent performance. In order to further improve the pavement performance of the ultra-thin wear-resistant layer, a UTFC-H ultra-tough ultra-thin wear-resistant layer asphalt mixture is proposed by using the unique high-viscosity and high-elasticity modified asphalt combined with the relevant test mix design, and the relevant macro-performance test of the asphalt mixture is carried out. The results show that the optimum asphalt-aggregate ratio of ultra-tough ultra-thin wear-resistant layer asphalt mixture is 7.5 %. The basic indexes of high-viscosity high-elasticity modified asphalt are much higher than the requirements of the specification. Compared with the performance of traditional ultra-thin wear-resistant layer asphalt mixture, the high-temperature rutting resistance, low-temperature crack resistance, water stability and bonding performance of ultra-tough ultra-thin wear-resistant layer asphalt mixture meet the requirements of the specification and have better pavement performance.

Keywords: road maintenance; ultra-tough ultra-thin wear-resistant layer; asphalt mixture; asphalt mixture performance; evaluation of pavement performance

0 引 言

随着我国道路交通的快速发展, 目前公路养护的总里程达到了 525.16 万 km^[1]。超薄磨耗层路面养护技术因施工速度快、成本低、性能优异等被广泛应用于高等级公路的预防性养护中^[2]。

超薄磨耗层路面养护技术最早由法国提出并进行应用研究, 后续多个国家也相继进行了研究。其

中, 美国经过相关试验改良提出了著名的 NovaChip 路面养护技术。该技术后续被许多国家进行了推广与应用^[3]。我国后期也对超薄磨耗层技术进行了引进与研究, 并进行相关路段的试验。20 世纪初期, 交通部公路科学研究所首次将 SAC-10 和 OGFC-10 两种级配超薄磨耗层混合料应用于济青高速公路^[4]。刘朝晖等^[5]针对 SAC-10 超薄磨耗层混合料进行了级配设计, 并对力学性能和体积指标进行了测试。谭忆秋等^[6]通过对 SMA-10、UTAC-10 和 NovaChip Type-C3 三种超薄磨耗层混合料进行研究, 提出了相应的性能评价。张彩利等^[7]通过借鉴 SAC 级配设计方法, 研究了级配、油石比、粉胶比等对骨架密实型超薄磨耗层路用性能的影响。王彦涛等^[8]针对沥青

收稿日期: 2025-01-17

作者简介: 郑忠洪(1984—), 男, 本科, 高级工程师, 从事道路养护工作。

通信作者: 江雨(1996—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事道路材料研究工作。电子邮箱: 597748452@qq.com

路面车辙和积水问题,研究了三种级配类型的GET-10超薄磨耗层混合料,并进行了路用性能研究。曲良辰^[9]通过SBS、基质沥青与橡胶粉等制备了高黏高弹改性沥青,并设计高黏高弹超薄磨耗层沥青混合料进行路用性能试验。王新科等^[10]利用SBS、高黏弹改性剂等材料制备了一种复合高黏弹改性沥青。相关试验结果表明,复合高黏弹改性沥青对于薄层混合料抗剥落性能有促进作用,可以有效满足低温铺筑需求。罗检萍等^[11]将高韧超薄沥青磨耗层应用于桥面铺装中,结果表明,铺筑后的路面可显著提升桥面的平整度与路面强度。本文在传统超薄磨耗层的基础上,采用高黏高弹型改性沥青设计了一种超韧超薄磨耗层(Ultra-Thin Friction Course-high-performance, UTFC-H)高性能沥青混合料,解决超薄磨耗层在重载交通与温度应力下容易早期产生破坏的问题,并利用相关宏观性能试验对该超韧超薄磨耗层沥青混合料的高低温性能、水稳定性、黏结性能和抗疲劳性能进行试验研究,为相关高性能超薄磨耗层技术的发展提供一定的借鉴。

1 原材料与配合比设计

1.1 沥青

本文采用TBS-CB2高黏高弹型改性沥青作为本次超韧超薄磨耗层沥青混合料的胶结材料。该沥青优异的黏结性能,可以有效保证铺筑的超薄磨耗层具有足够的强度与耐久性。该沥青的基本相关技术指标见表1。从表1中试验数据可以看出,所采用的高黏高弹型改性沥青相关技术指标均满足规范要求。其中,与传统普通改性沥青相比,所用沥青的60℃动力黏度大于580 000,高温性能PG分级达到了94℃,具有优异的抗高温变形能力、黏结性能和耐久性。

