[环保·安全]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.06.018

金属辐射板冬季供热性能实验研究

王鑫昊，傅允准

（上海工程技术大学 机械与汽车工程学院，上海 201620）

摘 要:为研究金属辐射板冬季供热特性,搭建了金属辐射板测试系统实验台。采用改变进水温度以及环境温度的方法,对单块金属辐射板换热能力进行了测试。研究结果表明:进水温度由36 ℃升高到40 ℃后,金属辐射板表面平均温度上升了3.35 ℃,平均供热量提高了25.29%;环境温度由18 ℃升高到22 ℃后,金属辐射板表面平均温度升高了0.22 ℃,平均供热量降低了17.76%。该金属辐射板冬季供热时,适当提高进水温度,供热效果更佳。

关 键 词:金属辐射板;供热性能;平均供热量;表面平均温度

中图分类号:TU831.3 **文献标志码**:A **文章编号**:1005-2895(2019)06-0093-06

Experimental Study on Heating Performance of Metal Radiant Panels in Winter

WANG Xinhao, FU Yunzhun

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In order to study the heating characteristics of the metal radiant panel in winter, a test bench for the metal radiant panel test system was built. The heat transfer capability of the single metal radiant panel was tested by changing the inlet water temperature and the ambient temperature. The results show that after the inlet water temperature raises from 36 ℃ to 40 ℃, the average surface temperature of the metal radiant panel increases by 3.35 ℃, the average heat supply increases by 25.29%; the ambient temperature raises from 18 ℃ to 22 ℃, the average surface temperature of the metal radiant panel increases by 0.22 ℃, and the average heat supply decreases by 17.81%. When the metal radiant panel is heated in winter, the inlet water temperature is appropriately increased, the heating effect is better.

Keywords: metal radiant panel; heating performance; average heat supply; average surface temperature

顶板辐射空调系统供冷与供暖,是欧洲多数国家普遍采用的空调形式之一,相较于传统的空调形式,顶板辐射空调系统具有传热效果优良、不占据室内空间及能耗效率高等特点,被用于办公场所、学校等一些大型公共建筑物中[1-3]。

辐射板作为顶板辐射空调系统的一个重要组成部分,国内外的许多学者都对辐射板进行了大量的研究。Sattari等[4]研究了辐射板空调系统中盘管管径、辐射板材质和辐射板上盘管数量以及辐射板的厚度,对辐射空调系统表面温度所产生的影响;Karadag[5]分析了辐射板表面所产生的自然对流换热和辐射对流换热的系数之间存在的联系,通过数值模拟以及实验测试验证的方法,得出了二者之间的关系;Koschenz等[6]通过对毛细管网辐射板的研究,发现厚度在5 cm以下石蜡做成的毛细管网辐射板具有较好的蓄热性,并由实验测试证明了该辐射板的性能;邸宇航[7]通过实验研究了供水温度、室内温度、供水流量、辐射板表面风量和供水时间对于辐射板表面换热量的影响,又通过建立辐射板三维传热模型,模拟了供水温度、管内水速、盘管间距、地板材料、辐射板厚度以及开孔孔径对于辐射板表面换热量与温度的影响;张卓等[8]通过数值模拟研究了抹灰厚度、水流速、供水温度、室内温度对于毛细管辐射吊顶的供冷能力的影响;狄洪发等[9]在小空间的实验室中对辐射吊顶进行了供冷/供暖测试,并且

收稿日期:2019-05-20;**修回日期**:2019-09-19

第一作者简介:王鑫昊(1995),男,河南洛阳人,硕士研究生,主要研究方向为辐射空调系统。**通信作者**:傅允准(1978),男,浙江平阳人,博士,副教授,主要研究方向为热泵技术及建筑节能。E-mail:Fuyunzhun@126.com

