

EME2 高模量沥青混合料性能对比试验研究

夏全平^{1,2}, 孙 杰³, 李庶安⁴, 杨 飞²

(1. 长安大学公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 高速公路养护技术交通行业重点实验室, 山东 济南 250031;
3. 山东省交通运输厅公路局, 山东 济南 250002; 4. 山东高速股份有限公司, 山东 济南 250014)

摘 要 目的 对 EME2 沥青混合料的级配设计、性能指标进行对比试验, 并提出 EME2 沥青混合料设计推荐指标及技术要求. 方法 针对不同沥青混合料设计方法的差异, 采用不同沥青混合料设计方法进行筛分试验及级配设计, 并对体积指标、水稳定性、高温稳定性、模量性能、疲劳性能、低温性能进行了对比试验. 结果 对于连续级配中国沥青混合料筛分方法可以代替法国的筛分方法; 不同沥青混合料级配设计方法的体积指标有较大的关联性. EME2 沥青混合料的水损坏性能可以用冻融劈裂和 AASHTOT283 试验代替法国多列士试验进行评价; 高温抗车辙性能可以采用中国车辙试验(70 ℃, 轮压 1.0 MPa)以及汉堡试验进行评价; 力学性能可以采用动态模量(温度 15 ℃, 频率 10 Hz)进行控制以及采用 4 点弯曲疲劳试验代替法国的两点弯曲试验进行疲劳性能评价; 低温性能则可以采用低温弯曲小梁试验进行低温评价. 结论 EME2 沥青混合料具有良好的水稳定性、抗高温抗车辙性能、较高的模量的力学性能、抗疲劳性能, 同时满足其低温指标的要求, 表明 EME2 沥青混合料是一种可值得推荐和推广的沥青混合料.

关键词 EME2; 孔隙率; 高温稳定性; 动态模量

中图分类号 TU997; U414

文献标志码 A

Comparative Test on EME2 High Modulus Asphalt Mixture Performance and Recommendation Index

XIA Quanping^{1,2}, SUN Jie³, LI Shu'an⁴, YANG Fei²

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an, China, 710064; 2. Key Laboratory of Expressway Maintenance Technology and Transportation Industry, Ji'nan, China, 250031; 3. Shandong Provincial Department of Transportation Highway Bureau, Ji'nan, China, 250002; 4. Shandong Hi-speed Company Limited, Ji'nan, China, 250014)

Abstract: In this paper, the gradation design and performance index for asphalt pavement design methods in China and France are compared and studied. The recommended indexes and technical requirements of EME2 asphalt mixture design are put forward. According to the difference of asphalt mixtures design methods, the screening experiment and gradation design were carried out to

收稿日期: 2017-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51008033); 山东省交通科技计划项目(2016B41)

作者简介: 夏全平(1988—), 男, 博士研究生, 主要从事路基路面材料方面研究.

compare the volume index, water stability, high temperature stability, modulus of performance, fatigue performance, low temperature performance. Results show that for the continuous gradation, the screening method of China's asphalt mixture can be used instead of the French screening method. The volume indexes of gradation design methods of different asphalt mixtures have great relevance. Water damage performance of EME2 asphalt mixture can be measured by freeze-thaw splitting test and AASHTOT283 test instead of French Thorez test. The Chinese rut test (temperature 70 ℃, wheel pressure 1.0 MPa) and Hamburg test can be used to evaluate the high temperature rutting resistance. The Mechanical performance can be controlled by the dynamic modulus (15 degrees, 10 Hz), and the Fatigue performance was evaluated by using a four-point bending fatigue test in place of the two-point bending test in France. The low temperature performance can be evaluated by the low temperature bend beam test. EME2 asphalt mixture has good water stability, high temperature rutting, high modulus mechanical properties, fatigue resistance, and satisfy the low temperature requirements that EME2 asphalt mixture is a worthy of recommendation and promotion of asphalt mixture.

Key words: EME2; porosity; high temperature stability; dynamic modulus

EME2 是法国的一种性能优异的高模量沥青混凝土,其核心是提高沥青混凝土的模量和高温稳定性,减少荷载作用下沥青混凝土的应变,从而达到提高路面抗车辙能力、减薄路面厚度和提高路面耐久性的目的. 笔者在系统研究了法国沥青混合料设计经验的基础上,结合中国沥青混合料设计方法,对 EME2 沥青混合料设计方法进行了深入系统的理论和试验对比研究^[1],并提出了 EME2 沥青混合料设计推荐指标及技术要求,为 EME2 高模量沥青混凝土在国内的应用打下良好的基础.

1 沥青混合料的合成级配试验

中国与法国沥青混合料设计方法所用的方孔筛筛孔尺寸如表 1 所示^[2]. 因此取相同的各档矿料进行了级配曲线拟合试验,分别通过中国要求筛孔尺寸和法国要求筛孔尺寸进行筛分. 从表 1 可以看出,中国与法国沥青混合料设计方法所用的筛孔尺寸的关系,筛分后采用相同的配比合成级配曲线如图 1 所示,相同的配比得出的级配曲线基本相吻合. 说明对于连续级配,中国方法可以代替法国筛分方法. 但是对于间断级配,由于中国石料的规格和法国石料的规格存在着较大差别,对于法国 EME2 高模量沥青混合料不适用.

