

文章编号:1671 8879(2006)01 0001 07

高速公路 SMA 混合料高温稳定性及影响因素

申爱琴¹, 王 娜¹, 李明国², 孙长新²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 西安 710064;

2. 广东省交通科学研究所, 广州 510420)

摘 要:针对京珠高速公路粤境内北段交通量大、超载严重、长陡坡路段多、夏季高温多雨多雾等特点,采用 16 水平 4 因素的均匀设计法,研究了各档粗集料用量与骨架间隙率[VCA]之间的相关性,优化了 SAM 矿料级配,并对 SMA 高温稳定性及影响因素进行了分析,且重点研究了粗集料用量、沥青用量、纤维品种等对 SMA 高温稳定性的影响。结果表明,当粉胶比为 1.8、粗集料用量控制在 75%~80%、油石比控制在 5.8%~6.0%时,SMA 高温性能最优。

关键词:道路工程; SMA; 高温稳定性; 粗集料用量; 纤维品种; 影响因素

中图分类号:U414.75 **文献标识码:**A

High Temperature Stability and Its Influencing Factors of SMA Mixture

SHEN Ai-qin¹, WANG Na¹, LI Ming-guo², SUN Chang-xin²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Guangdong Provincial Traffic Research Institute, Guangzhou 510420, China)

Abstract: Aimed at the characteristics such as heavy traffic, serious surcharge, a lot of long scarps, long term of high temperature, raininess and heavy fog in summer of Beijing-Zhuhai expressway in Guangdong Province, this paper, which adopts uniform design method with 16 levels and 4 factors, studies the relativity between coarse aggregate content and [VCA], optimizes the mix of SMA mixture. The high temperature stability and influencing factors are also studied scientifically, especially the influence of coarse aggregate content, asphalt content, fiber species and etc on high temperature behavior. The results indicate that when the dust proportion is 1.8, the coarse aggregate content between 75%~80%, and the asphalt aggregate ratio between 5.8%~6.0%, the SMA at high temperature can reach the best performance. 11 tabs, 1 fig, 6 refs.

Key words: road engineering; SMA; high temperature stability; coarse aggregate content; fiber species; influencing factor

0 引 言

京珠高速公路粤境内北段北接京珠国道主干线湘境高速公路,路线从东南横穿粤北山区,路线全长

109.937 km,是北京—珠海国道粤境内主干线。本路段位于粤北山区,沿线地形复杂、路线纵坡大、长陡坡路段多,夏季高温、冬季冰冻,降雨量大,多雾且能见度差,不但交通量大,而且车辆超载严重,只

收稿日期:2005-01-05

基金项目:广东省交通科技项目(粤交科[2002]347号)

作者简介:申爱琴(1957-),女,四川绵阳人,教授,博士研究生导师。

有采用 SMA 才能解决该路段路面的突出矛盾^[1-2]。广东省夏季高温持续时间长,在交通荷载作用下,沥青路面容易产生各种塑性变形。据调查显示,很多公路建成通车后不久,便出现泛油、推移、拥包、车辙等多种病害,严重影响行车安全。为此,本研究就如何提高 SMA 混合料高温稳定性,从优化配合比设计及高温稳定性影响因素两个方面进行了系统研究,重点就 SMA 混合料中粗集料用量、沥青用量、

纤维品种等对高温稳定性的影响进行了探讨^[3-6]。

1 原材料性能测试及分析

本研究采用 5% 的岳阳巴陵牌 SBS YH-791-H 改性剂改性台湾 70# 基质沥青,技术指标如表 1 所示,所用的石料为辉绿岩集料,集料规格为 13.2/19 mm、5/13.2 mm 和机制砂,矿粉为白云岩磨制的石粉。集料筛分结果见表 2。

