

文章编号:1671-8879(2009)02-0033-04

级配对应力吸收层沥青混合料性能的影响

谭忆秋¹, 石昆磊², 朱 峰¹, 徐慧宁¹

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;

2. 上海市市政工程设计研究总院, 上海 200092)

摘 要:为研究混合料级配对富沥青、砂粒式应力吸收层沥青混合料路用性能的影响,提出适于应力吸收层混合料的级配类型;在选用优质高粘性沥青作为结合料的基础上,应用改进的 Superpave 方法设计了 AC、间断、S 型和 SMA 等 6 种典型级配的应力吸收层混合料,并分别对其疲劳性能、抗拉性能和低温变形性能等进行了室内试验研究。结果表明:AC 类级配及间断级配兼顾耐疲劳、常温抗拉和低温变形强等优良力学性能,且对应的混合料沥青结合料含量(质量分数)适中;建议在实际工程应用中,富沥青、砂粒式应力吸收层沥青混合料应尽可能优先选择这两类级配。

关键词:道路工程;级配;反射裂缝;沥青砂;应力吸收层

中图分类号:U414.1

文献标志码:A

Impact of asphalt mixture gradation on stress-absorbing layer performance

TAN Yi-qiu¹, SHI Kun-lei², ZHU Feng¹, XU Hui-ning¹

(1. School of Communications Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, Heilongjiang, China; 2. Shanghai General Institute of Municipal Engineering Design, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to study the influences, the favorable gradations are put forward to provide a guidance in road building, the properties of six kinds of stress-absorbing layer mixture with different gradations are studied in the lab. With the same high-viscous-asphalt and improved Superpave mix design method, the fatigue performance and low temperature performance of stress-absorbing layer mixture are tested. The results show that AC-graded and gap-graded stress-absorbing layer mixtures are more flexible at low temperature, they have better tensile performance and fatigue performance. Furthermore, the asphalt content of AC-graded and gap-graded stress-absorbing layer mixtures is not so abundant compared with others. So these two kinds of gradation should be adopted firstly in engineering project. 9 tabs, 1 fig, 9 refs.

Key words: road engineering; gradation; reflective crack; asphalt sand mixture; stress absorbing layer

0 引 言

反射裂缝是半刚性基层沥青路面(旧水泥混凝

土路面加铺沥青面层)中普遍存在的病害形式。反射裂缝的出现,进一步导致路表水进入基层和土基,加速路面的破坏,严重影响沥青路面的使用性能。

收稿日期:2008-04-12

基金项目:教育部博士点基金项目(20060213002)

作者简介:谭忆秋(1968-),女,吉林德惠人,教授,博士研究生导师,工学博士,博士后,E-mail: yiqiutan@163.com。

已有研究表明,反射裂缝类型主要是在车辆偏载作用下引发的剪切型裂缝(II型)及温度应力导致的拉伸型裂缝(I型)^[1]。常用的土工布、玻璃纤维格栅等薄膜在中间层抗拉不抗剪,当车辆荷载作用在裂缝一侧时,往往因不能受剪而发生破坏;SAMI(stress absorbing membrane interlayer)一般情况下具有较好的防反射裂缝的效果^[2],但这种材料在裂缝处相对竖向位移较大的情况下,防治反射裂缝效果较差。以 STRATA 为代表的沥青砂类应力吸收层通常能满足上述两方面的要求,因此,在实际工程中应用的越来越多^[3],但是关于这种材料的系统研究并不多见。级配是影响沥青混合料性能的重要因素^[4],本文从沥青砂式应力吸收层级配入手,采用改进的 Superpave 体积设计方法,对 6 种典型级配进行了路用性能研究,推荐出较优的沥青砂应力吸收层级配。

1 应力吸收层材料组成设计

1.1 原材料

结合料采用掺加特殊改性剂的高粘性沥青,其指标参数如表 1 所示。矿料采用优质玄武岩石屑、石灰石粉,具体物理指标如表 2、表 3 所示。

表 1 试验用沥青的技术性能

指 标	高粘性沥青
针入度(25℃,100 g,5 s)/0.1 mm	99.3
软化点(环球法)/℃	89.8
延度(5 cm/min,10℃)/cm	45.6
弹性恢复(5 cm/min,25℃)/%	90
60℃粘度/(Pa·s)	268 575.7
135℃粘度/(Pa·s)	1.46

