

节能减排

# 济钢400 m<sup>2</sup>烧结机冷却系统余热发电

黄伟,刘冬梅

(济钢集团国际工程技术有限公司,山东 济南 250101)

**摘要:**介绍了济钢400 m<sup>2</sup>烧结机冷却系统余热发电的工艺流程和设备选型,其主要设备包括水密封鼓风机环冷机,余热锅炉,循环风机和汽轮发电机组等。系统投产后,日发电量达264 000 kW·h,年可节约标煤10万t,同时减少了温室气体和酸性气体排放,减少了环境污染。

**关键词:**烧结机;冷却系统;余热发电;环冷机;余热锅炉

中图分类号:X757

文献标识码:B

文章编号:1004-4620(2011)03-0046-03

## 1 前言

在钢铁生产过程中,烧结工序的能耗约占总能耗的10%,仅次于炼铁工序。在烧结工序总能耗中,有近50%的热能以烧结机烟气和冷却机废气的显热形式排入大气<sup>[1]</sup>。由于冷却机废气的温度不高,且波动范围较大,加剧了余热回收高效利用的难度。烧结冷却废气余热回收项目往往给人以“投资高,利用效率低,投资回收周期长”的印象,长期以来被人们忽略。

烧结机冷却系统余热资源有直接利用和间接利用两种方式,直接利用是将收集的废气用作预热混合料、烧结热风点火、热风烧结、原料解冻等<sup>[2]</sup>。间接利用是用风机将收集的高温废气引至余热锅炉,将废气热能转换为蒸汽热能,充分热交换后的废气温度降至160℃以下后排出余热锅炉。排出余热锅炉后的废气按流向分为开路和闭路流程<sup>[3]</sup>。余热锅炉产生的蒸汽主要利用方式:1)加热混合料;2)发电;3)蒸汽并网;4)向特定用户供汽。

目前,国内大多数烧结机冷却系统余热资源均是简单的直接利用或生产少量的饱和蒸汽,余热资源未得到充分利用,造成资源浪费及对环境的热污染。2009年12月29日工信部推出了《钢铁企业烧结余热发电技术推广实施方案》,该方案计划用3a时间(2010~2012年),投资超过50亿元,在全国37家重点钢铁企业,对82台烧结机推广实施烧结余热发电技术,以降低这个高耗能行业的能耗水平。这意味着全国钢铁行业约20%将推广这一技术,形成157.5万t标煤的节能能力。但我国目前烧结余热发电技术整体推广比例不及4%。由此可见,烧结工序二次能源高效循环利用具有相当大的潜力。

收稿日期:2011-05-10

作者简介:黄伟,男,1982年生,2006年毕业于东北大学冶金工程专业。现为济钢集团国际工程技术有限公司助理工程师,从事钢铁企业余热综合利用工作。

冷却机余热资源的发电应用是通过余热锅炉回收冷却机的低品质余热,产生过热蒸汽,来推动低参数的汽轮发电机组做功发电的最新成套技术。其与火力发电相比,不需要消耗一次能源,不产生额外的废气、废渣、粉尘和其他有害气体,具有充分利用低温废气、变废为宝、节能环保的多重意义。

## 2 余热发电系统设计

济钢400 m<sup>2</sup>烧结机冷却系统余热发电是利用余热锅炉回收烧结矿冷却时产生的烟气生产蒸汽,配套建设余热发电系统,1台烧结环冷机配套建设1台余热锅炉和1台汽轮发电机组。余热锅炉产生中压和低压两种蒸汽后输送至汽轮机,中压蒸汽作为汽轮机主进汽,低压蒸汽作为补汽用来发电。

