

夜空辐射器结构优化及制冷性能研究

王文卓¹, 黄光勤², 卢 军¹

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 陆军勤务学院军事设施系, 重庆 401331)

摘 要: 为改善传统夜空辐射器制冷效果, 提出在辐射板上添加凸起新型夜空辐射器, 并建立二维数值传热模型, 进行实验分析和模型验证。研究发现: 雾气会较大程度的增强天空长波辐射, 提高有效天空温度, 使得夜空辐射器单位面积制冷量严重衰减, 该文实验条件下制冷量衰由 37 W/m^2 降低至 11.6 W/m^2 ; 建立的二维数值传热模型能较好预测辐射器出口温度, 但模型对剧烈变化的外界环境适应性较差; 增加新型辐射器的凸起数量, 可有效增加单位面积制冷量, 平均每增加 1 个凸起, 制冷量增加约 0.5%。

关键词: 辐射器; 传热; 冷却; 热辐射; 优化

中图分类号: TK124

文献标识码: A

0 引 言

夜空辐射制冷利用低温夜空与辐射表面进行长波辐射换热, 无需消耗大量能源, 是一种节能潜力巨大的新技术。国外对夜空辐射制冷的研究起步较早, 做了大量理论和实验研究工作, 国内少数学者也开展了一定研究, 但研究工作远不及国外。目前, 国内外主要从辐射表面强化换热^[1-13]、辐射器内部对流强化换热^[14-17]及夜空辐射制冷系统^[18-31]这 3 个方面进行相关研究。纵观现有夜空辐射制冷的研究工作, 由于夜空辐射器制冷能力有限, 能够处理的流体流量较低, 导致流体处于层流流动状, 换热效果欠佳, 因而夜空辐射器的强化换热是非常重要的一项基础性工作。已有研究主要集中于表面辐射强化换热和辐射器内部对流强化换热的研究。

在表面辐射强化换热研究方面, 主要是通过开发新型长波辐射材料、优化辐射板表面结构等方式达到强化换热的目的。王德富^[1]和芮智刚等^[2]对几种长波辐射材料和透射材料进行研究, 并提出新型降温涂料。程亚利等^[3]利用 PET 薄膜作为辐射体材料, LDPE 薄膜作为盖板材料, 开展夜间辐射制冷实验, 并对实验装置进行改进; 孟 涛^[4]开发出一种高发射材料——碳黑粉, 并开展制冷实验; 黄光勤等^[5]研究风速等因素对辐射制冷的影响, 得出风速

较小时, 薄膜盖板的使用对制冷效果具有负面影响; 刘兆辉等^[6]测试发现, 涂有白色油漆的辐射器可显著提供空气降温效果; Bagiorgas 等^[7]研究发现金属不适合作为辐射换热器的外表面材料, 但在金属外表面涂上低吸收率高发射率的油漆作可较大程度上提高其制冷效果^[8-10]; Golaka 等^[11]研究在辐射表面设置矩形单元格挡风板对其换热性能的影响; Chebihi 等^[12]研究得出理想选择性辐射体的功率为 $60 \sim 130 \text{ W/m}^2$; 近期, Zhai Yao 等^[13]在《Science》发表了关于一种廉价的、高性能的辐射制冷材料的研究成果, 该材料在正午时制冷功率达到 93 W/m^2 , 白天和夜空平均制冷功率超过 110 W/m^2 。

在辐射器内部对流强化换热研究方面, 主要通过增加流体扰动等实现强化传热的目的。唐新宜^[14]提出通道内加装导流片把流体引导向肋间流动, 增加了壁面附近流体的扰动, 从而提高通道内的换热效果。刘慧春^[15]提出在管道内部采用一种全新的半接触肋片来消除局部低换热区域, 从而提高整体对流换热效果。刘 锐等^[16]对带肋矩形直通道内的空气冷却过程进行模拟, 结果表明由于肋片的扰流作用产生旋涡, 强化了冷却空气与固体壁面的换热。芮智刚等^[17]研制利用空气为冷媒介质的辐射制冷实验装置, 并依据发汗制冷的原理设计一种新型装置。

