

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2011.09.001

多孔沥青混凝土的水热稳定性能

蒋 玮¹, 沙爱民¹, 裴建中¹, 赵白云²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 河南商业高等专科学校, 河南 郑州 450044)

摘要: 对多孔沥青混凝土的大空隙结构及其高温多雨的应用环境, 指出常规的高温稳定性或水稳定性等指标的单一性, 进而提出评价其在水-高温综合作用下的路用性能。借助汉堡浸水车辙仪, 对相同原材料、不同级配的多孔沥青混凝土进行试验研究, 并与 AC-13 改性沥青混凝土和 SMA-13 的试验结果进行分析对比。结果表明, 汉堡浸水车辙试验既考虑了水-高温综合作用对混合料影响, 又考虑了长期荷载作用下的性能衰变, 能够更实际的评价多孔沥青混凝土的性能; 材料级配设计合理的多孔沥青混凝土水-高温综合性能良好, 浸水汉堡最终变形仅为 3.89 mm, 能够满足高温多雨环境下对路用性能要求; 并且在原材料、空隙率相同的条件下, 粗型骨架结构的多孔沥青混凝土水-高温稳定性能更佳。

关键词: 道路工程; 多孔沥青混凝土; 试验评价; 汉堡浸水车辙试验; 水稳定性; 高温稳定性

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2011) 09-0001-04

Water and Thermal Stabilities of Porous Asphalt Mixtures

JIANG Wei¹, SHA Aimin¹, PEI Jianzhong¹, ZHAO Baiyun²

(1. Key Laboratory of Highway Engineering in Special Region of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China; 2. Henan Business College, Zhengzhou Henan 450044, China)

Abstract: According to the big void structure of porous asphalt concrete (PAC) as well as high temperature and rainy application environment, the unicity of conventional evaluation indexes such as high temperature stability and water stability was pointed out to evaluate the PACs performance under the action of water and high temperature. Then the experimental research of PAC with the same raw materials and different gradations was performed by means of Hamburg wheel tracking device, whose result was compared with the experimental results of AC-13 modified asphalt mixture and SMA-13. The results shows that (1) Hamburg wheel tracking test not only considered the water-high temperature's comprehensive action on the mixture, but also considered the mixture's performance decay under long-term loading. Hamburg wheel tracking test can evaluate the PAC's performance more practically. (2) The PAC which materials and gradations reasonably designed have good comprehensive performance, and the final deformation in Hamburg wheel tracking test is only 3.89 mm, it can satisfy the requirement in the high temperature and rainy environment. (3) With the same materials and the same air voids, the PAC with coarse framework structure own better water-high temperature stability.

Key words: road engineering; porous asphalt mixture; experimental evaluation; Hamburg wheel tracking test; water stability; high temperature stability

收稿日期: 2011-11-06

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAJ18B05); 国家自然科学基金项目(50878027)

作者简介: 蒋玮(1983-), 男, 安徽宣城人, 博士, 讲师。(jiangwei_029@sina.com)

0 引言

多孔沥青混凝土 (Porous Asphalt Concrete, PAC) 是一种拥有相互连通空隙的级配沥青混合料, 具有良好的透水、降噪效果和优异的抗滑能力, 是多雨地区最适用的路面混合料类型^[1-2]。为了保证降雨的快速下渗, PAC 空隙结构丰富, 空隙率在 20% 左右, 较之于密级配沥青混凝土, 表现出与水接触的面积大以及内部与水接触的机会多等特点。

在目前的沥青混凝土性能评价方法中, 高温稳定性主要是通过车辙试验得到的动稳定度指标来评价; 水稳定性的评价方法较多, 有浸水马歇尔试验、真空饱水马歇尔试验、冻融劈裂试验等^[3-6]。鉴于 PAC 的大空隙结构及高温多雨的应用环境, 按照密级配沥青混凝土以高温稳定性或者水稳定性这样的单一评价指标并不能全面反映 PAC 在水-高温综合作用下的路用性能。对于 PAC, 考虑到多雨地区高温稳定性和水稳定性是多孔沥青混凝土性能的主要影响因素, 采用水-高温共同作用下的综合路用性能来评价 PAC 的性能更为合理和贴切实际。为此, 提出采用汉堡浸水车辙试验对不同材料组成的 PAC 在水热及荷载综合作用下的路用性能进行评价与分析。

