

文章编号: 1005-0523(2017)01-0132-00

含掺杂剂的 EPS 多孔水泥基材料电磁屏蔽性能研究

徐青, 李庆华, 胡思霞, 胡钺江, 赵枳根, 彭岚林

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:对掺膨胀石墨、碳纤维的 EPS 多孔水泥基复合材料在 100 kHz~1 500 MHz 频率范围内的电磁屏蔽性能进行了实验研究, 结果表明:复掺膨胀石墨、碳纤维可明显提高 EPS 多孔水泥基复合材料低频段的电磁屏蔽性能;当 EPS 掺量为 0.5%, 膨胀石墨和碳纤维掺量分别为 1.0%和 3%时,在 200~1 500 MHz 内试样的最低电磁屏蔽效能为 13 dB,最大的屏蔽效能达到 20 dB;且导热系数为 0.22 W/(m·K)。复掺膨胀石墨、碳纤维的 EPS 多孔水泥基复合材料力学性能也比单纯的 EPS 水泥基复合材料有所提高。

关键词:膨胀石墨;碳纤维;EPS 颗粒;水泥基复合材料;电磁屏蔽效能

中图分类号:TU528.35;TB34

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.01.020

电磁辐射遍及我们生活的每个角落,而由此带来的电磁污染严重威胁到人的健康;同时,由于温室气体排放量的增加,全球气温的变化越来越大,极端气候天气不断增多,对建筑材料的保温节能也提出了更高要求;因此,大力开发适应环境要求的新型生态建筑材料将是主要发展方向之一。

在水泥基中通过添加掺杂剂达到改性实现电磁屏蔽性能的研究工作已经开展了一些,司琼^[1]在 1 MHz~1.8 GHz 低频区域内研究短碳纤维石墨混凝土的电磁屏蔽效能最大达到 8.5 dB。黄少文^[2]在水泥基中掺入石墨 9%和碳纤维 0.9%,试样在 200 MHz~1.5 GHz 频段最大屏蔽效能达到 22 dB。吕楠^[3]在水泥基中掺质量分数为 4%碳纤维,试样在 0.01~1 500 MHz 频段的平均屏蔽效能达 30 dB,最大值可达 45 dB。崔素萍等^[4]在水泥基中掺入质量分数分别为 10%与 15%的人造石墨,试样在 23 MHz~1.5 GHz 频段的最大屏蔽效能分别为 14 dB 与 22.6 dB。贾治勇等^[5]研究了水泥基中石墨掺量为 20%时,在 14 kHz~500 MHz 频率范围的屏蔽效能为 10~15 dB,在 500 MHz~1 GHz 频率范围内的屏蔽效能约 15 dB。

用 EPS 颗粒作为轻骨料配制的保温轻质砂浆,已在工程中应用^[6-8]。在高频 8~18 GHz 范围内针对发泡型聚苯乙烯多孔混凝土材料的吸波性能方面也开展了一些基础性研究工作^[9-10],而 EPS 多孔水泥基复合材料在低频段的电磁屏蔽或吸波性能的研究却鲜有见到。本文将膨胀石墨和碳纤维作为掺杂剂,对改性后的 EPS 多孔水泥基复合材料在 100 kHz~1 500 MHz 频段的电磁屏蔽性能、力学性能等进行实验研究。

1 实验

1.1 原材料及设备

实验所用原材料:江西亚东水泥公司的 P·O 42.5R 级普通硅酸盐水泥;细集料为 0.15~4.75 mm 连续级配的天然河砂;发泡型聚苯乙烯(EPS)颗粒粒径为 3~5 mm;碳纤维由杭州高科复合材料有限公司提供,直径

收稿日期:2016-11-02

基金项目:江西省科技厅科技支撑项目(20132BBG70031)

作者简介:徐青(1962-),女,副教授,研究方向为建筑节能材料及建筑空调系统节能。

48 μm ,长度 3 mm;青岛金日来石墨有限公司生产的 200 目(99.95%)可膨胀石墨;偶联剂 KH560;分散剂由国药集团化学试剂有限公司生产的羧甲基纤维素钠;南京联硅化工有限公司提供的消泡剂、减水剂。

