

# 燃煤电厂锅炉检修与节能改造

张 宁

国家能源集团华北电力有限公司廊坊热电厂 河北 廊坊 065000

**摘要：**燃煤电厂锅炉作为发电厂的核心设备，其运行效率和稳定性对电厂发电至关重要。锅炉检修项目主要包括四管维修、空气预热器检修、制粉系统清理及水压力流量控制等。针对高能耗问题，节能改造策略涵盖锅炉重建、使用汽动转机、热量控制优化等。这些措施旨在提高锅炉运行效率，减少能源消耗，确保电厂安全稳定运行，为电厂的可持续发展奠定基础。

**关键词：**燃煤电厂；锅炉检修；节能改造

**引言：**随着能源需求的增长和环保要求的提高，燃煤电厂锅炉的检修与节能改造成为提升电厂效率和减少环境污染的重要途径。锅炉作为电厂的关键设备，其长期运行可能导致性能下降和能耗增加。因此，通过定期检修和采用先进的节能技术，不仅可以提高锅炉的运行效率和稳定性，还能有效降低燃煤消耗和减少排放，促进电厂的可持续发展和环境友好型运营。

## 1 燃煤电厂锅炉的基本原理与结构

### 1.1 锅炉的工作原理

(1) 煤炭的化学能转化过程：煤炭在炉膛内燃烧，化学能先转化为热能，通过辐射、对流等方式传递给受热面中的工质（水和蒸汽），使水加热、汽化并过热，最终转化为具有一定压力和温度的蒸汽，蒸汽推动汽轮机做功，实现热能向机械能的转化，再经发电机转为电能。(2) 锅炉汽水系统、燃烧系统、风烟系统及制粉系统的介绍：汽水系统负责水的加热、汽化和蒸汽过热，包括省煤器、汽包、水冷壁等；燃烧系统保证煤炭高效燃烧，由燃烧器、炉膛等组成；风烟系统提供燃烧所需空气并排出烟气，含送风机、引风机和烟道；制粉系统将原煤磨制成合格煤粉，经输送管道送入燃烧器。

### 1.2 锅炉的主要结构部件

(1) 省煤器、汽包、水冷壁、过热器、再热器的功能与作用：省煤器利用烟气余热加热给水，降低排烟温度；汽包是汽水分离和净化的中心，储存汽水并稳定工况；水冷壁吸收炉膛辐射热，加热工质并保护炉墙；过热器将饱和蒸汽加热为过热蒸汽，提高蒸汽品质；再热器将汽轮机高压缸排汽重新加热，提升循环效率。(2) 燃烧器、炉膛、空气预热器等关键部件的结构与工作原理：燃烧器将煤粉与空气混合后喷入炉膛燃烧，多采用四角布置或前后墙布置；炉膛是燃烧和换热的空间，由水冷壁围成，保证燃料充分燃烧；空气预热器利用烟气

余热加热空气，分为管式和回转式，可提高燃烧效率<sup>[1]</sup>。

## 2 燃煤电厂锅炉检修项目及方法

### 2.1 四管（过热管、再热器管、省煤器管、水冷壁管）的常规维修

(1) 问题分析与根源查找：通过外观检查（如管壁腐蚀、鼓包、变形）和无损检测（超声波、射线探伤），判断管子是否存在泄漏、磨损或裂纹。结合运行参数（如烟温、蒸汽流速），分析问题根源，如过热管超温可能因结垢导致热阻增加，水冷壁磨损多源于飞灰冲刷角度异常。(2) 数据收集与模型建立：收集管子壁厚、腐蚀速率、运行时间等数据，建立寿命评估模型。例如，根据省煤器管的磨损量和运行小时数，推算剩余使用寿命，为检修周期提供依据。(3) 科学合理的计算与维修措施：通过热力计算确定管子更换标准，对超标管子采取更换或补焊处理。对磨损部位加装防磨护瓦，腐蚀区域采用防腐涂层；针对结垢问题，进行化学清洗或机械除垢，确保传热效率。

### 2.2 空气预热器的维修

(1) 防止管道磨损的措施：检查换热元件（如蓄热板）的磨损程度，对磨损严重区域更换元件；调整烟气流速，避免局部流速过高加剧磨损；在易磨损部位加装耐磨衬板，定期清理积灰以减少灰粒冲击。(2) 轴向及径向密封的测量与调整：采用塞尺测量密封片与扇形板的间隙，轴向密封重点检查转子与外壳之间的间隙，径向密封关注转子与端板的配合。通过调整密封片长度或扇形板位置，将间隙控制在设计范围内（通常≤3mm），减少漏风率。

### 2.3 制粉系统的检修

(1) 煤粉残留的处理与清理：停机后打开磨煤机、煤粉管道的检查孔，使用压缩空气吹扫残留煤粉，防止积粉自燃；对分离器内的结垢进行机械清理，确保煤粉

细度合格。（2）通风与燃烧条件的检查与调整：测量磨煤机入口风压、出口温度，确保通风量满足煤粉输送需求；检查一次风与煤粉的混合比例，通过调整调风门开度优化燃烧工况，避免因风粉不均导致的不完全燃烧或管道堵塞<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 锅炉水位与压力流量的控制与检查