收稿日期: 2017-11-06

基金项目: 重庆市前沿技术与基础科学研究项目(cstc2016jcyjA0496); 国家自然科学基金(51478058); 国家自然科学基金(51706243)

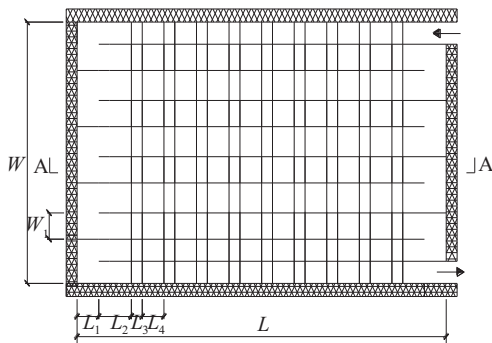
通信作者: 黄光勤(1988—), 男, 博士、讲师, 主要从事建筑节能与可再生能源利用方面的研究。hgg880818@163.com

综上所述,夜空辐射器的强化换热是当前研究的焦点,特别是表面辐射的强化换热做了大量研究工作,但大部分研究工作主要集中于长波辐射材料的开发。根据已有研究成果表明,普通辐射材料长波发射率可达到 0.9 以上,如油漆长波辐射发射率可达到 0.92~0.96^[32],故提高材料表面发射率的方法对夜空辐射器制冷效果的提高空间非常有限。本文将在前人研究基础上,将从增大辐射面积和增强流体对流换热效果的角度出发,提出一种带凸起的新颖夜空辐射装置,以期进一步提高辐射制冷效果。

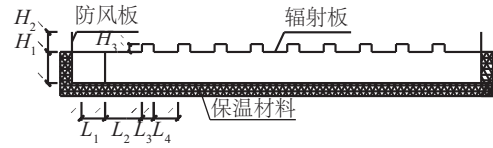
1 新型夜空辐射器结构

对于水为冷却介质的夜空辐射器,由于制冷量较小,而水的热容量较大,导致辐射器水流量很小,流速很低,大部分情况处于层流状态,流道内对流换热效果欠佳。为了达到强化传热的目的,设计一种新型夜空辐射器,如图 1 所示,其特点在于:辐射器为蛇形流道,流道截面为方形,在流道上,每隔一定距离,设置凸起,增加流体与外界的传热面积;此外,由于凸起的存在,能够破坏层流边界,使得层流边界层从新发展,降低了整个辐射板内壁的平均边界层厚度。综上所述,通过增加辐射换热面积和降低层流边界层厚度,能够有效增强辐射器的制冷性能。新型辐射器的长度为 L ,宽度为 W ,流道高度为 H_1 ,流道宽度为 W_1 ,防风板高度为 H_2 ,凸起高度为 H_3 ,凸起长度为 L_3 ,相邻凸起凸起间的辐射板长度为 L_4 ,其他尺寸标注见图 1。

辐射板表面喷涂白色油漆,厚度不超过 0.5 mm,其表面长波发射率取 0.9。辐射板周边设置一定高度的防风板,减少空气对流引起的冷量损失。辐射器周边和底面均进行保温处理。



a. 平面图



b. A-A 剖面

图 1 新型夜空辐射器结构

Fig. 1 Structure of novel night sky radiator

2 新型夜空辐射器数值传热模型

为提高模拟收敛性和模拟速度,对辐射器传热模型作以下处理:

1) 忽略相邻流道之间的传热和辐射器周边与外界环境的传热,假设辐射器为二维传热过程,仅高度方向 (y 方向) 和流动方向传热 (x 方向),如图 2 所示。

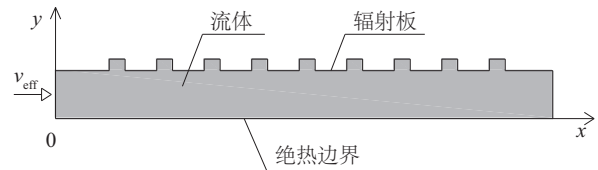


图 2 简化模型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the simplified model

