

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.05.021

热管式冰制冷学生公寓空调的设计

谢继红, 刘云亮, 施雪克, 贾晓敏, 陈 东

(天津科技大学 机械工程学院, 天津 300222)

摘 要:针对传统压缩式制冷空调用于学生公寓时,存在电力负荷大、初期投资高等问题,提出了以冰为冷源的冰制冷学生公寓空调,采用热管换热器将冰的冷量传递给室内空气;空调主体由贮冰容器、热管式换热器和风机构成,冰由校外企业在谷值电阶段制取并配送。给出了贮冰容器上置型和下置型2种空调结构及其原理和特点;对贮冰容器、风机和采用重力式热管的热管换热器进行了设计计算;对热管式冰制冷学生公寓空调的成本、电功率、变工况性能进行了计算分析。结果表明,热管式冰制冷学生公寓空调电功率仅为普通空调的1/20,成本为普通空调的1/4,很适于在学生公寓中应用和推广。

关 键 词:空调;冰制冷;热管换热器;贮冰容器

中图分类号:TB657.2

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2014)05-0087-04

Design of Heat Pipe Ice-Cooling Air Conditioners for Student Dormitories

XIE Jihong, LIU Yunliang, SHI Xueke, JIA Xiaomin, CHEN Dong

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: When traditional vapor compression refrigeration air conditioners were used in student dormitories, there were some difficulties, such as large power load and initial cost. So the heat pipe ice-cooling air conditioner was put forward, which took ice as its cooling source and used heat pipes to transfer ice cooling energy to indoor air. The air conditioner was composed of ice container, heat pipe type heat exchanger and fan, and the ice was made during electricity low-price period and transported by out-campus companies. Two air conditioner structures and their characteristics were given with the ice container be up and down respectively. The ice container, fan and heat pipe type heat exchanger of the air conditioner were designed, and its initial cost, electricity power and performance under different working conditions were calculated and analyzed. The result shows that the electricity power and initial cost of the novel air conditioner are 1/20 and 1/4 of that of the traditional air conditioner respectively and it is very suitable for student dormitories.

Key words: air conditioner; ice-cooling; heat pipe type heat exchanger; ice container

我国中部和南部地区在夏季温度较高时,学生公寓的室内温度也偏高,不利于学生的学习和休息^[1]。采用适当的降温措施为学生提供相对舒适的环境,是目前急需解决的一个问题。

为每个学生公寓安装普通压缩式制冷空调存在初投资较大、用电负荷过高、管理不便等问题^[2]。以一

个学生人数为2万人的高校为例,用电负荷约在2 000 kW以上,空调投资约1 000万元,对学校而言电力容量和经济方面均有一定难度。

冰制冷学生公寓空调是采用冰作为冷源对学生公寓进行制冷的移动式空调,学生可根据房间人数和天气温度每天向空调中补充适量的冰,冰可由校外企业

收稿日期:2014-05-05;修回日期:2014-06-18

基金项目:2013年大学生创新创业训练计划(201310057002)

作者简介:谢继红(1969),女,吉林四平人,天津科技大学副教授,硕士,主要研究方向为制冷热泵技术及应用。E-mail: chendong@tust.edu.cn

用适宜的制冰机^[3-7]在谷值电价阶段制取^[8]和配送,北方地区也可在冬季采集海冰、河冰、湖冰等贮存至夏季供应学生公寓^[9-11]。

冰制冷学生公寓空调仅需风机驱动室内空气与冰换热,功率约10~30 W,为普通压缩式制冷空调功率的1/20;空调成本仅数百元,学生可根据需要租用或购买,无需学校投资。每天用冰量多少也可由学生自行决定,冰由校外企业配送,学校管理方便,是目前解决学生公寓空调问题较好的技术方案。

