

直接蒸发式冰蓄冷空调的蓄冰槽融冰强化换热

肖 睿¹ 何世辉¹ 杜艳利¹ 黄 冲¹ 冯自平¹ 国德防² 崔昌学² 杜光林²

(1. 中国科学院广州能源研究所 中国科学院可再生能源与天然气水合物重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 青岛海尔空调电子有限公司, 山东 青岛 266101)

摘 要 现有的直接蒸发式冰蓄冷空调蓄冰槽内在融冰运行时都存在不利于传热的较大垂直温差。本文通过在蓄冰槽中下部位置处设置水平交叉盘管, 使蓄冰槽内的竖直冰柱易于断裂, 从而改善槽内自然对流条件, 达到强化换热的目的。实验表明, 水平盘管的布置明显减小了蓄冰槽内在融冰过程中的上下层温差, 传热过程得到强化, 融冰速度加快, 制冷系统的 COP 也相应得到提高。

关键词 直接蒸发; 冰蓄冷; 蓄冰槽; 水平盘管; 强化传热

中图分类号: TB657.2; TK02 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253-231X(2008)09-1524-03

HEAT TRANSFER ENHANCEMENT OF DIRECT-EVAPORATION INTERNAL MELT ICE-ON-COIL THERMAL STORAGE TANK DURING DISCHARGING PROCESS

XIAO Rui¹ HE Shi-Hui¹ DU Yan-Li¹ HUANG Chong¹ FENG Zi-Ping¹ GUO De-Fang²
CUI Chang-Xue² DU Guang-Lin²

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Key Laboratory of Renewable Energy and Gas Hydrate, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Qingdao Haier Commercial Air Conditioning Co. Ltd., Qingdao 510640, China)

Abstract For the current direct-evaporation internal melt ice-on-coil thermal storage systems, the vertical temperature difference in the ice tank is a distinct disadvantage for heat transfer during the discharging process. In this paper, a set of horizontal coils were added to the primary vertical coils near the bottom of the tank to help to crack the cylindrical ice columns easier at the early stage of discharging. The experimental results validated the anticipated effects. The vertical temperature difference is reduced evidently. And the convective heat transfer is enhanced, so the discharging rate increases remarkably. The COP of the thermal storage system is improved simultaneously.

Key words direct-evaporation; ice thermal storage; ice tank; horizontal coils; heat transfer enhancement

0 前 言

冰蓄冷空调是为了实现电网用户侧移峰填谷而发展起来的一项有效的能源利用技术, 近年来发展迅猛。直接蒸发式冰蓄冷空调是冰蓄冷空调的一个重要分支, 夜间利用低谷电力制冰蓄冷, 一次制冷剂直接在蓄冰槽内的盘管内蒸发, 盘管外的水结冰蓄存冷量。白天则利用蓄冰槽内的冰来过冷却从系统冷凝器出来的一次制冷剂, 从而增加蒸发器的冷量输出, 间接地把蓄冰槽的蓄冷量释放出来。直接

蒸发式冰蓄冷不但实现了空调电力负荷由白天向夜间的转移, 还可以减小制冷机组的装机容量。

直接蒸发式冰蓄冷空调适用于小型商用空调系统, 要求系统占地面积小, 因而其蓄冰槽通常为立式长方体外形, 槽内的换热盘管也因此竖直布置。在融冰过程中竖直的冰柱和制冷剂进行热交换, 冰柱逐渐融化释放冷量。盘管外面的热交换主要靠紧贴盘管外壁面已融化的水与未融化的冰之间的自然对流以及已融化的水的导热来进行换热。随着融冰过程的进行, 盘管外表面与冰之间的水层逐渐变厚, 使

收稿日期: 2008-01-11; 修订日期: 2008-07-05

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (No.2007AA05Z221); 广东省科技计划项目 (No.2006A10706006)

作者简介: 肖 睿 (1975-), 男, 四川富顺人, 博士研究生, 主要从事制冷空调、蓄能等方面的研究。

得换热热阻逐渐增大(主要是水的导热热阻增大),盘管制冷剂的出口温度也因此逐渐升高,融冰速率逐渐变小。尤其是在融冰过程后期,蓄冰槽内的残冰难以融化,冷量难以完全释放,而且蓄冰槽内的垂直温差较大^[1~3]。现有的技术多是在蓄冰槽内引入空气管道,通过空气泵等对冰槽内吹入空气,加强扰动,从而增强对流换热效果^[4,5]。但这种方法增大了系统的体积,而且增大了系统的功耗和冷量的损失。因此有必要对融冰过程中的蓄冰槽内强化换热进行深入的研究。

