

循环流化床锅炉燃烧控制策略剖析

骆国强

国能亿利能源有限责任公司电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘要: 循环流化床锅炉凭借独特工作原理运行,其燃烧过程受燃料特性、风量配比、床层温度与压力等多种因素影响。燃烧控制策略包含燃料量、风量、床温及床压控制等层面,如精准给煤、优化风量配置等。模型预测控制作为先进手段,综合多因素构建动态模型预测系统输出,能提前调控控制量,提升运行效率、稳定性与环保性。但因锅炉内部过程复杂,建模困难致使预测存在偏差,需探寻更精准建模及数据驱动优化方法,以推动该技术发展。

关键词: 循环流化床; 锅炉燃烧; 控制策略

引言: 循环流化床锅炉在工业生产中占据重要地位,其燃烧控制对锅炉高效、稳定且环保运行极为关键。了解其工作原理与特点是掌握燃烧控制的基石,而实际运行中,诸多因素会对燃烧效果产生影响。故而,深入剖析影响因素,探讨相应燃烧控制策略,并介绍先进控制技术应用,对优化循环流化床锅炉性能、提高生产效率、减少环境影响意义重大。

1 循环流化床锅炉的工作原理及特点

1.1 工作原理

在循环流化床锅炉正常运行时,炉前给煤系统将燃料输送至炉膛。通常配备一、二次风,部分锅炉还设有三次风。一次风从布风板下端进入炉膛,主要用于维持料层流化并控制床温;二次风用于增加炉膛内总风量,保障燃料充分燃烧。在流化风速作用下,炉膛内物料剧烈扰动,形成气固两相流。部分固体颗粒被高速气流带出密相区进入稀相区,较大颗粒因重力沿炉膛壁下落,较小颗粒随烟气排出炉膛,进入物料分离设备。在分离设备中,烟气经固气分离,分离出的颗粒通过返料装置送回炉膛。分离后的烟气在对流烟道受热面吸热后离开锅炉。

1.2 特点

(1) 低温的动力控制燃烧过程

循环流化床锅炉炉内燃烧温度受最佳脱硫温度的限制,一般被控制在820-990℃。此温度低于普通煤的灰熔点,避免了灰溶化带来相关的问题。这种低温燃烧方式使用炉内碱金属析出和结渣都低于煤粉炉,且该温度下 NO_x 生成量大幅下降。

(2) 高速度、高通量、高浓度的固体物流态化循环

锅炉内的固体物料(如煤粉、残炭、脱硫剂、炭以及惰性床料等)经炉膛、旋风分离器以及回料系统组成的外循环。固体物料也经历了炉膛内部的内循环。整个燃烧过程和脱硫过程均在这两个循环的动态过程中完成。

(3) 高强度的热量、动量和质量传递过程

大量固体物料在炉内强烈的湍流下通过炉膛,物料循环量和炉内物料的分布规律都可人为改变以适应不同的燃烧工况^[1]。这使得炉内的热量、动量和质量传递过程非常强烈,炉膛高度温度分布较为均匀。

2 影响循环流化床锅炉燃烧的因素

2.1 燃料特性

(1) 粒度分布

燃料粒度分布不合理影响锅炉运行。大颗粒过多会在床体沉积形成死滞区,破坏流化状态,导致炉内温度场不均,可能因床温异常结焦停炉,还可能堵塞返料器,影响物料循环。细粉过多会增加小煤粒飞逸,造成锅炉损失,严重时细颗粒在分离器和返料器中二次燃烧,致使返料器结焦。

(2) 热值

燃料热值影响锅炉负荷调节与燃烧效率。热值低的燃料需增加量满足负荷,但可能使床温下降,影响燃烧稳定性;热值高的燃料少量即可提供足够热量,若超出设计范围,可能使床温过高,引发结渣问题。

(3) 水分

水分高的燃料吸收热量,降低燃烧温度,导致着火困难,使炉膛温度难达预期,且水分蒸发增加烟气体积,增加引风机电能消耗和排烟热损失,外在水分高时还可能堵塞落煤管,影响给料。

(4) 灰分

灰分高的燃料增加炉内磨损和积灰。燃烧时,灰分颗粒对受热面、风帽等部件冲刷磨损,降低设备寿命,大量积灰影响传热效果,降低燃烧效率,严重时可能引发爆管等安全问题。

2.2 风量配比

(1) 一次风量

一次风量主要影响料层流化状态和床温。一次风量过小,料层流化不良,空气与燃料接触不充分,导致燃烧不完全,影响燃烧效率;同时,流化效果差使热量传递不均匀,可能导致局部床温过高,引发结焦等问题。一次风量过大则带走大量热量,降低床温,增加风机电耗,提高运行成本。

(2) 二次风量

二次风量对燃料燃烧程度至关重要。二次风量过小,燃料在炉膛内不能充分燃烧,产生大量不完全燃烧产物,增加污染物排放,如一氧化碳、碳氢化合物等;二次风量过大,降低炉膛温度,使燃烧反应速率减慢,影响燃烧效率,同时增加风机能耗^[2]。

