

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2020.11.044

抗车辙剂/纤维复合改性沥青混合料的路用性能

严卓辉

(南通市城市建设工程管理中心, 江苏 南通 226007)

摘要:为研究抗车辙剂与玄武岩纤维这2种外加剂对沥青混合料路用性能的影响,通过室内试验分析了抗车辙剂/玄武岩纤维复合改性沥青混合料的路用性能,并与基质沥青、单掺抗车辙剂、单掺玄武岩纤维的沥青混合料路用性能进行了对比分析。试验结果表明:单掺抗车辙剂能显著提升基质沥青的高温性能,单掺玄武岩纤维能显著提升基质沥青的低温性能,而抗车辙剂/玄武岩纤维复合改性沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和抗疲劳性能均较2种外加剂单掺时有所提升。因此,抗车辙剂和玄武岩纤维复合改性能明显提升沥青混合料的路用性能,在实际工程中可加以应用。

关键词:道路工程;抗车辙剂;玄武岩纤维;复合改性;路用性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2020)11-0160-04

0 引言

近年来,中国交通运输业飞速发展,重载车辆逐渐增多,伴随着环境、气候的不断变化,使沥青路面的早期病害越发普遍,很多新建沥青路面仅使用2~3 a便发生了早期病害现象。为改善沥青路面的使用性能,道路科技工作者针对不同的病害类型,在沥青混合料中尝试添加不同的改性材料^[1-3]。如谢轶琼等^[4-5]针对沥青路面的高温稳定性,在沥青混合料中添加抗车辙剂,以提升沥青路面的抗车辙能力和水稳定性,但发现其对沥青路面的抗裂性能改善作用较小;韦佑坡等^[6-7]在沥青混合料中加入不同种类的纤维材料,发现这些材料能够大幅提升沥青路面的低温抗裂性能、抗疲劳性能和水稳定性,但对沥青路面的抗车辙性能提升不足。

为综合提高沥青路面的高温稳定性和抗裂性能,郭博^[8]将抗车辙剂与木质素纤维复掺到沥青混合料中,研究表明,复合改性沥青混合料能够发挥2种材料的优点,对沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和疲劳性能均有提升。郭利杨等^[9]研究了新型木质素纤维和抗车辙剂对SMA沥青混合料的性能影响,同样发现复掺2种材料会显著提升沥青混合料的路用性能。而与木质素纤维对比来看,玄武岩纤维有较好的模量、抗拉强度和耐老化性能等,且更能与沥青相结合^[10]。

本文综合考虑玄武岩纤维与抗车辙剂对沥青混合料路用性能的影响,分别制备基质沥青混合

料、单掺玄武岩纤维改性沥青混合料、单掺抗车辙剂改性沥青混合料和抗车辙剂/玄武岩纤维复合改性沥青混合料,确定不同材料的最佳掺量,对比分析不同沥青混合料的路用性能。

1 材料与试验

1.1 原材料

1.1.1 沥青与集料

本研究中的基质沥青为壳牌70#道路石油沥青,其主要技术指标均满足规范要求,见表1。粗集料为玄武岩碎石,细集料为石灰岩,作为填料的矿粉由石灰岩磨制而成;粗细集料和填料的技术指标见表2。

表1 壳牌70#道路石油沥青主要技术指标

技术指标	试验结果	
针入度(25℃,100g,5s)/0.1mm	74.9	
软化点/℃	46.7	
延度(10℃)/cm	68.5	
薄膜烘箱老化试验	质量变化/%	0.61
	针入度比/%	71.2
	延度(10℃)/cm	9.8

表2 集料与矿粉技术指标

技术指标	试验结果	规范要求	
粗集料	压碎值/%	11.8	≤26
	洛杉矶磨耗损失/%	10.6	≤28
	磨光值/PSV	43	≥42
细集料	表观密度/(g·cm ⁻³)	2.679	≥2.50
	棱角性/α	42.7	≥30
填料(矿粉)	表观密度/(g·cm ⁻³)	2.761	≥2.50
	含水量/%	0.4	≤1

