

文章编号: 0451-0712(2006)02-0157-04

中图分类号: U414.03

文献标识码: A

# 大粒径沥青混合料力学性能试验研究

冯俊领<sup>1</sup>, 张起森<sup>2</sup>, 高和生<sup>3</sup>, 陈一飞<sup>3</sup>

(1. 同济大学交通运输工程学院 上海市 200092; 2. 长沙理工大学公路工程学院 长沙市 410076;

3. 解放军理工大学工程兵工程学院 南京市 210007)

**摘 要:** 采用静压成型 $\phi \times h = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  大粒径沥青混合料(LSAM)试件,通过大量的室内试验,研究了公称最大粒径分别为 37.5 mm 和 31.5 mm 的 LSAM 回弹模量、无侧限抗压强度、劈裂抗拉强度的力学指标。试验结果表明,LSAM 的抗压回弹模量是普通沥青混凝土的 1.3 倍左右;LSAM 的回弹模量、抗压强度和劈裂抗拉强度分别是半刚性材料的 2 倍左右。

**关键词:** 道路工程; 大粒径沥青混合料; 回弹模量; 抗压强度; 劈裂抗拉强度

随着交通量的快速增长和轴载的加重,沥青路面普遍出现了抗车辙能力不足和路面的耐久性较差等质量问题。国内外许多道路专家认为解决这些问题的途径之一是调整集料的组成(尺寸、形状、结构和级配)<sup>[1~4]</sup>。大粒径沥青混合料通过增大粒径,可降低油量,在不增加造价的情况下,可以增强沥青路面的抗车辙能力及减缓反射裂缝的发生。通常所说的大粒径沥青混合料(Large-Stone Asphalt Mixes,简称 LSAM)是指含有矿料的最大粒径在 25~63 mm 之间的热拌热铺沥青混合料。LSAM 的回弹模量、抗压强度和劈裂抗拉强度是反映其力学性质的重要指标,是路面结构设计中进行力学验算或厚度计算的重要参数。国外对大粒径沥青混合料(LSAM)的研究比较深入,并取得了一定的成果,而最近几年的研究成果却鲜见报端。目前国内对公称最大粒径为 26.5 mm 的 LSAM 力学性能研究较多,而对公称最大粒径为 37.5 mm 或 31.5 mm 的 LSAM 力学性能研究却很少。

收稿日期: 2005-09-06

级配沥青混合料孔隙率较大,铺设的路面可以承受暴雨等级的降雨量。

(5)从兼顾功能性和力学性能的角度出发,选择粉胶比 1:1 的中值级配,粉胶比 0.8:1 的下限级配的 OGFC 沥青混合料为级配与粉胶比的最佳组合。

## 参考文献:

[1] 李闯民. 级配沥青磨耗层(OGFC)的研究[J]. 公路,

本研究在借鉴国内外研究成果的基础上,采用静压成型 $\phi \times h = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  LSAM 试件,对公称最大粒径分别为 37.5 mm 和 31.5 mm 的不同级配类型 LSAM,研究其在不同温度下的力学性能指标,从而为 LSAM 的设计、研究和推广使用提供重要的参考。

## 1 试验材料与试验方法

### 1.1 原材料

#### 1.1.1 集料

粗集料和细集料是石灰岩碎石,集料性能试验根据《公路工程集料试验规程》(JTJ058—2000)进行,其技术指标如表 1。

表 1 集料技术指标

试验项目	压碎值 %	沥青与矿料 的粘附性	针片状颗 粒含量/%	含泥量 %	细集料 砂当量/%
试验结果	15.2	四级	7.05	0.44	61.4
规范要求	$\leq 28$	$\geq$ 四级	$\leq 15$	$\leq 1$	$\geq 60$

2002, (3)

- [2] 赵可,原健安. 聚合物改性沥青与矿料的粘附性研究[J]. 中国公路学报, 2000, 13(2)
- [3] 延西利. 沥青混合料的强度形成机理的分析研究[J]. 西安公路学院学报, 1994, 14(3).
- [4] JTG F40—2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [5] 刘中, 郝培文. 大粒径沥青混合料组成结构的研究[J]. 土木工程学报, 2004, 37(7).