2) 进口采用等效流速确定二维传热模型的进口流动边界,等效流速计算方法为:

$$v_{\text{eff}} = \frac{v_f \cdot (W_1 H_1)}{W H_1} = \frac{W_1}{W} v_f \quad (1)$$

式中, v_{eff} ——流体等效流速, m/s; v_f ——流体实际流速, m/s。上述等效方法可保证通过辐射器的质量流量相同,同时,辐射器的长度保持不变,减少模型尺寸,提高模拟效率。

3) 辐射表面为对流传热和辐射换热并存的复合边界条件,表示为:

$$-\lambda_r \frac{\partial t}{\partial y} \bigg|_r = h(t_r - t_a) + \varepsilon_r \sigma \left[(t_r + 273.15)^4 - (t_s + 273.15)^4 \right] \quad (2)$$

式中, t ——温度, °C; λ_r ——辐射板导热系数, W/(m·K); t_r ——辐射板表面温度, °C; t_a ——空气温度, °C; t_s ——有效天空温度, °C; σ ——黑体辐射常数, W/(m²·K⁴); y ——纵坐标, m; 下标 r ——代表辐射板表面。有效天空温度的计算方法为:

$$t_s = \sqrt[4]{\frac{J_s}{\sigma}} \quad (3)$$

式中, J_s ——天空长波辐射, W/m^2 , 通过天空长波辐射测试仪获得。

考虑上述因素, 采用基于有限元法的 COMSOL Multiphysics 软件, 建立数值传热模型。传热模块选用能够模拟导热和对流同时存在 Conjugate Heat Transfer 模块, 速度场采用层流模型求解。网格划分时, 考虑靠近壁面附近的速度和温度场变化较大, 在壁面处进行网格加密处理, 减少模拟误差, 如图 3 所示。

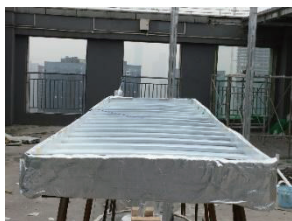


图3 网格划分

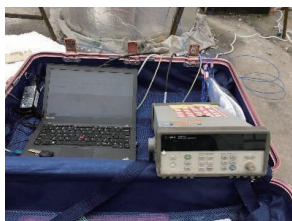
Fig. 3 Mesh generation

3 实验介绍

基于本文提出的新型夜空辐射器结构, 加工了实验装置, 如图 4a 所示。具体尺寸见表 1。夜空辐射器与保温水箱通过水泵直接连接, 水箱为圆柱型, 直径 350 mm, 高度 400 mm, 水箱底部和周边进行保温处理, 保温材料为聚苯板, 厚度 100 mm。



a. 夜空辐射器



b. 数据采集仪



c. 天空长波辐射测试仪

图4 实验现场

Fig. 4 Experimental field

2017 年 10 月 19 日夜間, 在西安市高新区某大楼屋顶对该夜空辐射器进行测试。实验期间采用 K 型热电偶测量辐射器进出口水温和水箱温度; 采用安捷伦 34970A 型数据采集仪记录温度, 如图 4b; 采用浮子流量计读取流量, 测试期间, 流量为 50 L/h; 采用温湿度记录仪获取空气温度和湿度; 采用热线风速仪测量空气流速。此外, 影响夜空辐射器性能的关键参数——天空长波辐射利用日本 EKO 公司的 MS-202F 长波辐射仪测试获取, 如图 4c。仪器参数见表 2。

表1 夜空辐射器设计参数(m)

Table 1 Design parameters of night sky radiator(m)

L	W	H_1	W_1	H_2	H_3	L_3	L_4
2	0.5	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.1

表2 仪器信息

Table 2 Information of instruments

仪器	精度	测量范围	型号
长波辐射仪	$\pm 5 \text{ W/m}^2$	4~50 μm	EKO MS202F
热电偶	$\pm 0.4\%$	-50~300 $^{\circ}\text{C}$	ETA K 型热电偶
温湿度自计议	温度: $\pm 0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 湿度: $\pm 3\%$	温度: -20~60 $^{\circ}\text{C}$ 湿度: 0~100%	速灵科 LO3
热敏风速仪	$\pm 1\%$	0~30 m/s	希玛 AR866A
浮子流量计	$\pm 5\%$	10~100 L/h	祥锦, 长管型