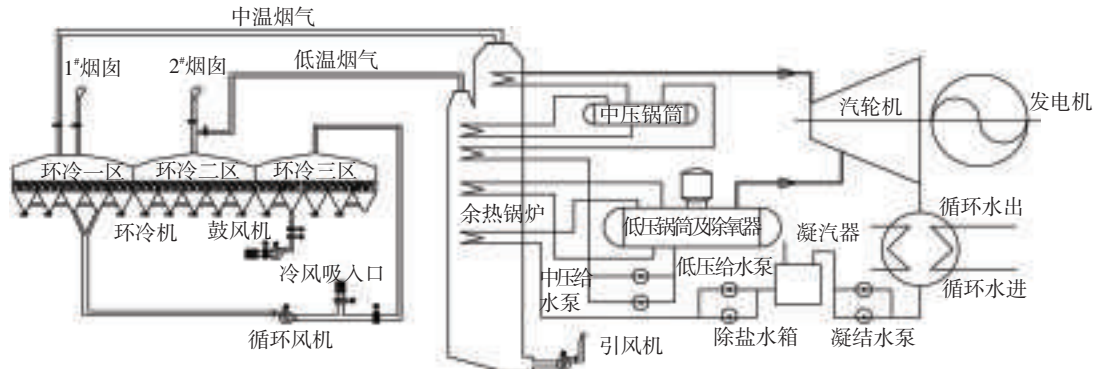
### 2.1 工艺流程

济钢400 m<sup>2</sup>烧结机冷却系统余热发电工艺流程如图1所示。

#### 2.1.1 烟气流程

环冷机一区、二区的中低温烟气通过烟气管道分别进入余热锅炉的中、低温烟气入口,在锅炉内换热回收热量后,余热锅炉排出的约160℃烟气经引风机排入大气。环冷机三区的低温烟气由于温度较低,不具备余热发电条件,但本着能源梯级利用的原则,将该区的低温烟气再循环利用。

烟气再循环装置具体流程:将环冷机三区的低温烟气收集后,通过循环风机鼓入环冷机一区下部代替常温空气冷却烧结矿。循环风机设置冷风吸入口,当余热锅炉正常工作时,环冷机三区收集的烟气经循环风机增压后,鼓入环冷机下部冷却烧结矿。当余热锅炉停机检修时,打开冷风吸入口的阀门,循环风机鼓入常温空气冷却烧结矿。烟气再循环可显著提升环冷机一区、二区中低温烟气的品质,提高余热锅炉的能量回收效率,增加发电量,减少含尘烟气直接排空,提高烧结矿料品质。烟气收

图1 济钢400 m<sup>2</sup>烧结机冷却系统余热发电工艺流程

集参数见表1。

表1 环冷机烟气收集参数

烟气	烟气标况流量/(万 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	烟气温度/℃
中温烟气	33.417	420 ~ 470
低温烟气	27.164	320 ~ 380

### 2.1.2 汽水流程

余热利用汽水流程:余热锅炉的给水(凝结水)经各自的给水操作台进入省煤器加热后,接近饱和温度的水进入锅筒(分离器),锅筒内的水经下降管进入蒸发器,在蒸发器内受热后成为汽水混合物又回到锅筒,在锅筒内进行汽水分离;分离下来的水回到锅筒的水空间,饱和蒸汽则通过饱和蒸汽引出管被送到过热器,饱和蒸汽在过热器内被加热成过热蒸汽,然后经减温器调温,达到规定的蒸汽温度后,经主汽管送入汽轮机。汽轮机冷凝水通过凝结水泵送入除盐水箱,再通过低压给水泵送入锅炉省煤器进入下一轮汽水循环。经过理论分析和计算,结合以往类似工程经验,确定济钢400 m<sup>2</sup>烧结机冷却系统余热发电技术参数如下。

中压额定蒸汽参数:压力~2 MPa,温度~450℃,汽量54 t/h;低压额定蒸汽参数:压力~0.5 MPa,温度~250℃,汽量14 t/h;排烟温度~160℃;汽轮机额定功率14 MW。

