

湿热环境下超薄磨耗层配比设计及抗滑性能研究

黄伟

(广东能达高等级公路维护有限公司, 广东 广州 510030)

摘要: 以华南湿热环境为背景, 进行广云(广州—云浮)高速公路超薄磨耗层 AC-8 配比设计, 确定最佳油石比及材料组成; 以温度、湿度为研究变量, 制作试件进行超薄磨耗层抗滑构造深度试验分析, 提出改善温度、湿度环境下沥青面层抗滑性能的措施; 最后进行油石比变化影响沥青面层抗滑性能的试验分析。结果表明, AC-8 目标配合比为粗集料(5~10 mm 碎石): 细集料(0~5 mm 机制砂): 矿粉=61: 30: 9, 最佳油石比为 6.35%; 温度、湿度变化均影响混合料的构造深度, 其中温度影响程度更显著; 油石比显著影响试件的构造深度残留率, 油石比越大, 构造深度残留率损失越大; 车辙时间也影响试件的构造深度残留率, 车辙试验中应确保车辙时间一致, 以免因车辙时间不一致造成试验结果误差。

关键词: 公路; 超薄磨耗层; 配比设计; 抗滑性能; 湿热环境

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)01-0087-04

超薄磨耗层运用到路面中能提高路面的抗滑性能。路面抗滑性能指标主要包括路面构造深度及横向摩擦系数。从测试便捷性及运用程度来看, 以路面构造深度作为路面抗滑性能指标更常见。超薄磨耗层的构造深度受环境影响, 湿热环境下超薄磨耗层的构造深度与干燥环境下有显著区别。刘奕研究了湿热环境下影响超薄磨耗层抗滑性能的因素, 指出施工中应将理论配比中油石比含量降低 0.3%~0.5%。目前, 关于湿热环境影响超薄沥青砼抗滑性能的成果较多, 但都建立在室内试验的基础上, 需通过现场试验确定温度、湿度的影响程度。

G80 广昆(广州—昆明)高速公路广云(广州—云浮)段位于广东西部地区, 路线全长 37.45 km, 双向四车道, 设计速度为 100 km/h, 部分路段为 120 km/h, 于 2004 年 12 月 24 日正式开通。该高速公路位于北回归线以南, 属亚热带季风海洋性气候, 湿润多雨, 夏无酷暑, 冬无严寒, 属于典型的湿热地区。该文以其为对象, 进行湿热环境下 AC-8 超薄磨耗层配比设计, 分析温度、湿度变化对超薄磨耗层抗滑性能的影响。

1 原材料

(1) 沥青。该项目加铺的超薄磨耗层采用 SBS(1-C 级)沥青, 其技术指标检测结果见表 1。

(2) 集料。集料特性影响沥青混合料的路用性质, 在沥青混合料设计中集料选择非常重要。该项

表 1 SBS 改性沥青技术指标检测结果

技术指标	标准要求	检测结果
针入度(25 °C, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	60~80	73.00
软化点 $T_{R&B}/^{\circ}\text{C}$	≥ 55	66.70
延度(5 °C, 5 cm/min)/cm	≥ 30	46.88

目中细粒式沥青砼 AC-8 所用粗、细集料规格分别为 5~10 mm 英安岩碎石和 0~5 mm 石灰岩机制砂。根据 JTG E42-2005《公路工程集料试验规程》, 粗集料压碎值 $\leq 26\%$ 、表观密度 $\geq 2.6 \text{ g/cm}^3$ 、吸水率 $\leq 2.0\%$, 细集料表观密度 $\geq 2.5 \text{ g/cm}^3$ 。集料密度及各项技术指标检测结果显示: 细集料表观密度 $> 2.5 \text{ g/cm}^3$, 满足规范要求; 粗集料压碎值为 $19.8\% < 26\%$, 表观密度 $> 2.6 \text{ g/cm}^3$, 吸水率 $< 2\%$, 均满足规范要求。

