

转炉干法除尘 应用技术

本书编委会

Application Technology of Dry Dedusting for Steelmaking Converter



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

转炉干法除尘应用技术

本书编委会

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2011

内 容 提 要

本书收录了由中国金属学会炼钢分会和中南西南西北转炉炼钢厂学会主办的转炉除尘应用技术研讨会上发表的部分论文,根据文章内容分为技术经济分析、安全问题、应用与实践、重点技术推介与应用等专题,详细探讨了转炉干法、半干法等除尘技术的设备特点、操作经验、工艺控制,对转炉除尘技术特点的分析以及对关键设备操作与应用的总结,有益于读者更好地理解和掌握该技术。

本书可供转炉炼钢工程技术人员、设计人员、科研人员、管理人员、设备制造与维护人员等阅读。

图书在版编目(CIP)数据

转炉干法除尘应用技术/《转炉干法除尘应用技术》

编委会编. —北京:冶金工业出版社, 2011. 10

ISBN 978-7-5024-5783-9

I. ①转… II. ①转… III. ①转炉—干式收尘—文集 IV. ①TF748. 2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011) 第 204849 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 刘小峰 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5783-9

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2011 年 10 月第 1 版, 2011 年 10 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 14.5 印张; 348 千字; 222 页

58.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

编 委 会

张先贵（武钢股份公司炼钢总厂）

宋 青（中国金属学会）

徐安军（北京科技大学）

赵 鸣（包钢集团公司炼钢厂）

万体娅（中冶京诚工程技术有限公司）

杨 涤（北京博谦工程技术有限公司）

余 兵 魏立军 高晓东（北京国华新兴节能环保科技有限公司）

魏屹立（西安西矿环保科技有限公司）

徐旭东（上海汇思机电有限公司）

毛盈丰（江苏神通阀门股份有限公司）

袁大为 李月英（石家庄石特阀门有限公司）

兰国强 汪 波（沈阳创思达科技有限公司）

刘 晨 施育佳（斯普瑞喷雾系统（上海）有限公司）

杜胜勇（SMS Siemag Technology (Beijing) Co., Ltd.)

张 剑（基伊埃比肖夫公司）

王 坤 王进轩（宣化冶金环保设备制造（安装）有限责任公司）

前 言

“十二五”期间是我国由钢铁大国向钢铁强国转变的关键时期，钢铁工业结构调整、淘汰落后、优化布局、节能减排的任务繁重。发展循环经济是从源头实现节能减排的有效途径，也是缓解钢铁工业发展过程中的资源、能源短缺的客观需要。因此，按照循环经济理念，建设资源节约型、环境友好型的钢铁工业，是实现由钢铁大国向钢铁强国转变的必然选择。

经过“十一五”期间的结构性调整，我国炼钢转炉已趋于大型化，达到120~300t。多家炼钢厂迅速推广了转炉干法除尘和煤气回收技术等。目前国内各转炉厂都在关注除尘技术。

以大型转炉干法除尘与煤气回收为代表的节能减排技术，以其除尘效率高、占地面积小、运行成本低等优势被越来越多的钢厂采用。但目前很多技术人员对其应用和维护技术的掌握尚有缺欠，对设备特点、运用经验、工艺控制与操作、关键设备的备品备件供应以及设备国产化等问题都需要讨论和了解。虽然一些学会举办的会议对除尘技术进行了研讨，但系统地介绍和总结干法除尘技术的书刊很少，我们借转炉炼钢厂学会的转炉除尘会议收集了三十篇论文，有除尘技术基本知识、除尘的安全和防泄爆技术、引进干法除尘技术的现场应用经验等，编辑成本书出版，以便帮助转炉技术人员掌握和运用除尘的关键技术、解决困惑，达到理想的转炉煤气干法除尘和回收指标。

本书包括引进转炉干法除尘技术在国内的应用和进展情况；转炉干法除尘系统技术国产化进展；转炉电除尘高压电源国产化及应用；转炉干法除尘系统防泄爆等重要控制技术的研究与实践；自动化及信息处理技术推动炼钢连铸过程节能减排；转炉干法煤气除尘与回收系统工艺控制与操作系统的有

