

# 烧结球团冷却链篦机高温回水余热循环应用与研究

衡旭文, 何铁牛

(太原钢铁(集团)有限公司 代县矿业有限公司, 山西 太原 034207)

**[摘要]** 本文介绍了将球团厂链篦机+回转窑+环冷机球团生产线产生的热水资源送到锅炉房,经电锅炉再加热后将高温热水送至各用户取暖的热能利用工程的设计原则、基本参数、新增设备和稳定供热系统的平衡和管理措施。使冷却链篦机空心托辊轴后高温回水的余热获得循环利用,降低生产成本。

**[关键词]** 链篦机; 余热利用; 取暖; 节能减排; 环境保护

**[中图分类号]** TF046.6      **[文献标志码]** B      **[文章编号]** 1003-8884(2022)01-0087-04

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.01.021

## 0 前言

代县矿业有限公司是太钢不锈钢烧结球团原料基地,2009年建成了年产200万t链篦机-回转窑-环冷机烧结球团生产线,其中链篦机型号为B4.5×46m,宽度4.5m、长度46m。运行几年来,链篦机空心上托辊轴一直使用新水冷却,冷却前新水温度为8~12℃,冷却后回水温度冬季为57~67℃,因新水中含碳酸钙、碳酸镁和碳酸铁等较多,所以冷却后的空心上托辊轴结垢严重导致空心轴堵塞,而且这部分热能未得到合理使用。为实现节能减排、绿色生产,准备将链篦机冷却后高温回水送到锅炉房,经汽水热交换器加热后送至各岗位取暖,改善作业区人员工作环境、降低生产成本和供水热能。同时将锅炉房经处理软化水送到链篦机,提高链篦机冷却水的质量,减少链篦机空心上托辊轴的结垢量,使链篦机冷却高温回水得到充分应用,实现节能减排和余热利用等目标。

## 1 改进前链篦机高温冷却水排放现状

链篦机是代县矿业200万t/a球团生产线的核心设备,链篦机生产能力Q为200~300t/h,运输速

度V为1.14~3.43m/min,球团矿在链篦机内停留时间为34~45min、堆积厚度为200mm、堆积密度为2.2t/m<sup>3</sup>,篦床加热面积为207m<sup>2</sup>,链篦机是运输直径Φ8~16mm球团矿并且加热生球的设备,其中分四个加热阶段,一是鼓干加热段,加热生球的温度为0~80℃;二是抽干加热段,加热铁球温度为80~280℃;三是环冷机余热利用加热一段,加热铁球的温度为280~780℃;四是环冷机余热利用加热二段,加热铁球的最终温度为780~1180℃;物料由链篦机内部空心托辊轴(共62根)支撑且由链板输送到回转窑加热,为防止空心托辊轴和水冷梁(共四根)受热变形,必须在其中间注入新水冷却,其中新水温度冷却轴前为8~12℃,冷却轴后为57~67℃,冷却后水温升高了49~55℃,新水用量为80~120m<sup>3</sup>/h,如果这部分新水热能不回收,余热就会浪费,不利于降本增效。

充分利用该热水,将冷却链篦机空心托辊轴及水冷梁后的高温回水回收至锅炉房,经锅炉房软化处理设备、热交换器和电锅炉加热后将高温回水,冬天送至各岗位取暖,降低取暖成本和供水热能。同时将锅炉房经软水处理器处理后的低温回水送到冷却链篦机空心托辊轴及水冷梁管道,改善冷却链篦机水的质量、减少空心托辊轴的结垢量。使冷却链篦机后的回水余热充分利用,达到节能减排效果,也解决过滤、焙烧、原料、精选等作业区和球团厂办公区冬季取暖问题。

原来四个作业区及办公区安装两台10t锅炉SHX35-1.6-M10供暖,每年耗煤1.8万t,且未配套

**[收稿日期]** 2021-09-12

**[作者简介]** 衡旭文(1970—),男,山西临汾人,高级工程师,大学本科,主要从事矿山设备、安全和技术管理工作。

**[引用格式]** 衡旭文,何铁牛.烧结球团冷却链篦机高温回水余热循环应用与研究[J].有色设备,2022,36(1):87-90.

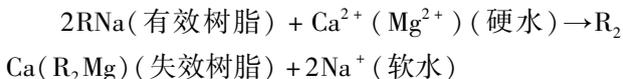
环保设备。锅炉操作人员劳动强度大、耗煤多、成本高、热效率低,同时严重污染环境,现已停止运行。

## 2 链蓖机冷却后高温回水余热回收利用研究与改进措施

### 2.1 冷却水软化处理研究

链蓖机空心托辊轴及水冷梁结垢的主要原因是冷却水中存在  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ,冷却水软化用钠离子交换除去冷却水中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ,使硬水变成软水,防止链蓖机空心托辊轴及水冷梁结垢。当使用循环水冷却时,水进入空心托辊轴及水冷梁前,须进行水软化处理,笔者设计应用钠离子交换及再生处理技术。

