

基于气体成分对干熄焦 系统中碳的烧损测算的经济效益分析

毛祥远（贵州盘江电投天能焦化有限公司，贵州 盘州 553531）

摘要：对于干熄焦系统来说，有效控制焦碳烧损，是实现系统经济运行的重中之重。基于干熄焦系统具有调节滞后、关联性强等特性，开发设计可以对焦炭烧损率进行有效反应的可视化与实时化系统。本研究通过分析基于气体成分测算熄焦系统中的碳烧损，结果表明：创建特定数学模型，对干熄焦烧损率的相关参数进行实时计算，以有利于对干熄焦系统中的碳烧损进行实时控制。从经济学角度分析，基于气体分析对干熄焦系统中碳的烧损测算经济效益较高。所创建的数学模型由一定误差，能够借助焦炭烧损积累量和单孔焦产量、外送焦炭电子秤量，通过红焦热平衡计算，将碳烧损率的修正系数推算出来，进而做好修正完善工作；通过气体成分对干熄焦碳烧损的数学模型、可视化窗口以及动态过程曲线进行实时测算，目前已经在很多企业中得到在线优化指导与有效控制，一方面在其他同类控制系统中取得了良好应用效果，另一方面对干熄焦碳烧损率的优化控制也具有很大促进作用。

关键词：气体成分；干熄焦系统；碳烧损；测算；经济效益

现阶段投入使用的干熄焦装置，一般会采用空气中持续输入循环气体的方式，从而节约可燃气体，降低循环气体补充率。因为装炉时，气体进入干熄炉后和焦炭产生不完全反应，形成 CO，此时会增高循环气体内的 CO 浓度，若循环气体向皮带通廊逸散，会造成皮带通廊一氧化碳含量偏高，很容易发生爆炸或者煤气中毒事故，同时还会提升干熄焦系统内碳烧损率。对于干熄焦系统来说，有效控制焦炭烧损，是实现系统经济运行的重中之重。基于干熄焦系统具有调节滞后、关联性强等特性，开发设计可以对焦炭烧损率进行有效反映的可视化与实时化系统，对焦化厂的有效运行极具重要意义。

1 循环气体运行工艺流程

给水预热器内会产生惰性气体，且温度达到 115℃ -130℃，再利用循环风机将惰性气体输送到干熄炉的地步，通过鼓风装置，确保循环气体能够不断上升，此时的气体会逸散到红焦层，气体逆向流动时，会完成热交换功能，带惰性气体温度为 900℃ -960℃ 的情况下，则会变成高温烟气，该烟气流经炉内环形通道，开始一次除尘，将粗颗粒焦粉分离出后，开始进入余热锅炉开展热交换，当循环气体温度下降到 160℃ -180℃ 时，开始二次除尘，对细颗粒焦粉进行再次分离，利用循环机将气体输送至给水预热器，同时将其温度冷却至 115℃ -130℃，再输送至循环风机

展开下一轮循环操作。余热锅炉内所留存高温高压蒸汽功能在于将发电热能供给汽轮发电机组。

2 循环气体成分和烧损率的相关性

通常来说，干熄焦系统输入部分主要是导入空气与红焦，而输出部分则主要是外排烟气、排焦以及除尘焦粉等，其中导入空气主要成分包括二氧化氮与氧气，红焦成分主要为少量残余一氧化碳、过氧化氢以及大量的碳，除尘焦粉与排焦成分主要为碳，而外排烟气主要成分为少量氧气、一氧化碳、一氧化二氢和大量的 N₂、CO₂。可将干熄焦系统理解为，在原子流动过程中，红焦装进干熄炉的 C 原子量与排出焦炭、排除烟气与除尘焦粉中所含 C 原子量相同，所以，焦炭烧损数量等于外派烟气将 C 原子带走的数量。

