

文章编号:1671-8879(2005)02-0001-05

矿料级配对沥青混合料低温性能的影响

张争奇¹, 赵战利¹, 张卫平²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点试验室, 陕西 西安 710064; 2. 陕西省公路局, 陕西 西安, 710068)

摘 要:为了研究级配对沥青混合料低温性能的影响,探讨沥青混合料低温性能评价方法,借鉴 SHRP 和贝雷法级配初拟几种级配,对其低温性能进行了试验研究和比较,并推荐了低温性能好的级配。在分析沥青路面低温开裂机理和分析试验结果的基础上,提出了沥青混合料低温性能的合理评价方法,认为沥青混合料低温收缩性和低温柔性是反映沥青路面低温抗裂性能的 2 个方面,小的收缩性和高的低温柔性使沥青混合料具有较高的抗低温开裂的潜能;应综合收缩系数和低温破坏应变 2 个指标评价沥青混合料低温性能。

关键词:道路工程;沥青混合料;矿料级配;低温性能;评价方法

中图分类号:U414.3

文献标识码:A

Effect of aggregate gradation on performance of asphalt mix at low temperature

ZHANG Zheng-qi¹, ZHAO Zhan-li¹, ZHANG Wei-ping²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Shaanxi Province Highway Administration Bureau, Xi'an 710068, China)

Abstract: The effect of aggregate gradation on the performance of asphalt mix at low temperature is ignored longtime, and its evaluation methods are also in controversy. The effect of aggregate gradations on the property of asphalt mix was studied and the test methods evaluating the performance of asphalt mix at low temperature was probed. Several gradations were tested and evaluated, based on test results, the proper gradation of anti-cracking mixture was put forward. Through analyzing the mechanism of asphalt pavement cracking and test results, the shrinking character and flexibility of asphalt mix were thought as two main factor related to pavement cracking, the shrinking parameters and low-temperature stress were recommended to evaluate the performance of mix at low temperature.

Key words: road engineering; asphalt mix; aggregate gradation; performance at low temperature; evaluation method

0 引 言

长期以来,人们对沥青路面低温开裂的研究主要关注沥青胶结料,认为沥青混合料的低温性能主

要取决于胶结料,与级配关系不大^[1,2]。大量事实表明,级配对沥青路面低温性能的影响不容忽视,且影响着沥青混合料多方面的性能。为了评价沥青混合料的低温性能,研究者提出了很多低温试验方法,

收稿日期:2003-12-26

基金项目:陕西省自然科学基金项目(2003E229)

作者简介:张争奇(1967-),男,陕西扶风人,长安大学副教授,博士。

如收缩系数、低温蠕变速率、劈裂应变、应变能、低温劲度模量等指标,但都未得到广泛接受。因为这些指标只能反映沥青混合料在低温时某一方面的特点,并不能全面有效地反映沥青混合料的低温性能^[2~4]。对沥青路面的低温问题把注意力过多地集中在胶结料上,对级配的设计选择存在较大的随意性。

本文在分析沥青路面低温开裂机理的基础上,提出采用收缩系数和低温破坏应变 2 个指标综合反映沥青混合料的低温抗裂性能,并借鉴先进的级配理论选择几种典型级配,通过试验和分析提出低温抗裂性能较好的级配形式。

1 矿料级配理论及试验级配的拟定

近年出现了贝雷法级配设计方法和 SHRP 级配理论^[5]。贝雷法级配设计的主要思想是:强调集料的逐级填充作用,即较粗一级的颗粒间隙由较细一级的矿料颗粒填充;给粗细集料 1 个相对的划分标准,以最大公称尺寸(D)的 0.22 倍对应的筛孔孔径作为混合料中粗细集料的分界点,再逐级划分,将细集料分成较粗部分和较细成分,并以粗集料的粗料率($[CA]$ 值)和细集料的粗料率($[FA_c]$ 值)和细料率($[FA_f]$ 值)对级配曲线的走向进行把握和控制。美国 SHRP 计划提出的高性能沥青路面 Superpave 级配理论中,提出了“限制区”和“控制点”的概念,即给级配曲线 1 个应该避开和必须通过的位置,虽然有关“限制区”(或禁区)的必要性和合理性还有较大的争议,但其级配设计思路仍有可借鉴之处^[6]。

