

材料发热性能研究

刘 闯, 吉延峻

西京学院, 陕西 西安
Email: 1160248566@qq.com

收稿日期: 2021年5月25日; 录用日期: 2021年6月22日; 发布日期: 2021年6月29日

摘 要

针对极端天气频发, 冬季突降大雪会对城市道路交通造成重大影响的问题, 目前还没有理想的解决方法, 如何将材料的发热性能应用到混凝土的实际工程中去, 成为了当前需要解决的问题。本文通过对常见电磁感应材料如铁块、钢球、铝箔纸等进行材料发热性能试验, 得到以下结论: 铁粉、钢渣分子间存在较大空隙, 不能产生电磁热效应, 实心铁球与空心铁球与电磁发热板的接触面积较小, 不能产生电磁热效应, 其他条件相同下, 铁片面积与发热速率成正比, 发热速率与电磁功率成正比, 铝箔纸发热的最小面积约为 64 cm^2 , 且长宽比必须达到3。

关键词

电磁效应, 材料, 发热, 面积, 功率, 温度

Study on Thermal Property of Materials

Chuang Liu, Yanjun Ji

Xijing College, Xi'an Shaanxi
Email: 1160248566@qq.com

Received: May 25th, 2021; accepted: Jun. 22nd, 2021; published: Jun. 29th, 2021

Abstract

For the problem of frequent extreme weather and sudden heavy snow in winter that will have a significant impact on urban road traffic, there is no ideal solution. How to apply the heat performance to the actual engineering of concrete has become a problem to be solved. This paper through the heating performance test of common electromagnetic induction materials such as iron block, steel ball, aluminum foil, etc. to study thermal property of materials and get the following conclusion: There is no large gap between iron powder and slag, the contact area of solid

iron ball and hollow iron ball and electromagnetic heating plate is small, the area of iron sheet is proportional to the heating rate, heating ratio to the electromagnetic power, the minimum area of aluminum foil heating is about 64 cm², and the length ratio must reach 3.

Keywords

Electromagnetic Effect, Material, Heating, Area, Power, Temperature

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

目前常用的融雪化冰的方式主要有清除和融化等方法[1]。但融雪化冰技术本身存在的不足: 清除冰雪过程中需要占用行车道或封闭交通, 影响道路正常运行, 且当气温较低或积雪厚度较大时, 存在除雪效率低、清除不彻底的问题, 使得它们在实际工程应用中受到了一定的限制。

基于以上原因, 因此寻找一种安全、理想以及工程适用的热源或发热体成为了实际应用工程的关键。本文采用了基于电磁热效应的材料发热技术[2], 对不同材料、发热速率以及发热效果进行了研究, 由于实际工程设计也没有相关的标准, 所以开展这项技术的研究有着重要的现实意义和广阔的应用价值。

本论文首先对常见电磁感应材料如铁块、钢球、铝箔纸等进行材料发热性能试验, 利用一些电子设备和仪器作为辅助工具, 基于电磁效应发热混凝土关键因素是发热材料的选择及其发热性能的优劣。本文选择铁粉、钢渣、及不同粒径铁球等材料进行发热效能试验, 系统总结了外界因素对发热效能的影响[3]。本文通过使用不同的发热材料, 不同的电磁功率[4], 研究材料的发热性能。

2. 实验材料及设备

2.1. 铁粉

如图 1, 基于电磁效应的发热混凝土关键的是发热材料的选择, 常见的磁性材料有铁、钴、镍及其合金等, 铁作为其中之一, 其价格便宜, 来源非常广泛, 同时具有很强的磁性。铁粉主要为灰黑色, 按粒径可将其分为粗粉、中等粉, 细粉, 微米粉以及超细粉五个等级。本文采用铁粉材料, 拟取代混凝土中的细骨料: 现选用三种铁粉, 普通铁粉, 粒径约为 0.4 mm; 高纯细铁粉, 粒径约为 45 μm; 以及超细铁粉, 粒径约为 5 μm。

2.2. 钢渣

钢渣成分中含有部分铁, 使用钢渣进行发热试验, 拟取代混凝土中的细骨料, 同时提高混凝土的强度, 同时钢渣混入混凝土后, 可以改善混凝土的流动性和泵送性, 减低混凝土的水化热。

2.3. 实心铁球

铁作为常见的能够产生电磁效应的材料, 发热性能良好。本文选用实心铁球, 对其发热情况进行试验, 选用实心铁球主要拟替代混凝土中的粗骨料, 并有效发热, 提高混凝土的强度。本文选用的铁球的直径分别为 8 cm、9 cm 及 10 cm。