表 2 试验用集料密度

筛孔尺寸/ mm	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
视密度/ (g·cm ⁻³)		2.796	2.796	2.765	2.752	2.744	2.753	2.712

表 3 试验用矿粉技术指标

视密度/ (g·cm ⁻³)	含水量/ %	下列筛孔尺寸(mm)的通过率/%		
		<0.600	<0.150	<0.075
2.712	0.5	100	96.9	80.7

1.2 混合料设计

1.2.1 改进的 Superpave 设计方法

应力吸收层具有大变形、不透水和结构层厚度小的特点,是一种沥青含量(质量分数)大、空隙率小和级配细的砂粒式沥青混合料。传统马歇尔方法不

适合该种混合料的设计。已有资料表明^[5],体积参数指标(特别是空隙率)与沥青混合料性能之间具有很好的相关性,故采用体积设计法进行应力吸收层混合料设计,并对 Superpave 体积设计法进行了适当改进^[6]。两种设计方法的比较如表 4 所示。

表 4 两种设计方法的比较

指标种类		Superpave 设计方法	改进的 Super- pave 设计方法
试验指标	空隙率/%	4.0	0.5~3.0
	矿料间隙率/%	>15	>20
	沥青饱和度/%	65~80	85~98
	粉胶比	0.6~1.2	0.5~1.6
性能指标	冻融劈裂残余强度比/%	>80	

(1)级配设计及性能试验。试件尺寸直径为 100 mm,高度为(63.5±1.3)mm。改进后的试件尺寸较传统的 Superpave 方法所用试件偏小,一方面能适于应力吸收层厚度较小的特点;另一方面与中国《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的马歇尔试样尺寸相同,便于比较分析。

(2)设计旋转压实次数为 50 次,与传统的 Superpave 设计方法中旋转压实次数根据交通量确定的思想不同,既满足应力吸收层易于压实的特点,同时也简化了设计过程。

(3)设计空隙率为 0.5%~3.0%。

(4)矿料间隙率要求大于 20%,较传统的 Superpave 方法值偏大,满足应力吸收层沥青含量大的特点,为结合料提供足够的填充空间。

(5)沥青填隙率为 85%~98%。

(6)粉胶比为 0.5~1.6。

1.2.2 应力吸收层级配设计

选用 AC 类 3 种级配(粗、中、细)、典型级配 2 种(间断级配、S 型级配)以及德国 SMA-5 中值级配进行混合料性能对比分析,矿料级配如表 5 所示。拟定设计空隙率(2.0±0.2)%,各种级配对应的沥青含量及体积指标如表 6(见下页)所示。

表 5 6 种试验用沥青混合料矿料级配的通过率

级配 类型	下列筛孔尺寸(mm)的通过率/%							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
下限级配 I	100	80.0	60.0	40.0	25.0	15.0	8.0	6.0
中值级配 II	100	90.0	72.5	55.0	40.0	25.0	14.0	10.0
上限级配 III	100	100.0	85.0	70.0	55.0	35.0	20.0	14.0
S 型级配 IV	100	93.0	75.0	48.0	25.0	13.0	7.0	5.0
间断级配 V	100	88.2	67.6	47.1	47.1	29.4	16.5	11.8
SMA-5 级配 VI	100	95.0	45.0	30.0	25.0	20.0	14.0	9.0

表 6 6 种级配混合料沥青含量及体积指标

级配类型	沥青含量/%	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%
I	9.0	1.9	22.9	91.9
II	7.8	1.8	20.2	91.3
III	8.5	2.0	21.6	90.6
IV	13.6	1.9	31.2	94.4
V	7.9	1.9	20.3	90.8
VI	10.3	1.9	25.3	92.5

2 路用性能的室内评价

根据应力吸收层在路用过程中的受力状态及应具有的性能要求,分别进行了抗疲劳性能、极限抗拉强度性能和低温变形性能的研究。

2.1 抗疲劳性能

应用 SHRP 推荐的 4 点弯曲疲劳试验方法,梁试件尺寸为 385 mm×65 mm×50 mm,采用应变控制模式,施加的荷载频率为 10 Hz 连续正弦波,试验温度为 20 ℃。应变控制模式下,试件没有明显的破坏现象。一般认为,将试件劲度下降到初始劲度的一半作为疲劳破坏准则,此时,重复荷载的作用次数即为疲劳寿命^[7-8]。