热管式冰制冷学生公寓空调是采用热管在冰与室内空气之间传递冷量,结构紧凑,传热效率高,具有较好的应用优势。

1 热管式冰制冷学生公寓空调的结构和工作原理

热管式冰制冷学生公寓空调的结构如图1所示。

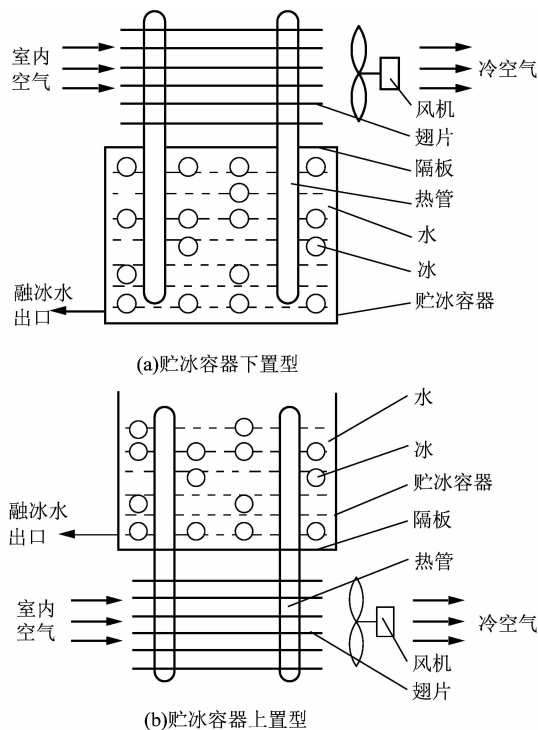


图1 热管式冰制冷学生公寓空调结构示意图

Figure 1 Structure of the heat pipe ice-cooling air-conditioner for student dormitories

如图所示,热管式冰制冷学生公寓空调由贮冰容器、隔板、热管、风机等构成,隔板将热管分为冷侧(冰水侧)和热侧(翅片侧),可有2种基本结构,如图1(a)和图1(b)所示。图1(a)为贮冰容器下置型,热管的翅片侧在贮冰容器上方。空调工作时,热管冷侧从冰水中吸收冷量,并将冷量传递给上方的翅片侧;室内空气在风机抽吸作用下流过热管翅片侧,被管内介质

冷却为冷空气送入室内。随着工作进行,贮冰容器内的冰不断消耗,到一定程度时,需及时添加冰块(各种形态冰^[12]均可)。

图1(b)所示为贮冰容器上置型,工作过程与图1(a)装置相似。

贮冰容器下置时,室内空气引风方便,对热管与隔板之间间隙的密封性没有特殊要求,装置稳定性较好,但热管内部需有吸液芯,贮冰容器加冰不便。与之相反,贮冰容器上置时,加冰方便且热管可采用无吸液芯的重力式热管^[13],但热管与隔板之间的间隙需要严格密封,防止融冰水泄漏,且室内空气进风口与冷空气出风口均需合理布置。

2 热管式冰制冷学生公寓空调的设计

以4人间学生公寓为例,取连续运行时间为当晚22:00点至第2天早上4:00点,该期间平均冷负荷取600 W,以此为参考,可确定各部件。

1) 贮冰容器

$$V_1 = \frac{3.6\tau Q_E}{\rho_{EI} q_I} = \frac{3.6 \times 6 \times 0.6}{0.75 \times 0.4} = 43.2 \text{ L} \quad (1)$$

式中: V_1 为贮冰容器容积/L; τ 为连续运行时间/h; Q_E 为平均冷负荷(即空调平均制冷量)/kW; ρ_{EI} 为冰的表观密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); q_I 为冰的蓄冷量/($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

贮冰容器可取长方形,长×宽×高为350 mm×350 mm×400 mm即可,此时其内容积为49 L。

2) 风机

风机的风量为

$$V_A = \frac{Q_E}{\rho_A C_{PA} \Delta t_A} = \frac{0.6}{1.2 \times 1.0 \times 10} = 0.05 \text{ m}^3/\text{s} = 180 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2)$$

式中: V_A 为风机风量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); ρ_A 为空气密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); C_{PA} 为空气比热容/($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$); Δt_A 为空气进出热管换热器的温差/°C。