依据实验数据,得出辐射吊顶表面以及房间内温度分布曲线;马玉奇等[10]通过构造冷却顶板空调系统模型,并在 MATLAB 中进行计算,分析了不同因素对于辐射板表面换热性能的影响;黄小君等[11]研究了太阳辐射是否会对辐射顶板供冷能力以及负荷产生影响;刘盛酉等[12]针对所处夏热冬冷地区的阅览室空调负荷以及当地气候特点,提出了一种多孔式金属辐射顶板,并对其热舒适性进行了研究。课题组对金属辐射板在冬季供暖中的换热性能进行了实验测试,得到了该金属辐射板的换热特性。

1 金属辐射板测试系统概况

1.1 金属辐射板

实验测试的金属辐射板由 6 块形状相同的长条形肋片组成,每块肋片宽度为 70 mm,长度为 456 mm,肋片总长度为470 mm,总宽度为456 mm,盘管外径为 10 mm;每块长条形肋片都有固定盘管的卡槽,盘管安装在其中,如图 1 所示。

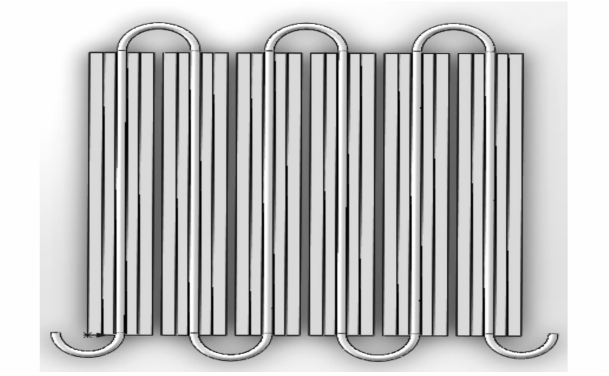


图 1 金属辐射板

Figure 1 Metal radiant panel

1.2 金属辐射板测试系统

辐射板测试系统如图 2 所示。该系统位于上海工程技术大学实验室内,室内的冷、热环境通过土壤源热泵空调系统进行控制,使得室内温度保持在所需的实验工况温度下。金属辐射板通过空气源热泵系统来为其提供夏季供冷所需的冷水以及冬季供热所需的热水。根据实用供热空调设计手册[13],通过测量金属辐射板的表面温度以及环境温度,便可得出金属辐射板在不同工况下的换热量。金属辐射板测试系统实验如图 3 所示。

1.3 传感器位点布置

金属辐射板表面温度传感器的布置如图 4 所示。在金属辐射板 $A \sim C$ 测点分别布置一个温度传感器,在金属辐射板供回水管路上各布置 1 个水温传感器,

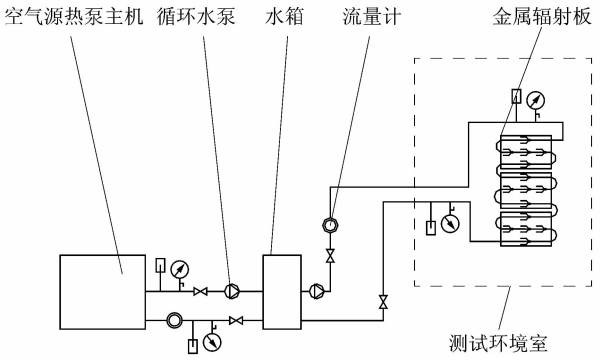
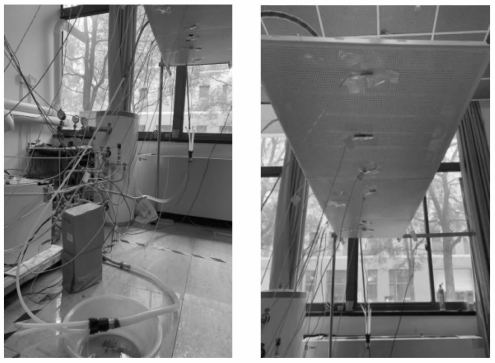


