

# 电厂 CFB 锅炉安全高效运行与事故预判

雷哲哲

国家能源集团郭家湾电厂, 陕西 府谷 719400

**摘要：**随着能源需求的不断增长和环境保护意识的提高, 电厂的运行效率和安全性成为关注的焦点。循环流化床锅炉 (CFB) 作为一种高效、清洁的燃烧技术, 在全球范围内得到了广泛应用。然而, CFB 锅炉的运行过程中仍然存在一些安全隐患和事故风险。因此, 本文将重点探讨 CFB 锅炉的安全高效运行以及事故预判的重要性, 以为电厂的安全运行提供参考。

**关键词：**循环流化床锅炉; 安全高效运行; 事故预判; 电厂

## Safe and Efficient Operation and Accident Prediction of CFB Boiler in Power Plant

Lei Zhezhe

Guojiawan Power Plant, China Energy Group, Shaanxi, Fugu 719400

**Abstract：** With the continuous growth of energy demand and the improvement of environmental protection awareness, the operation efficiency and safety of power plants have become the focus of attention. Circulating fluidized bed boiler (CFB), as an efficient and clean combustion technology, has been widely used in the world. However, there are still some safety hazards and accident risks in the operation of CFB boilers. Therefore, this paper will focus on the safe and efficient operation of CFB boilers and the importance of accident prediction, in order to provide reference for the safe operation of power plants.

**Key words：** circulating fluidized bed boiler; safe and efficient operation; accident prediction; power plant

### 一、CFB 锅炉的工作原理和优势

循环流化床锅炉 (CFB) 是一种采用流态化技术进行燃烧的锅炉。其工作原理是将燃料和空气在炉膛内充分混合, 形成流态化的燃烧过程。CFB 锅炉具有以下优势: 其一, 燃料适应性广。循环流化床锅炉 (CFB) 由于其独特的设计和工作原理, 能够适应多种不同的燃料, 显示出其卓越的多燃料适应性。无论是传统的煤炭、石油焦, 还是非常规的生物质、废弃物, CFB 锅炉都能有效处理。这种广泛的燃料选择范围为电厂运营者提供了更大的灵活性, 可以根据当地的燃料供应情况、价格 and 市场需求进行最优选择。此外, CFB 锅炉对于燃料的水分、灰分和硫分等特性也显示出很高的容忍度。这意味着即使是品质较低的燃料, 或者燃料成分有所波动, CFB 锅炉也能保持稳定的运行性能。其二, 燃烧效率高。CFB 锅炉采用的流态化燃烧技术是其高效燃烧的关键。在这种技术下, 燃料被空气流化, 形成一种类似沸腾的状态, 使得燃料与空气充分接触, 从而大大提高了燃烧效率。此外, 由于炉膛内温度分布均匀, 也进一步增强了燃烧效果。这种高效的燃烧方式不仅提高了燃料的利用率, 降低了未燃尽损失, 而且减少了有害排放物的生成, 从而达到了节能减排的效果。其三, 环保性能好。与传统的锅炉相比, CFB 锅炉在燃烧过程中可以实现低氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 排放。这是因为其燃烧温度相对较低, 减少了

热力型 NO<sub>x</sub> 的生成。此外, CFB 锅炉还可以通过添加脱硫剂和脱硝剂来实现脱硫脱硝功能, 进一步降低了硫氧化物 (SO<sub>x</sub>) 和氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 的排放。除了减少有害气体排放外, CFB 锅炉还能有效捕集和固定燃烧过程中产生的固体废弃物, 如飞灰和底灰, 从而减少了对环境的污染。

### 二、CFB 锅炉安全高效运行的关键因素

#### (一) 燃料选择

选择合适的燃料对 CFB 锅炉的安全高效运行至关重要。燃料的热值、灰分、硫分等指标直接影响锅炉的燃烧效率和排放性能。因此, 在选择燃料时, 应充分考虑其质量和成分。首先, 高热值的燃料能够提高锅炉的热效率, 降低未燃尽损失。其次, 灰分和硫分的高低会影响锅炉的积灰和结渣情况, 进而影响锅炉的安全运行。因此, 在选择燃料时, 应尽量选用灰分和硫分较低的燃料。此外, 燃料的来源和成本也是选择燃料时需要考虑的重要因素。稳定的燃料供应和合理的价格能够确保锅炉的稳定运行并降低运营成本。

