

文章编号:1671-6833(2010)01-0030-04

## SAMPAVE 沥青混合料级配设计研究

周 燕<sup>1</sup>, 陈拴发<sup>1,2</sup>, 刘 丹<sup>3</sup>, 张 凯<sup>4</sup>

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061; 3. 广东华美加工程顾问有限公司, 广东 广州 510627; 4. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044)

**摘 要:** SAMPAVE (Stress Absorbing Mixtures Pavement) 沥青混合料是一种新型的延缓和防止反射裂缝的应力吸收层材料, 具有抗裂、防渗、粘结等特性. 根据变  $i$  法对 SAMPAVE 混合料进行矿料组成设计, 并与 AC-5、美国规范、科氏公司推荐的级配范围进行比较. 结果表明, 对于变  $i$  法设计的 SAMPAVE 混合料, 级配上限、级配下限确定的沥青用量在设计工程级配沥青用量的  $\pm 0.3\%$  范围内, 满足生产控制的要求, 且 SAMPAVE 混合料具有优良的耐高温、耐低温、抗变形、耐疲劳、抗水损害等路用性能.

**关键词:** SAMPAVE 沥青混合料; 应力吸收层; 变  $i$  法; 级配范围; 反射裂缝

**中图分类号:** U416.217 **文献标识码:** A

### 0 引言

在旧水泥混凝土路面上加罩沥青层是一种改善其使用性能的有效措施. 然而, 由于水泥混凝土路面接缝或裂缝的存在以及沥青加铺层与旧水泥混凝土路面不易粘结, 极易导致反射裂缝的形成和罩面层的破坏. 而 SAMPAVE 混合料是一种高弹性、不透水的聚合物改性沥青应力吸收层混合料, 其典型的特征是集料细, 矿粉用量大, 油石比大, 空隙率小, 细石料悬浮于沥青与矿粉形成的胶浆之间. 在水泥混凝土路面与沥青罩面之间起“承上启下”的粘结作用之外, 还具有防水的功能, 可防止或延缓反射裂缝<sup>[1-5]</sup>的产生和雨水下渗引起路面基层破坏, 进而延长沥青混凝土罩面层的服务寿命<sup>[6-7]</sup>. 但是对于应力吸收层混合料配合比设计, 目前国内外尚无相关方法. 基于此, 笔者根据变  $i$  法对 SAMPAVE 混合料进行矿料级配设计, 并分别对变  $i$  法设计的级配上限、级配下限、工程级配进行了路用性能的测试. 试验结果在汉宜高速公路沥青混凝土加铺工程实践中得到了很好的应用和验证.

### 1 原材料

SAMPAVE 集料应洁净、干燥、表面粗糙、满

足棱角性、砂当量和黏土含量等要求. 沥青结合料应满足 AASHTO PG70-22 以上的性能分级要求, 该试验所用沥青为特种聚合物改性沥青, 常规试验指标如表 1 所示:

表 1 沥青结合料常规试验结果  
Tab. 1 Conventional test results of asphalt binder

项目	试验结果
针入度(25℃, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	81.3
软化点/℃	80.1
延度(5 cm/min, 5℃)/cm	60.7
溶解度/%	99.5
运动黏度(135℃)/(Pa·s)	2.31
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.005
闪点/℃	261
弹性恢复(25℃)/%	99
离析/℃	2.6

### 2 级配设计与性能验证

#### 2.1 SAMPAVE 的技术要求

根据工程所在地区的交通与气候条件, 确定 SAMPAVE 混合料的技术指标与要求为: ①浸水马歇尔残留稳定度 > 85%; ②冻融劈裂试验 TSR > 85%; ③小梁弯曲试验(-10℃)  $E_{\max} > 2\,500\text{ MPa}$ ; ④60℃贯入试验以 10%  $P_{\max}$  作用 10 min, 贯入深

收稿日期: 2009-06-08; 修订日期: 2009-09-30

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(200631800005)

作者简介: 周燕(1979-), 女, 山东临沂人, 长安大学博士研究生, E-mail: zhouyan635@126.com.

