

焦炉出焦除尘节能技术

梁亚锋

山东钢铁集团日照有限公司 山东 日照 276800

摘要: 焦炉出焦除尘节能技术聚焦降低能耗与提升净化效率。采用高效滤袋(如PTFE覆膜针刺毡)降低过滤阻力,结合变频风机实现风量按需调节,减少电力消耗。通过余热回收装置捕捉高温烟气热能,用于助燃空气预热或发电,提升能源利用率。优化除尘器结构与管道布局,减少系统阻力,降低风机负荷。引入智能监控系统,实时调整运行参数,避免无效能耗,实现节能与环保双重目标。

关键词: 焦炉; 出焦除尘; 节能技术

引言: 在钢铁冶金等工业领域,焦炉出焦是关键生产环节,但此过程会产生大量含尘、含硫及氮氧化物的烟气,若不有效处理,将严重污染环境、危害人体健康。传统焦炉出焦除尘系统虽能进行污染物处理,却存在能耗高、除尘效率与能耗难以平衡、余热回收率低、自动化控制水平不足等问题。在“双碳”目标与环保要求日益严格的当下,探索并应用焦炉出焦除尘节能技术,实现节能减排与高效除尘协同共进,已成为行业可持续发展的迫切需求。

1 焦炉出焦除尘系统原理与能耗分析

1.1 焦炉出焦工艺与除尘需求

(1) 出焦过程污染物产生机理: 焦炉出焦时,炽热焦炭(温度约1000℃)从炭化室推出,与空气剧烈接触引发二次燃烧,焦炭表面粉尘及热解残留的煤尘被气流携带形成粉尘;煤中含有的硫元素经高温燃烧生成SO₂;燃烧过程中高温促使氮氧化物生成,同时焦炭热解会释放少量NO_x,这些污染物若不处理会严重污染环境、危害人体健康。(2) 传统除尘系统组成: 集尘罩安装于出焦口及导焦槽处,用于捕捉逸散的含尘烟气;除尘管道连接各集尘装置,将含尘烟气输送至净化设备;净化设备多采用布袋除尘器或湿式除尘器,实现粉尘与烟气的分离;风机为整个系统提供动力,推动烟气在管道内流动,确保除尘系统稳定运行,各组件协同完成污染物处理。

1.2 除尘系统能耗构成

(1) 电力消耗: 风机是主要耗电设备,为维持烟气流动需持续运行,耗电量占系统总能耗的60%以上;脉冲阀用于清理布袋除尘器滤袋粉尘,需频繁启停消耗电能;粉尘输送设备(如螺旋输送机)将收集的粉尘输送至储存装置,同样需电力驱动。(2) 热能损失: 出焦烟气温度高达200-300℃,传统系统中烟气经净化后直接排放,大量热能未被回收;同时管道保温效果不佳,烟气在输送

过程中会散失部分热量,造成热能浪费。(3) 水资源消耗: 湿式除尘系统通过喷淋水与烟气接触实现除尘,需持续补充新鲜水以维持除尘效果,同时废水处理也需消耗一定水资源,增加系统能耗成本^[1]。

1.3 现有技术瓶颈

(1) 除尘效率与能耗的矛盾: 提高除尘效率需增大风机风量、加密滤袋孔径或增加喷淋水量,这会直接增加电力和水资源消耗;若降低能耗,又会导致污染物捕捉不彻底,无法满足环保排放标准。(2) 余热回收率低: 现有系统多未设置专用余热回收装置,高温烟气中的热能仅少量被管道吸收利用,大部分直接排放,热能回收利用率不足10%,造成能源浪费。(3) 系统自动化控制水平不足: 多数除尘系统需人工调节风机转速、脉冲阀频率及喷淋水量,无法根据出焦强度、烟气浓度等实时参数自动调整,导致能耗浪费和除尘效率不稳定,同时增加人工运维成本。

2 焦炉出焦除尘节能技术优化措施

2.1 除尘工艺优化

(1) 干式除尘技术改进: 针对传统干式除尘滤袋易堵塞、阻力高、喷吹能耗大的问题,采用PTFE覆膜针刺毡滤袋替代普通滤袋,其表面光滑、透气性好,可降低过滤阻力35%以上,除尘效率稳定在99.6%以上,使用寿命延长至2.5-3年,减少滤袋更换能耗;优化脉冲喷吹控制,采用压差反馈式智能模式,根据滤袋压差动态调整喷吹参数,避免盲目喷吹,降低喷吹系统能耗18%-22%,兼顾除尘效果与节能。(2) 湿式除尘节水技术: 对湿式除尘系统实施循环水闭环改造,构建“喷淋-收集-净化-复用”流程,通过沉淀池、石英砂过滤、消毒处理,去除水中杂质,循环利用率提升至92%以上,减少新鲜水消耗;配套水质在线监测设备,实时调控水质,避免设备腐蚀堵塞,间接降低运维能耗和故障损耗^[2]。(3) 复合除

