

文章编号:1674-2869(2017)04-0366-06

硫磺改性沥青混合料基本性能的研究

叶茂,胡小弟*,孙权,白桃

武汉工程大学资源与土木工程学院,湖北 武汉 430074

摘要:为考察硫磺改性沥青混合料的路用性能,选取 AC-13 和 AC-20 两种混合料类型、4 种不同的硫磺掺量(硫磺占硫磺改性沥青胶结料的质量百分比分别为 0%、30%、35%、40%)作为对比,采用浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验、汉堡车辙试验测试了其水稳定性能,采用车辙试验、三点小梁弯曲试验和 Overlay Tester 试验分别测试了其高温性能、低温性能与疲劳性能,采用动态模量试验获得了其力学参数。结果表明:添加质量分数为 30% 硫磺后,AC-13 和 AC-20 沥青混合料动稳定度分别提高了 18% 和 26%,疲劳开裂性能有所提高,低温性能没有明显改变。添加不同质量分数的硫磺,沥青混合料的水稳定性能明显降低,其中 AC-13 沥青混合料在添加 40% 硫磺时冻融劈裂强度比下降达 22%。动态模量测试表明硫磺改性沥青混合料与普通沥青混合料动态模量变化趋势相同,但-10℃~54℃温度区间较普通沥青混合料动态模量要高。

关键词:硫磺改性; 沥青混合料; 路用性能; 动态模量

中图分类号:U414 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2017.04.010

Basic Performance of Sulfur-Modified Asphalt Mixture

YE Mao, HU Xiaodi*, SUN Quan, BAI Tao

School of Resource and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: The sulfurs with mass fraction of 0%, 30%, 35% and 40% were respectively added into two types of asphalt mixtures (AC-13 and AC-20), and the properties of sulfur-modified asphalt mixture in pavement were explored. The moisture resistance of sulfur-modified asphalt mixture was measured by immersion Marshall test, freeze-thaw splitting test and Hamburg rutting test, and the high temperature performance, low temperature performance and fracture resistance were evaluated by Rutting test, three-point bending beam test and Overlay Tester, respectively. Besides, the mechanistic properties were obtained by the dynamic modulus test. The results show that the dynamic stability values of asphalt mixtures AC-13 and AC-20 with sulfur mass fraction of 30% increase respectively by 18% and 26%, and their bending tensile strengths also enhance, but their low temperature performances do not change. The moisture resistance of asphalt mixture reduces significantly after adding different mass fraction of sulfur, the tensile strength ratio of sulfur modified asphalt mixtures AC-13 decreases by 22% with adding sulfur mass fraction of 40%. Dynamic module test indicates that the variation tendency was similar between the sulfur modified asphalt mixture and the conventional asphalt mixture, however, the dynamic modulus values of sulfur-modified asphalt mixture are higher in a temperature range of -10℃ to 54℃.

Keywords: sulfur-modify; asphalt mixture; pavement performance; dynamic modulus

收稿日期:2017-01-11

基金项目:湖北省交通运输厅科研项目(2013-731-2-5)

作者简介:叶茂,硕士研究生. E-mail:277136548@qq.com

*通讯作者:胡小弟,博士,教授,硕士研究生导师. E-mail:1246493105@qq.com

引文格式:叶茂,胡小弟,孙权,等. 硫磺改性沥青混合料基本性能的研究[J]. 武汉工程大学学报,2017,39(4):366-371.

YE M, HU X D, SUN Q, et al. Basic performance of sulfur modified asphalt mixture[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2017, 39(4):366-371.

硫磺改性沥青是一种节能及性能优越的路面材料.在拌合的过程中,硫磺迅速融化,与沥青共同形成新的粘结剂,提高沥青混合料的力学性能;同时它还能降低混合料出料温度,实现节能减排的效果.

国内对硫磺改性沥青混合料的研究起步较晚,近年来中国的学者对硫磺改性沥青的物理化学性质、硫磺改性沥青混合料设计、硫磺改性沥青路面的路用性能和硫磺改性沥青的改性机理等进行了研究.杨云东^[1]等分析了硫磺改性剂(sulphur-extended asphalt modify,SEAM)的温拌技术在实际工程中的应用状况,研究结果表明,在普通沥青混合料中添加SEAM,可以显著降低普通沥青混合料的拌和温度和压实温度20℃~30℃,使混合料同时具有较好的降温效果和良好的压实特性;杨现茂和于墪^[2-3]通过硫磺改性沥青性能试验、硫磺改性沥青混合料性能试验及铺筑试验,发现随着硫磺掺量的增加,各项性能指标均优于普通沥青混合料,且室温养生10 d的试件,其性能明显提高;杨锡武^[4]的研究表明,SEAM的质量掺量大于10%,能显著提高沥青混合料的高温稳定性和抗疲劳性能;对90#基质沥青的改性要优于70#,而且这种改性方法具有良好的经济性.

