

# 实验室用泡沫沥青试验机及其发泡性能

王海峰<sup>1</sup>, 马保国<sup>2</sup>, 严捍东<sup>1</sup>

(1. 华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021

2. 武汉理工大学 材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 利用自主研发的实验室沥青发泡装置,在 155,165,175 ℃ 温度下,将中石油 AH70 和国创 AH70 两种沥青进行发泡.研究表明:在可发泡温度范围内,同一温度下产生的泡沫沥青,随着发泡用水量的增加,膨胀率先出现增大,后降低现象.当温度超过 175 ℃ 时,在适当用水量范围内,用水量一定,膨胀率随发泡温度升高出现衰减.气压对半衰期的影响没有用水量对半衰期的影响大,只有在 1% 加水量的条件下,气压对试验结果有显著的影响.本设备在温度为 175 ℃、用水量为 2.75% 时,达到最佳发泡效果,膨胀率和半衰期分别为 14.3 倍和 10.8 s.

**关键词:** 沥青; 泡沫沥青; 半衰期; 膨胀比

**中图分类号:** TU 528.424

**文献标志码:** A

随着道路建设的飞速发展,对沥青的需求量不断增加,道路建设中因大量使用沥青而带来的能耗和污染显得日益严重.因此,在保证基本路用性能的前提下有效减少沥青用量,对降低投资,减少能耗和污染显得非常重要.研究泡沫沥青并利用泡沫沥青制备沥青混凝土能够将废旧道路材料进行有效的再生利用,同时节省能耗,降低沥青使用量,有着重要的现实意义.在沥青发泡过程中,热沥青与小水滴表面发生能量交换,是使水滴加热至 100 ℃,同时冷却沥青,沥青依靠薄膜的表面张力将气泡完全裹覆而保持一种平衡状态,这种平衡状态一般维持数秒的时间,泡沫容易破灭<sup>[1]</sup>.同济大学、武汉理工大学等也对泡沫沥青的发泡性能进行了相应的研究工作,并取得了部分研究成果,但是国内尚未形成一套完整的权威的评价体系.本文利用自主研发的实验室沥青发泡装置,将中石油 AH70 和国创 AH70 两种沥青进行发泡.

## 1 沥青的发泡原理

沥青由多种化学组分及其复杂的烃类组成,常温下可为液态、半固态或固态,具有高度的非牛顿液体、复合粘-塑性或粘-弹性力学性质,沥青的粘度随温度的改变而变化.泡沫沥青是脱水热沥青通过发泡介质(水、水蒸气或发泡剂)在发泡过程中,迅速形成充满直径大小无数的无数气泡(空气或水蒸气).所制成的沥青-气体系统,使沥青表面积迅速增大,使沥青体积涨大 10~15 倍,且相应增加了沥青表面的自由能.

向高温沥青中加入少量(沥青质量的 1%~5%)的水,会产生细微泡沫,从而使沥青膨胀.当泡沫沥青与矿料拌合时,沥青在自由能的作用下,迅速均匀地扩散到矿料表面上,形成薄膜,使沥青与矿料结合得更紧密、更结实.因此,泡沫沥青不需要像乳化沥青那样需要经过额外的乳化加工,也不必像热拌沥青那样耗费大量能源.与普通沥青混合料相比,泡沫沥青混合料中沥青用量可减少 5%~10%;减少拌合时间 15%~20%;提高生产效率以及降低生产过程中的能耗,减轻沥青老化程度等优势<sup>[2-3]</sup>.

**收稿日期:** 2013-06-07

**通信作者:** 王海峰(1980-),男,讲师,主要从事绿色建材、新型建材、建筑材料废弃物资源化利用,以及路面材料再生利用等方面的研究. E-mail:wanghai Fengdoc@hqu.edu.cn.

**基金项目:** 中央高校基本科研业务费专项资助项目,华侨大学高层次人才科研启动项目(12BS110/Y00013)

2 实验方法

2.1 实验设备

前期研发过程中自主研发的实验室用沥青发泡设备,其结构如图 1 所示.该发泡装置的核心部分是沥青发泡腔体的设计以及与之连接的发泡用水喷头的设计与布置.由于发泡腔体中高压水雾与高温沥青相遇的时候会有部分水珠颗粒被高温沥青包裹瞬间发泡出现飞溅,对高压水喷嘴造成一定的堵塞,影响发泡用水的雾化效果.另一方面,腔体中的部分高温沥青在水雾环境下被降温,出现自由滴落现象,减少了与水雾的接触机会,影响发泡效果.为此,通过特殊设计操作,以保证高温沥青与发泡用水能够有效接触,提高发泡效率.与维特根生产的 WLB-10 型实验室用沥青发泡机相比,该设备具有发泡腔体及通气通水管道不易堵塞的优点.

