

基于转炉一次烟气除尘技术的对比分析和研究

于德良 赵健东

江苏永钢集团有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i5.3204

[摘要] 针对炼钢过程转炉烟气污染风险高,能源浪费,煤气回收率不足的问题,本文主要分析研究现有的主流一次除尘工艺。重点对新OG湿法,LT干法以及半干法进行了详细的对比分析。以钢铁行业工业检测参数为依据,论述了不同技术所对应的除尘机理及流程、能耗和运行特性。研究表明:湿法操作维护简单;干法除尘具有最优的除尘能力,并可增加20%以上的煤气回收量;而适应性较好的半干法则投资较少。本文总结出各种技术的适用条件,指出了存在的缺陷并提出改善意见,对企业选择适合自身的转炉一次除尘工艺及超低排放改造提供参考依据。

[关键词] 转炉; 一次烟气; 除尘技术; 湿法除尘; 干法除尘; 超低排放

中图分类号: TU834.6+35 **文献标识码:** A

Comparative Analysis and Research on Primary Flue Gas Dust Removal Technology Based on Converter

Deliang Yu Jiandong Zhao

Jiangsu Yonggang Group Co., Ltd.

[Abstract] In view of the high risk of converter flue gas pollution, energy waste and insufficient gas recovery rate in steelmaking process, this paper mainly analyzes and studies the existing mainstream primary dust removal technology. The new OG wet method, LT dry method and semi-dry method were analyzed in detail. Based on the industrial detection parameters of iron and steel industry, the dust removal mechanism and process, energy consumption and operation characteristics corresponding to different technologies are discussed. The research shows that the wet operation is simple to maintain; Dry dust removal has the best dust removal ability and can increase the gas recovery by more than 20%; The semi-dry method with better adaptability has less investment. This paper summarizes the applicable conditions of various technologies, points out the existing defects and puts forward suggestions for improvement, which provides reference basis for enterprises to choose suitable primary dust removal technology of converter and ultra-low emission transformation.

[Key words] converter; primary flue gas; Dust removal technology; Wet dust removal; Dry dust removal; Ultra-low emissions

引言

转炉炼钢生产过程产生高温、高含尘烟气,含有氧化铁粉尘和一氧化碳等污染物,直排大气造成污染并浪费可以利用的煤气和余热资源。在钢铁行业实施超低排放和低碳的政策背景下,转炉一次烟气除尘是炼钢环保治理的关键环节。新OG湿法、LT干法和半干法三种转炉烟气除尘工艺目前在国内外钢厂普遍应用,除尘工艺原理不同,工艺设备各异,所耗能量差别明显。为了更好地适应不同冶炼工况下除尘需要,本文依托工业实测结果,详细比较三种除尘技术的性能、经济指标和存在的问题,探讨技术改进措施,为钢铁清洁化和低碳化生产建言献策。

1 转炉一次烟气基本特性与除尘技术要求

1.1 烟气的基本性质

转炉一次烟气是指冶炼时产生的初始高温工业烟气,受供氧强度和炉料条件等因素的影响,烟气温度波动在1100℃~1600℃之间,含尘浓度变化较大平均维持80~150g/Nm³的水平。烟气粉尘成分主要为金属氧化物中Fe₂O₃、FeO占的比例达90%以上,其他杂质甚微;粒度组成集中于0.1~10 μm,其中微细可吸入粉尘比例很高,这种粉尘质量轻,分散性强,给一般的除尘方式捕捉带来困难。一氧化碳体积分数高达60%~85%,热值很大具有很高的回收价值。此外,在烟气中还有少量硫化物、硝化物等酸性腐蚀性物质存在,给除尘设备金属件及密封结构产生腐蚀,对设备防腐性能提出了很高的要求。另外,采用间歇式炼钢,即开始、中期与后期烟气的量、烟气成分存在明显的周期性变化,

并且对除尘系统调节灵活和良好的适应工作能力都提出很高的要求^[1]。

1.2 行业除尘技术管控要求

根据钢铁行业现行的超低排放和低碳政策,转炉除尘系统不仅要实现粉尘的收集净化功能,还需承担煤气回收利用、余热富集利用的功能,并实现二次能源的回收再利用,生产中的一氧化碳可燃易爆,对系统的密闭和泄压防爆要求可靠,不能有漏气、爆炸等隐患事故发生^[2]。从工程设计角度看,要求除尘设备阻力运行稳定、能耗较低、输送风机耗能小;整体结构紧凑、运维维护简单、适应不同吨位转炉冶炼需要,能长期连续性地保证其生产稳定,同时能在保证环保要求的基础上实现安全生产与成本之间的合理平衡^[3]。

