

聚甲基酰亚胺泡沫改性水泥基 复合吸声材料的制备与吸声性能研究

彭龙贵¹, 杨晓凤², 李 颖¹, 杜春宝¹, 王启强¹

(1. 西安科技大学材料科学与工程系, 陕西 西安 710054;

2. 西安建筑科技大学材料科学与工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要:以普通硅酸盐水泥为基体, 聚甲基丙烯酸酐亚胺(PMI)泡沫为填料制作水泥基吸声复合材料. 实验采用半干法工艺成型, 主要考察了水灰比、铝粉掺入量和聚甲基丙烯酸酐亚胺(PMI)掺入量等因素对复合材料材料吸声性能的影响, 尤其是对频率 $f < 300$ Hz 范围内声音的吸声性能的影响. 实验中采用驻波管和 SEM 扫描仪对样品的吸声系数和微观结构进行了测量和分析. 结果表明: 当水灰比为 0.55、铝粉的掺入量为 0.04%、聚甲基丙烯酸酐亚胺(PMI)的掺入量为 2.5% 时, 对频率 $f < 300$ Hz 范围内的声音的吸声系数的平均值为 0.348.

关键词:水泥; 聚甲基丙烯酸酐亚胺泡沫; 吸声材料; 吸声系数

中图分类号: TU55⁺²

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)04-0599-05

随着现代科技和工业的发展, 噪声污染已经成为世界性难题, 吸声降噪逐渐演变为一个有关科技、环境、人类协调发展乃至现代军事等各方面的重要课题, 因此各种各样的吸声材料随之产生^[1-2]. 吸声材料是指能够吸收声波, 降低或吸收声音的材料^[3]. 各种吸声材料中又以多孔吸声材料的研究与应用最为广泛, 多孔性吸声材料主要包括纤维材料和泡沫材料. 吸声泡沫塑料主要是聚氨酯和聚苯乙烯泡沫, 因其制备简单, 加工容易, 施工方面而备受关注. 吸声泡沫塑料的缺点是对低频($f < 1\,000$ Hz)噪声吸收性较差, 想要提高吸声泡沫材料低频吸声性能, 通常采用增加材料的厚度、在材料背后留空腔或在泡沫塑料涂膜等办法解决^[4]; 但是采用以上工艺方法意味着增加材料和结构所占的有效空间并增加了施工难度和成本^[5]. 利用聚甲基酰亚胺(PMI)泡沫能通过共振吸收低频噪声的特性, 以 PMI 泡沫和水泥进行复合制备多孔吸声材料, 对该复合材料的低频吸声性能进行研究和探讨.

1 实验部分

1.1 实验药品及设备

实验所用药品: 复合硅酸盐水泥(PC32.5、饶柏牌、陕西夕山水泥厂), 聚甲基丙烯酸酐亚胺泡沫(PMI), 铝粉(纯度 99.5%、200 目、市售), 木钙减水剂(市售), 硅油(市售); 实验所用实验设备: 架盘药用天平(HC-TP11-2、上海精科天平有限公司), 水泥净浆搅拌机(NJ-160、无锡市精工建材试验设备厂), 水泥胶砂振实台(ZS-15、无锡市精工建材试验设备厂), 标准恒温恒湿养护箱(YH-40B、天津市庆达试验仪器制造公司), 吸声系数测试仪(AWA6122、杭州爱华仪器有限公司), 扫描电子显微镜(JSM6460LV、日本电子公司).

1.2 实验操作

本实验的质量均以水泥质量为基准, 按质量百分含量设计配方. 实验采取的具体实验操作步骤为: 按配方称取定量水泥, PMI, 木钙减水剂, 铝粉和水; 将减水剂木钙溶解于自来水成溶液; 将水泥、PMI 倒

*收稿日期: 2011-02-25 修改稿日期: 2011-05-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40872101); 陕西省科学技术厅工业攻关资助项目(2011K17-03-12); 西安科技大学培育基金资助项目(2009015)

作者简介: 彭龙贵(1975-), 男, 博士生, 讲师, 主要从事多孔材料方面的教学与研究.

