

高韧超薄磨耗层在快速路匝道桥上的应用

王倩¹, 胡伟²

[1.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200433;2.华运通达(浙江)交通科技有限公司,浙江 杭州 311215]

摘要: 基于同步摊铺工艺的高韧超薄磨耗层技术具有结构层薄、抗裂耐久、施工效率高、安全美观等技术特点。通过在嘉兴市市区快速路环线工程(一期)中实施厚度为0.8~2.0 cm级别的高韧超薄磨耗层技术,总结和介绍了该技术的基本原理、技术指标体系以及施工控制要点,并进行了室内试验和现场试验检测。结果表明,高韧超薄磨耗层各项技术指标均满足技术要求,证明该技术具有良好的路用性能,可在各类桥面铺装品质化提升、城市道路快速化改造以及道路预防性养护项目中推广应用。

关键词: 沥青混合料;高韧超薄磨耗层;同步摊铺;施工控制;质量评价

中图分类号: U418.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0267-04

1 概述

嘉兴市市区快速路环线工程(一期)为嘉兴市首条快速路,其中纺工路—新气象路段采用“主线地道+地面辅道”建设形式,地道长约2.2 km,其中暗埋段约1.9 km;其余路段采用“主线高架+地面辅道”建设形式。嘉兴市市区快速路环线交通重载车辆少,以轻交通为主,交通发生主要集中在早、晚高峰;采用排水路面能为环线整体环境起到减噪作用,避免路线穿越城区时带来的环境污染。此外嘉兴年均降雨量1 157.2 mm,雨水较多,有利于排水路面发挥其出色的排水性能。主线高架桥面铺装结构形式为:4 cm排水降噪沥青混凝土OGFC-13(高黏改性沥青)+不粘轮改性乳化沥青黏层(1.0~1.2 L/m²)+5 cm中粒式沥青混凝土AC-16C(SBS改性沥青)+1 cm热沥青预拌碎石封层(热喷改性沥青,碎石同步机摊铺)+10 cm C50混凝土铺装(表面抛丸处理)。高架大纵坡及匝道桥面改用4 cm沥青玛蹄脂碎石混凝土SMA-13(SBS改性沥青)+黏层PCR(0.5 L/m²)+5 cm中粒式沥青混凝土AC-16C(SBS改性沥青)+1 cm热沥青预拌碎石封层(热喷改性沥青,碎石同步机摊铺)+10 cm C50混凝土铺装(表面抛丸处理)。

考虑匝道路段坡度大,制动频繁,耐磨光、构造

深度、抗滑性能等路面功能损耗严重,为配合嘉兴市市区快速路环线工程,提升沥青路面路用性能(抗滑、降噪),项目选取了4条匝道实施了厚度为2.0 cm的高韧超薄磨耗层罩面技术。高韧超薄磨耗层是一种加铺厚度为0.8~2.0 cm的热拌沥青混凝土面层,其沥青胶结料采用高性能高黏高弹改性沥青,黏层油为乳化沥青体系的聚合物改性乳化沥青。本次4条试验段匝道面积约10 000 m²,桥面铺装结构为:2 cm高韧超薄磨耗层+黏层油(洒布量为0.6~0.8 kg/m²的聚合物改性乳化沥青)+7 cm中粒式沥青混凝土AC-16C(SBS改性沥青)+1 cm热沥青预拌碎石封层(热喷改性沥青,碎石同步机摊铺)+10 cm C50混凝土铺装(表面抛丸处理)。

