

文章编号: 0253-4339(2013)01-0081-04

doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2013.01.081

辐射吊顶换热性能的实验研究

于国清 陶勤练

(上海理工大学环境与建筑学院 上海 200093)

摘要 对两种不同形式的辐射吊顶板的换热性能进行了实验研究。测试结果表明, 并联毛细管型辐射吊顶换热性能优于串联盘管型辐射吊顶, 在供回水平均温度与室温之差为 8°C 时, 毛细管型辐射吊顶供冷量为 $64.4\text{W}/\text{m}^2$, 盘管型为 $55.0\text{W}/\text{m}^2$ 。对于同一辐射吊顶板, 在同样的供回水平均温度与室温差下, 供冷量与供热量相差不大于10%, 因此从供冷量可以粗略推算出供热量。所测试的两种辐射吊顶板的供热量、供冷量与供回水温度和室内温度之差接近线性关系, 因此可以推算辐射吊顶在不同供回水温度下的换热量。另外, 毛细管型辐射吊顶比串联盘管型辐射吊顶板的流动阻力小。

关键词 换热性能; 辐射吊顶; 实验研究

中图分类号: TB657.5; TB61⁺1

文献标识码: A

Experimental Study on Radiant Ceiling's Heat Transfer Performance

Yu Guoqing Tao Qinlian

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China)

Abstract The heating and cooling capacity of two different radiant ceilings are tested. Testing results show that the cooling performance of the radiant ceiling with parallel capillary coil is better than the series-connected coil type, when the temperature difference between the room and the average temperature of the supply and return water is 8°C , the cooling capacity of the capillary type radiant ceiling is $64.4\text{W}/\text{m}^2$, and the coil type is $55.0\text{W}/\text{m}^2$. For the same radiant ceiling in the same temperature difference between the room and the average temperature of the supply and return water, the difference between cooling and heating capacity is no more than 10%. In addition, the radiant ceiling with parallel capillary tubes has less flow resistance than the series-connected coil ceiling.

Keywords heat transfer performance; radiant ceiling; experimental investigation

辐射吊顶空调系统是一种新型的空调系统, 相对于传统的空调系统, 在提高室内空气品质, 创造舒适的室内环境, 节能等方面优势明显。辐射吊顶在欧洲的研究较早, 在中国起步较晚, 但是发展很快, 天津大学田喆等人介绍了德国冷却顶板的测试标准FGK和DIN 4715, 并对冷却顶板进行了测试^[1]。天津商业大学金梧凤等人通过实验模拟了地面和吊顶辐射供冷方式的供冷能力^[2]。目前我国辐射吊顶换热性能测试的相关标准正在制定中。作者对两块不同的辐射吊顶的换热性能进行了比较测试, 以得到辐射吊顶板的换热特性。

1 辐射吊顶的结构描述

测试的辐射吊顶板有两种, 一种为串联盘管型辐射吊顶板, 大小为 $1500\text{mm} \times 600\text{mm} \times 20\text{mm}$, 带背面保温板, 面板厚度(塑料管离表面)为

5mm, 内部塑料管为PE-XA, 单根管长12m, 管外径为10mm, 内径为8mm, 相邻盘管中心距离为55mm, 如图1所示。

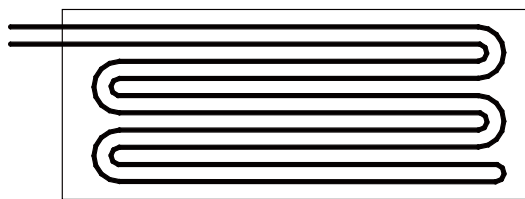


图1 串联盘管型辐射吊顶

Fig.1 The series-connected coil radiant ceiling

另一种为并联毛细管型辐射吊顶板, 大小为 $1800\text{mm} \times 600\text{mm} \times 16\text{mm}$, 带背面保温板, 面板厚度(塑料管离表面)为5mm, 内部为PE-RT塑料管, 管外径为4.3mm, 内径为2.7mm, 相邻管中心距离为20mm, 如图2所示。