1 试验设计

1.1 原材料

(1) 沥青: 70 号重交道路沥青 SK-70。

(2) 改性剂: TPS 高粘度沥青改性剂。TPS 改性后的高粘度改性沥青的主要技术指标见表 1。

表 1 掺加 TPS 改性剂的 SK-70 改性沥青的主要技术指标

Tab. 1 Main technical indexes of SK-70 modified asphalt with TPS

改性剂 剂量/%	25℃针入度/ (×0.1 mm)	软化 点/℃	延度/cm		60℃粘度/ (Pa·s)	密度/ (g·cm ⁻³)
			5℃	15℃		
12	45.2	87.2	57	>100	137 812	1.03

(3) 粗集料: 玄武岩。

1.2 试验内容

对不同级配、不同公称最大粒径的 PAC 进行汉堡浸水车辙试验。试验级配见表 2。

为了便于对多孔沥青混凝土的性能进行对比, 对 AC-13 改性沥青混凝土和 SMA-13 这 2 种具有代表性的沥青混凝土也进行了汉堡浸水车辙试验分析。

表 2 多孔沥青混凝土级配

Tab. 2 Gradations of porous asphalt concrete

混合料	不同孔径（mm）下筛孔的通过率/%										
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
PAC-13(Ⅰ)	100	90.5	52.0	17.3	15.7	12.8	11.5	10.1	5.3	4.7	
PAC-13(Ⅱ)	100	95.7	63.1	20.1	15.8	11.7	9.1	7.1	6.2	4.6	
PAC-10	100	100.0	94.2	28.8	15.4	8.8	7.5	6.4	5.7	5.0	
AC-13	100	95.1	77.6	48.7	32.6	23.6	17.5	13.6	10.5	5.1	
SMA-13	100	92.2	62.6	28.1	20.1	17.8	15.3	13.1	11.7	10.3	

2 试验仪器与指标

2.1 试验仪器

汉堡浸水车辙试验采用的试件是旋转压实 (SGC) 成型的圆柱体试件, 通过切割机切割成试验要求的形状与尺寸, 并按规定要求将切割好的试件放入高压实度聚乙烯模型中, 然后安放在安装板上, 向试件空隙处浇注石膏浆, 静置一段时间。待石膏浆完全冷却结晶后, 把安装板放入汉堡车辙仪水浴器中。试件在要求温度下浸泡 30 min 后开始试验。当钢轮通过次数达到要求或达到最大允许车辙深度后, 仪器会自动停止试验^[7-9]。表 3 为浸水汉堡的试验条件。图 1 显示的是汉堡浸水车辙试验过程。

表 3 汉堡浸水车辙试验条件

Tab. 3 Conditions for Hamburg wheel tracking test

试验环境、温度	50℃水浴
加载次数与速率	20 000 次, (52±2) 次/min
控制最大变形	20 mm
加载方式	试验轮为 47 mm 宽, 荷载重 705 N

