

# 350MW 机组防结焦灭火技术研究

杨立敏

宁夏电投银川热电有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i9.8437

**[摘要]** 为了提升 350MW 机组的燃烧效率并有效防止结焦现象的发生, 本文研究了相关的防结焦灭火技术。分析机组在运行过程中结焦的成因及其对燃烧过程的影响, 提出了一种优化的灭火技术方案。实验结果表明, 该技术可以有效防止结焦现象的发生, 降低了设备维护频率, 提高了机组的安全性和运行效率。本文的研究为 350MW 机组的稳定运行提供了理论支持和技术参考。

**[关键词]** 350MW 机组; 防结焦; 灭火技术; 燃烧效率; 设备维护

## Research on Anti coking and Fire Extinguishing Technology for 350Mw Unit

Yang Limin

Ningxia Power Investment Yinchuan Thermal Power Co., Ltd.

**[Abstract]** In order to improve the combustion efficiency of a 350MW unit and effectively prevent coking, this paper studies relevant anti coking and fire extinguishing technologies. An optimized fire extinguishing technology scheme was proposed by analyzing the causes of coking during the operation of the unit and its impact on the combustion process. The experimental results show that this technology can effectively prevent coking, reduce equipment maintenance frequency, and improve the safety and operational efficiency of the unit. This study provides theoretical support and technical reference for the stable operation of 350MW units.

**[Key words]** 350MW unit; Prevent coking; Fire extinguishing technology; Combustion efficiency; Equipment maintenance

### 引言:

在现代火力发电厂的运行过程中, 结焦问题一直是影响机组稳定性和效率的重要因素之一。尤其是在 350MW 机组中, 结焦现象降低了燃烧效率, 还增加了设备的维护和检修成本, 严重时甚至可能导致机组停运。如何有效防止结焦、提高机组的稳定运行成为了亟待解决的技术难题。针对这一问题, 本文对防结焦灭火技术的研究, 提出了一种适用于 350MW 机组的优化方案, 旨在高效的灭火措施来降低结焦的发生概率, 从而确保机组的长期稳定运行。

### 一、350MW 机组结焦现象的成因分析

350MW 机组结焦的核心成因与燃烧温度分布、燃料质量、炉内气流流动性直接相关。结焦是高温环境下燃料不完全燃烧, 碳粒与其他物质在炉内积聚凝结成块的过程, 在高温、高负荷工况下尤为突出, 会显著降低燃烧效率与经济性——结焦层覆盖锅炉传热表面, 导致热交换效率下降, 锅炉热负荷增

加且燃料浪费严重。同时, 结焦还伴随安全隐患: 炉膛内结焦物质过量积聚时, 会引发局部温度异常升高, 极端情况下可致炉膛温度失控、产生超高温, 进而诱发火灾、损坏设备结构, 增加维修成本并威胁人员安全<sup>[1]</sup>。

燃料质量对结焦频率与程度起决定性作用。煤种、煤质波动影响显著: 低热值或高灰分燃料燃烧时, 既难以有效释放热量, 又易产生大量未燃烧残渣, 大幅提升结焦风险; 煤中挥发分与水分比例则会干扰碳化反应, 例如挥发分较高时, 燃烧初期会快速释放水分、气体等挥发性物质并放热, 导致炉内温度分布不均, 局部区域出现过热, 加剧燃烧不稳定性, 使部分燃料无法完全燃烧形成碳粒, 这些碳粒沉积在锅炉内部, 会逐步形成结焦并不断恶化。

炉内气流分布不均同样是重要诱因。气流流动性不足或分布失衡时, 部分区域热量无法被燃烧气体有效带走, 易形成局部高温, 促进焦炭积聚。尤其在炉膛入口、燃烧器附近及下游

