

循环流化床锅炉控制方案

陈 洋

中冶南方都市环保工程技术股份有限公司 湖北 武汉 430000

摘 要：循环流化床锅炉（Circulating Fluidized Bed Boiler, CFB）作为新一代高效、低污染清洁燃烧锅炉，具有燃料适应性广、负荷调节性能好、灰渣综合利用等优点。然而，由于其燃烧及汽水变化过程十分复杂，受影响的因素多，给煤、一、二次风、返料耦合性强，且燃烧与汽水也存在复杂的耦合关系，使得其控制方案的设计和实施具有挑战性。本文旨在探讨循环流化床锅炉的控制方案，以期对相关领域的研究和应用提供参考。

关键词：循环流化床锅炉；结构与特点；控制系统；优化措施

引言

循环流化床锅炉的工作原理基于流化床燃烧技术，通过高速气流使固体燃料颗粒在炉膛内呈流态化沸腾燃烧。这种燃烧方式具有高传热系数、高效脱硫、燃料适应性广等特点。然而，由于循环流化床锅炉系统的复杂性和多变量输入多变量输出的特性，其控制方案的设计和实施需要综合考虑多种因素。

1 循环流化床锅炉的基本组成与工作原理

1.1 基本组成

循环流化床锅炉的结构设计独特，主要由燃烧系统、气固分离循环系统以及对流烟道三大部分紧密构成。燃烧系统是锅炉的核心，它涵盖了风室、布风板、燃烧室、炉膛以及给煤系统等多个关键部件。风室为燃烧提供必要的空气动力，布风板则确保空气均匀分布进入燃烧室。炉膛是燃料燃烧的主要场所，而给煤系统则负责将燃料精准地送入炉膛。气固分离循环系统同样不可或缺，它由物料分离装置和返料装置组成。物料分离装置高效地将烟气中的固体颗粒分离出来，而返料装置则将这些颗粒重新送回炉膛，实现循环燃烧。对流烟道部分则包括过热器、省煤器和空气预热器等设备。过热器用于将蒸汽加热至所需温度，省煤器利用烟气余热预热给水，提高锅炉效率，而空气预热器则预热进入炉膛的空气，进一步提升燃烧效率。

1.2 工作原理

循环流化床锅炉的工作原理基于流化过程，即固体粒子在与气体或液体接触时呈现出类似流体的状态。该锅炉在鼓泡流化床技术的基础上发展而来，其炉内流化风速较高，通常维持在4~8m/s的范围内。在燃烧过程中，被烟气携带出炉膛的细小固体颗粒经过分离器的精准分离后，通过返料装置再次送回炉膛进行循环燃烧。这一过程不仅提高了燃料的利用率，还减少了污染物的排放，使得

循环流化床锅炉成为高效、环保的燃烧设备。

2 循环流化床锅炉控制方案分析

2.1 燃烧控制子系统

燃烧控制的目标是确保锅炉安全燃烧，同时保持主汽压力稳定在设定值，并实现经济燃烧，即空气过剩系数恰当。与煤粉锅炉不同，CFB锅炉不需要制粉系统，经破碎符合一定粒度要求（粒径0~15mm）的煤从前墙和/或回料阀的多处给料点直接送入炉膛。循环流化床锅炉的燃烧控制主要通过给煤、一次风、二次风及二次返料等手段实现。采用基于人工操作经验的专家智能控制系统，有效解决了燃烧过程的强耦合、大滞后、时变性等难题。给煤控制方面，首先根据负荷及主汽压力设定给煤量的粗调值，然后再根据料床温度进行细调，以确保燃烧的稳定性及经济性。一次风控制则根据给煤量设定一次风量的粗调值，同样由料床温度进行细调^[1]。一次风的主要作用是流化床料，并为燃料的燃烧提供初始氧气。二次风则主要用于保证燃料的充分燃烧，在锅炉平稳燃烧的基础上，通过单独调节二次风来纠正烟气氧含量，实现经济燃烧的目标。

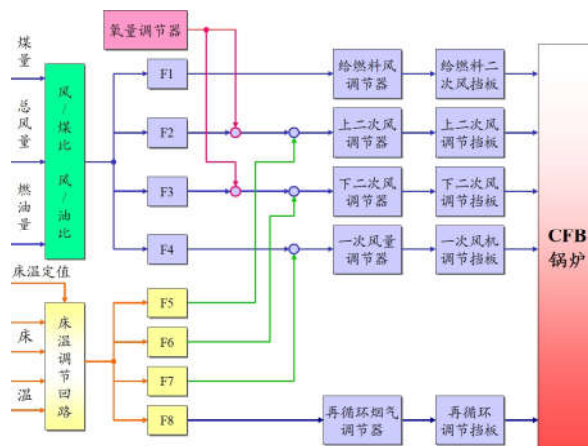


图1 循环流化床锅炉风量控制系统框图

2.2 汽包水位控制子系统

汽包水位控制是锅炉运行中的重要环节。经典的三冲量串级前馈控制在各种锅炉汽包水位的自动调节中已得到广泛应用。然而,在实际运行中,三冲量方案难以完全克服锅炉负荷的大扰动和锅炉汽包的不定期人工排污等情况引起的水位变动。因此,引入了负荷变化率和汽包水位变化率两个变量,采用三冲量+规则调水方案。该方案结合了经典三冲量控制和专家规则控制的优点,通过实时监测负荷变化率和汽包水位变化率,动态调整给水控制策略,有效提高了汽包水位控制的稳定性和准确性。经现场投运验证,该控制方案效果较好。