1.2 集料

超韧超薄磨耗层作为一种厚度薄且与轮胎直接接触的面层,集料要求坚硬、形状规则,具有较好的耐磨性,首选玄武岩或辉绿岩。本次采用的集料分

表1 高黏高弹型改性沥青基本技术指标

试验项目	检测结果	技术要求
针入度(100 g, 25℃, 5 s)	49	40~60
软化点/℃	95	≥90
延度(5℃, 5 cm/min)/cm	36	≥20
离析, 软化点差/℃	1.3	≤2.5
弹性恢复(25℃)/%	98	≥95
60℃动力黏度/(Pa·s)	>580 000	>580 000
质量损失/%		-0.05 ±1.0
TFOT后残留物	针入度比(25℃)/%	81 ≥70
	G*/sinδ≥2.2 kPa/℃	94 ≥88

为0~3 mm、3~5 mm和5~10 mm的玄武岩,采购的集料来自浙江省杭州市新昌县大源矿业有限公司。其中,粗集料相关技术指标见表2;所选用细集料为玄武岩机制砂,相关技术指标见表3。所用矿粉采购自杭州富阳亚琪有限公司,相关技术指标见表4。

表2 粗集料技术指标要求

试验项目	检测结果	技术要求
压碎值/%	16.5	≤18
洛杉矶磨耗值/%	17.8	≤20
表观相对密度	2.902	≥2.6
吸水率/%	1.30	≤1.5
水洗<0.075 mm含量/%	0.3	≤1
针片状含量/%	3.9	≤8

表3 细集料技术指标要求

试验项目	检测结果	技术要求
表观相对密度	2.902	≥2.6
砂当量/%	1.30	≤1.5
坚固性/%	0.3	≤1
含泥量/%	3.9	≤8

表4 矿粉技术要求

试验项目	试验结果	技术要求
表观相对密度	2.697	≥2.5
外观	无团粒结块	无团粒结块
亲水系数	0.5	<1

1.3 配合比设计

参照相关设计文件对超韧超薄磨耗层进行配合比设计,根据集料筛分结果结合项目部施工经验,最终确定矿料的级配,详见表5。超韧超薄磨耗层的合成级配曲线如图1所示。

表5 UTFC-H超韧超薄磨耗层沥青混合料的级配范围及合成级配

级配类型	各筛孔尺寸(mm)通过百分率/%								
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
下限	100	95	35	21	10	8	6	4	3
上限	100	100	65	35	25	20	15	12	8
合成级配	100	96.9	41	27.2	19.2	14.4	10.6	8.0	6.3

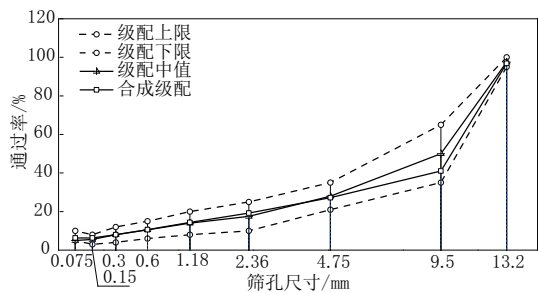


图1 UTFC-H超韧超薄磨耗层沥青混合料合成级配

根据上述合成级配结合相关设计经验,采用7.2%、7.5%、7.8%三个油石比成型马歇尔试件。试件采用双面击实75次后成型试件,并对冷却至室温后的试件进行相关体积指标测定,相关指标数据见表6。

表6 不同油石比马歇尔试件测试结果

油石比/ %	毛体积 相对密度	空隙率/ %	矿料 间隙率/%	有效沥青 饱和度/%	稳定度/ kN
7.2	2.386	5.56	19.38	71.34	10.89
7.5	2.412	4.60	19.10	75.93	11.98
7.8	2.398	4.33	19.41	77.70	11.22

