

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2016.03.020

动水作用下沥青混合料疲劳性能变化

胡 斌, 张肖宁

(华南理工大学 土木与交通学院, 510641 广州)

摘 要:为研究不同材料组成下沥青混合料抗疲劳性能受动水作用的影响,开发了模拟沥青路面受水、荷载、温度共同作用的室内试验设备并提出了试验方法.将6%、10%、14%3种空隙率,AC-16、SMA-16、SAC-163种级配,A-90、A-110、A-1303种沥青组合成7种沥青混合料;对比分析其动水作用前后的应力疲劳方程参数变化.结果表明:7种沥青混合料动水作用后的疲劳性能均有不同程度衰减.疲劳荷载作用下,动水作用后的混合料沥青膜更易剥落.10%空隙率是AC类混合料的较不利空隙率;其疲劳寿命的衰减程度最大且应力敏感性增加.10%空隙率时,悬浮结构沥青混合料抗疲劳性能受动水作用影响要比骨架结构的大,高标号沥青混合料所受影响比低标号的大.

关键词:沥青混合料;动水作用;室内模拟试验;疲劳寿命;衰减

中图分类号: U414 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2016)03-0120-05

Reduction of asphalt concrete anti-fatigue performance under hydrodynamic effect

HU Bin, ZHANG Xiaoning

(School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, 510641 Guangzhou, China)

Abstract: In order to research influences of hydrodynamic effect on asphalt mixture anti-fatigue performance under different material composition, laboratory equipment is developed for simulating the asphalt pavement affected by water, load and temperature. Seven types of asphalt mixture are generated with void ratio of 6%, 10% and 14%, gradation of AC-16, SMA-16 and SAC-16 and asphalt of A-90, A-110 and A-130; stress-fatigue equation parameters change of these mixture after hydrodynamic effect are analyzed by comparison. The results have shown that anti-fatigue performance of the asphalt mixture is reduced after hydrodynamic effect. Under fatigue load, asphalt membrane of mixture after hydrodynamic effect is easier to spalling. 10% is unfavorable void ratio of AC concrete, it can cause fatigue life reduction and stress sensitivity increase. When the void ratio is 10%, suspension structure of the asphalt concrete follows the larger influence of hydrodynamic effect on anti-fatigue performance than the skeleton structure and high penetration asphalt concrete is larger than low penetration in the influence.

Keywords: asphalt mixture; hydrodynamic effect; laboratory simulation test; fatigue life; decay

行车荷载与水产生的动水压力作用是沥青路面初期损坏的重要原因之一^[1-2].早期的研究主要针对对沥青混合料的水稳定性,试验主要基于水温耦合条件的室内模拟^[3-4],近年来的研究开始关注荷载、水与温度共同作用对沥青混合料的影响^[2-5].动水作用对沥青混合料性能影响的相关研究,目前有3个方面工作较少涉及:1)模拟实际沥青路面受动水作用的室内试验设备及方法;2)动水作用对沥青

混合料疲劳性能影响的研究;3)沥青混合料性能受动水作用影响的材料组成因素研究.为此,本文开发了一种模拟沥青路面受水、行车荷载、温度共同作用的室内动水冲刷试验设备,并提出了试验方法.对动水作用前后的试件进行劈裂疲劳试验;从空隙率、级配、沥青标号3个方面,分析沥青混合料抗疲劳性能受动水作用后的变化特点.

1 试件制备及动水作用

1.1 混合料试件制备

对空隙率、级配、沥青标号等3个因素分别选择3种条件,组合成7种规格的沥青混合料进行试验,

收稿日期: 2014-04-27.

基金项目: 国家自然科学基金(51038004).

作者简介: 胡 斌(1983—),男,博士研究生;

张肖宁(1951—),男,教授,博士生导师.

通信作者: 胡 斌, hbbhit@163.com.

其基本组成见表 1.

表 1 7 种规格沥青混合料基本组成

试样编号	空隙率/%	级配	沥青标号	试样代号
1#	6	AC-16 中值	A-110	6%-AC16-110
2#	10	AC-16 中值	A-110	10%-AC16-110
3#	14	AC-16 中值	A-110	14%-AC16-110
4#	10	SMA-16 中值	A-110	10%-SMA16-110
5#	10	SAC-16 中值	A-110	10%-SAC16-110
6#	10	AC-16 中值	A-90	10%-AC16-90
7#	10	AC-16 中值	A-130	10%-AC16-130

6%、10%、14%分别代表沥青路面压实合格、粗离析、严重粗离析 3 种状态下的现场空隙率^[6]. 混合料试件为圆柱形,采用旋转压实仪成型,尺寸为直径 100 mm、高 63.5 mm.

