

SMA 路面设计与施工工艺控制

王德元 周宏云 余 坚 李建平

湖北省襄十高速公路建设指挥部

摘 要: SMA 路面是一种新型沥青路面结构, 在长大纵坡、小弯半径多、桥涵结构物密集、冬天雨雪多且气温低气候恶劣等的山岭重丘区, 通过对 SMA 混合料配合比精心设计、施工工艺过程有效监控, 充分发挥 SMA 路面结构的优势, 提高路面的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性, 进而提高路面的耐久性、抗滑性等路面功能。有效地解决湖北省西北部山区高速公路建设中普通沥青混凝土无法解决的难题。

关键词: 山岭重丘区; 长大纵坡; 小弯半径; SMA 路面设计; 施工工艺控制

1 工程概况

湖北省襄十(襄樊市~ 十堰市)高速公路是西部开发大通道武汉至银川高速公路的重要组成部分, 它连接鄂西北重镇襄樊、十堰两市, 是我省第一条山岭重丘区高速公路。襄十高速公路总建设里程 155.9 km, 襄樊市郢营至谷城县段和襄荆~ 汉十连接线约 70 km, 采用平原微丘区高速公路标准修建; 谷城县段至武当山段约 59 km, 采用山岭重丘区高速公路标准修建, 设计行车速度 80 km/h, 路基宽度 24.5 m, 双向 4 车道, 全封闭全立交, 路面结构设计为沥青混凝土路面。其中 K374+623~ K382+009 段地形复杂, 主要表现在长大纵坡、小弯半径多、桥涵结构物密集等, 在高温条件下, 车辆轴载大, 在上坡路段车速缓慢, 沥青混合料的抗剪切能力急剧下降而容易形成车辙; 下坡路段要考虑抗滑功能要求; 同时考虑到该路段冬天雨雪多且气温很低, 经襄十高速公路建设指挥部与设计单位共同研究决定该路段表面层采用 SMA-13 路面。

2 SMA 路面的功能特性:

沥青玛蹄脂碎石(SMA)是一种由沥青、纤维稳定剂、矿粉及少量的细集料组成的沥青玛蹄脂填充间断级配的粗集料骨架间隙组成一体的沥青混合料。

2.1 高温稳定性

在 SMA 的组成中, 矿料是间断级配, 粗集料占到 70% 以上, 粗集料之间有良好的嵌挤作用, 沥青混合料产生非常好的抵抗荷载变形的能力, 即使在高温条件下, 沥青玛蹄脂的粘度下降, 对这种抵抗能

力的影响也不会减小, 有较强的高温抗车辙能力。

2.2 低温抗裂性

SMA 使用较多的矿粉(10% 左右), 沥青用量多 6.2% 左右, 同时使用纤维稳定剂, 由此组成沥青玛蹄脂包裹在粗集料表面, 充分填充集料间隙, 在温度下降、混合料收缩变形时, 玛蹄脂有较好的粘结作用, 它的韧性和柔性使混合料有较好的低温变形性能。

2.3 水稳定性

SMA 混合料的内部空隙率很小(4% 左右), 混合料在压实状态下很少或几乎不渗水, 再加上玛蹄脂和集料的粘结好, SMA 混合料的水稳定性较普通 AC、AM 和 AK 结构有较多的改善。

2.4 良好的耐久性

SMA 的混合料内部被沥青玛蹄脂充分填充, 空隙率小, 沥青与空气接触少, 因而沥青混合料的耐老化性能好, 其较密级配沥青混凝土有良好的耐久性。

2.5 路面的表面功能

由于采用坚硬的、耐磨的优质石料(玄武岩), 矿料级配采用间断级配, 粗集料含量高, 碾压后表面形成大的空隙, 因而构造深度大, 使雨天高速行驶下不易产生水漂, 抗滑性能提高, 同时雨天的交通不会产生大的水雾和溅水; SMA 路面的密水性好, 对下面的沥青层和基层有较强的保护作用, 使路面能保持较高的整体强度和稳定性。