从已有的研究成果^[1-4]可以发现:硫磺改性沥青可以提高沥青混合料的高温抗车辙性能,但同时也会降低其水稳定性.但是在现有的研究中,对其疲劳抗裂性能以及力学性能的研究并不是很完善.本文针对硫磺改性沥青混合料疲劳抗裂性能以及力学性能的研究不足,研究了不同硫磺掺量下2种类型的沥青混合料(AC-13C、AC-20C)的基本性能,并对比分析了硫磺改性沥青混合料与普通沥青混合料在基本性能上的差异性.

1 试验部分

本研究中沥青采用AH-70道路石油沥青及pave-192抗剥落剂(剂量为基质沥青质量的0.4%),集料采用石灰岩,硫磺、沥青以及集料等各项性能指标均符合规范^[5]要求.沥青混合料采用AC-13和AC-20矿料级配,通过马歇尔设计方法确定了AC-13和AC-20普通沥青混合料的最佳油石比(沥青占沥青混合料的质量分数)分别为4.7%和4.0%.根据硫磺产品指南^[6]可知,硫磺通过同体积替代部分沥青用量来达到混合料改性的目的,通常可以替代混合料中18%~26%同体积的基质沥青(最高可以替代混合料中26%的基质沥青),而替代混合料中0%~18%及26%~100%的基质沥青时,均会大大降低混合料的高温性能或者其他路用性能,因此本研究中仅对等体积替代18%~26%(等质量替代30%~40%)的基质沥青进行研究^[7].本文中AC-13和AC-20硫磺改性沥青混合料配合比设计,选用的硫磺占硫磺改性沥青胶结料的质量分数分别为0,30%,35%,40%(即硫磺同体积替代18%,22%,26%的沥青),硫磺改性沥青混合料试件成型后均会进行快速养生^[6],再对硫磺改性沥青混合料的基本性能进行研究^[4,8-12].

2 结果与讨论

2.1 水稳定性能研究

本研究中采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验对不同掺量下硫磺改性沥青混合料的水稳定性进行研究,试验过程参照《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》^[13]的要求,试验结果如表1和表2所示.

表1 残留稳定性
Tab.1 Residual stability

混合料类型 mixture type	硫磺掺量 sulfur mass fraction / %	马歇尔稳定度 Marshall stability / kN	浸水马歇尔稳定度 immersion Marshall stability / kN	规范要求 evaluation standard	马歇尔残留稳定度 retained Marshall stability / %
AC-13C	0	14.47	14.09	≥80	97.17
	30	14.39	13.08	≥80	90.92
	35	14.67	13.17	≥80	89.78
	40	16.92	14.06	≥80	83.27
AC-20C	0	21.63	18.88	≥80	87.29
	30	15.30	12.90	≥80	84.27
	35	16.65	13.69	≥80	82.19
	40	17.51	14.03	≥80	80.12

表 2 冻融劈裂试验
Tab. 2 Freeze-thaw splitting test

混合料类型 mixture type	硫磺掺量 sulfur mass fraction / %	劈裂强度 splitting strength / MPa	冻融劈裂强度 freeze-thaw splitting strength / MPa	规范要求 evaluation standard	冻融劈裂强度比 tensile strength ratio / %
AC-13C	0	3.85	3.83	≥75	99.48
	30	3.86	3.55	≥75	91.97
	35	3.97	3.44	≥75	86.65
	40	3.99	3.09	≥75	77.44
AC-20C	0	3.75	3.69	≥75	98.40
	30	3.78	3.62	≥75	95.77
	35	3.79	3.45	≥75	91.03
	40	3.81	3.06	≥75	80.31

由表 1 和表 2 可知：

1) 由浸水马歇尔实验结果可知，加入 30%~40% 硫磺掺量后，马歇尔稳定度及浸水马歇尔稳定度都会随着硫磺掺量的增加而增大，而浸水马歇尔残留稳定比 (MS0*) 则会随着硫磺掺量的增加而降低，说明硫磺掺加量越多，对混合料的水稳定性不利影响越大。

