

火电厂锅炉节能运行技术研究

刘华雷

陕西德源府谷能源有限公司 陕西 榆林 719000

摘要：本研究聚焦火电厂锅炉节能运行技术，深入剖析常见锅炉类型运行现状，明确不同工况能耗差异及能源浪费环节。全面探讨燃烧优化技术，如燃烧器优化、智能控制策略及空气动力场调整，提升燃烧效率。同时研究余热回收利用技术，包括省煤器等设备优化、供暖及脱硫脱硝应用，以及有机朗肯循环发电技术。旨在通过这些技术，降低能耗，提高能源利用效率，为火电厂节能减排提供技术参考。

关键词：火电厂；锅炉；节能运行技术

引言

在能源供需矛盾凸显与环保要求趋严的当下，火电厂的节能减排意义重大。锅炉作为火电厂核心，其能耗与效率影响深远。传统锅炉能耗高、效率低，造成资源浪费与环境污染。探索节能运行技术成为火电厂突破发展困境、实现绿色转型的关键。深入研究燃烧优化、余热回收等技术，能有效提升锅炉性能，助力火电厂可持续发展，具有重要的现实意义与紧迫性。

1 火电厂锅炉运行现状分析

目前，火电厂常见的锅炉类型主要有煤粉炉和循环流化床锅炉。煤粉炉在运行时，将煤粉喷入炉膛进行悬浮燃烧，其燃烧效率较高，能够很好地适应大容量机组，尤其适用于煤炭资源丰富且煤质稳定地区的大型火电厂。循环流化床锅炉则借助流化技术，使燃料在床料中充分混合燃烧，对燃料的适应性极强，即使是劣质煤也能实现高效燃烧，常用于燃料种类复杂多样的电厂。实际数据统计显示，火电厂锅炉在不同工况下的能耗水平差异显著。在低负荷运行时，例如部分机组在夜间用电低谷期，锅炉热效率会明显下降，能耗大幅增加。以某600MW机组为例，满负荷工况下锅炉热效率可达93%，而在低负荷（50%负荷）时，热效率降至87%左右。能源浪费较为严重的环节集中在排烟损失和不完全燃烧损失。排烟温度过高，导致大量热量随烟气排出；当燃烧工况不佳，如配风不合理时，会造成燃料不完全燃烧，进一步加剧能源浪费。影响火电厂锅炉运行效率的因素众多，从燃料特性来看，煤的热值、挥发分、水分等指标不同，其燃烧特性也会有所差异，热值低、水分高的煤会降低燃烧效率。燃烧工况至关重要，合理的配风以及稳定运行的燃烧器能够确保燃料充分燃烧，反之则效率低下。设备老化问题同样不容忽视，受热面结垢、磨损，会降低传热效率，增加风机、水泵等辅助设

备的能耗，最终影响锅炉整体运行效率^[1]。

2 燃烧优化节能技术

2.1 燃烧器优化

新型燃烧器的设计着重于改善燃烧过程中空气与燃料的混合效果。低氮燃烧器采用分级燃烧、空气分级等技术手段。在分级燃烧中，燃料先在缺氧条件下进行部分燃烧，抑制氮氧化物的生成，随后补充空气完成完全燃烧。这种方式改变了燃烧区域的氧浓度分布，使燃料与空气在不同阶段充分混合，减少了高温区氮氧化物的生成量，同时保证了燃烧效率。旋流燃烧器则通过特殊设计的旋流叶片，使进入炉膛的空气产生旋转，形成强烈的旋转气流。这种旋转气流能使燃料与空气在离心力和紊流扩散作用下充分混合，增强了燃烧初期的扰动，促使燃料迅速着火，延长了燃料在炉膛内的停留时间，有利于燃料的充分燃烧。实验数据有力地证明了优化后燃烧器的优势。在某燃烧实验平台上，对比传统燃烧器与新型低氮燃烧器，在相同燃料与工况下，新型低氮燃烧器使燃烧效率从88%提升至93%。同时，不完全燃烧损失大幅降低，CO排放量从300ppm降至100ppm以下。对于旋流燃烧器，在某600MW机组电厂的实际改造项目中，改造后锅炉热效率提高了2个百分点，排烟温度降低了15℃，有效减少了能源浪费，提高了锅炉整体运行性能。

2.2 燃烧控制系统改进

基于人工智能的燃烧控制策略是当前先进燃烧控制系统的代表。其实现原理是利用大量历史运行数据和实时监测数据，通过神经网络、模糊控制等算法构建燃烧模型。神经网络可以对复杂的燃烧过程进行建模，学习燃料特性、负荷变化、燃烧工况等多种因素之间的非线性关系。模糊控制则将操作人员的经验转化为控制规则，对燃烧过程中的不确定性进行有效处理。系统运行时，传感器实时采集炉膛温度、压力、氧量、燃料流量

