

文章编号: 0451—0712(2005)10—0107—05

中图分类号: U415.6

文献标识码: B

改性沥青 SMA 路面施工技术与研究

汪 忠¹, 张桂芝²

(1. 路桥集团第一公路工程局三公司 北京市 101102; 2. 泰安市建筑工程质量监督站 泰安市 271000)

摘 要: 从改性沥青 SMA 的结构特点和性能入手, 结合以往的经验与教训, 从改性沥青 SMA 的配合比设计、施工工艺 2 个方面进行深入研究, 提出了真正保证其优良性能得以实现的方法与施工中的具体措施。

关键词: 改性沥青; SMA; 路面施工; 技术研究

随着国民经济的发展, 公路交通流量与日俱增, 车轴荷载也在不断地增加, 这就要求路面具有更好的使用性。在这种情况下, 研究人员不断地从沥青本身的性能与质量、从沥青混合料结构上进行探索, 提出了沥青玛碲脂碎石混合料(SMA)这种具有粗集料多、矿粉多、沥青用量多、细集料少的骨架型紧密结构。由于这种结构在理论上既保持了大空隙排水性路面表面功能好的优点, 又克服了耐久性差的缺点。因此, 它具有较好的抗高温车辙、耐低温开裂、抗滑耐磨、使用寿命长的特点, 并广泛地应用在高等级路面中。

山西省大运高速公路祁县~临汾段(祁临 17 标)起讫桩号为 K149+700~K167+750, 全长 18.05 km, 按高速公路平原微丘区标准设计, 双向六车道, 2000 年 12 月开工, 2002 年 12 月竣工。本路段交通量大、重载多, 特别是临汾地区处于大陆干旱性气候区, 夏季炎热, 为防止沥青混凝土路面在重载作用下产生车辙、推拥和波浪等病害, 设计采用改性

沥青 SMA 上面层。

1 改性沥青 SMA 的配合比设计

从国外改性沥青 SMA 的运用和实际施工情况看, 保证改性沥青 SMA 路面质量的关键是在控制好原材料质量的基础上, 做好配合比设计。

1.1 原材料的室内试验

1.1.1 沥青

该路使用的沥青是业主指定的平窑 SBS 改性沥青, 其主要技术指标见表 1。

表 1 平窑 SBS 改性沥青主要技术指标

指 标	标 准	测定结果
针入度(25℃, 100 g, 5 s)/0.1 mm	50~80	71
延度(15℃, 5 cm/min)/cm	≥30	39
软化点/℃	≥60	81

1.1.2 集料

祁临 17 标的上面层集料是业主指定厂家生产的玄武岩, 产于霍州。其试验指标见表 2。

表 2 玄武岩主要试验指标

试验项目	单位	技术要求	下列粒径范围的集料试验结果			试验方法
			16~9.5 mm	9.5~4.75 mm	2.36~0 mm	
表观密度	g/cm ³	≥2.6	2.938	2.927	2.869	JTJ 058—2000
压碎值	%	≤20	8.9	8.7		JTJ 058—2000
吸水率	%	≤2.5	0.47	0.5		JTJ 058—2000
针片状含量	%	≤13	7.1	6.3		JTJ 058—2000
洛杉矶磨耗损失	%	≤30				JTJ 058—2000
石料磨光值	BPN	≥42				JTJ 058—2000
与沥青的粘附性	级	加抗剥落剂	≥5	≥5		JTJ 058—2000
砂当量	%	≥60			80	JTJ 058—2000

1.1.3 细集料

细集料各项指标试验结果见表 3。

表 3 细集料主要试验指标

试 验 项 目	单 位	技术 要求	试验结果			试验方法
			机制砂	石屑	天然砂	
表观密度	g/cm ³	≥2.6	2.891			JTJ 058—2000
水洗法	%		6.7			JTJ 058—2000
<0.075 mm 含量		1.5				

1.1.4 填料(矿粉)

填料(矿粉)各项技术指标试验结果见表 4。

表 4 填料(矿粉)各项技术指标

试验项目	单位	技术要求	试验结果	试验方法
视密度	g/cm ³	≥2.50	2.71	JTJ 058—2000
含水率	%	≤0.3	0.3	JTJ 058—2000
亲水系数		<0.8	0.63	JTJ 058—2000

