

文章编号: 1002-0268 (2007) 04-0007-04

沥青稳定基层混合料疲劳性能试验研究

朱洪洲¹, 何兆益¹, 黄晓明², 吴国雄¹

(1. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074; 2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 对5种级配的沥青稳定基层混合料进行了控制应变的三分点小梁弯曲疲劳试验, 分析了级配、沥青用量、沥青品种和温度对沥青稳定基层疲劳性能的影响规律。研究表明: 悬浮密实型沥青混合料的疲劳性能较嵌挤型沥青混合料好得多; 沥青用量增加, 疲劳寿命显著增长, 由马歇尔方法确定的最佳沥青用量并非沥青混合料疲劳性能最佳的沥青用量; 沥青混合料疲劳寿命随试验温度的提高而显著增长; 采用改性沥青的沥青混合料疲劳性能较普通沥青有一定改善。这些规律可以为沥青稳定基层的混合料设计提供参考。

关键词: 道路工程; 沥青稳定基层; 弯曲疲劳试验; 疲劳性能

中图分类号: U416.03

文献标识码: A

Experimental Research on Fatigue Performance of Asphalt-treated Base Mixtures

ZHU Hong-zhou¹, HE Zhao-yi¹, HUANG Xiao-ming², WU Guo-xiong¹

(1. School of Civil Engineering Architecture and Construction, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Transportation, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract: Flexible base asphalt pavements have been used widely in high grade roads in China. The fatigue performance is one of the most important properties for asphalt-treated base mixtures. Firstly, five kinds of asphalt mixtures were tested with the third-point flexure fatigue test under strain controlled mode with the effects of aggregate gradation, asphalt content, asphalt property and test temperature on fatigue performance of asphalt-treated base analyzed, which can be considered in asphalt-treated base mixtures design. The result shows that the fatigue performance of framework-dense mixtures is better than suspend-dense mixtures. Fatigue life is improved markedly by the increase of bitumen content and the optimal asphalt content (OAC) determined by Marshall method is less than the OAC with best fatigue performance. Fatigue life of asphalt mixture in higher temperature is longer than that in lower temperature. The asphalt mixture with modified asphalt is better than ordinary asphalt mixture in terms of fatigue performance.

Key words: road engineering; asphalt-treated base; flexure fatigue test; fatigue performance

近年来, 半刚性基层材料性能缺陷以及由此引起的沥青路面早期破坏现象受到道路建设者和管理者的广泛重视。调查表明, 与半刚性基层沥青路面相比, 以沥青稳定碎石和未处治料为基层的柔性基层沥青路面在国内外的应用中表现出了较好的使用性能和较长的使用寿命^[1]。因此, 柔性基层沥青路面在我国高等级公路上的应用日益广泛, 对其性能的研究也越来越深入。

在柔性基层沥青路面中, 沥青稳定基层与下置未处治料层或土基的模量比较大, 因此在车辆轮载作

用下, 沥青稳定基层层底产生较大的拉应力和拉应变。在交通荷载反复作用下, 沥青稳定基层层底首先产生疲劳开裂, 随后裂缝延伸至路面, 导致路面整体强度失效。多年使用经验表明, 这种疲劳破坏是柔性基层沥青路面主要的破坏模式之一^[2]。因此沥青稳定基层的耐疲劳性能直接影响沥青路面的使用年限, 也是沥青稳定基层混合料组成设计要考虑的关键性能指标。

本文对5种级配的沥青稳定基层混合料进行了控制应变的三分点小梁弯曲疲劳试验, 分析了级配、沥青

收稿日期: 2005-11-14

基金项目: 重庆市科技攻关项目 (2004-8367); 重庆市教委科技项目 (KJ060401)

作者简介: 朱洪洲 (1976-), 男, 山东莱州人, 副教授, 博士, 研究方向为路基路面工程. (zhuhongzhouchina@126.com)

用量、沥青品种和温度对沥青稳定基层疲劳性能的影响规律,可以为沥青稳定基层混合料的设计提供参考。

1 原材料性质

1.1 沥青

选用两种沥青,分别为重交 70[#] 沥青和 MAC 改性沥青,其主要技术性质见表 1。

表 1 沥青的技术性质

Tab 1 Technology properties of asphalt		
项目	70 [#]	MAC
针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/(0.01 mm)	64	55
延度(15 ℃)/cm	> 100	41
软化点/℃	51.2	90
密度(g·cm ⁻³)	1.025	1.02

