

文章编号: 1002-0268 (2005) 09-0070-04

安楚高速公路 SMA 混合料组成设计中 若干问题的试验研究

孙乔宝, 李文龙, 李华昆

(云南安楚高速公路建设指挥部, 云南 昆明 650200)

摘要: 通过室内试验, 分析级配组成对 SMA 混合料骨架结构的影响、细集料品质对 SMA 混合料体积参数的影响、试件击实次数对 SMA 混合料试件体积参数的影响, 并分析木质素纤维状态对 SMA 混合料的析漏量的影响, 为 SMA 混合料的应用技术提供建设性意见。

关键词: SMA 混合料; 级配组成; 粗集料空隙率; 细集料品质; 纤维状态

中图分类号: U414

文献标识码: A

Test Study for SMA Mixture Composition Design for An-Chu Expressway

SUN Qiao-bao, LI Wen-long, LI Hua-kun

(Yunnan An-Chu Expressway Construction Headquarters, Yunnan Kunming 650200, China)

Abstract: This article studied the effects of composition and gradation on the backbone of the SMA mixture, as well as the quality of fine aggregate and the number of compaction runs on the volume parameter of the SMA mixture through indoor test. The influence of wood fiber condition on discrete loss of the SMA mixture was also analyzed to provide construction recommendations for the application of the SMA mixture.

Key words: SMA mixture; Gradation composition; Coarse aggregate void ratio; Fine aggregate quality; Fiber condition

SMA 混合料最早出现于 20 世纪 60 年代的德国, 20 世纪 80 年代起很快在欧洲许多国家得到应用。这是一种由沥青、纤维稳定剂、矿粉和少量细集料组成的沥青玛蹄脂来填充间断级配粗集料骨架间隙而组成的沥青混合料。

我国于 1993 年开始学习和使用 SMA 路面技术, 从首都高速公路起, 到目前为止, 全国各省依据自己对道路的使用要求, 已经先后铺筑了大量的 SMA 路面。在不断的实践和探索中, SMA 路面的铺筑技术取得了长足的进步, SMA 路面的优点逐渐显现。SMA 混合料的技术要求、设计方法、施工工艺已被列入 2004 年《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)。由于我国地域辽阔, 气候、环境条件非常复

杂, 在使用 SMA 混合料的过程中, 虽然不乏成功的先例, 但也有着许多非常深刻的经验教训。种种 SMA 路面病害的发生, 都是由于不正确的设计和施工的结果, 所以必须结合当地环境条件、交通状况及材料性能对 SMA 的技术特性进行研究, 照搬国外的经验, 直接套用国外的技术标准, 可能会造成较为严重的负面影响。

本文结合沥青路面新材料应用技术研究课题, 以云南省安楚高速公路沥青路面 SMA 混合料试验路工程为背景, 针对 SMA 混合料组成设计中经常遇到的问题, 在室内试验的基础上, 分析级配组成对 SMA 混合料骨架结构的影响、细集料品质对 SMA 混合料体积参数的影响、试件击实次数对 SMA 混合料试件

收稿日期: 2005-07-05

作者简介: 孙乔宝 (1958-), 男, 云南陆良人, 高级工程师, 主要从事道路与岩土工程研究。

体积参数的影响, 并分析木质素纤维状态对 SMA 混合料的析漏量的影响, 为 SAM 混合料的应用技术提供建设性意见。

1 原材料与试验

(1) 原材料

试验用的沥青为 SBS 改性沥青, 玄武岩为云南明朗采石场生产的产品, 粒径 4.75mm 以下, 细集料为云南省安宁市草铺龙洞石料厂生产的石灰岩集料, 集料和沥青材料由云南第五公路桥梁工程有限责任公司提供。纤维为德国 JRS 公司提供的颗粒状 ARBOCEL 木质素纤维。

