

循环流化床锅炉节能减排技术的优化措施

赵明鑫, 林晓雪

(沈阳清华锅炉有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 随着科学技术不断发展和节能减排政策不断趋紧, 传统锅炉与已投入到生产中的循环流化床锅炉(CFB), 均受到了一定的影响。现阶段热电企业正面临能源紧张和价格上涨的压力, 需要进一步关注企业的生存条件与技术应用手段。为进一步提升循环流化床锅炉的运行效率与环保性能, 本文重点分析了循环流化床锅炉的节能减排相关优化措施。

关键词: 循环流化床锅炉; 节能; 燃烧; 减排

中图分类号: TK229

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.33.022

循环流化床锅炉(CFB)已经成为热电行业重点使用的炉型之一, 必须要朝着节能、环保技术方向持续发展。流态化技术最早应用在煤气化领域中, 后期逐渐应用到化工反应领域, 并获得了较为充分的发展。经过一段时间的发展, 流态化技术又再次应用到了煤气化与煤燃烧的领域, 在我国煤电市场中占据着极为重要的地位^[1]。循环流化床锅炉(CFB)就是以流态化技术为依据发展而来的一项新技术, 它采用气固混合的燃烧方式, 显示出流态化燃烧的特点, 充分地发挥了悬浮燃烧与链条炉固定燃烧所具有的优势, 有较好的环保特征。我国的循环流化床锅炉发电已经从1996年的100 MW起步发展到了超临界时代(2013年), 获得了极大的发展, 在环保方面也提出了更高的要求。

1 循环流化床锅炉优势与劣势

经过长期的研究与探究, 我国CFB锅炉获得了较为明显的发展, 并为我国社会经济发展做出自己的贡献: 首先, CFB锅炉具有煤炭燃烧率高的特点。此项技术以动态流态化燃烧作为主要内容, 通过稳定循环的方式来保证炉内的热量交换, 使煤炭得到充分且有效的预热。对于部分未充分燃烧的煤粒子而言, 反复的循环燃烧可提升热量交换的效果, 从而达到充分燃烧的目的, 在提升资源利用率方面具有重要意义。其次, CFB锅炉具有良好的调节特征。灰粒子在CFB锅炉中的高温循环可以储存较多的热量, 使炉内的温度保持在平稳状态, 将新的煤炭加入其中可以为其提供一定的热量, 实现迅速预热与点火, 因此不容易对循环流化床产生较大的负荷, 起到调节负荷的重要作用。当循环流化床发生一定的负荷变化时, 可以将调节的重点放在给煤量和流动速度上, 从而获得良好的调节效果^[2]。最后, CFB锅炉具有环境污染小的特点。此种技术的应用不仅可以实现脱硫脱硝, 还可以实现脱氮, 在保护环境方面起到非常重要的作用。循环流化床的内部温度多处于900℃左右, 为脱硫、脱硝相关操作提供了较为合适的温度,

同时还可以通过加入催化剂的方式进一步提升脱硫效果。

但是CFB锅炉因受到自身燃烧机理的影响, 容易在运行过程中受到一些问题的阻碍。首先是普遍存在“大马拉小马”的问题, 不少CFB锅炉都处于低负荷运行状态中, 容易造成能源浪费的问题; 其次是燃煤质量参差不齐的问题, 主要是因为不同地区提供的燃煤质量存在较大差异, 煤种使用也会表现出不同, 当煤种发生变化时容易影响到CFB锅炉的燃烧情况, 导致管理人员无法准确掌握运行规律, 加大了污染物的排放; 最后是燃烧设备与运行控制方面的问题, 因为我国不少CFB锅炉制造企业多侧重于外观设计, 缺少研究能力, 容易出现设备设计不合理, 导致运行控制受限等问题, 管理人员无法依据具体运行状况采取相应调整措施。