区域，受设备结构或燃烧方式影响，气流速度与方向易出现异常，进一步加重局部过热。在此类不良气流环境中，燃烧反应难以均匀进行，部分燃料因高温提前分解，产生的不完全燃烧产物在炉内积聚，最终形成结焦。而优化气流分布、调整空燃比、改善燃烧器布局与燃烧方式，可提升燃烧均匀性，减少未燃碳粒生成，从而抑制结焦、提升锅炉热效率与运行稳定性。

## 二、现有防结焦技术的不足与挑战

现有的防结焦措施大多数依赖于提高燃烧温度或改变炉膛内的气流分布来减缓结焦的生成。这些方法在实际应用中并未能完全解决结焦问题，特别是在高负荷运行和恶劣工况下，结焦现象依然频繁发生。虽然控制炉温和优化气流分布可以在一定程度上减少结焦的形成，但并未从根本上消除其可能性。当锅炉内部的热量分布不均或气流流动性不足时，局部区域的温度过高或过低，燃烧过程无法均匀进行。这种不平衡的温度和气流条件导致燃料在特定区域不完全燃烧，形成碳粒和未燃烧物质。这些物质逐渐积聚并凝结成焦炭，造成结焦现象。结焦影响热交换效率，还可能导致锅炉热负荷不稳定，增加设备故障风险，从而降低机组的运行稳定性<sup>[2]</sup>。

防结焦技术中的一些化学添加剂和催化剂虽然能够在一定程度上抑制结焦现象，但其效果在不同煤种和燃烧环境中的稳定性较差。某些添加剂在高温环境下容易挥发或分解，失去催化作用，导致技术效果无法持续发挥作用。尽管某些催化剂可以加速燃烧反应，提高燃烧效率，减少结焦现象，但这些化学手段往往无法从根本上解决结焦问题。尤其是在煤质波动较大的情况下，煤的挥发分、灰分及水分含量的变化会导致燃烧条件的不稳定，从而使添加剂的效果无法长期维持。催化剂的性能可能会随着燃料成分的变化而减弱，甚至失去其预期的效果<sup>[3]</sup>。

现有的防结焦技术通常侧重于单一的防治手段，缺乏综合性的解决方案。在实际应用中，结焦的形成往往是由多种因素共同作用的结果，而现有技术往往忽视了系统性和综合性的优化。单纯的温控措施无法有效调节炉内气流的分布，导致局部区域仍然出现过热现象，从而加剧结焦的生成。许多传统的防结焦技术未能有效结合机组运行的具体情况，缺乏针对性的调整策略。这使得在复杂运行环境下，防结焦技术的效果较为有限，无法满足不同工况下的需求。

## 三、基于灭火技术的防结焦方案设计

基于灭火技术的防结焦方案设计主要是控制炉膛内的火焰温度和气流分布，以减少结焦现象的发生。该方案的核心思想是利用灭火技术在结焦形成的初期阶段进行干预，精确的火

焰调控和灭火装置的应用，避免高温区域的形成，进而降低焦炭的沉积。防结焦灭火技术具体设计为“三级联动系统”：一级为炉膛分区温度监测模块，在燃烧器周边、炉膛水冷壁附近等易结焦区域，每隔 1.5m 布置 1 台高精度热电偶传感器（测量精度  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ），实时采集局部温度数据；二级为智能控制模块，采用 PLC 控制系统（响应延迟  $\leq 0.3\text{s}$ ），预设温度阈值（常规工况下  $\leq 1100^{\circ}\text{C}$ ，高负荷工况下  $\leq 1050^{\circ}\text{C}$ ）；三级为分区灭火执行模块，在每个温度监测点对应区域布置 1 组高压雾化喷嘴（雾化粒径  $50\text{--}80\mu\text{m}$ ），连接氮气 - 水混合灭火剂管路（氮气占比 30%，水占比 70%）。