与维特根的 WLB-10 型实验室用沥青发泡机相比,该沥青发泡设备的控制面板操作的方便程度和数据采集的准确性还有一定的差距.这是由于该机器的设计和制备还处于研发阶段,尚需修改和调整;所使用传感器的灵敏度以及稳定性都不如进口器件质量好.这些问题将在今后的研究设计过程中逐步予以改善.

2.2 研究方法

先将管道系统进行预热,达到设定条件后,将可流动性沥青加入沥青至沥青搅拌锅中,同时检查并调整气压,水泵,调整喷头处发泡用水的雾化效果.发泡过程中,预先加入适量的沥青并调整整个机器系统.目测发泡效果达到最好状态时,在  $T_1$  时刻向已知容积( $V_1$ )且带有刻度的广口容器中注入泡沫沥青,观察装满泡沫沥青的容器.表面下降到容器一半的时刻记为  $T_2$ ,此时泡沫沥青体积记为  $V_2$ .待沥青冷却并倒出容器中的水,观测冷却沥青表面到达的刻度,记为  $V_3$ .试验中泡沫沥青的半衰期记为  $\tau$ ,膨胀比记为  $r$ .

结合各参数之间的关系,绘制发泡用水量跟膨胀率和半衰期之间的曲线,根据最小膨胀比和最短半衰期在坐标上对应的发泡用水量确定常用发泡用水量的优化区间.在进行试验时,考虑到系统热损失的问题,将机器发泡温度参数设定值高于实际设计发泡温度  $5\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

3 沥青发泡效果分析

研究中,沥青采用中石油 AH70 和国创 AH70 两种沥青作为发泡沥青,利用自主研发设计的实验室用沥青发泡设备,将沥青分别添加  $2\%\sim 4\%$  发泡用水量(相对于沥青的质量浓度),在  $155,165,175\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度下研究沥青发泡特性,测量产生泡沫沥青的膨胀率及半衰期,结果如图 2,3,4 所示.图 2,3,4 中: $r$  为膨胀比; $\theta$  为水量温度; $w$  为用水量; $\tau$  为半衰期.



图 2 泡沫沥青效果图  
Fig. 2 Foam asphalt

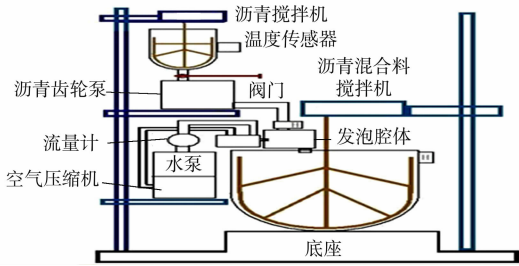


图 1 实验室用沥青发泡设备结构示意图  
Fig. 1 Laboratory asphalt foaming equipment

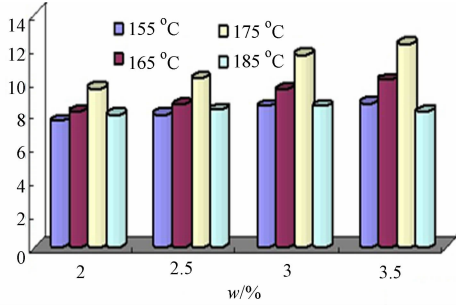


图 3 泡沫沥青膨胀率  
Fig. 3 Expansion ratio of foam asphalt

研究结果表明,在可发泡温度范围内,同一温度下产生的泡沫沥青,膨胀率随发泡用水量的增加而增大.用水量超过某一界限时,膨胀率出现降低现象.可能是过多的发泡用水对沥青的温度有削弱作用

造成, 半衰期则随用水量的增加而减小. 当温度超过 175 ℃ 时, 在适当用水量范围内, 用水量一定, 膨胀率随发泡温度增加没有出现持续增大现象, 反而减小. 该现象可能说明过高的温度不利于沥青的成泡效果. 发泡机在 175 ℃ 下、用水量为 2.75% 时发泡效果最佳, 膨胀率和半衰期分别为 14.3 倍和 10.8 s, 其膨胀率略低于维特根的设备在该条件下的膨胀率. 可能是由于本设备在高温条件下仍有少量泡沫沥青颗粒聚集在发泡用水喷头周围, 影响了压力水的雾化效果, 导致膨胀率有所损失.