(3) 矿粉。按 JTG E42-2005《公路工程集料试验规程》进行测试, 测得矿粉的表观密度为 $2.754 \text{ g/cm}^3 > 2.5 \text{ g/cm}^3$, 满足规范要求。

(4) 原材料试验环境。原材料试验时温度为 20~30 °C, 湿度为 40%~60%。

2 湿热环境下超薄磨耗层配比设计及性能分析

(1) 矿料级配组成要求。该项目加铺的细粒式沥青砼 AC-8 的矿料级配见表 2。

(2) 矿料级配合成计算。采用水洗法进行沥青砼矿料级配筛分试验, 得到筛分试验结果及目标配

表2 细粒式沥青砼 AC-8 的矿料级配

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
0.075	8.75	1.18	23.6
0.150	12.5	2.36	28.4
0.300	15.8	4.75	96.3
0.600	18.7	9.50	100.0

合比矿料合成级配(见表3)。沥青混合料中各集料的比值为粗集料:细集料:矿粉=61:30:9。图1为细粒式沥青砼 AC-8 矿料级配曲线。

(3) 马歇尔试验。细粒式沥青砼 AC-8 的马歇尔试验结果见表4和图2。由表4和图2可知:沥

表3 细粒式沥青砼 AC-8 矿料级配合成计算

筛孔尺寸/mm	各集料通过率/%			合成级配通过率/%	推荐级配通过率/%
	5~10 mm	0~5 mm	矿粉		
9.500	98.2	100.0	100.0	98.9	100.0
7.200	45.2	100.0	100.0	66.1	96.2
4.750	1.3	91.2	100.0	36.3	36.2
2.360	0.4	45.7	100.0	22.4	28.6
1.180	0.4	33.2	100.0	18.7	23.4
0.600	0.4	20.9	100.0	15.2	19.1
0.300	0.4	13.3	100.0	12.9	15.5
0.150	0.4	8.2	99.6	11.4	12.6
0.075	0.4	5.3	94.7	10.2	10.3
矿粉	64.6	30.2	9.3	100.0	—

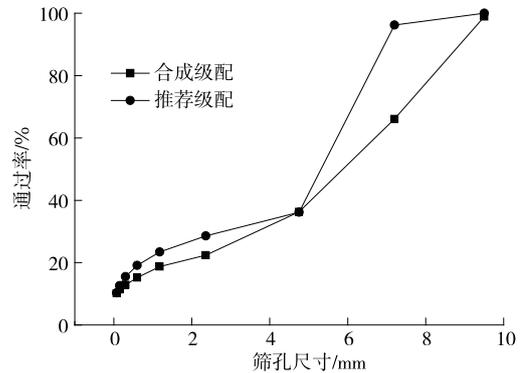


图1 细粒式沥青砼 AC-8 的矿料级配曲线

青混合料的空隙率取6%时,沥青混合料的油石比最佳。采用差分法,取空隙率为6%,对应的油石比计算结果为6.35%。因此,沥青混合料的最佳油石比为6.35%,毛体积密度为2.252 g/cm³。

(4) 路用性能试验。对油石比为6.35%的混合料进行车辙试件和冻融劈裂试验,试验结果分别见

表4 细粒式沥青砼 AC-8 马歇尔试验结果

油石比/%	毛体积密度/(g·cm ⁻³)	最大理论密度/(g·cm ⁻³)	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%
5.5	2.227	2.412	7.8	19.3	60.2
6.0	2.249	2.406	6.5	18.8	64.5
6.5	2.254	2.392	5.8	18.9	68.7
7.0	2.248	2.380	4.4	18.4	75.4