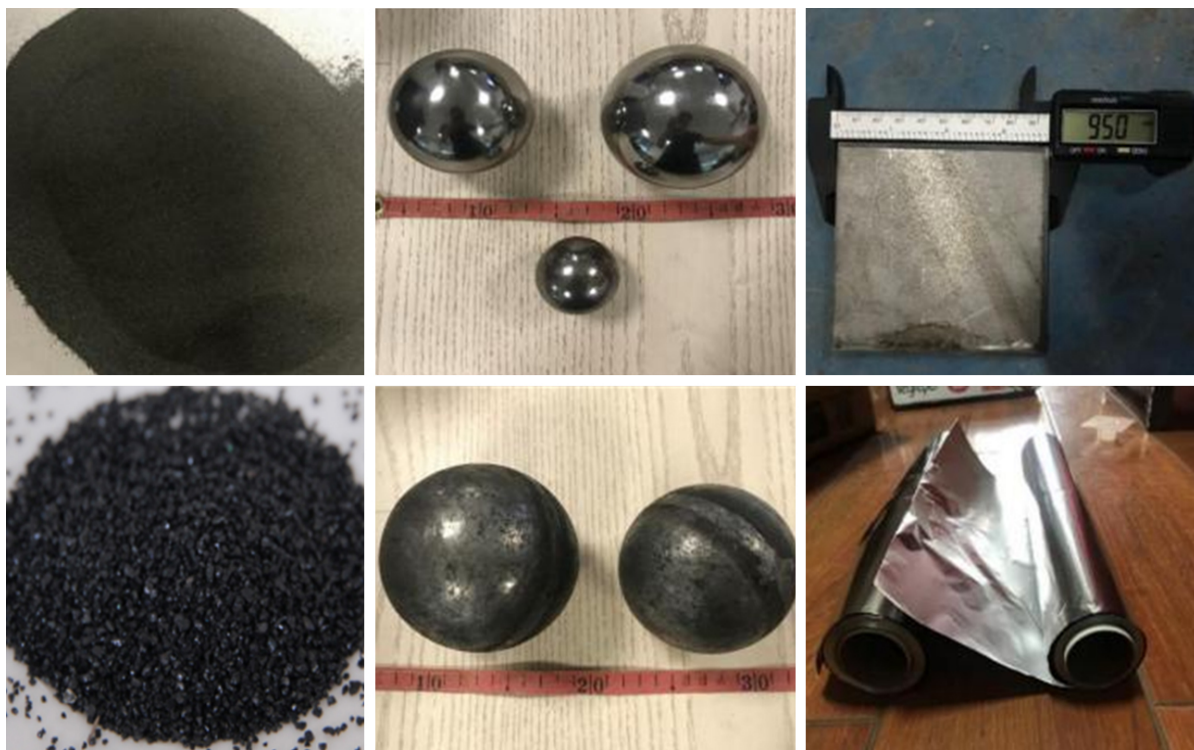


Figure 1. Heating material based on electromagnetic effects
图 1. 基于电磁效应的发热材料

2.4. 空心铁球

铁及其合金能够有效快速的发热, 选用空心铁球, 在空心铁球的中心放入混凝土既能提高混凝土的强度, 又能使其快速发热。本试验选用的三种直径的空心铁球, 分别为 8 cm、9 cm 及 10 cm。

2.5. 铁片

铁片是常见的磁性材料, 应用于各种生产和生活中, 其价格便宜, 制备工艺成熟。

2.6. 铝箔纸

除了常见的铁及其合金是磁性材料并能够产生电磁效应外, 铝箔纸由于能够产生趋肤效应从而能够有效发热[5]。其原理是交变磁场穿过铝箔纸, 铝箔纸内的电流分布不均匀, 电流主要集中在铝箔纸的表面, 而且越集中铝箔纸表面, 电流的密度越大, 使铝箔纸内的电阻增加, 使其快速发热。

3. 试验设备介绍及材料发热性能试验及结果分析

3.1. 电子称

电子称采用帝衡高精度电子称, 量程范围为 3 g~15,000 g, 误差范围为 ± 3 g。

3.2. 电磁发热器及红外测温枪等设备

将普通铁粉、高纯细铁粉及超细铁粉分别以不同的面积及厚度平摊于电磁炉的陶瓷面板上, 打开电磁炉, 在不同的功率下, 测试铁粉的发热效果。

将三种铁粉在 2000 W、2500 W、3000 W 三种不同功率下加热, 通过多次试验, 其试验结果如下表 1。

Table 1. The results of the heat test of three iron powders at different power levels
表 1. 三种铁粉在不同功率下铁粉发热试验结果