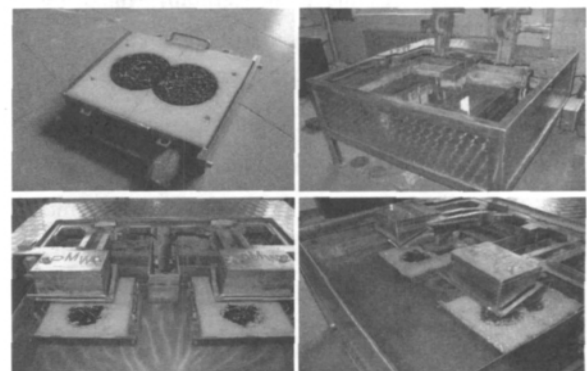


图 1 汉堡浸水车辙试验图

Fig. 1 Photos of Hamburg wheel tracking test

2.2 主要评价指标

汉堡浸水车辙试验评价混合料的水-高温稳定性主要有最终变形, 蠕变斜率, 剥落斜率, 剥落变形点等指标, 如图 2 所示。

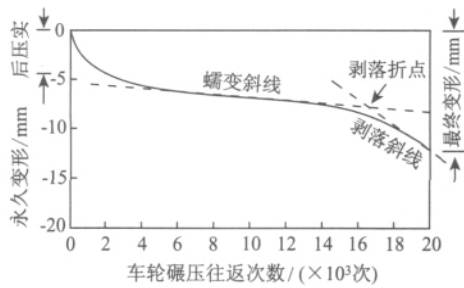


图2 汉堡浸水车辙试验的评价指标

Fig. 2 Evaluation indexes of Hamburg wheel tracking test

其中,最终变形是沥青混凝土水-高温稳定性能最直观的反映与评价,最终变形的大小直接反映了水-高温共同作用下混凝土的性能优劣;蠕变斜率是由产生每毫米车辙经过的碾压次数反映的,这个数值越高表明沥青混凝土抗永久变形能力越强;剥落折点是蠕变斜线与剥落斜线的交叉点^[10-11],剥落折点出现越早,表明沥青混凝土的水稳定性越差,剥落折点越高,说明越不容易产生车辙;剥落折点产生后,水对沥青混凝土的影响就开始加剧了,曲线急剧下降,剥落斜线的斜率越小,说明水的损害越严重,抗水剥落能力越弱,水稳定性越差。

3 试验结果

将3组不同级配PAC的汉堡浸水车辙试验结果绘制成曲线图,如图3(a)、(b)、(c);将AC-13和SMA-13这2种沥青混凝土的试验结果绘制成曲线图,如图3(d)、(e);对试验数据进行计算与汇总,结果如表4所示。

