

胶结料类型对小粒径 SMA-5 沥青混合料性能的影响

王强¹, 姚鸿儒^{2,3}, 李健¹, 乐海淳¹, 曹亚东¹

(1. 上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 201901; 2. 华东理工大学 石油加工研究所;
3. 上海城建日沥特种沥青有限公司)

摘要:为了探究胶结料对超薄磨耗层的路用性能与抗滑性能的影响,结合超薄磨耗层 SMA-5 沥青混合料的特点,将 4 种胶结料(高标沥青、高黏沥青、高弹沥青、重载沥青)分别应用于超薄磨耗层,并通过室内试验进行配合比设计和路用性能评价。结果表明:4 种改性沥青混合料均具有良好的路用性能,不同的胶结料类型有着不同的路用性能效果。综合路用性能 4 种胶结料排序为:高弹改性沥青>重载改性沥青>高黏改性沥青>高标改性沥青>70# 基质沥青。

关键词:薄层罩面;胶结料类型;小粒径沥青混合料;路用性能

热拌沥青混合料薄层罩面相对其他薄层技术,具有稳定性更佳、路用性能更好的特点,逐渐发展为一种高等级公路养护罩面形式。其中,小粒径 SMA-5 沥青混合料作为一种超薄层罩面类型,从原材料到组成设计、路用性能和力学性能以及施工技术等方面已有许多学者进行了研究。其中,SMA-5 所采用的胶结料多为 SBS 改性沥青及 MAC 改性沥青进行对比试验研究。随着新型材料的不断出现,如 ARSMA-5 维他橡胶沥青混合料、新型高黏沥青混合料和化学复合改性橡胶沥青等改性沥青混合料均具有较好的路用性能。将市面上不同的成品沥青胶结料应用于 SMA-5,并对不同改性沥青(SMA-5)超薄磨耗层进行路用性能室内研究,以分析胶结料技术指标对 SMA-5 沥青混合料性能的影响,为定制化设计薄层罩面专用沥青胶结料,为薄层罩面在预防性养护中的推广及应用,提供理论依据和参考。

1 配合比设计

1.1 原材料

4 种成品改性沥青:高标准 I-D 改性沥青、高黏度改性沥青、重载交通专用改性沥青、高弹性改性沥青,均由上海城建日沥特种沥青有限公司提供。其中,

高标准 I-D 改性沥青(以下简称“高标”)比 I-D 改性沥青更为优异,要求软化点大于 75℃、5℃ 延度大于 30 cm、老化后 5℃ 延度大于 20 cm;高黏度改性沥青(以下简称“高黏”)用于排水沥青混合料;重载交通专用改性沥青(以下简称“重载”)为重载交通、交叉口、集装箱堆场等重荷载道路用改性沥青;高弹性改性沥青(以下简称“高弹”)主要用于钢桥面铺装。4 种改性沥青均为 SBS 改性沥青,改性剂的含量为高弹>高黏≈重载>高标。随着改性沥青中 SBS 含量的增加,改性沥青发生相转变,由富沥青质相为连续相、富 SBS 相为分散相转变为富沥青质相为分散相、富 SBS 相为连续相。但 SBS 与沥青之间的相容性有限,随着 SBS 含量的增大,SBS 在沥青中分散所需时间增长,储存和运输过程中改性沥青可能会发生离析,改性沥青熔融黏度大影响施工和易性。因此需加入富含芳香分的小分子来增大 SBS 与沥青之间的相容性;并通过此类小分子的含量、种类和比例调节改性沥青的针入度,以应对不同的使用场合。一般来讲,针入度大的沥青具有较好的抗疲劳和抗开裂性能,针入度小的沥青具有较好的抗车辙和抗扭转性能。采用 70# 基质沥青作对比,5 种沥青胶结料的基本指标见表 1。所用粗集料、细集料和矿粉的密度见表 2;聚酯纤维掺量为混合料质量的 0.3%。

收稿日期:2021-01-12(修改稿)