关问题；转炉干法煤气除尘与回收系统关键设备运行维护维修有关问题；转炉干法煤气除尘与回收系统电气自动化系统有关问题；关键设备备品备件以及国产化技术。

为了转炉除尘技术的应用和发展，我们也收集了除干法除尘技术之外的其他方法的几篇论文。

转炉除尘技术大家都在摸索前行，本书实可谓抛砖引玉，不足之处请见谅。

本书编委会
2011年8月28日

目 录

技术经济分析

转炉干湿法烟气净化系统的比较	张 健	1
转炉一次煤气除尘新技术	J. Adams, T. Wübbels, H. Ester, K. Schmale	6
用于转炉炼钢生产的烟气清洗及二氧化碳减排技术	基伊埃比肖夫公司	14
转炉干法除尘静电除尘器的状况分析	刘 强 陈沐泽 屈红军	20
电除尘器除尘效率的影响因素	李维虎 赵保民	31
圆筒形静电除尘器本体质量控制浅析	鲁 亮 万 川 任 乐	36
转炉干法除尘采用过滤式除尘器替代电除尘器可行性探讨	梁 广 吕 强 桑杭武	40
转炉一次干法除尘控制系统的改进	陈 俊 孙 鹏	46
鄂钢转炉干法除尘与煤气回收系统电气自动化有关问题	王海舟 彭俊飞	53
大型转炉干法除尘器用智能高压电源的研究与应用	马 俊 杨 涤	64
转炉一次烟气干法除尘工艺简介	汪 波	74
蒸发冷却塔用于 OG 湿法的改造方案研究与实际效果	张剑锋 江宇辉 王晓翔	82
转炉半干法除尘的工艺原理及综合性能分析	施育佳 刘 晨 赵 华	87
转炉干法与半干法除尘技术的综合比较与分析	刘 晨	92
转炉除尘干法与湿法部分能耗和水耗指标的比较	刘 晨 陈 滨 赵 华	98

安全问题

转炉电除尘防泄爆的研究与实践	殷士杰 赵红芹 郭海卫 王 洋 李 锴	101
转炉干法除尘及煤气回收的安全问题分析与研究	贾朝卫 张素芳	106
秦钢转炉干法除尘系统泄爆分析及研究	周光科 牛明田	111
电除尘器泄爆原因浅析及应对措施	杨栋材 杨文军 贾朝卫	116

应用与实践

120t 转炉烟气干法除尘技术实践	方震宇	121
干法除尘在邯钢 250t 转炉的应用	周素强 董存武 周文灿 郇 骁 魏英皓	132

210t 转炉汽化与 DDS 系统关系的探讨	王明理	138
DDS 技术在鄂钢 130t 转炉的应用与发展	周萃翠	142
DDS 系统关键设备在鄂钢 130t 转炉的运行维护	周萃翠	150
干法除尘系统中煤气回收的应用与实践	牛明田 周光科 毕新峰	158
转炉干法除尘系统提高煤气回收率的实践	姜海林	162
转炉干法除尘与转炉湿法除尘的操作控制区别	李 强 贾朝卫	166
PLC 在转炉烟气干法除尘控制系统中的应用和深入研究	邹 波 杨 智 孙 鹏	170
串级控制在转炉干法除尘系统中的应用	杜 伟 魏立军	179
湘钢 120t 转炉除尘环缝喷嘴布置的改进效果	匡知群 宋 凯 刘 彰 刘明华 于清刚	183

重点技术推介与应用

转炉干法除尘用切换站的研制与应用	张立宏 毛盈丰	187
S7-400 在转炉煤气回收中的应用	汪 波	195
大型转炉干式静电除尘专用高压智能控制电源	北京博谦工程技术有限公司	207
转炉煤气干法电除尘器	西安西矿环保科技有限公司	209
蒸发冷却器外混蒸汽雾化喷枪系列简介	上海汇思机电有限公司	211
转炉干法除尘技术在包钢和宣钢 150t 转炉上的应用	北京国华新兴节能环保科技有限公司	213
冶金环保除尘技术国产化及应用技术	宣化冶金环保设备制造(安装)有限责任公司	215
面向冶金及轧制工艺的能源与环保技术 ...	SMS Siemag Technology(Beijing) Co., Ltd.	217
特种阀门与除尘应用技术	石家庄石特阀门有限责任公司	218
冶金环保成套应用技术	创思达科技(沈阳)有限公司	220
转炉一次除尘技术提供者	斯普瑞喷雾系统(上海)有限公司	222

转炉干湿法烟气净化系统的比较

张 健

(中冶华天工程技术有限公司环保通风室, 马鞍山 243005)