2.3 主汽温度控制子系统

主汽温度是锅炉运行中的重要参数之一,对锅炉的安全和经济性有重要影响。主汽温度控制采用串级前馈方案,以减温器出口温度作为前馈信号来弥补主蒸汽温度的大滞后。然而,由于工艺上的安装困难,实际中常考虑用炉膛出口温度作为前馈信号。通过实时监测炉膛出口温度的变化,提前调整减温水的流量,以有效控制主汽温度的稳定。现场使用效果表明,该控制方案能够满足主汽温度的控制要求。

2.4 汽水协调控制子系统

由于工艺管道的设计原因,汽包水位控制和主汽温度控制之间存在相互制约的关系。在调节汽包水位时,可能会影响主汽温度的稳定;同样,在调节主汽温度时,也可能对汽包水位产生影响。这种相互制约的关系导致了汽包水位和主汽温度调节时的抢水现象^[2]。为了解决这一问题,引入了二次给水自动控制阀作为协调任务。给水阀的动作由特定的公式决定,实质上是一个比值分程调节系统。通过实时监测汽包水位和主汽温度的变化,动态调整给水控制策略,确保两者之间的协调运行。

2.5 料层差压控制子系统

料层差压即床层压降,是指布风板处的静压力与密相区与稀相区交界处压力差。布风板压降一般占炉膛总压降的20%~25%,少数情况下可适当增减以保证流化质量的要求。在流化风量一定的前提下,料层差压直接反映了床层高度。维持相对稳定的床压和炉膛压力对保证锅炉的正常运行至关重要。因此,需要对料层差压进行实时监测和控制。通过调整给煤量、一次风量和二次风量等参数,可以有效控制料层差压的稳定。同时,还需要定期清理床料和检查布风板的状况,以确保料层差压控制的准确性和可靠性。

2.6 锅炉安全联锁保护子系统

锅炉安全联锁保护子系统是确保锅炉安全运行的重

要保障。该子系统包括燃料安全系统(FSS)和燃烧器控制系统(BCS)两部分。FSS主要负责锅炉的启动、停止和紧急跳闸等功能,包括炉膛吹扫、锅炉冷态启动、锅炉热态启动和燃料跳闸四个功能模块。通过这些功能模块的实现,可以确保锅炉在启动、运行和停止过程中的安全性。BCS则主要负责锅炉点火和燃烧过程的控制,包括锅炉点火准备、点火枪点火、燃油枪点火和煤燃烧控制四个功能模块。通过对给煤机及相关的风门挡板的启/停和开/关、跳闸进行程控和监视,可以确保锅炉点火和燃烧过程的稳定性和可靠性。同时,锅炉安全联锁保护子系统还与锅炉的其他控制系统相互配合,共同确保锅炉的安全运行。

2.7 炉膛负压控制子系统

炉膛负压控制是一个快速过程,通过合适的PID参数整定,一般可以采用单回路控制达到目的。然而,鼓风量的变化对炉膛负压控制品质有较大影响。由于现场没有风量测量装置,因此间接取鼓风挡板开度作为前馈量进行控制。同时,考虑到引风电动机的抗冲击性,负压控制中引入了调节死区,在该负压范围内保持上次的输出值,以避免频繁调节对设备的冲击。

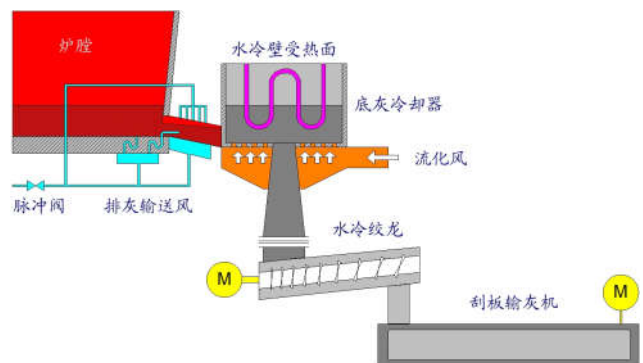


图2 Pyroflow型循环流化床锅炉冷渣器示意图

3 循环流化床锅炉控制方案的优化

3.1 优化循环流化床锅炉的供氧系统

供氧系统是循环流化床锅炉燃烧过程中的关键环节,其性能直接影响燃烧效率和燃料的消耗量。为了优化供氧系统,需要从风量控制、氧气含量调节以及送风方向调整等方面入手。首先,风量控制是供氧系统优化的基础。通过精确控制一次风和二次风的流量,可以确保床料的流化状态和燃料的充分燃烧。为了实现这一目标,可以采用风量测量装置和智能控制系统,实时监测和调整风量,使其与燃烧需求相匹配。其次,氧气含量的调节也是供氧系统优化的重要方面。通过控制进入炉膛的空气中的氧气含量,可以优化燃烧过程,减少过剩空气系数,从而提高燃烧效率^[3]。为此,可以采用氧气传