## 2.2 设备选型

### 2.2.1 选型原则

设备选型遵循以下原则:1)采用成熟稳定、实用可靠的中低温烟气余热回收发电技术及国产设备,技术装备水平达到国际先进水平;2)选用国产成熟设备,降低生产成本和基建投入;3)系统简洁可靠、方便检修维护,充分利用厂区现有设施,合理布置热力发电机组设备、系统。

### 2.2.2 主要设备

1)水密封鼓风环冷机。烧结机冷却系统余热发电的核心技术在于余热的充分回收。由于烧结烟气不稳定,温度和流量的波动均较大,同时冷却机密封难度高,极易造成热量损失,不能保证发电

量,导致运行结果难以达到设计目标,这也是烧结余热发电技术推广率不高的根本原因。济钢400 m<sup>2</sup>烧结机冷却系统余热发电采用了水密封鼓风环式冷却机,该冷却机总漏风率<5%。通过加强对冷却机和回收装置的密封,保证收集到足温足量的烟气,提高余热锅炉的产汽量,进而提高发电量。

2)余热锅炉。余热锅炉采用适用于中低温烟气余热回收和利用的双压、立式、无补燃自然循环锅炉。这种锅炉采用双通道烟气进气系统,高温烟气经部分高压受热面换热,低温烟气经部分低压受热面换热,高温烟气烟温降至与低温烟气相当后,两股烟气混合再与其余的受热面换热,充分利用不同品质的烟气,实现烟气热能的梯级利用。

锅炉带有自除氧装置,无需额外的除氧装置及其所需的加热蒸汽设备。特别是在余热锅炉冷态启动阶段,现场无法提供除氧加热蒸汽的情况下,可有效保障余热锅炉的正常运行。

3)循环风机。选用的风机具有双重作用,当余热锅炉停运时,循环风机冷风吸入阀开启,循环风机作为冷却鼓风机使用;当余热锅炉运行时,该风机将环冷机三区低温烟气抽引后冷却烧结矿。选择循环风机时,压头既要满足作为余热锅炉引风机的需要,将环冷机高、低温烟气有效引入余热锅炉,又要满足却环冷机烧结矿需要。所选的风机压头应适中,过大易将大量细碎粉尘引入锅炉烟道,加速烟管磨损,降低余热锅炉寿命;同时增加环冷机漏入冷风量,风机能耗增大,不利于烟气的回收利用;风机压头过小,易造成冷却风不能穿过热矿层,影响烧结矿的冷却效果,还可造成烟气不能有效进入余热锅炉进行热交换,蒸汽量及品质大幅降低,进而失去余热利用的意义。

4)汽轮发电机组。本系统采用补汽凝汽式双压汽轮发电机组,有利于提高发电效率。余热锅炉产生的中压蒸汽进入汽轮机中压段做功,低压蒸汽从低压段入口进入汽轮机做功。双压汽轮机虽然增加了汽轮机末级叶片的高度和制作强度要求,增加了

汽轮机约15%的造价,但产生的经济效益更高。通过测算,双压汽轮机组比单压汽轮机组发电量约增加15%~20%,在3 a内即可收回全部投资。

### 3 效益分析

济钢400 m<sup>2</sup>烧结机冷却系统余热发电系统总投资9 000余万元,投资回收期约3 a(不含建设期)。该系统自2010年8月18日投产以来,日发电量达264 000 kW·h,年可外供电量0.82亿kW·h,年可节约标煤10万t,意味着年减少CO<sub>2</sub>排放约4万t,减少

SO<sub>2</sub>排放约300 t,减少粉尘排放约400 t。在获得良好经济效益的同时也减少了温室气体和酸性气体的排放,减少了环境污染,具有良好的社会效益。

#### 参考文献:

- [1] 王兆鹏,胡晓民.烧结余热回收发电现状及发展趋势[J].烧结球团,2008,33(1):35-39.
- [2] 凌子愚,孙韬琪,窦宝芬,等.大型烧结设备余热整体利用方案[J].冶金能源,2007(4):50-52.
- [3] 卢红军,戚云峰.烧结余热的基本特点及对烧结余热发电的影响[J].烧结球团,2008,33(1):39-42.

