

船舶余热回收现状及吸附制冷应用前景

王树刚, 王如竹

(上海交通大学制冷与低温工程研究所, 上海 200030)

摘要: 热管式余热蒸汽锅炉和热水器在船舶上已得到成功应用。渔船余热回收的吸附式制冷系统也有很大的开发潜力。文章着重介绍回收船舶尾气余热的热管蒸汽锅炉系统、吸附式制冷的空调系统、冷冻水系统、制冰系统。

关键词: 船舶; 余热回收; 余热锅炉; 吸附制冷

中图分类号: TK0 **文献标识码:** C **文章编号:** 1001 - 8328 (2003) 03 - 0024 - 03

Abstract: Waste heat recovery boiler using heat pipe and water heater were applied successfully in ships. Adsorption refrigeration systems using diesel engine exhaust heat in fishing vessels face a high potential for development. Several types of heat recovery systems in ships were introduced, such as waste heat recovery boiler using heat pipe, adsorption systems for air conditioning, producing chilled water, and adsorption ice-maker systems. The better perspectives of applications for the lattermost exist for fishing vessels.

Key words: ship; waste heat recovery; waste heat recovery boiler; adsorption refrigeration

1 概述

柴油机是船舶的主要动力, 其排气余热约占燃料总热值的 34 % 左右, 排气温度一般在 400 °C 左右。更多地回收这部分余热, 可以提高主机热效率, 降低船舶运行成本。热管式余热蒸汽锅炉和热水器在轮船上已得到成功应用。用于船舶余热回收的吸附空调、制冷系统应用很少, 还有很宽的研究和开发余地。由于船舶在航行作业中只能作简单的检修, 所以对空调制冷设备在重量、体积、安全可靠以及备件方面比陆用有更高的要求。由此看来, 吸附式制冷系统比其它系统更具优越性。文献 [3] [4] 已开始探讨固体吸附式制冷应用在船舶制冷空调系统中的可行性。此外, 近海捕鱼的中小型渔船一般是带冰作业。由于其吨位小, 不可能装压缩式制冰机, 装冰又占用巨大空间。利用柴油机尾气余热驱动吸附式制冰机可在不增加柴油机任何油耗情况下, 仅回收其尾气余热即可实现制冰, 满足渔民需求。本文着重介绍船舶尾气余热回收的现状及吸

附式制冷在船舶上的应用趋势。

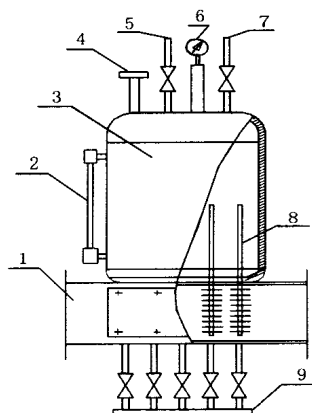
2 热管余热蒸汽锅炉回收系统

回收船舶尾气余热的最简单、有效的方法是在主机的排气管通道上安装余热锅炉来产生蒸汽或热水, 供旅客和船员的生活应用, 或加热重油 (柴油机燃料), 或用来作为动力。已有各种不同形式的烟管式余热蒸汽锅炉装在各种类型的船舶上使用, 但其具有不可忽视的缺点, 如体积大, 耗材多, 压降大, 传热系数小, 启动慢, 回收效率低等。

我国长江航运管理局的芜湖长江轮船公司在东方红 329 号轮上, 上海长江轮船公司在东方红 18 号轮上于上世纪 80 年代初就装有热管式余热蒸汽锅炉和热水器。这种余热蒸汽锅炉具有传热系数大、气流阻力小、结构紧凑、重量轻、不易腐蚀、热管可更换、启动迅速、产汽量大等优点。图 1 为热管余热蒸汽锅炉结构图, 总高 1 080 mm、锅筒直径 520 mm、高 725 mm, 总质量 240 kg。筒体与热管的隔板焊成一体。热管直径 $\phi 25 \times 2.5$, 全长 600

作者简介: 王树刚 (1963-), 男, 辽宁葫芦岛人, 副教授, 博士生, 主要从事空调与制冷工程研究。

mm, 其中加热段 300 mm, 冷凝段 250 mm。加热段装设高 12.5 mm、厚 1 mm 的肋片。该装置蒸汽产量 40 kg/h 以上, 从冷机启动半小时内产生蒸汽, 能及时满足乘客喝开水的需要。