(2) 试验设计

根据云南省安楚高速公路沥青路面结构组成, 上

面层的设计厚度为 4cm。在《沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004) 中规定, 为了减少沥青混合料的离析, 便于压实, SMA 混合料层的压实厚度不宜小于集料最大公称尺寸的 2~2.5 倍, 故上面层中所用 SMA 沥青混合料的公称最大尺寸不宜大于 16mm。为此, 在上面层采用公称最大尺寸为 13mm 的 SMA-13 型沥青混合料, 设计级配范围见表 1。

选择 6 种 SMA 混合料的级配组成 (见表 1) 进行试验, 以分析级配组成对 SMA 混合料粗集料空隙率的影响, 选择石灰岩细集料和玄武岩细集料成型试件, 分析细集料品质对 SMA 混合料体积参数的影响; 改变试件击实次数, 了解击实次数对 SMA 混合料试件体积参数的影响; 采用谢伦堡试验, 分析木质素纤维状态对 SMA 混合料的析漏量的影响。

表 1 SMA-13 混合料的设计级配范围与试验混合料级配表

试配混合料编号	通过下列筛孔 (mm) 的百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1 (粗)	100	90.0	57.3	22.4	16.5	14.1	12.6	11.5	10.8	9.8
2 (中)	100	93.9	63.3	26.9	19.8	16.4	14.2	12.6	11.6	10.5
3 (细)	100	97.9	71.6	33.1	24.1	19.2	16.2	14.0	12.6	11.2
4	100	95.1	60.9	28.4	21.3	17.5	15.1	13.3	12.3	11.0
5	100	95.9	66.7	29.0	21.3	17.5	15.1	13.3	12.3	11.0
6	100	96.3	68.4	31.0	22.7	18.4	15.6	13.7	12.5	11.1
设计级配范围 (JTGF40-2004)	100	90~100	50~75	20~34	15~26	14~24	12~20	10~16	9~15	8~12

2 级配组成对 SMA 混合料粗集料空隙率的影响分析

(1) 粗集料空隙率 VCA

粗集料空隙率 VCA (Voids in Coarse Aggregate) 包括 VCA_{DRC} 和 VCA_{max} , 其中 VCA_{DRC} 是指矿质粗集料在捣实状态时, 集料颗粒间的间隙占整个粗集料的体积百分率, VCA_{DRC} 采用粗集料的捣实密度和粗集料的毛体积密度按照式 (1) 计算而得; VCA_{max} 是指沥青混合料中粗集料骨架空隙率, 在压实的 SMA 混合料试件中, 粗集料颗粒骨架以外的间隙占整个试件的体积的百分率, 马歇尔试件的粗集料空隙率 VCA_{max} 由式 (2) 计算。

$$VCA_{DRC} = \left(1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_{CA}} \right) \times 100 \tag{1}$$

式中, γ_s 为粗集料 (大于 2.36mm 或大于 4.75mm) 的捣实密度; γ_{CA} 为粗集料 (大于 2.36mm 或大于 4.75mm) 的毛体积相对密度。

$$VCA_{max} = \left(1 - \frac{\gamma_{mb}}{\gamma_{CA}} \times P_{CA} \right) \times 100 \tag{2}$$

式中, γ_{mb} 为沥青混合料试件的毛体积相对密度, 由表干法测定; P_{CA} 为沥青混合料中粗集料的比例, %; γ_{CA}

为粗集料的平均毛体积相对密度。

为了充分发挥 SMA 混合料中粗集料石-石结构的嵌挤作用, 在压实状态下, 沥青混合料中的粗集料间隙不大于矿质粗集料空隙率 $VCA_{max} \leq VCA_{DRC}$, 如果做不到这一点, 粗集料的嵌挤作用就不能形成, 即粗集料骨架一定是被所填充的细集料、矿粉及沥青玛蹄脂撑开了。因此, 粗集料空隙率实际上控制了 SMA 混合料中细集料和沥青玛蹄脂的总体积。粗集料骨架空隙率 VCA_{DRC} 是否大于沥青混合料骨架空隙率 VCA_{max} , 是检验粗集料能否形成嵌挤骨架, 形成 SMA 结构的技术关键。

