

# 吸波材料与孔状结构对电磁波吸收砂浆的性能影响

梁旭

(北京建工新型建材有限公司, 100015, 北京)

**摘要:**随着现代信息技术的发展以及人为电磁能量逐年增长,有限空间内的电磁环境逐渐恶化,对人们日常的通讯、计算机、运输业和其他电子系统造成危害,研究电磁屏蔽与吸波砂浆非常有必要。采用石墨剂为主要吸收材料,电磁屏蔽效能达到了25 dB以上。用粉煤灰与膨胀珍珠岩进行对比试验,电磁波吸附效果相比石墨填料较差。

**关键词:**电磁波;砂浆;吸收;石墨;粉煤灰

**中图分类号:** TU 74

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-4726(2022)06-0769-04

## INFLUENCE OF ABSORBING MATERIALS AND POROUS STRUCTURE ON PROPERTIES OF ELECTROMAGNETIC WAVE ABSORBING MORTAR

LIANG Xu

(BCEG Advanced Construction Materials Co., Ltd., 100015, Beijing, China)

**Abstract:** With the development of modern information technology and the increase of man-made electromagnetic energy year by year, the electromagnetic environment in the limited space is gradually deteriorating, causing harm to people's daily communication, computer, transportation and other electronic systems. The electromagnetic shielding and absorbing mortar studied in this paper is very necessary. When graphite agent is used as the main absorption material, the electromagnetic shielding efficiency reaches more than 25 dB. When using fly ash and expanded perlite, the electromagnetic wave adsorption effect is worse than that of graphite filler.

**Keywords:** electromagnetic wave; mortar; absorbing; graphite; fly ash

通过添加石墨、粉煤灰、膨胀珍珠岩等材料,改变砂浆内部的孔结构,调整砂浆厚度,对砂浆的力学性能及电磁波屏蔽性能进行研究,总结出各种材料、结构对砂浆的电磁波吸收性能影响规律。

### 1 原材料

项目的原材料主要包括水泥、掺合料、外加剂等,其中水泥主要为普通硅酸盐水泥。水泥的物理力学性能见表1,水泥的化学组成见表2。

表1 水泥的物理力学性能

密度 / (g/cm <sup>3</sup> )	比表面积 / (m <sup>2</sup> /kg)	标准稠度用水量 / %	凝结时间 / min		抗折强度 / MPa			抗压强度 / MPa		
			初凝	终凝	3	7	28	3	7	28
3.01	389	26.9	208	239	7.0	7.5	8.2	30.9	43.5	60.2

收稿日期: 2022-04-10

作者简介: 梁旭(1985—),男,内蒙古乌兰察布人,工程师,硕士。

E-mail: 85070835@qq.com

表2 水泥的化学组成

%

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
21.0	5.6	2.9	58.5	4.2	2.9	0.2	1.0	0.4

### 2 试验结果及分析

#### 2.1 石墨掺量对吸波砂浆力学性能的影响

石墨对样品物理性能的影响试验结果如下(表3、图1~3)。

表3 石墨对样品物理性能的影响

编号	石墨 / %	用水量 / %	稠度 / mm	保水率 / %
S0	0	16.2	97	91.5
S1	5	21.2	93	92.1
S2	10	27.8	97	92.3
S3	15	34.8	95	93.6
S4	20	42.1	99	93.1
S5	25	44.0	91	92.9