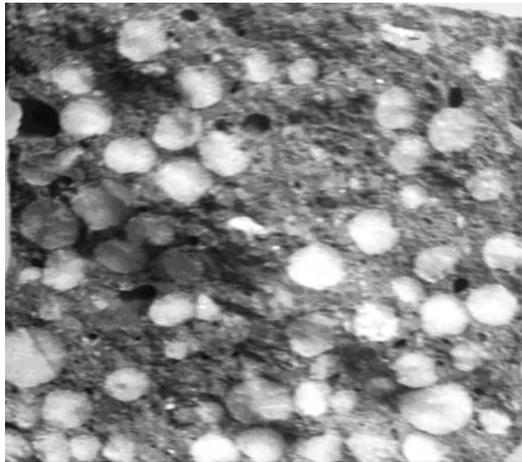
屏蔽试验所用设备:东南大学电磁兼容研究室研制的 DN1015A 远场屏蔽效能测试装置;台湾固纬电子实业股份有限公司生产的 Gwinstek GSP-827 频谱分析仪。

电学性能测试设备:GFG-8016G Function GeneratorE 函数发生器;Tektronix TDS1002 示波器;Agilent 34410A 61/2 Digit Multimeter 精密数字万用表。

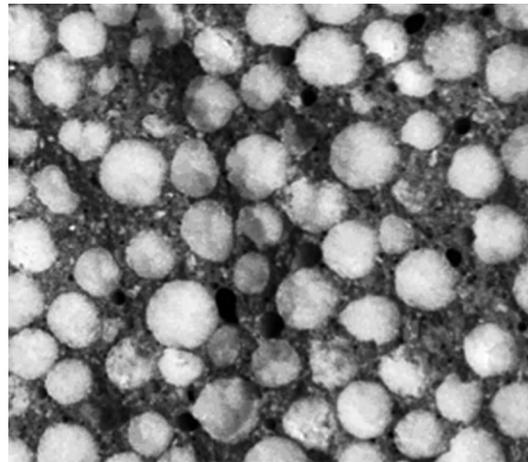
导热系数测试设备:中国建筑科学研究院物理所研制的 TPMBE-300III 平板导热仪。

1.2 试样的预处理

发泡型聚苯乙烯(EPS)颗粒是一种质轻、内含不连续气体的泡沫,具有憎水性,在搅拌时容易上浮,导致聚苯乙烯分散不均匀而影响砂浆的性能;因此,需要对 EPS 表面进行改性处理^[1]。本实验采用硅烷偶联剂(KH560)对聚苯乙烯颗粒表面进行预处理。取称量好的水与偶联剂混合均匀,将聚苯乙烯颗粒倒入偶联剂的混合溶液,使其完全被润湿,待 EPS 颗粒表面完全被润湿后再加入适量水泥搅拌,使颗粒表面包裹一层水泥砂浆。陈化后,在 EPS 表面形成一层硅酸盐“外壳”,表面转变为亲水性,再与水泥砂浆混合时易被润湿。改性前后的试样断面效果如图 1。



(a) EPS 表面改性前



(b) EPS 表面改性后

图 1 试样断面

Fig.1 Section of the samples

将可膨胀石墨在高温 800 $^{\circ}\text{C}$ 快速膨化 30 s 后,成为一种疏松多孔的“蠕虫”状物质,不改变原有的导电性能且密度小。

碳纤维表面比较光滑,与水结合的能力差,在水泥浆体中很难分散。实验中,取量好的部分水与羧甲基纤维素钠溶液(CMC 溶液)配成浓度为 0.5%的混合溶液,再将称量好的碳纤维倒入该溶液中搅拌,使碳纤维在溶液中成单丝状态。

1.3 试样的制备

量取实验所需的材料,其中水灰比取 0.5;灰砂比为 1:1。聚苯乙烯颗粒、膨胀石墨和碳纤维的量分别按水泥质量百分比计算,且不取代任何成份。

先将水泥和膨胀石墨倒入搅拌锅中慢速干拌 30 s;然后将预处理的碳纤维及砂倒入锅中搅拌 60 s,最后将量好剩下的水、减水剂和经预处理的聚苯乙烯颗粒倒入锅中搅拌 4 min,使其在锅中能均匀分散。搅拌完成后倒入模具中振实成型。

屏蔽效能试样:制成外径为 115 mm、中心孔径 12 mm、厚度 5 mm 的扁状圆环饼状试样,室温养护 24 h

后拆模。然后置于标准养护箱中养护(温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、湿度约98%)至28 d。在 60°C 恒温干燥后测试屏蔽效能。

力学性能试样:制成 $40\text{ mm}\times 40\text{ mm}\times 160\text{ mm}$ 的试样,室温养护24 h后拆模。然后置于标准养护箱中养护(温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、湿度约98%)至28 d。