1—烟道；2—水位计；3—锅筒；4—主蒸汽接管；5—安全阀；6—压力计；7—排汽管；8—热管；9—吹灰器

图1 热管式余热蒸汽锅炉结构

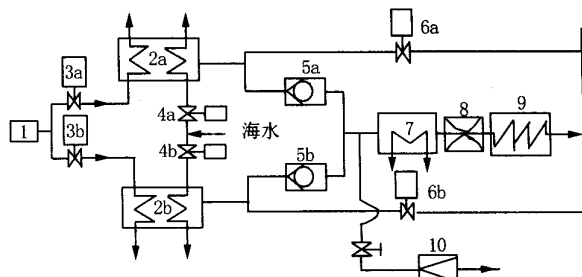
3 吸附式余热空调系统

文献[4]给出的吸附式空调系统结构如图2所示。由发动机排出的废气经阀3a加热吸附床2a。解吸出的吸附质（水蒸气）则经单向阀5a进入冷凝器7中冷凝后，经节流阀8节流降压降温进入蒸发器9中相变吸热制冷；同时，吸附床2b被海水冷却降温，开启电磁阀6b后，床2b内的吸附剂则吸附蒸发器中的吸附质。在a床解吸，b床吸附完毕后，阀3b、4a打开，阀3a、4b、6b关闭，相应地将依次打开阀5b、6a，又开始a床吸附，b床解吸的循环，如此交替工作。系统中水的蒸发温度可达到4~5℃，如采用直接式空冷器，考虑到传热温差，一次风的送风温度仍可达到12~15℃，完全可满足船舶空调对送风温度的要求。

4 吸附式余热回收的冷冻水系统

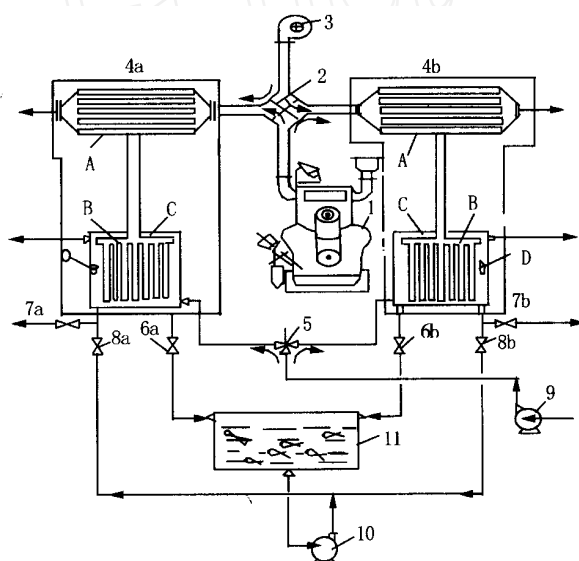
图3显示了用于渔船保鲜的吸附制冷的冷冻水系统。采用沸石/水作为工质对，两个沸石吸附单元4a和4b组成一个系统。每个单元由吸附器、冷凝器/蒸发器及水箱组成。吸附器的结构类似于壳管式换热器，沸石分子筛填入壳侧。两个单元通过切换阀2能相互转换它们的脱吸附过程。实验用的吸附单元由多根吸附制冷单元管组成，单元管上部作为吸附床充填沸石，下部作冷凝器/蒸发器。一个单元管含有400 g沸石13X和120 g的纯净水（此

质量比作为样机的沸石/水质量比）。在解吸温度200℃、吸附温度为大气环境温度、循环时间为3h的情况下，一根单元管可以把1kg的水，从24℃冷却到2℃。



1—发动机；2—吸附床；3、4—电磁阀；5—单向阀；6—真空电磁阀；7—冷凝器；8—节流阀；9—蒸发器；10—真空泵

图2 吸附式空调系统结构示意图



1—柴油机；2—切换阀；3—送风机；4—沸石吸附单元（A，发生器；B，冷凝器/蒸发器；C，水箱；D，搅拌器）；5—三通电磁阀；6、7、8—阀门；9、10—泵；11—储鱼箱。

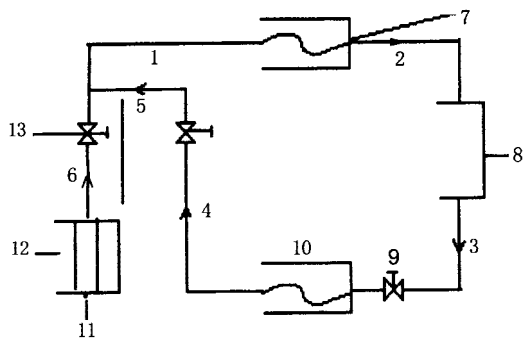
图3 吸附式冷冻水系统

基于单元管的实验结果，文献[5]报道了制成的中型吸附式冷冻水样机，其排冷能力设计为一个循环3500 kJ。测试结果显示当随着柴油机负荷增加，排气温度增高时，样机制冷能力增加而循环周期缩短。