入搅拌锅内,在静浆搅拌机搅拌,边搅拌边加入铝粉;搅拌均匀后将溶有木钙减水剂的溶液倒入水泥净浆搅拌机中,在程控的条件下慢搅 2 min,快搅 1 min;搅拌完成后,浆料注入 $\Phi 96 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ 尺寸规格的模具装模,并在振实台上振动 60 下;用刮刀轻轻刮去模具外多余的水泥浆体,制的标准试样;将装有浆体的模具放入养护箱内标准养护(养护温度为 $20 \pm 2^\circ \text{C}$,湿度为 95%),24 h 后脱模,取出试样并继续在养护箱内养护 7 d;7 d 后在驻波管中测量试样吸声系数和进行 SEM 显微分析。

1.3 吸声性能测试

参照国家标准 GBJ88—85《驻波管吸声系数和声阻率测量规程》,测试试样的驻波管吸声系数.将吸声材料制成与比测试管直径稍小的圆饼形,置于测试管中,通过声源箱连续地向圆筒内发送不同频率的声波,同时缓慢移动测试车记录极小声压和极大声压,根据两者的差值计算材料在某一频率下的吸声系数。

声波入射到材料表面时,其中一部分声能被反射,一部分声能被材料吸收,还有一部分被透射^[6].材料的吸声系数是指被吸收的声能(或没有被表面反射的部分)与入射声能之比,用 α 表示:

$$\alpha = 1 - \frac{E_r}{E_0} = \frac{E_i + E_t}{E_0} \quad (1)$$

式中: E_i 为材料本身吸收的声能; E_t 为透射声能; E_r 为反射声能; E_0 为单位时间内入射的总声能。

2 结果与分析

2.1 水灰比对频率 $f < 300 \text{ Hz}$ 声音的吸声性能的影响

为了更好的反应样品吸声系数的变化,对样品在 100 Hz、200 Hz、300 Hz 处的吸声系数取平均值,可以更好的反应其变化趋势.不同水灰比的样品对频率 $f < 300 \text{ Hz}$ 声音的吸声系数的平均值如图 1 所示,通过图 1 可以看出,水灰比为 0.55 时样品在频率 $f < 300 \text{ Hz}$ 范围内的吸声系数的平均值明显高于其他水灰比的样品的吸声系数的平均值,其吸声系数的平均值为 0.348.水灰比的大小与水化硬化后的表观密度呈正相关变化^[7],随着水灰比的增大,材料的表观密度变小,孔隙率增加,有利于声音的吸收;但当水灰比过大时,由于水泥水化中不参与水化的自由水增多,水泥硬化后,空隙中的水含量增大,影响了材料的吸声性能;同时,高水灰比易引起水泥水化硅酸盐连续性分布下降,大孔(大于 50 nm)所占孔隙率增大,而大孔不利于多孔材料的吸声。

2.2 铝粉掺入量对频率 $f < 300 \text{ Hz}$ 声音的吸声性能的影响

为了更好的反应样品吸声系数的变化,对样品在 100 Hz、200 Hz、300 Hz 处的吸声系数取平均值,可以更好的反应其变化趋势.不同铝粉掺入量的样品对频率 $f < 300 \text{ Hz}$ 声音的吸声系数的平均值如图 2 所示,通过图 2 可以看出,铝粉掺入量为 0.04% 时样品在频率 $f < 300 \text{ Hz}$ 范围内的吸声系数的平均值明显高于其他水灰比的样品的吸声系数的平均值,其吸声系数的平均值为 0.308.铝粉是制备多孔吸声材料的制孔剂,其掺量的大小直接与材料的空隙率有关.当铝粉掺入量小于 0.04% 时,材料的孔隙率低,不利于材料对频率 $f < 300 \text{ Hz}$ 的声音的吸收.但是当铝粉掺入量

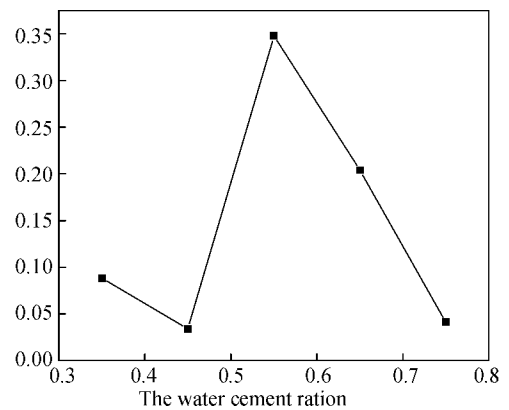


图 1 水灰比对频率 $f < 300 \text{ Hz}$ 声音的吸声系数的平均值的影响

Fig. 1 Effect of the water cement ratio on the average value of the absorption coefficient of the frequency sound of $f < 300 \text{ Hz}$