2) 由冻融循环试验结果可知，经过冻融循环后，随着硫磺掺量的增加，冻融劈裂强度及冻融劈裂强度比 (TSR*) 会逐步降低；而未进行冻融循环前，劈裂强度会随着硫磺掺量的增加而增大，说明硫磺对冻融循环比较敏感。

3) 无论是 AC-13 还是 AC-20，掺加硫磺后的沥青混合料，经过浸水或者冻融劈裂后的马歇尔稳定度都低于未掺加硫磺的普通沥青混合料，部分情况下降幅度达 32%。

2.2 高温性能研究

参照《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》^[13]，采用动稳定度试验对不同掺量下硫磺改性沥青混合料的高温稳定性进行研究，试验结果如图 1 所示。

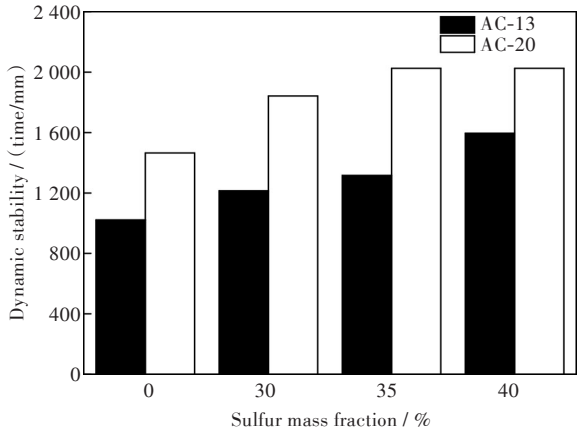


图 1 动稳定度试验结果图

Fig. 1 Test results of dynamic stability

由图 1 可以看出，硫磺改性沥青混合料的动稳定度比普通沥青混合料的动稳定度有所提高，且在此范围内，随着硫磺掺量的增加，动稳定度逐步增大。AC-13 添加 30% 的硫磺比不掺加硫磺的混合料动稳定度提高了 18%，AC-20 添加 30% 的硫磺比不掺加硫磺的混合料动稳定度提高了 26%，即添加赛欧铺改性剂后能够明显提高沥青混合料的高温抗车辙性能。

2.3 浸水汉堡车辙试验研究

浸水汉堡车辙试验按照美国德克萨斯州推荐的规程 (Tex-242-F) ^[14] 进行，并以车辙深度进行评价。硫磺改性沥青混合料浸水汉堡车辙试验的结果如表 3 所示。由表 3 可知：

1) AC-13 的混合料中，硫磺改性沥青混合料汉堡车辙荷载作用次数以及达到拐点时的作用次数在 0、30%、35%、40% 的硫磺掺量范围内均呈现先增大后减小的趋势，且在硫磺掺量为 30% 时，作用次数最多，说明 30% 的硫磺掺量能大大提升普通沥青混合料抗车辙变形能力；

2) AC-20 的混合料中，在荷载作用次数均为 20 000 次时，硫磺改性沥青混合料汉堡车辙的变形量在 0、30%、35%、40% 的硫磺掺量较普通沥青混合料的变形要大，说明硫磺改性沥青不能提高 AC-20 混合料高温环境下的水稳定性，在硫磺掺加量为 40% 时，勉强接近普通沥青混合料的高温水稳定性；

3) AC-13 混合料中达到拐点时作用次数的变化规律与其达到 12.50 mm 时荷载作用次数的变化规律相符，AC-20 混合料中达到拐点时作用次数的变化规律与其变形量的变化规律相符，这说明浸水汉堡车辙试验能在一定程度上反应沥青混合料高温性能和水稳性能的变化规律。

表3 浸水汉堡车辙试验
Tab.3 Flooding burger rut test

混合料类型 mixture type	硫磺掺量 sulfur mass fraction / %	荷载作用次数 load cycle times / times	达到拐点时作用次数 load cycle times of inflection points / times	变形量 deflection / mm
AC-13	0	119 50	125 0	12.50
	30	150 50	500 0	12.50
	35	142 77	450 0	12.50
	40	122 50	320 0	12.50
AC-20	0	200 00	600 0	6.71
	30	200 00	330 0	12.50
	35	200 00	360 0	11.12
	40	200 00	420 0	8.40