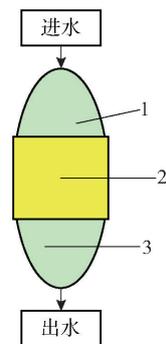
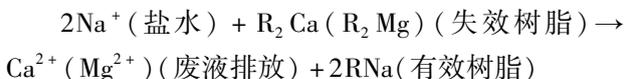
应用原来固定床动态钠离子软化水处理交换的关键技术,运行中的离子交换剂层固定在一个交换器中,再生时也在交换器内进行。固定床运行时,当水流从上至下通过交换剂层时,冷却水中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  与交换剂中的  $\text{Na}^+$  进行交换反应,其冷却水软化反应过程如下:



当冷却水接触上层交换剂失效后,继续进入冷却水与下层交换剂进行离子交换,因此交换工作层不断下移,整个交换剂层分为三个区域,如图1所示。上部已经失效的交换剂层,交换剂层已呈  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  型,失去了继续软化的能力,冷却水通过这一层时不再发生变化,这一层称为失效层(也叫饱和层)、中间层为工作层(也叫交换层),冷却水通过这一层时,水中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  与交换剂中的  $\text{Na}^+$  进行交换反应,因此在这层交换剂中有  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  与  $\text{Na}^+$ ,最下部的交换剂尚未交换反应,基本是  $\text{Na}^+$ ,随着离子交换器运行,失效层区域不断增加,工作层不断下移,未交换区域随之减少。当工作层下移至接近交换层底部时,出水中将因  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  穿透而出现硬度,因此为了保证出水品质合格,工作层下移至接近交换层底部之前,应再生交换层。

### 2.2 固定床钠离子交换再生过程研究

当固定床  $\text{Na}^+$  钠离子交换剂失效后,为了恢复其软化能力,必须用  $\text{Na}^+$  钠离子再生剂进行再生,常用的再生剂为食盐( $\text{NaCl}$ )溶液。其  $\text{Na}^+$  钠离子再生反应过程如下:



1. 失效层 2. 工作层 3. 尚未交换层

图1 软化水处理过程

再生是冷却水软化离子交换器一个重要的环节,在生产中须重视。

### 2.3 设计原则

(1)充分利用冷却链蓖机空心托辊轴前新水温度为  $8 \sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冷却后回水(冬季实测)  $57 \sim 67\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,利用冷却轴后的回水余热来加热取暖。(2)冬天办公区、班组休息区等场所设计室内平均温度  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、生产厂房  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.4 水加热需要热量计算

(1)每小时回水回收热量应根据水进、出温度等按式(1)确定:

$$Q = C \times M \times (T_2 - T_1) \times R \quad (1)^{[1]}$$

式中  $Q$ —加热  $1\text{ kg}$  水需要热量,  $\text{kcal/h}$  或  $\text{kW}\cdot\text{h}$ ;  
 $C$ —比热容,  $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ , 水的比热容为  $4.2 \times 1000\text{ J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;  
 $M$ —加热水重量,  $\text{kg}$ ;  
 $T_1$ —水加热前的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $T_2$ —水加热后温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $R$ —换热效率, 常数或系数。

(2)每小时节省标煤量应根据标煤发热值及燃烧效率等按式(2)确定:

$$M_h = Q_h / Q_f / (100 - R_{\mu}) \% \quad (2)^{[1]}$$

式中  $M_h$ —每小时省煤量,  $\text{kg/h}$ ;  
 $Q_h$ —每小时回收热量,  $\text{kW}\cdot\text{h}$ ;  
 $Q_f$ —煤燃烧发热值(计算),  $\text{kcal/kg}$ ;  
 $R_{\mu}$ —锅炉煤不完全燃烧效率, %。

### 2.5 设计基本参数

(1)冷却链蓖机空心托辊轴用水量  $M = 80 \sim 120\text{ m}^3/\text{h}$ ,新水冷却前温度为  $8 \sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冷却轴后出水温度  $57 \sim 67\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,新水冷却了链蓖机空心托辊轴,水温上升了  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右;

(2)把  $100 \text{ m}^3$  循环水从  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  加热到  $62 \text{ }^\circ\text{C}$ , 需要热量  $5\,200\,000 \text{ kcal}$  (备注: 计算方法  $1 \times 100 \times 1\,000 \times (62 - 10)$  大卡 =  $5\,200\,000 \text{ kcal}$ ), 因此冷却轴后余热利用节省能量为  $742.9 \text{ kg}$  标煤/h (备注: 计算方法  $1 \times 100 \times 1\,000 \times (62 - 10) \div 7\,000 = 742.9 \text{ kg}$  标煤/h), 每小时节省煤量  $0.7429 \text{ t/h}$ ; 每年可节省煤  $6\,038.9 \text{ t}$  (备注: 计算方法  $0.7429 \text{ t/h} \times 365 \text{ d} \times 24 \text{ h/d} \times 92.8\%$  (链篦机平均作业率  $92.8\%$ ) =  $6\,038.9 \text{ t}$ ;  $1 \text{ kg}$  标煤发热 =  $7\,000$  大卡热量 =  $7\,000 \text{ kcal}$ ,  $1 \text{ cal} = 4.18$  焦耳)。