结合沥青砂应力吸收层变形能力强、疲劳寿命高的特点,为达到简化试验、便于操作的目的,疲劳控制应变水平为 $3\,000\times10^{-6}$ 。不同级配应力吸收层混合料疲劳试验结果如表 7 所示。

表 7 混合料疲劳试验结果

级配类型	初始模量/ MPa	终止模量/ MPa	累积耗散能/ MPa	疲劳次数
I	540	267	177.4	105 120
II	619	310	107.9	55 750
III	544	272	257.3	143 800
IV	192	96	>176.4	>200 000
V	456	228	455.4	278 900
VI	351	176	41.7	34 630

由疲劳试验结果可以看出,6 种级配的抗疲劳性能大体分为 3 个水平,IV、V 类 2 种级配疲劳寿命最高,均远大于 20 万次,处在第 1 水平;I、III 类 2 种级配以 10 万~15 万次的疲劳寿命处在第 2 水平;II、VI 类 2 种级配以 3 万~6 万次的疲劳寿命处在第 3 水平。进一步分析,可以得到以下结论。

(1) II、VI 类 2 种级配的抗疲劳性能最差。同时,VI 类级配沥青含量为 10.3%,仅小于 IV 类级配,处在第 2 位,沥青含量很大,但疲劳性能却很差,从经济角度考虑,该级配应消除。

(2) IV 类级配疲劳寿命较长,但该类级配的抗疲

劳性能是以大幅度增加沥青含量为前提的,从经济方面考虑是不合理的;同时,该级配的初始弯曲模量仅为 192 MPa,说明该类级配高温抗变形能力较差。综合上述 2 种因素,该类级配并不可取。

(3) I、III、V 类 3 种级配从抗疲劳性能、经济适用以及高温变形能力方面考虑,均明显优于其他几类级配,其综合排序为 V、III、I 类。

应力吸收层材料是一种粘弹性材料,在输入交替循环荷载时,加载过程的应力-应变曲线与卸载过程的应力-应变曲线形成首尾相接的环线,称为滞后环线。该环线围成的面积代表了材料内部在外力作用下的能量损耗,这一损耗主要用于克服分子之间的内摩擦。损耗的能量可转变为热能,并引起材料塑性变形,发生疲劳破坏,在整个疲劳试验过程中各个循环的能量损耗累积即为累积能量损耗(cumulative dissipated energy)^[9]。将表 7 中试验结果绘成图 1(R^2 为相关系数),可以看出应力吸收层材料的疲劳寿命与累积耗散能之间具有很好的线性相关关系,说明累计耗散能是反映应力吸收层疲劳性能的可靠指标。

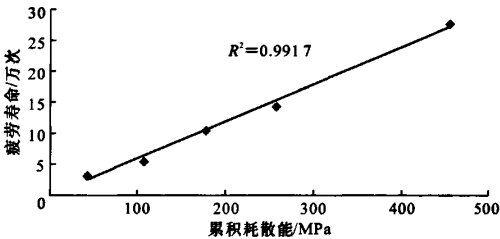


图 1 累计耗散能与疲劳寿命的关系

2.2 抗拉性能

采用劈裂试验模拟应力吸收层材料的间接抗拉性能,试件尺寸为 $\Phi 100\text{ mm}\times 63.5\text{ mm}$,试验温度为 15 ℃,加载速率为 50 mm/min,试验结果见表 8。

结合疲劳性能分析结果,优先分析 V、III、I 类 3 种级配。由表 8 可以看出,整体而言,III、V 类 2 种级配的抗拉强度、拉伸变形以及劲度模量几乎在同一个水平,而 I 类级配处于较低水平。进一步分

表 8 混合料常温劈裂试验结果

级配类型	沥青含量/ %	空隙率/ %	抗拉强度/ MPa	拉伸应变/ 10^{-6}	劲度模量/ MPa
I	8.98	1.84	0.93	15 137.9	113.1
II	7.83	1.77	1.21	11 858.1	186.1
III	8.80	2.10	1.15	14 271.9	150.7
IV	13.56	1.88	0.59	29 824.4	36.2
V	7.88	1.86	1.13	14 652.1	146.8
VI	10.30	1.87	0.76	24 951.9	56.2

