

文章编号:0451-0712(2007)03-0028-05

中图分类号:U414.7

文献标识码:B

高强度沥青粘结料抗车辙性能 试验及评价指标研究

张启云¹, 罗立红², 倪富健³

(1. 河北省邢台市高速公路管理处 邢台市 054001; 2. 河北省石安高速公路管理处 石家庄市 050031;

3. 东南大学 南京市 210096)

摘 要: 通过多种沥青及沥青混合料室内试验,对某公司研发的高强度改性沥青以及科氏SBS改性沥青、普通70号沥青进行了抗车辙性能对比试验研究,并建立了沥青粘结料动力粘度指标、振动粘度指标、针入度指标、车辙因子指标与沥青混合料动稳定度指标及GTM抗剪安全系数 GSF 值之间的相关关系。研究结果表明,高强度沥青是一种高模量、高强度的沥青材料,具有非常优良的抗车辙性能。粘度指标、车辙因子指标均与沥青混合料高温稳定性有良好的相关性,振动粘度相比动力粘度,与沥青混合料高温性能的相关性更好。

关键词: 车辙; 高强度改性沥青; 动力粘度; 振动粘度; 车辙因子; 动稳定度; 抗剪安全系数 GSF

路面车辙直接影响路面的行车安全性和舒适性,是沥青混凝土路面的主要损害现象之一。目前,我国高速公路沥青混凝土路面车辙出现的速度和普遍性大大超过了预期,车辙的防治成为了主要的难题。在我国,由于普遍采用半刚性基层沥青混凝土路面结构,基层本身的变形不是主要的;另外,随着路面结构的加强、施工技术的提高,路面结构的后续压实也已经非常微小,沥青混合料的塑性变形就成为了主要的车辙来源。实际上,车辙可以看作是剪应力作用下沥青混合料塑性流动的结果^[1]。

我国规范采用弯沉值作为沥青混凝土路面竣工验收指标,为了保证较小的竣工弯沉值,半刚性基层和底基层的模量越来越高,而其上面的沥青混凝土面层模量相比之下就小得多,由于高温季节沥青混合料变软,使沥青混凝土面层模量大幅度降低,在这种情况下,行车荷载对路面作用的能量,大部分会被面层吸收。本研究采用Basar程序计算了不同面层与基层模量比情况下路面的力学响应,结果显示,随着面层与基层模量比从2变化到0.5,荷载作用边缘下各深度处受到的最大剪应变增加200%。也有相关研究显示:在标准荷载下,面层模量不变,基层模量从700 MPa变化到15 000 MPa的过程中,路面最大剪应力值增加了17.3%;随着轴载增加,其增加的幅

度也大大增加^[1]。因此,为了防止或延缓车辙的产生,一方面要采用高强度改性沥青混合料,以增强沥青混合料的高温抗剪切能力;另一方面,需要从提高面层沥青混合料的模量着手,使面层与基层模量比保持在一个合理的范围内,以便从结构组合上降低沥青混合料面层需要承受的剪应力与剪应变。

某公司研发生产的高强度改性沥青具有优良的力学性能,既拥有很高的强度,又大大提高了沥青混合料的模量,可以作为一种优良的中上面层沥青粘结料来使用。本文通过多种沥青粘结料试验,对高强度改性沥青及沥青混合料的抗车辙性能进行了分析研究。

1 沥青粘结料试验

为了进行对比试验,本研究同时采用了常用的普通70号沥青以及SBS改性沥青。采用针入度指标、粘度指标与车辙因子指标,对3种沥青粘结料的抗车辙性能进行评价。

1.1 60℃粘度指标

从评价沥青混凝土路面的高温稳定性出发,沥青的60℃粘度特别受到重视。在我国,夏季沥青混凝土路面的温度可达50~70℃,所以60℃粘度指标常作为反映沥青在盛夏季节耐热性的指标。粘度大的

沥青,其混合料在荷载作用下产生较小的剪切变形,弹性恢复性能好,残留的永久性塑性变形小。

本文采用真空减压毛细管粘度计,测定了 3 种沥青粘结料的 60℃动力粘度(也称为绝对粘度或简称为粘度),试验结果见表 1。

表 1 60℃动力粘度试验结果

沥青类型	高强度改性沥青	SBS 改性沥青	普通 70 号沥青
动力粘度/(Pa·s)	4 608	675	222

由表 1 可见,高强度沥青的动力粘度比普通 SBS 改性沥青提高了将近 6 倍,比普通 70 号沥青提高了近 20 倍。

1.2 135℃布氏粘度指标

美国的 SHRP 战略公路研究计划推荐采用 Brookfield 方法(布洛克菲尔德旋转粘度,ASTM D4402),测定不同温度下沥青的粘度,并在其沥青结合料性能规范中提出,135℃的粘度不得超过 3 Pa·s,以控制改性沥青的施工性能。135℃布氏粘度试验结果见表 2。