图 2 测试系统

Figure 2 Test system



(a) 水箱 (b) 金属辐射板

图 3 金属辐射板测试系统实验图

Figure 3 Experimental diagram of metal radiant panel test system

供水管路上还布置有 1 个涡轮流量计。

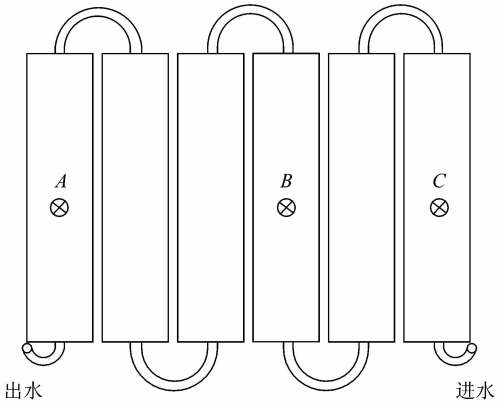


图 4 金属辐射板表面温度测点

Figure 4 Metal radiant panel surface temperature measurement point

1.4 测试系统仪器

金属辐射板肋片表面温度使用 Pt100 热电阻进行测量,数据经由 Agilent 采集并记录。进回水温度由温度传感器进行测量,数据经 S7-200PLC 在上位机中由

WinCC 组态软件采集并记录。进水流量通过控制开关进行调节,并通过涡轮流量计进行监测。

2　实验工况

在供暖的工况下,通过改变进水温度和环境温度做了 5 组工况的实验,工况具体参数如表 1 所示。

表 1　实验工况参数

Table 1　Experimental condition parameters

工况编号	进水温度/℃	环境温度/℃
1	40	18
2	40	20
3	40	22
4	36	20
5	38	20

3　实验结果及分析

3.1　改变环境温度对金属辐射板换热性能的影响

1)工况 1。设置室内环境温度为 18 ℃,设置空气源热泵系统中金属辐射板进水温度为 40 ℃,实验测得了金属辐射板进回水温度、表面温度和换热量变化情况如图 5 ~7 所示。

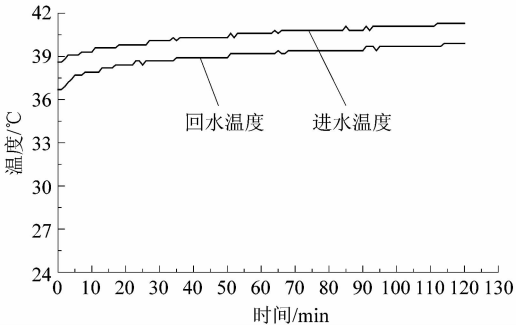


图 5　工况 1 金属辐射板进回水温度

Figure 5　Metal radiant panel inlet and outlet water temperature under working condition 1

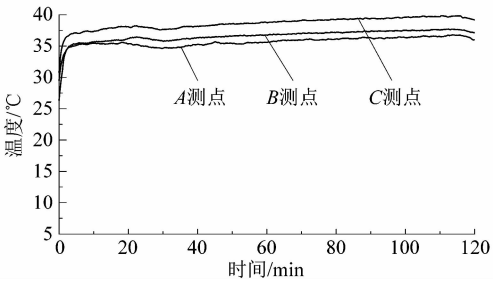


图 6　工况 1 金属辐射板表面不同测点温度

Figure 6　Different measuring point temperature on surface of metal radiant panel under working condition 1

从图 5 ~7 可知:金属辐射板表面温度和换热量基本呈现出同样的变化趋势。在连续的 2 h 的运行时间

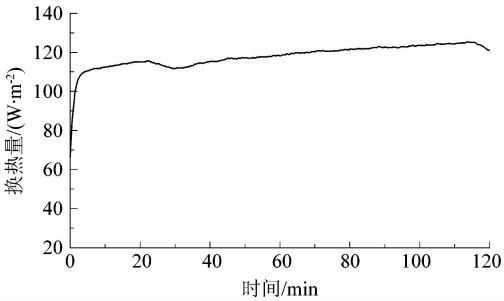


图 7　工况 1 金属辐射板表面换热量

Figure 7　Surface heat transfer of metal radiant panel under working condition 1

里,随着运行时间的增长,进水温度逐渐上升并达到设定温度,金属辐射板表面温度也随之呈现出上升趋势,*A*,*B* 和 *C* 测点总的平均温度在 36.98 ℃左右;进、回水平均温差为 1.5 ℃左右;测试时间内,金属辐射板表面实际的供热量在 66.66 ~125.34 W/m^{2}范围内。

