

# 首钢烧结厂 $PM_{10}$ 治理技术与经济分析

李依丽 钱文娇 李晶欣 梁文俊 金毓荃  
(北京工业大学环境与能源工程学院,北京 100124)

**摘要** 通过对首钢烧结厂的污染结点、污染物特性、污染物控制技术措施和技术规范进行分析,提出了烧结厂  $PM_{10}$  控制方案,对烧结厂采用高效除尘设备的  $PM_{10}$  削减量及改造费用进行了估算,确定了烧结厂  $PM_{10}$  治理技术方案排序,为钢铁企业烧结厂治理颗粒污染物的同时选择最为经济实用的除尘器类型提供理论依据。

**关键词** 烧结厂 除尘设备 技术分析 经济分析

中图分类号 X513 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2009)07-1299-04

## Technological and economical analysis on $PM_{10}$ removing of sintering plant in Shougang Group

Li Yili Qian Wenjiao Li Jingxin Liang Wenjun Jin Yuquan  
(College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract** Pollutant sources, characters, controlling measures of sintering plant in the Shougang Group were analyzed in this paper. Controlling schemes of  $PM_{10}$  were proposed. Curtailments on  $PM_{10}$  and modification expenses on dust catchers were assessed when high-efficiency catchers were applied and sequencing problem on controlling schemes was determined. This provides a theoretical basis for the selection of particulate catchers for sintering plant of steel industry.

**Key words** sintering plant; particulate catcher; technique analysis; economic analysis

### 1 烧结工艺描述

烧结矿是炼铁的主要原料。烧结工艺中,利用铁矿粉、燃料和熔剂作为原料,经过原料加工、配制、混合、造球、布料、点火、烧结、破碎、筛分和冷却等流程,生产出成品烧结矿送往炼铁厂,粒度不合格的返矿重新参加配料<sup>[1]</sup>。

烧结有热矿和冷矿 2 种工艺流程。在热矿工艺中,烧结机卸下的 750 ℃ 左右的炽热烧结矿用矿车直接运往炼铁厂。在冷矿工艺中,炽热烧结矿需在冷却设备上冷却到 100 ℃ 以下,并经筛分整粒,用胶带运输机将成品烧结矿运出。目前首钢烧结厂完全采用冷矿工艺生产烧结矿。

#### 1.1 烧结厂污染结点研究

烧结厂废气包括原料准备系统、混合料系统、烧结机机头、烧结机尾及整粒系统产生的废气。

原料准备系统污染结点来源于以下 4 部分:(1)原料场的堆、取料机扬尘点;(2)翻车机室、受矿槽的车厢往矿槽卸料点,矿槽下给料机往胶带机卸料点;(3)燃料熔剂破碎筛分室各种破碎机产生点,振动筛产生点及胶带机受料点;(4)配料室移动可逆胶带机或移动卸料车的受料点,移动可逆胶带机

或移动卸料车向矿槽卸料点及矿槽经过圆盘给料机往胶带机上的配料点。

混合料系统污染结点主要存在于混合料运转、加水和混合等过程。

烧结机机头污染结点主要来源于烧结机头大密闭罩、大烟道运灰胶带机和铺底料系统的胶带转运受料等扬尘点。

烧结机机尾污染结点主要存在于烧结机尾部卸矿点以及与之相邻的烧结矿破碎、筛分、贮存和运输等环结。

整粒系统污染结点主要来源于以下 4 部分:(1)冷烧结矿破碎机扬尘点;(2)各段成品矿筛分扬尘点;(3)各矿槽扬尘点;(4)成品、铺底料、返矿的各转运系统转运点。

#### 1.2 烧结厂污染特性和特征

##### 1.2.1 原料准备系统

原料准备系统废气为常温的含尘空气,物料转

基金项目:北京市科委绿色奥运项目(北京市大气环境  $PM_{10}$  和 O<sub>3</sub> 污染控制技术应用研究)