表 1 中国、法国级配设计所用方孔筛尺寸
Table 1 Sieve size used in gradation design in China and France mm

法国筛孔尺寸	中国筛孔尺寸	法国筛孔尺寸	中国筛孔尺寸
20	26.5	4	1.18
16	19	2	0.6
14	16	1	0.3
12.5	13.2	0.32	0.15
10	9.5	0.25	0.075
8	4.75	0.08	—
6.3	2.36	0.063	—

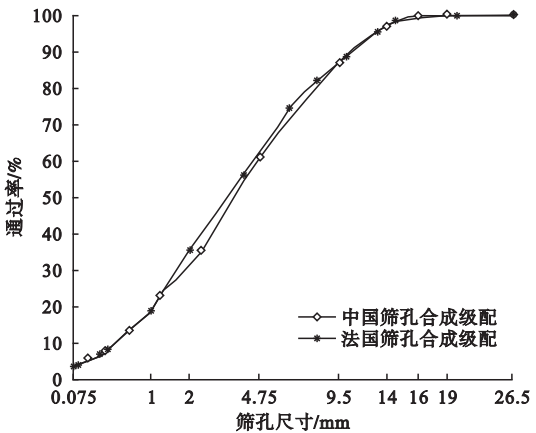


图 1 中国、法国级配设计方法合成级配曲线
Fig. 1 Synthetic gradation curves of gradation design in China and France

2 沥青混合料体积指标试验

2.1 中国、法国沥青混合料体积指标试验

通过对中国、法国等沥青混合料的设计方法体系和理念的比较^[3-4],笔者选用 EME2-14 和 AC-13 为代表沥青混合料进行沥青混合料设计,其中 EME2-14 沥青混合料选用 20 号沥青,选用连续和间断两种级配结构设计;AC-13 沥青混合料选用 70 号沥青和 20 号沥青.沥青混合料级配曲线如图 2~图 4 所示.

根据图 2~图 4 沥青混合料级配曲线,对沥青混合料 AC-13 和 EME2-14 采用中国马歇尔击实仪击实 75 次;对沥青混合料 AC-13 和 EME2-14 采用法国旋转压实仪旋转压实 100 次,其沥青混合料的体积指标对比如图 5~图 8 所示.

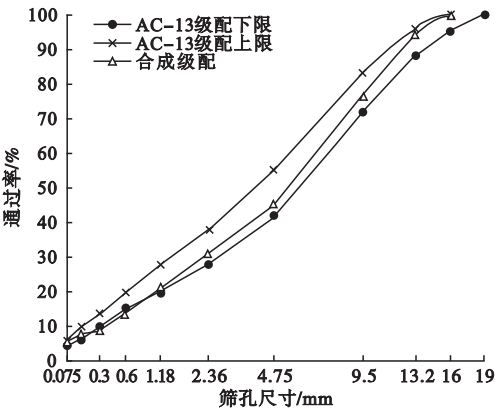


图 2 AC-13 合成级配曲线

Fig. 2 Synthetic gradation curve of AC-13

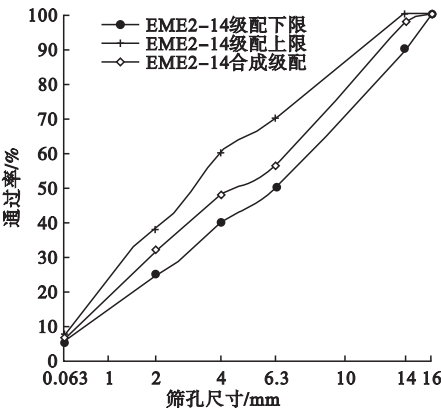


图 3 EME2-14 连续级配曲线

Fig. 3 Continuous gradation curve of EME2-14

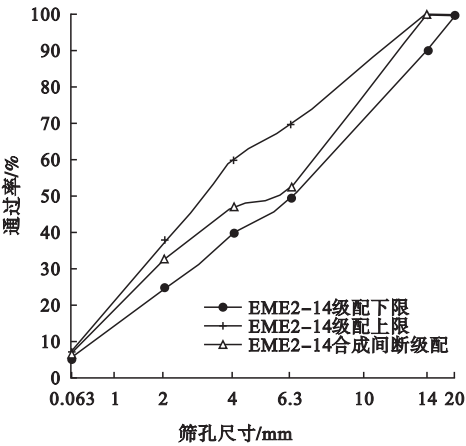


图 4 EME2-14 间断级配曲线

Fig. 4 Discontinuous grading curve of EME2-14

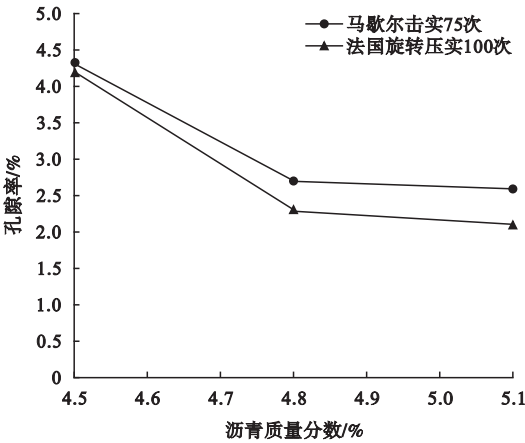


图 5 AC-13 沥青混合料(70#沥青)

Fig. 5 AC-13 asphalt mixture (70# asphalt)