表 1 台湾 70# 基质沥青与改性沥青性能试验结果

项 目	台湾 AH 70# 基质沥青		5% SBS 改性台湾 AH 70# 沥青		试验方法
	技术标准	试验结果	技术标准	试验结果	
针入度/ 0.1 mm	25 °C	60.0~80.0	64.0	≥40.0	T0604-2000
	15 °C	实测记录	19.2	实测记录	
	30 °C	实测记录	105.1	实测记录	
T_{800}		47.4	—	61.1	
$T_{1.2}$	—	-9.4	—	-22.0	
针入度指数 PI	—	-1.392	≥+0.200	1.100	T0605-1993
延度/cm	15 °C	≥100	>150	—	
	5 °C	—	—	≥20.0	
软化点/°C	44.0~54.0	49.0	≥60.0	86.0	
溶解度/%	≥99.0	99.1	≥99.0	—	
含蜡量/%	≤3.00	2.57	≤3.00	—	T0615-2000
闪点/°C	≥230	342	≥230	346	T0611-1993
密度(15 °C)/(g·cm ⁻³)	实测记录	1.040	实测记录	1.035	T0603-1993
粘附性	辉绿岩	≤5 级	3	≤5 级	T0616-1993
	石灰岩	≤5 级	—	≤5 级	
弹性恢复/%	—	—	≥70	96.8	T0662-2000
TFOT 后残留物					
质量损失/%	≤0.800	0.034	≤1.000	0.018	T0609-1993
针入度比/%	≥55.0	69.2	≥65.0	95.7	
延度(25 °C)/cm	≥50	—	—	—	
延度(15 °C)/cm	实测记录	>150	—	—	
延度(5 °C)/cm	—	—	≥15.0	29.2	
软化点/°C	实测记录	54	—	—	

表 2 集料筛分试验结果

材料	通过各筛孔(mm)质量百分率/%										
	19.00	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
13.2/19	100.0	87.9	54.5	12.5	1.5	0.9	—	—	—	—	0.9
5/13.2	—	—	100.0	98.5	28.3	6.6	4.3	4.0	3.6	2.3	0.9
机制砂	—	—	—	100.0	99.9	73.4	46.0	37.7	24.6	18.6	11.1

2 SMA 混合料配比设计

为了确保 SMA 形成骨架结构,采用 16 水平 4 因素的均匀设计法优化 SMA 矿料级配,研究了各档粗集料用量与骨架空隙率[VCA]-之间的关系,结果表明^[1],为使粗集料形成密实骨架结构,可取 9.5~4.75 mm 集料含量占粗集料用量的 37%左右,并尽量减少 13.2~9.5 mm 集料含量,对于 19~16 mm 集料含量可采用经验值,而对 16~13.2 mm 集料含量的限制较少。根据嵌挤原则,细集料进行配合比设计时,为了不对粗集料骨架结构产生支撑作

用,最好断开 4.75~2.36 mm 这档料,其他的粒级用量可采用 k 法设计,以使整个细集料具有较大的凝聚力、密实度和较小的空隙率。在级配设计时,选用 1.6、1.8 和 2.0 的粉胶比,即确定 3 个矿粉用量进行初试级配的设计。结合均匀设计法得出的粗集料级配及 k 法设计的细集料级配,初选 4.75 mm 通过率分别为 23%、25%和 28%,固定对骨架空隙影响最为显著的 9.5~4.75 mm 档集料的最佳用量(占整个粗集料用量的 37%左右),从而确定不同粉胶比的 SMA 沥青混合料初试级配,同时选用合同文件中中级配 J-7 进行对比。各种初试级配见表 3。

表 3 SMA-16 初试级配 1

级配类型	各筛孔(方孔筛,mm)通过质量百分率/%										
	19.00	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
J-1.6-1	100	95.0	75.0	58.12	23.0	19.5	15.79	13.22	11.39	10.10	9.20
J-1.6-2	100	95.0	75.0	60.12	25.0	21.5	17.07	14.00	11.81	0.27	9.20
J-1.6-3	100	95.0	75.0	63.12	28.0	24.5	18.99	15.17	12.45	10.54	9.20
J-1.8-1	100	95.0	75.0	60.12	23.0	19.5	16.20	13.92	12.29	11.15	10.35
J-1.8-2	100	95.0	75.0	62.12	25.0	21.5	17.48	14.70	12.72	11.32	10.35
J-1.8-3	100	95.0	75.0	65.12	28.0	24.5	19.40	15.87	13.35	11.59	10.35
J-2.0-1	100	95.0	75.0	60.12	23.0	19.5	16.62	14.62	13.20	12.20	11.50
J-2.0-2	100	95.0	75.0	62.12	25.0	21.5	17.90	15.40	13.62	12.37	11.50
J-2.0-3	100	95.0	75.0	65.12	28.0	24.5	19.81	16.57	14.26	12.63	11.50
J-7	100	93.6	75.9	53.21	27.7	18.4	14.74	13.74	12.17	11.13	9.73