高韧超薄磨耗层技术体系示意图见图1。

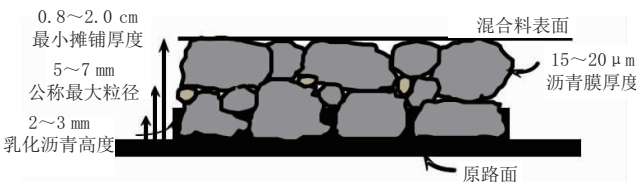


图1 高韧超薄磨耗层技术体系示意图

2 高韧超薄磨耗层技术指标体系

2.1 原材料

2.1.1 胶结料技术要求

本工程中高韧超薄磨耗层所用的混合料胶结料为高黏高弹改性沥青(非树脂类改性),其技术指标见表1。

由表1可知,本次选用的高黏高弹改性沥青各项

收稿日期: 2023-08-16

作者简介: 王倩(1988—),女,硕士,高级工程师,从事道路交通设计工作。

表 1 高黏高弹改性沥青技术指标要求及检测结果

试验项目		技术要求	检测结果
软化点 TR&B/℃		≥90	96.5
针入度(25℃,5 s,100 g)/(0.1 mm)		40~60	48.1
离析,48 h 软化点差/℃		≤2.5	1.0
弹性恢复(25℃)/%		≥95	98.8
60℃复数剪切模量 G*/kPa		≥10	12.8
60℃动力黏度/(Pa·s)		>580 000	>580 000
薄膜烤箱试验 (或滚筒薄膜烤 箱试验)后残 留物	质量损失/%	±1.0	-0.091
	针入度比(25℃)/%	≥70	80.3
	G*/sin δ≥2.2 kPa	≥88	88
	临界温度/℃		

指标均满足相关要求,其 60℃动力黏度值大于 580 000 Pa·s,60℃复数剪切模量值达到 12.8 kPa,PG 高温性能分级达到 88℃,表明高韧超薄磨耗层具有优异的高温抗变形能力、变形恢复能力、黏结性能和耐久性。

2.1.2 黏层沥青技术要求

本项目黏层油采用偶联型 SBS 聚合物改性所得的高黏改性乳化沥青。由表 2 可见,黏层油各项技术指标检测结果均满足规定要求。

表 2 黏层油技术指标要求及检测结果

技术指标		规定值	检测结果
黏度(标准黏度 C _{25.3})/s		12~60	34
筛上残留物(1.18 mm 筛)/%		≤0.05	0.04
粒子电荷		阳离子(+)	阳离子(+)
软化点/℃		≥80	81.5
针入度(25℃)/(0.1 mm)		40~60	54.9
蒸发残 留物	残留分含量/%	≥55	61.7
	延度(5℃)/cm	≥20	24
	溶解度/%	≥97.5	99.2
	弹性恢复(25℃)/%	≥92	93.3

2.1.3 粗集料技术要求

高韧超薄磨耗层作为直接与轮胎接触的表面磨耗层,要求所用粗集料应坚硬、干净,颗粒形状规则^[1],且具有良好的耐磨耗性能,首选玄武岩或辉绿岩。结合就近选材的原则,本项目采用浙江省湖州市鹿山坞建材科技有限公司生产的 5~8 mm 和 3~5 mm 优质辉绿岩作为粗集料原材。经试验检测,所选用的辉绿岩的具体技术指标均满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2017)和本项目的技术要求,如表 3 所示。

2.1.4 细集料技术要求

高韧超薄磨耗层所用细集料选用与粗集料同岩

表 3 粗集料技术指标要求

技术指标	规定值	检测结果
磨光值 PSV/BPN	≥42	45
洛杉矶磨耗损失/%	≤20	10.1
压碎值/%	≤18	10.9
表观相对密度	≥2.6	2.759
吸水率/%	≤1.0	0.52
针片状含量/%	≤8	3.7
与沥青的黏附性/级	≥5	5
坚固性/%	≤8	2.4
小于 0.075 mm 颗粒含量/%	≤1	0.1
软石含量/%	≤1	0.3

性的 0~3 mm 辉绿岩机制砂,经检验其具体技术指标同样满足上述规范和本项目的技术要求(见表 4)。

表 4 细集料技术指标要求

技术指标	规定值	检测结果
砂当量/%	≥65	68
表观相对密度	≥2.5	2.746
坚固性(>0.3 mm 部分)/%	≤12	2.6

2.1.5 矿粉技术要求

高韧超薄磨耗层所用的矿质填料应满足《公路沥青路面施工技术规范》的相关要求,如表 5 所示。本项目采用长兴利群新型建材科技有限公司生产的矿粉作为填料,其指标均满足上述规范以及项目中沥青混合料用矿粉的技术要求。

表 5 矿粉技术指标要求

技术指标	规定值	检测结果
含水率/%	≤1.0	0.5
表观密度/(t·m ⁻³)	≥2.50	2.695
粒度范围/%	<0.6 mm	100
	<0.3 mm	100.0
	<0.15 mm	90~100
	<0.075 mm	75~100
	<0.075 mm	78.5
外观	无团粒结块	无团粒结块
塑性指数/%	≤4.0	1.4

2.2 沥青混合料

根据设计文件进行高韧超薄磨耗层配合比设计。依据各档集料的筛分结果,并结合以往工程经验和实际应用情况,最后确定各档集料的掺配质量比为 0~3 mm 辉绿岩机制砂:3~5 mm 辉绿岩碎石:5~8 mm 辉绿岩碎石:矿粉=33:18:47:2。