3 SMA-13 混合料的配合比设计

3.1 原材料选择

(1) 沥青: 采用湖北省鄂州科氏公司生产 PG76-22 的 SBS 改性沥青, 其质量技术性质表 1。

表 1 沥青质量技术指标

试验项目	技术标准	试验结果
针入度(25 ,100 g,5 s)/(0.1 mm)	40~ 75	70.9
针入度指数 PI	> - 0.2	0.293
延度(5 ,5 cm /m in) /cm	30	50.6
软化点 T _{R&B} /	> 70	76.5
闪点 /	> 230	330
溶解度 /%	99	99.8
旋转粘度(135) / (Pa · s)	< 3	1.86
旋转薄膜烘 质量损失 /%	0.1	0.06
箱试验(163 针入度比 /%	65	68.3
, 85 m in) 延度(5) /cm	20	31.1

(2)粗集料: 采用湖北省京山县三阳石料场生产的玄武岩碎石,分三档为 1[#] 料(16~ 9.5 mm)、2[#] 料(9.5~ 4.75 mm)、3[#] 料(4.75~ 2.36 mm),其质量技术指标见表 2。

表 2 粗集料质量技术指标

试验项目	技术标准	试验结果
压碎值 /%	25	15.7
洛杉矶磨耗 /%	28	13.5
粘附性等级	4 级	5 级
坚固性 /%	12	10.7
		1 [#] : 2.955
视密度/(g · cm ⁻³)	2.6	2 [#] : 2.931
		3 [#] : 2.918
细长扁平颗粒含量 /%	15	7.5
含泥量 /%	1	0.4
软石颗粒含量 /%	1	0.6

(3)细集料: 采用湖北省京山县三阳石料场生产的玄武岩石屑和机制砂 4[#] 料(< 2.36 mm),其质量技术指标见表 3。

表 3 细集料质量技术指标

试验项目	技术标准	试验结果
视密度/(g · cm ⁻³)	2.5	2.948
坚固性 /%	12	7
砂当量 /%	60	65

表 6 集料筛分与合成级配

SMA - 13 集料筛分与合成级配													
筛孔尺寸	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	掺配比例 /%	掺配比例 /%	掺配比例 /%
1 [#] 料	100	83.4	24.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	47	42	48
2 [#] 料	100	100	98.7	9.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	29	30	32
3 [#] 料	100	100	100	98	41.4	23.6	12.1	6.1	3.5	1.5	6	10	0
4 [#] 料	100	100	100	100	97.8	79.8	57.4	33.1	20.5	10.4	8	8	10
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	98.6	93.3	88.2	10	10	10
级配上限	100	100	75	34	26	24	20	16	15	12			
级配下限	100	90	50	20	15	14	12	10	9	8			
级配中值	100	95	62.5	27	20.5	19	16	13	12	10			
合成级配 1	100	92.2	64.2	27.0	20.8	18.3	15.8	13.2	11.6	10.2	100		
合成级配 2	100	93.0	67.9	31.0	22.4	19.2	16.2	13.6	11.8	10.2		100	
合成级配 3	100	92.0	63.4	23.4	20.3	18.5	16.2	13.7	11.9	10.3			100

(4) 填料: 采用老河口市宝石水泥厂生产的石灰石矿粉,其质量技术指标见表 4。

表 4 矿粉质量技术指标

试验项目	技术标准	试验结果
视密度/(g · cm ⁻³)	2.5	2.697
含水量 /%	< 1	0.2
粒度范围		
< 0.6 mm	100	100
< 0.15 mm	90~ 100	94.2
< 0.075 mm	75~ 100	87.9
外观 /%	无团粒结块	无团粒结块
亲水系数	< 1	0.6

(5) 纤维稳定剂: 采用德国 CFF 公司生产的 TO PCEL 絮状木质素纤维。其主要质量技术指标见表 5。

表 5 TO PCEL 絮状木质素纤维质量技术指标

试验项目	技术标准	试验结果
灰分含量 /%	18% ± 5%, 无挥发物	17.5
pH 值	7.5 ± 1.0	8
吸油率 /%	不小于纤维质量的 5 倍	4.6
含水率 /%	< 5	4.6