收稿日期:2008-09-04; 修订日期:2008-10-27

作者简介:李依丽(1975~),女,工学博士,副教授,主要从事大气污染控制研究工作。E-mail:liyili@bjut.edu.cn

运和筛分过程中产生的废气含尘浓度约 $500\sim3000\text{ mg/m}^3$ ,翻车和破碎过程中产生的废气含尘浓度约 $4000\sim5000\text{ mg/m}^3$ ,粉尘成分与原料的成分基本相同。

原料准备系统污染特点是:(1)露天作业的开放性尘源多;(2)阵发性尘源多。阵发性的含尘空气量大,要求设置大容量的机械除尘系统,需要较多投资。

### 1.2.2 混合料系统

混合料系统可分为热返矿和冷返矿2种生产工艺流程。

在热返矿工艺中,热返矿卸落在混合料胶带机物料的上层。带热返矿的混合料初次加水时,水遇到炽热的返矿即强烈蒸发,蒸气夹带大量粉尘逸出,产生高温、高湿、高含尘浓度的废气。因此,混合料系统中最主要的治理对象就是热返矿初次加水时所产生的大量粉尘-水汽共生的废气。

与之相反,在冷返矿工艺中,返矿经过冷却后,温度在 $100^\circ\text{C}$ 以下,遇水后没有强烈的蒸发现象,只在物料转运点产生含尘废气。

通过实地调研,首钢烧结厂的混料系统均已改为冷返矿工艺,其污染仅来源于物料转运点。因此,此处不再描述热返矿工艺的污染特点。

采用冷返矿工艺的混合料系统只产生含尘烟气,污染强度较低,通常可归入环境除尘系统一起进行处理。

### 1.2.3 烧结机机头

烧结机机头烟气中含有空气带来的氧和氮,混合料水分蒸发和燃烧产生的水蒸气,烧结过程中产生的 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 及 $\text{NO}_x$ 等。根据原料、有无铺底料和操作状况,烟气含尘浓度约在 $0.5\sim6\text{ g/m}^3$ 之间。烟气温度 $80\sim200^\circ\text{C}$ ,平均约 $150^\circ\text{C}$ ,此温度下粉尘的比电阻较高,一般接近或大于 $10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$ ,高时可达 $10^{13}\Omega\cdot\text{cm}$ 。

烧结机机头污染物污染特点如下:(1)烟气量大。每生产1t烧结矿,约排出烟气 $3000\sim4300\text{ m}^3$ 。按烧结机面积计,则为 $75\sim95\text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ ;(2)粉尘量大,含铁量高。烧结机烟气是烧结厂最主要的粉尘污染源,每生产1t烧结矿,产生的

烟气中含有粉尘 $5\sim18\text{ kg}$ 。烧结机烟气粉尘的含铁量和烧结矿相近,均返回原料系统,加以利用;(3)含湿量高,露点温度高。混合料的水分蒸发后,全部进入烧结机烟气中,烟气含湿量高。

### 1.2.4 烧结机机尾

烧结机机尾污染物废气为含尘的热空气,含湿量低;废气温度在各抽风点的温度不同,最低 $40^\circ\text{C}$ ,最高 $250^\circ\text{C}$ 。各点废气混合后的温度在 $80\sim150^\circ\text{C}$ 之间,一般为 $100^\circ\text{C}$ 左右;各抽风点的废气含尘浓度不同,混合后的废气含尘浓度为 $5\sim15\text{ g/m}^3$ ;粉尘比电阻一般在 $10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下。

烧结机机尾污染物污染特点如下:(1)废气量较大。机尾废气量约为烧结机机头烟气量的 $25\sim50\%$ ;(2)粉尘磨琢性强。粉尘比重大、坚硬,且外形粗糙,磨琢性强;(3)粉尘粘附性强,遇水易结垢,粉尘颗粒细,粘附在除尘设备内部不易脱落。粉尘中含有 $\text{CaO}$ ,遇水后容易造成结垢、堵塞设备;(4)含铁量高,具有较高的回收利用价值。