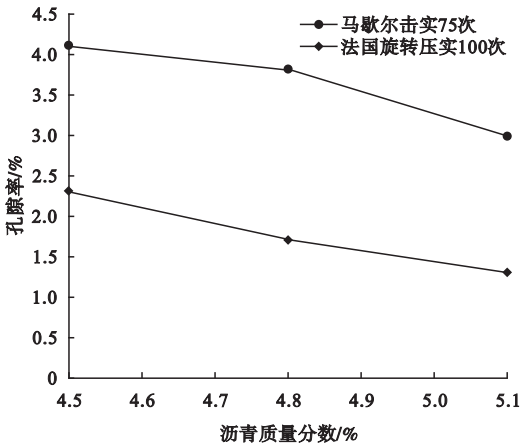


图 6 AC-13 沥青混合料(20#沥青)

Fig. 6 AC-13 asphalt mixture (20# asphalt)

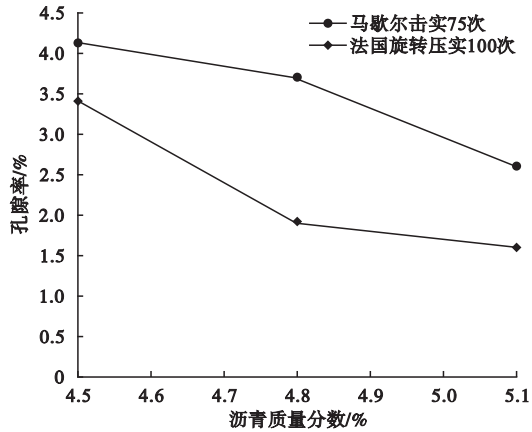


图7 EME2-14 沥青混合料间断级配(20#沥青)

Fig. 7 Discontinuous gradation of EME2-14 asphalt mixture (20# asphalt)

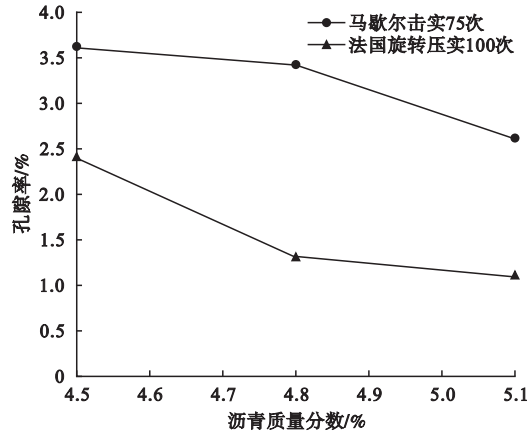


图8 EME2-14 沥青混合料连续级配(20#沥青)

Fig. 8 Continuous gradation of EME2-14 asphalt mixture (20# asphalt)

从图5~图8中可以看出,通过对这4种沥青混合料采用马歇尔击实法击实75次与采用法国旋转压实仪压实100次的孔隙率比较来看,随着沥青用量的增加,沥青混合料的孔隙率都呈现减小的趋势,马歇尔击实方法的压实功小于法国旋转压实仪的击实功。两种击实方法下的孔隙率差值如图9所示。

从图9中可以看出,对于基质沥青70号,两种击实方法下,孔隙率相差比较小,大约小于1%,而对于20号硬质沥青来说,两种击实方法下,孔隙率相差比较大,大约在1.0%~2.0%,因此对于硬质沥青来说,马歇尔击实方法更不容易压实。

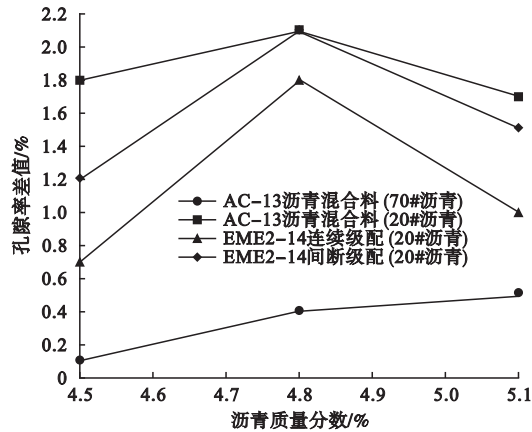


图9 两种击实方法下的孔隙率差值

Fig. 9 The porosity difference of the two compaction methods

2.2 美国、法国不同孔隙率计算方法下的体积指标

美国和法国旋转压实,在计算孔隙率的方法上也有差异^[5],美国、法国孔隙率:

美国标准孔隙率计算式为

$$V_{\text{美标}} = (1 - \rho_a / \rho_{\text{max}}) \times 100 \quad (1)$$

式中: $V_{\text{美标}}$ 为美国标准计算出的孔隙率; ρ_a 为试件毛体积密度, g/cm^3 ; ρ_{max} 为试件最大理论密度, g/cm^3 。

法国标准孔隙率计算式为

$$V_{\text{法标}} = (1 - h_{\text{min}} / h_i) \times 100 \quad (2)$$

式中: $V_{\text{法标}}$ 为法国标准计算出的孔隙率; h_{min} 为试件最小高度,mm; h_i 为试件旋转*i*次后试件高度,mm。

因为两种旋转压实孔隙率计算方法不同^[6],导致法国标准计算出的孔隙率比美国标准计算出的孔隙率稍大,为了比较两种旋转压实体积指标,都要用两种公式计算^[7]。从两种孔隙率计算方法来看,美国采用的是毛体积密度、法国采用的表观密度计算孔隙率^[8-9],因此这两种方法存在较大的差异性,试验采用了93个EME2-14沥青混合料试件进行试验,试验结果比较如图10所示。