尘技术：采用“干式预处理+湿式深度净化”模式，烟气先经干式除尘器去除80%以上粗颗粒粉尘，降低湿式系统负荷，再经湿式除尘器深度除细尘和有害气体，确保达标排放；该模式可降低单系统负荷42%左右，整体能耗下降28%~32%，同时实现粉尘回收利用。

2.2 余热回收与利用

(1) 高温烟气余热回收：在除尘管道前端增设高效烟气余热回收装置，采用管式换热器捕捉出焦高温烟气(220~300℃)中的热能，将余热传递给焦炉助燃空气，预热后的助燃空气温度提升至80~100℃，进入焦炉燃烧室后可降低焦炉加热能耗，提高燃料燃烧效率，同时减少NO_x生成量；对于余热量较大的生产场景，配套建设小型余热发电系统，将回收的余热转化为电能，用于除尘系统自身设备(风机、脉冲阀、监测设备等)供电，实现能源自给，可降低系统外部电网电力消耗32%以上；此外，回收的余热还可用于厂区冬季供暖、职工浴室热水供应及生产辅助加热，实现余热梯级利用，进一步提升余热回收利用率，减少能源浪费^[3]。(2) 冷却系统节能：替代传统高能耗冷却塔，采用热管换热器用于除尘系统冷却环节，热管换热器依靠内部工质的相变传热，无需额外动力驱动，传热效率是传统冷却塔的3~4倍，可降低冷却系统能耗65%以上；优化冷却系统与余热回收装置的联动设计，将热管换热器集成至余热回收系统，实现余热回收与烟气冷却一体化运行，减少设备占地面积和投资成本，同时避免传统冷却塔的水资源蒸发浪费和噪音污染，提升系统节能性和环保性。

2.3 智能控制系统应用

(1) 风机变频调速技术：对除尘系统主风机进行变频改造，安装高性能变频器和风量在线监测传感器，实时采集出焦强度、烟气浓度、管道压差等工况参数，通过PLC控制系统动态调整风机转速，实现风量按需供给；出焦间隙或烟气浓度较低时，自动降低风机转速，减少电力消耗；出焦高峰期或烟气浓度超标时，快速提升风机转速，确保除尘效果；采用该技术可降低风机能耗23%~30%，同时减少风机启停冲击和机械磨损，延长风机使用寿命，降低设备运维成本。(2) 除尘系统与焦炉生产联动控制：搭建除尘系统与焦炉生产的联动控制平台，实现焦炉生产参数与除尘系统运行的实时联动，将焦炉出焦计划、出焦时间、炭化室编号、出焦强度等生产数据同步至除尘控制系统；出焦前12~15分钟，系统自动启动除尘设备预热运行，出焦结束后，根据烟气浓度监测数据，持续运行15~20分钟后自动停机，避免除尘系统24小时不间断无效运行，可减少系统无效运行时间45%

以上，大幅降低电力和水资源浪费。(3) 物联网(IoT)监测与故障预警：在除尘系统各关键设备(风机、除尘器、换热器、管道、水泵等)上安装温度、压力、振动、能耗等传感器，通过物联网技术将设备实时运行数据传输至监控中心，实现设备运行状态在线监测、数据可视化展示；建立设备故障预警模型，对异常运行参数进行分析研判，提前发出故障预警信号，提醒工作人员及时处理，避免因设备故障导致的能耗增加、除尘效率下降，同时减少人工巡检工作量，提升系统运维效率^[4]。

2.4 设备结构优化

(1) 低阻力除尘器设计：优化除尘器内部结构设计，采用流线型气流通道，减少烟气在除尘器内的流动阻力，同时改进滤袋安装布局，避免滤袋排列过密导致的气流不畅，将除尘器运行阻力降低30%左右，进而减少风机运行负荷，降低风机耗电量；配套设计高效卸灰装置，采用螺旋卸灰与气动输灰相结合的方式，避免粉尘堆积导致的阻力升高，确保除尘器长期稳定在低阻力状态运行，进一步提升风机运行效率。(2) 轻量化集尘罩与管道布局优化：采用高强度、轻量化合金材料制作集尘罩，在保证集尘效果的前提下，减少设备重量和风阻，同时优化集尘罩开口形状和尺寸，提升烟气捕捉效率，减少漏风率；对除尘管道进行合理布局，缩短管道总长度，减少弯头数量，采用大口径管道降低烟气流速，降低系统沿程阻力和局部阻力，经优化后，系统整体压降可降低22%左右，风机能耗进一步下降12%~16%。

