

文章编号: 1671-6612 (2020) 05-554-04

基于吸附式制冷的 金属模具生产线余热回收装置的研究

杜芳莉 申慧渊

(西安航空学院能源与建筑学院 西安 710077)

【摘要】 随着国家对系统节能减排政策的实施, 工业企业积极响应, 铸造企业作为高能耗行业节能潜力巨大。基于吸附式制冷对西安某铸造企业模具生产线中产生的大量余热进行回收, 该装置巧妙利用吸附式制冷系统的冷凝器冷却回水与金属模具生产线的废热水源进行定量混合使得热源温度为 65°C, 从而使吸附式制冷系统效率达到最高。通过该余热回收装置不仅可减少企业对环境的热污染, 而且还将吸附式制冷所产生的冷量用于空调系统的冷源, 大幅度减少了空调系统能耗。

【关键词】 模具生产线; 热水源; 余热; 吸附式制冷; 节能
中图分类号 G710 文献标识码 A

Research on Waste Heat Recovery Device of Metal Mould Production Line Based on Adsorption Refrigeration

Du Fangli Shen Huiyuan

(Xi'an Aeronautical University, Department of Energy and Architecture, Xi'an, 710077)

【Abstract】 With the implementation of the national policy on energy conservation and emission reduction in the system, industrial enterprises have responded positively. Casting industry as a high energy consumption industry has great potential for energy saving. In this paper, a large amount of waste heat produced in die production line of a casting enterprise in Xi'an is recovered based on adsorption refrigeration. The device skillfully uses the cooling backwater of the condenser of the adsorption refrigeration system to mix quantitatively with the waste heat source of the metal mold production line, so that the heat source temperature is 65°C, so that the efficiency of the adsorption refrigeration system is the highest. The waste heat recovery device can not only reduce the thermal pollution to the environment, but also apply the cooling capacity produced by adsorption refrigeration to the cold source of air conditioning system, which greatly reduces the energy consumption of air conditioning system.

【Keywords】 mould production line; hot water source; waste heat; adsorption refrigeration; energy conservation

基金项目: 西安航空学院自然科学基金项目(编号: 2019KY1223)

作者(通讯作者)简介: 杜芳莉(1975.5-), 女, 硕士研究生, 副教授, E-mail: 972339919@qq.com

收稿日期: 2019-12-18

0 引言

随着国民经济快速发展, 能源紧缺问题日益突出, 能源消耗所引起的环境污染问题日益严重, 能源与环境的可持续发展成为国家的重大发展战略, 目前国家大力发展和开发清洁能源, 节能减排措施

成为研究热点。铸造企业作为高耗能、高污染行业, 积极响应国家节能减排政策。在铸造行业中, 由于模具生产线中会产生大量低于 100 °C 的余热废水^[1-3]。目前大部分企业对于这部分热量都是直接排放到环境中, 这样不仅带来“热污染”问题, 而且

还导致能源的巨大浪费^[4]。针对模具生产线大量余热浪费的现状, 本文提出一种金属模具生产线余热高效回收装置, 该装置能有效回收模具生产线的大量余热, 并用于空调系统的冷源或热源, 从而大幅度减少空调系统能耗, 它不仅能满足企业对生产环境的要求, 同时还能提高产品的生产质量, 从而达到共赢目的。

1 设计思路

在铸造行业中, 由于热处理加工后的模具通常需要用水进行冷却定型, 在冷却过程中, 大量余热会白白流失, 造成资源浪费。本文针对西安某铸造厂金属模具生产线冷却产生的大量废热水进行余热回收, 该余热回收装置由金属模具生产线的废热水源、吸附式制冷装置、热水源温度控制系统及吸附式制冷控制系统等组成, 如图 1 所示。其工作过程为: 金属模具生产线产生的废热水源与吸附式制冷系统中冷凝器的冷却水出口的水进行混合, 通过热水源温度控制系统控制相应的流量使热水的温度保持在 65°C 左右, 从而为吸附式制冷系统提供最佳的热水源温度。吸附式制冷装置在持续不断的热水源供给及控制系统作用下进行吸附制冷, 并持续输出空调机组所需的冷冻水, 同时对于释放热量后的低温热水再次进入生产线冷却成型的高温模具, 使模具迅速定型, 从而提高模具生产线效率。