度不超过 2 mm;⑤0 ℃ 条件下 SCB 半圆柱体试件疲劳作用次数不低于 10 万次。

2.2 级配设计

由于细集料很多,SAMPAVE 混合料要求目

标配合比和生产配合比的变动很小.我国规范 JTG F40-2004<sup>[8]</sup>中 AC-5、美国规范 JSP-97-10<sup>[9]</sup>、科氏公司<sup>[10]</sup>推荐的砂粒式级配范围如表 2 所示:

表 2 砂粒式矿料级配范围  
Tab.2 Grading range of sand mineral aggregate

级配类型	筛孔尺寸 /mm	通过下列筛孔的质量百分率/%						
		9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
中国 JTG F40-2004 AC-5	100	90~100	55~75	35~55	20~40	12~28	7~18	5~10
美国规范 JSP-97-10	100	80~100	60~85	40~65	30~55	18~32	8~18	7~14
科氏推荐	100	80~100	60~85	40~70	25~55	15~35	8~20	6~14

从上表可以看出,科氏级配范围很宽,美国规范级配范围与科氏级配范围相近,主要体现在 1.18 mm、0.6 mm、0.3 mm 等筛孔通过率有所减小.而中国规范推荐的 AC-5 级配范围比较偏下,粗集料含量多.所以有必要对 SAMPAVE 混合料级配范围进行设计,使其在传统搅拌设备上拌和出级配稳定的高质量应力吸收层沥青混合料.变 *i* 法<sup>[11-12]</sup>是在 *i* 法<sup>[13]</sup>基础上,通过对粗、细集料级配分别取不同的 *i* 值而得来,笔者采用变 *i* 法并结合中国、美国规范和科氏推荐级配对 SAMPAVE 混合料级配进行调整,即:

$$P=100(i)x(\%)$$

表 3 变 *i* 法计算级配范围  
Tab.3 Grading range calculated by varying *i* method

筛孔尺寸/mm	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
计算上限/%	100	87	76	66	39	31	24	19
计算下限/%	100	80	64	51	26	18	13	9

将变 *i* 法计算的级配范围与我国规范 AC-5、美国规范以及科氏公司推荐的级配范围进行比较研究,见图 1 所示。

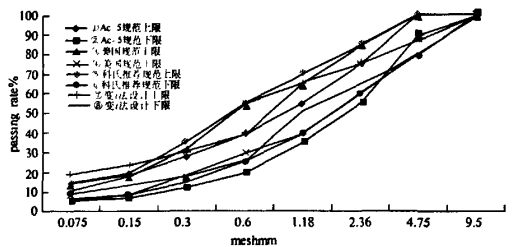


图 1 4 种级配范围  
Fig.1 Four grading range

可以看出,除了 0.15 mm、0.075 mm 上限通过率略偏高外,变 *i* 法设计的级配范围都在科氏

式中: $x=3.32lg(D/d_x)$ ,其中 *D* 为最大粒径;*d<sub>x</sub>* 为各粒级的相应方孔筛孔径(如 16,13.2,9.5, …,0.075 mm);*i* 为通过率递减系数。

SAMPAVE 矿料公称最大粒径为 4.75 mm,采用传统的 4.75 mm 或 2.36 mm 来划分粗细集料显然不合适.根据贝雷法分界点计算公式,可得出 SAMPAVE 混合料粗细集料划分筛孔为 1.18 mm.因此可根据变 *i* 法公式对 SAMPAVE 矿料级配进行设计,尽量缩小上下限范围,以利于目标和生产配合比的控制.当 *i* = 0.8 ~ 0.87 时计算粗集料(≥1.18 mm)级配,当 *i* = 0.71 ~ 0.79 时计算细集料(<1.18 mm)级配.计算结果如表 3 所示。

的级配范围内.与科氏级配相比,变 *i* 法设计的级配下限靠近科氏级配下限,只是在 1.18 mm、0.15 mm、0.075 mm 处通过率略高于科氏级配;而在 4.75 mm 与 0.6 mm 筛孔上,设计的级配上限通过率比科氏级配上限偏低,从而使得变 *i* 法设计的级配上限呈 S 形曲线.与 AC-5 相比,设计的级配下限与 AC-5 型级配下限略微有些差别,主要体现在:级配下限的 4.75 ~ 9.5 mm、0.6 ~ 1.18 mm 集料含量比 AC-5 级配多,但是从粗细集料分界点 1.18 mm 处来看,粗集料总体含量比 AC-5 级配少.因此,需对 0.075 ~ 0.15 mm 和 2.36 ~ 4.75 mm 进行局部调整,将 0.075 mm 上下限调整为 8 ~ 12,0.15 mm 调整为 10 ~ 20,2.36 mm 上限调整为 80,4.75 mm 调整为 90 ~