（1）水位平衡与蒸汽容量的关系：水位过高会导致蒸汽带水，影响蒸汽品质；水位过低可能造成水冷壁缺水爆管。需通过水位计（双色水位计、电接点水位计）实时监测，结合蒸汽流量与给水流量的平衡关系，确保水位在正常波动范围（±50mm）。（2）严格的控制与检查流程：每小时记录水位、压力、流量数据，定期校验压力表、流量计的准确性；检查水位自动调节系统，确保给水调节阀动作灵敏；进行定期排污（连续排污和定期排污），防止汽水共腾，维持压力稳定（如亚临界锅炉压力波动≤0.5MPa）。

### 3 燃煤电厂锅炉节能改造技术及方法

#### 3.1 烟气余热回收技术

（1）利用热管换热技术回收烟气余热：热管换热器由密封管壳、工质和吸液芯组成，具有极高的导热性能。将其安装在锅炉尾部烟道，烟气通过热管将热量传递给冷流体（如空气、水），无需额外动力即可实现高效换热。该技术能有效回收排烟温度在120-180°C的中低温余热，换热效率可达80%以上，且热管的单向传热特性可避免冷流体温度过高导致的腐蚀问题。（2）预热助燃空气、供水或直接生产热水：回收的烟气余热可通过热管换热器预热锅炉助燃空气，将空气温度从常温提升至100-150°C，减少燃料消耗；也可用于预热锅炉补水，降低省煤器的热负荷；还能直接加热生活或工业用热水，替代传统电加热或蒸汽加热系统，实现能源梯级利用，综合节能率可达5%-8%。

#### 3.2 输煤装置的改造

（1）斗式给煤改为分层给煤：传统斗式给煤装置将煤炭无序送入炉膛，易导致煤层分布不均、燃烧不充分。分层给煤技术通过筛分装置将原煤按颗粒大小分层，大块煤在下、小块煤和煤粉在上，由链条炉排均匀送入炉膛。这种分层结构能优化通风条件，使煤层上下均能充分接触氧气，减少局部缺氧或过氧现象。（2）提高煤炭燃烧率与节煤率：分层给煤可使煤炭燃烧率从原来的75%-80%提升至85%以上，减少未燃尽碳的排放量。实践表明，该改造在链条炉中可实现节煤率5%-10%，同时降低烟尘排放浓度，兼具节能与环保效益，改造成本低且回收期短（通常6-12个月）<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 富氧燃烧技术

（1）增加助燃空气中氧气的含量：通过制氧设备（如变压吸附制氧机）将空气中氧气浓度从21%提升至25%-30%，作为助燃气体送入炉膛。富氧空气可减少氮气等惰性气体的带入量，降低烟气排放量和热损失。制氧系统需与锅炉燃烧控制系统联动，根据负荷变化动态调节氧气浓度，确保燃烧稳定。（2）提高火焰温度、降低排烟黑度、提高锅炉出力：富氧环境能加速燃烧反应，使火焰温度提高100-300°C，强化辐射换热；同时减少不完全燃烧产物（如碳黑），排烟黑度可从林格曼2级降至0级以下。在相同燃料消耗下，锅炉出力可提升5%-15%，尤其适用于老旧锅炉的提效改造，氮氧化物排放量也可降低15%-20%。

#### 3.4 自动清灰技术的应用

（1）利用激波发生技术清理锅炉积灰结焦：激波清灰系统由燃气发生装置、脉冲管和控制系统组成，通过可燃气体（如丙烷与空气混合物）在脉冲管内爆燃产生高频冲击波，冲击波以超音速传播并作用于受热面表面，使积灰和疏松结焦脱落。该技术可针对炉膛、过热器、省煤器等不同部位精准清灰，清灰半径可达3-5米。（2）提高热效率与运行效益：锅炉受热面积灰1mm可使热效率降低2%-3%，激波清灰能将积灰厚度控制在0.1mm以内，热效率提升4%-6%。相比传统的蒸汽吹灰，激波清灰能耗降低70%以上，且无二次污染，减少因人工清灰导致的停机时间，年增加运行效益可达数十万元。

#### 3.5 高温凝结水回收利用技术

（1）密闭式回收高温凝结水：高温凝结水（温度100-180°C）含有大量热能，传统开放式回收会导致蒸汽闪失和水质污染。密闭式回收系统通过压力维持装置、除铁过滤器和疏水阀组，将凝结水直接输送至锅炉给水系统，避免热能损失和氧气进入。系统压力保持在0.3-0.5MPa，确保凝结水不闪蒸。（2）节约燃料与回收纯净凝结水：回收1t150°C的凝结水可节约标准煤10-15kg，大型电厂年回收凝结水量可达数十万吨，年节煤量超千吨。同时，凝结水纯度高（电导率≤50μS/cm），作为锅炉给水可减少软化处理成本，降低锅炉排污率，延长锅炉使用寿命<sup>[4]</sup>。