5 吸附式余热回收的制冰系统

湖南定宇制冷有限公司研制开发了船舶柴油机尾气制冰机，其原理如图4所示。该吸附式制冰机

以渔船柴油机排出的尾气为热源,采用氯化钙和氨为吸附工质对,利用三组吸附发生器,通过三组发生器的自动切换,实现连续制冷。通过国家权威部门的检测,该制冰机对于110kW(150马力)的船用柴油机可实现日产片冰800kg,系统的能效比为0.3,柴油机的油耗增加仅为1.4%。该产品已试销日、泰等国。



1—气氨; 2—液氨; 3—液氨; 4—气氨; 5—气氨; 6—气氨; 7—冷凝器; 8—储液罐; 9—节流装置; 10—冰机; 11—柴油机尾气; 12—发生器; 13—控制阀

图4 渔船柴油机尾气制冰机原理图

对于船用柴油机,其尾气余热较大,具有很大的回收利用价值。余热蒸汽锅炉是回收这类余热的最有效方法之一。船舶空调系统中如应用固体吸附式制冷技术能实现制冷节能和海洋环境保护。

利用发动机余热的吸附式空调、制冷系统优点是不需要吸收式必需的溶液泵或分馏装置,结构简单,无运动部件,抗振性好,造价低,更适用于船舶制冷。我国中小型渔船数以万计,大部分都没有配置冷冻设备,对于捕捞量在100t以下的渔船一般需带冰出海,很不经济。在此类渔轮上开发余热驱动的吸附式冷冻水系统或制冰机,用于鱼品冷藏保鲜,可减少渔轮带冰量和柴油耗量,技术上可行,经济效益可观。

参考文献

- [1] 羊冀贤. 热管型气-水换热器研制初步小结. 余热锅炉. 1982, 4: 29-34.
- [2] 高子恩, 谢国兴, 洪荣华, 等. 热管式余热蒸汽锅炉在海轮上的应用. 能源工程. 1985, 4: 34-35.
- [3] 孙永明. 固体吸附式制冷在船舶上的应用研究. 上海海运学院学报. 2000, 21(2): 52-56.
- [4] 陈武, 蔡振雄. 船舶吸附式空调制冷系统研究. 水运科技信息. 1999, (3): 13-15.
- [5] Zhu Ruiqi, Han Baoqi, Lin Meizhen, et al. Experimental investigation on an adsorption system for producing chilled water. International Journal of Refrigeration. 1992, 15(1), 31-34.
- [6] 齐朝晖, 汤广发, 李定宇, 等. 吸附制冷技术在余热回收中的应用. 中国能源. 2001, 4: 30-32.

收稿日期: 2002-06

(上接第5页)

敬业的热情,增强了职工的凝聚力,焕发了职工昂扬的斗志,重塑了北海修船的新形象。

三是发挥基层工会组织的作用,积极协助党政领导解决分配、保障、劳动保护和职业培训等方面遇到的各种实际困难和问题。首先关心,重点考虑,认真采取措施,努力加以解决。按照江泽民同志“三个代表”的要求,敢于并能够为职工说实话办实事,大胆地维护职工合法的民主权利和经济利益,坚持以职工群众满意不满意、高兴不高兴、答应不答应作为检验工会工作好坏的根本标准,使工会组织真正成为职工利益的“保护者”、“代言人”。分厂重大事项的改革,例如人事制度、工资制度、管理制度改革等都是经分厂职代会或团长联席会讨论决定的。在全分厂提出的全面推进ISO9002贯标认证工作和创“北海修船”品牌战略中,在关系到广大职工切身利益的裁减冗员等工作中,工人组织能够从整体利益出发,入情入理,做耐心细致的思想工作,教育职工从大局出发,从北海生死存亡的

高度正确看待企业的改革,使修船的几项大的改革举措得以顺利地推进。在工作中,我们用“四感激励法”即增强使命感的目标激励,增强成就感的荣誉激励,增加温暖感的情感激励,增强实惠感的物质激励,充分调动广大职工的积极性,用职工的智慧和聪明才智为工厂的发展和壮大贡献力量。

综上所述,国有企业的职工队伍,在改革开放的大潮中,要适应市场经济的要求,必须解放思想、转变观念、与时俱进,正如党的十六大报告中指出的“发展必须坚持和深化改革。一切妨碍发展的思想观念都要坚决冲破,一切束缚发展的做法和规定都要坚决改变,一切影响发展的体制弊端都要坚决革除”。除此之外没有其它路可走。我们必须用一个崭新的理念来培育一支有战斗力的职工队伍。在上级公司和党委的领导下,我们一定能够带领这支有战斗力的队伍,驾驭国有企业这艘巨轮在改革开放的大潮中,在市场经济的海洋里,乘风破浪勇往直前。

收稿日期: 2002-11