## Waste Heat from Jinan Steel's 400 m<sup>2</sup> Sinter Cooling System Power Generation

HUANG Wei, LIU Dong-mei

(Jigang International Engineering and Technology Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** This article introduces the technological process and the model selection of equipment in the waste heat from Jinan Steel's 400 m<sup>2</sup> sintering machine cooling system power generation. The main equipment includes water sealing ring blast annular cooler, waste heat boiler, circulating fan and turbo-unit. After putting into production, power generation capacity of per day reached 264 000 kW·h, saving standard coal 100 thousand tons per year, reducing greenhouse gases and acid gas emissions and the environmental pollution.

**Key words:** sintering machine; cooling system; waste heat power generation; annular cooler; waste heat boiler

信息园地

### 几种主要参考文献的著录格式

#### 1 专著(普通图书、学位论文、技术报告、会议文集、汇编、多卷书、丛书):

[序号] 主要责任者.题名:其他题名信息[文献类型标志(电子文献必备,其他文献任选)].其他责任者(任选).版本项(第1版不标注).出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期(联机文献必备,其他电子文献任选)].获取和访问路径(联机文献必备).

#### 2 专著中的析出文献(从整本专著中析出的具有独立篇名的文献,包括论文汇编、会议文集等):

[序号] 析出文献主要责任者.析出文献题名[文献类型标志].析出其他责任者//专著主要责任者.专著题名.出版地:出版者,出版年:析出文献的页码[引用日期].获取和访问路径.

#### 3 连续出版物(有卷期号或年月顺序号,计划无限连续出版发行的出版物,如期刊、报纸等):

[序号] 析出文献主要责任者.析出文献题名[文献类型标志].刊名:其他刊名信息,年,卷(期):页码[引用日期].获取和访问路径.

[序号] 析出文献主要责任者.析出文献题名[文献类型标志].报纸名:其他题名信息,年-月-日(版次)[引用日期].获取和访问路径.

#### 4 专利文献:

[序号] 专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[文献类型标志].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径.

#### 5 电子文献(电子书刊、数据库、电子公告等):

[序号] 主要责任者.题名:其他题名信息[文献类型标

志/文献载体标志].出版地:出版者,出版年(更新或修改日期)[引用日期].获取和访问路径.

文献类型标志:普通图书 M,会议录 C,汇编 G,报纸 N,期刊 J,学位论文 D,报告 R,标准 S,专利 P,数据库 DB,计算机程序 CP,电子公告 EB。会议录包括座谈会、研讨会、学术年会等会议的文集;汇编包括多著者或个人著者的论文集,也可标注为 M。电子文献载体类型标志如下:磁带 MT,磁盘 DK,光盘 CD,联机网络 OL。

**注意责任者的著录方法:**3人以下的作者应全部著录,3人以上可只著录前3人,后加“等”;外文用“et al”。

#### 示例如下:

- [1] 徐新.阿尔泰运动及相关的地质问题[M]//陈毓川,王京彬.中国新疆阿尔泰山地质与矿产论文集.北京:地质出版社,2003:1-11.
- [2] 王金南,於方,将红强,等.建立中国绿色GDP核算体系:机遇、挑战与对策[C]//潘岳,李德水.建立中国绿色国民经济核算体系国际研讨会论文集.北京:中国环境科学出版社,2005:66-69.
- [3] 康永林,温德智,吴光亮,等.薄板坯连铸连轧生产冷轧基板的工艺与组织性能分析[J].山东冶金,2006,28(2):6-10.
- [4] 陈准金.多机电力系统分散最优化励磁控制器的研究[D].北京:清华大学机电工程系,1988.
- [5] 吴政睿.都柏林核心集在图书馆应扮演的角色[EB/OL]. [2002-02-25].http://www.libnet.sh.cn/dcchina/wj3.htm.

[摘自《文后参考文献著录规则》(GB/T 7714-2005)。]