

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.02.032

超薄磨耗层混合料设计及施工关键技术研究

陈娥梅, 闵建刚, 李红顺, 张磊, 廖启, 宁月湖
(曲靖市交通建设投资集团有限公司, 云南 曲靖 655000)

摘要: 为提升超薄磨耗层沥青混合料的路用性能,完善超薄磨耗层路面施工工艺,研究面向工程实际需求,利用主骨料空隙填充法(CAVF)进行超薄磨耗层混合料的配合比优化设计,并依托麒麟公路建设工程,提出超薄磨耗层的成套施工关键技术。结果表明:基于CAVF法获取了超薄磨耗层GT-8的合成配比,计算确定5~8 mm、3~5 mm和0~3 mm三档集料的掺配比为58.45:19.49:19.06,最佳沥青用量为7.9%;依据室内试验和工程经验,提出了涵盖施工准备、混合料生产与运输、混合料摊铺和压实等在内的超薄磨耗层关键施工工艺;通过施工路段检测评验,超薄沥青磨耗层GT-8具有优良的抗滑性、密水性和平整度,超薄磨耗层技术应用取得良好的施工质量与效果。

关键词: 沥青超薄磨耗层;CAVF法;级配设计;施工技术;路用性能

中图分类号: U414

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0140-05

0 引言

我国已开启了全面建设社会主义现代化国家新征程,新形势对道路交通发展提出了新的更高要求,《国家综合立体交通网规划纲要》明确指出要更加突出绿色发展,注重资源集约利用和生态环境保护^[1]。与此同时,我国道路交通发展还存在一些短板,公路养护里程高达525.16万km,占公路总里程比重为99.4%,公路养护里程长、规模大,正面临由建转养的新挑战^[2]。为更好的解决道路养护的难题,超薄罩面层养护技术因具备养护效果好、施工速度快及节约成本等备受推崇^[3],合理运用超薄层技术可有效提高资源利用率,延长路面的使用寿命,减少道路的大中修机率^[4]。

超薄罩面技术采用高性能聚合物改性沥青为胶结料^[5],通过棱角特性强,黏附性能好的粗集料构建骨架结构,实施厚度为10~30 mm,可有效修复裂缝、车辙(轻度)、坑槽、松散等病害,改善路面抗滑性和平整度,并可降低行车噪声和水雾^[6]。同时,超薄罩面作为环境友好型路面技术,可显著节约工程造价,减少资源和能源消耗,在道路养护需求激增的形势下,超薄罩面技术发展迅速,工程应用十分广泛^[7]。然而,在获得良好效益的同时,超薄罩面技术也面临亟需化解的技术挑战,如级配设计强度偏低,

缺乏成套施工设备和施工应用技术体系等,极大的限制了超薄罩面的技术应用^[8]。

基于上述分析,针对超薄罩面技术的应用需求,本研究依托麒麟公路项目(位于云南省曲靖市),采用主骨料空隙填充法(Course aggregate Void Filling CAVF法)进行混合料配合比优化设计,开展车辙试验、小梁弯曲试验和冻融劈裂试验等评价超薄层混合料的实际适用性,通过工程项目的实际应用,提出配套的施工关键技术,并进行路用性能跟踪观测验证其应用效果,以期为超薄罩面技术的发展和实践应用提供借鉴与参考。

1 原材料

1.1 沥青

薄层罩面是直接承受行车荷载和环境(紫外线辐射、水、热、冰等)劣化的路表功能层,质地优良的原材料是确保其路用性能和长寿命服役的重要因素^[9],为此,选用高黏高弹改性沥青为胶结材料,其高强的黏结能力可保证路面结构具有足够的耐久性^[10],主要技术指标见表1。

本项目位于云南省曲靖市,经麒麟区、罗平县、师宗县三县(区),沿线石料丰富,粗集料选择表面洁净、干燥、有棱角的玄武岩碎石,细集料为石灰岩机制砂,施工现场提供了3档集料,按照集料集料大小分别命名为:集料1#(5~8 mm)、集料2#(3~5 mm)、集料3#(0~3 mm),其中1#、2#为粗集料,3#为细集