#### 3.6 炉拱与辅机的节能改造

（1）改变炉拱形状与位置以改善燃烧状况：炉拱通过辐射和反射热量控制燃烧区域温度。对链条炉进行拱型改造，将前拱改为低而短的“前倾式”，增强对煤层的辐射加热；后拱加长并抬高，引导高温烟气回流至燃烧区前部，提高着火速度。改造后煤层燃尽时间缩短

10%-15%，灰渣含碳量降低5%-8%。（2）调节鼓、引风量以维持锅炉最佳运行状况：通过安装变频调速装置，使鼓、引风机风量随锅炉负荷动态调节，替代传统的风门节流调节。当负荷降至70%时，风机功率可降低50%以上，年节电率达30%-40%。同时，通过烟气氧量在线监测系统联动调节风量，将过剩空气系数控制在1.2-1.3的最佳范围，减少排烟热损失。

#### 4 燃煤电厂锅炉检修与节能改造的策略与建议

##### 4.1 建立完善的检修与节能改造体系

（1）制定检修计划与流程：结合锅炉运行年限、历史故障数据及行业标准，制定分级检修计划，包括日常巡检（每日记录关键参数）、小修（每3-6个月，重点检查易损部件）、大修（每1-2年，全面检测四管、燃烧器等核心部件）。流程上明确“检测-评估-维修-验收”闭环管理，例如检修前通过红外热像仪扫描受热面，生成缺陷清单；维修中执行“双人复核”制度，关键工序需技术负责人签字确认；验收时采用第三方检测机构验证，确保符合安全与性能标准。（2）建立节能改造目标与指标体系：以降低煤耗、减少排放为核心，设定量化目标，如改造后锅炉热效率提升2%-3%、年节煤量不低于5000吨、排烟温度降低15-20℃。指标体系涵盖技术指标（如余热回收率、富氧浓度控制精度）、经济指标（改造投资回收期≤3年、吨汽耗下降值）、环保指标（氮氧化物排放量减少10%以上），并将指标分解至各部门，与绩效考核挂钩。

##### 4.2 加强技术创新与人才培养

（1）推广新技术、新方法的应用：建立“技术引进-试点-推广”机制，优先采用成熟可靠的创新技术，如无人机搭载红外检测仪巡检炉膛、大数据分析预测四管寿命、磁悬浮风机替代传统引风机等。与高校、科研机构合作开展产学研项目，针对老旧锅炉研发定制化改造方案，例如为100MW以下机组设计小型化富氧燃烧系统，降低改造门槛。（2）提高技术人员的专业水平与创新能力：构建“分层培养”体系，对一线检修人员开展实操培训（如热管换热器安装、激波清灰系统调试），每年累计培训不少于80学时；对技术骨干进行节能改造方案设计、数值模拟等进阶培训，鼓励参与行业技术论坛；

设立创新激励基金，对提出合理化建议（如优化清灰周期）并产生效益的团队给予奖励，推动形成“技术创新-效益提升”的良性循环。

##### 4.3 强化政策引导与资金支持

（1）制定优惠政策以鼓励节能改造：地方政府可出台税收减免政策，对采用余热回收、富氧燃烧等技术的企业，给予改造投资额10%-15%的所得税抵免；将锅炉节能改造纳入绿色信贷支持范围，提供低于市场利率的专项贷款；建立“节能效益分享机制”，允许第三方节能服务公司通过分享改造后产生的节能收益回收投资，降低企业初期投入压力。（2）提供资金支持以推动检修与改造项目的实施：企业设立专项检修改造资金，按年度营收的2%-3%计提，确保资金专款专用；争取国家及地方节能改造补贴，如申报“燃煤电厂能效提升专项”获得财政补助；探索多元化融资模式，通过发行绿色债券、引入社会资本等方式筹集资金，重点支持投资规模大、回收期长的项目（如高温凝结水回收系统改造），保障检修与改造工作持续推进。

#### 结束语

综上所述，燃煤电厂锅炉的检修与节能改造是提升电厂运行效率、减少能源消耗和环境污染的关键措施。通过实施全面的检修计划和采用先进的节能技术，我们不仅可以延长锅炉的使用寿命，提高其可靠性和安全性，还能显著降低燃煤消耗和排放水平，为电厂带来显著的经济效益和环境效益。未来，我们将继续探索更多创新技术和方法，以推动燃煤电厂向更加高效、环保的方向发展。

#### 参考文献

- [1]路璐.电厂锅炉设备的检修与改造问题分析[J].电路应用,2020,(08):112-113.
- [2]刘波.浅谈节能降耗技术在电厂锅炉运行中的应用[J].锅炉制造,2025,(03):21-22.
- [3]尹冬年.电厂锅炉运行中节能降耗技术的应用[J].电力设备管理,2024,(24):258-260.
- [4]闵国江,李立民.电厂锅炉节能减排改造与实施效果分析[J].今日制造与升级,2024,(11):28-30.