沥青混合料是由沥青、矿料和空隙组成的三相体,沥青混合料的使用性能决定于沥青品质及用量、矿料品质及级配。大量研究和调查证实,沥青用量和品质是影响沥青混合料低温抗裂性能的重要因素。但矿料和矿料级配是沥青混合料的骨架,是容纳和附着沥青的基础,影响着沥青用量的大小以及沥青在混合料所起的作用。所以级配对沥青混合料的低温性能也有很大影响。

本文在选取级配过程中,考虑以下 2 个方面:

(1)试验级配能够反映 Superpave 法和贝雷法级配构成特点;

(2)所选级配能够反映中国规范面层常用级配的特征。

依照上述原则,本文拟订了 5 种试验级配,如表 1、表 2。为便于对级配进行分析和比较,选用 0.45 次方级配图作为坐标系,各级配曲线见图 1。其中级配 1、2、3 分别为规范 AC-16 的上、中、下限,级

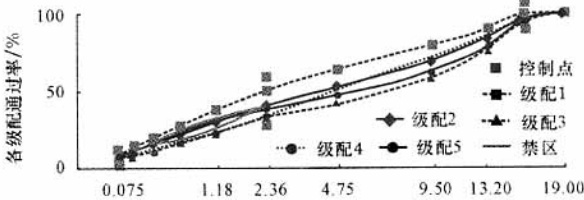
配 4 从禁区的下侧穿过,符合 Superpave 规范对于级配的要求,级配 5 也符合 Superpave 规范对于级配的要求,但从禁区的上侧穿过。在级配的选择过程中也参考了贝雷法的一些特点,采用贝雷法设计思想对各级配进行了验证,各参数见表 3。

表 1 5 种级配的级配特征及最佳油石比

级配编号	1	2	3	4	5
级配特征	AC-16 上限	AC-16 中值	AC-16 下限	禁区下侧	禁区上侧
最佳油石比/%	4.80	4.75	4.70	4.90	4.70

表 2 不同试验级配表

级配编号	1	2	3	4	5
不同筛孔 (mm) 通过率/%	19.00	100.0	100.0	100.0	100.0
	16.00	100.0	97.5	95.0	95.0
	13.20	90.0	82.5	75.0	78.0
	9.50	78.0	68.0	58.0	71.0
	4.75	63.0	52.5	42.0	50.0
	2.36	50.0	41.0	32.0	34.0
	1.18	37.0	29.5	22.0	22.0
	0.60	28.0	22.0	16.0	17.0
	0.30	21.0	16.0	11.0	10.0
	0.15	15.0	11.0	7.0	8.0
	0.075	8.0	6.0	4.0	5.5



筛孔尺寸的0.45次方
图 1 1~5 种试验级配曲线

表 3 各级配贝雷法参数

级配类型	$[CA]$	$[FA_c]$	$[FA_f]$
级配 1	0.68	0.59	0.57
级配 2	0.48	0.56	0.54
级配 3	0.38	0.52	0.50
级配 4	0.72	0.44	0.45
级配 5	0.39	0.66	0.52
贝雷法参数要求	0.4~0.8	0.2~0.5	0.2~0.5

从表 2 中的各参数可知,中国规范中级配 AC-16I 的上中下限级配均不能满足贝雷法的有关要求,“S”形级配 4 能满足贝雷法的要求。

2 低温性能试验方法

2.1 试验方法

2.1.1 低温收缩系数试验

沥青路面低温裂缝是由于路面材料低温收缩变形超过了变形能力而致,收缩系数的大小反应了路面低温开裂的潜能,在最佳油量下,按照马歇尔密度,轮碾成型沥青混合料试板,并切割成 40 mm×40 mm×200 mm 的小梁试件。

试验装置为长安大学自行研制的收缩系数测定装置,可控速降温与恒温交替循环的模式进行温度控制,控制精度 0.1℃,量测变形是用弦震式传感器测量变形,精度 1 με,数据采集仪采集读取数据。试验过程中作用 10℃·h⁻¹ 的降温速率。

2.1.2 低温弯曲试验

沥青混合料低温拉伸性能是抵抗温缩裂缝扩展的能力。本文按照沥青混合料弯曲试验规程进行,将轮碾成型的试件切割成 30 mm×35 mm×250 mm 的小梁,跨径为 200 mm,试验温度为-10℃,加载速率为 50 mm·min⁻¹,在美国进口的 MTS 公司生产的材料试验机上进行试验。