基金项目:上海市经信委项目(编号:沪 J-2018-29);上海市科委项目(编号:19DZ1204200,19DZ1204205);科技部政府间国际创新合作重点专项(编号:2016YFE0108200);上海市建筑建材业市场管理总站科技项目(编号:住建管 2018-001-011)

作者简介:王强,男,硕士,工程师。E-mail:495259328@qq.com

表 1 沥青结合料技术指标

沥青 种类	针入度 (25 ℃)/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	延度 (5 ℃)/ cm	25 ℃ 弹性恢复 率/%	TFOT 后		
					质量变 化/%	针入度 比/%	5 ℃ 延度/cm
70 [#]	65.0	52	7	20	-0.11	68.8	2
高标	51.0	83	32	86	+0.06	76.0	21
高黏	60.0	93	36	95	+0.01	78.0	30
高弹	72.0	89	71	99	-0.03	94.0	64
重载	52.7	88	34	90	-0.08	76.0	28

表 2 集料密度及吸水率

集料/mm	毛体积相 对密度	表观相对 密度	吸水率/ %
3~5	2.789	2.943	0.468
0~3	2.700	2.700	0.624
矿粉	2.672	2.672	

1.2 级配设计

对集料进行筛分,参考美国 SMA-5 级配范围,调整各种矿料比例,设计 3 组不同的初试矿料级配。3 种混合料级配的矿料合成通过率(参考美国 SMA-5 级配范围)见表 3。

表 3 集料及 SMA-5 混合料设计级配范围

项目		通过下列筛孔(方孔筛:mm)的质量百分率/%							
		9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
石灰岩	(0~3 mm)	100	98.8	72.8	44.2	34.8	17.5	12.4	8.2
玄武岩	(3~5 mm)	100	93.1	8.2	4.8	2.8	2.2	1.8	1.8
石灰岩	矿粉	100	100	100	100	100	99.9	96.6	87.1
级配 范围	下限	100	90.0	28.0	22.0	18.0	15.0	13.0	9.0
	上限	100	100	65.0	36.0	28.0	22.0	18.0	15.0
	中值	100	95.0	46.5	29.0	23.0	18.5	15.5	13.5
合成 级配	A	100	95.6	38.6	28.0	24.1	18.5	16.4	14.0
	B	100	95.3	34.4	25.1	21.5	16.8	14.9	12.8
	C	100	95.1	31.9	23.5	20.2	16.2	14.5	12.5

1.3 初试级配

采用高标(I-D)改性沥青进行合成级配 A、B、C 的初步试验,结合以往经验及参考相关文献,经综合考虑确定采用油石比为 6.5%,进行混合料马歇尔试验,结果见表 4。

表 4 马歇尔试验及相关体积指标

合成级配	VV/ %	VMA/ %	VFA/ %	VCA _{mix} / %	稳定度/ kN
A	2.6	15.8	83.8	38.8	17.87
B	3.4	16.5	79.2	39.1	16.60
C	3.8	16.8	77.2	39.2	16.62
指标要求	3~4.5	≥16.5	70~85	≤VCA _{DRC}	≥6.0

由表 4 可知:级配 B 和 C 的马歇尔体积指标均满

足要求,但考虑到实际生产混合料的浮动以及施工等问题,初步考虑选择级配 B 或 C 作为目标合成级配。

1.4 级配检验

为了进一步验证级配 B 和 C 适用范围,将高黏、高弹、重载沥青和 70[#] 沥青按照级配 B 和 C 继续进行试验,检验不同级配组成对 5 种沥青的适应性(表 5)。通过研究和分析,综合考虑选择级配 C 和油石比 6.5%作为 5 种沥青的目标级配。