100,其他筛孔通过率不变,使之满足设计要求.调整后级配如图 2 所示:

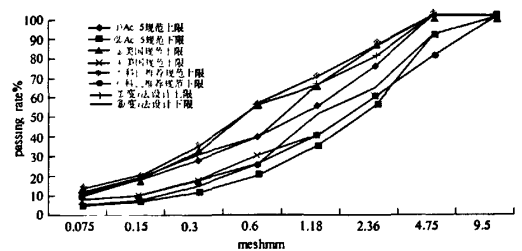


图 2 调整后级配范围比较图  
Fig. 2 Adjusted grading of varying *i* method

可以看出,变 *i* 法设计的级配范围较窄,粗集料含量最少,细集料中 0.6~1.18 mm 集料较多,级配比较均匀.为了验证其合理性,在级配范围内设计工程级配,并分别对级配上限、下限、工程级配进行试验,确定最佳沥青用量.

### 2.3 最佳沥青用量

应力吸收层混合料主要以抗疲劳、抗变形、抗渗性能为主,应尽可能使用较高的沥青用量,矿料间隙率不宜过大,空隙率按(0.5~2.5)%设计.结合工程实际经验,沥青加热温度为 170℃,拌和温度 175℃,压实温度 160℃.试验采用 TROXLER4140 Gyrotory Compactor 进行压实,压实次数为 50 次.各级配与沥青用量下体积参数如表 4 所示.

表 4 各级配与沥青用量下 SGC 试验结果  
Tab.4 SGC test results at different grading ranges and asphalt amount

级配	$P_b/\%$	$\gamma_t$	VV/%	VMA/%	VFA/%
级配上限	8.0	2.315	2.03	20.04	89.87
	8.5	2.306	1.71	20.79	91.77
	9.0	2.293	1.55	21.66	92.84
	9.5	2.285	1.21	22.37	94.59
工程级配	8.0	2.256	3.35	20.18	83.40
	8.5	2.265	2.24	20.28	88.95
	9.0	2.267	1.49	20.67	92.79
	9.5	2.274	0.45	20.85	97.84
级配下限	8.0	2.288	1.84	20.94	91.21
	8.5	2.275	1.69	21.82	92.25
	9.0	2.269	1.26	22.45	94.39
	9.5	2.261	0.92	23.15	96.03

在确保混合料体积指标满足要求的前提下,寻找最佳空隙率 1.5% 对应的沥青用量作为最佳沥青用量.由此确定级配上限混合料最佳沥青用量为 9.1%,工程级配为 9.0%,级配下限为

8.7%.级配上限、下限确定的沥青用量在工程级配沥青用量的  $\pm 0.3\%$  范围内,说明确定的级配范围较合理.

### 2.4 性能验证

SAMPAVE 沥青混合料低温弯曲试验及其他性能试验见表 5 和表 6 所示.

表 5 SAMPAVE 沥青混合料低温弯曲试验  
Tab.5 Low temperature bending test of SAMPAVE asphalt mixture

级配类型	弯拉强度 /MPa	弯拉应变 / $\mu\epsilon$	弯曲劲度模量 /MPa
级配上限	12.15	5 038.61	2 411.38
工程级配	13.12	8 625.08	1 521.15
级配下限	12.84	4 551.16	2 821.26

普通沥青混合料在  $-10^\circ\text{C}$  时的最大弯拉应变一般在 3 000  $\mu\epsilon$  以内,而设计级配下的 SAMPAVE 沥青混合料最大弯拉应变为 4 500~8 600  $\mu\epsilon$ ,是前者的 1.5~3.0 倍.由此可知,SAMPAVE 沥青混合料具有远高于普通混合料的抗变形能力.

表 6 变 *i* 法设计混合料性能试验  
Tab.6 Performance tests of varying *i* method mixture

级配	$P_b/\%$	残留稳 定度/%	劈裂强 度/%	贯入 /mm	疲劳 /万次
工程级配	9.0	95	88	0.8	12.65
级配上限	9.1	92	85	1.1	10.11
级配下限	8.7	92	87	0.6	11.32

由表 5、6 可以看出,变 *i* 法设计的 SAMPAVE 混合料无论在级配上限、级配下限还是在工程级配条件下,均具有良好的耐高温、低温、抗变形、耐疲劳、耐水损害等能力,满足应力吸收层混合料设计的要求.