从表6中可以看出,当油石比为7.5%时,沥青混合料试件的毛体积相对密度与稳定度达到最佳,同时其他相关指标均满足相关规范要求。综合实际情况分析,选用7.5%油石比作为最佳油石比。

2 沥青混合料性能分析

2.1 高温稳定性能

为了验证超韧超薄磨耗层沥青混合料的高温稳定性能,首先根据上述合成级配与最佳油石比进行试件的制作,将制作的试件放入车辙试验仪器中,在60℃下进行车辙试验。然后参照沥青混合料车辙试验方法,对本次沥青混合料进行高温稳定性的检验,并将试验结果统计后计算动稳定度,详见表7。

表7 UTFC-H超韧超薄磨耗层沥青混合料动稳定度试验结果

试件编号	动稳定度	规范要求
1	11 366	≥5 000
2	12 896	≥5 000
3	10 769	≥5 000
平均动稳定度/(次·mm ⁻¹)	11 677	≥5 000
变异系数/%	9.4	≤20

从试验结果可以看出,超韧超薄磨耗层沥青混合料的平均动稳定度达到了11 677次/mm,远高于规范要求的5 000次/mm,变异系数为9.4%,表明所采用的高黏高弹型改性沥青制备的沥青混合料具有优异的高温抗车辙能力。

2.2 低温抗裂性能

裂缝作为沥青路面常见的病害,超薄磨耗层作为常见的路面预防性养护技术,设计厚度一般在1.5~2 cm。相比常规路面,优异的抗裂性能更为重要。为了验证混合料的低温抗裂性能,参照相关试验规范,利用低温小梁弯曲试验对成型后切割的小梁试件进行了低温抗裂性能的研究,试件相关试验数据结果见表8。为了更好地进行对比分析,将试件的弯拉破坏应变与常规的AC-13与SMA-13进行对比,如图2所示。

表8 UTFC-H超韧超薄磨耗层沥青混合料低温小梁弯曲试验结果

试件编号	弯拉强度/MPa	弯拉破坏应变/μ ϵ
1	7.52	12 587
2	7.41	11 896
3	7.68	12 769

从表8中可以看出,试件的弯拉强度均在7 MPa以上,弯拉破坏应变在11 000 μ ϵ 以上。对比常规AC-13与SMA-13沥青混合料,超韧超薄磨耗层沥青混合料的弯拉破坏应变明显提升,低温抗裂能力提升3倍以上,表现出优异的低温抗裂性能。这是由于超韧超薄磨耗层沥青混合料采用的高黏高弹型改性沥青和7.5%的高油石比,保证了混合料可以更好地抵抗低温开裂,具有更好的韧性表现。

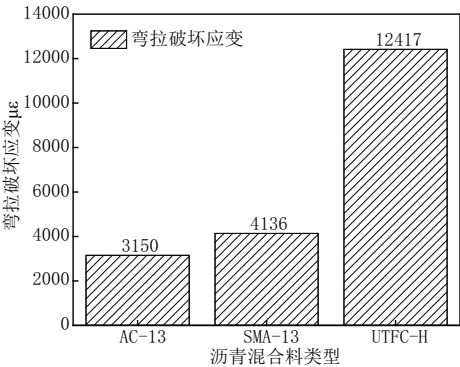


图2 不同类型沥青混合料弯拉破坏应变结果

2.3 水稳定性能

超薄磨耗层作为沥青路面表层,在服役期间需要抵抗雨雪等外界因素的侵蚀。为了验证超韧超薄磨耗层沥青混合料的水稳定性能,参照相关试验规范对制备的马歇尔试件分别进行了沥青混合料冻融劈裂和残留马歇尔稳定度实验。试件分为三组,命名为1#、2#、3#,每组2个,分别进行相关试验,结果如图3所示。