2.5 新能源与清洁能源替代

(1) 太阳能辅助供电：在厂区闲置屋顶、空地安装太阳能光伏发电组件，构建分布式光伏发电系统，利用太阳能转化为电能，为除尘系统中的小型设备(脉冲阀、在线监测设备、小型输灰泵等)提供辅助供电，减少电网电力消耗；配套安装储能电池组，储存多余电能，确保阴雨天、夜间等无光照时段设备正常运行，采用太阳能辅助供电可降低除尘系统整体电力消耗7%~11%，兼具节能、环保和降本效益^[5]。(2) 氢能或生物质能替代传统能源：针对除尘系统中管道保温、水质处理加热等需热环节，采用氢能或生物质能替代传统煤炭、天然气等化石能源，氢能燃烧无污染、热值高，燃烧效率可达95%以上，且无碳排放；生物质能采用秸秆、煤矸石等可再生资源，经加工处理后用于燃烧加热，可实现资源循环利用，减少化石能源消耗；通过配套专用燃烧设备和温度控制系统，确保加热效果稳定，同时降低能源使用成本，助力企业实现节能降碳目标。

3 焦炉出焦除尘节能技术应用案例分析

3.1 案例选择与背景介绍

本次选取某年产200万吨焦炭的大型焦化企业，该企业配套4座6m顶装焦炉，出焦除尘系统已投用8年，原有系统采用传统干式布袋除尘工艺，主要服务于焦炉出焦环节的粉尘及有害气体治理。随着环保标准升级及企业节能降碳需求提升，原有系统已无法满足生产及环保要求，因此企业启动出焦除尘系统节能改造项目，兼顾除尘效率提升与能耗降低，参考行业成熟改造经验，打造可复制、可推广的应用案例。

3.2 改造前系统问题诊断

(1) 能耗高：系统风机为定速运行，无论出焦工况如何，均保持满负荷运转，存在“大马拉小车”现象，年耗电量达280万度，风机能耗占系统总能耗的65%以上；同时脉冲喷吹系统采用固定周期喷吹，造成压缩空气浪费，进一步增加能耗成本。(2) 除尘效率低：原有滤袋为普通针刺毡材质，易被高温烟气损坏、粉尘堵塞，过滤阻力飙升，除尘效率仅为92%，出焦时粉尘排放浓度超标，无法满足《炼焦化学工业污染物排放标准》要求，周边环境受到影响。(3) 余热浪费严重：出焦高温烟气（220-280℃）经除尘后直接排放，未设置任何余热回收装置，大量热能白白流失，同时管道保温效果不佳，进一步加剧热能损耗，未能实现能源梯级利用。

3.3 节能技术实施路径

(1) 采用高效滤袋+变频风机+余热回收装置：更换原有普通滤袋为PTFE覆膜针刺毡滤袋，提升过滤效率与使用寿命；为风机加装高性能变频器，实现转速动态调节，匹配出焦工况需求；在除尘管道前端增设管式余热回收装置，用于回收高温烟气热能，实现余热再利用，同步优化管道布局，降低系统阻力。(2) 优化操作参数：采用压差反馈式智能喷吹控制，根据滤袋实际压差调整喷吹压力至0.3-0.4MPa，优化清灰周期从原来的30分钟调整为45-60分钟，避免盲目喷吹；同时规范风机运行参数，出焦间隙降低转速，高峰期提升转速，确保节能与除尘

效果兼顾。

3.4 改造效果评价

(1) 定量分析：除尘效率从92%提升至99.6%，提升率达8.26%，粉尘排放浓度降至10mg/Nm³以下；年节电量达98万度，节电率35%，年节约电费约68.6万元；余热回收量达1.2×10⁷MJ，可满足厂区部分供暖需求，年节约供暖能耗成本45万元，改造投资回收期约2.8年。(2) 定性分析：系统运行稳定性显著提升，风机、滤袋等设备故障发生率下降70%，无需频繁停机维护；滤袋使用寿命延长至3年，年维护成本降低60%以上；彻底解决环保超标问题，实现稳定达标排放，同时减少热能浪费，契合企业节能降碳与绿色发展目标，为行业同类改造提供借鉴。

结束语

焦炉出焦除尘节能技术的探索与应用，是工业领域积极响应节能减排、绿色发展号召的关键举措。通过除尘工艺优化、余热高效回收利用、智能控制系统引入以及设备结构改进等一系列技术手段，有效降低了系统能耗，提升了除尘效率，实现了能源的梯级利用。这不仅有助于企业降低生产成本、提高经济效益，更对改善环境质量、推动行业可持续发展意义重大。未来，需持续创新技术，让该技术发挥更大效能。

参考文献

- [1]程刚.焦炉煤气净化处理技术应用探讨[J].清洗世界,2022,11(02):38-41.
- [2]张娟.干熄焦除尘系统的改造探讨[J].冶金与材料,2020,40(2):188-189.
- [3]张静波,付强.焦炉煤气净化系统工艺优化研究[J].冶金与材料,2024,44(08):37-39.
- [4]苏克林.柳钢焦化厂煤气净化系统辅料降耗措施[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(24):82-84.
- [5]吴江伟.大型煤气净化系统降低洗油消耗的研究[J].燃料与化工,2022,53(02):31-33.