表 2 135℃布氏粘度试验结果

沥青类型	高强度改性沥青	SBS 改性沥青	普通 70 号沥青
布氏粘度/(Pa·s)	2.58	2.1	0.65

从表 2 可以看出,高强度改性沥青 135℃的布氏粘度为 2.58 Pa·s,尚满足 SHRP 沥青粘结料性能规范中提出的不得超过 3 Pa·s 的要求,可以保证其施工和易性。不过,高强度沥青的布氏粘度要高于 SBS 改性沥青与普通 70 号沥青。所以,在施工中要适当提高其摊铺温度、碾压温度,建议在施工中采用我国沥青混凝土路面施工规范中规定的改性沥青摊铺温度和碾压温度的上限,以保证高强度改性沥青混合料摊铺和碾压的效果。

1.3 针入度及感温性指标

按照试验规程^[2],对沥青粘结料在 15℃、25℃、30℃的针入度进行了测定,计算了针入度指数。同时,按 McLeod 的方法根据 25℃针入度及测得的 60℃粘度指标,计算了 3 种沥青粘结料的针入度粘度指数 PVN_{25-60} 。根据 60℃动力粘度及 135℃布氏粘度结果,并参照美国 ASTM D2493-95a,计算了粘温指数 VTS。试验及计算结果见表 3。

从试验结果可以看出,高强度沥青 25℃的针入度只有 27,远远小于其他 2 种沥青粘结料。针入度的大小仅能反映沥青的常温性能,用此指标控制修建

表 3 沥青针入度及感温性计算结果

沥青品种		高强度改性 沥青	SBS 改性 沥青	普通 70 号 沥青
针入度 (100 g, 5 s) 0.1 mm	15℃	12	25	21
	25℃	27	56	64
	30℃	41	87	103
针入度指数 PI		+0.81	+0.63	-0.88
针入度粘度指数 PVN_{25-60}		0.661	-0.085	-1.006
粘温指数 VTS		-3.297	-2.769	-3.506

的路面,夏季常出现车辙问题。采用不同原油得到针入度相近的沥青,具有不同的感温性。

从表 3 可以看出,用 3 种感温性指标对 3 种沥青粘结料进行排序,则针入度指数与针入度粘度指数一致,而与粘温指数排序存在矛盾。这主要是因为 PI 是由 15~30℃时的针入度变化决定的, PVN_{25-60} 是由 25~60℃针入度及粘度决定的,而 VTS 则是由 60~135℃粘度变化决定的。因此,可以得出结论,在 60~135℃温度变化时,感温性从好到差依次为 SBS 改性沥青、高强度改性沥青和普通 70 号沥青。而在 15~60℃温度变化时,从好到差排序为高强度改性沥青、SBS 改性沥青和普通 70 号沥青。

本文认为,路面上出现车辙的温度多集中在 25~60℃之间,因此用 PVN_{25-60} 来评价沥青的感温性可以更好地控制路面车辙问题。

1.4 振动粘度指标

无论是 60℃动力粘度,或是 135℃布洛克菲尔德旋转粘度,都是采用静载方法测定沥青的动力粘度,即根据沥青承受恒定的剪应力产生相应的剪应变,求得沥青的绝对粘度。在振动荷载下,沥青的流变特性受到粘弹性的影响,与静载时有很大不同,沥青的粘度通常小于静载时的粘度^[3]。本文利用动态剪切流变仪,测试了 3 种沥青粘结料在 4 种温度(15℃、35℃、50℃、60℃)下的振动粘度。试验采用应力控制模式,加载频率为 10 rad/s,约等于 1.59 Hz,加载波形为正弦波。试验结果见表 4。

表 4 振动粘度试验结果

沥青粘结料 类型	15℃粘度 Pa·s	35℃粘度 Pa·s	50℃粘度 Pa·s	60℃粘度 Pa·s
高强度改性沥青	1 439 000	81 510	7 013	1 903
SBS 改性沥青	382 400	13 810	1 398	504
普通 70 号沥青	736 300	19 820	874	196