2.3 床层温度

床温过高,燃料迅速燃烧释放大量热量,可能导致燃料结渣,影响锅炉正常运行。结渣附着在受热面上降低传热效率,严重时堵塞炉膛,使锅炉无法工作。此外,床温过高还使氮氧化物(NO_x)生成量增加,加剧环境污染。床温过低,燃料燃烧速度减慢,燃烧效率降低,甚至可能导致灭火,低温燃烧还会使灰渣中可燃物含量增加,造成能源浪费。

2.4 床层压力

床层压力过高,表明炉内物料量过多或流化状态不佳,增加风机负荷,使风机能耗增加,影响锅炉经济性。同时,过高床层压力可能导致炉内物料循环倍率下降,影响物料循环和燃烧效果。床层压力过低,意味着炉内物料量不足或流化效果差,降低燃烧效率。此外,床层压力变化影响物料循环倍率和分离器分离效率,进而影响锅炉整体运行性能。

3 循环流化床锅炉的燃烧控制策略

3.1 燃料量控制

(1) 精确给煤

精确给煤是保证循环流化床锅炉稳定燃烧的基础。采用变频调速给煤机,能依据锅炉实时负荷需求和床温变化精准调整给煤量。例如,锅炉负荷突增时,控制系统自动提高给煤机电机转速,增加给煤量,满足负荷增加的燃料供应;负荷降低时,电机转速降低,减少给煤量。这种精确给煤方式可提高燃烧效率,减少因给煤量不稳定导致的燃烧波动。

(2) 燃料粒度调整

燃料粒度分布对循环流化床锅炉流化效果和燃烧效率影响显著。对于粒度较大燃料,需进行破碎处理,使其在炉膛内更好流化,增加与氧气接触面积,提高燃烧效率,同时延长在炉膛内停留时间,利于充分燃烧。对于粒度较小燃料,因其易被气流吹走造成飞灰损失,可

采用添加粘结剂等方法提高燃料成型性,减少飞灰量。

(3) 燃料水分控制

燃料中的水分吸收热量,降低燃料发热量,因此需对燃料进行干燥处理。热风干燥和蒸汽干燥是常用方法,可有效降低燃料水分含量,提高燃烧效率^[3]。在燃料储存和输送过程中,要做好防潮、防水措施,如采用密封储煤仓和输送设备,并定期检查设备密封性,避免燃料水分增加。

3.2 风量控制

(1) 一次风控制

一次风是循环流化床锅炉流化的主要动力源,其风量的大小直接影响着料层的流化状态和床温。当床温升高时,适当增加一次风量可以降低床温,因为更多的冷空气进入炉膛会吸收热量;相反,当床温降低时,适当减少一次风量可以提高床温。同时要确保一次风的风速和压力在合适的范围内,以保证料层的良好流化效果,避免出现局部死区或流化不均。

(2) 二次风控制

二次风的主要作用是补充炉膛内的氧气,促进燃料的充分燃烧。根据燃料的燃烧情况和炉膛内的氧气含量,合理地调整二次风量至关重要。当燃料不完全燃烧时,增加二次风量可以提高燃烧效率,减少能源浪费和污染物排放;当炉膛内氧气含量过高时,适当减少二次风量可以降低风机电耗,提高能源利用效率。

(3) 风量配比优化

通过试验和模拟计算确定最佳的一次风和二次风的配比,是实现循环流化床锅炉最佳燃烧效果的关键。在不同的负荷条件下,燃料的燃烧特性会有所不同,因此要根据实际情况调整风量配比。

3.3 床温控制

(1) 调节燃料量

调整燃料量是控制床温的直接有效方法。床温升高时,减少燃料量可降低燃烧放热量,使床温下降;床温降低时,增加燃料量能提高燃烧放热量,使床温升高。但燃料量调整幅度不宜过大,否则影响锅炉稳定运行,可能导致炉膛温度分布不均,甚至引发结焦问题。

(2) 调节风量

风量调整对控制床温意义重大。增加一次风量可增强炉膛物料流化,提升热量传递效率,从而降低床温;减少一次风量会减弱流化效果,使床温升高。二次风量调整主要通过改变炉膛氧气含量影响燃烧速度和放热量,进而影响床温^[4]。实际操作中,需依据床温变化合理调整一次风和二次风风量,实现快速有效控温。

(3) 添加石灰石

对于炉内脱硫的循环流化床锅炉,添加石灰石有提高脱硫效率和调节床温的双重作用。石灰石分解过程吸热,可降低床温。依据床温变化适量添加石灰石能精确控制床温。

(4) 水冷壁换热

水冷壁是重要换热部件,调整其换热量可控制床温。床温升高时,增加水冷壁换热量,如提高水流量或降低水温,可带走更多热量,降低床温;床温降低时,减少换热量,如降低水流量或升高水温,能使床温升高。此方法可精确控温,但需合理设计和调整水冷壁结构与运行参数,保障其安全运行。