从图3中可以看出,超韧超薄磨耗层沥青混合料试件测试得到的残留马歇尔稳定度均在93%以上,满足大于85%的要求。为了进一步验证混合料的水

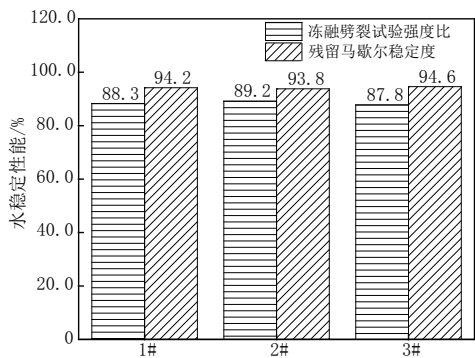


图3 UTFC-H 沥青混合料水稳定性能试验数据

稳定性,对混合料进行3次冻融劈裂试验后得到的残留马歇尔强度比均大于87%,满足规范要求的80%。两组试验数据均明显高于规范要求,表明超韧超薄磨耗层沥青混合料具有优异的水稳定性,可以在路面服役期间有效地抵抗水损坏,具有更好的耐久性能。

2.4 黏结性能

由于UTFC-H超韧超薄磨耗层粒径小、厚度薄,其设计厚度仅1.5~2.0 cm,在层间剪切作用下存在集料剥落风险。因此,沥青混合料良好的黏结性是保障路面性能优异的重要条件。为了验证超韧超薄磨耗层沥青混合料的黏结性能,参考相关试验规范对制备的试件进行了肯塔堡飞散实验,相关试验结果见表9。

表9 UTFC-H超韧超薄磨耗层沥青混合料飞散试验结果

试件编号	试验前质量/g	试验后质量/g	飞散损失率/%	平均值/%
1	1 213.6	14.6	1.2	1.7
2	1 204.8	19.3	1.6	
3	1 211.3	27.9	2.3	
4	1 215.7	25.5	1.8	

从表9可以看出,超韧超薄磨耗层沥青混合料的平均飞散损失率为1.7%,低于规范中8%的要求,表现出良好的黏结性能,集料与采用的高黏高弹型改性沥青之间具有优异的黏结性能,可有效地为路面的性能提供保障。

2.5 抗疲劳性能

随着服役时间的延长,沥青路面在车辆荷载长期反复作用下容易产生疲劳开裂。为了验证超韧超薄磨耗层沥青混合料的抗疲劳性能,参考沥青混合料试验规程对于高黏改性沥青混合料疲劳试验的建议,本次试验采用的应变水平为1 000 $\mu\epsilon$,对制备切割后的试件进行四点弯曲疲劳试验。为了更好地对比超韧超薄磨耗层沥青混合料的疲劳性能,与常规

的AC-13和SMA-13沥青混合料疲劳性能进行了对比,相关数据见表10。

表10 UTFC-H超薄磨耗层沥青混合料疲劳性能试验数据

沥青混合料类型	疲劳寿命/万次
AC-13	0.74
SMA-13	1.28
UTFC-H	92.36

从表10可以看出,对比2种常规沥青混合料的疲劳寿命分别为0.74万次与1.28万次,超韧超薄磨耗层沥青混合料的疲劳寿命达到了92.36万次,明显优于传统沥青混合料的疲劳寿命。原因是超韧超薄磨耗层沥青混合料采用的高黏高弹型改性沥青与集料之间优异的黏结性能,同时采用了7.5%的高沥青用量,保证了沥青混合料的沥青膜厚度,使得最终混合料的韧性与重复荷载下的抗疲劳性能明显提升,表现出更好的韧性。

3 路用性能效果评价

在金华市某景区道路性能提升工程中,首次采用了超韧超薄磨耗层沥青混合料进行罩面加铺。本次施工采用沥青混合料同步摊铺技术,可以更好地保证超薄磨耗层摊铺效果。实际施工过程中,超韧超薄磨耗层沥青混合料表现出良好的施工和易性,同时加铺超韧超薄磨耗层后的新路面颜色表现出更加明显的视觉效果,如图4所示。



图4 实施后新路面

为了进一步验证实施超韧超薄磨耗层路段的性能效果,对施工完成后的路段分别进行了路面抗滑性能检测和路面渗水试验,并将相关试验结果与铺筑前沥青路面的摩擦系数、构造深度和路面渗水系数进行了对比。同时,为了验证超韧超薄磨耗层的降噪效果,结合日常景区行驶速度,采用某国产工程检测车以60 km/h的速度对车内噪声进行了检测,相关试验检测结果见表11。