注:AC-13达到拐点时作用次数表示试件变形量开始急速变化时的次数(斜率*K*开始增大);AC-20达到拐点时作用次数表示试件变形量趋于平稳时的次数(斜率*K*近似为0)

综合硫磺改性沥青高温性能及水稳定性的研究,AC-13硫磺改性沥青混合料硫磺掺量为30%时最佳,而AC-20硫磺改性沥青混合料硫磺掺量为40%时最佳.然而由硫磺产品的使用指南及本文对AC-20硫磺改性沥青混合料水稳定性能单独研究可知,当硫磺掺量为40%时,其水稳定性能降低的幅度较大,不利于其在南方多雨地区的推广

应用.因此本文对AC-13和AC-20硫磺改性沥青混合料的后续研究均采用30%这一掺量值.

2.4 三点小梁弯曲试验研究

三点小梁弯曲试验参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》^[14]推荐的尺寸和参数进行,以最大弯拉应变作为评价指标.硫磺改性沥青混合料三点小梁弯曲试验的结果如表4所示.

表4 沥青混合料低温(-10℃)弯曲试验结果
Tab.4 Results of low temperature bending test

混合料类型 mixture type	硫磺掺量 sulfur mass fraction / %	跨中挠度 mid-span deflection / mm	破坏荷载 breaking load / N	抗弯拉强度 bending tensile strength / MPa	最大弯拉应变 maximum bending strain / $\mu\epsilon$
AC-13	0	0.20	1 364	11.24	106 8
	30	0.18	1 423	12.13	925
AC-20	0	0.21	1 143	9.881	106 0
	30	0.19	1 258	10.75	964

由表4可知:

1)硫磺改性沥青混合料较普通沥青混合料的最大抗弯拉应变要小,说明硫磺改性剂不能改善普通沥青混合料的低温抗裂性能,但是硫磺改性沥青混合料与普通沥青混合料的最大抗弯拉应变较为接近,相差10%左右,说明硫磺改性沥青虽然不能改善普通沥青混合料的低温抗裂性能,但是也不会大幅度降低其低温抗裂性能.

2)硫磺改性沥青混合料较普通沥青混合料的抗弯拉强度大,说明硫磺能适度增加沥青混合料的抗弯拉强度,这种增加幅度在8%左右.

2.5 Overlay Tester(OT)试验研究

Overlay Tester试验按照美国德克萨斯州推荐的规程(Tex-248-F)^[15]进行,试验温度为25℃,试验结果如表5所示.

从表5的数据可以看出,添加硫磺改性剂后,无论AC-13还是AC-20,首圈最大拉应力相对于普通沥青混合料来说均有提升;且周期数进行评价时,也可以表明,硫磺改性沥青混合料的周期数,也要明显高于普通沥青混合料的周期数,这说明硫磺改性沥青能提高普通沥青混合料常温下的疲劳开裂性能.

表 5 硫磺改性沥青混合料 OT 试验结果
Tab. 5 Results of OT tests of sulfur-modified asphalt mixture

混合料 类型 mixture type	硫磺掺量 sulfur mass fraction / %	首圈最大拉应力	周期数 cycles / times
		maximum tensile	
		stress of the first cycle / N	
AC-13	0	815.8	109
	30	1 284.1	158
AC-20	0	835.2	406
	30	1 007.5	509

2.6 动态模量试验研究

动态模量试验参照美国 AASHTO TP31-94^[16] 的规程进行,其试验结果如图 2~图 5 所示。
由图 2~图 5 可知:

1)随着试验温度的增加,无论加载波形如何,相同频率下动态模量总体上呈减小的趋势。在 -10℃~37℃ 之间,动态模量随着温度的升高,其

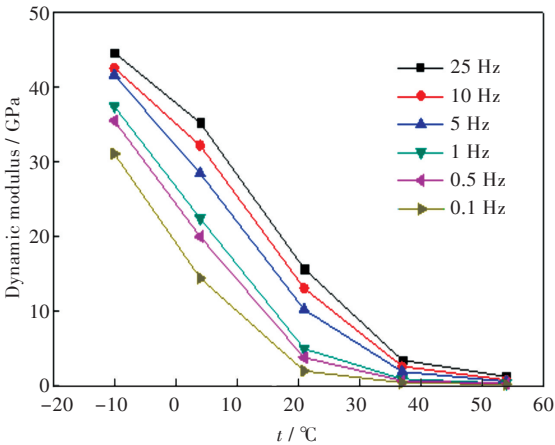


图 2 AC-13 普通沥青混合料温度-动态模量示意图
Fig. 2 Temperature-dynamic modulus diagram of AC-13 conventional asphalt mixture