2 优化循环流化床锅炉节能减排效果的措施

2.1 提升炉内燃烧均匀性

炉内燃烧均匀性与布风(包括二次风)的均匀性以及给煤的均匀性存在密切关系, 必须重点关注上述三个方面的均匀性。

首先, 对锅炉的给煤均匀性进行关注。在实际生产中, 为了让煤粒与床料的混合度得到有效提升, 同时加大给煤口与二次风喷口之间的高度, 经常会将落煤口下移到沸中的位置, 此种操作容易导致落煤管的反窜现象, 在运维方面埋下了安全隐患。因此可采取落煤管结构, 保证落煤管内的每个位置都处于均匀化的布风状态, 从而实现对烟气反窜的有效控制。如图1所示, 想要进一步控制烟气反窜的问题, 还需要将密封风设置在方形落煤管斜端的前面位置, 与地面成80°夹角, 制作成大头小头的样式, 起到降低阻力的效果。落煤口的制作需要在其底部使用新型的防磨技术, 将对接位置制作成台阶状, 降低煤粒对底部的冲击, 提升整个锅炉的使用寿命^[3]。此外, 要控制好落煤口的设计, 过大的落煤口会让反窜现象变得更加明显, 因此需要缩小其大小, 实现对炉内正压的有效控制。

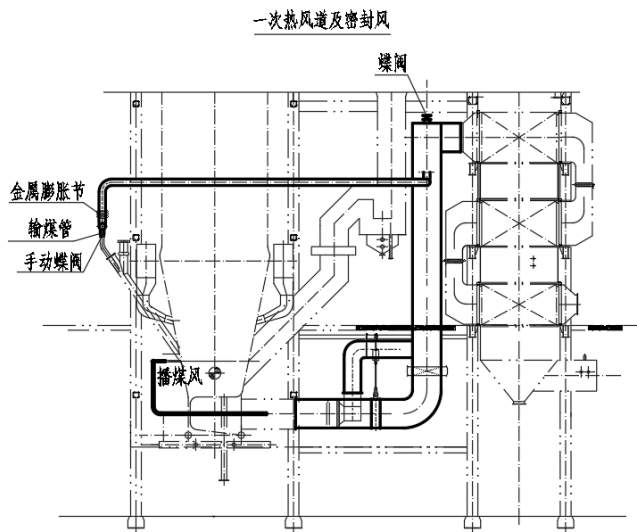


图1 一次风道及密封风

其次，对布风的均匀性进行关注。第一，要对风道的走向进行重新检查，即对所有的冷风道截面进行校核，保证满负荷时的截面风速 $< 8 \text{ m/s}$ 。尽量减少不必要的弯头与大小变径管，且要将所有的弯头处理为内外缓弯头。风量测量装置应安装在直管道上，并遵守“前七后三”原则，当风道进入风室前需要提早变径，避免在风室门口变径。第二，要重视风室均匀性。如果不采用风道点火也不使用等压风室，则需要装置导流板。如果风室存有多个进风口，不同风口之间都需要实施相互导通的隔离性措施。第三，要对二次风均匀性进行有效调整。一般是在不同的二次风口加装风量挡板，同时在停炉时将各风口的风量调至一致。于二次风口之上 15 m 左右的炉膛安装烟气取样点，以便对炉内氧气浓度、温度、压力分布进行有效测量，还能依据这一分布情况来有效调整二次风量，如图2所示。在无法测量炉内烟气浓度分布的条件下，可以根据前后墙的“入炉热量”大致分布情况，对二次风口的挡板开度进行有效调节。总体来说，对一次、二次风量进行调整，不仅可以对床温实现有效调节，还可以使炉内的燃烧强度得到一定强化。



图2 炉膛测点

2.2 优化脱硫、脱硝效果

CFB锅炉本身凭借着炉膛空间大和炉内脱硫反应时间长等特点在燃烧控制方面显示出一定的优势，其 NO_x 生成量比一般

锅炉技术降低 20% 左右。但是在国家节能减排政策日益收紧的大背景下，对锅炉减排的限值也提出了更高的要求，单纯依靠CFB自身的低排放性能已经无法很好地满足相关的政策需求与环保要求，因此需要进一步关注脱硫、脱硝装置的应用^[4]。