1.1.2 矿粉

采用普通石灰石矿粉。

1.1.3 沥青

选用重交通AH-70号沥青,其性能指标如表2。

1.2 大粒径沥青混合料级配

目前国内外LSAM集料级配设计还没有一个实用的方法<sup>[1-6]</sup>,本文参照国内外试验采用的LSAM级配范围和级配设计的思想,选用了3个并自行设计了3个LSAM集料级配,LSAM的集料级配具体见表3和图1。其中1号、2号、3号级配的公称最大粒径是37.5 mm,4号、5号、6号级配的公称最大粒径是31.5 mm。

表2 沥青性能指标

指 标		沥青品种	AH-70 号
		AH-70 号	规范要求
针入度(25℃,100 g,5 s)/0.1 mm		64	60~80
延度(5 cm/min,15℃)/cm		≥150	≥100
软化点(环球法)/℃		48.3	44~54
密度(15℃)/(g/cm³)		1.007	≥1
含蜡量(蒸馏法)/%		1.54	≤3
旋转薄膜加热试验 163℃	重量损失/%	0.196	≤0.6
	针入度比/%	71.5	≥55
	延度(25℃)/cm	85	≥50
	延度(15℃)/cm	45	实测记录

表3 LSAM 集料级配

级配类型	通过下列方筛孔(mm)的质量百分率/%														
	53.0	37.5	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配1号	100	95	90	76	55	50	43	33	26	24	22	15	11	7	4.5
级配2号	100	93	83	74	63.5	55.5	48	40	30	21	14	8.5	5.5	4	3
级配3号	100	96	78	66	52	43	35	32	30	28	16	11	8	5	3
级配4号	100	100	94	81	70	51	40	25	21	19	18	13	10	7	5
级配5号	100	100	90	76	57	48	39	31	22	19	14.5	10	7	4.5	3.5
级配6号	100	100	90	83	74	65	52	52	39	28	24	19	14	10	7

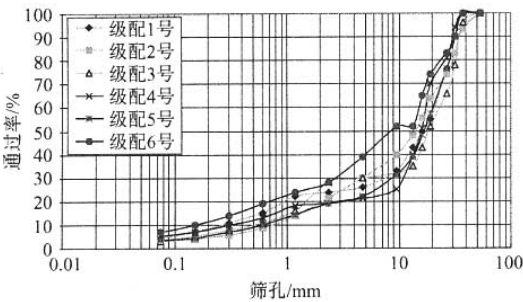


图1 LSAM 级配曲线

1.3 大马歇尔试验结果

采用大马歇尔试验来确定各种级配LSAM的最佳沥青含量,LSAM的回弹模量试验、抗压试验和劈裂试验试件的密度为大马歇尔试验的最佳沥青含量的试件视密度。LSAM各种级配在最佳沥青含量时的物理、力学指标见表4。

1.4 试验方法

1.4.1 关于试件尺寸和试验温度

由于普通沥青混合料的抗压试验和回弹模量试验加载的上下压板直径为120 mm;根据美国NCHRP

表4 LSAM 各种级配在最佳沥青含量时的物理、力学指标

级配类型	最佳沥青含量/%	技术性质							
		视密度 g/cm <sup>3</sup>	最大理论密度 g/cm <sup>3</sup>	空隙率 %	沥青体积百分率 %	矿料间隙率 %	沥青饱和度 %	稳定度 kN	流值 0.1 mm
1号	3.2	2.514	2.611	3.72	7.99	11.70	68.26	26.28	47.25
2号	2.9	2.493	2.635	5.39	7.18	12.57	57.12	24.41	42.13
3号	2.9	2.499	2.636	5.20	7.20	12.39	58.07	22.84	47.72
4号	3.0	2.499	2.633	5.09	7.44	12.53	59.40	17.66	49.51
5号	3.2	2.505	2.599	3.62	7.96	11.58	68.76	18.81	50.53
6号	2.9	2.503	2.588	3.28	7.21	10.49	68.70	18.17	60.40

和 NCAT 的研究成果,试件的最小尺寸不得小于集料最大公称粒径的 4 倍的要求<sup>[2]</sup>;本研究 LSM 公称最大粒径为 37.5 mm 或 31.5 mm,须采用  $\phi \times h = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  试件,所以只有对普通沥青混合料圆柱体单轴压缩试验中的变形量测装置进行的适当改进,才可用来测试 LSAM 的无侧限抗压强度和回弹模量。每种级配类型的 LSAM 分别按 6 个试件为一组测得无侧限抗压强度、回弹模量和劈裂抗拉强度。