2.2 试验结果

根据初拟的级配对沥青混合料的低温性能进行试验,试验结果见表 4、表 5。

3 试验结果分析

矿料级配是沥青混合料的骨架和主体,级配走向不同,不同粒径大小的矿料构成不同,所适应的沥青用量也不同,影响着沥青混合料一系列的性质。就沥青混合料低温性能而言,5 种不同级配走向的沥青混合料弯曲破坏试验结果见表 4,收缩系数试验结果见表 5。

表 4 不同级配沥青混合料的低温破坏试验结果

级配 编号	最大荷 载/kN	最大位 移/mm	R _B /MPa	ε _B /με	S _B /MPa	排序
1	0.861	0.391	4.040	2344.7	1723.0	①
2	1.152	0.317	5.405	1900.1	2844.7	④
3	0.996	0.288	4.670	1727.6	2703.1	⑤
4	1.110	0.370	5.161	2215.4	2330.0	②
5	1.084	0.348	5.085	2088.6	2434.6	③

3.1 低温破坏应变试验结果分析

从试验结果可知:5 种级配混合料的低温弯曲破坏应变结果排序为:级配 1>级配 4>级配 5>级配 2>级配 3。

就 AC-16I 级配分析,级配上限的低温破坏应变值最大,其次是中值,最差的是级配下限,可见级配越细,则低温破坏应变值越大^[7]。

在沥青混合料低温弯曲破坏过程中,力的传递是通过矿料颗粒传递,裂缝出现以后,裂缝传播和扩散是通过混合料实体进行的。在裂缝传递过程中,越细级配由于众多细颗粒的阻碍银纹和裂缝绞结的作用,裂缝延展距离增大,能量消耗大,故而表现出较高的破坏应变。反之,在裂缝扩展过程中,遇到的矿料颗粒大,则裂缝扩展沿着颗粒快速延伸,表现出较小的破坏应变。由于细级配沥青混合料可适应较多的沥青用量,混合料的柔性较大,这也是沥青混合料具有高的破坏应变值的原因之一。

符合 SHRP 级配的级配 4、级配 5,其低温抗裂性排序为第二和第三,级配 4 曲线呈“S”形曲线,符合贝雷法级配理论,达到逐级填充密实的目标,沥青用量也较高,表现出较好的低温柔性(图 2)。

不同级配沥青混合料的弯拉强度,排序为级配 2>级配 4>级配 5>级配 3>级配 1,结果见图 3。

表 5 不同级配沥青混合料的收缩系数试验结果

级 配 编 号	1	温度区间/℃	25~15	15~5	5~-5	-5~-15	-15~-25	/
		收缩系数/10 ⁻⁶	44.90	41.50	39.27	37.76	34.83	/
	2	度区间/℃	25~15	15~5	5~0	0~-5	-5~-15	-15~-25
		收缩系数/10 ⁻⁶	44.39	41.67	38.93	37.35	35.45	30.78
	3	温度区间/℃	25~15	15~5	5~-5	-5~-15	-15~-25	/
		收缩系数/10 ⁻⁶	38.12	33.06	31.59	28.46	24.75	/
	4	温度区间	25~15	15~5	5~0	0~-5	-5~-15	-15~-25
		收缩系数/10 ⁻⁶	35.43	32.17	28.10	27.51	25.12	22.20
	5	温度区间/℃	25~15	15~5	5~0	0~-5	-5~-15	-15~-25
		收缩系数/10 ⁻⁶	41.32	36.15	32.54	31.76	29.66	24.77

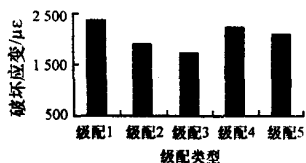


图2 不同级配沥青混合料破坏应变

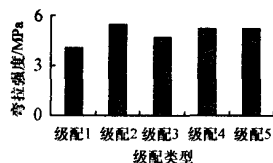


图3 不同级配沥青混合料低温弯拉强度

3.2 收缩系数试验结果分析

沥青混合料级配变化对其收缩性有较大影响，收缩系数值的大小与矿料品质、矿料级配构成特点、沥青及沥青用量有关。

随着温度的降低，各级配类型的沥青混合料低温线收缩系数也减小，大致呈线性关系。但各混合料的变化趋势略有不同，也就是表征混合料收缩系数随温度降低变化的速度的快慢程度不同(图4)。