5 结果及讨论

5.1 测试环境参数分析

图 5 和图 6 分别给出了实验期间天空长波辐射、有效天空温度及空气温湿度的变化情况。

实验期间天空晴朗无云, 但由于 01:00 后突起浓雾, 影响天空长波辐射和有效天空温度, 其变化情况可分为 2 个阶段。01:00 前, 长波辐射较小, 有效天空温度低, 地面散热较快, 空气温度迅速降低, 该阶段平均天空长波辐射为 326.3 W/m^2 , 平均有效天空温度为 $2.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 01:00 后, 由于浓雾中水汽的影响, 大气向地面的长波辐射增强, 导致有效天空温

度突增,地面向天空发射的净长波辐射降低,地面散热量小,空气温度降低缓慢,该阶段平均天空长波辐射为 373.0 W/m^2 , 平均有效天空温度为 11.6°C 。

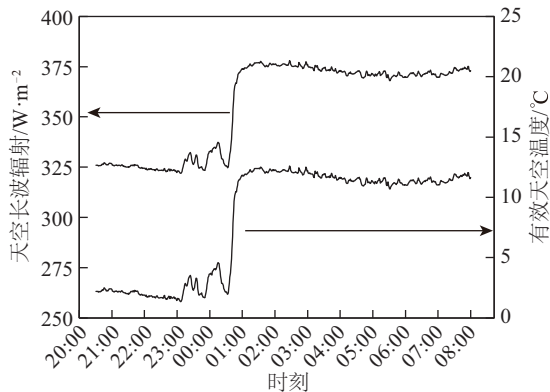


图5 天空长波辐射和有效天空温度

Fig. 5 Sky longwave radiation and effective sky temperature

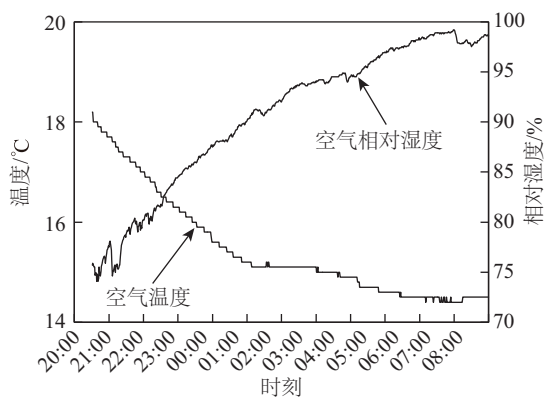


图6 室外空气温度和相对湿度

Fig. 6 Outdoor air temperature and relative humidity

4.2 制冷效果分析

图7给出了实验期间空气温度和水箱水温的变化情况。水箱水温的变化类似于天空长波辐射的变化规律。对比空气温度可知,23:00前,水箱水温高于空气温度,辐射板表面通过对流和辐射分别向空气和天空散热,水箱温度迅速降低;由于辐射散热大于对流散热量,23:00后,水箱温度低于空气温度,在约01:00空气和水箱温差最大达到 1.26°C ;01:00后,由于浓雾引起天空长波辐射增强,辐射器制冷效果减弱,水箱温度基本保持稳定,空气和水温的温差逐渐降低,稳定后温差为 0.6°C 。

