

## 转炉除尘技术发展现状

李静, 梁精龙, 霍东兴, 刘鹏, 任立志, 张登宇, 高洁, 王于月, 李慧

(华北理工大学冶金与能源学院 现代冶金技术教育部重点实验室, 河北 唐山 063009)

**摘要:** 现阶段转炉炼钢是炼钢技术中是比较常见的工艺之一。由于在其过程中会产生大量气体和粉尘, 故转炉除尘工艺是减少炼钢过程中排放烟尘的必要措施。主要介绍转炉炼钢除尘技术的发展现状, 将其中的湿法和干法两种方式中的各种除尘手段以及创新之处进行总结, 并分析每种除尘方法常见的问题和除尘效率、能耗、系统阻力、设备结构复杂程度等方面的优缺点, 针对不足之处提出相应的改进建议。目的在于能用这些建议合理解决存在的问题, 从而使除尘系统出错的概率降到最低, 以此才能保证钢铁生产的稳定性和企业的节能减排规划, 这样才有利于促进炼钢企业科学健康地发展, 促进国家的经济建设。

**关键词:** 转炉炼钢; 除尘技术; 现状; 问题; 改进

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.03.005

中图分类号: TD989;TF066

文献标志码: A

文章编号: 1000-6532 (2018) 03-0030-04

我国钢铁工业受宏观环境和钢铁企业自身的影响, 开始面临着“低价格、低效益、低消费、低增长和高压”困境, 并已成为行业新常态<sup>[1]</sup>。转炉除尘技术通常分为湿法除尘、干法除尘两大类。即便这两种除尘技术在转炉炼钢中常常被应用, 但仍存在缺点, 这些缺点不仅影响转炉烟除尘技术充分发挥它的作用, 还造成资源的浪费, 增加了在技术实施时出现问题的概率。现分析这两种除尘的方法, 并对其包含的问题进行研究和讨论<sup>[2]</sup>。

## 1 湿法除尘工艺

### 1.1 传统 OG 工艺

20 世纪 60 年代初, OG 法首先在日本发展起来<sup>[21]</sup>。此工艺由定径溢流文氏管、调径文氏管两个文氏管和重力脱水器、90°弯头脱水器、丝网脱水器三个脱水器组成通常称之为“二文三脱”。这种湿法除尘工艺成熟可靠, 系统相对简单, 传统的 OG 工艺流程为: 转炉产生的烟气先被活动烟罩收集, 再经气化冷却道冷却, 进入一级溢流

式固定喉口文氏管, 在其中进行粗除尘、脱水器初步脱水, 再经二级可调翻板文氏管进行精除尘、脱水器再次脱水, 最后通过风机进入三通阀, 回收或者放散。该系统比较简单, 其优点是安全可靠, 但该工艺运行阻力大、水电消耗大, 而且必须备有投资昂贵、运行费用大的污水处理设备<sup>[4]</sup>。

针对 OG 工艺结垢问题, 天铁集团炼钢厂着手水质的改善, 他们曾试验过多种复合防垢剂, 最后综合考虑运行成本以及使用效果, 将防垢剂定位在, 通过控制除尘水的 PH 值在 9 附近, 成功解决了系统结垢问题。其原理为:



将脱水器改造为文丘里管加漩流脱水器, 可有效解决脱水效果不明显这一问题。原理是文丘里管具有收缩扩张特性, 能促进含尘液滴的长大, 为漩流脱水器脱水创造条件, 并且漩流叶片采用 45°下旋方式<sup>[5]</sup>。

为使用水量与喷嘴之间相互协调, 可对转炉除尘系统的“一文”、“二文”两个喷嘴进行改造,

收稿日期: 2017-01-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51474093); 河北省自然科学基金资助项目 (E2016209163); 国家级大学生创新训练计划项目 (X2016033)

作者简介: 李静 (1994-), 女, 研究方向为化学冶金。

通讯作者: 梁精龙 (1979-), 男, 博士, 副教授。

尽量使用不易堵塞又自身雾化好的喷嘴，以此实现降低用水量 30%~50%，达到减少污水处理设备负荷、降低运行费用的目的。

### 1.2 第四代 OG 湿法

目前我国钢铁工业节能减排的薄弱环节在于绝大多数转炉的一次烟气除尘采用的是较落后的传统湿法技术<sup>[6-7]</sup>。20世纪90年代国内大型钢铁企业引进了国外第四代OG湿法技术，比传统的湿法除尘效果明显提高，这是一种取得了突破性进展的一次烟气除尘技术<sup>[8]</sup>。