高韧超薄磨耗层 GT-8 的合成级配曲线图见图 2。

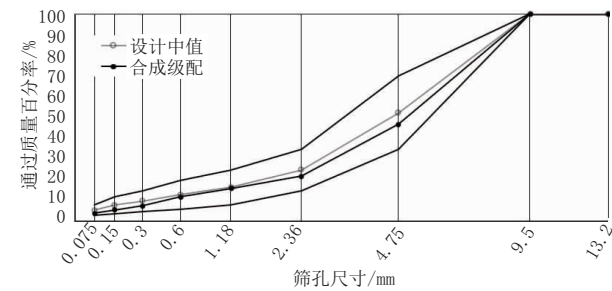


图 2 高韧超薄磨耗层 GT-8 合成级配图

高韧超薄磨耗层级配合成后,采用 3 种油石比(7.2%、7.5%、7.8%)成型马歇尔试件。试件采用双面击实 75 次制备成型,待冷却至室温后,测试并计算试件的各项体积指标。

不同油石比下高韧超薄磨耗层的体积指标测试结果汇总于表 6。根据相关测试结果,并结合以往的设计经验、嘉兴地区的气候条件和经济性原则,选定 7.5% 的油石比作为本项目混合料的最佳油石比。

表 6 不同油石比下高韧超薄磨耗层的体积指标测试结果汇总表

油石比 /%	试件毛体积相对密度	计算理论最大相对密度	空隙率 /%	矿料间空隙率 /%	沥青饱和度 /%
7.2	2.334	2.475	5.7	20.0	71.5
7.5	2.340	2.465	5.1	20.0	74.7
7.8	2.346	2.455	4.4	20.0	77.9
技术要求			4~6	≥19	70~90

最佳油石比确定后,采用飞散试验、浸水马歇尔试验和车辙动稳定度试验等,验证高韧超薄磨耗层(油石比为 7.5%)的水稳定性、高温稳定性、抗剥落性能和低温抗裂性能等。

高韧超薄磨耗层的各项路用性能测试结果汇总于表 7。

表 7 高韧超薄磨耗层的各项路用性能测试结果汇总表

技术指标	规定值	检测结果
马歇尔稳定度 /kN	≥8	9.84
浸水马歇尔试验残留稳定度 /%	≥85	91.6
冻融劈裂试验残留强度比 /%	≥85	92.0
60 ℃ 车辙动稳定度 /(次·mm ⁻¹)	≥5 000	7 635
肯塔堡飞散损失 /%	≤8	2.9
四点弯曲疲劳试验(15 ℃、1 000 μm/m)/次	≥200 000	589 487
拉拔强度(15 ℃,现场芯样)/MPa	≥0.3	0.87

由表 7 可知,相关测试结果均满足本项目设计及规范要求。与此同时,还发现高韧超薄磨耗层在 15 ℃、1 000 μm/m 的大应变测试条件下得到的四点弯曲疲劳寿命为 589 487 次,达到了应力吸收层级别的抗

裂性能,说明其具有优异的抗疲劳性能;拉拔强度检测结果不小于 0.3 MPa,表明高韧超薄磨耗层与原路面层间黏结性能良好^[2],能够充分保证两者很好地结合在一起而不发生脱皮和剥落现象。

3 高韧超薄磨耗层技术的施工控制

3.1 沥青混合料的施工温度控制

高韧超薄磨耗层施工时,应严格掌握改性沥青和集料的加热温度、高韧超薄沥青混合料的出厂温度以及施工过程中的温度。本项目高黏高弹改性沥青控制温度为 180~185 ℃,生产过程中集料加热温度控制在 200~205 ℃,成品混合料出料温度控制在 190~200 ℃,到场温度控制在 170 ℃ 以上,摊铺温度控制在 150 ℃ 以上,碾压温度控制在 100 ℃ 以上,开放交通温度控制在 50 ℃ 以下。

3.2 高韧超薄磨耗层摊铺

本项目高韧超薄磨耗层摊铺采用德国进口的维特根 Super1800-2 型同步摊铺机(见图 3),该摊铺设备采用了区别于传统异步摊铺的同步摊铺工艺,即黏层油喷洒与混合料摊铺一体化。