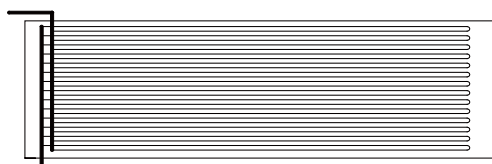


图2 并联毛细管型辐射吊顶

Fig.2 The parallel capillary coil radiant ceiling

2 实验方法

2.1 测试方法

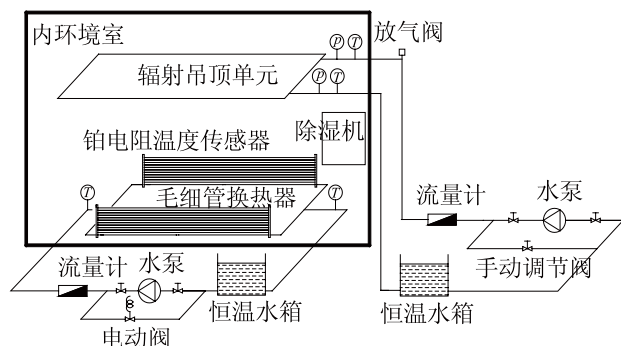


图3 实验原理图

Fig. 3 The schematic diagram of experimental testing system

参照欧洲冷辐射吊顶冷却能力的测试标准EN 14240:2004[E]^[3], 搭建了实验台。实验原理见图3, 测试辐射吊顶单元换热能力时, 利用内环境室内毛细管换热器模拟房间散热或得热, 并通过控制进出毛细管换热器的温度及流量, 使得环境室内的温度保持稳定。测试辐射吊顶供热工况时实验室内温度保持在22℃, 供冷工况时实验室内温度保持在25℃。测量辐射吊顶板的进出口温度和流量, 便可

以通过计算得出辐射吊顶板的换热量。逐步改变进入辐射吊顶板的水温, 便可得到辐射吊顶板在不同温度下的换热量。

2.2 实验测试设备

1) 以上海理工大学环境与建筑学院的低温实验室作为内环境室进行辐射吊顶供热量、供冷量测试, 实验室尺寸为3.5m×2.2m×2.7m; 2) 实验室外有内、外两个环境室, 外环境室的空气温度与内环境室空气温度相差小于1℃; 3) 采用恒温水箱控制进入辐射吊顶板的水温, 向内环境室进行供热或者供冷, 用毛细管换热器模拟实验室内热负荷或冷负荷, 维持房间内温度恒定; 4) 在供冷量测试时, 为防止测试时辐射吊顶结露, 在实验中使用了除湿机, 额定功率为75W; 5) 辐射板表面温度的测量采用铜—康铜T型热电偶, 通过布置多个热电偶测量辐射板表面的平均温度; 6) 水与室内空气温度传感器: 采用A级PT100铂电阻温度传感器; 7) 流量测量: 采用单位时间内称量水的重量的方法, 测量误差小于1%; 8) 数据采集: 利用labview编制程序结合铂电阻数模转换器, 每分钟采集一次温度。

3 实验数据分析

根据上面提到的测试方法, 得出了两种辐射吊顶的换热特性, 为方便对辐射吊顶进行定量和定性分析, 对数据进行了拟合, 整理的结果见表1。从上可以看出, 同一辐射吊顶在相同供回水平均温度与室温差时, 供热量与供冷相差较小。

表1 辐射吊顶板换热特性表

Tab.1 The heat transfer performance of the radiant ceiling

供回水平均温度与室温差/℃	2	4	6	8	10	12	14	16	18
并联毛细管型供冷量/(W/m ²)	12.4	28.3	45.8	64.4	84.0	104.4	125.4	—	—
串联盘管型供冷量/(W/m ²)	13.5	27.3	41.1	55.0	68.9	82.8	96.8	—	—
并联毛细管型供热量/(W/m ²)	12.9	28.9	46.3	64.8	84.0	103.9	124.4	145.3	166.7
串联盘管型供热量/(W/m ²)	12.1	25.7	40.0	54.6	69.7	85.0	100.5	116.3	132.2