该工艺将喷淋塔取代传统OG工艺的“一文”、环隙洗涤器代替二文。比传统OG工艺的运行系统更加安全可靠，设备运行阻力更小，能量回收更稳定，除尘效率更高，设备使用寿命增长，并且较好地解决了管道堵塞、泥浆处理设备的配置问题。

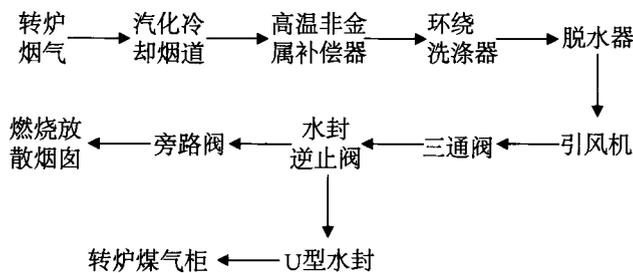
但是第四代OG湿法的喷淋塔使用的气雾喷枪，会造成大部分的净环水会析出排入浊环处理系统，从而造成了该系统巨大的负担及溢出。对此，目前有两种改进方案：第一个方案是河北钢铁集团燕山钢铁有限公司两座150吨转炉采用的间歇供水方式的气雾喷枪，使它与风机转速联锁，在风机低速时停止气雾喷枪供水，达到节约净环水的使用量。第二种方案是方大特钢科技股份有限公司80t转炉采用的将喷淋塔改用高压喷枪，使用浊环水，提高用水点到站压力至1MPa，喷出粒径为300μm的小雾滴，几乎不影响蒸发换热。使用第二种改进方案，高压喷枪可以不使用净环水，同时也节省了氮气的用量，降低了系统运行成本。对比上述两种方案，第一种方案可以保留原有气雾喷枪配置的同时缓解净环水用量问题；第二种方案则更彻底地解决了该问题，但增加一部分增压管路的维护量。

第四代OG湿法采用顶拉式的驱动形式的RSW洗涤器。该形式对喷嘴的雾化效果会产生干扰，以致降低除尘效果，并且对于高浓度CO的烟气来讲，增加了安全风险。对此，采用底推式驱动代替顶拉式驱动，从根本上拉式驱动方式存在的问题<sup>[4]</sup>。

### 1.3 塔文工艺

塔文工艺是将环缝文氏管与洗涤塔的组合成的高效除尘塔来实现的，其流程可简化为<sup>[9]</sup>：

该工艺的系统简单、阻力小、风机能耗低、净化效率高；但是塔文结构复杂，需要的投资高，除尘水用量偏大，检修清理不方便<sup>[2]</sup>。

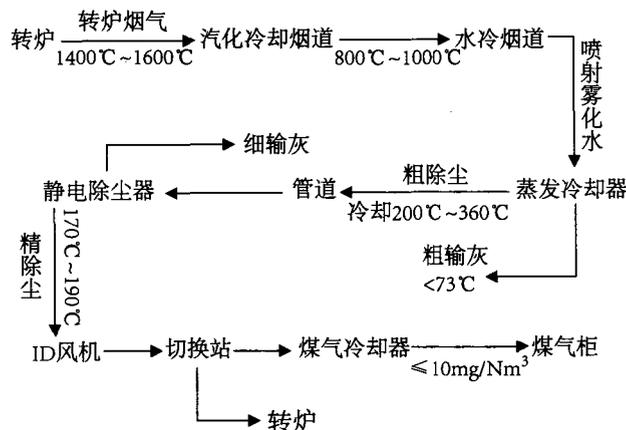


## 2 干法除尘工艺

### 2.1 干法除尘工艺

一次干法除尘方法由德国鲁奇公司和德国蒂森钢厂联合开发问世，简称为LT法<sup>[10]</sup>。干法除尘技术可供转炉炼钢前期过程的部分或所有的能耗，在国际上被认定为今后转炉除尘领域的发展方向，可能实现转炉炼钢零能耗的目标<sup>[11]</sup>。并且，干法除尘能够克服湿法除尘处理后烟气含尘量较高、水资源浪费严重、二次污染、电能消耗很高；设备腐蚀、结垢等严重问题<sup>[12]</sup>。