以某电厂为例, 其 CFB 锅炉设计热效率为 90%, 要求燃料热值在 4500-5000kcal/kg 之间。经过市场调研, 该电厂选择了三种备选燃料: 煤炭 A、煤炭 B 和生物质 C。以下是这三种燃料的详

细数据 (表 1)

表1 煤炭 A、煤炭 B 和生物质 C 三种燃料的详细数据

燃料类型	热值 (kcal/kg)	灰分 (%)	硫分 (%)	来源稳定性	价格水平
煤炭 A	4800	25	1.2	稳定	适中
煤炭 B	4950	22	1	较不稳定	稍高
生物质 C	4200	15	0.8	稳定	较低

综合考虑热值、灰分、硫分以及成本等因素，该电厂最终选择了煤炭 A 作为主要燃料。这是因为煤炭 A 的热值较高，能够满足锅炉的设计要求，同时灰分和硫分也在可接受范围内。而且，煤炭 A 的来源稳定，价格适中，有利于保证锅炉的稳定运行并降低运营成本。

另外，为了更好地掌握燃料的燃烧性能和对锅炉的影响，该电厂还对煤炭 A 进行了详细的化验和分析。化验结果显示，煤炭 A 的挥发分适中，着火点较低，易于燃烧，且燃烧过程中产生的有害气体较少。这进一步验证了煤炭 A 作为 CFB 锅炉燃料的适宜性。此外，为了确保燃料的质量稳定，该电厂还与供应商签订了长期合同，并对每批次的燃料进行了严格的质量检测。这些措施有助于确保 CFB 锅炉的安全高效运行。

**(二) 燃烧控制**

合理的燃烧控制是保证 CFB 锅炉安全高效运行的关键。在燃烧过程中，需要关注燃烧温度、氧量、风量等参数的控制。燃烧温度的控制是保证燃料完全燃烧和减少有害排放的关键。过高的燃烧温度可能导致炉膛结渣和受热面损坏，而过低的燃烧温度则会影响燃料的完全燃烧。因此，应根据燃料的特性和锅炉的运行要求，合理控制燃烧温度。氧量和风量的控制也是影响燃烧效率和排放性能的重要因素。适量的氧气能够促进燃料的完全燃烧，提高燃烧效率。同时，合适的风量能够保持炉膛内的流态化状态，确保燃料的充分混合和燃烧。

**(三) 设备维护**

定期对 CFB 锅炉进行设备维护是确保其安全高效运行的必要措施。设备的磨损、泄漏、堵塞等问题都可能影响锅炉的正常运行和使用寿命。设备维护包括定期检查设备的运行状态、更换磨损的零部件、清洗堵塞的管道等。通过定期的设备维护，可以及时发现并处理设备存在的问题，避免设备故障导致的运行中断和安全事故。

**(四) 安全管理**

建立完善的安全管理体系是确保 CFB 锅炉安全运行的重要保障。应关注安全操作规程的制定和执行、安全培训的开展、安全实施的实施等方面。首先，应制定并执行详细的安全操作规程，明确设备的操作方法和注意事项。员工在上岗前应接受相关的安全培训，了解设备的操作方法和安全要求。同时，应定期对员工进行安全培训，增强员工的安全意识和操作技能。其次，应实施定期的安全检查，检查设备的运行状态和安全附件的完好性。通过安全检查可以及时发现并处理设备存在的安全隐患，避免安全事故的发生。