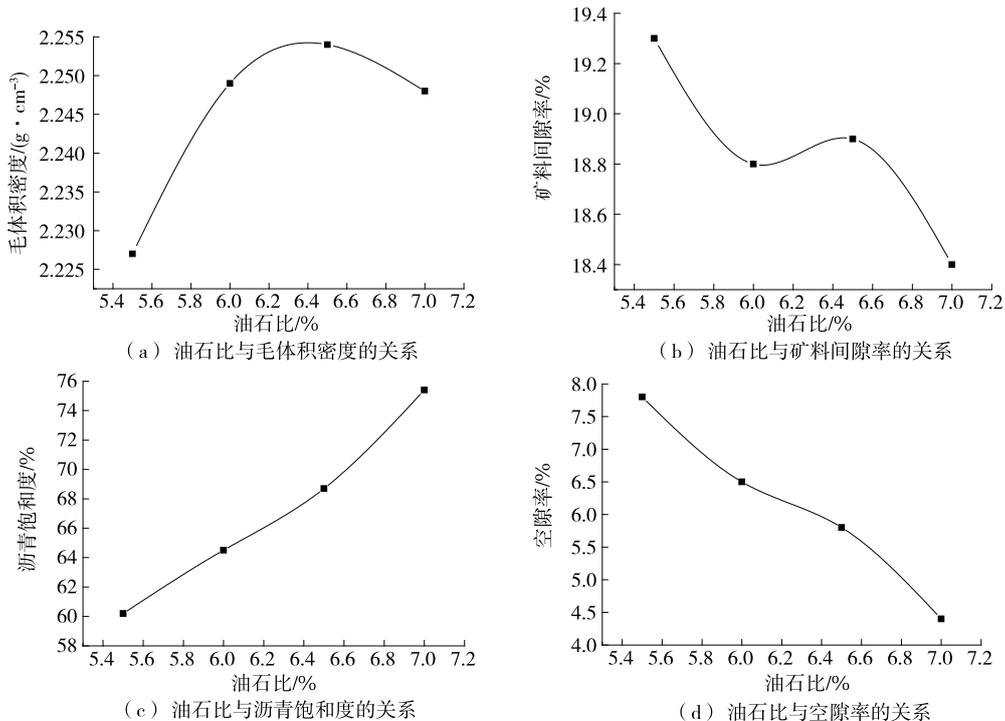


图2 细粒式沥青砼 AC-8 马歇尔试验曲线

表5、表6。由表5和表6可知:细粒式沥青砼 AC-8 的各项技术指标均达到规范要求,目标配合比为

粗集料(5~10 mm 碎石):细集料(0~5 mm 机制砂):矿粉=61:30:9,最佳油石比为 6.35%。

表5 细粒式沥青砼 AC-8 车辙试验结果

试件编号	不同时间(min)的变形量/mm			动稳定度/(次·mm ⁻¹)		相对变形/%	
	1	45	60	试验值	均值	试验值	均值
1	0.15	1.02	1.11	5 838		2.26	
2	0.13	0.92	1.01	7 111	6 978	1.89	1.98
3	0.14	0.85	0.93	7 986		1.71	

表6 细粒式沥青砼 AC-8 冻融劈裂试验结果

试件编号	强度/kN		冻融劈裂强度比/%
	试验值	均值	
1(冻融)	5.21		95.5
3(冻融)	5.02	5.05	
4(冻融)	4.91		
2(未冻融)	5.46		
5(未冻融)	5.27	5.29	
6(未冻融)	5.15		

3 湿热环境下超薄磨耗层抗滑性能分析

3.1 温度和湿度对抗滑性能的影响

以温度、湿度为研究变量,设置6种不同温度及6种不同湿度环境,将试块在设定的环境中养护后测定 AC-8 混合料的构造深度。每个变量制作4块试件,共48块试件。不同温度、湿度工况下 AC-8 混合料的构造深度见表7。