3.2 SMA 混合料目标配合比设计

参照《公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南》SHC F40- 01- 2002 的设计原则和步骤,采用马歇尔体积设计方法以空隙率指标(4.0%)来进行最佳沥青用量的确定。调整各矿料比例设计 3 种粗细不同的级配,三种级配的 4.75 mm 通过率分别为中值、中值 ± 4%,其矿粉数量相同,使 0.075 mm 通过率为 10% 左右(见表 6 和图 1)。

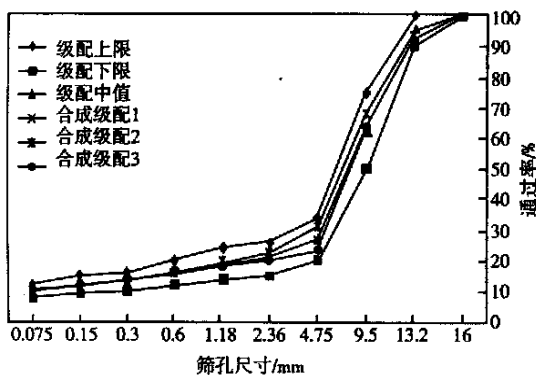


图 1 SMA - 13 合成级配曲线图

根据规范规程要求采用捣实法测定大于 4.75 mm 粗集料的松方密度并计算捣实状态粗集料骨架的间隙率见表 7。

表 7 捣实法试验结果

蕉配类型	粗集料的毛 体积密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	粗集料的捣 实松方密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	骨架间隙率 (VCA_{DRC})/%
合成级配 1	2 910	1 711	41.2
合成级配 2	2 919	1 696	41.8
合成级配 3	2 916	1 659	43.1

应用马歇尔试验检测方法对 3 种合成级配进行试验, 试验结果如表 8。

表 8 马歇尔试验结果

试验项目	技术要求	合成级配 1	合成级配 2	合成级配 3
初试油石比/%		6.0	6.0	6.0
纤维掺量/%		3.0	3.0	3.0
马歇尔试件击实次数/次	双面击实 50	双面击实 50 次		
毛体积密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)		2 528	2 533	2 508
最大理论密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)		2 646	2 644	2 649
空隙率 VV /%	3~4	4.5	4.2	5.3
矿料间隙率 VMA /%	17.0	17.3	17.2	18.0
粗集料骨架间隙率 (VCA_{mix})	VCA_{DRC}	40.1	43.4	37.4
沥青饱和度 VFA	75~85	74.2	75.6	70.4
稳定度	6	8.59	8.34	8.09

根据以上试验结果及选择 $VCA_{mix} < VCA_{DRC}$ 及 $VMA > 17\%$ 的要求作为设计级配, 选择级配 1 作为目标配合比设计级配。再以初试油石比的 0.2% 间隔 6.0%、6.2%、6.4% 进行马歇尔试验, 确定 6.2% 为最佳油石比, 试验结果见表 9。

表 9 SMA 混合料试验结果

试验项目	技术要求	试验结果
最佳油石比/%		6.2
纤维掺量/%		3.0
马歇尔试件击实次数/次	双面击实 50	双面击实 50
毛体积密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)		2 537
最大理论密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)		2 640
空隙率 VV /%	3~4	3.9
矿料间隙率 VMA /%	> 17.0	17.3
粗集料骨架间隙率 (VCA_{mix})	VCA_{DRC}	40.1
沥青饱和度 VFA /%	75~85	77.6
稳定度/kN	6	9.65
谢伦堡沥青析漏试验/%	0.1	0.06, 0.08
肯塔堡飞散试验/%	15	10.3
车辙试验/(次 $\cdot \text{mm}^{-1}$)	$> 3 000$	5 983, 6 130
浸水马歇尔试验/%	80	84.3
冻融劈裂残留强度比/%	80	90.8
构造深度/mm	0.8~1.5	1.1
渗水系数/($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)	< 20	基本不渗水