### 1.2.5 整粒系统

整粒系统污染物废气成分为含尘空气,废气温度 $\leq 50^\circ\text{C}$ ,含尘浓度为 $5\sim15\text{ g/m}^3$ 。整粒系统含尘废气的特点和机尾废气基本相同,仅温度比机尾废气低。

### 1.2.6 烧结厂粉尘污染物粒径分布特征

在 $\text{PM}_{10}$ 控制的研究过程中,粒径质量频率是一项很重要的指标,表1列出了烧结厂各生产工段排放粉尘的粒径质量频率分布特征<sup>[2]</sup>。

## 2 烧结厂污染物控制技术措施和技术规范研究

### 2.1 原料准备系统除尘

对于原料场,由于堆、取料机露天作业,扬尘点无法密闭,不能采用机械除尘装置,各厂广泛采用湿法水力除尘。湿法水力除尘既可捕获部分粉尘,又可使物料加湿后扬尘量大大减少。对物料的破碎、筛分和胶带机转运点,除设密闭和抽风装置外,还应辅以水力除尘。设置水力除尘时,应注意不要恶化工艺操作条件。

表1 烧结厂排放粉尘粒径分布特征

Table 1 Size distribution of dust from sintering plant

车间部位	质量频率(%)				
	>30 μm	30~20 μm	20~10 μm	10~5 μm	<5 μm
机头(冷矿)	64	6.7	14.9	6.0	8.4
整粒(环境除尘)	42	6	12	10	30
整粒(筛子除尘)	31	14	22	14	19
球团竖炉	质量频率(%)				
	>100 μm	100~55 μm	55~14 μm	14~5 μm	<5 μm
	12.5	35.6	43	8.9	

对于原料准备系统应(1)合理选择分散式除尘系统或集中式除尘系统。分散式系统容量较小,数量多,布局零乱,维护管理差,运行效果不易保证。集中式除尘系统容易做到布局合理,长期稳定地保持高净化效率。防止粉尘二次飞扬,但系统复杂,各点风量平衡较难,初投资高。就首钢烧结厂而言,其生产规模较大,且地处污染敏感地带,因此应该采用集中式除尘系统;(2)根据现场具体情况,选择合适的密闭形式。一般可设置局部密闭罩、整体密闭罩和大容积密闭罩;(3)根据生产工艺的特点,确定合理的抽风点位置和抽风罩罩口风速。

除尘设备的选用针对分散式除尘系统中广泛应用冲击式除尘器、泡沫除尘器和脉冲袋式除尘器;针对集中式除尘系统一般配用反吹风袋式除尘器和电除尘器,两者均能取得良好的环境效益。

## 2.2 混合料系统除尘

混合料系统除尘主要是针对采用热返矿工艺系统,通过对首钢烧结厂实地调研,发现其混合料系统均已采用了冷返矿工艺,而采用冷返矿工艺的混合料系统,因其污染方式较为简单、污染强度也较低,因此,应该采用集中除尘系统与环境粉尘一起处理。

## 2.3 烧结机机头烟气净化

除尘系统的治理工艺采用干法除尘,以免湿法除尘引起复杂的含尘污水处理和水污染。在大烟道内设置拉链机,以提高大烟道密封性。水封拉链装置将大烟道各排灰管、除尘器排灰管和小格排灰管等均插入水封拉链机槽中,灰尘在水封中沉淀后,由拉链带出,卸到胶带运输机上。装设大烟道水封拉链后,可使大烟道卸灰系统提高密封性,避免粉尘的二次飞扬。

烧结机烟气粉尘的磨琢性强,应采取防磨措施,设置耐磨衬里。大烟道、多管除尘器和电除尘器等都应设置保温层。大烟道和除尘器都应设置严密的卸尘装置,防止漏风。

在除尘设备的选择方面,为保证达到排放标准,应逐步推广使用电除尘器。目前多管除尘器在首钢烧结机机头烟气处理中还有一定范围的应用,并且起到了一定的治理效果,但从长远角度看,多管除尘器被电除尘器取代势在必行。烧结机烟尘属高比电