收稿日期: 2023-02-28

作者简介: 陈娥梅(1976—),女,本科,高级工程师,从事公路工程建设与养护管理工作。

表1 高黏沥青主要技术指标的试验结果

检测项目	针入度(25℃)/(0.1 mm)	软化点 /℃	延度(5℃, 5 cm/min)/cm	软化点差 /℃	弹性恢复率(25℃)/%	闪点 /℃	60℃动力黏度 / (Pa·s)
试验结果	39.8	97.5	37	1.3	98.6	320	>580 000
技术要求	30~50	≥90	≥20	≤2.5	≥95	≥230	≥580 000

料。集料的相关技术指标均符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)的规定,集料筛分结果见表2,主要技术性质见表3和表4。

表2 集料筛分结果

集料编号 (筛孔)	通过下列筛孔(mm)的百分率 /%							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1#(5~8 mm)	100	12.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2#(3~5 mm)	100	57.6	1.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6
3#(0~3 mm)	100	100	80.8	49.9	30.3	20.7	14.6	5.8

表3 粗集料性能与技术要求

技术指标	试验结果	技术要求	试验方法
压碎值 /%	18.7	≤28.0	T 0316-2005
洛杉矶磨耗值 /%	16.5	≤30.0	T 0317-2005
表观相对密度 / (g·cm ⁻³)	5~8 mm: 2.977 3~5 mm: 2.962	≥2.500	T 0304-2005
吸水率 /%	0.49	≤3.0	T 0304-2005
针片状含量 /%	7.2	≤15.0	T 0312-2005
水洗法小于0.075 mm 颗粒 /%	0.37	≤1.00	T 0310-2005

表4 细集料性能与技术要求

技术指标	表观相对密度 / (g·cm ⁻³)	砂当量 /%	坚固性 /%	含泥量 /%
试验结果	2.721	81.2	2.42	0.91
技术要求	≥2.500	≥60	≤12	≤3
试验方法	T 0328-2005	T 0334-2005	T 0340-2005	T 0333-2000

2 超薄罩面混合料配合比设计及路用性能分析

2.1 基于CAVF法的级配设计优化流程

CAVF法设计思路是基于“细集料的颗粒和沥青胶浆不对粗骨料的嵌挤结构形成干涉”的基本假定^[1],遵循嵌挤和填充原则,通过粗集料形成骨料嵌挤结构,并利用细集料和沥青胶浆填充骨架空隙以期形成有效粘结,从而提高沥青混合料的路用性能。其设计流程包括以下步骤:(1)确定主骨料,并根据泰波公式(式(1))设计细集料级配组成;(2)测定粗、细集料与矿粉的表观密度 ρ_{fc} 、 ρ_{ff} 和 ρ_{fp} ;(3)测定主骨料的紧装密度 ρ_{sc} ,利用式(2)计算主骨料紧装空隙率 V_{vc} ;(4)初定矿粉和沥青用量,确定混合料的设计目

标空隙率;(5)按照体积法的基本思路,联立式(3)和式(4),求解粗、细集料用量;(6)计算沥青混合料级配组成,并通过标准马歇尔试验确定最佳沥青用量;(7)沥青混合料性能验证,确定最终级配。

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \times 100 \quad (1)$$

$$V_{vc} = \left(1 - \frac{\rho_{sc}}{\rho_b}\right) \times 100 \quad (2)$$

$$q_c + q_f + q_p = 100 \quad (3)$$

$$\frac{q_c}{100\rho_{sc}}(V_{vc} - V_{vs}) = \frac{q_f}{\rho_{ff}} + \frac{q_p}{\rho_{fp}} + \frac{q_a}{\rho_a} \quad (4)$$

式中: P 为集料颗粒在筛孔尺寸 d 上的通过百分率,%; d 为集料中颗粒的筛孔尺寸,mm; D 为集料的最大粒径,mm; n 为级配指数,本研究选择 $n=0.45$ 。 q_c 、 q_f 、 q_p 、 q_a 分别为粗集料、细集料、矿粉和沥青用量百分数; ρ_{sc} 为粗骨料紧装密度, ρ_b 为合成粗集料的毛体积密度; ρ_{ff} 、 ρ_{fp} 分别为细集料、矿粉的表观密度; ρ_a 为沥青的密度; V_{vc} 、 V_{vs} 分别为粗集料骨架间隙率和沥青混合料设计目标空隙率百分数。