收稿日期:2020-04-21

作者简介:严卓辉(1972—),男,学士,高级工程师,从事市政工程管理。

1.1.2 外加剂

本文中的抗车辙剂由高聚物材料和化学助剂等物质复合而成,为固体黑色颗粒状物质,粒径约3~4 mm,常温下能够保持稳定,其技术指标见表3。玄武岩纤维由玄武岩矿石制作而成,并切割成6 mm左右的短切砂,色泽均匀无污染,其技术指标见表4。

表3 抗车辙剂技术指标

直径/mm	密度/(g·cm ⁻³)	熔点/℃
3~4	0.98	150~155

表4 玄武岩纤维技术指标

直径/ μm	长度/ mm	熔点/ ℃	断裂伸长率/ %	弹性模量/ MPa	拉伸强度/ MPa
12~18	6	1 500	≥ 2.5	≥ 95	≥ 1 800

1.2 级配及沥青混合料制备

1.2.1 级配及油石比

采用连续密集配AC-13作为本文的沥青混合料级配类型,级配表见表5。油石比采用马歇尔试验方法确定,即选择油石比来测定混合料试件的空隙率、毛体积密度、沥青饱和度、矿料间隙率、稳定度和流值等,最终确定本文中基质沥青的最佳油石比为4.9%。

表5 沥青混合料级配

粒径/mm	试验级配/%	通过率上限/%	通过率下限/%
13.2	98.5	100.0	90.0
9.5	78.2	85.0	68.0
4.75	56.2	68.0	38.0
2.36	32.7	50.0	24.0
1.18	25.6	38.0	15.0
0.6	20.3	28.0	10.0
0.3	16.8	20.0	7.0
0.15	12.7	15.0	5.0
0.075	7.6	8.0	4.0

1.2.2 外加剂掺量及最佳油石比

根据现有资料及本课题组的前期研究,确定单掺抗车辙剂时的最佳掺量为沥青混合料质量的0.3%,单掺玄武岩纤维时的最佳掺量为沥青混合料质量的0.4%。有研究表明,单掺抗车辙剂时不需增加沥青混合料的用量^[11];单掺纤维时,较多的纤维数量会对沥青用量造成明显影响,每增加0.1%的纤维需增加0.1%的沥青用量^[12]。因此,单掺抗车辙剂和单掺玄武岩纤维的沥青混合料最佳油石比分别确定为4.9%和5.3%。

在确定抗车辙剂和玄武岩纤维复掺的沥青混合料最佳油石比时,参照单掺情况下的数值,确定

复掺0.3%抗车辙剂和0.4%玄武岩纤维的沥青混合料最佳油石比为5.3%。

1.2.3 沥青混合料制备

采用干拌法进行沥青混合料的制备。首先将改性剂与集料放进搅拌锅中搅拌120 s,尽量使改性剂均匀分布在集料之中;然后加入沥青搅拌120 s;最后放入矿粉继续搅拌90 s。在混合料拌合时,必须将温度控制在规范要求内,抗车辙剂/纤维复合改性沥青混合料的拌合温度需保持在180℃,玄武岩纤维沥青混合料的拌合温度保持在160℃左右。采用马歇尔击实法成型试件,利用轮辙仪成型车辙试件。

2 试验与结果分析

根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)的要求,分别进行基质沥青混合料、0.3%抗车辙剂改性沥青混合料、0.4%玄武岩纤维改性沥青混合料、0.3%抗车辙剂/0.4%玄武岩纤维复合改性沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和抗疲劳性能测试,以综合评价不同沥青混合料的路用性能。为保证试验结果的准确性,每种试验都进行3次平行试验。