一是将烟气再循环系统应用于CFB锅炉运行中，通过单独设置再循环风机的方式强化烟气循环。该系统主要利用尾部的烟气代替富氧的空气，不仅可以使炉膛内的床料得到更加充分的硫化，在氧气含量的抑制方面也发挥出重要优势，抑制了 NO_x 的生成，使 NO_x 的原始排放量介于 $50\sim 200 \text{ mg/Nm}^3$ 之间。在选用烟气再循环风机的过程中，需要将具有耐酸、耐腐蚀性能的304不锈钢作为主要材质。从引风机的出口接一根304不锈钢，与烟气再循环风机的入口连接在一起，再接一根304不锈钢于一次口大管箱中，同时要设置氧量计，通过观察氧量变化实现对热风管箱烟气量的有效控制，使 NO_x 的原始排放浓度得到一定降低^[5]；二是将选择性非催化还原SNCR脱硝技术应用于CFB锅炉机组中，其无论在大型机组还是小型机组当中都可发挥出较高的脱硝效率。SNCR的工作原理是将含有 NH_x 基的还原剂喷入到炉膛内 $800\sim 1100^\circ\text{C}$ 的位置，该还原剂在高温下被分解成 NH_3 和其他副产物，然后与烟气中的 NO_x 发生一定的反应，形成 N_2 和 H_2O 。总体来说，为了进一步提升现有CFB锅炉的节能与低排放效果，可以将不同的装置与方法相结合，依据实际情况选用成本合适且应用灵活的脱硫、脱硝装置，进一步提升环保效果。

2.3 强化底渣及排烟余热回收

想要保证CFB机组安全运行，需要选择可靠的灰渣冷却装置，如图3所示。CFB锅炉的灰渣显热损失一般占到整个锅炉热效率的 $1\%\sim 2\%$ ，个别锅炉甚至达到 $5\%\sim 10\%$ ，这导致CFB锅炉灰渣的显热损失较大。现阶段底渣显热损失的回收方式以汽轮机侧的冷凝水为主，通过冷渣器实现高温底渣的冷却，使回收的热量全部进入回热系统当中。冷渣器在节能降耗方面显示出重要作用，在改善流化质量方面具有重要意义。在处理冷却水时，可以利用升高凝结水的方式降低排渣温度，在此过程中需要着重关注补水率，将其控制在 3% 左右，尽可能地降低煤耗。



图3 冷渣机

2.4 优化锅炉运行适应性

CFB 锅炉处于正常运行状态时,可以将整个炉膛看作一个装满了液体的容器,较低的床压可以反映整个锅炉的塔重,将锅炉内的床料显示出来,通过此种方式实现对炉内燃烧情况的有效推测。上压差是反映锅炉各种工况的重要指标,当其增大时,炉内的物料循环性增强,在处理的过程中,可采取调整调料器硫化速度与控制一次、二次风量的方式实现有效调控。从燃烧与传热的角度入手,可以通过控制床层温度的方式促进燃烧效率与锅炉质量的提升。

为了使锅炉处于安全运行状态,需要将锅炉排放的 NO_x 情况作为主要依据实现床温的有效调节,使 NO_x 与床温之间保持良好的双向关系。床温升高,NO_x 随之增加,因此需要将床层温度控制在 < 850℃ 的状态,以降低 NO_x 的排放量。在 CFB 锅炉实际运行中,风量特性与燃烧、流化状态等具有较为密切的关系,要想进一步保障锅炉处于正常运行状态,需要对炉膛的压差进行一定的调节,通过测量与修正的方式将风量控制在规定的范围内。如图 4 所示,当二次风以分层、分段的方式进入炉膛,可以对一次风产生一定的补偿作用,在应对燃料供氧不足方面具有重要意义^[6]。将节能原理作为主要依据,可以使一定量的煤炭释放出一定量热量,通过综合床压、床温、燃料量与一、二次风量的特性,有效保证锅炉的运行正常。

