

基于高效低耗理念的灰斗气化风系统结构优化策略

杨世英, 易浩男, 闫新, 李小宇

大唐陕西发电有限公司延安热电厂, 陕西 延安 716000

DOI:10.61369/ERA.2026020003

摘 要 : 灰斗气化风系统属于工业除尘以及物料输送领域的重要部分, 运行效率和能耗高低会关乎生产的经济性和稳定情况。传统系统普遍存在着加热能耗大、气流分布不均匀、设备损耗大等缺陷。本文基于高效低耗核心理念, 从系统现状诊断与优化原则、核心部件结构改进、气流组织与调控机制优化三个维度展开研究。通过优化气流场均匀性调控结构设计、构建动态调控机制与控制系统、改进防堵防积灰结构协同以及搭建能耗监测与优化反馈机制, 实现系统能耗降低与效率提升的双重目标, 为同类系统优化提供可供参考的研究经验。

关 键 词 : 高效低耗; 灰斗气化风系统; 结构优化; 策略

Structure Optimization Strategy of Gasification Air System Based on High Efficiency and Low Consumption

Yang Shiyong, Yi Haonan, Yan Xin, Li Xiaoyu

Datang Shaanxi Power Generation Co., Ltd. Yan 'an Thermal Power Plant, Yan' an, Shaanxi 716000

Abstract : The ash hopper gasification air system is a critical component in industrial dust removal and material handling, where operational efficiency and energy consumption directly impact production economics and stability. Conventional systems typically suffer from excessive heating energy consumption, uneven airflow distribution, and significant equipment wear. This study, guided by the principle of high efficiency and low energy consumption, investigates three key dimensions: system diagnosis and optimization principles, structural improvements of core components, and airflow organization and control mechanism optimization. By refining airflow field uniformity control structures, establishing dynamic regulation mechanisms and control systems, enhancing anti-clogging and anti-ash accumulation structures, and implementing energy consumption monitoring with feedback optimization, the research achieves dual objectives of energy reduction and efficiency enhancement. These findings provide valuable insights for optimizing similar systems.

Keywords : high efficiency and low consumption; gasification air system of ash hopper; structure optimization; strategy

引言

灰斗气化风系统在工业生产中起着防灰板结、保气力输送畅通的作用, 被广泛地应用在电力、冶金、化工等各个领域。该系统通过气体加热输送使灰斗内的灰形成气固两相流, 其运行状况直接影响后续工序的连续性及环保是否达标。但是传统的系统设计大多只注重功能的实现, 对于能效的改善考虑较少, 造成运行过程中出现电加热的能耗过高、风机的损耗加大、局部积灰堵塞等问题, 不但增加了厂用电的成本, 而且容易因为系统故障造成生产中断。伴随着工业绿色化转型的推进, 高效低耗已经成了设备优化的主要导向。由此可见, 对基于高效低耗理念的灰斗气化风系统结构优化策略等相关内容展开探讨与分析, 具有十分重要的现实意义。

一、灰斗气化风系统结构现状诊断与优化原则

(一) 系统结构现状核心问题诊断

现如今, 灰斗气化风系统在结构设计与运行匹配中呈现出三大共性问题。其一, 气源加热方式不合理, 传统电加热直接升温

模式能量转化率低, 容易因加热元件故障导致供气温度不稳定, 增加灰分板结几率, 部分烟气直供虽然省去加热过程, 但是烟气杂质容易导致风机损坏, 额外的过滤装置还会增加运维成本。其二, 气流分配结构不合理, 输气管网管径统一设置, 未根据各灰斗负荷的差别设置, 造成远端供气压力不足, 近端气流过剩造成

能耗浪费, 气化板布局零散且无导流结构, 造成灰斗内局部气流速度过慢, 形成积灰死角^[1]。其三, 系统缺乏协同性, 风机、加热装置和气动阀门运行参数固定不变, 不能根据灰分存量、温度等实时参数进行调节, 轻负荷工况下存在能耗冗余现象。