灭火技术的应用能够迅速有效地降低局部温度，打破高温区域的稳定性，防止结焦物质的积累。在锅炉的关键部位设置精确的灭火装置，并与实时温度监控系统相结合，可以有效调节炉膛内的温度。智能控制逻辑遵循“监测 - 判断 - 调节”闭环流程：当某区域热电偶传感器识别到温度超过预设阈值时，立即将温度异常信号反馈至 PLC 控制系统（即智能控制模块核心变量），系统通过对比该区域历史运行数据（近 1 小时内温度波动曲线）和当前负荷参数，判断温度异常类型（瞬时波动或持续升高）；若为持续升高（超阈值时间  $\geq 10\text{s}$ ），则自动触发对应区域的灭火执行模块，调节喷嘴阀门开度（开度范围 0-100%，根据超温幅度动态调整），喷洒氮气 - 水混合灭火剂，同时联动调整该区域二次风门开度（调整幅度 5%-15%），优化局部气流速度（控制在  $3\text{--}5\text{m/s}$ ），双重作用降低局部温度至安全范围。这种精准的温控手段能够避免温度过高导致的结焦现象，还能确保燃烧过程的稳定性，延长设备的使用寿命，并提高机组的整体运行效率。

针对不同机组的实际运行情况，灭火技术的防结焦方案需要根据燃烧环境的特性进行定制化设计。在 350MW 机组中，由于燃料种类、炉膛结构和运行条件的差异，单一的灭火措施难以全面应对结焦问题。防结焦方案在设计时，需综合考虑炉膛内气流的流动性、火焰的温度分布以及灭火系统的响应速度。精确计算和调节各个燃烧区域的气流速率和方向，可以有效避免温度过高的局部区域出现，为灭火系统提供充分的发挥空间。在这种设计中，气流优化能够确保炉膛内的燃烧气体均匀分布，避免局部过热，提升燃烧效率。灭火装置的智能调节则根据实时温度数据自动调整灭火强度和范围，快速响应温度变化，防止结焦现象发生，确保锅炉安全高效运行。

为了进一步提高防结焦技术的适应性和稳定性，灭火技术的方案设计还应考虑到燃料波动对燃烧过程的影响。在燃料质量变化较大的情况下，灭火系统的智能控制模块会额外采集燃

料在线分析数据，当灰分 $>25\%$ 或挥发分 $>30\%$ 时，自动下调温度阈值 $50^{\circ}\text{C}$ ，同时增加灭火剂储备罐的压力（从 $0.8\text{MPa}$ 提升至 $1.0\text{MPa}$ ），缩短灭火响应时间；若检测到燃料水分 $>12\%$ ，则联动调整一次风温，避免因燃料湿度导致的燃烧不完全，从源头减少碳粒生成，辅助灭火系统降低结焦风险。这种智能化的灭火方案可以实时监控并响应炉内的温度变化，确保在燃料成分发生变化时，炉膛内的温度和气流分布始终处于最优状态，从而避免结焦的产生。结合先进的火焰监控技术和智能化控制系统，基于灭火技术的防结焦方案能够在多变的运行环境中提供稳定、高效的防护，确保 $350\text{MW}$ 机组在高效、安全的条件下运行<sup>[4]</sup>。

#### 四、实验与验证：防结焦技术的应用效果

在实验与验证阶段，防结焦技术的应用效果经过一系列现场测试和模拟实验得到了全面评估。在 $350\text{MW}$ 机组中，结合优化的灭火技术方案，进行了一系列的实地操作，以检测其在不同工况下的实际效果。在炉膛内部设置高精度温度传感器，并与灭火装置进行联动，可以实时监控机组运行中的温度变化情况。在实验过程中，采用了不同类型的煤种以及负荷波动等工况进行测试。结果表明，经过防结焦技术的优化应用后，炉内的温度分布得到了显著改善，局部高温区域得到了有效抑制，结焦现象的发生频率明显降低。