摘 要: 综合叙述了干湿法转炉烟气净化回收系统流程及特点, 重点对比分析了两套系统的技术经济指标和投资收益。

关键词: 转炉除尘; 湿法; 干法; 技术经济

Comparison Between Dry Method and Wet Method of Flue De-dusting of Converter

Zhang Jian

(The Environment Protection and Ventilation Department of Huatian Engineering and Technology Corporation, MCC, Ma'anshan 243005)

Abstract: It comprehensively narrates the procedure and the characteristic of the dry and wet method flue de-dusting and recovery system of converter. The comparison of the technoeconomic index and investment income between these two systems is especially studied herein.

Key words: de-dusting of converter; wet method de-dusting; dry method de-dusting; technoeconomic

大型转炉烟气净化的方法, 目前世界上主要有两种, 以日本 OG 法为代表的湿法净化系统和以德国鲁奇与蒂森两公司联合开发的 LT 法为代表的干法净化系统。

1 OG 湿法除尘系统简述

OG 法自 20 世纪 60 年代在日本问世以来, 已为世界各国所采用, 根据 1984 年日本川崎重工统计, 世界上大型转炉采用 OG 法的已达到 145 座。我国宝钢 $3 \times 300\text{t}$ 转炉于 80 年代初首次从日本引进此法, 国内各钢厂在消化宝钢技术的基础上都采用了 OG 法。

转炉烟气在未燃状态下经罩裙下部烟罩、上部烟罩和汽化冷却烟道冷却至 900°C , 然后进入除尘装置。除尘装置由两级文氏管洗涤器、重力脱水器和 90° 弯头、旋风复挡脱水

器组成, 烟气经净化脱水后, 合格煤气用风机送入煤气柜储存, 作燃料使用, 在吹炼前期和后期一氧化碳浓度较低时, 由三通阀切换至放散塔燃烧放散。

在回收期, 通过罩内微差压装置调节第二文氏管喉口开度, 以适应烟气量的变化, 提高回收煤气的质量。

OG 湿法系统流程:

转炉→活动烟罩→固定烟罩→汽化冷却烟道→一级文氏管→重力脱水器→二级文氏管
→弯头脱水器→旋风复挡脱水器→鼓风机→三通切换阀→放散烟囱(点火)
→水封逆止阀→蝶阀、盲板阀→储气柜

一文采用手动可调型溢流文氏管, 为达到所定的压力损失, 在一文喉口设置手动调节板, 在试车时调节至一定开度, 固定使用。使一文起到应有的降温和粗除尘作用。一文供水采用溢流和喷水结合方式。

二文采用“R-D”线性可调文氏管, 通过椭圆型阀板调节其开度, 以控制烟罩内微差压, 阀板用液压缸控制。喷雾采用喉口两侧喷水孔喷入除尘水的方式, 在非吹炼期用氮气插针清洗喷水口, 以防堵塞。

重力脱水器、弯头脱水器、旋风复挡脱水器, 内设弧形挡板和多折挡板进行脱水和除雾, 在非吹炼期用高压水清洗, 以防堵塞。

系统煤气点火放散, 排放浓度(标态)不大于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ (平均)。

转炉在吹炼时产生的含一氧化碳烟气, 经冷却、净化后由 OG 鼓风机送至阀门站。合格煤气由阀门站切换接通回收管路, 送入煤气柜储存; 转炉吹炼前后期一氧化碳浓度较低时(回收基本条件: $\text{CO} \geq 35\%$, $\text{O}_2 < 1.5\%$), 由阀门站切换接通放散管路, 至放散塔燃烧放散。

在正常操作时, 吨钢煤气回收量(标态)平均约为 $70\text{m}^3/\text{t}$ (煤气发热值(标态)为 $7524\text{kJ}/\text{m}^3$), 当铁水比为 90% 时, 吨钢回收煤气量可达 $90\text{m}^3/\text{t}$ 。

2 LT 干法除尘系统简述

LT 法 1983 年在德国试验成功以来, 鉴于其有着突出的优点, 近年来发展迅速。据统计目前世界上有近 30 座大型转炉采用了 LT 法, 运行效果良好。后奥钢联将此技术应用在它推出的创新技术上。1999 年, 我国宝钢二炼钢厂 $2 \times 250\text{t}$ 转炉的烟气净化和回收系统引进了此法, 这是继韩国光阳钢厂后亚洲又一座转炉采用了 LT 法。