表7 不同温度、湿度下 AC-8 混合料构造深度测试结果

变量	变量值	各试件构造深度/mm				构造深度均值/mm
		1	2	3	4	
温 度	1 °C	1.35	1.30	1.25	1.26	1.29
	10 °C	1.19	1.22	1.28	1.31	1.25
	20 °C	1.11	1.17	1.09	1.20	1.14
	30 °C	1.07	1.12	1.11	1.13	1.11
	40 °C	1.02	0.97	1.01	0.93	0.98
	50 °C	0.92	0.91	0.89	0.97	0.92
湿 度	0	1.07	1.11	1.09	1.16	1.11
	1%~20%	1.09	1.08	1.15	1.13	1.11
	21%~40%	1.15	1.16	1.12	1.08	1.13
	41%~60%	1.12	1.13	1.11	1.17	1.13
	61%~80%	1.11	1.17	1.09	1.20	1.14
	81%~100%	1.13	1.15	1.20	1.16	1.16

由表7可知:温度和湿度变化均影响混合料的构造深度。湿度保持不变时,随着温度的升高,试件的构造深度逐渐降低,1 °C下试件构造深度比50 °C下构造深度高0.37 mm,温度变化对试件构造深度

的影响较大。温度保持不变时,随着湿度的增大,试件的构造深度逐步增大,但变化幅度较小,湿度为零时试件构造深度比81%~100%湿度下构造深度仅小0.05 mm,湿度变化对试件构造深度的影响较小。

温度、湿度均影响试件的构造深度,在不同温度、湿度环境下,试件展现出来的抗滑性能存在差异。考虑到温度对构造深度的影响更大,采用非线性函数关系式进行拟合,建立温度与构造深度之间的函数关系[见式(1)]。对表7中不同温度下试件构造深度进行拟合,得到 $a=0.955$ 、 $b=-0.068$ 。

$$H_{GZ} = a \times T^b \quad (1)$$

式中: H_{GZ} 为构造深度; a 、 b 为回归系数; T 为温度。

3.2 油石比对抗滑性能的影响

湿热环境湿度大、温度高,对沥青面层油石比的影响较大,会导致路面油石比不稳定,导致路面构造深度降低。因此,湿热环境中影响路面抗滑性能的关键指标为油石比。为分析油石比对路面构造深度的影响,采用构造深度残留率进行评价。

不同油石比下 AC-8 混合料各制备3个标准马歇尔击实试件,检测其构造深度 H_1 。对试件进行轮碾试验,试验结束后沿轮迹带将试件切割成矩形,测量其构造深度 H_2 。以轮碾试验前后试件的构造深度变化作为混合料构造深度残留率 H ,计算公式见式(2)。不同油石比下 AC-8 混合料的构造深度残留率见表8。

$$H = H_2 / H_1 \quad (2)$$

表8 AC-8 混合料油石比-构造深度试验结果

油石比/%	各试件的构造深度残留率/%			构造深度残留率均值/%
	1	2	3	
5.5	92.3	93.5	92.8	92.9
6.0	85.7	85.3	83.2	84.7
6.5	80.1	80.2	80.3	80.2
7.0	70.6	72.1	71.1	71.3

由表8可知:不同油石比下试件构造深度残留率不同,油石比影响试件的残留率。随着油石比的

增大,试件构造深度残留率显著减小。并非采取较大油石比更有利于超薄磨耗层的抗滑性能提高,超薄磨耗层施工中应控制好油石比。该项目采用6.35%的油石比能保障超薄磨耗层构造深度残留率达到相关要求。

试验中发现,车辙试验时间会影响试件的构造深度残留率。取一组马歇尔试件,分别增加车辙试验时间(如降低轮碾速度、延迟轮碾时间)10、30、50 s,测试混合料的构造深度,结果见表9。

表9 油石比为6.0%时不同车辙时间下AC-8混合料的构造深度残留率

车辙时间	各试件的构造深度残留率/%			构造深度残留率均值/%
	1	2	3	
标准轮碾	85.7	85.3	83.2	84.7
标准轮碾 +10 s	83.3	82.1	80.8	82.1
标准轮碾 +30 s	79.7	77.5	75.3	77.5
标准轮碾 +50 s	74.5	74.2	73.2	74.0