1.2 集料

表 4 集料级配

Tab 4 Aggregate gradation of asphalt mixtures

级配类型	通过下列筛孔 (方孔筛 mm) 的质量百分率 %												
	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC20	100	100	97.5	82.5	71.0	62.0	48.0	37.0	27.0	21.0	15.0	10.0	6.0
ATB25	100	95.0	70	58.0	52.0	42.0	30.0	23.5	17.5	13.0	9.5	6.5	5.0
ATB30	95.0	80.0	62.5	55.0	49.5	41.0	30.0	23.5	17.5	13.0	9.5	6.5	5.0
LSM30 iv	93.8	75	53.2	43.8	36.9	26.3	19.5	15.4	11.6	8.8	6.7	4.8	3.8
LSM30 ㊟	94.2	76.6	56.2	47.5	41.0	31.1	22.8	17.8	13.3	9.9	7.2	10.0	6.0

2 马歇尔方法确定最佳沥青用量

马歇尔方法是目前应用最为广泛的沥青混合料设计方法。根据规范中相关规定和已有的实践经验,估计适宜的油石比,以估计的油石比为中值,按 0.5% 油石比为间隔,取 5 个不同的油石比,如 ATB30 的 5 个油石比为 2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%,分别制备沥青混合料的马歇尔试件,每个沥青用量制 6 个试件。

沥青混合料的拌和与击实条件为:矿粉加热温度为 163 ℃;沥青加热温度为 145 ℃ (70[#]), 180 ℃ (MAC);拌和锅加热温度为 145 ℃;拌和时间为 3 min;混合料试件击实终了温度为 135 ℃。

由马歇尔试验确定的 5 种沥青混合料的最佳沥青用量及其体积参数见表 5。

表 5 混合料马歇尔试验结果

Tab 5 Marshall test result of asphalt mixtures								
级配类型	毛体积密度 (g·cm ⁻³)	理论密度 (g·cm ⁻³)	VV /%	VMA /%	VFA /%	稳定度 (kN)	流值 (0.1 mm)	最佳沥青用量 /%
AC20	2.382	2.529	5.822	14.708	60.418	7.33	23	4.4
ATB25	2.396	2.512	4.609	14.617	68.465	8.27	25	3.4
ATB30	2.414	2.495	3.244	14.392	77.463	10.53	28	3.4
LSM30 iv	2.406	2.478	2.907	15.073	80.712	9.85	30	3.4
LSM30 ㊟	2.403	2.462	2.390	15.583	84.660	9.05	35	3.4

集料采用石灰岩,粗、细集料密度见表 2 和表 3,其性能均符合要求。

表 2 粗集料密度

Tab 2 Density of coarse aggregate

筛孔尺寸/mm	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75
密度(g·cm ⁻³)	2.710	2.706	2.708	2.700	2.697	2.704	2.677

表 3 细集料密度

Tab 3 Density of fine aggregate

筛孔尺寸/mm	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	< 0.075
密度(g·cm ⁻³)	2.718	2.700	2.692	2.693	2.691	2.686	2.800

本研究采用 5 种级配,如表 4 所示。其中 LSM30 iv 和 LSM30 ㊟为空隙率不同的两种大碎石沥青混合料级配。

3 试验设备和试验方法

试验设备采用气动伺服 UTM4 试验机系统,见图 1。按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)^[3]中 T0703-93 规定的轮碾压实并切割成小梁的方法成型试件,小梁宽、高分别为 63.5、50 mm,梁长为 381 mm,两端支点距离 355.5 mm。

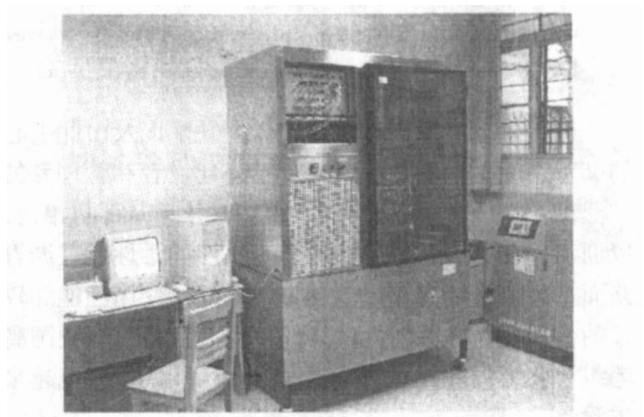


图 1 UTM4 多功能材料试验系统

Fig 1 UTM4 multifunctional material test system

加载方式为常应变三分点加载,加载点间距为 118.5 mm (图 2)。

加载波形和频率为 10 Hz 连续式半正矢波荷载。试验温度: 15 ℃和 25 ℃。

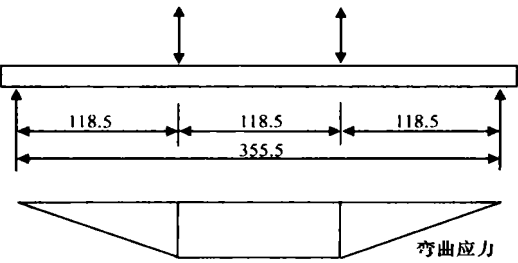


图2 三分点小梁弯曲疲劳试验示意图 (单位: mm)