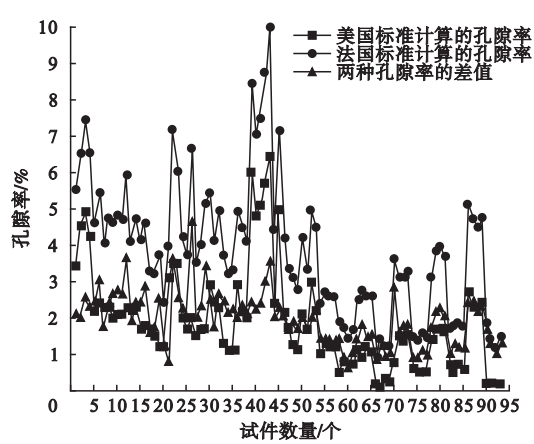


图 10 美国、法国标准计算的孔隙率对比图

Fig. 10 Contrast chart of porosity of calculation methods of American and French

从图 10 中可以看出,通过对试验的 93 个试件在采用美国毛体积密度和法国表观密度两种计算方法下的孔隙率比较发现,通过美国毛体积密度计算的孔隙率明显比法国通过表观密度计算的孔隙率小. 因为采用表观密度,把试件的表面孔隙率都计算在内,因此比采用美国毛体积密度偏大,同时进行统计分析,两种方法下的孔隙率相差大约 1.9%. 对美国、法国两种设计方法计算出的孔隙率进行回归分析,其回归方程为 $Y = 1.364 + 1.305 \times X$, 相关系数达 0.898 8,说明两种孔隙率计算方法的相关性比较高.

3 性能评价

在进行性能评价时,考虑到沥青路面的中面层为主要的承重层,是承受荷载产生的剪应力及保证面层强度的主要部分,因此采用 AC-20 沥青混合料(采用 70 号基质沥青)、EME2-14 沥青混合料(采用 50 号基质沥青并掺入高模量剂)进行沥青混合料性能评价. 其中,EME2-14 级配曲线如图 11 所示,AC-20 的体积指标见表 2 所示,性能评价技术要求参见《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004).

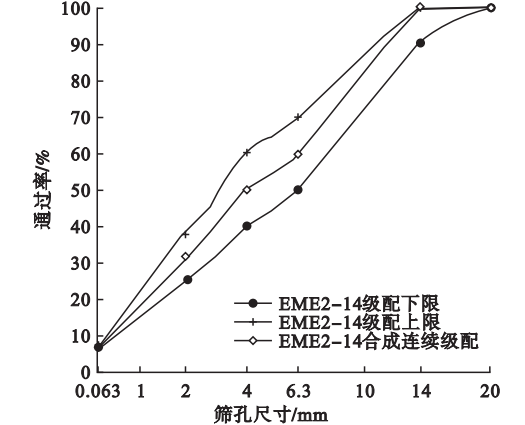


图 11 EME2-14 沥青混合料合成级配曲线

Fig. 11 Synthetic gradation curve of EME2-14asphalt mixture

表 2 AC-20 沥青混合料体积指标

Table 2 Volume index of AC-20 asphalt mixture

类别	孔隙率/ %	矿料间 隙率/%	饱和度/ %	稳定度/ kN	流值/ 0.1 mm
试验结果	4.5	13.6	66.6	12.20	31.5
技术要求	4~6	≥13.5	65~75	≥8	15~40

3.1 水稳定性评价

水稳定性评价采用了法国 Duriez 试验、美国修正 AASHTOT283 试验和中国的冻融劈裂试验、浸水马歇尔试验 4 种试验方法^[10-11]. 由于 EME2-14 试验室设计孔隙率和现场孔隙率基本相同,因而无法达到孔隙率(7±0.5)%的要求,经过几组试验的调试,最终确定采用修正 AASHTOT-283 试验^[12]进行 EME2-14 沥青混合料水敏感性评价时,孔隙率可以调整为(5.5±0.5)%. 采用多种试验方法评价 EME2-14 及其他沥青混合料的抗水损害性能,试验结果见表 3.

表 3 抗水损害性能评价

Table 3 Evaluation of water damage resistant performance

试验方法	试验强度比/%		技术要求
	EME2-14	AC-20	
法国多列士(Duriez)试验	87.7	79.7	≥75
汉堡轮辙试验	—	—	—
修正 AASHTOT283 试验	89.8	82.1	≥80
浸水马歇尔稳定度试验	98.4	86.8	≥80
冻融劈裂试验	89.4	76.3	≥75

(1)对于 EME2-14 和 AC-20 两种类型的沥青混合料都满足法国 Duriez 试验、美国修正 AASHTOT-283 试验和中国的冻融劈裂试验、浸水马歇尔试验^[13]等 4 种抗水损害的性能评价方法,其中 EME2-14 沥青混合料的水稳定性好于 AC-20 沥青混合料.从这一点可以看出这两种混合料都满足了法国沥青混合料设计的第一水平.

(2)浸水马歇尔试验方法与冻融劈裂试验方法操作简单,易于推广,但其试件性能稳定性较差;AASHTOT283 试验与冻融劈裂试验的环境条件相同,但是比冻融劈裂试件的性能稳定性强,可以很好的评价沥青混合料的抗水损害性能.

(3)汉堡浸水车辙试验能较好地模拟实际路面在发生水损害时的条件和状态^[14],试件性能的稳定性好,通过试验并未达到其剥落拐点(见表 3),但其设备昂贵,不利于推广使用.法国 Duriez 试验方法和欧洲间接拉伸试验与实际路用情况并不完全符合^[15],没有经过冻融循环环节,也没有解决交通荷载作用下动水压力和真空负压抽吸对水损的影响,但其试件性能稳定性和评价指标都较好,操作简单,易于操作,适合推广.