导热性能试样:制成 $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ 的试样,室温养护24 h后拆模。然后置于标准养护箱中养护(温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、湿度约98%)至28 d。在 60°C 恒温干燥后测试导热系数。

2 EPS多孔水泥基复合材料电磁屏蔽性能的研究

2.1 多孔水泥基复合材料的屏蔽原理及测试

EPS颗粒介电常数低^[12],透波性很强,所以掺EPS的水泥砂浆可以等效成内部有许多“闭孔”结构的复合材料。由图2可知,当电磁波传播到复合材料表面时,有部分电磁波被反射,其它进入材料内部;电磁波在材料内部传播时,部分电磁波被吸收,同时有部分电磁波因为孔壁的多次反射和散射而损耗,另外,电磁波从一个孔洞入射到另一个孔洞时,在孔壁方向相位改变发生干涉而损耗。材料的屏蔽效能即为反射损耗、吸收损耗及多次反射、散射、干涉损耗之和。

屏蔽效能(shielding effectiveness) SE值的测试采用东南大学研制的DN1015A远场屏蔽效能测试装置,频段范围 $100\text{ kHz}\sim 1\,500\text{ MHz}$ 。

2.2 EPS掺量对多孔水泥基复合材料屏蔽性能的影响

由图3可知,EPS掺量0.5%试样在 $1.2\sim 1.5\text{ GHz}$ 频段范围,与普通水泥砂浆的屏蔽效能之差为 $4\sim 6\text{ dB}$;EPS掺量为1%试样与1.5%试样的屏蔽效能非常接近,在 $100\sim 600\text{ MHz}$ 频段范围,试样的屏蔽效能为 $2\sim 5\text{ dB}$ 。测试结果表明,在测试频率范围内,单纯掺EPS颗粒且掺量较小时材料的屏蔽效果不明显。

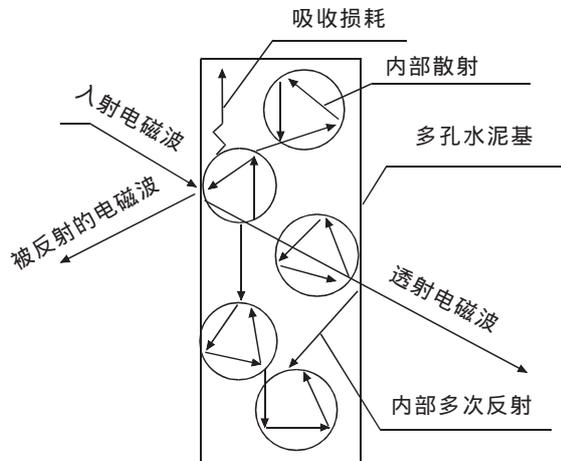


图2 多孔水泥基复合材料的电磁屏蔽

Fig.2 Electromagnetic shielding of the porous cement-based composites

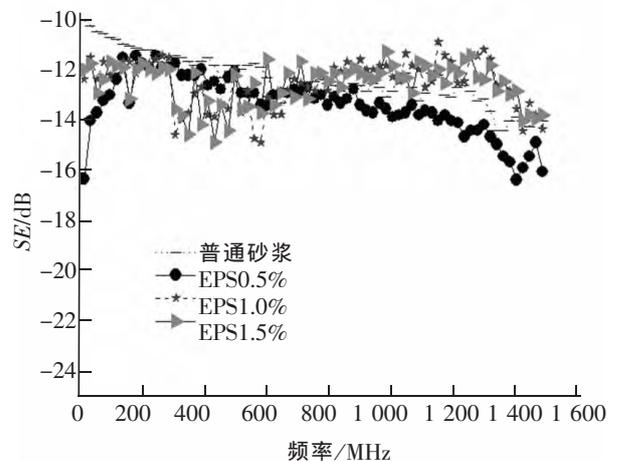


图3 不同EPS掺量的多孔水泥基复合材料的屏蔽效能
Fig.3 SE of the porous cement-based composites with different EPS contents

2.3 单掺膨胀石墨对EPS多孔水泥基复合材料屏蔽性能的影响

由图4可知,在 $100\text{ kHz}\sim 1.5\text{ GHz}$ 频段范围,与普通砂浆相比,膨胀石墨掺量为0.5%的屏蔽效能没有明显提高,试样的屏蔽效能 $2\sim 6\text{ dB}$ 。随膨胀石墨掺量越大,试样屏蔽效能提高,在 $1.2\sim 1.5\text{ GHz}$ 频段范围,膨胀石墨掺量为1.5%的屏蔽效能达到 $10\sim 14\text{ dB}$ 。因为膨胀石墨是疏松的“蠕虫”状结构,增加了相互接触的机会,更利于试样内部导电网络的形成。与其他相关研究^[2,4-5]不同的是,本实验采用膨胀石墨作掺剂,在大幅减少掺量的情况下,获得了较好的屏蔽效能。如黄少文^[2]在普通水泥基中石墨掺量9%时的屏蔽效能的最大值约 4 dB ,且相应的力学性能大幅下降。