1.1.5 木质纤维试验

木质纤维是从德国进口的天然木质纤维素,其主要指标试验结果见表 5。

表 5 ARBCEL 天然木质纤维素主要指标试验结果

试验项目		试验结果	技术指标
灰分含量/%		18.3	(18±5)%,无挥发物
pH 值		7	7.5±1.0
吸油效/倍		5.8	纤维质量的(5.0±1.0)倍
含水率/%		3.8	<5%
粒度	通过 0.85 mm 筛/%	83	(85±10)%
	通过 0.425 mm 筛/%	64	(65±10)%
	通过 0.106 mm 筛/%	26	(30±10)%

1.1.6 抗剥落剂

抗剥落剂采用 TW—1 型抗剥落剂,其指标试验结果见表 6。

表 6 TW—1 型抗剥落剂试验结果

试验项目	试验结果	技术指标
外包装	完好无渗漏	完好无渗漏
外观	棕黑色微光泽液体	棕黑色微光泽液体
pH 值	8	6~9
粘结力等级	5 级	4~5 级
残留稳定度	92.4%	≥75%
劈裂强度比	83%	≥70%

1.2 SMA 混合料目标配合比设计试验

祁临 17 标的沥青混凝土路面上面层采用 SMA—13 改性沥青混凝土。

1.2.1 混合料级配

SMA 混合料级配范围见表 7。

表 7 SMA—13 混合料级配范围

级配	通过下列筛孔(方孔筛,mm)的质量百分率/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100	100	100	75	32	27	24	20	16	13	12
下限	100	100	90	50	22	16	14	12	10	9	8
中值	100	100	95	62.5	27	21.5	19	16	13	11	10

1.2.2 矿料配合比计算

确定 SMA—13 的 3 种级配 A、B、C,4.75 mm 筛孔通过率分别为 29.85%、27.6%、24.7%,3 种级配组成见表 8。

表 8 SMA—13 的 A、B、C 等 3 种级配组成

级配类型	通过下列筛孔(方孔筛,mm)的质量百分率/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配 A	100	100	90.4	71.1	29.8	21.8	19.6	16.8	14.8	12.8	10.5
级配 B	100	100	87.3	62.7	27.6	20.8	18.6	15.8	13.8	11.9	9.7
级配 C	100	100	90.4	70.9	24.7	16.0	15.0	13.9	13.1	11.8	10.0

分别测定 3 种级配的 VCA_{DRC} ,按油石比为 6.5%制作试件,测定 VMA 等指标,在满足 VCA_{min} 小于 VCA_{DRC} 和 VMA 大于 17%的基础上确定级配。试验结果见表 9 和表 10。

表 9 VCA_{DRC} 试验结果

级配类型	捣实容积 g/cm ³	4.75 mm 通过 百分率/%	粗集料毛体积 密度/(g/cm ³)	VCA_{DRC} %
级配 A	1.643	29.8	2.856	42.41
级配 B	1.628	27.6	2.854	42.82
级配 C	1.641	24.7	2.856	42.47

表 10 初试级配的体积分析

级配 类型	油石比 %	理论密度 g/cm ³	毛体积密 度/(g/cm ³)	空隙率 %	VMA %	VFA %	VCA_{min} %
级配 A	6.0	2.615	2.480	5.2	17.79	71.0	42.5
级配 B	6.0	2.617	2.495	4.7	17.32	73.1	40.3
级配 C	6.0	2.620	2.445	6.7	18.81	64.5	39.2

由试验结果得出,级配 B、C 满足要求。根据设计经验,取级配 B 作为设计级配。SMA 配合比级配曲线如图 1 所示。

1.2.3 马歇尔稳定度试验

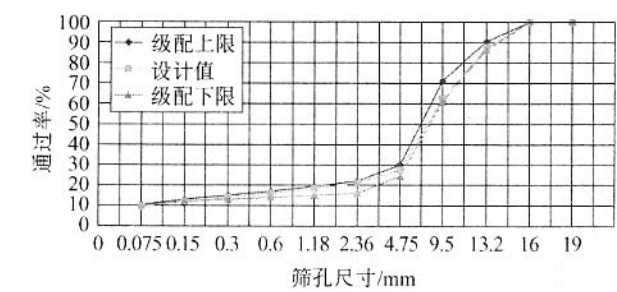


图1 SMA 配合比级配曲线

级配类型	油石比/%	流值 0.01 mm	稳定度/kN	VMA/%	空隙率/%	VCA _{min} /%	VFA/%	毛体积密度 g/cm ³	理论密度 g/cm ³
SMA-13	5.8	40.8	11.97	17.23	5.0	40.3	71.2	2.493	2.623
	6.2	44.5	10.76	17.28	4.2	40.3	75.4	2.501	2.612
	6.8	46.8	9.56	17.26	3.5	40.3	79.5	2.511	2.603
要求		>5.5	20~50	>17	4.0	<VCA _{DRC}	75~85	/	/