3.4 床压控制

(1) 调整排渣量

排渣是维持循环流化床锅炉床压稳定的重要手段。通过调整排渣设备的运行参数,控制排渣量,可以使床层压力保持在合适的范围内。当床压升高时,增加排渣量,及时排出炉膛内多余的物料,降低床压;当床压降低时,减少排渣量,保持床层内的物料量,提高床压。还要注意排渣的均匀性和连续性,避免排渣不畅或排渣过多导致的床层压力波动。

(2) 调整返料量

返料量的大小直接影响着床层压力和物料的循环倍率。当床压升高时,适当减少返料量可以降低床层压力;当床压降低时,适当增加返料量可以提高床压。此外,返料系统的稳定运行对于锅炉的正常运行至关重要,需要定期检查返料器的工作状态,确保返料顺畅,避免返料不畅或返料过多导致的故障。

(3) 调整风量

风量的变化对床层压力也有一定的影响。当床压升高时,适当增加一次风量或减少二次风量,可以降低床层压力,因为更多的气流会带走炉膛内的物料;当床压降低时,适当减少一次风量或增加二次风量,可以提高床层压力。但在调整风量时,需要综合考虑风量对燃烧效率和污染物排放的影响,确保锅炉的安全、高效、环保运行。

4 模型预测控制在循环流化床锅炉燃烧控制中的应用

4.1 模型预测控制策略分析

模型预测控制是一种智能化的先进控制策略。它的关键在于先构建循环流化床锅炉的精准数学模型,这一模型涵盖了燃料特性(像热值、挥发分、颗粒度等)、风量(一次风、二次风的风量与风速)、床温等诸多关键燃烧要素。随后运用特定的预测算法,依据当前的系统状态信息,对未来一段时间内锅炉的各项输出参数,如蒸汽产量、污染物排放量、燃烧效率等进行预估。在每个控制周期,系统实时采集当前燃料供给量、风量大小、床

温数值等数据,并输入模型。同时,依据设定的未来控制时域(如接下来10分钟内)和预测时域(如预测未来20分钟的系统状态),运用特定的预测算法进行复杂计算与优化。以负荷变化为例,若预测到未来15分钟后负荷将增加20%,模型会综合考虑燃料的燃烧特性、当前床温及风量情况,提前规划控制策略。它可能会在接下来的5分钟内逐步增加燃料供给量,按照特定的速率提升一次风与二次风的风量,确保床温稳定上升且维持在最佳燃烧区间,使锅炉能提前适应负荷变化,平稳过渡到新的稳定燃烧状态^[5]。与传统控制依赖当前测量值进行滞后调节不同,这种提前规划的控制量调整显著提高了控制的准确性与及时性,有效应对燃烧系统复杂的动态变化。

4.2 模型预测控制的应用效果

基于模型预测控制的煤粉炉燃烧自动平衡优化系统:在燃煤电厂中,利用agam-firematrix声波测温系统测得的温度场分布数据以及燃煤电厂的历史运行数据,借助大数据建模分析方法、人工智能模型、专家知识和模型预测控制理论,构建燃烧优化自动调节系统模型。该模型能够辅助燃煤电厂高效运行,实现节能减排。通过此系统,供电煤耗可实现超过2克/千瓦时的降低,以年发电30亿千瓦时来计算,可以减少煤耗约6000吨以上。同时,由于燃烧均衡性的提升,炉膛出口nox浓度亦可下降5%(下降值 $\geq 20\text{mg/m}^3$),减污降碳协同成效明显。

结束语:循环流化床锅炉的燃烧控制是一项复杂系统工程。通过有效控制燃料量、风量、床温及床压,可在一定程度上保障锅炉稳定运行与高效燃烧。模型预测控制应用为其带来新机遇,在提高效率、稳定运行和减少污染方面成效初显。然而,建模困难限制了其进一步发展。随着对锅炉内部物理化学过程研究深入和数据处理技术提升,不断改进模型预测控制策略,循环流化床锅炉燃烧控制技术必将迈向新高度,为能源利用和环境保护做出更大贡献。

参考文献

- [1] 李宁,丁雪松,徐雨红,等.循环流化床锅炉污染物排放与控制策略综述[J].现代盐化工,2021,48(6):29-30.
- [2] 张心入境.模糊控制在循环流化床锅炉系统中的研究[D].吉林化工学院,2023,6(6):12-14.
- [3] 郭悦.化工企业循环流化床锅炉燃烧运行经济性优化分析[J].中国化工贸易,2023,15(23):49-51.
- [4] 李丰泽.循环流化床锅炉燃烧系统优化控制策略研究[D].山西:太原理工大学,2021.7.(7):7-8.
- [5] 周金国,孟现辉.循环流化床锅炉燃烧系统烟气氧含量控制策略[J].清洗世界,2020,36(10):75-76.