2) 工况 2。将室内环境温度提升至 20 ℃,设置空气源热泵系统中金属辐射板进水温度为 40 ℃,实验测得了金属辐射板进回水温度、表面温度和换热量的变化情况如图 8 ~10 所示。

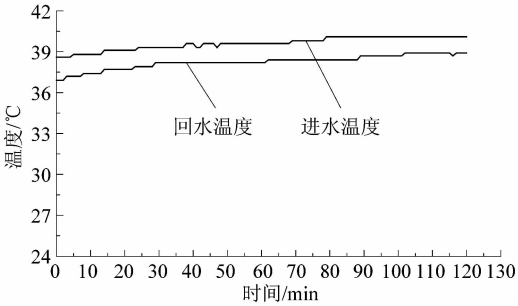


图 8　工况 2 金属辐射板进回水温度

Figure 8　Metal radiant panel inlet and outlet water temperature under working condition 2

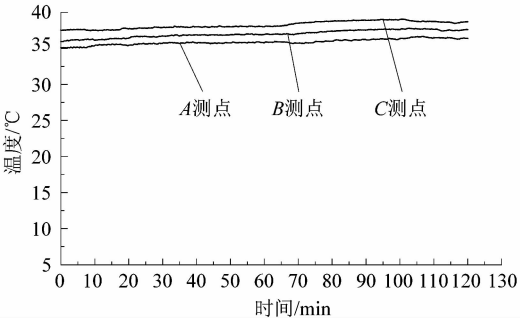


图 9　工况 2 金属辐射板表面不同测点温度

Figure 9　Different measuring point temperature on surface of metal radiant panel under working condition 2

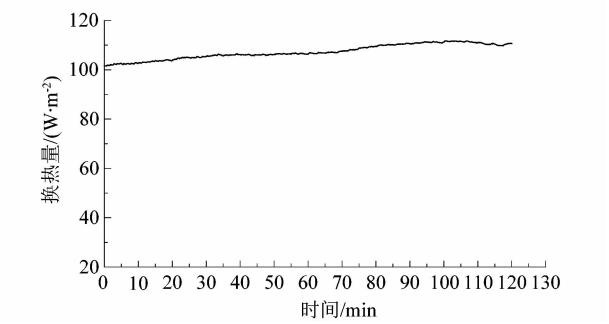


图 10　工况 2 金属辐射板表面换热量

Figure 10　Surface heat transfer of metal radiant panel under working condition 2

由图 8 ~ 10 可知:在金属辐射板进水温度为 40 ℃的情况下,将室内环境温度提高到 20 ℃,比工况 1 的室内环境温度高出 2 ℃时,金属辐射板表面 *A*,*B* 和 *C* 测点总的平均温度在 37.06 ℃左右;进、回水平均温差为 1.4 ℃左右。相较于工况 1,金属辐射板表面平均温度升高了 0.08 ℃,进、回水平均温差减少了 0.1 ℃;金属辐射板表面实际的供热量在 101.52 ~ 111.70 W/m^{2}范围内。

3) 工况 3。将室内环境温度继续提升至 22 ℃,设置空气源热泵系统中金属辐射板进水温度为 40 ℃,实验测得了金属辐射板进回水温度、金属辐射板表面温度和换热量的变化情况如图 11 ~ 13 所示。