2 主流转炉一次烟气除尘技术工艺分析

2.1 新OG湿法除尘技术

新OG湿法除尘是在原文丘里湿法除尘基础上改造而成,目前在转炉改扩建中广泛使用,其主要原理是采用高压液体洗涤粉尘的成熟工艺,工艺流程简单可靠。来自转炉吹炼的高温烟气首先经过汽化冷却烟道用水冷降温至900℃左右,再通过一级粗除尘文氏管和二级可调式文氏管,管道内设置有喷淋高压水雾装置,以高速雾化的水雾对烟气进行全方位的喷淋洗涤,通过惯性碰撞、毛细吸附、凝聚沉降等物理过程来截留烟气中的固体颗粒。经过净化并夹带液态水雾的烟气经折流脱水器去除了液态水雾后得以实现烟气净化排放。该工艺的核心设备就是二级除尘用可调式文氏管,它能及时随瞬时烟气量大小自动调节喉口的开度,适应了转炉整个吹炼过程工况的变化^[4]。

设备结构简单,制作成本低,系统密封性强可杜绝可燃一氧化碳烟气的外泄,安全性能高,对生产操作要求低。然而在实际工业运行中,该技术存在着较为明显的技术缺陷,工艺运行阻力较大,在22~25 kPa之间,引风机处于满负荷运行,风机电耗较高,并且湿法工艺产生较大的工业洗涤废水量,其中含有大量的重金属离子和悬浮的氧化铁粉尘,污染物浓度大需要配套专用污水处理及沉淀循环装置,后期维护运行费用相对较大。受水洗物理机理影响,微米级以下的微细粒捕集能力有限,一般情况下的排放浓度很难达到当前行业内超净排放的最高管控水平,其后续环保潜力不足^[5]。

2.2 LT干法除尘技术

LT干法除尘是无水干烟气净化工艺,不需要水洗和喷淋,主要通过高压静电除尘原理实现粉尘的分离与净化。转炉高温一次烟气先进入汽化冷却烟道进行初步换热降温使温度控制在850~1000℃范围内,然后进入蒸发冷却器,在此设备中通过对雾化水进行准确计量喷雾,使得烟气温度在不出现液态水的前提下调节到180~220℃,同时促使烟气中微细尘粒碰撞、黏结变大并改善尘的黏附性。烟气经过调质处理后送入一个圆筒型卧式电除尘器中,借助高压直流电场作用下粒子带电,利用粒子受电场吸附力而堆积于极板表面上,通过机械振打装置将堆积粉尘抖落下来密闭储存。经净化的洁净烟气则送入煤气回收管网。

干法除尘没有生产污水的产生,也不需建设污水处理系统,附属配套设备少,系统运行阻力为7~9kPa,比风机送风能耗低于传统的湿法工艺。静电除尘可以有效地捕捉微细粉,稳定情况下可使颗粒物排放浓度控制在5mg/Nm³以内,低于超低排放标准要求,并且气体净化后的温损小、煤气纯度高,吨钢回收煤气80Nm³以上,具有资源回收价值。但是该工艺由于其设备制造成本高,自动化控制系统逻辑严密而复杂,对现场操作与维护水平的要求很高,在冶炼高温环境下,静电极板容易氧化腐蚀及积灰结垢,检修频繁,备件更换率高,后期维护费用大。

2.3 半干法除尘技术

半干法除尘将湿法调质与干法过滤的优点结合起来,采用喷雾增湿调质和布袋过滤除尘工艺,克服了单一除尘工艺的缺点。经过汽化冷却器、粗除尘后的高温烟气进入喷雾反应塔中,通过高压水雾发生器在塔内喷射非常细的雾,使烟气得到调质、降温。同时粉尘的比电阻得以降低,并且微细的粉尘颗粒之间黏结在一起形成大的粉尘颗粒便于收集,达到很好的效果。经调质后的烟气被引入高温袋式除尘器内,在滤料的表面由于筛分效应、惯性效应、静电吸附等作用将固体粒子从空气中捕集下来。除尘后的气体经过脱水处理后送入煤气回收。该种工艺适用于不同的冶炼情况,避免了水用量多、占地面积大等问题,又不同于干法成本高的缺陷。

半干法烟气除尘装置结构紧凑、占地面积小,适用于厂区空间紧张的企业,除尘效率较高,操作运行平稳,管理简单。但是对喷雾水量控制要求比较高,当喷雾用水量过少,则调质粉尘效果不好,团聚作用不大影响布袋除尘效率;喷水量过大易导致滤袋堵塞、板结和通气阻力大,造成管道堵塞等事故,此外布袋属于消耗品,经常受到高温烟气以及腐蚀成分的冲刷影响,滤袋破损率较大,要定期检查、换件,存在连续消费的不足。

3 三类除尘技术对比与综合评价

3.1 核心技术参数对比

通过三者间直观的数据性能比较分析,查阅同吨位210t转炉实际工业数据结果,列出其关键的运行指标、能源消耗等比较数据(见表1),数据均为连续30d正常运行的平均值。

表1 转炉一次烟气除尘技术核心参数对比表

技术指标	新OG湿法	LT干法	半干法
系统运行阻力/kPa	23.5	8.2	14.6
吨钢水耗/t	2.15	0.32	0.86
吨钢电耗/kWh	6.85	4.12	5.47
吨钢煤气回收量/Nm ³	70.2	85.6	78.3
一次性投资成本/(万元)	5000	8000	4000