(二) 高效低耗优化核心原则

灰斗气化风系统结构优化应秉承功能性、经济性、协同性三大准则, 以保证高效低耗的目标实现。功能性优先原则为基础前提, 优化方案首先要保证气化风温度、压力和流量符合灰分输送的要求, 不能为了追求能耗的降低而使系统功能失效, 结构改进要以灰斗内气固两相流形成效率为核心评价指标, 有效解决灰分板结、堵塞问题。经济性平衡原则就是全生命周期成本控制, 既要考虑运行阶段的能耗降低, 也要考虑优化改造的投资成本和运维成本, 在热源选择等环节要对比不同方案的长期收益, 避免短期投入过高或者长期能耗失控。协同性优化原则要冲破部件独立设计的局限, 达成气源供给, 加热升温, 气流分配等环节的联动匹配, 经由创建结构间的适配关系, 让风机的功率, 加热的负荷同气流的需求精确对应起来, 削减局部的能量浪费^[2]。

二、基于高效低耗理念的灰斗气化风系统核心部件结构优化设计

(一) 气化板布局与结构改进

气化板是气流进入灰斗的部件, 气化板的布置及结构直接影响灰斗内气流分布是否均匀。传统的均匀分布的布局没有考虑到灰斗的锥形结构, 底部的边缘处的气流很弱。采用“中心密集、边缘加强”的不同布置方式, 根据灰斗容积及锥度算得气流覆盖半径, 在灰斗底部中心处设置高密度气化板组, 保证中心区域气流充足, 在边缘处采用倾斜式气化板, 改变出气角度增加边角处的气流扰动, 消除积灰死角。结构材质上将传统的平板式气化板改为多孔蜂窝状, 使用耐高温陶瓷代替金属, 一方面可以改善气流扩散效果, 另一方面可以提高抗磨损、抗堵塞的能力。气化板入口处装有可拆卸的过滤网来减少杂质, 减缓堵塞的现象, 进而延长维护周期。改进后的气化板系统利用气流扰动范围增大, 降低单位面积气化风耗量, 达到效率提高和能耗降低的协同。

(二) 布风器与输气管网优化

布风器与输气管网是气流输送的主要通道, 阻力的大小直接影响风机耗能和气流分配的效果。传统管网设计多为等管径设计, 造成长距离输送时气流压力损耗大, 远端灰斗供气不足^[3]。优化方案用变径管网设计, 根据各个灰斗到风机距离及耗气量需求, 经流体力学模拟计算得出每段管网的最佳管径, 使风机出口的压力能够平衡分配到各个灰斗。在布风器结构上, 将传统的直筒式改为文丘里式结构, 采用收缩扩张型流道设计来减小气流阻力, 提高出口气流速度, 在布风器内部装设导流叶片, 使气流产生旋转流态, 加强与灰分的混合。另外在管网转弯处用大曲率弯头代替直角弯头, 减小局部阻力损失, 在重要的节点处设置压力监测接口, 便于随时掌握管网运行状况, 为参数调节提供依据。经实践论证, 管网优化后可以有效降低风机运行负荷, 减少由于压力不足而造成的能耗浪

费, 如此便可凸显高效低耗理念的运用价值。

(三) 热源回收与加热结构改良

加热环节是系统能耗的主要来源, 传统电加热方式能效比较低, 直接烟气加热存在设备磨损的问题。优化方案中使用烟气余热间接加热结构, 由导热块和鳍片组成, 达到烟气管道和气化风管道之间热量交换的目的。在锅炉烟气管道以及气化风进气管、出风管之间设置多组导热连接块, 内部延伸出的导热鳍片深入管道内部, 增大换热面积。在换热区域外包覆保温筒, 选用保温棉和隔音空腔的复合结构, 减少热量散失, 降低运行噪声。在加热系统中设置温度联动控制装置, 根据灰斗内灰分温度和气化风出口温度的差值, 动态调节换热面积或者辅助加热功率。当烟气温度足够高时, 用余热来加热; 当温度不足时, 启动低功率辅助电加热来补充热量, 避免传统电加热满负荷运行造成的能源浪费。这样一来, 则可避免直接烟气加热导致的设备损耗, 又可以利用余热^[4]。