2.4 单掺碳纤维对 EPS 多孔水泥基复合材料屏蔽性能的影响

比较图 5 中各掺量情况,单掺碳纤维试样的屏蔽效能有明显的改善,且随掺量的增加,屏蔽效能增大;当碳纤维掺量为 3.0%时,屏蔽效能 8~15 dB 的频段范围拓宽为 200~1 500 MHz,这是因为碳纤维掺量越大,则粘附在 EPS 颗粒表面的碳纤维越多,试样内部“孔洞”结构“壁面”对电磁波的多次反射和散射被加强。另外,在低频阶段(100 kHz~1 000 MHz)单掺碳纤维试样比单掺膨胀石墨的屏蔽效能要好,说明碳纤维可以改善复合材料低频范围的屏蔽效果。

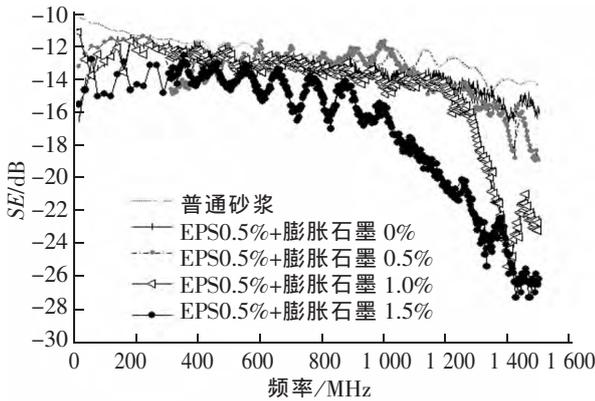


图 4 不同膨胀石墨掺量的多孔水泥基复合材料的屏蔽效能
Fig.4 SE of the porous cement-based composites with different expanded graphite contents

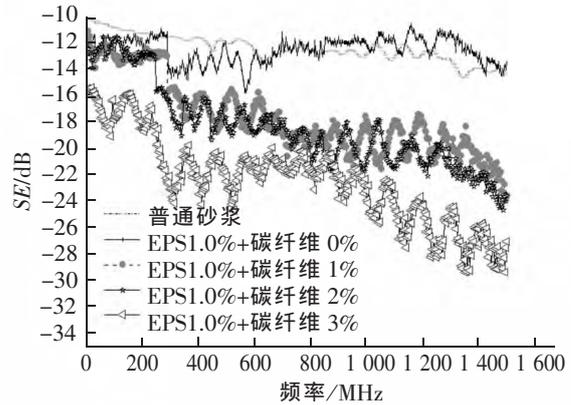


图 5 不同碳纤维掺量的多孔水泥基复合材料的屏蔽效能
Fig.5 SE of the porous cement-based composites with different carbon fiber contents

通过对单掺碳纤维的 EPS 多孔水泥基复合试样的电阻率进行测试(如表 1),也证明了碳纤维的掺入会使试样电阻率下降很多,即大大提高了试样的导电性能,因而反射损耗增大。

表 1 碳纤维掺量对复合材料电阻率的影响

Tab.1 Influence of carbon fiber contents on the resistivity of composites

碳纤维/%	0	2.0	3.0
电阻率/($\Omega \cdot m$)	45.30	3.56	1.53

2.5 复掺膨胀石墨和碳纤维对 EPS 多孔水泥基复合材料屏蔽性能的影响

由图 6 可知,复掺膨胀石墨和碳纤维后试样的屏蔽效能比普通砂浆有很大提高,也比单掺膨胀石墨或碳纤维试样的屏蔽性能好。图 6(b)中在 200 MHz~1.5 GHz 频段,复掺碳纤维掺量 3%时的最小屏蔽效能就达到 13 dB,最大达到 20 dB,且复合砂浆中膨胀石墨掺量 1%的屏蔽效能比膨胀石墨掺量为 0.5%时要好。