3.3 生产配合比设计

根据目标配合比确定各冷料仓的出料比例, 然后对热料仓的集料进行单仓筛分, 确定生产配合比合成级配。在确定各单热料仓的掺配比例时, 注意以下两个问题: (1) 生产配合比合成级配曲线尽量和目标配合比合成级配曲线一致, 特别是关键筛孔 4.75 mm 和 2.36 mm 的通过率要相近; (2) 同时结合沥青拌和楼的筛网和筛孔布置情况, 各单热料仓的掺配比率应协调, 避免出现严重的溢料或等料现象, 生产配合比设计结果见表 10、表 11、图 2。

表 10 集料筛分与合成级配

SMA - 13 集料筛分与合成级配											
筛孔尺寸	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	掺配比例/%
2# 仓	100	87.5	17	1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	41
3# 仓	100	100	94	6.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	33
4# 仓	100	100	100	94.9	12.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	6
5# 仓	100	100	100	99.5	96.1	68.8	46.5	30.1	18.8	8.6	9
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	98.5	93.4	81.8	11
级配上限	100	100	75	34	26	24	20	16	15	12	
级配下限	100	90	50	20	15	14	12	10	9	8	
级配中值	100	95	62.5	27	20.5	19	16	13	12	10	
合成级配 1	100	94.9	64.0	28.1	20.7	17.5	15.5	13.7	12.2	10.0	100

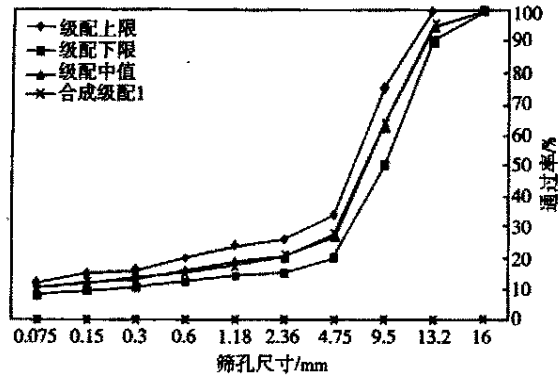


图 2 SMA-13 合成级配曲线图

表 11 SMA 混合料试验结果

试验项目	技术要求	试验结果
最佳油石比/%		6.2
纤维掺量/%		3.0
马歇尔试件击实次数/次	双面击实 50	双面击实 50
毛体积密度/(g·cm ⁻³)		2.541
最大理论密度/(g·cm ⁻³)		2.642
空隙率 VV/%	3~4	3.8
矿料间隙率 VMA/%	>17.0	18.2
粗集料骨架间隙率 (VCA _{mix})	VCA _{DRC} (42.0)	41.2
沥青饱和度 VFA/%	75~85	79.6
稳定度/kN	6	9.27
谢伦堡沥青析漏试验/%	0.1	0.05, 0.08
肯塔堡飞散试验/%	15	9.5
车辙试验/(次·mm ⁻¹)	>3000	5853, 6210
浸水马歇尔试验/%	80	90.0
冻融劈裂残留强度比/%	80	85.1
构造深度/mm	0.8~1.5	1.0
渗水系数/(mL·min ⁻¹)	<20	基本不渗水

3.4 SMA 混合料的试拌和试铺

主要施工机械设备:

- (1) 沥青拌和楼 1 套(意大利玛莲尼 3000 型)
- (2) 50 装载机 6 台
- (3) 沥青摊铺机—ABG4231 台
- (4) 钢轮压路机: CC522 2 台、HD 110 2 台
- (5) 运输车(15 t 以上) 25 台

通过试验路段的试铺,从沥青拌和站到现场混合料的摊铺碾压,施工组织和整个施工工艺安排都很合理,经对沥青混合料和试验路段的试验检测(表 12、表 13)都能满足相关技术指标要求,因而具备正式生产的条件。

