

# 首钢炼铁厂热风炉残氧分析与节能应用

王春生 王自亭 刘景春 金松岩

(炼铁厂)(首钢自动化信息技术有限公司)

**摘要** 热风炉在节能降耗上有一定的潜力可挖,首钢炼铁厂通过在热风炉上安装氧化锆氧分析仪装置。直观显示热风炉燃烧过程中过剩空气量的多少,为热风炉司炉工提供量化的操作标准,从而为司炉工准确地调整空气、煤气配比值,使炉膛内燃烧趋于优化提供了条件。使热风炉稳定地处于优化燃烧状态,提高了热风炉的热效率,达到了节约能源,降低生产成本的目的。

**关键词** 热风炉 氧化锆氧分析仪 优化燃烧 节能

## 1 首钢热风炉基本结构介绍

在高炉炼铁科技进步过程中,首钢率先将顶燃式热风炉技术应用于大型高炉。首钢自主研究开发的顶燃式热风炉效益明显,并拥有这项技术的国家发明专利。顶燃式热风炉不设专门的燃烧室,而是将拱顶空间作为燃烧室。由于这种结构形式的热风炉具有许多优点,它是高风温热风炉的发展方向。因此,受到世界各国的重视。顶燃式热风炉具有燃烧效率高、蓄热面积大、投资省、寿命长、占地空间小等特点。能更为有效地利用热风炉的空间,在热风炉容量相同的情况下,可使蓄热面积增加25%~30%。因此,在国内各种结构形式的顶燃式热风炉的应用越来越广泛。

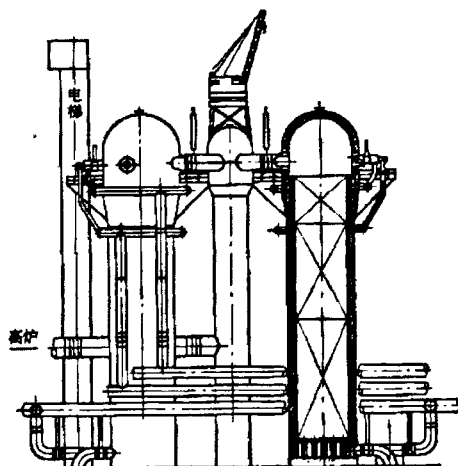


图1 首钢顶燃式热风炉立面结构图

目前首钢正在用的座热风炉,均属于顶燃式热风炉,其结构形式如图1所示:

顶燃式热风炉又称为无燃烧室热风炉,顶部的燃烧器是许多小而独立的陶瓷或金属燃烧器构成,使煤气和空气的混合过程短,燃烧过程较为迅速和安全。

热风炉是循环周期性工作的。在一个循环工作周期中,分燃烧期和送风期。  
燃烧期:将热风炉烧热,此时冷风入口和热风出口关闭,将煤气和用于给格子砖加热的空气按一定比例从燃烧器送入,煤气燃烧将热风炉(主要是其中的格子砖)加热,燃烧残气即烟气由烟气出口经过烟道从烟囱排掉,这样一直将热风炉加热到需要的温度,然后转入送风期。

送风期:将由鼓风机来的冷风加热后(一般在1000~1200℃)送入高炉。此时燃烧器和烟气出口关闭,冷风入口和热风出口打开,由鼓风机经冷风管道送来的冷风

进入热风炉，冷风在通过格孔时被加热，热风经出口和一些管道送入高炉。送风一段时间，热风炉蓄存的热量减少，不能将冷风加热到所要求的温度，这时就由送风期再次转入燃烧期。一座热风炉经过燃烧期和送风期即完成了一个循环。热风炉就是这样燃烧和送风不断循环地工作着。四座热风炉交替地燃烧和送风就保证了不间断地供给高炉热风。

首钢 2536 立方米的 3<sup>#</sup>高炉，有四座热风炉采用“两烧两送”基本工作制度。首钢热风炉以高炉煤气为主要燃料，由于高炉煤气发热值较低，为了获得高温，混入少量热值较高的焦炉煤气。

## 2 残氧分析对热风炉节能的重要意义

热风炉是炼铁生产过程中的重要设备之一。它供给高炉热风的热量约占炼铁生产耗热的四分之一，它消耗煤气约占高炉生产的煤气的 40%。因此，提高热风炉的热效率对降低能耗具有很大的现实意义。

热风炉是一种加热空气输出热风的热源设备，有燃烧室和热交换器构成，是一种具有一定压力的热源设备。在一些实际的工程实例中，由于设备的排烟温度较高，存在热效率较低的问题。较低的效率必然带来较多的燃料消耗，加之较差的燃烧效果，还会导致一定程度的环境污染。在没有安装氧分析仪表时，主要是通过经验来控制炉顶温度上升的速度及保持炉顶最高温度不下降。这样往往会由于操作工经验的不同而带来调节的差异。以及温度反应的滞后性而造成调节不及时而浪费燃料。在热风炉安装氧分析仪表能使操作工及时合理地热风炉燃烧情况作出合理的判断。并参考其成分进行燃烧调整。合理的烟道废气成分如表 1 所示。