LT法首先利用将尘粒喷射雾化水后进行粗除尘，然后利用静电除尘器电极放电使尘粒带电，在通过产生的电场将带电尘粒吸附在电极上进行精细除尘，流程为<sup>[13]</sup>：



LT法对转炉工艺操作要求严格，若冶炼过程操作不合理，静电除尘器就容易发生泄爆，严重时还会使极线断裂，极板变形，造成生产事故<sup>[14]</sup>。因此，需要保证电除尘器和输灰系统等设备的高要求管理，才能使干法除尘正常运行<sup>[15]</sup>。

对于部分钢厂通过通入惰性气体解决泄爆问题。例如莱钢放置4个氮气喷嘴在蒸发冷却器出口管道上，氮气引入由气动球阀控制的自转炉低压氮气管道，气动球阀随着氧枪打开而打开，可延时90s后关闭。天铁在开始冶炼前40s，用直径为80

mm 的管道向除尘系统持续吹入氮气 70~90 秒<sup>[16]</sup>。

宣钢对干法除尘做出大量的创新与改进,像是烟气稳流技术、炉口微差压自动调节、煤气系统优化、干法除尘系统自测试等,都取得了显著的效果<sup>[17]</sup>。

## 2.2 电除尘技术

电除尘工艺是利用静电场将空气电离为正离子和电子,电子奔向正极板过程中会遇到空气中的尘粒,最后使尘粒带负电被收集到正极板上的方式来进行除尘的。

各国转炉炼钢领域对电除尘工艺进行不断的摸索和创新。在材料上增加了 1、2 电场极线的厚度,采用耐腐蚀的合金材料制造极板、极线均。

对于粉尘黏结、筒壁结垢等现象,原因是蒸汽压力低时,烟气中增加的含水量造成的。解决此问题的根本措施是提高蒸汽压力,具有 120 t 转炉的包钢将蒸发冷却器的喷嘴处蒸汽压力维持在 1 MPa,达到较好的效果<sup>[18]</sup>;将转炉自身蒸汽与外部供气联合运行确保做到连续稳定的供应喷嘴蒸汽压力,首钢迁钢采用此方法效果显著<sup>[19]</sup>;莱钢 120 t 转炉的蒸发冷却器用氮气雾化取代蒸汽雾化,喷嘴处的氮气压力达到大于 0.75 MPa 的效果,使桶壁积灰有效减少、喷枪的使用寿命延长<sup>[20]</sup>。

包钢将风机的冷却水直接串联在高炉的直接循环水路上,不仅简化了操作,还保证了设备的安全、工作人员的检查方便<sup>[21]</sup>。

## 2.3 西门子 DDS 工艺

西门子 DDS 工艺是对于上文提到的传统 LT 工艺回收粉尘中化学元素锌造成的转炉中耐火材料更换周期短、冷却塔中氧化锌结块的问题改进后的优良工艺。它增设了一套专门分离富锌粉尘并特殊处理的系统。该系统是通过安装于烟气管壁的线激光测锌装置来实现的,当烟气中锌元素含量超标 20% 时,这样最后处理烟气中灰尘得到的产物就不再用于转炉内部生产使用,而是输送给专门的制锌企业,这就有效解决了锌富集的问题。另外,西门子冶金技术部还通过研究设计联合控制系统来降低新技术的运行成本,该系统是通过安装于烟道的粉尘在线监测系统,使粉尘实际排放量超标时就加大静电除尘器电压,可以降低负载情况下的功率输入显著减少<sup>[22]</sup>。

西昌钢钒建造 200 t 转炉时就是采用奥钢联在

传统 LT 法基础上改进的 DDS 技术,通过一系列装料控制、氧枪操作控制、造渣控制、联锁控制及干法除尘系统所需水量、温度控制等系列控制技术的开发应用,做到转炉干法除尘零泄爆。