(四) 风机与阀门组件适配优化

风机属于系统动力源, 运行效率直接关乎整体能耗高低, 阀门组件影响气流调节是否准确。系统优化前大都使用固定功率风机, 变负荷工况下依靠节流阀调节流量, 造成大量的能量损失。现如今利用变频风机代替原来的风机, 按照系统的实时供气需求调节转速, 在低负荷工况下降低转速以节省能耗。风机出口处设弹性接头加泄压阀的组合结构, 弹性接头可以吸收风机运行时产生的振动, 减少设备的磨损, 泄压阀在管网压力过高时自动卸压, 避免超压运行造成的能耗增加和设备损坏^[5]。在阀门的选择上使用的是气动调节阀, 代替了手动阀门, 使用控制系统精确控制阀门的开度来达到各个支路气流的精准分配。在阀门与管道的连接处, 做密封强化设计, 以减少气流泄漏造成的能量损失。风机和阀门匹配得当可以保证系统在不同工况下都保持高效运行, 降低无效能耗。

三、灰斗气化风系统气流组织与运行调控优化策略

(一) 优化气流场均匀性调控结构设计

灰斗内气流场的均匀性对于气化效果、减少能耗浪费起着至关重要的作用。基于系统改造优化前往往往会因为缺少气流的调节结构, 造成局部气流过多, 局部气流过少。在灰斗内部设置导流板和气流扰动装置, 建立“分层调控、全域覆盖”的气流组织系统。在灰斗中间设置环形导流板, 通过调节导流板的角度来改变气流的流向, 使气流分散到灰斗的外边缘; 在灰斗上部安装旋转扰动叶片, 依靠气流的吹动使得叶片转动产生二次扰动, 加强气流的混合效果。同时在水化板出口装设可调节式出气格栅, 根据灰分堆积状况调节出气方向及流速, 从而达到有针对性的气流强化目的。经过气流组织改善之后, 灰斗内各个地方的气流速度处在合适范围内, 这样就会避免某处气流太小而产生板结现象, 也不会因为气流过大造成能源浪费^[6]。

(二) 构建动态调控机制与控制系统

倘若静态运行参数难以适应工况的变化, 则应在灰斗气化风

系统优化过程中建立动态调控机制是实现高效低耗的重要保证。优化方案中应结合实际需求构建“参数监测、智能分析、精准调控”的闭环控制系统。比如在灰斗内部装设温度、料位传感器，在输气管网重要节点装设压力、流量传感器，以实现运行数据的实时采集目标。此外控制系统核心应选用模糊控制算法，运用数据库存储各种工况下最佳运行参数，实时采集灰分温度、料位高度、气流压力等数据，智能判断当前运行状态和最佳状态的差别。根据偏差值来自动调节风机转速、加热负荷、阀门开度等参数，当灰分料位上升时，提高风机转速和气化板出气压力，保证气化效果；当料位下降时，降低运行参数，减少能耗。同时该系统还有故障自诊断功能，若出现压力异常或者温度波动的情况，就会自动发出警报并调整参数，防止故障进一步扩大。

（三）改进防堵防积灰结构协同

堵塞、积灰是系统效率降低、能耗上升的主要故障，结构改进可实现主动防范。在灰斗底部安装螺旋式清堵装置，使其与气化风系统配合工作，能够在传感器检测到局部压力异常升高时，对启动清堵装置中局部堵塞的地方予以清理，以防止堵塞面积扩大^[7]。在输气管网末端设置放空管及吹扫接口，定期对管网进行吹扫，清除管道内的积灰；放空管上设置自动阀门，在系统停机时打开放空，防止管道内残留的气体温度降低使灰分沉淀。气化板与管网连接处使用大口径接口，减少气流经过时杂质的堆积；在重要部位设置观察窗和可拆卸的检修口，有利于及时发现积灰问题^[8]。通过防堵防积灰结构和气化风系统相配合的设计，可以减少由于故障造成的停机维护次数，降低运维成本，并且可以避免由于堵塞导致的能耗激增。