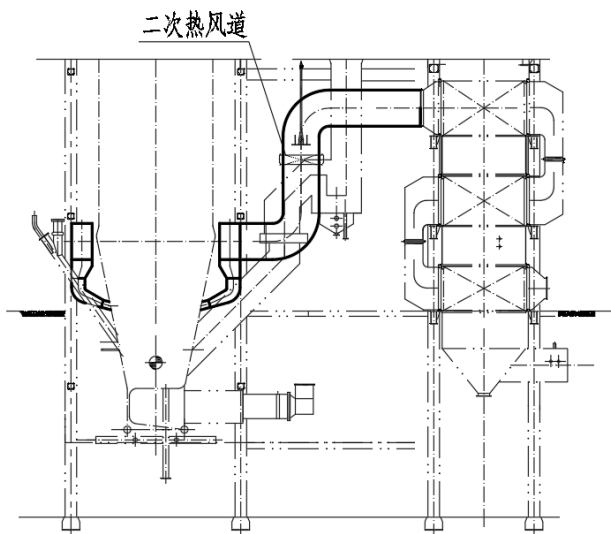


图4 二次风道

3 我国的 CFB 锅炉发展方向

经过近 10 余年发展,我国的 CFB 锅炉已经获得了长足的进步,无论是在容量、配套辅机、自动化控制方面,还是在经济环保性方面取得了较大的发展,锅炉容量已经从 100t/h 左右

发展到 1025t/h,蒸汽参数也逐渐从高压发展至超高压、亚临界阶段。CFB 锅炉要想在电力行业实现进一步的发展,需要重点关注超临界蒸汽循环技术,提升蒸汽参数和增加容量已经成为 CFB 锅炉未来发展的必经之路,因为超临界 CFB 锅炉不仅具备 CFB 锅炉的优秀燃烧技术,同时也兼具临界压力蒸汽循环的重要优势,可以发挥出较高的供电效率,相较于常规的煤粉锅炉,其脱硫运行成本也有显著降低。以 2009 年世界上第 1 台超临界 CFB 锅炉的运行参数作为对比,我国已经投入运行的超临界 CFB 锅炉机组与其参数相当,污染排放情况也处于较好的状态中,特别是 NO_x 的排放数值可达到 < 200mg/m³ 的数值。在超临界 CFB 锅炉机组的不断投运下,我国在超临界 CFB 锅炉的设计与运行方面已经积累了较多的经验,但还需要重点关注进一步的节能与减排,相关工作有待完善与优化。

4 结语

综上所述,现阶段的煤炭发电行业正面临煤炭紧缺且价格上涨的严峻形势,给发电企业的整体运营带来了极大考验。相关人员必须要挖掘一切节能减碳的措施与方法,通过不断地创新来提升锅炉机组的整体运行效率,朝着节能、环保的方向不断前进,逐渐实现碳达峰、碳中和的目标。

参考文献:

- [1] 杨琅. 循环流化床锅炉节能增效改造总结 [J]. 节能与环保, 2021, (02): 34-35.
- [2] 季海龙. 300 MW 循环流化床锅炉烟气余热回收节能改造技术探究 [J]. 中国设备工程, 2021, (14): 184-185.
- [3] 任志强. 火力发电厂锅炉节能降耗的对策与措施研究 [J]. 应用能源技术, 2021, (09): 55-57.
- [4] 刘晓东, 韩磊, 王灵梅. 基于机理模型的循环流化床锅炉节能监测系统研发 [J]. 工业控制计算机, 2021, 34 (11): 49-51.
- [5] 李晓宏. 节点式节能控制技术在循环流化床锅炉 CFB 的应用 [J]. 集成电路应用, 2020, 37 (03): 48-49.
- [6] 魏永军. 第一代循环流化床锅炉 (CFB) 节能进步措施的实施与效果 [J]. 山东工业技术, 2020, (04): 125-127.

作者简介: 赵明鑫 (1987-), 男, 辽宁沈阳人, 大学本科, 工程师, 主要从事热能与动力工程研究; 林晓雪 (1992-), 女, 辽宁朝阳人, 大学本科, 工程师, 主要从事热能与动力工程研究。