2.2 基于CAVF法的混合料配合比设计

根据超薄磨耗层路面功能需求和CAVF法设计理论,本研究选用GT-8高初超薄沥青磨耗层进行配合比设计。按照2.1配合比CAVF法设计流程,测定3档集料和矿粉的表观密度分别为2.977、2.962、2.721、2.712 g/cm³。为优化粗集料的最佳掺配比例,采取多种掺配比的粗集料组合形式(级配1~3),通过马歇尔压实试验测试粗骨料紧装密度 ρ_{sc} ,并计算主骨架紧装空隙率百分数 V_{vc} ,结果如表5所示。根据工程经验,初定沥青用量为7.0%(油石比7.5%)、矿粉用量为3%、设计空隙率为5%;通过CAVF法公式(3~4)计算粗、细集料用量。

由表5试验结果可知,5~8 mm与3~5 mm两档粗集料的构成比例分别为3:1,沥青混合料达到紧密状态的最佳比例,粗骨料紧装密度 ρ_{sc} 为1.762 g/cm³,骨架间隙率 V_{vc} 为38.88%;计算求得粗、细集料用量分别为77.94%、19.06%。故最终确定各档集料的掺配比为58.45:19.49:19.06(1#:2#:3#),计算超薄磨耗层的合成级配结果见表6。

确定超薄磨耗层混合料的合成级配后,选用

表5 粗集料紧装密度试验和粗、细集料用量计算结果

级配编号	粗集料掺配比/(1# : 2#)	$\rho_{sc} / (g \cdot cm^{-3})$	$\rho_b / (g \cdot cm^{-3})$	$V_{vc} / \%$	粗集料用量 /%	细集料用量 /%
级配1	2 : 1	1.713	2.856	40.02	76.29	20.71
级配2	3 : 1	1.762	2.883	38.88	77.94	19.06
级配3	4 : 1	1.682	2.812	40.18	75.66	21.34

表6 GT-8 级配范围及合成级配汇总表

级配类型	通过下列筛孔(mm)的百分率 /%							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	80	35	25	20	15	12	8
级配下限	100	40	15	8	6	5	4	3
合成级配	100	50.1	21	13	9.3	7.5	6.3	4.6

7.0%为初始油石比,按0.3%的油石比差,成型不同油石比下的马歇尔试件,并测定其各项试验参数,结果见表7。

表7 不同油石比下的体积参数

油石比 / %	VV / %	VMA / %	VFA / %	稳定度 / kN	沥青膜厚度 / μm	析漏损失率 / %
7.0	6.2	20.5	69.76	9.08	13.33	0.17
7.3	5.7	20.3	71.92	9.33	13.76	0.19
7.6	4.7	20.4	76.96	9.38	14.43	0.22
7.9	4.5	20.6	78.16	9.86	15.12	0.29
8.2	3.9	20.9	81.34	9.57	15.76	0.35

由表7可以看出,随着油石比的增大,超薄磨耗层混合料的空隙率(VV)逐渐减小,沥青膜厚度不断增加,沥青膜厚度是影响混合料低温性能、水稳定性和抗剥落性的关键指标,本项目研究的超薄磨耗层(GT-8)的功能要求需具备抗裂和抗冲击韧性(沥青膜厚度不小于15 μm),结合析漏损失试验结果,确定油石比7.9%为设计级配的最佳沥青用量。

3 超薄磨耗层施工关键技术

本项目依托曲靖(麒麟区)至师宗高速公路,示范工程位于麒师公路路面二标左幅,起讫桩号K31+450 ~ K32+180,路面结构层设计厚度为78 cm,依次为3 cm GT-8 超薄磨耗层 +7 cm AC-20 沥青中面层 +8 cm AC-25 沥青下面层 +40 cm 水泥稳定碎石基层 +20 cm 级配碎石底基层(见图1)。改路为双向四车道一级公路技术标准,设计速度为80 km/h。

3.1 超薄磨耗层施工准备

超薄磨耗层的施工质量和要求更高,需要注重施工细节的把控,充分的施工准备工作是确保施工质量的重要环节,主要包括:人员准备、材料准备、机

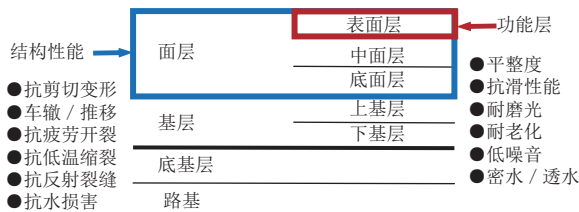


图1 超薄磨耗层路面结构图

械准备、下承层准备、施工技术准备等。

磨耗层施工前须建立质量保证体系,明确职责,责任到人;施工所用材料应经严格检验,施工前要进行机械设备调试,校验检查机械设备的技术参数、配套情况和计量精度等,同时,还需注意施工材料和机械的防雨、防潮等保护措施。另外,要充分考虑拌和厂与施工现场的运距,注意运输通道平坦、畅通,拌和厂设施完备,集料存放规范、标准,计量称重和温控设备校核准确,检验采用的间歇式拌和机满足施工进度要求,并配备保温性能优良的成品储料仓。