（四）搭建能耗监测与优化反馈机制

高效低耗目标的实现需要全流程能耗监测和持续改进反馈，

传统系统缺少相应的监测体系，难以准确找到能耗浪费的节点^[9]。优化方案中应构建“全环节监测→数据解析→迭代改良”的闭环回馈体系，为调控策略优化赋予主要的数据依靠。监测环节建立分级指标体系，一级指标主要包含风机耗电、加热能耗等主要项，二级指标包含管网阻力损失、设备散热损耗等次要项，通过在风机、加热装置以及管网重要位置设置计量仪表和损耗检测传感器的方式，实现实时采集能耗数据的目的。数据处理采取边缘计算和云端分析相互配合的方式：边缘端对高频数据进行实时分析，挑选能耗异常；在云端架构能耗数据库，结合灰分含量、环境温度等工况参数做关联性研究，理清能耗与运转参数间的关系^[10]。反馈优化和动态调节系统深度联动，根据分析结果给出优化建议，支路管网能耗偏高就自动触发压力复核与阀门微调，定期输出能耗分析报告供结构优化提供依据，从而促使系统从“被动调控”转变为“主动优化”，保证高效低耗状态的持续稳定。

四、结束语

总体而言，灰斗气化风系统高效低耗优化是工业绿色化发展的必然要求，其主要价值是用结构的改进来达到功能的提升和能耗的控制。系统优化不是某一个部件的升级换代，而是涉及气源供给、气流输送、运行调控等诸多环节的一系列改造，必须在运用高效低耗理念的基础上构建起一套覆盖诊断到设计、部件到系统的完整优化逻辑，以实现优化目标。与此同时在工业实践过程中，优化方案的落地要综合考虑实际工况特征，其中的差异设计、余热利用、动态调节的思想则具有普适意义。结构优化可以节能降耗降成本、提高设备稳定性，可以为工业生产连续性和环保性保驾护航。

参考文献

- [1] 朱江东, 龚德鸿, 王康, 等. 高灰燃料锅炉省煤器出口烟道飞灰流动特性与脱硝灰斗设计 [J]. 科学技术与工程, 2025, 25(18): 7631-7639.
- [2] 刘宣义, 黄世福. 对冲旋流燃烧锅炉冷灰斗管壁急剧减薄原因分析 [J]. 锅炉技术, 2023, 54(3): 65-70.
- [3] 代华松, 浦绍旭, 刘宇, 等. 除尘器大灰斗安全运行策略研究 [J]. 电力安全技术, 2023, 25(4): 52-55.
- [4] 曹港, 孙国刚, 张永民, 等. 灰斗捕焦器对催化裂化装置旋风分离器性能及流场的影响 [J]. 石油炼制与化工, 2024, 55(11): 84-89.
- [5] 薛慧中, 张鑫, 夏风敏. 钢结构除尘器灰斗受力分析与参数研究 [J]. 工业建筑, 2023, 53(S01): 269-272.
- [6] 袁林. 炼钢余热锅炉灰斗结构分析及优化 [J]. 工业加热, 2025, 54(2): 75-80.
- [7] 姜在宁, 张元元, 章健赫. 电除尘灰斗灰位异常升高处理研析 [J]. 电力设备管理, 2025(8).
- [8] 赵岐, 王领. 百万机组塔式炉冷灰斗水冷壁安装技术 [J]. 安装, 2024(S2): 53-55.
- [9] 路涛, 陈天阁, 薛亚海. 燃煤锅炉底灰斗机械化捕焦实践 [J]. 电力安全技术, 2024, 26(4): 56-59.
- [10] 杜肖臣, 李新强, 赖志强, 等. 基于烧结机头粉尘特性理论的电除尘器灰斗结块燃烧研究 [J]. 重型机械, 2024(4): 21-24.
- [11] 许建新, 李启龙, 赵理辉, 等. 除尘器灰斗应变监测系统设计与工程实践 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(11): 2-5.