

文章编号:1009-3087(2014)065-0183-04

橡胶沥青水老化试验研究

肖鹏,史杉杉,吴美平,王颖倩

(扬州大学 建筑科学与工程学院,江苏 扬州 225127)

摘要:为研究水老化作用方式及水量对橡胶沥青老化性能的影响,以橡胶沥青和 TOR 橡胶沥青 2 种材料为例,通过改变水作用阶段和用水量试验研究不同水老化方式对橡胶沥青老化后软化点、黏度、疲劳因子、蠕变劲度、蠕变速率的影响。试验结果表明:选择在压力老化前三分之一时间(400 min)进行加水压力老化试验,后三分之二时间进行无水压力老化试验的水老化作用方式最具可行性;对比无水压力老化试验和加水压力老化试验可知,水的存在促进了橡胶沥青的热氧老化;随水量的增加,TOR 橡胶沥青的高温稳定性降低,抗疲劳开裂能力和低温性能降低,沥青老化加剧。

关键词:橡胶沥青;水老化;水量;高温稳定;疲劳开裂;低温性能

中图分类号:U414

文献标志码:A

Experimental Study on Water Aging of Rubber Asphalt

XIAO Peng, SHI Shan-shan, WU Mei-ping, WANG Yin-qian

(College of Architecture Sci. and Eng., Yangzhou Univ., Yangzhou 225127, China)

Abstract: Water is one of the main factors that influence asphalt aging on long-term use of the process of asphalt pavement. In order to study the impacts of the water work phase and the amount of water on performances of the rubber asphalt aging, taking rubber asphalt and TOR rubber asphalt for example, the influence of different water aging methods on softening point, viscosity, fatigue factor, creep stiffness and creep rate was studied through changing the water work phase and the amount of water. The test results showed that the way of the pressure aging with water for the beginning one third of standard time (400 min) and the pressure aging without water for the remaining two thirds of the time was selected for the most feasible. Comparison of pressure aging test and water pressure aging test, the existence of water can promote the thermal oxygen aging of rubber asphalt. With the increase of water, high temperature stability of TOR rubber asphalt is declined, anti-fatigue cracking performance and low temperature performance of TOR rubber asphalt is declined and asphalt aging intensifies.

Key words: rubber asphalt; water aging; the amount of water; high temperature stability; fatigue cracking; low temperature performance

沥青路面在使用过程中由于环境因素特别是氧气、水分、紫外线的长期作用而发生老化,造成沥青路面性能衰退。有关沥青的氧老化、热老化、光老化以及它们相互之间的交互作用已有文献报道^[1-3]。在水对沥青老化性状影响方面,杨小莉^[4]研究认为,水的 pH 值对沥青中沥青质、酸性组分的油-水界面张力影响很大,沥青质有降低沥青-水界面张力的能力;Traxler^[5]列举了引起沥青老化的众多原因,指出水通过热、氧气及阳光等因素,在包括路

表在内的沥青路面整层范围内,使沥青老化;李海军等^[6]研究了道路沥青在使用过程中水老化,提出了在室内沥青长期老化模拟试验过程中,应考虑加入水分条件,使更接近致使道路沥青老化的使用环境,提高对沥青老化模拟的准确度。但是,均未考虑水是如何作用在长期老化试验中以及其作用方式及水量对沥青老化影响是否存在差异。作者针对这些问题,拟采用沥青质量 5% 的水作用于老化过程,分别分 3 个和 5 个阶段作用于橡胶沥青热氧水老化试验中研究水老化的方式,并且在最具可行性的水老化作用方式下研究水量对橡胶沥青水老化性能的影响。分析对比试验结果,得出关于橡胶沥青水老化的一些有益结论。

收稿日期:2013-06-04

作者简介:肖鹏(1965—),男,教授。研究方向:道路与铁道工程。E-mail: xpyzu@163.com

1 实验部分

1.1 原材料

原材料选用中国石油化工股份有限公司金陵分公司生产的“东海牌”70#基质沥青,姜堰虹磊 60 目斜交胎胶粉、德国 EVONIK 公司产品维他连接剂 TOR(VESTENAMER)。