2.1 高温稳定性

高温稳定性评价采用车辙试验方法进行,试验时温度为60℃,荷载0.7 MPa,加载频率保持在(42±1)次/min。图1为4种沥青混合料的高温稳定性试验结果。由图1可知,掺加抗车辙剂后的沥青混合料动稳定度有了明显的提升,其中单掺抗车辙剂改性沥青混合料的动稳定度为基质沥青混合料的2.59倍;抗车辙剂/玄武岩纤维复合改性沥青混合料的动稳定度为基质沥青混合料的2.89倍;单掺玄武岩纤维改性沥青混合料的动稳定度提升程度不高,但复合改性沥青混合料的动稳定度要好于单掺抗车辙剂改性沥青混合料。

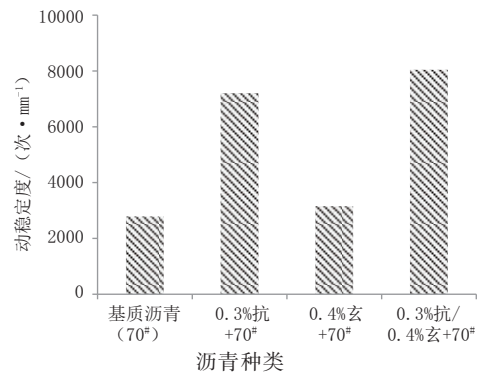


图1 不同沥青混合料动稳定度对比

分析原因为:抗车辙剂能够明显增强沥青软化点,同时提升沥青的黏度值,从而使沥青混合料

的黏结程度更强;此外,玄武岩纤维和抗车辙剂的综合作用会提升沥青混合料在高温时的拉拔性能,从而减少荷载条件下的沥青混合料变形,提升沥青混合料的抗剪切能力。

2.2 低温抗裂性

利用 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的低温小梁弯曲试验分别获得4种沥青混合料的抗弯拉应变值和抗弯拉强度值,见图2、图3。通常,抗弯拉强度值越高或抗弯拉应变值越高,说明沥青混合料的低温抗变形能力以及低温松弛能力越强。有研究表明,若仅根据抗弯拉强度值或抗弯拉应变值来评价沥青混合料的低温抗裂性能,结果并不完善^[3]。因此,本文综合这2个指标结果进行说明。

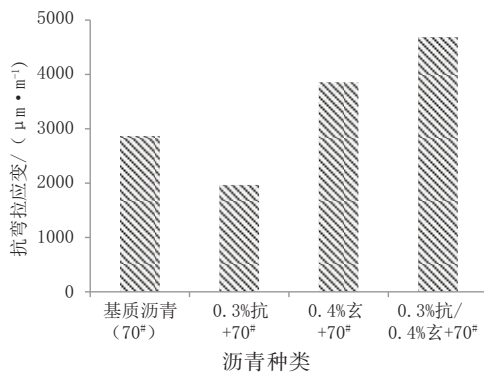


图2 不同沥青混合料的抗弯拉应变对比

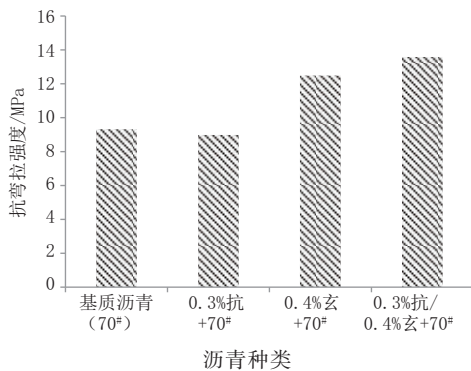


图3 不同沥青混合料的抗弯拉强度对比

由图2可知,抗车辙剂/玄武岩纤维复合改性沥青混合料的抗弯拉应变值最高,单掺抗车辙剂改性沥青混合料的抗弯拉应变值最低,复合改性沥青混合料的抗弯拉应变值为单掺抗车辙剂时的2.38倍。由图3可知,复合改性沥青混合料的抗弯拉强度值最大,比单掺抗车辙剂时高了4.6 MPa。同时,单掺玄武岩纤维的改性沥青混合料表现出了较好的低温抗裂性能,其抗弯拉应变值为单掺抗车辙剂时的1.96倍,抗弯拉强度值比单掺抗车辙剂时高了3.51 MPa。分析原因为:当玄武岩纤维均匀分布在沥青混合料中时,可使沥青混合料在较低温度下保持良好的柔性,且对沥青混合料起