**三、CFB 锅炉常见的事故类型及原因**

**(一) 炉膛爆炸**

炉膛爆炸是 CFB 锅炉运行过程中的一种严重事故，主要是由于燃料在炉膛内不完全燃烧或积灰过多而引起的。当炉膛内积聚了未燃烧的燃料和灰渣时，它们在高温下可能会发生自燃，导致炉膛内压力迅速升高，从而引发爆炸。此外，如果燃烧控制不当，如氧量过高或风量不足，也可能导致炉膛内燃料的不完全燃烧，增加爆炸的风险。

以我国某大型发电厂的 CFB 锅炉为例，该锅炉的额定蒸发量为 660t/h，采用无烟煤作为燃料。由于一系列的操作失误和设备故障，导致了一次严重的炉膛爆炸事故。事故发生时，锅炉的燃烧温度、氧量和风量等参数均在正常范围内。然而，由于燃料的特性发生了变化，使得燃烧过程变得不稳定。同时，运行人员没有及时调整燃烧参数，导致炉膛内出现了不完全燃烧的情况。随着时间的推移，未燃烧的燃料和灰渣在炉膛内积聚，形成了一个高温高压的环境。当积聚到一定程度时，未燃烧的燃料和灰渣在高温下发生了自燃，导致炉膛内压力迅速升高。由于安全阀失效，无法及时释放压力，最终导致炉膛爆炸。爆炸造成了炉膛的严重损坏，同时还对周围的环境和设备造成了一定的影响，幸运的是没有造成人员伤亡。事后调查发现，该起事故的主要原因是燃烧控制不当、设备故障和安全管理不到位。

**(二) 受热面泄漏**

受热面泄漏是 CFB 锅炉运行过程中的另一种常见事故。受热面长期受到高温高压的作用，容易出现磨损、腐蚀和结垢等问题。当受热面的管壁减薄到一定程度时，就可能出现泄漏。此外，如果受热面的材料质量不佳或制造工艺不良，也可能导致泄漏事故的发生。

在某电厂的 CFB 锅炉中，受热面的初始管壁厚度为 6mm。然而，经过 5000 小时的运行后，受热面的管壁厚度减薄至 4.2mm，减薄速率约为 0.03mm/1000 小时。这种减薄主要是由于受热面长期受到高温高压的作用，导致材料的蠕变和氧化，详见下表 2

表2 CFB 锅炉受热面泄漏情况

数据项	数值	描述
初始管壁厚度	6mm	CFB 锅炉受热面的初始管壁厚度
运行小时数	5000 小时	CFB 锅炉受热面运行的小时数
管壁减薄至	4.2mm	经过 5000 小时运行后，受热面的管壁厚度
减薄速率	0.03mm/1000 小时	受热面管壁的减薄速率
泄漏事故总数	8 次	过去三年内，该电厂 CFB 锅炉受热面发生的泄漏事故总数
弯头部位泄漏次数	5 次	在 8 次泄漏事故中，发生在受热面弯头部位的次数
焊缝部位泄漏次数	2 次	在 8 次泄漏事故中，发生在受热面焊缝部位的次数
支撑部位泄漏次数	1 次	在 8 次泄漏事故中，发生在受热面支撑部位的次数

泄漏原因（弯头部位）	磨损和腐蚀	弯头部位泄漏事故的主要原因
泄漏原因（焊缝部位）	焊接质量不良、气孔、夹杂等缺陷	焊缝部位泄漏事故的主要原因
泄漏原因（支撑部位）	支撑结构设计不合理、应力集中	支撑部位泄漏事故的主要原因
平均停机时间	48小时/年	由于受热面泄漏事故导致的平均停机时间
经济损失	200万元/年	由于受热面泄漏事故导致的经济损失（直接损失和间接损失）

通过上表所知，泄漏事故通常发生在受热面的弯头、焊缝和支撑部位。据统计，该电厂过去三年内共发生了8次受热面泄漏事故，其中5次发生在弯头部位，2次发生在焊缝部位，1次发生在支撑部位。对泄漏部位进行材料分析发现，弯头部位的泄漏主要是由于磨损和腐蚀引起的。焊缝部位的泄漏主要是由于焊接质量不良，存在气孔、夹杂等缺陷。支撑部位的泄漏是由于支撑结构设计不合理，导致应力集中。由于受热面泄漏事故的发生，该电厂每年因此导致的停机时间平均为48小时，造成的经济损失约为200万元。同时，泄漏事故还可能导致其他设备的损坏和环境污染。