表 11

混合料 类型	下列各种矿料所占比例/%					油石比 %
	9.5~ 16 mm 碎石	4.75~ 9.5 mm 碎石	2.36~ 4.75 mm 碎石	2.36 mm 以下集料	矿粉	
SMA-13	37	42	0	10	11	6.2

表 12

按设计级配 B 称取矿料,采用 3 种油石比成型马歇尔试件进行稳定度试验,结果见表 11。

1.2.4 最佳油石比用量确定

根据 SMA 设计要求,当采用沥青混合料体积密度时,空隙率应控制在 4.0%。根据试验结果和山西省的气候条件,确定最佳油石比为 6.2%。该油石比下空隙率为 4.2%,其他指标均满足设计要求(表 12)。

1.3 SMA 混合料生产配合比设计

按目标配合比上冷料,经过拌和机 4 级筛分(20 mm、12 mm、5 mm、3 mm)进入 4 个热料仓,分别从热料仓取有代表性的料样筛分,进行生产配合比设计,计算的矿料级配见表 13。

以 6% 的油石比做马歇尔试验,结果见表 14。

表 13

级配类型	通过下列筛孔(方孔筛,mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	100	93.0	62.8	25.6	20.2	17.5	15.5	13.8	12.0	10.0
级配中值	100	95.0	62.5	27.0	21.5	19.0	16.0	13.0	11.0	10.0
SMA 级配范围	100	90~100	50~75	22~23	16~27	14~24	12~20	10~16	9~13	8~12

表 14

理论密度 g/cm ³	实测密度 g/cm ³	空隙率/%	饱和度/%	间隙率/%	稳定度/kN	流值 0.01 mm	VCA _{min} /%	VCA _{DRC} /%
2.597	2.463	5.2	71.2	18.0	10.44	38.3	40.3	41.7
要求		3~5.0	75~85	≥17.0	≥6.0	20~50	VCA _{min} <VCA _{DRC}	

由于以前施工的几条路都有不同程度的泛油,因此,在此使用了较小的用油量。其试验结果虽然空隙率偏大 1.2%、饱和度小 3.8%,但只要稍微加大一点用油量,所有指标都能满足要求。

从试验段情况来看,试铺段各项指标都满足要求,振动压路机强振 3 遍以上无推移,无骨料压碎,也无玛蹄脂上浮,构造深度在 1.1 mm 时不渗水。油石比为 6% 的生产配合比设计合理。

2 改性沥青 SMA 的质量控制

2.1 原材料要求

工程质量的好坏在很大程度上取决于原材料质量,所以,抓好原材料的质量是我们的首要任务。试验室必须在开机前对各种集料包括矿粉进行检测与配合比调整,保证原材料质量的稳定。

对于材料的储存要采取严格控制的管理措施:沥青储存温度不得低于 140℃,存放时间不得超过 7 d;木质纤维素在室内架空存放,保持干燥。

2.2 拌和

改性沥青 SMA 混合料质量直接影响到沥青混凝土面层的施工质量和使用品质,防止出现不合格的花料。焦料、过油料铺筑到路面上后都应立即彻底

铲除重铺。混合料生产要严格把关,不合格混合料严禁使用。通过抽提试验和马歇尔试验对矿料级配、沥青用量、混合料的密度,以及空隙率 VV 、 VMA 、 VCA 等指标进行调控,同时检测稳定性和流值。通过温度检测,对改性沥青 SMA 生产的四大温度(沥青加热温度为 $160\sim 165\text{ }^{\circ}\text{C}$,改性沥青制作温度为 $165\sim 170\text{ }^{\circ}\text{C}$,改性沥青最高加工温度为 $175\text{ }^{\circ}\text{C}$,集料加热温度为 $190\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$)进行控制,做到不合格材料严禁进场,确保混合料的质量。

2.3 摊铺

本工程采用 ABG 摊铺机全幅一次性摊铺,应做到缓慢、均匀、连续不间断地摊铺,禁止随意变换速度或中途停顿。

(1)运料车与摊铺机恰到好处地配合是保证平整度的一个重要方面,必须防止运料车撞击摊铺机或将料撒到中面层上。运料车应在摊铺机前 $10\sim 20\text{ m}$ 处停住并挂空档,卸料过程中由摊铺机推动汽车同步前进;卸料完毕后,即驶离摊铺机。由于改性沥青 SMA 生产时拌和机生产率降低,为保证其匀速、不间断地连续摊铺,摊铺速度一般不超过 $3\sim 4\text{ m/min}$,甚至可放慢到 $1\sim 2\text{ m/min}$ 。这就要求机手应具有较高的操作水平,以保证摊铺机匀速、连续工作,既能保证压实度又提高平整度。