三种铁粉能否发热		铁粉面积(cm ²)		
		80	100	120
铁粉厚度(mm)	2	否	否	否
	5	否	否	否
	7	否	否	否

试验发现, 铁粉在该试验条件下均不能够有效的发热。查阅相关资料[6], 了解到固体的铁是良好的磁导体, 放在电磁炉上就可以快速的发热, 而铁粉由于颗粒与颗粒之间存在空隙, 空隙处的磁通密度相对较低, 部分磁通在空隙处流失, 从而导致磁路中产生较大的磁阻, 铁粉的磁阻较大, 使铁粉不能够有效的发热。为了解决此问题, 即减小铁粉颗粒之间的空隙, 在铁粉中按照不同的比例分别均匀的加入碳纤维粉, 一方面可减小颗粒间的空隙, 另一方面可以增加铁粉的导电性。

3.3. 钢渣

将钢渣按照与铁粉相同的试验方法测试其发热效果, 结果显示钢渣与铁粉的试验结果相同, 不能产生磁效应, 不能够有效的发热。

3.4. 实心铁球

将直径为 8 cm、9 cm 及 10 cm 的铁球分别放在功率分别为 2000 W、2500 W、3000 W 的电磁炉上, 测试其发热效果, 试验结果如下表 2。

Table 2. Results of solid iron ball heat test
表 2. 实心铁球发热试验结果

能否发热结果		电磁功率(W)		
		2000	2500	3000
铁球直径(cm)	8	否	否	否
	9	否	否	否
	10	否	否	否

从表 2 可以看出, 不同直径的铁球在不同的功率下均不能有效的发热, 阅读电磁炉说明书了解到[7], 该铁球不能够发热的原因并不是由于铁球本身的原因, 而是由于试验条件受限, 所使用的商用电磁炉产生的交变磁场只集中在电磁炉陶瓷面板正上方约 2 cm 的距离, 而铁球由于其形状的限制, 试验所用的铁球其最大横截面积距离陶瓷面板的最短距离为 4 cm, 电磁炉在此处产生的交变磁场较小或者没有, 根据传热的原理[8], 在这种情况下, 没有足够的交变磁场穿过铁球, 使铁球不能产生涡流, 不能有效的发热。

3.5. 空心铁球

空心铁球作为发热材料, 将空心铁球内部灌入混凝土, 取代混凝土中的部分粗骨料, 不同材料对混凝土的热物理性能有着很大的差别[9], 与实心铁球相比, 其含铁量低, 降低了其由于热胀冷缩对混凝土造成的破坏, 将空心铁球按照实心铁球的试验方法进行试验, 测试其发热情况。

Table 3. Results of the hollow iron ball heat test
表 3. 空心铁球发热试验结果

能否发热结果	铁球直径(cm)	电磁功率(W)		
		2000	2500	3000
	8	否	否	否
	9	否	否	否
	10	否	否	否

试验结果表 3 显示空心铁球不能够有效的发热, 其原因从试验的过程及结果分析, 与产生交变磁场的功率关系不大, 铁球的直径也不是其发热的主要因素, 借鉴实心铁球的分析, 可以总结为: 空心铁球的最大面积处与电磁力陶瓷面板的距离较远, 铁球不能感应到足够的磁场, 导致空心铁球不能产生涡流, 继而有效的发热。

3.6. 铁片

铁片是常见的电磁发热材料, 其发热效果较好。本试验选用大小为 100 mm × 100 mm × 3 mm 的铁片, 将其放在电磁炉上并设置功率为 2000 W, 测试其发热效果, 结果显示铁片能够有效快速的发热。

3.7. 铝箔纸

铁及其合金由于是磁性材料, 能够有效的发热。铝材料由于不是磁性材料而不能产生涡流而发热, 但是铝箔纸由于其趋肤效应(交变电流通过导线时, 电流在导线横截面上的分布是不均匀的, 导体表面的电流密度大于中心的密度, 且交变电流的频率越高, 这种趋势越明显, 该现象称为趋肤效应), 当有交变磁场穿过后能够快速发热。本试验选用规格为 100 mm × 100 mm × 15 μm 的铝箔纸, 将其放在电磁炉陶瓷面板上, 设置电磁炉功率为 2000 W, 测试其发热效果, 结果表明铝箔纸在功率为 2000 W 的电磁炉上, 发热速度快, 发热温度高, 达到了试验的目的和要求。