从表11可以看出,采用超韧超薄磨耗层对原路面进行罩面后,路面的摩擦系数与构造深度明显提

表 11 UTFCH 超薄磨耗层现场检测结果

检测项目	铺筑前	铺筑后	设计要求
摩擦系数 BPN	51	66	≥55
构造深度/mm	0.76	1.18	≥0.8
渗水系数/(mL·min ⁻¹)	214	30	≤120
路面行车噪声/dB	64.2	58.6	—

升,比原路面分别提高 29% 和 55%,有效地保证了路面的抗滑性能,提高了路面行车安全性。同时,新铺筑路面的渗水系数为 30 mL/min,有效地起到了路面封水效果,避免雨水下渗,产生路面水损害。汽车的路面行车噪声比铺筑前降低了 5.6 dB,可以有效降低路面的行车噪声。

4 经济效益

传统 AC-13 与 SMA-13 沥青混合料加铺时由于厚度问题往往需要对路面相关附属设施,如边沟、护栏、土路肩等进行改造加固,超韧超薄磨耗层加铺时则无需考虑上述因素。因此,考虑路面加铺施工时相关设施改造的综合因素,结合目前工程不同类型沥青混合料,相关加铺方式的造价,采用超韧超薄磨耗层加铺时每公里造价大约可以节约 20~30 元/km,具有较高的经济效益。除此之外,在相关特殊路段(桥面、隧道)具有高度要求时,超韧超薄磨耗层通过简单铣刨后直接加铺,可以有效地解决高度限制问题。

5 结 语

本文在传统超薄磨耗层基础上,结合高黏高弹型改性沥青,设计了一种超韧超薄磨耗层沥青混合料,并对其路用性能指标开展了一系列试验研究,主要结论如下:

(1)超韧超薄磨耗层沥青混合料建议最佳油石

比为 7.5%,高黏高弹型改性沥青制备的沥青混合料高温稳定性与低温抗裂性能表现优异,远高于普通沥青混合料相关性能指标。

(2)超韧超薄磨耗层沥青混合料的残留马歇尔稳定度与经过多次冻融循环后残留马歇尔强度比均大于 87%,飞散损失率为 1.7%,表现出良好的抗水损害性能与黏结性。反复加载作用下,沥青混合料的疲劳寿命可以到达 90 万次以上,具有优异的抗疲劳性能与韧性。

(3)采用超韧超薄磨耗层铺筑后的路面抗滑与抗渗性能均满足相关规范要求,同时还可以降低路面行车噪声,有效改善路面性能。

参考文献:

[1] 陈娥梅, 闵建刚, 李红顺, 等. 超薄磨耗层混合料设计及施工关键技术研究[J]. 城市道桥与防洪, 2024(2): 140-144.

[2] 胡海铭. 超薄磨耗层技术在沥青路面病害处治中的应用[J]. 工程技术研究, 2024, 9(2): 70-72.

[3] 刘继法, 张振, 孟伟, 等. 超薄沥青混凝土磨耗层研究综述[J]. 山东交通科技, 2022(2): 102-104.

[4] 张圭祥. 公路沥青混凝土面层改造施工技术研究[J]. 交通世界, 2022(13): 135-137.

[5] 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(1): 11-17.

[6] 谭忆秋, 姚李, 王海朋, 等. 超薄磨耗层沥青混合料评价指标[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(12): 73-77.

[7] 张彩利, 李天豪, 丁维哲, 等. 超薄磨耗层高黏高弹沥青混合料性能研究[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(28): 12241-12249.

[8] 王彦涛, 林敬辉. GET-10 型高性能超薄磨耗层力学性能试验研究[J]. 公路, 2023, 68(4): 98-103.

[9] 曲良辰. 超薄磨耗层高粘高弹改性沥青的制备及性能研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2018.

[10] 王新科, 蒋建辉, 周启伟, 等. 一种高粘弹性沥青及其混合料性能与工程应用[J]. 公路交通技术, 2022, 38(2): 51-57.

[11] 罗检萍, 黄红明. 高韧超薄沥青磨耗层在旧砼桥面铺装中的应用[J]. 公路与汽运, 2022(2): 126-129.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