(2) 矿质粗集料空隙率 VCA_{DRC}

在我国《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004) 第 5.3.2 条中提出, 在 SMA-13 混合料中粗集料骨架的关键性筛孔是 2.36mm, 而在附录 C.3.1 中提出公称尺寸 $\geq 13.2mm$ 的 SMA 混合料以 4.75mm 作为粗集料的分界筛孔, 故本文分别以 4.75mm 和 2.36mm 为界, 进行粗集料的捣实试验。4 组矿质混合料的粗集料空隙率的结果见表 2。由表 2 可见, 矿质混合料粗集料空隙率 VCA_{DRC} 随着矿质混合料中粗

集料的增加而降低,但变化幅度较小,当大于 4.75mm 粗集料变化近 11%, $VCA_{DRC,4.75}$ 的变化幅度仅为 1.4% 左右;大于 2.36mm 粗集料变化近 8% 时, $VCA_{DRC,2.36}$ 的变化范围仅为 1.3% 左右。

表2 级配组成与粗集料空隙率 VCA_{DRC}

级配编号	4.75mm 通过率 $P_{4.75}/\%$	2.36mm 通过率 $P_{2.36}/\%$	矿质粗集料空隙率/ $\%$	
			$VCA_{DRC,4.75}$	$VCA_{DRC,2.36}$
1 (粗)	22.4	16.5	40.5	39.7
2 (中)	26.9	19.8	41.8	-
3 (细)	33.1	24.1	42.0	40.9
5	29.0	21.3	40.9	39.6

(3) 沥青混合料粗集料空隙率 VCA_{max}

按照表1中的试验级配拌制混合料,成型6组 SMA 混合料的马歇尔试件,测试并计算各试件的体积参数,对其中的粗集料空隙率 VCA_{max} 与级配组成的关系分析如下:

①以 2.36mm 为粗集料的分界孔径时

将沥青混合料粗集料空隙率 $VCA_{mix,2.36}$ 与 2.36mm 通过百分率、 $VCA_{mix,2.36}$ 与 4.75mm 通过百分率的关系绘成图1。

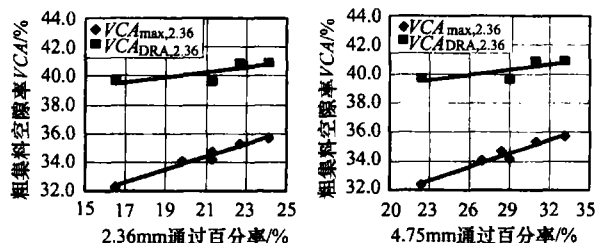


图1 马歇尔试件中粗集料空隙率 $VCA_{max,2.36}$ 与粗集料用量的关系曲线

由图1可见,马歇尔试件 $VCA_{mix,2.36}$ 随着 2.36mm 或 4.75mm 筛孔的通过百分率增加而增大,即随着粗集料的减少而增大,6组初试混合料马歇尔试件的粗集料空隙率 $VCA_{max,2.36}$ 范围在 32% ~ 36% 之间,远远小于捣实状态下粗集料空隙率 $VCA_{DRC,2.36}$ (39.6% ~ 40.9%)。因此, $VCA_{max,2.36} \leq VCA_{DRC,2.36}$ 不是选择 SMA 混合料设计级配的制约条件。

②以 4.75mm 为粗集料的分界筛孔时

将 SMA 混合料试件空隙率 VV 和粗集料空隙率 $VCA_{max,4.75}$ 与 4.75mm 通过率关系绘制于图2。由图2可见,当油石比相同时,随着 $P_{4.75}$ 增大,即 4.75mm 以上的粗集料减少时,沥青混合料试件的粗集料空隙率 VCA_{max} 增加,空隙率 VV 减小。根据 SMA-13 混合料的设计标准,为了满足混合料形成骨架结构的必要条件 $VCA_{max,4.75} \leq VCA_{DRC,4.75}$, 应有 $P_{4.75} \leq 32.0\%$ 。当