据粗略统计国内大型(100 ~ 330t)转炉近 229 座, 已经采用干法除尘的已有近 92 座, 今年有近 50 座转炉欲签订合同, 有多家转炉厂欲对已有除尘设备进行升级改造。

转炉烟气净化除尘系统采取 LT 干法系统。高温烟气($1400 \sim 1600^\circ\text{C}$)经汽化冷却烟道冷却, 烟气温度降为 900°C 左右, 然后通过蒸发冷却塔, 高压水经雾化喷嘴喷出, 烟气直接冷却到 200°C 左右, 喷水量根据烟气含热量精确控制, 所喷出的水完全蒸发, 喷水降温的同时对烟气进行了调质处理, 使粉尘的比电阻有利于电除尘器的捕集。蒸发冷却器内约 40% ~ 50% 的粗粉尘沉降到底部, 经排灰阀排出。粉尘定期由加湿机搅拌加湿后由汽车运出。

冷却和调质后的烟气进入有 4 个电场的圆形电除尘器, 其入口处设三层气流分布板, 使烟气在圆形电除尘器内呈柱塞状流动, 避免气体混合, 减少爆炸成因。电除尘器进出口

装有安全防爆阀,以疏导爆炸后可能产生的压力冲击波。烟气经电除尘后含尘量(标态)降至 $25\text{mg}/\text{m}^3$ 。收集下的粉尘通过扇形刮板机,链式输送机到储灰仓,粉尘定期由加湿机搅拌加湿后由汽车运出。

LT法系统阻力很小,引风机采用ID轴流风机,有利于系统的泄爆,风机设变频调速,可实现流量跟踪调节,以保证煤气回收的数量与质量,以及节约能源。

煤气切换站由两个钟形阀所组成。当烟气符合回收条件时,烟气由密闭钟形阀切换至煤气冷却塔,煤气经过直接喷淋冷却水由 200°C 降至 75°C 左右进煤气柜,然后由煤气加压站的加压风机将煤气加压送往各用户;当烟气不符合回收条件时,烟气由密闭钟形阀切换至放散烟囱,然后通过排放烟囱点火放散。

转炉LT干法除尘系统流程如下:

转炉→活动烟罩→固定烟罩→汽化冷却烟道→蒸发冷却塔→圆筒形静电除尘器→ID风机→煤气切换站→放散烟囱
└→煤气冷却塔→煤气柜→煤气加压站

3 转炉LT干法除尘系统主要设备

3.1 蒸发冷却塔

转炉冶炼时,含有大量CO的高温烟气冷却后才能进入干法除尘系统。蒸发冷却器入口的烟气温度为 $850\sim 1200^\circ\text{C}$,出口温度约 200°C 左右。在塔体内,设置蒸汽-水双流雾化喷嘴喷水降温。双流雾化喷嘴的水量可根据进入蒸发冷却器内的干气体的热含量进行调节。通入的蒸汽使水雾化成细小的水滴,水滴被高温烟气加热蒸发,水滴在汽化过程中吸收烟气的热量,从而降低烟气温度。

蒸发冷却塔除冷却烟气外,由于细小的水滴对烟尘的润湿以及凝聚作用,粗颗粒的烟尘依靠重力从烟气中分离出来,达到初除尘的目的。灰尘聚积在蒸发冷却器底部由链式输送机输出。

此外,蒸发冷却塔还具有烟气调质功能,即在冷却烟气的同时提高其露点,改变粉尘比电阻,提高静电除尘器对粉尘的净化效率。蒸发冷却器收集的粗灰尘约占烟气中总灰含量的 $40\%\sim 45\%$ 左右。

3.2 静电除尘器

静电除尘器为四电场圆筒形静电除尘器,由圆筒形外壳、气流均布板、极板、极线、清灰振打机构、粉尘输送机、安全防爆阀以及高压供电设备等所组成。

静电除尘器是干法除尘系统中的关键设备。主要技术特点:

(1) 优异的极配形式,电除尘器净化效率高,确保排放浓度(标态)不大于 $25\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 良好的安全防爆性能。由于转炉煤气属易燃易爆介质,对设备的强度、密封性及安全泄爆性提出了很高的要求。因此电除尘器设计为抗压的圆筒形,且在进出口各装可靠的泄爆装置,从而保证了电除尘器运行的安全可靠。