由图 11 ~ 13 可知:在金属辐射板进水温度仍为 40 ℃的情况下,将室内环境温度继续提高到 22 ℃,金属辐射板表面 *A*,*B* 和 *C* 测点总的平均温度在 37.20 ℃左右;进、回水平均温差在 1.3 ℃左右,相较于工况 1 与工况 2,金属辐射板表面的平均温度分别升高了 0.22 和 0.14 ℃;进、回水平均温差分别降低了 0.1 和 0.2 ℃;金属辐射板表面实际的供热量在 21.59 ~ 101.66 W/m^{2}范围内波动。

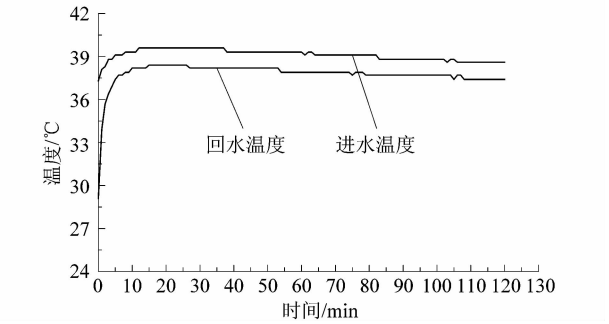


图 11　工况 3 金属辐射板进回水温度

Figure 11　Metal radiant panel inlet and outlet water temperature under working condition 3

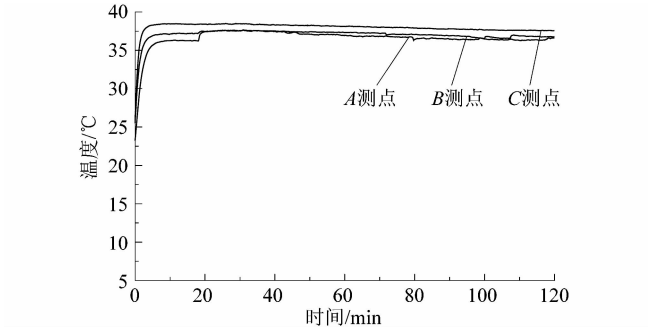


图 12　工况 3 金属辐射板表面不同测点温度

Figure 12　Different measuring point temperature on surface of metal radiant panel under working condition 3

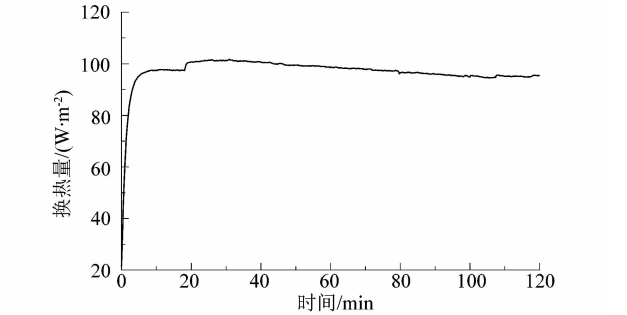


图 13　工况 3 金属辐射板表面换热量

Figure 13　Surface heat transfer of metal radiant panel under working condition 3

由图 14 可知,在系统运行期间,工况 1 的平均供热量为 117.90 W/m^2,工况 2 相较于工况 1,平均供热量低了 9%,工况 3 相较于工况 1 和工况 2,平均换热量供热量分别降低了 17.76% 和 9.63%。

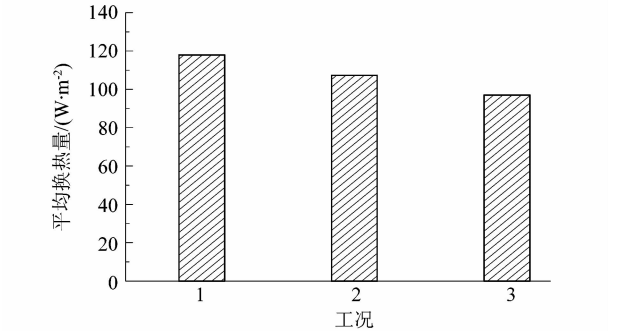


图 14　不同环境温度下金属辐射板平均换热量

Figure 14　Average heat transfer of metal radiant panels at different ambient temperatures