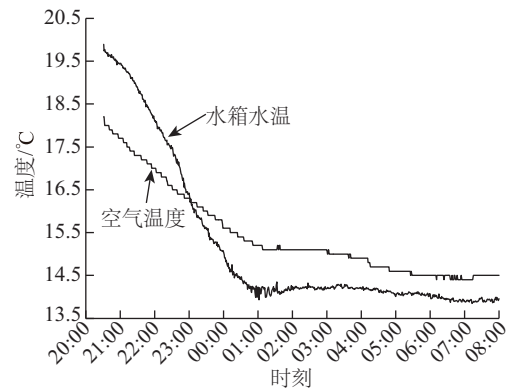


图7 空气温度与水箱水温

Fig. 7 Air temperature and water temperature of water tank

图8给出了实验期间辐射器进出口水温和制冷量的变化趋势。分析可知,受浓雾引起的天空长波辐射突增的影响,辐射器进出口水温和制冷量也呈现明显的2个阶段。01:00前,天空长波辐射小,辐射器表面与天空的净辐射大,水温迅速降低,进出口平均温差 0.63°C ,该阶段制冷量较大,平均制冷量为 37 W/m^2 。01:00后,由于浓雾引起的辐射器表面与天空净辐射的降低,导致辐射器进出口温差和制冷量严重衰减,平均进出口温差为 0.2°C ,平均制冷量为 11.6 W/m^2 ,制冷量较起雾前衰减 68.6% 。

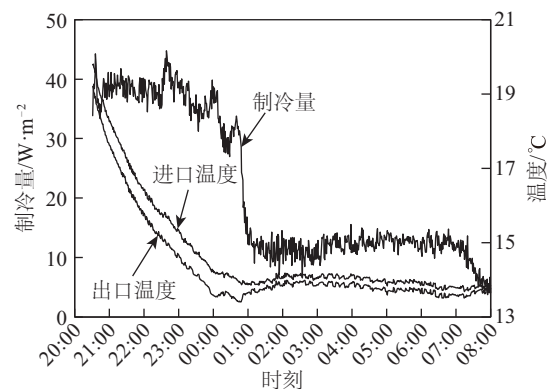


图8 夜空辐射器进出口水温和制冷量

Fig. 8 Inlet/outlet water temperature and cooling capacity of night sky radiator

4.3 模型验证

图9给出了实验期间辐射器出口水温和二维模型计算的理论出口温度。在计算理论出口温度时,将辐射器实验进口温度作为二维模型的入口温度边界条件,同时,将天空长波辐射按照式(3)等效

为有效天空温度,再结合式(2)的复合边界条件,模拟得出考虑浓雾影响下实验期间的辐射器出口水温。对比可知,实验出口与理论出口温度的变化趋势吻合较好,2条曲线差异较小,说明二维模型在预测本文提出的新型夜空辐射器出口温度时的精确度较高,可用于分析其传热性能。

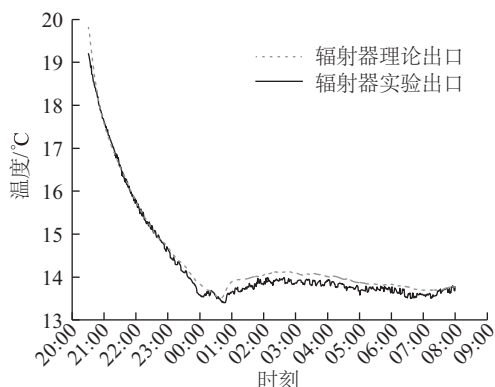


图9 实验与理论夜空辐射器出口水温

Fig. 9 Experimental and theoretical outlet water temperature of night sky radiator

为进一步验证模型的可靠性,将实验制冷量与理论制冷量进行对比,如图10所示。由图10可知理论制冷量和实验制冷量变化趋势较为吻合,01:00以前,理论和实验结果差异较小,但是01:00后,由于天空长波辐射的突变,在一定时间段内传热过程为非正规状态阶段,本文提出的二维数值模型计算结果与实际情况有较大差异,但是,随着运行时间的推移,传热过程进入正规状态阶段,理论制冷量与实验制冷量的差异逐渐减小。