析, V 类级配性能与 III 类级配相比, 各方面性能指标相差无几, 而前者的沥青含量却比后者要小。综合经济因素, 排序为 V、III、I 类, 这个排序结果与前面的排序结果相同。

2.3 低温变形性能

低温变形性能评价采用小梁弯曲试验, 试验温度为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 加载速率为 50 mm/min , 试验结果如表 9 所示。

表 9 混合料低温小梁弯曲试验结果

级配类型	沥青含量/ %	抗弯拉强度/ MPa	弯曲破坏应 变/ 10^{-6}	弯曲劲度模 量/MPa
I	8.98	14.1	12 238.1	1 138.6
II	7.83	15.2	11 745.1	1 287.7
III	8.80	17.8	11 473.5	4 842.3
IV	13.56	8.2	31 969.3	265.1
V	7.88	15.4	13 524.6	1 088.2
VI	10.30	12.7	15 754.5	779.5

由表 9 可看出, V、III、I 类 3 种级配的低温变形性能处在一个很高的水平。这表明, 即使沥青面层由于温度骤降开裂, 应力吸收层材料也能够通过大变形消散集中应力而不开裂, 依然能阻止地表水下渗入基层及土基, 起到封层的作用。

3 结 语

(1) 不同级配对沥青砂应力吸收层性能有很大的影响, AC 类级配 I、III 及本文设计的间断级配 V 兼顾了疲劳、常温抗拉和低温变形等力学性能, 并且较经济, 在实际应用中应尽可能优先选择。

(2) 应力吸收层沥青砂混合料设计采用了改进的 Superpave 体积设计法, 试件尺寸、成型方法及体积指标等均较 Superpave 方法有所不同, 改进后的设计方法及设计标准更适合这种应力吸收层材料。

(3) 从能量的角度评价应力吸收层材料的疲劳性能, 累积耗散能与应力吸收层材料的疲劳性能之间具有很好的线性相关关系。

参考文献:

References:

[1] 郑健龙, 周志刚, 张起森. 沥青路面抗裂设计理论与方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

[2] Molenaar A A A, Heerbens J C P. Effects of stress absorbing membranes interlays[J]. Proc of AAPT, 1986, 55: 206-219.

[3] 郑俊杰, 阳 寒. STRATA 应力吸收层在我国的首次应用[J]. 公路交通科技, 2003, 20(3): 19-22.

ZHENG Jun-jie, YANG YAN. The first application of STRATA stress absorption system in China[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(3): 19-22.

[4] 胡德明, 王曦林, 王 彬, 等. 级配变化对混合料性质及路用性能的影响[J]. 武汉科技大学学报, 2007, 29(9): 47-50.

HU De-ming, WANG Xi-lin, WANG Bin, et al. Investigation of gradation differentials on performance and properties of asphalt mixture[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2007, 29(9): 47-50.

[5] 朱梦良, 王 民, 邱鑫贵. 空隙率对沥青混合料性能的影响分析[J]. 长沙交通学院学报, 2005, 21(3): 25-31.

ZHU Meng-liang, WANG Min, QIU Xin-gui. Influence of voids ratio on the properties of asphalt mixture[J]. Journal of Changsha Communications University, 2005, 21(3): 25-31.

[6] 石昆磊. 高粘性沥青应力吸收层防治沥青路面反射裂缝的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.

[7] 黄宝涛, 梁 轶, 崔 娥, 等. 沥青混合料抗车辙性能的分形描述方法[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(6): 59-63.

HUANG Bao-tao, LIANG Yi, CUI E, et al. Fractal description method of asphalt mixture rut resistance[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(6): 59-63.

[8] 葛折圣, 黄晓明. 沥青混合料应变疲劳性能的试验研究[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(1): 34-37.

GE Zhe-sheng, HUANG Xiao-ming. Study on asphalt mixtures fatigue properties by testing[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(1): 34-37.

[9] 王立久, 刘 慧. 骨架密实型沥青混合料集料级配设计方法[J]. 中国公路学报, 2008, 21(5): 6-9.

WANG Li-jiu, LIU Hui. Method of aggregate gradation design of skeleton denseness asphalt mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(5): 6-9.