可将循环气体成分变化划分为干熄炉本体、环形气道两部分。环形烟道部分导入空气内部的氧气和循环气体内部的 H₂、焦粉以及一氧化碳等可燃成分展开氧化反应，从而生成 H₂O 与 CO₂，进而将热量释放出来。在干熄炉本体中，红焦 C 和二氧化氮之间发生反应，从而生成一氧化碳，产生焦粉。为确保系统内能够实现气体平稳流动，空气导入过程中，需要外排部分烟气，从而确保特定循环气体量。

3 气体成分控制干熄焦系统碳烧损装置分析

3.1 气体成分控制干熄焦系统碳烧损装置及其优点

气体成分控制干熄焦系统碳烧损装置中的干熄焦

路出气口连接一次除尘器的进气口管路,除尘器的出气口与锅炉进气口管路相接通,锅炉出气口和二次除尘进气管路相接通,二次除尘器出气管路接通的是循环风机进气口,热管换热器进气口和循环风机排气口相连接的管路中,借助三通和气体分析仪器探头管路相连。

基于气体成分控制的干熄焦系统碳烧损装置提供可以自动化控制干熄焦烧损率的一种结构,从而满足干熄焦高效、快节奏以及连续的生产需求,将更为有效、科学的控制结构提供给操作人员,实现干熄焦运行的优化,以实现烧损率的下降。因此,可以有效解决干熄焦生产操作中存在的干熄焦运行成本高、优化滞后等问题。图1为气体成分控制干熄焦系统碳烧损装置结构图。

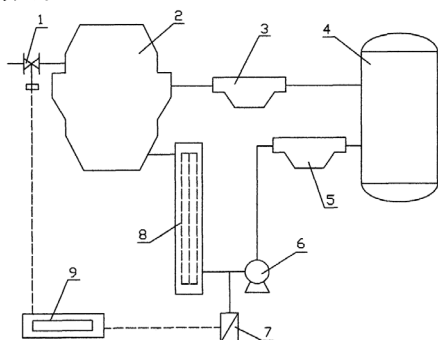


图1 气体成分控制干熄焦系统碳烧损装置结构

3.2 气体成分控制干熄焦系统碳烧损装置的实施方式

在干熄焦系统中,为确保气体流动的稳定性,需要在空气导入过程中,将部分烟气排放出去,使循环气体能够保持一种动态平衡状态。焦碳烧损其实就是向空气内导入的氧元素将参与反应碳元素带走的综合过程。从图1可以看出,基于气体成分对干熄焦系统烧损进行控制的装置为干熄焦炉2的空气导入口,通过气源管和空气导入阀相连接,干熄焦炉2连接的是一次除尘器3,一次除尘器3出气口接通的是锅炉4的进气管路,而二次除尘器5的进气管路和锅炉4的出气口相连接,干熄焦炉2的进气管路则和热管换热器8的出气口相连接,其主要特征为:循环风机6接通热管换热器8进气口的管路中,借助三通和气体分析仪器7的探头管路相连,电磁调节阀1是空气导入阀。

干熄焦自动化EI主界面有效编写反馈调节程序,通过气体分析仪7的数据得出该气体成分控制干熄焦系统碳烧损装置的技术方案为:基于气体成分、调节导入空气量,创建计算干熄焦烧损率的数学模型,同

时以EI自动控制系统编程为基础,实时控制干熄焦烧损率,借助PLC中央处理器9对空气导入量进行有效调节,以有效控制干熄焦烧损率。本研究中的干熄焦选择氮气输入法与燃烧法相结合的方式,对循环气体可燃成分进行有效控制,通过导入空气量实时控制的方式,实现焦炭烧损率的有效降低,此时干熄焦系统具有良好的应用可行性。依照干熄焦设置实时采集相关数据,输入中控计算机程序,并向干熄炉内部的栓电磁调节阀发出实时反馈,利用PLC中央处理器自动化调节,以创建空气导入阀与循环气体间的智能模型,从而达到控制干熄焦碳烧损率的目的。