### （三）给水管道泄漏

给水管道泄漏是CFB锅炉运行过程中的一种常见故障。给水管道长期受到高压水流的冲刷，容易出现老化、腐蚀和结垢等问题。当管道壁减薄到一定程度时，就可能出现泄漏。此外，如果管道的连接处密封不严或管道的材料质量不佳，也可能导致泄漏事故的发生。

### （四）烟气系统故障

烟气系统故障也是CFB锅炉运行过程中的一种常见问题。烟气系统包括烟道、除尘器、引风机等设备。如果这些设备出现堵塞、泄漏等问题，就可能导致烟气排放不畅，影响锅炉的正常运行。例如，如果烟道积灰过多，就会增加烟气的阻力，降低锅炉的效率。如果除尘器出现故障，就会导致烟气中的粉尘含量超标，影响锅炉的排放性能。此外，如果引风机的性能不佳或出现故障，也可能导致烟气排放不畅，影响锅炉的正常运行。

## 四、事故预判方法和防范措施

### （一）建立完善的安全管理体系

为了确保CFB锅炉的安全运行，首先要建立完善的安全管理体系。这一体系应涵盖锅炉运行的全过程，从设备采购、安装、调试到日常运行、维护、检修等各个环节。具体而言，应制定并执行详细的安全操作规程，明确设备在不同工况下的安全操作要求，确保员工严格按照规程进行操作。其次，企业应定期开展安全培训。培训内容包括但不限于锅炉的基本原理、安全操作规程、事故案例分析、应急处理措施等。培训形式可以多样化，如组织专题讲座、观看安全教育视频、进行实际操作演练等。培训

结束后，还应为员工进行安全知识和技能的考核，确保他们掌握必要的安全知识和技能。最后，实施安全检查也是确保CFB锅炉安全运行的重要手段。企业应组织专业人员定期对锅炉及其附属设备进行检查，包括外观检查、性能测试、安全附件校验等。安全检查应有详细记录，对于发现的问题和隐患，应立即采取措施进行整改，并跟踪整改情况，确保问题得到彻底解决。

### （二）加强设备维护

设备维护是保障CFB锅炉长期稳定运行的关键。企业应定期对锅炉及其附属设备进行维护，包括清理积灰、更换磨损部件、检查密封件等。具体维护周期应根据设备的实际情况和使用环境来确定，确保设备在良好的状态下运行。为便于维护工作的开展，企业应为每台锅炉建立维护档案，记录设备的维护历史、更换部件情况等信息。同时，应制定详细的维护计划，明确维护项目、时间、人员等要素，确保维护工作按计划进行。在设备维护过程中，如发现设备的磨损、泄漏、堵塞等问题，应立即采取措施进行处理。对于需要更换的部件，应选择正规渠道购买原厂配件或经认证的配件，确保配件的质量和性能符合要求。对于无法立即处理的问题，应向上级汇报并制定应急预案，防止问题进一步恶化。

### （三）优化燃烧控制

为了实现优化燃烧控制，企业首先需要深入了解所使用的燃料的特性，如其成分、热值、燃烧反应速度等。这可以通过与燃料供应商密切合作、进行燃料化验和分析等方式来获取。针对不同的燃料特性和锅炉负荷变化，应制定相应的燃烧控制策略。例如，在高负荷时，可以适当增加风量和燃料供应，确保炉膛内有足够的氧气支持燃烧；在低负荷时，应调整风煤比，避免过多的空气进入导致炉膛温度下降。现代化的CFB锅炉通常配备有先进的燃烧控制系统，如自动燃烧控制（ACC）系统。企业应充分利用这些技术手段，根据实时监测到的炉膛温度、压力、氧量等数据，实时调整燃烧参数，确保燃料在炉膛内充分、均匀地燃烧。