对粗集料骨架结构空隙率产生显著影响的还有 13.2~9.5 mm 这档集料的用量,且随其用量增加,骨架空隙呈二次曲线增长趋势,因此可根据经验值固定 13.2~9.5 mm 的用量,使 9.5~4.75 mm 这档集料的用量发生变化,变化 4.75 mm 通过率为 23%、25%和 28%,采用 3 种粉胶比形成 9 种级配进行研究,级配组成思路见表 4,级配组成见表 5。

对以上 19 种初试级配,采用同济大学提出的 SMA 沥青合理用量的算法分别计算其沥青用量,并上下浮动 0.3%,进行马歇尔试验(表 6),从而确定各 SMA 混合料的最佳沥青用量及空隙率。考虑

到该地区特殊的地理、气候及交通条件,在初试的 19 种 SMA 混合料中,以空隙率[VV]=3.5%~4.0%、[VMA] $>17\%$ 、[VFA]=75%~85%及粗集料骨架空隙率[$VCA_{\text{粗}}$] $>[VCA_{\text{min}}$]为控制指标,选取表 6 中 S-1.6-3、S-1.8-2、S-2.0-2、S-7、S-1.6-6、S-1.8-5 和 S-2.0-5 为 SMA 主级配研究类型。对所选 7 种 SMA 混合料分别进行肯塔堡飞散试验和谢伦堡沥青析漏试验,经检验各沥青用量均符合规范要求,因此用马歇尔法初步确定的沥青用量可作为目标配合比设计的沥青用量。

3 SMA 高温稳定性及影响因素

3.1 车辙试验结果及分析

对上述 7 种 SMA 混合料进行了车辙试验(60℃),以检验其高温稳定性能,试验结果见表 7。

从表 7 可以看出,7 种 SMA 的动态稳定度[DS]均大于规范要求的 3 000(次 $\cdot\text{mm}^{-1}$),各 SMA

表 4 SMA-16 初试级配 2 的组成思路

粉胶比	13.2~9.5 mm 用量	9.50~4.75 mm 用量 (占整个矿料比例)
1.6	用量保持不变,占整个矿料质量的 20%。	32%
1.8		30%
2.0		27%

表5 SMA-16 初试级配2

级配类型	各筛孔(方孔筛,mm)通过质量百分率/%										
	19.00	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
J-1.6-4	100	95	75	55	23	20	16.46	14.02	12.27	11.05	9.06
J-1.6-5	100	95	75	55	25	20	16.46	14.02	12.27	11.05	9.06
J-1.6-6	100	95	75	55	28	20	16.46	14.02	12.27	11.05	9.06
J-1.8-4	100	95	75	55	23	20	16.46	14.02	12.27	11.05	10.19
J-1.8-5	100	95	75	55	25	20	16.46	14.02	12.27	11.05	10.19
J-1.8-6	100	95	75	55	28	20	16.46	14.02	12.27	11.05	10.19
J-2.0-4	100	95	75	55	23	20	16.46	14.02	12.27	11.40	11.32
J-2.0-5	100	95	75	55	25	20	16.46	14.02	12.27	11.40	11.32
J-2.0-6	100	95	75	55	28	20	16.46	14.02	12.27	11.40	11.32