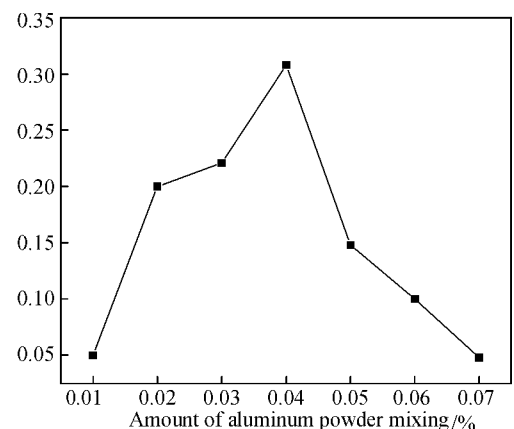


图 2 铝粉掺入量对频率 $f < 300 \text{ Hz}$ 声音的吸声系数的平均值的影响

Fig. 2 Effect of amount of aluminum powder mixing on the average value of the absorption coefficient of the frequency sound of $f < 300 \text{ Hz}$

大于 0.04% 时,一方面,铝粉与水泥水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的反应单位时间放出的 H_2 量大,气体的膨胀应力大,微孔发生并孔现象,形成大孔尺寸的材料,不利于材料吸声;另一方面,当水泥初凝后,过多的铝粉不断地与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应,水泥基体初凝后强度低,在水泥终凝前产生的气体因膨胀会破坏基体材料,造成材料微观孔结构缺陷,不利于材料吸声^[8]。

2.3 PMI 掺入量对频率 $f < 300$ Hz 声音的吸声性能的影响

为了更好地反应样品吸声系数的变化,对样品在 100 Hz、200 Hz、300 Hz 处的吸声系数取平均值,可以更好的反应其变化趋势。不同 PMI 掺入量下样品对频率 $f < 300$ Hz 声音的吸声系数平均值如图 3 所示,通过图 3 可以看出,PMI 掺入量为 2.5% 时的样品在频率 $f < 300$ Hz 范围内的吸声系数的平均值明显高于其他 PMI 掺入量的样品的吸声系数的平均值,其吸声系数的平均值为 0.21。PMI 密度低 (0.03 g/cm^3),体积密度为水泥的 0.01 倍^[9]。在 PMI 掺入量小于 2.5% 时,水泥水化硅酸盐为连续相,PMI 均匀分布在水化硅酸盐中,PMI 多孔材料的吸声效果随着其含量的递增而增加,在 PMI 多孔材料与水化硅酸盐两相材料的界面上,PMI 孔壁被硅酸盐包裹镶嵌,形成薄壁空腔共振吸声结构,该结构是在均匀吸声材料内部留有球形、圆柱形、圆锥形等声学空腔,利用声学空腔共振以及高损耗因子的吸声材料层增大声能的损耗,因此,该结构将发挥材料共振吸声的原理,有利低频段声音的吸收^[10];当 PMI 掺入量大于 2.5% 时,破坏了水泥水化硅酸盐的连续性,材料内部的大孔、裂纹增多,材料的吸声性能下降。

2.4 PMI 掺入量与吸声材料微观结构形态关系

复合材料的孔隙特征也是影响材料吸声性能的重要因素。材料的孔隙越细越多,吸声效果越好;孔隙粗大,则效果较差。如果材料中的孔隙大多为单独的不连通的封闭气泡,则因空气不能进入,从吸声机理上看,它已不属于多孔性吸声材料,故其吸声效果大大降低。为了比较深入地探讨多孔复合材料的孔隙结构与 PMI 掺入量的关系,选取水灰比 0.55、铝粉掺入量 0.04%,制备 PMI 的掺入量分别 2.5% 和 3.5% 的样品进行扫描电镜分析。SEM 结果如图 4、图 5 所示。