1.2 动水作用设备及试验条件

行车荷载产生的动水压力会对沥青路面形成冲刷和泵吸作用^[2],为此本文开发了模拟这一过程的室内试验设备,如图 1 所示. 设备主体为高强玻璃纤维材质圆筒,可放置一个马歇尔试件. 试验时,设备置于 MTS810 万能材料试验机控温箱内;利用试验机加载使筒内活塞上下往复运动,实现荷载、温度、水对沥青混合料试件的共同作用.

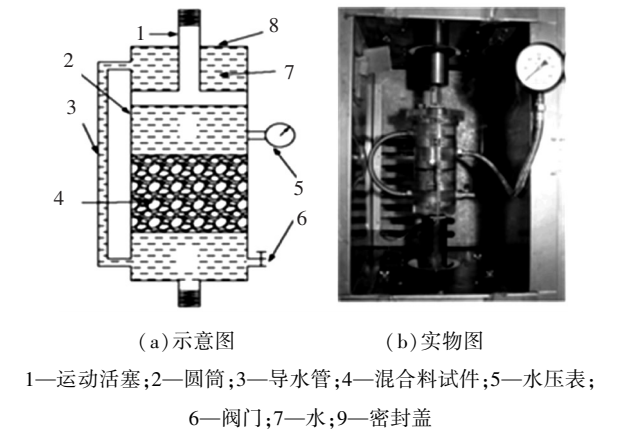


图 1 动水作用设备

蒋泽民、李少波等^[7-8]实测车速为 100 ~ 120 km/h时,路面动水压力约为 0.35~0.45 MPa. 康海贵等^[9]测得空气温度 30 ℃时,路表温度在 45 ℃左右. 本文考虑实际状况的模拟和室内实验的难易,初选不同试验条件水平,以动水作用后 10%-AC16-110 试件劈裂强度比 70%为标准;最终确定动水作用条件为冲刷频率为 10 Hz,动水压力为 0.4 MPa,作用时间为 15 min,水温为 45 ℃.

2 疲劳试验及结果

参考以往研究^[10-11]成果,采用劈裂疲劳试验方法,疲劳寿命为试件完全破裂时的累积作用次数. 试验采用应力控制模式;试验温度为 15 ℃;加载频率为 10 Hz;加载波形为连续半正矢波;应力比分别为 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7;平行试件为 6 个. 对 7 种沥青混合料基准(未受动水作用)及动水作用后试件进行疲劳试验,结果见表 2.

3 试验结果分析

沥青混合料疲劳方程的对数形式为

lg N_f = lg K - nlg σ. (1)

式中: N_f 为疲劳寿命,次; σ 为疲劳应力,MPa; n、K 均为疲劳方程参数,K 越大表明混合料在应力 σ = 1 时疲劳寿命越大,n 越大表明混合料疲劳寿命对应力的变化越敏感.

3.1 空隙率

6%、10%、14% 3 种空隙率的 AC-16 沥青混合料动水作用前后应力-疲劳寿命双对数曲线如图 2 所示,疲劳方程参数变化见表 3.

表 3 显示,3 种式样的 K 值由大至小的试样顺序依次为 6%-AC16-110、10%-AC16-110、14%-AC16-110,其动水作用后亦是如此,说明 AC 类沥青混合料的空隙率越小,抗疲劳性能越好. 图 2 中动水作用后曲线均位于基准曲线的下方,表明在 5 个应力等级下,其动水作用后的疲劳寿命均出现衰减.

由表 3 看出,空隙率 10%混合料的 K 值变化率为 -47.2%,表明在应力为 1 MPa 时,其疲劳寿命衰减了大约一半. 空隙率为 6%和 14%混合料的 n 值在动水作用后减小,表明其疲劳寿命对应力变化敏感性降低了,而空隙率为 10%混合料在动水作用后,其疲劳寿命对应力变化更敏感. 由此可认为 3 种空隙率中,10%为 AC 类混合料的较不利空隙率,其混合料受动水作用后的疲劳寿命不但衰减幅度最大,而且对应力变化最敏感.