综合工况 1、工况 2 和工况 3,在进水温度保持不变的情况下,随着金属辐射板周围环境温度的不断升高,各个工况下金属辐射板表面的进、回水温差逐渐降低,金属辐射板的平均供热量也随之减少,说明金属辐射板本身可以根据环境温度的变化,具有一定调节自

身供热量的能力。当环境温度从 18 ℃上升到 22 ℃,金属辐射板的平均供热量降低了 21 W/m^2。从工况 1、工况 2 和工况 3 整体来看,在较低的环境温度下,金属辐射板的供热效果更好。

3.2　改变进水温度对金属辐射板换热性能的影响

1）工况 4。设置室内环境温度为 20 ℃,空气源热泵系统中金属辐射板进水温度为 36 ℃,实验测得金属辐射板进回水温度、表面温度和换热量变化情况如图 15 ~ 17 所示。

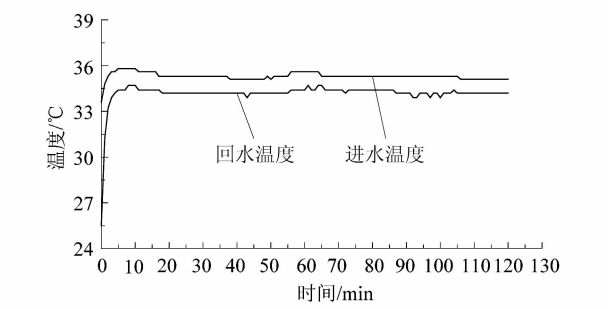


图 15　工况 4 金属辐射板进回水温度

Figure 15　Metal radiant panel inlet and outlet water temperature under working condition 4

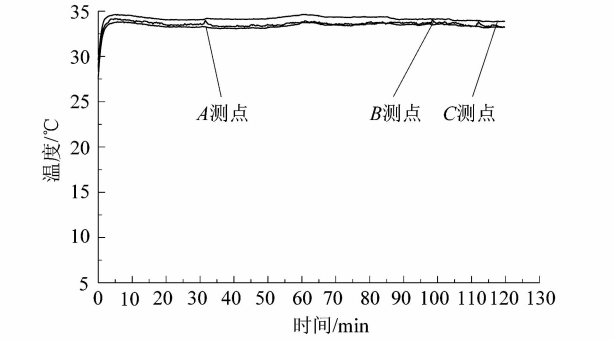


图 16　工况 4 金属辐射板表面不同测点温度

Figure 16　Different measuring point temperature on surface of metal radiant panel under working condition 4

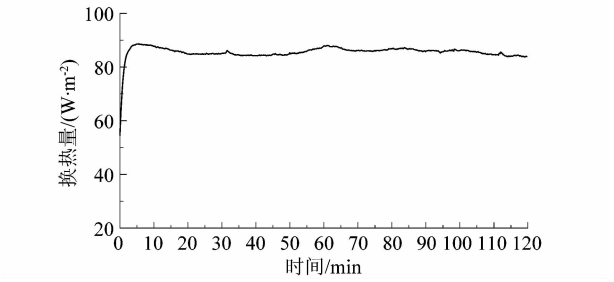


图 17　工况 4 金属辐射板表面换热量

Figure 17　Surface heat transfer of metal radiant panel under working condition 4

根据图 15 ~ 17 分析知,室内环境温度维持在 20 ℃时,将金属辐射板进水温度设置为 36 ℃,相较于工况 2 进水环境温度低 4 ℃的情况下,金属辐射板表面 *A*,*B* 和 *C* 测点总的平均温度在 33.72 ℃左右,进、回水平均温差在 1.1 ℃左右,相较于工况 2,金属辐射板表面的平均温度降低了 3.35 ℃,金属辐射板表面实际的供热量在 54.64 ~ 88.63 W/m^{2}之间。