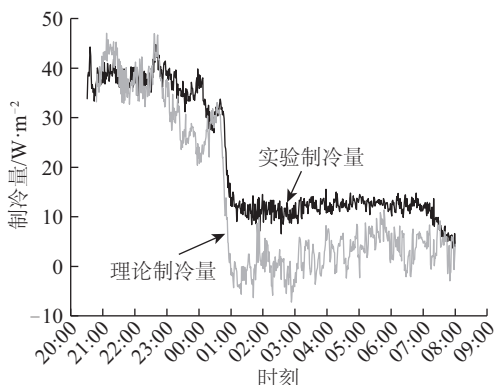


图10 实验与理论夜空辐射器制冷量

Fig. 10 Experimental and theoretical cooling capacity of night sky radiator

综上所述,本文提出的二维数值传热模型能够

较好的预测新型夜空辐射器的出口温度,在环境条件变化不大的情况下,制冷量计算误差亦较小,说明模型具有较好的精确度。

4.4 新型辐射器凸起结构的优化分析

利用本文提出的二维数值传热模型,模拟稳态情况下凸起数量对新型夜空辐射器制冷量的影响,环境参数为: $t_s = 15^\circ\text{C}$, $t_a = 32^\circ\text{C}$, 进口温度为 35°C , 流量为 18 L/h 。所模拟的辐射器长度 L 、宽度 W 、流道宽度 W_1 、流道高度 H_1 等参数均与实验条件相同,仅改变凸起长度 L_3 和相邻凸起间的辐射板长度为 L_4 ,以控制凸起数量。模拟结果见图10。

由图11可知,随着凸起数量的增加,制冷量不断增加。当添加16个凸起、22个凸起、31个凸起时,相对传统无凸起的夜空辐射器,制冷量分别增加7.9%、10.8%、15.5%,平均每增加1个凸起,制冷量增加约0.5%。凸起数量的增加,虽然能够有效提高制冷效果,但辐射器的加工难度也显著增加,故综合考虑经济性和制冷效果,本文实验用辐射器设置16个凸起,辐射板面积为 1.0 m^2 ,平均每平米凸起数量为16个/ m^2 。实际工程中,若以制冷量提高10%为确定凸起数量的标准,建议凸起数量设置为20个/ m^2 。

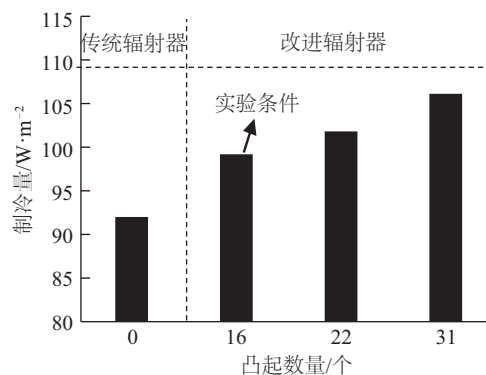


图11 凸起对制冷量的影响

Fig. 11 Influence of radiant bulges on cooling capacity

5 结 论

1) 雾气会较大程度的增强天空长波辐射,提高有效天空温度,使得夜空辐射器单位面积制冷量严重衰减。本文实验条件下,天空长波辐射增强14.3%,有效天空温度提高4.0倍,制冷量衰减68.6%。

2)本文建立的新型夜空辐射器二维数值传热模型能够较好的预测辐射器出口温度,精确度较高;但是,当外界环境(天空长波辐射等)变化剧烈时,二维模型计算的制冷量误差较大。

3)针对本文提出的新型辐射器结构,凸起数量的增加,可有效增加单位面积制冷量。本文模拟工况下,平均每增加1个凸起,制冷量增加约0.5%。

[参考文献]