通过比较分析,对沥青混合料水稳定性要求比较高的混合料,可以选择 AASH-TOT283 试验方法对沥青混合料进行评价抗水损害能力,可以用冻融劈裂试验和 AASH-TOT283 试验代替法国 Duriez 试验对 EME2 沥青混合料评价其水损害的性能.

3.2 高温抗车辙性能评价

采用法国车辙试验、汉堡车辙试验、和中国车辙试验进行抗车辙性能的试验评价^[15],主要试验结果如表 4、表 5 所示.技术要求参见《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)、法国《沥青混合料-热拌沥青混合料试验方法》(BS EN 12697-3:2005).

表 4 抗车辙性能评价

Table 4 Evaluation of rutting resistance performance

类别	沥青混合料	法国车辙试验 变形率/%	汉堡车辙试验 20 000 次最大变形/mm	中国车辙试验 动稳定度/ (次·mm ⁻¹)	
				温度 60 ℃, 轮压	温度 70 ℃, 轮压
				0.7 MPa	1.0 MPa
				11 375	6 012
试验结果	EME2-14	1.59	2.08	1 112	—
技术要求	AC-20	10.15	9.7	≥1 000	—
	EME2-14	≤7.5	≤10	≥1 000	—
	AC-20	—	≤10	≥1 000	—

表 5 EME2-14 不同沥青的针入度及沥青混合料汉堡试验

Table 5 Hamburg test of EME2-14 asphalt mixture for different asphalts

沥青类别	沥青针入度试验 针入度/ 0.1 mm	EME2-14 沥青混合料 汉堡车辙试验 车辙深度/ mm
10 号沥青	10.7	—
20 号沥青	15.0	2.05
5% 岩沥青 + 20% 10 号沥青 + 75% 70 号沥青	22.5	2.18
40% 10 号沥青 + 60% 70 号沥青	25.8	2.52
25% 10 号沥青 + 75% 50 号沥青	31.3	2.84
30% 10 号沥青 + 70% 70 号沥青	35	3.62
92% 70 号沥青 + 8% 岩沥青	39.3	4.26
50 号沥青	46.4	4.25
70 号沥青	60	14.6

从表 4 中可以看出:用几种试验方法表征混合料高温稳定性,趋势是相同的;从表 5 中可以看出,随着沥青针入度的增大,汉堡试验的变形深度是增加的,且逐渐高于《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中≤20 的要求,因此对 EME2-14 类型的沥青混合料应该采用低标号沥青.同时,EME2-14 沥青混合料在采用 10 号沥青时试件碾压 9 000 次时破坏,在采用 70 号沥青时

车辙深度比 AC-20 沥青混合料采用 70 号沥青时的车辙深度大,且大于碾压 10 000 次时 $\leq 4\text{ mm}^{[16]}$,说明对于 EME 沥青混合料的高温抗剪切能力来自于沥青胶结料,而 AC-20 主要是粗集料形成骨架结构,内摩擦角增大来抵抗高温抗车辙能力.我国车辙试验用于评价 EME2-14 的高温稳定性,试验结果变异系数为 35.25%,不符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中变异系数小于 20%的技术要求,说明动稳定度这个指标存在一定的缺陷;同时动稳定度大于 6 000 次/mm,根据动稳定度试验特征,可知该方法已经不适合进行 EME2 这种高温性能优异的混合料,如果评价这种高温抗车辙能力比较强的混合料时,可以提高试验温度到 70℃,同时增大轮压至 1.0 MPa.

从 AC-20、EME2-14 两种沥青混合料的中法国车辙数据来看,AC-20 沥青混合料满足中国车辙的技术要求,不满足法国车辙的技术要求,说明法国车辙的试验方法更为严格,能更好地评价沥青混合料高温抗车辙性能.由于法国车辙试验方法,是检测试件经受指定的荷载循环 100 次,300 次,1 000 次,3 000 次,10 000 次,30 000 次才停止设备的运转^[16],通过计算试件一系列的测量值所得的成比例的车辙深度^[17],根据 15 个变形值和试件的厚度得出车辙,而且通过法国试验方法可以看出,法国车辙试验能更好地检测试件在高温产生车辙时每个阶段,数据更具有可信度.沥青混合料高温抗车辙性能评

价方法法国车辙试验和汉堡试验比较合适,中国的轮碾车辙试验应该提出更合适、更科学的评价指标,比如变形速率.

3.3 模量性能评价

笔者针对两点弯曲模量、ITSM 模量试验、动态模量(AASHTOTP79)4 点弯曲模量试验方法进行沥青混合料模量研究^[18],其模量试验参数见表 6,试验结果见表 7.技术要求参见《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)、法国《沥青混合料-热拌沥青混合料试验方法》(BS EN 12697—3:2005).由表 6 可知,两点弯曲模量和四点弯曲模量属于弯拉模量,可以疲劳试验结合起来;其他模量属于抗压或间接拉伸模量不能与疲劳试验结合起来,这 4 种模量都属于动态模量.从表 7 中,对于 EME2-14 沥青混合料,其混合料法国两点弯曲试验的复数模量为 14 107 MPa,满足其规范技术要求.另外此沥青混合料的动态模量在温度 15℃、频率 10 Hz 的情况下,其动态模量值为 18 087 MPa,说明用动态模量评价 EME 沥青混合料时,要满足法国混合料设计水平三模量要求^[19],其动态模量在温度 15℃,频率 10 Hz 时不能小于 18 000 MPa.