(2)ABG 摊铺机两侧各安装了一台从美国 BLAW/KHOX 公司引进的浮动基准梁找平装置。该装置总长 16.7 m ,前端有 2×12 个可上下自由伸缩的“雪橇”板(也称“滑靴”),在下层表面拖动滑行,构成下层基准面。装置后端有 2×8 对可上下伸缩的橡胶轮,行驶在摊铺后的混合料表面,构成摊铺后的上基准面。摊铺机的自动找平装置根据 2 个基准面的高差控制摊铺厚度。由于“雪橇”板和橡胶轮都能自由伸缩,可以消除局部不平整对控制厚度的影响。

由于较长的滑靴式浮动基准梁对提高改性沥青 SMA 路面的平整度非常有利,因此在本工程部分路段中,对浮动基准梁进一步改装,使浮动梁全长达 33.4 m ,后端采用 2×12 个滑靴来代替 2×8 对橡胶轮,使平整度可达到 0.8 mm 以内。

(3)摊铺机刮料输送机通过闸门后供料和螺旋摊铺器向两侧布料,两者的工作速度要相匹配。在发生暂时性断料时,摊铺机应继续保持运转,停止振捣,并接通熨平板加热器,保证改性沥青 SMA 的摊铺与碾压符合高温条件要求,这是控制平整度的又一关键所在。

(4)提高摊铺过程中的预压压实度。在摊铺时,可适当提高夯锤的振捣频率,在摊铺机夯锤振捣与熨平板的共同作用下,一般可使压实度达到 85% 以上的预压效果。这样,剩余的压实系数极小,所以初压的痕迹也极小,进而保证了路面的最终平整度。

2.4 碾压

改性沥青 SMA 路面最好采用刚性碾进行碾压,并在碾压过程中严格控制好碾压温度。本工程采用 Ingersollrand 振动压路机,其振动力大、幅度宽,初压(温度不低于 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$)、复压(温度不低于 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$)和终压(温度不低于 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$)都采用此种压路机,碾压 $3\sim 4$ 遍,一气呵成。按照以下原则碾压,充分解决了压实度与平整度的矛盾,实际效果比海沧大桥钢桥面采用的 CC25 振动压路机与 YL-20 型轮胎压路机组合碾压要好。

(1)按照“紧跟、慢压、高频、低幅”的原则进行碾压,这是与一般沥青混合料碾压方式最大的区别。在高温条件下,压路机必须紧跟在摊铺机后面,碾压終了温度应不低于 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$;慢压是针对目前碾压速度普遍过快的现象来说的,一般要求碾压速度不能超过 $4\sim 5\text{ km/h}$;高频和低幅方式对提高 SMA 的压实度、防止石料损伤、保持石料有良好的棱角性和嵌挤作用具有重要的意义,大振幅很容易造成碾压过度,使石料压碎或者马蹄脂上浮,产生“过碾压弹簧”现象。所以,“紧跟、慢压、高频、低幅”碾压是保证改性沥青 SMA 路面平整的重要环节。

(2)碾压应均衡地进行,倒退时关闭振动,方向要渐渐地改变,不许拧着弯行走,一般可采用欧式碾压,对每一道碾压起点或终点可稍微扭弯碾压。消除碾压接头轮迹。

(3)压路机不允许在新铺混合料上转向、调头、左右移动位置、突然刹车或停机休息,其他机械不能在未冷却结硬的路面上停留。原则上所有机械,尤其是压路机从开始碾压后便不能停机,直至该段路面施工结束,否则容易产生局部波浪。

(4)碾压应纵向进行,并由摊铺路幅的低边向高边低速行进碾压,相邻碾压重叠至少 50 cm 。初压时始终让从动轮在后,避免由于温度高轮前易留下波浪,影响平整度;终压用光轮压路机以消除轮迹。本工程采用双驱双振 Ingersollrand 压路机,既可保证碾压后不存在波浪,又能消除轮迹。