(3) 电除尘器内部的扇形刮灰装置。

(4) 输灰采用耐高温链式输送机,确保输灰顺畅。

3.3 煤气冷却塔

煤气冷却塔的主要功能是对来自静电除尘器的烟气进行洗涤降温, 经过静电除尘器除尘的合格煤气 (150 ~ 200℃) 降温到 70 ~ 80℃ 后进入煤气柜。煤气冷却塔内上部设有多层喷水装置向塔内喷水, 合格烟气从煤气冷却塔下部进入顶部排出, 从而达到煤气降温作用。

3.4 ID 风机和煤气切换站

LT 干法除尘 ID 风机采用轴流风机, 该风机具有效率高和让烟气直接通过的优点, ID 风机的抽风量采用变频调速控制。

煤气切换站主要由两个严格密封的具有调节性能的液压钟形阀组成, 主要作用是完成煤气的回收和放散的功能。

3.5 控制系统

LT 干法除尘控制系统包括: 蒸发冷却塔出口烟气温度的控制; ID 风机流量的控制; 煤气切换站回收和放散控制; 静电除尘器的控制。

4 干法与湿法的技术经济分析 (以某厂 2 × 120t 转炉为例)

(1) 主要基建投资见表 1。

表 1 主要基建投资 (万元)

序 号	分项名称	干法系统		湿法系统		备 注
		单套	二套	单套	二套	
1	除尘工艺设备	2100	4200	450	900	
2	三电设备与控制	400	800	250	500	
3	除尘风机房	0	0	80	80	一、二期合建
4	水处理设施土建	0	0	440	440	一、二期合建
5	水处理设施设备	0	0	425	850	
合 计			5000		2770	

干法与湿法的基建投资基本差额为 5000 - 2770 = 2230

注: 由于其他方面 (如设备基础、管道及配件, 平台与支架等), 干湿法基本相差不大, 所以表中并未列出。

(2) 主要用电功率见表 2。

表 2 主要用电功率 (kW)

序 号	分项名称	干法系统		湿法系统	
		单 套	二 套	单 套	二 套
1	煤气风机电机功率	800	1600	2240	4480
2	电除尘器功率	250	500	0	0
3	水处理设施耗电量	0	0	70	140
4	系统消耗电量	1050	2100	2310	4620

干法与湿法的用电功率差额为 4620 - 2100 = 2520

(3) 主要用水消耗见表 3。

表 3 主要用水消耗 (m³/h)

序 号	分项名称	干法系统		湿法系统	
		单 套	二 套	单 套	二 套
1	系统循环水量	267	534	900	1800
1.1	蒸发冷却器的蒸发水量	42	84	0	0
1.2	煤气冷却器冷却水量	225	450	0	0
1.3	一二文的冲洗水量	0	0	900	1800
2	水处理后污泥的含水量	0	0	1.5	3
3	烟囱出口带走的水量	38	76	16	32
4	系统补充新水量	38	76	17.5	35

注：干法系统补充新水量大于湿法系统是由于出口湿度较高和烟气绝对压力低等综合因素所造成的。

干法与湿法主要技术经济指标见表 4。

表 4 干法与湿法主要技术经济指标

序 号	分项名称	干法系统	湿法系统
1	系统阻力/kPa	8.0	26.5
2	净煤气含尘浓度(标态)/mg·m ⁻³	20	100
3	吨钢煤气回收量(标态)/m ³ ·t ⁻¹	≥100	约 90
4	粉尘回收方式	干粉加湿外运	污泥、泥饼
5	二次污染程度	无	水污染

5 结论

两座 120t 转炉烟气净化系统干法要高出湿法的基建投资基本差额为 2230 万元，但是干法与湿法的用电功率差额为 2520kW，风机全速运行时间一般占转炉冶炼周期的比例为 0.44，所以干法较湿法年运行节电约 848 万 kW·h (360 天/年计算)。按 1 元/kW·h 计算，年运行节省电费为 848 万元，投资回收时间约为 3 年。

干式较湿式净化系统具有以下优点：

(1) 净化后的煤气含尘量(标态)可在 10~25mg/m³，可直接供用户使用。湿式系统净化后煤气含尘量(标态)约 100mg/m³，供用户使用前需再用电除尘器净化。