进一步的验证工作对机组运行期间的维护记录和设备状态进行了长期跟踪。实验数据显示，采用防结焦技术后的机组，设备的清洁周期明显延长，锅炉的热交换效率提高，燃料的利用率也有所提升。尤其是在高负荷运行的情况下，防结焦技术成功地保持了炉膛的稳定温度，避免了结焦现象对设备造成的损害。对比未使用防结焦技术的机组，实施该技术后，机组的停机时间减少，设备维护成本大幅降低。

防结焦技术在实际应用中的效果还经过锅炉内部的结焦程度进行了定期检查。引入非接触式红外成像技术，研究人员对炉膛内部的结焦情况进行了细致的监测与分析。实验结果显示，经过防结焦技术处理的区域，其结焦厚度普遍较薄，而未处理的区域结焦层较厚，且更加坚硬。这一数据表明，基于灭火技术的防结焦方案能够有效减少焦炭沉积，从根本上遏制结焦现象的发展。对比分析不同测试点的结果，进一步证实了该技术在实际操作中的广泛适用性和显著效果。总的来说，防结焦技术的应用效果已经得到了充分验证，为 $350\text{MW}$ 机组的安全、高效运行提供了坚实的技术保障。

#### 五、优化建议与技术推广应用

在当前防结焦技术的应用中，仍有许多可优化之处，特别

是在不同工况下的适应性和技术的持续稳定性。为了提高技术的普适性和稳定性，优化建议应集中在精细化调控、智能化监控以及系统集成等方面。提升炉膛温度控制精度、气流分布调节灵活性以及灭火系统的响应速度，可以更有效地应对燃料类型的波动和负荷变化带来的挑战。结合实时数据监控系统，可以对机组的各个运行参数进行动态调整，确保防结焦措施能够根据炉膛实际情况进行精确调节。这样的优化方案通过精准控制炉膛温度和气流分布，提升了燃烧效率，确保了能源的充分利用，还有效减少了结焦现象的发生。结焦引起的设备磨损和故障得以显著减少，从而延长了设备的使用寿命，降低了频繁维修的需要，整体降低了运行和维护成本，提高了机组的经济效益<sup>[5]</sup>。

防结焦技术的推广应用应注重技术的系统性整合。许多传统的防结焦措施往往侧重于单一环节的优化，忽视了整体系统的协调性。针对这一问题，建议采用综合性方案，在灭火技术的基础上，结合燃烧优化、气流管理、温控调节等多方面技术的整合，形成一种协同工作的防结焦体系。不同技术模块的互补，确保锅炉内的燃烧过程更加均衡，避免某些区域过热而导致结焦现象的发生。推广这种系统集成的防结焦技术，将有助于提高机组的整体运行效率和稳定性，并为其他类型机组的应用提供有力支持。

#### 结语：

本文深入研究了 $350\text{MW}$ 机组防结焦技术，分析了结焦现象的成因，并提出了基于灭火技术的防结焦方案。经过实验与验证，确认了该技术在减少结焦发生、提高机组运行效率方面的显著效果。进一步的优化建议和技术推广应用，为提高机组的安全性和经济性提供了有力支持。未来，随着技术的不断优化和系统集成，防结焦技术将为火力发电行业的可持续发展做出更大贡献。

#### [参考文献]

- [1]刘志宏, 王建宇.  $350\text{MW}$  机组结焦现象与防治技术研究[J]. 电力技术, 2019, 44 (12): 25-30
- [2]陈晓东, 周健. 火力发电机组结焦原因分析及防治技术[J]. 能源技术, 2020, 41 (4): 112-117
- [3]刘磊, 孙鹏. 基于灭火技术的防结焦研究与应用[J]. 电力设备, 2021, 59 (6): 88-94
- [4]王丽, 张宏.  $350\text{MW}$  机组燃烧优化技术研究及应用[J]. 火力发电, 2018, 49 (5): 45-50
- [5]陈强, 张浩. 火电机组结焦防治技术及发展趋势[J]. 电力系统自动化, 2022, 46 (9): 31-36