表6 SMA-16 初试级配混合料的物理指标汇总表

SMA 混合料类型	最佳油石比/%	稳定度/kN	流值/0.1 mm	密度/(g·cm ⁻³)	理论密度/(g·cm ⁻³)	[VV]/%	[VMA]/%	[VFA]/%	[VCA _{min}]/%	[VCA _{DRC}]/%
S-1.6-1	5.80	6.05	24.5	2.475	2.608	5.1	18.9	73.0	38.6	43.53
S-1.6-2	6.00	6.25	23.1	2.495	2.614	4.6	18.5	75.3	39.8	43.49
S-1.6-3	6.10	7.21	26.3	2.509	2.609	3.8	17.8	78.5	41.8	43.23
S-1.8-1	6.00	6.78	25.3	2.492	2.612	4.6	18.5	75.2	38.2	43.58
S-1.8-2	6.10	6.85	26.8	2.504	2.606	3.9	17.9	78.1	39.4	43.32
S-1.8-3	6.10	7.54	27.5	2.524	2.611	3.3	17.4	80.9	41.5	43.30
S-2.0-1	6.00	7.51	29.2	2.514	2.610	3.7	17.7	79.2	37.7	43.62
S-2.0-2	6.10	7.47	28.8	2.514	2.609	3.6	17.7	79.4	39.3	43.54
S-2.0-3	6.20	8.03	31.9	2.519	2.611	3.5	17.6	79.9	41.7	43.33
S-7	6.00	9.29	30.9	2.519	2.616	3.8	17.7	78.6	40.3	42.54
S-1.6-4	5.80	7.43	24.6	2.505	2.625	4.6	18.3	75.0	37.8	44.01
S-1.6-5	5.90	7.96	24.5	2.510	2.625	4.4	18.2	75.9	39.3	44.02
S-1.6-6	6.00	9.81	26.7	2.519	2.624	4.0	17.8	77.5	41.5	44.03
S-1.8-4	5.90	8.47	25.4	2.521	2.625	4.0	17.8	77.8	37.4	44.01
S-1.8-5	6.00	9.10	26.3	2.527	2.624	3.7	17.6	79.0	38.9	44.02
S-1.8-6	6.10	9.42	27.8	2.542	2.624	3.1	17.1	81.8	41.0	44.03
S-2.0-4	5.95	9.29	26.6	2.518	2.625	4.1	17.9	77.3	37.5	44.01
S-2.0-5	6.00	9.10	26.3	2.532	2.624	3.5	17.4	79.9	38.8	44.02
S-2.0-6	6.10	9.26	24.6	2.535	2.623	3.4	17.3	80.5	41.2	44.03

注:表中黑体数字为所选的7种SMA混合料。

按动态稳定度[DS]从大到小排列顺序为 S-1.8-5>S-7>S-2.0-5>S-1.8-2>S-2.0-2>S-1.6-6>S-1.6-3,其中 S-1.8-5 动态稳定度[DS]最大,说明其高温稳定性最好,而混合料 S-1.6-3 的动态稳定度最小,表明其高温稳定性最差。从车辙深度可以看出,各混合料车辙深度的变化规律为 S-1.8-5<S-7<

S-2.0-5<S-1.8-2<S-2.0-2<S-1.6-6<S-1.6-3。

从表7可知,3种粉胶比混合料的动态稳定度大小为[DS_{1.8}]>[DS_{2.0}]>[DS_{1.6}] (下标表示粉胶比大小),粉胶比为1.8的混合料高温稳定性最好。试验结果表明:粉胶比为1.8时,粗集料骨架结构已经形成,矿粉可以充分吸附沥青,形成较厚的结构沥青

表7 7种 SMA-16 混合料的车辙试验结果

混合料类型	最佳油石比/%	动态稳定度/ (次·mm ⁻¹)	60 min 车辙 深度/mm
S-1.6-3	6.1	5 888	1.54
S-1.8-2	6.1	6 848	1.19
S-2.0-2	6.1	6 702	1.21
S-7	6.0	8 438	1.02
S-1.6-6	6.0	6 176	1.38
S-1.8-5	6.0	9 034	0.91
S-2.0-5	6.0	7 236	1.05

青膜,使沥青玛蹄脂具有良好的高温性能,从而使 SMA 沥青混合料显示良好的高温稳定性。

粉胶比相同、级配不同的 SMA 混合料动态稳定度差异较大,说明粉胶比不是决定 SMA 混合料高温稳定性的最关键因素。比较 3 组混合料可发

现,各级配均满足 $[VCA_{mix}] < [VCA_{DRC}]$,说明粗集料均已形成骨架结构,因此动态稳定度都较大。但在相同粉胶比的 SMA 混合料中,动态稳定度较大的 $[VCA_{mix}]$ 小于动态稳定度较小的 $[VCA_{mix}]$,这表明当骨架结构形成后,玛蹄脂填充较为密实时,混合料的抗车辙能力较强。