## 3 其他除尘工艺

### 3.1 超高压宽间距电除尘器

亨利希在 20 世纪中叶首次提出将电除尘器改为宽间距电极的想法<sup>[23]</sup>。电除尘器是利用设备电极放电将烟尘吸附于极板上达到除尘的效果,根据相关公式的运算,使用超高压电源驱动和宽间距的电极操作的方式可大大提高除尘效率。因此,即使减少设备极板的数量,仍能达到像低电压、窄间距系统一样的除尘效率。

目前,我国已经研制出具备超高压宽间距性质的电除尘器,通过加大电除尘器适用的粉尘比电阻范围,当烟气含尘量超标时,满足要求的除尘效率。该类型除尘器既可保证转炉要求的除尘效果,又能长期稳定运行,并且工作中发生危险的概率低。

### 3.2 电袋一体化除尘器

布袋除尘技术具有除尘效率较高、处理后的煤气显热高、无污水、系统阻力小的优势,不但可以节省大量的水资源,而且能够提高热风温度,减少燃料的消耗<sup>[24]</sup>。

电袋一体化除尘器是一种将电除尘器与布袋除尘器相结合的高效除尘器,即在布袋开口前方位加一个多级电场。该除尘器既能高效克服静电除尘器对细小颗粒控制效果差的不足,又能克服布袋除尘器在较为普遍的温度高、湿度高、容易黏结的粉尘环境中无法一次除尘的弊端。

## 4 结 论

(1) 通过上述对当今转炉炼钢除尘工艺和设备的总结和比较可以看出,最先流行的湿法除尘和目前被大多数企业所认可的干法除尘都具有各自的优缺点,而不同类型的炼钢转炉所需要配备的除尘技术也应各有特色,目前我国已经拥有比较先进的除尘工艺,只要从根本上将转炉和除尘工艺结合在一起,做到因地制宜、因材施教,我国就能在该领域达到突破性的进展。在转炉炼钢除尘工艺的未来发展中,只有依据科学的方法进行烟气除尘,才能实现维护生态环境健康和工业

生产不落后的共同目标; 只有积极研究和优化转炉除尘技术, 再将其与环保设施有效地结合, 才能做到既增强转炉除尘效果, 又减少资源消耗最终仍能确保生产的安全有序进行。

(2) 随着社会对钢铁企业生产节能减排要求的提高, 干法除尘也逐渐受到了更多企业的重视和青睐。虽然干法除尘的能耗、水耗比较高, 其仍然是世界上公认的技术。干法除尘技术的优点已成为未来发展的主流方向, 转炉除尘干法技术进一步的推广应用以及不断的完善, 将对我国转炉企业节能减排、资源环境可持续发展起到进一步的推动作用。

### 参考文献:

[1] 武国平. 首钢转炉一次除尘尘泥生产转炉冷却造渣剂应用研究 [A]. 第十届中国钢铁年会暨第六届宝钢学术年会论文集 III[C]. 中国金属学会、宝钢集团有限公司, 2015, 5.  
[2] 李海英, 张滔, 滕军华, 等. 转炉 LT 干法除尘工艺应用存在问题及解决方法 [J]. 第十届中国钢铁年会暨第六届宝钢学术年会论文集 II[C], 2015. 5.  
[2] 刘瑛, 方宏辉, 卢丽君, 等. 转炉除尘技术现状及发展趋势 [J]. 化学工程与装备, 2015,(06): 206-207.  
[22] 张东丽. 世界转炉煤气干法除尘技术问题和措施分析 [N]. 中国冶金报, 2012-11-24(B03).  
[16] 张东丽, 毛艳丽, 曲余玲, 等. 转炉煤气干法除尘技术 [J]. 世界钢铁, 2012, 2(5): 51-59.  
[8] 文福, 肖萍, 路遥. 首钢水钢 100t 转炉一次烟气新 OG 法除尘工程 [J]. 环境工程, 2012, 31(4): 63-65.  
[4] 王宇鹏, 王纯, 俞非澹. 转炉烟气湿法除尘技术发展及改进 [J]. 环境工程, 2011, 29(5): 102-104.  
[9] 赵红. 新型塔文除尘技术在改、扩建工程中的应用 [A]. 第十六届全国炼钢学术会议论文集 [C]. 中国金属学会炼钢

分会, 2010, 4.