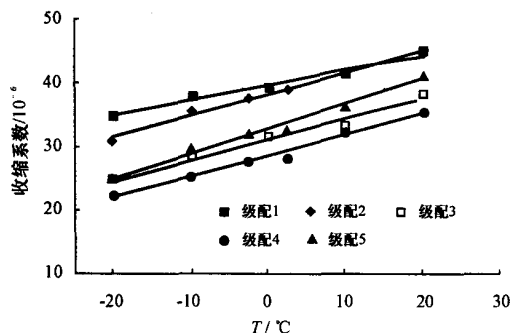


图4 不同级配沥青混合料收缩系数随温度变化曲线

如以回归曲线来评价沥青混合料的收缩性能，则曲线的高低基本反应了沥青混合料在测试温度范围内的收缩性，曲线斜率反应了混合料随温度变化收缩系数的变化(表6)。

从试验结果可以看出，在几种级配曲线中，级配5的一次项系数较大，可以理解为：当温度下降时，该混合料的收缩系数也急剧减小，即温度越低，收缩系数越小，混合料产生的收缩量也较小，因而当出现急剧降温时，其低温开裂的机率也较其他混合料小。

如以高于0℃和低于0℃2个温度区段分别比较各混合料的收缩系数(表7)，可以看出在0℃以上时，AC-16的3种级配类型的收缩系数相差不大，

表6 不同级配收缩系数y随温度x变化关系

级配编号	回归公式	相关系数
1	$y=0.239x+39.65$	0.984 3
2	$y=0.334x+38.10$	0.990 4
3	$y=0.314x+31.20$	0.976 4
4	$y=0.332x+28.42$	0.983 9
5	$y=0.393x+32.70$	0.981 7

表7 0℃以上和0℃以下各级配混合料的收缩系数

级配编号	收缩系数/ 10^{-6}	
	25℃~0℃	0℃~-25℃
1	41.890	37.284
2	41.662	34.529
3	34.257	28.265
4	31.898	24.942
5	36.668	28.728

尤其是AC-16上限和AC-16中值；但当减小细料用量后，收缩系数明显减小，即AC-16下限的收缩系数比其他两种都要小很多。从级配4、级配5两种类型也可以得出相同规律。

在0℃以下时，代表AC-16下限的级配3、级配5的收缩系数很接近，而级配4的收缩系数则要比其余4种级配类型小很多，其原因可能是与级配4的矿料构成特点有关，逐级填充压实原理使沥青混合料具有小的收缩性。

在0℃~25℃区间各种级配的收缩系数显然高于在0℃~-25℃区间的收缩系数，即随着温度的降低，收缩系数也呈降低趋势；同时混合料级配曲线越靠近上限，该混合料的低温收缩系数越大，即混合料的细料含量越大收缩系数越大。

由图5、图6可知：不同级配类型沥青混合料的收缩性排序为：级配4<级配3<级配5<级配2<级配1。级配4的收缩系数要小于其他类型级配的收缩系数，说明级配4具有较好的抗收缩性能，这与级配4矿料逐级填充密实的构成特点有关。

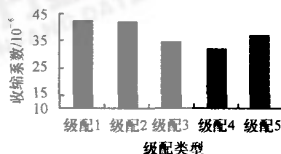


图5 0℃以上各级配混合料收缩系数对比

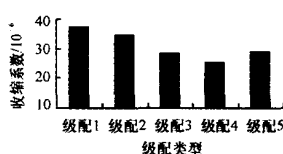


图6 0℃以下各级配混合料收缩系数对比

级配1的收缩系数最大，该沥青混合料发生收缩开裂的可能性大。这与低温破坏应变试验结果相反，也说明单采用低温破坏应变评价沥青混合料的低温开裂性能存在片面性。

3.3 沥青混合料低温性能的综合评价

从低温破坏应变和收缩系数试验可知，采用不同的试验方法会得出不同的排序，5种级配排序结果为：级配1>级配4>级配5>级配2>级配3；5种不同级配沥青混合料的收缩性排序为：级配4<级配3<级配5<级配2<级配1。这是因为这两

种不同试验方法采用的是不同的试验模式,反映的是低温开裂发展过程中的2个方面。

当沥青面层温度随着气温下降而下降时,产生体积收缩变形,沥青面层受板底摩擦力的约束,变形受阻而转化为低温收缩应力,当收缩应力累计达到沥青面层结构强度时,沥青面层即发生开裂。所以面层沥青混合料的收缩特性、温度应力松弛能力是影响沥青混合料低温抗裂性能的2个关键因素。其收缩性小,沥青路面则不至于产生过量的收缩变形;柔性好,则低温应力松弛能力好,温度应力不易累积。从防止沥青路面低温开裂角度来看,降低混合料的收缩性和提高沥青混合料的低温柔性均可提高沥青混合料的低温抗裂性能。

