

---

## 高压变频技术在电弧炉除尘系统中的应用

### 一、概述

钢铁厂以其资源密集、能耗密集、生产规模大、物流吞吐量大等特点，长期以来一直被认为是烟尘排放量大、废弃物多、污染大的企业。而电弧炉炼钢是一些钢铁厂造成烟尘污染的主要来源之一。

电弧炉（简称电炉）主要是通过用废钢、铁合金和部分渣料进行配料冶炼，根据不同的钢种要求，可以接受高炭铬铁水和脱磷铁水，然后熔制出碳钢或不锈钢钢水供炼铸用。电炉炼钢时产生的有害物污染主要体现在电炉加料、冶炼、出钢三个阶段。电炉冶炼一般分为熔化期、氧化期和还原期，其中氧化期强化脱炭，由于吹氧或加矿石而产生大量赤褐色浓烟。在上述三个冶炼期中，氧化期产生的烟气量最大，含尘浓度和烟气温度的最高。因此，电炉除尘系统按照氧化期的最大烟尘排量进行设计。在系统最大风量需求的基础上增加 1.1~1.3 倍的安全裕度进行除尘风机选型设计。整个炼钢过程中吹氧时期占 30~35%，此时风机处于较高负荷运行，而其余时间则处于较低运行工况。很显然，除尘系统的利用率很低且系统效率差。

长期以来，不论电炉处于哪一个运行阶段，产生的粉尘大小均使除尘风机全速运行，采用入口挡板开度调节，效率低、功率大、造成大量的电能浪费。随着市场竞争的不断加剧，节能降耗、提高生产效率成为企业发展提高竞争力的有效手段之一。

而在九十年代开始广泛应用的高压大功率变频调速技术则正是适应了市场的需求，在技术和应用领域上得到不断的进步和拓展。现在，已广泛应用于电力、石油化工、矿山、冶金、给排水、机车牵引等领域。

大冶特钢集团某炼钢厂正是在这种状况下，对电炉除尘系统进行高压变频技术改造研究的。该电弧炉除尘系统结构如下图 1 所示。电炉在冶炼过程中的粉尘主要通过炉顶烟道经沉降室沉积，水冷壁冷却后经除尘系统过滤排放；同时利用集尘罩将现场生产车间的粉尘和废气及时排走，以免危及电炉周边工作人员的安全、污染环境。除尘风机是将烟气吸收排放的主要设备。

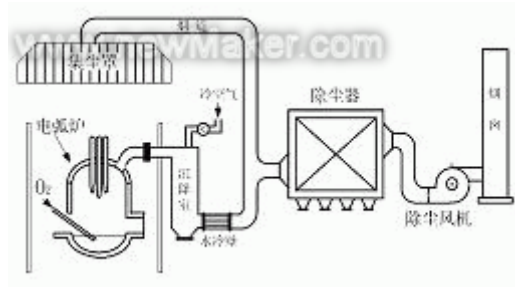


图 1 电弧炉除尘系统结构图

## 二、系统技术方案研究

大冶特钢集团某炼钢厂#8 电炉为扩容的 70t ABB 交流电弧炉。除尘器系统采用 TFMC 布袋式除尘器，设计过滤面积 11985m<sup>2</sup>，最大除尘风量 450000 m<sup>3</sup> / h。

#8 电炉的炼钢周期为 70~85 分钟，其中装料 6~10%，送电熔化 25~30%，吹氧 30~35%，还原期 15~20%，冲渣出钢 6~8%。在不同的生产工艺阶段，电炉产生的烟气量和烟气温度不同，且差异较大。加料过程中，主要是装料时废钢及渣料产生的扬尘，需要的除尘风量不大，要求粉尘不扩散，不污染电炉周边工作环境为标准。送电过程中是原料送电拉弧加热，引发可燃废弃物燃烧产生废气。此时，电炉需要将炉料加热至熔化状态，要求烟尘能够及时排出，又不能过多的带走炉体热量以保证炼钢周期。而在吹氧期间，不仅要求除尘系统能够及时迅速的将废气和粉尘排走，又必须保证炉体有合适的吹炼温度，确保终点温度。因此，对除尘系统要求较高。进入还原期，吹氧告一段落，粉尘度再一次降低。在冲渣出钢时，主要排放物是冲渣产生的水蒸汽和少量废气。