10%-AC16-110 试件动水作用前后的疲劳试验开裂面如图 3 所示. 两种试件开裂面的集料几乎均没有破碎;未经动水作用试件开裂面上的集料绝大部分仍被沥青裹附(图中黑色部分);而动水作用后试件开裂面上的集料由于沥青剥离出现更多面积的裸露(图中白色部分). 由此看出,疲劳荷载作用下,动水作用后混合料的沥青膜更易剥落.

3.2 级配

空隙率为 10%的 SAC-16、SMA-16 沥青混合料动水作用前后应力-疲劳寿命双对数曲线见图 4, AC-16 曲线见图 2(b),疲劳方程参数变化见表 4.

表 2 7 种沥青混合料疲劳试验结果

试样	应力比	劈裂抗拉强/MPa		σ /MPa		N_f / 次	
		基准	动水作用后	基准	动水作用后	基准	动水作用后
6%-AC16-110	0.3	1.85	1.67	0.555	0.502	12 652	8 057
	0.4	1.85	1.67	0.740	0.669	3 366	2 693
	0.5	1.85	1.67	0.925	0.836	2 105	1 593
	0.6	1.85	1.67	1.110	1.003	754	1 197
	0.7	1.85	1.67	1.295	1.170	577	733
10%-AC16-110	0.3	1.59	1.12	0.476	0.337	8 450	18 671
	0.4	1.59	1.12	0.634	0.449	2 029	4 368
	0.5	1.59	1.12	0.793	0.562	1 707	3 209
	0.6	1.59	1.12	0.952	0.674	603	1 080
	0.7	1.59	1.12	1.110	0.786	572	982
14%-AC16-110	0.3	1.02	0.93	0.306	0.278	21 635	8 075
	0.4	1.02	0.93	0.408	0.371	4 979	2 433
	0.5	1.02	0.93	0.510	0.464	3 607	1 362
	0.6	1.02	0.93	0.612	0.556	1 906	1 507
	0.7	1.02	0.93	0.714	0.649	790	697
10%-SMA16-110	0.3	1.58	1.21	0.473	0.364	2 698	7 172
	0.4	1.58	1.21	0.630	0.485	1 340	1 956
	0.5	1.58	1.21	0.788	0.606	885	1 611
	0.6	1.58	1.21	0.945	0.727	532	969
	0.7	1.58	1.21	1.103	0.848	254	434
10%-SAC16-110	0.3	1.58	1.29	0.475	0.388	4 131	3 654
	0.4	1.58	1.29	0.633	0.517	1 468	1 989
	0.5	1.58	1.29	0.792	0.646	769	1 020
	0.6	1.58	1.29	0.950	0.775	721	896
	0.7	1.58	1.29	1.108	0.904	355	461
10%-AC16-90	0.3	1.76	1.32	0.528	0.396	12 283	9 064
	0.4	1.76	1.32	0.704	0.528	2 650	3 256
	0.5	1.76	1.32	0.880	0.660	1 152	2 215
	0.6	1.76	1.32	1.056	0.792	917	1 065
	0.7	1.76	1.32	1.232	0.924	431	708
10%-AC16-130	0.3	1.33	0.83	0.400	0.248	3 391	14 086
	0.4	1.33	0.83	0.534	0.331	1 102	3 430
	0.5	1.33	0.83	0.667	0.414	1 070	2 491
	0.6	1.33	0.83	0.800	0.497	506	1 062
	0.7	1.33	0.83	0.934	0.580	410	1 087