3.2 超薄磨耗层混合料生产和运输

(1)混合料的拌和

超薄磨耗层混合料宜随伴随用,成品贮存时间控制在2 h内,严格把控沥青混合料的生产温度,见表8,拌和时间及加料次序见表9,最终拌和时间视实际确定,要求超薄磨耗层混合料拌和均匀,沥青胶浆充分覆裹附在集料表面集料表面,混合料的检测频度和质量要求见表10。

表8 超薄磨耗层沥青混合料的拌和温度

超薄磨耗层	沥青加热温度 / $^{\circ}C$	矿料加热温度 / $^{\circ}C$	混合料出厂温度 / $^{\circ}C$	混合料到达温度 / $^{\circ}C$
GT-8	180 ~ 190	190 ~ 220	170 ~ 210(大于220废弃)	≥ 170

表9 超薄磨耗层沥青混合料拌和时间及加料次序

加料次序	加矿料	干拌	加沥青	湿拌	出料
时间	-	约10 s	-	约40 s	-
总拌和时间	不低于50 s				

(2)混合料的运输

运输的任务是确保沥青混合料的温度,运料车应采用完整无损的双层篷布覆盖,遇雨雪、低温天气应加盖棉被。为减少离析,运料车装料时,前后多次

表 10 超薄磨耗层沥青混合料的拌和检测频度和质量要求

检测项目	检测频度及评价方法	质量要求或允许偏差	试验方法	
混合料外观	随时	观察集料粗细、均匀性、离析、色泽、冒青烟、有无花白料、油团等现象	目测	
拌和温度	沥青、集料的加热温度	逐盘检测评定	符合规定	传感器自动检测、显示并打印
	混合料出厂温度	逐车检测评定	符合规定	传感器自动检测、显示并打印
矿料级配	0.075 mm		± 1	JTG F40-2004 附录 G 总量检验
	≤2.36 mm	逐盘检查每天汇总 1 次取平均值评定	± 2	
	≥4.75 mm		± 2	
沥青用量(油石比)	逐盘检查,每日汇总 1 次取平均值	± 0.1%		JTG F40 附录 F 总量检验
马歇尔试验	每台拌合机每天 1~2 次,以 4~6 个试件的平均值	± 0.3%		T0702、T0709
车辙试验	以 3 个试件的平均值	符合规定		T0719

移动汽车位置,呈“品”字形分次装料(见图 2)。运料车抵达施工现场后,由专人逐车检测温度,卸料时,倾倒干净,余料及时清除。

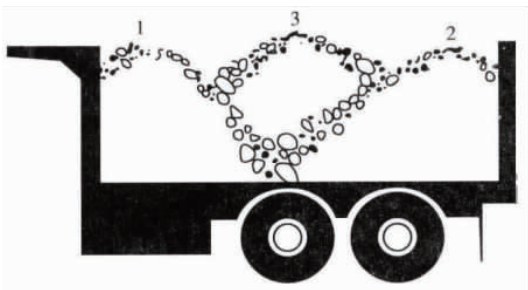


图 2 形成“品”字型装料

3.3 超薄磨耗层混合料摊铺和压实

超薄磨耗层采用同步摊铺施工工艺,运料车、摊铺车、钢轮压路机和乳化沥青补充车等同步协调作业(见图 3)。摊铺前调节熨平板主板,消除中间缝隙,加热熨平板至 135℃ 以上,沥青混合料的摊铺温度须大于 165℃,采用中强夯等级,使摊铺面初始压实度不小于 90%;摊铺机保持均匀、缓慢、连续不间断的摊铺,摊铺速度控制在 1~3 m/min,避免中途停顿或变换速度;摊铺时尽量减少受料斗拢料次数,在刮板尚未露出时(约 10 cm 余料),下辆运料车开始卸料,做到连续供料。