通过对冶炼工艺的分析，电炉在炼钢过程的不同阶段对除尘风量的大小有明显的不同，以吹氧冶炼为最大，加料除尘为最低。鉴于电炉除尘系统中除尘风机的运行方式和设备特点，对除尘风机的控制制定如下方案。

### 2.1 设备参数

表 1 设备参数

除尘风机参数	电动机参数	热变电阻柜参数	变频器技术指标
型号: Y4-73 No31.5F	型号: Y6304-8	型号: HTR 5-2	型号: Harsvert-A06/220
流量: 456200 m <sup>3</sup> /h	额定电压: 6000V	额定电压: 6000V	输入电压: 6000V
风压: 352kPa	额定电流: 185A	额定电流: 200A	额定电流: 220A
轴转速: 730r/min	额定转速: 741r/min	额定频率: 50Hz	额定频率: 50Hz
轴功率: 1470kW	额定功率: 1600kW	额定容量: 2000kVA	输出电压: 0~6000V
输出频率: 0~50Hz			
额定容量: 2000kVA			

## 2.2 系统电气构成

根据现场生产工艺情况，选用利德华福生产的 Harsvert-A 型变频器作为主件，该变频调速系统具有谐波含量小，功率因数高、编程灵活、操作方便、模块化结构、故障率低、免维护、易维修等特点。

除尘风机电气系统的主接线结构图如图 2 所示。6kV 电源通过母线段网侧高压开关 DL 接入系统，采用多重化移相干式隔离变压器进行电源侧电气隔离，以减小对电网的谐波污染；变压器输出经功率柜逆变输出后直接驱动三相异步电动机，实现除尘风量的控制。为保证除尘风机安全可靠运行，系统设计了工 / 变频两套动力系统。当系统变频运行时，断开隔离开关 QS21、QS22；合隔离开关 QS11、QS12。由变频器启停设备，实现除尘风机的转速和风量控制。当变频线路出现故障时，系统切换至原工频运行方式；断开隔离开关 QS11、QS12；合隔离开关 QS21、QS22。由原除尘系统通过热变电阻柜启动风机，入口挡板控制风量。

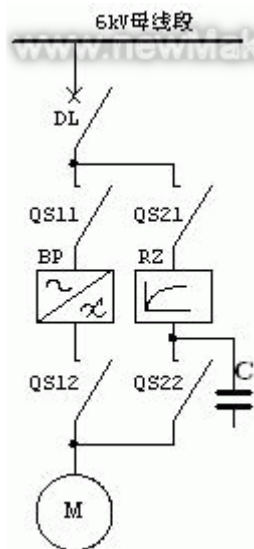


图 2 除尘风机电气系统的主接线结构图

## 2.3 系统控制方案

由于不同工艺阶段的烟气温度有明显差异，因此温度的高低直接反映了电炉的运行工况。系统并没有采用检测电炉工作中粉尘浓度的方式来直接控制除尘风量，而是采集烟道温度作为系统调节的基本参量，通过非线性函数关系推导出不同运行工况下的除尘风量参与系统控制。从工程角度讲，温度变送器可以在恶劣的工业场合应用，抗干扰能力强、工作稳定性好、控制精度高、安全可靠、免维护且价格便宜。而粉尘浓度检测装置价格昂贵、稳定性差、故障率高、维护量大、现场检测点数据采集很难具有广泛代表性等缺点。基于上述原因，选用除尘烟道的烟气温度作为现场过程量。同时，以吹氧量和冷风门开度作为除尘风量的修整参量，从而提高系统响应速度、改善控制品质、达到良好的除尘效果、实现除尘风量自动控制、降低运行人员劳动强度、提高系统效率，达到最佳的节电效果。具体的控制逻辑见图 3 所示。

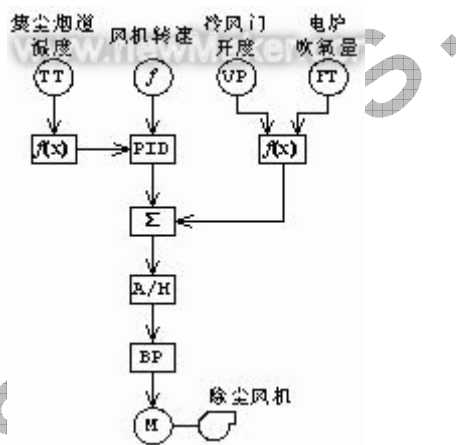


图 3

为了保证系统的可靠性，另外增加了除尘风量手动控制回路，对除尘风量的控制采用分段调速的方式由炉前操作台控制变频运行的频率点，从而实现不同运行工况下的风量调节。控制逻辑图如图 4 所示。