### （四）强化事故应急处理能力

尽管采取了各种预防措施，但事故仍有可能发生。因此，强化事故应急处理能力，对于确保CFB锅炉的安全运行至关重要。企业应建立完善的事​​故应急处理机制，包括明确应急组织结构、通讯方式、事故分类与响应级别、应急资源储备等。在此基础上，应制定详细的事​​故应急预案，针对不同类型的事故，明确应急处理流程、方法和责任人。为提高员工的应急处理能力，企业应定期组织应急演练。演练内容可以包括模拟事故场景、启动应急响应、现场处置、资源调配等。通过演练，员工可以熟悉应急预案的操作流程，提高在紧急情况下的应变能力和团队协作能力。在强化事故应急处理能力的过程中，企业还应注重与外部机构的合作与沟通。例如，与当地消防、环保、医疗等部门建立紧急联动机制，确保在发生事故时能够及时获得外部支援和协助。

## 五、结论

综上所述，电厂CFB锅炉的安全高效运行与精准的事故预

判,既关乎经济效益,更牵涉到每一位工作人员的生命安全。我们每一个人都应肩负起责任,时刻保持警惕,精益求精,确保每一次操作都符合标准,每一次检查都细致入微。通过我们的共同

努力和持续进步,我们有信心让CFB锅炉在电厂中发挥更大的作用,同时保障每一位员工的人身安全。

## 参考文献:

- 
- [1] 孙玉祥. 燃煤电厂锅炉“四管”泄漏原因及预防措施 [J]. 化学工程与装备, 2023, (11): 255-257.
  - [2] 李进龙, 康鹏云, 杨少锋. 提升CFB锅炉受热面防磨防爆管理措施 [C] // 中国电力技术市场协会. 2023年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集(下册). 中电建甘肃能源华亭发电有限责任公司; 2023: 4.
  - [3] 强亚斌, 黄苑平, 韩岗等. 浅析某电厂锅炉智能化系统架构 [J]. 锅炉制造, 2023, (06): 13-14+17.
  - [4] 王瑀, 赵勇凯, 孙向文等. CFB锅炉分离器出口烟道形式对烟气偏差的影响 [J]. 锅炉制造, 2023, (06): 9-10.
  - [5] 郭洪涛, 李大强, 张彦海等. 电厂反渗透膜污染及控制策略的研究进展 [J]. 能源与环境, 2023, (05): 110-113.
  - [6] 杨志恺, 卢红书, 杨晓明等. 燃煤电厂锅炉吹灰系统的优化策略及应用 [J]. 山东电力高等专科学校学报, 2023, 26(05): 40-44.
  - [7] 张立宗. 电厂锅炉炉内低氮燃烧运行优化研究 [J]. 装备维修技术, 2023, (05): 49-52.
  - [8] 梅立迅. 电厂锅炉的检修维护与评估 [J]. 冶金管理, 2023, (18): 94-97.
  - [9] 李明军. CFB锅炉入炉煤粒径对水冷壁磨损的分析与防护措施 [J]. 设备管理与维修, 2023, (18): 95-97.
  - [10] 郭学良. 大型CFB锅炉天然气点火系统应用问题研究 [J]. 锅炉技术, 2023, 54(04): 24-29.
  - [11] 王智浩. CFB锅炉机组热经济性 & 污染物排放试验研究 [D]. 华北理工大学, 2022.
  - [12] 段守保, 刘彩霞, 王军. 600MWCFB锅炉大气污染物超低排放改造技术研究 [J]. 东北电力技术, 2020, 41(05): 18-24.
  - [13] 张保, 魏高鹏. 某生物质电厂CFB锅炉低温过热器及包墙过热器磨损原因分析 [J]. 江西电力职业技术学院学报, 2020, 33(02): 14-15+18.
  - [14] 刘贺君. CFB锅炉安全高效运行与事故预判研究 [D]. 华北理工大学, 2020.
  - [15] 段守保, 刘彩霞. CFB锅炉屏式过热器泄漏原因分析及解决方案 [J]. 内蒙古科技与经济, 2019, (10): 76-78.