由表9可知:车辙时间不同,试件的构造深度也不同。随着车辙时间的增大,试件的构造深度残留率减小。车辙试验中应确保车辙时间一致,避免因车辙时间不一致造成试验结果误差。

3.3 提高沥青路面抗滑性能的措施

依据该项目现场施工环境,结合现有超薄磨耗层抗滑性能研究成果,可从以下方面采取措施提高沥青路面的抗滑性能。

(1) 结合施工现场油石比现状调整最佳油石比,根据经验,油石比可降低0.3%~0.5%。

(2) 提高沥青品质。从试验路效果来看,密级配AC-8超薄磨耗层可采用I-D级改性沥青。

(3) 改善黏附性。车辆荷载作用在沥青路面上时,泉吸作用下将沥青抽离到路面处,从而增加车辆轮胎接触的沥青量,不利于路面抗滑。因此,需确保沥青和集料间的黏附性。

4 结论

(1) AC-8混合料的目标配合比为粗集料(5~10 mm碎石):细集料(0~5 mm机制砂):矿粉=61:30:9,最佳油石比为6.35%。

(2) 温度和湿度变化均会影响混合料的构造深

度。湿度保持不变时,随着温度的升高,试件的构造深度逐渐降低;温度保持不变时,随着湿度的增大,试件的构造深度逐步增大,但变化幅度较小。相对于温度变化,湿度变化对试件构造深度的影响较小。

(3) 油石比影响试件的构造深度残留率,随着油石比的增大,试件的构造深度残留率显著减小。超薄磨耗层使用中应控制好油石比,并非油石比越大越有利于超薄磨耗层的抗滑性能提高。

(4) 车辙试验时间会影响试件的构造深度残留率,车辙时间增大,试件的构造深度残留率减小。车辙试验中应确保车辙时间一致。

(5) 湿热环境会造成沥青路面油石比不稳定,导致沥青路面构造深度衰减较快。油石比影响沥青路面的抗滑性能,可从调整最佳油石比、采用高品质沥青、改善沥青和集料间黏附性等入手提高超薄磨耗层的抗滑性能。

参考文献:

- [1] 王显华.超粘磨耗层技术在南方湿热地区沥青路面预防性养护中的应用研究[D].广州:华南理工大学,2018.
- [2] 王丽,李文凯,齐力源.超薄磨耗层路面使用性能与层间剪切试验研究[J].公路与汽运,2018(1):102-105.
- [3] 刘奕.湿热环境超薄磨耗层抗滑影响因素研究[J].中国科技信息,2016(12):48+50.
- [4] 王秋胜.超薄抗滑磨耗层结构组成的优化设计[J].中外公路,2017,37(1):254-257.
- [5] 李博.基于多指标的沥青路面抗滑性能评价及应用[D].北京:北京建筑大学,2019.
- [6] 唐忠国.超薄磨耗层在南友高速公路预防性养护中的应用研究[D].南宁:广西大学,2015.
- [7] 李雪平,曹德洪,祝学成,等.高速公路沥青混凝土路面抗滑磨耗层的选择[J].公路,2010(9):1-5.
- [8] 李运华,李珍,原华.基于Novachip超薄磨耗层的高速公路沥青路面养护技术应用研究[J].公路工程,2019,44(5):156-161.
- [9] 臧继成,张蕾,肖倩.沥青混凝土构造深度耐久性评价[J].公路交通科技,2014,31(2):42-46.
- [10] 陈晓.超薄罩面融雪剂沥青胶浆和沥青混合料的路用性能[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2018,15(3):8-13.
- [11] 周志刚,罗靖,曹长斌.嵌入式抗滑表层施工工艺参数研究[J].交通科学与工程,2020,36(1):7-13.

收稿日期:2020-04-17