风机功率为

$$P_F = \frac{V_A \Delta p_F}{\eta_F} = \frac{0.05 \times 100}{0.5} = 10 \text{ W} \quad (3)$$

式中: P_F 为风机功率/W; Δp_F 为风机前后压差/Pa; η_F 为风机效率,无因次。

3) 热管

系统布置取贮冰容器上置型,此时热管冷端在上,热端在下,可采用内部无吸液芯的重力式热管。

热管共取16根,在贮冰容器内和翅片段排列如图2所示,单根热管参数如图3所示。

热管管体采用紫铜管,规格为 $\varnothing 16 \text{ mm} \times 0.75$

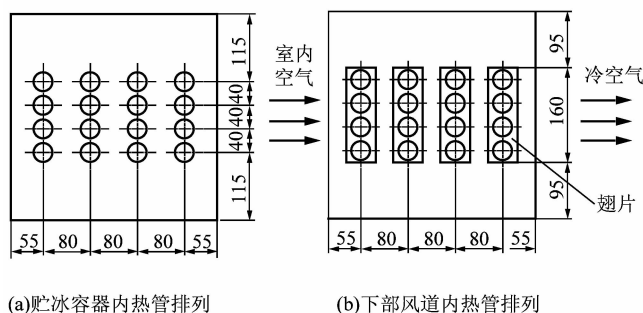


图2 热管换热器阵列布置图

Figure 2 Arrangement of the heat pipe heat exchanger

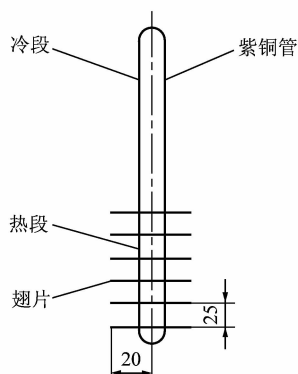


图3 单根热管示意图

Figure 3 Diagram of a heat pipe

mm;冷端沉浸在冰水混合物中,热段由空气流过表面。热段翅片为铝翅片,翅片厚度取0.25 mm,翅片间距取1.75 mm,每个铜管周围翅片为方形,尺寸为40 mm×40 mm,单位管长空气侧换热面积为0.85 m²/m。

取空气进热管换热器温度为27℃,出热管换热器温度为17℃;贮冰容器中水温取2℃;热管内工质温度为12℃,则热管冷端长度为

$$L_c = \frac{Q_E}{3.14nD_0\alpha_w\Delta t_{mw}} = \frac{600}{3.14 \times 16 \times 0.016 \times 220 \times 10} = 0.34 \text{ m} \quad (4)$$

式中: L_c 为热管冷段长度/m; n 为热管根数/根; D_0 为热管外径/m; α_w 为冰水与热管外表面换热系数/(W·m⁻²·℃⁻¹); Δt_{mw} 为热管内工质与管外冰水的传热温差/℃。

热管的热段长度为

$$L_H = \frac{Q_E}{nf_0\alpha_A\Delta t_{mA}} = \frac{600}{16 \times 0.85 \times 30 \times 10} = 0.147 \text{ m} \quad (5)$$

式中: L_H 为热管热段长度/m; f_0 为单位管长空气侧换热面积/(m²·m⁻¹); α_A 为空气与翅片侧的换热系数/

(W·m⁻²·℃⁻¹); Δt_{mA} 为空气与热管内工质的平均传热温差/℃。

空气进热管热端翅片前的风速为

$$\omega_A = \frac{V_A}{L_H W_H} = \frac{0.05}{0.147 \times 0.16} = 2.1 \text{ m/s} \quad (6)$$