对于 EME2 沥青混合料,采用 50 号沥青比采用 15 号沥青时的沥青混合料的动态模量值小,由于 15 号沥青属于低标号沥青,增强了该类型沥青混合料的强度.对于 AC-20 沥青混合料法国的两点弯曲的复数模量不满足法国规范的要求.

表 6 沥青混合料模量试验参数汇总
Table 6 Parameters summary in modulus test of asphalt mixture

试验方法	试件规格	试验温度/ ℃	加载条件		波形
			频率/Hz	时间/ms	
两点弯曲复数模量数模量试件尺寸	梯形	15 或 20	10	—	动态连续
ITSM 模量试验	Φ100×50 mm	15 或 20	—	124	脉冲波
四点弯曲模量试验	380 mm×63 mm×50 mm	15 或 20	10	—	动态连续
动态模量试验	Φ100×150 mm	-10 或 60	10	—	动态连续

表 7 不同试验方法模量性能评价

Table 7 Modulus performance evaluation in different test methods

试验方法	试验条件			模量/MPa			
	温度/℃	频率/ Hz	时间/μs	试验结果			技术要求
				EME2-14 (50#沥青及 抗高模量剂)	EME2 15 号沥青	AC-20 70 号沥青	
法国两点弯曲试验	15	10	—	14 107	—	11 308	>14 000
法国两点弯曲试验	20	10	—	11 244	—	—	>14 000
ITSM 模量试验	15	—	124	13 617	24 430	—	>14 000
ITSM 模量试验	20	—	124	9 210	19 434	—	>14 000
四点弯曲模量试验	10	—	—	—	19 200	—	>14 000
动态模量试验	15	10	—	18 087	24 315	8 200	>14 000

3.4 疲劳性能评价

采用 4 点弯曲疲劳试验和两点弯曲疲劳试验^[20],评价 50 号沥青 EME2 以及 70 号沥青 AC-20 沥青混合料抗疲劳性能,试验结果如表 8~表 11 所示。

表 8 EME2-14 沥青混合料(50#沥青)四点弯曲疲劳试验结果

Table 8 Results in four point bending fatigue test of EME2-14 asphalt mixture (50# asphalt)

应变/ 10^{-6}	试件数量/个	美国标准 孔隙率/%	疲劳次数
250	1	1.3	26 500
125	5	0.8	307 000
65	6	0.8	>1 433 167

表 9 AC-20 沥青混合料(70#沥青)四点疲劳试验结果

Table 9 Results in four point fatigue test of AC-20 asphalt mixture (70# asphalt)

编号	应变/ 10^{-6}	孔隙率/%	疲劳次数
1	130	6.6	501 055
2	130	7.1	536 492
3	130	7.3	838 360
平均值	130	7.0	625 302

表 10 EME2 沥青混合料(50#沥青)两点弯曲疲劳试验结果

Table 10 Results in two point bending fatigue test of EME2 asphalt mixture (50# asphalt)

应变/ 10^{-6}	试件数量/个	法国标准 孔隙率/%	模量/MPa	疲劳次数
160	4	3.2	16 964	370 344
130	6	3.6	15 956	1 822 525

表 11 AC-20 沥青混合料(70#沥青)两点弯曲疲劳试验结果

Table 11 Results in two point bending fatigue test of AC-20

asphalt mixture (70#asphalt)				
编号	应变/ 10^{-6}	孔隙率/%	模量/MPa	疲劳次数
1	130	8.5	12 065	89 256
2	130	8.9	11 284	66 924
3	130	8.0	10 953	207 272
4	130	7.2	10 930	140 464
平均值	130	8.2	11 308	125 979

由表 8~表 10 可知,两种疲劳试验方法得出的试验结果趋势是相同的,初步确定可以采用 4 点弯曲疲劳试验代替两点弯曲疲劳试验;对于 EME2-14 沥青混合料在这两种方法下,在 10℃、25 Hz 条件下 100 万次作用下疲劳变形可达 160×10^{-6} ,满足法国《沥

青混合料—热拌沥青混合料试验方法》(BS EN 12697—3:2005)不低于 130×10^{-6} 的要求,同时在疲劳变形达到 130×10^{-6} 时得出的疲劳试验结果都大于 100 万次,说明设计的 EME2-14 具有较高的抗疲劳性,此次高模量沥青混合料 EME2-14 完成整个的沥青混合料设计.

从表 11 中可以看出 70 号 AC-20 沥青混合料的不满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)要求,另外从表 9 疲劳试验数据可以看出,在应变达到 130×10^{-6} 时疲劳次数为 625 302 次,说明其混合料抗疲劳性比

EME 沥青混合料的抗疲劳性能差.

3.5 低温性能评价

由于法国气候温和,温差较小,故法国沥青混合料设计不考虑低温性能,但是低温性能是沥青混合料较为重要的性能之一^[20]. 因此对 EME2-14 和 AC-20 沥青混合料进行低温弯曲性能试验,试验结果如表 12、13 所示. 技术要求参见《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)、法国《沥青混合料—热拌沥青混合料试验方法》(BS EN 12697—3:2005)、《美国 AASHTO 路面结构设计指南》(AASHTO GDPS-4).