(2) 由于净化后气体含尘量低，因而风机使用寿命长，维护工作量小。

(3) 干式系统循环水量低，120t 转炉除尘系统用水量不会超过 267m³/h，而湿式系统的用水量超过 900m³/h。但是干式系统补充新水量实际上是大于湿法系统的，这主要是由于干式系统出口温度较高和烟气绝对压力低等综合因素所造成的。

转炉干法烟气净化以其除尘效果好、综合运行费用低、回收利用率高的优点，符合国家和地方的产业政策，成为今后的发展方向。

参考文献 (略)

转炉一次煤气除尘新技术

——第二代干法和半干法除尘

J. Adams, T. Wübbels (SMS Elex AG, Switzerland)

H. Ester, K. Schmale (SMS Siemag AG, Germany)

摘 要: 过去几年中,炼钢厂遵守环保法和能源回收成为了一个主要议题。钢铁工业清洁、绿色和可持续性发展的新工艺成为了一个焦点。

在转炉炼钢厂,煤气的净化回收普遍采用湿法或第一代圆筒形干式静电除尘器(ESP)。随着环保法规越来越严格,传统的湿法除尘技术已不再适用,干法除尘是最新的选择。然而,目前第一代的转炉一次除尘系统的静电除尘器已经不能满足最新工艺要求。因此, SMS Siemag 和 ELEX 两家公司合资成立了 SMS ELEX AG 公司,专门研发新一代转炉炼钢煤气除尘净化技术和设备。SMS ELEX 公司结合第一代电除尘器的经验和特点开发出了第二代干法静电除尘技术。

另外,我们还针对传统湿法除尘洗涤塔改造开发出一项全新的除尘技术并申请了专利:即将传统湿法洗涤塔系统和圆形湿法静电除尘器相结合的半干法(Hydro Hybrid)除尘技术,从而能够通过较低投资使其达到最严格的环保要求。

本文介绍了第二代干式除尘器的最新技术进展,并对半干法除尘技术的投资和运行成本进行了对比介绍。

关键词: 转炉炼钢; 煤气净化; 环保技术; 静电除尘器

New Technologies for BOF Primary Gas Cleaning —2nd Generation of Dry-type ESP and Hydro Hybrid Filter Technology

J. Adams, T. Wübbels (SMS Elex AG, Switzerland)

H. Ester, K. Schmale (SMS Siemag AG, Germany)

Abstract: The compliance with environmental regulations and energy recovery in steelmaking plants have become a major issue within the last few years. Thus, clean, green and sustainable technologies for the steel industry have become a major focus.

In BOF plants utilizing converter gas recovery, nowadays gas cleaning is only possible by wet scrubber of round dry-type electrostatic precipitators (ESP). As environmental regulations will become more restrictive and wet scrubbers may no longer fulfil these requirements, dry-type ESP are a suitable alternative.

However, the current generation of ESP for BOF primary off-gas dedusting processes do not comply with the latest available state-of-the-art ESP technology. Due to this fact, the two companies SMS Si-

emag and ELEX have founded a joint venture, the new company SMS ELEX AG, with the intention to develop a new generation of gas cleaning equipment for converter off-gas from BOF melt shops.

Consequently, SMS ELEX has designed a 2nd generation of round dry-type ESP, incorporating the latest electric filter know-how.

Moreover, a brand-new process has been developed and patented to upgrade existing gas cleaning systems using wet scrubbers with a round wet-type ESP. The combination of these two technologies is called Hydro Hybrid Filter and enables existing BOF scrubber units to comply with most restrictive environmental regulations, at very low investment cost.

The presentation illustrates the main points of improvement of the 2nd generation dry-type ESP. Secondly, the principle of the Hydro Hybrid Filter will be explained, followed by highlighting investment cost and the effects on operating costs.

Key words: oxygen steelmaking; gas cleaning; environmental technology; ESP filter

1 转炉一次煤气净化除尘技术的发展

现在, 转炉车间普遍采用湿法洗涤塔、干法或半干法静电除尘器净化回收煤气。随着环保要求越来越严格, 湿法除尘已不再能满足环保法的要求, 干法或半干法除尘是转炉一次除尘的最佳选择。

与湿法洗涤塔相比, 干法除尘具有以下优点:

- (1) 煤气含尘量低;
- (2) 运行成本低;
- (3) 维护工作量小;
- (4) 不需要水处理系统。

然而, 目前第一代干法静电除尘器已经不适合最新工艺要求。在这种情况下, SMS Siemag和 ELEX 两家公司合资成立了 SMS ELEX AG 公司, 专门研发用于转炉炼钢煤气净化和回收技术。