3.2 高温稳定性影响因素研究

3.2.1 粗集料用量的影响

为考察 SMA 高温稳定性随粗集料用量的变化,本文以级配 J-1.8-5 为基础,微调其他粒径用量,主要变化 4.75 mm 的通过量,变化范围 14%~33%,每 3% 为一档,其具体级配见表 8 (其中级配 M-4 即为级配 J-1.8-5)。变化粗集料形成 8 种 SMA 混合料,矿粉用量相同,纤维均采用木质素颗粒纤维,掺加剂量为整个混合料的 0.4%,并将这 8 种混合料进行 60℃ 车辙试验,试验结果见表 9。

表8 变化粗集料用量的 SMA-16 级配

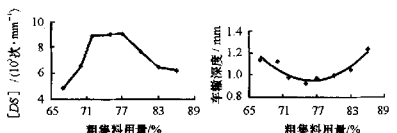
级配类型	各筛孔(方孔筛,mm)通过质量/%									
	19.00	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15
M-1	100	95	75	55	33	20.0	16.46	14.02	12.27	11.05
M-2	100	95	75	55	30	20.0	16.46	14.02	12.27	11.05
M-3	100	95	75	55	28	20.0	16.46	14.02	12.27	11.05
M-4	100	95	75	55	25	20.0	16.46	14.02	12.27	11.05
M-5	100	95	75	55	23	20.0	16.46	14.02	12.27	11.05
M-6	100	95	75	55	20	20.0	16.46	14.02	12.27	11.05
M-7	100	95	75	55	17	16.5	14.23	12.65	11.53	10.74
M-8	100	95	75	55	14	13.5	12.31	11.48	10.89	10.48

表9 变化粗集料用量的 SMA 车辙试验结果

级配类型	粗集料含量/%	动态稳定度/ (次·mm ⁻¹)	60 min 车辙 深度/mm
M-1	67	6 238	1.23
M-2	70	6 429	1.05
M-3	72	7 683	1.00
M-4	75	9 034	0.97
M-5	77	8 979	0.92
M-6	80	8 904	0.98
M-7	83	6 516	1.12
M-8	86	4 846	1.14

由图 1 可知,粗集料用量越多,SMA 沥青混合料的动态稳定度不一定越大,两者并非非线性关系,而

出现峰值。当粗集料用量为 75%~80% 时,混合料的动态稳定度有一个明显的峰值范围,且在此范围内变化很小,这是因为细集料填充粗集料的骨架空隙而未产生干涉、支撑作用时,单位骨架体积所包含的细集料越多,混合料的单位截面积上胶泥接触面积就越大,细集料产生的粘结力也越大,故可获得较大的结构强度。粗集料用量在此范围内,混合料的骨架强度最大,抗车辙能力最强。当粗集料用量小于 70%,细集料用量相对较多,对骨架结构产生了干涉作用,骨架不稳,故结构强度不高;粗集料用量在 70%~75% 时,细集料对骨架结构的干涉作用越来越小,骨架结构强度越来越大,混合料抗车辙变形的能力逐渐增强;粗集料用量大于 80%,细集料用量过少,不能完全填充粗集料骨架空隙,使得混合料



(a) 粗集料用量与动态稳定度的关系 (b) 粗集料用量与车辙深度的关系

图1 粗集料用量与动态稳定度、车辙深度的关系

成为骨架空隙结构,因而动态稳定度降低。

从图1(b)可以看出,随着粗集料用量的增加,SMA混合料的车辙深度 d 呈二次曲线变化趋势,回归方程为 $y = -0.0027x^2 - 0.4066x + 16.429$,相关系数 $R = 0.9345$ 。由回归方程可得出,当粗集料用量为76.7%时,混合料的车辙深度最小,此时混合料的高温抗车辙变形能力最强。这证实了并非粗集料越多,混合料的抗车辙能力越好,而是存在一个适度的粗骨架,它与细集料、沥青玛蹄脂共同作用形成最佳的抗车辙变形能力。由此可见,粗集料的骨架结构对SMA沥青混合料的高温稳定性影响很大,但也不能忽视玛蹄脂的作用,只有当粗集料形成骨架结构而细集料填充充分时,SMA沥青混合料的抗车辙变形能力才最强,过多或过少的粗集料用量都会降低沥青混合料的抗车辙能力。