辐射吊顶在室温为22℃下供热性能曲线如图4所示, 由图4可以看出辐射吊顶单元在相同室温下, 供回水平均温度越高, 供热量越大。经拟合, 毛细管型、盘管型辐射供热量 q_h 与吊顶供回水平均温度 t_m 和室温 t_r 差的关系分别为 $q_h=5.747(t_m-t_r)^{1.165}$ 和 $q_h=5.677(t_m-t_r)^{1.089}$, 幂值在1附近, 可以看出辐射吊顶供热量与供回水平均温度和室温差很接近线性关系。

当室温在22℃, 辐射吊顶处于供热状态时,

辐射吊顶的下表面平均温度与供回水平均温度的关系如图5所示。

从图5可以看出, 并联毛细管型辐射板的下表面温度比串联盘管型的高, 这是由于毛细管型辐射吊顶的热阻较小所致。在冬季, 毛细管的供水温度为28℃~32℃, 此时毛细管型辐射吊顶的下表面温度为25.7℃~27.7℃, 即使在人员活动的区范围内也不会对人体头部产生烘烤感。从拟合的毛细管型辐射吊顶的下表面温度和供回水平均温度趋势来

看, 当供回水平均温度为48.8℃时, 下表面温度才达到限值35℃^[4], 因此可以适当提高供水温度以增加供热量。

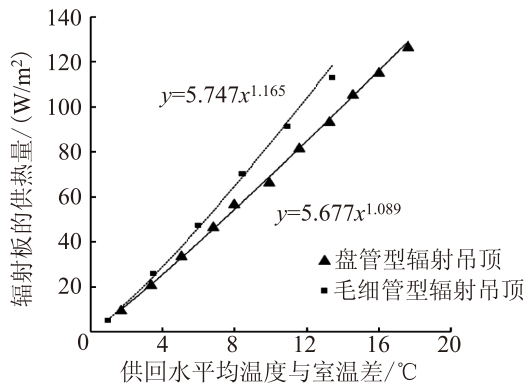


图4 室温22℃时辐射板的供热性能曲线

Fig.4 The heating performance of the radiant ceiling when indoor temperature at 22℃

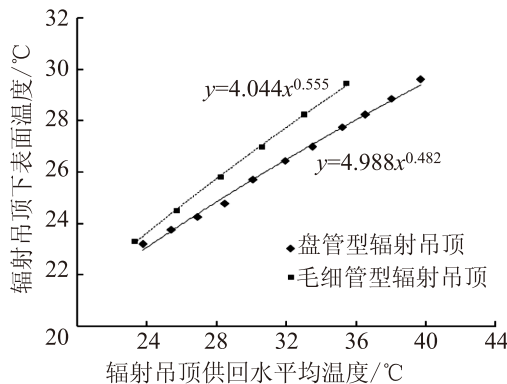


图5 供热状态下辐射吊顶的下表面平均温度

Fig. 5 The average temperature of the lower surface of the radiant ceiling when heating

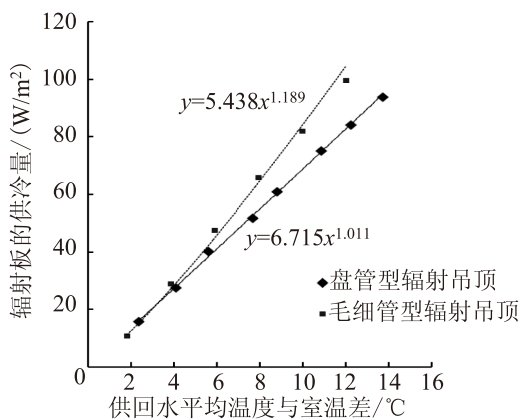


图6 室温25℃时辐射板的供冷性能曲线

Fig. 6 The cooling performance of the radiant ceiling when indoor temperature at 25℃

