

改性沥青在排水性沥青路面中的应用

徐希娟^{1,2}, 戴经梁¹

(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. 西安公路研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要:为了研究改性沥青性能对排水性沥青混合料的影响, 针对目前常用的几种类型改性沥青, 通过粘韧性试验、60 ℃粘度试验、流淌试验、飞散试验、高温车辙试验和低温弯曲试验, 对改性沥青和混合料进行了各项技术指标测试, 系统评价了不同改性沥青对沥青混合料路用性能的影响, 提出了中国排水性路面改性沥青技术要求的建议值。结果表明:不同类型的改性沥青其性能差别较大, 应分别提出技术要求;冻融劈裂试验比残留稳定度试验能更好地评价排水沥青混合料的水稳性;添加少量木质素纤维可以明显提高沥青与矿料之间的握裹力, SBS 改性沥青混合料和 SBR 改性沥青混合料各项指标都能达到与日本高粘度改性沥青相同的技术标准。

关键词:道路工程;排水性路面;改性沥青;适用性

中图分类号:U414.75

文献标志码:A

Application of modified asphalt in the drainage asphalt pavement

XU Xi-juan^{1,2}, DAI Jing-liang¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Xi'an Highway Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: In order to study the influence of performance of modified asphalt on drainage asphalt mixture, aimed at several kinds of asphalts in common use, technical indicators of modified bitumen and mixture were test through the sticky toughness test, 60 ℃ viscosity test, running test, dispersion test, high-temperature rutting test and low-temperature bending test. Evaluation of influence of the different modified asphalts on performance of asphalt pavement was done. The recommended value of technical requirements of modified asphalt road surface drainage was put forward. The results show that differences of different types of modified asphalt performance should be proposed separately by the technical requirements; compared with residue test, freeze-thaw stability splitting test can better evaluate water stability of the drainage asphalt mixture; adding a small amount of lignin fiber can markedly improve asphalt and mineral aggregate bond between the force, indicators of SBS modified asphalt mixture and SBR modified asphalt mixture achieve the same technical standards of high-viscosity modified asphalt. 11 tabs, 13 refs.

Key words: road engineering; drainage pavement; modified asphalt; applicability

0 引言

排水性路面是近年来国内外应用的一种新型路面结构。所谓排水性路面,是指多孔隙的沥青混合料路面,一般孔隙率可达到 15%~25%。由于抗滑磨损层(OGFC)的多孔隙性,使得路表雨水可以直接进入路面内部横向排除,减少了路面积水的可能性,因而减少了溅水、喷雾等危害,提高了雨天路面抗滑性和安全性。此外,排水路面中的空隙可以吸收汽车行驶中轮胎纹内的空气爆破声或引擎声而降低噪音,是一种环保型路面。但是,由于排水性路面的多孔隙特点,使路面结构中的沥青膜受外界条件的影响程度比普通路面大,因此,对沥青性能提出了更高的要求^[1-4],改性沥青应用于该类型路面已成为普遍现象。在国内外对排水性混合料结合料的性能和要求的初期,用于排水路面的沥青结合料主要采用直馏沥青或天然沥青;在温度较高地区,为防止沥青热熔滴落堵塞空隙而影响降噪和排水效果,也使用 20# 建筑沥青或按一定比例掺配特里尼达天然沥青。随着新材料技术的研究成果不断应用于公路中,改性沥青广泛应用于排水性路面,常用的有 SBS、SBR、PE 和橡胶等普通改性沥青和高粘性改性沥青。由于日本的排水性沥青路面较厚,设计空隙率达 20%~25%,使用细集料用量较少,为了防止车轮荷载冲击作用下表面骨料飞散,同时提高沥青的高温稳定性、抗老化性和耐水性,日本道路协会和日本道路公团分别制定了用于排水性路面的普通改性沥青和高粘度改性沥青的使用标准。

中国排水路面的研究起步较晚,在现有的工程实践中,多采用高粘性改性沥青,采用普通改性沥青的实例并不多^[5-13]。为此,本文以中国产 SBS、SBR 普通改性沥青及混合料为研究对象,以日本高粘度 TPS 改性沥青作为对比沥青,从改性沥青及混合料的高温、低温、耐久性和水稳性等各种路用性能方面,分析普通的 SBS、SBR 改性沥青作为排水性沥青路面结合料的可能性和技术要求。

