

碳纤维混凝土微波吸热效率的研究

孟 欣¹, 许金余^{1,2}, 吕晓聪³, 白二雷¹, 黄 河¹

(1. 空军工程大学航空工程学院, 西安, 710038; 2. 西北工业大学力学与土木建筑学院, 西安, 710072;
3. 中部战区空军保障部, 北京, 100005)

摘要 微波除冰是一种新型的道面除冰方法,具有加热速度快,不污染环境等特点,但除冰效率低限制了它的使用。在混凝土中掺加碳纤维能提高混凝土的导电导热性能、耐磨性等,可为道面除冰提供一种新的复合材料。通过掺入不同掺量碳纤维对混凝土进行改性,研究碳纤维混凝土的微波吸热效率、除冰效果及温度空间分布。结果表明,混凝土试件中心点的温度最高,距离中心点位置越远,温度越低;随着碳纤维掺量的逐渐增加,混凝土试件发热效率逐渐增高,碳纤维掺量为 2‰时,混凝土试件吸波发热效率最高,与此同时,混凝土试件表面中心点的温度会逐渐增大。

关键词 碳纤维; 复合材料; 微波除冰; 吸热效率; 温度空间分布

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2021.02.016

中图分类号 TU528 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2021)02-0107-04

Research on Microwave Heat Absorption Efficiency of Carbon Fiber Concrete

MENG Xin¹, XU Jinyu^{1,2}, LYU Xiacong³, BAI Erlei¹, HUANG He¹

(1. Aeronautical Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;
2. School of Mechanics and Civil Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072,
China; 3. Air Force Support Department, Central Theater of Operations, Beijing 100005, China)

Abstract Microwave deicing is a new way of deicing, because it is characterized by fast heating speed, no pollution to the environments, and low efficiency. Adding carbon fiber to concrete can improve the conductivity and wear resistance of concrete and provide a new composite material for deicing the pavement. The microwave heat absorption efficiency, deicing effect and temperature spatial distribution of carbon fiber concrete are studied. The results show that the temperature at the center of the concrete specimen is the highest, and the farther the distance is from the center, the lower the temperature. With the increase of carbon fiber content, the heating efficiency of concrete specimens increases gradually. When the carbon fiber content is 2‰, the heat absorption efficiency of concrete specimens is the highest. And at the same time, the temperature at the center of the surface of concrete specimens increases gradually.

Key words carbon fiber; composite materials; microwave deicing; heat efficiency; temperature spatial distribution

当温度低于 0 °C 时会导致道路表面结冰,将冰 层与路面分开较为困难,对交通危害很大。有效的

收稿日期: 2020-06-29

作者简介: 孟 欣(1997—),女,湖北襄阳人,硕士生,研究方向:防护工程。E-mail:1605153706@qq.com

引用格式: 孟欣,许金余,吕晓聪,等.碳纤维混凝土微波吸热效率的研究[J].空军工程大学学报(自然科学版),2021,22(2):107-110.
MENG Xin, XU Jinyu, LYU Xiacong, et al. Study on Microwave Heat Absorption Efficiency of Carbon Fiber Concrete[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2021, 22(2): 107-110.

清除道路尤其是高速公路、机场等重要设施的积冰,一直是国内外学者非常关注的问题^[1]。目前常见的除冰方法主要有机械除冰法、人工除冰法和化学除冰法等^[2]。机械除冰法是指使用路面除冰机械对路面上的冰层进行破碎,然而在施工过程中施工力度难以把握,容易破坏路面结构。人工除冰法是指工人借助简单工具如铁铲、扫把除去路面上的积冰,这种方法效率低且劳动强度大。化学除冰法是指在路面上铺洒化学试剂降低冰点,然而化学试剂的使用会污染周边土壤及水环境^[3]。因此,寻找一种高效又环保的除冰方法成为亟需解决的热点问题^[4]。

微波除冰作为一种新型的、环保型的除冰方式,得到了许多学者的重视。2003年,北方交通大学的徐宇工等通过实验得出微波能穿过冰面作用在路面上,产生的热量能够使冰面融化,消除冰层与路面的粘结力,进而达到除冰的目的^[5]。2008年,长安大学焦生杰等通过研究微波除冰的效率得出5.8 GHz磁控管能使微波除冰的效率提高4~6倍,路面使用铁磁性的材料加铺层能使微波除冰的效率提高3~5倍^[6]。2018年,刘俊良等通过研究不同铁黑掺量对混凝土微波除冰的影响,得出铁黑掺量越多,微波除冰的效率越高^[7]。这些学者研究出不同工况下微波除冰的效率,但是对于不同碳纤维掺量混凝土微波吸热效率的研究比较少,仅停留在简单的碳纤维