2）工况 5。保持室内环境温度为 20 ℃,空气源热泵系统中金属辐射板进水温度升高至 38 ℃,实验测得了金属辐射板进回水温度、表面温度和换热量变化情况如图 18 ~ 20 所示。

由图 18 ~ 20 可知:在环境温度仍然保持 20 ℃不变的情况下,将金属辐射板进水温度提高到 38 ℃,比工况 2 的金属辐射板进水温度低 2 ℃时,金属辐射板表面 *A*,*B* 和 *C* 测点总的平均温度在 36.08 ℃左右,进、回水平均温差在 1.1 ℃左右,金属辐射板表面平均温度与工况 2 相比降低了 0.98 ℃,与工况 4 相比升高了 2.37 ℃,金属辐射板表面实际的供热量在 25.35 ~ 106.42 W/m^{2}范围内。

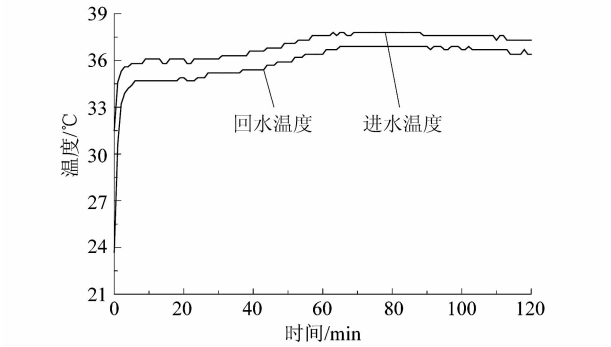


图 18　工况 5 金属辐射板进回水温度

Figure 18　Metal radiant panel inlet and outlet water temperature under working condition 5

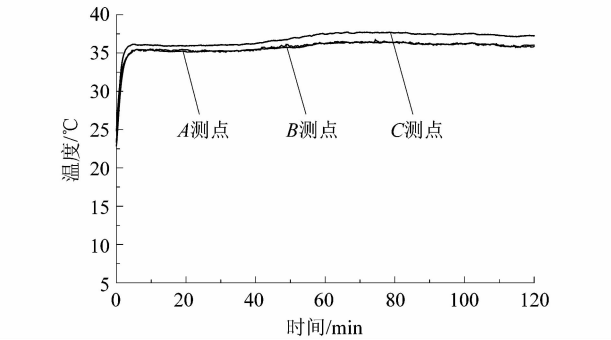


图 19　工况 5 金属辐射板表面不同测点温度

Figure 19　Different measuring point temperature on surface of metal radiant pane lunder working condition 5

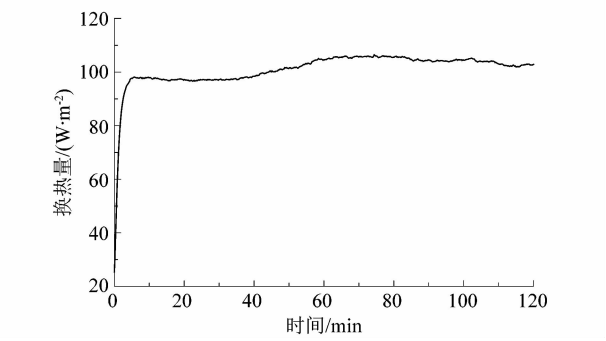


图 20 工况 5 金属辐射板表面换热量

Figure 20 Surface heat transfer of metal radiant panell under working condition 5

由图 21 可知,在系统运行期间,工况 2 的平均供热量为 107.29 W/m^2;工况 4 相较于工况 2,平均供热量低了 20.2%;工况 5 相较于工况 2,平均换热量供热量降低了 6.0%,相较于工况 4,平均换热量升高了 15.13%。