1.2 试验方法

短期老化采用沥青薄膜加热试验模拟,按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052—2000)中有关规定,在 163 °C 温度下薄膜加热 5 h。

研究长期老化方法采用在美国 SHRP 压力老化仪下,经短期老化后的沥青试样盘表面加入水分在 100 °C、2.1 MPa 压力下老化,无水压力老化采用将试样盘里的水分去掉直接通入氧气老化的方式。分别进行 5 种不同阶段的有水老化与无水老化交叉进行的水老化试验方法,研究不同水老化方式后沥青性能的变化。另通过长期老化过程中加入水量的不同,研究水量对沥青性能的影响。

1.3 评价指标

采用动态剪切流变仪(DSR)测试指标 $G^* \cdot \sin \delta$,长期老化后的 $G^* \cdot \sin \delta$ 越小表示沥青的抗疲劳性能越好^[7-8]。采用弯曲梁流变仪(BBR)测试指标的 S 和 m 值,蠕变劲度 S 即沥青抵抗荷载的能力,劲度值越小,其低温抗开裂能力越好; m 值即荷载作用时沥青劲度的变化率, m 值越大越好,这意味着温度变化时温度应力积累,劲度变化相对较快,从而结合料有释放应力的能力,否则,应力积累到一定程度,就会产生低温开裂。

2 结果与讨论

2.1 水老化试验方法

沥青与水的接触方式有长期浸泡,地下水侵蚀、集料空隙中渗透的水、雨水冲刷等,每一种接触方式都可能加速沥青老化^[9]。

本试验以江苏地区降雨量为依据,据资料查询,江苏地区的年平均降雨日大概 120 d 左右,约占全年的 1/3 时间。沥青经 PAV 试验后,相当于沥青在路面上已使用 5 a^[10]。因此选取 1/3 PAV 老化时间(1 200 min),即 400 min 作为水作用于老化过程的时间。因为沥青长期老化过程中,水对沥青的影响是间断性的,作者采用沥青质量 5% 的水作用于老化过程,分别分 3 个和 5 个阶段作用于沥青热氧水老化试验(简称“水老化试验”)中研究水老化的方

式。A:水作用于老化试验全过程;B:水老化试验中分 3 个阶段,每阶段 400 min,B1:水作用于第 1 老化时段,B2:水作用于第 2 老化时段,B3:水作用于第 3 老化时段,B4:3 个老化时段水都作用 133 min;C:水老化试验中分 5 个阶段,每阶段 240 min,每个老化时段水都作用 80 min^[11]。

2.2 水作用方式对橡胶沥青性能的影响

2.2.1 对高温稳定性能的影响

1) 对软化点的影响

沥青软化点的变化反应了沥青样品对老化的敏感程度,软化点增量越大,说明沥青对老化敏感度越强,沥青老化越严重。从图 1 可知,将水老化试验中水作用过程分为 5 个阶段,沥青老化后的软化点增量大于沥青经 A 试验后的软化点增量,说明沥青经 C 试验后产生的老化比沥青经 A 试验产生的更严重,明显不符合试验的目的。水作用过程分为 3 个阶段时,软化点增量 $B3 > B1 \approx B4 > B2$,水作用于第 1 阶段和水在每阶段分别作用 133 min,沥青经这 2 种老化方式后软化点几乎相同,同时,考虑试验过程的简单且操作方便,水作用于第 1 阶段的水老化作用方式具有可行性。

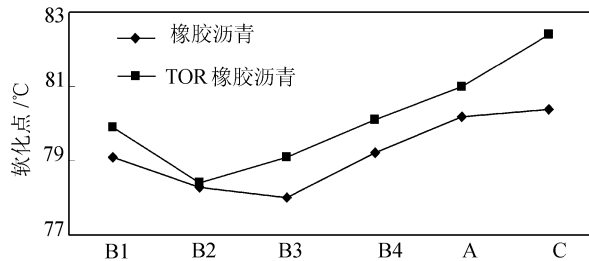


图 1 沥青不同水老化后软化点试验结果

Fig. 1 Results of softening point experiment of asphalt after different water agings