阻粉尘,应注意电除尘器及其供电设备的合理选型。应选用适于处理高比电阻粉尘的电除尘器和供电设备<sup>[3]</sup>。

## 2.4 烧结机尾除尘

除尘系统治理工艺优先选用干法除尘,可以避免湿法除尘带来的污水处理问题,同时有利于粉尘的回收利用。采用湿法除尘时,应注意采取防止结垢和堵塞的措施。机尾除尘系统一般采用一级电除尘器净化即可达到国家排放标准要求,在某些特殊情况下,机尾除尘系统也可采用旋风除尘器和高效除尘器二级净化。

国内的烧结机尾除尘几乎全部采用大型集中除尘系统,机尾采用大容积密闭罩,延长机尾密闭罩可减少机尾抽风量。

除尘设备优先选用电除尘器。机尾除尘系统使用旋风或多管除尘器虽然投资少,但难以达到排放标准要求。

## 2.5 整粒系统除尘

整粒系统扬尘点多,抽风量大,各扬尘点距离较近,粉尘性质和运行制度相同,宜设置集中式除尘系统,以便操作管理和粉尘的回收利用。整粒除尘的废气量大、含尘浓度高,一般都选用高效率并适合处理大风量的袋式除尘器和电除尘器。

## 3 首钢烧结厂 $PM_{10}$ 污染控制方案

首钢烧结厂产生的总悬浮颗粒物(TSP)及  $PM_{10}$  在整个首钢污染源中占了很大的份额,根据2003年首钢炼铁厂提供的排污申报数据,烧结厂TSP排放量达到2 683.8 t/a,  $PM_{10}$  排放量为1 385.1 t/a。烧结厂除尘系统包括12套静电式除尘设备和6套多管旋风除尘设备。静电除尘设备的平均除尘效率约为98%,多管旋风除尘设备的平均除尘效率约为91%。两类除尘设备对  $PM_{10}$  的分级除尘效率分别为静电97.2%、多管75%。

对于烧结厂  $PM_{10}$  的治理,最有效的方法是采用高效除尘器代替多管旋风除尘器,高效除尘器包括静电除尘器、袋式除尘器和文丘里洗涤器三大类。烧结厂废气排放量一般处于15~50万 m<sup>3</sup>/h之间,表2列出了几种除尘设备方案以供参考<sup>[4]</sup>。

表2 烧结厂  $PM_{10}$  除尘设备  
Table 2 Dust catchers for  $PM_{10}$  of sintering plant

设备类型	烟气量 (m <sup>3</sup> /h)	$PM_{10}$ 去除效率 (%)	年费用 (万元)	备注
宽间距电除尘器	360 000	95~99	150~250	单室三电场,适用于比电阻较高的烧结机机头除尘
卧式电除尘器	300 000	95~99	130~220	双室三电场,适应高温烟气
回转反吹风扁袋除尘器	187 200	95~99.5	132~220	扁袋,4室,聚酯针刺毡滤料
机械振打袋式除尘器	227 520	95~99.5	155~260	内滤,8室,480条滤袋,聚酯针刺毡滤料
长袋脉冲除尘器	500 400	95~99.5	330~550	6室,1 818条滤袋,袋长6m,聚酯针刺毡滤料

静电除尘器、袋式除尘器和文氏洗涤器种类型号有很多,各种型号有着比较接近的除尘效率,当处理相同烟气量时,其年费用也大致相同。因此,在上述情况下,对这些除尘设备的选择原则为:避繁就简、因地制宜,具体情况具体分析,不同工况区别对待。比如烧结系统烟气温度偏高,就应首选电除尘器,若要选择袋式除尘器,则要考虑采用耐高温滤料以防烧袋。此外,与干式除尘相比,湿式除尘需要加装复杂的含尘污水处理装置以及采取冬季防结冻措施,因此,在一般烟尘处理过程中,如无特殊情况,应

