

Superpave 沥青结合料性能等级评价的试验研究

刘福明¹, 王江帅², 张争奇³

(1. 南昌工程学院, 江西 南昌 330099; 2. 唐山市交通局; 3. 长安大学)

摘 要: 运用 Superpave 沥青结合料规范的有关试验评价体系, 分别对两种国产沥青的路用性能进行试验分析, 确定了两种沥青的性能等级, 同时结合沥青粘度和粘温曲线确定了有关施工指标, 对我国沥青混合料的设计与施工具有一定的理论指导意义。

关键词: 道路工程; 沥青; Superpave; 性能试验; 评价分析

1 概述

沥青路面具有平整、富有弹性、噪音小和维修方便等特点, 广泛应用于各级路面的修建。至 2005 年底, 我国高速公路里程达 4 万余 km, 其中沥青路面约占 85%。但与国外沥青路面相比, 我国沥青路面整体质量不高, 包括高速公路在内的绝大部分沥青路面在通车几年后就出现普遍的早期破坏现象。这与我国现行沥青混合料设计及有关施工技术指标和参数存在一些不足, 不能正确地表征路面实际路用性能, 对设计和施工的指导性不强有关。尤其是沥青结合料, 作为沥青混合料的主要构成部分, 在沥青混合料设计中它的选择非常关键, 而对沥青的选择和评价的依据(即技术要求或规范)亦至关重要。从设计角度来讲, 好的技术指标和参数应能反映出沥青结合料的实际路用性能, 同时能结合工程特点对设计有良好的指导作用。

美国 Superpave 沥青结合料规范的核心依赖于模拟沥青结合料三个临界寿命阶段的试验条件。对初始沥青进行的试验代表运输、存储和装卸的第一阶段。第二阶段代表混合料生产和铺筑中的沥青, 规范用旋转薄膜烘箱中的结合料的老化来进行模拟, 该方法将结合料薄膜暴露于热和空气中, 并接近于拌和、铺筑过程中的沥青老化。第三阶段出现于结合料作为热拌沥青路面层的一部分长时期老化。该阶段由规范借助于压力老化箱来模拟。该方法将结合料试样暴露于热和

压力下, 以模拟路面多年服务期的老化, 从而较好地反映出沥青结合料的实际路用性能。

2 沥青材料及其常规指标

沥青材料选用我国高等级公路沥青路面中常用的克拉玛依沥青和盘锦沥青, 其常规试验指标见表 1、2。

表 1 沥青常规指标试验结果

试验项目	克拉玛依沥青	盘锦沥青
针入度(25℃, 100 g, 5 s)/0.1 mm	82.5	69.7
延度(5 cm/min, 15℃, 重交)/cm	>150	>150
软化点(环球法)/℃	46.2	46.9
闪点(COC)/℃	290	298
密度(15℃)/g·cm ⁻³	1.012	1.017
溶解度(三氯乙烯)/%	99.8	99.9
旋转薄膜 质量损失/%	0.02	-0.23
烘箱试验 针入度比/%	63	65
(163℃, 75 min) 延度(15℃)/cm	134.1	63.8

表 2 沥青延度试验结果

沥青品种	老化前延度/cm				老化后延度/cm			
	5℃	10℃	15℃	25℃	5℃	10℃	15℃	25℃
克拉玛依	6.8	115	>150	>150	—	10.5	134	—
盘锦	8.5	85	>150	>150	—	10.9	64	—

从试验结果可知, 克拉玛依沥青属 90#、盘锦沥青属 70# 沥青。

3 沥青结合料性能等级试验评价

3.1 高温性能

美国战略公路研究计划在 Superpave 沥青结合料性能规范中,采用动态剪切流变试验(DSR)评价沥青结合料的高温稳定性,对原样沥青及 RTFOT 后残留沥青试样分别进行两次动态剪切试验,以 $G^*/\sin\delta$ 作为评价指标,试样在高温设计温度下进行,为了满足工程在高温环境下的性能,要求:原样沥青的 $G^*/\sin\delta$ 不得小于 1.0 kPa;RTFOT 后残留沥青的 $G^*/\sin\delta$ 不得小于 2.2 kPa。

对原样沥青进行动态剪切流变仪的复数剪切模量和相位角的测试,其试验结果如表 3 所示。

表 3 沥青原样 DSR 试验数据结果

沥青品种	$(G^*/\sin\delta)/\text{kPa}$		
	64 °C	70 °C	76 °C
克拉玛依沥青	2.4	1.03	0.737
盘锦沥青	2.78	1.86	0.865