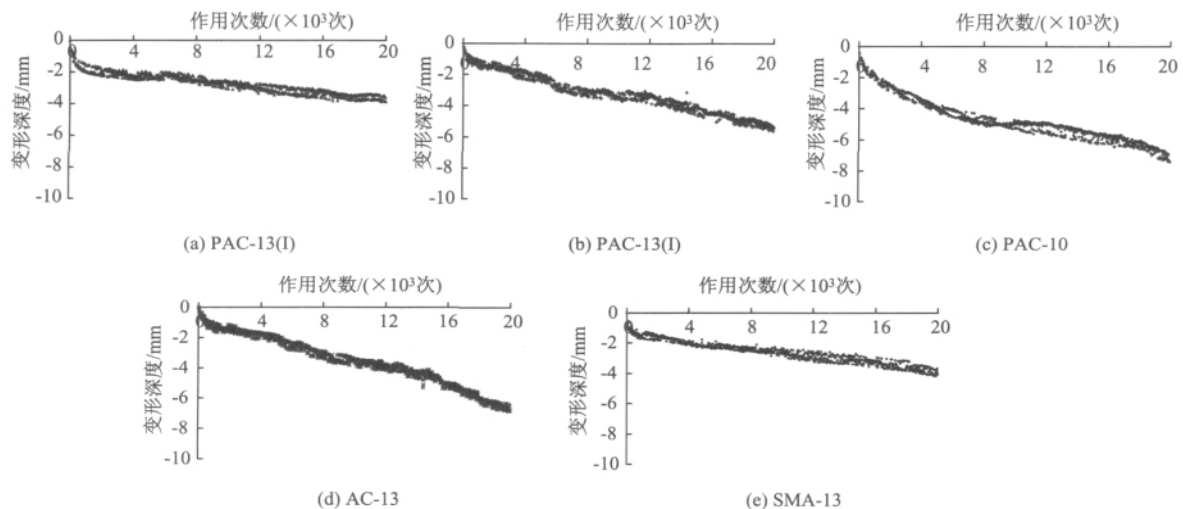


图3 浸水汉堡变形曲线

Fig. 3 Deformation curves of Hamburg wheel tracking test

表4 混合料汉堡浸水车辙试验数据汇总

Tab. 4 Test data of Hamburg wheel tracking test for mixtures

混凝土类型	沥青、改性剂种类	空隙率/%	公称最大粒径/mm	蠕变斜率	最终变形/mm
PAC-13(I)	SK-70 + 高粘改性剂	20	13	-0.000 1	3.89
PAC-13(II)	SK-70 + 高粘改性剂	20	13	-0.000 2	5.37
PAC-10	SK-70 + 高粘改性剂	20	10	-0.000 2	7.42
AC-13	SBS 改性沥青	5	13	-0.000 3	6.76
SMA-13	SBS 改性 + 纤维	3.7	13	-0.000 1	4.07

注: 最终变形取值为变形痕迹中的第9组取值点。

4 试验结果分析

(1) 最终变形数值大小反映的是混合料在水-高温和重载作用下的综合性能。在原材料、空隙率、公称最大粒径相同的条件下,PAC-13(I)的最终变形为3.89 mm,显著小于PAC-13(II)的最终变形,如图4所示。通过对2条级配的比对可以发现,PAC-13(I)明显偏粗,在PAC所形成的骨架结构中,粗集料主要用于形成骨架,细集料用于填充骨架间的部分空隙,虽然2级配所形成的混凝土空隙率相同,但偏粗型的PAC-13(I)利于形成稳定的骨架结果,在沥青用量相同的条件下,其抵抗荷载变形的能力也越强,混凝土的最终变形愈小。

(2) 图5所示为上述几种沥青混凝土浸水汉堡蠕变斜率数值,其中AC-13的蠕变斜率最小,为-0.000 3,PAC-13(I)和SMA的蠕变斜率最大,均为-0.000 1,PAC-13(II)和PAC-10的

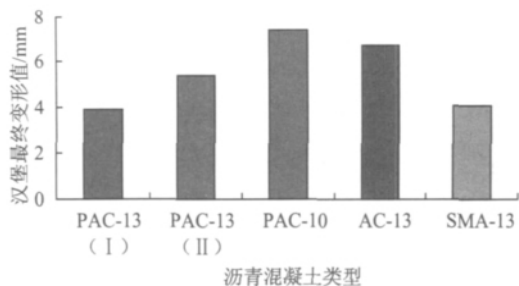


图4 浸水汉堡最终变形数值

Fig. 4 Final deformation values of Hamburg wheel tracking test

蠕变斜率介于二者中间为 -0.0002 。蠕变斜率的数值大小反映了沥青混凝土在汉堡浸水车辙试验条件下的变形速率,其值越大表明其变形速率越慢,混凝土料抵抗车辙的能力越强。试验结果表明 PAC-13 (I) 在水-高温和重载组合综合作用下的抗车辙性能良好,可媲美于 SMA 沥青混凝土; PAC-13 (II) 与 PAC-10 也具有良好的表现,抗车辙性能优于 AC-13 改性沥青混凝土,这与 PAC 中采用的高粘度改性沥青是分不开的,高粘度改性沥青能够大幅提高沥青的 60°C 粘度,改善沥青混凝土的高温性能。

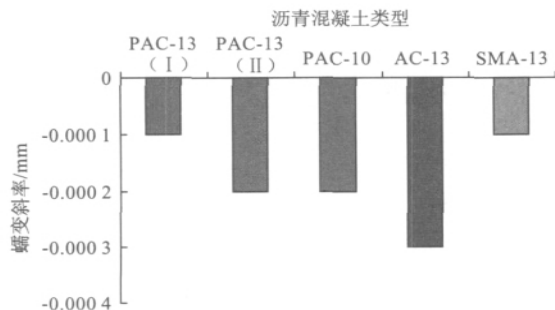


图5 浸水汉堡蠕变斜率数值

Fig. 5 Creep slope values of Hamburg wheel tracking test

(3) 在汉堡车辙轮碾 20 000 次的过程中, PAC-13 (I)、PAC-13 (II) 和 SMA 没有出现剥落折点; 而 PAC-10 在轮碾约 17 000 次左右时出现剥落折点; AC-13 改性沥青混凝土约在轮碾为 15 000 次时出现了剥落折点。剥落折点的出现表明, 沥青混凝土在水-高温环境中经受多次重载作用后, 由于水稳定性不足而导致的加速破坏。试验分析结果表明在水-高温和重载组合条件下, PAC-13 (I) 和 PAC-13 (II) 具有良好的水稳定性。