1 改性沥青路用性能评价

为了全面了解改性沥青在排水性路面所用沥青结合料性能,本研究对国内外目前常见的改性沥青均进行了试验研究,包括西安科氏 SBS 改性沥青(PG76-28)、陕西通利 SBR 改性沥青、日本 TPS 高粘度改性沥青(TPS 与沥青的比例为 12:88)3 种。日本高粘度改性沥青标准如表 1 所示;改性沥青试

验结果如表 2 所示。

表 1 日本高粘度改性沥青标准

试验项目	日本道路协会标准	日本道路公团标准
针入度(25℃)/0.1 mm	>40	>40
软化点/℃	>80	>80
延度(15℃)/cm	>50	>50
闪点/℃	>260	
薄膜加热后质量损失率/%	<0.6	<0.6
薄膜加热前后针入度比/%	>65	>65
粘韧性(25℃)/(N·m)	>20.0	>20.0
韧性(25℃)/(N·m)	>15.0	>15.0
粘度(60℃)/(Pa·s)	>20 000	>4 000

表 2 改性沥青试验结果

试验项目		SBS 改性 沥青	SBR 改性 沥青	TPS 改性 沥青
针入度(25℃)/0.1 mm		75	91	59
针入度指数		0.75	0.80	0.56
软化点/℃		89.5	52.0	89.0
延度(15℃)/cm		>200	>200	125
延度(5℃)/cm		38	>200	69
弹性恢复(25℃)/%		95		
粘韧性(25℃)/(N·m)				29.05
韧性(25℃)/(N·m)				21.66
粘度(60℃)/(Pa·s)		4 769	3 876	487 000
弗拉斯脆点/℃		-20	-25	-23
旋转薄膜 加热试验 163℃, 75 min	质量损失/%	0.450	0.590	0.054
	针入度比/%	72.0	63.7	88.1
	延度(15℃)/cm	>200	>200	96
	延度(5℃)/cm	31	>200	47
	软化点/℃	90	54	82

由表 2 可得出如下结论。

(1)不同类型的改性沥青,对温度的敏感性、高温性能和低温性能方面的评价指标有所不同,这与改性剂的特点有关。

(2)不同类型改性沥青,同一指标的检验结果相差很大,TPS 和 SBS 改性沥青的针入度较低,而软化点较高,都大于 80℃;而 SBR 主要改善沥青的低温性能,因而其针入度较大,软化点较低,相反其脆点最低,旋转薄膜加热试验前后的 5℃延度最大。因此,对不同类型的改性沥青是否可用于排水性路面,要求指标是否有所不同,还需对其混合料性能进一步分析确定。

(3)根据日本排水路面高粘度改性沥青要求,表 2 中 SBS、SBR 改性沥青指标均达不到指标要求。

(4)为了全面了解排水性沥青结合料性能,应对混合料的高温、低温和水稳性等指标进行检验。

2 改性沥青混合料路用性能评价

由于不同类型的改性沥青对于同一指标的检验结果相差很大,是否其混合料性能也有同样大的差别,所以必须通过混合料的各项路用性能检验,才能得到验证和评价。本研究采用同一种矿料、同一种混合料级配对以上 3 种改性沥青进行分析。粗集料的各项性能如表 3 所示。细集料采用中粗砂,填料采用石灰岩磨细矿粉,砂和矿粉的指标符合高等级公路指标要求。混合料采用 OGFC-13,混合料空隙率控制为 20%,级配范围如表 4 所示。

表 4 排水性沥青混合料级配范围

种类	下列筛孔(mm)的通过率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	100	94.3	55.8	17.7	15.7	13.3	8.8	6.1	5.3	4.8
要求级配	100	92.0~100.0		11.0~35.0	10.0~20.0					3.0~7.0