[23] 包可宏. 宽间距电除尘器在实际工程中的应用 [A]. 第十二届中国电除尘学术会议论文集 [C]. 中国环境保护产业协会电除尘委员会, 2007.  
[5] 唐国新. 转炉 OG 法除尘的探讨与实践 [A]. 2004 年全国炼钢、轧钢生产技术会议文集 [C]. 中国金属学会, 2004, 4.  
[6] 巩婉峰. 转炉一次除尘新 OG 法与 LT 法选择取向探析 [J]. 钢铁技术, 2009, 38(4): 46-50.  
[7] 郭红, 程红艳, 陈林权. 国内转炉一次烟气除尘技术及其发展方向 [J]. 炼钢, 2010, 26(3): 71-74.  
[10] 李寿金. 干法除尘在济钢 210t 转炉的成功应用 [J]. 科技信息, 2011, 28(3): 57-58.  
[11] 马良. 转炉煤气干法除尘回收系统关键技术的优化应用 [J]. 环境工程, 2013, 31(3): 51-54.  
[18] 周茂林, 吴强, 马丽, 等. 莱钢 120 t 转炉干法除尘系统优化改造实践 [J]. 山东冶金, 2008, 30(6): 25-26.  
[19] 赵明泉, 赵鑫. 预防转炉电除尘系统泄爆的有效措施 [J]. 包钢科技, 2010, 37(2): 11-13.  
[20] 陶有志, 韩渝京, 孙东生. 迁钢 210t 转炉煤气干法除尘工艺生产实践 [J]. 冶金能源, 2010, 29(5): 15-17.  
[3] 周茂林, 沈惟桥, 孟宪俭, 等. 莱钢 120t 转炉烟气干法除尘工艺技术 [J]. 山东冶金, 2005, 27(5): 17-19.  
[14] 王玉生, 潘树敏, 冯春松, 等. 邯宝 250t 转炉烟气干法除尘工艺的应用 [J]. 河北冶金, 2009, 31(02):48-49+55.  
[15] 陈滨. 三钢转炉湿法除尘与干法除尘的应用比较 [A]. 第九届中国钢铁年会论文集 [C]. 中国金属学会, 2013, 5.  
[21] 肖伟. 包钢高炉炉前技术和工艺进步 [A]. 2010 年全国炼铁生产技术会议暨炼铁学术年会文集 (上) [C]. 中国金属学会、中国金属学会炼铁分会, 2009.  
[24] 那树人. 炼铁技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.  
[12] 郭红, 程红艳, 陈林权. 国内转炉一次烟气除尘技术及其发展方向 [J]. 炼钢, 2010, 26(3): 71-74.  
[17] 殷瑞钰. 我国炼钢 - 连铸技术发展和 2010 年展望 [J]. 炼钢, 2008, 24(6): 1-12.

## Development Status of Converter Dust Removal Technology

Li Jing, Liang Jinglong, Huo Dongxing, Liu Peng, Ren Lizhi, Zhang Dengyu, Gao Jie, Wang Yuyue, Li Hui (Key Laboratory of Ministry of Education for Modern Metallurgy Technology, College of Metallurgy and Energy, North China University Of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China)

**Abstract:** At present, converter steelmaking is one of the most common processes in steelmaking. The process will produce a lot of gas and dust, so the converter dust removal process is to reduce the emission of steel in the process of the necessary measures. The current situation of the development of dedusting technology mainly introduces steelmaking, all kinds of dust which means wet and dry in two ways and innovations are summarized, and the analysis of the common problems and methods of each dust collection efficiency, energy consumption, system resistance, complex equipment structure, advantages and disadvantages of the shortcomings of recommendations the corresponding improvement. The aim is to reasonably solve the problems with these suggestions, so that the probability of error of the dust removal system to a minimum, in order to guarantee the stability and production of iron and steel enterprises in energy-saving emission reduction plan, which is conducive to promoting the healthy development of science steel-making enterprises, and the country's economic construction.

**Keywords:** Converter steelmaking; Dust removal technology; Present situation; Problem; Improvement