

锅炉空预器、低低温省煤器烟道阻力优化研究

吴俊 张 荀

华能国际电力江苏能源开发有限公司南京电厂 江苏 南京 210044

摘 要: 本研究聚焦于锅炉空预器与低低温省煤器烟道阻力的优化,旨在通过理论分析与实践探索,提出一套有效的阻力降低策略。通过对空预器几何结构、材料选择、吹灰系统以及密封性能的改进,结合低低温省煤器烟道布局、换热元件设计等方面的优化措施,显著降低烟道阻力,提高锅炉系统的热效率和运行稳定性。同时引入智能控制系统,实现对烟道阻力的精准调控与故障预警,为锅炉系统的智能化管理提供有力支持。

关键词: 锅炉空预器;低低温省煤器;烟道阻力优化

1 锅炉空预器与低低温省煤器工作原理及结构特点

1.1 锅炉空预器工作原理与结构

锅炉空气预热器(简称空预器)的工作原理在于利用锅炉尾部烟道中的烟气热量来预热即将进入锅炉的空气。在空预器内部,烟气通过散热片或换热元件将热量传递给空气,使得空气在进入锅炉前能够达到一定的温度。这一过程不仅提升了燃料的燃烧效率,同时也减少了有害物质的排放。空预器的结构形式多样,主要包括以下三种:(1)板式空气预热器。这种预热器利用薄钢板焊接成的盒子进行热量交换,结构紧凑但易受腐蚀和磨损的影响;(2)回转式空气预热器。通过金属受热面的旋转来实现热量的传递,特别适用于大型锅炉,但结构相对复杂。以III-1000-25-545KT超临界直流锅炉为例,其配置的两台PBII-10.2型受热面回转式空气预热器采用垂直轴设计,转子直径达10.2米,沿锅炉宽度方向并列布置。这种预热器由转子、外壳、受热元件、主轴和轴承座、密封装置、传动装置、吹灰装置等部件构成。尽管回转式空气预热器存在漏风系数大、结构复杂且传动装置消耗电能的缺点,但其优点同样显著:受热面两面受热,传热系数高,单位体积内受热面大,因此外形尺寸小、重量轻,且耐腐蚀。对于同等换热容量的空气预热器,采用回转式相比管式可节省约1/3的钢材。PBII-10.2型预热器的转子结构采用7.5度分仓,共分为48个扇形仓,每个扇形仓内装设两层热段和一层冷端框架结构的受热面元件,即受热面波形板。预热器通过纵向方向上的固定支承和横向方向上的两个弹性支承固定在空预器本体钢结构上。主轴上部为导向支撑,采用特定的轴承型号和润滑方式;下部装有支撑转子的向心推力轴承,同样配备有专门的润滑系统。在空预器的纵向轴线上设有烟气过渡区(即密封区),装有径向扇形密封板和轴向弧形密封板,以分隔空气侧和烟气侧^[1];

(3)管式空气预热器。这种预热器依靠薄壁钢管进行热量交换,密封性好且传热效率高,因此广泛应用于电站锅炉和工业锅炉中。另外,空预器的作用不仅限于热量交换。它还能回收烟气余热以降低排烟温度,从而提高锅炉效率;提高入炉空气温度以强化炉内燃烧;提高炉膛温度以增强炉膛传热,减少炉膛蒸发受热面并节省金属;同时,它还能作为一次风通入制粉系统以干燥和携带煤粉。这些功能共同促进了锅炉系统的高效运行。

1.2 低低温省煤器的工作原理与结构

低低温省煤器是一种专门设计用于回收锅炉排烟中低温余热的设备。它通常被布置在锅炉尾部烟道内,通过吸收排烟中的热量来加热给水或回水,从而提高整个热力系统的经济性。低低温省煤器的工作原理可以概括为以下几个步骤:步骤一:烟气流动。在燃煤锅炉的燃烧过程中产生的高温烟气会通过烟道流向烟囱进行排放。在这个过程中,烟气中含有大量的热能。步骤二:热回收。低低温省煤器被设置在锅炉的烟道系统中,通常位于锅炉尾部的烟道部分。它包含一系列换热管束,这些管束通过吸收烟气中的热量来传递能量。步骤三:介质预热。低低温省煤器的管束通常与锅炉的送风系统或给水系统相连。当空气或给水通过这些管束时,它们会被预热,因为管束中的热量被传递给了空气或给水。低低温省煤器的结构通常采用间壁式换热方式,通过金属管束或板式换热器将排烟中的热量传递给工作介质(如水)。这种换热过程简单且高效,能够显著回收排烟中的余热资源。