要求试件空隙率满足 $VV = 3.0\% \sim 4.0\%$ 时, $P_{4.75} = 31\% \sim 33.5\%$ 。因此,在一定的沥青用量下,同时满足上述2个体积参数的 $P_{4.75}$ 应在 31% ~ 32% 之间。

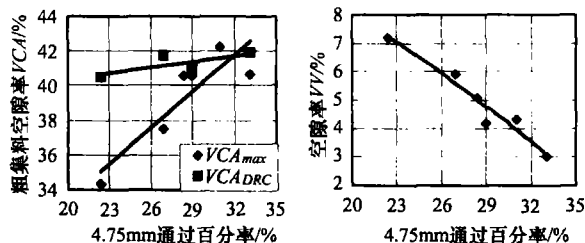


图2 粗集料用量与 SMA 混合料试件体积参数的关系

3 细集料品种对 SAM 混合料体积参数影响

为了确定在 SMA 混合料中采用玄武岩细集料还是采用石灰岩细集料,采用表2中前3种级配组成的试拌混合料,分别采用这2种细集料配制混合料,在相同的沥青用量和成型条件下进行试件成型,图3给出了试件空隙率 VV 和粗集料空隙率 VCA_{max} 的测试结果。由图3可见,采用玄武岩细集料试件的空隙率 VV 和粗集料空隙率 VCA_{max} 普遍大于石灰岩细集料试件的 VV 和 VCA_{max} 。随着级配由粗变细,即混合料中细集料的增加,空隙率的差值增加。如相对较粗的级配1和级配2混合料试件的空隙率差值在 2%,而细级配3试件的空隙率差值近 5%。随着级配由粗变细,两者粗集料空隙率 VCA_{max} 差值也随之增加。

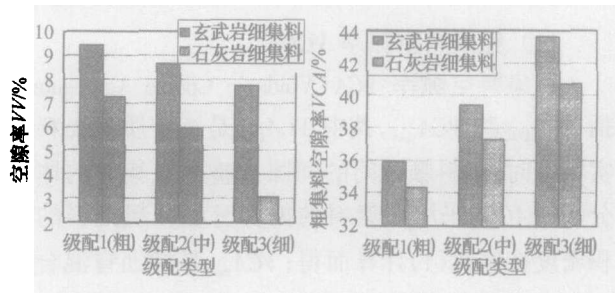


图3 不同细集料品种时 SMA-13 混合料的空隙率

从满足 SMA 混合料的骨架结构要求、发挥 SMA 混合料密实、耐久特性的角度出发,粗集料空隙率或空隙率过大都是不利的。由此可见,为了满足 SMA 混合料试件空隙率在 3% ~ 4%、粗集料空隙率不超过矿质粗集料空隙率,应在 SMA 混合料中采用石灰岩细集料。

4 试件击实功对混合料密度的影响

在《公路沥青路面施工技术规范》中规定, SMA 混合料试件的击实次数为双面各 50 次,对集料坚硬不易击碎,通行重载交通的路段,也可将击实次数增

加为双面各 75 次。为了了解击实次数对试件体积参数的影响, 分别采用双面击实 50 次和 75 次成型 SMA 混合料试件, 级配组成和沥青用量相同。在 2 种成型条件下, SMA 混合料马歇尔试件的体积参数见表 3。当试件的击实次数由双面 75 次减少至双面 50 次时, 试件的空隙率增加近 2%, 矿料空隙率增加近 1.7%, 沥青饱和度降低 7.5%, 粗集料空隙率也将增加 1.2%, 可见, 成型时的击实功对 SMA 混合料体积参数有着重大的影响, 在进行 SMA 混合料配合比设计、确定沥青用量时不可忽视试件击实次数的影响。

表 3 击实次数对 SMA 马歇尔试件体积次数的影响

成型次数	毛体积密度 度/g·cm ⁻³	空隙率 /%	VMA/%	VFA/%	VCA _{max,4.75} /%	VCA _{max,2.36} /%
50×2次	2.405	7.1	19.0	62.6	41.9	36.2
75×2次	2.454	5.2	17.3	70.1	40.7	34.8