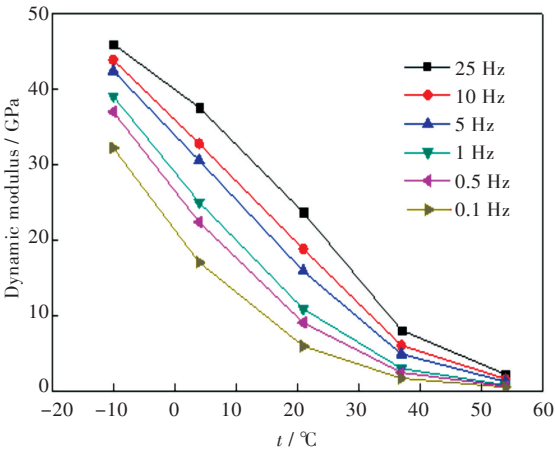


图 3 AC-13 硫磺改性沥青混合料温度-动态模量示意图
Fig. 3 Temperature-dynamic modulus diagram of AC-13 sulfur-modified asphalt mixture

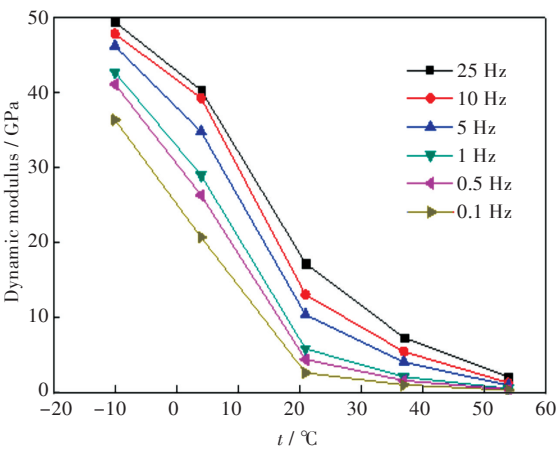


图 4 AC-20 普通沥青混合料温度-动态模量示意图
Fig. 4 Temperature-dynamic modulus diagram of AC-20 conventional asphalt mixture

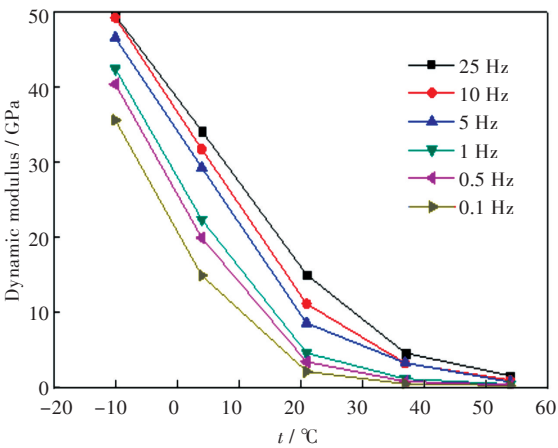


图 5 AC-20 硫磺改性沥青混合料温度-动态模量示意图
Fig. 5 Temperature-dynamic modulus diagram of AC-20 sulfur-modified asphalt mixture

减小的趋势比较明显;当温度超过 37℃ 时,动态模量减小的趋势趋于稳定。

2)掺入一定量的硫磺改性剂不会改变普通沥青混合料温度-动态模量的变化趋势。

3 结 语

1)掺入一定量硫磺改性剂会降低沥青混合料的水稳定性,但影响幅度不大且均能满足规范的要求。

2)动稳定度试验表明硫磺改性剂能够提高普通沥青混合料的高温性能。

3)浸水汉堡车辙试验表明,掺入一定量的硫磺改性剂对不同类型的普通沥青混合料的高温性能和水稳定性影响效果不同。

4)三点小梁弯曲试验表明,掺入一定量的硫磺改性剂能提高普通沥青混合料的抗弯拉强度,同时对普通沥青混合料的低温性能有一定的负面

影响,但影响幅度不大.

5)OT 试验表明,掺入一定量的硫磺改性剂能提高普通沥青混合料的疲劳抗裂性能.