表 1 热风炉烟道废气成分分析表

项 目		$\omega(\text{CO}_2)/\%$	$\omega(\text{O}_2)/\%$	$\omega(\text{CO})/\%$	过剩空气系数
理论值		23~26	0	0	1.0
实际 值	烧高炉煤气	23~25	0.5~1.0	0	1.05~1.10
	烧混合煤气	21~23	1.0~1.5	0	1.10~1.20

热风炉燃烧质量的好坏，直接关系到铁厂燃料消耗率的高低，热风炉烟气中氧量自动分析就是为了连续监督燃烧质量，以便及时控制燃料和空气的比例，使燃烧保持在较好的状态下进行；为了使燃料达到完全燃烧，同时又不过多地增加排烟量和降低燃烧温度，首先要控制燃料与空气的比例，使过剩空气系数  $\alpha$  保持在一定范围内。它可以反映出燃烧的经济性和操作运行的技术水平，所以是燃烧的技术经济指标。锅炉在保证充分燃烧的前提下，应尽量减少过量空气。

热风炉调火原则是以煤气压力为依据，以煤气流量为参考，以调节空气量和煤气量为手段，达到炉顶温度上升的目的。一般情况下，采用固定煤气量，调节空气量的快速烧炉法。

为了确定热风炉的热效率，就需要建立在正常工况下的锅炉热量的收、支平衡关系，通常称为“热平衡”。

锅炉热平衡的公式可写为：

$$Q_r = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \text{ kJ / kg} \quad (3-1)$$

式中： $Q_r$ ——每千克燃料带入锅炉的热量；

$Q_1$ ——锅炉有效利用热量；

$Q_2$ ——排烟所带走的热量，称为排烟热损失；

$Q_3$ ——未燃烧可燃气体所带走的热，称为可燃气体不完全燃烧热损失；

$Q_4$ ——未燃完的固体燃料所带走的热量，称为固体(或机械)不完全燃烧热损失；

$Q_5$ ——锅炉散热损失；

$Q_6$ ——其他热损失或灰渣物理热损失。

热风炉热效率的标准计算较为复杂，通过下式可简单计算出热效率的趋势：

$$\eta = \frac{\text{周期风量}(\text{热风容量} \times \text{风温} - \text{冷风热容} \times \text{冷风温度})}{\text{周期煤气量}(\text{煤气热值} + \text{煤气热容} \times t_{\text{煤气}}) + \text{周期助燃风量} \times \text{助燃风比热} \times t_{\text{风}}} \times 100\%$$

利用含氧量测量装置，直观显示热风炉燃烧过程中过剩空气量的多少。为热风炉司炉工提供量化的操作标准，从而为司炉工准确地调整风量使炉膛内燃烧趋于优化创造了条件。合理降低烟气中含氧量即可减少排烟损失，从而达到优化燃烧，又达到节约燃料的目的。同时可为高炉未来系统的应用提供可靠的数据信息。

### 3 氧化锆氧分析仪表测量取气点的选择与研究

安装氧化锆氧分析仪的目的主要是监测热风炉燃烧期烟道排烟中的残氧量。

#### 3.1 选择氧化锆氧分析仪探头安装点的基本原则有：

(1) 安装点的烟气能快速反映工艺状态的变化情况；由于烟道截面较大，截面各处烟气成分是不相同的，有明显分层的倾向，要求安装点处烟气不存在分层、停滞。以及烟气温度为取样装置所能耐受的地方，一方面要考虑温度因素，另一方面要避开烟气压力、流量过大的地方。

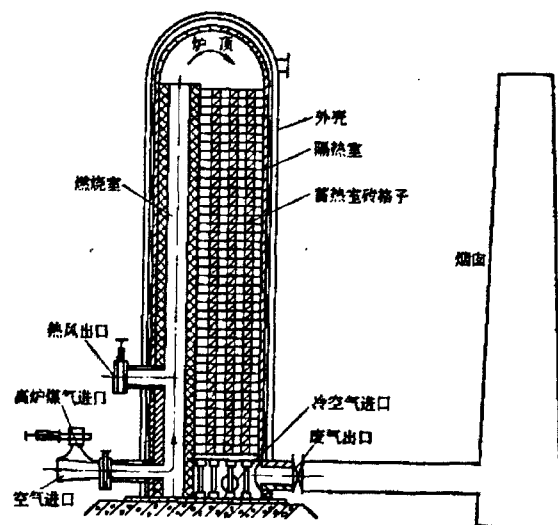
(2) 氧检测器安装时，插入深度应达到烟道气流部位，避免死区；

(3) 取样点附近炉堂、烟道应无泄漏，否则将造成测量误差；

(4) 取样点气体温度应在300~500℃之间，要避免高温对检测设备的影响。

(5) 要选择在易于维护、检修的地方。

根据以上原则，再针对热风炉有燃烧期和送风期两个阶段的特点，为克服热风炉送风阶段，热风炉内所具有3公斤左右的压力。拟将氧化锆氧传感器探头安装在烟气阀的烟囱一侧，而不能安装在烟气阀的热风炉一侧。如图2所示。