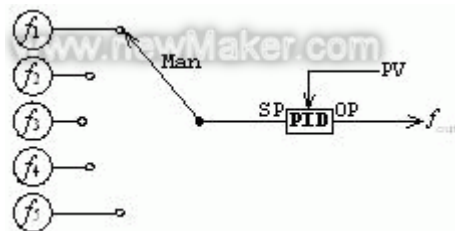


图 4

实践证明：系统在设计了套控制方案后大大提高了系统的实用性和可操作性，很好的满足

了现场生产要求。同时，在改善现场工作环境，提高产品质量，降低吨钢能耗方面起到了积极作用。

### 三、系统特点

变频调速技术在电炉除尘系统中应用后，主要体现了以下几个特点：

- (1) 除尘设备功耗随电炉炼钢生产工艺变负荷运行，提高了系统效率；实现了除尘系统的最佳工况运行。取得显著的节能效果。
- (2) 大大有效降低了除尘系统负荷率，延长了除尘器、除尘风机、除尘电机、烟道等设备的使用寿命。
- (3) 对降低炉内热量损失，合理控制过程温度，确保终点温度起到一定的作用。
- (4) 对除尘系统进行变频改造，有助于改善炉内吹炼工况，缩短炼钢时间，提高钢产量改善出钢品质。
- (5) 降低补炉期间的能耗和炉衬散热损失。

### 四、节能分析

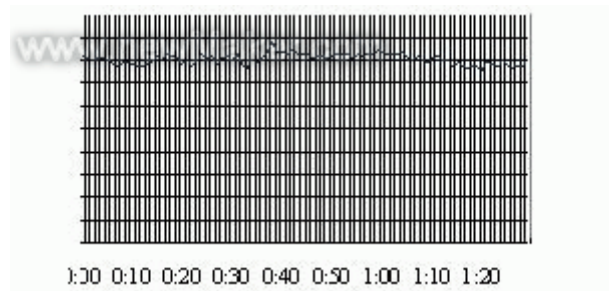
为了对除尘系统变频改造后的效果进行评价，在系统投入正常运行一个月后对设备实际使用和节电情况进行了测定和数据分析。

随机抽取一个正常生产日，将系统切换至工频运行系统采用挡板控制调节风量。采用网侧有功电度表进行耗电量计量，见表 2。然后，连续采集变频运行的 7 个正常生产日用电量进行变频运行工况下的单耗计算，以期变频运行的数据更接近真实运行工况，具体数据采样值见表 2。

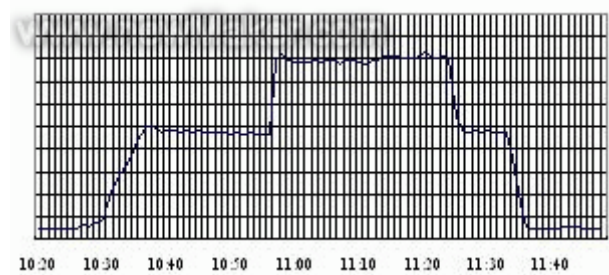
表 2 数据采样值

参数 状态	运行时间 (h)	累计电量 (kW·h)	产钢量 (t)	吨钢除尘电耗 (kW·h)
工频	24	38815.2	1308.63	29.661
变频	168	112404.9	9160.21	12.271

通过对上表原始数据的处理，可以得出：除尘系统在变频改造后较改造前，吨钢除尘电耗降低了  $17.390\text{kW}\cdot\text{h}$ 。设备节电率高达  $58.63\%$ ，节能效果显著。



工频运行时记录曲线



变频运行时记录曲线

图 5

截取工频运行时炼一炉钢除尘风机电流运行记录曲线和变频运行时炼一炉钢的网侧电流记录曲线比较，可以直观的看出风机电流降低明显，设备运行工况更符合实际生产工艺需要。

## 五、结论

通过对大冶特钢集团某炼钢厂#8 电炉除尘系统变频改造前后的技术分析，可以看出：在电弧炉除尘系统中应用高压变频调速技术不仅对有效改善现场生产状况，提高钢产量降低吨耗有着重要的意义；而且每年可节约 230 万元左右的电费开支。在电弧炉除尘系统中应用高压变频调速技术是完全正确的。