3.2 技术综合优劣分析

根据表和工艺特点分析,新OG湿法除尘投资适中,设备简单、运维容易安全可靠适合改造型的老转炉,但能耗较高、用水量也较大,由于必须处理废水增加了一笔不小的投资环保运行压力很大;LT干法除尘环保效果最佳,耗能、用水最少,煤气回收率最高,资源经济效益最大,适应大型新建高度自动化智能炼钢生产线,但投资太大而且系统复杂对设备要求苛刻影响普及使用,同时电极腐蚀问题还需进一步优化;半干法的各项指标适中,性价比合理,无致命短板,适用于中小型转炉生产工况,只是在滤袋消耗品磨损及控制精度等方面需要继续完善提高。

3.3 技术选择适应性原则

企业选型受生产规模、环保要求及资金等因素综合影响。老转炉钢厂改造或水资源丰富建议选用新OG法湿法除尘技术,可采用废水处理回用技术降低后期运行维护费用;大型新建和超低排放管控企业优先采用LT干法技术,充分发挥低能耗、高产能的长期收益优势;一般中小型转炉厂宜选择半干法技术,在投资和环境友好之间寻求平衡点,兼顾生产和经济稳定性。

4 行业现存问题与技术优化发展趋势

4.1 目前除尘技术存在的短板

三类除尘技术共性缺陷,一是对粉尘预处理能力较弱,原始烟气中微细粉尘含量大,前期烟气降温及调整工艺粗糙增加后续除尘系统负荷;二是对恶劣条件适用能力较弱,转炉炼钢初期和末期的成分剧烈变化导致颗粒物瞬间高值的现象偶有发生;三是资源化利用率低,收集的含铁粉尘的提纯措施粗放,附加值不高;四是自动化控制程度较低,很多中小厂没有做到实时监测与动态控制,造成能源的浪费等缺陷。

4.2 针对性优化改进措施

结合企业实际运行过程出现的问题对各工艺建议优化。在湿法的基础上增加废水处理装置,使得洗涤用水可以得到循环利用,减少用水和排污量,通过对文丘里管的改进,使整个系统捕捉微细粉尘的效果变好;在干法基础上对电极材料做了一些防腐处理,增加温度和压力的联锁控制系统,以防止由于异常工况造成设备故障,并对自动化控制系统作简单化处理以便于操作;半干法通过改进喷雾用的雾化装置,并对加湿用水进行更好的控制,选用耐高温、抗腐蚀能力强的复合滤料,使滤袋的寿命增长;此外,三种方法都可以增设预处理一团聚装置以减轻后续

除尘设备的压力。

4.3 行业技术发展趋势

未来,转炉一次烟气除尘将朝着超低排放、低碳节能、智能一体化方向发展。一是通过结合静电、布袋、洗涤等除尘技术优点的复合除尘技术融合创新,突破现有单一工艺技术瓶颈,稳定保障颗粒物超低排放目标。二是通过对余热、煤气、含铁尘泥进行更充分地回收利用,构建资源循环利用体系,实现节能环保效果。三是以大数据和物联网技术为依托建立智能化监测及控制系统,及时响应烟气工况改变调节系统运行参数,确保整个系统高效、低耗、安全自动化运行,满足钢铁产业绿色低碳发展趋势。

5 结语

本文通过深入比较新OG湿法工艺、LT干法工艺和半干法工艺,通过实际工业测量得出各除尘工艺特性及能耗,并提出适用领域。湿法工艺简单且稳定;干法环保效益、节能效果显著;半干法综合性能均衡。现阶段,转炉一次烟气除尘技术尚存在适应性较差、资源利用不充分等不足,需要进一步完善设备设计、优化工艺流程以及智能化管控。钢厂应根据自身生产条件选择合适的工艺,优化本厂除尘工艺,在达到超低排放控制要求的同时,持续降低能耗利用率,促进炼钢产业清洁高效发展。

【参考文献】

- [1]孟泽.混合湿电技术在转炉一次烟气除尘系统改造中的应用[J].山西冶金,2025,48(08):245-246.
- [2]蒋毅.转炉一次烟气干法除尘超低排放改造[J].大众标准化,2025,(14):113-115.
- [3]蒋毅.转炉一次烟气干法除尘超低排放备用系统建设[J].大众标准化,2025,(13):108-110.
- [4]柳晓琳.声波团聚耦合技术在转炉一次烟气除尘消白中的应用研究[D].武汉轻工大学,2023.
- [5]杜健敏,柳晓琳,陆婷,等.转炉一次烟气除尘技术应用现状及展望[J].冶金动力,2022,(04):40-43.

作者简介:

于德良(1992--),男,汉族,辽宁省大连市人,硕士研究生,职称:环保工程师中级,研究方向:环境工程;企业。