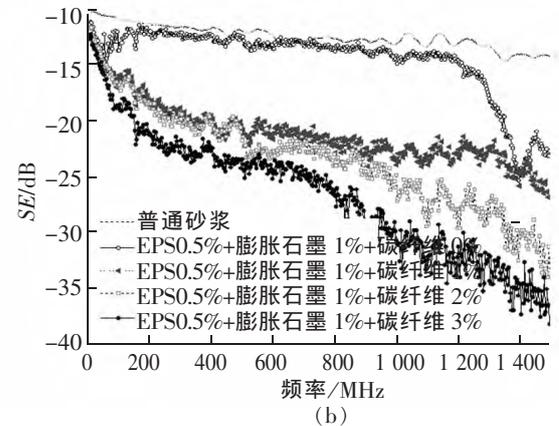
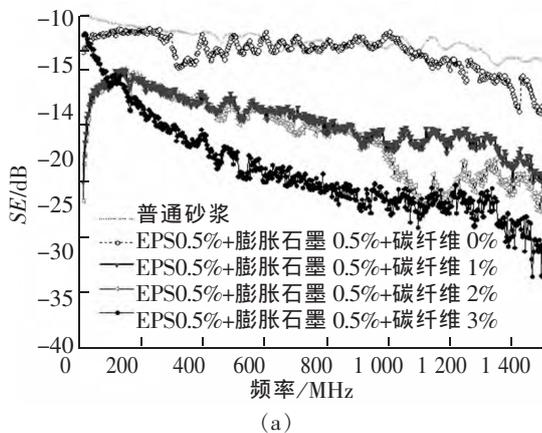


图 6 复掺膨胀石墨和碳纤维试样的屏蔽效能
Fig.6 SE of the samples with expanded graphite and carbon fiber

这是因为碳纤维及膨胀石墨均具有优良的导电性能,当共同掺入水泥砂浆中且随掺量增加时,可互相搭接形成的导电网络更加完善,从而提高试样的导电性能,增强试样的反射损耗;另一方面, EPS 颗粒在水泥基内部相当于闭孔结构,膨胀石墨和碳纤维的掺量越大,则粘附在“孔壁”上的膨胀石墨和碳纤维越多,导致闭孔结构对电磁波的多次反射损耗及散射损耗越强。

因此,通过复掺碳纤维和膨胀石墨提高 EPS 多孔水泥基复合材料的屏蔽效能是一种有效手段。

3 复掺膨胀石墨、碳纤维的 EPS 多孔水泥基复合材料的力学性能

EPS 掺量的增大,可以减轻水泥砂浆的容重,使材料的保温性能提高,同时又会使砂浆的力学性能大幅下降^[1],因为水泥砂浆中 EPS 掺量越大,包覆 EPS 颗粒表面需要的水泥就越多,用于粘结骨料的水泥浆体相对减少,使骨料之间的粘结力变小。以上多孔水泥基复合材料中 EPS 掺量的选择正是基于砂浆的力学和保温性能的综合影响而确定的。

针对前面所述的复掺试样的力学性能进行测试,养护龄期 28 d 时试样的抗折强度和抗压强度的测试结果如表 2。

表 2 28 d 试样的抗折强度及抗压强度
Tab.2 Flexural strength and compressive strength of the samples in 28 days

序号	EPS/%	膨胀石墨/%	碳纤维/%	抗折强度/MPa	抗压强度/MPa
1#	0.5	0	0	4.86	15.40
2#	0.5	1.0	0	5.09	15.73
3#	0.5	1.0	1.0	5.22	22.74
4#	0.5	1.0	2.0	5.75	27.52
5#	0.5	1.0	3.0	6.36	34.32

本研究选用的掺剂之一膨胀石墨,因为试样中该掺量很小,故对材料的力学性能影响也不大(如表 2 中的 1# 和 2# 样品的对比数据)。

由表 2 可以看出,在多孔水泥砂浆中复掺碳纤维可以有效提高复合材料的抗折强度和抗压强度^[12-14]。因为掺入碳纤维后,可以通过相互搭接增加试样内部界面间的粘结力,并且试样制备时使用了消泡剂和减水剂,它们可以减小材料内部的孔隙率,从而使得材料更为密实,其综合力学性能增强。但制备过程中发现,碳纤维掺量大于 3%后,由于砂浆中膨胀石墨、碳纤维和 EPS 颗粒的同时存在,导致砂浆搅拌过程中难于均匀,且流动性变差、成型困难。所以,碳纤维掺量控制在 3%之内比较合适。