表 12 EME2(50 号沥青)小梁弯曲试验结果

Table 12 Results in trabecular bending test of EME2 (50# asphalt)							
试件编号	孔隙率/%	最大荷载/kN	跨中挠度/mm	抗弯拉强度/MPa	劲度模量/MPa	破坏应变/ 10^{-6}	技术要求 应变/ 10^{-6}
1	1.1	1.220	0.360	9.89	5 234.5	1 890.0	$\geq 2\,000$
2	1.1	1.253	0.406	10.20	4 773.8	2 137.6	$\geq 2\,000$
3	0.9	1.248	0.438	10.05	4 372.1	2 299.5	$\geq 2\,000$
4	1.0	1.238	0.500	9.90	3 740.2	2 647.5	$\geq 2\,000$
5	0.7	1.395	0.391	11.40	5 537.2	2 058.6	$\geq 2\,000$
平均值	1.0	1.271	0.419	10.29	4 731.6	2 206.6	$\geq 2\,000$

表 13 AC-20(70#沥青)小梁弯曲试验结果

Table 13 Results in trabecular bending test of AC – 20 (70# asphalt)						
试件编号	最大荷载/ kN	跨中挠度/ mm	抗弯拉强度/ MPa	劲度模量/ MPa	破坏应变/ 10 ⁻⁶	技术要求 应变/10 ⁻⁶
1	1.251	0.425	10.01	4 446.4	2 250.4	≥2 000
2	1.152	0.410	9.33	4 309.2	2 164.8	≥2 000
3	1.204	0.409	9.84	4 610.6	2 135.0	≥2 000
4	1.311	0.396	10.84	5 226.9	2 073.1	≥2 000
5	1.201	0.410	9.68	4 486.0	2 158.7	≥2 000
6	1.253	0.395	10.01	4 800.8	2 085.6	≥2 000
平均值	1.229	0.408	9.95	4 646.6	2 144.6	≥2 000

由表 12 和表 13 可知,EME2-14 的低温弯曲性能与 AC-20 的低温弯曲性能相当,说明 EME2-14 沥青混合料可以在我国典型路面结构当中作为中、下面层的沥青混合料.

4 技术指标推荐

通过对 EME2 沥青混合料的中法美沥青混合料设计方法与评价体系的研究和分析,提出 EME2 沥青混合料设计推荐指标及指标范围(见表 14).

表 14 EME2 沥青混合料推荐设计指标及技术要求

Table 14 Recommended design targets and technical requirements of EME2 asphalt mixture

指标类型	技术指标推荐		参考规范编号	参考条件
	试验方法	推荐指标		
体积指标	体积法	孔隙率 < 6%	EN12697 - 31	可选法国仪器
	毛体积法	孔隙率 < 4%	AASHTOT312	—
	毛体积法	矿料间隙率 13% ~ 16%	AASHTOT312	—
	毛体积法	有效沥青饱和度 > 78%	AASHTOT312	—
性能评价指标	Duriez 试验	强度比 ≥ 75%	EN12697 - 12	—
	AASHTOT283 试验	强度比 ≥ 80%	AASHTOT283 - 07	孔隙率 (5.5 ± 0.5) %
	冻融劈裂试验	强度比 ≥ 75%	JTJ052 - 2000	—
	法国车辙试验	变形率 ≥ 7.5 %	NFP98 - 252	可选法国仪器
	中国车辙试验	动稳定度 > 3 000 次/mm	T0719 - 2000	70 ℃, 1.0 kPa
	汉堡试验	20 000 次最大变形 ≤ 10 mm	ASSHTOT324 - 04	—
	两点弯曲模量试验	模量 ≥ 14 000 MPa	NFP98260 - 2	可选法国仪器
	动态模量试验	模量 > 18 000 MPa	AASHTOTP79	—
	ITSM 模量试验	模量 > 13 000 MPa	EN12697 - 26	可选法国仪器
	两点弯曲疲劳试验	疲劳应变 > 130 × 10 ⁻⁶	EN12697 - 24	可选法国仪器
	四点弯曲疲劳试验	疲劳应变 ≥ 130 × 10 ⁻⁶	ASSHTOT321	—
	低温小梁弯曲试验	弯曲应变 ≥ 2 000 × 10 ⁻⁶	JTJ052 - 2000	—

5 结 论

(1)评价 EME2 沥青混合料的水损坏性能可以用中国的冻融劈裂试验和美国的修正 AASHTOT - 283 试验代替法国 Duriez 试验进行评价,但是其试件的孔隙率要求为 (5.5 ± 0.5) %;高温抗车辙性能的评价,可以采用中国车辙试验 (温度 70 ℃,轮压 1.0 MPa)以及汉堡试验进行评价;力学性能评价,可以采用动态模量 (温度 15 ℃,频率 10 Hz)进行控制以及采用 4 点弯曲疲劳试验代替法国的两点弯曲试验进行疲劳性能评价,由于我国气候的原因,因此也要考虑低温性能,采用低温弯曲小梁进行低温评价。

(2)通过对中国、法国、美国不同沥青混合料性能评价方法的试验对比研究,EME2 沥青混合料具有良好的水稳定性、抗高温抗车辙、较高的模量的力学性能、抗疲劳性能,同时满足其低温指标的要求,表明 EME2 沥

青混合料是一种可值得推荐和推广的沥青混合料类型。

参考文献

[1] LEVENBERG E. Smoothing asphalt concrete complex modulus test data[J]. Journal of materials in civil engineering,2011,23(5):606 - 611.