传感器和自动控制系统,实时监测炉膛内的氧气含量,并根据燃烧需求进行自动调节。最后,送风方向的调整也是供氧系统优化的重要手段。通过改变送风方向,可以改善床料的流化状态,促进燃料的均匀燃烧。为了实现这一目标,可以采用可调式的风门和导向装置,根据燃烧状态实时调整送风方向。

3.2 建立燃烧过程模型

建立燃烧过程模型是优化循环流化床锅炉控制方案的重要手段。通过模型,可以更加准确地预测燃烧效率、床层温度、气体组成等关键参数,为控制参数的调整提供科学依据。在建立燃烧过程模型时,需要充分考虑循环流化床锅炉的燃烧特点,如床料的流化状态、燃料的燃烧过程、气体的流动和混合等。通过深入研究这些特点,可以建立起符合实际的燃烧过程模型。模型建立后,可以利用其进行模拟实验,研究不同控制参数对燃烧过程的影响。通过模拟实验,可以找到最优的控制参数组合,使循环流化床锅炉在高效、稳定、经济的状态下运行。此外,燃烧过程模型还可以用于故障诊断和预测。通过实时监测模型输出与实际运行数据的差异,可以及时发现故障并采取措施进行修复,避免事故的发生。同时,模型还可以预测锅炉的未来运行状态,为运行人员提供决策支持。

3.3 采用先进的控制算法

循环流化床锅炉的燃烧过程具有复杂性、非线性和时变性等特点,传统的控制算法往往难以满足其控制要求。因此,采用先进的控制算法对循环流化床锅炉进行控制显得尤为重要。模糊控制是一种基于模糊集合理论的控制方法,具有处理不确定性和模糊性的能力。在循环流化床锅炉的控制中,模糊控制可以根据燃烧状态的变化,自动调整控制参数,使锅炉保持在最佳运行状态。神经网络控制是一种模拟人脑神经网络结构的控制方法,具有自学习、自适应和容错性等特点。在循环流化床锅炉的控制中,神经网络控制可以通过学习历史数据,建立燃烧过程与控制参数之间的映射关系,从而实现精确控制。遗传算法控制是一种基于生物进化论的控制方法,通过模拟自然选择过程来优化控制参数^[4]。在循环流化床锅炉的控制中,遗传算法控制可以在多个控制

参数组合中寻找最优解,使锅炉的运行效率达到最高。除了上述控制算法外,还有许多其他先进的控制算法可以应用于循环流化床锅炉的控制中。这些算法各有特点,可以根据实际情况选择适合的控制算法进行应用。

3.4 采用自适应控制

循环流化床锅炉的燃料种类及质量、燃烧状态、燃烧温度等因素会随时发生变化,这些因素的变化会影响锅炉的运行效率和稳定性。为了应对这些变化,可以采用自适应控制方法对锅炉进行控制。自适应控制是一种能够根据系统变化自动调整控制参数的控制方法。在循环流化床锅炉的控制中,自适应控制可以实时监测燃料种类及质量、燃烧状态、燃烧温度等因素的变化,并根据这些变化自动调整控制参数,使锅炉保持在最佳运行状态。实现自适应控制需要依靠先进的传感器和智能控制系统。传感器用于实时监测锅炉的运行状态和环境参数,智能控制系统则根据传感器的数据进行分析 and 处理,并调整控制参数。通过自适应控制的应用,可以显著提高循环流化床锅炉的运行效率和稳定性。

结语

循环流化床锅炉的控制方案是一个复杂的系统工程,需要综合考虑多种因素。通过设计合理的燃烧控制、炉膛负压控制、汽包水位控制、主汽温度控制、汽水协调控制、料层差压控制以及锅炉安全联锁保护等子系统,并采用先进的控制算法和监测技术,可以实现循环流化床锅炉的高效、稳定、安全运行。未来,随着控制技术的不断进步和循环流化床锅炉应用领域的不断拓展,其控制方案的研究和优化将具有重要意义。

参考文献

- [1]王鹏飞.循环流化床锅炉燃烧系统的优化控制研究[J].自动化应用,2024,65(17):63-65.
- [2]张智超.循环流化床锅炉床温调整与自动控制方案分析[J].山西化工,2018,38(02):91-93.
- [3]陈要华.循环流化床锅炉NOX控制技术方案[J].锅炉制造,2019,(01):37-42.
- [4]高尔栋,陈鹏.适应330 MW循环流化床锅炉灵活运行的脱硫自动控制系统分析与实践[J].山西电力,2024,(02):32-36.