

文章编号: 1671-6612 (2021) 02-263-04

# 某工程热管换热技术的设计与应用分析

焦春玲<sup>1</sup> 白延斌<sup>2</sup> 霍海红<sup>3</sup> 白亚娟<sup>4</sup>

(1. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 西安 710065;

2. 中煤能源研究院有限责任公司/中国科学技术大学 西安 710054;

3. 陕西大唐新能电力设计股份有限公司 西安 710048;

4. 陕西省煤炭科学研究所 西安 710054)

**【摘要】** 针对某矿井进风井口防冻用热问题, 分析了具体用热需求与余热资源状态。根据现有条件, 针对性设计了热管换热方案, 理论分析了热管换热技术的可行性, 并对其换热效率高影响换热效果进行了分析, 指出了极端气象条件下所需的保证措施与实施方案。进一步结合实际初步运行效果, 验证了热管换热技术的可行性, 并分析了其应用的关键技术问题。

**【关键词】** 热管; 余热; 供热; 换热器

中图分类号 TU831.4 文献标识码 A

## Design and Test Analysis of a Heating System for Ventilation Air Methane

Jiao Chunling<sup>1</sup> Bai Yanbin<sup>2</sup> Huo Haihong<sup>3</sup> Bai Yajuan<sup>4</sup>

(1. Scegc Installation Group Co., Ltd, Xi'an, 710048; 2. China Coal Energy Research Institute Co., Ltd, Xi'an, 710054;

3. Shaanxi Datang New Energy Power Design Co., Ltd, Xi'an, 710048; 4. Shaanxi Coal Research Institute, Xi'an, 710054)

**【Abstract】** In view of the problem of anti-freezing heat used in the inlet well head of a mine, the specific heat demand and the state of waste heat resources are analyzed. According to the existing conditions, a heat pipe heat exchange scheme was designed, the feasibility of heat pipe heat exchange technology was theoretically analyzed, and the influence of heat exchange efficiency on heat exchange effect was analyzed, and the necessary guarantee measures and implementation scheme under extreme weather conditions were pointed out. Furthermore, the feasibility of heat pipe heat exchange technology is verified by combining with the actual preliminary operation effect, and the key technical problems of its application are analyzed.

**【Keywords】** heat pipe; waste heat; supply heat; heat exchanger

作者简介: 焦春玲 (1979-), 女, 高级工程师, E-mail: 76995356@qq.com

通讯作者: 白延斌 (1985-), 男, 工程师, E-mail: BDL168168@163.com

收稿日期: 2020-07-19

## 0 引言

热管被称为“超导热体”, 是上世纪40年代出现的新技术, 热管的出现在航天航空领域得到广泛的应用<sup>[1]</sup>。标准热管的原理是在1942年由美国人P S Gaugler首次提出, 1962年被相关学者运用到空间系统中。此后, 热管的研究技术与开发受到了各国学者的极大重视。近年来, 重力热管的应用得到了

迅速的发展, 重力热管是一种结果简单、成本、低传热性能好的优点, 缺点是热量只能有它的下端向上端传递, 但是在余热利用中可以很好的克服其缺点。工业性的热管应用, 尤其是在余热回收领域中大量开发和利用, 重力热管受到了大家的重视。当前, 大规模的热管研究已经从空间应用转向工业及民用, 从热管的理论性探索阶段转入推广应用及