图 3 同步摊铺喷洒一体化技术示意

采用同步摊铺技术的优势有:(1)施工效率大大提高,可提升约 150% 的工效;(2)解决了传统乳化喷洒体系中黏层油被环境污染和料车破坏的弊端,极大保证了高韧薄层沥青混合料与原路面的有效紧密黏结,大大减少了因黏层体系破坏而出现早期病害的风险;(3)同步喷洒系统可根据路面状况而调整喷洒量,且喷洒均匀、可控,同时同步摊铺工艺可精准控制摊铺的均匀性和厚度,并可有效提高原路面的平整度,提高薄层实施的整体质量。

高韧超薄磨耗层碾压时,先采用 13~15 t 双钢轮压路机静压 1~2 遍,随后前静后振碾压 1~2 遍,再收

光整平^[3]。高韧超薄磨耗层需待路面温度低于 50 ℃ 以下时方可开放交通^[4]。本项目摊铺结束后约 0.5 h 即可开放交通,大大减少了对周边居民和社会的影响。

4 高韧超薄磨耗层质量效果评价

高韧超薄磨耗层在嘉兴市市区快速路工程匝道实施完成后,实施路段相较于与之接驳的沥青混凝土路面外观质感得到明显提升(罩面碾压完毕的效果见图 4)。具体表现在:路面颜色更为黝黑均匀,显著提高了路面的视觉效果,降低了路面反光作用;实施完毕后路面表面构造纹理丰富(见图 5),摩擦系数较原桥面铺装层得以大幅提升,且显著改善了原沥青桥面的平整度,降噪效果明显,有效提高了行车舒适性和安全性。



图 4 实施罩面后桥面品质化提升效果



图 5 实施后罩面表面构造均匀、丰富

为检验高韧超薄磨耗层的实施效果,采用一系列室内混合料性能检测试验和施工后的路面检测试验,以此来评价高韧超薄磨耗层的混合料质量和桥面实施后的路用性能。重点开展了包括抗剥落性能、高温抗车辙性^[5-6]、抗疲劳、水稳定性、对罩面的层间黏结、封水和降噪性能^[7]等方面的评价。试验结果见表 8。

由表 8 可知:(1)抗水损害性能指标(浸水马歇

表 8 高韧超薄磨耗层现场质量检测结果汇总表

编号	测试项目	技术要求	试验结果	是否合格
1	浸水马歇尔残留稳定度 /%	≥85	95	合格
2	冻融劈裂试验残留强度比 /%	≥85	92	合格
3	60 ℃ 车辙动稳定度 / 次	≥5 000	7 798	合格
4	肯塔堡飞散损失率 /%	≤8.0	1.6	合格
5	四点弯曲疲劳试验(15 ℃、1 000 μm/m)/ 万次	≥20	58.95	合格
6	层间拉拔强度 /MPa	≥0.3	0.58	合格
7	平整度 /mm	≤5	0.9	合格
8	构造深度 /mm	≥0.8	0.86	合格
9	摩擦系数 BPN	≥55	65	合格
10	渗水系数 /(mL·min ⁻¹)	≤120	28	合格

尔残留稳定度和冻融劈裂残留强度比)检测结果分别为 95%和 92%,远大于技术要求,表明沥青混合料水稳定性良好^[8];(2)肯塔堡飞散损失率仅为 1.6%,表明薄层沥青混合料中胶结料对石料的裹附性良好;层间拉拔强度大于 0.4 MPa,表明层间黏结性能优异;(3)四点弯曲疲劳试验结果超 50 万次,表明高韧超薄磨耗层沥青混合料具有良好的抗裂性能和抗疲劳性能;(4)对于长、大纵坡的快速路匝道,大于 60 BPN 的摩擦系数和大于 0.8 mm 的构造深度,极大地提升了车辆行驶安全性。

5 结 语

(1)高韧超薄磨耗层的实施厚度仅为 0.8~2.0 cm,其各项路用性能均满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2017)及项目设计要求,且其四点弯曲疲劳寿命超 50 万次,实现了应力吸收层级别的抗裂效果,证明高韧超薄磨耗层的疲劳寿命较高。

(2)同步摊铺工艺在高韧超薄磨耗层中的应用,将粘层油喷洒和混合料摊铺 2 道工序合二为一,大幅提高了施工作业效果,在市政道路快速改造方面具有显著优势。

(3)工程实施的质量评价表明,本次嘉兴市市区快速路环线工程中所应用的高韧超薄磨耗层所有检测指标均符合设计要求,且高韧超薄磨耗层具有优异的抗剥落、抗疲劳、抗裂、抗滑、降噪性能以及良好的层间黏结强度,表明本次高韧超薄沥青混合料磨耗层罩面取得了良好的工程应用效果。

参考文献:

[1] SON Songsu, AL-QADI Imad L, ZEHR Tom. 4.75 mm SMA performance and cost-effectiveness for asphalt thin overlays [J]. International Journal of Pavement Engineering, 2016, 17(9): 799-809.