图 3 超薄磨耗层同步摊铺施工

GT-8 超薄磨耗层混合料采用了较高的沥青用量(不小于 7.2%),沥青的润滑作用下呈现出良好的压实特性,碾压工艺采用 12 t 双钢轮压路机,遵循紧跟、慢压的原则,静压 1~2 遍后收光整平,碾压遍数

不得超过 3 遍;碾压过程中保持钢轮清洁,为避免出现粘轮,采用间歇式雾状喷洒水溶液(含隔离剂)。碾压完成后,路面温度自然冷却至 50℃ 以下时,可开放交通。

3.4 施工质量检测及评价

为评价超薄磨耗层的施工质量和效果,根据《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2017)对施工完成后的超薄磨耗层进行抗滑性、渗水性、铺筑厚度及平整度等测试,检测结果见表 11。

表 11 超薄磨耗层路面实测项目

检测项目	检测结果	设计要求	评价
抗滑性	构造深度/mm	0.96	>0.8 合格
	摩擦系数/BPN	73	≥55 合格
渗水系数 ml/min	55.9	≤80	合格
厚度/cm	2.0 cm	± 2 mm	合格
平整度/mm	0.7	≤5	合格

由表 11 可以看出,各项性能检测指标均满足设计要求,且磨耗层表面均匀平整,搭接处应紧密、平顺,无轮迹、裂缝、油汀、离析等施工缺陷,超薄磨耗层的施工工艺取得良好的质量效果。

4 结论

本研究根据工程实际需要进行超薄磨耗层混合料配合比优化设计,依托麒麟公路建设项目,提出超薄磨耗层的成套施工关键技术,主要结论如下:

- (1)通过 CAVF 法优化设计了超薄磨耗层混合料的配合比,确定 5~8 mm、3~5 mm 和 0~3 mm 三档集料的掺配比为 58.45 : 19.49 : 19.06,基于矿料级配的最佳体积状态计算得到其最佳沥青用量为 7.9%(油石比)。

(2)根据麒师公路项目工程经验,提出超薄沥青磨耗层的关键施工技术,包括施工准备、混合料生产与运输、混合料摊铺和压实等关键工艺的控制事项。

(3)通过对施工路段检测表明,构造深度、摩擦系数、渗水系数、铺筑厚度和平整度等均满足设计要求,超薄磨耗层技术应用取得良好的施工质量与效果。

参考文献:

- [1] 中共中央国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》[J].中华人民共和国国务院公报,2021,1727(8):25-37.
- [2] 刘朝晖,柳力,李文博,等.融合感知特性的道路铺装结构设计体系研究综述及应用展望[J].中国公路学报,2022,35(7):18-35.
- [3] LongTing Ding, Xuancang Wang, Kaixing Zhang, et al. Durability evaluation of easy compaction and high-durability ultra-thin overlay [J]. Construction and Building Materials, 2021, 302:124407.
- [4] 孔令坤,李雪萍,冯志强.超黏精薄层罩面沥青混合料性能研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2021,18(4):9-15.
- [5] 王辉,李文凯,邵景干,等.GT-8型高韧沥青超薄磨耗层性能研究[J].河南科学,2022,40(7):1099-1107.
- [6] 王兆仑,刘朝晖,高建华.高粘度抗滑封装薄层沥青路面长效协同作用机理分析[J].材料导报,2019,33(S2):242-246.
- [7] Dar Hao Chen, Moon Won, Xianhua Chen, et al. Design improvements to enhance the performance of thin and ultra-thin concrete overlays in Texas[J]. Construction and Building Materials, 2016(116):1-14.
- [8] 虞将苗,杨倪坤,于华洋.道路高性能沥青超薄磨耗层技术研究与应用现状[J].中南大学学报(自然科学版),2021,52(7):2287-2298.
- [9] 李文博,张双侠,史倩倩,等.新疆严寒区UV老化下的沥青路面抗损劣性能研究[J].材料导报,2022,36(21):104-109.
- [10] 高磊,吴旷怀.基于正交试验的复合高黏高弹改性沥青制备及性能研究[J].公路,2021,66(12):323-329.
- [11] 荆强强,李传海,张荣华,等.基于CAVF法的高寒地区水泥稳定碎石基层设计及其性能[J].山东交通学院学报,2022,30(4):90-95.

《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

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com