3.2.2 沥青用量的影响

本文中仍以级配J-1.8-5为基础,改变沥青用量、固定矿粉用量以及纤维品种和用量,以便揭示沥青用量对SMA沥青混合料动态稳定度的影响规律,试验结果见表10。

表10 变化油石比的SMA车辙试验结果

油石比/%	矿粉含量/%	动态稳定度/ (次·mm ⁻¹)	60 min 车辙 深度/mm
5.4	10.19	5 370	1.32
5.7	10.19	6 195	0.96
6.0	10.19	9 034	0.91
6.3	10.19	8 428	1.02
6.6	10.19	4 340	1.99

表10表明,SMA动态稳定度和车辙深度随油石比变化而有明显差异:随着油石比的增大,动态稳定度不断增加,车辙深度不断减小,油石比为6.0%时动态稳定度达到最大值;当油石比较少时,大量的矿粉没有被沥青吸附,不能形成沥青胶团,没有足够的结构沥青膜粘结粗集料骨架,从而使沥青玛蹄脂的高温劲度不足,降低了混合料的高温稳定性;随着沥青用量的增加,结构沥青膜逐渐形成,沥青更为充分地包裹在集料表面,使得沥青与集料之间的粘聚力

随着沥青用量的增加而增加;当油石比在6.0%~6.2%时,动态稳定度形成峰值,这说明混合料中已经形成的结构沥青膜充分粘附在矿粉颗粒表面,沥青玛蹄脂具有最优的粘聚力,在粗集料的骨架之间起到了牢固粘结的作用,从而使混合料的高温稳定性大大提高,此时的油石比就此级配而言已达到最佳油石比范围。油石比超过最佳范围,动态稳定度呈减小趋势,这是因为过多的沥青逐渐将矿料颗粒推开,在颗粒间形成未与矿粉交互作用的自由沥青,沥青玛蹄脂的粘聚力随着自由沥青的增加而降低,这时沥青不仅起着粘结剂的作用,还起着润滑剂的作用,这种作用使得粗集料的相互嵌挤作用有所降低,沥青混合料的内摩擦角有所减小,从而大大降低其高温稳定性。

对60 min车辙深度分析可以发现,混合料的60 min车辙深度与油石比呈抛物线变化趋势,当油石比为5.9%时,混合料的60 min车辙变形最小;当油石比大于6.0%后,车辙深度随沥青用量提高而急剧增加,动态稳定度迅速减小。与动态稳定度相比较,60 min的车辙深度更能直接反映路面在轮载作用下的永久变形。沥青用量过多,将大大增加60 min的车辙深度,削弱混合料的高温稳定性,这种削弱幅度比沥青用量不足时更加迅速,同时还引起泛油、车辙等一系列路面病害。因此,在夏季持续高温的气候条件下进行SMA配合比设计必须严格控制沥青用量,油石比最好小于6.0%,否则极易造成路面病害。

3.2.3 纤维种类的影响

为了研究纤维种类对SMA混合料高温性能的影响,试验中采用级配J-1.8-5,固定油石比为6.0%,矿粉用量为10.19%,变化纤维的种类和掺量进行试验比较,试验结果见表11。

表11 不同纤维种类的SMA混合料车辙试验结果

纤维种类	木质素颗粒纤维	木质素松散纤维	有机聚酯纤维
掺量/%	0.40	0.30	0.34
动态稳定度/(次·mm ⁻¹)	9 034	4 549	11 470
45 min 车辙深度/mm	0.851	0.928	1.066
60 min 车辙深度/mm	0.908	1.036	1.102

从试验结果可以看出,纤维品种对混合料的高温稳定性影响极其显著:使用有机聚酯纤维的混合料与使用木质素松散纤维的混合料相比,其动态稳定度增加了约7 000(次·mm⁻¹);而使用木质素颗