## 2.4 吸波砂浆吸波性能测试

### 2.4.1 不同石墨掺量的样品吸波效果

试验了不同石墨掺量的吸波砂浆对吸波性能的影响,选取0%、5%、10%、15%、20%和25%的不同掺量进行对比试验。不同掺量的石墨样品吸波效果如图7所示。

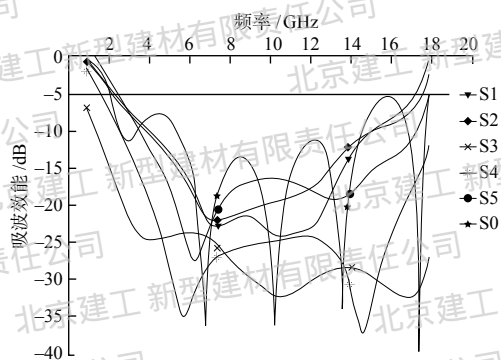


图7 不同掺量的石墨样品吸波效果

由图7可知,随着石墨添加量的逐渐增加,吸波效果出现先上升后下降的趋势,主要体现在吸波效能和频率带宽两个方面。这主要是因为石墨含量较低时(5%, S1),石墨颗粒孤立地分散在水泥砂浆基体中,颗粒之间接触少无法形成通路,电阻率较低,所以电磁屏蔽效果很差。石墨含量为10%(S2)时,石墨颗粒之间的接触程度虽有加强,但是形成的通路不具有连续性,所以其导电性能及电磁波屏蔽效果也不能达到最好。在石墨含量达到15%(S3)时,石墨在样品中分布较均匀,通路基本形成,电磁屏蔽达到了25dB以上。在石墨含量不是太高时,石墨颗粒与基体的混合较为容易,材料均匀性也较好。但随着石墨含量的不断增加,需水量增大,砂浆体系逐渐粘稠,石墨颗粒无法很好地分散,颗粒易发生团聚和凝集。通过提高搅拌机转速及时间可以在一定程度上提高分散效果,因搅拌形成的分散与其自身极性形成的团聚会达到1个平衡,团聚并不会被减少甚至消除。当石墨含量超过15%时,石墨在砂浆中极易发生团聚,其内部形成了较大的导电集团,导电能力有了微弱的增加。但随之而来的是电磁波在砂浆内部导磁物质中发生的极化旋转更加困难,从而降低了微观涡流产生吸收损耗的能力,所以石墨含量的继续增加,其电磁屏蔽效能有降低的趋势。

### 2.4.2 不同粉煤灰掺量的样品吸波效果

粉煤灰中含有一定量的碳和三氧化二铁,具有一定的吸波效果,选取了0%、15%、30%和45%的粉煤灰掺量进行试验。不同掺量粉煤灰样品吸波效果如图8所示。

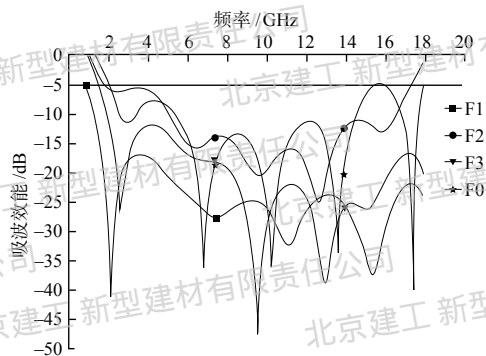


图8 不同掺量粉煤灰样品吸波效果

由图8可知,吸波效果最好的是粉煤灰添加量较少的F1(15%),添加粉煤灰最多的试件,吸波效果反而不好。这主要是由于以下几个原因造成的。

(1) 粉煤灰中含有部分碳,相当于偶极子,在电磁波的作用下,产生了阻尼振动,电磁波发生了衰减,且电磁波在碳粉多孔层结构发生多重反射也会造成损耗。

(2) 碳粉颗粒之间可以形成导电通路或漏电导效应,通过电流引起能量损耗。

(3) 粉煤灰中含有氧化物如 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 等,虽然不能导电,但其易于在基体中分散,而铁氧体( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )是1种良好电磁波屏蔽材料,其在高频时具有较高的磁导率。

### 2.4.3 不同厚度的石墨样品吸波效果

厚度对材料的吸波性能有较大的影响,不同的材料厚度不同,吸波效果也不尽相同。不同厚度的石墨吸波砂浆吸波效果如图9所示。其中,SH1、SH2、SH3和S1的厚度分别为5、10、15、20mm。

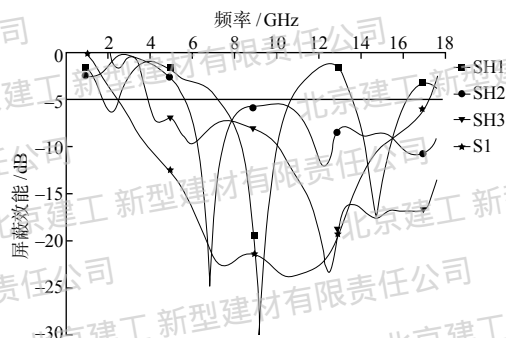


图9 不同厚度的石墨样品吸波效果

由图9可知,随厚度的不断增加,在高频区吸波效果增加较为明显。随砂浆厚度增加,吸波效果增强的原因主要是电磁波的通过路径也在增加,从而增加了电磁波的吸收以及散射损耗。而较厚的试样吸收峰逐渐增多,主要是由于电磁波发生干涉所作用。当电磁波射入砂浆表面时,部分电磁波被反射,部分透射到砂浆内部。砂浆内部的电磁波在内表面同样会发生

反射, 反射波在界面处发生透射, 透射波与界面处的反射波发生干涉相消, 增强了屏蔽效果。

#### 2.4.4 不同厚度的粉煤灰吸波砂浆吸波效果

不同厚度的粉煤灰吸波砂浆吸波效果如图 10 所示。其中, FH1、FH2、FH3 和 F1 的厚度分别为 5, 10, 15, 20 mm。

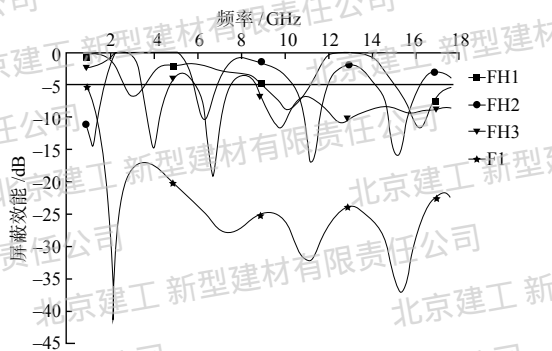


图 10 不同厚度的粉煤灰吸波砂浆吸波效果

根据测试结果可以看出, 随着厚度的增加, 吸波效果不断提高, 主要体现在吸收峰的带宽不断增加, 吸收峰的吸收性能提高, 尤其体现在高频区。

#### 2.4.5 不同厚度膨胀珍珠岩砂浆的吸波效果

选择体积百分比 30% 的膨胀珍珠岩进行了试验。不同厚度的膨胀珍珠岩吸波砂浆吸波效果如图 11 所示。其中, PH1、PH2、PH3 和 PH4 的厚度分别为 5, 10, 15, 20 mm。