混凝土与普通混凝土微波除冰效率的对比,缺乏碳纤维掺量对混凝土表面吸波后的温度分布影响的研究。因此,本文针对不同碳纤维掺量混凝土微波吸热效率展开试验研究并进行机理分析。

碳纤维是一种新型纤维材料,具有强度高、电阻低、导热性强等特性,其导电导热性能可有效提高混凝土微波除冰的效率^[8]。因此,本试验以掺加碳纤维混凝土为研究对象,测试不同掺量碳纤维混凝土微波除冰效率的变化规律,观察不同掺量碳纤维混凝土的除冰效果以及混凝土试块表面的温度分布,对于进一步提高路面微波除冰效率具有重大意义。

1 试验

1.1 原材料的选用

混凝土试件制备采用的原材料主要有:水泥、砂、石子、水、减水剂、碳纤维。水泥选用陕西尧柏水泥厂生产的普通硅酸盐水泥;细骨料采用灞河天然砂;粗骨料采用锤式破碎机生产的石灰岩碎石;拌和水选用西安市灞桥区供应的自来水;减水剂使用陕西中易化工有限公司生产的PCA型聚羧酸减水剂。碳纤维用量分别为混凝土体积的1‰、2‰、3‰^[9]。混凝土配合比依据JGJ 55—2011《普通混凝土配合比设计规程》进行设计,各组分质量占比见表1。

表1 碳纤维改性机场道面混凝土配合比设计

单位:kg

组分	水泥	水	砂	石	减水剂	1‰碳纤维	2‰碳纤维	3‰碳纤维	合计
质量	320	140	592	1 377	3.52	1.62	3.24	4.86	2 432

1.2 试件制备及试验设备

1.2.1 试件制备过程

本文设计混凝土试件的尺寸为50 cm×50 cm×5 cm。混凝土的制备过程参考实际工程中水泥混凝土的制备流程进行,主要有原材料准备、计量、拌和、装料、振实、养护、脱模7个步骤。

1.2.2 试件设备及试验方法

试验采用自主设计的开放式微波除冰试验系统。该系统由磁控管、自主设计开放式微波除冰设备、光纤测温传感器等构成。试验采用磁控管激发微波,磁控管型号为OM75P(31)ESGN。波导口是上海赛涵机械设备有限公司生产的BJ-22型。光纤传感器是YL-PL型无源光纤温度传感器。

进行不同碳纤维掺量的吸波发热试验。碳纤维长度选择0.3 cm,微波发射源喇叭口距混凝土试件表面高度为20 mm,采用光纤传感器和无纸记录仪测量温升曲线。

2 试验结果及分析

2.1 不同掺量碳纤维的混凝土的温升曲线分析

将光纤温度传感器布设在混凝土试件表面的中心点,照射90 s,每1 s记录1次,每组试件进行5次重复试验,取5次试验平均值,得到不同碳纤维掺量的温度-时间曲线(图1),并记录不同试件温度上升速率最大值、稳定值及温升幅度(表2)。

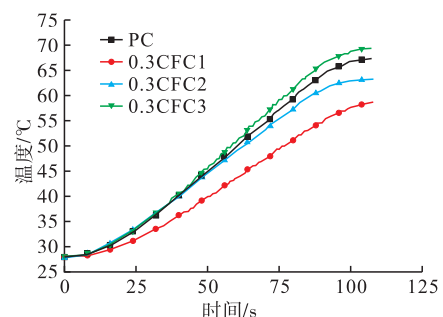


图1 不同碳纤维掺量混凝土的温度-时间曲线

表 2 不同试件的温度上升速率最大值、稳定值及温升幅度

试件	PC	0.3CFC1	0.3CFC2	0.3CFC3
最大值	0.48	0.38	0.42	0.60
稳定值	0.45	0.36	0.40	0.56
温升幅度	32.3	25.4	31.7	42.9

从温升曲线和温升幅度表中可以看出:

1) 随时间增加,各掺量混凝土试件表面中心点温度逐渐升高,说明碳纤维混凝土吸收微波并发热。

2) 在前 20 s 内,试件表面的温度上升比较缓慢;25~80 s 区间内温升曲线近似于一条直线,上升速度明显提升;80 s 之后试件表面中心点温度逐渐趋于一个稳定值,上升的速度逐渐变得缓慢,说明碳纤维混凝土具有一定的温敏性。