尽量避免使用湿式除尘设备。

另一方面,为了提高  $PM_{10}$  去除率应采用能够优化除尘设备的运行条件,使其达到本身的最佳除尘效果。静电除尘器的除尘效率最高可达到 99.8%,其分级除尘效率最高也可达到 99%,如果通过一系列改造、调整,能够使静电除尘器在自己的最佳条件下运行,则首钢烧结厂  $PM_{10}$  的排放量还会进一步缩减。烧结厂采用高效除尘设备实现的  $PM_{10}$  削减量及改造费用估算<sup>[4]</sup>如表 3 所示。

表 3 烧结厂采用高效除尘设备的  $PM_{10}$  削减量及改造费用估算  
Table 3 Rough estimation of  $PM_{10}$  reducing amount and redevelopment when high effective dust catchers being used in sintering plant

高效除尘设备	$PM_{10}$ 排放量(t/a)	$PM_{10}$ 削减量(t/a)	改造费用估算(万元)
静电除尘器	795.56~638.34	589.54~746.76	700~820
回转反吹袋式除尘器	795.56~618.70	589.54~766.40	620~740
机械振打袋式除尘器	795.56~618.70	589.54~766.40	650~780
脉冲清灰袋式除尘器	795.56~618.70	589.54~766.40	650~750
文丘里洗涤器	874.16~756.25	510.94~628.85	60~100

由表 3 可知,袋式除尘器对  $PM_{10}$  的削减量最高,其次是静电除尘器,其与袋式除尘的削减量差距仅有 20 t/a 左右,而文丘里除尘则相差较多,与袋式除尘器相比,文丘里除尘器每年少削减  $PM_{10}$  60 t 左右。从经济角度看,静电除尘的年费用是袋式除尘的 2/3 左右,文丘里除尘比其他 2 类除尘设备年费用都高,因此如果综合考虑环境效益与经济效益 2 个方面,则静电除尘设备应是烧结厂  $PM_{10}$  污染治理的首选方案。3 种袋式除尘器  $PM_{10}$  去除率相差无几,而其年费用也比较接近,只是脉冲清灰除尘费用稍高,机械振打除尘略低,回转反吹除尘适中,从运行的稳定性来看,脉冲清灰与回转反吹清灰 2 种技术较为先进,相应的除尘效率会更加稳定一些。烧结厂  $PM_{10}$  治理技术方案排序如表 4 所示。

表 4 烧结厂  $PM_{10}$  治理技术方案排序  
Table 4 Sequencing of the technical scheme for harnessing  $PM_{10}$  of the sintering plant

序号	除尘方案	备注
1	卧式静电除尘器	对于烧结机头的高比电阻粉尘采用宽间距设计效果最好;三电场,干式
2	回转反吹袋式除尘器	注意烟气进入除尘器前应采取降温
3	脉冲清灰袋式除尘器	措施,以免烧袋,一般采用耐高温
4	机械振打袋式除尘器	化纤针刺毡或聚酯针刺毡滤料
5	文丘里洗涤器	注意含尘废水的妥善处理,避免二次污染

## 4 结论

(1) 对首钢烧结厂的污染结点、污染物特性、污染物控制技术措施和技术规范进行了分析。

(2) 提出了烧结厂  $PM_{10}$  控制方案,对烧结厂采用高效除尘设备的  $PM_{10}$  削减量及改造费用进行了估算。

(3) 确定了烧结厂  $PM_{10}$  治理技术方案排序,以卧式静电除尘器为首选。

## 参考文献

- [1] 魏宗华,郭丰年. 钢铁工业废气治理. 北京:中国环境科学出版社,1992. 12~63
- [2] 郭丰年. 钢铁企业采暖通风设计手册. 北京:冶金工业出版社,1996. 281~286
- [3] 刘永民,任滨,艾易. 静电除尘在烧结机头烟尘治理中的应用. 工业安全与环保,2002,(8):4~6
- [4] 李依丽,李坚,李晶欣,等. 颗粒污染物净化技术经济分析. 煤炭学报,2007,32(11):1196~1200