

文章编号:1671-6833(2010)04-0001-05

## SMA 混合料体积参数的试验研究

高丹盈<sup>1</sup>, 李花歌<sup>2</sup>

(1. 郑州大学 新型建材与结构研究中心, 河南 郑州 450002; 2. 开封大学 土木建筑工程学院, 河南 开封 475004)

**摘要:**通过变化三种级配、两种纤维及每一纤维用量下至少变化三种油石比进行试验,研究级配组成、油石比及纤维沥青胶浆对 SMA 混合料体积参数的影响。结果表明,混合料的矿料级配对 SMA 混合料的体积参数影响显著。随 4.75 mm 筛孔通过率的增加,矿料间隙率 VMA 和空隙率 VV 均显著降低,而粗集料骨架间隙率 VCA<sub>mix</sub>和沥青饱和度 VFA 则明显变大;随油石比的增加,由于沥青的填充作用,导致空隙率 VV 逐渐降低,沥青饱和度 VFA 增加。在级配一定情况下,纤维的“微集料”及填充作用,使 SMA 混合料的空隙率 VV 随纤维沥青胶浆含量的增大而减小,矿料间隙率 VMA、沥青饱和度 VFA 及粗集料骨架间隙率 VCA<sub>mix</sub>逐渐增大。

**关键词:**道路工程;微集料;表干法;体积参数;矿料间隙率

**中图分类号:** U414 **文献标识码:** A

### 0 引言

沥青玛蹄脂碎石混合料 (Stone Matrix Asphalt, 简称 SMA) 是一种新型的路面材料,属骨架密实型结构,其最基本的组成是粗集料骨架和沥青玛蹄脂结合料两大部分<sup>[1]</sup>。这种混合料的强度结构主要依赖粗集料形成的石-石嵌锁骨架<sup>[2]</sup>,而密实结构的形成则主要依赖于沥青玛蹄脂的填充作用。

严格控制 VMA、VV、VFA 等体积参数已是密级配沥青混合料组成设计的主要指标。此外,对骨架密实结构的 SMA 混合料,压实状态下 VCA<sub>mix</sub>是否小于散装状态下粗集料骨架间隙率 VCA<sub>DRC</sub>是判断 SMA 是否形成石-石嵌锁骨架结构的关键性指标<sup>[3]</sup>。这些体积参数是 SMA 混合料配合比设计的关键,因此,研究这些体积参数的变化具有重要的意义。

笔者通过对不同级配类型、不同纤维类型与掺量及不同油石比 SMA 混合料的室内试验,分析级配、油石比及纤维与 SMA 混合料体积参数的内在联系,为进一步研究 SMA 混合料的级配组成,提高对其组成设计的理论水平以及全面推广应用 SMA 混合料具有重要的借鉴意义。

### 1 试验材料及试验级配

#### 1.1 试验材料

试验采用 AH-70 沥青,粗集料和细集料分别为河南鹤壁生产的玄武岩碎石和河南叶县产正长岩质人工砂,填料使用磨细的石灰石粉,通过试验,得到材料的物理性能指标见表 1~表 3。本试验采用木质素纤维 (Cellulose Fiber, 简写 CF) 和玄武岩矿物纤维 (Basalt Mineral Fiber, 简写 BF), 其物理性能指标分别见表 4 和表 5。

表 1 AH-70 沥青物理性能

Tab. 1 Physical performances of AH-70 asphalt

沥青类型	25℃ 针入度 P/(0.1mm)	25℃ 延度 D/cm	软化点 SP/℃	密度 $\rho_s$ (g·cm <sup>-3</sup> )
AH-70	85	>100	44.3	1.00937

表 2 集料物理性能

Tab. 2 Physical performances of aggregates

矿料类型	毛体积相对密度 (25℃ 水)	压碎值 /%	洛杉矶磨耗值 /%	针片状颗粒含量 /%
粗集料 I (10~15 mm)	2.71	21.13	25.47	4.74
粗集料 II (5~10 mm)	2.72	21.13	26.33	2.54
细集料	2.43	—	—	—

收稿日期:2010-04-03;修订日期:2010-06-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50678159)

作者简介:高丹盈(1962-),男,河南三门峡人,郑州大学教授,博士生导师,主要从新型建筑复合材料及其结构性能方面的研究,E-mail:gdyy@zzu.edu.cn.