SMS ELEX 结合第一代电除尘器的经验和特点开发出了第二代干法静电除尘器 (ESP)。另外, 还针对传统湿法除尘洗涤塔改造开发出一项全新的除尘技术并申请了专利: 即将传统湿法洗涤塔系统和圆形湿法静电除尘器相结合的半干法 (Hydro Hybrid) 除尘技术, 从而能够通过较低投资使达到最严格的环保要求。另一个优点是改造对现有洗涤塔进行改造只需要很短的停产时间。

2 第二代转炉干法除尘技术

转炉产生的煤气需首先经过冷却烟道进行冷却 (图 1), 从 1600℃ 降到大约 900℃ 左右。为使静电除尘器达到更好的除尘效果, 煤气自冷却烟道出来后再次进入蒸发冷却器 (GCT) 冷却, GCT 出口的饱和气体温度大约为 200℃。只有煤气达到预期冷却和处理效果, 静电除尘器 (ESP) 才能发挥高效除尘的作用, 除尘效率可达 99.98%。静电除尘器内的底部粉尘通过刮灰装置被传送到链式输送机, 然后通过氮气驱动被输送到细灰仓。当然也可以采用压缩空气驱动。

煤气通过 ESP 后的 ID 风机流经蒸发冷却器 GCT 和静电除尘器 ESP。根据 CO 的实际含

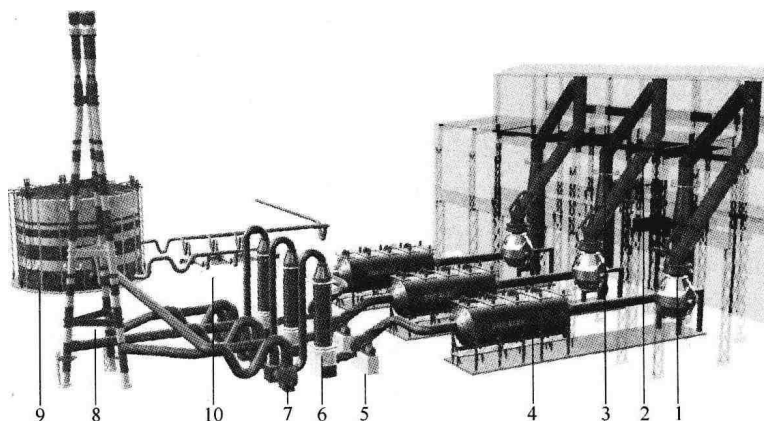


图1 干法 FSP 转炉煤气净化及回收设备

- 1—升降烟套 (AS); 2—冷却烟道 (CS); 3—蒸发冷却器 (GCT); 4—静电除尘器 (ESP);
5—轴流风机 (IDF); 6—煤气冷却器 (CK); 7—切换站 (SOS); 8—放散烟囱 (FS);
9—煤气柜 (GH); 10—出口煤气站 (BFS)

量, 处理后的煤气进入下游回收工序或直接通过烟囱放散。当煤气中 CO 含量超过 45% 才可以送往煤气柜中回收利用。然后对煤气进行进一步处理, 以便能在常压下存储。这样, 在 ID 风机和切换站之间安装一个煤气冷却器 (GK)。为了安全起见, CO 含量少于 45% 的煤气将通过烟囱被燃烧放散。从煤气烟囱中排放出的废气灰尘含量应小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2.1 蒸发冷却器 (GCT)

蒸发冷却器有两个基本功能: 其一, 将煤气的温度降低到下部工序 (ESP) 需要的温度; 其二, 煤气应被处理到能使 ESP 达到最佳处理效率的条件。

煤气在冷却烟道末端的最大温度介于 900°C 到 1000°C 之间。SMS ELEX 的蒸发冷却器为了优化整个截面的流场, 煤气进入 GCT 后首先要进行分配。图 2 举例说明了在蒸发冷却