新型热管的开发阶段<sup>[2-5]</sup>。本文将从某矿井企业实际供热需求分析热管技术的成功应用。

## 1 项目概况

该项目属于某集团公司下属矿井，矿井设计生产能力为 20.0Mt/a，地处偏远，该矿风井场地远离主工业广场。该风井区设有回风井一座，回风风量 20000m<sup>3</sup>/min；进风井一座，进风风量 15000m<sup>3</sup>/min。原有井口防冻采用 3 台 6t/h 燃煤热风炉提供热源。根据陕西省地方标准 DB61/1226-2018《锅炉大气污染物排放标准》要求陕北地区燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值：颗粒物 10mg/m<sup>3</sup>、二氧化硫 35mg/m<sup>3</sup>、氮氧化物 50mg/m<sup>3</sup>、汞及其化合物 0.03mg/m<sup>3</sup><sup>[6]</sup>。现有场地锅炉房污染物排放标准严重超标，必须限期整改。根据《榆林市人民政府关于印发铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案（2018—2020 年）（修订版）的通知》榆政发（2018）33 号文件要求：全市不再新建每小时 35 蒸吨以下的燃煤锅炉，每小时 65 蒸吨及以上燃煤锅炉全部完成节能和超低排放改造<sup>[7]</sup>。因此该场地必须寻找新的替代热源，满足矿井正常生产。

## 2 方案设计

### 2.1 方案设想

依据《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》该地室外空气计算参数：冬季供暖室外计算温度：-15.1℃，冬季通风室外计算温度：-9.4℃，极端最低温度值：-30.0℃，历年极端最低温度平均值：-24.2℃。本系统中，采矿专业工艺设计矿井设计排风量 15000m<sup>3</sup>/min，矿井设计排风量 20000m<sup>3</sup>/min，排风温度常年恒温 16℃，进风井与排风在同一场地。

根据《煤炭安全技术规程》采用历年极端最低温度平均值 -24.2℃ 计算矿井进风需热量，矿井进风井井口温度按照 2℃ 考虑，计算得知进风需热量为 9301kW。

依据供暖室外计算温度为基准，计算得知进风需热量为 6070kW。

矿井排风温度常年恒定值为 16℃，设想换热端差为 2℃，由于排风量大于进风量，所以利用该排风的余热量约 8000kW。

由于余热量初步估算大于供暖室外计算温度

需热量，小于极端最低温度平均值需热量，因此考虑采用热管换热方式，结合场地布置回收余热资源进行供热，小于极端温度平均值的需热量通过电加热配置，来保证系统极端工况运行。热管换热布置示意图如图 1 所示。

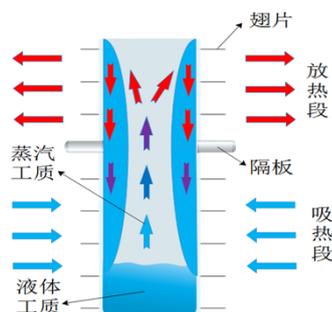


图 1 热管换热布置示意图

Fig.1 Schematic diagram of heat exchange arrangement of heat pipe

### 2.2 可行性分析

热管式换热器设计计算方法所依据的计算模型主要有两种：等效连续间壁式计算模型和离散间壁式计算模型<sup>[8-10]</sup>。

所谓等效连续间壁式计算模型，就是把热管式换热器设想成在连续的折算传热面上串联热管传热热阻的间壁式换热器，因而可以借助常规的间壁式换热器的工程计算方法来计算。这个计算模型成立的依据是：热管的内部热阻极小，以至对其外部对流换热特性几乎没有什么影响，实际计算表明，在气体横向冲刷带肋热管的情况下，热管内部热阻只约占总传热热阻的 10% 左右。

把热管外部介质的流动看作一维流动，不计换热面的离散分布和传热系数沿换热面的变化，根据整个传热面的能量平衡，由等效连续间壁式计算模型得到的热管式换热器的传热基本方程为：

$$Q = K \times N \times A \times \Delta t_m \quad (1)$$

式中： $Q$  为总换热量，kW； $K$  为系统传热系数。W/m<sup>2</sup>·℃； $N$  为热管根数； $A$  为换热管面积； $\Delta t_m$  为对数平均温差。