等参数,并将数据传输至控制器。控制器依据构建的模型和控制算法,快速计算出当前工况下最佳的燃烧参数,如燃料与空气的配比、燃烧器的运行状态等,并自动调整相关设备,实现精准燃烧。在实际运行中,改进后的燃烧控制系统成效显著。某600MW机组电厂应用基于人工智能的燃烧控制系统后,在负荷频繁变化的工况下,系统能迅速响应并调整燃烧参数。当负荷从70%快速升至90%时,传统控制系统调整时间需15分钟,且调整过程中炉膛压力波动较大;而改进后的系统仅需5分钟即可完成调整,炉膛压力波动控制在极小范围内。同时,通过精准控制燃料与空气配比,锅炉热效率提高了3%左右,有效降低了能耗,减少了污染物排放^[2]。

2.3 炉内空气动力场优化

炉内空气动力场对燃烧过程起着决定性作用。合理的空气动力场能使燃料与空气充分混合、均匀分布,确保燃烧稳定且高效进行。当空气动力场不佳时,会出现气流偏斜、短路等现象,导致部分燃料无法与足够的空气接触,造成不完全燃烧。调整燃烧器布置是优化空气动力场的重要手段之一。通过改变燃烧器的安装角度、间距以及层数等参数,可以改变气流的喷射方向与混合效果。例如,采用四角切圆燃烧方式的600MW机组锅炉,合理调整燃烧器切圆直径,能使气流在炉膛中心形成稳定的旋转气流,促进燃料与空气充分混合。二次风配风方式同样关键,通过合理分配二次风的风量与风速,可以控制燃烧区域的氧量分布,强化燃烧过程。如采用分级配风,在燃烧初期供给较少二次风,使燃料在富燃料区进行初步燃烧,随后在燃尽区增加二次风,保证燃料完全燃烧。以某600MW机组锅炉为例,通过对炉内空气动力场进行优化,调整燃烧器布置并采用先进的二次风配风方案后,锅炉燃烧效率明显提升。炉膛出口氧量分布更加均匀,偏差从原来的 $\pm 1.5\%$ 缩小至 $\pm 0.5\%$ 。燃烧效率从90%提升至93%,飞灰含碳量从10%降至7%,折算后,每年可节约标准煤约15000吨,有效降低了能耗,提高了电厂的经济效益。

3 余热回收与利用技术

3.1 省煤器与空气预热器优化

新型省煤器在结构设计上采用了螺旋鳍片管或H型鳍片管,相较于传统光管省煤器,大幅增加了受热面积。其工作原理是利用锅炉尾部烟气的余热,加热进入锅炉的给水。螺旋鳍片管通过独特的螺旋形状,使烟气在管外形成螺旋流动,增强了烟气与管壁的换热效果,同时还能减少积灰。H型鳍片管则具有较高的结构强度和良好的传热性能,其独特的形状使气流在鳍片间形成强烈

扰动,进一步提高了传热系数。在实际运行中,通过热工计算可知,新型省煤器能将给水温度提高30-50℃,从而降低了锅炉燃料消耗。例如,某火电厂采用新型省煤器后,经实际运行数据监测,锅炉热效率提升了2-3个百分点,每年可节约大量标准煤。空气预热器方面,回转式空气预热器应用较为广泛。它由转子、外壳、传动装置等部分组成。转子内装有蓄热元件,烟气通过时将热量传递给蓄热元件,当空气流过时,蓄热元件又将热量传递给空气。这种结构设计使空气预热器能够在较小的空间内实现高效换热。通过合理调整转子转速和密封结构,可以进一步提高其余热回收效率。实际运行数据表明,优化后的回转式空气预热器能将空气预热温度提高80-120℃,使燃料在炉膛内更易着火和充分燃烧,从而提升锅炉热效率。经测算,这一改进使得锅炉整体热效率提高了1.5-2.5个百分点。

3.2 余热供暖技术

火电厂锅炉余热用于区域供暖,在能源高效利用领域极具潜力。技术实现路径上,热网加热器是关键枢纽,其承担着将锅炉余热传递给供暖热水的重任,随后,携带着余热的热水借助供热管网,精准抵达用户端,完成温暖的输送。在节能减排层面,此项技术优势显著。传统燃煤锅炉供暖,煤炭燃烧过程不仅消耗大量能源,还会释放出大量烟尘、二氧化硫等污染物,对环境造成严重污染。而利用火电厂锅炉余热供暖,可直接减少对传统燃煤供暖的依赖,从根源上降低能源消耗,削减污染物排放,为守护蓝天白云贡献力量。以北方某城市引入600MW机组火电厂余热用于城市供暖的项目为例。项目伊始,专业团队对电厂余热资源展开全面评估,精准测定余热可利用量,为后续规划提供数据支撑。紧接着,大规模建设热网加热器,并铺设配套供热管网,构建起完善的余热输送体系。供暖季来临,该系统展现出卓越成效。周边数万户居民家中暖意融融,室内温度稳定保持在20-22℃,舒适宜人。与往昔传统供暖方式相比,每年煤炭消耗大幅降低,大量污染物被“拦截”,未被排入大气。居民对这一清洁、稳定的供暖方式赞不绝口,社会效益显著提升,实现了能源利用、环境保护与民生福祉的多赢局面。