式中: ω_A 为空气进热端翅片前速度/(m·s⁻¹); W_H 为热段风道宽度/m,参见图2。

热管内工质可采用R134a,单根热管工质充注量取25 g。当工作温度为12℃时,工作压力约为0.44 MPa^[14]。

3 热管式冰制冷学生公寓空调的应用分析

1) 应用方式

冰制冷学生公寓空调的应用背景是白天学生去教室或实验室学习,晚间用该空调为学生提供适当的舒适环境。学校可委托定制一批不同容量的冰制冷移动空调,学生可根据情况以房间或个人为单位从学校租用或购买(该空调最小容量可为个人型);冰的配送企业以质量10~15 kg为包装单位,每天定时(如21:00~22:00)将冰集中运到学校,学生可根据情况决定购买量。

2) 成本与电功率

以4人间学生公寓为例,贮冰容器约130元,风机约80元,热管约200元,其他约50元,总计约460元。空调运行时仅风机耗电,功率为10 W。

3) 变工况性能

当室内温度变化时,该空调制冷量也相应变化,其基本方程组为:

$$Q_E = 1\,000 V_A \rho_A C_{pA} \Delta t_A, \quad (7)$$

$$Q_E = 0.5 n f_0 L_H \alpha_A (T_{Ai} - 0.5 \Delta t_A - 2). \quad (8)$$

式中: Q_E 为空调制冷量/W; V_A 为流过热管翅片段的空气流量/(m³·s⁻¹); ρ_A 为空气密度/(kg·m⁻³); C_{pA} 为空气比热容/(kg·kg⁻¹·℃⁻¹); Δt_A 为空气流过热管翅片段的温降/℃; n 为热管数目/根; f_0 为热管翅片单位管长外换热面积/(m²·m⁻¹); L_H 为热管翅片长度/m; α_A 为空气与翅片的换热系数/(W·m⁻²·℃⁻¹); T_{Ai} 为室内空气温度/℃。

式(7)与式(8)联立,可得制冷量与室内温度的关系。当室内温度由30℃至26℃变化时,该空调制冷量的变化如图4所示(取 $n=16$, $f_0=0.85$ m²/m, $L_H=0.147$ m, $\alpha_A=30$ W/(m²·℃), $V_A=0.05$ m³/s)。

4 结论

热管式冰制冷学生公寓空调用冰为冷源,用热管将冰的冷量传递给室内空气,具有结构布置灵活、可移动、无需安装等特点;其成本约为普通空调的1/4,电

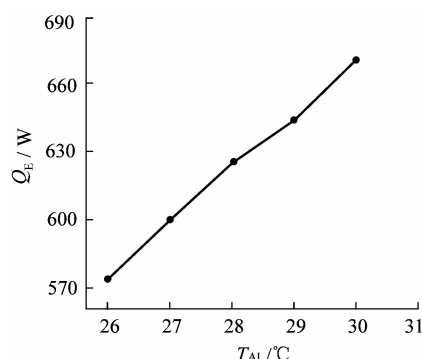


图4 制冷量随室内温度的变化

Figure 4 Change of cooling capacity with indoor temperature

功率约为普通空调的 1/20, 运营管理简单, 不需学校投资, 不但可较好地解决学生公寓的夏季空调难题, 还可形成冰制冷学生公寓空调制造、空调用冰制取及配送等新的产业, 缓解夏季用电高峰的电力紧张, 实现学生、学校、社会的共赢。

进一步还需对热管式冰制冷学生公寓空调的结构和参数进行优化, 对空调用冰的形态和尺寸进行优选, 研制典型规格的热管式冰制冷空调样机并进行实验测试和应用研究。热管式冰制冷空调除用于学生公寓, 在临时或移动建筑、高温作业车间等多种场所均可推广应用。

参考文献:

- [1] 屈万英. 高校既有学生公寓热环境研究[J]. 山西建筑, 2007, 33(8): 240-241.