路面使用期间的温度,一般在 $-30\sim 60^{\circ}\text{C}$ 之间。在低温情况下,沥青混合料通常较硬,不易产生车辙。而在中等温度,尤其是高温时,混合料变软,粘度降低,路面就极易出现车辙。从表4可以看到,高强度沥青材料在 $15\sim 60^{\circ}\text{C}$ 之间一直保持着很高的振动粘度。同时,从4种温度下沥青粘结料粘度的变化,也可以直观地看出3种材料对温度的敏感性。如图1所示,在对数坐标下,高强度改性沥青振动粘度随温度变化的斜率值为0.149 1, SBS改性沥青、普通70号沥青分别为0.149 7、0.186 0。本文建立了振动粘度对数坐标下曲线斜率与针入度指数的关系曲线,两者相关性良好,如图2所示。

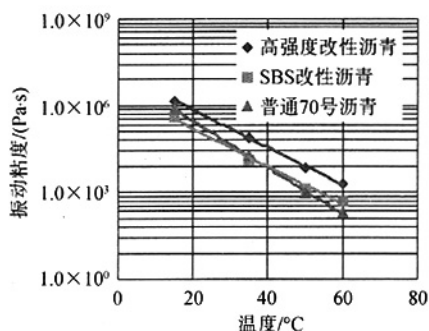


图1 对数坐标下振动粘度与温度关系曲线

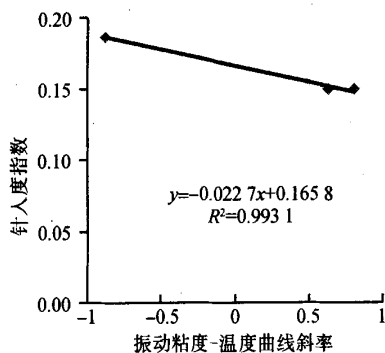


图2 振动粘度-温度曲线斜率与针入度指数关系

1.5 车辙因子指标。

从抗车辙角度来说,高的复数模量 G^* 值和低相位角 δ 都是有益的; G^* 值越高,沥青的劲度越大,而沥青的抗车辙能力越强; δ 值越低,沥青粘结料中的弹性成分越多,弹性的增加会使沥青粘结料有更高的抗永久变形能力。

SHRP 研究在选择车辙因子时,将车辙视为荷载重复循环作用的结果。每一次交通荷载循环作用产生的能量,都会对HMA路面造成损伤。一部分能量会随着弹性回复而恢复,另一部分会以永久变形

和热的形式消耗掉。为了降低路面永久变形(车辙),就必须降低在每一次荷载作用周期中消耗的能量。从数学上来讲,每次荷载周期中由于粘性抵抗造成的损失功为^[3,4]:

$$W_c = \int_0^{2\pi} \eta' \frac{d\gamma}{dt} \cdot d\gamma = \pi \gamma_0^2 \omega \eta' \quad (1)$$

在粘弹性模型中, $G'' = \omega \eta'$, $G' = \omega \eta''$, 故:

$$W_c = \pi \omega \eta' \frac{\sigma_0^2}{G^{*2}} = \pi \times \sigma_0^2 \times \frac{1}{G^* / \sin \delta} \quad (2)$$

式中: W_c 为每次荷载周期消耗的功; σ_0 为在荷载周期中施加的恒定应力; G^* 为复数模量; δ 为相位角。

式(2)表明,每次荷载周期消耗的功与 $G^* / \sin \delta$ 成反比。因而,Superpave 沥青粘结料规范选择了 $G^* / \sin \delta$ 这个参数作为车辙因子。从式(2)可以看出,要降低每次荷载周期消耗的能量,既可以增大 G^* 值,也可以减小 δ 值。从理论上讲,增加沥青粘结料的 G^* 值,沥青的劲度增加,这样其抗车辙能力也增强了。而降低沥青的相位角 δ ,会使沥青的弹性增加,也会增强沥青的抗车辙能力。

如上所述,车辙因子 $G^* / \sin \delta$ 与每次荷载周期下粘结料消耗的能量成反比。也就是说车辙因子 $G^* / \sin \delta$ 越大,荷载作用下沥青粘结料产生的永久变形越小,抗车辙能力越强。图3为3种沥青混合料的抗车辙因子在 50°C 、 60°C 时的比较图。