Fig 2 Schematic of third-point flexure fatigue testing (unit: mm)

常应变模式的疲劳试验过程中, 试件不会出现明显的断裂破坏。通常认为当混合料的劲度达到初始劲度的 50% 时试件破坏, 此时的重复荷载的作用次数为疲劳寿命^[4]。

4 疲劳试验结果分析

本文采用常应变的三分点小梁弯曲疲劳试验, 对不同类型的沥青稳定基层混合料, 在不同条件下进行了较系统的试验研究, 分析了不同级配类型, 不同沥青和沥青用量以及不同试验温度对沥青混合料疲劳性能的影响。

4.1 不同级配混合料的疲劳性能

图3为AC20 iv、ATB25、ATB30、LSM30 iv和LSM30 ㊟的疲劳曲线。

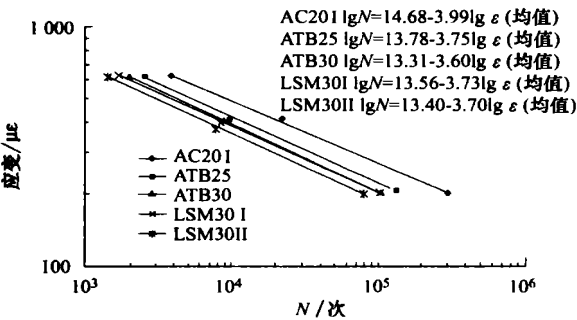


图3 不同级配沥青混合料疲劳曲线

Fig 3 Fatigue curves of different asphalt mixtures

由图3可见, 5种沥青混合料的弯拉疲劳曲线基本平行, 曲线的斜率, 即: 疲劳方程 $N_f = K(\epsilon)^n$ 中的 n 值变化范围较小, 在 $-3.2 \sim -4.0$ 之间, 与以往研究成果吻合较好, 如美国 AI 设计法取 n 值为 -3.291 , 壳牌设计法取为 -4.0 ^[5]。 K 值反映疲劳曲线位置, 从而直观反映了不同沥青混合料疲劳性能的优劣。由图3知, 5种试验沥青混合料的疲劳性能由优至劣依次为: AC20 iv $\rightarrow$ ATB25 $\rightarrow$ ATB30 $\rightarrow$ LSM30 iv $\rightarrow$ LSM30 ㊟。

作为沥青稳定基层材料的 ATB25、ATB30、LSM30 iv、LSM30 ㊟型混合料均为嵌挤型沥青混合料, 其疲劳性能相差不大, 而 AC20 iv型混合料属于悬浮密实型沥青混合料, 其疲劳性能较嵌挤型沥青混合料好得多, 当应变水平为 $400 \mu\epsilon$ 时, AC20 iv型混合料的疲劳寿命是 ATB30 型混合料的 2.48 倍。

4.2 沥青用量对疲劳性能的影响

在集料级配一定的情况下, 沥青用量增加, 沥青饱和度提高, 沥青膜厚度增加, 会显著影响沥青混合料的疲劳寿命。由图4可以看出, 对于 ATB30 沥青混合料, 沥青用量增加, 疲劳寿命显著增长, 沥青用量由 2.8% 提高到 4.0%, 疲劳寿命延长了 162%。其中 3.4% 是由马歇尔方法确定的最佳沥青用量, 显然其并非沥青混合料疲劳性能最佳的沥青用量。

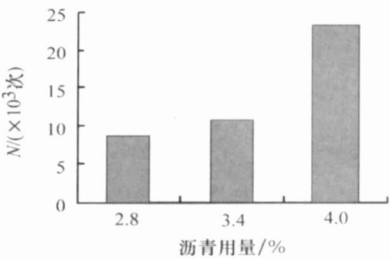


图4 沥青用量对沥青混合料疲劳寿命的影响

Fig 4 Effect of asphalt content on fatigue life

4.3 温度对疲劳性能的影响

试验温度对沥青混合料疲劳寿命的影响较显著。在控制应力的加载模式下, 随着温度是降低, 疲劳寿命急剧增长。但是, 在采用控制应变的加载模式, 当试验温度较低时, 疲劳寿命对温度依赖较小; 而当温度增加时, 则疲劳寿命随之增长。温度对于疲劳寿命的影响可用混合料劲度来解释。温度在一定的限度内下降时, 沥青混合料的劲度就增大, 在控制应力的加载模式下, 试件在承受一定应力条件下产生的应变就小, 导致疲劳寿命增长; 而在控制应变的加载模式下, 试件在承受一定应变条件下产生的应力增大, 导致疲劳寿命减小。图5为不同试验温度条件下 ATB30