4 创建烧损率实施测算模型

从根本上说,焦碳烧损过程,其实就是在空气中导入的氧元素将反映碳元素带走的综合过程,可将焦碳烧损率理解成固态碳向气态碳转化的速率。因为系统氧元素含量固定,必须以氧的物料平衡为基础,建立气体成分测算干熄焦烧损率数学模型,由此提出假设:向干熄焦系统内导入的氧气等于从系统内导出的氧气,可将数学表达式列为:

$$Q_{\text{空气}} \times 21\% = Q_{\text{排烟}} (O_2 + 0.5CO + CO_2)$$

由于焦碳内所含氢元素非常少,所以忽略不计,此时可简化公式为:

$$Q_{\text{空气}} \times 21\% = Q_{\text{排烟}} (O_2 + 0.5CO + CO_2)$$

那么就有:

$$Q_{\text{排烟}} = Q_{\text{空气}} \times 21\% / (O_2 + 0.5CO + CO_2) \text{ (m}^3/\text{h)}$$

又由于被氧气带走的碳就是系统内烧损的焦碳,所以:

$$\&_{\text{烧损}} = Q_{\text{排烟}} \times (CO + CO_2) \times 12/22.4 \text{ (kg/h)}$$

干熄炉系统质能平衡测试出的数据,通过计算求得烧损率修正系数,即K,具体代入推导过程用公式表示为:

$$\&_{\text{烧损}} = K \times 12/22.4 \times Q_{\text{空气}} \times 21\% \times (CO + CO_2) / 1000 \times (O_2 + 0.5CO + CO_2) \text{ (t/h)}$$

以上公式中, $Q_{\text{空气}}$ 为空气导入流量(m^3/h), $Q_{\text{排烟}}$ 为排烟流量(m^3/h), H_2O 、 CO 、 CO_2 及 O_2 为循环气体浓度,空气内的含氧量是21%, $\&_{\text{烧损}}$ 表示实时焦碳烧损率,单位为t/h,碳摩尔克数是12,K表示干熄焦烧损率的修正系数,气体的摩尔体积是22.4。

干熄焦碳烧损率的数学模型内,输入变量主要是自动在线气体分析仪所采集的数据与空气倒入流量,借助特定干熄焦碳烧损率的数学模型与干熄焦EI自动控制系统平台相结合,借助计算机较强的计算能力,

对相应程序进行编写,以实时控制干熄焦烧损情况,利用编写程序, EI 主界面 PLC 处理器操作调节空气导入量,将最理想的烧损率计算出来,从而满足干熄焦高效、快节奏以及连续性生产需求,从而为操作人员实现提升蒸汽产量、优化干熄焦运行以及降低烧损率的目标提供操作结构。

5 烧损率实施测算可视化分析

施耐德 Quantum PLC、Unity Pro V3.1 XL 编程软件与 ifix4.0 上位机共同组成 EI 自动化控制系统,利用干熄炉预存室的气体成分分析仪所采集的数据与空气导入流量共同控制干熄焦烧损情况,基于干熄焦烧损率数学模型,并与 Unity Pro V3.1 XL 编程软件相结合,对相应程序进行编写,从而实时过程测算干熄焦碳烧损率,并且通过 ifix4.0 上位机中的操作系统,创建烧损率实时数据库,借助 EI 主界面对可视化窗口进行创建,并制作出干熄焦烧损动态曲线,为烧损率的降低与干熄焦运行的优化提供对比依据与有力反馈。

6 经济效益分析

基于气体分析对干熄焦系统中碳的烧损测算,有效降低了干熄焦烧损率,在充氮量为 $1500\text{m}^3/\text{h}$ 的情况下,干熄焦空气导入量会从最初的 $20000\text{m}^3/\text{h}$ 下降到 $16000\text{m}^3/\text{h}$,此时系统气体主要为:1% 的 H_2 、0.2% 的 O_2 、13% 的 CO_2 以及 5% 的 CO ,该系统所导入的空气量在 $20000\text{m}^3/\text{h}$,放散量与导入量大致相同,都在 $20000\text{m}^3/\text{h}$,将所导入氧气和焦炭反应转化为 CO_2 ,那么就得出以下分子式: $2\text{CO}=\text{C}+\text{CO}_2$, $2\text{CO}_2=\text{O}_2+2\text{CO}_2$,因此有: $\text{CO}_2=\text{C}+\text{O}_2$ 。