表3 填料物理性能

Tab.3 Physical performances of stuffing

指标	表观密度 ( $t \cdot m^{-3}$ )	粒度范围/%			亲水 系数
		<0.6 mm	<0.15 mm	<0.075 mm	
规范要求	$\geq 2.50$	100	90~100	75~100	<1
测值	2.71	100	99	98.4	0.39

表4 木质素纤维物理性能

Tab.4 Physical performances of cellulose fiber

项目	参数	项目	参数
pH 值	$7.5 \pm 1$	颜色	灰白色
平均纤维长度/mm	1.1	密度/( $g \cdot cm^{-3}$ )	1.49
最大纤维长度/mm	5	比表面积/( $m^2 \cdot g^{-1}$ )	2.6

表5 矿物纤维物理性能

Tab.5 Physical performances of basalt mineral fiber

项目	参数	项目	参数
pH 值	3.6	密度/( $g \cdot cm^{-3}$ )	2.7
平均纤维长度/mm	6	颜色	浅灰白色
直径/ $\mu m$	5	熔点/ $^{\circ}C$	1 250

表6 SMA-13 级配

Tab.6 Aggregate grading of SMA-13

%

级配类型	通过以下筛孔(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
建议级配范围	100	90~100	50~75	20~34	15~26	14~24	12~20	10~16	9~15	8~12
建议级配中值	100	95	62.5	27	20.5	19	16	13	12	10
级配一(粗)	100	95	61	24	21	18	15.5	13	11	9.5
级配二(中)	100	95	63	27	24	20	17	15	12.5	10.5
级配三(细)	100	95	65	29	26	22	19	16	13.5	10.5

将3种初试级配以及《公路沥青路面施工技术规范》JTJ F40<sup>[6]</sup>对SMA-13建议的级配范围、级配中值进行对比,见表6,可以看出,本实验3个初试级配均处于建议级配范围之内,其中级配三处于建议级配中值之上,级配颗粒较细,级配二颗粒为中,级配一处于建议级配中值之下,级配颗粒较粗。

## 2 试验与结果分析

首先由初试的3种级配,采用同一个经验油石比6.4%和相应的矿物纤维掺量0.45%<sup>[1]</sup>,成型马歇尔试件进行试验,结果见图1。

用体积参数作为控制指标确定级配一为设计

## 1.2 试验级配

作者选用的级配是SMA-13。控制关键筛孔4.75 mm的通过率分别为24%,27%和29%,同时13.2 mm的通过率采用建议级配的中值,即95%,并且保证0.075 mm通过率为10%左右,9.5 mm通过率大体在中值上下波动。利用多碎石沥青混合料(SAC)粗集料级配计算公式(1)<sup>[4]</sup>和林绣贤教授提出的SMA级配计算公式(2)<sup>[5]</sup>,分别计算3种初试级配粗集料和细集料部分的级配组成,结果见表6。

$$P_{di} = A \times \left( \frac{d_i}{D_{\max}} \right)^B \quad (1)$$

式中: $P_{di}$ 为筛孔尺寸 $d_i$ 的通过量,%; $D_{\max}$ 为矿料的粒径,mm; $d_i$ 为某筛孔的尺寸,mm; $A$ 、 $B$ 为系数。

$$\begin{cases} P_x = P_0 \times i^x \\ P_{x-2} = P_0 \times i^{x-2} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $P_x$ 为不同粒径 $d_x$ 时的通过率; $P_0$ 为公称最大粒径时的通过率; $x$ 为级数, $x = 3.32 \lg(D/d_x)$ ; $i$ 为通过率的递减率;据证明: $D/4 \sim D$ 之间, $i = 0.5 \pm 0.3$ 时用式(1); $0 \sim D/4$ 之间用式(2)。

的矿料级配,在此设计级配下,分别使用木质素纤维和矿物纤维,每种纤维变化3种用量,每种纤维种类和用量,至少变化3种油石比进行试验,结果见图2~图4。

## 2.1 级配对SMA混合料体积参数的影响

由图1可以看出,① $VCA_{\text{mix}}$ 随4.75 mm筛孔通过率 $P_{4.75}$ 的增大而增大,即随粗集料用量的减少而增大;并且 $VCA_{\text{mix}}$ 的增加幅度远大于 $VCA_{\text{DRC}}$ 的增加幅度;继续增加4.75 mm筛孔通过率进行试验,可以得到当4.75 mm筛孔通过率大于30%时, $VCA_{\text{mix}}$ 将会超过 $VCA_{\text{DRC}}$ 而破坏SMA混合料的石-石嵌锁骨架结构<sup>[1]</sup>。这是由于随4.75 mm筛孔通过率的增加,细集料用量增多,过多细集料的