我国公路沥青路面设计规范规定,对于弯沉指标和容许拉应力指标,试验温度以 15℃ 为标准。因此,在本研究中,仍分别取 15℃ 和 20℃ 作为 LSAM 的抗压试验和回弹模量试验温度,取 15℃ 作为 LSAM 的劈裂试验温度。

1.4.2 关于加载方式和荷载大小

进行抗压强度试验时,在万能材料试验机上加载,采用 2 mm/min 的加载速率均匀加载直至破坏,读取荷载峰值(P),准确至 100 N。LSAM 回弹模量试验的加载方式与普通沥青混合料的测试加载方式相同;预压 0.1~0.2 P (试件破坏荷载),然后以 0.1~0.7 P 七级分别加载卸载,绘制  $P_i \sim \Delta_i$  曲线,修正原点,取 0.5 P 时的模量作为设计参数。

LSAM 的劈裂试验在万能材料试验机上采用径向加载,测定 LSAM 的劈裂抗拉强度,采用 50 mm/min 的加载速率,试件也采用  $\phi \times h = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 。

2 试验结果与分析

2.1 LSAM 无侧限抗压强度

LSAM 抗压强度试验结果见表 5 和表 6,在 20℃ 试验温度下,LSAM 无侧限抗压强度在 5.59~10.45 MPa 之间,平均值为 7.32 MPa;在 15℃ 试验温度下,LSAM 无侧限抗压强度在 7.37~11.47 MPa 之间,平均值为 9.12 MPa,比 20℃ 时抗压强度平均增大了 19.8%。

根据沙庆林院士的试验统计结果<sup>[4]</sup>,水泥稳定碎石 7 d 无侧限抗压强度在 3~6 MPa 之间,二灰稳定类基层 7 d 无侧限抗压强度在 0.8~1.2 MPa 之间,考虑到二灰材料强度会随龄期增长,其后期强度达到 3~5 MPa。所以,20℃ 时 LSAM 的无侧限抗压强度比半刚性基层材料 7 d 龄期的略大一些,而在 15℃ 时 LSAM 的无侧限抗压强度比半刚性基层材料 7 d 龄期的大 50% 左右,表明大粒径沥青混合料具有较好的抗压性能。

表 5 20℃ LSAM 抗压强度试验结果

级配类型	试件个数	标准差 MPa	变异系数 %	平均抗压强度 MPa
级配 1 号	6	0.66	6.34	10.45
级配 2 号	6	0.60	9.11	6.62
级配 3 号	6	0.47	6.39	7.37
级配 4 号	6	0.45	5.86	7.60
级配 5 号	6	0.76	13.62	5.59
级配 6 号	6	0.19	3.05	6.26

表 6 15℃ LSAM 抗压强度试验结果

级配类型	试件个数	标准差 MPa	变异系数 %	平均抗压强度 MPa
级配 1 号	6	1.10	9.57	11.47
级配 2 号	6	0.66	8.93	7.37
级配 3 号	6	0.83	9.17	9.03
级配 4 号	6	0.65	7.13	9.07
级配 5 号	6	0.29	3.68	7.82
级配 6 号	6	0.31	3.12	9.99

2.2 LSAM 的抗压回弹模量

从表 7 和表 8 可以看出,在 20℃ 试验温度下,LSAM 抗压回弹模量在 1 811~2 268 MPa 之间,将 6 种不同级配 LSAM 的抗压回弹模量进行平均得: $E_{20} = 2\,003 \text{ MPa}$ ;在 15℃ 试验温度下,LSAM 无侧限抗压强度在 2 247~2 629 MPa 之间,同样可得: $E_{15} = 2\,599 \text{ MPa}$ 。于是 15℃ 和 20℃ 时,这 6 种 LSAM 的抗压回弹模量之间得关系为: $E_{20}/E_{15} = 0.771$ 。

表 7 20℃ LSAM 抗压回弹模量试验结果

级配类型	试件 个数	标准差 MPa	变异系数 %	平均抗压 回弹模量 MPa	设计抗压 回弹模量 MPa
级配 1 号	6	145.8	6.43	2 268	2 148
级配 2 号	6	163.0	8.07	2 021	1 887
级配 3 号	6	71.6	3.95	1 811	1 743
级配 4 号	6	140.2	6.74	2 082	1 967
级配 5 号	6	125.6	6.64	1 892	1 788
级配 6 号	6	122.2	6.29	1 943	1 843