到一定的增韧作用;此外,在进行沥青混合料低温小梁试验时,由于玄武岩纤维的模量高、抗拉强度大,能起到一定的加筋作用,并对裂缝的产生、扩展起到一定的抑制作用。

2.3 水稳定性

分别采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验来评价4种沥青混合料的水稳定性,表6为不同沥青混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比。由表6可知,掺加改性剂后的沥青混合料残留稳定性和冻融劈裂强度比均高于普通沥青混合料,且复合改性沥青混合料的这2种参数值为最高。复合改性沥青混合料的残留稳定性值分别为单掺抗车辙剂改性沥青混合料、单掺玄武岩纤维改性沥青混合料和基质沥青混合料的1.02、1.03和1.12倍;冻融劈裂强度比则为其余3种沥青混合料的1.10、1.07和1.18倍。

表6 不同沥青混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比

沥青种类	残留稳定性 / %	冻融劈裂强度比 / %
基质沥青 (70#)	85	78
0.3%抗车辙剂+70#	93	84
0.4%玄武岩纤维+70#	92	86
0.3%抗车辙剂 / 0.4%玄武岩纤维+70#	92	95

分析原因为:抗车辙剂在沥青混合料中可起到提升沥青黏度的作用,使沥青与集料的黏附性更好;而纤维与沥青有较大的比表面积,可使沥青更稳定,从而更好地与集料形成结构沥青层。因此,复合改性沥青混合料能够更好地防止水的损坏,保证集料与沥青之间的黏性,提升沥青混合料的抗水损害能力。

2.4 抗疲劳性能

采用中点小梁弯曲试验来测试沥青混合料的抗疲劳性能。采用控制应力模式,以正弦波形荷载的形式进行试验,荷载频率为10 Hz,试验温度为中温 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。控制应力时,保证0.1分级应力水平,本试验采用的应力水平为0.5、0.6、0.7,并选择 $\lg N_f = A - n \lg \sigma_r$ 作为回归方程,分析不同沥青混合料的抗疲劳性能。回归方程中: A 为疲劳曲线截距; n 为疲劳曲线的斜率; N_f 为疲劳试验次数; σ_r 为应力等级。

表7为不同沥青混合料的疲劳试验结果。由表7可知,随着应力水平的增大,4种沥青混合料的疲劳寿命均有降低。原因为随着荷载的增加,沥青混合料达到极限变形的荷载循环次数降低,导致其疲劳寿命降低。此外,在相同应力水平条件

下,4种沥青混合料的疲劳寿命次数从高到低依次为抗车辙剂/玄武岩纤维复合改性沥青混合料>单掺玄武岩纤维改性沥青混合料>单掺抗车辙剂改性沥青混合料>基质沥青混合料。

从表7中还可以看出,抗车辙剂/玄武岩纤维复合改性沥青混合料的疲劳曲线截距为3.64,为4种沥青混合料的最高值; n 为0.99,为4种沥青混合

料的最低值。因此,复合改性沥青混合料具有更好的疲劳性能。分析原因为:抗车辙剂和玄武岩纤维使得沥青与集料更好地结合在一起,形成较好的三维网状结构,阻碍了裂缝的发展;同时,在疲劳荷载作用下,复合改性沥青混合料的变形恢复能力更强,可能会有更好的自修复能力,从而综合提升了沥青混合料的抗疲劳性能。