- [1] 王德富. 新型氟碳降温涂料的研制[J]. 中国涂料, 2008, 23(10): 33—36.
- [1] Wang Defu. Preparation of new fluorocarbon coatings for temperature-lowering[J]. China Coatings, 2008, 23(10): 33—36.
- [2] 芮智刚, 左 然. 太空辐射致冷空调装置的实验研究[J]. 制冷学报, 2010, 31(2): 57—62.
- [2] Rui Zhigang, Zuo Ran. Experimental study on air-conditioning plant with space radiative cooling[J]. Journal of Refrigeration, 2010, 31(2): 57—62.
- [3] 程亚利, 左 然. 辐射致冷系统装置的实验研究[J]. 制冷学报, 2011, 32(4): 48—52.
- [3] Cheng Yali, Zuo Ran. Experimental study of radiation cooling system[J]. Journal of Refrigeration, 2011, 32(4): 48—52.
- [4] 孟 涛. 辐射制冷装置的数值模拟及实验研究[D]. 江苏大学, 2009.
- [4] Meng Tao. Numerical simulation and experimental study of radiant refrigeration system[D]. Jiangsu University, 2009.
- [5] 黄光勤, 杨小凤, 卢 军. 夜空辐射器的换热特性及应用研究[J]. 建筑科学, 2016, 32(6): 123—128.
- [5] Huang Guangqin, Yang Xiaofeng, Lu Jun. Study on the heat transfer characteristics and application of nocturnal radiator[J]. Building Science, 2016, 32(6): 123—128.
- [6] 刘兆辉, 马广兴. 夜空辐射换热器冷量采集性能的试验研究[J]. 可再生能源, 2012, 30(11): 50—54.
- [6] Liu Zhaohui, Ma Guangxing. Experimental investigation on cooling capacity acquisition performance of the night sky radiation heat exchanger[J]. Renewable Energy Resources, 2012, 30(11): 50—54.
- [7] Bagiorgas H S, Mihalakakou G. Experimental and theoretical investigation of a nocturnal radiator for space cooling[J]. Renewable Energy, 2008, 33(6): 1220—1227.
- [8] Doulos L, Santamouris M, Livada I. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials[J]. Solar Energy, 2004, 77(2): 231—249.
- [9] Synnefa A, Santamouris M, Apostolakis K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment[J]. Solar Energy, 2007, 81(4): 488—497.
- [10] Synnefa A, Santamouris M, Livada I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment[J]. Solar Energy, 2006, 80(8): 968—981.
- [11] Golaka A, Exell R H B. An investigation into the use of a wind shield to reduce the convective heat flux to a nocturnal radiative cooling surface[J]. Renewable Energy, 2007, 32(4): 593—608.
- [12] Chebihi A, Byun Ki-Hong, Wen Jin, et al. Radiant cooling of an enclosure[J]. Energy Conversion & Management, 2006, 47(3): 229—252.
- [13] Zhai Yao, Ma Yaoguang, David S N, et al. Scalable-manufactured randomized glass-polymer hybrid metamaterial for daytime radiative cooling[J]. Science, 2017, 355(6329): 1062.
- [14] 唐新宜. 矩形通道内流动与强化传热的实验与数值研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [14] Tang Xinyi. Experimental and numerical investigation of flow and heat transfer enhancement in a rectangular channel[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [15] 刘慧春. 带肋片的矩形管道内流场和换热的数值模拟[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
- [15] Liu Huichun. Numerical simulation of flow field and heat transfer in a rectangular duct with fins[D]. Hefei: University of Science & Technology China, 2010.
- [16] 刘 锐, 税琳棋, 王新军, 等. 带肋矩形直通道内的冷却空气换热特性研究[J]. 热能动力工程, 2011, 26(5): 543—546.
- [16] Liu Rui, Sui Linqi, Wang Xinjun, et al. Study on heat transfer characteristics of cooling air in rectangular straight channel with ribs[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2011, 26(5): 543—546.
- [17] 芮智刚, 张旭朋, 程亚利. 一种新型太空辐射致冷装置的实验研究[J]. 制冷学报, 2010, 31(4): 57—62.
- [17] Rui Zhigang, Zhang Xupeng, Cheng Yali. Experimental study on a new type of space radiative cooling device[J]. Journal of Refrigeration, 2010, 31(4): 57—62.
- [18] 芮智刚. 辐射制冷的应用研究[D]. 镇江: 江苏大学,