1 融冰过程理论分析

直接蒸发式冰蓄冷空调系统制冰蓄冷时,蓄冰槽作为蒸发器,冰槽换热盘管内流动的制冷剂吸收盘管外水的热量,在盘管外壁面直接结冰;融冰释冷时,蓄冰槽作为过冷器,经冷凝器冷却后的制冷剂进入蓄冰槽进一步过冷。换热盘管外的冰吸收管内的制冷剂的热量,冰层沿盘管由内向外融化。融冰释冷运行原理如图 1 中黑体线所示。

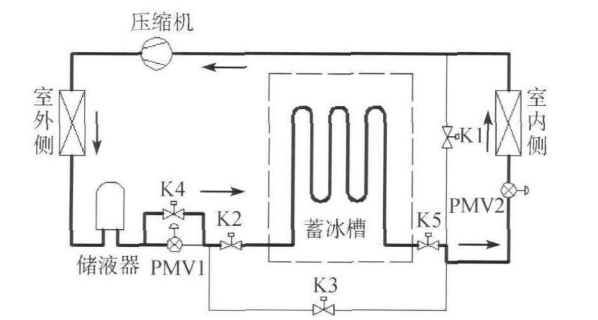


图 1 直接蒸发式冰蓄冷空调系统融冰释冷原理图
Fig.1 Discharging cycle of direct-evaporation internal melt ice-on-coil thermal storage systems

融冰时,从室外冷凝器冷却后的制冷剂进入蓄冰槽的换热盘管,通过管壁将热量传给冰层,使盘管外的冰层自内向外融化,如图 2 所示。在融冰过程中,管外的换热主要是靠紧贴盘管外壁面已融化的水和未融化的冰之间的自然对流和已融化的水的导热来进行热交换。整个过程的传热机理主要包括换热盘管内的对流换热、管壁导热、水层的自然对流、水的导热以及冰的导热五个部分。

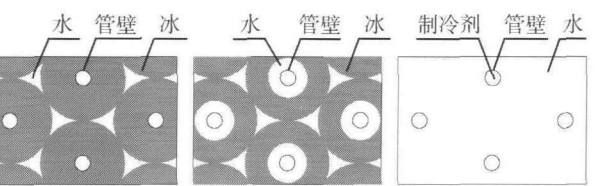


图 2 融冰过程中冰槽内的变化示意图
Fig.2 Ice melting process in ice tank during discharging

2 强化换热装置

针对现有融冰过程中出现的冰槽上下温差过大的现象,本文考虑在冰槽的中下部,和主管盘管(竖直盘管)交叉布置一路强化换热盘管(水平盘管),通过阀门进行控制。在融冰时,打开阀门,两组盘管同时通入从室外冷凝器冷却后的制冷剂。图 3 为本实验的强化换热装置示意图。

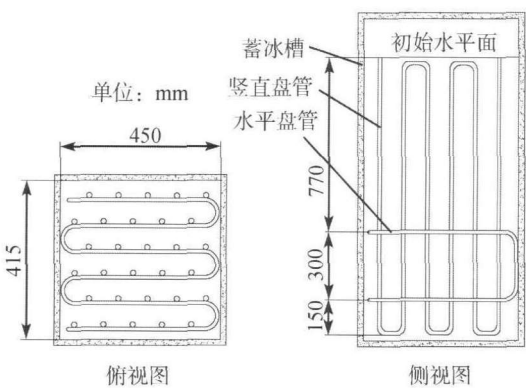


图 3 强化换热装置示意图
Fig.3 Setup for heat transfer enhancement

3 强化传热实验结果及分析

本文以蓄冷量为 64 MJ 的蓄冰槽为例,给出融冰过程中强化换热与非强化换热的实验结果的对比。

在融冰过程中,两组换热盘管交叉处的冰很快融化掉,竖直的冰柱被截断,使得竖直冰柱内外的水之间的自然对流得到加强,换热效果得到强化,融冰速率得到提高。实验表明,水平盘管的存在使蓄冰槽内水的分层现象得到明显改善。由于换热较为充分,制冷剂经过冰槽后过冷温差增大,如图 4 所示。冰槽内的传热系数也有很大的提高,如图 5 所示。由此可见冰槽内的换热状况因水平盘管的存在而得到了明显的改善。