通过图 2 分析发现, 对于同为面积为 100 mm × 100 mm 的铁片, 在相同的功率及外界条件下, 厚度为 3 mm 的铁片发热速度最快, 平均升温速率达到 4.57°C/s, 且升温速率稳定; 对于厚度为 6 mm 的铁片, 其发热速度相对 1 mm 及 3 mm 的铁片最慢, 这是由于该厚度的铁片, 厚度成为影响其发热的主要因素, 此厚度的铁片在交变磁场中部分铁片不仅不能够有效的发热, 而且不能发热的部分还需吸收发热部分产生的热量, 使其升温速度减慢, 也正是由于厚度成为影响其发热的主要因素, 而当其厚度稳定不变时, 对其升温的影响也相对较稳定, 此时, 本就较稳定的外界条件的影响可忽略不计, 使其升温速率较其他两种厚度的铁片更为稳定, 其平均升温速率相对较低, 达到 2.99°C/s。

1) 铝箔纸发热最小面积测试

把铝箔纸裁剪成不同面积的矩形, 将不同大小的铝箔纸分别放在电磁炉上, 将电磁炉的功率设置为 2000 W, 测试铝箔纸能否在该条件下有效的发热, 测试结果如下表 4。

Table 4. Minimum area test for heating of aluminum foil paper
表 4. 铝箔纸发热最小面积测试

面积(cm ²)	56	60	64	68	72
是否发热	否	否	是	是	是

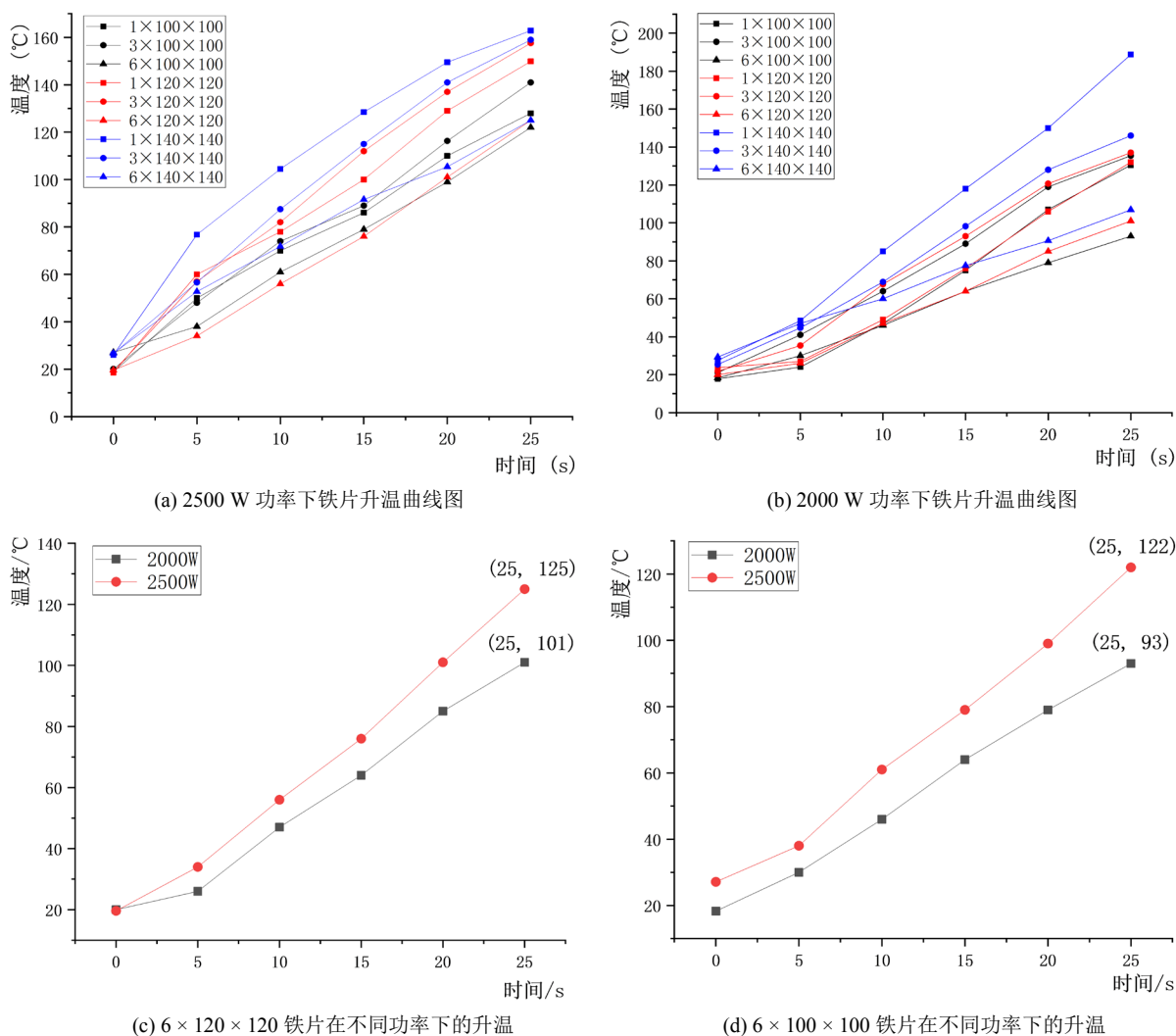


Figure 2. Heating rates of different power at the same area
图 2. 相同面积下不同功率的发热速率

试验时发现当铝箔纸厚度为 64 cm^2 时, 测试器多次发热, 结果显示铝箔纸发热结果不稳定, 因此推断此时的面积已经达到铝箔纸能否发热的临界面积, 故得出在该条件下, 其发热的最小面积约为 64 cm^2 。

试验发现, 铝箔纸由于其厚度薄, 在使用电磁炉加热时易出现铝箔纸损坏的情况, 同时由于铝箔纸质量较小, 电磁炉上的散热装置会移动铝箔纸的位置。

2) 发热材料的发热最小长宽比测试

试验显示当发热材料达到最小发热面积后, 材料的长宽比也应达到相应条件, 材料才能有效的发热, 为了测试材料发热的长宽比, 将发热材料裁剪为不同的长宽比, 测试其发热效果如下表 5。

Table 5. Weight ratio test of heating materials
表 5. 发热材料长宽比测试

材料规格(cm)	3×21.3	4×16	5×12.8	6×11	7×9.1	8×8
是否发热	否	否	否	是	是	是

从表 5 可以看出当材料达到最小面积, 且其长宽比达到 3 后, 材料才能有效的发热。

4. 本文小结

能够高效发热的材料是电磁效应发热混凝土发热效能的关键因素[10]。本实验选择铁粉、钢渣、实心铁球、空心铁球、铁片、铝箔纸等材料进行电磁感应发热试验。实验结果表明了材料发热效能受多种外界因素影响, 不同的因素对材料的发热效能均不一样, 外界影响因素主要包括: 发热材料面积、发热材料厚度、发热材料形状以及电磁功率等。

通过本文研究, 主要取得以下结论:

1) 铁粉、钢渣分子间存在较大的空隙, 不能形成有效的连续体而产生电磁热效应; 由于铁球和空心铁球与电磁发热板充分接触部分较少, 有效发热的面积距电磁发热器较远, 不能产生电磁热效应; 铝箔纸在表面存在趋肤效应, 能够快速发热。

2) 在其他条件相同的情况下, 铁片的电磁发热速率存在最优厚度, 约为 3 mm; 1 mm 厚度铁片有效电磁感应材料较少, 发热速率较慢; 6 mm 厚度铁片, 多余厚度吸收了一定热量, 使铁片的发热速率减慢。

3) 在其他条件相同的情况下, 随着铁片面积的增加, 发热速率逐渐增加, 但是增加量较小, 即面积对发热速率影响较小; 此外, 发热速率与电磁功率呈正相关; 发热速率受材料形状影响不明显。

4) 铝箔纸发热的最小面积约为 64 cm², 且其长宽比须达到 3。

参考文献

- [1] 武海琴. 发热电缆用于路面融雪化冰的技术研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2005.
- [2] Yehia, S., Tuan, C.Y., Ferdon, D. and Chen, B. (2000) Conductive Concrete Overlay for Bridge Deck Deicing: Mixture Proportioning, Optimization, and Properties. *ACI Materials Journal*, **97**, 172-181. <https://doi.org/10.14359/821>
- [3] 唐祖全, 李卓球, 侯作富, 等. 导电混凝土电热除雪的功率分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2002, 24(3): 102-105.
- [4] 葛新石, 叶宏. 传热和传质基本原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [5] 石东平, 唐祖义, 陈武. 趋肤效应的理论研究与解析计算[J]. 重庆文理学院学报(自然科学版), 2009(5): 20-23.
- [6] 陈熙谋. 中国大百科全书 74 卷(第二版)物理学[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2009: 60.
- [7] 孔令文. 安全使用电磁炉[J]. 农村电工, 2011, 19(6): 47.
- [8] 杨世铭, 陶文铨. 传热学(第四版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [9] 杨元霞, 刘宝举, 沈大荣. 不同填料对导电水泥基复合材料物理性能影响的研究[J]. 长沙铁道学院学报, 1997, 15(3): 21-25.
- [10] 袁玉卿, 许海铭, 张永健. 导电沥青混凝土发热性能实验研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(10): 128-132.