即便如此, 实验中该条件下产生的泡沫沥青仍满足 JTG F41—2008《公路沥青路面再生技术规范》要求. 通过对沥青发泡效果的研究分析, 得出半衰期、发泡用水量以及膨胀比 3 者的关系, 如图 5 所示.

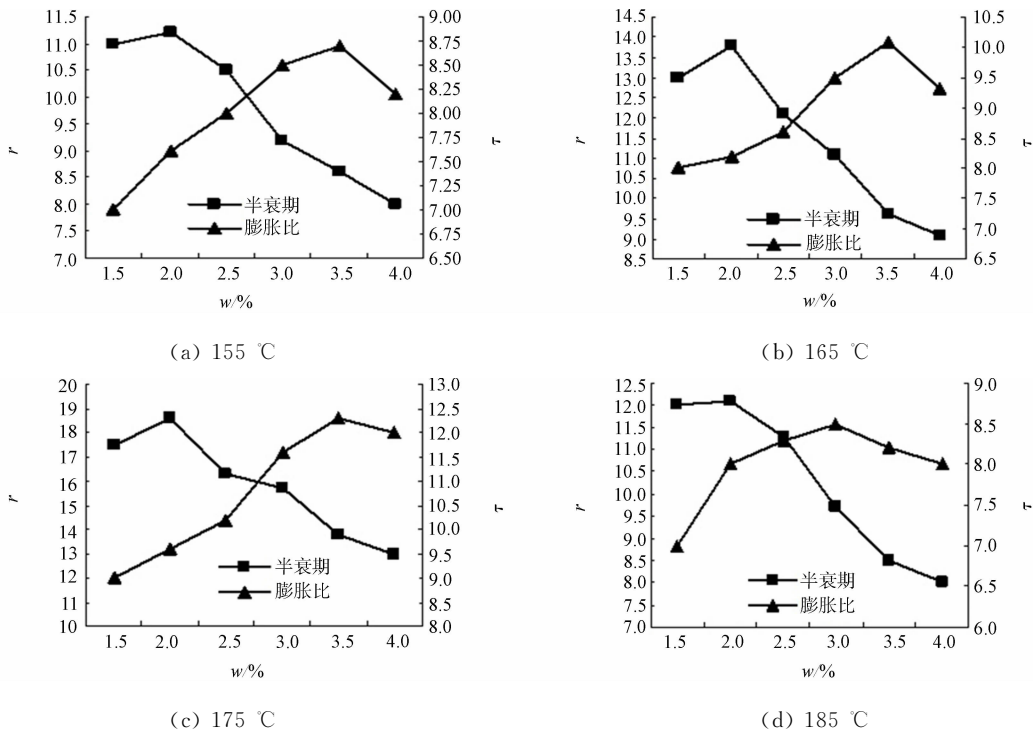


图 4 用水量与膨胀比和半衰期关系

Fig. 4 Relationship among water content, expansion ratio and half-life

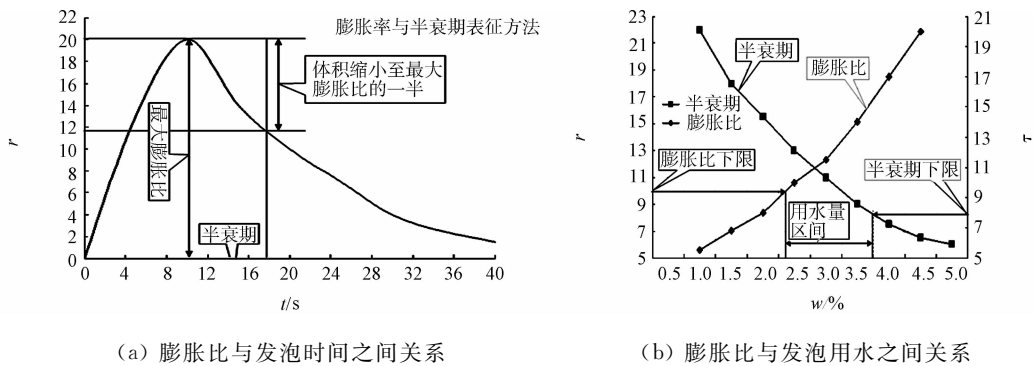


图 5 半衰期沥青发泡时间与膨胀比关系

Fig. 5 Half-life and expansion ratio

## 4 泡沫破裂机理及发泡影响因素

### 4.1 泡沫破裂机理

泡沫破裂的主要原因有 2 种<sup>[4]</sup>: 1) 泡沫内的温度和压力降低的速度超过了泡沫表面张力恢复的速度时, 泡沫破裂; 2) 是泡沫内的压力超过了其表面张力的极限时, 泡沫破裂. 如果泡沫内有水滴, 破裂的泡沫会形成新的能量低的泡沫, 这类泡沫再经历温度降低导致破坏, 但这一过程比高温时的过程长.

对于高粘度的沥青(60 #/70 #), 泡沫能承受的极限表面张力大, 出现第二种破坏的可能性小于第

一种破坏可能性,宏观上表现为在众多未破裂泡沫的堆积下达到最大膨胀率,而且时间较长;而 100 # 沥青因其粘度低,沥青泡沫能承受的极限张力较小,出现第二种破坏的可能性更大,且时间短,宏观上表现为在达到最大膨胀率之前,已经有不少泡沫破裂;半衰期的情况刚好与之相反<sup>[5]</sup>.