对于排风热回收计算将进出口平均温度作为定性温度，放热侧的冷流体（室外空气）吸热量  $Q_2$  与吸热侧热流体（矿井排风）放热量  $Q_1$  之间关系如下：

$$Q = m_1 c_{p1} \Delta t_1 - Q_1' = m_2 c_{p2} \Delta t_2 + Q_2' \quad (2)$$

式中:  $m_1$  为热流体流量, kg/s;  $m_2$  为冷流体流量, kg/s;  $c_{p1}$  为热流体定压比热, kJ/kg·°C;  $c_{p2}$  为冷流体定压比热, kJ/kg·°C;  $\Delta t_1$  为热流体进出口温度差, °C;  $\Delta t_2$  为冷流体进出口温度差, °C;

$Q_1'$  为热流体对环境散热量;  $Q_2'$  为冷流体对环境散热量。

$$Q_2 = \eta \times Q_1 \quad (3)$$

为了实际运行得到  $Q_2$  的热量, 可以得知  $Q_2$  与  $Q_1$  之间存在以下关系, 为了分析热管系统的可行性,  $Q_2$  与  $Q_1$  之间的关系分析如公式 (3), 现在主要的问题是分析其效率高低对换热效果的影响, 及其需要采取的电加热量保证措施。图 2 所示了不同换热效率下, 实际得热量计算值, 图 3 所示为不同室外计算温度下需热量。通过图 2、图 3 对比分析得知, 需热量基本负荷为 6071kW, 极限负荷为 9301kW, 综合分析考虑选取设计换热效率为 0.85 的热管式换热器满足基本负荷要求, 保证基本负荷运行工况。对于供热负荷与极限负荷之间的差值负荷通过配置电加热器来保证该部分负荷需求, 电加热负荷为 2501kW, 对比图如图 4、图 5 所示。

对于实际运行的项目来说, 室外气象参数一致变动工况, 根据气象数据统计显示, 该地区极限温度出现的频次较少, 大部分供暖时间是处于基本负荷范围内, 因此电加热实际运行小时数占比较少, 通过配置良好的自控系统来保证根据室外温度变化启停加热器的实际运行时间, 项目可以节能运行。

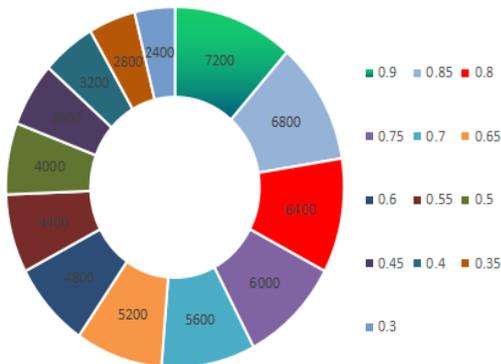


图2 不同换热效率下的 $Q_2$   
Fig.2  $Q_2$  for different heat transfer efficiencies

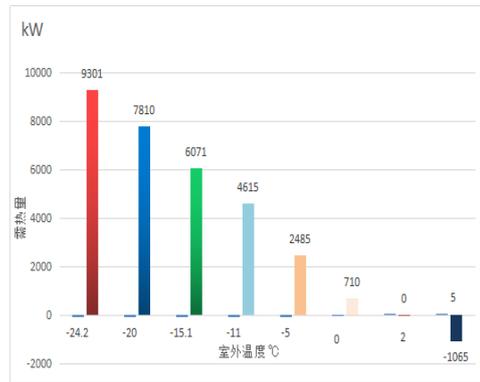


图3 计算温度下需热量  
Fig.3 Heat is required at different calculated temperatures

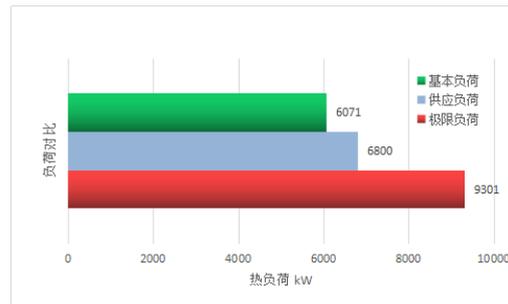


图4 热负荷对比图  
Fig.4 Heat load comparison diagram



图5 电加热量对比图  
Fig.5 Comparison diagram of electrical heating

### 3 选型设计

考虑达到现场条件, 根据现场场地占用情况, 为方便布置及后期运行管理方便, 集中布置换热机房, 机房屋顶布置热管换热器平台, 搭建新的通风道, 根据换热器性能要求设计选型换热器及布置通风机, 同时风道布置 2501kW 电加热器。将矿井排风通过热管换热器的蒸发段后排至大气, 新建新风管道通过热管换热器的冷凝段吸收热量后通过送