对表 2 中 1#、3# 和 5# 试样进行导热性能的测定,其导热系数分别为 0.33、0.23 W/(m·K)和 0.22 W/(m·K),说明复合材料也具有良好的保温性能。

4 结论

1) 复掺碳纤维、膨胀石墨的 EPS 多孔水泥基复合材料的低频段电磁屏蔽性能有明显提高,但 EPS 颗粒、碳纤维和膨胀石墨的掺量均需控制在合理范围内。当 EPS、膨胀石墨和碳纤维掺量分别为 0.5%、1.0%和 3%时,在 200~1 500 MHz 内最低电磁屏蔽效能为 13 dB,最大的屏蔽效能达到 20 dB。

2) 复掺膨胀石墨、碳纤维的 EPS 多孔水泥基复合材料的综合力学性能比单纯的 EPS 多孔水泥基复合材料的好;复合材料导热性能的测试结果也良好。

参考文献:

- [1] 司琼,董发勤. 掺短碳纤维和石墨混凝土的低频电磁屏蔽性能[J]. 硅酸盐学报,2005,33(7):916-920.
- [2] 黄少文,陈光华,邓敏,等. 石墨-碳纤维水泥基复合材料的电磁屏蔽效能[J]. 硅酸盐学报,2010,38(4):549-552.
- [3] 吕楠,康青,郭华雨,等. 短切碳纤维混凝土电磁屏蔽规律的实验研究[J]. 后勤工程学院学报,2006(2):15-18.
- [4] 崔素萍,刘永肖,兰明章,等. 石墨-水泥基复合材料电磁屏蔽性能的研究[J]. 硅酸盐学报,2007,35(1):91-95.
- [5] 贾治勇,王群,赵顺增. 碳素改进水泥基材料电磁性能研究[C]//全国电磁兼容研讨会论文集,南京,2005:160-163.
- [6] COOK D J. Expanded polystyrene beads as lightweight aggregate for concrete[J]. Preast Concrete,1983,45(12):691-693.
- [7] 彭家惠,陈明凤,彭志辉,等. EPS 保温砂浆研制及施工工艺[J]. 施工技术,2001,30(8):22-23.
- [8] SARIISIK A,SARIISIK G. New production process for insulation blocks composed of EPS and lightweight concrete containing pumice aggregate[J]. Materials and Structures,2012,45(9):1345-1357.
- [9] 李宝毅,段玉平,刘顺华. 多孔集料砂浆的吸波特性[J]. 硅酸盐学报,2011,39(10):1682-1686.
- [10] 赵彦波,刘顺华,管洪涛. 水泥基多孔复合材料吸波性能[J]. 硅酸盐学报,2006,34(2):225-228.
- [11] 彭家惠,陈明凤,张建新. EPS 表面改性及其保温砂浆的耐候性与抗裂性[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2002,25(1):24-27.
- [12] CHUANG W,KEZHI L,HEJUN L,et al. Effect of carbon fiber dispersion on the mechanical properties of carbon fiber-reinforced cement-based composites[J]. Materials Science and Engineering:A,2008,487(112):52-57.
- [13] 杨玉山,董发勤,邓强. 掺石墨/碳纤维电磁屏蔽砂浆的研究[J]. 功能材料,2011,42(10):1844-1850.
- [14] 佟钰,田鑫,朱长军,等. 短切碳纤维混凝土的力学强度实验与分析[J]. 硅酸盐通报,2015,34(8):2281-2285.

Study on Electromagnetic Shielding Properties of EPS Porous Cement-based Composites with Doped Agents

Xu Qing, Li Qinghua, Hu Sixia, Hu Chengjiang, Zhao Jianguan, Peng Lanlin

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The electromagnetic shielding properties of EPS porous cement-based composites with expanded graphite and carbon fiber were studied experimentally in the frequency range of 100 kHz-1 500 MHz. The results showed that the electromagnetic shielding effectiveness (SE) of EPS porous cement-based composites with expanded graphite and carbon fiber obviously increased in the low frequency range. As the content of EPS, expanded graphite and carbon fiber was 0.5 %, 1 % and 3 % respectively, the minimum SE of the sample can be attained to about 13dB and the maximum SE about 20dB in the range of 200-1 500 MHz, and its thermal conductivity coefficient was 0.22 W/(m.K). The mechanical performances of EPS porous cement-based composites with expanded graphite and carbon fiber were more effectively improved compared to pure EPS porous cement-based composites.

Key words: expanded graphite; carbon fiber; expanded polystyrene(EPS); cement-based composite; electromagnetic shielding effectiveness

(责任编辑 刘棉玲)