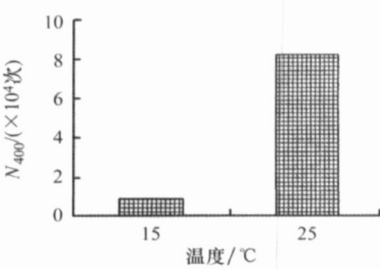


图5 试验温度对沥青混合料疲劳寿命的影响

Fig 5 Effect of temperature on fatigue life

型沥青混合料的疲劳寿命对比。

由图 5 可知，混合料疲劳寿命随试验温度的提高而显著增长，25℃时的疲劳寿命是 15℃时的 9.36 倍。因此路面在高温状态下，疲劳损伤的比例很小，在路面设计中，应主要考虑路面温度 30℃以下时的沥青混合料的疲劳性能。这也说明与控制应力的疲劳试验相比，控制应变的疲劳试验结果更符合沥青路面实际的疲劳状态，因为路面极少在夏天出现疲劳裂缝。

4.4 不同沥青的疲劳性能对比

与普通沥青相比，MAC 沥青主要表现为软化点高，延度小，因此其对混合料高温性能改善效果可能更明显。如图 6 所示，对于 ATB30 型混合料，采用 MAC 改性沥青比采用普通 70# 重交沥青的疲劳性能略有改善。这可能由于 MAC 沥青具有更好的粘结性所致。

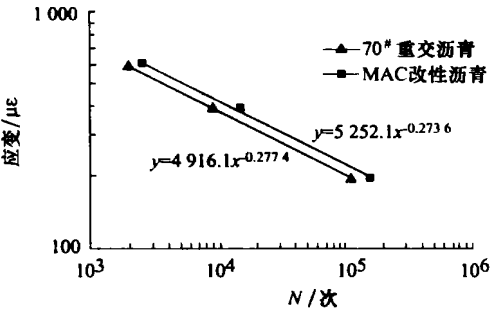


图 6 不同沥青的混合料疲劳曲线

Fig 6 Fatigue curves of mixtures with different type asphalt

5 结语

本文对不同级配的沥青稳定基层混合料进行了控制应变的三分点小梁弯曲疲劳试验，分析了级配、沥青用量、沥青品种和温度对沥青稳定基层疲劳性能的影响规律。试验结果分析表明：

(1) ATB25、ATB30、LSM30 iv、LSM30 ㊟型混合料均为嵌挤型沥青混合料，其疲劳性能相差不大，而 AC20 iv 型混合料属于悬浮密实型沥青混合料，其疲劳性能较嵌挤型沥青混合料好得多。

(2) 沥青用量增加，沥青混合料的疲劳寿命显著增长。为了获得疲劳性能较好的沥青稳定基层，应该将由马歇尔方法确定的最佳沥青用量适当提高。

(3) 沥青混合料疲劳寿命随试验温度的提高而显著增长，因此路面在高温状态下，疲劳损伤的比例很小。在路面设计中，应主要考虑路面温度 30℃以下时的沥青混合料的疲劳性能。与控制应力的疲劳试验相比，控制应变的疲劳试验结果更符合沥青路面实际的疲劳状态。

(4) 采用改性沥青的沥青混合料疲劳性能较普通沥青略有改善，这主要由于改性沥青具有更好的粘结性。

参考文献:

[1] 朱洪洲. 柔性基层沥青路面疲劳性能及设计方法研究 [D] . 南京: 东南大学交通学院, 2005.

[2] 黄仰贤. 路面分析与设计 [M] . 余定远, 等, 译. 北京: 人民交通出版社, 1998: 14- 19

[3] JTJ052-2000, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程 [S] .

[4] SHRP-A-312 Fatigue Response of Asphalt Mixtures [R] . N. C. R. USA, 1990

[5] 黄卫, 钱振东. 高等沥青路面设计理论与方法 [M] . 北京: 科学出版社, 2001.

[6] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能 [M] . 北京: 人民交通出版社, 2001.

[7] 邓学钧, 黄晓明. 路面设计原理与方法 [M] . 北京: 人民交通出版社, 2001.

[8] HARVEY J T, B TSAI. Effect of Asphalt Content and Air Void Content on Mix Fatigue and Stiffness [C] // Transportation Research Board 1 543. Washington D C: TRB, National Research Council, 1996: 38 - 45.