根据 Superpave 规范,两种原样沥青 $G^*/\sin\delta$ 应大于 1.00 kPa,该沥青 64、70 °C 的 $G^*/\sin\delta$ 均大于 1.00 kPa,而 76 °C 的 $G^*/\sin\delta$ 则小于 1.00 kPa。

而真正能反映车辙性能的是旋转薄膜烘箱以后残留物的动态剪切流变,试验结果如表 4 所示。

表 4 沥青 RTFOT 残留物 DSR 试验数据结果

沥青品种	$(G^*/\sin\delta)/\text{kPa}$		
	64 °C	70 °C	76 °C
克拉玛依沥青	4.06	2.07	0.818
盘锦沥青	4.22	2.15	1.101

根据 Superpave 规范,RTFOT 残留物 $G^*/\sin\delta$ 应大于 2.20 kPa,根据 RTFOT 残留物 DSR 的试验数据,可以判断确定两种沥青的高温等级为 PG64。

从以上试验结果可知:盘锦沥青的高温性能指标 $G^*/\sin\delta$ 在不同温度下均大于克拉玛依沥青,说明其高温性能要优于克拉玛依沥青。

3.2 低温开裂性能

SHRP 通过研究认为,常规指标(包括低温针入度、低温延度等)难以评价沥青的低温性能,对沥青低温性能的评价,应采用流变力学指标,通过对多种试验方法的比较,SHRP 研究认为弯曲蠕变试验的极限劲度模量 S 及蠕变速率 m 与反映沥青混合料低温抗裂性能的约束温度应力试验(TSRST)的破断温度具有

良好的相关关系,同时由于沥青路面低温开裂是发生在沥青路面使用一段时间后,沥青老化,变得脆硬,柔性降低,是由于应力松弛能力降低而引起的,所以 Superpave 规范中,对沥青低温性能的评价是采用沥青试样经 RTFOT(模拟沥青在施工过程中的热老化)和压力老化 PAV(模拟沥青路面在使用 5 年后的老化)后的样品。为了评价沥青结合料的低温抗裂性能,要求沥青样品在试验温度下弯曲劲度模量 S 不超过 300 MPa;蠕变曲线斜率 m 不小于 0.3。

根据试验规程,对旋转薄膜烘箱后的残留物又进行了压力老化,用它的残留物进行弯曲梁流变(BBR)试验,其试验结果如表 5 所示。

表 5 沥青 PAV 残留物 BBR 试验数据结果

沥青品种	试验温度/°C	劲度模量 S/MPa	蠕变速率 m
克拉玛依沥青	-6	101	0.388
	-12	150	0.353
	-18	312	0.278
盘锦沥青	-6	113	0.378
	-12	153	0.372
	-18	333	0.311

克拉玛依沥青的劲度模量虽低于盘锦沥青,但其蠕变速率小于盘锦沥青,低温性能上并没有大的差别。从以上试验数据分析可知,克拉玛依沥青和盘锦沥青均满足低温等级 PG-22 的要求。

3.3 疲劳开裂性能

SHRP 研究认为,沥青结合料的品质对沥青混合料的耐久性有较大的影响,在 Superpave 规范中,提出了沥青结合料疲劳耐久性的指标,用经过压力老化的沥青在常温下进行复数剪切模量和相位角的测试,要求 $G^*\sin\delta$ 不大于 5 000 kPa。其试验结果见表 6。

表 6 沥青 PAV 残留物 DSR 试验数据结果

沥青品种	$G^*\sin\delta/\text{kPa}$	
	22 °C	25 °C
克拉玛依沥青	3 610	3 380
盘锦沥青	4 810	3 170

综合以上试验结果,克拉玛依沥青和盘锦沥青均满足 PG64-22 性能等级的要求。

3.4 沥青粘度和粘温曲线

Superpave 沥青结合料规范采用双筒旋转粘度计试验来确定沥青结合料的流动特性,为热拌装置中沥青的泵送和操作提供一定的保证(该试验通过把沥青试样装在内外筒之间的间隙内,当外筒以一定速度旋