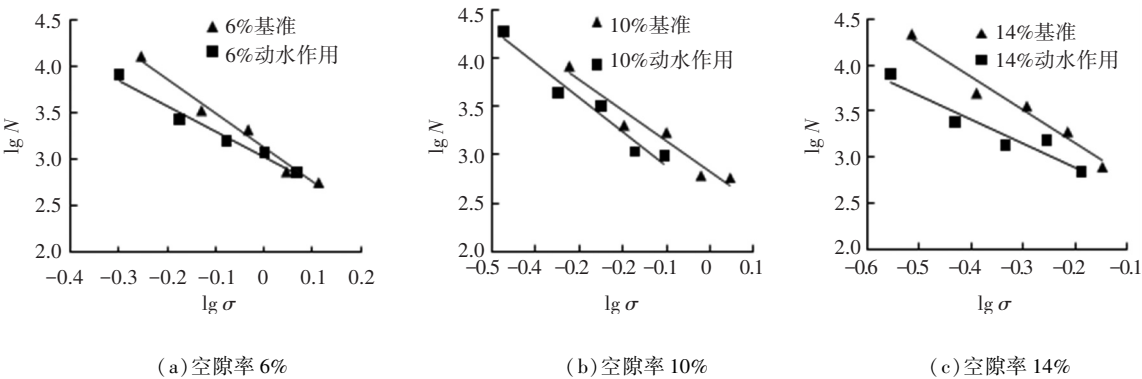


图 2 3 种空隙率沥青混合料应力-疲劳寿命双对数曲线

表 3 3 种空隙率沥青混合料疲劳方程参数变化

试样	K			n		
	基准	动水作用	变化率	基准	动水作用	变化率
6%-AC16-110	1 333.5	1 083.9	-0.187	3.675	2.705	-0.264
10%-AC16-110	659.2	348.3	-0.472	3.189	3.513	0.102
14%-AC16-110	269.2	233.9	-0.131	3.608	2.608	-0.277

表 4 3 种级配沥青混合料疲劳方程参数变化

试样	K			n		
	基准	动水作用	变化率	基准	动水作用	变化率
10%-AC16-110	659.2	348.3	-0.472	3.189	3.513	0.102
10%-SMA16-110	400.9	305.5	-0.238	2.644	3.005	0.137
10%-SAC16-110	489.2	406.8	-0.168	2.701	2.339	-0.134

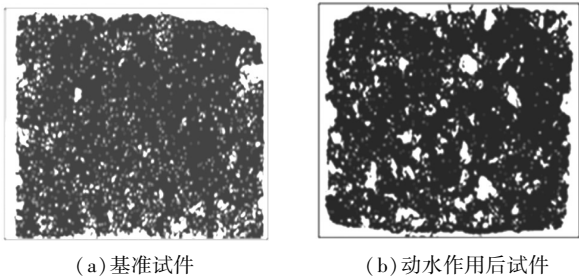


图 3 10%-AC16-110 试件动水作用前后疲劳开裂面

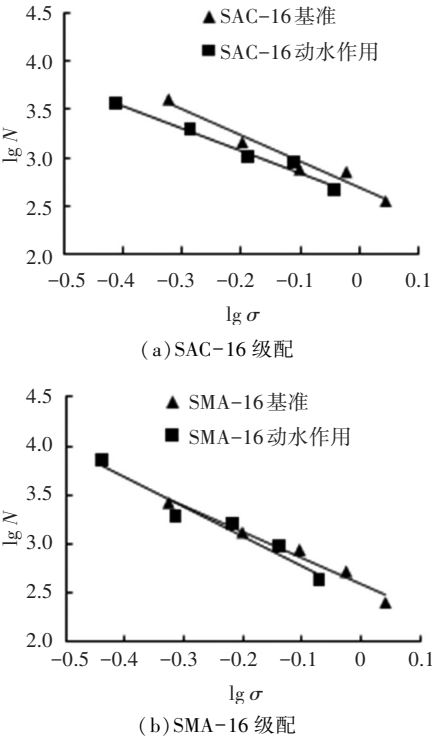


图 4 不同级配沥青混合料应力-疲劳寿命双对数曲线

表 4 显示,空隙率 10% 的 3 种级配沥青混凝土在动水作用前后,其同等应力水平下的疲劳寿命由大到小依次为 AC-16、SAC-16、SMA-16. 说明在较大空隙条件下,悬浮结构混凝土要比骨架结构的抗疲劳性能好. 从图 4 中看出,3 种级配的沥青混合料,动水作用后的抗疲劳性能均减弱. 由表 4 可知,3 种级配沥青

混合料动水作用后,疲劳寿命的衰减程度由大至小依次为 AC-16、SMA-16、SAC-16;疲劳寿命的应力敏感性由大到小依次为 AC-16、SMA-16、SAC-16. 说明在大空隙条件下,悬浮结构混合料抗疲劳性能受动水作用的不利影响要比骨架结构大. 结合试件疲劳开裂面分析,这是由于悬浮结构混合料的集料间炭挤作用比骨架结构的要小,其抗疲劳性能更多依赖沥青与集料的粘附作用. 因此当沥青被剥落时,悬浮结构混合料的抗疲劳性能将衰减更大.

3.3 沥青标号

A-90、A-130 沥青制备的 AC-16 沥青混合料动水作用前后应力-疲劳寿命双对数曲线如图 5 所示,A-110 沥青的曲线如图 2(b)所示,疲劳方程参数变化见表 5, 3 种混合料空隙率均为 10%.