[2] 杨朋. 高模量沥青及其混合料特性研究[D]. 广州:华南理工大学,2012.
(YANG Peng. Characteristic behavior of high modulus asphalt and high modulus asphalt mixtures [D]. Guangzhou:South China University of Technology,2012.)

[3] 沙爱民,周庆华,杨琴. 高模量沥青混凝土材料组成设计方法[J]. 长安大学学报(自然科学版),2009,29(3):1 - 5.
(SHA Aimin, ZHOU Qinghua, YANG Qin. Material composition design method for high modulus asphalt concrete [J]. Journal of Chang'an university (natural science edition), 2009,29(3):1 - 5.)

[4] 马翔,倪富健,陈荣生. 沥青混合料动态模量试验及模型预估[J]. 中国公路学报,2008,21(3):35 - 39.

- (MA Xiang, NI Fujian, CHEN Rongsheng. Dynamic modulus test of asphalt mixture and prediction model [J]. China journal of highway and transport, 2008, 21(3): 35 - 39.)
- [5] 杨海, 魏为成. PRM 高模量沥青混合料性能试验研究[J]. 石油沥青, 2012, 25(6): 40 - 45.
- (YANG Hai, WEI Weicheng. Experimental study on performance of high modulus asphalt mixture with PRM [J]. Petroleum asphalt, 2012, 25(6): 40 - 45.)
- [6] 周庆华. 高模量沥青混凝土性能与路面结构研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- (ZHOU Qinghua. Study on performance and pavement structure of high modulus asphalt concrete [D]. Xi'an: Chang'an university, 2010.)
- [7] WU C Y, JING B, LI X Y. Performance evaluation of high-modulus asphalt mixture[J]. Advanced materials research, 2011, 311/312/313: 2138 - 2141.
- [8] GENG H, CLOPOTEL C S, BAHIA H U. Effects of high modulus asphalt binders on performance of typical asphalt pavement structures [J]. Construction and building materials, 2013, 44(3): 207 - 213.
- [9] 崔华杰, 李立寒, 刘栋. 高模量沥青混凝土低温抗裂性能研究[J]. 公路交通科技, 2014, 31(2): 37 - 41.
- (CUI Huajie, LI Lihan, LIU Dong. Research on low temperature anti-crack performance of high modulus asphalt mixture [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2014, 31(2): 37 - 41.)
- [10] 王昊鹏, 杨军, 施晓强. 高模量沥青混合料动态模量及其主曲线研究[J]. 公路交通科技, 2015, 32(8): 12 - 17.
- (WANG Haopeng, YANG Jun, SHI Xiaoqiang. Research on dynamic modulus and master curve of high modulus asphalt mixture [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2015, 32(8): 12 - 17.)
- [11] 周庆华, 沙爱民. 高模量沥青混凝土路面疲劳研究[J]. 土木工程与管理学报, 2013, 30(1): 30 - 34.
- (ZHOU Qinghua, SHA Aimin. Research on fatigue performance for high modulus asphalt concrete pavement [J]. Journal of civil engineering and management, 2013, 30(1): 30 - 34.)
- [12] 李洪斌. 高模量沥青混合料路用性能的试验研究[J]. 公路, 2011, 33(2): 123 - 126.
- (LI Hongbin. Research on pavement performance of high modulus asphalt concrete [J]. Highway, 2011(2): 123 - 126.)
- [13] LEE H J, LEE J H, PARK H M. Performance evaluation of high modulus asphalt mixtures for long life asphalt pavements [J]. Construction and building materials, 2007, 21(5): 1079 - 1087.
- [14] 王刚, 刘黎萍, 孙立军. 高模量沥青混凝土抗变形性能研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2012, 40(2): 217 - 222.
- (WANG Gang, LIU Liping, SUN Lijun. Research on anti-deformation properties of high modulus asphalt concrete [J]. Journal of tongji university (natural science edition), 2012, 40(2): 217 - 222.)
- [15] HOFKO B. Addressing the permanent deformation behavior of hot mix asphalt by triaxial cyclic compression testing with cyclic confining pressure [J]. Journal of traffic and transportation engineering (english edition), 2015, 2(1): 17 - 29
- [16] 韦金城, 庄传仪, 高雪池. 基于疲劳损伤的沥青路面设计温度及预估模型研究[J]. 公路交通科技, 2010, 27(6): 6 - 10.
- (WEI Jincheng, ZHUANG Chuanyi, GAO Xuechi. Design temperature and its prediction model for asphalt pavement based on fatigue failure [J]. Journal of highway and transportation, 2010, 27(6): 6 - 10.)
- [17] CAI X, Wang D Y. Evaluation of rutting performance of asphalt mixture based on the granular media theory and aggregate contact characteristics [J]. Road materials and pavement design, 2013, 14(2): 325 - 340.
- [18] 欧阳伟. 高模量沥青混凝土抗车辙性能研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- (OUYANG Wei. Study on application technology of high modular asphalt concrete [D]. Shenyang: Northeastern University, 2010.)
- [19] ZHAO Y Q, LIU H, BAI L, et al. Characterization of linear viscoelastic behavior of asphalt concrete using complex modulus [J]. Journal of materials in civil engineering, 2013, 25(10): 1543 - 1548.
- [20] WANG H N, HAUNG Z H, LI L, et al. Three-dimensional modeling and simulation of asphalt concrete mixtures based on X-ray CT [J]. Journal of traffic and transportation engineering (english edition), 2014, 1(1): 55 - 61.