粒纤维的混合料比使用了松散纤维的混合料,其动态稳定度增加了约 4 500 (次 \cdot mm $^{-1}$)。分析试验结果还可以看出,使用有机聚酯纤维的混合料高温稳定性提高明显,但其车辙深度最大,主要是早期(45 min 前)的变形较大。在相同的时间内有机聚酯纤维混合料的车辙变形速率最快,而且有机纤维价格昂贵,不适合在大规模的工程上使用。木质素松散纤维对于改善混合料的高温稳定性有一定的影响,就本研究而言,其改善程度不如其他两种纤维,并且松散纤维会大量吸收混合料中的沥青,从而使混合料变得干涩,易于造成粒料的损伤,影响混合料的耐久性能,但木质素颗粒纤维克服了松散纤维的种种不足,可以大大提高混合料的高温稳定性。从表 11 中可以看出,掺加木质素颗粒纤维混合料的车辙深度最小,表明其抗车辙变形能力最好,而且木质素颗粒纤维在施工中添加方便,拌和时间较短,适于大规模使用。

4 结 语

(1)在 3 种粉胶比 SMA 中,SMA 混合料 S-1.8-5 的动态稳定度最高,60 min 车辙深度最小,其抗车辙变形能力最强,高温稳定性最好;混合料 S-1.6-3 的高温性能最差;粉胶比为 1.8 的 SMA 混合料高温稳定性最好。

(2)粗集料的骨架结构对 SMA 的高温稳定性影响显著,但不能忽视玛蹄脂的作用,当粗集料形成骨架结构而细集料又充分填充骨架空隙时,沥青混合料的抗车辙能力最强。通过研究,建议粗集料用量控制范围为 75%~80%。

(3)SMA 沥青混合料的高温稳定性对沥青用量的变化较为敏感,特别是沥青过量时,可大大降低混合料的高温性能。当油石比大于 6.0%时,车辙深度随沥青用量增加而急剧加大,因此对于南方气候炎热地区,SMA 油石比宜小于 6.0%;考虑到京珠北高速公路粤境北段长陡坡路段多、超载严重,建议 SMA 油石比控制范围为 5.8%~6.0%。

(4)掺加纤维可使 SMA 沥青混合料的高温性能得到较大改善。本研究所选的 3 种纤维中,有机

聚酯纤维改善效果最佳,但其价格昂贵,早期变形大,结合广东省使用纤维的具体情况,建议使用木质素颗粒纤维,掺量为整个沥青混合料的 0.4%。

参考文献:

References:

- [1] 中爱琴,王娜.京珠国道主干线粤境小塘—甘塘段高速公路沥青路面修筑技术研究[R].西安:长安大学,2003.
SHEN Ai-qin, WANG Na. Research on Construction Technology of Asphalt Pavement of Beijing-Zhuhai National Highway Form Xiaotang to Gantang Section [R]. Xi'an: Chang'an University, 2003.
- [2] 王娜.南方山区高速公路 SMA 配比设计及路用性能研究[D].西安:长安大学,2003.
WANG Na. Research on Proportion Designing and Pavement Performance of SMA Used in Southern Mountains' Expressway[D]. Xi'an: Chang'an University, 2003.
- [3] 朱梦良,张起森. SBS 改性沥青及 SMA 混合料的应用[J].中国公路学报,2001,14(1):13-20.
ZHU Meng-liang, ZHANG Qi-sen. Applied Research on SBS Modified and SMA Mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(1):13-20.
- [4] 倪富健,郭咏梅,曾兰英,等.聚丙烯腈纤维 SMA 路用性能[J].交通运输工程学报,2003,3(3):7-11.
NI Fu-jian, GUO Yong-mei, ZENG Lan-ying, et al. Road Performance of SMA Mixture with PAN Fiber Composite[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003,3(3):7-11.
- [5] 中爱琴,付菁. SMA 混合料组成结构、强度机理及影响因素分析研究[J].西安公路交通大学学报,1998,18(3):172-176.
SHEN Ai-qin, FU Qing. Analysis and Research on Composition Structure Mechanism of Strength and Influence Factors of Properties of SMA[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1998,18(3):172-176.
- [6] 付菁.改性沥青 SMA 混合料路用性能与结构分析研究[D].西安:长安大学,1998.
FU Qing. Research on Pavement Performance and Structural Analysis of SMA Mixture with Modified Bitumens[D]. Xi'an: Chang'an University, 1998.