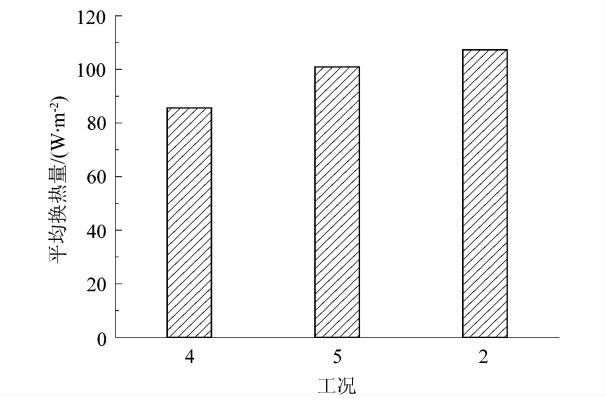


图 21 不同进水温度下金属辐射板平均换热量

Figure 21 Average heat transfer of metal radiant panels at different inlet temperatures

由工况 2、工况 4 和工况 5 可知,在环境温度保持不变的情况下,随着金属辐射板进水温度的不断升高,各个工况下金属辐射板表面的平均温度与进回水温差逐渐变大,金属辐射板的平均供热量也随之提高。当金属辐射板进水温度从 36 ℃上升到 40 ℃时,金属辐射板的平均供热量提高了 25.29%,从工况 2、工况 4 和工况 5 整体来看,适当的提高进水温度,有利于该金属辐射板供热能力的提高。

4 结论

课题组通过对单块金属辐射板冬季供热的实验研究得到以下结论:

1) 环境温度由 18 ℃升高到 22 ℃,金属辐射板表面平均温度升高了 0.22 ℃,进、回水平均温差降低了 0.2 ℃,平均供热量低了 17.76%。

2) 进水温度由 36 ℃升高到 40 ℃,环境温度相同时,金属辐射板表面平均温度上升了 3.35 ℃,进、回水平均温差升高了 0.4 ℃,平均供热量提高了 25.29%。

3) 环境温度与进水温度的改变,都对金属辐射板的供热能力有一定的影响,随着环境温度的逐步升高,金属辐射板的供热能力呈现出下降的趋势;而随着进水温度的升高,反而使金属辐射板与环境的换热能力增强。所以,在环境温度不可控而进水温度可控的情况下,适当的提高进水温度,会使金属辐射板提供更好的换热效果。

参考文献:

[1] 刘慧. 一种新型模块化吊顶辐射板热工性能研究[D]. 长沙:湖南大学,2015:1.

[2] 马玉奇,刘学来,李永安,等. 辐射顶板空调系统研究与发展综述[J]. 山东建筑大学学报,2008,23(5):449.

[3] 邹雷琴. 辐射空调系统简介[J]. 信息记录材料,2017,18(6):192.

[4] SATTARI S, FARHANIEH B. A parametric study on radiant floor heating system performance[J]. Renewable Energy,2006,31(10):1617-1626.

[5] KARADAG R. The investigation of relation between radiative and convective heat transfer coefficients at the ceiling in a cooled ceiling room[J]. Energy Conversion and Management,2009,50(1):1-5.

[6] KOSCHENZ M, LEHMANN B. Development of a thermally activated ceiling panel with PCM for application in lightweight and retrofitted buildings[J]. Energy and Buildings,2004,36(6):567-568.

[7] 邸宇航. 辐射板供冷供暖传热特性的分析研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2015:9.

[8] 张卓,翁文兵,垢秋爽. 毛细官网辐射吊顶供冷能力的数值模拟研究[J]. 建筑节能,2018,46(7):77-80.

[9] 狄洪发,王威,江亿,等. 辐射吊顶的实验研究[J]. 暖通空调,2000,30(4):5-8.

[10] 马玉奇,刘学来,李永安,等. 冷却顶板空调系统热工参数分析[J]. 山东建筑大学学报,2007,22(5):425-429.

[11] 黄小君,李念平,郑德晓,等. 太阳辐射对辐射顶板供冷能力和负荷的影响[J]. 太阳能学报,2017,38(7):1779-1785.

[12] 刘盛酉. 夏热冬冷地区阅览室辐射空调系统研究[D]. 株洲:湖南工业大学,2013:8.

[13] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2007:495-497.