对照交通部项目“沥青路面设计指标与参数的研究”——材料设计参数的研究报告中,沥青混合料抗压回弹模量受温度影响的关系式:

表 8 15℃LSAM 抗压回弹模量试验结果

级配类型	试件个数	标准差 MPa	变异系数 %	平均抗压 回弹模量 MPa	设计抗压 回弹模量 MPa
级配 1 号	6	281.9	10.72	2 629	2 397
级配 2 号	6	122.9	4.77	2 577	2 460
级配 3 号	6	352.0	14.41	2 442	2 152
级配 4 号	6	221.3	9.85	2 247	2 065
级配 5 号	6	340.9	13.00	2 622	2 341
级配 6 号	6	506.5	16.45	3 079	2 662

$$\frac{E_T}{E_{20}} = 2.980 0 - 0.099 0 \times T$$

可知:  $E_{20}/E_{15} = 0.683$ 。得出这个关系式所用的沥青有壳牌 70 号、茂名 70 号、欢喜岭 90 号和 120 号、辽河 100 号。而本研究采用的沥青是胜利 70 号, 总的来说所用沥青比本研究所用的沥青差些, 故 15℃ 和 20℃ 的模量相差亦大些。

根据高速公路沥青路面设计资料, 20℃ 和 15℃ 普通沥青混凝土的抗压回弹模量一般取值分别为 1 200 MPa、1 800 MPa, 从表 7、表 8 可以看出 15℃ 和 20℃ LSAM 抗压回弹模量是普通沥青混凝土的 1.3 倍左右, 因此 LSAM 可称为高模量沥青混凝土。主要因为 LSAM 形成了嵌挤骨架—密实型结构, 所以它具有很高的回弹模量值。故它可用作高速公路沥青路面的加强层, 用在要求抗辙槽能力很高的位置以及城镇需要减薄厚度的位置。

### 2.3 LSAM 的劈裂抗拉强度

由表 9 可以看出, 在 15℃ 时, LSAM 平均劈裂抗拉强度在 1.09~1.56 MPa 之间, 平均值为 1.22 MPa。而水泥稳定类基层 90 d 的劈裂强度在 0.48~0.87 MPa 之间, 平均值为 0.67 MPa; 二灰稳定类基层 180 d 的劈裂强度在 0.52~0.80 MPa 之间, 平均值为 0.72 MPa, 表明 LSAM 基层的劈裂抗拉强度是半刚性基层劈裂抗拉强度的 2 倍左右。所以 LSAM 基层有很好的抗疲劳性能及低温抗裂性, 可以有效抵抗路面反射裂缝。

从表 5~表 9 可得, 1 号 LSAM 的无侧限抗压强度、回弹模量、劈裂抗拉强度在本试验中是最大, 故可称 1 号级配在 6 个级配中是最好的。而其集料的公称最大粒径是 31.5 mm, 可见 LSAM 的力学性能与其集料的公称最大粒径关系不大, 主要由其级配来决定的。

表 9 LSAM 劈裂试验结果

级配类型	试件个数	标准差 MPa	变异系数 %	平均劈裂强度 MPa
级配 1 号	6	0.12	7.58	1.56
级配 2 号	6	0.11	10.14	1.09
级配 3 号	6	0.07	5.54	1.20
级配 4 号	6	0.09	8.43	1.11
级配 5 号	6	0.08	6.91	1.13
级配 6 号	6	0.06	5.59	1.02

### 3 结论

(1) 在大马歇尔试验确定各个级配 LSAM 最佳沥青含量的基础上, 采用静压成型  $\phi \times h = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  LSAM 试件, 对普通沥青混合料回弹模量试验方法进行了适当改进, 以此试验研究 LSAM 力学性能是可行的。

(2) LSAM 的力学性能主要由其级配来决定, LSAM 的集料形成嵌挤骨架—密实型结构, 是 LSAM 具有很高的抗压回弹模量和抗压强度的关键。

(3) LSAM 力学性能试验研究表明, LSAM 的抗压回弹模量、抗压强度和劈裂抗拉强度分别是半刚性材料的 2 倍左右, 这样 LSAM 可作为沥青路面的下面层或基层, 不仅与沥青混凝土面层粘结牢固, 可提高路面的抗车辙能力, 而且可有效延长路面的疲劳寿命。