综上, 通过对 3 种不同级配和公称最大粒径的 PAC 混合料以及 2 种具代表性的沥青混凝土 AC-13 和 SMA-13 的汉堡浸水车辙试验结果可以分析得

出, 材料和级配设计合理的 PAC 具有良好的水-高温稳定性, 汉堡浸水车辙试验结果不逊于 SMA 以及密级配改性沥青混凝土, 能够满足的特有的高温和水环境下的路用性能。

对空隙率、原材料和公称最大粒径相同的 PAC, 粗型级配具有更好的水-高温稳定性, 原因是粗型级配更易形成稳定的骨架结构。对比 PAC-13 (I) 和 PAC-13 (II) 可以发现, 轮碾 4 000 次之前的后压实变形几乎相同, 而轮碾 4 000 次后的蠕变斜率相差较大, 反映了 2 种级配的抵抗车辙的能力强弱不同, 而原材料相同的前提下, 级配是影响沥青混凝土车辙性能的最主要因素, 这也验证了 PAC 采用粗型级配水-高温稳定性更佳。

空隙率、原材料相同的条件下, 公称最大粒径对混合料的水-高温综合性能具有显著的影响, 公称最大粒径为 13 mm 的 PAC 的水-高温性能显著优于公称最大粒径为 10 mm 的 PAC, 具体反映为 PAC-10 的最终变形的数值较大且出现了表征水稳定性不足的剥落折点。PAC-10 的结构中, 4.75 mm 和 9.5 mm 以上粒径的粗集料含量少, 制约了沥青混凝土的抗车辙性能, 因此对采用较小公称最大粒径的 PAC, 可以通过改善沥青或集料的原材料性质、增大改性剂用量或适当减小空隙率等方法改善其水-高温综合性能。

5 结论

(1) 采用汉堡浸水车辙试验能够对多孔沥青混凝土在高温及水环境下的路用性能进行水-高温稳定性综合评价, 弥补了目前评价手段和指标单一的缺陷, 评价结果很好的反映了沥青混凝土的高温性能, 水稳定性及水-高温综合作用下的路用性能。

(2) 汉堡浸水车辙试验结果表明, 材料、级配设计合理的多孔沥青混凝土具有良好的水-高温稳定性, 性能指标不逊于 SMA 混合料, 能够满足高温、水及荷载综合作用环境下路用性能的要求。

(3) 对汉堡浸水车辙试验的最终变形和蠕变斜率指标分析表明, 空隙率和原材料相同的前提下, 粗型级配的 PAC 混合料具有较高的水-高温稳定性, 反映出来的抗车辙性能也更优。

参考文献:

References:

- [1] HAN T A. Evaluating Rutting on Porous Asphalt Mixes (下转第 29 页)