表 12 SMA 混合料试验结果

试验项目	技术要求	试验结果
油石比(燃烧法)/%		6.25
纤维掺量/%		3.0
马歇尔试件击实次数/次	双面击实 50	双面击实 50
毛体积密度/(g·cm ⁻³)		2.538
最大理论密度/(g·cm ⁻³)		2.642
空隙率 VV/%	3~4	3.9
矿料间隙率 VMA/%	>17.0	18.3
粗集料骨架间隙率 (VCA _{mix})	VCA _{DRC} (42.0)	41.2
沥青饱和度 VFA/%	75~85	78.5
稳定度/kN	6	8.07
谢伦堡沥青析漏试验/%	0.1	0.05, 0.03
肯塔堡飞散试验/%	15	9.5
车辙试验/(次·mm ⁻¹)	>3000	5953, 5764
浸水马歇尔试验/%	80	87.0
冻融劈裂残留强度比/%	80	84.1

表 13 试验路段检测结果

桩号	最大理论密度 (g·cm ⁻³)	毛体积密度 (g·cm ⁻³)	空隙率 VV /%	压实度 /%	构造深度	渗水系数
K377+490 右幅	2.650	2.535	4.3	95.7	1.2	基本不渗水
K377+560 右幅	2.650	2.530	4.5	95.5	1.0	基本不渗水
K377+785 右幅	2.650	2.542	4.1	95.9	1.26	基本不渗水

注: 压实度是以真空法最大理论密度仪测得最大理论密度 (g/cm³) 来控制的, 控制在 94%~97% 之间。松铺系数为 1.19。

4 施工工艺的控制

4.1 SMA 沥青混合料的拌和

- (1) SMA 沥青混合料的拌和采用意大利玛莲尼 3000 型间歇式拌和机, 产量 240~260 t/h。
- (2) 絮状木质素纤维稳定剂采用机械利用风送式将纤维分散, 再吹入拌和锅里。拌和时间控制为干混合的拌和时间为 15 s, 保证集料和木质素纤维充分混合, 湿混合时间为 35 s, 保证混合料拌和均匀。
- (3) 温度控制: 沥青加热温度控制在 170℃ 左右; 集料的加热温度控制在 185~195℃ 左右, 且保

证矿质集料的温度在整个生产过程中保持基本恒定; 沥青混合料的出场温度控制在 170~185℃, 派专人对沥青混合料出场前的温度检测和加盖帆布覆盖。如发现温度超过 195℃ 或花白等异常混合料给予废弃。

(4) 逐盘打印出混合料各热料仓集料用量、沥青用量和绘制油石比波动图。

4.2 SMA 沥青混合料的运输

(1) 整个施工过程以摊铺机为中心, 根据摊铺机的工作情况决定运输车辆的数量, 保证摊铺机能连续均匀不间断地铺筑, 避免车辆过多, 而使 SMA 沥

青混合料温度降低。

(2) 所有运输车辆均采用帆布覆盖。

(3) 运料车在离摊铺机 50~ 80 cm 左右时以空挡停车, 使其由摊铺机推动前进, 严禁运料车撞击摊铺机, 以确保摊铺的平整度。

4 3 SMA 沥青混合料的摊铺

(1) 采用一台拼装宽度 10.5 m 的 ABG423 型摊铺机摊铺。

(2) 在摊铺上面层时, 摊铺机安装浮动式基准梁与熨平板的自动控制传感器结合控制混合料的摊铺标高和平整度。

(3) 摊铺机的摊铺速度应与沥青混合料拌和楼产量相协调, 保证摊铺机匀速不间断摊铺。

(4) 摊铺过程中, 安排专人及时检查铺筑厚度和外观质量, 发现松铺厚度不够、局部离析、拖痕等问题及时趁高温进行处理。

4 4 SMA 沥青混合料的压实

(1) 混合料的碾压按初压、复压、终压 3 个阶段进行, 以“高温、紧跟、高频、低幅”为原则。

(2) 用 2 台 CC522 双钢轮振动压路机碾压, 紧跟摊铺机后由边缘向中央分隔带方向碾压, 振动碾压 4 遍, 轮迹的重叠宽度以 20 cm 为宜。

(3) 终压采用 2 台 HD 110 双钢轮压路机静压, 各 1 遍相邻碾压重叠 1/3~ 1/2 碾压轮宽度, 消除轮迹, 提高平整度。

(4) 压路机起步、刹车要缓慢, 严禁在新摊铺层上转向、调头或停机。

(5) 温度控制: 初压温度: 不低于 160 ; 复压温度: 不低于 140~ 130 ; 终压温度: 不低于 120 。

5 现场成品路段的检测: (见表 14)