转时,通过沥青粘性的带动,使内筒受到一定的剪切应力,并改变不同的温度及外筒转速来测得各种温度及剪变率下的粘度,用以研究沥青的流变性质)。同时也是马歇尔试验过程中,沥青混合料试件成型温度控制的依据。两种沥青的温度、粘度数据见表 7、8 和图 1。

表 7 盘锦沥青粘度测试结果及施工温度范围建议

20RPM				100RPM			
120 °C		135 °C		120 °C		135 °C	
粘度 /Pa·s	扭矩 /%	粘度 /Pa·s	扭矩 /%	粘度 /Pa·s	扭矩 /%	粘度 /Pa·s	扭矩 /%
0.772 5	30.9	0.350 0	14.0	0.117 5	24.7	0.067 5	13.3
0.762 5	30.5	0.345 0	13.8	0.115 0	24.6	0.067 5	13.1
0.760 0	30.4	0.345 0	13.8	0.115 0	24.6	0.067 5	13.0
0.765 0**	30.6	0.347 5	13.9	0.115 0	24.6	0.067 5	13.1
拌和温度范围				(152,158) °C			
压实温度范围				(138,144) °C			

注: * 表示转速为 20 r/min; ** 表示平均值,表 8 同表 7

表 8 克拉玛依沥青粘度测试结果及施工温度范围建议

20RPM				100RPM			
120 °C		135 °C		120 °C		135 °C	
粘度 /Pa·s	扭矩 /%	粘度 /Pa·s	扭矩 /%	粘度 /Pa·s	扭矩 /%	粘度 /Pa·s	扭矩 /%
0.855	34.2	0.382 5	15.5	0.125 0	5.0	0.080 0	15.3
0.855	34.2	0.382 5	15.5	0.122 5	4.9	0.077 5	15.4
0.855	34.2	0.382 5	15.5	0.120 0	4.8	0.077 5	15.3
0.855	34.2	0.382 5	15.5	0.122 5	4.9	0.077 5	15.4
拌和温度范围				(150,155) °C			
压实温度范围				(138,143) °C			

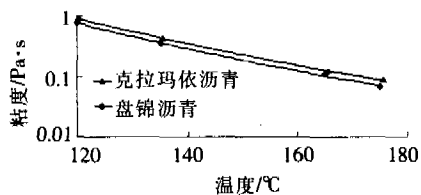


图 1 盘锦沥青和克拉玛依沥青粘温曲线

在 Superpave 相关规范中,进一步明确了采用粘温曲线确定施工温度的规定,由于不同沥青,在相同温度下粘度不同,施工和易性就不一样,在同样施工功能下,施工压实效果也不同,所以以温度范围作为施工依

据,不尽合理。在 SHRP 规范中,规定以粘度作为施工的主要依据,采用等粘温度。普通沥青混合料的施工温度,应从沥青结合料的粘度-温度关系图进行确定:

(1) 拌和温度范围为粘度在 (0.17 ± 0.02) Pa·s 时所对应的温度范围。

(2) 压实温度范围为粘度在 (0.28 ± 0.03) Pa·s 时所对应的温度范围。

根据两种重交沥青的粘度-温度曲线(图 1),则可得施工拌和温度范围及压实温度范围,见表 7 与表 8 的最后两项。

4 结论和建议

(1) 文中所用克拉玛依和盘锦沥青分属针入度等级 90# 和 70#, 而用 Superpave 性能分级评价属 PG64-22 性能等级。

(2) 针入度分级体系操作简单,但存在指导性不强的问题。Superpave 结合料规范以测定沥青的流变性能为主,比较科学地反映沥青材料的粘弹性特性,对工程设计中沥青等级的确定和沥青品质的验证有较强的指导性。Superpave 结合料规范比现行沥青规范有很多的改进,主要表现为一个体系,既适用于非改性沥青,也适用于改性沥青;两个阶段的老化,既考虑了拌和与摊铺期间的老化,也考虑了路面长期使用期间的老化;三种试验温度(最高、最低和中等路面设计温度),对应了三种破坏模式(车辙、低温开裂和疲劳);以三种状态(原样、RTFOT、PAV 残留物)沥青的流变性能、复数剪切模量和相位角、劲度和破坏应变等作为规范指标,符合规范指标的温度界限。但该法使用的仪器设备和技术复杂,目前我国进行大面积的推广还需要一个过程。

参考文献:

- [1] JTG F40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [2] 美国沥青协会.高性能沥青路面[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [3] 余叔藩.性能分级沥青混合料规范和试验[Z],1997.