这样做的原因主要是因为，如果安装在烟气阀的热风炉一侧，由于风炉送风阶段，热风炉内具有 3 公斤左右的压力。而氧化锆氧传感器是陶瓷元件（分子式为  $ZrO_2$ ）由于工作压力过大使检测元件受损害，造成仪表不能正常工作。在我公司综合考虑各种因素后，决定采用设置旁路烟道的方法，将烟气从旁路引出。这样即可以减少烟气的压力，又可以使成分更加均匀，流速趋于平稳。便于传感器准确测量到烟气中真实的残氧含量。

### 3.2 首钢 CY 型氧化锆氧分析仪的特点

首钢 CY 型氧化锆烟气氧分析仪，是我公司汲取国外同类产品之精华，集近二十年现场实践之经验，以及应用了我公司的国家专利技术而精心设计的新一代氧化锆氧分析仪。CY 系列氧化锆氧分析仪是利用氧浓差电池原理对烟气中残氧含量进行测量，从而将各种燃烧设备的燃烧状态控制在最佳状态。首钢 CY 系列的氧化锆氧分析仪采用直插式探头反应速度快、滞后小，特殊的防尘方式使防尘效果更好，还具有预处理简单，安装方便，测量准确等特点。相比国内外其它厂家的产品更具有可操作性、维护量小等优点。

### 4 应用残氧分析仪表对热风炉燃烧控制的影响

在燃烧过程中煤气、空气配合比例适当（即过剩空气系数适当）废气成分中含有微量的  $O_2$ ，无  $CO$ 。空气过多时，废气成分中  $O_2$  含量增多；空气不足时废气成分中的  $CO$  含量明显增多。合理的废气成分为：

$CO$ ：全无

$O_2$ ：0.5%~1.0%（烧高炉煤气）

1.0%~1.5%（烧混合煤气）

$CO_2$ ：23%~25%（烧高炉煤气）

18%~23%（烧混合煤气）

热风炉系统安装氧化锆氧分析仪后，我们对其优化燃烧及节能效果进行了检测。

测试结果表明：热风炉加装氧化锆氧分析仪后，所运行的热风炉均能直观地显示各排烟含氧量。经与热效率测定仪相比，其相对误差在 2% 以内。

根据该装置显示出的烟气含氧量数据，分别调整了四台热风炉运行的配风量。在保证充分燃烧的前提下，均在不同程度上减少了排烟含氧量，获得了良好的效果，即达到了优化燃烧的目的。详细数据见表 2。

表 2 热风炉燃烧优化效果参数表

序号	热风炉编号	烟气含氧量测定装置	排烟 $O_2$ %	排烟 $CO$ %	排烟温度 $^{\circ}C$	过剩空气系数
1	1*热风炉	CY-2C 氧化锆氧分析仪	0.55	0%	256	1.027
2	2*热风炉	CY-2C 氧化锆氧分析仪	0.92	0%	248	1.046
3	3*热风炉	CY-2C 氧化锆氧分析仪	0.75	0%	235	1.037
4	4*热风炉	CY-2C 氧化锆氧分析仪	0.63	0%	240	1.031

按目前所运行的 4 座热风炉实测数据计算，其平均运行热效率提高 3%~5%。每小时可节约 1 万立方米高炉煤气，现高炉煤气价格为 30 元/1 千米<sup>3</sup>，这样，每天就可以节省费用 7200 元。因此，在保证热风炉有效负荷不变的情况下每座热风炉每年可节约资金 8.64 万元。

## 5 结论

通过在首钢炼铁厂 1、3、4 号高炉热风炉安装 CY 系列氧化锆氧分析仪，投入应用后，系统运行正常。值得借鉴推广，其优点表现在以下几个方面。

(1) 解决了热风炉配风量操作无量化标准问题。现将首钢 3#高炉 4 座热风炉通过优化燃烧调整后的最佳烟气氧量数据提供参考如下：1#热风炉、2#热风炉、3#热风炉、4#热风炉分别为 0.6%以下、0.85~1.0%、0.1~0.95%、0.35~0.75%。由于每台炉子实际运行负荷或配套燃烧器特性不同，排烟中最佳氧含量也会不尽相同。这就需要根据每台炉子的实际情况掌握排烟氧含量的规律，从而最大限度地提高热风炉运行效率。

(2) 可以提高热风炉热效率，通过检测站检测数据表明：运行的 4 台热风炉安装氧化锆氧分析仪后，热效率都有不同的提高。

(3) 可以达到节约能源，降低成本的目的。通过优化燃烧，可以使燃料燃烧更加充分，提高热效率节约能源。减少了烟尘排放，即减少了热量损失又降低了环境污染。