假设所导入氧气体积是 $4200\text{m}^3/\text{h}$,所逸散氧气体积是 $40\text{m}^3/\text{h}$,那么标况下的氧气密度则是 $1.43\text{kg}/\text{m}^3$ 。所以,氧气反应质量是 $(4200-40) \times 1.43=5948.8\text{kg}/\text{h}$ 。由此即可计算出每小时碳元素质量,即: $5948.8 \times 12/32=2230.8\text{kg}$,根据焦炭灰分 14% 计算,所对应的燃烧焦炭质量可计算成: $2230.8/0.86=2594\text{kg}/\text{h}$ 。以焦炭量装入干熄炉 $120\text{t}/\text{h}$ 的含量计算,充氮前烧损率为 2.16%,充氮后,计算出烧损率 1.73%,降低烧损率为 0.43%,每日效益为: $0.43 \times 951/0.1=4089$ 元。

由此可以看出,基于气体分析对干熄焦系统中碳的烧损测算经济效益较高。

7 总结

对于我国焦化同类行业来说,干熄焦 EI 自动控制系统不管是应用还是功能环节都存在大同小异的特点,所以开发的气体成分与空气量导入调节对干熄焦

烧损率的实时控制数学模型和自动调节结构能够向国内其他控制结构内部移植,具体表现为可移植性强、新颖以及实用性强等优势。本研究通过分析基于气体成分测算熄焦系统中的碳烧损,结果表明:①创建特定数学模型,对干熄焦烧损率的相关参数进行实时计算,以有利于对干熄焦系统中的碳烧损进行实时控制。所创建的数学模型由一定误差,能够借助焦炭烧损积累量和单孔焦产量、外送焦碳电子秤量,通过红焦热平衡计算,将碳烧损率的修正系数(即 K)推算出来,进而做好修正完善工作;②通过气体成分对干熄焦碳烧损的数学模型、可视化窗口以及动态过程曲线进行实时测算,目前已经在很多企业中得到在线优化指导与有效控制,一方面在其他同类控制系统中取得了良好应用效果,另一方面对干熄焦碳烧损率的优化控制也具有很大促进作用。

参考文献:

- [1] 朱庆庙,甘秀石,王超,武吉,侯士彬,王旭,赵振兴.干熄焦一次除尘系统故障分析及控制优化研究[C]//第十三届中国钢铁年会论文集,2022.
- [2] 叶廷丁.干熄焦提升设备变频传动系统国产化改造关键技术研究及应用[J].冶金自动化,2022,46(S1):89-91.
- [3] 王建斌,王红亮.干熄焦余热汽轮机发电与厂区供电网协调系统的研究与应用[J].燃料与化工,2022,53(01):28-31.
- [4] 杨红丽,杨广要,兰正宏.干熄焦系统焦炭烧损率的影响因素及措施[C]//2015 钢铁企业中低温余热回收与高效利用新设备、新技术交流会论文集,2015.
- [5] 江丹,孟兆成,李贤涛,张宁国.干熄焦系统烧损率标定及工艺参数优化研究[J].中国资源综合利用,2012,30(02):41-43.
- [6] 郭青龙.干熄焦焦炭烧损率的一种测算方法[C]//苏、鲁、皖、赣、冀五省金属学会第十五届焦化学术年会论文集(上册),2010.
- [7] 高哲发,苏轮忠,卓昕,等.应用气体成分测算干熄焦系统中碳的烧损[J].燃料与化工,2010,41(03):37+40.
- [8] 王伟民,刘杰,曹银平,等.干熄焦烧损率的统计方法及烧损因素探讨[J].燃料与化工,2010,41(2):3.
- [9] 胡宁,刘元杰.干熄焦焦炭烧损的研究及控制措施[J].莱钢科技,2018(1):3.
- [10] 申俊波.干熄焦焦炭烧损研究和分析[J].轻松学电脑,2021(07):1-1.