- 25 (2): 30-33.
- ZHANG Sifeng, SONG Xiuguang, ZHOU Jian, et al. Study on Durability and Secondary Reinforcement Technique of Prestressed Anchorage Structures [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25 (2): 30-33.
- [9] 金爱兵, 高永涛, 蔡美凤, 等. 挡土墙加固工程锚杆预应力损失与补偿 [J]. 北京科技大学学报, 2003, 25 (31): 199-202.
- JIN Aibing, GAO Yongtao, CAI Meifeng, et al. Prestress Losing and Compensate Method in the Reinforcement Project of Retaining Wall [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2003, 25 (3): 199-202.
- [10] 汪鹏程, 朱大勇, 徐强. 强震作用下加固边坡的动力响应及不同加固方式的比较研究 [J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2009, 32 (10): 1501-1504.
- WANG Pengcheng, ZHU Dayong, XU Qiang. Dynamic Response of Slopes Subjected to Intense Earthquakes and Effect Comparison between Various Support Modes [J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 32 (10): 1501-1504.
- [11] 李英勇, 张顶立, 张宏博, 等. 边坡加固中预应力锚索失效机制与失效效应研究 [J]. 岩土力学, 2010, 31 (1): 144-150.
- LI Yingyong, ZHANG Dingli, ZHANG Hongbo, et al. Research on Failure Mechanism and Effects of Prestressed Anchor Cables for Reinforcing Slopes [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31 (1): 144-150.
- [12] 张思峰, 周健, 宋修广, 等. 预应力锚索锚固效应的三维数值模拟及其工程应用研究 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (2): 166-173.
- ZHANG Sifeng, ZHOU Jian, SONG Xiuguang, et al. 3D Numerical Simulation of the Anchor Effect of Prestressed Cables and Its Engineering Application [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (2): 166-173.
-
- (上接第4页)
- Comparison between Marshall and Superpave Method in Terms of Volumetric Properties [D]. Malaise: University Technology Malaysia, 2007: 45-47.
- [2] UZAN J. Asphalt Concrete Characterization for Pavement Performance Prediction [J]. Asphalt Paving Technologists, AAPT, 1996, 65 (1): 573-602.
- [3] 张宜洛, 郑南翔. 沥青混合料的基本参数对其高低温性能的影响 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26 (4): 35-39.
- ZHANG Yiluo, ZHENG Nanxiang. Influence of Basic Parameters on High and Low Temperature Performances of Bituminous Mixture [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26 (4): 35-39.
- [4] 杨瑞华, 许志鸿, 李宇峙. 沥青混合料水稳定性评价方法研究 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007, 35 (11): 1486-1491.
- YANG Ruihua, XU Zhihong, LI Yuzhi. Research on Evaluation Method for Moisture Susceptibility of Asphalt Mixture [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2007, 35 (11): 1486-1491.
- [5] 包秀宁, 李燕枫, 王哲人. 沥青混合料水损害试验方法探究 [J]. 广州大学学报: 自然科学版, 2003, 2 (2): 157-159.
- BAO Xiuning, LI Yanfeng, WANG Zheren. Research on Water Damage Test Method of Asphalt Mixture [J]. Journal of Guangzhou University: Natural Science Edition, 2003, 2 (2): 157-159.
- [6] 蒋玮. 透水性沥青路面混合料配合比设计与路用性能研究 [D]. 西安: 长安大学, 2008.
- JIANG Wei. Mix Design and Road Performance Research on Porous Asphalt Concrete [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [7] 马士杰, 付建村, 韦金城, 等. 大粒径透水性沥青混合料动态模量预估模型研究 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (5): 36-40.
- MA Shijie, FU Jiancun, WEI Jincheng, et al. Study on Dynamic Modulus Prediction Model of Large Stone Porous Asphalt Mixture [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (5): 36-40.
- [8] JIANG Wei, SHA Aimin, PEI Jianzhong, et al. Determination Method of Optimum Asphalt Content for Porous Asphalt Concrete [C] // Proceedings of International Workshop on Energy and Environment in the Development of Sustainable Asphalt Pavements 2010. Xi'an [s. n.], 2010: 321-326.
- [9] COLLINS R, SHAMI H, LAI J S. Use of Georgia Loaded Wheel Tester To Evaluate Rutting of Asphalt Samples Prepared by Superpave Gyratory Compactor [J]. Transportation Research Record, 1996, 1545: 161-168.
- [10] ASCHENBRENER T. Evaluation of Hamburg Wheel-tracking Device to Predict Moisture Damage in Hot Mix Asphalt [J]. Transportation Research Record, 1995, 1492: 193-201.
- [11] CHOWDHURY A, BUTTON J W, WIKANDER J P. Variability of Hamburg Wheel Tracking Devices, FHWA/TX-04/5-4977-01-4 [R]. Texas: Texas Transportation Institute, 2004: 1-60.