导致发泡过程中泡沫破裂的因素有很多,一种解释为随着沥青胶团在常温下冷却,气泡中的蒸汽冷凝而导致气泡破灭,这时发泡水会存留在沥青中形成所谓的水饱和沥青(water saturated bitumen). 另外一种解释为泡沫具有近乎稳定的蜂窝状结构的气室,气室两边的膜即为泡沫液膜. 在 3 个或者多个气泡聚集的地方,液膜被弯曲,并凹向气室一方,形成普莱特边界. 由于交界处有较大的曲率半径,在气相与液相之间产生压力差,它随液体表面张力增加而增大,随气泡曲率半径增大而减小. 因此,普莱特交界处的液压要比附近曲率小的地方小,使得液体由小曲率处向普莱特交界处流动,这种排液作用使液膜逐渐变薄,当液膜达到临界厚度(5~10 nm)时,膜就会破裂<sup>[6-7]</sup>.

4.2 影响沥青发泡效果的主要因素

影响沥青发泡特性的因素有很多,总结起来有以下 4 个主要方面<sup>[8-10]</sup>. 1) 加水量. 增加注入沥青的发泡用水量,可以有效的增加产生泡沫的体积,即膨胀率增大. 然而,单个泡沫体积的增大减小了周围沥青薄膜的厚度,使泡沫不稳定而导致半衰期减小. 因此,发泡用水量与膨胀率成正比,与半衰期成反比. 老化沥青的最大膨胀率在低气压条件下变化不显著<sup>[11-13]</sup>. 2) 沥青来源. 不同来源的沥青,由于其组成不同,性质存在差异,所以发泡效果也有所差异. 3) 沥青温度. 沥青的粘度与温度成反比例关系. 温度增大,粘度减小. 4) 气压对半衰期的影响没有加水量对半衰期的影响大,只有在 1%加水量的条件下,气压对试验结果有显著的影响<sup>[14-15]</sup>.

5 结 论

1) 通过对两种 70 # 沥青进行发泡实验表明,自主研发的试验室用沥青发泡设备能达到国外高昂发泡设备所具有的效果,同时,与维特根生产的 WLB-10 型实验室用沥青发泡机相比,本设备具有发泡腔体及通气通水管道不易堵塞的优点.

2) 对于所选用的两种 70 # 沥青,温度低于 120 °C 时,难以发泡. 研究中,发泡前的温度应超过 140 °C,但并不是温度越高,发泡效果越好. 当温度超过 185 °C 时,沥青出现严重的飞溅现象,发泡性能明显下降,该现象还有待于进一步分析和研究.