3) 碳纤维掺量为 3% 的试件温度上升速率一直高于 PC 试件,碳纤维掺量为 1%、2% 的试件温度上升速率低于 PC 试件,碳纤维掺量为 3% 时,混凝土试件表面中心点的温升幅度最大,说明当碳纤维掺量达到某一特定值时才能提高混凝土的吸波能力。

2.2 碳纤维混凝土吸波后的温度分布

温升曲线只能反映试件表面中心点的温度随时间的变化规律,不能全面的反映出碳纤维掺量对混凝土吸波发热效率的影响,因此还需进一步研究微波照射下试件表面温度在空间上的分布规律。对此,在微波照射结束后用 FLIR ONE PRO 红外成像仪拍摄试件表面的红外温度分布图。

图 2 为不同碳纤维掺量混凝土试件表面的红外图像,红色的部分温度高,蓝色的部分温度低,温度最高的部分呈白色。

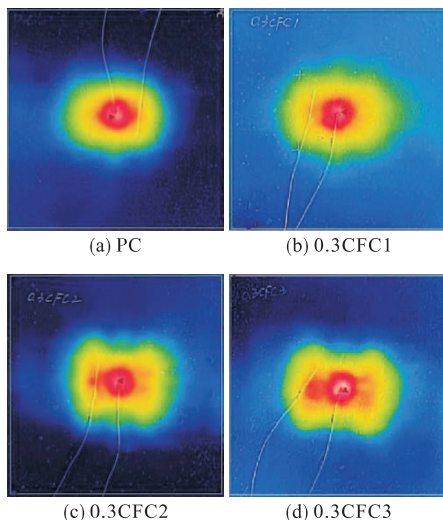


图 2 不同碳纤维掺量混凝土试件表面红外成像
由图 2 可以看出:

1) 随着碳纤维掺量的增加,试件中心的红色区域面积越来越大,混凝土试件表面绿色的边缘向外扩展的面积逐渐增大,即试件中心的温度越来越高,扩散的区域也逐渐增大。说明随着碳纤维掺量的增

加,混凝土试件的吸波能力逐渐增强。

2) 碳纤维掺量为 1% 时,中心的红色区域近似于圆形,掺量为 2% 时,中间的红色区域逐渐向左右两侧扩展,且扩展的颜色偏浅;掺量为 3% 时,中间的红色区域进一步向两侧扩展。这说明随着碳纤维掺量的增加,试件温度上升的并不均匀。

3) 随着碳纤维掺量的增加,混凝土试件中心的白色区域逐渐增大且颜色加深。这说明试件中心点的温度逐渐增高,与边缘区域的温差越来越大。

为比较加热后试件表面各点的温升情况,绘制了 4 组试件表面温度分布立体图(图 3)。通过测量得到各组混凝土试件表面高于室温的有效加热长度(表 3),以此来分析各组试件有效加热面积的大小。

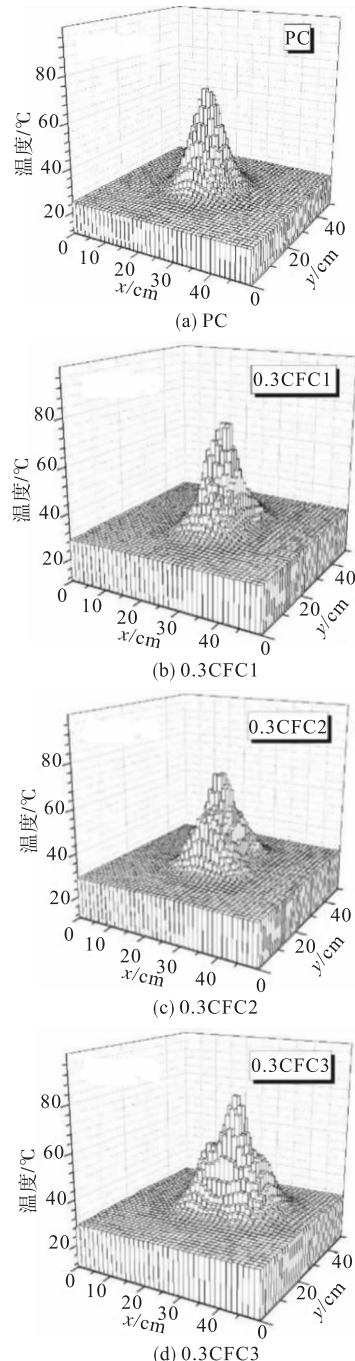


图 3 不同碳纤维掺量试件表面吸波发热温度分布立体图

表3 不同纤维掺量的有效加热长度

纤维掺量/%	有效加热长度/cm
0	27.50
1	31.25
2	28.75
3	21.25

从温度分布立体图和有效加热长度表可知:

1)碳纤维掺量为1%和2%的试件有效加热面积略大于未掺加碳纤维试件,碳纤维掺量为3%的试件有效加热面积小于PC试件,说明在一定范围内,加入碳纤维的混凝土试件的有效加热面积会比PC试件大,超过这一范围,就会抑制混凝土试件的导热速率。

2)随着碳纤维掺量的增加,混凝土试件中心点的温度呈现增高的趋势,碳纤维掺量为3%的混凝土试件中心点温度最高,然而其他点的温度均比混凝土试件CFC1和CFC2低,说明碳纤维掺量越多,混凝土试件中心点的温度越高,但混凝土试件表面温度传递的速度会远远降低。

2.3 机理分析

混凝土吸收微波能量的大小不仅与本身的吸波性能有关,还与混凝土表面阻抗匹配有关^[10]。根据能量守恒原理,可知:

$$U_d = U_e + U_p$$

式中: U_d 为微波动能; U_e 为弹性变形能; U_p 为混凝土的能量耗散。

碳纤维对混凝土的影响分为2个方面,一方面混凝土的导电率增加,试件内部产生电损耗,损耗产热就会有一定的增加;另一方面混凝土从绝缘体转变成了半导体,电阻率由无穷大急剧下降,增加了混凝土表面的反射率,减弱了透射波的电场强度,不利于混凝土的吸波发热^[11]。

通过对微波照射后的混凝土试件表面温度变化的研究,可将中心点温升幅度、有效加热长度视为评价碳纤维混凝土吸波发热效率的两个指标。试件中心点温升幅度可表示混凝土试件中心点温度上升速率,试件有效加热长度可表示混凝土试件表面微波加热后的有效加热面积。通过以上研究数据可得出:CFC3混凝土试件中心点的温度上升速率高于混凝土试件CFC1和CFC2,然而有效加热长度比试件CFC1和CFC2都小;CFC1混凝土试件有效加热面积比混凝土试件CFC2和CFC3大,但中心点的温度上升速率低于混凝土试件CFC2和CFC3。综

上可得出当碳纤维掺量为2%时,混凝土试件的吸波发热效率最好。

3 结论

1)加入碳纤维使混凝土导电导热性增强,提高了混凝土的极化强度,有助于提高混凝土的吸波性能。

2)随着碳纤维掺量的增大,混凝土试件表面中心点的温度逐渐增大,由试验结果可得碳纤维掺量为3%时,混凝土试件的温升幅度最大。

3)随着碳纤维掺量的增大,混凝土试件表面有效加热长度逐渐减小,综合考虑中心点温升幅度、有效加热长度两个指标可得,当碳纤维掺量为2%时,混凝土试件的吸波发热性能最好。

参考文献

- [1] 唐相伟,焦生杰,高子渝.微波除冰应用及分析[J].筑路机械与施工机械化,2008,25(7):15-18.
- [2] 王选仓,陆凯珍.公路路面融雪化冰技术与发展[J].筑路机械与施工机械化,2013,30(1):26-31.
- [3] 李笑,徐宇工,刘福利.微波除冰方法研究[J].哈尔滨工业大学学报,2003,35(11):1342-1343.
- [4] LINDROTH D P, BERGLUND W R, WUNGQUIST C F. Microwave Thawing of Frozen Soils and Gravels [J]. Journal of Cold Regions Engineering, 1995,9(2):53-63.
- [5] 关明慧,徐宇工,卢太金.微波加热技术在清除道路积冰中的应用[J].北方交通大学学报,2003,27(4):79-83.
- [6] 焦生杰,唐相伟,高子渝.微波除冰效率关键技术研究[J].中国公路学报,2008,21(6):121-126.
- [7] 刘俊良,姚天麟,许金余.铁黑掺量对混凝土微波除冰效率的影响研究[J].混凝土,2018(8):31-34.
- [8] 葛宇川,刘数华.碳纤维导电混凝土特性研究进展[J].硅酸盐通报,2019,38(8):2442-2447.
- [9] 李为民,许金余,翟毅,等.冲击荷载作用下碳纤维混凝土的力学性能[J].土木工程学报,2009,42(2):24-30.
- [10] 翁立,闵永刚.石墨烯基吸波复合材料的研究新进展[J].功能材料,2017,48(12):12041-12049.
- [11] 张妃二,姚立宁.碳纤维混凝土吸波耗能研究[J].纤维复合材料,2003,20(1):42-43.
- [12] 康超鹏.微波对道面水泥混凝土除冰效率及耐久性的影响研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019:10.

(编辑:姚树峰)