(下转第 287 页)

表 2 方案二模拟结果与现场监测结果对比

埋深 /cm	方案二最低温度 /℃	K121+370 实测右线最低温度 /℃
80	-0.39	-0.51
90	0.32	-0.16
100	0.98	0.15
110	0.99	0.37

案进行了温度场分析,得到以下结论:

(1)优化前后中心排水管均能达到保温性能,但现场深埋处于泥岩地质,易发生地基膨胀问题,故采用浅埋方案后排水管处温度均达到正值。

(2)竹缠绕管道在低温环境下整体温度顶端为 2.49℃,底端为 2.57℃,说明竹缠绕管在低温下具有良好的抗冻效果,满足排水要求,适合在低温环境下使用。

(3)通过地层温度场分析,两种方案下,随着埋深增加,竹缠绕管道周围温度呈正值,且最大冻深不超过 90 cm,表明现场采用浅埋设计方案比较合理。

(4)现场温度监测表明,管内外温差较大,在本观测期内,竹缠绕管道最大冻结深度在 90 cm,验证了数值模拟与现场实测结果基本一致,竹缠绕管具有一定的保温抗冻性能。

参考文献:

[1] 丁然.京沈高速铁路支线天秀山隧道洞口段的防冻保温技术[J].铁道建筑,2020,60(10):68-72.

[2] 陈利平.严寒地区隧道深埋中心排水管施工技术[J].中国新技术新产品,2018(1):107-108.

[3] 陈志杰,任广丽,闫世豪,等.高海拔寒区隧道排水结构温度场数值分析[J].中国公路,2019(12):106-109.

[4] 卫锋.公路黄土隧道防排水施工技术探究[J].住宅与房地产,2017(29):196.

[5] 李琨,卫锋,韩冰凌.浅谈公路黄土隧道防排水施工技术[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(7):86-87.

[6] 李善豪.公路隧道排水管阻塞处理施工技术研究[J].中国高科技,2021(5):104-105.

[7] 林春茂.马咀隧道纵向排水管施工方案优化[J].绿色环保建材,2019(3):146-148.

[8] 王志杰,李金宜,蔡李斌,等.寒区隧道不同形式排水管适用性研究[J].公路,2020,65(9):288-295.

[9] 刘龙卫,孙源.寒区隧道新型环向盲管排水体系及温度场分析[J].高速铁路技术,2020,11(4):55-59,104.

[10] 付国茂.高寒地区隧道保温防排水技术与应用[J].黑龙江交通科技,2020,43(10):131-132.

[11] 杨明宇,王晓宇.寒区隧道排水系统冻害分析及防冻措施研究[J].北方交通,2022(7):80-84.

[12] 王增运.乌鞘岭高海拔地区隧道冻胀机理及防冻措施研究[J].城市道桥与防洪,2020(7):240-243.

[13] GB/T 37805—2019,竹缠绕复合管[S].

(上接第 270 页)

[2] 康健.沥青路面超薄磨耗层层间粘结强度试验分析[J].交通科技,2016(2):115-118.

[3] 咸红伟,陈富达.碾压组合工艺对沥青面层压实度与抗滑性能的综合影响[J].广东公路交通,2021,47(1):6-11.

[4] 虞将苗,陈富达,彭馨彦,等.高韧超薄沥青磨耗层在港澳大桥珠海人工岛通道上的应用[J].清华大学学报(自然科学版),2020,60(1):48-56.

[5] SU Tingting, GUO Runhua, QIAO Xiaobing, et al. Premature pavement distresses of cracks and rutting analysis and mechanical analy-

sis in ultra-thin asphalt pavement[J]. Geotechnical Special Publication,2014,239:167-178.

[6] 蓝剑秋.超薄罩面磨耗层技术在沥青路面工程的应用[J].福建交通科技,2022(12):45-48,58.

[7] 刘瀚.超薄沥青罩面加铺层路用性能检测评价[J].山西交通科技,2022(1):23-25.

[8] YU Jiangmiao, CHEN Fuda, DENG Wen, et al. Design and performance of high-toughness ultra-thin friction course in south China[J]. Construction and Building Materials,2020,246:118508.