### 参考文献:

- [1] Kandal P S. Large Stone Asphalt Mixes: Design And Construction[R]. NCAT Report, 1990.
- [2] NCHRP REPORT 386. Design and Evaluation of Large Stone Asphalt Mixes [R]. Transportation Research Board National Research Council, 2000.
- [3] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [4] 沈金安, 李福普, 等. 高速公路沥青路面早期破坏研究及对策[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [5] 刘中林, 田文, 史建方. 高等级公路沥青混凝土路面新技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [6] 江苏省交通科学研究院. 大粒径沥青混和料研究报告[R]. 2004.
- [7] 王旭东, 沙爱民, 许志鸿. 沥青路面材料动力特性与动态参数[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [8] 姚祖康, 姜爱峰, 等. 水泥混凝土面层下二灰碎石基层设计回弹模量值的取用[J]. 华东公路, 1997, (2).

文章编号: 0451-0712(2006)02-0161-03

中图分类号: U414.01

文献标识码: B

# SBS 改性剂与基质沥青的配伍性研究

姜庆林

(辽宁省交通勘测设计院 沈阳市 110005)

**摘 要:** SBS 改性剂的改性效果不仅与其剂量和改性工艺有关, 还受到改性剂与不同基质沥青的配伍性影响。本文通过对比试验, 阐述 SBS 改性剂对于不同的基质沥青其改性效果的差异, 强调应用改性沥青时应注意 SBS 改性剂与基质沥青的配伍性。

**关键词:** SBS 改性剂; 基质沥青; 配伍性; 相容性

路用改性剂种类繁多, 而不同种类的改性剂所表现出的性能也有所不同, 必须综合考虑所在地区的气候条件以及交通条件等进行选择。辽宁省地处东北地区的最南端, 气候条件较为特殊, 全年 1 月份气温最低, 平均为  $-15.7^{\circ}\text{C}$ , 最低气温  $-25 \sim -31.5^{\circ}\text{C}$ ; 最高气温  $35 \sim 39.3^{\circ}\text{C}$ 。高低温持续时间较长, 所以路面设计中对沥青混合料的高温 and 低温性能都要兼顾。通过大量的试验研究和一些工程实践表明, SBS 改性沥青的高低温性能均较好, 相比 EVA、PE 和 SBR 等改性剂有一定的优势, 因此 SBS 改性沥青成为辽宁地区改性沥青的首选。就目前来

说, 辽宁省内的改性沥青除局部试验路段外, 均采用 SBS 改性。

## 1 SBS 改性剂分类

SBS 改性剂有星型和线型两大类, 同时根据一些具体的情况又有细分类, 一般用 4 位数字来表示。第一位 1 表示线型, 4 表示星型; 第二位表示 S/B 比; 第三位表示充油与否; 第四位表示分子量大小。如 SBS1401 表示线型、S/B 比为 40:60、没有充油、分子量不大于 10 万 of SBS。SBS4303 表示星型、S/B 比为 30:70、没有充油、分子量为 23~28 万 of SBS 等。

收稿日期: 2005-09-26

## A Study on Experiment of Mechanical Properties of Large Stone Asphalt Mixes

FENG Jun-ling<sup>1</sup>, ZHANG Qi-sen<sup>2</sup>, GAO He-sheng<sup>3</sup>, CHEN Yi-fei<sup>3</sup>

(1. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. College of Highway engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China;

3. Engineering Institute of Engineering Corps, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** On the basis of the laboratory tests of  $\phi \times h = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  specimens of large stone asphalt mixes (LSAM), which are moulded by static-load machine, the unconfined compressive strength, resilient modulus, splitting-tension strength of the large stone asphalt mixes are studied and analyzed, whose maximum nominal sizes of aggregate are 37.5 mm/31.5 mm. Results of tests show that the resilient modulus of LSAM is about 1.3 times greater than those of the normal asphalt concretes and the mechanical properties of LSAM are about 1 times greater than those of the semi-rigid materials.

**Key words:** road engineering; large stone asphalt mixes; resilient modulus; compressive strength; splitting-tension strength