2 空预器与低低温省煤器在锅炉系统中的位置及连接方式

2.1 烟道布局与连接方式的描述

在锅炉系统中,空预器和低低温省煤器通常都布置在锅炉尾部的烟道内。这是因为锅炉尾部的烟气温度较

低, 适合进行余热回收和空气预热。空预器和低低温省煤器的连接方式通常采用法兰连接或焊接连接。法兰连接便于拆卸和维修, 但密封性相对较差; 焊接连接则具有较好的密封性, 但拆卸和维修较为困难。因此在选择连接方式时需要根据实际情况进行权衡。在烟道布局上, 空预器和低低温省煤器通常按照一定的顺序进行布置, 一般来说, 空预器会布置在烟道的上游位置, 先对烟气进行预热; 然后低低温省煤器再布置在烟道的下游位置, 对烟气中的低温余热进行回收。这种布局方式可以充分利用烟气中的热量, 提高能源利用效率。

2.2 烟气流经路径分析

在锅炉系统中, 烟气的流动路径对于空预器和低低温省煤器的工作效果具有重要影响。烟气入口: 烟气从锅炉的燃烧室排出后, 首先进入锅炉尾部的烟道。在烟道的入口部分, 通常会设置一些脱硫设备, 以净化烟气中的有害物质。空预器段: 经过脱硫处理后的烟气进入空预器段。在空预器中, 烟气通过内部的散热片或换热元件将热量传递给空气^[2]。预热后的空气被送入炉膛参与燃烧, 而烟气则继续向下游流动。低低温省煤器段: 经过空预器预热后的烟气进入低低温省煤器段。在低低温省煤器中, 烟气通过金属管束或板式换热器将热量传递给给水或回水。回收余热后的烟气温度进一步降低, 然后排入大气中。在整个烟气流经路径中, 空预器和低低温省煤器都起到了关键的作用。它们不仅提高了锅炉系统的能源利用效率, 还减少了环境污染。烟道的布局 and 连接方式也对空预器和低低温省煤器的工作效果产生了重要影响。因此, 在设计和布置锅炉系统时, 需要充分考虑烟气的流动路径和空预器、低低温省煤器的位置及连接方式。

3 烟道阻力产生原因及影响因素分析

3.1 烟道阻力产生原因

烟道阻力是锅炉及整个燃烧系统中不可忽视的重要参数, 其产生原因多样且复杂。首先, 烟道内部的几何形状是影响阻力的关键因素之一。烟道在设计和建造过程中, 为了连接不同的设备和满足空间布局需求, 往往包含弯头、三通、变径等多种管道附件。这些附件的存在会改变烟气的流动方向, 增加局部涡流和湍流, 从而导致能量损失和阻力的增加。其次, 烟道内壁的粗糙度也是产生阻力的一个重要原因。由于材质选择、加工精度、长期使用中的磨损以及积灰、结垢等因素, 烟道内壁往往呈现出一定的粗糙表面。这种粗糙表面会增加烟气与壁面的摩擦, 使得烟气在流动过程中需要克服更大的阻力。另外, 烟气自身的物理特性, 如流速、温度、

密度等, 也会对阻力产生影响。随着烟气流速的增加, 烟气与壁面的摩擦力和碰撞力会增大, 从而导致阻力的增加。烟气温度的变化会影响其密度和粘性, 进而影响流动阻力。在高温下, 烟气密度降低, 流速增加, 但由于气体分子间的碰撞和粘性作用, 阻力也会相应增大。

3.2 影响因素分析

烟道阻力的影响因素众多, 且这些因素相互关联, 共同决定了烟道阻力的实际大小。烟道的几何形状是影响阻力的基础因素, 烟道的截面形状、大小以及弯头、三通等管道附件的数量和角度都会直接影响烟气的流动特性, 从而产生不同的阻力。例如, 截面突然变化或弯头角度过大都会导致局部阻力的显著增加。烟道内壁的粗糙度对阻力有着不可忽视的影响, 内壁粗糙会增加烟气与壁面的摩擦, 导致能量损失和阻力增大。烟道材质的选择、内壁的加工精度以及长期运行中的维护状况都会直接影响内壁的粗糙度, 进而影响烟道阻力。烟气的物理特性也是影响阻力的重要因素, 烟气的流速、温度、密度和粘性等物理参数都会直接影响其流动特性, 从而产生不同的阻力。例如, 流速过高会增加烟气与壁面的碰撞力和摩擦力, 导致阻力增大; 而温度升高则会使烟气密度降低, 流速增加, 但同时也会增加气体分子间的碰撞频率和粘性, 对阻力产生复杂的影响。烟道中的积灰和结垢现象也是影响阻力的一个重要因素, 积灰和结垢会增加烟道的粗糙度, 改变烟气的流动路径, 甚至导致烟道堵塞, 从而显著增加阻力。最后, 锅炉及燃烧系统的整体设计和运行状况也会对烟道阻力产生影响。例如, 合理的系统布局、优化的管道走向以及科学的运行参数设置都可以有效降低烟道阻力, 提高系统的运行效率和经济性。