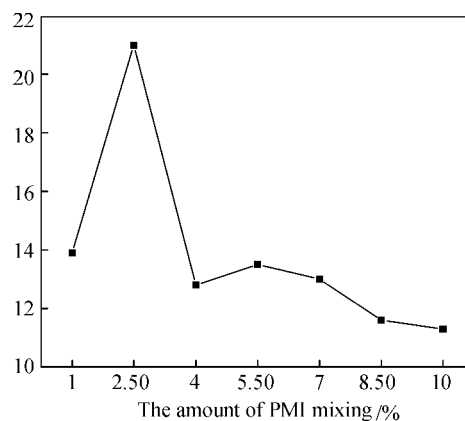
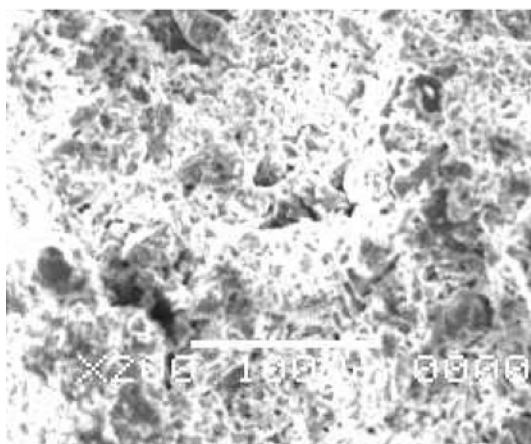
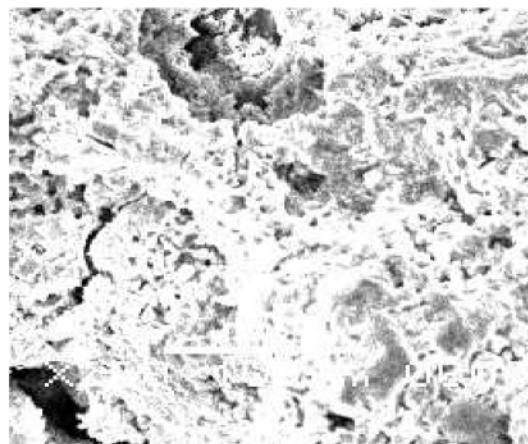


图 3 PMI 掺入量对频率 $f < 300$ Hz 声音的吸声系数的平均值的影响

Fig. 3 Effect of the amount of PMI mixing on the average value of the absorption coefficient of the frequency sound of $f < 300$ Hz



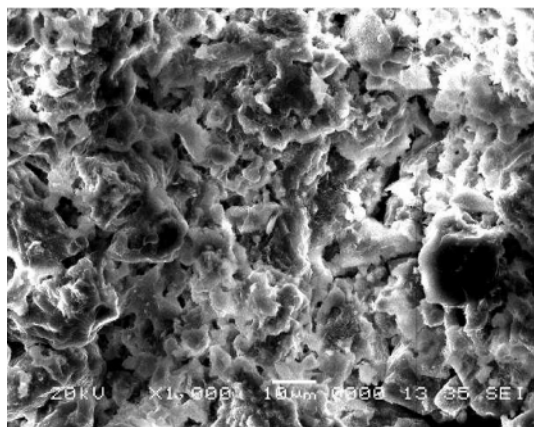
(a) 2.5% of polymethacrylimide (PMI) mixing



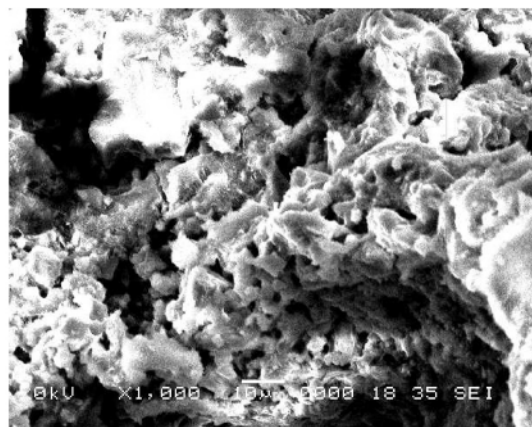
(b) 3.5% of polymethacrylimide (PMI) mixing

图 4 样品 SEM 图 ($\times 200$)

Fig. 4 Scanning electron microscopy of the sample ($\times 200$)



(a) 2.5% of polymethacrylimide(PMI) mixing



(b) 3.5% of polymethacrylimide(PMI) mixing

图5 样品 SEM 图($\times 1\,000$)Fig. 5 Scanning electron microscopy of the sample($\times 1000$)

通过对图 4(a)和(b)的对比可以看出, PMI 掺入量为 2.5% 的样品的孔隙分布比 PMI 掺入量为 3.5% 的样品的孔隙分布更均匀. 图 5(a)中没有明显的凹陷和断裂层, 孔隙较多, 大部分区域内孔分布比较均匀. 图 4(b)中部分区域有明显的凹陷和断裂层, 孔隙分布不均匀.

图 5(a)和(b)的对比可以看出, PMI 掺入量为 2.5% 的样品的孔隙比 PMI 掺入量为 3.5% 的样品的孔隙多而且细. 图 5(a)中孔与孔间的孔隙较多, 而且孔隙较细. 图 5(b)中并没有明显的孔隙, 多为封闭的不连通的气孔.

通过样品的 SEM 图, 可知, PMI 掺入量为 2.5% 的样品的孔隙分布均匀, 孔隙率高, 孔径小, 有较好的吸声性能; 与本文 3.3 中分析不同 PMI 掺入量的材料试样对频率 $f < 300$ Hz 声音的吸声系数的影响实验结果相一致.