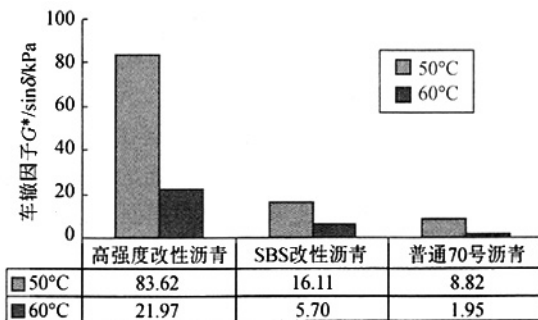


图3 不同沥青粘结料车辙因子 $G^* / \sin \delta$ 比较

由图3可以看出,高强度沥青粘结料在 50°C 、 60°C 的车辙因子,要远远大于其他两种沥青粘结料,具有更好的抗车辙性能。

2 沥青混合料试验

试验中集料、矿粉均来源于河北省邢台市隆尧地区,级配采用邢临高速公路东南大学试验路中的AC-20F级配。沥青混合料的级配见表5。

表 5 AC-20F 沥青混合料的级配

试验级配	通过下列方孔筛(mm)的质量百分率/%											
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-20F	100	98	88	79	67	53	40	30	22	16	11	5

沥青混合料油石比均采用4.1%,同时按照试验规程进行了劈裂强度试验和动稳定度试验。另外,本文应用美国工程兵GTM试验机对3种类型沥青混

合料进行了GTM旋转压实试验,检测了沥青混合料的抗剪安全系数GSF值,试验结果见表6。

表 6 沥青混合料试验结果

混合料类型	马歇尔稳定度 kN	流值/0.1 mm	劈裂强度/MPa	破坏拉伸应变	动稳定度 次/mm	GSF
高强度沥青混合料	18.72	27.2	2.533	5.752×10^{-3}	11 323	3.00
SBS 改性沥青混合料	16.86	33.5	1.619	6.089×10^{-3}	6 987	2.38
普通 70 号沥青混合料	14.62	37.0	1.959	5.752×10^{-3}	1 429	1.39

从表 6 可以看出,高强度沥青混合料的马歇尔稳定度、流值指标都明显好于普通 70 号沥青及 SBS 改性沥青混合料。高强度沥青混合料还拥有优良的力学性能,劈裂强度值很高,并且拥有一定的变形能力。最引人注目的是,高强度沥青混合料拥有非常高