- 2010.
- [18] Rui Zhigang. Application research of radiation refrigeration[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010.
- [19] 朱 丽, 李 建, 孙 勇, 等. 建筑一体化电热冷联产光伏组件能量特性研究[J]. 建筑节能, 2017, 45(4): 33—37.
- [19] Zhu Li, Li Jian, Sun Yong, et al. Energy characteristics of building-integrated electricity-heating-cooling cogeneration PV module[J]. Building Energy Efficiency, 2017, 45(4): 33—37.
- [20] 黄光勤, 卢 军, 杨小凤, 等. 水箱储冷夜空辐射制冷系统模型及其动态特性[J]. 暖通空调, 2017, 47(9): 143—147.
- [20] Huang Guangqin, Lu Jun, Yang Xiaofeng, et al. Modelling and dynamic characteristics of nocturnal radiation system with water tank cooling storage[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2017, 47(9): 143—147.
- [21] Meir M G, Rekstad J B, Løvvik O M. A study of a polymer-based radiative cooling system[J]. Solar Energy, 2002, 73(6): 403—417.
- [22] Xu Xiaolong, Niu Runping, Feng Guohui. An experimental and analytical study of a radiative cooling system with flat plate collectors[J]. Procedia Engineering, 2015, 121: 1574—1581.
- [23] Zhao Bin, Hu Mingke, Ao Xianze, et al. Conceptual development of a building-integrated photovoltaic-radiative cooling system and preliminary performance analysis in Eastern China[J]. Applied Energy, 2017, 205(C): 626—634.
- [24] Zhang Shuo, Niu Jianlei. Cooling performance of nocturnal radiative cooling combined with microencapsulated phase change material (MPCM) slurry storage[J]. Energy & Buildings, 2012, 54(8): 122—130.
- [25] Ali A H H. Desiccant enhanced nocturnal radiative cooling-solar collector system for air comfort application in hot arid areas[J]. Sustainable Energy Technologies & Assessments, 2013, 1(1): 54—62.
- [26] Zhao Dongliang, Martini C E, Jiang Siyu, et al. Development of a single-phase thermosiphon for cold collection and storage of radiative cooling[J]. Applied Energy, 2017, 205: 1260—1269.
- [27] Man Yi, Yang Hongxing, Spitler J D, et al. Feasibility study on novel hybrid ground coupled heat pump system with nocturnal cooling radiator for cooling load dominated buildings[J]. Applied Energy, 2011, 88(11): 4160—4171.
- [28] Hu Mingke, Pei Gang, Wang Qiliang, et al. Field test and preliminary analysis of a combined diurnal solar heating and nocturnal radiative cooling system[J]. Applied Energy, 2016, 179: 899—908.
- [29] Heidarinejad G, Farahani M F, Delfani S. Investigation of a hybrid system of nocturnal radiative cooling and direct evaporative cooling[J]. Building & Environment, 2010, 45(6): 1521—1528.
- [30] Tevar J A F, Castaño S, Marijuán A G, et al. Modeling and experimental analysis of three radio convective panels for night cooling[J]. Energy & Buildings, 2015, 107: 37—48.
- [31] Cui Yang, Wang Yiping, Zhu Li. Performance analysis on a building-integrated solar heating and cooling panel[J]. Renewable Energy, 2015, 74(C): 627—632.
- [32] 章熙民, 朱 彤, 安青松, 等. 传热学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014: 338.
- [32] Zhang Ximin, Zhu Dan, An Qingsong. Heat transfer [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014: 338.

STUDY ON STRUCTURE OPTIMIZATION AND REFRIGERATION PERFORMANCE OF NIGHT SKY RADIATOR

Wang Wenzhuo¹, Huang Guangqin², Lu Jun¹

(1. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering of Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. Department of Military Installation of Army Logistics University of PLA, Chongqing 401331, China)

Abstract: A novel night sky radiator with radiant bulges on the radiant plate is proposed to improve the cooling efficiencies and a two-dimensional numerical heat transfer model is established. A site-test is carried out to investigate the cooling performance and to validate the proposed model. The study found that the fog can enhance the sky long wave radiation greatly and improve the effective sky temperature, which leads to serious attenuation of cooling capacity from 37 W/m² to 11.6 W/m² under experimental conditions. The proposed two-dimensional numerical heat transfer model can predict the outlet temperature of radiators accurately, but it has the poor adaptability to significant changes of external environment. It can effectively increase cooling capacity by increasing the number of radiant bulges and the cooling capacity increases by about 0.5% as increasing one bulges.

Keywords: radiators; heat transfer; cooling; heat radiation; optimization