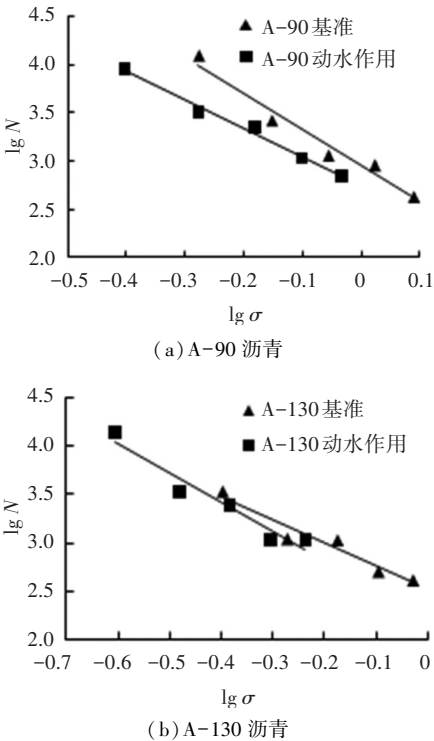


图 5 不同标号沥青混合料应力-疲劳寿命双对数曲线

表 5 3 种标号沥青混合料疲劳方程参数变化

试样	K			n		
	基准	动水作用	变化率	基准	动水作用	变化率
10%-AC16-90	901.6	561.0	-0.378	3.754	2.960	-0.212
10%-AC16-110	659.2	348.3	-0.472	3.189	3.513	0.102
10%-AC16-130	327.3	156.7	-0.521	2.406	3.069	0.276

表 5 显示,空隙率 10%的 3 种标号沥青混合料的劈裂抗拉强度及疲劳寿命由大至小依次为 A-90、A-110、A-130. 说明在大空隙条件下,低标号沥青 AC 类混合料的抗疲劳性能要比高标号的好. 从图 5 看出,3 种标号沥青混合料动水作用后的疲劳寿命均减小,由表 5 可知,其疲劳寿命的衰减程度及应力敏感性变化程度由大到小依次为 A-130、A-110、A-90,说明在大空隙条件下,高标号沥青混合料疲劳寿命受动水作用影响比低标号的大.

4 结 论

- 1)基于自行开发的试验设备,提出了沥青路面受动水作用的室内模拟试验方法. 研究不同材料组成的沥青混合料受动水作用后的疲劳性能特点,结果表明:动水作用后,沥青混合料的抗疲劳性能均出现不同程度衰减,疲劳寿命可减少一半以上. 动水作用使得混合料内沥青膜更易剥落.
- 2)10%是较不利空隙率,其沥青混合料受动水作用后的疲劳寿命不但衰减幅度最大,而且对应力变化最敏感.
- 3)空隙率 10%时,悬浮结构沥青混合料抗疲劳性能受动水作用影响要比骨架结构的大. 空隙率 10%时,高标号沥青混合料抗疲劳性能受动水作用影响比低标号的大.

参考文献

[1] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M].

2 版.北京:人民交通出版社,2008: 206-216.

[2] 孙立军. 沥青路面结构行为学[M]. 上海: 同济大学出版社, 2013: 277-281.

[3] TERREL R L, SHUTE J W. Summary report on water sensitivity report, SHRP-A/ZR89-003 [R]. Washington DC: Transpotation Research Board, 1989.

[4] AL-JOAIB A A. Evaluation of water damage on asphalt concrete mixtures using the environmental conditioning system[D]. Ann Arbor: Oregon State University,1993.

[5] 董泽蛟,曹丽萍,谭忆秋,等. 表面排水条件对饱水沥青路面动力响应的影响分析[J]. 公路交通科技,2008, 25 (1): 10-15.

[6] 张肖宁. 沥青路面施工质量控制与保证[M]. 北京:人民交通出版社,2009:248-254.

[7] 蒋泽民,高俊启.压电传感器测量路面动水压力研究[J]. 传感器与微系统,2012,31(4): 17-19.

[8] 李少波,张宏超,孙立军. 动水压力的形成与模拟测量[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007,35(7): 915-918.

[9] 康海贵,郑元勋,蔡迎春. 实测沥青路面温度场分布规律的回归分析[J]. 中国公路学报, 2007,20(6): 13-18.

[10] IOANNIDES A M. Pavement fatigue concepts: a historical review[C]. West Lafayette: Purdue University, 1997.

[11] NGUYEN M T, LEE H J, BAEK J. Fatigue analysis of asphalt concrete under indirect tensile mode of loading using crack images[J]. Journal of Testing and Evaluation, 2013, 41(1):1-11.

(编辑 魏希柱)