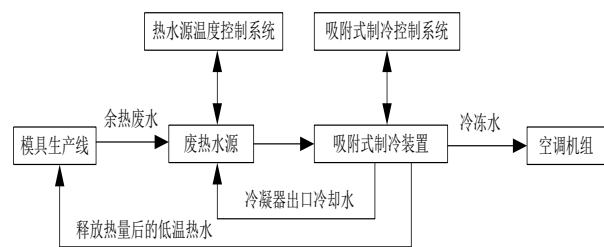


图 1 金属模具生产线的余热回收装置工作原理图

Fig.1 Original working diagram of waste heat recovery device in metal mould production line

2 吸附式制冷装置

随着能源的日益紧缺, 低温余热、废热的开发利用成为绿色能源发展的趋势^[5]。吸附式制冷利用低品位热能作为驱动热源, 采用自然环保工质作为制冷剂, 因其具有无CFCs, ODP和GWP为零、抗震性能好等优点而备受关注^[6]。吸附式制冷的原理

与普通的机械压缩式制冷不同, 它不需消耗高品位电能, 节能效果显著, 其原理主要是通过吸附剂吸附及脱附作用而产生压力差来完成制冷循环^[7]。目前在低于 100°C 的热源驱动下, 普遍采用硅胶-水吸附式制冷机, 但由于硅胶-水吸附工质对的循环有效吸附量小, 造成系统庞大、循环时间长、性能受环境温度变化影响大的特点, 从而对其应用造成一定的瓶颈。为此, 本文选用沸石-水作为工质对, 并采用两个吸附床的连续制冷方式, 大大提高制冷效率^[8]。本文中吸附式制冷系统主要是由吸附床1、吸附床2、冷凝器、蒸发器、四通换向阀1、四通换向阀2、真空阀V1、真空阀V2、真空阀V3、真空阀V4、流量调节阀1、流量调节阀2组成。其结构如图2所示。

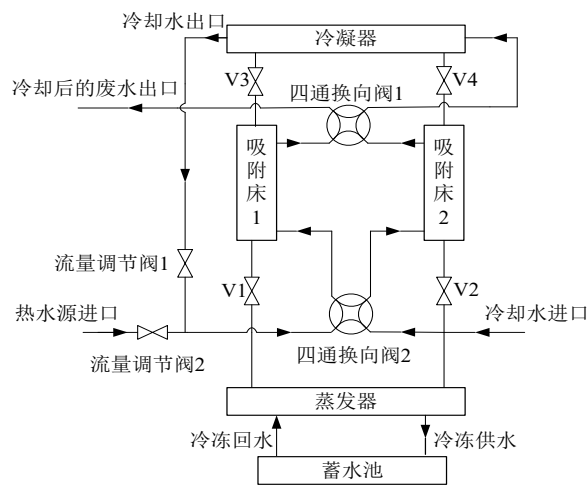


图 2 吸附式制冷系统结构图

Fig.2 Structure diagram of adsorption refrigeration system

工作过程为: 来自模具生产线的废热水源经流量调节阀 2 与来自吸附式制冷装置冷凝器出口冷却水经流量调节阀 1 进行定量混合, 使得混合后热水源水温为 65°C , 然后通过四通换向阀 2 进入吸附床 1, 与此同时, 连接吸附床 1 与冷凝器的真空阀 V3 打开, 吸附床 1 进行脱附再生, 同时吸附床 2 与蒸发器相连的真空阀 V2 打开进行吸附制冷, 在此过程中冷却水通过四通换向阀 2 进入吸附床 2 带走吸附热后进入冷凝器带走冷凝热, 当吸附床 1 脱附完成后, 热源与冷却水流路的四通换向阀 1、2 进行切换, 同时与冷凝器、吸附床、蒸发器相连的真空阀也进行切换, 此时状态变为吸附床 1 与蒸发器相连的真空阀 V1 打开, 进行吸附制冷, 冷却水

进入吸附床 1 带走吸附热后再进入冷凝器带走冷凝热，而 65℃ 的热水源则通过四通换向阀进入吸附床 2 进行脱附再生，与此同时，吸附床 2 与冷凝器相连的真空阀 V4 打开，如此切换循环，连续向空调机组输出冷冻水^[9]。

3 控制系统

为使金属模具生产线热回收装置效率达到最高，该装置还设置高精度的控制系统，该控制系统包括热水源温度控制系统、吸附式制冷控制系统和计算机，如图 3 所示。其中热水源温度控制系统主要监测和控制冷凝器出口的冷却水流量调节阀 1 与废热水源进口处的水流量调节阀 2 的开度，保证进入吸附式制冷装置中的热水温度始终为 65℃；吸附式制冷装置控制系统主要调节吸附式制冷过程中各阀门的开启时间，确保吸附式制冷中的吸附床 1 进行脱附再生而吸附床 2 进行吸附制冷的第一循环，和吸附床 1 吸附制冷、吸附床 2 脱附再生的第二循环的顺利切换，从而保证冷冻水的不间断产生；计算机作为控制系统的核心，主要是保证两个控制系统高效运行。