2) 对黏度的影响

从图 2 可知,不同水老化方式后橡胶沥青和 TOR 橡胶沥青的黏度大小都是: $C > A > B4 \approx B1 > B2 \approx B3$ 。将水老化试验中水作用过程分为 5 个阶段,沥青老化后的黏度大于沥青经 A 试验后的黏度,同样不符合试验的目的。因此将水作用过程分为 5 个阶段的水老化方式不可行。水作用过程分为 3 个阶段时,水作用于第 1 阶段和水在每阶段分别作用 133 min,沥青经这 2 种老化方式后,黏度几乎相同且比水作用于第 2 阶段和第 3 阶段老化后的要大。同时,结合上述软化点结果,水作用于第 1 阶段的水老化作用方式具有可行性。

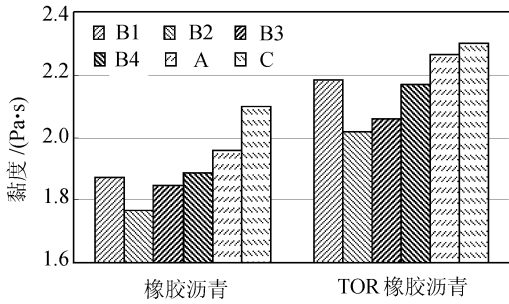


图2 沥青不同水老化后黏度试验

Fig. 2 Results of viscosity experiment of asphalt after different water agings

2.2.2 对疲劳开裂性能的影响

疲劳因子 $G^* \cdot \sin \delta$ 代表胶结料的中低温劲度,疲劳因子越小,沥青抗疲劳能力越强。由表1可见,水作用方式分为4个阶段时,沥青水老化试验后疲劳因子最大,即沥青老化后抗疲劳能力最弱且大于水作用于全过程的水老化试验产生的老化程度。

表1 老化后沥青的疲劳因子、S和m值试验结果

Tab. 1 Results of fatigue factor, S and m experiment of asphalt after aging

| 改性沥青 | 水老化方式 | 疲劳因子/MPa | | 蠕变劲度 S/MPa | | m 值 | |
|----------|-------|----------|-------|------------|--------|--------|--------|
| | | 25 °C | 19 °C | -12 °C | -18 °C | -12 °C | -18 °C |
| 橡胶沥青 | B1 | 1.800 | 3.952 | 80.0 | 152 | 0.320 | 0.284 |
| | B2 | 1.760 | 3.494 | 79.7 | 151 | 0.323 | 0.286 |
| | B3 | 1.769 | 3.723 | 79.8 | 147 | 0.325 | 0.292 |
| | B4 | 1.829 | 3.970 | 80.7 | 151 | 0.318 | 0.279 |
| | A | 2.083 | 4.351 | 83.0 | 165 | 0.304 | 0.271 |
| | C | 2.886 | 5.069 | 87.7 | 170 | 0.300 | 0.263 |
| TOR 橡胶沥青 | B1 | 1.761 | 3.606 | 80.3 | 146 | 0.316 | 0.294 |
| | B2 | 1.653 | 3.487 | 78.5 | 137 | 0.324 | 0.303 |
| | B3 | 1.710 | 3.507 | 78.8 | 133 | 0.326 | 0.300 |
| | B4 | 1.735 | 3.560 | 80.1 | 150 | 0.320 | 0.293 |
| | A | 1.813 | 4.160 | 82.2 | 155 | 0.305 | 0.284 |
| | C | 2.130 | 4.740 | 85.4 | 160 | 0.301 | 0.276 |

2.3 水量对 TOR 橡胶沥青性能的影响

中国各地全年降雨量不同,资料显示,东南沿海的广东、广西东部、福建、江西和浙江大部等地区年降水量为1 500~2 000 mm;淮河、秦岭一带和辽东半岛年降水量为800~1 000 mm;黄河下游、渭河、海河流域以及东北大兴安岭以东大部分地区为500~750 mm;黄河上、中游及东北大兴安岭以西地区为200~400 mm;西北内陆地区年降水量为100~200 mm;新疆塔里木盆地、吐鲁番盆地和柴达木盆