风机送至进风井。系统布置示意图如图 6 所示。换热器计算选型详细参数步骤不在赘述,通过计算布置了换热器选型布置过程如下:

热平衡计算,确定换热量、冷热流体流量、进出口温度;



选择和确定热管及热管式换热器的结构、尺寸、排列方式和基本参数(包括扩展换热面布置、流速选择等);



热管冷热侧换热系数的计算;



计算热管的各分热阻和总热阻,计算传热系数;



验证热管的尺寸和布置,确定热管的根数和排数;



热管的最高管内工作温度和最低管壁温度的计算和校验;



换热器的冷热侧流动阻力的计算和校验;



安全性校核、经济性分析。

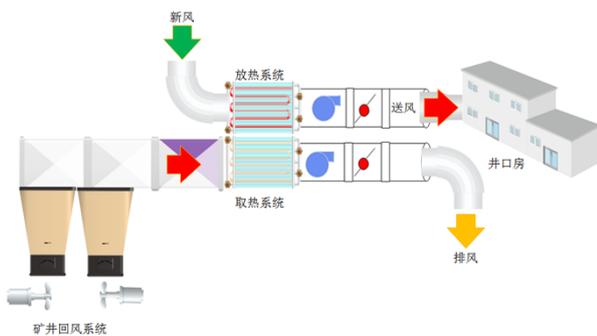


图6 换热机房系统流程示意图

Fig.6 System flow diagram of heat exchanger room

#### 4 结论

项目运行期一年内实际运行达到了良好的效

果,满足了现场需求,通过实际热管换热方式结合电加热的组合布置,起到了很好的节能作用。由于电辅电热模块仅仅是为了在极端气候条件下,避免蒸发器的结霜和防冻,确保系统运行的可靠性而设计,因此,通常情况下电辅加热模块无需开启。即使在极端气候条件下,为了在保证系统运行可靠性的前提下,达到节能降耗的目的。每一个电辅加热模块又划分为多个独立的加热单元,每一个加热单元通过计算机控制,根据风温监控返回的信号,实现自动开启和停止。热管换热有很好的导热性,理想的等温性,传热方向的不可逆及两侧热阻的可调性,加热段和放热段的长度可以灵活的选择布置。因此在矿井等类似场所对余热资源的回收起到很好的作用,值得的合适的地方加以推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 屠传经,王鹏举,洪荣华.重力热管换热器及其在余热利用中的应用[M].杭州:浙江大学出版社,1989.
- [2] 姚强.热管式空气预热器的设计与应用[D].上海:华东理工大学,2012.
- [3] 白延斌,焦春玲,霍海红.新形势下煤矿暖通设计的探讨[J].制冷与空调,2017,31(3):281-285.
- [4] 杜春涛,朱元忠,孟国营,等.矿井回风喷淋换热器换热效率数学模型研究[J].煤炭工程,2015,47(10):104-107.
- [5] 程冉冉.重力热管换热器传热分析与数值模拟[D].镇江:江苏科技大学,2016.
- [6] DB61/1226-2018,锅炉大气污染物排放标准[S].陕西:陕西省市场监督管理局,2018.
- [7] <http://www.yl.gov.cn/P/C/45036.htm>
- [8] 陈彦泽.两相闭式热虹吸传热过程及其非线性特征研究[D].大连:大连理工大学,2005.
- [9] 刘存玉.多功能变工况热泵系统分析及其在梧桐庄矿的应用研究[D].北京:中国矿业大学,2013.
- [10] 孙洋.热管换热器回收羊东矿井回风热能预热新风的研究[D].保定:河北大学,2015.