- [2] 郑志敏, 邹锋杨, 延萍. 广州大学学生公寓中央空调计量收费方案[J]. 现代物业, 2010(11): 90-93.
- [3] 魏华锋, 郭光华. 商用制冷机的性能研究[J]. 制冷与空调, 2013, 13(11): 106-109.
- [4] TANGTHIENG C. Effect of tube diameter on the specific energy consumption of the ice-making process [J]. Applied Thermal Engineering, 2011, 31(5): 701-707.
- [5] RODRÍGUEZ A, VIÁN J G, ASTRAIN D. Development and experimental validation of a computational model in order to simulate ice cube production in a thermoelectric ice-maker [J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29(14/15): 2961-2969.
- [6] CLICHÉ A, LACROIX M. Optimization of ice making in laminar falling films[J]. Energy Conversion and Management, 2006, 47(15/16): 2260-2270.
- [7] KIM B S, SHIN H T, LEE Y P, et al. Study on ice slurry production by water spray [J]. International Journal of Refrigeration, 2001, 24(3): 176-184.
- [8] 国家电网. 安徽省电网峰谷分时电价表[EB/OL]. (2013-09-13) [2014-05-18]. http://www.95598.cn/static/html/sas/BM05003_2013000588074949.shtml
- [9] 刘煜, 刘钦政, 隋俊鹏, 等. 渤、黄海冬季海冰对大气环流及气候变化的响应[J]. 海洋学报, 2013, 35(3): 18-27.
- [10] 崔丽琴, 秦建敏, 张瑞峰. 基于空气、冰和水电阻特性差异进行河冰冰厚检测方法的研究[J]. 太原理工大学学报, 2013, 44(1): 5-8.
- [11] 曲斌, 康世昌, 陈锋, 等. 2006-2011年西藏纳木错湖冰状况及其影响因素分析[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(5): 327-333.
- [12] 陈天及, 李晓辉. 制冰技术研究的新进展[J]. 冷藏技术, 2005(1): 1-6.
- [13] 庄骏, 张红. 热管技术及其工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [14] 陈东, 谢继红. 热泵技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.

(上接第 86 页)

实验证明, 采集到的碰撞波形稳定, 多次测量加速度峰值波动在 3% 以内, 数据准确可靠。

3 结论

本文主要针对目前气钉枪跌落试验在跌落姿态控制及实验数据测量上的难题, 设计制造了一套适合气钉枪跌落实验的实验系统。具体包括以下几方面内容:

1) 设计制造了一个专门用于气钉枪跌落的跌落架, 该跌落架能满足任意款式气钉枪以任意姿态进行跌落实验。

2) 在跌落架的基础上, 组建了一套高 g 值加速度测量系统, 系统干扰较小, 波形稳定, 数据准确可靠。

3) 通过该系统进行气钉枪跌落实验, 结果证明, 该系统满足实验要求, 且结果稳定可靠, 重复性好。

参考文献:

- [1] 周瑞丽, 毕向秋. 气动钉枪减振手柄优化设计及有限元分析[J]. 现代制造技术与装备, 2010(5): 50-51.
- [2] 毕向秋. 气动钉枪流场数值模拟及气动性能分析研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2006: 5-18.
- [3] 于治会. 一种跌落冲击台的设计原理[J]. 强度与环境, 2000(3): 59-65.
- [4] 李鸿儒. 小型跌落冲击台的设计原理[J]. 气象水文海洋仪, 2002(1): 19-29.
- [5] 袁艳, 李丰年, 曹艳芸. 简易包装件跌落试验机设计[J]. 包装与食品机械, 2006, 24(6): 1-3.
- [6] GOYAL S, BURATYNSKI E K. Methods for realistic drop-testing [J]. The International Journal of Microcircuits and Electronics Packaging, 2000, 23(1): 45-52.
- [7] SHIM V P W, LIM C T. Impact drop tester for portable consumer products. Us, 6508103B1 [P]. 2000-06-13.
- [8] 刘磊, 傅戈雁, 徐梅. 一种测量冲击力的新型装置的研制[J]. 苏州大学学报: 工科版, 2009, 29(6): 5-6.
- [9] 庄佳俊, 宋寒, 王红云. 冲击试验过程中对试验结果产生影响的因素分析[J]. 现代测量与实验室管理, 2011, 19(4): 27-29.