表7 沥青混合料疲劳试验结果

沥青种类	应力水平	σ_i /MPa	$\lg \sigma_i$	N_f /次	$\lg N_f$	回归方程	R^2
基质沥青(70#)	0.5	0.062 5	-1.20	17 252	4.23	$\lg N_f = -3.02 - 6.04 \lg \sigma_i$	0.975
	0.6	0.072 8	-1.12	7 569	3.85		
	0.7	0.086 5	-1.05	2 245	3.32		
0.3%抗车辙剂+70#	0.5	0.085 2	-1.08	25 625	4.42	$\lg N_f = 1.02 - 3.16 \lg \sigma_i$	0.958
	0.6	0.102 5	-1.01	17 522	4.23		
	0.7	0.116 7	-0.92	8 568	3.95		
0.4%玄武岩纤维+70#	0.5	0.102 5	-0.99	32 152	4.50	$\lg N_f = 3.02 - 1.53 \lg \sigma_i$	0.963
	0.6	0.123 5	-0.90	26 558	4.43		
	0.7	0.142 9	-0.83	19 065	4.25		
0.3%抗车辙剂/ 0.4%玄武岩纤维+70#	0.5	0.117 8	-0.93	35 442	4.55	$\lg N_f = 3.64 - 0.99 \lg \sigma_i$	0.978
	0.6	0.142 0	-0.84	30 982	4.49		
	0.7	0.165 0	-0.79	24 968	4.40		

3 结 语

(1)在普通沥青混合料中单掺抗车辙剂和玄武岩纤维,可分别提升沥青混合料的抗车辙能力和抗低温开裂能力,而抗车辙剂/玄武岩纤维复合改性沥青混合料的抗车辙性能与抗低温开裂性能更好。

(2)复合改性沥青混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比普通沥青混合料分别提升了1.12倍和1.18倍,同时均大于单掺改性剂的沥青混合料,说明其具有更好的抗水损害能力。

(3)中点疲劳试验表明,复合改性沥青混合料的疲劳曲线截距达到了3.64,为4种沥青混合料的最大值;疲劳曲线斜率为4种沥青混合料的最低值,说明复合改性沥青混合料具有更好的抗疲劳性能。

参考文献:

[1] 程永春,杨金生,马健生.玄武岩纤维与抗车辙剂复合改性沥青混合料路用性能[J].科学技术与工程,2017,17(32):327-331.
[2] 陈正伟,朱月风,张洪亮,等.基于断裂试验的再生沥青混合料中温抗裂性能[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2017,40(9):

1260-1264.

[3] 郭瑞,洪刚,李萍,等.AC-16沥青混合料高温稳定性试验[J].长安大学学报(自然科学版),2013,33(2):10-15.
[4] 谢铁琼,张超,惠冰.抗车辙剂改性沥青混合料工艺参数对水稳定性性能的影响[J].中国科技论文,2016,11(7):835-838.
[5] 周义生,吴革森,司徒丽新,等.抗车辙剂改性沥青混合料路用性能研究[J].公路,2015(1):178-180.
[6] 韦佑坡,张争奇,司伟,等.玄武岩纤维在沥青混合料中的作用机理[J].长安大学学报(自然科学版),2012,32(2):39-44.
[7] 覃潇,申爱琴,郭寅川.基于关联性的玄武岩纤维沥青胶浆及其混合料性能研究[J].材料导报,2016,30(12):124-128,152.
[8] 郭博.基于材料组成的双掺外加剂沥青混合料路用性能研究[D].西安:长安大学,2011.
[9] 郭利杨,徐世法,柴林林,等.新型木质素纤维及抗车辙剂对SMA沥青混合料的性能影响评价[J].公路,2017(3):224-228.
[10] FAN Wenxiao, KANG Haigui, ZHENG Yuanxun. Experimental study on pavement performance of basalt fiber modified asphalt mixture [J]. Journal of Southeast University (English Edition), 2010(4): 614-617.
[11] 段宏志.沥青混合料用抗车辙剂室内试验研究[J].公路交通科技(应用技术版),2015(4):58-59.
[12] 易小帆.玄武岩纤维AC-13的路用性能研究[D].西安:长安大学,2015.
[13] 徐皓,倪富健,陈荣生,等.排水性沥青混合料耐久性[J].交通运输工程学报,2005,5(2):27-31.