研究结果表明矿料的线收缩系数远小于沥青,低2个数量级,从这一方面讲,提高矿料在沥青混合料中的体积分数,降低沥青体积分数,将有助于低温收缩性的改善,但这样会使混合料的柔性降低;相反地,增加沥青用量,提高沥青在混合料中的体积分数,沥青混合料的低温柔性改善,但沥青混合料的收缩性会增大。所以表现出级配1(AC-16I级配上限)的沥青混合料低温破坏应变在几种级配中低温破坏应变值最大,收缩性也最大的结果;同样,级配3(AC-16I级配下限)的低温破坏应变最小,收缩性也小。所以单从一种试验方法和指标是不能全面有效地反映沥青混合料的低温性能,有可能会得出错误的结论。

低温柔性好的混合料未必低温性能就好,因为柔性好的沥青混合料收缩性往往较大,容易出现较大的收缩变形;相反,收缩性小的混合料也不一定其低温抗裂性能好,收缩性小的沥青混合料低温柔性较差,不能有效地松弛温度应力。由于沥青混合料的收缩性与低温柔性是沥青混合料矛盾的2个方面,所以对沥青混合料低温性能评价也应从这2个方面进行^[7]。

综合评价不同级配沥青混合料的低温抗裂性能为(从优到差):级配4>级配5>级配1>级配2>级配3。

由于级配4按照Superpave级配思想设计,具有S形结构特征,也符合贝雷法级配设计理论,该种级配矿料结构偏大的矿料颗粒较少,2.36~9.50 mm颗粒数量较多,且采用逐级填充的方式,故而表现出较好的收缩性;且该级配沥青混合料沥青用量较大,沥青胶浆的粉胶比较小,所以表现出较好的低温柔性。

4 结 语

(1)沥青混合料的低温抗裂性能应从2个方面

来反映,即沥青混合料的收缩性和低温柔性,小的收缩性和高的低温柔性使沥青混合料具有较高的抗低温开裂的潜能。

(2)低温破坏应变反映了沥青混合料的低温柔性和低温应力松弛能力,收缩系数大小反映了沥青混合料收缩变形大小,沥青混合料低温抗裂性能应以这两方面综合评价,单取其中1个指标评价可能会得出错误的结论。

(3)以中国现行规范AC-16I级配上、中、下限为目标级配,并不能取得最好的低温效果,本文通过综合评价,借鉴设计的级配具有良好的低温性能,可供低温地区沥青路面使用。

参考文献:

References:

- [1] 张登良. 沥青与沥青混合料[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
ZHANG Deng-liang. Asphalt and asphalt mixture [M]. Beijing: People's Communication Press, 2001.
- [2] 张争奇. 用J-积分评价改性沥青的低温性能[J]. 东北公路, 1997, 20(4): 17-21.
ZHANG Zheng-qi. The low temperature performance of modified asphalt mixture evaluated with J-integral [J]. Northeast Highway, 1997, 20(4): 17-21.
- [3] 许志鸿, 陈兴伟, 刘红, 等. Superpave级配范围[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(3): 1-6.
XU Zhi-hong, CHEN Xing-wei, LIU Hong, et al. Gradation scope of Superpave [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(3): 1-6.
- [4] SHRP-A-407. The superpave mix design manual for new construction and overlay[S]. N. R. C. USA, 1994.
- [5] 袁迎捷, 张争奇, 胡长顺. Superpave沥青规范对改性沥青适用性[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(1): 9-11.
YUAN Ying-jie, ZHANG Zheng-qi, HU Chang-shun. Applicability of Superpave specification to modified asphalt [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(1): 9-11.
- [6] Todd V S. Rheological characteristics of bitumen in contact with mineral aggregate[J]. AAPT, 1996, 65(1): 357-377.
- [7] 谭忆秋, 邵显智, 张肖宁. 基于低温流变特性的沥青低温性能评价方法[J]. 中国公路学报, 2002, 15(3): 1-5.
TAN Yi-qiu, SHAO Xian-zhi, ZHANG Xiao-ning. Rheological evaluation method of low temperature performance of asphalt mixture [J]. China Journal of Highway and Transport, 2002, 15(3): 1-5.