辐射吊顶在室温为25℃时供冷性能如图6所示, 经拟合, 毛细管型、盘管型辐射供冷量 q_c 与吊顶供回水平均温度和室温差的关系分别为 $q_c = 5.438(t_m - t_r)^{1.189}$ 和 $q_c = 6.715(t_m - t_r)^{1.011}$, 同样辐射

吊顶供冷量与供回水平均温度和室温差接近线性关系。

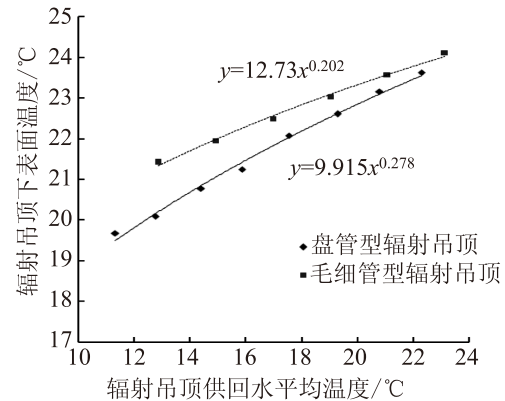


图7 供冷状态下辐射吊顶的下表面平均温度

Fig. 7 The average temperature of the lower surface of the radiant ceiling when cooling

当室温在25℃, 辐射吊顶处于供冷状态时, 辐射吊顶的下表面平均温度与供回水平均温度的关系如图7所示, 从图7可以看出, 使用毛细管型辐射吊顶提高了辐射吊顶的下表面平均温度, 然而夏季辐射吊顶的一般供水温度在14~18℃, 此时对应的辐射吊顶下表面温度为23.4~24.6℃, 如果室内通入新风的湿度较高就有结露的危险, 应采取一些防结露措施。

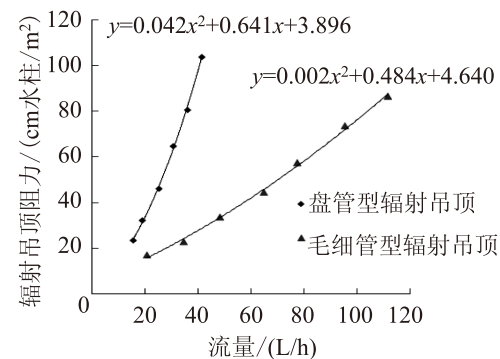


图8 辐射吊顶的阻力特性

Fig.8 The resistance characteristic of the radiant ceiling

图8为辐射吊顶的阻力特性曲线图, 从图8可以看出, 在同样的流量下, 使用毛细管型辐射吊顶可以减少流动阻力。这是因为盘管型辐射吊顶是一根长单管盘, 阻力大, 而毛细管型辐射板内水管并联, 而减少了流动阻力。

4 结论

1) 辐射吊顶板在供回水平均温度与室温差为8℃时, 并联毛细管型和串联盘管型辐射吊顶板供

(下转第93页)