为了对混合料的路用性能进行综合评价,本研究采用流淌试验和飞散试验评价沥青用量大小,马歇尔试验评价强度,车辙试验评价高温稳定性,残留稳定度和冻融劈裂试验评价水稳定性,低温弯曲试验评价低温抗裂性。

2.1 流淌试验和飞散试验

流淌试验(又称析漏试验)和飞散试验结果反映混合料中沥青含量(质量分数)的合理性。通过流淌试验可以控制混合料的最大沥青用量,即控制沥青混合料在运输和摊铺过程中沥青不会因用量过多出现滴落,从而改变了沥青用量和堵塞空隙;通过飞散试验可以控制混合料中最小沥青用量,即控制混合料不会因沥青用量过少而出现集料飞散。3 种改性沥青的流淌试验和飞散试验结果如表 5 所示。

表 5 改性沥青混合料的流淌试验和飞散试验

试验项目		SBS 改性 沥青	SBR 改性 沥青	TPS 改性 沥青
流淌试验	最大油石比/%	4.3	3.8	5.2
	质量损失/%	4.55	4.45	4.76
飞散试验	最小油石比/%	3.5	3.2	3.8
	质量损失/%	21.53	20.17	20.33

从表 5 可以看出,3 种改性沥青的流淌试验和飞散试验确定的最大、最小油石比明显不同,具有高粘度的 TPS 改性沥青的油石比最大,SBR 改性沥青油石比最小,SBS 改性沥青油石比居中,说明沥青的粘度对混合料的最佳油石比具有重要意义。为了弥补 SBS、SBR 改性沥青的沥青用量过少而使混合料路用性能降低,本研究在分析混合料路用性能时,分别在

表 3 粗集料各项指标试验结果

试验项目	实测值	规定值
视密度/(g·cm ⁻³)	2.750	≥2.500
吸水率/%	1.65	≤2.00
细长扁平颗粒质量分数/%	0.45	≤10.00
小于 0.075 mm 颗粒质量分数 (水洗法)/%	0.05	≤1.00
集料压碎值/%	18.6	≤30.0
石料冲击值/%	10.2	≤28.0
软石质量分数/%	3.2	≤5.0
坚固性/%	4.0	≤12.0
洛杉矶磨耗损失/%	18.2	≤30.0
沥青的粘附性/级	4	≥4

SBS、SBR 排水性沥青混合料中加入混合料总量的 0.3%的颗粒状木质素纤维(简称纤维),以增强沥青与矿料的粘结力,提高沥青含量。添加纤维后混合料的流淌试验和飞散试验结果如表 6 所示。表 6 中混合料的油石比统一采用 4.7%。

表 6 添加纤维后改性沥青混合料的流淌试验和飞散试验

试验项目	SBS+纤维	SBR+纤维	TPS 改性沥青
流淌试验质量损失/%	2.26	3.19	2.37
飞散试验质量损失/%	3.74	8.34	6.12

表 6 表明,添加少量纤维后,SBS、SBR 排水性沥青混合料的最佳油石比有明显提高,同时流淌试验质量损失和飞散试验质量损失均有明显降低。添加纤维后,SBS、SBR 改性沥青完全可以作为排水性路面的沥青材料。

2.2 马歇尔试验

虽然马歇尔试验不能完全反映排水性沥青混合料的强度,也与路面的实际路用性能没有很好的相关性,但是作为《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》常用的混合料性能评价方法,本研究还是对 3 种改性沥青混合料的马歇尔试验进行了检验,试验结果如表 7 所示。

表 7 改性沥青混合料的马歇尔试验

试验项目	SBS+纤维	SBR+纤维	TPS 改性沥青
稳定度/kN	8.01	5.62	6.23
流值/0.1 mm	41.22	33.40	39.43

马歇尔试验结果表明,在 60 ℃下,3 种改性沥青混合料的强度差别比较明显,添加纤维后 SBS 改性沥青混合料稳定度最高,添加纤维后 SBR 改性沥

青混合料稳定度最低,具有高粘度的 TPS 改性沥青混合料居中。根据日本的研究,对于排水性沥青混合料,马歇尔试验稳定度大于 3.5 kN,流值为 20~40(0.1 mm),这是一种很强的沥青混合料。因此,这 3 种类型的改性沥青都可以作为排水性沥青混合料的结合料。