(5)在桥梁、涵洞和通道等构造物的接头处,以及匝道或紧急停车带等摊铺机和压路机难以正常操

作的部位,要辅以小型机械或人工快速进行施工,保证其施工温度。本工程路口、匝道以及主车道两侧都安装了立缘石或平缘石,在改性沥青SMA 路面结构施工中,特别是上面层施工中,对这些地方必须特别小心,否则会破坏平缘石以致影响整体美观,宜采用小型压路机配合碾压,使改性沥青SMA 上面层与平缘石衔接平顺。

2.5 接缝处理

接缝是影响平整度的一个重要因素,应尽量减少接缝,特别是纵向接缝。本工程采用 ABG 摊铺机全幅施工,不存在纵向接缝,所以应保持匀速、不间断连续摊铺以减少横向接缝,尽量做到一天只有一个接缝。改性沥青 SMA 路面横向接缝的处理,对平整度影响很大。接缝跳车现象仍然是改性沥青 SMA 路面的薄弱环节。

改性沥青 SMA 路面接缝处理要比普通沥青混合料难一些,由于冷却后的 SMA 混合料非常坚硬,应想方设法防止出现冷接缝处理。为提高平整度,一般采用切割成垂直面的方法,可在改性沥青 SMA 路面完工后,在其尚未冷却之前切割好。具体做法为:将 3 m 直尺沿路线纵向靠在已施工段的端部,伸出端部的直尺呈悬臂状;以已施工路面与直尺脱离点定出接缝位置,用锯缝机割齐后铲除废料,并用水将接缝处冲洗干净;在下一次施工前涂刷粘层油,即可接下去铺筑混合料。

2.6 机械配置

科学合理的机械配置和先进的机械设备,是路面施工连续作业与提高平整度的重要保证。本工程所采用的沥青 SMA 拌和设备为德国 PARIG/M2000 型拌和设备,在施工过程中,其对所有的参数控制都采用电脑自动化控制,保证了混合料生产的连续性和混合料质量的稳定性;改性沥青生产设备为北京国创 LG-8 型炼磨式改性沥青生产设备,改性沥青在拌和厂现场加工制作,经显微镜观察其改性剂分散非常均匀;摊铺机为进口的具有高精度自动找平的全幅式 ABG 摊铺机;压路机采用美国进口的 Ingersollrand 双驱双振压路机。运料车所需的总运力(载重量×车量数),应根据拌和机实际作业时的拌和能力并结合拌和厂至施工现场的运距来确定;由于改性沥青 SMA 施工温度要求较高,其混合料在运输过程中必须加盖篷布,防止结合料表面结硬,且必须保证摊铺机前应有 3 辆运料车等待卸料;

宜采用 12 t 以上的运料车供料,做到“宁可运料车等候摊铺,也不能摊铺机等候运料车”。

2.7 检测

每台班做 2 次抽提、筛分、马歇尔、析漏等试验,试验结果见表 15。

表 15

项目	油石比 %	空隙率 %	间隙率 %	稳定度 kN	流值 0.1 mm	析漏 %
平均值	6.2	3.72	17.8	7.5	38.9	0.058
设计要求	6.0~6.5	3—5.0	≥17	≥6.0	20~50	<0.3

每天检测当天施工段的压实度、平整度、摩擦系数和构造深度。为了不破坏路面,压实度用核子密度仪检测,计算时采用理论密度为标准密度,这样能较客观地反映现场实际情况。检测结果表明,现场指标满足设计要求。

2.8 温度要求

由于施工中混合料的温度对压实、离析都有很大的影响,因此,在施工的各个环节都要有专人检测温度,对温度不符合要求的沥青混合料要坚决废弃。

3 改性沥青 SMA 路面结构的研究前景

由于我们的研究刚刚开始,有些工作还没有涉及到,还需进行更深入的探讨。本人认为还应该从以下 6 个方面入手:

- (1)由于各地方材质差别较大,所以必须进一步研究矿料级配、材料规格、材质要求,确保施工成功,并达到良好的效果;
- (2)南北气候条件差别大,对混合料的设计技术参数,特别是空隙率和矿料间隙率 2 大指标的研究具有重要意义;
- (3)通过对渗水系数和构造深度最佳程度的研究来指导施工,通过施工控制来保证渗水系数和构造深度的最佳程度,是一个重要的研究手段;
- (4)在保证混合料质量的情况下,提高 SMA 混合料拌和效率也是研究的一个不可缺少的方面;
- (5)对 SMA 出料温度、摊铺温度、碾压温度进行研究,提出保证施工质量的控制措施,能确保 SMA 路面结构的良好质量;
- (6)对 SMA 混合料的压实度、矿料的抽提筛分等检测手段进行技术研究,能提高试验检测的精度。