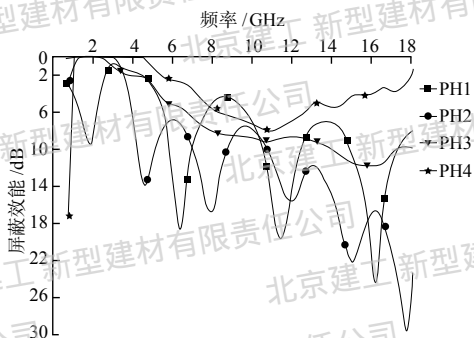


图 11 不同厚度的膨胀珍珠岩吸波砂浆吸波效果

由上图可以看出, 膨胀珍珠岩-水泥砂浆试样的电磁屏蔽效能比石墨-水泥砂浆要差, 随着厚度的不断增加, 电磁屏蔽效能并没有出现升高现象, 而是厚度为 10 mm 时吸波的带宽和吸收率达到最高。导电性越好, 电磁屏蔽效果就越好, 虽然添加膨胀珍珠岩改变了砂浆内部结构, 使其内部结构变为蜂窝状, 但膨胀珍珠岩的导电性能较差, 所以所测的吸波效果也就没有石墨作为填料时水泥砂浆效果好。

#### 2.4.6 基准砂浆与吸波砂浆吸波效果对比测试

基准试件与吸波砂浆的吸波效果对比如下

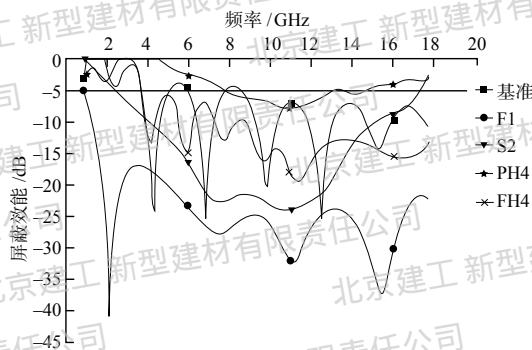


图 12 基准试件与吸波砂浆的吸波效果对比

4 个试件厚度均为 20 mm, 基准试件为使用标准砂和水泥的试件, F1 为添加粉煤灰的试件, S1 为添加石墨的试件, FH4 为添加粉煤灰表面打毛处理的试件, PH4 为添加膨胀珍珠岩和石墨的试件。吸波效果最好的为添加粉煤灰的试件; 其次为添加石墨的试件; 没有添加任何吸波材料的基准试件, 吸波效果波动较大、整体较差。

### 3 结束语

(1) 采用石墨为主要吸波材料时, 随着石墨添加量的上升, 粘结强度与抗压强度下降较为明显; 采用粉煤灰为主要吸收材料时, 用水量随着粉料量的提高而逐渐提高, 容重随之下降, 粘结强度也逐渐下降, 抗压强度在掺量 30% 时最高。

(2) 在石墨含量达到 15% 时, 石墨在砂浆中形成了很好的导电通路, 电磁屏蔽效能 25 dB 以上; 当粉煤灰添加量达到 15% 时, 电磁波吸收效果最好; 选择体积百分比 30% 的膨胀珍珠岩进行了试验, 电磁波吸附效果较石墨差一些。

(3) 随着砂浆厚度的不断增加, 吸波效果不断提高, 主要体现在吸收峰的带宽不断增加, 吸收峰的吸收性能提高, 尤其体现在高频区。

#### 参考文献

- [1] 苑金生. 开发防电磁建筑材料迫在眉睫[J]. 房材与应用, 2001(6): 47-48.
- [2] 冯则坤. 建筑用铁氧体电磁波吸收材料[J]. 新型建筑材料, 1994(1): 40-41.
- [3] 张雄, 刁志臻. 建筑吸波材料及其开发利用前景[J]. 建筑材料学报, 2006(1): 72-75.
- [4] GUAN H T, LIU S H, DUAN Y P, et al. Cement based electromagnetic shielding and absorbing building materials[J]. Cement & Concrete Composites, 2006, 28: 468-474.
- [5] 国爱丽. 高强水泥基复合材料雷达波吸收性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [6] 谢卫红, 申海峰, 李顺才, 等. 水泥基材料隐身性能改性试验与数值模拟[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2012, 1: 114-119.