6)动态模量试验表明,掺入一定量的硫磺改性剂不会改变普通沥青混合料温度-动态模量的变化趋势.

参考文献:

[1] 杨云东,周应新,周彬,等. SEAM 硫磺改性温拌技术在蒙新高速公路中的应用[J]. 公路,2009(4):25-28.
YANG Y D,ZHOU Y X,ZHOU B, et al. Application of sulphur extended warm mix technology to Meng-Xin expressway[J]. Highway,2009 (4):25-28.

[2] 杨现茂,张晓华,张蓉. 硫磺改性沥青混合料路用性能探讨[J]. 西南公路,2011(2):2-6.
YANG X M,ZHANG X H,ZHANG R. The discuss of the sulfur modified road asphalt mixture[J]. Southwest Highway,2011(2):2-6.

[3] 于焱,汪德元,张松林. 硫磺沥青混合料养生时间与性能的关系[J]. 石油沥青,2012,26(6):25-28.
YU G,WANG D Y,ZHANG S L. Relationship between reaction time and property of sulfur asphalt Mix [J]. Petroleum Asphalt,2012,26(6):25-28.

[4] 杨锡武,角述兵,唐军,等. 硫磺改性沥青混合料性能及其应用研究[J]. 公路交通科技,2009,26(6):1-7.
YANG X W,JIAO S B,TANG J, et al. Investigation on the properties of sulphur modified asphalt mixture and it's modifying mechanism [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (6):1-7.

[5] 中华人民共和国交通部. 公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S]. 北京:人民交通出版社,2004.

[6] 壳牌(中国)有限公司沥青技术部. 赛欧铺硫磺改性温拌沥青路面施工技术指南:SSS D02—2013[S]. 北京:壳牌(中国)有限公司沥青技术部,2013.

[7] 鲁正兰,孙立军,周朝晖. 高性能SEAM 改性沥青混合料设计及其性能[J]. 石油学报(石油加工),2005,21(5):73-78.
LU Z L,SUN L J,ZHOU C H. Performance and mixture design of high quality asphalt modified by SEAM [J]. Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section) , 2005,21(5):73-78.

[8] 胡小弟,高一鸣,林丽蓉,等. 赛欧铺改性沥青混合料温拌技术[J]. 武汉工程大学学报,2013,35(11):10-13.
HU X D,GAO Y M,LIN L R, et al. Performance of thiopave modified asphalt mixture [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology,2013, 35(11): 10-13.

[9] 侯睿,郭忠印. 硫磺改性沥青混合料的动态模量试验分析[J]. 建筑材料学报,2013,16(3):525-528.
HOU R, GUO Z Y. Dynamic modulus test analysis of sulfur modified asphalt mixture[J]. Journal of Building Materials,2013,16(3):525-528.

[10] TAYLOR A L,TRAN N H,MAY R, et al. Laboratory evaluation of sulfur-modified warm Mix [J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists,2010, 79: 403-442.

[11] 宋萍,田卫群. Thiopave 温拌再生沥青混合料性能试验研究[J]. 公路交通技术,2013(5):39-41.
SONG P, TIAN W Q. Experimental research on performance of thiopave warm mixing regenerated asphalt mixture [J]. Technology of Highway and Transport,2013(5):39-41.

[12] 孙敏,辛星,渠广镇. Thiopave 沥青混合料性能评价[J]. 石油沥青,2011,25(6):19-24.
SUN M, XIN X, QU G Z. Performance evaluation of thiopave asphalt mixture[J]. Petroleum Asphal,2011, 25(6):19-24.

[13] 中华人民共和国交通部. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20—2011[S]. 北京:人民交通出版社,2004.

[14] Texas Department of Transportation. Hamburg wheel-tracking test: TEX-242-F: 2009 [S/OL]. [2016-12-25]. <https://wenku.baidu.com/view/65c9f9134431b90d6c85c7d3.html>.

[15] Texas Department of Transportation. Test procedure for overlay test: TEX-248-F: 2009 [S/OL]. [2016-12-25].<http://www.doc88.com/p-9923153772011.html>.

[16] American Association of State Highway and Transportation Officials. Standard test method for determining the dynamic modulus of hot-mix asphalt concrete mixtures: AASHTO TP62-07: 2003 [S/OL]. [2016-12-25]. <http://www.doc88.com/p-9863195676515.html>.

本文编辑:苗 变