的动稳定度值。

本文建立了沥青粘结料的针入度、60℃动力粘度、60℃振动粘度及 60℃车辙因子与动稳定度及抗剪安全系数 GSF 值的关系曲线,如图 4、图 5 所示。

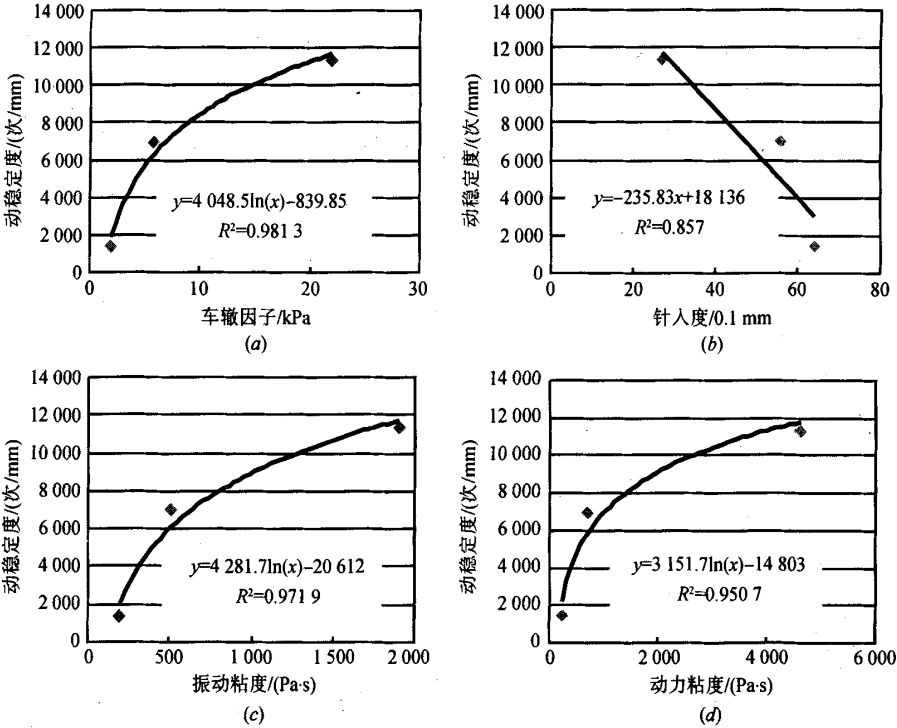


图 4 动稳定度与沥青粘结料各项指标关系曲线

从图 4、图 5 可以看出,各项沥青粘结料指标与沥青混合料动稳定度及抗剪安全系数 GSF 值相关性的排序都是:60℃车辙因子>60℃振动粘度>

60℃动力粘度>25℃针入度。可见,采用沥青粘结料 60℃车辙因子、60℃振动粘度、60℃动力粘度指标,都可以在一定程度上反映沥青混合料的高温抗车辙

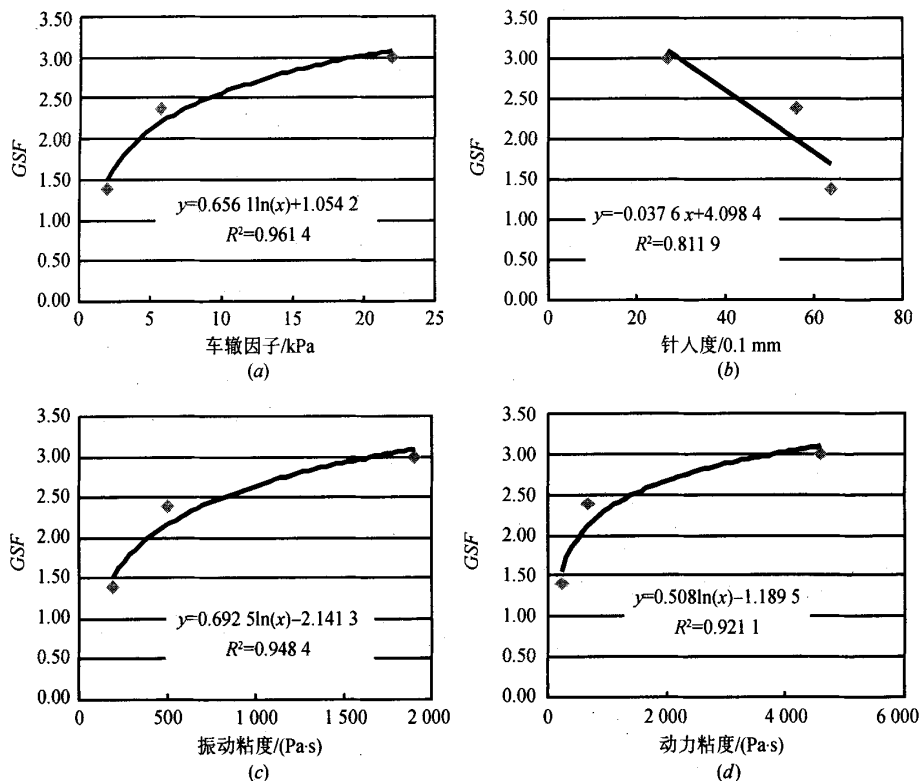


图5 GSF与沥青粘结料各项指标关系曲线

性能。振动粘度与沥青混合料高温性能的相关性好于动力粘度,测定粘度时采用振动荷载,应该更为合理。25℃针入度与沥青混合料高温抗车辙性能相关性不强。

3 试验路段

课题组在邢临高速公路K31+300~K51+150段右幅铺筑了8种结构组合的试验路,于2005年12月建成通车。经过几个月的行车,高强度沥青混合料组合结构路面较SBS改性沥青、普通70号沥青混合料表现出更优良的抗车辙性能。其长期性能仍在跟踪观测。

4 结语

本文通过多种沥青及沥青混合料室内试验,对高强度改性沥青、SBS改性沥青及普通70号沥青进行了抗车辙性能试验研究,并对沥青粘结料高温性能评价指标进行了详细分析,主要结论如下:

(1)高强度改性沥青具有较高的粘度,其抗车辙性能明显优于SBS改性沥青及普通70号沥青;

(2)高强度改性沥青力学性能优良,具有很高的

强度,并且具有一定的抗变形能力;

(3)振动粘度与沥青混合料高温性能的相关性好于动力粘度,测定粘度时采用振动荷载应该更为合理;

(4)为了控制路面车辙问题,采用针入度粘度指数 PAV_{25-60} 来评价沥青的感温性更好;

(5)沥青粘结料60℃车辙因子、振动粘度和动力粘度指标,都可以在一定程度上反映沥青混合料的高温抗车辙性能,而25℃针入度与沥青混合料高温抗车辙性能相关性不强。

参考文献:

- [1] 孙立军. 沥青路面结构行为理论[M]. 人民交通出版社,2005.
- [2] JTJ 052-2000,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [3] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 人民交通出版社,2001.
- [4] Freddy L Roberts, Prithwi S Kandhal. Hot Mix Asphalt Materials [Z]. Mixture Design and Construction, National Center for Asphalt Technology,1996.