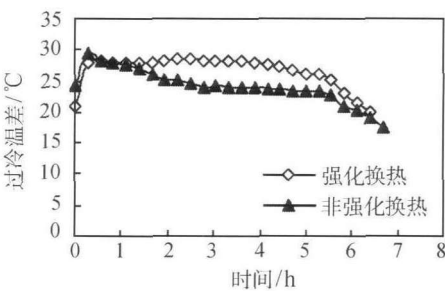


图 4 融冰过程中制冷剂过冷温差的对比
Fig.4 Supercooling degree of refrigerant during discharging

在融冰过程中,对比图 6 中的冰槽内的水温变化可以看出:在采用水平盘管强化换热措施后,蓄冰

槽内的水温在融冰过程中基本均匀, 垂直温差明显缩小。融冰速度也大约提高了 15%, 如图 7 所示。

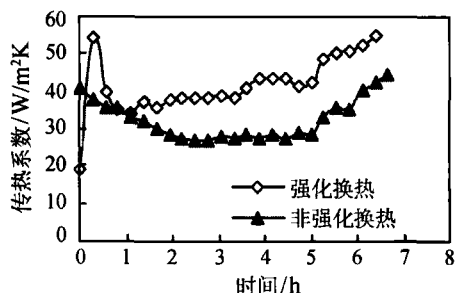


图 5 融冰过程中传热系数的对比

Fig.5 Heat transfer coefficient in ice tank during discharging

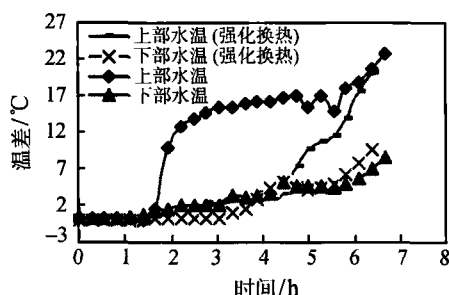


图 6 融冰过程中冰槽内水温的变化对比

Fig.6 Temperature distribution in ice tank during discharging

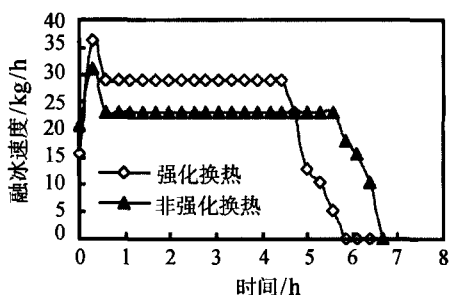


图 7 融冰过程中融冰速度的对比

Fig.7 Ice melting speed during discharging

实验表明, 采用水平盘管作为强化传热手段后, 水平盘管通入少量的制冷剂, 系统的功耗并没有增加, 而且由于提高了换热效果, 增大了融冰速度, 经过冰槽后制冷剂的过冷温差有所增大, 系统的制冷能力有所提高, 制冷系数 COP 也有所提高。

4 结 论

在蓄冰槽的中下部位置通过布置水平旁路盘管作为强化换热手段, 使得冰槽内的对流换热加强, 融冰速度提高, 冰槽的垂直温差减小, 而且系统的功耗并没有增加, 系统的制冷能力有所提高, 制冷系数 COP 也有所提高, 是一种理想的立式蓄冰槽强化换热手段。

参 考 文 献

- [1] Nelson D J, Vick B, Yu X. Validation of the Algorithm for Ice-on-Pipe Brine Thermal Storage System. ASHRAE Transactions, 1996, 102(1): P55-62
- [2] Neto J H M, Krarti M. Experimental Validation of a Numerical Model for an Internal Melt Ice-on-Coil Thermal Storage Tank. ASHRAE Transactions, 1997, 103(1): P125-138
- [3] 李海军, 陈国邦, 吴广庆. 不完全冻结式冰盘管融冰过程中环水温度的变化特性. 能源工程, 2004, (5): 11-14
LI Haijun, CHEN Guobang, WU Guangqing. Temperature Variation in Surrounding Water During Discharge for a Partially Charged Ice-on-Coil Thermal Storage Tank. Energy Engineering, 2004, (5): 11-14
- [4] 黑泽美晓, 顿宫英一. 冰蓄热空调机. 日本专利: 特开 2002-89891, 2002
Kurosawa Yoshiaki, Tongu Hidekazu. Ice Thermal Storage Air-Conditioner. Japanese Patent, 2002-89891, 2002
- [5] 岩崎圭志, 近藤诚二郎, 森井祥二, 等. 冰蓄热装置. 日本专利: 特开 2001-41506, 2001
Iwasaki Keiji, Kondo Seiji, et al. Ice Thermal Storage Set. Japanese Patent, 2001-41506, 2001