3) 增大水压和气压有利于改善本设备对沥青的发泡效果,但压力过大会对高温沥青造成一定程度的降温效果,影响其对水的汽化效应. 因此,压力的调整要根据实际发泡效果进行动态调整. 气压对半衰期的影响没有加水量对半衰期的影响大,只有在 1%加水量的条件下,气压对试验结果有显著的影响.

4) 发泡效果在 175 °C,用水量为 2.75%时最佳,膨胀率和半衰期分别为 14.3 倍和 10.8 s. 由于不同标号的沥青性质具有较大差异,因此,其他标号沥青的发泡性能还有待于进一步研究.

参考文献:

[1] 拾方治,赫振华,吕伟民,等. 沥青发泡原理及发泡特性的试验研究[J]. 建筑材料学报,2004,7(2):184-187.  
[2] 柴仁栋. 泡沫沥青及沥青发泡装置[J]. 公路交通科技,1991,8(2):68-71.  
[3] YIN Ping, JIA Fu-gui. Experimental study of mechanical properties of cold recycled mixture with foamed (emulsified) asphalt[J]. Sichuan Building Science, 2013(1):182-185.  
[4] CASTEDO-FRANOC L H, WOOD E L. Stabilization with foamed asphalt of aggregates commonly used in low volume roads[J]. Transportation Research Record, 1983, 898:297- 302.  
[5] PENG Kun. Decay properties and foam index of the foamed bitumen with low penetration[J]. Highway Engineering, 2012(5):206-209.  
[6] LITTLE D N, BUTTON J W, EPPS J A. Structural properties of laboratory mixtures containing foamed asphalt and marginal aggregates[M]. Washington D C: Transportation Research Record, 1983:104-113.  
[7] KIM Y G, LEE H D. Performance evaluation of cold in-place recycling mixtures using emulsified asphalt based on dynamic modulus, flow Number, flow times, and raveling loss[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2012, 16(4): 586-593.

[8] LU C T, KUO M F, SHEN D H. Composition and reaction mechanism of cement-asphalt mastic[J]. Construction and Building Materials, 2009(23):2580-2585.

[9] PASETTO M, BALDO N. Laboratory investigation on foamed bitumen bound mixtures made with steel slag, foundry sand, bottom ash and reclaimed asphalt pavement[J]. Road Materials and Pavement Design, 2012, 13(4):691-712.

[10] 杨虎荣, 何桂平, 韩海峰. 不同粘度沥青的发泡性能比较和机理分析[J]. 公路, 2004(6):108-112.

[11] CASTEDO-FRANCO L H, WOOD E L. Stabilization with foamed asphalt of aggregates commonly used in low volume roads[J]. Transportation Research Record, 1983, 898:297-302.

[12] 李延芳, 尹小克. 泡沫沥青与乳化沥青冷再生施工关键工艺比较研究[J]. 中国新技术新产品, 2012(16):40-41.

[13] 王启超. 基于 Fluent 的沥青发泡腔结构研究[J]. 建筑机械与施工机械化, 2012(10):62-24.

[14] 陈涛, 徐佩英. 乳化沥青与泡沫沥青再生比较的技术特点[J]. 公路交通科技:应用技术版, 2012(8):190-193.

[15] 高旺生. 泡沫沥青冷再生技术的耗能排放效果分析[J]. 公路工程, 2012(4):225-227.

## Foaming Properties and Laboratory Asphalt Foaming Device

WANG Hai-feng<sup>1</sup>, MA Bao-guo<sup>2</sup>, YAN Han-dong<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;  
2. School of Materials Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** By means of self-developed laboratory asphalt foaming device, two kinds of AH70 asphalt materials were studied under three temperatures 155 ℃, 165 ℃ and 175 ℃. It is showed that: under 150-175 ℃, the expansion ratio increases firstly and then decreases as the water content increases; under the temperature more than 175 ℃ and proper water content, the expansion ratio decreases as the temperature increases. The influence of pressure on half life is less than the influence of water content, only under 1% water content, the pressure influences the significantly on the test results. Under 175 ℃ and 2.75% water content, the asphalt of AH70 has the best foaming properties, meanwhile, the expansion ratio is 14.3 and half life was 10.8 s.

**Keywords:** asphalt; foamed asphalt; half life; expansion ratio

(责任编辑: 陈志贤      英文审校: 方德平)