2 路用性能验证

按照选定的级配 C 和油石比 6.5%成型 5 种沥青混合料试件,分别进行析漏、肯塔堡飞散、冻融劈裂、车辙、抗滑性能和渗水试验等。

表 5 不同改性沥青的马歇尔试验及相关体积指标

沥青 类型	合成 级配	VV/ %	VMA/ %	VFA/ %	VCA _{mix} / %	VCA _{DRC} / %	马歇尔稳 定度/kN
高标	B	3.4	16.5	79.2	39.1	41.5	16.60
高黏		3.6	16.6	78.5	39.3		17.35
高弹		2.8	15.9	82.6	38.8		10.36
重载		3.2	16.4	80.6	39.1		17.09
70 [#]		3.2	16.3	80.2	39.1		12.56
高标	C	3.8	16.8	77.2	39.2	41.4	16.62
高黏		3.8	16.7	77.3	39.4		18.76
高弹		3.5	16.5	78.9	39.2		10.04
重载		3.8	16.7	77.5	39.3		15.36
70 [#]		3.7	16.6	77.9	39.3		10.41
指标要求		3~4.5	≥16.5	70~85	≤VCA _{DRC}		≥6.0

2.1 水稳定性

抗水损害性能主要取决于混合料的密实度和沥青与集料的黏附性。采用冻融劈裂抗拉强度比来评价沥青混合料的水稳定性(表 6)。由表 6 可知:4 种改性沥青混合料均具有较好的水稳定性能。综合考虑其改善混合料水稳定性的顺序为:高弹>高黏>重载>高标>70[#] 沥青。

表 6 冻融劈裂试验结果

沥青类型	TSR/%		指标要求/ %
	击实 75 次	击实 50 次	
高标	85.3	85.5	≥80
高黏	91.8	89.3	
高弹	105.2	89.4	
重载	90.7	88.4	
70 [#]	—	63.0	

从胶结料角度看影响沥青混合料水稳定性的因素主要有沥青对石料的握裹力和沥青与石料之间的界面结合。随着 SBS 含量的增大,沥青对石料的握裹力增加;高黏、重载和高弹沥青中都添加了抗剥落剂以提高沥青与石料之间的界面结合,这与冻融劈裂试验的结果一致。

2.2 析漏和飞散试验

采用析漏试验来评价沥青混合料中多余的自由沥青数量,检验混合料不发生流淌时的沥青用量;采用肯塔堡标准飞散试验评价路面集料脱落散失的程度,检

测混合料不发生松散时的沥青用量,试验结果如图 1、2 所示。

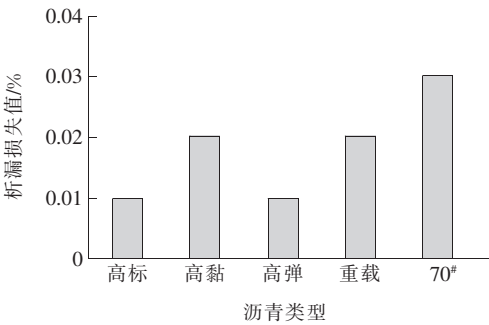


图 1 多类型沥青混合料析漏损失值

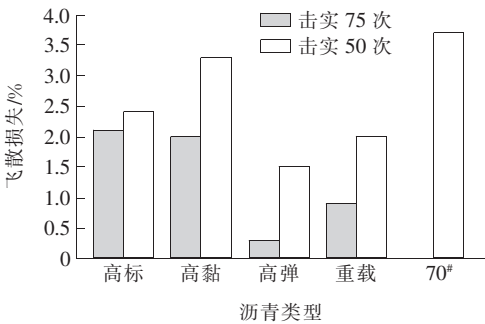


图 2 不同击实次数下的飞散损失值

由图 1、2 可知:4 类改性沥青混合料的析漏损失量和飞散损失值均小于 70[#] 沥青,且均符合行业标准(JTG F40—2004)的要求。由图 2 可知:击实 75 次或 50 次,各类沥青混合料均具有较好的抗飞散性能,说明其抗水损害能力较强。其改善混合料的抗水损害能力:高弹>重载>高标>高黏>70[#] 沥青。SMA 沥青