填充将粗集料骨架撑开而破坏骨架的嵌锁结构。所以为了满足 SMA 混合料形成骨架嵌锁结构,  $VCA_{mix} < VCA_{DRC}$  是必要条件,同时,应有 4.75 mm 筛孔通过率小于 30%。②随 4.75 mm 筛孔通过率的增加,  $VMA$  逐渐减小,且减小的幅度变小。这是由于细集料用量增多,在  $VCA_{mix}$  中占有的比例增大,导致  $VMA$  减小。细集料、矿粉填充在  $VCA_{mix}$  中,全部矿料之外的间隙(即  $VMA$ )可以提供沥青及纤维填充,没有足够大的  $VMA$ ,沥青是没有办法放进去的。因此,对热拌沥青混合料配合比设计的体积标准,规范中均有对最小  $VMA$  的规定。SMA 混合料使用了较多的沥青及纤维,就需要更大的  $VMA$ ,所以,我国规范<sup>[6]</sup>对 SMA 混合料的  $VMA$  规定不小于 17%。由试验结果可见,级配越细,  $VMA$  越小;对于试验所用的矿料,只有控制 4.75 mm 筛孔通过率小于 25%,才可获得满足要求的  $VMA$ 。③随 4.75 mm 筛孔通过率的增加,  $VV$  逐渐减小,变化趋势与  $VMA$  相同;而  $VFA$  则逐渐增加,变化趋势与  $VMA$  相反。在  $VMA$  中,填充沥青和纤维,沥青的体积占  $VMA$  的百分率即为  $VFA$ ,剩下的部分即为  $VV$ <sup>[1]</sup>。在压实条件、矿料性质及沥青和纤维不变的条件下,  $VV$  和  $VMA$  共同取决于矿料级配,  $VV$  自然与  $VMA$  具有相同的变化趋势;而沥青保持不变,  $VMA$  减小的情况下,  $VFA$  就相应的增大,且与  $VMA$  的变化趋势刚好相反。沥青混合料中,  $VV$ ,  $VMA$  和  $VFA$  这些体积参数又是相互制约和相互影响的,只有这些体积参数达到最佳的平衡,沥青路面才能实现稳定、耐久、抗渗水、防车辙等优良路用性能。

由于 SMA 是骨架密实结构,其对空隙率的要求与传统密级配沥青混合料相当,即为 3% ~ 4%<sup>[1]</sup>。同时为实现更好的路用性能,在 SMA 混合料设计中,要求  $VFA$  在 75% ~ 85%,对于试验所用的矿料,需要控制 4.75 mm 筛孔通过率小于 25%。

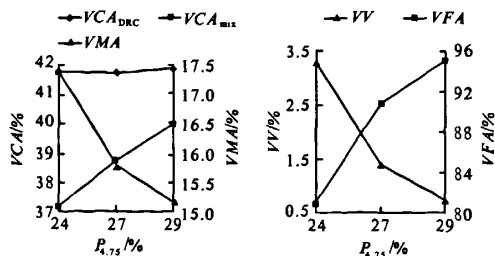


图1 SMA-13 混合料各个级配的体积参数  
Fig. 1 Volumetric parameters of every gradation of SMA-13

## 2.2 纤维和油石比对沥青混合料体积参数的影响

由图2和图3可以看出:①在设计级配下,对这两种纤维,无论纤维用量多少,混合料的  $VV$  都随油石比的增加而呈减小趋势。这是由于沥青用量增加时, SMA 混合料内沥青玛蹄脂数量随之增加,可以进一步填充混合料内部的空隙,引起混合料  $VV$  减小,这也说明了沥青具有填充空隙的作用。在 0.35% 矿物纤维条件下, 6.2% 油石比下的空隙率小于 6.0% 油石比下的空隙率,这可能是试验过程中某些系统误差引起的。②在同样条件下,随油石比的增加,混合料的  $VFA$  逐渐增大。这是由于级配一定条件下,  $VMA$  变化很小,而沥青用量增多,沥青所占的比例增大,  $VFA$  也随之增加。