地不足50 mm,盆地中心不足20 mm。当水作用方式分为3个阶段时,沥青的疲劳因子排序为: $B4 \approx B1 > B3 > B2$,由此可知,水作用于第1阶段和水在每阶段作用相同的时间,两者的老化程度是相当的,且都比水作用于第2阶段和第2阶段时老化地严重。

2.2.3 对低温性能的影响

蠕变劲度模量越小,表明沥青低温性能越好;蠕变劲度随时间变化的速率 m 值越大,说明对温度应力的消散能力越好。

结合表1,进一步可以表明,水老化试验中当水作用于第1阶段和水在每阶段作用相同的时间,2种老化方式后沥青的老化程度大致相同,且都比其他2种可行的作用方式老化地严重。综合以上试验结果且考虑到试验操作的简单方便,本研究选取使沥青水老化试验后老化程度较为严重的老化方式,即水作用于第1阶段的水老化方式进行水老化试验。

地不足50 mm,盆地中心不足20 mm。

选用不同水量作用水老化过程,研究水量对 TOR 橡胶沥青性能的影响,以便更深入地研究 TOR 橡胶沥青的老化机理。

2.3.1 对高温稳定性能的影响

软化点和黏度反应沥青的高温稳定性,如图3、4所示,随水量的增加,沥青软化点黏度有所升高,沥青老化加剧,说明水分的存在加速了沥青的老化进程。且水量增加,沥青老化程度加深。

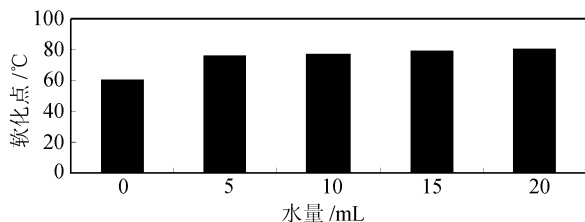


图3 沥青不同水量老化后软化点试验结果

Fig. 3 Results of softening point experiment of asphalt after different amount of water aging

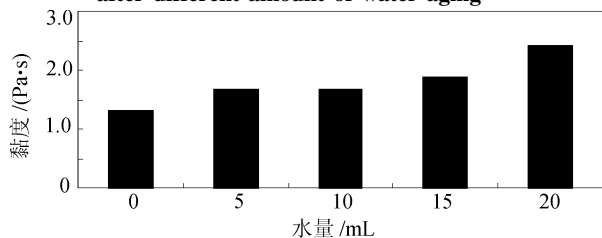


图4 沥青不同水量老化后黏度试验结果

Fig. 4 Results of viscosity experiment of asphalt after different amount of water aging

2.3.2 对疲劳开裂性能的影响

疲劳因子表征的是沥青的中低温性能,长期老化后试样的疲劳因子 $G^* \cdot \sin \delta$ 越小,沥青的抗疲劳性能越好。SHRP 规范要求,在试验温度下 DSR 试验的 $G^* \cdot \sin \delta$ 应满足不超过 5 000 kPa。由表 2 可见,在相同温度下,无水情况时,沥青疲劳因子最小,此时沥青的抗疲劳开裂能力最强。随着水量的增加,疲劳因子逐渐加大,沥青老化加剧。

表 2 不同水量老化后沥青的疲劳因子、 S 和 m 值试验结果
Tab. 2 Results of fatigue factor, S and m experiment of asphalt after different amount of water aging

| 含水量/mL | 蠕变速率 m | 蠕变劲度 S /MPa | | 疲劳因子/MPa | |
|--------|----------|---------------|-------|----------|------|
| | | -12°C | -12°C | 25°C | 19°C |
| 0 | 0.340 | 75.0 | 1.359 | 2.726 | |
| 5 | 0.332 | 80.0 | 1.385 | 3.018 | |
| 10 | 0.328 | 80.1 | 1.655 | 3.192 | |
| 15 | 0.320 | 80.3 | 1.800 | 3.952 | |
| 20 | 0.285 | 82.9 | 2.372 | 4.567 | |