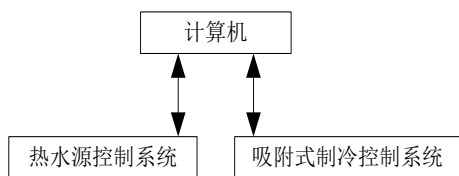


图 3 金属模具生产线热回收装置控制系统结构图

Fig.3 Structure diagram of control system of heat recovery device in metal mould production line

3.1 热水源温度控制系统

热水源温度控制系统是为了确保吸附式制冷系统效率达到最高，该系统是由冷却水温度传感器、热水源温度传感器、流量调节阀 1 和流量调节阀 2 组成。其中冷却水温度传感器、热水源温度传感器均位于热水源温度控制系统的输入端，流量调节阀 1 和流量调节阀 2 则位于系统的输出端。该控制系统采用基于改进的细菌觅食优化算法优化的三层 BP 神经网络模型，通过实时监测冷却水温度及热水源温度并配合流量调节阀 1 和流量调节阀 2 的开度，巧妙将吸附式制冷系统的冷凝器的冷却回水与金属模具生产线的废热水进行定量混合使得热源温度为 65℃，从而使吸附式制冷系统的效率最高。

热水源控制系统工作原理如图 4 所示，其工作过程如下。

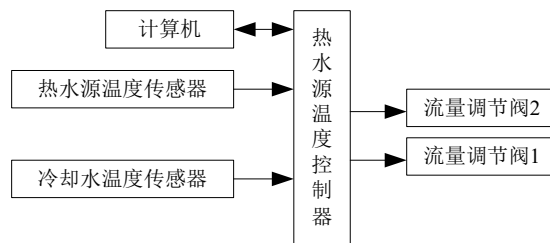


图 4 热水源温度控制系统结构图

Fig.4 Structure diagram of hot water source temperature control system

(1) 数据采集及传输：冷却水温度传感器对冷凝器的冷却水出口水温进行实时检测，并将检测到的冷却水温度信号输出给热水源温度控制器。热水源温度传感器对金属模具生产线产生的废热水源温度进行实时检测并将检测到的热水源温度信号输出给热水源温度控制器。

(2) 数据处理：热水源温度控制器将冷却水温度信号和热水源温度信号输入预先构建的三层 BP 神经网络中，输出对流量调节阀 1 开度的控制信号和对流量调节阀 2 开度的控制信号，并调节流量调节阀 1 和流量调节阀 2 的开度，使从冷凝器出口输出的冷却水与从金属模具生产线产生的废热水源混合后，水温稳定在 65℃。

(3) 预先构建好三层 BP 神经网络后，每次只需将冷却水温度信号和热水源温度信号输入预先构建的三层 BP 神经网络中，就可以自动输出对流量调节阀 1 开度的控制信号和对流量调节阀 2 开度的控制信号，从而简单、快捷、准确地将吸附式制冷系统中冷凝器的冷却出水与金属模具生产线的废热水混合温度调节为 65℃，进而有效保证吸附式制冷系统的效率达到最高，并连续产生空调机组所需的冷冻水。

3.2 吸附式制冷控制系统

吸附式制冷控制系统是确保吸附床 1 和吸附床 2 交替吸附、脱附，连续输出冷量的系统。它是由吸附式制冷控制器、设置在吸附床 1 出口端的第一气体流量传感器和第一水流量传感器、设置在吸附床 2 出口端的第二气体流量传感器和第二水流量传感器、四通换向阀 1、四通换向阀 2、真空阀 V1、真空阀 V2、真空阀 V3 和真空阀 V4 组成，其控制系统结构如图 5 所示。其工作过程为：吸附式制冷