### 3 结论

(1) 根据应力吸收层混合料目标配合比和生产配合比变动很小的要求,采用变 *i* 法并结合中国规范、美国规范和科氏推荐级配对 SAMPAVE 混合料级配进行设计,确定了应力吸收层混合料较窄的矿料级配范围.

(2) 采用变 *i* 法设计的 SAMPAVE 混合料,级配上限确定的最佳沥青用量为 9.1%,工程级配为 9.0%,级配下限为 8.7%.级配上限、级配下限确定的沥青用量在工程级配沥青用量的  $\pm 0.3\%$

范围内,满足生产控制的要求。

(3) 由变  $i$  法设计的 SAMPAVE 沥青混合料低温弯曲实验破坏应变为  $4\ 500 \sim 8\ 600\ \mu\epsilon$ , 远高于普通沥青混合料的抗变形能力。SAMPAVE 混合料具有良好的耐高温、低温、抗变形、耐疲劳、耐水损害等路用性能,满足应力吸收层混合料设计的要求。

### 参考文献:

- [1] CHEN D H, BILYEU J, SCULLION T. Lessons learned on jointed concrete pavement rehabilitation strategies in Texas [J]. ASCE Journal of Transportation Engineering, 2006, 132(3): 257 - 264.
- [2] KIM J, BUTTLAR W G. Analysis of reflective crack control system involving reinforcing grid over [J]. ASCE Journal of Transportation Engineering Jul/Aug 2002, 128(4): 375 - 383.
- [3] LSHAI I, LIVNEH M, KIEF O, et al. Experimental and analytical model for the role of reinforced asphaltic membranes in retardation of reflective cracking [R]. Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists - Proceedings of the Technical Sessions, 1993: 62, 130 - 149.
- [4] 4th international RILEM conference on reflective cracking in pavements research in practice [C]. Ottawa, Ontario, Canada, 26 - 30, March, 2000.
- [5] 李祖仲, 陈拴发, 华敏. Sampave 层厚度对沥青结构层内力影响分析 [J]. 郑州大学学报: 工学版, 2007, 28(4): 92 - 95.
- [6] 廖卫东, 刘洪海, 张昌波, 等. STRATA 应力吸收层的级配特征与施工控制技术 [J]. 公路, 2005, (5): 13 - 17.
- [7] 周燕. SAMPAVE 抗裂结构层材料及其路用性能研究 [D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2007.
- [8] JTG F40 - 2004 公路沥青路面施工技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [9] JSP - 97 - 10 Experiment Sand Anti - fracture Mixture [S]. Construction and Materials, 2007 - 12.
- [10] 科氏路面解决方案 - 反射裂缝应力吸收层系统 [R]. 美国科氏材料(中国)公司. 2001.
- [11] 陈忠达, 袁万杰, 郑陈启. 级配理论应用研究 [J]. 重庆交通学院学报, 2005, 24(4): 44 - 48.
- [12] 刘丹. 应力吸收层材料组成及其特性研究 [D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2008.
- [13] 林绣贤. 沥青混凝土合理集料组成的计算公式 [J]. 华东公路, 2003, 140(1): 82 - 84.

## Research on Grading Design of SAMPAVE Asphalt Mixture

ZHOU Yan<sup>1</sup>, CHEN Shuan - fa<sup>1,2</sup>, LIU Dan<sup>3</sup>, ZHANG Kai<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China; 3. Guangdong CAC Engineering Consultants Co. Ltd., Guangzhou 510627, China; 4. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** SAMPAVE (Stress Absorbing Mixtures Pavement) asphalt mixture is a new stress absorbing mixture for delaying or restraining reflective cracking. It has the characteristics of anti-cracking, anti-leakage and being adhesive. Based on the varying  $i$  method, the paper designs mineral aggregate composition of SAMPAVE asphalt mixture and compares it with China AC-5, the United States standard, KOCH corporation recommend grading ranges recommended by KOCH corporation. The result shows that under the varying  $i$  method grading, the optimum asphalt content at upper and lower limit is in the range of  $\pm 0.3\%$  project grading, which can meet the production control demand of stress absorbing layer mixture. And SAMPAVE mixture has excellent high or low temperature resistance, anti-deformation, anti-fatigue and anti-water damage road performance.

**Key words:** SAMPAVE asphalt mixture; stress absorbing layer; varying  $i$  method; grading range; reflective cracking