(3)冬季室外温度  $-5 \sim -13 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

(4)蒸汽压力  $0.4 \text{ MPa}$ , 蒸汽温度  $142 \text{ }^\circ\text{C}$ , 取暖后回水温度为  $8 \sim 12 \text{ }^\circ\text{C}$  (平均为  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ );

(5)工房、办公区设计取暖温度为  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ , 厂房为  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

## 2.6 锅炉房原设备现状

(1)锅炉房原安装 SHX35-1.6-M10 卧式快装蒸汽锅炉 1 台、DZL4T/H 卧式快装蒸汽锅炉 1 台, 因无环保配套设备, 造成燃煤锅炉严重污染环境, 已停止运行。

(2)锅炉房原安装  $35 \text{ t/h}$ ,  $\text{Na}^+$  钠离子软水交换器 1 台,  $20 \text{ t/h}$   $\text{Na}^+$  钠离子软水交换器 1 台, 现已改造应用软化冷却链篦机空心托辊轴及水冷梁的循环水。

## 2.7 链篦机冷却后高温回水余热应用内容

(1)新水由锅炉房经过  $\text{Na}^+$  钠离子软水交换系统软化后, 提供给冷却链篦机空心托辊轴及水冷梁合格的软化水, 经离心水泵送至链篦机冷却储水池。

(2)冬天岗位取暖, 在链篦机尾部设置水箱, 收集冷却链篦机后两侧回水, 温度为  $57 \sim 67 \text{ }^\circ\text{C}$ , 经  $\Phi 219 \times 6$  管自流到锅炉房回水池, 先经  $\text{Na}^+$  钠离子软水交换系统软化后, 再经循环泵送至电锅炉和热交换器加热, 当循环水加热到温度  $85 \sim 95 \text{ }^\circ\text{C}$  后再送至各岗位取暖。热水经取暖变凉后, 温度为  $8 \sim 12 \text{ }^\circ\text{C}$ , 再回收用来冷却链篦机空心托辊轴及水冷梁, 如此循环往复。

## 2.8 工业锅炉房新增设备

(1)电(加热)锅炉 1 台, 型号 LEHMAN300-0.7/0.7-2.55, 加热水流量  $Q$  为  $83.76 \text{ t/h}$ , 换热量  $Q$  为  $2.76 \text{ MW}$ , 加热冷却链篦机的循环水; (2)循环泵 2 台(一用一备), 型号 KOL125/185-30/2, 泵水流量  $Q$  为  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ , 扬程  $H$  为  $44 \text{ m}$ , 驱动功率  $N$  为

$30 \text{ kW}$ ; (3)软化水泵 1 台, 型号 IS100-65-200, 流量  $Q$  为  $89 \text{ m}^3/\text{h}$ , 扬程  $H$  为  $39 \text{ m}$ , 驱动功率  $N$  为  $18.5 \text{ kW}$ ; (4)电交换器 1 台, 压力补偿器 1 台,  $\text{Na}^+$  钠离子软水交换系统 1 套。

## 3 改进后效益

### 3.1 企业效益

应用冷却链篦机空心托辊轴后高温回水来进行预热给员工取暖, 改进后供热面积增加  $3\,000 \text{ m}^2$ , 即发展循环经济, 又节能降耗。球团厂各作业区、办公区、车间厂房, 由原燃煤锅炉蒸汽取暖改为冷却链篦机后高温回水余热再用电锅炉加热取暖, 改进后系统投入使用以来, 运行正常, 降本增效明显。

### 3.2 节煤量计算

(1)冷却链篦机空心托辊耗轴水量  $Q$  为  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , 冷却轴后循环水温度为  $57 \sim 67 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

(2)把流量  $Q$  为  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  新水温度从  $8 \sim 12 \text{ }^\circ\text{C}$  加热到取暖  $85 \sim 95 \text{ }^\circ\text{C}$ , 计算耗煤量:

把  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  新水由  $8 \sim 12 \text{ }^\circ\text{C}$  (平均为  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 加热至  $85 \sim 95 \text{ }^\circ\text{C}$  (平均为  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 需要标煤  $L_1 = 100 \times 1\,000 \times (90 - 10) \div 7\,000 = 1\,143 \text{ kg/h} = 1.143 \text{ t/h}$  (备注:  $1 \text{ kg}$  标煤发热量为  $7\,000 \text{ kcal}$ ,  $1 \text{ cal} = 4.18$  焦耳);