- of adhesion of CaCO₃ crystalline fouling on stainless steel surfaces with different roughness[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2011, 38 (6): 730-733.
- [6] 何沥, 欧阳新萍, 章立新, 等. 闭式冷却塔中空气与喷淋水同向和逆向流动的流阻试验研究[J]. 制冷学报, 2010, 31 (5): 49-52. (He Li, Ouyang Xinping, Zhang Lixin, et al. Experiment on resistance of parallel-flow and counter-flow in closed cooling tower[J]. Journal of Refrigeration, 2010, 31 (5): 49-52.)
- [7] W Augustin, M Bohnet. Influence of the ratio of free hydrogen ions on crystallization fouling[J]. Chemical Engineering and Processing, 1995, 34 (2): 79-85.
- [8] Zhen Wu, Jane H Davidson, Lorraine F Francis. Effect of water chemistry on calcium carbonate deposition on metal and polymer surfaces[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2010, 343 (1): 176-187.
- [9] R Rosmaninho, F Rocha, G Rizzo, et al. Calcium phosphate fouling on TiN-coated stainless steel surfaces: role of ions and particles[J]. Chemical Engineering Science, 2007, 14 (62): 3821-3831.
- [10] A Herz, M R Malayeri, H Müller-Steinhagen. Fouling of roughened stainless steel surfaces during convective heat transfer to aqueous solutions[J]. Energy Conversion and Management, 2008, 49 (11): 3381-3386.
- [11] Wang J, Shen Z W, Shen Z Q. Process dynamics and fractal analysis of new phase formation in thermal processes[J]. Journal of Thermal Science, 2001, 10 (2): 153-158.
- [12] Silvia Rosa, Hans E Lundager Madsen. Kinetics of mass crystallization of calcium carbonate at 25, 30 and 37°C[J]. Journal of Crystal Growth, 2011, 318 (1): 99-102.
- [13] M Euvrard, F Membrey, C Filiatre, et al. Kinetic study of the electrocrystallization of calcium carbonate on metallic substrates[J]. Journal of Crystal Growth, 2006, 291 (2): 428-435.

作者简介

盛健, 男(1985-), 博士研究生, 上海理工大学能源与动力工程学院, 021-55272771, E-mail: sjhvac@163.com。研究方向: 换热器表面CaCO₃析晶污垢形成机理及抗垢研究。

About the author

Sheng Jian (1985-), male, Ph.D, School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, 021-55272771, E-mail: sjhvac@163.com. Research fields: the mechanism of CaCO₃ crystallization fouling and anti-fouling.

(上接第83页)

冷量分别为64.4W/m²和55W/m², 并联毛细管的换热量相对较大。

2) 对于同一辐射吊顶板, 在同样的供回水平均温度与室温差下, 供冷量与供热量相差不大于10%, 因此从供冷量可以粗略推算出供热量。

3) 两种辐射吊顶板的供热量、供冷量与供水温度和室内空气温度差接近线性关系, 因此可以推算不同供回水温度下的换热量。

4) 在同样的流量下, 使用毛细管型辐射吊顶可以减少流动阻力, 减少输送能耗。

本文受上海市教委重点学科建设项目(J50502)资助。
(The project was supported by the Shanghai Leading Academic Discipline Project (No.J50502).)

参考文献

- [1] 田喆, 彭鹏, 周志雄, 等. 冷却顶板的测试标准及相应的实验研究[J]. 建筑热能通风空调, 2004, 23 (2): 87-91. (Tian Zhe, Peng Peng, Zhou Zhixiong, et al. Cooling Panel

Testing Standard and Experimental Studies[J]. Building Energy & Environment, 2004, 23 (2): 87-91.)

- [2] 金梧凤, 余铭锡, 金光禹. 毛细管网系统供冷性能的实验研究[J]. 暖通空调, 2010, 40 (9): 102-106. (Jin Wufeng, Yeo Myoungsok, Kim Kwangwoo. Experiments on cooling capacity of capillary tube system[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2010, 40 (9): 102-106.)
- [3] EN 14240 Ventilation for Buildings Chilled Ceilings Testing and Rating[S]. 2004.
- [4] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京中国建筑工业出版社, 2001.

作者简介

于国清, 男(1971-), 副教授, (021)55270275, E-mail: yuguoqinghvac@126.com。研究方向: 太阳能在供热与空调系统中的应用研究, 地源热泵系统应用研究。

About the author

Yu Guoqing (1971-), male, associate professor, University of Shanghai for Science and Technology, (021)55270275, E-mail: yuguoqinghvac@126.com. Research fields: Solar heating and air conditioning system, ground source heat pump systems.