## 2.3 纤维沥青胶浆对沥青混合料体积参数的影响

SMA 混合料组成具有“三多一少”,同时使用纤维作为稳定剂的显著特点<sup>[1]</sup>。多的沥青用量、矿粉用量及适宜的纤维可以提供足够的沥青玛蹄脂填充 SMA 混合料的粗集料骨架间隙,从而形成密实结构。但沥青、矿粉及纤维之间,以及它们与粗细集料之间均有一最佳的比例构成,只有在最佳的比例构成下,组成的 SMA 混合料才能发挥其优异的路用性能。在压实条件、矿料性质、级配三者均一定的情况下,再固定矿粉含量, SMA 混合料的体积参数就只决定于沥青含量及纤维掺量,这也是在级配确定后,通过变化纤维掺量及沥青含量确定 SMA 混合料配合比的技术手段。

纤维对 SMA 混合料路用性能的影响主要是其具有吸附、稳定、增黏、增韧、阻裂和降低沥青感温性等作用,而对 SMA 混合料体积参数的影响则主要是其具有“微集料”效用。这是由于纤维具有恒定的弹性模量,几乎不随温度而变化,同时纤维具有一定的体积,当与适量的沥青复合后便以三维网状结构均匀分散于集料之间,占有一定的空间并填充集料之间的空隙,进而影响 SMA 混合料的体积参数,如图4所示。

纤维对 SMA 混合料体积参数的影响与其吸附、稳定沥青的性能密切相关,通过复合沥青得以实现。考虑到纤维的影响离不开沥青,图4中便以纤维沥青胶浆的量为变化参数,探讨纤维沥青胶浆对各体积参数的影响。由图4可见,对于木质素纤维 CF 和矿物纤维 BF,随纤维沥青胶浆含量的增大, SMA 混合料的  $VV$  逐渐降低,且具有良好的

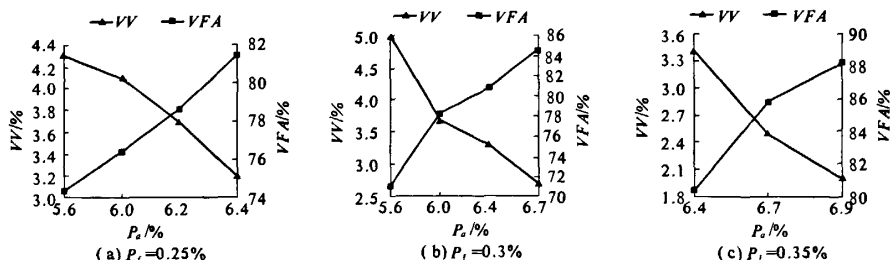


图2 木质素纤维不同掺量下 SMA 混合料的体积参数

Fig. 2 Volumetric parameters of SMA-13 mixture at different content of cellulose fiber

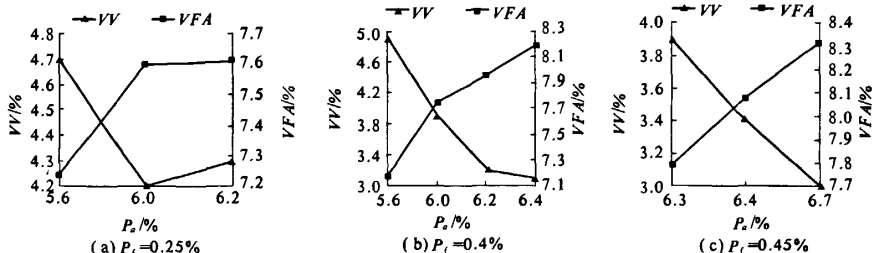


图3 玄武岩纤维不同掺量下 SMA 混合料的体积参数

Fig. 3 Volumetric parameters of SMA-13 mixture at different content of basalt fiber