3.3 余热用于脱硫脱硝系统

在火电厂环保工艺中,将锅炉余热用于脱硫脱硝系统是一项极具价值的创新举措。其核心技术在于借助热交换装置,巧妙地把锅炉产生的烟气余热传递至脱硫脱硝系统的相关介质之中。于脱硫系统而言,余热能够直接对吸收塔内的浆液进行加热。浆液温度提升后,脱硫

反应速率大幅加快,使得二氧化硫等酸性气体能够更高效地被吸收去除,脱硫效果得到显著增强。在脱硝系统方面,余热可用来预热氨气或者烟气。脱硝催化剂的活性对温度较为敏感,通过余热调节,让其处于最适宜的工作温度区间,可极大地提高脱硝效率,更有效地分解氮氧化物。尤为关键的是,采用此技术后,脱硫脱硝系统自身无需再消耗大量能源去加热相关介质,能耗得以显著降低。以某600MW机组火电厂为例,在引入余热用于脱硫脱硝系统前,脱硫效率维持在90%,脱硝效率为85%。而采用该技术后,成效立竿见影。脱硫效率成功跃升至95%以上,脱硝效率也稳定提升至90%左右。同时,系统能耗明显下降,原本用于加热的蒸汽用量大幅减少。经严谨核算,每年仅蒸汽成本就能节约数百万元。这不仅为电厂节省了大量运营资金,更重要的是,极大地提升了电厂的环保达标水平,显著减少了二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放,减轻了对周边环境的污染压力,在经济与环保层面均取得了令人瞩目的成果^[3]。

3.4 有机朗肯循环余热发电技术

有机朗肯循环(Organic Rankine Cycle,简称ORC)余热发电技术,作为火电厂锅炉余热高效利用的前沿技术,正逐渐崭露头角。其工作原理基于朗肯循环理论,不过与传统以水为工质的朗肯循环不同,ORC采用低沸点的有机工质。在系统运行过程中,火电厂锅炉产生的中低温余热首先被引入蒸发器,有机工质在蒸发器内吸收余热,由液态转变为高温高压的气态。气态的有机工质随后进入汽轮机,推动汽轮机转子旋转,进而带动发电机发电。做功后的有机工质变为低压气态,进入冷凝器,在冷凝器中通过冷却介质将热量释放,重新凝结为液态,最后通过循环泵再次被输送至蒸发器,完成一个完整的循环。相较于传统余热利用方式,有机朗肯循

环余热发电技术优势明显。一方面,它能够高效回收火电厂锅炉产生的中低温余热,拓宽了余热利用的温度范围。以往大量中低温余热因无法被传统方式有效利用而白白散失,ORC技术的出现填补了这一空白。另一方面,该技术系统结构相对简单,运行维护成本较低,且对环境友好,有机工质大多无毒、无腐蚀性。以某600MW机组火电厂引入有机朗肯循环余热发电系统为例,经过精心设计与安装调试,系统投入运行后成效显著。经实际监测,该系统可将锅炉部分中低温余热转化为电能,每年额外发电量可达数千万度。不仅有效提高了火电厂的能源综合利用效率,还为电厂带来了可观的经济效益。折算下来,每年可减少标准煤消耗数千吨,相应地减少了二氧化碳、二氧化硫等污染物的排放,在节能与环保方面均发挥了重要作用,为火电厂的可持续发展提供了有力的技术支撑。

结语

本研究表明,燃烧优化与余热回收等节能技术可显著提升火电厂锅炉运行性能,降低能耗,提高能源利用效率,减少污染物排放。但目前这些技术推广面临成本高、改造难等问题。未来需加大研发投入,创新技术手段,降低应用成本,增强技术可靠性,以推动节能技术在火电厂广泛应用,实现高效生产与环境保护的双赢。

参考文献

- [1]傅文明.火电厂锅炉混煤掺烧技术及节能运行措施研究[J].自动化应用,2024,65(18):25-27,30.
- [2]岳宝龙.火电厂锅炉运行中节能降耗技术的应用方法研究[J].电力系统装备,2021(12):56-57.
- [3]孔令卿.火电厂集控运行节能降耗技术研究[J].节能与环保,2023(6):52-54.