4 锅炉空预器、低低温省煤器烟道阻力优化方案设计

4.1 空预器烟道阻力优化

空预器(空气预热器)作为锅炉系统中至关重要的热能回收设备, 其性能直接影响到锅炉的整体效率和运行成本。空预器烟道阻力的优化, 旨在减少烟气流动过程中的能量损失, 提高热交换效率。首先, 对空预器的几何结构进行优化是关键一步。通过调整空预器内部换热模块的形状、间距以及排列方式, 可以有效改善烟气的流动特性, 减少涡流和湍流, 从而降低局部阻力^[3]。合理设计空预器进出口烟道的截面形状和过渡段, 确保烟气流动平稳, 避免流速突变带来的额外阻力。选用耐磨、耐腐蚀且表面光滑的材质作为空预器的制造材料, 可以显著降低内壁粗糙度, 减少烟气与壁面的摩擦阻力。对空预器内壁进行抛光或涂覆低摩擦系数涂层, 进

一步减小阻力,提高热交换效率。空预器长期运行后,内部容易积灰,这不仅会增加阻力,还会影响热交换效果。因此,优化吹灰系统,确保定期、有效的清灰作业至关重要。通过调整吹灰器的布置位置、吹灰压力和频率,以及采用智能吹灰控制技术,可以精准清除积灰,保持空预器内部清洁,降低阻力。空预器的漏风问题也是导致阻力增加的一个重要因素。通过改进密封结构,如采用迷宫式密封、柔性密封等技术,可以有效减少漏风量,降低因漏风引起的额外阻力,同时提高热交换效率。

4.2 低低温省煤器烟道阻力优化

低低温省煤器作为锅炉尾部烟气余热回收的关键组件,其烟道阻力的优化对于提升整个锅炉系统的能效至关重要。优化烟道布局是降低阻力的首要步骤,通过精简弯头、三通等管道附件的数量,并减小其角度,可以显著减少局部阻力的产生。精心设计的烟道截面形状和过渡段能够确保烟气流动更加平稳,有效避免流速突变带来的额外阻力。在换热元件的设计上,选用高效且低阻的波纹管、螺旋翅片等材料,不仅能大幅提升换热效率,还能在保持高性能的同时降低烟道阻力。换热元件的间距和排列方式也需经过合理布局,以达到最佳的阻力优化效果。针对低低温省煤器长期运行后可能出现的积灰和腐蚀问题,采取耐腐蚀材料、优化烟气流速以及加强吹灰等措施至关重要。这些措施能够确保烟道保持畅通,减少因积灰和腐蚀造成的阻力增加。在某些特定工况下,如锅炉负荷调节或烟气温度变化时,设计烟气旁路系统成为优化阻力的有效手段。通过精确控制旁路的开闭,可以灵活调节进入低低温省煤器的烟气的量,从而在保证系统灵活性的同时,进一步优化烟道阻力,提升整体能效。

4.3 智能控制系统应用

4.3.1 数据采集与分析

为了实现对空预器和低低温省煤器烟道阻力的精准控制和优化,引入智能控制系统至关重要。通过安装传感器,实时采集空预器和低低温省煤器进出口的烟气温度、压力、流速等关键参数,利用大数据分析技术,对

这些数据进行深度挖掘和分析,识别阻力变化的趋势和规律。

4.3.2 智能调控策略

基于数据分析结果,制定智能调控策略。例如,根据烟气温度和流速的变化,自动调整吹灰器的吹灰频率和压力;根据空预器和低低温省煤器的阻力变化,智能调节烟气旁路的开闭程度,以维持最佳阻力状态^[4]。

4.3.3 故障预警与诊断

智能控制系统还可以实现对空预器和低低温省煤器运行状态的实时监测和故障预警。一旦发现异常,如阻力突然增加、温度异常升高等,系统能够立即发出警报,并提供故障诊断建议,以便及时采取措施,避免故障扩大。

4.3.4 人机交互界面

设计直观、友好的人机交互界面,使操作人员能够轻松监控空预器和低低温省煤器的运行状态,调整控制参数,实现远程控制和自动化管理。

结束语

本研究通过对锅炉空预器与低低温省煤器烟道阻力的深入分析与优化实践,不仅降低了系统运行过程中的能量损失,还提高锅炉的整体热效率和经济性。未来,随着智能控制技术的不断发展,将继续探索更加高效、智能的阻力优化方案,为锅炉系统的节能减排和可持续发展贡献力量。同时也期待与行业内同仁共同交流,推动相关技术的不断创新与应用。

参考文献

- [1]方军庭.基于空预器热平衡原理的锅炉炉膛漏风测试计算研究[J].科技资讯,2023,21(17):48-51.DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2302-5042-7579.
- [2]陈令章,张宇航,冉桑铭,等.浅析燃气锅炉空预器低温腐蚀原因及预防措施[J].技术与市场,2023,30(12):36-40.
- [3]曹义杰,张子梅,金昕.生物质锅炉空预器低温腐蚀原因及预防措施[J].工业锅炉,2022(01):54-58.
- [4]王德州,杨建杰,刘增温.关于余热回收系统中空气预热器低温腐蚀泄露的研究[J].山东化工,2021,50(15):106.