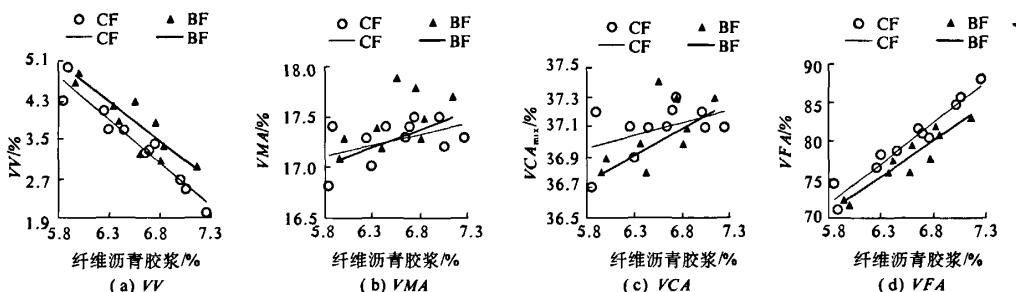


图4 纤维沥青胶浆对 SMA 体积指标的影响

Fig. 4 Influence of paster of fiber and asphalt on volumetric parameters of SMA content of basalt fiber

线性相关性,说明纤维沥青胶浆的填充能力越来越强;VMA 有增大的趋势,这来源于纤维的“微集料”效用;受制于 VV 及 VMA, VFA 逐渐增大,也具有良好的线性相关性;VCA<sub>mix</sub>也具有明显的增大趋势.因此,正是由于纤维的“微集料”及填充作用,使 SMA 混合料具有了“三多一少”的组成特点,从而使其体积设计指标有别于传统密级配沥青混合料,即 VMA、VFA 均高于相应的值.

### 3 结论

(1)级配变化对 SMA 混合料体积参数具有显著影响.随 4.75 mm 筛孔通过率的增加,VV 和 VMA 逐渐减小,VCA<sub>mix</sub>,VCA<sub>DRC</sub>及 VFA 逐渐增大.为使 SMA 混合料达到最佳路用性能,4.75 mm 筛

孔通过率应不大于 25%.

(2)矿料性质、级配及纤维均一定的情况下,随油石比的增加,SMA 混合料的 VV 逐渐减小,VFA 逐渐增大.

(3)由于纤维的“微集料”及填充作用,在级配一定情况下,随纤维沥青胶浆含量的增大,SMA 混合料的 VV 逐渐减小,VMA, VFA 及 VCA<sub>mix</sub> 逐渐增大.

### 参考文献:

- [1] 沈金安.改性沥青与 SMA 路面[M].北京:人民交通出版社,1999:31-32,148-225.
- [2] 陈强,曹汉荣,张起森,等.SMA 混合料体积参数的研究[J].中国公路学报,2001,14(4):19-24.
- [3] 苏洲,李立寒,陈宏坡.SMA 混合料体积结构影响因

- 素的试验研究[J].公路交通科技,2006,23(11):40-43.
- [4] 沙庆林.多碎石沥青混凝土SAC系列的设计与施工[M].北京:人民交通出版社,2005.101
- [5] 林绣贤.论SMA混合料的配合比设计[M].北京:人民交通出版社,2003.168
- [6] JTJF 40—2004 公路沥青路面施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2005.
- [7] JTJ 052—2000 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].北京:人民交通出版社,2000.

## A Laboratory Study on Volume Parameters of Stone Matrix Asphalt

GAO Dan-ying<sup>1</sup>, LI Hua-ge<sup>2</sup>

(1. Research Center of New Style Building Material & Structure, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Civil Engineering & Architecture Academy, Kaifeng University, Kaifeng 475004, China)

**Abstract:** Through the tests of changing three kinds of aggregate grading and two kinds of fiber and more than three kinds of asphalt contents at every sort and quantity of fiber, the effect of aggregate grading, content of asphalt and the paste composed of fiber and asphalt on volume parameters of Stone Matrix Asphalt are analyzed. The results indicate that the aggregate grading has a remarkable influence on volume parameters of SMA. With the increase of the passing percent of 4.75mm sieve pore, the voids in mineral aggregate ( $VMA$ ) and percentage of void ( $VV$ ) decrease obviously, while the voids in coarse aggregate ( $VCA_{mix}$ ) and voids filled by asphalt ( $VFA$ ) increase greatly. Due to the filling function of asphalt, with the increase of asphalt content, percentage of void ( $VV$ ) decreases gradually and voids filled by asphalt ( $VFA$ ) increases on the other hand. As a result of tiny aggregate effect of fiber, with the increase of the paste composed of fiber and asphalt, the percentage of void ( $VV$ ) declines evidently, however, voids in mineral aggregate ( $VMA$ ) and voids in coarse aggregate ( $VCA_{mix}$ ) and voids filled by asphalt ( $VFA$ ) increase.

**Key words:** road engineering; tiny aggregate; dry surface method; volume parameter; voids in mineral aggregate