2.3 高温性能试验

高温车辙试验是目前评价沥青混合料高温性能的一种较好的试验方法,试验方法和试验结果与路面施工碾压方式和路面永久变形具有良好的相关性。因此,评价排水性改性沥青混合料高温性能时,室内优先采用车辙试验,利用动稳定度和 60 min 变形量作为评价指标,试验结果如表 8 所示。

表 8 改性沥青混合料的车辙试验

试验项目	SBS+纤维	SBR+纤维	TPS 改性沥青
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	9 000	3 322	7 292
60 min 变形量/mm	1.23	2.87	1.71

排水性混合料属于骨料嵌挤结构,具有良好的高温性能。按照日本对排水路面的要求,重交通量高速公路沥青路面,动稳定度大于 3 000 次/mm。参照该标准,3 种改性沥青均达到要求,因此具有优良的高温性能。

比较 3 种改性沥青,由于 SBS 改性沥青和 TPS 改性沥青的软化点较高(大于 80 ℃),它们的混合料车辙试验的动稳定度很大而变形量很小。SBR 软化点相对较低,其混合料的高温性能没有另外 2 种改性沥青好。

由于 SBS 改性沥青混合料添加了少量纤维,增强了沥青与矿料的结合能力和抗高温变形能力,因此尽管 SBS 改性沥青和 TPS 改性沥青的软化点相同,但由于纤维的作用力使得前者的高温性能要优于后者。

2.4 水稳定性试验

排水性沥青路面较密级配沥青路面更易受到水的侵蚀,使沥青与矿料之间的粘附性降低,产生剥落。本研究通过残留稳定度试验和冻融劈裂试验,评价 3 种改性沥青混合料的水稳定性,结果如表 9 所示。

表 9 改性沥青混合料的水稳定性试验

试验项目	SBS+纤维	SBR+纤维	TPS 改性沥青
马歇尔残留稳定度/%	102.0	90.2	97.2
冻融劈裂强度比/%	90.7	83.0	83.0

由 2 种试验方法可看出,添加纤维后 SBS、SBR 改性沥青与 TPS 改性沥青具有基本相同的水稳定性。日本评价水稳定性采用残留稳定度指标,要求排水性混合料残留稳定度达到 80% 以上。参照该

标准,3 种改性沥青的抗水侵蚀能力都比较高,能满足日本排水性混合料的要求。

2.5 低温性能试验

采用低温(-10 ℃)小梁弯曲试验,评价 3 种改性沥青混合料的低温性能,试验结果如表 10 所示。

表 10 改性沥青混合料的低温弯曲试验

试验项目	SBS+纤维	SBR+纤维	TPS 改性沥青
抗弯拉强度/MPa	9.53	8.34	9.12
破坏应变/10 ⁻⁶	2.33×10 ³	3.43×10 ³	2.87×10 ³
弯曲劲度模量/MPa	4 090.1	2 431.5	3 177.7

由表 10 可看出,低温抗弯拉强度以 SBS 改性沥青最大,SBR 改性沥青最小;但比较低温破坏应变,结果正好相反,SBS 改性沥青较小。目前,中国改性沥青混合料低温弯曲评价指标以破坏应变为主要指标,它可以反映沥青混合料的抗低温变形能力。因此,SBR 改性沥青的低温性能最好,这一点与改性沥青的脆点指标和旋转薄膜加热试验前后 5 ℃延度结果是一致的。这说明,对于改性沥青,其脆点和 5 ℃延度可以反映改性沥青混合料的低温性能。

3 排水性沥青混合料对沥青的技术要求

通过对排水性沥青混合料改性沥青结合料的室内外试验研究,结合国外排水性路面沥青结合料的性能指标,针对不同类型改性沥青,给出满足排水性路面的技术要求建议值如表 11 所示。