控制器控制四通换向阀1和四通换向阀2,使混合后温度为65℃的热水源从四通换向阀2接入吸附床1进行脱附再生,而吸附床1脱附再生产生的废水从四通换向阀1排出,同时,吸附式制冷控制器控制真空阀V2和真空阀V3打开,使从冷却水输入管输入的冷却水从四通换向阀2进入吸附床2中,带走吸附床2吸附制冷后所放出的热量,并从四通换向阀1进入冷凝器带走冷凝热;当第一气体流量传感器检测到吸附床1脱附产生的制冷剂蒸气量为零时,吸附床1脱附再生过程完成,此时吸附式制冷控制器控制真空阀V2和真空阀V3关闭,并控制四通换向阀2进行切换,真空阀V1、真空阀V2、真空阀V3和真空阀V4均处于关闭状态,冷却水则从四通换向阀2进入吸附床1中,同时,温度为65℃的废热水源从四通换向阀2接入吸附床2中,当第一水流量传感器检测到第一吸附床的出口端水流量为零,且第二水流量传感器检测到第二吸附床的出口端水流量为零时,吸附式制冷控制器控制四通换向阀1进行切换,并控制真空阀V1和真空阀V4打开,此时,吸附床1与蒸发器相连进行吸附制冷,吸附制冷后产生的热量被冷却水吸收并从四通换向阀1进入冷凝器带走冷凝热;吸附床2与冷凝器相连,进行脱附再生,脱附再生后产生的冷却废水通过四通换向阀1排出,当第二气体流量传感器检测到第二吸附床脱附产生的制冷剂蒸气量为零时,脱附再生完成,第二吸附床的脱附再生过程完成,返回第一吸附床脱附再生、第二吸附床吸附制冷的第一循环,如此往复循环,不断进行余热回收,输出冷冻水。

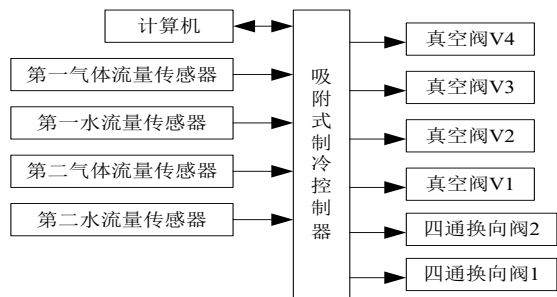


图5 吸附式制冷控制系统结构图

Fig.5 Structure diagram of adsorption refrigeration control system

综上所述,本文提出的金属模具生产线余热高效回收装置,能将金属模具生产线产生的大量余热废水进行有效回收,并巧妙用于吸附式制冷装置的热源,为模具生产线的空调系统持续不断提供冷量,从而大幅度减少生产车间空调系统能耗。该装置不仅节能、绿色环保,符合国家节能减排的大政方针,而且还吻合当前全球能源、环境协调发展的总趋势。该装置创新点如下:

(1) 本装置利用金属模具生产线产生的大量废水余热为吸附式制冷系统提供热源,解决了空调系统冷源制取耗能大的问题。

(2) 本装置中吸附式制冷系统设计新颖合理,采用吸附床1、吸附床2、冷凝器和蒸发器相互配合工作,有效回收金属模具生产线产生的废热水源的热量,持续生产空调用冷冻水,并用作金属模具生产车间内空调系统的冷源,达到节能减排的目的。

(3) 本装置通过设置热水源温度控制器,及冷却水温度传感器和热水源温度传感器,配合流量调节阀1和流量调节阀2,采用基于改进的细菌觅食优化算法优化的三层BP神经网络模型,巧妙利用吸附式制冷系统的冷凝器的冷却回水与金属模具生产线的废热水进行定量混合使得热源温度恒定为65℃,从而使吸附式制冷系统的效率达到最高。

参考文献:

- [1] 马世久,陈秀和,刘贤,等.铸造行业节能减排现状及余热利用实例分析[J].汽车工艺与材料,2014,(1):22-24.
- [2] 陈少杰,陈光明.渔船动力余热制冷技术[J].制冷学报,2014,35(6):28-34.
- [3] 陶建格,薛惠锋.能源约束与中国可再生能源开发利用对策[J].资源科学,2008,(2):199-205.
- [4] 陈诗一.节能减排与中国工业的双赢发展:2009—2049[J].经济研究,2010,(3):129-143.
- [5] 李锐.制冷空调能耗及减排节能技术的分析[J].制冷与空调,2015,(1):118-122.
- [6] 王南南,刘再冲,邓立生,等.低温驱动沸石-水吸附式制冷机的性能研究[J].制冷学报,2016,37(1):65-69.
- [7] 杜芳莉,吴晗,张富康,等.基于吸附式制冷果品保鲜装置的研究[J].制冷与空调,2018,(6):586-589.
- [8] 何兆红,鲁涛,黄宏宇,等.新型吸附床的研究进展[J].化学工程,2011,(10):34-38.

4 结论

-
- [9] 刘再冲. 低温热源驱动沸石-水吸附式制冷机的实验研究[D]. 广东: 广州工业大学, 2015.