表 14 成品路段检测结果

桩 号	最大理论密度 /(g · cm ⁻³)	毛体积密度 /(g · cm ⁻³)	空隙率 VV /%	压实度 /%	构造深度	渗水系数
K378+ 100 右幅	2.650	2.520	4.9	95.1	1.1	基本不渗水
K378+ 500 右幅	2.650	2.530	4.5	95.5	1.07	基本不渗水
K379+ 200 右幅	2.648	2.525	4.6	95.4	1.2	基本不渗水
K379+ 700 右幅	2.648	2.523	4.7	95.3	1.15	基本不渗水
K380+ 900 左幅	2.652	2.537	4.3	95.7	1.03	基本不渗水
K381+ 500 左幅	2.652	2.542	4.8	95.2	1.0	基本不渗水

注: 压实度以真空法测得最大理论密度(g/cm³)来控制, 现场压实度控制在 94% ~ 97% 之间。为了减少对成品路段的破坏性检测, 所有取芯地点均在标线处, 并及时进行填补。

6 结 语

(1) 我国现行的改性沥青技术标准《公路改性沥青路面施工技术规范》(JTJ036) 的改性沥青分级主要以改性沥青的针入度为依据, 而针入度只说明 25 时的稠度, 不能代表其高温和低温特性, 这样就有可能将具有不同温度和性能特性的沥青划分为同一等级。如: A 和 B 两种沥青在 25 时具有相同的稠度, 但在高温和低温时, 它们的稠度明显不同, 而因为 25 的稠度相同, 我们将它们划为同一级, 并想象它们在热和冷的气候下有相同的性能特性。我们可以参考美国 SUPERPAVE 性能(PG) 分级沥青胶结料规范, 它取代在固定温度进行试验而改变规定值的作法, 采用规定值固定不变, 而用于获得此规定值的试验温度变化的范围。针对具体工程项目, 结合所在地的气候等诸多条件选择适宜的沥青品种。

(2) 矿质集料特性(认同特性和料源特性) 对沥青混合料性能至关重要, 对其重视程度应与沥青性能指标同等, 它们都是混合料质量好坏的根本, 严格控制原材料的质量, 把好源头关。

(3) 对 SMA 路面的设计方法建议可以考虑一下用 SUPERPAVE 沥青混合料设计方法。马歇尔法的冲击压实没有模拟实际路面形成的混合料的压

密状况, 而且马歇尔稳定度不足以评估 HMA 的抗剪强度, 这两种情况使其难以保证设计混合料的抗车辙能力。SUPERPAVE 沥青混合料设计方法的旋转压实仪(SGC) 是柔性路面在荷载作用下的机械模拟, 通过旋转压实仪(SGC) 成型的试件得出的压实数据(空隙率、级配曲线、最佳沥青用量等) 更具合理性。

(4) 加强对沥青混合料拌和站的管理: 原材料(沥青和碎石) 的质量管理: 沥青混合料(合成级配、油石比、配合比设计和检验指标) 性能指标跟踪检测, 对冷料仓的下料比例、热料仓的下料比例和单热料仓的集料筛分情况定期检查, 确保出场沥青混合料是合格产品。

(5) 整个施工工艺过程以“摊铺机为中心、温度为主线、碾压工艺为关键”。

参考文献

[1] 《公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南》SHC F40- 01- 2002

收稿日期: 2004-02-08
王德元: 工程师; 襄樊, 湖北省襄十高速公路建设指挥部