混合料的析漏与飞散损失主要受级配设计影响,与胶结料的性能关系较弱。

2.3 高温稳定性

采用车辙试验评价 SMA—5 沥青混合料的高温

稳定性能。依据行业标准(JTG E20—2011)进行试件成型与测试,通过动稳定度来对其抗车辙能力进行评价,试验结果见表 7。

由表7可以看出:4种改性沥青混合料的 60 ℃和

表 7 车辙动稳定度结果							
深度/ ℃	沥青类型	动稳定度/(次·mm ⁻¹)				平均值	变异系数
		1	2	3	4		
60	高标	7 975	7 777	8 400	8 400	8 138	3.84
	高黏	8 182	9 130	8 895	8 563	8 693	4.74
	高弹	6 177	6 495	6 494	6 363	6 382	2.35
	重载	7 875	7 975	8 080	7 750	7 920	1.78
	70 [#]	265	309	314	278	292	8.15
70	高标	4 739	4 773	5 250	5 338	5 025	6.23
	高黏	7 241	7 890	6 826	7 086	7 036	6.24
	高弹	4 118	3 539	4 286	3 728	3 918	7.81
	重载	5 526	5 294	5 490	5 320	5 408	2.17
	70 [#]	—	—	—	—	—	—
要求指标						≥3 000	≤20

70 ℃动稳定度及变异系数指标表明其均具有较好的高温稳定性能,不同改性沥青具有不同的高温性能效果。随着温度升高、动稳定度降低,变异系数增大,但仍满足要求。高弹沥青的高分子改性剂含量虽然高,软化点也高,但针入度高,导致动稳定度不如高黏沥青和重载沥青。不同沥青胶结料的高温性能改善效果为:高黏>重载>高标>高弹>70[#]沥青。

2.4 抗滑性能

SMA—5 作为直接与汽车荷载接触的抗滑表层材料,应具有较好的抗滑耐久性即构造深度的耐久性,路面的抗滑性能指标主要用路面宏观指标的表面纹理深度及微观指标的摩擦系数来评价。采用人工铺砂法测定构造深度和摆式摩擦仪测定摆值,并进行抗滑性能分析,结果如表 8 所示。

由表 8 可以看出:在相同的级配情况下,改性沥青或基质沥青的构造深度和摆值指标均满足指标要求。4 种改性沥青混合料的摩擦系数比 70[#] 基质沥青降低 12.2%~25.2%,分析认为是 70[#] 基质沥青的油膜相对较薄所致。且与日本的粗面型 SMA—5 的构造深度设计指标 0.9 mm 以上相比,构造深度远不满足实际工程的需要,故需通过调整级配设计方法和成型工艺等参数来获得最佳的构造深度。

表 8 抗滑性能检测结果			
沥青类型	构造深度 TD/mm	20 ℃摆值 F/BPN	摩擦系数 <i>f</i>
高标	0.63	80.5	0.784 6
高黏	0.63	80.6	0.785 6
高弹	0.62	79.5	0.774 1
重载	0.64	92.2	0.909 7
70 [#]	0.61	104.6	1.035 8
指标要求	≥0.4	≥50	—

注:摩擦系数与摆值存在如下对应关系 $F=95.92f+5.245$ 。

相关研究及该研究也表明,级配设计方法的选择也会构造深度造成较大的影响。此外,与 70[#] 基质沥青混合料相比,4 种改性沥青的 SMA—5 磨耗层的表面构造深度提高幅度较小且相差不大,说明胶结料类型对混合料的抗滑性能影响较小,并不能有效改善其抗滑性能。

2.5 渗水试验

控制 SMA 路面质量的关键是确保路面基本不渗水。由渗水试验结果可知:5 种沥青混合料的渗水指标均为零,表明其均有较好的防渗水性能。

2.6 低温性能

采用混合料低温弯曲试验评价其低温抗裂性能。由于最大公称粒径较小,即使采用 70[#] 石油沥青,最大弯曲应变也很好。不同沥青胶结料的低温性能改善效果为:高弹>高黏>重载>高标>70[#] 沥青(表 9)。

表 9 混合料低温弯曲试验结果

沥青种类	抗弯拉强度 R_B/MPa	最大弯曲应变 $\epsilon_B/\mu\epsilon$	弯曲劲度模量 S_B/MPa
70 [#]	8.12	6 166	1 346
高标	10.42	7 412	1 441
高黏	11.18	8 045	1 401
高弹	16.06	12 298	1 317
重载	10.70	7 567	1 415