5 纤维分散状态对 SMA 混合料析漏损失的影响

谢伦堡析漏损失试验是用来评价 SMA 混合料中沥青用量是否合适的一种辅助试验方法。通过试验, 确定沥青混合料中有无多余的自由沥青及沥青玛蹄脂数量, 进而确定最大沥青用量。SMA 混合料尽管需要较多的沥青, 但无论如何不能超过所有矿料表面所能吸附的最大沥青用量, 过多的自由沥青, 将成为集料颗粒间的润滑剂, 造成沥青玛蹄脂上浮, 影响构造深度、降低高温稳定性、产生泛油等病害。

在 SMA 混合料中, 为了保证形成一定数量的高粘度沥青玛蹄脂, 需要参加一定数量的纤维, 纵横交错的纤维吸附沥青, 增大了混合料中结构沥青的比例, 减少了自由沥青, 使玛蹄脂的粘滞性增强, 从而提高了混合料的粘结力。在高温季节, 当沥青路面受热膨胀时, 纤维内部的空隙还将成为一种缓冲的余地, 来容纳体积膨胀的沥青减轻泛油, 对高温稳定性也有作用。

本次试验采用的是 ARBOCEL 木质素纤维, 为了分析纤维的分散状态对 SMA 混合料析漏性能的影响, 采用 3 种分散状态下纤维进行析漏试验。纤维的 3 种分散条件是: 第 1 将颗粒状纤维与集料预热后干拌, 然后加入沥青和粉料拌制成混合料; 第 2 是先将颗粒状纤维用手工分散, 然后与集料、沥青和粉料拌和; 第 3 直接使用絮状纤维。将 3 种分散状态下的纤维拌制成 SMA 混合料, 置于温度 185℃ 的烘箱中 1h, 然后测试混合料的析漏损失, 结果见图 4。

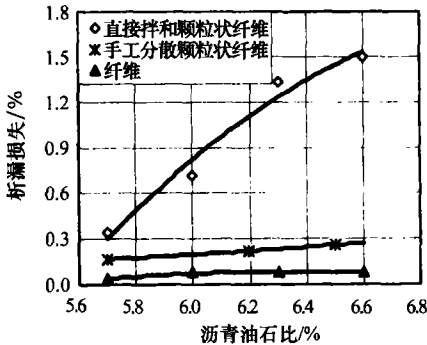


图 4 SMA 混合料的析漏损失量

由图 4 可见, 当采用掺量 0.33% 的颗粒状 ARBOCEL 纤维直接拌和时, 即使采用最小的油石比 5.7%, SMA 混合料的析漏损失仍大于 0.1%, 不符合设计要求; 而先将纤维手工分散再拌制混合料, 析漏损失将大大降低, 但仍有超出标准的趋势。当采用掺量 0.3% 的絮状 ARBOCEL 纤维时, 在油石比 5.7% ~ 6.6% 的范围中, SMA-13 混合料的析漏损失量均小于 0.1%, 完全符合设计要求。由此可见, 纤维在混合料中的分布状态对 SMA 混合料的析漏损失的影响是巨大的。

在 SMA 混合料施工拌和时, 将颗粒状纤维与集料干拌 15s, 目测无可见颗粒, 说明室内沥青混合料拌和锅得到的结果与现场拌和楼的拌和效果之间存在一定的差异。

6 结语

(1) 在进行 SMA-13 混合料组成设计时, 大于 2.36mm 颗粒骨架对级配设计没有制约作用, 应以 4.75mm 为粗集料的分界筛孔。

(2) 为了保证 SMA-13 混合料的体积参数满足设计要求, 细集料应采用石灰岩集料。

(3) 颗粒状木质素纤维的吸油性远小于絮状木质素纤维, 但将颗粒状纤维充分分散后, 可以提高其持油性。在确定 SMA 混合料中的沥青用量时, 应注意室内试验条件与现场拌和条件的差异。

参考文献:

- [1] JTG F40-2004, 公路沥青路面施工技术规范 [S].
- [2] 沈金安. 改性沥青与 SMA 路面 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.