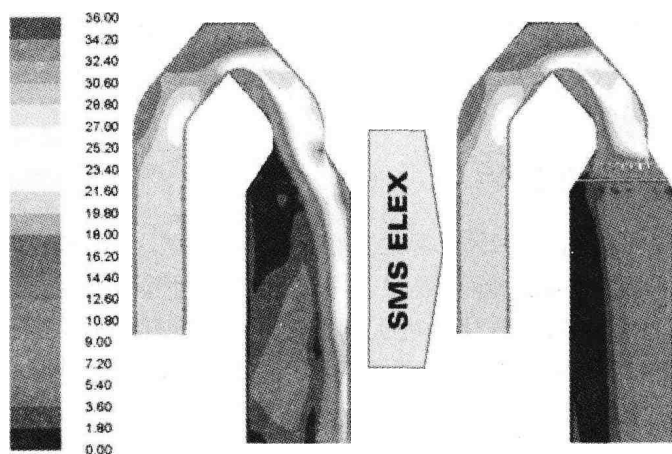


图2 煤气处理塔截面气流速度 (m/s)

器内部有无气体分配系统的不同。在特殊的情况下气体分配优化是需要考虑单独布局仿真和相应的工艺数据。

在蒸发冷却器入口通过煤气分配器对气体进行优化分配, 气体回流造成的内壁灰尘结块问题(特别是在靠近喷射点附近) 就能得到有效避免。在很多第一代蒸发冷却器的使用经验中表明: 这种太大的结块下落时会破坏粉尘输送系统。通过在蒸发冷却器入口的煤气分配装置, 整个除尘系统会更加稳定高效, 并且可显著降低维护工作量更低。另外, 煤气分配可以显著提高后续静电除尘器(ESP) 的除尘效率。

为了使煤气温度降低到 200°C 左右, 在煤气分配器下面再通过全水雾化或气雾喷嘴将水喷到热煤气流中。冷却水通过雾化喷嘴达到雾化, 最小压力需要 3MPa 。气雾喷嘴中的气体可以起到将水雾化的效果。水滴被喷射到热煤气流中被化为蒸汽。这样, 煤气温度持续不断降低到要求的 200°C , 达到 ESP 操作条件。此时煤气中含约 30% 的水蒸气。采用全水雾化喷嘴最大的优点是系统只需要水而不像气雾喷嘴那样需要额外的气体介质, 这样可降低运行成本。但是, 如果现场空间受到限制, 采用气雾喷嘴可以将蒸发冷却器设计小一些, 因为气雾喷嘴可以产生更小的水滴。

喷水量不仅由蒸发冷却器出口温度来决定, 而且与入口气体的温度和流量有相当大的关系。由于温度和流量的差异和偶然性, 尤其在每次冶炼周期的间隔, 应考虑到一个前馈控制。即使内部有煤气分配系统, 蒸发冷却器内也会产生小于 0.45GPa 的最大压差。在蒸发冷却器内通过重力分离出的灰尘被输送系统运到灰仓内。

2.2 第二代干法静电除尘器

干法除尘器的原理是利用静电来实现粉尘分离。电子从阴极高压电极发射出来, 因电势差移动到接地钢板上。在此过程中电子黏附在煤气中的粉尘上, 因此粉尘颗粒带有负电荷, 电场促使这些颗粒向收集板移动并附着沉积。

SMS ELEX 圆形静电除尘器的收尘极由异型钢板组成, 形成一个废气通道。放电电极被安排在 400mm 宽通道的轴向区域。机械振打装置通过定期振打清理收尘极钢板。

静电除尘器被分成几个“电场”: 从机械和电气角度来讲, 转炉一次除尘通常分为 4 个。机械分离的每个场都有自己的振打和刮灰装置, 电气分离是通过每个场采用独立的高压装置。采用这种设计, 当一个电场出现问题时不会影响到其他电场。

2.3 放电电极

放电电极是静电除尘器的核心部件。如果不能正常有效发挥作用, 粉尘的电离也不会很理想, 电除尘器的效率因此会严重降低。另外, 非常重要的一点是静电除尘器的电极不能折断, 否则会引起电场的短路。很多转炉干法除尘用户报道出现过此类问题。后来研究发现原因之一是分离的粉尘在吹炼过程中由于 CO 没有被氧化。在非吹炼阶段, 周围的空气通过 ESP, 粉尘粘接在内部部件上并和 O_2 发生反应开始发热。由于热膨胀和材料的相应临界温度, 内部部件产生很大的应力。这种现象尤其对第一电场的放电电极造成影响。根据客户的报告, 这样会造成电极扭曲或断裂, 电场关闭。

根据这些报告和 ELEX 公司 75 年来的经验, SMS ELEX 采用特殊管式专利设计, 强度