3 结 论

1) 通过实验, 制备对频率 $f < 300$ Hz 声音具有较佳吸声效果的材料配方为: 水灰比 0.55、铝粉的掺入量 0.04%、聚甲基丙烯酸酞亚胺(PMI)的掺入量 2.5%.

2) 材料制备中, PMI 掺入量对频率 $f < 300$ Hz 声音的吸声效果影响明显, 分别利用 SEM 扫描仪和驻波管进行了分析表征, 其结果一致.

参考文献 References

- [1] VASINA M, HUGHE D C, HOROSHENLOV K V, et al. The acoustical properties of consolidated expanded clay-granulates[J]. Applied Acoustics, 2006, 67(8): 787-796.
- [2] SWIFT M J, BRIS P, HOROSHENKOV K V. Acoustic absorption in re-cycled rubber granulate[J]. Applied Acoustics, 1999, 57(3): 203-212.
- [3] 徐传友, 苟凤祥, 杜 鑫, 等. 吸声材料研究的进展[J]. 砖瓦, 2008(9): 11-14.
XU Chuan-you, GOU Feng-xiang DU Xing, et al. Developments of sound-absorbing materials [J]. Brick & Tile, 2008(9): 11-14.
- [4] 姜继圣, 杨葱玲. 建筑功能材料及应用技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
JIANG Ji-sheng, YANG Cong-ling. Building Function and Application Technology of Materials[M]. Beijing: China Building Industry Press, 1998.
- [5] 曾令可, 王 慧, 罗民华, 等. 多孔功能陶瓷制备与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
ZENG Ling-ke, WANG Hui, LUO Min-hua, et al. Preparation and Application for Porous Function Ceramic [M].

- Beijing:Chemical Industry Press,2003.
- [6] 柳效图. 建筑物理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1990.
- LIU Xiao-tu. Architectural physics[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 1990.
- [7] 朱志远,岑国平,王硕太,等. 基于正交试验的水泥砂浆开裂敏感性研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2010,42(4):561-566.
- ZHU Zhi-yuan,CEN Guo-ping,WANG Shou-tai,et al. Study on the cracking sensitivity of cement mortar based on orthogonal experiment[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. :Natural Science Edition,2010,42(4):561-566.
- [8] WANG Yu-ting,JIANG You-xin,LI Yu-xiang, et al. Investigation on cement base sound absorption materials[J]. Concrete, 2008,227(9):76.
- [9] 陈挺,张广成,刘铁民,等. 丙烯腈/甲基丙烯酸共聚泡沫塑料的制备与表征[J]. 中国塑料,2006,20(3):72-75.
- CHEN Ting,ZHANG Guang-cheng,LIU Tie-min, Preparation and Characterization of Acrylonitrile/ Methacrylic Acid Copolymer Foam[J]. 2006,20(3):72-75.
- [10] EASWARAN V,MUNJAL M L. Analysis of reflection characteristics of a normal incidence planewave on resonant sound absorber: finite element approach[J]. J Acoust Soc Am, 1993, 93(3): 1308-1318.

Study on the preparation of cement base sound absorption composite materials modified with polymethacrylimide foam (PMI) and the sound-absorbing performance of the composite material

PENG Long-gui¹, YANG Xiao-feng², LI Yin¹, DU Chun-bao¹, WANG Qi-qiang¹

(1. Department of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, Shanxi, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Science and Architecture, Xi'an 710055, Shanxi China)

Abstract: In this paper, cement-based sound-absorbing composite material is made with ordinary portland cement as matrix and polymethacrylimide foam (PMI) as the filler. Semi-dry forming process is used in experiments, mainly for regulating water-cement ratio, amount of aluminum powder mixing, polymethacrylimide (PMI) mixing effect on the sound absorption properties, especially of the low frequency sound of $f < 300$ Hz. Standing wave tube and SEM is used in experiments to measure the absorption coefficient of the sample and observe the microstructure of the sample. The results show that when the water cement ration is 0.55, amount of aluminum powder mixing is 0.04%, and the amount of polymethacrylimide (PMI) mixing is 2.5%, the average value of the absorption coefficient on the frequency sound of $f < 300$ Hz is 0.348.

Key words: cement; polymethacrylimide foam; sound-absorbing material; absorption coefficient

*Biography: PENG Long-gui, Candidate for Ph. D., Xi'an 710054, P. R. China, Tel: 0086-13119106483, E-mail: penglonggui@163.com