(3)把流量  $Q$  为  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  回水温度从  $57 \sim 67 \text{ }^\circ\text{C}$  加热到取暖  $85 \sim 95 \text{ }^\circ\text{C}$ , 计算耗煤量:

把  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  回水温度从  $57 \sim 67 \text{ }^\circ\text{C}$  (平均为  $62 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 加热至取暖  $85 \sim 95 \text{ }^\circ\text{C}$  (平均为  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 需要标煤  $L_2 = 100 \times 1\,000 \times (90 - 62) \div 7\,000 = 400 \text{ kg/h} = 0.400 \text{ t/h}$ 。

(4)回水代替新水取暖每小时节煤量:

用冷却链篦机回水温度从  $57 \sim 67 \text{ }^\circ\text{C}$  (平均为  $62 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 代替新水  $8 \sim 12 \text{ }^\circ\text{C}$  (平均为  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 加热到取暖温度  $85 \sim 95 \text{ }^\circ\text{C}$  (平均为  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 每小时节煤量:  $J = L_1 - L_2 = 1.143 - 0.400 = 0.743 \text{ t/h}$ ;

(5)每年取暖期节煤量:  $0.743 \text{ t/h} \times 24 \text{ h/d} \times 180 \text{ d}$  (每年采暖期  $180 \text{ d/a}$ ) =  $3\,209.8 \text{ t}$ 。

### 3.3 效益计算

(1)工程总投资:  $100$  万元; (2)一个取暖期耗资:  $900 \text{ 元} / \text{t} \times 3\,209.8 \text{ t} \div 10\,000 = 288.9$  万元, 标煤平均价格为  $900 \text{ 元/t}$ ; (3)投资回收期:  $100 \text{ 万元} \div 288.9 \text{ 万元} = 0.346$ 。

## 4 结语

本文叙述了冷却链篦机空心托辊轴后高温回水余热循环利用与研究,解决了原来燃煤锅炉蒸汽取暖,造成能耗高、劳动强度大、环保不达标、空心托辊轴结垢严重等问题,实现了冷却链篦机回水的压力、流量、温度等各项经济技术指标达标,充分应用了冷却链篦机后高温回水的余热,每年降低取暖成本 288.9 万元,节煤 3 209.8 t/a,并且消除了空心轴和

水冷梁结垢严重、冷却效果差等安全隐患,为企业实现了降本增效、绿色生产目标。

### [参考文献]

- [1] 何铁牛. 烧结球团环冷机高温废气余热回收应用与研究[J]. 有色设备,2019(3):91-95.
- [2] 程立. 锅炉设备设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
- [3] 张雅杰,冉春雨,王春青,等. 燃气锅炉烟气余热应用[J]. 吉林建筑工程学院学报,2003(1):53-55.

# Waste Heat Recycling of High-temperature Return Water from Sintered Pellet Chain Grate Cooling and Its Research

HENG Xu-wen, HE Tie-niu

**Abstract:** This paper introduces the design principles of the thermal energy utilization project, which sends the hot water resources produced by the chain grate-rotary kiln pellet production line in a pellet plant to the boiler room, and then sends the high-temperature hot water heated by the heat exchanger to the various heat users, in addition to the basic parameters, added equipment as well as balance and management measures for a stable heating system. The waste heat of the high-temperature return water resulting from the cooling of the hollow upper idler shaft of the chain grate can thus be recycled, thereby reducing the production costs.

**Key words:** chain grate; waste heat recycling; heating; energy efficiency & emission reduction; environmental protection ▲

(上接第 17 页)

- [8] 万叔超. 高压辊磨机在某选厂破碎流程改造中的应用[J]. 现代矿业,2018(6):196-197.
- [9] 谭文才,刘俊,姬建钢,等. 高压辊磨机作为顽石破碎机

的研究[J]. 矿山机械,2019(6):37-40.

- [10] 张光烈. 高效节能碎磨设备的技术特点及应用[C]//2011 年中国选矿学术高峰论坛论文集,2011:14-18.

# Research on the Combined Process of High-efficiency Comminution Equipment

SUN Ming-jun

**Abstract:** HPGR and Vertimill have widely used as new high-efficiency comminution equipment in the mining industry. This paper described the technical characteristics, comminution flow chart of process and application of the high-efficiency comminution equipment. The technical advantages of the integrated system of HPGR and Vertimill are analyzed, and the application of the integrated system of HPGR and Vertimill in the concentrator design is analyzed, which provides a reference for the research and application of the high-efficiency comminution of ore in the future.

**Key words:** high-efficiency comminution; HPGR; vertimill; combined process; concentrator design ▲