3 结论

通过室内试验对 5 种沥青类型的超薄磨耗层 SMA-5 沥青混合料进行配合比设计和路用性能研究,得到以下结论:

- (1) 胶结料类型主要影响 SMA-5 的高低温性能和水稳定性。析漏、飞散损失、抗滑性能和渗水受胶结料类型影响较小。
- (2) 经试验验证,4 种改性沥青混合料均具有良好的路用性能,不同的胶结料类型有着不同的路用性能效果。综合各路用性能来看,除车辙性能略有不足外,高弹改性沥青的路用性能最佳。其顺序为:高弹改性沥青>重载改性沥青>高黏改性沥青>高标改性沥青>70[#] 基质沥青。
- (3) 在同一级配和沥青用量下,沥青胶结料类型并不能有效改善 SMA-5 的抗滑性能,可能与所用的集料类型、级配设计方法和成型工艺等有关联。
- (4) 超薄磨耗层 SMA-5 的路用性能评价结果,可为不同道路等级和使用要求的材料选择提供一些参考。可根据实际道路的损害情况、交通荷载和气候条件等因素选择合适的沥青胶结料。高弹改性沥青可适

当降低针入度以更好地适用于超薄磨耗层 SMA-5。

参考文献:

[1] 刘武,邓俊双.不同易密实超薄罩面处治方案应用效果分析[J].中外公路,2019(3).

[2] 李正中,柴东然,耿磊,等.密级配抗滑超薄磨耗层材料 UWM-10 设计与路用性能研究[J].中外公路,2019(1).

[3] 于国功.典型超薄磨耗层路用性能对比试验研究[J].交通运输研究,2013(22).

[4] 吴旷怀,张肖宁.超薄罩面层 SMA-5 沥青混合料的设计[J].华南理工大学学报,2006(4).

[5] 郑武奎.温拌 SMA-5 沥青混合料室内试验研究[J].山西建筑,2011(4).

[6] 孙宝生.SMA-5 超薄沥青面层施工技术研究[D].西安建筑科技大学硕士学位论文,2011.

[7] 林荔萍,王晓燕.超薄磨耗层 SMA-5 沥青混合料在辽宁新铁高速公路上的应用[J].山东交通科技,2013(3).

[8] 张震.小粒径 SMA-5 组成设计与性能研究[D].山东大学硕士学位论文,2015.

[9] 陈冰.细粒式超薄 SMA-5 在高速公路养护维修工程中的应用研究[D].山东大学硕士学位论文,2015.

[10] 霍晓东.细粒式超薄 SMA-5 级配组成和路用性能的研究[D].长安大学硕士学位论文,2008.

[11] 龚廉溟,王鹏,王捷.维他橡胶沥青超薄磨耗层 ARSMA-5 的应用研究[J].公路,2010(9).

[12] 任瑞波,耿立涛,王立志,等.一种 SMA-5 型高黏沥青混合料的设计与性能评价[J].建筑材料学报,2016(4).

[13] 郑立宝,郭利扬,薛晓飞,等.基于不同沥青胶结料的抗滑防水超薄罩面性能评价[J].中外公路,2018(3).

[14] 叶伟.自研高性能改性乳化沥青在超薄磨耗层层间粘结中的应用[J].中外公路,2017(2).

[15] 李强,王永维,李桂琴,等.彩色树脂抗滑薄层罩面技术在青海省道 S103 的应用研究[J].中外公路,2018(3).

[16] 张勇.水性环氧乳化沥青混合料路用性能研究[J].中外公路,2017(5).

[17] 郑木莲,陈拴发,王选仓,等.纵向摩擦系数在路面抗滑性能评价中的应用[J].长安大学学报(自然科学版),2005(4).

[18] 杨一希.高速公路 SMA-13 面层不均匀渗水成因分析[J].湖南交通科技,2016(3).