表 11 排水性沥青路面沥青结合料技术要求

试验项目		技术要求	
		SBS 类改性沥青	SBR 类改性沥青
针入度(25 ℃)/0.1 mm		≥40	≥60
针入度指数		≥0.6	≥0.2
软化点/℃		≥80	≥50
延度(15 ℃)/cm		≥150	≥150
延度(5 ℃)/cm		≥35	≥100
弹性恢复(25 ℃)/%		≥80	
闪点/℃		≥280	≥280
粘韧性(25 ℃)/(N·m)			≥20
韧性(25 ℃)/(N·m)			≥15
粘度(60 ℃)/(Pa·s)		≥4 000	≥3 000
弗拉斯脆点/℃		≤-18	≤-20
旋转薄膜 加热试验 163 ℃, 75 min	质量损失/%	≤0.8	≤0.8
	针入度比/%	≥65	≥65
	延度(15 ℃)/cm	≥150	≥150
	延度(5 ℃)/cm	≥30	≥100

4 结 语

(1)不同类型改性沥青的性能差别较大,用于排

水性沥青混合料时,对不同类型改性沥青应分别提出技术指标和要求,日本的高粘度改性沥青是一种只适用于排水性路面的改性沥青。

(2)评价排水性混合料性能的试验,主要包括流淌试验、飞散试验、车辙试验和水稳定性试验;对于水稳定性试验,传统的残留稳定度试验不能明显的区别不同沥青的耐水性,冻融劈裂试验可以很好地评价水稳定性。

(3)为了达到排水性混合料的优良路用性能,提高沥青用量,减少混合料运输和摊铺过程的沥青滴落,最好是在混合料中添加少量木质素纤维。

(4)添加木质素纤维后,SBS、SBR 改性沥青混合料各项指标都能达到与日本高粘度改性沥青相同的技术标准,说明通过采用某些方法(如在混合料中加入纤维),传统的 SBS、SBR 改性沥青也能用于排水性路面中。

(5)在室内外试验基础上,参照国外排水路面沥青结合料的技术要求,给出了中国排水性沥青路面沥青结合料的技术指标和技术要求的建议值。

参考文献:

References:

- [1] Rajib B, Prithvi S, Allen, et al. Design, construction, and performance of new generation open-graded friction courses [R]. California: NCAT Report, 2000.
- [2] 日本道路协会. 排水性铺装技术指针[Z]. 东京: 丸善株式会社, 1996.
- [3] America Georgia Transportation Department. Transportation's progress in open-graded friction course development[R]. Georgia: Transportation Research Record 1616, 2002.
- [4] 王东耀, 乔怀玉, 徐希娟, 等. 排水性沥青路面设计、施工技术研究[R]. 西安: 陕西省高速公路建设集团公司, 西安公路研究所, 2005.
- [5] 王恩东, 张洪亮, 王选仓. MAC 改性沥青大粒径透水性沥青混合料试验研究[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(6): 6-12.
WANG En-dong, ZHANG Hong-liang, WANG Xu-an-cang. Experimental research of MAC modified large stone porous asphalt mixture [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(6): 6-12.
- [6] 徐 皓, 倪富健, 刘清泉, 等. 排水性沥青混合料渗透系数测试研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(3): 1-5.
XU Hao, NI Fu-jian, LIU Qing-quan, et al. Research on hydraulic conductivity of porous asphalt mixture [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(3): 1-5.
- [7] 刘红瑛. 大空隙沥青混合料配合比设计研究[J]. 石油沥青, 2003, 17(1): 10-14.
LIU Hong-ying. Mix design for open-graded friction course [J]. Petroleum Asphalt, 2003, 17(1): 10-14.
- [8] 张宜洛, 郑南翔. 沥青混合料的基本参数对其高低温性能的影响[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(4): 35-39.
ZHANG Yi-luo, ZHENG Nan-xiang. Influence of basic parameters on high and low temperature performances of bituminous mixture [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(4): 35-39.
- [9] 伍石生, 徐希娟. 陕西省低噪声沥青路面技术研究报告[R]. 西安: 西安公路研究所, 2000.
- [10] Warren T L, Krajcinovic D. Fractal models of elastic-perfectly plastic contact of rough surfaces based on the cantor set [J]. International Journal of Solids and Structures, 1995, 32(19): 2907-2922.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.