2.3.3 对低温性能的影响

S 、 m 是 SHRP 试验中控制沥青低温开裂的 2 个重要指标,从表 2 可以看出:低温条件下,随水量增加, m 值降低,说明沥青低温性能变差,老化加剧。当不含水时, S 值最小,抗低温开裂性能最好。随水量增加, S 值缓慢增长,抗低温开裂能力明显减弱。

3 结论

1) 分析不同水老化方式后沥青性能得出:将水

分为 3 个阶段作用于水老化试验中,水作用在第 1 时段(前 400 min)和水分别在 3 个时段作用 133 min,这 2 种老化方式产生的老化程度相当。考虑试验过程的简单且操作方便,研究选择水作用于第 1 阶段的水老化方式进行热氧水老化试验。

2) 水压力老化试验后,TOR 橡胶沥青的 170 °C 黏度有所增加,软化点也缓慢增长。说明随水量的增加,TOR 橡胶沥青的高温性能变差,老化加剧。

3) 由动态剪切流变试验知,同一温度下,随水量的增加,TOR 橡胶沥青的疲劳因子逐渐加大,抗疲劳开裂性能降低。且水量相同时,19 °C 时的疲劳因子要大于 25 °C 时的。

4) 弯曲梁流变试验结果显示,低温条件下,随水量的增加, S 值增加, m 值降低,说明 TOR 橡胶沥青的低温性能变差,老化加剧。

参考文献:

- [1] Charrie-Duhaut A, Lemoine S, Adam P, et al. A biotic oxidation of petroleum bitumen under natural conditions [J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31 (10): 977 - 1003.
- [2] Mouillet V, Farcas F, Besson S. Ageing by UV radiation of an elastomer modified bitumen [J]. *Fuel*, 2008, 87 (12): 2408 - 2419.
- [3] Durrieu F, Farcas F, Mouillet V. The influence of UV aging of a styrene/butadiene/styrene modified bitumen: comparison between laboratory and on site aging [J]. *Fuel*, 2007, 86 (10): 1446 - 1451.
- [4] Yang Xiaoli. Study on the properties of crude oil asphalt membrane and gelatinous membrane [D]. Beijing: Research Institute of Petroleum Processing, 1998. [杨小莉. 原油沥青质膜和胶质膜性质研究 [D]. 北京: 石油化工科学研究院, 1998.]
- [5] Traxler R N. Asphalt, it's composition, properties & uses [M]. New York: Reinhold Pub Co, 1961.
- [6] Li Haijun, Huang Xiaoming, Wang Hongchang. Water aging of asphalt during its service life of pavements [J]. *Acta Petrolei Sinica; Petroleum Processing Section*, 2005, 21 (4): 75 - 78. [李海军, 黄晓明, 王宏畅. 道路沥青在使用过程中水老化 [J]. *石油学报: 石油加工*, 2005, 21 (4): 75 - 78.]
- [7] Yeh P H, Nien Y H, Chen J H, et al. Thermal and rheological properties of maleated polypropylene modified asphalt [J]. *Polymer Engineering and Science*, 2005, 45 (8): 1152 - 1158.
- [8] Siddiqui M N, Ali M F. Studies on the aging behavior of the arabian asphalts [J]. *Fuel*, 1999, 78 (9): 1005 - 1015.
- [9] Qian Xiaoru, Fang Xiaocheng, Jiang Hualong, et al. Analysis of the causes of early water damage of asphalt pavement [J]. *Journal of Zhejiang Institute of Communications*, 2009, 10 (1): 10 - 13. [钱晓如, 方晓成, 蒋华龙, 等. 沥青路面早期水损的原因分析 [J]. *浙江交通职业技术学院学报*, 2009, 10 (1): 10 - 13.]
- [10] 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.
- [11] Kang Aihong, Xiao Peng, Wu Meiping. Research on the aging of TOR asphalt rubber in combination of environmental factors [J]. *Journal of Nanjing University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2012, 36 (4): 724 - 728. [康爱红, 肖鹏, 吴美平. 环境因素组合作用下 TOR 橡胶沥青老化试验研究 [J]. *南京理工大学学报: 自然科学版*, 2012, 36 (4): 724 - 728.] (编辑 黄小川)